



페타이어 칩 및 에폭시를 활용한 탄성 복합체의 개발 - 강도와 내구성을 중심으로 -

Development of Elastic Composites Using Waste Tire Chip and Epoxy Resin - Focused on Strength and Durability -

성찬용* · 노진용**,†

Sung, Chan Yong · Noh, Jin Yong

Abstract

This study was performed to evaluate the strength and durability properties of modified epoxy composites with waste tire chip, recycled coarse aggregate, filler and modified epoxy to improve elongation and elasticity of epoxy. Additionally, for comparing to modified epoxy and unsaturated polyester resin as a binder, unsaturated polyester resin composites were developed in the same condition. The mix proportions were determined to satisfy the requirement for the workability and slump according to aggregate size and binder content. Tests for the compressive and flexural strength, freezing and thawing and durability for 20 % sulfuric solution were performed. The compressive and flexural strength of modified epoxy composites were in the range of 34.9~61.6 MPa and 10.2~18.3 MPa at the curing 7 days, respectively. Also, the compressive and flexural strength of unsaturated polyester resin composites were in the range of 44.2~77.8 MPa and 11.3~20.8 MPa at the curing 7 days, respectively. After 300 cycles of freezing and thawing, weight decrease ratio and durability factor of modified epoxy composites were in the range of 0.8~1.9 % and 95~98, respectively. Accordingly, modified epoxy composites will greatly improve the durability of concrete.

Keywords: waste tire chip; modified epoxy; composites; strength; durability

1. 서 론

미국, 호주, 일본 및 네덜란드 등의 국가에서는 페타이어를 고무분말로 재생산하여 다양한 제품 제조에 재활용하고 있으며, 고무분말에 의한 고무 제품 연구는 현재 많은 활성화가 이루어지고 있다. 또한 페타이어를 경량콘크리트 구조물에 적용하기 위한 연구 및 아스팔트 포장재료로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다 (Lee and Lee, 2008).

반면에, 콘크리트 재료로 페타이어 적용의 경우 페타이어와 시멘트 바인더와의 부착 능력 저하로 인한 강도 감소로 인하여 제품화에 다소 어려움이 있으며, 아스팔트 포장재료의 경우 페타이어가 아스팔트 혼합물 내에서 녹지 않고 분말 형태로 존재하기 때문에 사용성이 제한적이다 (Lee and Lee,

2008).

한편, 건설기술의 비약적인 발전으로 구조물의 대형화 및 고층화 등 사용환경이 점차 확대됨에 따라 새로운 건설재료에 대한 인식이 대두되면서 고분자 재료인 폴리머를 활용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다 (Brandt, 1995; Czernin, 1980). 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 압축강도, 인장강도 및 휨강도가 클 뿐만 아니라 내마모성, 내충격성, 내약품성, 전기 절연성, 방수성, 내동결융해성 등과 같은 물리·역학적 성질이 매우 우수한 것으로 알려져 있다 (Fontana et al., 1987; Flower, 1994; Sung and Kim, 2003).

또한, 고분자 재료로서의 에폭시 수지는 미경화 액상 물질로서 에폭시 화합물과 경화제의 반응으로 형성되는 3차원 망상구조를 가진다. 에폭시 수지는 접착성, 내약품성 및 내열성 등이 우수하여 토목분야를 포함해서 각종 산업 분야에 광범위하게 이용되고 있다.

본 연구는 에폭시 수지에 탄성 특성을 부여하기 위한 변성 에폭시를 제조하여 탄성 복합체 제조에 활용하기 위한 것으로, 변성 에폭시를 바인더로 한 페타이어 칩을 혼입한 복합체를 개발하여, 이에 대한 강도 및 내구 특성을 구명하고 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 한 복합체와 비교 평가함으로써

* Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University

** Department of Agricultural Engineering, Graduate School of Chungnam National University

† Corresponding author

Tel.: +82-42-821-5791 Fax: +82-42-821-8877

E-mail: jynoh@cnu.ac.kr

Received: November 4, 2015

Revised: January 6, 2016

Accepted: January 15, 2016

서, 그 활용 가능성을 구명하는데 목적이 있다.

므로 함수율이 0.1 % 이하가 되도록 건조하여 사용하였다 (Sung and Back, 2005).

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 에폭시

에폭시 수지는 비스페놀 A형 에폭시 수지를 주재료로 사용하고, 변성 지방족 아민을 경화제로 변성 에폭시를 사용하였다. 변성 에폭시는 에폭시 수지에 탄성 및 신율 특성을 부여하기 위하여 제조되었으며, 변성 에폭시 수지의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

나. 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 올소타입의 불포화 폴리에스터 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 성질은 Table 2와 같다.

다. 골재

굵은골재는 경기도 I사에서 제조된 1종 재생골재를 사용하였고, 잔골재로는 규사를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 한편, 골재가 수분을 흡수하면 폴리머 콘크리트는 골재를 둘러싼 결합재 층과 골재 표면 사이에 수막이 형성되어 결합재와 골재간의 접착력을 약화시켜 강도가 저하되

라. 페타이어 칩

에폭시 콘크리트에 탄성 특성을 부여하기 위하여 재생골재의 일부 대체재로 페타이어 칩을 사용하였으며, 사용된 페타이어 칩의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

마. 충전재

충전재는 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고, 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 수분함량이 1 %미만이어야 하며, 세립자로 형상이 불규칙하여 비표면적이 큰 것일수록 유리하다 (Sung and Kim, 2011). 본 연구에서는 가격이 저렴하고 구입이 용이한 탄산칼슘을 사용하였으며, 이에 대한 물리적 성질은 Table 5와 같다.

2. 배합설계 및 제작

탄성 복합체는 결합재로 사용되는 수지량이 증가함에 따라 탄성 복합체의 강도는 증가하지만, 바인더량이 지나치게 증가하게 되면 재료분리 및 경화수축이 증가하고 작업성이 현저히 달라지므로 신중히 고려하여야 한다 (Kim and Sung, 2009).

결합재인 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지의 사용

Table 1 Physical properties of epoxy resin (EP)

| Item | Hardener | Properties | | |
|---------------------------------|----------|----------------|---------------------|------------------------|
| | | Elongation (%) | Bond strength (MPa) | Tensile strength (MPa) |
| Diglycidyl ether of bisphenol A | 1,12 | 180 | 14 | 5,2 |

Table 2 General properties of unsaturated polyester resin (UP)

| Type | Specific gravity (20 °C) | Viscosity (25 °C,ps) | Styrene content (%) | Acid value |
|-------|--------------------------|----------------------|---------------------|------------|
| Ortho | 1,12 | 3,5 | 37,2 | 26,5 |

Table 3 Physical properties of aggregates

| Item | Size (mm) | Specific gravity (20 °C) | Absorption ratio (%) | Fineness modulus | Unit weight (kg/m ³) |
|---------------------------|-----------|--------------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|
| Recycled coarse aggregate | 5~20 | 2,59 | 2,80 | 6,92 | 1,435 |
| Silica sand | < 4,75 | 2,7 | 2,24 | 2,34 | 1,478 |

Table 4 Physical properties of waste tire chip

| Item | Specific gravity (20 °C) | Absorption ratio (%) | pH | Grain size (mm) | Color |
|-----------------|--------------------------|----------------------|---------|-----------------|-------|
| Waste tire chip | 1,16 | 0,03 | 6,8~7,0 | 5~8 | Black |

Table 5 Physical properties of filler

| Item | Specific gravity (20 °C) | Specific surface (cm ² /g) | Bulk density (kg/m ³) | Grain size (mm) | Color |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|
| CaCO ₃ | 2.92 | 3,150 | 620 | < 0.15 | White |

Table 6 Mix design of elastic composites with waste tire chip using modified epoxy and unsaturated polyester resin (Unit : kg/m³)

| Mix type | Waste tire chip contents (vol.%) | Binder | Recycled coarse aggregate | Fine aggregate | Filler | Waste tire chip |
|----------|----------------------------------|--------|---------------------------|----------------|--------|-----------------|
| EP-0 | 0 | 345 | 700 | 885 | 215 | 0 |
| EP-1 | 10 | 345 | 630 | 885 | 215 | 31 |
| EP-2 | 20 | 345 | 560 | 885 | 215 | 63 |
| EP-3 | 30 | 345 | 490 | 885 | 215 | 94 |
| EP-4 | 40 | 345 | 420 | 885 | 215 | 125 |
| UP-0 | 0 | 260 | 830 | 1,000 | 230 | 0 |
| UP-1 | 10 | 260 | 747 | 1,000 | 230 | 32 |
| UP-2 | 20 | 260 | 664 | 1,000 | 230 | 64 |
| UP-3 | 30 | 260 | 581 | 1,000 | 230 | 96 |
| UP-4 | 40 | 260 | 498 | 1,000 | 230 | 128 |

량을 최소로 하기 위해 예비실험을 통하여 잔골재에 대한 굵은골재의 비율과 충전재의 사용량을 결정하였으며, 충전재는 재생굵은골재와 페타이어 칩의 치환율에 따른 강도 특성을 평가하기 위하여 모든 배합에서 동일한 중량을 사용하였다. 탄성 복합체의 배합은 바인더로 변성 에폭시와 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 배합 및 페타이어 칩의 치환율에 따른 강도 특성을 비교할 수 있도록 설계하였으며, 페타이어 칩의 치환율은 재생굵은골재에 대한 부피비로 10~40%로 하였다. 변성 에폭시 수지 및 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 탄성 복합체에 대한 배합설계는 Table 6과 같다.

3. 시험방법

가. 강도

압축강도는 $\phi 100 \times 200$ mm의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2481 (폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), 휨강도는 $60 \times 60 \times 240$ mm의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2482 (폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 측정하였다.

나. 동결융해저항성

동결융해저항성은 $60 \times 60 \times 240$ mm의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결 시 -18 °C, 융해시 4 °C가 되게 하였고, 동결융해의 1사이클은 4시간이 소요되었다. 시험동안

매 50 사이클 간격으로 중량변화율 및 동탄성계수를 측정하였고, 동결융해의 반복이 300 사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다. 측정된 동탄성계수로부터 다음 식에 의하여 내구성지수를 산출하였다 (Malhotra and Carino, 1991).

$$D.F = PN/M \tag{1}$$

여기서, DF = 내구성지수

P = N 사이클에서의 상대동탄성계수 (%)

N = 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M = 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

다. 내산성

내산성은 재령 7일된 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체를 황산 20% 용액에 침지하여, 1, 2, 3 및 4주가 경과한 시점에 부식된 표면을 철솔로 닦아내어 표면건조포화상태의 중량을 측정하였으며, 중량변화율은 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$W.C = \frac{W - C}{C} \times 100 \tag{2}$$

여기서, W.C = 중량변화율 (%)

C = 침지전 공시체 중량 (g)

W = 침지 재령에서의 공시체 중량 (g)

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 페타이어 칩 혼입 탄성 복합체의 압축강도 시험결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 변성 에폭시를 바인더로 활용한 페타이어 칩 혼입 탄성 복합체의 재령 3일에서 압축강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 25.9~38.3 MPa의 범위로서 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 페타이어 칩을 사용하지 않은 배합의 압축강도는 40.5 MPa로서 페타이어 칩을 혼입한 배합에 비하여 높은 압축강도를 나타내었다 (Sung and Ryu, 2004).

특히 재생골은골재에 대하여 페타이어 칩의 혼입율이 20 % 이상에서 압축강도 저하가 크게 나타났다. 한편 재령 7일에서 압축강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 34.9~61.6 MPa의 범위로서 재령 3일에서의 압축강도와 마찬가지로 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 페타이어 칩을 혼입할 경우 혼합과정에서 고무 성분의 페타이어 칩이 변성 에폭시 바인더와의 접착으로 유동성이 저하되어 페타이어 칩의 분산이 잘 이루어지지 않을 뿐만 아니라, 페타이어 칩 자체의 강도가 재생골재보다 작기 때문에 판단된다. 반면에 재생골재만을 사용한 배합의 경우 재생골재의 강도 및 형상이 변성 에폭시 바인더와의 결합력 및 작업성을 개선하여 페타이어 칩을 사용한 배합에 비하여 압축강도가 높게 나타난 것으로 판단된다 (Sung and Back, 2005).

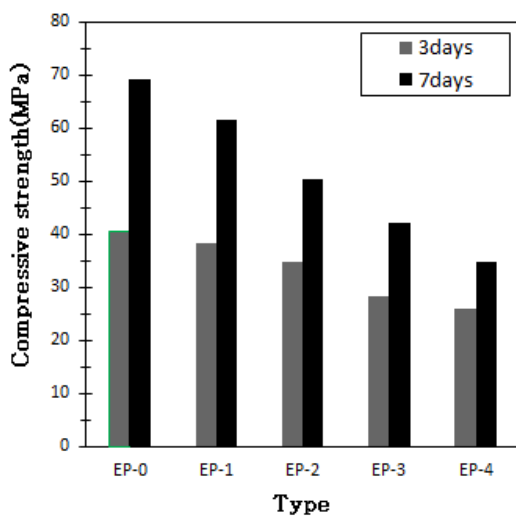
Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 불포화 폴리에스터 수지를

바인더로 활용한 페타이어 칩 혼입 복합체의 재령 3일에서 압축강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 38.1~64.2 MPa의 범위로서 변성 에폭시를 바인더로 활용한 탄성 복합체와 마찬가지로 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 페타이어 칩을 사용하지 않은 배합의 압축강도는 67.4 MPa로서 페타이어 칩을 혼입한 배합에 비하여 높은 압축강도를 나타내었다. 특히 재생골은골재에 대하여 페타이어 칩의 혼입율이 20 % 이상에서 압축강도 저하가 크게 나타났다. 한편 재령 7일에서 압축강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 44.2~77.8 MPa의 범위로서 재령 3일에서의 압축강도와 마찬가지로 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 크게 감소하는 경향을 나타내었다.

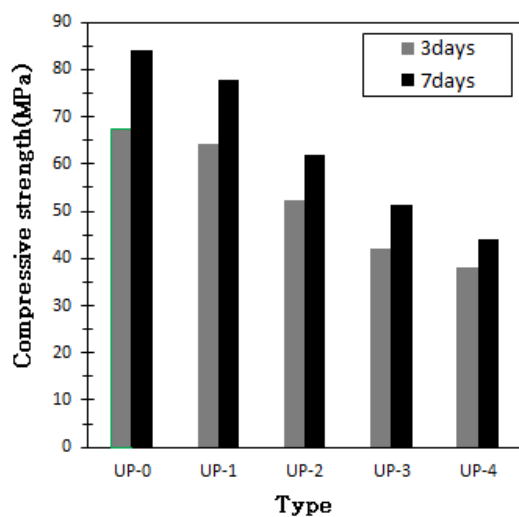
한편 재령 3일 및 7일에서 페타이어 칩의 혼입율에 관계없이 변성 에폭시를 활용한 탄성 복합체의 압축강도가 불포화 폴리에스터 수지를 활용한 복합체의 압축강도에 비하여 낮게 나타났다. 이러한 결과는 에폭시에 탄성 및 신율 특성을 부여하기 위하여 사용된 고무 변성 에폭시가 불포화 폴리에스터 수지에 비하여 상대적으로 강성이 낮을 뿐만 아니라, 변성 에폭시의 낮은 점도로 인한 복합체 제조 시 유동성 저하로 골재의 분산성을 떨어뜨렸기 때문으로 판단된다 (Sung, 1995). 에폭시에 탄성 및 신율 특성을 부여한 변성 에폭시는 탄성 특성을 지니고 있지만, 낮은 점도로 인한 복합체의 성형성에 문제점을 내포하기 때문에 이를 개선할 수 있는 방법의 모색이 필요할 것으로 판단된다.

2. 휨강도

변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 페타이어



(a) Modified epoxy composites



(b) Unsaturated polyester composites

Fig. 1 Compressive strength with modified epoxy and unsaturated polyester resin

어 칩 혼입 탄성 복합체의 휨강도 시험결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2(a)에서 보는 바와 같이 변성 에폭시를 바인더로 활용한 페타이어 칩 혼입 탄성 복합체의 재령 3일에서 휨강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 8.9~12.1 MPa의 범위로서 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 페타이어 칩을 사용하지 않은 배합의 휨강도는 13.8 MPa로서 페타이어 칩을 혼입한 배합에 비하여 높은 휨강도를 나타내었다. 한편 재령 7일에서 휨강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 10.2~18.3 MPa의 범위로서 재령 3일에서의 휨강도와 마찬가지로 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 압축강도 결과와 마찬가지로 혼입과정에서 고무 성분의 페타이어와 변성 에폭시 바인더와의 높은 접착성으로 유동성이 저하되어 복합체 내에 페타이어의 분산이 잘 이루어지지 않을 뿐만 아니라, 페타이어 칩 자체의 강도가 재생골재보다 작기 때문으로 판단된다. 반면에 재생골재만을 사용한 배합의 경우 재생골재의 강도 및 형상이 변성 에폭시 바인더와의 결합력 및 작업성을 개선하여 페타이어 칩을 사용한 배합에 비하여 휨강도가 높게 나타난 것으로 판단된다 (Sung and Park, 2005).

Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 활용한 페타이어 칩 혼입 복합체의 재령 3일에서 휨강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 10.2~15.5 MPa의 범위로서 변성 에폭시를 바인더로 활용한 탄성 복합체와 마찬가지로 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 페타이어 칩을 사용하지 않은 배합의 휨강도는 16.8 MPa로서 페타이어 칩을 혼입한 배합에 비

하여 높은 휨강도를 나타내었다. 한편 재령 7일에서 휨강도는 페타이어 칩의 혼입율에 따라 11.3~20.8 MPa의 범위로서 재령 3일에서의 휨강도와 마찬가지로 페타이어 칩의 혼입율이 증가할수록 크게 감소하는 경향을 나타내었다.

한편 재령 3일 및 7일에서 페타이어 칩의 혼입율에 관계없이 변성 에폭시를 활용한 탄성 복합체의 휨강도가 불포화 폴리에스터 수지를 활용한 복합체의 휨강도에 비하여 낮게 나타났다. 이러한 결과는 에폭시에 탄성 및 신율 특성을 부여하기 위하여 사용된 고무 변성 에폭시가 불포화 폴리에스터 수지에 비하여 상대적으로 강성이 낮을 뿐만 아니라 변성 에폭시의 낮은 점도로 인한 복합체 제조 시 유동성 저하로 골재의 분산성을 떨어뜨렸기 때문으로 판단된다. 특히 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 고분자 복합체의 배합은 슬럼프 및 유동성이 작을 뿐만 아니라 워커빌리티가 좋지 않기 때문에 골재의 표면 형상 및 재질에 따른 영향을 많이 받을 수 있다는 것이 고려되어 저야 한다. 또한, 에폭시에 탄성 및 신율 특성을 부여한 변성 에폭시는 탄성 특성을 지니고 있지만, 낮은 점도로 인한 복합체의 성형성에 문제점을 내포하기 때문에, 이를 개선할 수 있는 방법의 모색이 필요할 것으로 판단된다.

3. 동결융해저항성

일반적으로 시멘트 콘크리트에 동결융해가 반복적으로 작용하면 콘크리트 내부에 물이 얼게 되고, 이 때 팽창에 의하여 콘크리트 내부 구조에 균열이 발생하여 내구성이 저하하게 되며, 연행공기의 확보에 의해 내구성 지수를 증가시킬 수 있다. 반면에 폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되어 지는 고분자 재료의 불투수 특성에 의하여 물의 침투가 어렵기 때문에

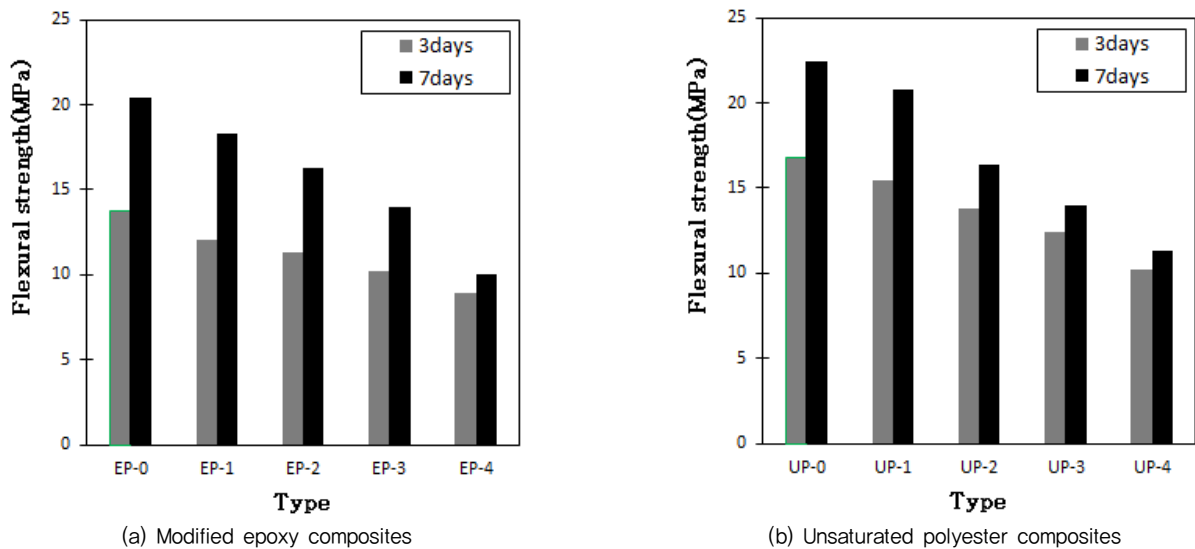


Fig. 2 Flexural strength with modified epoxy and unsaturated polyester resin

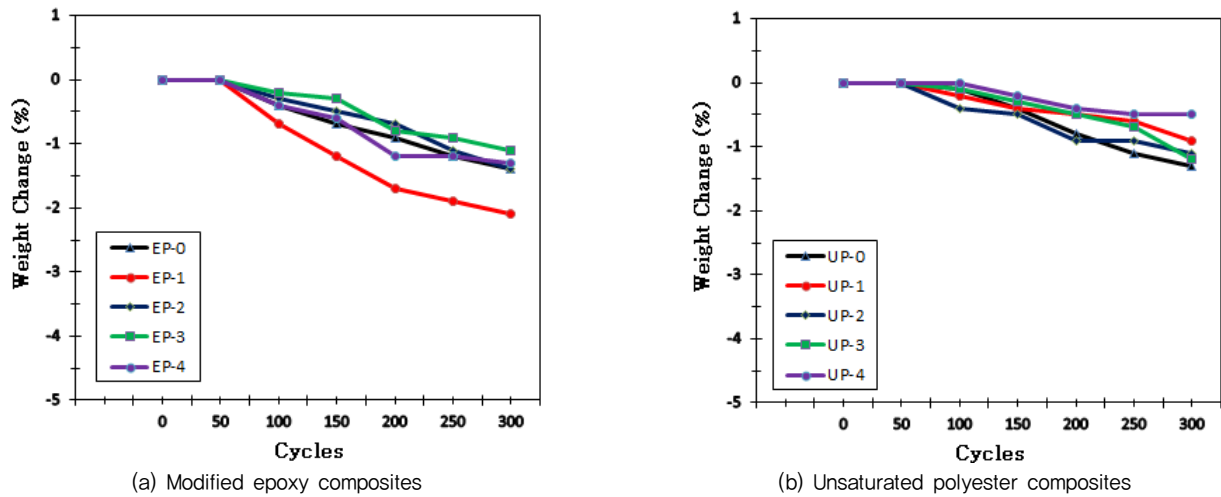


Fig. 3 Weight change with freezing and thawing cycles

동결융해 반복작용 시 시멘트 콘크리트와는 다른 구조적 변화를 보여준다 (Sandberg, 1995).

Fig. 3(a) 및 Fig. 3(b)는 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 활용한 페타이어 칩 혼입 복합체의 동결융해 시험에 따른 중량변화를 보여준다.

Fig. 3(a) 및 3(b)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 페타이어 칩을 혼입하지 않는 배합의 중량감소율은 각각 1.3 및 1.2%로 나타났으며, 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 활용한 페타이어 칩 혼입율에 따른 배합에서의 중량감소율은 각각 0.8~1.9% 및 0.3~1.0%의 범위로 나타나 바인더의 종류 및 페타이어 칩 혼입율에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 보통 시멘트 콘크리트의 결합재로 사용되는 시멘트와 달리, 본 연구에 사용된 변성 에폭시 바인더와 불포화 폴리에스터 수지는 경화 후 투수성이 거의 없기 때문에, 불투수성의 결합재가 골재를 완전히 피복하여 불투수성 콘크리트를 형성하기 때문에 동결융해 작용 시 내구성 저하의 원인인 콘크리트 내부의 수분을 완전히 차단하기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 동결융해 저항성이 매우 우수한 고분자 복합체를 동결융해 피해가 우려되는 농업시설물, 해안구조물 등에 사용할 경우 내구성 개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 4는 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 활용한 페타이어 칩 혼입 복합체의 동결융해 시험에 따른 내구성지수를 보여준다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 변성 에폭시를 바인더로 활용한 재생골재만을 사용한 배합의 내구성지수는 98로 나타났으며, 페타이어 칩의 혼입율에 따른 배합에서 내구성지수는 각각 95~98의 범위로 나타나 페타이어 칩

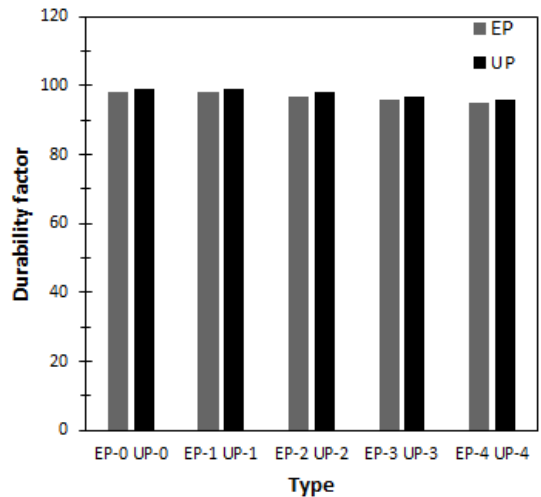


Fig. 4 Durability factor after 300 cycles of freezing and thawing

의 혼입율에 관계없이 내구성지수가 매우 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 동결융해에 대한 내구성 개선을 위한 혼화 재료를 사용하지 않은 보통 시멘트 콘크리트의 경우 동결융해 300사이클에서 상대동탄성계수가 75% 이하로 감소되어 내구성지수가 75 이하로 나타나는 것을 고려할 때 (Sung and Im, 2004), 변성 에폭시 및 페타이어 칩을 활용한 탄성 복합체의 동결융해 저항성이 매우 우수한 것으로 판단된다. 반면에 불투수성의 변성 에폭시를 바인더로 사용하였음에도 미미한 중량 변화 및 내구성지수의 감소가 발생한 것은, 탄성 복합체 제조 시 낮은 슬럼프에 기인하여 혼합 시 완전 피복이 이루어지지 않은 부분이 존재하기 때문으로 판단되며, 특히 페타이어 칩을 혼입할 경우 고점착성의 변성 에폭시 바인더와 페타이어의 점착으로 유동성 및 다짐 특성이 불리하기 때문에 이

에 대한 주의와 개선이 요구된다.

또한, Fig. 4에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 활용한 재생골재만을 사용한 배합의 내구성지수는 99로 나타났으며, 페타이어 칩의 혼입율에 따른 내구성지수는 각각 96~99의 범위로 나타나 변성 에폭시를 바인더로 사용한 배합에서와 마찬가지로 페타이어 칩의 혼입율에 관계없이 내구성지수가 매우 높게 나타났다.

4. 내산성

최근 콘크리트의 사용성이 확대됨에 따라 황산 및 염산 등과 같은 심각한 환경에 노출되는 경우가 많아 콘크리트의 내구성을 개선하기 위한 연구가 요구되고 있다. 일반적으로 콘크리트의 수화생성물 중에 다량으로 존재하게 되는 알칼리성의 수산화칼슘은 높은 용해성으로 산과 반응하기 쉬우며 수경성 화합물인 C-S-H (calcium silicate hydroxyl)와 C-A-H (calcium aluminate hydroxyl)는 분해되고, 다량의 염류가 생성되어 염의 용축과 결정화 등에 의해 침식 및 열화되는 것으로 알려져 있다. 특히, 염산, 황산 등에 의한 침식작용은 수경성의 염화칼슘, 질산칼슘과 난용성의 황산칼슘 등을 생성하고, 규산과 알루미늄 등을 용해시켜 실리카와 알루미늄겔을 생성하며 골재까지도 침식시킨다(Neville, 1995).

Fig. 5은 20% 황산 용액에 4주 동안 침적한 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 활용한 페타이어 칩 혼입 복합체의 중량변화를 나타낸다.

Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 페타이어 칩 혼입율에 따른 변성 에폭시 복합체의 황산 침적 4주 후 중량감소율은 0.8~1.82% 범위로 나타났으며, 페타이어 칩을 혼입하지 않은 배합의 중량감소율 0.7%와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 이

러한 결과는 골재를 피복하고 있는 변성 에폭시 수지가 20% 황산 용액의 침투를 억제하여 골재의 침식을 방지할 뿐만 아니라, 변성 에폭시 수지 자체가 황산에 대한 저항성이 매우 우수하기 때문에 판단된다. 일반적으로 시멘트 콘크리트는 5%의 황산용액에 대한 침적 시험 시 약 4주가 경과되면 표면 탈락 및 골재 침식이 크게 증가하는 것으로 알려져 있어, 변성 에폭시 복합체의 콘크리트가 황산에 대한 내산성이 매우 우수하다는 것을 알 수 있다(Kim and Sung, 2008).

한편, Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이 페타이어 칩 혼입율에 따른 불포화 폴리에스터 수지 복합체의 황산 침적 4주 후 중량 감소율은 0.9~1.5% 범위로 나타났으며, 페타이어를 혼입하지 않은 배합의 중량감소율 0.65%와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 변성 에폭시를 사용한 복합체와 마찬가지로 바인더로 사용된 불포화 폴리에스터 수지의 황산에 대한 저항성이 우수하여 중량 감소는 크지 않은 것으로 나타났다. 바인더로 사용된 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지는 황산에 대한 저항성이 우수하여 산에 대한 내구성을 요하는 곳에 사용할 경우, 활용성이 클 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 변성 에폭시와 페타이어 칩을 활용한 복합체의 강도 및 내구 특성을 평가하기 위하여 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 사용한 복합체와의 동등한 조건으로 물리·역학적 특성을 구명한 것으로 다음과 같은 결론이 도출되었다.

1. 압축강도는 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 복합체의 페타이어 칩 혼입율이 증가할수록 감소하

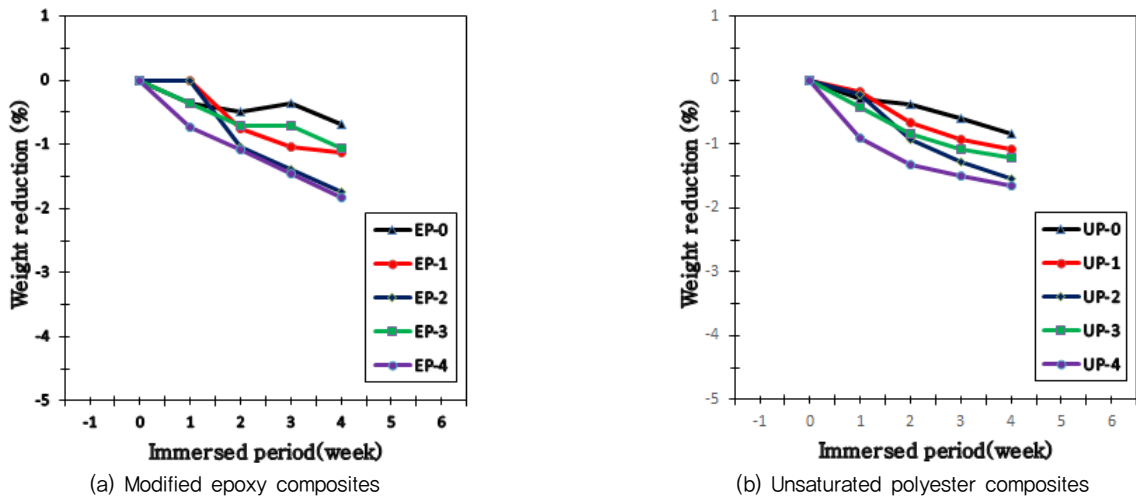


Fig. 5 Weight change with immersed period in 20% H₂SO₄

는 경향을 나타내었으며, 페타이어 칩을 혼입하지 않은 배합에 비하여 압축강도가 감소하였다. 이러한 결과는 사용된 페타이어 칩이 탄성 특성은 높지만 강도 측면에서 재생 굵은골재보다 낮기 때문으로 판단된다. 또한 페타이어 칩 혼입율에 관계없이 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 복합체가 변성 에폭시를 사용한 복합체에 비하여 높은 압축 강도를 나타내었다.

2. 휨강도는 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 복합체의 페타이어 칩 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 불포화 폴리에스터 수지를 바인더로 활용한 복합체가 변성 에폭시를 사용한 복합체에 비하여 다소 높은 휨강도를 나타내었다.
3. 중량감소율은 동결융해 300 사이클 후 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 복합체에서 모두 1.3% 이하로 나타났으며, 페타이어 칩 혼입율에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 내구성지수도 모든 복합체에서 95 이상을 나타내어 변성 에폭시를 바인더로 사용한 복합체의 동결융해저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.
4. 변성 에폭시 및 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 복합체의 페타이어 칩 혼입율에 따른 20% 황산용액에 침적 4주 후 중량감소율은 1.82% 이하로 나타났으며, 바인더 및 페타이어 칩 혼입율에 관계없이 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 황산에 대한 내산성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 2014년도 충남대학교 재직교원 학술연구비 지원에 의하여 수행된 결과임

REFERENCES

1. Brandt, A. M., 1995. Cement-based composites : materials, chemical properties and performance. *E & FN Spon*.
2. Czernin, W., 1980. Cement chemistry and physics for civil engineers. *Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH*: 10-17.
3. Fontana, J. J., M. Steinberg, and W. Reams, 1987. Lightweight polymer concrete composites. *Polymer Modified Concrete, American Concrete Institute*: 51-71.
4. Folwer, D. W., 1994. Current uses of polymer concrete in the United States, *Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete*: 3-9.
5. Kim, I. S., and C. Y. Sung, 2008. Compressive strength and acid-resistant of polymer concrete using redispersible polymer and blast furance slag powder. *Journal of the Korean Society Agricultural Engineers* 50(5): 19-27 (in Korean).
6. Kim, Y. I., and C. Y. Sung, 2009. Strength and durability properties of recycled polymer concrete using unsaturated polyester resin and recycled aggregate. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(6): 97-103 (in Korean).
7. Lee, M. H., and S. H. Lee, 2008. Fundamental study of fire-proof characteristics of high strength concrete using meta-kaolin and waste tire chip. *Journal of the Korea Concrete Institute* 20(1): 89-97 (in Korean).
8. Malhotra, V. M., and N. J. Carino, 1991. Handbook on moned-structive testing of concrete. *CRC Press*: 50-83.
9. Neville, A. M., 1995. Properties of concrete, 4rd Ed. *Longman Malaysia*, London: 605-674.
10. Sandberg, P., 1995. Resistance of non-air-entrained RHA concrete to freezing and thawing in saline environment. *Firth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete*, Milwaukee, WI.
11. Sung, C. Y., 1995. An experimental study on the mechanical properties of high performance lightweight polymer concrete. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 37(3.4): 72-81 (in Korean).
12. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 2003. Physical and mechanical properties of concrete using recycled aggregate and industrial by-products. *Jounrnal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(6): 128-135 (in Korean).
13. Sung, C. Y., and S. H. Im, 2004. Freezing and thawing properties of high strength concrete using recycled coarse aggregate. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(2): 59-66 (in Korean).
14. Sung, C. Y., and N. H. Ryu, 2004. Characteristics of recycled concrete using recycled coarse aggregate and industrial by-products. *Journal of Advanced Mineral Aggregate Composites* 9: 125-132 (in Korean).
15. Sung, C. Y., and I. S. Park, 2005. Fluidity of super flow concrete using recycled coarse aggregate, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47(2): 55-61 (in Korean).
16. Sung, C. Y., and S. C. Back, 2005. Strength properties of polymer concrete using recycled aggregate. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47(4): 25-32 (in Korean).
17. Sung, C. Y., and T. H. Kim, 2011. Engineering properties of permeable polymer concrete for pavement using powdered waste glass and recycled coarse aggregate. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(6): 59-65 (in Korean).