

## 窯業廢棄物을 콘크리트용 骨材로 再活用하기 위한 研究

文翰英\* · 金基亨\*\* · 申和哲\*

\*漢陽大學校 土木工學科, \*\*驪州大學 土木科

### A Research on the Recycling of Ceramic Wastes as an Aggregate for Concrete

Han Young Moon\*, Ki Hyung Kim\*\* and Hwa Cheol Shin\*

\*Department of Civil Engineering, Hanyang University.

\*\*Department of Civil Engineering, Yeojoo Institute of Technology

#### 요 약

본 논문은 여주, 이천 등지의 도자기 공장지대에서 다량으로 발생하는 폐도자기를 파쇄하여 콘크리트용 골재로 사용 가능한지에 대해 알아보기 위하여 실험을 실시한 결과를 정리한 내용이다. 실험방법으로써는 요업폐기물을 파쇄하여 크기에 따라 콘크리트용 잔골재와 굵은골재로 분류한 후 대체율을 달리하여 모르터 및 콘크리트를 제조하여 유동성 및 재령별 압축강도 등 콘크리트의 기초적 성질에 대하여 고찰하였다. 실험결과, 요업폐기물을 잔골재로 사용한 모르터의 경우, 강모래만을 사용한 모르터보다 대체율에 관계없이 플로우 값 및 압축강도가 향상됨을 알 수 있었다. 한편 콘크리트용으로 요업폐기물 잔골재로 대체한 콘크리트의 경우 슬럼프 값이 저하하는 문제점이 나타났으나, 압축강도의 경우 요업폐기물을 잔골재로 사용한 콘크리트는 초기재령에서는 낮게 나타났으나 장기재령에서는 요업폐기물 골재를 사용하지 않은 경우와 거의 유사하거나 오히려 상회하는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

주제어: 요업폐기물, 잔골재, 굵은골재, 플로우 값, 슬럼프, 압축강도

#### ABSTRACT

In this study, the properties of cement mortar and concrete using ceramic wastes as fine aggregates and coarse aggregates are considered experimentally. Flow value of mortar using ceramic waste as fine aggregates is increased more or less, and the compressive strength of mortar using ceramic wastes as fine aggregates is increased with elapsed age. The slump value of concrete using ceramic wastes fine aggregates and coarse aggregates is somewhat decreased. The compressive strength of concrete using ceramic wastes as fine aggregates and coarse aggregates is lower than that of OPC concrete in early age, but has gradually increased in long ages.

Key words: Ceramic wastes, Aggregate, Flow value, Slump value, Compressive strength

#### 1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 대형화 및 사회간접자본에 의한 공공시설의 확대에 따라 건설경기가 활발해지면서

콘크리트용 잔골재 및 굵은골재에 대한 수요가 급증하고 있다. 그러나 자연보존을 위해 강화된 환경정책 및 하천모래, 강자갈과 같은 콘크리트용 골재의 고갈 등으로 인하여 양질의 천연골재의 공급이 원활하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 자연환경을 보호하며 자원의 보존 및 콘크리트의 품질개선 등을 목적으로 한 콘크리트용 대체골재의 개발 및 적용에 대한 연구실적이 선진국에서는 이미

\* 2001년 1월 16일 접수, 2001년 4월 18일 수리

\* E-mail: \*moon77@email.hanyang.ac.kr,  
\*shinyou@hymail.hanyang.ac.kr,  
\*\*khkim@yeojoo.ac.kr

**Table 1.** Chemical compositions and physical properties of portland cement

| SiO <sub>2</sub><br>(%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | CaO<br>(%) | MgO<br>(%) | SO <sub>3</sub><br>(%) | Ig. loss<br>(%) | Specific<br>gravity | Blaine<br>(cm <sup>2</sup> /g) |
|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 21.95                   | 6.59                                  | 2.81                                  | 60.12      | 3.32       | 2.11                   | 2.58            | 3.15                | 3,112                          |

**Table 2.** Physical properties of river sand and ceramic wastes fine aggregate

| Items      | Specific<br>gravity | Absorption<br>(%) | F.M. | Unit weight<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Percentage<br>of solids (%) | Organic<br>impurities |
|------------|---------------------|-------------------|------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| River sand | 2.60                | 2.00              | 2.98 | 1,620                               | 62.3                        | O.K                   |
| CWF        | 2.45                | 3.30              | 2.98 | 1,503                               | 61.4                        | O.K                   |

이루어지고 있다.<sup>1~3)</sup>

근년에 와서 우리나라에서도 건설폐기물 및 산업부산물 중 재활용이 가능한 무기질재료를 콘크리트용 혼화재료 및 잔골재와 굵은골재 그리고 시멘트용 원료 등으로 사용함으로써 콘크리트의 역학적 성질의 증진 및 내구성 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.<sup>4~6)</sup>

이들 무기질 폐기물 및 부산물을 시멘트 및 콘크리트용 골재와 같은 건설재료로 재활용함으로써 자연보전 및 환경보호 뿐만아니라 처리비용을 줄일 수 있으며 아울러 콘크리트의 물성을 개선하는 등 일석삼조의 효과를 기대할 수 있다.<sup>7)</sup>

여주, 이천지역에서 도자기를 생산하는 과정에서 다량으로 발생하는 폐도자기를 지금까지는 단순히 매립 내지는 폐기물 처리에 과다한 비용을 지출해 왔을 뿐만 아니라 처리에 고심해 왔다.

일본의 경우 기와, 벽돌 및 도자기 등 요업폐기물과 같은 무기질 재료를 파쇄 처리하여 콘크리트용 잔골재 또는 굵은골재와 같은 용도로 개발, 활용하고 있는 실적이 보고되고 있다.<sup>8~9)</sup>

본 연구에서는 여주, 이천에서 버리는 폐도자기를 파쇄기로서 파쇄하여 잔골재 및 굵은골재로 분류하여 콘크리트용 골재로 사용 가능한지 여부를 평가하기 위하여 요업폐기물 잔, 굵은골재의 화학성분, 물리적 성질 및 이들 골재를 천연골재와 대체하여 제조한 모르타 및 콘크리트의 기초물성에 대한 실험을 실시한 결과에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 사용재료

#### 2.1.1. 시멘트

시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1 과 같다.

#### 2.1.2. 잔골재

한강산 강모래와 요업공장에서 발생하는 요업폐기물을 로스앤젤리스 마모시험기를 사용하여 파쇄한 후 체 분석하여 조립률이 같도록 입도조정된 요업폐기물 잔골재(Ceramic Wastes Fine Aggregate 또는 CWF)를 사용하였으며, 이들 잔골재의 물리적 성질은 Table 2 와 같다.

#### 2.1.3. 굵은골재

한강산 강자갈과 요업폐기물을 파쇄한 굵은골재(Ceramic Wastes Coarse Aggregate 또는 CWC)를 사용하였으며, 이들 골재의 물리적 성질은 Table 3 과 같다.

#### 2.1.4. 화학혼화제

주성분이 나프탈린계인 고성능 AE감수제(HRWR)를 사용하였으며 화학혼화제의 비중은 1.19~1.21, pH값은 9±1이다.

## 2.2. 실험방법

### 2.2.1. SEM 및 XRD 분석

요업폐기물과 강모래의 입형 및 표면조직을 주사형 전자현미경을 사용하여 확대 촬영하였으며, 요업폐기물

**Table 3.** Physical properties of gravel and ceramic wastes coarse aggregate

| Items  | G <sub>max</sub><br>(mm) | Specific<br>gravity | Absorption<br>(%) | F.M  | Unit weight<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Percentage<br>of solids (%) |
|--------|--------------------------|---------------------|-------------------|------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Gravel | 20                       | 2.65                | 1.13              | 6.27 | 1,725                               | 66.1                        |
| CWC    | 20                       | 2.45                | 3.30              | 6.27 | 1,459                               | 62.4                        |

Table 4. Mix proportions of concrete

| Replacement ratio (%) | G <sub>max</sub> (mm) | W/C (%) | S/a (%) | Air (%) | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |       |       | HRWR (kg/m <sup>3</sup> ) | Remarks |
|-----------------------|-----------------------|---------|---------|---------|----------------------------------|-----|-----|-------|-------|---------------------------|---------|
|                       |                       |         |         |         | W                                | C   | S   | G     | CW    |                           |         |
| 0                     | 20                    | 50      | 42      | 4 ± 0.5 | 175                              | 350 | 763 | 1,074 | 0     | 5.25                      | Control |
| 50                    | "                     | "       | "       | "       | "                                | "   | 382 | 1,074 | 382   | "                         | CWF     |
| 100                   | "                     | "       | "       | "       | "                                | "   | 0   | 1,074 | 763   | "                         | "       |
| 50                    | "                     | "       | "       | "       | "                                | "   | 763 | 537   | 537   | "                         | CWC     |
| 100                   | "                     | "       | "       | "       | "                                | "   | 763 | 0     | 1,074 | "                         | "       |

Table 5. Chemical compositions of ceramic wastes and fly ash

| Items   | 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> (%) | K <sub>2</sub> O (%) | TiO <sub>2</sub> (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | Na <sub>2</sub> O (%) | Ig.loss (%) |
|---------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|
| CW      | 70.30                | 23.01                              | 1.10                               | 0.73    | 0.33    | -                   | 2.90                 | 0.33                 | 0.04                              | 1.14                  | 1.10        |
| Fly ash | 55.13                | 30.72                              | 4.28                               | 0.88    | 0.73    | 0.31                | 4.32                 | 1.68                 | -                                 | 0.38                  | 1.56        |

을 분말처리하여 X선 회절분석을 실시하였다. 측정조건은 CuK(Ni, filter) 40 kV, 20 mA, Scan Speed 80/min, 2θ=0~60° 측정하였다.

2.2.2. 모르터의 플로우 및 압축강도 시험

시멘트와 잔골재의 중량비 1 : 2, 물-시멘트비 35 및 50%로 달리하였으며 요업폐기물 잔골재의 대체율 0, 50, 및 100%의 3단계로 변화시켜 모르터를 제조한 후 KS F 2514 “모르터의 압축강도에 의한 잔골재 시험방법”에 의하여 플로우값 및 재령에 따른 압축강도를 측정하였다.

2.2.3. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프시험

요업폐기물 잔골재 및 굵은골재를 각각 대체율 0, 50 및 100%의 3단계로 변화시킨 5배합의 굳지 않은 콘크리트를 제조한 후 KS F 2402 “콘크리트의 슬럼프 시험방법”에 의하여 슬럼프 시험을 실시하였다.

2.2.4. 경화한 콘크리트의 강도시험

Φ10×20 cm 원주형 공시체로 콘크리트를 제조하여 표준양생 한 후 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법” 및 KS F 2423 “콘크리트의 인장강도 시험방법”에 따라 압축강도와 인장강도를 측정하였다.

2.3. 콘크리트의 배합

요업폐기물 골재를 사용한 콘크리트의 제 성질을 모르터의 물성과 비교, 고찰을 용이하게 하기 위하여 물-시멘트비를 50%로 동일하게 정하고 대체율을 달리하여 Table 4 와 같은 배합으로 콘크리트를 제조하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 요업폐기물 골재의 품질

3.1.1. 화학성분

요업폐기물의 화학성분을 알아보기 위하여 XRF분석을 실시한 결과를 플라이애시의 화학성분과 같이 비교하여 정리한 것이 Table 5 이다.

이 표에서 요업폐기물의 화학성분은 요업폐기물의 주 재료인 점토로부터 조성된 것으로 추정되는 SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 각각 약 70 및 23%정도로서 화학성분의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있었으며, 특히 플라이애시와 같은 광물질혼화재의 화학성분비율과도 유사하였다.

ASTM C 618<sup>10)</sup>에 의하면 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 성분량의 합계가 70%를 넘는 물질이 콘크리트 구성재료로 사용되면 포졸란반응(pozzolanic reaction)이 활성화되어 장기재령에서 콘크리트의 강도발현에 유효하게 작용한다고 보고하고 있어 요업폐기물의 포졸란 반응에 대한 가능성이 기대된다. 또한 요업폐기물의 조성광물을 알아보기 위하여 X-ray회절 분석을 실시한 결과를 Fig. 1 에 나타내었다.

Fig. 1 에서 알 수 있듯이 요업폐기물의 조성광물은 도자기 원료중 점토의 물라이트(mullite, 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>)가 대부분을 차지하고 있으며 이 밖에도 석영, 톨로마이트 및 아케르만나이트 등이 주요광물로 검출되었다. 이 중에서 특히 물라이트는 일반적으로 콘크리트용 광물질혼화재로 많이 사용되고 있는 플라이애시에서도 대부분을 차지하고 있어 요업폐기물은 콘크리트용 혼화재

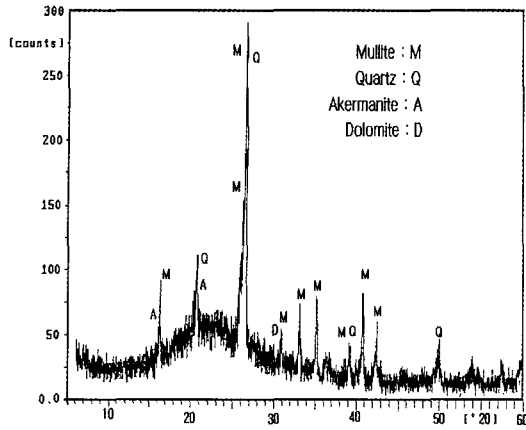


Fig. 1. XRD patterns of ceramic wastes.



Fig. 2. SEM of ceramic wastes (×5000).

료 및 골재로서의 활용가능성이 높음을 알 수 있다.<sup>11)</sup>

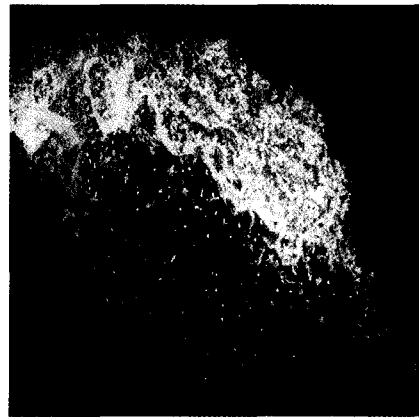
3.1.2. 물리적 성질

요업폐기물 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질에 대한 실험결과를 정리한 것이 Table 2 및 3 이다. Table 2 에서 요업폐기물 잔골재의 비중은 2.45로써 강모래 2.60에 비해 훨씬 작았으며, 반대로 흡수율은 3.30%로써 강모래 2.00보다 훨씬 큰 값을 알 수가 있었다.

요업폐기물 잔골재가 강모래와 비교하여 비중이 작고 흡수율이 큰 이유를 알아보기 위하여 요업폐기물을 미분쇄한 분말의 미세조직을 주사형 전자현미경으로 5,000배 확대 촬영한 것이 Fig. 2 이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 요업폐기물은 미세한 기공이 다량 분포되어 있으며 기공의 크기나 형태는 일정치 않음을 알 수 있었다. 다시 말해서 요업폐기물의 미세조직 중의 많은 기공으로 인하여



(a) X50



(b) X150

Fig. 3. SEM of ceramic wastes fine aggregate (×50, ×150).

비중이 작고 흡수율이 크게 나타났다고 생각된다.

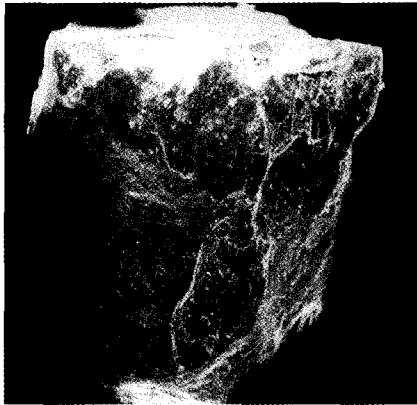
또한 요업폐기물 잔골재의 단위용적중량과 실적물도 강모래보다 작은 값을 나타내었다. 그래서 요업폐기물 잔골재의 표면조직을 관찰하기 위하여 요업폐기물 잔골재와 강모래를 각각 50 및 150배로 확대 촬영하여 나타낸 것이 Fig. 3 및 Fig. 4 이다. 이들 그림에서 요업폐기물 잔골재와 강모래의 입형은 다소 차이가 있음을 알 수 있으며 요업폐기물 잔골재의 경우 파쇄에 따른 영향으로 강모래에 비해 표면이 거친 형상을 나타내었다.

이번에는 요업폐기물 굵은골재의 물리적 성질을 강자갈과 비교하여 정리한 것이 Table 3 이다.

이 표에서 알 수 있듯이 요업폐기물 굵은골재가 강자갈과 동일한 조립률임에도 불구하고 요업폐기물 굵은골재의 비중은 강자갈에 비해 훨씬 작으며 흡수율은 훨씬 큰 값을 나타내었다. 뿐만 아니라 단위용적중량과 실적



(a) X50



(b) X150

Fig. 4. SEM of river sand (×50, ×150).

률도 요업폐기물 잔골재와 마찬가지로 강자갈에 비해 훨씬 작은 값을 알 수 있었다.



Fig. 5. Shape of ceramic wastes coarse aggregate.

Table 6. Compressive strength of mortar with ceramic waste fine aggregate

| W/C ratio (%) | CWF ratio (%) | Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) /ratio* (%) |         |         |         |
|---------------|---------------|---|---------|---------|---------|
|               |               | 7days   | 28days  | 56days  | 91days  |
| 35            | 0             | 343/100   | 372/100 | 402/100 | 420/100 |
|               | 50            | 363/106   | 380/102 | 428/106 | 450/107 |
|               | 100           | 355/103   | 380/102 | 410/102 | 446/106 |
| 50            | 0             | 292/100   | 312/100 | 350/100 | 360/100 |
|               | 50            | 285/98  | 319/102 | 365/104 | 368/102 |
|               | 100           | 318/109   | 336/108 | 368/105 | 395/110 |

\*동일 재령 및 물-시멘트비에서 강모래만 사용한 모르터의 압축강도 100에 대한 값

그래서 요업폐기물 굵은골재의 입형을 관찰하기 위하여 촬영한 것이 Fig. 5 로서, 이 그림에서 알 수 있듯이 요업폐기물 굵은골재의 입형은 강자갈과는 전혀 다른 박편형태를 나타내고 있으며 이는 요업폐기물을 파쇄하는 과정에서 비롯되었다고 생각되며 콘크리트용 골재의 입형으로는 부적합하다고 사료된다.

3.2. 요업폐기물 잔골재로써 대체한 모르터의 기초물성

요업폐기물을 잔골재로 사용하여 강모래와 0, 50, 및 100%의 3단계로 대체하여 제조한 모르터의 압축강도 결과와 동일재령에서 강모래만 사용한 모르터의 압축강도 100에 대한 값으로 정리한 것이 Table 6 이다. 한편 요업폐기물 잔골재로써 대체한 모르터의 플로우 값을

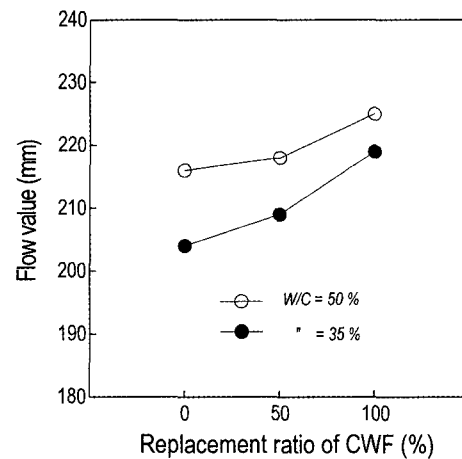


Fig. 6. Flow value of mortar with ceramic wastes fine aggregate.

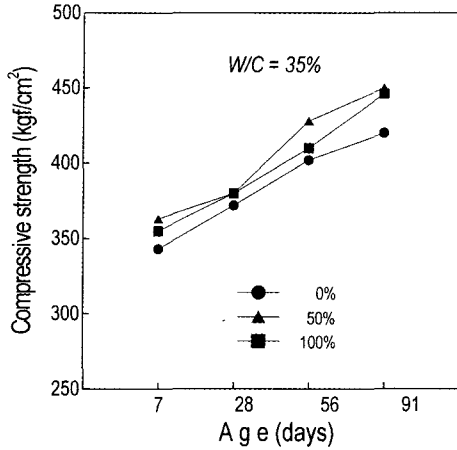


Fig. 7. Compressive strength of mortar with ceramic wastes fine aggregate (W/C=35%).

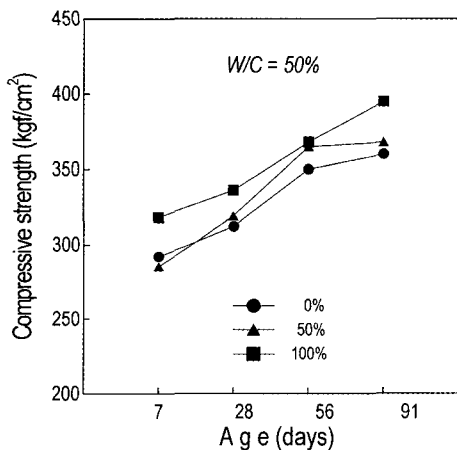


Fig. 8. Compressive strength of mortar with ceramic wastes fine aggregate (W/C=50%).

나타낸 것이 Fig. 6 이며, 재령별 압축강도의 측정값을 정리한 것이 Fig. 7 및 Fig. 8 이다.

Fig. 6 에서 알 수 있듯이 요업폐기물 잔골재를 사용한 모르타르의 경우 물-시멘트비에 관계없이 대체율이 증가할수록 플로우 값이 증가하는 좋은 결과를 나타내었다. 한편 Fig. 7 과 8 에서 모르타르의 압축강도를 살펴보면 요업폐기물 잔골재의 대체율 및 재령이 증가하는데 따라 강모래만을 사용한 모르타르보다 압축강도가 크게 향상되었으며, 특히 물-시멘트비 50%인 경우, 요업폐기물 잔골재의 대체율 100%에서 강모래만을 사용한 모르타르의 압축강도보다 크게 증가하여 재령 91일에서는 약 10%정도

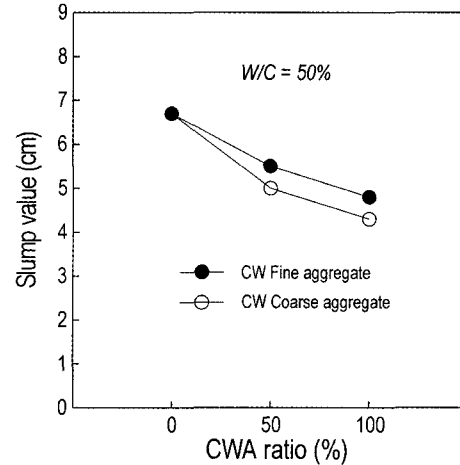


Fig. 9. Slump value of concrete with ceramic wastes aggregate.

크게 나타나는 좋은 결과를 나타내었다.

### 3.3. 요업폐기물 골재로써 대체한 콘크리트의 워커빌리티

요업폐기물 잔골재 및 굵은골재를 콘크리트용 골재로 각각 대체하여 사용할 경우, 굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티에 미치는 영향을 알아보기 위하여 물-시멘트비를 50%로 정하였으며 요업폐기물 잔, 굵은골재의 대체율을 각각 0, 50 및 100%의 3단계로 달리하여 제조한 콘크리트의 슬럼프 값을 측정하여 정리한 것이 Fig. 9 이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 요업폐기물 잔골재 또는 굵은 골재로써 대체하는데 따라 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 값이 크게 감소하였는데, 특히 요업폐기물 굵은 골재를 100% 사용할 경우, 강자갈만을 사용한 콘크리트 슬럼프 값의 약 65%에 지나지 않는 좋지 않은 워커빌리티를 나타내었다. 이와 같이 요업폐기물을 콘크리트용 골재로 사용한 콘크리트의 슬럼프 값이 강모래 및 강자갈만을 사용한 콘크리트의 슬럼프 값보다 감소하게 되는 이유는 요업폐기물 골재가 갖는 입형에 기인하는 것으로 생각된다. 즉 Fig. 5 에서 알 수 있듯이 요업폐기물 굵은골재는 강자갈의 입형과 비교하여 얇고 편평하며 모가 많이 진 박편모양을 나타내고 있다.

한편 Mehta 등<sup>12-14)</sup>은 박편모양을 지닌 골재를 콘크리트용으로 사용할 경우 유동성이 저하된다고 언급하고

있으며 이는 동일한 워커빌리티를 확보하기 위해서 박편모양의 골재가 보다 많은 시멘트 페이스트를 요구하기 때문이라고 설명하고 있다. 따라서 요업폐기물 골재와 같이 박편모양을 지닌 골재를 콘크리트에 사용하게 될 경우 소요의 워커빌리티를 얻기 위해서는 적절한 감수제 및 유동화제의 사용과 같은 시공대책이 요망됨을 알 수 있다. 또한 요업폐기물 잔골재만을 사용한 콘크리트의 슬럼프 값은 모르타의 경우와 결과가 상이하게 나타났는데 이에 대한 추가적인 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

3.4. 요업폐기물 골재로써 대체한 콘크리트의 강도특성

요업폐기물 잔골재 및 굵은 골재를 각각 0, 50 및 100%로 대체하여 제조한 콘크리트의 재령별 압축강도와 동일재령에서 강모래 및 강자갈만을 사용한 콘크리트의 압축강도 100에 대한 강도비를 Fig. 10 및 11에 나타내었다.

Fig. 10에서 알 수 있듯이 요업폐기물 잔골재로 대체한 콘크리트의 경우, 재령 7일에서의 압축강도는 강모래만을 사용한 콘크리트와 유사하였으나, 재령 28일 및 91일에서는 오히려 크게 나타났다. 그런데 요업폐기물 잔골재의 대체율 100% 콘크리트의 경우, 재령 91일에서 강모래만을 사용한 콘크리트의 강도비를 상회하는 122%로 크게 증가됨을 알 수 있었다.

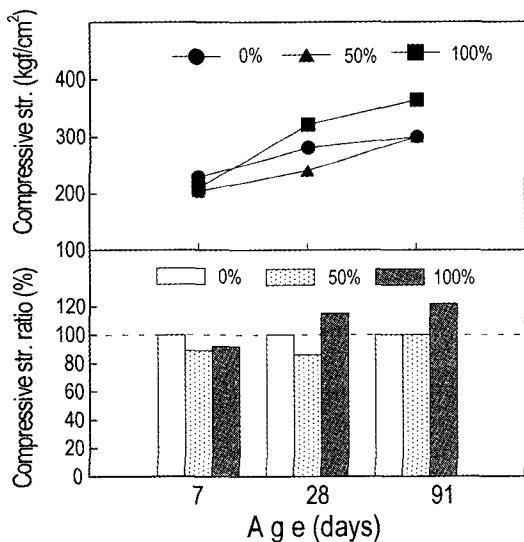


Fig. 10. Compressive strength of concrete with ceramic wastes fine aggregate.

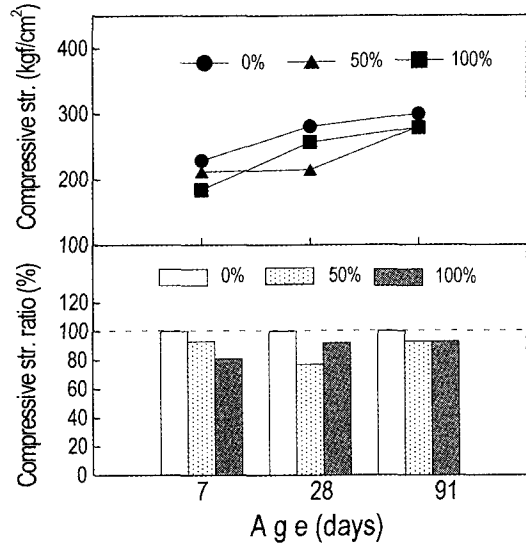


Fig. 11. Compressive strength of concrete with ceramic wastes coarse aggregate.

요업폐기물 잔골재를 사용한 콘크리트의 압축강도가 재령과 더불어 증가하는 이유는 Table 5의 요업폐기물의 화학성분중 SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 성분이 90%를 훨씬 상회함으로써 장기재령에서 포졸란반응의 효과 및 Fig. 3의 입형사진으로 알 수 있듯이 요업폐기물 잔골재는 거친 표면조직과 모가 진 입형때문에 시멘트 페이스트와의 부착이 개선된 상승작용에 의해 압축강도가 향상된 것으로 판단된다.

요업폐기물 굵은골재로써 대체한 콘크리트의 압축강도는 대체율 및 재령에 관계없이 요업폐기물 잔골재로 대체한 콘크리트의 경우와 달리 강자갈만을 사용한 콘크리트 보다 약간 작은 강도발현 현상을 나타내었다. 즉 요업폐기물 잔골재를 100% 사용한 콘크리트의 재령 91일 압축강도가 약 365 kgf/cm<sup>2</sup>정도인데 비하여 요업폐기물 굵은골재만을 사용한 경우에는 300 kgf/cm<sup>2</sup>에도 못미치는 값을 알 수 있었다.

요업폐기물 굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도가 낮은 이유는 요업폐기물 굵은골재의 품질, 즉 Table 3에서 비중이 강자갈보다 훨씬 작을 뿐만 아니라 흡수율이 월등히 크며, 단위용적중량 및 실적률이 작은데 기인되었다고 생각된다. 또한 Fig. 5에서 알 수 있듯이 요업폐기물 굵은골재는 얇고 편평하며 매끄러운 입형을 가지고 있어 굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티를 저하시킬 뿐만 아니라, 경화한 콘크리트의 경우 시멘트 페

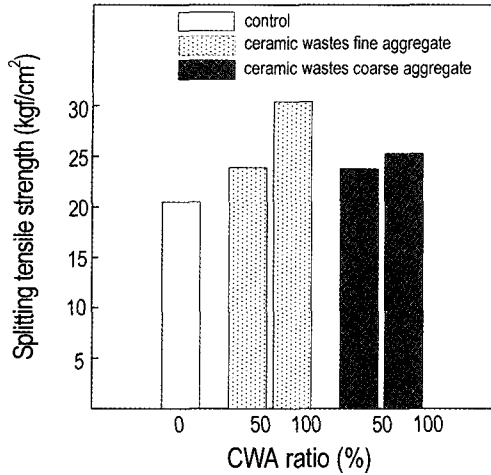


Fig. 12. Splitting tensile strength of concrete with ceramic wastes aggregate (at 28days).

이스트와의 부착강도를 저해하는 요인으로 작용하였다고 판단된다.

본 연구와 유사한 내용으로서 Hansen<sup>15)</sup> 및 Malhotra<sup>16)</sup> 등은 무기질 재료를 콘크리트용 굵은골재로 재활용할 경우 천연 굵은골재를 사용한 콘크리트와 비교하여 압축강도가 64%정도 저하된다고 한다. 그 이유로서는 굵은골재로 재활용되는 무기질 재료의 압축강도가 천연 굵은골재가 가지고 있는 모암의 압축강도에 훨씬 못미치기 때문으로 설명하고 있다.

이번에는 요업폐기물 잔, 굵은골재의 대체율을 달리 하여 제조한 콘크리트의 재령 28일에서의 인장강도를 비교 정리한 것이 Fig. 12 이다.

이 그림에서 요업폐기물 잔, 굵은골재로 대체한 콘크리트의 재령 28일 인장강도는 대체율이 증가하는데 따라 골재의 종류에 관계없이 강모래 및 강자갈만을 사용한 콘크리트의 인장강도보다 증가한 결과를 얻을 수 있었다.

그리고 요업폐기물 잔골재로 대체한 콘크리트의 인장강도가 요업폐기물 굵은골재로 대체한 콘크리트의 인장강도보다 큼도 확인 할 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 요업폐기물을 콘크리트용 잔, 굵은골재로 대체하여 사용할 경우, 잔골재로 활용함이 굵은골재로 사용할 경우보다 콘크리트의 압축강도 및 인장강도 개선에 유효하다고 생각된다. 그러나 요업폐기물 잔, 굵은골재로 대체한 굳지 않은 콘크리트의 유동성이 저하되는 문제점이 있으므로 적절한 대책이

요망될 뿐만 아니라, 요업폐기물 골재로써 대체하여 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성, 내약품성 및 철근부식 등에 관한 추가적인 연구가 이루어져야 한다고 생각된다.

#### 4. 결 론

1. 요업폐기물의 화학성분은  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 각각 약 70 및 23%정도로서 플라이애시와 같은 광물질 혼화제의 화학성분비율과도 유사하였다. 또한 조성 광물은 도자기 원료중 점토의 물라이트(mullite,  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )가 대부분을 차지하였으며 석영, 톨로마이트 및 아케르만나이트 등이 주요광물로 검출되었다
2. 요업폐기물 잔, 굵은골재의 비중, 단위용적증량 및 실적률은 강모래, 강자갈보다 훨씬 작았으며, 흡수율은 큰값을 나타내었으며, 비중이 작고 흡수율이 큰 이유는 요업폐기물중에 미세한 기공이 다량 분포되어 있기 때문으로 생각된다. 한편 요업폐기물 골재의 입형은 천연골재와 달리 파쇄에 따른 영향으로 표면이 거친 형상 및 박편형태를 나타내었다.
3. 요업폐기물 잔골재를 대체한 모르터의 경우 대체율이 증가하는데 따라 플로우 값이 증가하였으며, 압축강도는 대체율 및 재령이 증가하는데 따라 향상되었다. 특히 요업폐기물 잔골재만을 사용한 모르터의 재령 91일 압축강도는 강모래만을 사용한 모르터보다 약 10%정도 증가되는 좋은 결과를 나타내었다.
4. 요업폐기물 잔, 굵은골재로써 각각 대체한 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 값이 강모래나 강자갈만을 사용한 콘크리트 보다 크게 감소되었으며, 특히 요업폐기물 굵은골재 대체 콘크리트의 슬럼프 값이 작은 이유는 얇고 편평하며 모가 많이 진 박편모양의 입형때문이며, 소요의 워커빌리티를 얻기 위해서는 적절한 대책이 요망된다.
5. 요업폐기물 잔, 굵은골재로써 각각 대체한 콘크리트의 압축강도는 재령과 대체율에 따라 약간 상이하였으며, 요업폐기물 잔골재만을 대체한 콘크리트의 압축강도가 재령과 더불어 증가하는 이유는 요업폐기물의 화학성분에 의한 포졸란반응의 영향 및 입형에 기인한 것으로 판단된다. 한편 요업폐기물 잔, 굵은골재로 각각 대체한 콘크리트



의 인장강도는 대체율에 따라 증가하는 좋은 결과를 얻었다.

**참고문헌**

1. American Foundrymen's Society : "Alternate Utilization of Foundry Sand", Report to Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Chicago (1991).
2. 한국전력공사, 석탄회 및 탈황석고 활용 국제 워크숍, 서울, pp. 29-53 (1997).
3. Sherwood, P. T. : "Steel Slag", Alternative Material in Road Construction, Thomas Telford, pp. 101-111 (1999).
4. 김기형, 최재진, 최연왕, 신화철 : "도자기 폐기물을 사용한 시멘트 모르타의 특성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제11권, 제2호, pp. 103-106 (1999).
5. 환경부 : "녹색 환경의 나라건설을 위한 국가폐기물 관리 종합계획" (1996).
6. 문한영, 서정우 : "콘크리트용 혼화제로서 국산 플라이애쉬의 품질에 대한 연구", 대한토목학회 논문집, 제7권, 제3호, pp. 213-221 (1987).
7. 대한토목학회 : "전기로 슬래그를 사용한 도로포장 설계·시공지침" (1997).
8. 片脇清士, 新しい土木材料とその展開, 山海堂, pp. 358-368 (1995).
9. 吉兼 亨 : "資源の有効利用とコンクリート", 콘크리트工学, vol. 34, no. 2, pp. 72-80 (1996).
10. ASTM Designation C 618 : "Specification for Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete" (1999).
11. Helmut R. : Fly Ash in Cement and Concrete, Portland Cement Association, pp. 91-99 (1987).
12. Mehta, P. K. : "Concrete Structure, Properties, and Materials", Prentice-Hall, pp. 226-256 (1986).
13. Neville, A. M. : "Properties of Concrete", Longman, pp. 108-181 (1996).
14. Wierig, H. J. : "Properties of Fresh Concrete", Chapman and Hall, pp. 41-67 (1990).
15. Hansen, T. C. : "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", E & FN Spon, pp. 58-82 (1992).
16. Malhotra, V. M. : "S. A. Frondiston-Yannas in Progress in Concrete Technology", CANMET, pp. 672 (1980).



**金 基 亨**

- 1986년 한양대학교 토목공학과 공학사
- 1988년 한양대학교 토목공학과 공학석사
- 1994년 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 여주대학 토목과 부교수



**文 翰 英**

- 1964년 부산대학교 토목공학과 학사
- 1967년 한양대학교 토목공학과 석사
- 1975년 일본 동경공업대학 토목공학과 박사
- 현재 한양대학교 토목공학과 교수



**申 和 哲**

- 1996년 한양대학교 토목공학과 학사
- 1998년 한양대학교 토목공학과 석사
- 현재 한양대학교 토목공학과 박사수료