

論文

폐 페인트를 이용한 폴리머 콘크리트의 제조에 관한 연구

이창훈*, 박재읍*, 최진호**, 권진희**, 제우성***, 김성호****

A study on the manufacture of polymer concrete using the waste paint

Chang-Hun Lee*, Jae-Eub Park*, Jin-Ho Choi**, Jin-Hwe Kweon**, Woo-Seong Che*** and Sung-Ho Kim****

ABSTRACT

In this paper, the polymer concrete using the chemically treated waste paint and polystyrene foam was manufactured and their mechanical properties were evaluated. The compressive strength, specific gravity and water absorption with respect to the volume percents of the waste paint and resin were tested. From the tests, the specific gravities of the polymer concretes using the waste paint were lower than that of the conventional polymer concrete and it was recommended that they can be used for building exterior materials.

초 록

본 논문에서는 화학처리된 폐 페인트와 폐 스티로폼을 사용한 폴리머 콘크리트를 제작하고 그 기계적 특성을 평가하였다. 또한 골재와 수지재의 조성비 변화에 따른 압축강도, 비중, 흡수율 등을 평가하였다. 실험결과로부터 폐 페인트를 사용한 폴리머 콘크리트의 비중은 기존의 폴리머 콘크리트 보다 낮은 값을 가지며, 건축용 외장재로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Key Words : 폴리머 콘크리트(polymer concrete), 폐 페인트(waste paint), 건축재료(building materials), 강도(strength)

1. 서 론

21세기에는 환경산업이 세계경제를 주도해 갈 것이며, 전 지구적 차원에서 환경을 보전하기 위한 각국의 노력이 필요하다. 또한, 산업 발달과 더불어 증대하는 산업폐기물 발생을 최소화할 수 있는 재활용 기술개발이 요구되고 있다. 특히, 산업폐기물 중 많은 양을 차지하고 있는 폐 페인트는 막대한 경비를 투입하여 소각 처리되고 있으나, 소각시 다량의 유해가스로 인하여 대기오염 등 많은 문제를 야기시키고 있다.

고분자 합성수지를 기지로 하는 콘크리트의 종류에는 일반 콘크리트에 모노머(monomer)를 함침시켜 만드는 고분자 함침 콘크리트(polymer impregnate concrete, PIC), 골재와 폴리머(polymer)를 섞고 경화시켜 만드는 폴리머 콘크리트(polymer concrete or resin concrete, PC), 보통의 콘크리트의 제조 중에 고분자 재료를 섞어 경화시켜 만드는 고분자 시멘트 콘크리트(polymer cement concrete, PCC) 등으로 구분된다[1]. 이 중에서 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 폴리머 콘크리트는 열적 안정성과 감쇠 특성이 우수한 것으로 알려져 있다. 폴리머 콘크리트의

* 경상대학교 기계설계학과 대학원

**+ 경상대학교 기계항공공학부 공학연구원, 교신저자(E-mail:choi@gsnu.ac.kr)

** 경상대학교 기계항공공학부 공학연구원

*** 동명정보대학교 정보공학부 로봇시스템공학과

**** (주) 명세당신소재연구소

기지 재료로는 불포화 폴리에스터(polyester), 에폭시(epoxy), 아크릴(acrylic) 등이 사용되고, 골재로는 자갈과 모래 등이 사용된다[2].

본 논문에서는 페 스티로폼과 페 페인트를 재처리하여 폴리머 콘크리트의 골재로 활용하고 그 특성을 파악하였다. 또한 골재와 수지재의 조성비 변화에 따른 기계적 물성과 열적 물성을 평가하여 건축용 외장재로서의 사용 가능성을 검토하였다.

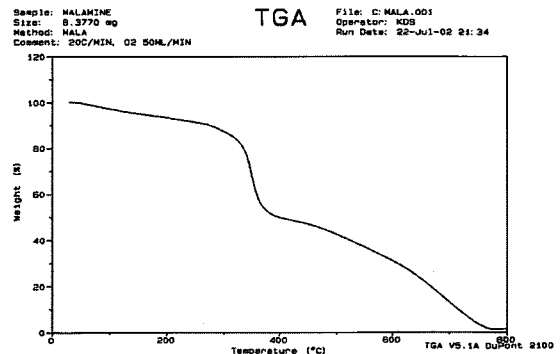
2. 폴리머 콘크리트의 골재

페 스티로폼의 경우 기계적 가공을 통해 재처리가 가능하지만, 페 페인트는 기계적 가공만으로는 재처리가 곤란하다. 페 페인트는 수거 시 작업장에 점착되는 것을 막고 수거의 용이성을 위하여, 다량의 계면활성제와 응집제(아크릴 아마이드)를 사용한다. 이러한 성분으로 인하여, 페 페인트는 수거 시 젤(gel) 상태로 존재하기 때문에 재처리가 용이하지 않다. 본 논문에서는 젤(gel) 상태의 페 페인트에 유리물(규산소다+물)을 첨가하고 화학반응을 유도하여 고체상태로 변화시켰다[3].

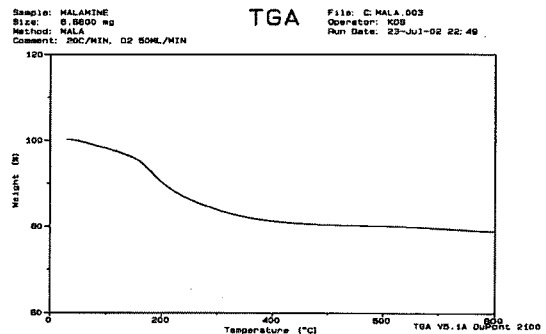
유리물이 첨가되어 고체상태로 된 페 페인트 혼합물의 주요 화학반응 메커니즘을 분석하기 위하여 TGA(thermo gravimetric analyzer), FT-IR 및 XRD 분석 등을 수행하였다. Fig. 1은 TGA 분석 결과이고, 분석에 사용된 장비는 Dupont model 2100이다. Fig. 1(a)는 계면활성제의 주 성분인 순수 멜라민수지의 TGA 분석 결과로서, 300℃ 근처에서 뚜렷한 열분해 특성을 나타냄을 볼 수 있다. Fig. 1(b)는 페 페인트와 유리물의 반응물에 대한 TGA 분석 결과로서, 200~400℃ 근처의 비교적 넓은 영역에서 열분해가 일어나므로 멜라민을 포함한 다수의 화합물로 구성되어 있다고 생각할 수 있다.

화합물 구성에 대한 보다 정확한 분석을 위하여 FT-IR (Fourier transform-infrared spectrometer) 분석을 수행하였다. FT-IR 분석은 ‘분자는 그 자체의 진동수와 일치하는 적외선만을 선택적으로 흡수 한다’는 원리를 이용한 방법으로, 고분자재료와 같이 특정한 몇 가지 원소들의 배열에 따라 그 특성이 심하게 변화되는 유기판능기의 분석에 매우 유용하게 사용되는 방법이다[4]. 실험에 사용한 FT-IR분석기는 독일 Brucke사의 IFS-66이다. Fig. 2는 순수 멜라민과 페 페인트와 유리물의 화합물을 FT-IR 기법으로 분석한 결과로서, Fig. 2(b)에서 C-N 결합의 반응이 너무 크게 나타나 C-H 결합이 관찰되지 않았으나 화학적 구조가 매우 유사함을 볼 수 있다.

페 페인트와 유리물의 화합물 구성을 살펴보기 위하여 XRD(X-Ray Diffraction)분석을 수행하였다. XRD 분석방법은 화학구조가 알려져 있는 물질들의 X-선 회절 패턴을 데이터



(a) Melamine

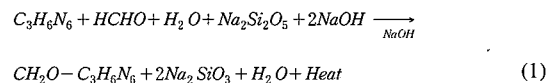


(b) Waste paint+sodium silicate

Fig. 1 TGA analysis.

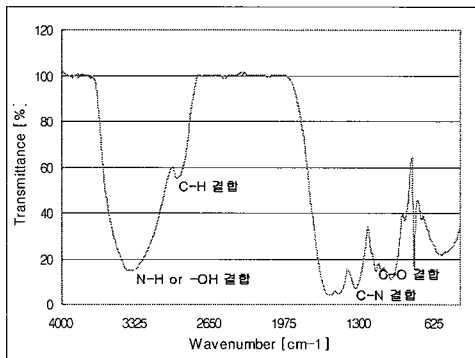
베이스화하고 분석하고자 하는 물질의 X-선 회절 패턴과 비교하여 물질의 성분을 분석하는 방법이다[5]. 실험에 사용한 XRD 분석장비는 SIEMENS D5005이며, 분석프로그램은 EVA이다. Fig. 3은 페 페인트와 유리물의 화합물을 XRD 분석기법으로 분석한 결과로서, $C_6H_6N_6$, $NaOH$ 등의 성분들이 검출되었다.

이상의 결과를 종합해 보면 계면활성제로 사용된 모노머(monomer) 상태의 멜라민이 유리물에 포함되어 있는 수산화나트륨과 반응하여 고분자 상태의 멜라민 수지가 생성되었다고 추정할 수 있으며, 그 화학반응식은 다음과 같다.

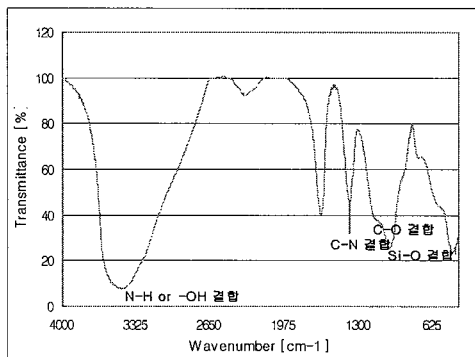


3. 실험방법

본 논문에서는 불포화 폴리에스터를 기지재료 하고, 앞 절



(a) Melamine



(b) Waste paint+sodium silicate

Fig. 2 FT-IR analysis.

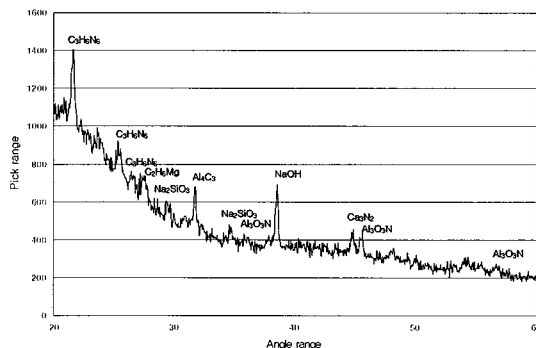


Fig. 3 XRD analysis.

에서 기술한 방법으로 교체된 페 페인트를 골재로 사용하여 폴리머 콘크리트를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 사용된 불포화 폴리에스터는 (주)에경화학의 FH-102HS 이며 기계적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical properties of FH-102HS

Material Properties	Value
Specific Gravity	1.2
Tensile Strength	68.6 MPa
Tensile Modulus	4.7 GPa
Compression Strength	134.4 MPa
Water Absorption Ratio	0.25 %
Viscosity(25℃)	2.5-3.0 Poise

제작된 폴리머 콘크리트의 특성은 기계적 물성평가와 열적 물성평가로 나누어 모두 7가지 시험을 수행하였다. 기계적 물성평가항목은 압축, 충격, 굽힘, 비중, 흡수율 시험 등이며, 열적 물성은 열전도율, 난연성 등을 시험하였다.

(a) 비중 및 흡수율 시험

시편의 치수는 Fig. 4(a)와 같으며, 동일 규격의 시편을 3개씩 제작하여 다음과 같은 순서로 실험하였다. 먼저 시편을 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도로 24시간 건조시킨 후 데시케이터 안에서 실내온도까지 냉각시켜 무게(A)를 0.1g의 정밀도로 측정하였다. 무게를 측정한 시편은 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 증류수 속에 48시간 동안 침수시킨 다음, 다시 무게(B)를 측정하여 아래의 식으로 흡수율을 계산하였다.

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (2)$$

A : 침수 전 무게(weight before the dip)

B : 침수 후 무게(weight after the dip)

시편의 비중측정은 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 증류수 속에서 0.1g의 정밀도로 무게(C)를 측정하여 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\text{표면건조포화상태의 비중} = \frac{A}{B-C} \quad (3)$$

C : 수중 무게(weight under the water)

(b) 압축시험

압축시험에 사용한 장비는 (주)경성시험기의 KSU-10이며, 동일 규격의 시편을 5개씩 제작하여 압축시험을 수행하였다. 시편의 치수는 Fig. 4(a)에 나타나 있으며, 시편 횡방향의 치수는 굵은 골재의 3배 이상으로 하고 높이는 단면 한변 치수의 2배로 하였다.

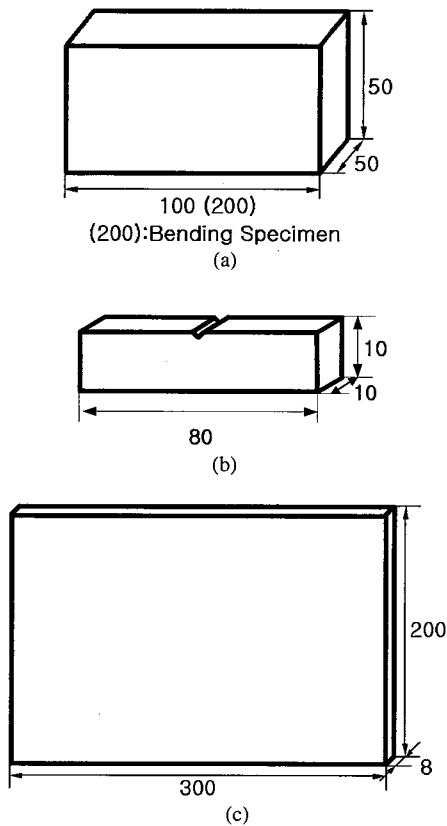


Fig. 4 Shapes of the test specimens; (a) specific gravity, water absorption, compression test, bending test, thermal conductivity, (b) impact test, (c) flame-resisting grade test.

(c) 굽힘시험

굽힘강도를 구하는 방법에는 크게 3점 굽힘과 4점 굽힘으로 나눌 수 있는데, 본 시험에서는 3점 굽힘 시험법을 사용하였다. 시험편의 치수는 Fig 4(a)와 같이 단면이 정사각형이고 한변의 길이가 최대 골재크기의 3배 이상, 길이가 단면 중 한 변의 길이보다 4배 이상[6]을 만족하는 50×50×200mm의 직육면체로 제작하였다. 동일 규격의 시험편을 5개씩 제작하여 0.5mm/min의 속도로 굽힘시험을 수행하였으며 다음과 같은 식으로 굽힘강도를 계산하였다.

$$\sigma_t = \frac{3}{2} \frac{PL}{bh^2} \quad (4)$$

b : 시험편의 폭

h : 시험편의 높이

L : 하중을 지지할 두 지점간의 거리

P : 최대하중

(d) 충격시험

충격시험은 샤르피와 아이조드 충격시험법으로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 샤르피 충격시험법을 사용하였다. 샤르피 충격시험법은 Fig. 4(b)와 같이 중앙에 노치가 있는 시험편을 규정치수(80mm)로 떨어져 있는 2개의 지지대에 걸쳐시킨 다음, 노치부의 배면을 해머로 타격하여 시험편을 파단시킨 후 충격값을 측정하는 방법이다[7]. 충격시험에 사용한 장비는 Tinius olsen사의 Model 84이며, 동일 규격의 시험편을 10개씩 제작하여 충격시험을 수행하였다.

(e) 열전도율 시험

시험편의 치수는 Fig 4(a)와 같이 기존 벽돌의 크기로 하거나 이에 준하는 크기[8]에 맞도록 50×50×100mm의 직육면체로 제작하였다. 두 개의 시험편 사이에 열선을 설치하고, 시험동안 열선을 100℃로 유지한 후 1시간 동안 열선이 시험편에 뿜긴 열량에 의해 계산된 측정기의 수치를 기록하여 열전도율을 계산하였다. 열전도율 측정에 사용한 장비는 Kyoto Electronics사의 TC-31이다.

(f) 난연성 시험

시험편의 치수는 Fig 4(c)와 같이 300×200×8mm의 판재로 되어 있으며 동일 규격의 시험편을 3개씩 제작하여 난연성 시험을 수행하였다. 제작된 시험편은 50±2℃에서 48시간 동안 건조한 다음, 건조용 실리카겔을 넣은 데시케이터 안에서 24시간 건조하였다. 가열시험에 사용된 버너는 높이 160mm, 안지름 20mm인 메켈버너이며, 1차 공기를 혼입하지 않고 가스만을 송입하였다. 불꽃의 길이는 65mm가 되도록 조정하였으며, 연료는 액화 석유 가스 2종 4호(부탄 및 부틸렌)를 사용하였다. 가열 시간은 3분이며, 측정항목은 탄화길이, 나머지 불꽃, 나머지 분진 등이다. Table 2는 난연성 등급판정 기준을 나타낸다[9].

Table 2 Flame-resisting grade criteria

종류	탄화길이	나머지 불꽃	나머지분진
방염 1급	5cm이하	없음(1초 이하)	1분후에 존재하지 않을 것
방염 2급	10cm이하	5초 이하	
방염 3급	15cm이하	5초 이하	

4. 결과 및 고찰

본 논문에서 제작한 폴리머 콘크리트의 물리적 특성을 평가하기 위하여 압축, 굽힘, 충격, 비중, 흡수율, 열전도율, 난연성 시험 등을 수행하였다. Table 3은 제작된 폴리머 콘크리트 시험편의 조성비를 나타낸다.

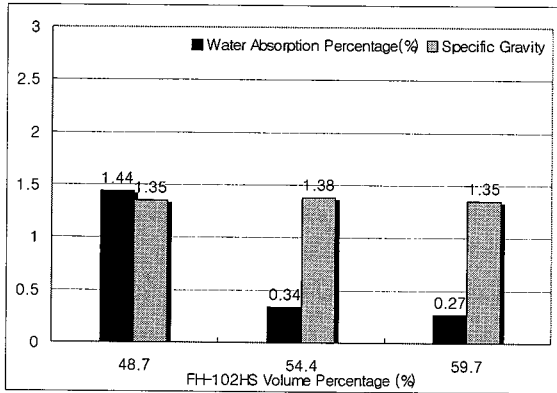


Fig. 5 Water absorption and specific gravity(Group A).

Table 3 Volume fraction of the polymer concrete(Group A)

Group		FH-102HS	페 페인트
A	01	48.7%	51.3%
	02	54.4%	45.6%
	03	59.7%	40.3%

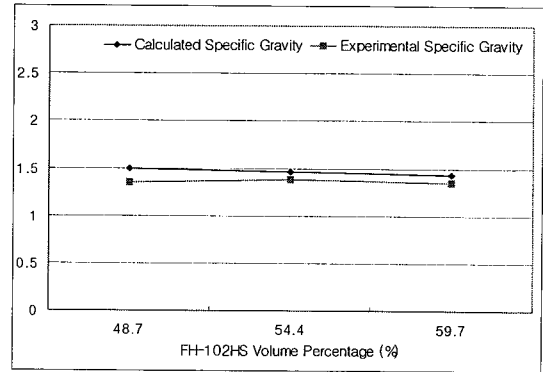


Fig. 6 Prediction of the specific gravity by ROM(Group A).

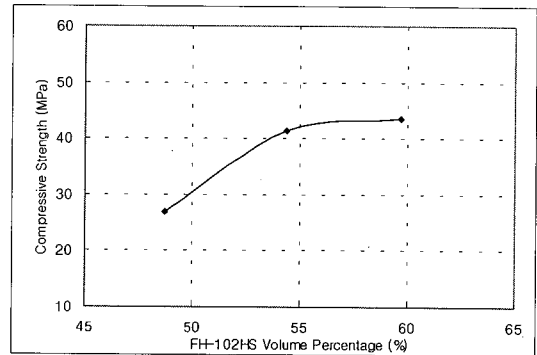


Fig. 7 Compressive strength(Group A).

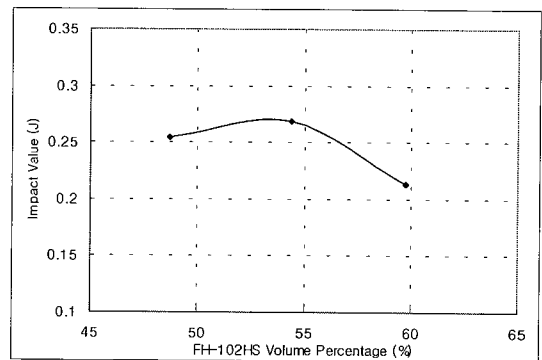


Fig. 8 Impact value(Group A).

Table 4 Flame-resisting grade test(Group A)

Model		탄화길이 (mm)	나머지불꽃 (sec)	나머지분진 (유무)	등급
A	01	115	40.5	○	3급이하
	02	76.5	3	○	3급이하
	03	92.5	47.5	○	3급이하

Fig. 5는 제작된 폴리머 콘크리트 시편의 비중 및 흡수율 시험 결과를 나타낸 그래프로서, 비중은 세 가지 경우 모두 서로 비슷한 값을 나타내었다. 실험으로 측정된 비중을 이론적으로 예측하기 위하여 혼합물의 법칙(ROM)을 이용하여 시편의 비중을 예측하였다[10]. 페 페인트 골재의 비중은 실험으로 측정하였으며 1.77로 평가되었다. Fig. 6은 실험으로 측정된 비중과 혼합물의 법칙으로 예측한 비중을 비교한 것으로, 예측치와 실험치가 잘 일치함을 볼 수 있다. Fig 7은 압축시험 결과로서, 불포화 폴리에스터의 부피분율이 55% 이상에서 우수한 압축강도특성을 보임을 관찰할 수 있었다. Fig. 8과 Fig. 9는 굽힘시험과 충격시험 결과로서, 불포화 폴리에스터의 부피분율이 55% 근처에서 우수한 기계적 특성을 보임을 관찰할 수 있었다.

Fig. 10은 열전도율 시험 결과를 나타낸 그래프로서, 압축이나 흡수율 특성과 마찬가지로 부피분율이 55% 이상에서 기울기가 완만해지지만, 세 가지 모두 서로 비슷한 값을 가짐을 볼 수 있다. 이는 불포화 폴리에스터와 페 페인트 골재가 고분자 재료에 속하며, 둘 다 낮은 열전도율 값을 가지기 때문으로 사료된다. Table 4는 시편의 난연성 시험 결과를 나타낸 것으로, 모두 3등급 이하의 낮은 난연특성을 보였다. 이는 불포화 폴리에스터의 낮은 난연특성으로 인하여 시편의 난연특성이 저하된 것으로 추정된다. 따라서 시편의 난연특성을 개선하기 위해서는 난연특성이 우수한 소재를 첨가하거나 폴리에스터 자체의 특성을 변화시켜야 된다.

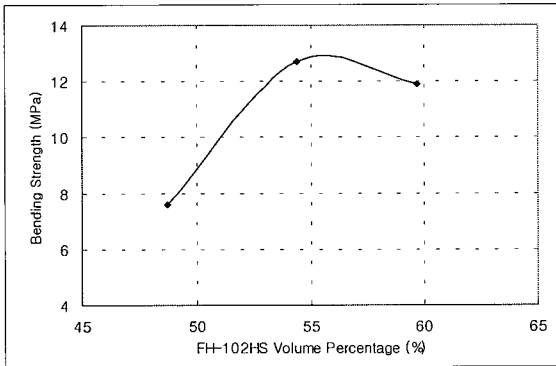


Fig. 9 Bending strength(Group A).

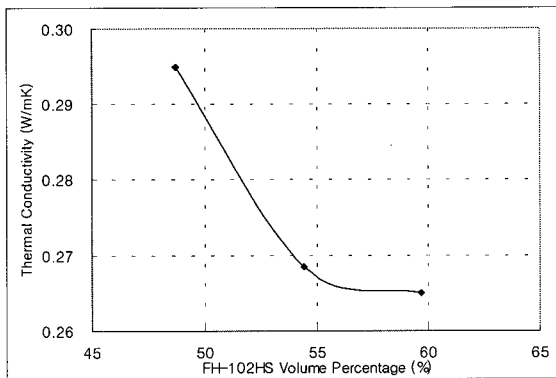


Fig. 10 Thermal conductivity(Group A).

본 논문에서는 난연 특성을 개선하기 위하여 폴리머 콘크리트에 규석 또는 페 스티로폼을 첨가하여 난연특성의 변화를 관찰하였다. 첫 번째 실험으로 제작된 폴리머 콘크리트에 난연성이 우수하고 가격도 저렴한 규석을 첨가하였다. 폴리에스터의 함량은 강도를 유지하기 위하여 고정하였으며, 규석의 함량을 조절하여 난연 특성의 변화를 살펴 보았다. Table 5는 규석이 첨가된 시편의 조성비를 나타낸다. Table 6은 규석이 첨가된 시편의 난연특성을 시험한 결과로서, 모두 3등급 이하로 나타나 난연 특성이 개선되지 않았음을 볼 수 있다. 두 번째 실험으로는 불포화 폴리에스터와 페 페인트 골재에 페 스티로폼을 첨가하여 난연특성을 살펴보았다. Table 7은 페 스티로폼을 첨가한 시편의 부피분율을 나타낸다. Fig. 11은 제작된 시편의 단면을 SEM으로 촬영한 모습을 나타낸 사진으로, 페 스티로폼이 폴리에스터와 반응하여 서로 용해되었음을 관찰할 수 있다. Table 8은 페 스티로폼을 첨가한 시편의 난연특성을 나타낸 것으로, 모두 1등급 이상의 우수한 난연 특성을 나타 내었다.

Table 5 Volume fraction of the polymer concrete(Group B)

Group	FH-102HS	페 페인트	규석
B	01	52.4%	37.8%
	02	52.5%	30.8%

Table 6 Flame-resisting grade test(Group B)

Group		탄화길이 (mm)	나머지불꽃 (sec)	나머지분진 (유무)	등급
B	01	120	90	○	3급이하
	02	90	7	○	3급이하

Table 7 Volume fraction of the the polymer concrete(Group C)

Group		FH-102HS	페 페인트	페스티로폼	규석
C	01	44%	46.3%	1.3%	8.4%
	02	50.5%	38%	1.9%	9.6%
	03	54.3%	36.7%	1.2%	7.8%

Table 8 Flame-resisting grade test(Group C)

Model		탄화길이 (mm)	나머지불꽃 (sec)	나머지분진 (유무)	등급
C	01	40	0	×	방염1급
	02	30	0	×	방염1급
	03	32.5	0	×	방염1급

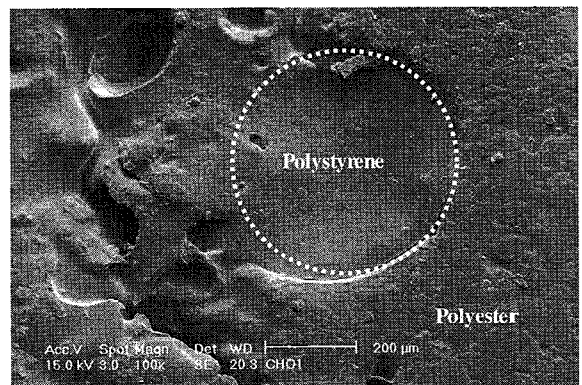


Fig. 11 Photograph of the SEM(×100).

Fig. 11에서 보는바와 같이 페 스티로폼을 추가하면 불포화 폴리에스터와 반응하므로, 불포화 폴리에스터의 물리적 특성이 변화되어 시편의 강도 등이 저하될 수 있다. Fig. 12는 페 스티로폼을 추가한 시편의 압축강도특성을 시험

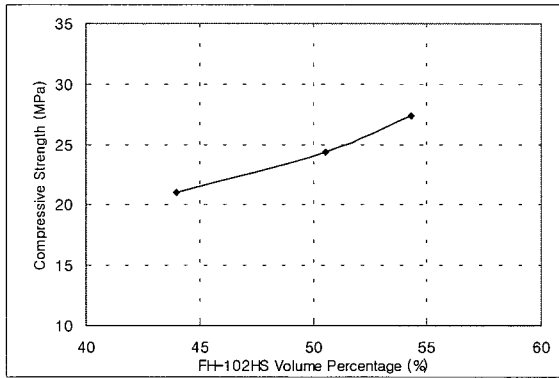


Fig. 12 Compressive strength(Group C).

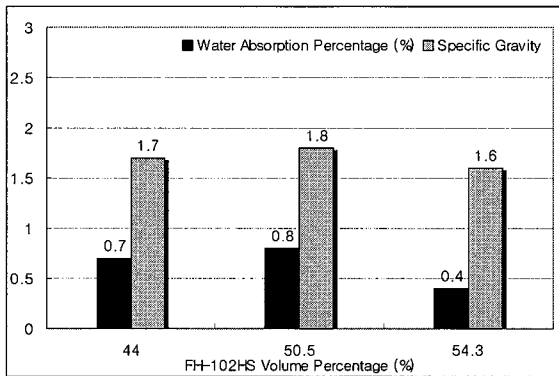


Fig. 13 Water absorption and specific gravity(Group C).

한 결과로서, 최대 압축강도가 약 27.4MPa로 측정되어 약 33%의 강도저하가 일어남을 볼 수 있다. Fig. 13은 페 스티로 폼을 추가한 시편의 흡수율 및 비중 변화를 나타낸 그림으로, 흡수율은 0.4~0.8의 낮은 값을 나타내었으며, 비중은 1.6~1.8로 다소 높게 측정되었다.

5. 결 론

건축용 외장재는 일반적으로 방염등급이 3등급이상 이여야 한다. 따라서 압축강도가 다소 저하되더라도 난연성 이 우수한 Group C의 조성비가 건축용 외장재로 적합하 다고 할 수 있다. 일반적인 건축용 외장재의 압축강도가 14 MPa 이상인 점을 감안하면 본 논문에서 제작한 폴리머 콘 크리트는 건축용 외장재로서 충분한 강도를 가진다고 볼 수 있다. 페 페인트를 이용한 폴리머 콘크리트는 모래나 자갈이 포함되어 있는 일반적인 폴리머 콘크리트에 비하여 강도 특성은 다소 저하되나 상대적으로 낮은 비중을 가질

뿐만 아니라, 페 페인트와 페 스티로폼을 재활용할 수 있 기 때문에 폐기물 처리비용과 환경적인 측면에서 여러 가 지 이점이 있다. 따라서 페 페인트 골재를 이용한 폴리머 콘크리트는 높은 압축강도가 요구되지 않는 건축용 외장재 로서 충분히 사용이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 경상대학교 공학연구원과 한국건설기술연구 원의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) T. W. Brockenbrough and D. N. Patterson, "Fiber Reinforced Methacrylate Polymer Concrete," *ACI Journal*, 1982, pp. 322-325.
- 2) H. S. Kim, K. Y. Park and D. G. Lee, "A Study on the Epoxy Resin Concrete for the Ultra-Precision Machine Tool Bed," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 48, 1995, pp. 649-655.
- 3) 김성호, 페 주물사를 이용한 골재의 제조방법, 특허 제 0292320, 2001, 출원번호 1998-0064153
- 4) 박기채, 기기분석의 원리, 탐구당, 1989, Chap. 11.
- 5) Jan F. Rabek, *Experimental Methods in Polymer Chemistry*, JOHN WILEY, 1980, Chap. 28.
- 6) KS F 2419, 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법, 한국표준규격집, 1988, pp. 2.
- 7) 염영하, 염성하, 신편 기계재료학, 동명사, 1996, pp. 98-100.
- 8) 熱線式 熱伝導率計 #8602 取扱説明書, Kyoto Electronics .inc, pp. 10.
- 9) KS F 2819, 건축용 얇은 재료의 난연성 시험방법, 한국 표준규격집, 2000, pp. 1.
- 10) 이대길, 정광섭, 최진호, 복합재료 역학 및 제조 기술, 시그마프레스, 1998, pp. 196-201.