



이미지 분석을 활용한 합성수지 혼입 모르타르의 특성 및 미세구조 분석

이빛나¹⁾ · 민지영¹⁾ · 이종석^{1)*} · 이장화¹⁾

¹⁾한국건설기술연구원 구조융합연구소

Microstructure and Properties of Mortar Containing Synthetic Resin using Image Analysis

Binna Lee,¹⁾ Jiyoung Min,¹⁾ Jong-Suk Lee,^{1)*} and Jang-Hwa Lee¹⁾

¹⁾Korea Institute of Civil Engineering and Building Construction Technology, Goyang, Gyeonggi 10223, Rep. of Korea

ABSTRACT Commercial synthetic resins with great amount of hydrogen atoms were investigated for neutron shielding aggregates. Total three types of resins were considered in this study: high density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), and ultra molecular weight polyethylene (UPE). When these resins replaced 20, 40, 60 vol% of fine aggregates, mechanical properties were first evaluated including compressive and tensile strengths, and then image/microstructure analyses such as cross-section analysis, SEM, and X-ray CT were performed. The results showed that the compressive and tensile strengths decreased with the increase of replacement ratio of HDPE and PP, which was found through image analysis that it was closely related to the distribution of resins at the failure surface of test specimens. The strength reduction of UPE was quite small compared to HDPE and PP but it abruptly increased when the replacement level exceeded 60 vol%. The results of microstructure analyses indicated that the replacement level significantly affected the amount of air void so that it is critical to determine the reasonable amount of UPE to make cementitious materials for neutron shielding.

Keywords : synthetic resins, neutron shielding, image analysis, SEM, X-ray CT

1. 서 론

콘크리트는 지난 200여년간 가장 널리 사용되고 있는 재료 중 하나로 경제적이고 안전성 및 내구성이 우수한 재료이기 때문에 건설 재료로서 광범위하게 사용되고 있다. 최근 콘크리트의 단점을 보완하고자 강재 및 유리섬유 등을 혼입하거나 유기화합물인 폴리머를 함침시키는 등 연구가 활발하게 진행되어 왔다.¹⁾

특히나 고분자 기술로 생성된 유기화합물과 콘크리트를 조합하여 사용할 경우 인장강도, 휨강도, 접착성 등을 개선시키는데 우수한 효과가 있으며 내구적이고 안정적인 구조재료로서의 역할을 할 수 있어 다양한 용도로 개발이 이루어지고 있다.²⁾ 그 중의 한 예로 사용후핵연료 등에서 발생하는 중성자를 차폐하기 위한 목적으로 한 연구이다.^{3,4)}

최근 미국, 일본 등에서는 고분자물질 및 신소재를 이용하여 중성자 차폐체를 개발하고 있으며 국내에서도 이를 벤치마킹한 제품 등이 다수 개발되고 있다.^{5,6,7,8)} 이러한 차폐체는 주로 에폭시 수지 및 첨가제, 보론 등을 액상으로 혼합하여 보조 차폐체로 사용할 수 있는 블록타입의 제품에 국한되어 있거나 수소 및 붕소를 분말형태로 만들어 콘크리트 표면에 분사하여 얇은 코팅막을 형성하는 방법 등의 연구가 진행되고 있다.^{9,10)} 그러나, 블록타입의 차폐체나 코팅막을 사용할 경우 초기 건설비용이 증가하고 콘크리트의 직접적인 재료로서 활용되기보다 2차적인 부재로 사용되기 때문에 사용의 제한이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 생산되는 합성수지를 차폐용 골재로 활용하여 경제적이면서, 부재의 크기, 형상 등에 제한을 받지 않는 중성자 차폐 콘크리트로서의 적용성을 검토하고자 한다.

합성수지는 기본 성분이 수소와 탄소이기 때문에 고속 중성자의 차폐에 효과적이다. 따라서 합성수지를 골재 대체제로 사용할 경우 건설 초기비용을 큰 폭으로 절감할 뿐만 아니라 향후 방사성 폐기물 저감에도 도움이 될 것으로 판단된다. 본 연구에는 현재 생산되는 합성수지 중 경제적이면서 수소 및 탄소 함량이 높은 고밀도 폴리에

*Corresponding author E-mail : jslee@kict.re.kr
 Received July 13, 2015, Revised October 21, 2015,
 Accepted October 28, 2015
 ©2016 by Korea Concrete Institute

틸렌과 이와 유사한 성분을 함유하고 건설 재료로 활용도가 높은 폴리프로필렌을 사용하였다. 또한, 앞의 고밀도 폴리에틸렌과 동일한 성분이지만 분자량 및 입자 사이즈가 다른 초고분자량 폴리에틸렌을 추가적으로 선정하여 사용하였다.

사용된 합성수지를 대상으로 첨가량을 변수로 모르타르의 기본 물성 시험을 실시하여 역학적 특성에 대한 분석을 수행하였다. 또한, 합성수지를 혼입한 모르타르의 구성 성분 및 내부 분포 상태를 파악하기 위해 이미지 분석을 활용하였고, 이러한 결과를 3D 이미지로 나타내었다. 이를 통해 합성수지를 골재 대체제로서의 사용 가능성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험개요

본 연구에서 합성수지가 혼입된 모르타르의 물리적 성능 및 미세구조 분석을 위해 Table 1과 같이 실험을 계획하였다. 선정된 합성수지는 고밀도 폴리에틸렌(High density polyethylene, 이하 HDPE), 폴리프로필렌(Polypropylene, 이하 PP), 초고분자량 폴리에틸렌(Ultra-high molecular weight polyethylene, 이하 UPE)으로 총 3가지 종류를 사용하였다. 합성수지는 HDPE를 기준으로 잔골재의 20%, 40%, 60%의 부피에 해당하는 양을 치환하여 설정하였으며 PP와 UPE는 HDPE와 비교를 위하여 동일한 양을 첨가하여 배합을 하였다. 따라서, 합성수지의 종류 및 치환율에 따라 9가지 배합을 Table 2와 같이 설정하였으며, 합성수지를 사용하지 않은 모르타르(MOR)와 물성을 비교하였다.

물성분석을 위해 굳지 않은 모르타르에서 플로우 테스트를 수행하였고 경화 상태에서는 압축 및 인장강도를 측정하였다. 또한, 이미지 분석 프로그램을 사용하여 파단면의 실면적을 계산하였고 모르타르 내부의 합성수지 분포 및 미세 구조를 분석하기 위해 SEM 및 X-ray CT

Table 1 Experimental plan

	Factor	Type
Mixture	W/C	0.485
	Synthetic resin	- HDPE - PP - UPE
	Synthetic resin contents(%)	0, 20, 40, 60
Experiment	Fresh mortar	Slump Flow
	Hardened mortar	- Tensile strength - Compressive strength
		Cross section image
		SEM
X-ray CT		

Table 2 Details of tested mortar mixtures

No.	W/C ratio	Cement [g]	Water [g]	Fine aggregate [g]	Synthetic resin [g]
MOR	0.485	3978.4	1929.5	9747.1	0
H-20 (HDPE)	0.485	3978.4	1929.5	7797.7	97.9
H-40 (HDPE)	0.485	3978.4	1929.5	5848.3	195.8
H-60 (HDPE)	0.485	3978.4	1929.5	3898.9	293.7
P-20 (PP)	0.485	3978.4	1929.5	7797.7	97.9
P-40 (PP)	0.485	3978.4	1929.5	5848.3	195.8
P-60 (PP)	0.485	3978.4	1929.5	3898.9	293.7
U-20 (UPE)	0.485	3978.4	1929.5	7797.7	97.9
U-40 (UPE)	0.485	3978.4	1929.5	5848.3	195.8
U-60 (UPE)	0.485	3978.4	1929.5	3898.9	293.7

Table 3 Chemical composition of OPC

Cement	Components(%)				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaO
OPC	21.01	6.40	3.02	2.14	61.33

Table 4 Physical properties of aggregates

Size (mm)	Density(20°C, g/cm ³)		Absorption (%)	Fineness modulus(FM)
	saturated surface-dry condition	oven-dry condition		
≤10	2.559	1.09	2.62	2.59

촬영을 수행하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 Table 3 및 Table 4와 같으며 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트(비중 3.15 g/cm³, 분말도 3,800 cm/g), 잔골재는 국내 A사의 제품을 사용하였다.

한편 잔골재 대체제로 사용된 합성수지는 다른 고분자 물질에 비해 수소의 함량이 높은 HDPE, PP 및 UPE로 자세한 형상 및 물성은 Fig. 1, Table 5와 같다.

HDPE는 입자사이즈가 약 5 mm로 슬러리 공법으로 생산되었으며 바이모달(Bi-modal) 형태의 분자량 분포 곡선을 갖는 합성수지로 평균 분자량이 약 35만개이다. PP는 프로필렌(Propylene) 단독으로만 중합된 호모 폴리프로필

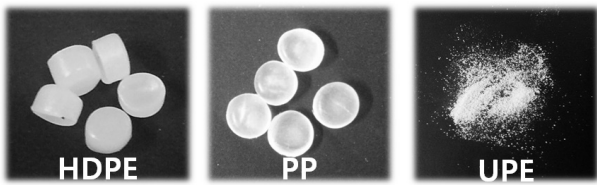


Fig. 1 Particle shape of synthetic resins

Table 5 Physical properties of synthetic resins

	HDPE	PP	UPE
Particle size (mm)	5	5	0.120
Weight-average Molecular weight (g/mol)	3.5×10^5	3.5×10^5	5×10^6
Melting index (g/10min)	0.035	0.5	0.1
Density (g/cm ³)	0.956	0.900	0.930
Yield stress (MPa)	31.4	36	17
Elongation at breaking (%)	>500	>100	>50
Flexural modulus (MPa)	77	1570	720

렌으로 분자량 및 사이즈가 HDPE와 유사하다. 또한, UPE는 입자 사이즈가 120 μm 로 평균 분자량이 약 500만개이다.

2.3 실험체 제작 및 실험방법

굳지 않은 모르타르의 시험방법으로 슬럼프 실험의 경우 KS L 5111에 준하여 측정하였다. 한편 경화된 모르타르의 시험방법으로 압축강도 시험은 KS L 5105에 준해 50×50×50 mm인 정육면체 공시체를 배합당 3개씩 제작하였고 재령 28일에 각각의 강도를 측정하여 평균값을 기록하였다. 인장강도 시험은 KS L 5104에 준하여 수행하였으며 공시체는 압축강도 시험체와 동일하게 배합당 3개씩 제작하여 재령 28일 강도를 측정하였다.

한편, 시험이 끝난 인장 시험체의 파단면을 화상 촬영하여 이미지화하고 그 이미지를 합성수지 영역과 그 외 영역으로 단순화하였다. 이때 합성수지는 8비트 이미지의 픽셀(pixel)로 표현하였으며 각 픽셀은 256단계의 값(0부터 255까지의 범위로 255에 가까울수록 밝은색으로 표현)으로 표현된다. 이때, 실제 시험체와 화상 이미지를 상호 비교하여 픽셀의 밝기가 220 이상이 되는 구간을 합성수지의 영역으로 설정하였다.

X-ray CT 촬영은 6.18 μm^3 의 해상도를 얻을 수 있는 마이크로포커스 X-ray 튜브가 장착된 X-EYE CT system (SEC corporation)을 이용하여 각 시편의 내부 구조를 영상화하였다. 적용된 전압 및 전류는 150 kV 및 100 mA이며 투사 즉시 X-ray 감쇠 정보를 수집하기 위해 CCD 카메라를 사용하였다. 이때 HDPE 및 PP의 알갱이가 이미지 장치에서 효과적으로 분석될 수 있도록 시험체 사이즈를 50×50×50 mm인 정육면체로 제한하였다. 그러나 UPE의 경우 입자 사이즈가 약 120 μm 의 미분말로써 50×50×

50 mm 크기에서는 해상도가 떨어지기 때문에 10×10×50 mm 인 육면체로 가공하여 촬영하였다. X-ray CT로 획득한 영상은 HDPE 및 PP의 경우 0.0625 mm (dx=dz), UPE는 0.0162 mm (dx=dz)로 각각 x, y축으로 총 1024개의 절단면의 영상을 획득하였고, 획득한 영상을 기반으로 3차원 이미지로 표현하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 플로우 테스트

Fig. 2는 합성수지 혼입율에 대한 모르타르의 플로우 변화를 나타낸 결과이다. HDPE 및 PP의 경우 치환율이 증가함에 따라 전반적으로 플로우 값이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 HDPE와 PP의 알갱이가 둥근 형태로 모르타르 내 재료들 사이에서 볼베어링 효과를 증진시켜 플로우가 커진 것으로 판단된다.

반면, UPE는 상기 경향과 달리 치환율이 증가할수록 플로우가 감소하였다. 이러한 경향은 UPE의 입자가 120 μm 인 미분말이기 때문에 잔골재가 차지하는 비표면적이 증가한 것으로 추정되며 이로 인해 시멘트와 접하는 배합수의 양이 저감된 것으로 판단된다. 이러한 배합수의 저감으로 인해 UPE를 혼입한 모르타르의 플로우가 일반 모르타르보다 낮은 값을 보여준 것으로 판단된다.

3.2 강도특성

3.2.1 압축강도

Fig. 3는 합성수지를 혼입한 모르타르 시편의 압축강도를 나타낸 그래프이다. 압축강도는 합성수지의 종류에 상관없이 전반적으로 강도가 저하되는 양상을 보였다. 이러한 원인은 합성수지가 비친수성 물질로 모르타르 내 합성수지와 시멘트 매트릭스 계면의 부착이 약하기 때문에

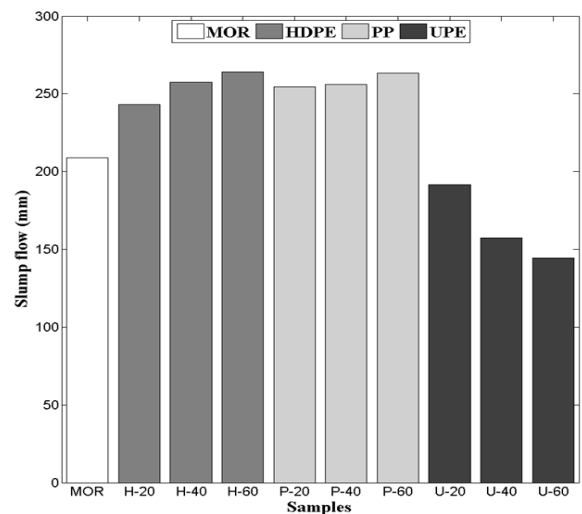


Fig. 2 Slump flow of mixtures

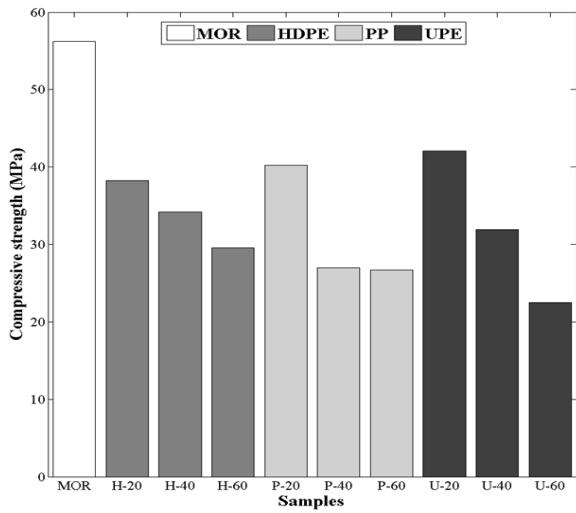


Fig. 3 Compressive strength depending on Synthetic resin contents

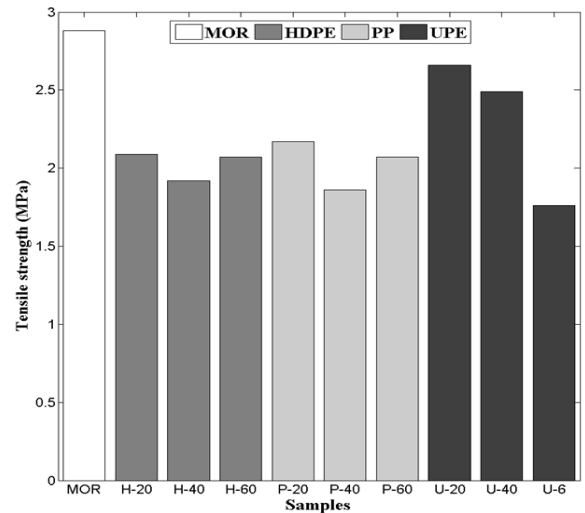


Fig. 4 Tensile strength depending on Synthetic resin contents

강도가 저하된 것으로 추정된다.

또한, 합성수지는 입자의 표면이 둥글고 매끄러운 상태로 가공되고 규격화된 사이즈로 생산되기 때문에 잔골재의 입도분포에 영향을 준 것으로 사료된다. 이러한 복합적인 요인으로 합성수지를 혼입한 모르타르 전체의 강도가 저하된 것으로 판단된다.¹¹⁾

3.2.2 인장강도

Fig. 4는 합성수지 치환율에 따른 모르타르 시편의 인장강도를 나타낸 그래프로 앞의 압축강도와 마찬가지로 치환율이 증가함에 따라 전반적으로 강도가 저하되는 경향을 보였다.

그러나, HDPE의 경우 치환율 40%까지는 혼입량이 증

가함에 따라 강도가 저하하는 경향을 보였으나 치환율이 60%일 때는 40%와 유사한 값을 나타내었다. 또한, PP의 경우 HDPE와 마찬가지로 치환율이 40%일 때까지 강도가 감소하였으나 치환율이 60%일 때는 다시 증가하였다.

이러한 원인은 과단면의 합성수지 함량을 이미지 분석한 Fig. 5에서 확인할 수 있다. Fig. 5는 시험체의 과단면을 화상촬영한 후 이미지 분석 프로그램을 이용하여 모르타르와 합성수지 영역을 구분한 것으로 검은색은 모르타르 매트릭스이며 흰색은 HDPE 및 PP이다. HDPE의 경우 치환율이 40%인 과단면과 치환율이 60%인 과단면의 HDPE 면적 비율이 유사하다는 것을 확인할 수 있었다. PP의 경우에도 치환율이 40%인 과단면이 치환율 60%의 과단면에 비해 PP가 차지하는 비율이 높음을 확인하였다.

Type	20%	40%	60%
HDPE			
HDPE area (%)	22.56	30.44	30.60
PP			
PP area (%)	17.36	31.95	29.79

Fig. 5 HDPE and PP grain images in the cross section

인장시편 파단면에서 합성수지가 차지하는 비율이 높을수록 시멘트 매트릭스의 영역이 감소하면서 강도가 저하가 발생된 것으로 추정된다. 이로 인해 Fig. 5에서와 같이 치환율보다 HDPE 및 PP가 차지하는 비율이 인장강도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

따라서, HDPE 및 PP와 같은 합성수지를 골재로 사용할 경우 타설시 합성수지 골재가 균등하게 분포할 수 있는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 주사전자현미경(SEM)

Fig. 6은 합성수지를 혼입한 모르타르를 주사전자현미경으로 촬영한 사진이다. 일반적인 모르타르의 경우 골재와 시멘트 계면 사이의 두께가 약 10 μm에서 많게는 50 μm로 보고되고 있으며 이러한 계면의 두께가 모르타르의 강도 및 내구성에 영향을 미친다고 보고되고 있

다.^{12,13)}

Fig. 6의 (a)와 (b)를 보면 HDPE 및 PP와 시멘트 매트릭스 사이의 계면이 각각 약 50~100 μm, 약 40~80 μm로 합성수지와 시멘트 매트릭스가 단리되어 있는 형상을 확인할 수 있었다. 이러한 합성수지와 시멘트 매트릭스 간의 탈착으로 합성수지를 혼입한 모르타르의 강도가 저하된 것으로 판단된다.

반면 UPE는 입자가 미립자이기 때문에 시멘트 매트릭스 사이에 입자가 상대적으로 치밀하게 결합되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 영향으로 UPE를 20% 및 40%로 치환한 모르타르의 강도가 다른 합성수지에 비해 높은 것으로 추정된다. 그러나 UPE 60%의 경우 오히려 합성수지를 혼입한 모든 배합 중 가장 낮은 강도 값을 나타냈다. 이에 대한 원인은 SEM 분석으로는 한계가 있어 X-ray CT를 촬영하여 분석하였다.

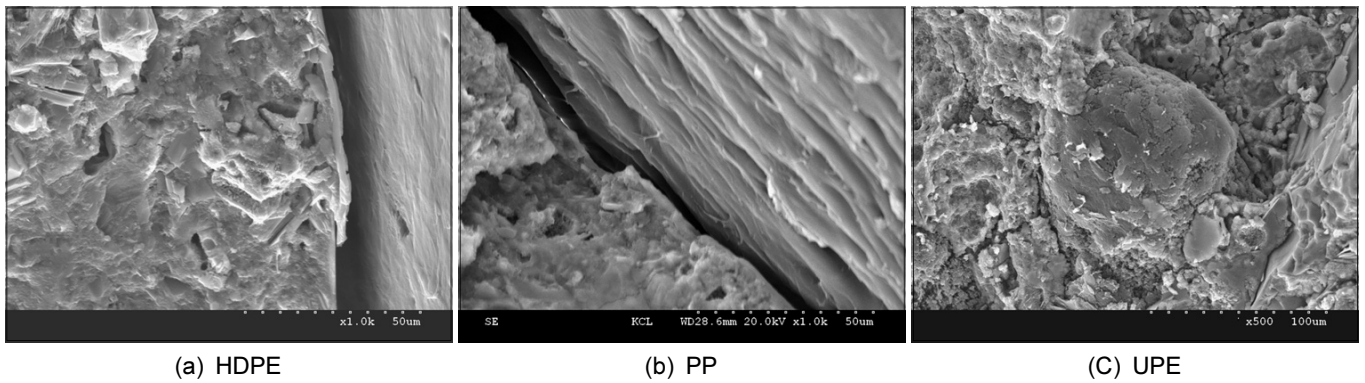


Fig. 6 SEM image of Synthetic resin

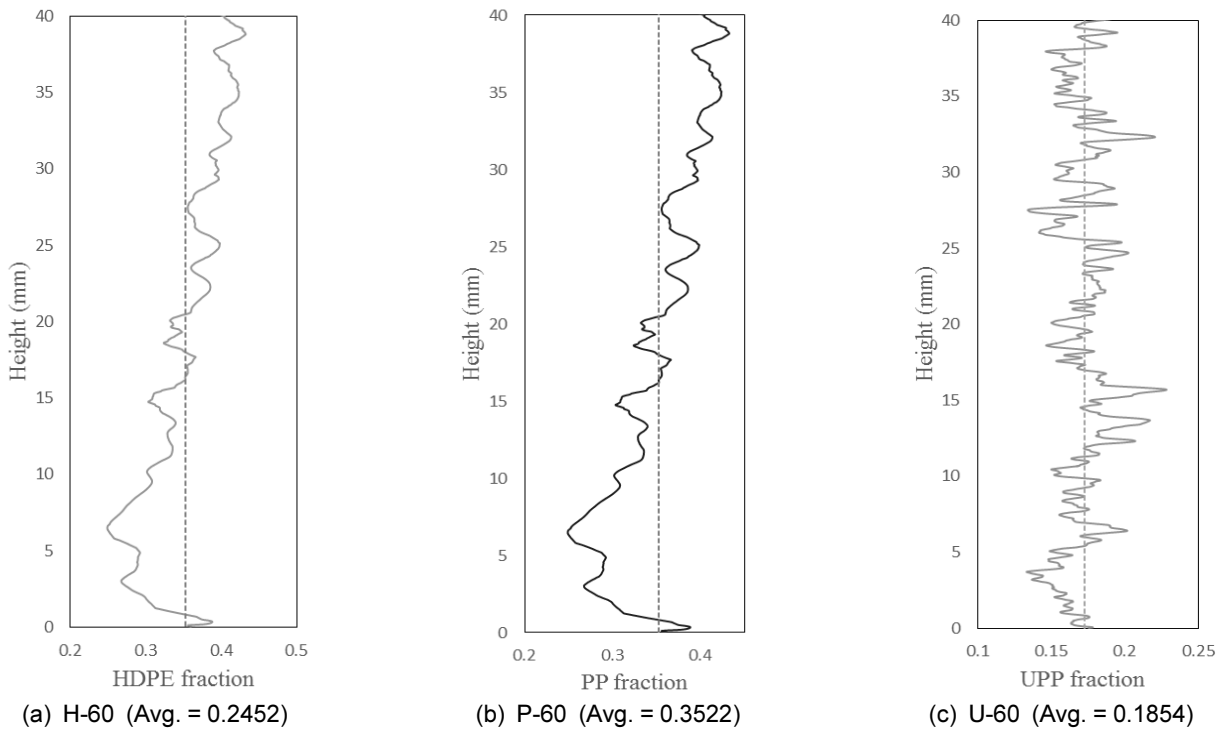


Fig. 7 Volumetric profile with height of HDPE, PP and UPE

3.4 X-ray CT

X-ray CT는 X선을 투과하여 재료의 상대적인 밀도차를 이용하여 내부를 분석하는 기술로서 본 연구에서는 마이크로 CT 이미지와 확률 분포 함수를 사용하여 시험체 내부의 재료 분포를 분석하였다.

Fig. 7은 합성수지를 60% 치환한 시험체의 높이별 분포를 표시한 그래프이다. 그래프의 x축은 한 단면에서의 합성수지 비율, y축은 시험체의 높이를 표현이다. 이때 y축 시험체 높이는 타설 방향을 기준으로 수치가 클수록 상부를 의미한다.

그림에서 보면, HDPE 및 PP의 경우 실제 타설한 시험체의 위치에 따라 단면 내의 합성수지 비율이 상이하며 상부 부근에 HDPE 및 PP가 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 합성수지의 불균등한 분포는 사용된 합성수지의 비중이 각각 0.956, 0.9로 물보다 작기 때문에 타설시 합성수지 골재가 상부로 이동하기 쉽기 때문인 것으로 추정되며, 경화된 시험체의 강도 저하를 일으키는 요인 중의 하나인 것으로 판단된다. 따라서, HDPE 및 PP를 혼입할 경우 이들 합성수지를 고루 분포시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

반면 Fig. 7의 UPE의 경우 HDPE 및 PP와 달리 전반적으로 고루 분포되어 있었다. 그러나 UPE의 치환율에 대한 모르타르 공극 분포를 3차원 이미지로 보면(Fig. 8) 치환율이 증가할수록 공극량이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 골재의 미분말 함량이 증가할수록 공극이 증가한다는 기존 연구(V.L.Bonavetti and E.F.Irassar¹⁴)와 유사한 결과로 판단되며 따라서, UPE와 같이 미분말 형태의 합성수지를 사용할 경우 혼입율이 일정수준 이상 증

가할수록 강도 저하가 크게 나타날 수 있다고 사료된다.

이러한 현상은 Fig. 3과 Fig. 4의 압축 및 인장강도 결과에서도 확인할 수 있다. 따라서, UPE와 같은 미분말 형태의 합성수지를 사용할 경우는 적정 치환율을 넘어서지 않는 범위로 제한하여 활용해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

합성수지의 종류 및 함량에 따른 모르타르의 역학적 특성 및 이미지를 활용한 미세구조 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

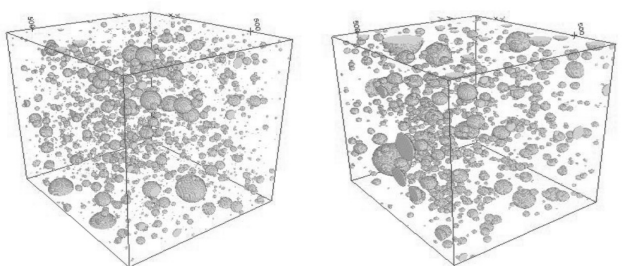
- 1) HDPE 및 PP의 경우 치환율이 증가할수록 슬럼프 값이 증가하는 경향을 보였으나 미분말 형태인 UPE의 경우 치환율이 증가할수록 낮은 플로우 값을 나타냈다.
- 2) 압축 및 인장강도는 합성수지의 종류에 관계없이 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며 인장강도 시험체 파단면을 분석한 결과, 파단면에서 HDPE 및 PP가 차지하는 비율에 비례하여 인장강도가 저감하는 것으로 나타났다.
- 3) HDPE 및 PP의 SEM 분석결과, 합성수지와 시멘트 매트릭스 사이의 계면이 단리된 형태를 관찰할 수 있었으며, 반면 UPE의 경우 시멘트와 매트릭스 사이가 치밀하게 결합되어 있음을 확인할 수 있었다
- 4) UPE를 혼입한 모르타르의 경우, X-ray CT로 내부 공극을 3D 이미지로 나타낸 결과 혼입율이 증가할수록 내부의 공극이 급격하게 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

감사의 글

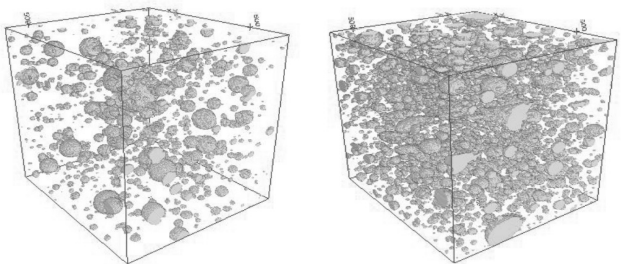
본 연구는 2013년 산업통상자원부의 한국에너지기술연구원 지원에 의해 수행된 연구과제(20131520202430)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. S. Popovics, Polymer-cement concretes for field construction, Proceedings, ASCE Vol.100, No.3, 1974, pp.469-487.
2. Mun, K.-J., Song, H.-R., and Hyung, W.-G., "Properties of Polymer-Modified Mortar with Styrene-Butyl Acrylate and Styrene Butadiene Rubber", *Polymer*, Vol.32, No.6, 2008, pp.555-560.
3. Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), Development of epoxy nanocomposite based neutron shielding materials for spent fuel cask, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI), 2013.
4. Ministry of Trade, Industry&Energy(MOTIE), Development



(a) MOR(air void: 0.026) (b) UPE-20(air void: 0.0424)



(c) UPE-40(air void: 0.0446) (d) UPE-60(air void: 0.0865)

Fig. 8 3D image on air void of MOR and UPE mortars

- of radiation shielding material using an ultra-fine boron dispersed polymer matrix, 2009.
5. Cho, S.H., Do, J.B., Ro, S.G., and Do, C.H., "Fabrication and Characteristics of Resin - Type Neutron Shielding Materials for Spent Fuel Shipping Cask", *Hwahak konghak*, Vol.7, No.3, 1996, pp.597-604.
 6. Pyzik Aleksander, J., and Aksay Ilhan, A., "Processing of boron carbide-aluminum composites", *Journal of the american ceramic society*, Vol.72, 1989, pp.775-780.
 7. Rack, H. J., Dupree, S. A., Smugeresky, J. F., and Stark, A. H., "Development of Boron Carbide-Copper Cermets", Sandia National Laboratories Report SAND-78-2317, 1979.
 8. Sato, S., Maegawa, T., Yoshimatsu, K. Sato, K., Nonaka, A., Takakura, K., Ochiai, K., and Konno, C., "Development of a low activation concrete shielding wall by multi-layered structure for a fusion reactor", *Journal of Nuclear Materials*, Vol.417, No.1-3, 2011, pp.1131-1134.
 9. Cho, S.-H., Kim, I.S., Do, J.B., Ro, S.-G., and Park, H.S. "Fabrication and Characteristics of Modified and Hydrogenated Bisphenol-A type Epoxy Resin Based Neutron Shielding Materials", *Hwahak konghak*, Vol.35, No.5 1997, pp.661-666.
 10. Jun, J.H., Kim, J.W., Bae, Y.J., and Seo, Y.S. "Enhancement of dispersion and adhesion of B4C particles in epoxy resin using direct ultrasonic excitation", *Journal of Nuclear Materials*, Vol.416, 2011, pp.293-297.
 11. Donza, H., Cabrera, O., and Irassar, E.F., "High-strength concrete with different fine aggregate", *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2002, pp.1755-1761.
 12. Karen, L., Scrivener, Alison K., Crumbie, and Peter Laugesen, "The Interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete", *Interface Science*, Vol.12, 2004, pp.411-421.
 13. Metha, P.K., "Concrete-structure, properties, and materials", Prentice-Hall, 1986, pp.64-69.
 14. Bonavetti, V.L., and Irassar, E.F., "The effect of stone dust content in sand", *Cement and Concrete Research*, Vol.24, No.3, 1993, pp.580-590.
 15. KS L 5111, Flow table for use in tests of hydraulic cement, 2007.
 16. KS L 5105, Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortars, 2007.
 17. KS L 5104, Testing method for tensile strength of hydraulic cement mortars, 2012.

요 약 본 연구에서는 수소 함유량이 높아 중성자 차폐에 유리한 합성수지를 대상으로 중성자 차폐용 골재로서의 적용성 검토를 수행하였다. 사용된 합성수지는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 폴리프로필렌(PP), 초고분자량 폴리에틸렌(UPE)으로 잔골재의 20%, 40%, 60%의 부피에 해당하는 양을 무게로 환산하여 배합하였다. 실험은 모르타르의 물리적 특성을 파악할 수 있는 플로우 테스트, 인장 및 압축강도 시험을 수행하였으며, 시험체 내부의 미세구조를 분석하기 위해 파단면의 이미지 분석, SEM 및 X-ray CT 촬영을 실시하였다. 합성수지를 혼입한 모르타르의 플로우의 값은 HDPE 및 PP는 증가하였지만 UPE의 경우 감소하였다. 반면 인장 및 압축강도의 경우 종류에 상관없이 전반적으로 강도가 감소하는 경향을 보였으며, 이미지 분석 결과, HDPE 및 PP를 혼입한 모르타르의 강도는 혼입량에 관계없이 파단면에서의 합성수지 비율에 영향을 받았으며, 모르타르 내의 시멘트 매트릭스와의 단락 및 재료의 불균등한 분포가 강도 저하에 영향을 미친 것으로 추정된다. 반면, 미분말 상태인 UPE는 혼입량이 증가함에 따라 내부 공극이 증가하였으며, 이러한 특징은 일정량 이하에서는 강도 저하가 미미하였으나 일정한 혼입률 이상, 특히 본 실험에서는 치환율이 60% 이상에서 급격한 강도 저하를 나타냈다.

핵심용어 : 합성수지, 중성자 차폐, 이미지 분석, 주사전자현미경(SEM), X-ray CT