

제강 풍쇄 슬래그 잔골재의 포장콘크리트 적용성 평가

Application for Concrete Pavement using Basic Oxygen Furnace-Slag

김진철*
Jin-Cheol Kim

심재원*
Jae-Won Shim

조규성**
Kyu-Seong Jo

ABSTRACT

The properties of pcc using BOF-slag were investigated in order to use as fine aggregate, which has been made in the steel making process and stabilized by air-jet method. The fluidity of fresh concrete has been improved with the usage of BOF-slag and it should be noted that the air content goes up. The compressive strength of hardened concrete was reduced at weight fraction over 50% and Young's modulus tends toward the trivial change. Also, the flexural and tensile strengths were increased with the usage, especially, the rupture values were increased to 1.2 times at the weight fraction of 30%.

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⁾

천연골재의 고갈로 인하여 대체골재원 개발, 자원의 재이용에 관한 연구는 향후 지속적으로 추진해야 할 연구과제로 평가되고 있다. 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률에 따라 현재 작성중인 순환골재 품질기준은 천연골재의 대체 자원으로서 순환골재의 이용을 활성화시킬 수 있을 것으로 평가되고 있으나 국내에서 연간소비되고 있는 골재자원의 대체자원으로서는 턱없이 부족한 실정이다.

이와 더불어 인천 옹진군 지역의 바다모래 채취제한 및 불허로 인하여 모래가격이 급등, 수도권 북부지역 모래공급의 38%를 차지하는 봉계석산의 부순모래 생산중단 위기 등이 건설산업에 미치는 영향은 실로 지대하다.²⁾

본 연구는 제강슬래그 제조공정에서 압축공기에 의한 분무법으로 안정화 공정을 거쳐 생산된 제강 풍쇄 슬래그 잔골재를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 기초적 연구를 수행한 결과로서 슬래그의 높은 밀도가 콘크리트의 물성 및 시공성에 영향이 적을 것으로 판단되는 콘크리트 포장에 적용성을 평가한 결과이다.

* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임 연구원

** 정회원, 한국도로공사 E-running 벤처팀장

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 콘크리트 배합

고속도로 건설공사 전문시방서에서 포장콘크리트의 설계기준강도는 휨강도 45kgf/cm² 이상으로 규정하고 있으며, 굵은골재는 최대치수 32mm로서 콘크리트용 골재의 품질기준에 적합한 골재를 사용하여 목표슬럼프 2.5cm, 공기량 4~7%로 제조하도록 하고 있다. 제강풍쇄슬래그는 제조특성상 구형으로 생산되므로 포장콘크리트의 단위수량을 감소시킬 것으로 예상되었다. 표 2는 본 연구에 사용된 제강풍쇄슬래그를 사용한 콘크리트 배합을 정리한 것이다.

표 2 PS Ball 혼합 빈배합콘크리트 기층 배합

PLAIN	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료량(kg/m ³)					
					W	C	S	G	PS Ball	AEWR (C×wt %)
PS Ball 0	2.0	3.6	45	40	153	340	713	1,082	0	0.3
PS Ball 30	4.0	3.9	45	40	153	340	499	1,082	214	0.3
PS Ball 50	3.4	4.5	45	40	145	322	364	1,104	509	0.35
PS Ball 70	4.6	5.0	45	40	140	311	221	1,117	720	0.35

3. 실험결과 및 분석

그림 1은 물-시멘트 45%, 단위수량 153kg/m³, AE 감수제 첨가율 0.5%인 경우 제강풍쇄슬래그 혼합률에 따른 슬럼프 및 공기량 측정결과를 정리한 것이다. 이 그림에서 제강풍쇄슬래그 혼합률 30%의 경우에는 플레인 콘크리트와 유사한 경향을 나타내었으나 혼합률 50%의 경우 슬럼프 16cm로서 급격하게 증가되었다. 이것은 혼합률 증가에 따라 구형입자의 제강풍쇄슬래그가 단위용적당 증가하므로

콘크리트의 유동성을 개선하는 효과를 나타낸 것으로 판단된다.

또한 공기량의 경우에도 제강 풍쇄슬래그 혼합율 증가에 따라 증가하였으며, 슬럼프 측정결과와 같이 유사하게 혼합율 50%에서 약 7.5%로 급격하게 증가하는 결과를 나타내었다. 혼합률 증가에 따라 공기량이 증가하는 원인으로서는 골재의 입도변화에 기인하는 것으로 판단되지만 지속적인 연구가 필요한 사항이었다.

제강 풍쇄 슬래그를 혼합한 포장콘크리트의 재령별 압축강도 측정결과를 정리한 것이 그림 2이다. 이 그림에서 제강 풍쇄 슬래그 혼합율 증가에 따라 재령 3일의 경우 큰 차이가 없으나 재령 28일 압축강도는 제강풍쇄슬래그 혼합율 50%에서 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 그림 3은 제강풍쇄슬래그를 혼합한 콘크리트의 재령별 탄성계수 측정결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 탄성계수는 콘크리트의 단위용적질량 및 압축강도의 함수로 표현된다. 전술한 바와 같이 제강풍쇄슬래그는 제조특성상 밀도가 크기 때문에 혼합률 증가에 따라 단위용적질량이 증가하게 된다.

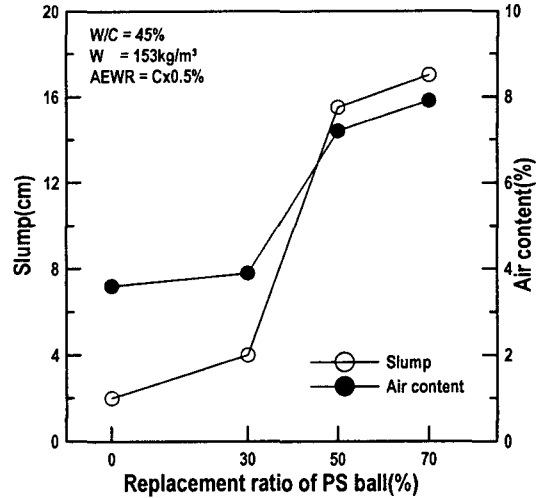


그림 1 제강풍쇄슬래그 혼합률에 따른 슬럼프 및 공기량 변화

일반적으로 탄성계수는 콘크리트의 단위용적질량 및 압축강도의 함수로 표현된다. 전술한 바와 같이 제강풍쇄슬래그는 제조특성상 밀도가 크기 때문에 혼합률 증가에 따라 단위용적질량이 증가하게 된다.

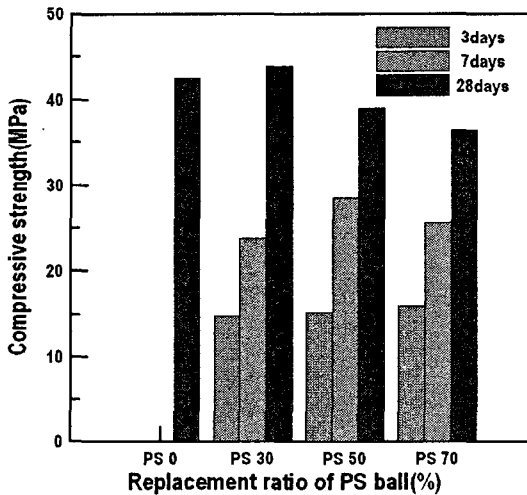


그림 2 제강 풍쇄 슬래그 혼합률과 압축강도

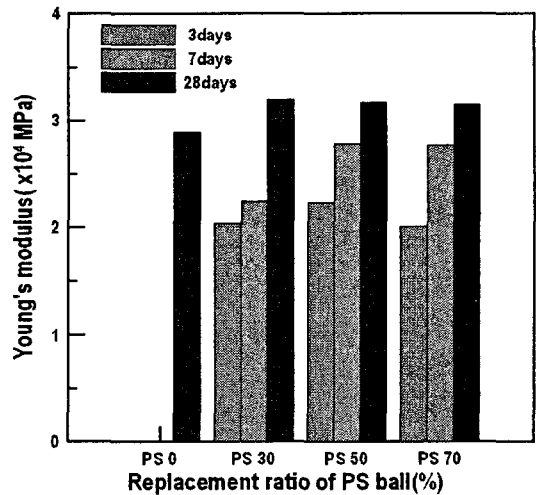


그림 3 제강 풍쇄 슬래그 혼합률과 탄성계수

따라서 혼합률 50 및 70% 재령 28일 압축강도는 감소되었으나 탄성계수는 플레인콘크리트와 거의 유사한 값을 나타낸 것으로 판단된다.

고속도로 공사 전문시방서에서는 포장콘크리트의 설계기준 휨강도 4.5MPa 이상을 요구하고 있으며, 현장관리에서는 품질변동을 고려하여 5.0MPa 이상으로 관리하고 있다. 그림 4는 제강풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 휨강도 측정결과를 정리한 것으로 제강풍쇄슬래그 혼합에 따라 콘크리트의

휨강도가 증가하였다. 특히 혼합률 30%의 경우 플레인콘크리트에 비하여 약 1.2배 이상 증가한 결과를 나타내었다. 또한 그림 5와 같이 제강풍쇄슬래그 잔골재 혼합률 증가에 따라 콘크리트의 인장강도가 크게 증가하는 결과를 나타내었으며, 압축강도와 달리 혼합률 증가에 따라 휨 및 인장강도가 증가하는 것은 제강풍쇄슬래그의 강성증가 및 거친 표면조직에 의한 것으로 판단되며, 이에 대한 추가연구가 필요하였다.

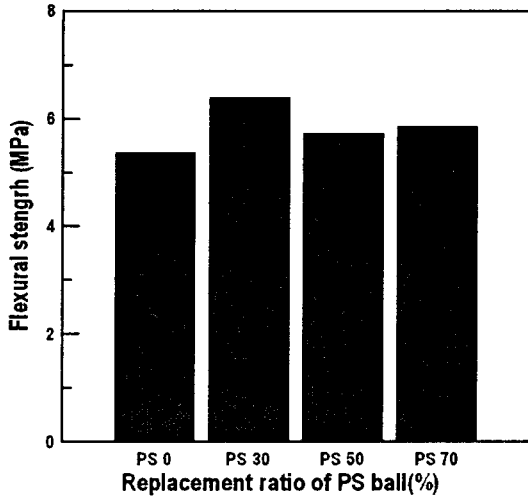


그림 4 제강 풍쇄 슬래그 혼합률과 휨강도

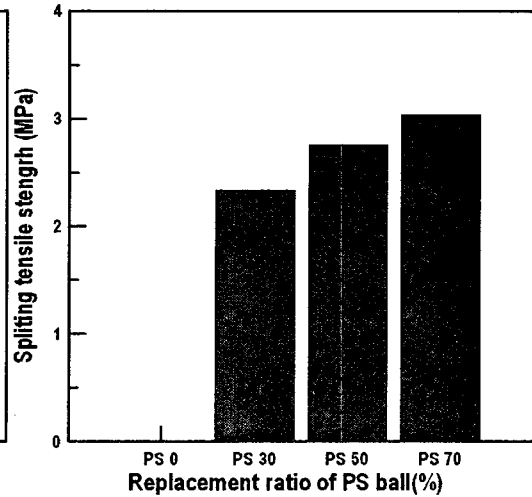


그림 5 제강 풍쇄 슬래그 혼합률과 인장강도

4. 결론

- (1) 제강 풍쇄슬래그 잔골재의 혼합률이 증가함에 따라 콘크리트의 유동성은 크게 개선되었다. 특히 플레인 콘크리트의 슬럼프 2cm에 대하여 혼합율 50%의 경우 슬럼프 16cm를 나타내어 단위수량 저감을 확인할 수 있었다. 그러나 공기량도 크게 증가하여 원인분석을 위한 추가연구가 필요하였다.
- (2) 제강풍쇄슬래그 혼합율 50%이상에서는 콘크리트의 압축강도가 감소하였으나 탄성계수는 동등이상을 나타내었으며, 이것은 혼합율 증가에 따라 강도는 감소하지만 콘크리트의 단위용적 질량이 증가하므로 탄성계수의 변화가 미미한 것으로 판단된다.
- (3) 제강풍쇄슬래그 혼합에 따라 콘크리트의 휨 및 인장강도가 증가하였으며, 특히 혼합률 30%의 경우 플레인콘크리트에 비하여 휨강도가 약 1.2배 이상 증가하였다. 이러한 결과는 제강풍쇄슬래그 잔골재의 강성이 크고, 거친 표면조직에 의한 것으로 생각되며, 향후 지속적인 연구가 필요한 사항이다.

[감사의 글]

본 연구는 (주)에코마이스터의 연구비 지원으로 수행되었으며, 한국도로공사 도로교통기술원이 수행한 연구결과의 일부임

참고문헌

- 1) 최민수, “골재자원의 단/장기 수급안정대책”, 골재파동, 친환경적 극복방안 정책토론회, 2004. 7
- 2) 한국건설신문 2005. 1. 29
- 3) 문한영, 유정훈, 정철희, “개질처리 제강슬래그를 혼합한 굳지않은 콘크리트의 재료분리”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 : Vol.16 No.1, pp. 600~603