

제강 풍쇄 슬래그 잔골재를 활용한 빈배합콘크리트 적용성 연구

Application for Lean Concrete Using Basic Oxygen Furnace-Slag

김진철*
Jin-Cheol Kim

심재원*
Jae-Won Shim

조규성**
Kyu-Seong Jo

ABSTRACT

In these days the exhaustion of natural sand has been highlighted with the environmental damages due to excavating sea-sand. Many researchers and engineers have investigated some materials to replace natural sand with, and were interested in using the basic oxygen furnace-slag, the industrial by-product, as fine aggregate. One of the drawbacks to using BOF-slag as a aggregate is to be gradually expanded, and needed the time-consuming process, but some engineers in Korea tackled it recently.

In this study, the stabilized BOF-slag was used for lean concrete under the laboratory condition. After testing the several properties - dry density, compressive strength, and young's modulus-, it was found that the dry density was proportionally governed by BOF-slag content and the 7-day compressive-strength was 110~120% of the natural sand-made. Therefore, BOF-slag is applicable to the lean concrete because they greatly satisfied the required strength, 50 kgf/cm².

1. 서론

건설산업의 발전에 따라 양질의 강사는 거의 사용할 수 없는 실정이며, 천연골재의 고갈과 환경오염 방지의 차원에서 건설 및 산업폐기물의 재활용 차원에서 대체골재자원의 확충에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 건설교통부에서 작성한 2004년도 우리나라 골재수급계획에 따르면 모래 수급량은 연간 1억 2천만 m³에 이르며, 바다모래 수요량은 전체 모래소비량의 약 39%를 차지하는 것으로 나타났다.¹⁾

건설공사가 집중되어 있는 서울, 경기지방의 경우 우리나라 모래 소비량의 약 44%를 차지하며, 바다모래 의존도는 전국수요의 약 70%를 육박하고 있는 실정이다. 그러나 최근 환경문제로 인하여 수도권 모래수요의 대부분을 공급하고 있던 인천 옹진군 지역의 바다모래 채취제한 및 불허로 인하여 모래가격이 급등하였으며, 건설산업전반에 미친 영향은 지대하였다.

골재는 지역적 특성이 크게 나타나며, 골재 가격보다는 운반비 상승으로 인하여 바다모래 공급이 원활하지 못한 지역에서는 부순모래 사용이 급증하고 있으며, 이는 또 하나의 환경파괴로 인식되고 있는 실정이다. 골재난 해결방안의 하나로 제강 슬래그 더스트, 폐플라스틱, 석탄회 등을 이용한 인공경량골재 제조 뿐만아니라 재생골재, 산업부산물인 고로슬래그 및 제강슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 재생골재의 경우 몇 개의 중간처리 업체에서 생산된 제품외에는 품질에 대한 신뢰성이 확보

* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임 연구원

** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 과장

되지 못한 실정이고, 제강슬래그는 고로슬래그 골재와는 달리 유리석회에 의한 팽창붕괴성이 있어 콘크리트용 골재로 활용이 곤란한 실정이다.

본 연구는 제강슬래그 제조공정에서 압축공기에 의한 분무법으로 안정화 공정을 거쳐 생산된 제강 풍쇄 슬래그 잔골재를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 기초적 연구를 수행한 결과를 정리한 것이다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

H사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 굵은골재는 경북 경산군 와촌면 소재 터널 발파암을 사용하여 최대치수 32mm 골재를 제조하여 사용하였으며, 잔골재는 경북 구미시 낙산리산 강사를 사용하였다. 제강 풍쇄 슬래그 잔골재는 포항제철의 전로 제강공정에서 부산되는 용융슬래그를 고속 공기와 물로 급냉시켜 제조한 제품을 사용하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 재료의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

표 1. 굵은골재, 잔골재 및 제강 풍쇄 슬래그의 물리적 성질

종류	비중	조립율	흡수율 (%)	안정성 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	마모율 (%)
굵은골재	2.60	7.08	0.86	6.48	1,602	22.6
잔골재	2.47	2.59	1.58	1.75	1,562	-
제강풍쇄슬래그 잔골재	3.59	3.10	0.4	2.6	2,263	-

2.2 건조밀도 및 함수비 측정방법

빈배합콘크리트의 다짐시험은 함수율을 변화시키면서 KS F 2312에 규정된 E 다짐방법에 따라 직경 15cm, 높이 12.7cm 강제물드에 4.5kg 램머를 45cm에서 자유낙하시켜 3층 92회 다짐한 후 시료의 습윤밀도 및 흡수율을 측정하였으며, 건조밀도는 습윤밀도 측정결과로부터 다음 식으로 계산하였으며, 현장여건을 고려하여 습윤상태로 6일, 수중양생 1일 후 강도측정하였다.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+w}$$

여기서, γ_d : 건조밀도(ton/m³), γ_t : 습윤밀도(ton/m³) $\gamma_t = \frac{m_2 - m_1}{V}$, m_1 : 몰드와 밀판의 중량(g)

m_2 : 다짐후 전체무게(g), V : 몰드의 용적(cm³), w : 함수율 (%)

2.3 빈배합콘크리트 배합설계

빈배합콘크리트의 배합설계는 단위시멘트량 150, 170 및 190kg/m³으로 하였으며, 제강 풍쇄슬래그 혼합율은 잔골재 중량비 0, 30, 50 및 70%로 하였다. 표 2는 최적함수비 및 최대건조밀도 측정결과로부터 계산된 빈배합콘크리트의 배합설계 결과를 나타낸 것이다.

표 2. 제강 풍쇄 슬래그 잔골재를 혼합한 빈배합콘크리트 기층 배합

구분	시멘트량 (kg)	물 (kg)	골재량(kg)			OMC (%)	최대건조밀도 (ton/m ³)
			32mm	모래	PS Ball		
Plain	150	133	1187	859	0	6.06	2.329
BOF-Slag 30	150	111	1362	671	294	5.41	2.479
BOF-Slag 50	150	114	1339	489	483	5.37	2.508
BOF-Slag 70	150	107	1424	312	719	4.93	2.585
BOF-Slag 30-170	170	106	1345	663	291	5.26	2.469
BOF-Slag 30-190	190	100	1335	659	291	4.97	2.474

3. 실험결과 및 분석

3.1 빈배합콘크리트의 다짐시험결과

그림 1은 제강 풍쇄 슬래그를 혼합한 빈배합콘크리트의 최적함수비와 최대건조밀도의 상관관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 최적함수비가 증가함에 따라 빈배합콘크리트의 최대건조밀도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 표 2에서와 같이 흡수율이 낮은 제강 풍쇄 슬래그 잔골재가 물을 흡수하지 않음으로 인하여 소요다짐에 필요한 혼합수량이 감소한 결과이다.

또한 제강 풍쇄슬래그 잔골재 혼합률 30%에 대하여 단위시멘트량을 변화시킨 결과를 살펴보면 최대 건조밀도 변화는 매우 적은 것을 알 수 있다. 즉, 제강 풍쇄 슬래그 잔골재 혼합률이 빈배합 콘크리트의 최대 건조밀도 변화에 가장 큰 영향요인임을 알 수 있다.

3.2 압축강도 및 탄성계수

제강 풍쇄 슬래그 잔골재를 혼합한 빈배합콘크리트의 재령 7일 압축강도를 측정한 결과가 그림 2이다. 플레인 콘크리트 재령 7일 압축강도는 110 kgf/cm²을 나타내었으며, 제강 풍쇄슬래그 잔골재를 혼합한 경우 혼합률에 따라 120~137kgf/cm²을 나타내어 약간의 강도증진을 확인할 수 있었다. 고속도로공사 전문시방서에서는 빈배합 콘크리트 기층에 대하여 재령 7일 50kgf/cm² 이상을 규정하고 있으며, 따라서 잔골재 대체재료로서 활용이 가능함을 알 수 있다.

그림 3에서와 같이 제강풍쇄슬래그 잔골재 혼합률이 증가함에 따라 빈배합 콘크리트의 정탄성계수가 증가하는 결과를 나타내었다. 탄성계수는 단위용적 질량과 압축강도의 함수로서 표현되며,²⁾ 비중이

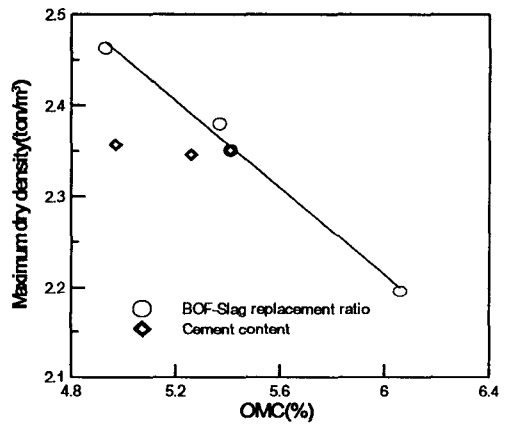


그림 1. 빈배합콘크리트의 OMC와 건조밀도

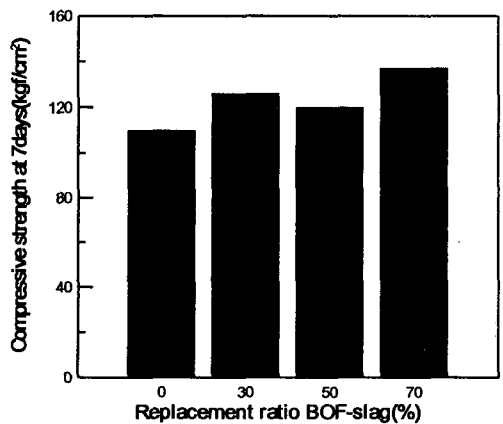


그림 2. 빈배합콘크리트의 재령 7일 압축강도

큰 제강 풍쇄 슬래그 잔골재 혼합물이 증가함에 따라 빈배합콘크리트의 단위용적중량 및 압축강도가 약간 상승하였기 때문이다.

그림 4 및 5는 제강 풍쇄 슬래그 잔골재 혼합물 30%에 대하여 단위시멘트량을 150, 170 및 190kg/m³으로 변화시켰을 때 빈배합 콘크리트의 재령 7일 압축강도와 탄성계수 측정결과이다. 일반적으로 단위시멘트량이 증가하는 경우 빈배합 콘크리트의 압축강도가 약간 증가하는 경향이 있으나 제강 풍쇄슬래그 잔골재를 혼합한 경우 강도차이가 거의 없는 것으로 나타났으며 탄성계수는 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 단위시멘트량의 증가에 따라 빈배합콘크리트 경화체가 밀실해지기 때문으로 생각되지만, 빈배합 콘크리트의 단위시멘트량이 매우 낮기 때문에 일반적인 콘크리트의 특성과는 일치하지 않는 것으로 판단된다.

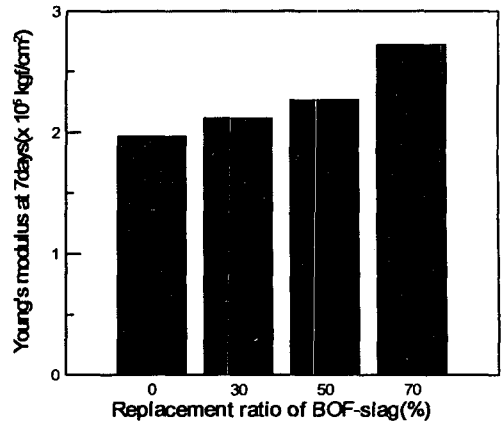


그림 3. 빈배합콘크리트의 탄성계수

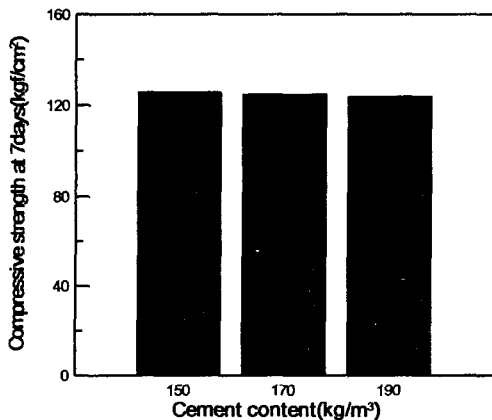


그림 5 단위시멘트량에 따른 압축강도

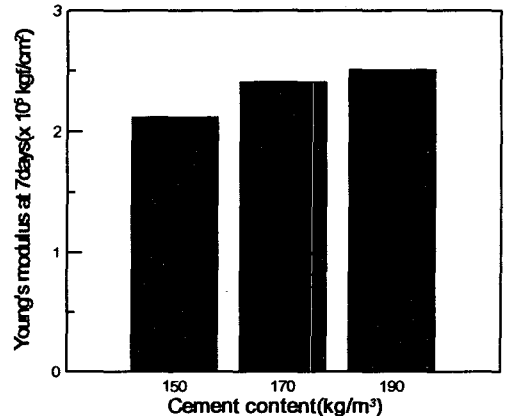


그림 4. 단위시멘트량별 정탄성계수 변화

4. 결론

- (1) 제강 풍쇄슬래그 잔골재의 혼합물이 증가함에 따라 함수율은 감소하였으며, 최대 건조밀도는 증가하였으며, 이는 제강 풍쇄 슬래그의 비중이 크고 흡수율이 낮기 때문에 혼합물 증가에 따라 빈배합 콘크리트의 밀도를 증가시키기 때문이다.
- (2) 혼합물별 강도측정결과 플레인 콘크리트에 비하여 약간의 강도상승을 확인할 수 있었으며, 고속도로공사 전문시방서에서 규정하는 재령 7일 설계기준강도 50kgf/cm²을 크게 상회하는 결과를 나타내었으므로 잔골재 대체재료로서 활용이 기대되었다.

참고문헌

- 1) 최민수, “골재자원의 단/장기 수급안정대책”, 골재파동, 친환경적 극복방안 정책토론회, 2004. 7
- 2) 콘크리트 구조설계기준·해설, 한국콘크리트학회, 2000. 9, pp. 70