

# 복합슬래그 잔골재의 콘크리트 2차제품 적용

## Applicability of Slag Sand on Secondary Product



구경모 Kyung-Mo Koo  
아세아시멘트 연구개발팀 대리  
E-mail: kookm@asiacement.co.kr



황인성 Yin-Seong Hwang  
아세아시멘트 연구개발팀 차장  
E-mail: hwangys@asiacement.co.kr



김원기 Won-Ki Kim  
아세아시멘트 연구개발 이사  
E-mail: kimwk16@asiacement.co.kr



조봉석 Bong-Suk Cho  
RIST 환경자연연구그룹 전문연구원  
E-mail: chos8@rist.re.kr

### 1. 서론

최근 건설공사의 증가로 천연골재 자원이 급감하고, 골재 채취 논란이 발생하는 등 골재난이 심화됨에 따라 콘크리트용 대체골재 개발요구가 증가하고 있다(Kang et al. 2018; Kim, et al. 2018; Choi, et al. 2018). 이에 천연자원의 효율적 활용 및 산업부산물물의 안정적 처리의 방안으로 슬래그골재가 다양하게 연구되어 왔다(Yoo et al. 2007; Seo, et al. 2001).

본고에서는 슬래그 골재 중 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재에 대하여 입도, 흡수율 및 비중 등의 물리적 성능을 비교하고, 두 골재의 혼합비율에 따른 모르타르의 유동성 및 강도특성을 검토하여 적정의 비율을 도출하고자 하였다. 또한 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재가 일정 비율로 혼합된 복합슬래그잔골재에 대해 부순골재 대비 치환율에 따른 모르타르의 유동성 및 강도특성을 검토하여 2차제품의 적용을 위한 기초적 자료를 제시하였다. 이상의 실험결과를 바탕으로 2차제품(PHC과일)에 적용된 Mock-up 시험생산 사례를 소개하고자 한다.

### 2. 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재가 혼입된 복합슬래그잔골재의 최적 혼입률 검토

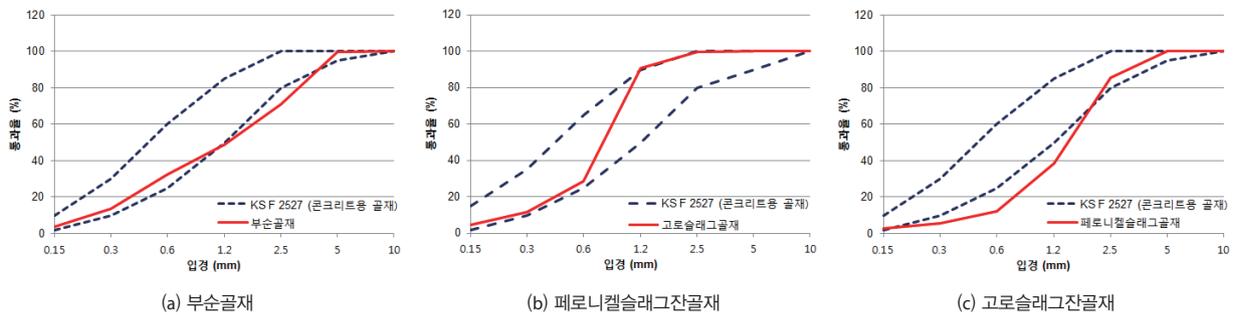
#### 2.1 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 물리적 특성

<그림 2.1, 2.2>, 그리고 [표 2.1]에 부순골재, 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 입형, 입도, 비중 및 흡수율을 나타냈다. 페로니켈슬래그잔골재는 부순골재와 비교하여 비중이 높고 흡수율이 낮은 특성을 나타내며, 고로슬래그잔골재는 조립률 및 흡수율이 낮은 특성을 나타내었다. 두 개의 슬래그잔골재는 부순골재 대비 비중이 다소 높게 나타나고 있으나, 혼합되는 경우 적정의 입도분포를 확보할 수 있고 낮은 흡수율 특성을 바탕으로 고품질의 골재로 활용될 수 있을 것으로 예상되었다.



(a) 부순골재 (b) 페로니켈슬래그잔골재 (c) 고로슬래그잔골재

그림 2.1. 부순골재, 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 형상



(a) 부순골재 (b) 페로니켈슬래그잔골재 (c) 고로슬래그잔골재

그림 2.2. 부순골재, 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 인도분포

[표 2.1] 부순골재, 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 물리적 특성

구분	부순골재	페로니켈 슬래그잔골재	고로슬래그 잔골재
조립률	3.31	3.23	2.60
비중	2.65	2.99	2.75
흡수율(%)	2.54	1.05	1.61

## 2.2 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 혼합비율에 따른 모르타르 유동성 및 강도특성

페로니켈슬래그잔골재(FNS) 및 고로슬래그잔골재(BFS)의 물리적 특성을 바탕으로 두 골재의 혼합비율에 따른 모르

타르의 유동성 및 강도 특성을 검토하였다. <그림 2.3>은 w/c 50% 및 c:s=1:3의 모르타르를 대상으로 플로를 평가한 결과이다. 두 골재의 혼합조건에서 페로니켈슬래그잔골재의 비율이 증가함에 따라 유동성이 향상되는 효과를 나타내었으며, 이는 기존 연구(Cho et al. 2014; Choi, et al. 2011)에서 제시하고 있는 페로니켈슬래그잔골재의 구형 입형과 유리질 표면에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 부순골재(CA)만을 적용한 모르타르와 비교하여 두 슬래그골재의 비율이 동일한 조건(FNS:BFS=50:50)에서 동등수준의 유동성을 확보할 수 있었다.

<그림 2.4>는 동일 모르타르를 대상으로 상온 및 고온양생 조건에 따른 압축강도 결과를 나타낸 것이다. 슬래그골재로 구성된 모든 시험체 조건에서 부순골재를 적용한 시험체보다

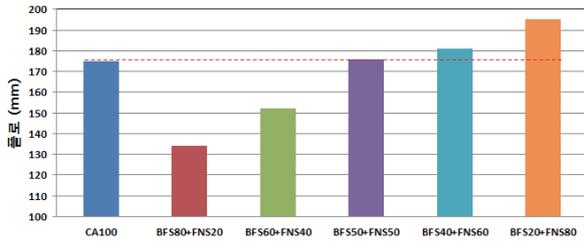


그림 2.3. 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 혼합비율에 따른 모르타르 플로  
(\* CA : 부순골재 / BFS : 고로슬래그잔골재 / FNS : 페로니켈슬래그잔골재)

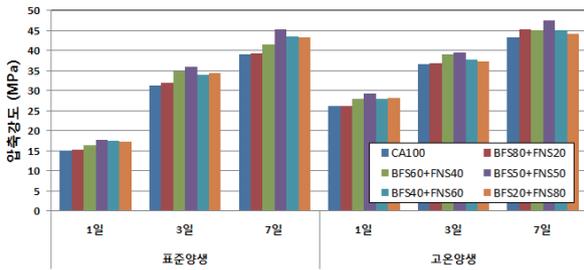


그림 2.4. 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 혼합비율에 따른 모르타르 압축강도

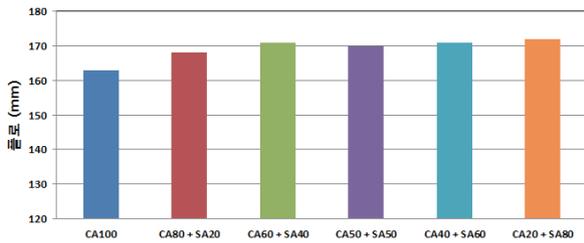


그림 2.5. 부순골재 대비 복합슬래그잔골재의 치환율에 따른 모르타르 플로  
(\*SA : 복합슬래그잔골재 - FNS50%+BFS50%)

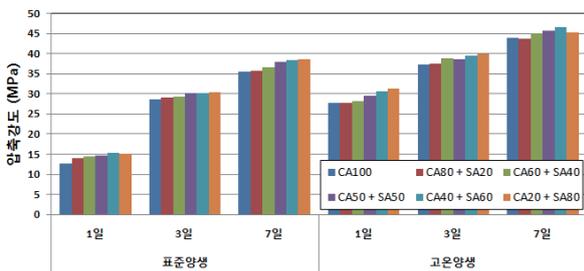


그림 2.6. 부순골재 대비 복합슬래그잔골재의 치환율에 따른 모르타르 압축강도

높은 압축강도가 발현되었다. 또한 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재의 혼합비율 50:50의 조건에서 최대 압축강도를 발현하였다. 이는 혼합에 의해 적정의 입도분포가 구성됨에 따라 나타나는 현상으로 판단된다.

이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서는 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재가 50:50으로 구성된 조건을 최적의 복합슬래그잔골재로 선정하여 부순골재와의 치환율에 따른 기초성능을 검토하였다.

### 2.3 복합슬래그잔골재의 치환율에 따른 모르타르 유동성 및 강도특성

<그림 2.5>는 w/c 50% 및 부순골재 혼입 모르타르를 대상으로 복합슬래그잔골재(FNS:BFS=50:50)의 치환율에 따른 플로를 나타낸 것이다. 부순골재 대비 복합슬래그잔골재의 치환에 의해 모르타르의 플로가 약 5% 향상되는 효과를 나타내었으며, 혼입률 증가에 따른 플로의 증가율은 크지 않았다.

<그림 2.6>은 복합슬래그잔골재의 치환율 및 양생온도에 따른 모르타르 압축강도를 나타낸 것이다. 복합슬래그잔골재의 치환율이 증가함에 따라 압축강도 또한 증가하는 경향을 보였다. 또한 고온양생에 의해 압축강도가 향상되었으나, 상온조건과 비교하여 고온조건에서 복합슬래그잔골재 혼입에 의한 강도 증진효과를 확인할 수 없었다.

## 3. 2차제품(PHC파일)에 대한 복합슬래그잔골재의 적용성 평가

### 3.1 복합슬래그잔골재의 치환율에 따른 PHC파일의 기초물성 검토

본 연구에서는 2차 제품 중, PHC 파일에 대하여 복합슬래그잔골재(FNS 50% + BFS 50%)의 적용성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 PHC파일의 콘크리트 배합(w/b 25%, S/a 38%, 단위시멘트량 420 kg/m<sup>3</sup>)을 대상으로 복합슬래그잔골



그림 3.1. 복합슬래그잔골재를 혼입한 PHC용 콘크리트의 생산 및 강도평가용 시험체 제작

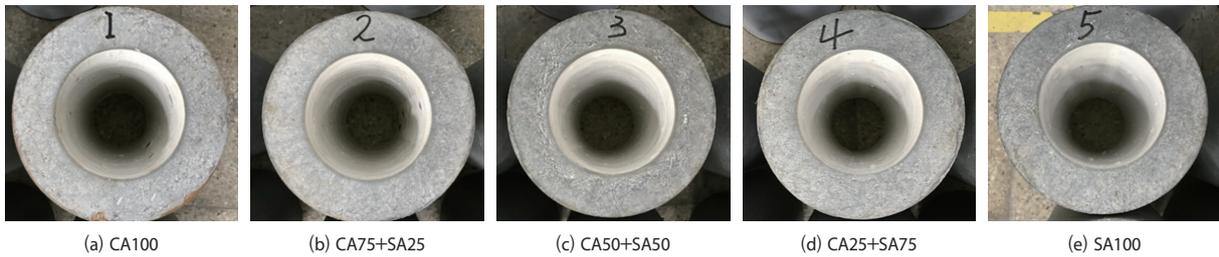


그림 3.2. 복합슬래그잔골재 치환율에 따른 PHC용 시험체의 형상

재의 치환율별 슬러지량 및 압축강도를 실내시험을 통해 확인하였다(복합슬래그잔골재 치환 시, 동일 체적으로 환산하여 적용). <그림 3.1>은 PHC파일 강도용 시험체 제작 과정을 나타낸 것으로, 양생온도는 현장의 조건을 고려하여 전치 40℃(3시간), 승온 2시간 및 최고온도 80℃(3시간)을 통해 시험체를 제작하였다.

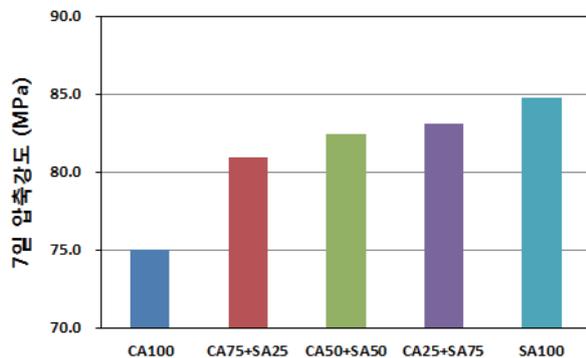


그림 3.3. 복합슬래그잔골재 치환율에 따른 PHC용 시험체의 압축강도

<그림 3.2>는 고온양생 후 PHC 시험체 형상을 나타낸 것이다. 육안관찰상 복합슬래그잔골재의 치환율이 증가함에 따라 내외관의 성형성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 <그림 3.3>은 복합슬래그잔골재 치환율별 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로, 치환율 증가에 따라 압축강도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

이상의 시험결과를 바탕으로, 부순골재 50% 및 복합슬래그잔골재 50%의 조건을 PHC 파일 Mock-up 시험 생산에 적용하였다.

### 3.2 복합슬래그잔골재를 혼입한 PHC파일의 Mock-up 시험생산(현장적용)

<그림 3.4>는 복합슬래그잔골재를 혼입한 PHC 파일 생산 과정을 나타낸 것이다. 페로니켈슬래그잔골재 및 고로슬래그잔골재를 50:50의 비율로 혼합한 복합슬래그잔골재를 직접 투입한 후, 앞서 검토한 배합조건(w/b 25%, S/a 38%, 단위



(a) 골재치장 내 복합슬래그잔골재 투입



(b) 철근조립 및 몰드 준비 (외경 500 mm × 길이 15,000 mm)



(c) 복합슬래그잔골재 혼입 콘크리트의 생산 및 타설



(d) 몰드조립 및 철근긴장



(e) 원심성형 및 고온양생



(f) 제품 출하

그림 3.4. 복합슬래그잔골재를 혼입한 PHC파일 Mock-up 시험생산

시멘트량  $420 \text{ kg/m}^3$ , 부순골재 50% + 복합슬래그골재 50%)으로 PHC 파일을 생산하였다. 생산된 PHC 파일제품은 기존 제품과 비교하여 강도, 성형성 등에 있어 동등이상의 성능을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 기사에서는 천연골재의 대체재료로서 페로니켈슬래그

잔골재 및 고로슬래그잔골재가 혼합된 복합슬래그잔골재의 2차제품 적용가능성에 대해 제시하였다. 복합슬래그잔골재는 페로니켈슬래그잔골재 50% 및 고로슬래그잔골재 50%가 혼합된 형태로, 일반 부순골재와 비교하여 동등이상의 성능(유동성 및 압축강도)을 발현하였다. 또한, 2차제품으로써 PHC 파일에 적용 시, 역학적 특성 뿐 아니라 성형성에 있어서도 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 복합슬래그잔골재의 활용은 산업부산물에 대한 새로운 가치를 창출하는 고부가가치 기술로써 향후 건설산업에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 강기웅, 최선미, 김진만 (2018), "골재의 수급전망 및 개발방향", 2018 한국건축시공학회 학술.기술논문 발표회 논문집, pp.332-333
2. 김하석, 이도현, 김진만 (2018), "동남권 잔골재수급 부족 문제를 해결할 대체골재 확보 가능성에 관한 연구", 2018 한국건축시공학회 학술.기술논문 발표회 논문집, pp.328-329
3. 서상교, 최정호 (2001), "슬래그 골재의 특성", 한국콘크리트학회학회지, pp.66-72
4. 유정훈, 최세진 (2007), "콘크리트용 철강슬래그 골재의 가능성 및 현안 사항", 한국콘크리트학회 학회지, pp.34-38
5. 조봉석, 이훈하, 최연왕, 박동천, 최영철 (2014) "페로니켈슬래그의 콘크리트용 잔골재 적용성 검증 연구", 2014 한국콘크리트학회 가을 학술대회 논문집, pp.583-584
6. 최세진, 김영욱, 김도빈 (2018), "동남권 골재수급 및 시장 동향 분석", 2018 한국건축시공학회 학술.기술논문 발표회 논문집, pp.324-325
7. 최연왕, 박만석, 이광명, 배수호, 김지상 (2011), "수쇄 페로니켈슬래그 잔골재를 이용한 콘크리트의 최적 혼합률 및 내구 특성 평가", 2011 한국건설순환자원학회 논문집, pp.120-128

담당 편집위원 : 김원기(아세아시멘트)

●● 학회지 광고 안내

Magazine of RCR(한국건설순환자원학회지)은 계간으로 발행되어 회원을 비롯한 관련 업계, 학회, 유관기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다.

저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 귀사를 홍보할 수 있는 한국건설순환자원학회지 광고의 많은 이용 부탁드립니다.

- 아 래 -

1. 광고 게재면

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표지 2	80만원	간지	70만원
표지 3	70만원	내지(전면)	50만원
표지 4	100만원	박스 광고	30만원

2. 할인혜택

본 학회의 특별회원사가 게재하는 광고 또는 년2회 이상 광고 게재 시 상기 광고 게재료의 10%를 할인해 드립니다.

3. 문의

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