

페타이어 분말의 치환율과 입자크기에 따른 경량 모르타르의 역학적 특성

Mechanical Properties of Lightweight Mortar in Accordance with the Particle Size and Replacement Ratio of the Wasted Tire Chip

양 훈¹ · 이 용¹ · 이상수^{1*}

Hun Yang¹ · Yong Lee¹ · Sang-Soo Lee^{1*}

(Received December 11, 2015 / Revised December 24, 2015 / Accepted December 24, 2015)

This study is basic experiment which prevents indiscriminate reclamation and recycles the wasted tire in order to solve environmental pollution according to generation rate of the wasted tire from recently industrial development. By applying as the substitute material of the lightweight aggregate among the constructional materials in order to evaluate the lightness of the wasted tire chip and suggest the recycling plan of the wasted tire chip. The prior experiment did the replacement ratio of the wasted tire with 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, etc. and made a study on the strength and density properties. Based on the prior experiment of wasted tire, the replacement ratio was fixed at 15, 20, 25%, particle size of wasted tire was fixed at 0.2, 0.8, 1~2, 3~5, 5~7(mm). As a result, it is supposed that the best replacement ratio and particle size are 15% and 1~2mm, respectively.

키워드 : 페타이어 분말, 경량 모르타르, 치환율, 산업폐기물, 입자크기

Keywords : Wasted tire chip, Lightweight mortar, Replacement ratio, Industrial waste, Particle size

1. 서론

전 세계적으로 산업이 발달함에 따라 산업부산물인 나날이 증가하고 있는 상황에서 급속한 자동차산업 및 문화산업의 발달로 인한 타이어의 발생량이 증가하여 Ko(1998)에 따르면 각종 수질오염, 토양오염 및 고형폐기물 발생의 원인이 되고 있어 사회적 문제가 되고 있다. 특히 타이어는 고무계 제품에서 가장 수요가 많고, 제품의 수명이 짧기 때문에 그에 따른 페타이어의 발생량이 급격히 증가하고 있는 추세이다.

타이어의 폐기물이 연간 30만 톤 이상 발생되고 있으며, 최근 들어 페타이어의 재활용을 시도하고 있으나, 환경오염물질인 카본을 처리하는 비용 문제가 해결되지 않고 있다. 페타이어를 매립하는 방법은 매립지의 고갈과 매립 후의 토양오염이 발생한다는 심각한 문제점이 있다. Kim(2001)에 따르면 페타이어를 그대로 방치할 경우 주변경관의 손상, 해충의 서식처제공, 화재발생의 위험과

화재에 의한 인적·물적 피해 등의 환경문제와 아울러 우리나라처럼 국토가 좁은 여건 하에서 야적장 확보의 어려움 등 그 처리에 따른 여러 가지 문제가 발생된다. 이러한 환경문제의 해결과 경제성이 있는 폐자원의 재활용 측면에서 페타이어의 재활용을 높이기 위한 다양한 기술개발 및 연구가 국내 여건상 절실히 요구되는 시점에 이르렀다.

본 연구에서는 산업발달로 인한 페타이어의 발생량 증가에 따른 환경오염 문제를 해결하기 위해 페타이어의 무분별한 매립을 방지하고 페타이어를 재활용 하고자 Min(2001)의 자료를 참조하여 건설재료 중 경량 골재의 대체재로 적용함으로써 페타이어 분말의 경량성을 평가하며 페타이어 분말의 역학적 특성을 검토하여 페타이어 분말의 재활용 방안을 제시하고자 하였다.

* Corresponding author E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr

¹한밭대학교 건설환경조형대학 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 34158, Korea)

2. 이론적 고찰

타이어는 크게 고무와 보강재인 스틸, 패브릭 코드로 구성되며 이때 구성비는 Table 1과 같다. 타이어의 사용되는 주요 구성성분은 고무, 카본블랙, 탄산칼슘, SiO₂, TiO₂, 스틸코드, 패브릭 코드, 유기배합물 등이 있다.

페타이어의 발생은 판매업소나 차량정비업소 등에서 전체의 79%, 폐차장에서 21%로 발생량의 대부분을 차지하고 있으며, 1945년 대비 우리나라의 자동차 대수는 2,648배 늘었다. 이는 자동차 역사가 가장 짧은 나라중 하나인 동시에 가장 빠르게 늘어난 나라가 된다. 자동차가 빠르게 늘어나가면서 페타이어의 발생량도 늘어가고 있다. 현재 우리나라의 자동차 보유율은 2.7명당 1대의 자동차를 소유하고 있을 만큼 많은 자동차 수를 보유하고 있다. 앞으로 더욱 늘어날 것을 예상해 본다면 페타이어의 재활용 100%를 이루며 경제성까지 갖추어야 할 것으로 사료된다.

Table 1. Ratio of waste tires

	Rubber(%)	Stiffeners and cord(%)
Small tire	82 ~ 87	13 ~ 18
Large tire	72 ~ 77	23 ~ 28

3. 사용재료

Bae(1997)의 페타이어 조각을 참조한 본 실험에 사용된 페타이어 분말은 0.2, 0.8, 2, 3~5, 5~8(mm) 등의 5가지 규격을 사용하였다. Fig. 1에 사용된 페타이어 분말을 나타내었다. 페타이어는

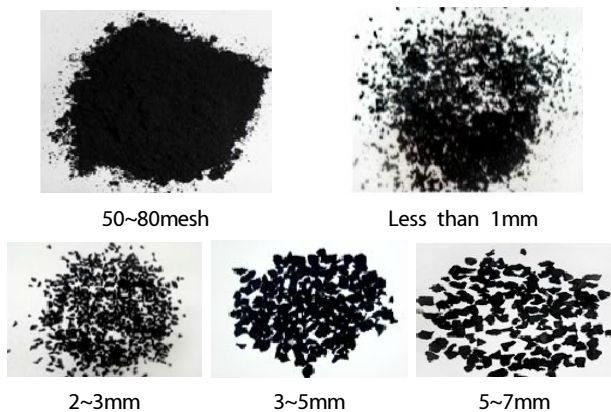


Fig. 1. Waste tire chip size

Table 2. Properties of waste tire chip

Density (g/cm ³)	Loss ignition(%)	Organics (%)	Polymer (%)	Carbon black(%)	Coal ASH(%)
1.16	0.76	9.73	54.1	30.57	5.4

내열, 노화성과 내한성이 우수하므로 추운지방과 더운 지방 모두에 시공할 수 있는 장점이 있고 페타이어가 가지는 절연성과 열전도도 및 내한성 등의 성질은 기존 재료에 비해 우수하므로 이러한 성질을 이용할 수 있는 특수목적의 건축물에도 사용 가능하다. Choi(2005)에 따른 페타이어 미분말의 특성은 Table 2에 나타내었다.

4. 선행 실험

4.1 선행 실험계획

선행실험에서는 페타이어 미분말의 적정 치환량을 알아보고자 하는 실험을 실시하였다. 페타이어 미분말을 0.2, 1~2, 5(mm) 등으로 나누고 미분말 크기별로 0, 20, 40, 60, 80, 100(%) 등을 치환해 실험을 진행하였다. KS L ISO 679의 규격에 의거하여 압축 및 휨강도의 시험을 진행하였으며, 경량성을 확인하기 위해 밀도를 측정하고 양생방법으로는 수중양생을 실시하였다. 강도측정을 통하여 적정 강도를 발현한 배합을 본 실험의 배합으로 선정하였다. Table 3과 Table 4로 선행 실험계획 및 배합을 나타내었다.

Table 3. Experimental plan

Experimental factor	Experimental level	
Binder conditions	Cement, Fine aggregate, Waste tire chip	3
Waste tires ratio	0, 20, 40, 60, 80, 100(wt.%)	6
Curing conditions	Water curing(20±2°C)	1

Table 4. Trial mixture

W/B(%)	C(g)	W(g)	S(g)	Waste tire chip(g)
55	1,200	660	3,600	0
			2,880	720
			2,160	1,440
			1,440	2,160
			720	2,880
			0	3,600

4.2 선행 실험결과

4.2.1 압축강도

Fig. 2는 페타이어 분말의 치환율에 따른 압축강도 측정결과를

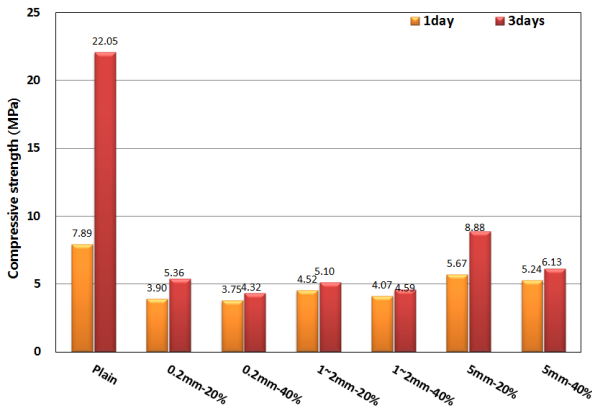


Fig. 2. Compressive strength of waste tire chip according to replacement ratio

나타낸 것으로서, Plain의 강도가 22.05MPa로 가장 높은 강도를 발현하였으나, 페타이어를 치환한 경화체는 Plain에 비해 현저히 낮은 강도를 발현하였다. 또한 페타이어를 치환한 경화체 중에서 5mm-20%가 8.88MPa로 두 번째로 높은 강도발현을 하였으며 페타이어를 치환한 경화체중 5mm-20%를 제외하고는 비슷한 강도를 나타내었다. 전체적으로 페타이어의 치환율이 커질수록 낮은 강도를 나타내는 것을 알 수 있었다. 60, 80, 100(%)의 치환율은 비빔 과정에서 작업성이 떨어져 실험을 지속할 수 없었다. 이는, 페타이어의 높은 흡수율로 인하여 작업성이 떨어지는 것으로 판단된다.

4.2.2 힘강도

Fig. 3은 페타이어 분말의 치환율에 따른 힘강도 측정결과를

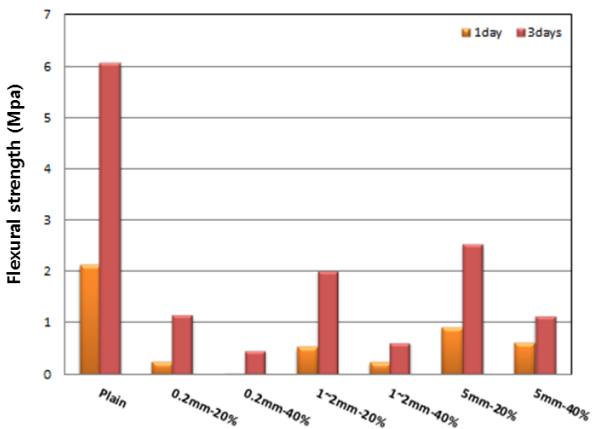


Fig. 3. Flexural strength of waste tire chip according to replacement ratio

나타낸 것으로서, Plain의 경우 6.05MPa로 압축강도와 마찬가지로 가장 높은 강도를 나타내었다. 5mm-20%의 경화체가 2.53MPa로 두 번째로 높은 강도를 발현하였으나, 0.2mm-40%가 0.47MPa로 가장 낮은 강도를 나타내었다. 대체적으로 압축강도와 유사한 경향을 나보였다.

4.2.3 밀도

Fig. 4는 페타이어 분말의 치환율에 따른 밀도 측정결과를 나타낸 것으로서, Plain의 경우 2.20g/cm³으로 가장 높은 밀도를 나타내었다. 페타이어를 치환한 경화체는 Plain에 비해 낮은 밀도를 나타내었으며, 그 중 0.2mm-40%의 경화체가 1.41g/cm³으로 가장 낮은 밀도를 나타내었다. 페타이어 미분말의 입자크기가 작을 수록 밀도는 낮아졌고 페타이어의 치환율이 높아질수록 밀도는 낮아지는 경향을 보였다. 이는 입자크기가 작고 치환율이 높을수록 흡수율이 높아지며, 밀도가 낮아지는 것으로 판단된다.

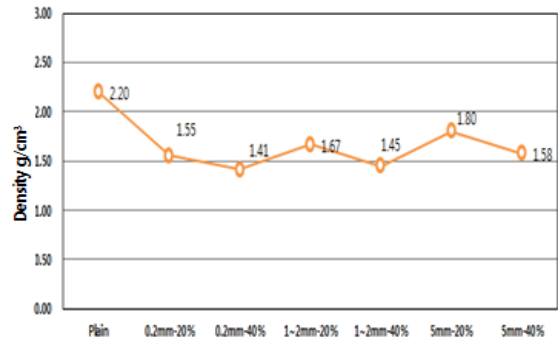


Fig. 4. Density of waste tire chip according to replacement ratio

5. 본 실험

5.1 본 실험계획 및 방법

본 연구는 선행실험을 바탕으로 페타이어 분말의 경량성을 활용하여 페타이어를 치환한 모르타르의 기초성능을 파악하고자 하였다. 페타이어 분말의 적정 치환율을 도출하기 위하여 선행실험에서 도출된 최적의 치환율인 20%를 바탕으로 페타이어 분말의 치환율을 15, 20, 25(%) 등 총 3수준으로 고정하였다. 굳지 않은 성상을 확인하기 위하여 응결을 측정하였고 경량성 측정을 위한 밀도, 흡수율 측정과 압축강도 및 힘강도를 측정하였다. Fig. 5는 본 실험의 비빔방법 이며, 본 실험의 배합은 Table 5에 나타내었다. 응결 측정은 관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결 시간 시험방

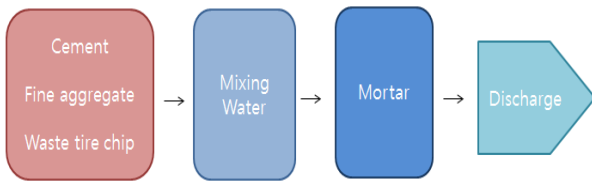


Fig. 5. Mortar mixing method of waste tires

Table 5. Experimental plan

Experimental factor	Experimental level	
Binder conditions	Cement, Fine Aggregate, Waste tire chip	3
Waste tires ratio	0, 15, 20, 25(wt.%)	4
Waste tire powder size	0.2 0.8, 1~2, 3~5, 5~7(mm)	5
Curing conditions	Water curing(20±2℃)	1
W/B	55%	1
Test items	Compressive strength, Flexural strength, Density, Absorption, Setting time	5

법인 KS F 2436에 의해 실시하였으며, 밀도 및 흡수율 측정은 KS F 2459에 의거하여 실험을 실시하였다.

6. 실험결과 및 분석

6.1 응결

Fig. 6은 페타이어 미분말의 입도 크기에 따른 응결 특성에 대한 측정결과로, Plain이 455분으로 가장 빠른 응결시간을 나타냈으며, 페타이어를 치환한 경화체들은 Plain에 비해 응결시간이 많이 지연되는 경향이 보인다. 페타이어 분말을 치환한 경화체 중 5~7mm 경화체가 601분으로 가장 빠른 종결을 나타냈고, 0.2mm 경화체가 712분으로 가장 늦은 응결을 보였다. 분말 크기가 커질수록 응결시

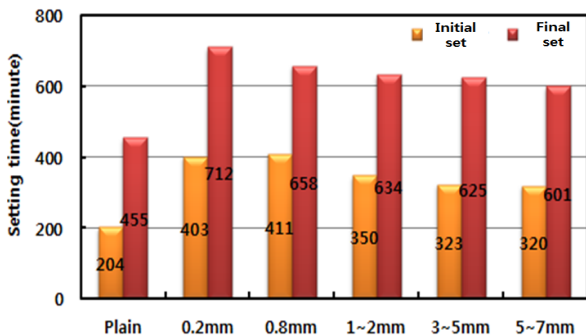


Fig. 6. Setting time of waste tire chip according to replacement ratio

간이 빨라지는 경향이 보인다. 이는 페타이어의 크기가 클수록 입자들의 사이의 간격이 넓어져서 시멘트 페이스트와의 결합력이 높아진 것으로 판단된다.

6.2 밀도

Fig. 7은 밀도 측정결과를 나타낸 것으로서, Plain이 가장 높은 2.19g/cm³로 나타났다. 페타이어 분말의 밀도 중에서는 0.2mm의 크기가 가장 작은 밀도 표준값을 나타냈고 5~7mm의 크기가 가장 높은 밀도 표준값을 보였다. 이는 페타이어 미분말의 크기가 작아질수록 밀도가 작아지며, 페타이어 분말의 치환율이 높아질수록 밀도가 작아지는 경향을 보이고 있다.

6.3 흡수율

Fig. 8은 흡수율 측정결과를 나타낸 것으로서, Plain이 6.73%로 가장 낮게 나타났다. 페타이어 분말을 치환한 경화체중에서는 5~7mm-15%의 경화체가 Plain을 제외한 경화체 중 8.22%로 가장 낮은 흡수율을 보였다. 한편 0.2mm-25%의 경화체는 21.74%로 가장 높은 흡수율을 보였다. 전체적으로 밀도 시험 결과와 정반대인 경향을 보인다. 이러한 경향은 페타이어 분말의 크기가 작고 첨가율이 높을수록 페타이어가 물을 흡수하는 면적이 넓어져 나타난 결과라고 사료된다.

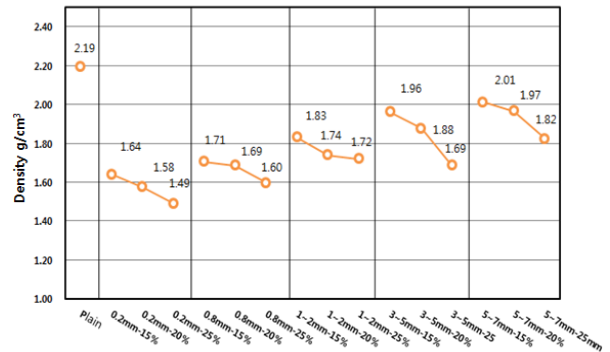


Fig. 7. Density of waste tire chip according to replacement ratio

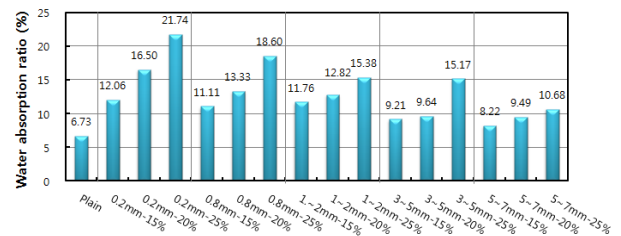


Fig. 8. Absorption of waste tire chip according to replacement ratio

6.4 강도특성

Fig. 9는 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로서, Plain이 33.62MPa로 가장 높은 강도를 발현하였다. 페타이어 분말의 경우 Plain에 비해 현저히 낮은 강도를 발현 하였으며, 5~7mm-15%가 가장 높은 15.05MPa를 나타냈으나 0.2mm-25%의 1.59MPa로 가장 낮은 강도를 발현하였다. 치환율이 높아짐에 따라 강도가 낮아지는 경향을 보였다. 이는 페타이어의 분말이 많아짐에 따라 페타이어의 흡수율이 높아져 낮은 강도를 발현한 것으로 판단된다. 또한, 페타이어 분말의 크기가 커질수록 높은 강도를 발현하였는데 이는 페타이어 분말 사이에 시멘트 페이스트의 유입이 많아지면서 접착력이 높아져 다른 경화체에 비하면 높은 강도를 발현한 것으로 판단된다. Fig. 10은 휨강도 측정 결과를 나타낸 것으로 압축강도와 유

사한 경향을 나타내었다. Plain이 가장 높은 강도를 발현하였으며, 5~7mm-15%의 경화체가 페타이어를 치환한 경화체 중 가장 높은 강도를 발현하였다. 이는 압축강도와 같은 이유로 판단된다.

7. 결론

경량모르타르의 잔골재에 규격이 각기 다른 페타이어 분말을 치환하여 강도 및 밀도 등을 알아보고 사용 가능성을 검토하기 위한 실험으로 그 결과는 다음과 같다.

1. 압축 및 휨강도 시험결과, Plain에 비하여 페타이어를 치환한 경화체는 낮은 강도를 발현하였으며, 5~7mm-15%의 경화체가 가장 높은 강도를 발현하였다.

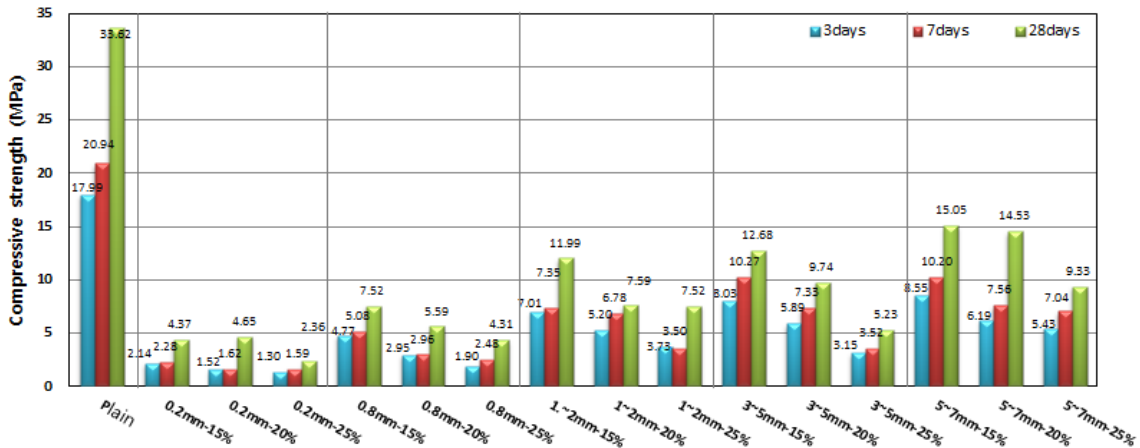


Fig. 9. Compressive strength of waste tire chip according to replacement ratio

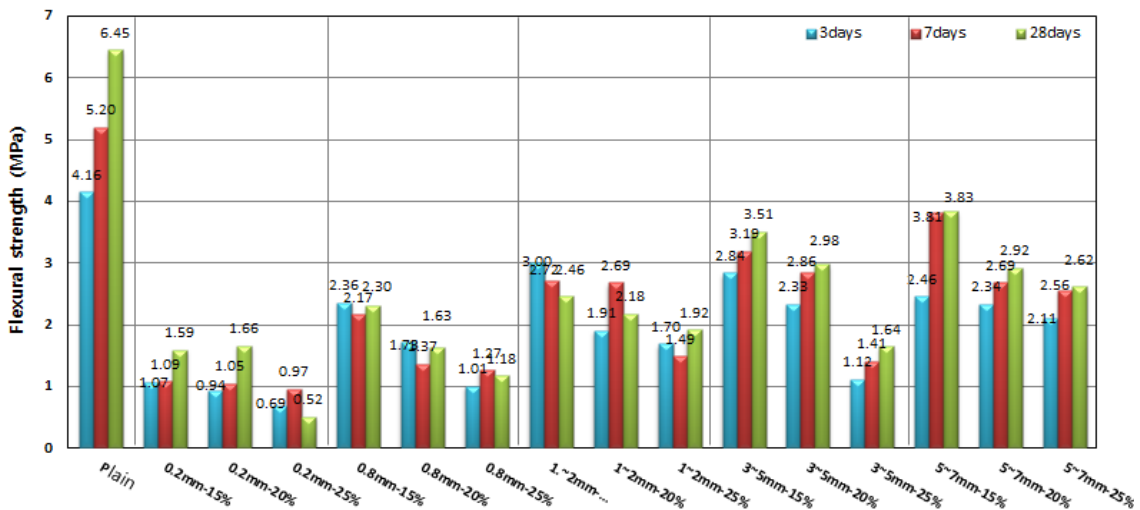


Fig. 10. Flexural strength of waste tire chip according to replacement ratio

2. 밀도 및 흡수율 시험 결과, 밀도는 Plain이 가장 높은 밀도를 나타냈으며 0.2mm-25%의 경화체가 가장 낮은 밀도를 나타내었다. 흡수율은 밀도 시험과 반대의 경향으로 Plain이 가장 낮은 흡수율을 발현하였으며 0.2mm-25 %의 경화체가 가장 높은 흡수율을 발현하였다.
3. 응결 시험결과, 페타이어를 치환한 모르타르의 응결 시간은 Plain이 455분으로 가장 빨랐으며, 0.2mm 페타이어 분말이 712분으로 가장 늦은 응결시간을 보였다.

이후 사업적 측면으로 이어진다면 경량 콘크리트패널 표면재는 밀도 1.8g/cm³, 흡수율 25%이하, 압축강도 10MPa 이상, 휨강도 1.5MPa 이상을 만족하여야 한다. 따라서 밀도 이를 충족해주는 1~2mm-15%의 경화체를 사용하여 연구를 진행하면 적절한 입자 크기 및 치환율로서 사용할 수 있을 것이라 판단된다.

References

Bae, J.S. (1997). A study on the properties of strength and fracture energy of wasted tire-chip added concrete, Journal of Korea Concrete Institute, **9(6)**, 139-146 [in Korean].

Choi, J.N. (2005). Adiabatic characteristic on the mortar-containing waste type powders, Journal of the Korean Society of Safety, **20(2)**, 105-113 [in Korean].

Kim, Y.C. (2001). Study on the Development of Lightweight Concrete Using Wasted Tire Chips, Master's Thesis, Suncheon University [in Korean].

Ko, H.K. (1998). Characteristics of Cement Brick with the Use of Waste Tire Powder and Fly-Ash, Master's Thesis, Kongju National University [in Korean].

Min, T.B. (2011). Study on estimating compressive strength and physical characteristic of lightweight concrete for structure with foam agent, Journal of Korea Concrete Institute, **23(2)**, 263-264 [in Korean].

페타이어 분말의 치환율과 입자크기에 따른 경량 모르타르의 역학적 특성

본 연구는 최근 산업 발전으로 나날이 증가하는 페타이어가 야기시키는 환경오염을 해결하고 페타이어를 재활용함으로써 무분별한 매립을 예방하기 위한 기초 실험이다. 건축 재료의 경량골재를 페타이어분말로 대체함으로써 페타이어분말의 경량성을 검토하고 페타이어분말의 재활용 계획을 제시하고 적용하고자 한다. 선행실험으로 페타이어분말을 20, 40, 60, 80, 100(%) 등으로 치환하여 실행하였고, 측정 항목은 강도와 밀도이다. 본 실험은 선행실험을 기초로 하여 페타이어 치환율을 15, 20, 25(%) 등으로 하였다. 페타이어 골재의 입도는 0.2, 0.8, 1~2, 3~5, 5~7(mm) 등으로 고정하였다. 실험 결과 페타이어 입도 1~2mm, 치환율 15%가 가장 적절한 입자크기 및 치환율 값을 나타내었다.