

## 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트 2차 제품의 고강도화 메커니즘

김진만 · 조성현\* · 이대경\*\*

공주대학교 건축공학과  
공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터\*  
공주대학교 대학원 건축공학과\*\*

## High Strengthening Mechanism by Blast Furnace Slag in Concrete Based Products

*Jin-Man Kim · Sung-Hyun Cho\* · Dae-Kyung Lee\*\**

*Department of Architectural Engineering, Kongju National University*

*RRC/NMR, Kongju National University\**

*Department of Architectural Engineering, Kongju National University\*\**

### 요 약

고로슬래그를 콘크리트의 결합재 또는 혼화재료의 사용은 활성화되어 있으나, 수량을 극히 제한적으로 사용하는 콘크리트 2차제품에 적용한 예는 극히 적다. 본 연구는 고로슬래그의 재활용 용도를 다양화하기 위한 것으로 시멘트의 일부를 고로슬래그로 대체하여 제조한 콘크리트 2차제품의 강도 증진 메커니즘을 분석한 것이다.

연구의 결과 압축강도  $400\text{kgf/cm}^2$  이상의 고강도 스페이서를 개발시 고로슬래그의 사용은 매우 효과적인 혼화재료라는 것을 확인하였다. 고로슬래그의 사용에 의한 압축강도 증진의 주요 메커니즘은 콘크리트 2차제품의 전체 입도 분포가 보다 최밀입도에 가깝게 분포하는 최밀입도이론과 포졸란계 재료가 시멘트 수화물인  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 상온에서 장기간에 걸쳐 일으키는 포졸란 반응인 것을 확인할 수 있었다.

**ABSTRACT :** Whereas commonly used to make concrete having rich water contents as binder or mineral admixture, blast furnace slag has been rarely applied to manufacture in concrete based products having poor water contents. This study, for the multi-recycling of blast furnace slag, is to analyze strength enhancement mechanism of concrete based products using blast furnace slag.

The results of this study are following. We found that blast furnace slag is very effective mineral admixture to manufacture high strength spacer having over  $400\text{kgf/cm}^2$  in compressive strength. Also, enhancement of strength by blast-furnace slag are responsible to densified grading and pozzolanic reaction.

## 1. 서 론

고로슬래그는 선철을 제조하는 과정에 발생하는 산업부산물로서 연간 약 860만ton 정도의 막대한 양이 발생하고 있어 그 처리 및 재사용을 위한 노력이 매우 요구되는 폐기물이다. 최근의 연구에 의하면 고로슬래그를 콘크리트용 혼화제로 사용할 경우 경제성 향상, 수화열 저감, 화학적 저항성의 증대 및 잠재 수경성에 의한 장기강도의 증진 등이 있는 것으로 보고되고 있다.[1-4]

그러나 고로슬래그에 관련된 연구의 대부분은 현장 타설 콘크리트의 성능개선에 집중되어 있으며, 콘크리트 2차 제품 특히 본 연구에서 대상으로 하고 있는 단위수량을 극도로 낮춘 건식배합의 콘크리트 2차제품에 적용한 시도는 많지 않다. 굳지않은 콘크리트와는 달리 건식배합의 콘크리트 2차제품은 기본적으로 수량이 매우 부족하기 때문에 수량이 많은 콘크리트에서와는 다른 수화거동과 강도발현 특성을 보이게 된다. 일반 콘크리트의 경우에는 강도 발현이 시멘트의 수화반응에 의존하게 되지만, 건식배합의 콘크리트는 시멘트의 수화반응 외에 성형시의 조건 및 사용재료의 입도분포가 큰 영향을 주게 된다. [2-3]

또한, 고로슬래그의 포졸란 반응에 의한 강도증진은 상온에서 양생할 경우 재령 28일 이후에 기대할 수 있는 것으로 알려져 있으나, 건설 2차 제품과 같이 고온 증기양생시에 대한 연구결과는 미비한 실정이다.

본 연구에서 대상으로 하는 스페이서는 건설공사에서 철근의 피복두께를 유지하기 위해 사용되는 것으로 건식 모르타를 진동가압 성형한 후 증기양생을 통하여 제조되는 콘크리트 2차제품이다.

콘크리트 스페이서에 관한 품질 기준 및 표준시방이 제정되지는 않았으나 스페이서의 적용부위가 구체콘크리트이므로 강도는 주변의 콘크리트와 유사한 것을 사용하는 것이 바람직하므로 최근 구조체 콘크리트가 고강도화 되는 경향에 의해 스페이서도 고강도화 해야 할 필요성이 제기되고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 건식배합의 콘크리트 2차제품인 스페이서의 고강도화, 경제성 향상 및 환경친화적 제품을 제조하기 위하여 산업폐기물인 고로슬래그를 적용하고, 고로슬래그의 최적 배합조건을

도출하여 압축강도 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도 스페이서를 개발하고, 또한 고로슬래그의 사용에 의한 건식배합 콘크리트 2차제품의 강도 증진 원인을 과학적으로 규명하기 위한 것이다.

## 2. 이 론

### 2.1 고로슬래그의 화학성분

철강슬래그의 대부분인 고로슬래그로는 고로에서 철을 제조할 때 철광석이나 코크스 중의 회분에 존재하는 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등이 1,350~1,550℃의 고온에서 석회와 반응하여 생성되며, 비중이 철보다 낮아 선철과 분리된다. 여기서 분리된 용융 슬래그를 고온에서 꺼내어 서냉 또는 급냉시켜 고화된 것을 분쇄하여 재사용하게 된다.

고로슬래그 미분말의 주성분은 Table 1에 나타난 바와 같이 CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이므로 포틀랜드 시멘트와 매우 유사하지만 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 거의 없으며, CaO가 적다. 일반적인 성분범위는 매우 넓으며, 주성분의 함유량은 SiO<sub>2</sub> 28~38%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~18%, CaO 30~45%, MgO 16% 이하이다[1-5].

Table 1. Chemical properties of cement, blast furnace slag, and fly ash (%)

| Type | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> |
|------|------------------|--------------------------------|------|-----|------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|
| OPC  | 20.7             | 5.2                            | 62.4 | 4.7 | 0.3              | 0.1               | 1.0              | 3.1                            | 2.4             |
| BS   | 33.1             | 13.9                           | 42.3 | 6.9 | 1.3              | 0.20              | 0.31             | -                              | -               |
| FA   | 59.0             | 19.8                           | 2.3  | 1.5 | -                | -                 | 2.5              | 4.7                            | 0.3             |

OPC : Ordinary portland cement

BS : Blast furnace slag      FA : Fly ash

### 2.2 고로슬래그의 화학반응

고로슬래그 미분말은 상온에서 시멘트 페이스트와 섞이면, 유리질의 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 시멘트의 수화반응에 의해 생성된 Ca(OH)<sub>2</sub>와 장기간에 걸쳐 서서히 반응하여 칼슘실리케이트 수화물(3CaO · 2SiO<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O, 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3CaSO<sub>4</sub> · 32H<sub>2</sub>O)을 생성한다. 이것을 포졸란 반응이라고 하며, 이 반응은 불에 잘 용해되는 Ca(OH)<sub>2</sub>를 소비하

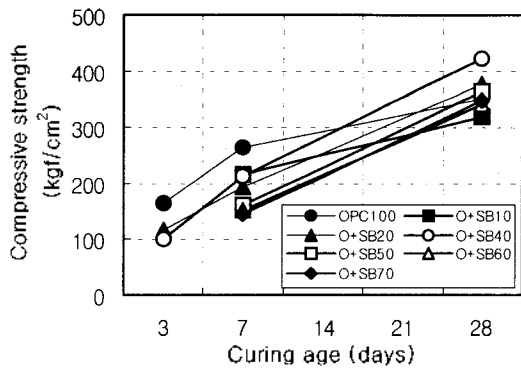


Fig 1. Variations of compressive strength according to curing age (OPC:Cement, BS:Blast furnace slag)

여 시멘트경화체의 구조형성을 담당하는 C-S-H겔을 증가시킨다. 따라서 고로슬래그미분말을 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 시멘트경화체의 강도향상과 수밀성의 증대를 기대할 수 있게 된다.

그러나 보통 포틀랜드 시멘트에 고로슬래그 미분말을 혼입한 시멘트 모르타르의 압축강도 발현상을 나타낸 Fig 1에서 알 수 있는 바와 같이 고로슬래그에 의한 포졸란 반응은 매우 서서히 진행되기 때문에 그 효과는 재령 28일 이후의 장기 재령에서 나타나게 된다. [1-4-5]

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

1) 고로슬래그를 이용한 고강도 스페이서 개발

본 연구에서는 산업폐기물인 고로슬래그를 사용하여 고강도 스페이서를 제조하기 위하여 Table 2와 같이 고로슬래그 대체율에 따른 스페이서의 압축강

Table 2. Experimental design and mix proportion

| W/B (o/wt) | Replacement proportion of BS(%) | Proportion of weight (o/wt) |                    |              |            |       | Test items   |
|------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|------------|-------|--|
|            |                                 | Cement                      | Blast Furnace Slag | Crushed Sand | River Sand | Water |  |
| 28.7       | 0                               | 23.69                       | -                  | 18.35        | 49.99      | 6.81  | Compressive strength (Test Age : 1, 3, 7, 28 days) |
|            | 20                              | 18.95                       | 4.74               | 18.35        | 49.99      | 6.81  |  |
|            | 30                              | 16.58                       | 7.11               | 18.35        | 49.99      | 6.81  |  |
|            | 40                              | 14.22                       | 9.48               | 18.35        | 49.99      | 6.81  |  |

도 변화를 검토하였다. 고로슬래그의 대체율을 0, 20, 30, 40(%)로 하여 시험체를 제작한 후 증기양생(80°C)을 실시하였다. 압축강도는 재령 1, 3, 7, 28(일)에 측정하였다.

#### 2) 고로슬래그에 의한 고강도화 메카니즘 분석

고로슬래그에 의한 스페이서의 강도증진 원인을 알아보기 위한 것으로 Table 3과 같이 공극충진 효과, 최밀입도 효과, 포졸란 반응 효과에 대하여 검토하였다.

공극충진 효과를 알아보기 위한 실험에서는 고로슬래그가 미세한 분말이기 때문에 시멘트 매트릭스(cement matrix)의 공극을 충전함으로써 강도를 증진시켰는지를 검토하기 위한 것으로 고로슬래그와 비슷한 분말도를 가지고 있으면서 포졸란 반응을 하는 플라이애쉬와 포졸란 반응이 전혀 없는 석분을 비교대상으로 하였다. 혼화재의 대체율은 30(%)로 동일하게 하였으며, 양생방법은 20°C 기건양생과 80°C 증기양생의 2수준으로 하여 압축강도를 비교 검토하였다.

최밀입도분포 효과는 고로슬래그의 사용에 의한 스페이서의 강도 증진 원인이 고로슬래그의 입도가 전체 스페이서의 입도분포를 보다 최밀입도에 근사하도록 하였기 때문에 나타난 결과인지를 검토하기 위한 것으로, 고로슬래그 대체율을 0, 30(%)로 하고

Table 3. The experimental design to analyze high strength effects by BS

| Experimental Factors         |  |          | Levels              | Test methods                                 |
|------------------------------|--|----------|---------------------|--|
| Filler Effect                | Replacement proportion of SS, BS, and FA | 0, 30%   | (1, 3, 7days)       | · Compress strength                          |
|                              | Curing temperature                       | 20, 80°C |                     |  |
| Optimum Grading Effect       | Replacement proportion of BS             | 0, 30%   | (1day)              | · Compress strength<br>· Test for compaction |
|                              | Water/Binder                             | 23 ~ 33% |                     |  |
| Pozzolanic Reactivity Effect | Replacement proportion of BS             | 0, 30%   | · X-Ray<br>· DT-TGA |  |
|                              | Curing temperature                       | 20, 80°C |                     |  |

OPC : Ordinary portland cement SS : Stone sludge  
BS : Blast furnace slag FA : Fly ash

물결합재비 변화에 따른 다짐실험을 통한 단위용적 중량과 실적율을 구하고, 압축강도를 측정하여 상관성을 검토하였다.

또한 포졸란 반응에 의한 강도 증진 효과를 검토하기 위하여 고로슬래그 대체율 0, 30(%)의 2수준, 양생온도 20, 80(°C)의 2수준으로 하여 포졸란 반응에 참여하는 시멘트 수화생성물인 Ca(OH)<sub>2</sub>의 소비정도를 XRD분석과 시차열분석(DT-TGA)으로 검토하였다.

3.2 사용재료

시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 KS L 5201 1종 규격품으로 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

고로슬래그는 활성도 지수가 양호한 국내산 S사의 것을 사용하였으며, 물성은 Table 5와 같다.

골재는 비교적 세립 잔골재인 강모래와 조립 잔골재인 부순모래를 혼합하여 사용하였으며 물리적 성질은 Table 6과 같고, Fig 2은 모래의 입도분포 곡선을 나타낸 것이다.

Table 4. Physical properties of cement

| Specific gravity | Time of set (h:m) |       | Blain, (cm <sup>2</sup> /g) | Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) |                |                 |
|------------------|-------------------|-------|-----------------------------|---|----------------|-----------------|
|                  | Initial           | Final |                             | σ <sub>3</sub>                              | σ <sub>7</sub> | σ <sub>28</sub> |
| 3.15             | 3:14              | 5:50  | 3,465                       | 202   | 245            | 308             |

Table 5. Physical properties of BS

| Specific gravity | Blain (cm <sup>2</sup> /g) | Proportion of Flow(%) | Activity index (%) |         | Chloride ion (%) | Alkalinity | Ignition loss (%) | Mg O (%) | SO <sub>3</sub> (%) |
|------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|---------|------------------|------------|-------------------|----------|---------------------|
|                  |                            |                       | 7 days             | 28 days |                  |            |                   |          |                     |
| 2.89             | 4,438                      | 99                    | 89                 | 108     | 0.001            | 1.87       | 0.3               | 7.8      | 0.4                 |

Table 6. Physical properties of fine aggregate

| Types of fine aggregate | Max. size (mm) | FM   | Specific gravity | Water absorption (%) | Soild volume (%) | Unit weight (kg/l <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|----------------|------|------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|
| River Sand              | 2.5            | 2.47 | 2.64             | 1.36                 | 54.9             | 1.45                             |
| Crushed sand            | 5.0            | 3.11 | 2.63             | 0.89                 | 55.1             | 1.56                             |

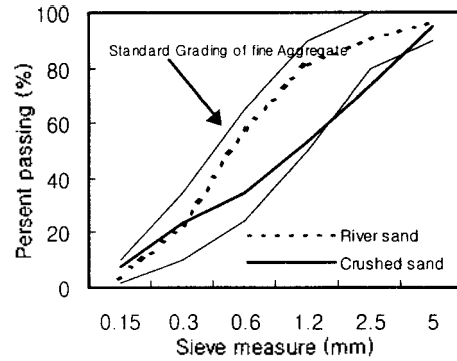


Fig-2 Grading curve of fine aggregate

3.3 실험방법

1) 시험체 제작

시험체는 Fig 3과 같이 건비빔 3분 후에 가수한 다음 4분간 비빈 후, Photo 1의 진동가압성형기를 이용하여 5×5×5cm의 크기로 제작하였다.

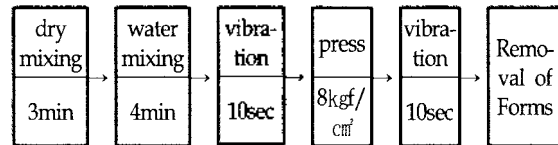


Fig 3. Order of making specimens

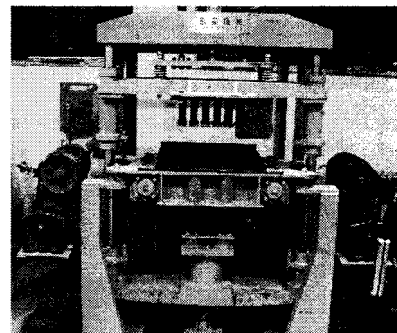


Photo 1. Brick casting machine (Vibration and pressing type)

2) 시험체 양생

시험체의 양생은 스페이서의 공장제작 조건에 맞추기 위하여 Fig 4과 같이 전치양생 4시간과 증기양생 20시간을 행한 후 기건상태에서 시험채령까지 보관하였다. 증기양생시 온도 상승속도는 10°C/h로 하고 80°C에 다다른 후에는 양생조내에서 서냉하였다.

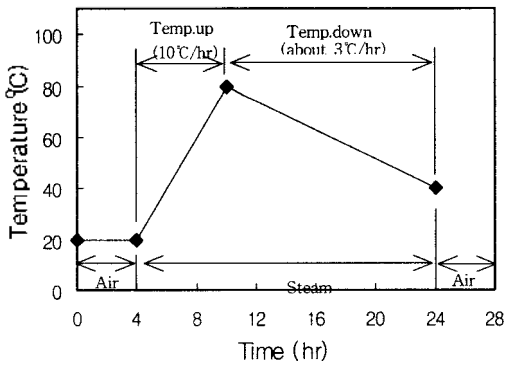


Fig. 4. Curing method

3) 압축강도 측정

압축강도 측정은 KS L 5105의 모르타르 압축강도 시험방법에 의하여 각 소정의 재령에서 실시하였다.

4) 최밀입도분포 시험

최밀입도분포를 검토하기 위하여 KS F 2312의 흙의 다짐 시험방법을 이용하였다. 안지름이 10cm인 몰드에 시료를 3회에 나누어 부어넣은 후, 무게 2.5kg의 래머로 25회 다짐하여 단위용적중량을 구하였다.

또한, 시료를 구성하는 각 재료의 비중을 이용하여 평균비중을 산출하고, 그 비중으로 습윤밀도를 나누어 실적율을 구하였다.

5) X-Ray회절분석 및 열중량분석

시멘트의 수화생성물인 Ca(OH)<sub>2</sub>와 고로슬래그 미분말과의 포졸란 반응성을 검토하기 위하여 X-Ray 회절분석과 사차열분석(DT-TGA)을 실시하여 Ca(OH)<sub>2</sub>량을 정량적으로 분석하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 고로슬래그를 이용한 고강도 스페이서 개발

고로슬래그의 대체율별 재령에 따른 압축강도를 나타내고 있는 Table 7 및 Fig 5에서 알 수 있는 바와 같이 모든 재령에서 고로슬래그 대체율 30%까지는 고로슬래그의 대체율의 증가에 따라 압축강도도 증가하고 있으며, 대체율 40%의 경우에도 대체율 30%보다는 낮지만 대체율 20%보다 높은 압축

Table 7. Test results of compressive strength according to replacement proportion of BS

| Replacement proportion of BS | Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) |          |          |          |
|------------------------------|---|----------|----------|----------|
|                              | 1 day                                       | 3 days   | 7 days   | 28 days  |
| 0                            | 339(100)                                    | 356(105) | 374(110) | 389(115) |
| 20                           | 364(100)                                    | 393(108) | 408(112) | 432(119) |
| 30                           | 413(100)                                    | 422(102) | 479(116) | 498(121) |
| 40                           | 407(100)                                    | 414(102) | 435(107) | 485(119) |

( ) : percentage

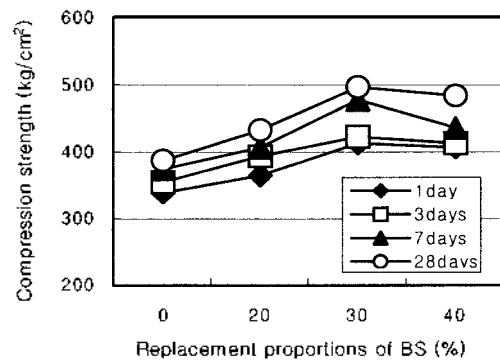


Fig-5. Variations of compressive strength according to replacement proportion of BS

강도를 보이고 있다.

또한 고로슬래그 대체율 30~40%에서 증기양생 직후인 재령 1일에 압축강도 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도를 발현하여, 제조 후 1일 이내에 고강도 제품을 출하할 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

재령 1일에 대한 강도 증진율을 살펴보면, 시멘트만을 사용한 고로슬래그 대체율 0%에서는 재령 1일에 대한 28일 압축강도의 비율이 115%이지만, 대체율 30%에서는 121%, 대체율 40%에서는 119%를 보이고 있고 절대강도에 있어서도 500kgf/cm<sup>2</sup>에 근접한 고강도를 보이고 있다. 이러한, 경향은 표 3에 나타난 고로슬래그의 활성화 지수 및 그림 1에 나타난 경향과 다르게 초기 재령부터 강도 증진을 보이고 있다.

4.2 고로슬래그의 의한 고강도화 메카니즘 분석

앞의 실험 결과 고로슬래그를 사용한 경우 압축강도의 증진이 현저하게 나타나고 있는데 이의 원인

을 구명하기 위하여 미분말에 의한 공극충전효과, 최  
 밀입도분포 효과 및 포졸란 반응 효과라는 3가지 관  
 점에서 실험적으로 분석하였다.

1) 공극충전 효과

실험결과를 나타내고 있는 Fig 6에서 알 수 있  
 는 바와 같이 양생온도 20℃의 경우 재령 3일까지는  
 시멘트만을 결합재료 사용한 경우가 가장 높은 강도  
 를 보이고 있으나 재령 7일에는 고로슬래그를 사용  
 한 경우가 높은 강도를 보이고 있다. 증기양생을 의  
 미하는 양생온도 80℃의 경우에는 재령에 관계없이  
 고로슬래그가 가장 높은 강도를 보이고 있다.

또한, 장기재령에 있어서 포졸란 반응에 의한  
 압축강도의 증진을 기대할 수 있는 재료로 알려진  
 플라이애시를 사용한 경우에는 재령 및 양생온도에  
 상관없이 모든 경우에 낮은 강도를 보이고 있으며,

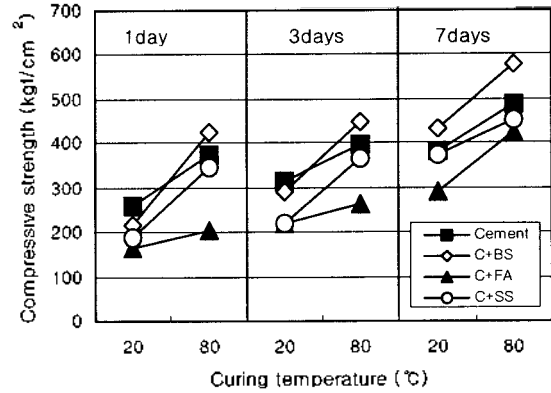


Fig 6. Variations of compressive strength according to types of mineral admixture and curing temperature

석분을 사용한 경우에는 전반적으로 플라이애시를  
 사용한 경우보다 높은 강도를 보이지만 시멘트만을  
 사용한 경우에 비해서는 낮은 강도를 보이고 있다.

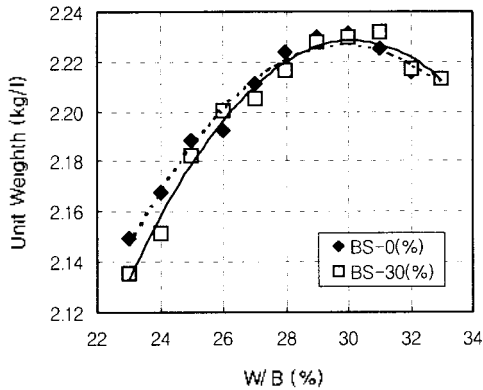


Fig 7. Variations of unit weight according to W/B

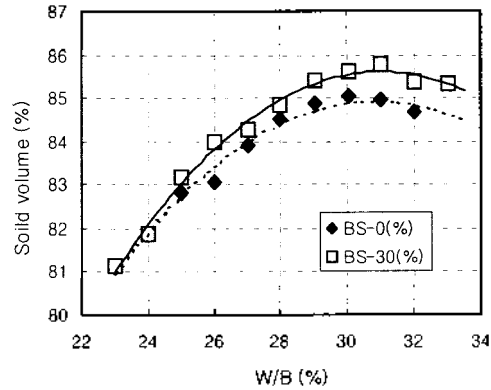


Fig 8. Variations of solid volume according to W/B

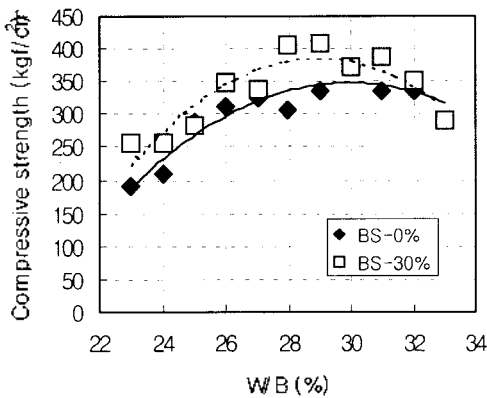


Fig 9. Variations of compressive strength according to replacement proportion of BS

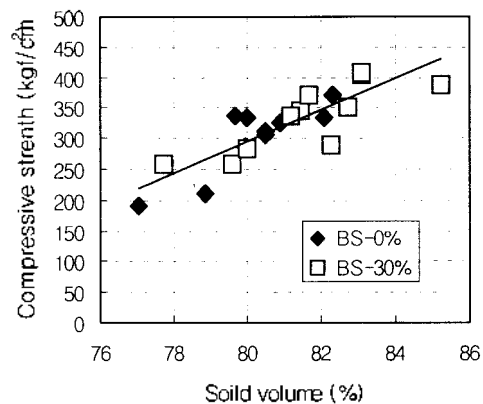


Fig 10. Relation of compressive strength and solid volume

3가지 혼화재료의 정확한 입도분포를 고려하지 않아 명확한 결론을 도출하기는 어렵지만, 이상의 실험결과에 의하면, 고로슬래그의 사용에 의한 강도증진은 미분말에 의한 공극충전효과만으로 설명하기 어려우며, 다른 요인이 강도증진에 기여한 것으로 사료된다.

## 2) 최밀입도 분포 효과

고로슬래그의 사용에 의한 스페이서의 강도 증진 원인이 고로슬래그의 입도가 전체 스페이서의 입도분포를 보다 최밀입도에 근사하도록 분포되어 나타난 결과인지를 검토하기 위하여 결합재로서 시멘트만을 사용한 경우와 고로슬래그와 시멘트를 함께 사용한 경우에 대하여 다짐실험을 실시하였다.

다짐실험은 KS F 2312의 흙의 다짐실험방법에 준하여 수량을 변화시키면서 다짐하여 중량의 변화를 측정하는 방법을 사용하였으며, 실적율은 비중을 고려하여 계산한 이론상의 배합중량에 대한 다짐실험한 시료의 실측중량의 비로 계산하였다.

물결합재비에 따른 단위용적중량의 경우 Fig 7에서 알 수 있는 바와 같이 고로슬래그의 비중이 낮음에도 불구하고, 고로슬래그를 30% 대체한 경우와 보통 포틀랜드시멘트만을 사용한 경우의 단위용적중량의 차이는 거의 보이지 않고 있다.

그러나, Fig 8에서 보는 바와 같이 물결합재비에 따른 실적율은 고로슬래그를 30% 대체한 경우가 오히려 높게 나타나고 있다. 또한, 물결합재비에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 Fig 9에서 보는 바와 같이 고로슬래그를 30% 대체한 경우의 압축강도가 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용한 경우보다 높게 나타나고 있다.

이와 같이 고로슬래그를 사용한 경우 상대적으로 높은 실적율을 보이는 것은 고로슬래그의 입도가 전체 콘크리트의 입도분포를 보다 더 최밀 입도분포에 근사하도록 작용하였음을 의미하는 것으로 생각된다.

또한 실적율과 압축강도의 관계를 나타낸 Fig 10에서 알 수 있는 바와 같이 실적율과 압축강도는 비례적인 것으로 나타나고 있어 고로슬래그의 사용에 의한 실적율의 증가는 고로슬래그의 사용에 의한 압축강도의 증진에 크게 기여한 인자로 판단 할 수 있다.

## 3) 포졸란 반응 효과

고로슬래그는 수경성은 없지만 시멘트 수화물인 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , Portlandite)과 상온에서 장기간에 걸쳐 반응하여 불용성 물질을 생성하는 포졸란 반응을 하는 것으로 알려져 있다. 포졸란 반응의 활성은 수화생성물인 수산화칼슘의 소비정도를 측정함으로써 결정하게 된다. 이에 본 연구에서는 포졸란 반응의 활성을 알아보기 위해 결합재의 종류를 시멘트만 사용한 것과 시멘트와 고로슬래그를 사용한 것에 대하여 XRD분석과 시차열 분석을 실시하여 수산화칼슘의 변화를 관찰하였다.

Fig 11은 XRD 분석 결과를 나타낸 것으로 타원으로 표기한 수산화칼슘의 pick intensity가 고로슬래그의 사용한 경우를 나타낸 (c) 및 (d)에서 상대적으로 작은 것으로 나타나고 있다.

XRD분석 결과는 한 실험에서의 상대적인 값은 나타내는 것이므로 동일한 시료에서의 Alite(C3S)에 대한 상대적인 비율로 표기하는 것이

수산화칼슘의 소비정도를 파악하기 위한 좀 더 명확한 자료를 제공할 것이다. Fig 12는 동일시료에서 Alite에 대한 Ettringite와 Portlandite의 비율을 나타낸 것으로 기건양생의 경우에는 고로슬래그의 사용에 따른 일정한 경향을 보이지 않고 있으나 증기양생의 경우에는 고로슬래그를 사용한 경우에 비하여 명확히 Portlandite가 저하된 것을 보이고 있다. 이러한 현상은 시차열분석(DT-TGA)에 의해 Portlandite의 열중량 감소율을 나타낸 Fig 13에서도 동일하게 나타나고 있다.

이상과 같이 XRD 분석과 중량감소율을 측정한 결과 고로슬래그에 의한 포졸란 반응의 활성을 확인할 수 있었다. 그러므로 건식배합의 콘크리트 2차제품인 스페이서에 있어서도 고로슬래그에 의한 강도증진은 부분적으로 고로슬래그의 포졸란 반응에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

또한, 본 연구의 실험결과 고로슬래그를 대체하여 증기양생을 하는 경우 표 5의 고로슬래그 활성도 지수 및 그림 1의 결과와 같이 재령 28일 이후에 강도증진을 보이는 것이 아니라 재령 1일의 초기재령부터 보통 포틀랜드 시멘트만 사용한 것보다 높은 압축강도를 보이고 있다. 이는 고온의 증기 양생을

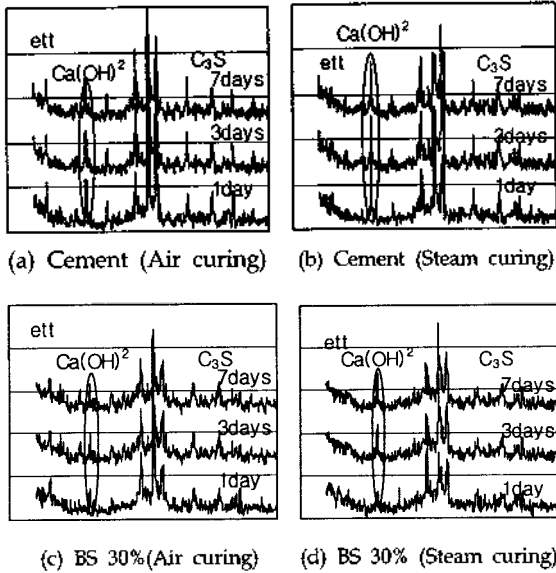


Fig 11. Analysis results of X-Ray diffraction according to binder types and curing conditions

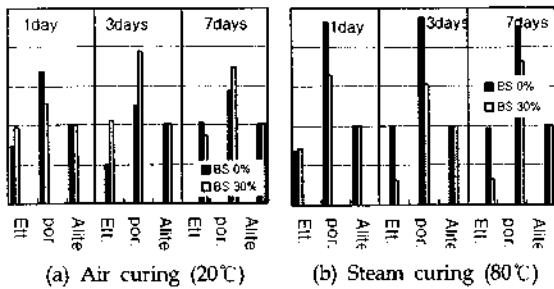


Fig 12. Capacity ratio of each hydration products by alite according to replacement proportion

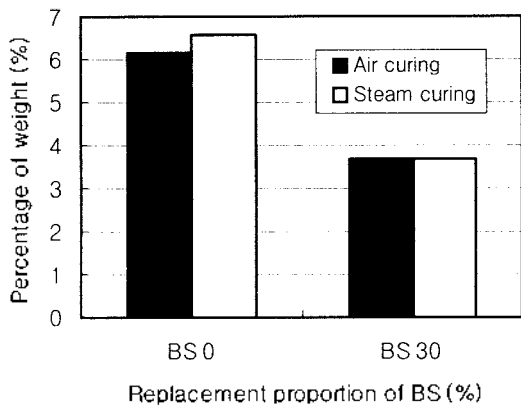


Fig 13. Weight percentage of  $Ca(OH)_2$  by DT-TGA

할 경우 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 고로슬래그와 포졸란 반응을 일으키는  $Ca(OH)_2$ 의 생성량이 증

가함에 따라 초기 재령부터 포졸란 반응이 활성화된 결과로 사료된다.

### 5. 결 론

고로슬래그를 사용한 고강도 스페이서의 개발과 고강도화 메커니즘을 분석하기 위한 실험적 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 산업폐기물인 고로슬래그를 시멘트 중량의 30~40% 대체함으로써 재령 1일에 압축강도가  $400kgf/cm^2$  이상 발휘하는 고강도 스페이서를 경제적으로 제조하는 고로슬래그의 대량처리 기술을 제시하여 고로슬래그에 의한 환경 오염의 저감에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.
- 2) 고로슬래그에 의한 공극 충전 효과에 의한 경화체의 강도 증진 효과는 명확히 확인할 수 없었다.
- 3) 다짐실험을 한 결과 고로슬래그에 의한 스페이서의 압축강도 증진은 부분적으로 고로슬래그의 입도가 스페이서의 구성재료 전체의 입도분포를 좀더 최밀입도에 근사하도록 작용하였기 때문인 것으로 사료된다.
- 4) 수량을 적게 사용하여 제조하는 콘크리트 2차제품의 경우에도  $80^\circ C$  증기양생을 하는 경우 초기재령에서도 고로슬래그의 포졸란 반응이 활성화되어 경화체의 강도 증진에 기여하는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 공주대학교 자원재활용신소재연구센터(RRC/NMR)의 연구비를 지원 받아 수행한 연구 [과제번호 00B12] 결과의 일부이며, 관계자 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

### 참 고 문 헌

1. 日本建築學會 ; 高爐スラグ微粉末を用いたコンク



- 리트의 기술의現状, 1992. 6.
2. 福澤公夫 外3人 ; オートクレーブ養生を行つた高爐スラグ微粉末混和高強度コンクリートの壓縮強度, コクラリート工學年次論文報告集, Vol. 15, No.1, 1993.
  3. 中原泰 外2人 ; セメント-スラギーせつこう系混合セメントの蒸氣養生に關する實驗, セメント技年報 X X I X, 昭50.
  4. P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro ; CONCRETE (Structure, Properties, and Materials), 2nd Edition, Prentice Hall, 1993.
  5. 콘크리트학회; POSCO Forum 발표집(주제 : 고로슬래그 콘크리트), 알파, 1999.
  6. 콘크리트학회; 최신콘크리트공학, 기문당, 1999.
  7. 박성현; 현대실험계획법, 민영사, 1998.