

# 電氣爐슬래그를 잔골재로 사용한 콘크리트에 관한 基礎的 研究

Fundamental Study on the Utilization of Electric  
Furnace Slag as a Fine Aggregate for Concrete

文	翰	英*
Moon,	Han	Young
崔	在	眞**
Choi,	Jae	Jin
崔	然	汪***
Choi,	Yun	Wang

## Abstract

This is a basic experimental research tried to use electric furnace slag as a fine aggregate for concrete. Chemical component and physical properties of electric furnace slag were studied, and expansion mechanism and aging method for stabilization of electric furnace slag were discussed. Concrete properties electric furnace slag as a fine aggregate were also studied in this paper.

## 요 지

본 연구에서는 전기로슬래그를 잔골재로 사용하기 위한 기초단계로서 전기로슬래그의 화학성분, 조성광물 및 물리적성질에 대하여 고찰하였으며, 전기로슬래그의 膨脹機構, 安定化方案에 대하여 검토하였다. 그리고 안정화된 전기로슬래그를 잔골재의 일부와 대체한 콘크리트의 기초적 성질을 알아보기 위하여 실시한 실험결과에 대해서도 고찰하였다.

## 1. 서 론

古鐵을 주원료로 하여 鋼을 제조하는 電氣爐에서 발생하는 電氣爐슬래그와 銑鐵을 주원료로 하

여 강을 제조하는 轉爐에서 생기는 轉爐슬래그는 製鋼슬래그에 속하며 제강슬래그는 불안정한 鑛物相으로 구성되어 있어 콘크리트용 골재로 사용해서는 안된다고 콘크리트표준시방서에 규정하고 있다.

\*正會員·漢陽大學校 工科大學 教授 土木工學科

\*\*正會員·檀國大學校 工科大學 講師 土木工學科

\*\*\*正會員·漢陽大學校 大學院 碩士課程

주지하는 바와 같이 高爐슬래그를 콘크리트용 굵은 골재로 사용하기 위한 설계시공지침<sup>(1)</sup>이 마련되어 있을 뿐만 아니라, 고로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용한 실적이나 연구 성과가 많이 발표되고<sup>(2~12)</sup> 있는 반면 製鋼슬래그에 관한 연구는 주로 轉爐슬래그를 대상으로 한 연구<sup>(13~21)</sup>가 대부분이어서, 전기로슬래그에 관한 연구결과는<sup>(23,24)</sup> 거의 찾아보기 어렵다.

그러나 근년에 와서 전기로슬래그를 국내에서 시멘트 가공 제품용 잔골재로 사용하고 있는 현실과 製鋼슬래그의 安定化 方案에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세를 고려해 볼 때 전기로슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위한 연구의 필요성이 절실하다고 생각된다.

본 논문에서는 전기로슬래그의 팽창성에 영향을 미칠 것으로 생각되는 화학성분 및 조성광물에 대하여 화학성분분석, X선회절분석을 실시하였으며 전기로슬래그의 에이징 방법에 따른 안정화 효과 및 에이징 처리한 전기로슬래그를 강모래와 일부 대체하여 제조한 콘크리트의 워커빌리티, 강도 및 탄성계수에 대하여 콘크리트용 잔골재로 사용 가능한지에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

실험에는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 골재는 한강산 모래와 강자갈 및 전기로슬래그로서 물리적성질은 표 1과 같다.

표 1. 골재의 물리적 성질

항 목 종 류	굵은골재 의 최대치수 (mm)	비 중	흡수율 (%)	조립률 (F.M)	유기불순물	단위용적 중 량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적률 (%)	비 고
굵은 골재	25	2.68	0.90	7.20	-	1,734	64.7	강 자 갈
잔 골 재	-	2.62	1.50	2.18	양 호	1,620	61.8	강 모 래
전기로슬래그 잔골재	-	2.98	3.52	3.24	양 호	2,037	68.4	공기중에이징한슬래그
전기로슬래그 잔골재	-	3.06	2.70	3.44	양 호	2,039	66.2	에이징 안한 슬래그

이 외에도 전기로슬래그를 안정화 시키기 위하여 다음 3가지 방법으로 에이징하였다.

전기로슬래그를 대기중에 방치한 경우를 空氣中 에이징, 전기로슬래그 1톤을 1일 160ℓ의 물로 살수한 경우를 撒水에이징, 전기로슬래그 1톤을 800ℓ의 물에 침지한 경우를 水中에이징이라 하였다.

### 2.2 실험방법

(1) 전기로슬래그의 화학분석 : 에이징 하지 않은 전기로슬래그 시료를 샘플링하여 습식분석으로 화학성분을 분석하고, 재령 0, 15, 30 일 까지 각각 공기중에이징 및 수중에이징하여 KS L 5120 포틀랜드시멘트 화학분석 방법에 의하여 free CaO 양을

측정하였다.

(2) X선회절분석 : X선회절분석 장치를 사용하여 전기로슬래그의 표면등에 존재하는 흰 결정체를 채취하여 화학성분, 광물조성을 알아보기 위하여 다음 조건으로 X선회절분석을 실시하였다.

CuK $\alpha$ (Ni, filter), 40KV, 20mA, scanning speed 4.2°/min, full scale 2000CPS, 2 $\theta$ =10°~60°로 정하였다.

### 2.3 콘크리트의 配合

잔골재의 일부를 전기로슬래그와 대체한 콘크리트의 배합은 표 2와 같다.

표 2. 콘크리트의 배합조건

항 목 종 류	단위시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	물 시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	슬 립 프 (cm)	전기로슬래그 대체율 (%)
워커빌리티 시험용	350	50, 55, 60	40	-	0, 50, 100 0, 20, 40, 60
강도시험용	350	-	40	12	0, 20, 40, 60

### 3. 실험결과 및 고찰

3.1 전기로슬래그의 膨脹機構 및 安定化에 대한 고찰  
 선철, 고철과 같은 製鋼원료의 精鍊에 사용되는  
 생석회가 충분히 淨化 되지 않은 경우 불안정한

상태로 슬래그중에 존재하며, 이러한 석회분을 遊  
 離石灰라 하며 물과 반응하면 부피가 팽창하므로  
 슬래그의 팽창부피를 일으키는 요인이 된다.

여기서는 강원산업에서 발생한 전기로 슬래그의  
 화학성분을 측정한 것이 표 3이다.

표 3 전기로슬래그의 화학성분(%)

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ig.loss	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	f-CaO
43.3	28.2	12.2	6.9	5.1	Tr	0.18	0.13	0.8	4.69	0.6

그리고 전기로슬래그를 에이징 유무에 따라 3종  
 류로 분류하여 X선회절분석한 결과가 그림 1 이  
 다.

이 그림에서 전기로슬래그의 중요 조성광물은 Geh-  
 lenite (2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>) 와 Kirschsteinite (CaFeSiO<sub>4</sub>)

임을 알 수 있다.

이번에는 전기로슬래그중에 존재하는 흰 결정체  
 가 주로 팽창부피를 일으킨다고 생각되어 이 흰  
 결정체를 채취하여 X선회절분석한 결과가 그림 2  
 이다.

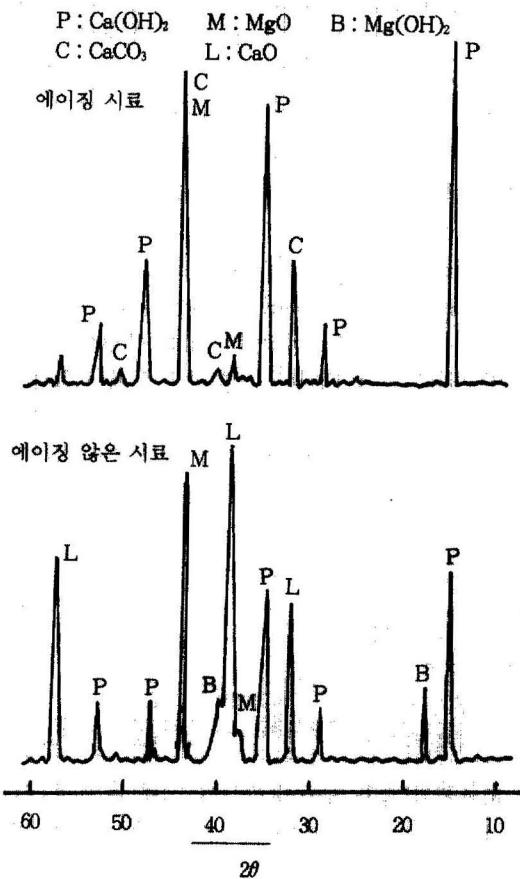
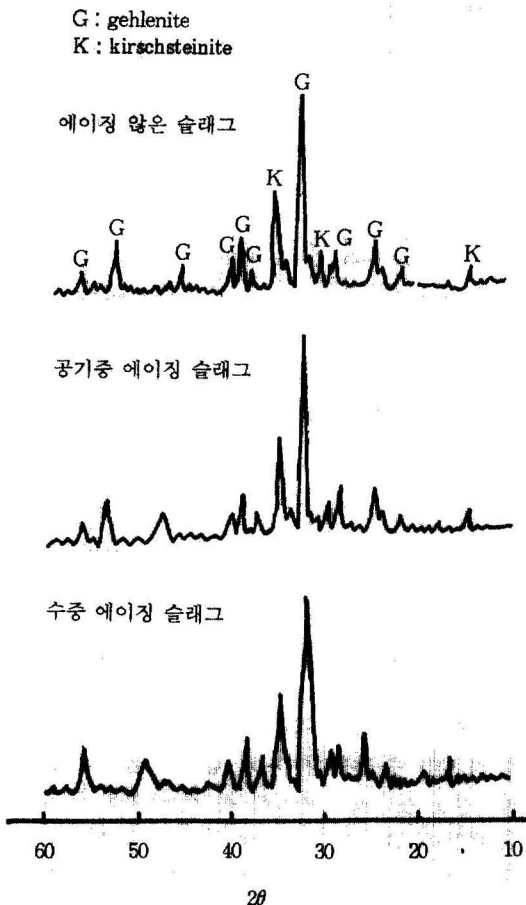
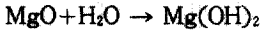
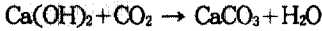
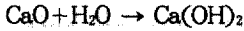


그림 1. 전기로슬래그의 X선회절분석

그림 2. 전기로슬래그중에 존재하는 흰 결정체의 X선회  
 절분석

이 그림에서 에이징하지않은 시료의 흰 결정은 CaO, MgO, Ca(OH)<sub>2</sub> 및 Mg(OH)<sub>2</sub> 이며, 화학분석해본 결과 CaO 48.4%, MgO 34.4%임을 알았다. 한편 살수에이징한 시료의 흰 결정은 Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> 및 MgO로 나타났으나 MgO와 반응물질인 Mg(OH)<sub>2</sub>는 발견되지 않았다. 이들의 반응은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



위의 실험결과가 河内<sup>(25)</sup>의 연구로부터 유추해보면 전기로슬래그의 팽창은 free CaO와 MgO의 수화반응, 탄산화에 의한 영향이 클것으로 생각된다.

그런데 MgO는 1700~1800°C 정도의 높은 열을 가하면 非反應性으로 된다고 하며<sup>(26)</sup>, 전기로슬래그의 MgO는 제강과정에서 1700°C 정도의 열에 의하여 반응성이 약화되어 팽창에 미치는 영향은 free CaO에 비해 매우 작을 것으로 생각된다.

그러므로 전기로슬래그의 팽창성을 줄여서 콘크리트용 골재나 도로용 재료로 사용하기 위한 수단으로 용융상태의 슬래그에 산소를 불어 넣거나 어떤 물질을 첨가하여 유리석회를 슬래그화 하는 改質처리방법 또는 슬래그를 적당한 입도로 파쇄하여 대기중이나 수중에서 水和反應을 촉진시키므로서 안정화하는 에이징처리 방법이 검토되어 왔다.

여기서는 후자에 해당하는 에이징 처리한 전기로슬래그 시료의 free CaO 양을 측정하여 비교한 것이 표 4이다.

표 4. 전기로슬래그중의 free CaO량(%)

경과시간(일) \ 에이징방법	0	15	30
공기중 에이징	0.6	0.5	0.5
수중 에이징	0.6	0.2	0.2

표 4에서 알수 있듯이 수분의 상태 및 경과시간에 따라 free CaO 양이 상이하며, 수중에이징에 의한 시료의 free CaO 양이 작음을 알수 있다. 다시 말해서 전기로슬래그의 팽창성에 가장 큰 영향을 미치는 free CaO 양을 줄이며 안정화 하는데 효율적인 에이징방법으로는 수중침지방법, 살수방법 및

대기중에 방치하는 방법 순이라 생각된다.

### 3.2 전기로슬래그 잔골재의 품질에 대한 고찰

전기로슬래그가 콘크리트용 잔골재로 사용 가능한지를 판단하기 위하여 전기로슬래그의 물리적 성질을 측정된 것이 표 1이다. 이 표에서 전기로슬래그의 비중, 단위용적중량 및 흡수율이 강모래보다 큰 값을 알수 있다.

비중이 큰 이유는 제강 과정에서 철의 일부가 산화되어 슬래그에 유입되기 때문이며, 흡수율이 큰 것은 슬래그의 냉각과정에서 기포등이 생기며 에이징과정에서 분말상의 다공성 반응 생성물이 부착되기 때문이라 생각된다. 일반적으로 골재의 흡수율이 지나치게 크면 콘크리트용 골재로 부적합하므로 부순모래의 경우 KSF 2558에 3% 이하 콘크리트용 고로슬래그 잔골재는 KSF 2559에 3.5% 이하로 규정하고 있다.

그래서 전기로슬래그의 에이징방법 및 기간에 따른 흡수율을 비교한 것이 그림 3이며, 에이징방법에 따라 차이는 있으나 3종류 다같이 에이징기간에 따라 흡수율이 증가되는 현상을 나타내었다.

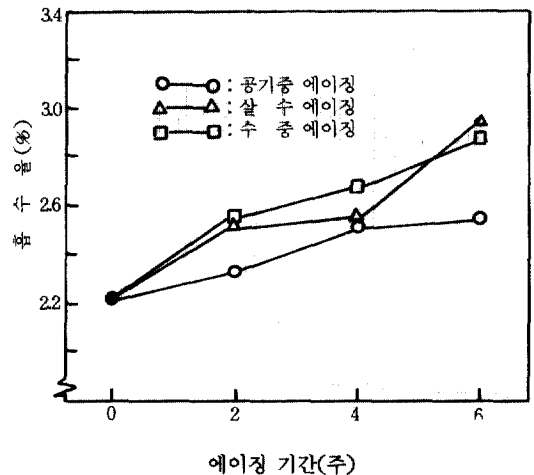
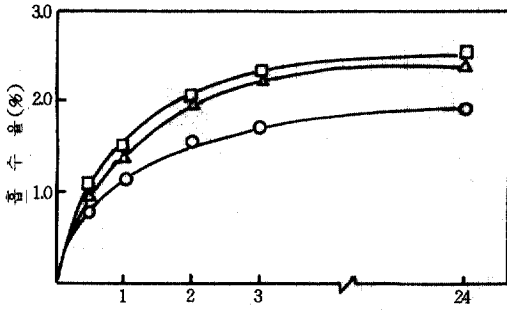


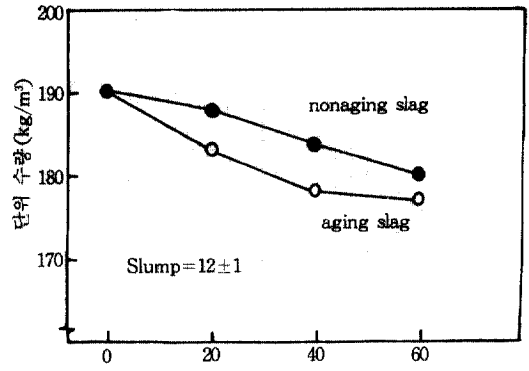
그림 3. 전기로슬래그의 에이징기간에 따른 흡수율의 변화

이번에는 흡수율의 특성을 알아보기 위하여 시료를 24시간 수중에 침지시켜 놓고 그림 4와 같은 경과시간별 흡수율을 측정해 본 결과 30분 경과시의 흡수율이 24시간 흡수율의 약 50%로 나타났으며, 이러한 현상은 소성플라이애쉬를 사용한 경량골재의 경우와 비슷한 결과로서<sup>(26)</sup> 순간 흡수율이 큰 점을 문제점으로 지적 할 수 있겠으며, 콘크리



경과 시간(시간)

그림 4. 전기로슬래그의 수중침지시간과 흡수율과의 관계



전기로 슬래그의 대체율(%)

그림 6. 전기로슬래그의 대체율에 따른 단위수량의 변화

트용 골재로 사용하기 위해서는 프리웨팅하여 사용해야 한다고 생각된다.

그리고 전기로슬래그의 粒形은 부순모래와 유사하므로 강모래와 비교해서 콘크리트용 골재로서 불리하다고 생각되며, 유기불순물 시험결과는 무색으로 양호하게 나타났다.

### 3.3 굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티에 대한 고찰

전기로슬래그를 잔골재로 사용한 콘크리트의 워커빌리티 특성을 알아보기 위하여 표 2의 배합조건으로 실시한 실험 결과를 정리한 것이 그림 5 및 그림 6이다.

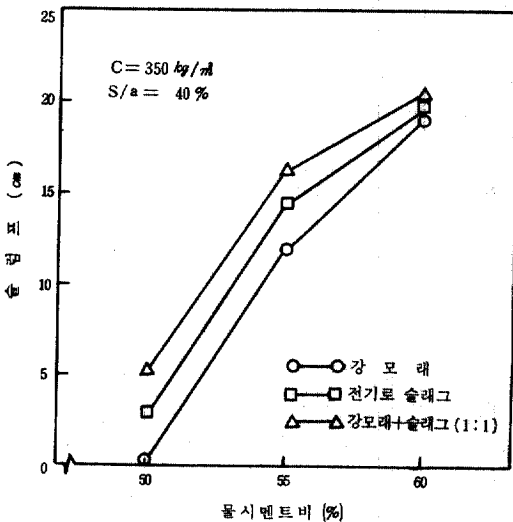


그림 5. 콘크리트의 물시멘트비에 따른 슬럼프의 변화

그림 5에서 3 종류의 콘크리트를 동일한 물시멘트비로서 슬럼프를 비교해 보면 강모래를 사용한 콘크리트, 전기로슬래그를 사용한 콘크리트 및 전기로슬래그와 강모래를 혼합하여 사용한 콘크리트 순으로 슬럼프 값이 크게 나타났으나 이는 표 1에서 알수 있듯이 강모래와 전기로슬래그의 조립률에 차이가 있기 때문으로 생각된다.

전기로슬래그와 강모래를 혼합한 콘크리트의 경우에는 전기로슬래그의 粗粒과 강모래의 中粒이 혼합됨으로서 입도가 개선되었다고 생각 된다.

이번에는 목표 슬럼프 12±1cm의 콘크리트에 대한 전기로슬래그의 대체율과 단위수량과의 관계를 정리한 그림 6에서 전기로슬래그의 에이징 유무 및 대체율의 증가에 따라 단위수량의 차이가 있음을 알수 있다.

즉 에이징한 전기로슬래그를 사용한 콘크리트의 단위수량이 적은 이유는 에이징을 거치는 과정에서 각이진 슬래그의 모서리등이 많아 입형이 변화 개선에 기인되었다고 생각된다.

### 3.4 경화한 콘크리트의 강도에 대한 고찰

전기로슬래그를 잔골재와 일부 대체하여 사용한 콘크리트의 강도를 알아보기 위하여 단위시멘트량 350kg, 슬럼프 12cm 콘크리트의 압축강도, 인장강도 및 탄성계수를 구하여 정리한 것이 그림 7 및 그림 8이다.

두 그림에서 전기로슬래그의 대체율이 클수록 콘크리트의 압축, 인장 및 탄성계수가 증가 됨을 알수 있다. 본 실험 결과와 비슷한 내용으로 전기로슬래그를 굵은 골재로 사용한 콘크리트의 물시

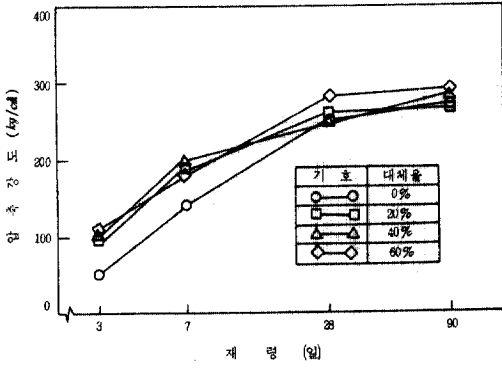


그림 7. 전기로슬래그를 사용한 콘크리트의 재령과 압축강도와의 관계

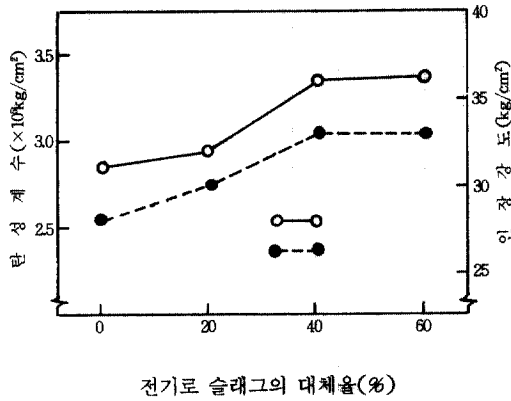


그림 8. 전기로슬래그의 대체율과 콘크리트의 인장강도 및 탄성계수와의 관계

멘트비가 동일한 부순돌 콘크리트보다 약간 큰 강도를 발현 했다는 연구 결과가 있다<sup>(2)</sup>.

전기로슬래그의 대체율의 증가에 따라 강도 및 탄성계수가 증가하는 주된 이유는 그림 5에서 알 수 있듯이 전기로슬래그를 잔골재로 사용한 콘크리트의 경우 동일한 슬럼프값을 얻기 위하여 물시멘트비가 저하되는데 따른 영향과 아울러 전기로슬래그에 포함된 수산화칼슘이나 석회로 인하여 콘크리트내에  $Ca^{2+}$ 의 농도가 높아진 것이 수화반응을 활성화 시키므로서 강도발현에 얼마간 기여했을 것으로 추정된다.

이번에는 전기로슬래그를 잔골재와 일부 대체하여 사용한 콘크리트의 압축강도와 인장강도의 관계를 나타낸 것이 그림 9이다.

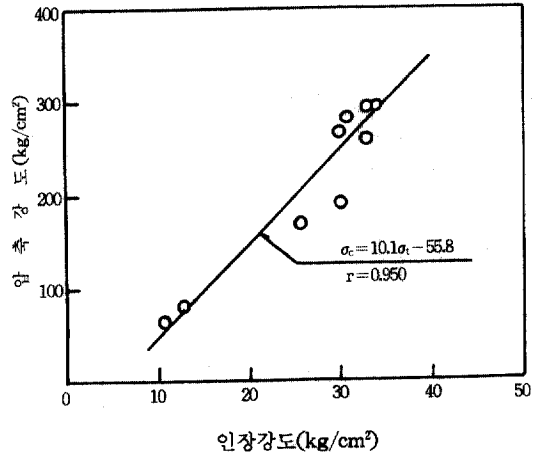


그림 9. 전기로슬래그를 사용한 콘크리트의 압축강도와 인장강도와의 관계

이 그림에서 전기로슬래그를 사용한 콘크리트의 경우에도 보통 콘크리트와 마찬가지로 압축강도에 대한 인장강도의 비가 7~9 정도의 범위이며, 양자 사이에는 직선적인 상관 관계를 나타내었다.

#### 4. 결 론

(1) 전기로슬래그를 팽창시키는 성분중에 슬래그화 되지않고 불안정한 상태로 존재하는 free CaO를 들 수 있으며, MgO 성분도 팽창요인으로 지적되었다. 특히 free CaO는 수화 또는 대기중의 탄산가스에 의하여  $Ca(OH)_2$ ,  $CaCO_3$ 로 변화되었음을 X선 회절분석으로 확인하였다.

(2) 전기로슬래그의 팽창성을 줄이고 안정화시키는 방법중 에이징처리 방법 3종류에 대하여 검토해 본 결과 수분의 충분한 공급에 의하여 free CaO 양을 크게 감소시킬 수 있었으므로 수증 및 살수에이징을 실시함이 효과적이라 생각된다.

(3) 전기로슬래그의 물리적 성질중 비중, 흡수율 및 단위용적중량이 천연골재보다 큼을 알 수 있다. 특히 1시간 이내의 순간 흡수율이 큰 문제점 때문에 프리웨팅하여 사용함이 바람직하며, 입형은 강모래보다 다소 불리한 것으로 나타났다.

(4) 단위시멘트량과 슬럼프값이 동일한 전기로슬래그를 잔골재와 대체한 콘크리트의 강도와 탄성계수는 슬래그의 대체율에 따라 증가 되었으며, 압축강도와 인장강도 및 압축강도와 탄성계수와의

사이에는 보통콘크리트와 같은 상관관계를 나타내었다.

끝으로 본 연구 실험의 범위가 기초적인 단계에 지나지 않기 때문에 전기로슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 보다 폭넓은 연구 검토가 계속되어야 한다고 생각된다.

#### 參 考 文 獻

1. 大韓土木學會, 高爐슬래그 굵은골재 콘크리트 設計施工指針, 1983.
2. W. Gutt 외 2명, The use of lightweight blast furnace slag as dense coarse aggregate in concrete. *Magazine of Concrete Research* Vol. 26, No. 88, 1974. 8.
3. W. Gutt 외 2명, Blast furnace slag as aggregate for concrete. *Magazine of Concrete Research*. Vo. 19, No. 59, 1967. 6.
4. 柿沼宏行의 4명, 高爐슬래그를細骨材として用いた 콘크리트의 強度特性에 關する 基礎的 實驗研究. *セメント技術年報*, 35, 1981.
5. 依田彰彦, 高爐슬래그를 細骨材とした 콘크리트의 性質에 關하여, *セメント技術年報*, 34, 1980.
6. 小玉克己, 高爐슬래그의 콘크리트에 關する 研究. *土木學會論文報告集*, 第298號, 1980. 6.
7. 長瀨重義, 高爐슬래그碎砂를 用いた콘크리트의 強度特性과 體積變化. *財團法人 建材試驗 센터*, 1977. 3.
8. 松井 正 외 3명, 高爐슬래그細骨材의 鐵筋콘크리트 構造物에 關하여의 適用性에 關하여. *第 6 回 콘크리트工學 年次講演會論文集*, 1984.
9. 黒全 宏의 2명, 粗骨材에 高爐슬래그碎砂를 用いた 콘크리트 試驗鋪裝. *セメント 콘크리트*. No. 371, 1978. 1.
10. 高爐슬래그 細骨材를 用いた 콘크리트의 設計施工指針(案), *社團法人 土木學會*, 1983. 2.
11. 文翰英, 徐政佑, 崔 旭, 高爐슬래그를 골재로 사용한 콘크리트의 配合設計에 關한 基礎的 研究. *産業科學論文集*, 漢陽大學校 産業科學研究所. Vol. 21, 1985.
12. 高爐슬래그 碎石 콘크리트 設計 施工指針(案), *社團法人 土木學會*, 1983. 2.
13. 坂井正美 외 1명, 轉爐슬래그의 콘크리트用 細骨材 への 適用性에 關하여. *第 1 回 콘크리트 工學 年次講演會 論文集*, 1979.
14. 川村滿紀의 2명, 轉爐슬래그의 콘크리트用 骨材としての 適用性. *セメント技術年報* 36, 1982.
15. 淺賀喜與志의 4명, 轉爐슬래그의 水和反應. *セメント技術年報*, 35, 1981.
16. 柳場重正, 轉爐슬래그의 建設材料としての 有效利用에 關する 基礎的 性質. *セメント技術年報*, 35, 1981.
17. 坪井龍明의 2명, 轉爐渣의 水硬性. *セメント技術年報*, 28, 1974.
18. 近藤連一, 阿曾良雄, 轉爐슬래그의 炭酸化による 新材料. *石膏 と 石灰*, No. 147, 1977.
19. 森野奎三, 內藤幸雄, 轉爐슬래그粉末의 結合材としての 利用. *セメント技術年報*, 35, 1981.
20. M. R. Karmacharya의 3명, 轉爐슬래그의 路盤材에 關하여의 利用에 關하여. *土木學會論文報告集*, 第282號, 1979. 2.
21. 川村滿紀의 2명, 土質安定處理劑としての 轉爐슬래그의 有效利用에 關하여. *セメント技術年報*, 34, 1980.
22. 飯島尙 외 3명, 轉爐슬래그의 아스팔트混合物에 關하여의 利用에 關하여. *土木學會論文集* 第366號, 1986. 2.
23. 河內陸雄 외 2명, 電氣爐 슬래그콘크리트의 自然 崩壞性에 關하여. *セメント技術年報*, 33, 1979.
24. 河內陸雄의 3명, 콘크리트用 粗骨材としての 電氣爐 슬래그碎石의 適用性에 關하여. *セメント技術年報*, 31, 1977.
25. 李鍾根, *無機材料原料工學*, 半島出版社.
26. 白山和久, *人工輕量骨材 性質*, *콘크리트ジャーナル*, Vol. 4, No. 12, 1966. 12.

(接受: 1989. 4. 12)