

# 폐유리 발포 경량골재를 활용한 보수몰탈 경량화

## Lightweighting for repair mortar with crushed and expanded waste glass aggregates



박정훈 Jung-Hoon Park  
 (주)케미콘  
 기술연구소 과장  
 E-mail : jhpark@chemicon.co.kr

### 1. 서론

콘크리트는 현대사회에서 대부분의 다양한 구조물에 건설재료로 사용되어 왔으며 다양한 용도에 맞게 시공하고 이를 효율적으로 유지 관리하기 위한 연구가 수행되고 있다. 오래된 콘크리트 건축물이나 구조물의 경우 각종 물리적 화학적 요인으로 인해 노후되거나 부식되어 건축물의 기능을 온전히 유지하기 어려운 경우가 증가하고 있다. 이와 같이 다양한 요인으로 인해 재료적으로 부식된 경우에는 표면피복을 새로운 재료를 사용하여 보수하여 구조적인 기능성 저하를 방지하는 것이 필요하다. 이를 위해 각종 건축·토목 구조물 및 시설물의 보수 시공에서 폴리머를 함유한 보수몰탈이 보수재료로서 시공되고 있다.

주로 보수몰탈은 벽면이나 천장에 뿔칠을 통해 시공되어지는데 콘크리트와 달리 거푸집이 없는 형태로 상온에 노출되어 양생되는 경우가 대부분이다. 이에 보수몰탈 시공현장에서는 시공과정에서 중력에 의한 처짐현상이 발생되거나 양생과정에서 환경 조건에 따라 수분건조로 인한 수축균열이 발생될 수 있어 재료의 배합과 시공 및 양생관리가 중요하다. 위와 같은 보수재료의 단점을 개선하기 위한 방안으로 경량재료를 활용하여 보수몰탈의 자중을 감소시킴과 동시에 작업성 및 시공성을 개선시키기 위한 방법이 연구되고 있다. 재료의 경량화는 고층건축물의 경우 자중감소를 통한 구조물 전체의 안전성과 효율성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 단열성과 방음성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

본 고에서는 폐유리를 발포시켜 생산된 경량골재가 일반적인 천연 경량골재 대비 압축강도는 크고 수분흡수율이 낮은 특성을 고려하여 경량골재로서의 사용성능을 평가하고 보수재료로서의 적합성을 검토하고자 한다.

### 2. 사용 재료

본 연구에서는 독일의 폐유리 발포 경량골재 제조업체에서 생산한 재료를 대상으로 속경형 폴리머 보수몰탈 배합에 잔골재를 치환하여 사용하였다.

## 2.1 페유리 발포 경량골재

보수물탈의 경량화를 위해 페유리 발포 경량골재를 일반골재와 혼용하여 사용하였다. 일반골재는 국내 B사에서 생산되어 판매되는 몰탈 제조용 잔골재 4, 5, 6호사를 사용하였다. 페유리 발포 경량골재는 유럽 P사에서 고품질의 재생유리를 원료로 사용하여 만든 발포 유리 미립자로 친환경적 제조공정으로 생산되는 제품을 사용하였다(LEED-certified). 페유리 발포 경량골재는 약 900 °C 온도의 특수한 가마의 높은 온도에서 소성 및 발포시킨 불연성 재료로서 안정성이 우수하여

시멘트와의 부착성능이 우수하고 흡수율이 낮으며 특히 강도 및 내구성이 우수한 특성이 있다. 경량골재는 입도 사이즈에 따라 구분되며 입도별 물리적 특성은 아래와 같다.

본 연구에서는 보수물탈에 사용되는 일반골재 4, 5, 6호사의 직경과 유사한 경량골재 입도 사이즈 0.25~0.5mm, 0.5~1.0mm, 1.0~2.0mm의 3종류를 선정하였으며, 일반골재의 25%, 50%, 75%를 경량골재로 치환하였다. 이 과정에서 각각의 실험배합의 골재 조립율이 유사하도록 치환되는 골재의 양을 부피비로 계산하여 실험을 진행하였다.

[표 1] 페유리 발포 경량골재의 물리적 특성

| Division   | Lightweight aggregate |           |           |
|--|-----------------------|-----------|-----------|
| Granular size (mm)                                   | 0.25~0.5              | 0.5~1.0   | 1.0~2.0   |
| Bulk density / Particle density (kg/m <sup>3</sup> ) | 340 / 700             | 270 / 500 | 230 / 400 |
| Crushing resistance (N/mm <sup>2</sup> )             | 2.6                   | 2.0       | 1.6       |
| Water absorption (% volume)                          | 15                    | 9         | 7         |

[표 2] 페유리 발포 경량골재의 화학적 특성

| Constituent | SiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | CaO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | K <sub>2</sub> O | LoI  |
|-------------|------------------|-------------------|-------|--------------------------------|------|------------------|------|
|             | 70~75%           | 10~15%            | 7~11% | 0.5~5%                         | 0~5% | 0~4%             | 0.2% |

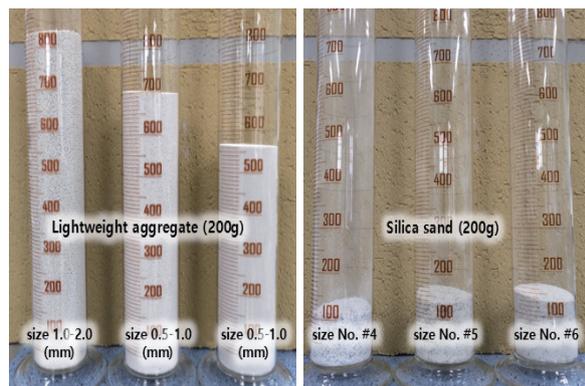


사진 1. 페유리 발포 경량골재 및 일반골재 단위중량 200g에 대한 부피 비교

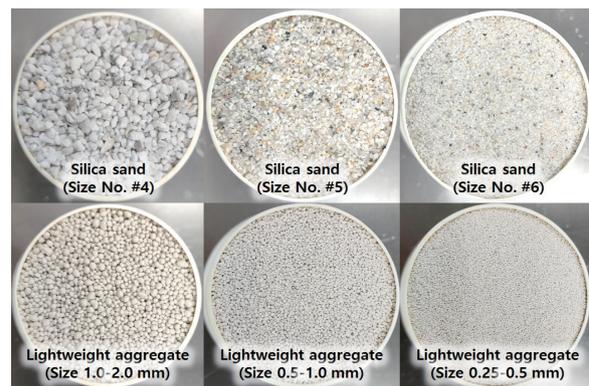


사진 2. 페유리 발포 경량골재 및 일반골재의 성상 비교

[표 3] 결합재의 화학적 특성

| Material     | Chemical compositions (%) |                                |                                |      |     |                 |
|--------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|
|              | SiO <sub>2</sub>          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | SO <sub>3</sub> |
| OPC          | 21.9                      | 4.9                            | 3.7                            | 61.7 | 2.8 | 2.2             |
| CAC + Gypsum | 2.15                      | 15.9                           | 0.6                            | 53.4 | 0.2 | 26.3            |

[표 4] 폴리머의 물리적 특성

| Physical state | Bulk density              | Particle size     | Solids content | Minimum film forming temperature |
|----------------|---------------------------|-------------------|----------------|----------------------------------|
| White powder   | 470~570 kg/m <sup>3</sup> | max. 2% (>400 μm) | min. 98 %      | 4 °C                             |

## 2.2 결합재

보수물탈의 주요 결합재로서 OPC 베이스에 무수황산석고, 알루미늄계 시멘트가 혼입된 3성분계 속경형 결합재를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 알루미늄계 시멘트는 유럽 I사에서 개발된 C12A7계 광물을 분쇄하여 분말형으로 제조된 제품으로서 수화과정에서 비정형(amorphous)으로 조직이 구성되며 물속에서 용해가 빠른 특성이 있다. 또한, 알루미늄계 시멘트를 사용함에 따라 응결시간을 촉진시키고 조기강도를 확보하여 작업성을 증진시키며, 장기적으로는 화학적인 안정성을 개선시키는 특성이 있는 것으로 알려져 있다. OPC, 석고 및 알루미늄 시멘트의 화학 구성성분은 [표 3]과 같다.

## 2.3 폴리머 및 기타 첨가재료

일반적인 보수물탈의 경우 액상 아크릴 폴리머를 현장에서 혼합하여 사용하고 있으나 일부 현장에서는 작업조건이 열악하여 균질한 품질을 유지하여 시공하는데 어려움이 있다. 이에 공장 사전혼합형 폴리머 보수물탈의 개발을 위해 재유화형 분말 폴리머 중 에틸렌 비닐 아세테이트를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 분말 폴리머는 유럽 W사에서 개발된 제품으로서 목재, 타일, 콘크리트, 철근 등에 우수한 접착특성을 발휘하고 구조물의 균열 발생을 억제한다. 또한 유럽에서 규정하는 독성물질을 전혀 함유하지 않는 무독성 제품으로서 물리적 특성은 [표 4]와 같다.

또한, 일반적으로 보수물탈의 작업성 및 물리적 강도를 증진시키기 위해 사용되는 첨가재료를 사용하였으며 이는 증점제, 소포제, 수축저감제, 섬유 등이 포함된다.

## 3. 실험계획

### 3.1 배합설계

본 연구의 몰탈 혼합은 KS F 4042에 의거하여 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 실험방법을 적용하였으며, 골재의 치환비율 변경에 따른 물성을 평가하기 위해 아래와 같이 실험배합을 설정하였다. 보수물탈의 기본 배합을 Reference에 중량비 합계 100 %로 나타내었다. 실험군은 Series I, II, III의 3단계로 구분하였다. Series I에서는 몰탈 전체의 중량비 10%에 해당되는 일반골재를 경량골재로 치환하며 경량골재의 치환방법에 따른 기본물성을 평가하였다. Series II에서는 몰탈 전체의 중량비 20%, 30%를 경량골재로 치환하며 기본물성을 평가하였다. Series III에서는 앞서 Series I, II의 실험결과를 바탕으로 경량골재의 효율적인 치환방법을 설정하여 실효성을 검토하였다.

### 3.2 실험방법

본 연구의 실험방법으로 몰탈의 혼합은 KS F 2476의 기계

[표 5] 보수물탈 경량화 실험 배합설계 설정

| Division                                | W/B (%) | Mix ratio (% weight) |         |     |                  |                        |              |               |       |      |      |     |      |      |
|---|---------|----------------------|---------|-----|------------------|------------------------|--------------|---------------|-------|------|------|-----|------|------|
|   |         | Binder               | Polymer | Ad. | Sand             | Light weight aggregate |              |               | Total |      |      |     |      |      |
|   |         | OPC + CAC + Gypsum   | EVA     |     | Size No. 4, 5, 6 | 1.0~2.0 (mm)           | 0.5~1.0 (mm) | 0.25~0.5 (mm) |       |      |      |     |      |      |
| Reference                               |         |                      |         |     | 57               |                        |              |               | 100   |      |      |     |      |      |
| Series I.<br>(Sand 10% replacement)     | I-1     | 50.0                 | 38      | 3   | 2                | 47                     | 1.8          |               |       | 91.8 |      |     |      |      |
|   | I-2     |                      |         |     |                  |                        |              | 2.3           |       | 92.3 |      |     |      |      |
|   | I-3     |                      |         |     |                  |                        |              |               | 2.9   |      | 92.9 |     |      |      |
|   | I-4     |                      |         |     |                  |                        | 0.6          | 0.8           | 1.0   | 92.4 |      |     |      |      |
| Series II.<br>(Sand 20~30% replacement) | II-1    |                      |         |     |                  |                        |              |               | 37    |      | 4.6  |     | 84.6 |      |
|   | II-2    |                      |         |     |                  |                        |              |               |       |      |      | 5.8 |      | 85.8 |
|   | II-3    |                      |         |     |                  |                        |              |               | 27    | 1.2  | 1.6  | 2.0 | 84.8 |      |
|   | II-4    |                      |         |     |                  |                        |              |               |       | 1.8  | 4.6  |     | 76.9 |      |
|   | II-5    |                      |         |     |                  |                        |              |               |       |      |      | 8.7 |      | 78.7 |
|   | II-6    |                      |         |     |                  |                        |              |               |       | 1.8  | 2.4  | 3.0 | 77.2 |      |
| Series III.<br>(W/B reduction)          | III-1   |                      |         |     |                  | 48.0                   |              |               | 47    | 0.6  | 0.8  | 1.0 | 92.4 |      |
|   | III-2   |                      |         |     |                  | 47.5                   |              |               | 37    | 1.2  | 1.6  | 2.0 | 84.8 |      |
|   | III-3   | 46.5                 |         |     | 27               | 1.8                    | 2.4          | 3.0           | 77.2  |      |      |     |      |      |

\* Ad. : thickener, defoamer, anti-shrinkage agent, fiber, etc.

적 혼합방법의 배합절차에 따라 전동식 혼합믹서를 사용하였으며, 유동성은 전동식 플로테이블을 사용하였고 응결시간은 KS F 2436에 의거하여 관입법을 사용하여 측정하였다. 여기에 압축강도, 휨강도, 부착강도 시험을 통해 기본물성을 평가하였다. 일반적으로 경량골재의 사용에 따라 압축강도가 저감할 것으로 예상되며 경량골재의 치환방법에 따른 작업성을 평가하고 이에 따른 강도특성을 측정하여 보수물탈의 경량화에 유효한 경량골재 치환방법을 검토하였다.

#### 4. 실험결과 분석

##### 4.1 플로우 및 응결시간

플로우 및 응결시간 측정결과를 <그림 1>에 나타내었다. 플로우는 경량골재를 치환할수록 증가하였으며, 입자가 작은 골재를 치환할수록 더 증가하는 것으로 나타났다. 이는 페유리

발포 경량골재가 구(Sphere)형태로 제조되었고, 일반골재는 파쇄하여 제조된 것과 비교되어 볼베어링 효과가 증가되어 유동성이 증진된 것으로 예상된다. 20분 플로우의 경우 입자가 큰 골재를 치환할수록 감소량이 크게 나타났다. 이는 앞서 페유리 경량골재의 기본물성정보에서 확인하였던 흡수량의 차이에 의한 특성에 기인한 것으로 판단되며, 현장에서의 작업성 확보를 고려한다면 사이즈가 작은 골재를 치환하는 것이 유리할 것으로 예상된다. 한편, 응결시간은 대부분의 시험체에서 ±20분 내외의 작은 차이를 나타내었으며, 경량골재의 사용여부에 따른 응결시간의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

Series III에서는 경량골재를 치환할수록 플로우가 증가하는 특성을 바탕으로 현장작업성을 고려하여 경량골재의 치환율 증가에 따른 플로우의 변화를 일정하게 유지하기 위하여 W/B를 저감한 실험결과이다. 몰탈의 10%, 20%, 30%를 재료 중 일반골재를 경량골재로 치환하면서 W/B를 50%에서 48%, 47.5%, 46.5%로 저감하였고 플로우는 동일하게 유지되는 것으로 나타났다.

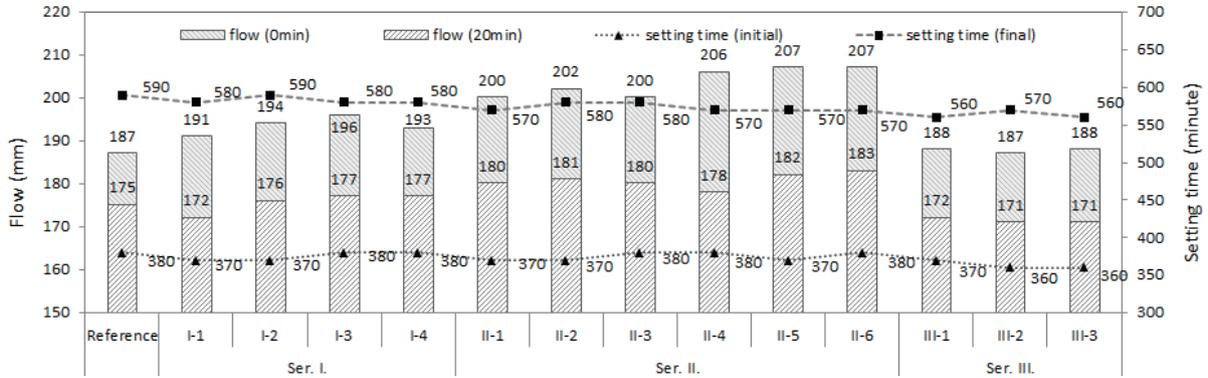


그림 1. 보수물탈 경량화 플로우 및 응결시간 시험결과

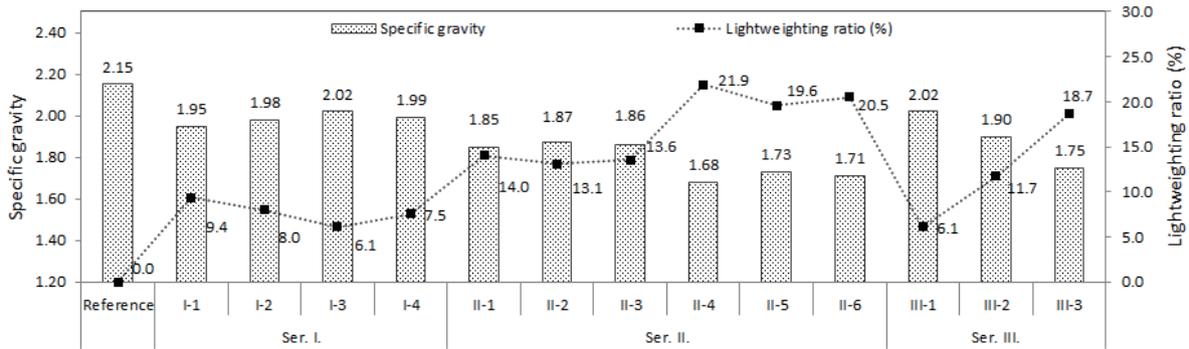


그림 2. 보수물탈 경량화 단위중량 시험결과

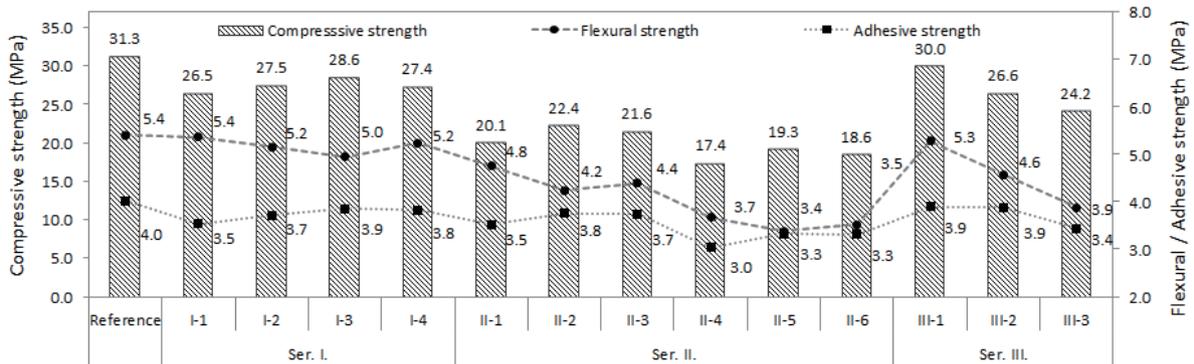


그림 3. 보수물탈 경량화 힘, 압축, 부착강도 시험결과

#### 4.2 단위중량 비중 특성

단위중량 비중 측정 결과를 <그림 2>에 나타내었다. 일반골재 10%, 20%, 30%를 경량골재로 치환함에 따라 단위중량

비중은 Reference 결과값인 2.15에서 1.71까지 저감되었고, 몰탈의 경량화 효과는 최대 20.5%로 나타났으며, 경량골재의 사이즈가 큰 재료를 사용하여 치환할수록 경량화 효과는 큰 것으로 나타났다.

### 4.3 힘, 압축, 부착강도 특성

휨강도, 압축강도, 부착강도 측정 결과를 <그림 3>에 나타내었다. 경량골재의 치환율이 증가함에 따라 압축강도, 부착강도는 감소하였으며 휨강도는 상대적으로 강도의 감소비율이 크지 않은 것으로 나타났다. 압축강도의 경우 경량골재의 사이즈가 큰 재료를 사용하여 치환할수록 강도저하가 크게 나타났으며 사이즈가 작은 재료를 치환할수록 강도 저하는 상대적으로 적게 나타났다. 반면, 휨강도의 경우 경량골재의 사이즈가 클수록 강도저하가 적게 나타났으며 경량골재의 사이즈가 작을수록 강도저하가 크게 나타났다. 물비를 저감하여 실험한 Series III의 경우 10%를 치환할 경우 압축강도, 휨강도, 부착강도는 Reference와 큰 차이가 없었으며 20%, 30%에서는 앞서 일반적인 강도저하 특성과 유사하게 감소하였으나 W/B가 저감된 만큼 강도발현이 일부 보상된 것으로 나타났다.

서의 사용성능을 평가하고 보수재료로서의 적합성을 검토하였다. 기존 경량콘크리트에 사용되었던 저가형 경량골재가 아닌 폐유리 발포 경량골재의 사용을 통해 상대적으로 흡수율이 낮고 강도가 높고 매끄러운 성상을 나타내는 재료의 특성을 바탕으로 비중을 약 19% 저감하면서 압축강도는 31MPa 기준으로 약 6MPa정도 감소되는 것을 확인하였다. 이는 경량골재를 사용함에 따라 볼베어링 효과로 인해 유동성이 증가하여 일정한 작업성을 맞추기 위한 필요 수량이 감소하게 되고 이로 인해 W/B를 저감하여 보수물탈의 물성이 개선되는 효과도 크다고 볼 수 있다. 특히, 경량골재의 사이즈 종류별 흡수율과 강도특성이 다른 것을 바탕으로 압축강도, 휨강도, 부착강도를 모두 고려하면 다양한 사이즈의 경량골재를 사용하는 것이 물성을 관리하는데 유리한 것으로 평가되었다. 이와 같이, 경량골재를 사용하여 W/B를 저감함과 동시에 물탈의 경량성 확보가 가능함을 확인하였고 보수물탈에 경량골재로서 사용하기에 적합하다는 결론을 얻었다. 추후 W/B 저감에 따른 장기적인 길이변화 및 내구성에 대한 검토 연구가 필요하며 시간경과에 따른 플로우 저감을 보완하기 위해 추가적인 첨가제의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

### 5. 결론 및 시사점

폐유리 발포 경량골재를 보수물탈에 사용하여 경량골재로

담당 편집위원 : 노승준(금오공과대학교)

#### ●● 학회 특별회원사 동정 안내

Magazine of RCR(한국건설순환자원학회지)은 계간으로 발행되어 회원을 비롯한 관련 업계, 학계, 유관기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 특별회원사의 최신 정보 및 기술현황 등의 홍보사항을 학회지에 무료로 게재하여 널리 홍보하고자 하오니 관심 있는 특별회원사는 아래 사항을 참조하여 원고를 송부하여 주시기 바랍니다.

#### 1. 특별회원사 홍보내용

특허, 신기술, 신제품, 수상실적, 세미나 및 시연회, 사회공헌 등

#### 2. 원고 분량

A4 2~4매 내외이나 특별한 제한이 없음(그림 또는 사진 포함 가능)

#### 3. 보내실 곳

한국건설순환자원학회 오경숙 차장(E-mail : rcr@rcr.or.kr, Tel. : 02-552-4728)