

일회용 폐마스크를 활용한 다기능성 복합시멘트의 강도 개선 연구 Development of Multi-functional Composite Cement with Strength Improvement Using Disposable Waste Masks

정종원* · 양현경**
Jong-Won Chung* and Hyun-Kyoung Yang**

(Received 11 April 2022, Revision received 14 June 2022, Accepted 14 June 2022)

Abstract : Recently, the cement development is required with various functions as super-high-rise and multi-functional building structures are receiving a lot of attention around world. Disposable masks have become a necessity of daily life since COVID-19 and the main component of the mask is polypropylene. Polypropylene causes serious second environmental pollution when discharged as household waste. For these reasons, interest in recycling and utilization of disposable waste masks is on the rise. In this study, our purpose is a multi-functional composite cement that can improve compressive strength and delay destruction by mixing mask fibers with cement. Cement specimens were cured by adding 0.0, 0.5, 1.0 and 1.5 wt% of the mask fiber based on the cement weight. The highest maximum load was shown when the mask fiber was added at 0.5 wt%. It was confirmed that cement specimen did not rapidly destruction when the mask fiber was added at 1.0 wt% or more. These research results of this study are expected to have various application fields due to required recycling method for waste masks and the development of multi-functional composite cement required for building structures.

Key Words : Disposable waste mask, Recycle, Cement, Cement curing, Compressive strength

1. 서 론

시멘트는 주요 건설용 구조재료로서, 건물, 도로, 교량, 터널, 항만 등 각종 사회간접자본(Social Overhead Capital, SOC)의 확보에 기본이 되는 재료이다.¹⁾ 이러한 시멘트는 물 또는 수용액과 혼합할 때 반응하여 경화하는 무기 재료로 정의할 수

있으며, 크게 내수성이 없어 사용 용도가 한정적인 기경성 시멘트와 일반적으로 건축재료로 사용되는 수경성 시멘트로 구분된다.²⁻⁴⁾ 이 중, 흔히 시멘트라고 하는 것은 수경성 시멘트 중의 하나인 포틀랜드 시멘트를 의미한다. 포틀랜드 시멘트는 다양한 광물 조성비로 되어 있는데, 일반적으로 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2(\text{C}_3\text{S})$ 화합물 51%, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2(\text{C}_2\text{S})$

* 양현경(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2166-5135>) : 교수, 부경대학교 전기전자소프트웨어공학과
E-mail : hkyang@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6868
*정종원(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-9567-0677>) : 초빙교수, 부경대학교 전기전자소프트웨어공학과

** Hyun-Kyoung Yang(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2166-5135>) : Professor, Department of Electrical, Electronics and Software Engineering, Pukyong National University.
E-mail : hkyang@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6868
*Jong-Won Chung(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-9567-0677>) : Visiting Professor, Department of Electrical, Electronics and Software Engineering, Pukyong National University.

화합물 25%, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3(\text{C}_3\text{A})$ 화합물 9%, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{C}_4\text{AF})$ 화합물 4% 및 석고($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)의 기본 조성비를 가지며, 비표면적은 $3,300\text{ cm}^2/\text{g}$ 전후이다.^{4,5)} 각각의 조성비의 변화를 통하여 조강 포틀랜드 시멘트, 초조강 포틀랜드 시멘트, 중용열 포틀랜드 시멘트, 내황산염 포틀랜드 시멘트, 백색 포틀랜드 시멘트로 생산할 수 있다.⁶⁻¹⁰⁾ 전 세계적으로 건축구조물들이 대형화, 초고층화 되고, 특수 환경 아래의 구조물들의 건설이 증가함에 따라 다양한 성능을 지닌 복합시멘트가 요구되고 있다.³⁾ 이러한 요구에 다양한 시멘트가 연구되고 있으며, 초고강도에 연성을 향상한 섬유보강 시멘트 복합체(FRCC: Fiber Reinforced Cementitious Composite), 포틀랜드시멘트-고로슬래그-fly ash계 시멘트, 시멘트-고로슬래그 등의 초저발열 시멘트, colloid 시멘트와 같은 초미분 시멘트, 롤러 전압콘크리트 포장(roller compacted concrete pavement: RCCP) 시멘트 등과 같은 혼합시멘트들이 보고되고 있다.¹¹⁻¹⁵⁾ 이처럼 시멘트에 대한 개념이 확장되면서, 새로운 성능 및 기능을 가진 시멘트의 연구개발은 필수적인 요소로 자리 잡게 되었다.

2019년 전 세계적으로 코비드-19(COVID-19 : Coronavirus Disease-2019, 코로나19) 전염병이 유행하고 있는 팬데믹 현상 속에서, 뚜렷한 치료법이 제시되지 못하고 있는 상황에서 마스크 사용이 방역의 가장 효율적인 수단이 되어 마스크는 생활의 필수품으로 자리 잡게 되었다. 시중에서 쉽게 구할 수 있는 4중 구조 KF94(Korea Filter 94 : 평균 $0.4\ \mu\text{m}$ 크기의 입자를 94% 필터링할 수 있음을 의미) 마스크는 외피, 중피, 정전 필터, 내피의 구조로 되어 있다. 외피는 가장 외부에 있는 부직포 면으로 1차 미세먼지를 걸러 주는 역할을 하며, 중피는 지지체라고도 하면 외피, 정전 필터, 내피에 비해 뽀뽀하여 마스크의 형태를 지지해주는 역할을 한다.^{16,17)} 특히, 미세 먼지나 초미세 먼지와 같은 매우 작은 크기의 입자를 잡기 위해서는 필터만으로는 한계가 있어, 필터에 고압의 정전기 원리를 이용하여 처리된 정전 필터를 사용하여 매우 작은 크기의 입자를 걸러 주는 역할

을 한다.¹⁷⁾ 마지막으로 내피는 피부와 접촉을 하는 부분으로, 피부 자극을 최소화하는 부드러운 안감으로 마무리되는 구조를 보여 준다. 이러한 마스크의 주성분은 플라스틱의 일종인 폴리프로필렌(polypropylene, PP)이며, 이것을 압착하여 초극세 섬유 부직포로 전환한 멜트 블로운(melt blown) 필터이다.¹⁸⁾ 폴리프로필렌은 인체에 유해한 내분비 교란 물질을 배출하지 않는 소재로 마스크, 생리대, 기저귀 등에 널리 사용되며, 멜트 블로운 필터는 유연성, 비투과성, 차단성, 여과성이 우수하여 고성능, 고효율 필터로 널리 사용되고 있다.¹⁹⁾ 하지만 마스크의 주요 성분인 폴리프로필렌은 매립했을 경우, 미생물에 의해 완전히 분해되는 것은 약 450년 정도로 추정된다고 보고되고 있으며, 이것은 우유 팩(5년), 나무젓가락(20년), 금속 캔(100년)보다도 매우 긴 시간이 소요된다.²⁰⁾ 또한 소각시켰을 때는 맹독성 화학 물질인 다이옥신을 발생시킬 뿐만 아니라, 페트병을 소각시켰을 때보다 온실가스를 36% 더 배출시킨다고 보고되고 있다.²⁰⁾ 이처럼 마스크의 사용이 필수적인 상황에서 발생하는 일회용 페마스크로 인한 2차 환경오염 문제가 심각하게 대두되고 있다. 우리나라의 경우 하루 2,000만 개, 연간 73억 개 이상의 일회용 페마스크가 배출된다고 보고되고 있는 상황에서 일회용 페마스크의 재활용 방안은 필수적인 상황이 되었다.²⁰⁾

이에 본 연구에서는 2차 환경오염을 유발하는 일회용 페마스크의 새로운 재활용 방안을 제시하고, 내구성 강화 및 시멘트 구조물의 지연파괴에 적용 가능한 혼합시멘트를 개발하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 일회용 페마스크를 첨가하여 시멘트의 압축강도를 향상하고, 시멘트 구조물의 지연파괴에 적용 가능한 다기능성 시멘트를 개발하는 것이다. 이를 위하여 사용된 일회용 페마스크를 약 $1\text{ cm}\times 1\text{ cm}$ 의 정사각형 형태로 절단한 뒤, 소비전력 500 W, 분쇄 용량 400 ML의 후드 믹서기에 물 1.5 L를 넣은 후 10개 분량의 일회용 페

마스크 조각을 넣어 10분간 분쇄하였다. 이때, 일회용 페마스크의 섬유조직의 효율적인 분쇄를 위하여 일회용 페마스크 조각의 질량 대비 0.1 wt%의 계면활성제를 첨가하여 분쇄를 진행하였다. 수거된 분쇄 마스크의 표면에 존재하는 계면활성제를 제거하기 위하여 여러 차례 세척을 진행한 뒤, 80℃의 건조로에서 24시간 건조를 진행하여 최종 마스크 섬유 조각을 회수하였다.

시멘트의 공시체를 제작하기 위하여 본 실험에서는 KS L 5201 기준에 부합하는 국내 S사의 1종 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, OPC)를 사용하였다. 이때, 포틀랜드 시멘트와 물의 비는 1:0.5로 하였으며, 마스크 섬유 조각을 시멘트 공시체 타설 시 균일하게 분포될 수 있도록 마스크 섬유 조각을 물에 혼합하여 5분간 후드 믹서기를 통하여 분쇄과정을 수행하였다. 이때, 시멘트는 1500 g, 물은 750 g으로 고정하고, 마스크 섬유 조각은 각각 0, 7.5, 15, 22.5 g 첨가하여 전동 드릴을 이용하여 300 rpm으로 10분간 혼합하였다. 혼합된 시멘트는 100 ∅ × 200 mm의 거푸집에 타설을 진행하였다. 24시간 이후 탈형을 진행하고, 탈형 직후 외부 환경의 영향을 최소화하기 위하여 30℃의 건조로에서 3일간 양생을 진행하였다.

본 연구에서 양생시킨 시멘트 공시체의 압축강도를 확인하기 위하여 만능재료시험기(Shimadzu UH-F100A)를 사용하였으며, 공시체의 내부 형상 및 강도 변화의 원인을 분석하기 위하여 주사전자현미경(JSM-6490LV, Mono CL3+, SEM) 및 광학현미경(Amscope, SME-F8BH)을 이용하여 각각의 특성들을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 시멘트 구조체의 압축강도 및 시멘트 구조체의 파괴를 지연시킬 수 있는 다기능성 복합 시멘트를 개발하기 위하여 사용된 일회용 페마스크의 구조와 분쇄된 마스크 섬유 조각의 이미지이다. 시중에서 흔히 구할 수 있는 4중 구조 KF94 일회용 페마스크를 수거하여 구조층의 이미

지를 확인하였다. Fig. 1(a)와 같이 외피, 중피, 정전 필터, 내피의 구조로 되어 있으며, 각층의 재질은 폴리프로필렌의 플라스틱 섬유조직들이 서로 얽혀 있는 것을 SEM 이미지를 통하여 확인할 수 있었다. 특히, 정전 필터의 경우 다른 조직에 비해 미세한 섬유조직들이 촘촘하게 얽혀 있는 것을 확인하였다. Fig. 1(b)는 분쇄된 마스크 섬유 조각의 사진과 SEM, 광학현미경의 이미지이다. 4중 구조의 일회용 페마스크의 귀걸이 부분과 코 받침 부분을 제외한 모든 부분을 분쇄하였으며, 확보된 마스크 섬유 조각은 평균 2.7 mm의 길이를 가지는 것을 확인하였다.

마스크 섬유 조각을 혼합한 시멘트를 양생시켜 제작한 공시체의 강도를 확인하기 위하여 만능시험장치를 통하여 압축강도 시험을 수행하였다. 양생된 공시체의 양면을 연마한 후, 3일째 되는 원기둥 공시체를 KS F 2405의 콘크리트 압축강도 시험방법에 따라 측정하였으며, 재하속도는 1 mm/min로 하여 측정하였으며, 압축강도는 아래의 식 (1)을 이용하였다.

$$f_c = \frac{P}{A_c} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{4}} [MPa] \quad (1)$$

여기서 $f_c [MPa]$ 는 압축강도, $P [N]$ 는 파괴 시 최대하중, $A_c [mm^2]$ 는 공시체의 단면적을 나타낸다. Fig. 2는 마스크 섬유 조각 함량에 따른 공시체의 압축강도 시험 결과를 보여 준다.

Fig. 2(a)는 마스크 섬유 조각이 포함되지 않은 시멘트 공시체로 최대하중 131.095 kN을 보여 준다. Fig. 2(b-d)는 마스크 섬유 조각을 각각 0.5, 1.0, 1.5 wt% 첨가하여 양생한 시멘트 공시체로 최대하중은 각각 184.191, 175.378, 162.134 kN으로 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 각각의 공시체의 압축강도를 계산하면 마스크 섬유 조각이 첨가되지 않은 시멘트 공시체의 경우 16.6915 MPa, 마스크 섬유 조각이 0.5, 1.0, 1.5 wt% 첨가된 시멘트 공시체의 압축강도는 각각 23.4519, 22.3298, 20.6438 MPa로 확인되었다. 마스크 섬유

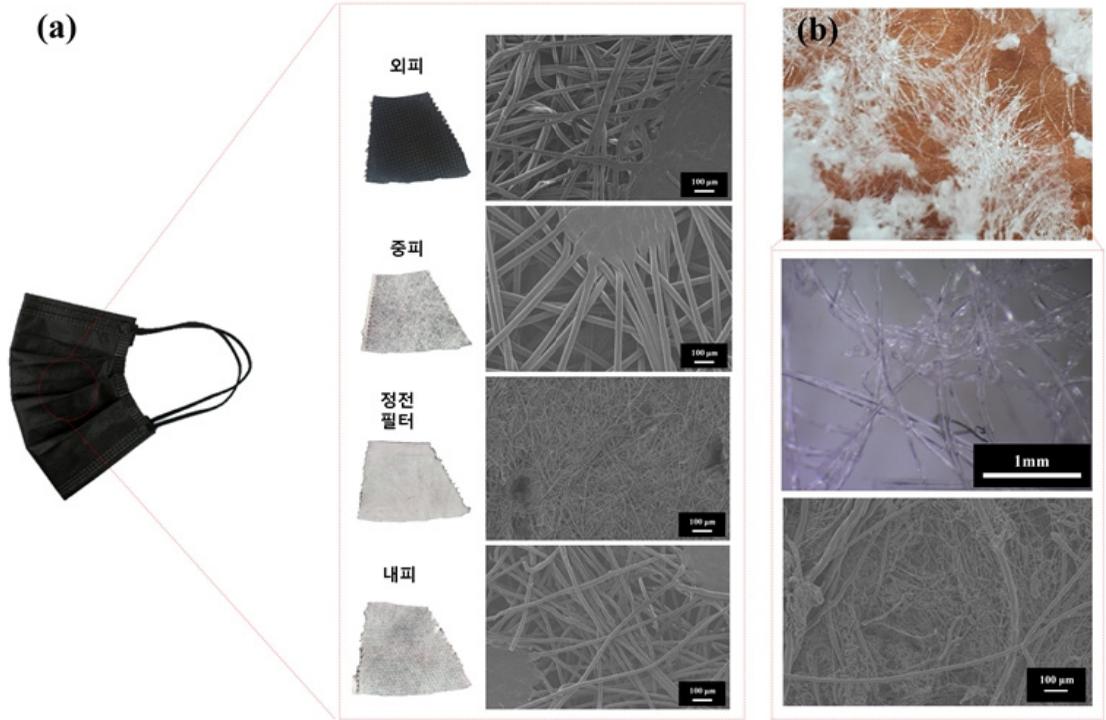


Fig. 1 (a) Photographs and SEM images of quadruple structure disposable mask each layer, (b) optical microscope and SEM images of a crushed mask fiber fragment

조각이 첨가되면 순수한 시멘트 공시체에 비해 최대하중 및 압축강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 시멘트 제조회사인 S사에서 공시한 3일 차 층죽 압축강도 12.5 MPa 이상의 결과를 확인하였으며, 이 결과는 Table 1에 나타내었다. 하지만, 마스크 섬유 조각이 0.5 wt%보다 과량 첨가될수록 시멘트 공시체가 견디는 최대하중 및 압축강도는 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1 Compressive strength of cement samples (Mask fiber fragment content ratio No. 1: 0 wt%, No. 2: 0.5 wt%, No. 3: 1.0 wt%, No. 4: 1.5 wt% and etc.: “S” company physical properties cement performance indicator)

Samples	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	etc.
compressive strength [MPa]	16.69	23.45	22.33	20.64	12.5 이상

또한 Fig. 2(a)의 순수 시멘트 공시체의 경우에는 최대하중에 도달하기 전 초기균열 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다^{21,22}(Fig. 2(a) 화살표 표시). 그리고 최대하중 이후 Fig. 2(a)와 (b)에서는 파괴 구역(broken area / 노란색 사각 박스 부분)에서 급격한 강도 하강 현상을 보여 주는 반면, fig. 2(c)와 (d)에서는 최대하중 이후 일정한 강도 하강을 보여 주고 있다. 이것은 공시체 샘플의 파괴 유무에 관계하고 있으며, 특히 Fig. 2(b)의 경우 파괴 구역 이후에 공시체가 받는 하중의 크브가 톱니처럼 나타나는데, 이것은 마스크 섬유 조각의 조직들이 내부에서 시멘트 조직들 사이에서 지지하는 힘과 파괴되는 힘이 반복적으로 나타나는 현상에 기인하는 것으로 판단된다.

Fig. 3을 통하여 마스크 섬유 조각의 함량에 따른 시멘트 공시체 샘플의 최대하중과 파괴 시 하중의 관계에 관한 결과이다. 마스크 섬유 조각이

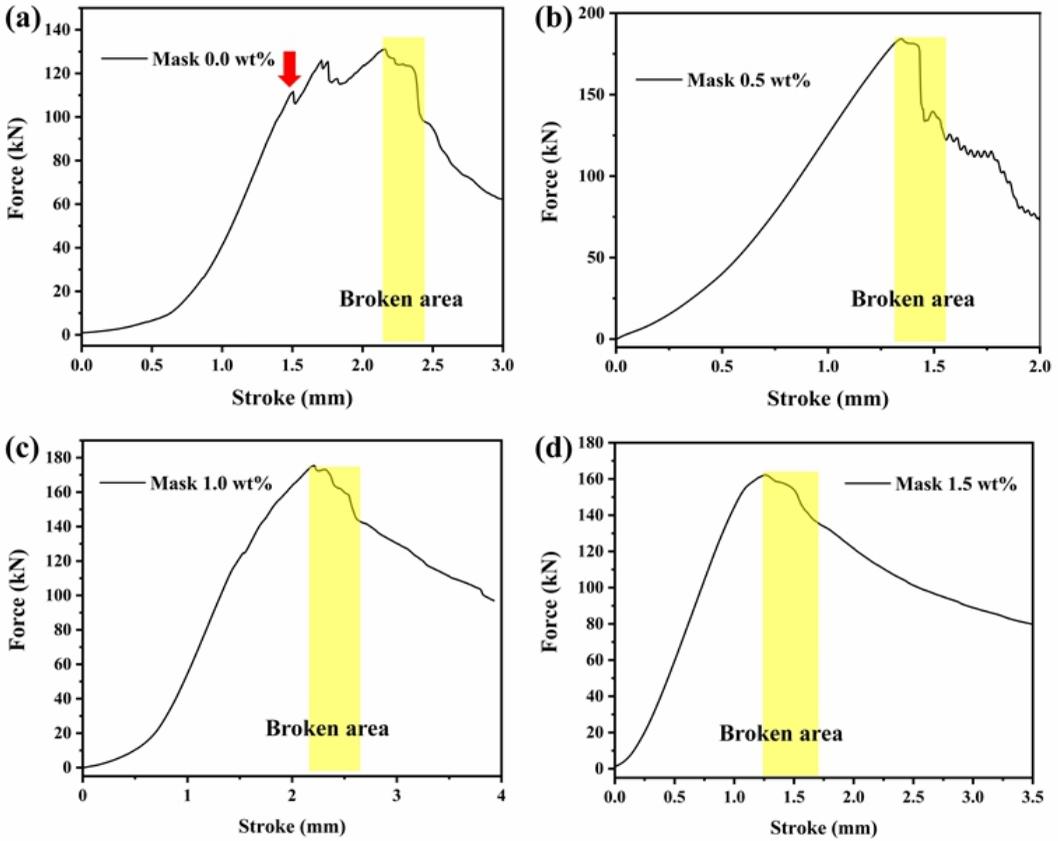


Fig. 2 Universal testing machine results of cement specimen samples according to (a) 0.0 wt%, (b) 0.5 wt%, (c) 1.0 wt% and (d) 1.5 wt% by mask fiber fragment content

0.5 wt% 첨가되었을 때 가장 높은 최대하중을 보여 주지만, 1.0 wt%에서 파괴가 종료되는 시점에서 가장 높은 하중을 보여 주었다. 특히, 마스크 섬유 조각이 1.0 wt% 이상 첨가되었을 경우, 파괴 종료 시점의 하중은 마스크 섬유 조각이 첨가되지 않은 공시체 샘플의 최대하중보다도 높은 하중을 보여 주었다. 그리고 마스크 섬유 조각의 첨가량이 증가할수록 파괴 종료 이후부터 측정 종료 시점까지 하중의 감소 기울기가 완만해지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 마스크 섬유 조각의 섬유 조직에 공시체 내부의 힘이 분산되면서 전체적으로 지지력이 향상된 것으로 판단된다. 이러한 결과를 통하여 마스크 섬유 조각의 첨가는 시멘트 공시체의 파괴를 지연시키는 역할을 하는 것으로 사료된다.

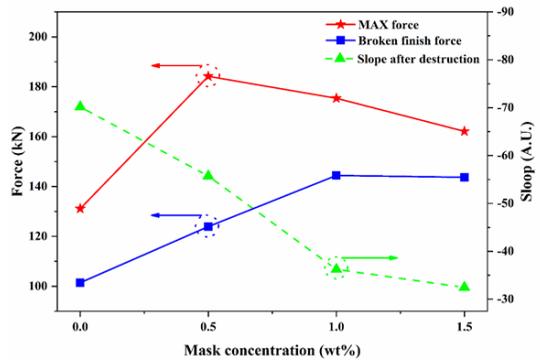


Fig. 3 Comparison of the maximum load, load at the destruction finish and trends after the destruction finish by mask fiber fragment contents

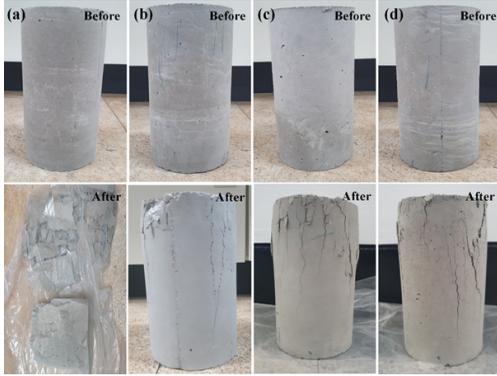


Fig. 4 State comparison of cement specimen samples before and after universal test analysis (mask fiber fragment content: (a) 0.0 wt%, (b) 0.5 wt%, (c) 1.0 wt% and (d) 1.5 wt%) content

Fig. 4는 공시체 샘플들의 압축강도 시험 전후의 파괴 정도를 보여 주는 결과이다. Fig. 4(a)는

마스크 섬유 조각이 첨가되지 않은 순수 시멘트 공시체 샘플로 압축강도 시험 후 완전히 파괴되어 기존의 형태를 확인할 수 없었다. 그리고 Fig. 4(b-d)는 마스크 섬유 조각이 각각 0.5, 1.0, 1.5 wt% 첨가된 공시체 샘플들로 압축강도 시험 후 측면부의 균열이 발생은 하였지만, 전체적으로 시험 전 공시체의 형태를 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 마스크 섬유 조각이 0.5 wt% 첨가된 공시체의 경우 힘이 눌러지는 상판 부분이 일부 파괴되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 Fig. 2(b)의 결과에서 볼 수 있듯이, 마스크 섬유 조각의 함량이 미량일 경우 시멘트 사이에 유입되지 않은 부분에서 급격한 강도 하강에 의한 파괴 현상이 발생한 것으로 확인된다. 이러한 결과는 마스크 섬유 조각의 섬유 조각이 공시체 제작 과정에서 시멘트 사이에 유입되면서 공시체 내에서 강도의 강화 및 파괴를 지연시키는 지지대 역

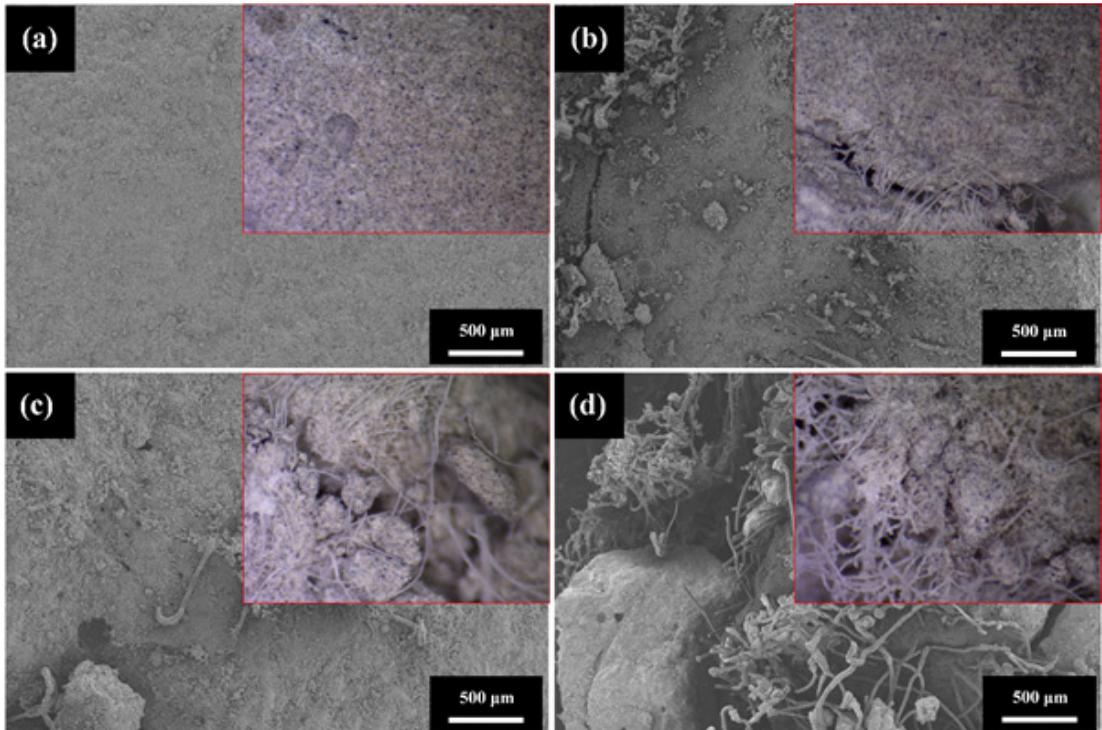


Fig. 5 SEM images of pieces of broken cement specimen samples by mask fiber fragment contents (a) 0.0 wt%, (b) 0.5 wt%, (c) 1.0 wt% and (d) 1.5 wt% (inset: optical microscopy images for each content)

할을 하는 것으로 예상할 수 있다. 이것은 Fig. 2(c), (d)의 최대하중 이후 급격한 강도 하강이 발생하지 않는 결과와 일치한다. 마스크 섬유 조각이 첨가되었을 경우, 공시체의 형태가 유지되는 현상을 확인하기 위하여 균열되어진 파편의 일부분을 채취하여 SEM과 광학현미경을 이용하여 파편의 상태를 분석하였다.

Fig. 5(a)는 마스크 섬유 조각이 첨가되지 않은 공시체의 파편에서 관측된 SEM 사진이며, 삽화된 것은 광학현미경 사진이다. 표면은 매끈하며 시멘트의 구성 요소들이 골고루 분포된 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5(b-d)는 마스크 섬유 조각이 각각 0.5, 1.0, 1.5 wt%가 첨가된 공시체의 파편에서 관측된 SEM 사진들이며, 삽화된 것은 광학현미경 사진들이다. 전체적으로 시멘트 파편들 사이에 마스크 섬유 조각의 섬유질이 분포된 것을 확인할 수 있었으며, 마스크 섬유 조각의 함량이 많을수록 섬유질은 더욱 촘촘히 분포된 것을 볼 수 있다.

이와 같은 결과들은 통하여 일회용 페마스크를 이용하여 상용 시멘트에 첨가했을 경우, 시멘트 공시체의 최대하중 및 압축강도가 향상되는 것을 확인하였으며, 공시체가 파괴되지 않고 일정 형태를 유지하는 힘을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들은 페마스크의 재활용으로 인한 2차 환경오염을 줄일 수 있으며, 지진과 같은 자연재해로부터 건축물의 붕괴를 지연시킬 수 있는 산업적으로 응용성이 매우 클 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 코로나19 이후 급격히 늘어나 일회용 페마스크의 재활용 활용방안을 제시하고, 초고층화 다기능성 건축 구조물에서 요구되는 복합시멘트의 개발에 대한 연구를 수행하였다. 시멘트 공시체의 제작은 시중의 "S"사의 포틀랜드 시멘트와 물의 비율 1:0.5로 하였으며, 마스크 섬유 조각의 함량은 포틀랜드 시멘트의 질량 대비 0.0, 0.5, 1, 1.5 wt%로 첨가하여 100 \varnothing × 200 mm의 거푸집에 각각의 배합비에 따라 타설을 진행한

후, 30℃의 건조로에서 3일간 양생을 한 후, 만능재료시험기를 통하여 압축강도를 측정하였다. 마스크 섬유 조각이 함유된 경우 최대하중 및 압축강도가 증가하는 것을 확인하였으며, 마스크 섬유 조각의 함량이 증가할수록 최대하중 이후 급격한 강도 하강이 발생하지 않는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 마스크 섬유 조각의 섬유조직에 의해 공시체 내부의 힘을 분산시켜 공시체의 파괴를 지연시키는 결과를 보여 주었으며, 이는 공시체 샘플이 파괴되지 않고, 측면 부분의 균열만 발생하는 결과를 도출하였다. SEM과 광학현미경을 통하여 공시체의 잔해 파편의 분석을 통하여 마스크 섬유 조각의 섬유질에 의하여 양생된 시멘트는 섬유조직과 시멘트 파편 간에 상호 엉겨 붙어 있는 현상을 확인하였으며, 이러한 이유로 공시체의 내부 강도 강화 및 파괴 현상이 지연되는 것으로 판단된다.

이러한 연구 결과는 일회용 페마스크의 새로운 재활용 방법을 제시하는 것은 물론, 나아가 초고층 및 다기능 시멘트 건축 구조물에서 요구되는 다기능성 복합시멘트로의 활용이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2021년도 연구개발특구진흥재단 기술이전 R&BD 사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2021-BS-RD-0128-01-101)

Author contributions

J. W. Chung; Writing-original draft & editing, Conceptualization, Data curation, Formal analysis. H. K. Yang; Writing-review & editing, Funding acquisition, Project administration.

References

1. B. Kim, 2021, "A Study on the Museum of Industrial History through Industrial Heritage:

- Focused on the case of Mungyeong Cement Plant", *Journal of Culture Industry*, Vol. 21, No. 3, pp. 15-23.
(DOI:10.35174/JKCI.2021.09.21.3.15)
2. C. Y. Im, T. S. Eom and J. Y. Lee, 2005, "Cement · concrete early strength, rapid hardening technology", *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 7, No. 25, pp. 10-21.
 3. G. D. Nam, 1999, "The development history of the cement industry in Korea", *The Korean Ceramic Society*, Vol. 2, No. 2, pp. 5-9.
 4. S. H. Choi, 1995, "Type of cements", *Korean Cement Association*, Vol. 141, pp. 67-71
 5. S. W. Chang, H. M. Yoo, D. S. Park, T-S. Oh and K-S. Bae, 2008, "Ingredients and cytotoxicity of MTA and 3 kinds of Portland cements", *Journal of Korean Academy of Conservative Dentistry*, Vol. 33, No. 4, pp. 369-376.
(DOI:10.5395/jkacd.2008.33.4.369)
 6. Y. J. Son, D. J. Park, B. S. Lee and C. Y. Lim, 2020, "A Study on the Application of PHC Pile in Type III Early Strength Portland Cement", *Korea Concrete Institute*, Vol. 32, No. 2, pp. 317-318.
 7. T. G. Lee, Y. R. Kim, Y. C. Song, J. H. Lee, C. J. Park and J. H. Park, 2019, "Evaluation on Strength Development of High Early Strength Concrete for Horizontal Form Removal", *Korea Concrete Institute*, Vol. 31, No. 2, pp. 517-518.
 8. N. J. Cho, S. J. Hwang, H. W. Bang, T. Y. Cho and J. L. Lee, 2018, "A Study on the Development of Concrete Specimens for Nuclear Power Plant Using Type I Cement", *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 5, pp. 165-170.
(DOI:10.9798/KOSHAM.2018.18.5.165)
 9. S. A. Lee and K. Y. Ann, 2018, "Evaluation on Sulfate Resistance of the High-durability Culvert using CAC and GGBS", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 30, No. 5, pp. 465-472.
(DOI:10.4334/jkci.2018.30.5.465)
 10. S. P. Kang and H. J. Kang, 2018, "Strength Characteristic and Color Difference Analysis of Cement Mortar According to the Amount of Liquefied Red Mud", *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol. 6, No. 2, pp. 146-152.
(DOI:10.14190/JRCR.2018.6.2.146)
 11. H-S. So and S-Y. So, 2009, "An Experimental Study on the Strength Development of Ultra-High Strength Steel fiber Reinforced Cementitious Composites" *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 25, No. 7, pp. 63-70.
 12. K. S. Shin and L. Choi, 2003, "About the Rightness of Using Blast-Furnace Slag Fine Powder as Admixture in Ready-Mixed Concrete Industry", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 15, No. 2, pp. 8-12.
(DOI:10.22636/MKCI.2003.15.2.8)
 13. D. J. Yeo, B. S. Lee and K. W. Ko, 2021, "Strength Evaluation of Soil Stabilization Material using Fine Powder Bottom Ash", *Korea Academy-Industrial Cooperation Society*, Vol. 22, No. 9, pp. 315-323.
 14. S. H. Song, H. H. Yong and Y. B. Kim, 2009, "Verification of Reinforcement with Grouting Materials in a Small Scale Reservoir Dike using Surface and Borehole Electrical Resistivity survey", *Jigu-Mulli-wa-Mulli-Tamsa*, Vol. 12, No. 3, pp. 239-245.
 15. E. Rahmani, M. K. Sharbatdar and M. H. A. Beygi, 2020, "A comprehensive investigation into the effect of water to cement ratios and cement contents on the physical and mechanical properties of Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP)", *Construction and Building Materials*, Vol. 253, No. 30, pp. 119177-119156.
(DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119177)

16. H-B. Im and J-M. Kim, 2020, "Analysis of Hygienic Face Mask Structures and Designs for Adults", The Journal of the Korean Society of Knit Design, Vol. 18, No. 3, pp. 103-109.
(DOI:10.35226/kskd.2020.18.3.103)
17. S. Y. Han, 2017, "Structural analysis and design proposal of fine dust mask with nanofiber filter fabricated using electrospinning", Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology, Vol. 27, No. 4, pp. 191-195.
(DOI:10.6111/JKCGCT.2017.27.4.191)
18. J. D. Lee, Y.K. Hong and K. S. Bae, 2005, "Development of composite filter with high performance meltblown non-woven", Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers, Vol. 17, No. 2, pp. 40-45.
19. Z. Wang, G. Chen, X. Hong, J. Yu, J. Zhang, Y. Ding, Q. Lou and H. He, 2022, "Study on charge characteristic of melt-blown polypropylene electret fabric by hydrocharging technique", Journal of Electrostatics, Vol. 116, pp. 103683-103687.
(DOI:10.1016/j.elstat.2022.103683)
20. K. W. Kang and M. K. Kim, 2021, Chosunilbo, 26, April.
(https://www.chosun.com/national/national_general/2021/04/26/UDKKJTJQ2JFSTLFRFBJFNPWDHI/)
21. I. S. Park and J. J. Shim, 2010, "The study for reduction of stress concentration at the stepped shaft according to two types of external force", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 47-52.
22. W. T. Jung, Y. S. Kim and S. J. Kim, 2010, "Weibull statistical analysis of elevated temperature tensile strength and creep rupture time in stainless steels", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 56-62.