

# 폐플라스틱 제품의 골재를 이용한 경량 콘크리트에 관한 연구

## Study of Light Weight Concrete Using Aggregate of Waste Plastic Materials

한 상 목\*            조 명 석\*            송 영 철\*\*  
Sang-Mook Han    Myung-Sug Cho    Young-Chul Song

---

### ABSTRACT

In scrapped material field, about ten millions ton of waste plastic materials are produced in Korea. However recycling rate of waste plastic materials have above 25%. Therefore, it is urgently needed that they are used as recycled materials in order to prevent environment pollution and gain economic profits. In this paper, physical and mechanical properties of light weight concrete using waste plastic materials for aggregates are described in order to develop a light weight concrete with the aggregate made from waste plastic goods, it was carried out many experiments on mix proportion and strength. According to the experimental results, high-strength mortar was necessary to make light weight concrete using aggregate of waste plastic materials. Especially, considering the side of recycling of plastic wastes, it is recommended that recycled aggregates made from waste plastic materials is applied to light weight concrete.

---

### 1. 서론

최근 콘크리트용 골재에 관해서 천연 골재의 고갈 및 대량 채취에 따른 환경과피 등의 문제점으로 부터 대체품(예로 콘크리트 폐기물에서 제조된 재생 골재 등)을 설계상 사용가능한 부분의 콘크리트에 관해 적극적으로 활용하려는 움직임이 활발하게 일어나고 있다.

한편 사용 후의 PET병으로 대표되는 폐플라스틱의 회수가 전국적으로 광범위하게 이루어지고 있지만 회수품에 대한 리사이클 용도가 명확히 확립되어 있지 않고 심지어 일부는 중간처리 단계에서 재처리시설에 축적되어 있는 경우가 비일비재하다.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 콘크리트용 골재의 새로운 대체품개발 및 폐플라스틱의 유효활용의 관점에서 콘크리트 경량 골재로서 폐플라스틱 제품을 재활용하려는 시도로 수행된 것이다.

실험에서는 폐플라스틱 제품의 굵은 골재를 첨가한 경량콘크리트를 제작하여 최적배합, 강도, 온도 변화에 대한 영향 등의 기초 자료를 취득, 그 유효성을 검토하여 보고하기로 한다.

한편 본 연구에서는 실용화 단계에서의 콘크리트 제조과정의 번잡성, 경제성 등을 고려해서 굵은 골재 혹은 잔 골재로서 각각 100% 치환을 전제조건으로 한다.

---

\* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

\*\* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

## 2. 페플라스틱제 골재

### 2.1 실험에 사용한 페플라스틱

페플라스틱에서 외관상 골재로 인식 가능한 물건을 제조하기 위해서는 용융, 성형에 의해 비교적 용이하게 제조가능하다. 그러나 화학적 성분이 서로 다른 여러 종류의 플라스틱이 혼합된 상태에서 콘크리트용 골재를 직접 제조한다는 것은 제조과정에서의 유독가스의 발생, 페플라스틱 골재로부터의 유해물질의 용출, 페플라스틱제 골재 물성의 불안정성 등의 관점에서 많은 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 페플라스틱류의 사용이 환경에 문제가 없고, 동시에 페플라스틱의 혼합비율이 일정하게 유지되어 성형물의 성질이 일정한 기존의 페플라스틱 덩어리를 중간 재료로 사용하였다. 페플라스틱에 사용된 종류는 Polyethylene Terephthalate (페PET병)이 약 80~90%, 나머지는 Polypropylene (주로 폐포장용 필름)이며, 약 1cm의 칩 형상으로 분쇄하여(그림 1 참조), 약 270℃에서 용융, 압출 성형해서 제조된 것으로, 그림 2에서 보는 바와 같이 타원형을 저면으로 하는 높이 약 6cm의 원추형으로 질량은 약 400g으로 계측된 페플라스틱 덩어리를 입수하여 그림 3과 같이 10~25mm의 입경으로 분쇄하여 사용하였다. 페플라스틱 제품의 물리적 및 화학적 시험결과를 표 1에 나타낸다.

이와 같은 페플라스틱제 골재는 일본 북부지방의 한랭지에서 철도의 밸러스트로 사용된 실적은 있지만 콘크리트용 골재로 사용실적 및 연구보고는 현재 알려져 있지 않다.

표 1 페플라스틱 제품의 시험결과

| 항 목   | 결 과                                  | 비 고    |
|-------|--------------------------------------|--------|
| 압축강도  | 약84(MPa)                             |        |
| 선팽창계수 | $8 \times 10^{-5}(1/^\circ\text{C})$ | 70℃ 이하 |
|       | $8 \times 10^{-5}(1/^\circ\text{C})$ | 75℃ 이상 |
| 연화점   | 240℃                                 |        |
| 용출시험  | 유해물질 비 검출                            |        |

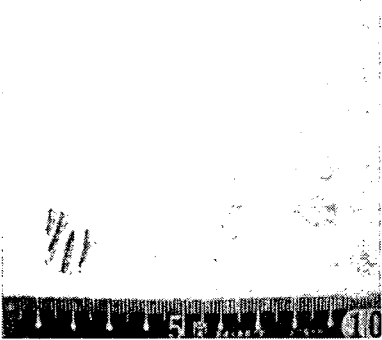


그림 1 칩 상의 페플라스틱

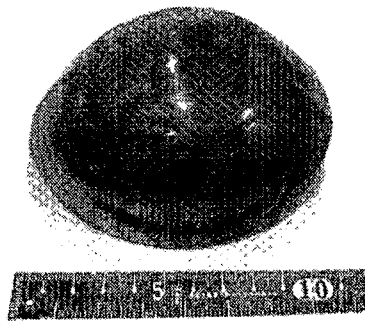


그림 2 페플라스틱 덩어리

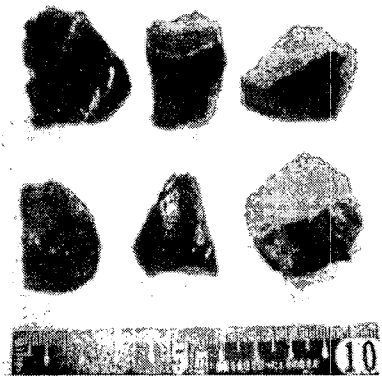


그림 3 페플라스틱제 굵은 골재

## 2.2 실험에 사용한 페플라스틱제 굵은 골재

실험에 사용한 페플라스틱제 골재는 그림 2에 나타낸 페플라스틱 덩어리를 분쇄기로 파쇄 후 체가름에 의해 얻어진 것이다. 제조된 골재의 형상은 입경에 관계없이 그림 3에 나타내는 것과 같이 모난 형상을 하고 있지만 각 면은 매끈한 것을 알 수 있다. 경량 굵은 골재의 각종 측정을 행한 결과 흡수율은 0%, 절건(표건)밀도는  $1.18\sim 1.24\text{g}/\text{cm}^3$ 으로 나타났다.

이하의 각종 실험에 있어서는 경량 골재의 실용화 시의 경제성을 고려하여 분쇄기에서 파쇄 후의 처리는 사용치수의 상한치 및 하한치로만 입도분포를 조정만 한 후 그 외의 세척 등의 처리는 행하지 않고 사용하였다.

## 3. 예비 배합실험

콘크리트 압축강도 20MPa을 목표로 굵은 골재만을 100% 페플라스틱제 경량골재를 사용한 콘크리트의 배합설계에 관한 기초 데이터를 얻을 목적으로 예비실험을 행했다. 본 연구에서 사용한 시멘트는 일본산 보통 포트랜드를, 잔골재는 JIS규정 표준모래를 사용하였다.

### 3.1 혼화제를 사용하지 않은 경우

10~25mm의 페플라스틱제 경량 골재(그림 3 참조)와 통상의 잔 골재(모래)를 사용하여 물-시멘트비 45%, 혼화제 미사용의 조건으로 콘크리트를 제작하였다.

그 결과 재령28일의 압축, 인장강도는 각각 12MPa, 1MPa로 목표치를 크게 밑도는 결과로 나타났다. 파괴 형태를 살펴본 결과 경량 굵은 골재와 모르타르 부와의 부착파괴가 현저한 것으로 나타났다. 따라서 배합 및 부착능력을 향상시킨다면 목표치의 강도를 만족시키는 콘크리트의 제조가 가능하리라 사료된다. 그러나 경량 굵은 골재 파쇄 이후의 표면처리를 행하는 것은 경제성 및 작업성의 관점에서 곤란하다고 판단된다. 따라서 강도 증진의 측면에서 이하에서는 입경이 작은 5~10mm의 경량 골재만을 굵은 골재로 사용하여 부착 파괴면을 분산시키는 효과로 강도증진 효과를 꾀하였다.

배합별 실험결과를 표 2에 나타낸다. 파괴형태는 경량 골재와 모르타르 부분과의 부착파괴가 주로 관측되었지만 굵은 골재의 최대치수를 작게 함으로서 압축강도는 목표치 20MPa에 근접하여 굵은 골재의 단위량의 저감 혹은 모르타르 강도의 증대에 의한 콘크리트 강도의 증대가 이루어졌다고 판단된다. 그러나 경량 굵은 골재의 단위량의 저감은 콘크리트의 경량화의 관점에서 바람직하지 못할 뿐만 아니라 모르타르 부분의 강도증진의 관점에서는 슬럼프 10cm, 공기량 5%의 목표치를 만족시키기 위해서는 혼화제 미사용의 조건으로는 곤란하다고 판단된다.

### 3.2 혼화제를 사용한 경우

상기의 실험결과를 바탕으로 굵은 골재는 5~10mm의 경량 골재와 통상의 잔 골재 그리고 혼화제를 첨가하여 콘크리트를 제조, 압축강도를 측정했다. 사용한 혼화제는 폴리카본산계의 고성능 AE감수제(밀도  $1.07\text{g}/\text{cm}^3$ )를 사용하였으며 공기량 조정용으로 표준 타입의 AE제(밀도  $1.06\text{g}/\text{cm}^3$ )를 사용하였다.

배합조건과 재령 28일에서의 표건밀도 및 압축강도를 표 5에 나타낸다. 표 5의 결과로부터 품질의 오차를 고려하면 물-시멘트비 35%, 단위수량(W)  $160\sim 180\text{kg}/\text{m}^3$ 의 범위 내에서 압축강도의 목표치를 만족하는 콘크리트의 제조가 가능하다는 것이 확인되었으며, 이때의 표건밀도는  $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 로 측정되었다.

따라서 경량 콘크리트에 관한 이하의 유효성의 실험에서는 굵은 골재 5~10mm의 경량 골재를 사용하여 검토하기로 한다. 그리고 본 연구와 같은 경량 골재를 굵은 골재로 사용하는 콘크리트에서는 고강도의 모르타르가 필요하기에 잔 골재에 관해서는 JIS규격을 만족하는 양질의 모래를 사용하기로 한다.

표 2 혼화제 미사용 배합

| 시리즈 | W/C (%) | S/a (%) | Slump (cm) | Air (%) | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |   | 혼화제  | 압축강도 (MPa) |
|-----|---------|---------|------------|---------|----------------------------------|-----|-----|-----|---|------|------------|
|     |         |         |            |         | W                                | C   | S   | G   |   |      |            |
| I   | 44      | 42      | 1.0        | 2.0     | 192                              | 436 | 694 | 467 | - | 18.3 |            |
| II  | 45      | 36      | 10.0       | 2.4     | 220                              | 489 | 526 | 457 | - | 17.5 |            |

표 3 혼화제 사용 배합

| 시리즈 | W/C (%) | S/a (%) | Slump (cm) | Air (%) | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |                          |                        | 밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) | 압축강도 (MPa) |
|-----|---------|---------|------------|---------|----------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------|
|     |         |         |            |         | W                                | C   | S   | G   | HRWR <sup>1)</sup> C×(%) | AE <sup>2)</sup> C×(%) |                         |            |
| III | 45      | 42      | 5.0        | 4.9     | 180                              | 400 | 696 | 460 | 0.60                     | 0.005                  | 1.80                    | 18.5       |
| IV  | 40      | 41      | 11.0       | 5.5     | 180                              | 450 | 653 | 460 | 0.62                     | 0.006                  | 1.76                    | 21.6       |
| V   | 35      | 39      | 9.0        | 5.5     | 180                              | 514 | 593 | 460 | 0.62                     | 0.009                  | 1.82                    | 22.6       |
| VI  | 35      | 43      | 12.0       | 5.4     | 160                              | 457 | 696 | 460 | 1.30                     | 0.012                  | 1.86                    | 24.9       |

<sup>1)</sup> High-range water-reducing agent <sup>2)</sup> Air entraining agent

#### 4. 경량 굵은 골재의 절대 용적률에 관한 실험

경량 콘크리트의 적절한 경량 굵은 골재 절대 용적률을 얻기 위해서 5~10mm의 경량 골재와 양질의 모래를 사용한 각종 경량 콘크리트를 제조하여 굵은 골재 절대 용적률과 콘크리트 강도에 관한 실험을 행하였다.

##### 4.1 실험방법

사용한 배합을 표 4에 나타낸다. 각 배합은 표 3에서 실용화 가능하리라 사료되는 시리즈VI를 기준으로 경량 굵은 골재 절대 용적률 37%의 배합을 기준으로 물 : 시멘트 : 잔 골재의 비율을 일정하게 정한 조건, 즉 전체 배합이 동일한 모르타르가 되도록 한 조건으로 경량 굵은 골재 절대 용적률이 25, 30, 35, 37, 43%가 되도록 정했다. 이러한 배합으로  $\phi 10\text{cm}$  원주형 공시체를 제작, 20℃ 수중양생 후 압축강도시험(재령 14, 28일) 및 인장강도시험(재령28일)을 행하였다. 각 배합의 재령28일에서의 표준 밀도는 표 4에 나타내는 값과 같다.

표 4 경량 콘크리트의 배합

| Mix type (Volume ratio) | 물-시멘트비 (%) | S/a (%) | Slump (cm) | Air (%) | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |            |          | 표준밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|------------|---------|------------|---------|----------------------------------|-----|-----|-----|------------|----------|---------------------------|
|                         |            |         |            |         | W                                | C   | S   | G   | HRWR C×(%) | AE C×(%) |                           |
| L25(25%)                | 35         | 56.6    | 8.0        | 6.1     | 191                              | 545 | 830 | 296 | 0.30       | 0.0040   | 1.932                     |
| L30(30%)                |            | 50.4    | 10.0       | 6.2     | 178                              | 508 | 774 | 355 | 0.40       | 0.0060   | 1.880                     |
| L35(35%)                |            | 44.7    | 5.0        | 6.8     | 165                              | 472 | 719 | 413 | 0.50       | 0.0065   | 1.831                     |
| L37(37%)                |            | 42.6    | 11.0       | 4.9     | 160                              | 458 | 697 | 437 | 0.70       | 0.0065   | 1.805                     |
| L43(43%)                |            | 36.6    | 5.0        | 5.6     | 145                              | 414 | 630 | 508 | 0.60       | 0.0055   | 1.756                     |

표 5 온도변화 실험에 사용한 콘크리트 배합

| 물-시멘트비 (%) | S/a (%) | Slump (cm) | Air (%) | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |            |          | 압축강도 (MPa) |
|------------|---------|------------|---------|----------------------------------|-----|-----|-----|------------|----------|------------|
|            |         |            |         | W                                | C   | S   | G   | HRWR C×(%) | AE C×(%) |            |
| 35         | 40.7    | 12.5       | 5.3     | 155                              | 445 | 675 | 446 | 1.31       | 0.007    | 20.0       |

#### 4.2 실험결과 및 고찰

그림 4에 각 배합에 대한 압축강도(재령14일, 28일) 및 인장강도(재령28일)의 결과를 나타낸다. 그림으로부터 본 연구에서 사용한 경량 콘크리트의 강도는 굵은 골재의 절대 용적률이 커짐에 따라 저하(콘크리트의 밀도도 저하)하는 것을 알 수가 있으며 이러한 이유는 모르타르 부분과 경량 굵은 골재와의 부착강도가 저하하는 것이 가장 큰 원인으로 사료된다.

이상의 결과로부터 본 연구와 같이 폐플라스틱제 경량 콘크리트를 이용할 경우 그 용도에 응해, 콘크리트의 밀도와 강도의 밸런스를 고려하여 적절한 경량 굵은 골재의 절대 용적률을 고려할 필요가 있다고 사료되며, 목표 압축강도를 20MPa으로 한다면 경량 굵은 골재 절대 용적률은 30~40%정도(콘크리트의 표건밀도는 약 1.8g/cm<sup>3</sup>)가 적절하다고 판단된다.

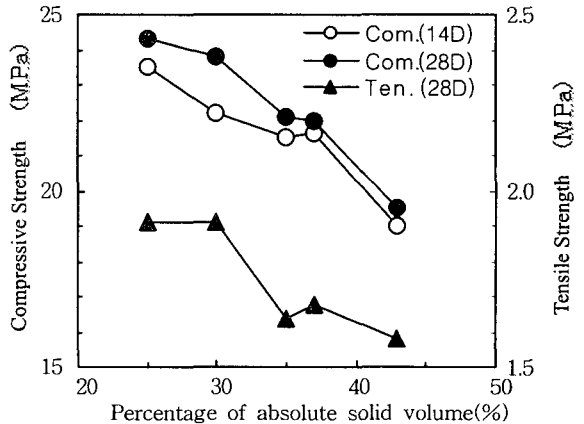


그림 4 폐플라스틱 골재의 절대 용적률과 강도의 관계

### 5. 온도변화에 대한 실험

경량 콘크리트의 온도변화에 대한 모르타르 부분과 폐플라스틱제 굵은 골재와의 선팡창계수의 차이에 기인하는 영향을 파악하기 위하여 120℃까지의 고온상태에서의 압축, 인장강도에 관한 실험을 행하였다. 그리고 일부 조건에서는 10×10×40cm 각주형 공시체를 이용, 휨 시험도 행하였다.

사용한 콘크리트의 배합을 표 7에 나타낸다. 사용재료는 4장에서와 동일한 것을 사용하였으며 배합시의 경량 굵은 골재의 절대 용적률은 39%로 나타났다.

재령28일에서의 표준양생을 행한  $\phi$ 10cm원주형 공시체의 압축강도 및 인장강도는 각각 20.0MPa, 1.61MPa이었으며, 휨 강도는 3.70MPa으로 관측되었다.

#### 5.1 실험방법

$\phi$ 10cm 원주형 공시체를 재령28일까지 20℃에서 수증양생을 행한 후 항온항습실(온도 20℃, 상대습도60%)에서 1개월 이상 경과하면 항온조에 수용한 다음, 약 30분에 걸쳐 설정온도인 40℃, 60℃, 80℃, 100℃, 120℃까지 가열하였다.

그 후 2일간 항온조에 수용한 상태에서 설정온도를 유지한 채로 압축 및 인장시험을 행하였다.

#### 5.2 실험결과 및 고찰

그림 5에 고온에 관한 실험에서 얻은 실험결과로서 각 설정온도와 압축 및 인장강도의 관계를 나타

낸다. 여기서 20℃의 압축, 인장강도는 항온조에 넣기 직전의 자연건조상태에서의 값을 사용한 것이다. 그리고 자연건조상태에서의 휨강도는 2.92MPa로 측정되었다. 그림 5로부터 본 연구에서 사용한 경량 콘크리트는 수중양생 후의 자연건조에 의해 재령 28일 수중양생 직후의 압축, 인장강도에 비해 약 15% 증가한 것을 알 수가 있다. 그러나 자연건조상태인 20℃의 각 강도를 기준으로 비교한 경우 온도상승에 따른 강도저하가 발생하였으며 수치적으로는 20℃상승에 강도가 약 10% 저하하는 것을 알 수 있다.

상기 사항으로부터 본 연구와 같은 경량 콘크리트를 사용할 경우 온도변화에 따른 강도변화를 충분히 고려해야 하겠지만 60℃정도의 온도 상승이라면 목표치로 하는 압축강도 20MPa를 만족하는 콘크리트의 제조가 가능하며 경량 콘크리트로서 충분히 사용가능하리라 판단된다.

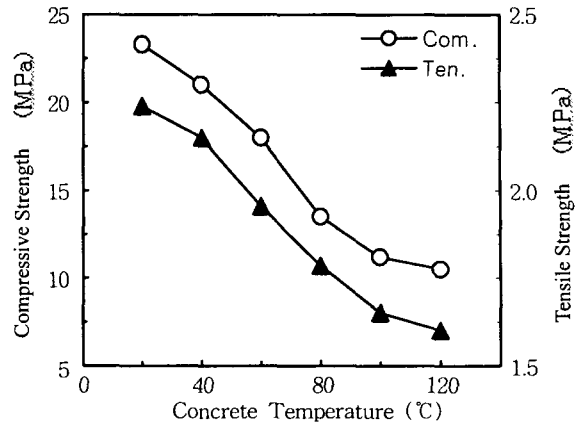


그림 5 페플라스틱 콘크리트의 온도와 강도의 관계

## 6. 결론

폐PET병을 주원료로 하는 페플라스틱제 골재를 이용한 경량 콘크리트를 제조한 결과를 요약하면 이하와 같다.

- 1) 페플라스틱제 골재는 모르타르 혹은 시멘트 페스트와의 부착강도가 약하기 때문에 압축강도 20MPa의 콘크리트를 제조하기 위해서는 양질의 모래를 사용한 고강도 모르타르가 필요하며, 최대치수를 작게 하여 부착강도를 증진시킬 필요가 있다.
- 2) 상기 경량 콘크리트의 배합에서 굵은 골재 절대 용적률이 커짐에 따라 강도가 저하하기 때문에 밀도와 강도의 밸런스를 고려하여 결정할 필요가 있다. 본 연구에서는 목표 압축강도 20MPa를 만족하기 위해서는 경량 골재 절대 용적률을 35~40%가 적당한 것으로 밝혀졌다.
- 3) 공시체 온도가 상승함에 따라 강도는 저하하는 것으로 나타났으며 60℃정도까지는 목표 압축강도 20MPa를 만족하는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 페플라스틱제 골재를 사용한 경량 콘크리트는 실용가능성이 높은 것으로 사료되며 적절한 용도에 사용된다면 경제성 등의 면으로 볼 때 유효한 건설재료로 사용가능하리라 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 일본 문부성 '자원 순환형 사회를 실현하기 위한 전략적 연구'의 일환으로 '일본 동북공업 대학 High Tech. Research Center'에서 수행한 것으로 연구비를 지원한 관계 기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 小出英夫, 外門正直, 佐々木徹 : 廢プラスチック製骨材を用いた輕量骨材コンクリートの諸性質, 콘크리트工學年次論文集, Vol.23, No.1, pp.349-354, 2001
- 2) 小出英夫, 外門正直, 韓相默 : 廢プラスチック製骨材を用いた輕量骨材コンクリートに関する基礎的研究, セメントコンクリート研究會, Vol.28, pp.19-23, 2001