

급냉 제강 슬래그 잔골재 대체율에 따른 불포화 폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 유동성 및 압축강도 특성

The Properties of Fluidity and Compressive Strength of Unsaturated Polyester Polymer Concrete According to Replacement Ratio of Rapidly-Chilled Steel Slag Fine aggregate

김재원* 서정필* 선정수* 최덕진* 황의환** 김진만***
 Kim, Jae-Won Seo, Jung-Pil Sun, Joung-Soo Chi, Duck-Jin Hwang, Eui-Hwan Kim, Jin-man

Abstract

This study dealt with the influence of the replacement ratio of rapidly-chilled steel slag on fluidity and compressive strength of unsaturated polyester polymer concretes. The rapidly-chilled steel slag used in this study, a by-product which is produced by refining pig iron during the manufacture of steel, was controlled by a air-jet method which rapidly cools substance melted at a high temperature.

Experimental results show that fluidity and compressive strength of unsaturated polyester polymer concretes increase with increasing replacement ratio of rapidly-chilled steel slag. Use of rapidly-chilled steel slag was found to be effective for improving fluidity and compressive strength of rapidly-chilled steel slag.

키워드 : 급냉 제강 슬래그, 불포화 폴리에스테르, 유동성, 압축강도,

Keywords : Rapidly-Chilled Steel Slag, Unsaturated Polyester, fluidity, Compressive strength

1. 서론

우리나라는 1960년대 이후 경제발전이 지속적으로 진행되어 왔으며, 그 중에서도 제철 및 제강산업은 눈부신 발전을 거듭해왔다. 철강협회의 자료에 의하면 국내의 조강 생산 능력은 1998년 IMF 시기에 다소 주춤하였으나 매년 꾸준히 증가를 하여 2006년에는 4,843만 톤에 이르렀다¹⁾.

철강 산업은 다량의 원료와 에너지를 소비하는 업종으로 제선, 제강, 압연 등의 복잡한 생산 공정을 거치면서 부산물인 철강 슬래그를 다량 발생시킨다. 우리나라는 중국, 일본, 미국, 러시아에 이은 세계 5위의 조강 생산국으로 막대한 양의 철강 생산량과 더불어 그 부산물인 철강 슬래그 또한 다량 발생시키고 있다. 국내의 철강 슬래그의 발생량은 2006년 기준으로 약 1434만 톤 발생하였고, 이 중 고로 슬래그가 약 815만 톤, 제강 슬래그가 약 619만 톤이 발생하였다.

그러나 이 철강 슬래그는 고로 슬래그 외에는 뚜렷한 재활용 용도가 마련되지 않은 대표적인 공정 부산물로 재활용 용도의 개발이 시급한 실정이다. 특히 제강 슬래그는 Free CaO에 의한 팽창 붕괴성과 높은 밀도에 의한 재료분리 때문에 건설재

료로 재활용하는데 많은 제약을 받고 있었다²⁾³⁾.

그러나 최근에는 고속의 공기를 이용하여 용융상태의 제강 슬래그를 급냉시키는 방법으로 Free CaO의 생성량을 제어하는 방법이 개발되어 Free CaO에 의한 팽창 붕괴의 위험이 적으며, 또한 급냉된 제강 슬래그는 입형이 구형에 가까운 잔골재 형태를 갖기 때문에 콘크리트용 건설재료로의 재활용할 경우 유동성이 증가하는 장점이 있다⁴⁾. 이러한 급냉 제강 슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위해 국내·외에서 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편, 폴리머 콘크리트는 결합재로서 시멘트를 전혀 사용하지 않고 열경화성 또는 열가소성수지와 같은 액상 수지를 사용하여 골재를 결합시킨 것을 말하는 것이다⁵⁾. 본 실험에서는 일반적으로 가장 많이 쓰이는 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였다. 불포화 폴리에스테르 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 강도, 내구성 등의 물성이 우수하나 수지의 가격이 고가이고 점성이 높아 작업성이 좋지 않은 단점이 있다⁶⁾.

따라서, 본 연구에서는 급냉 제강 슬래그를 불포화 폴리에스테르 폴리머 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 일련의 연구로서 먼저 급냉 제강 슬래그를 모래에 대하여 용적 대체한 불포화 폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 유동성 및 압축강도 특성을 검토하였다.

* 공주대학교 건축공학과 석사과정, 정희원

** 공주대학교 화학공학과 교수·공학박사, 정희원

*** 공주대학교 건축공학과 교수·공학박사, 정희원

2. 급냉 제강 슬래그의 물리적 특성 검토

급냉 제강 슬래그는 용융된 슬래그를 고속의 공기로 뽑아 급냉 시키는 과정에서 비산된 슬래그가 표면 장력에 의해 Fig. 1의 좌측에 보이는 것과 같은 구형에 가까운 잔골재로 만들어진다. Table 1은 급냉 제강 슬래그의 물리적 성질을 나타낸 것이다. 급냉 제강 슬래그 잔골재의 밀도는 3.54로 6호사가 2.62인 것에 비해 높게 나타났고, 실적을 또한 입형이 구형에 가까기 때문에 62.7%로 6호사가 55.9%인 것에 비해 약 7% 높게 나타났다.

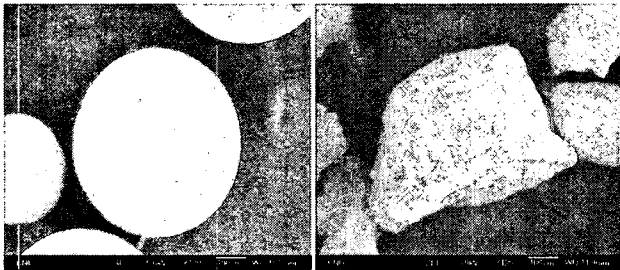


그림 1. The grain shape of rapidly-chilled steel slag and sand No.6

표 1. Physical properties of fine aggregate

Type	Density (g/cm ³)	Unit Weight (kg/ℓ)	Solid Volume(%)
Sand No.6	2.62	1.46	55.9
RCSS	3.54	2.22	62.7

Note : RCSS = Rapidly-Chilled Steel Slag

3. 실험 계획 및 방법

3.1 실험 계획

급냉 제강 슬래그는 위에서 살펴본 바와 같이 입형이 구형에 가까기 때문에 잔골재로 사용할 경우 콘크리트의 유동성 개선 효과 및 압축강도의 증진 효과가 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 실험에서는 급냉 제강 슬래그의 사용에 따른 불포화 폴리에스테르 모르타르의 유동성 및 강도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 Table 2와 같은 실험을 실시하였다. 또한 급냉 제강 슬래그의 높은 밀도차에 의한 재료분리의 여부도 검토하였다. 본 실험에 사용된 콘크리트의 배합비는 Table 3과 같이 모두 동일하며 급냉 제강 슬래그의 대체율은 모래와 급냉 제강 슬래그의 밀도차가 크기 때문에 용적에 대하여 0, 25, 50, 75, 100%로 하여 5수준을 실시하였다.

표 2. The design of Experiment

Factor	Levels (%)	Test Items
Replacement ratio of RCSS* (° /Vol)	0, 25, 50, 75, 100	Separation of materials Slump Compressive Strength

표 3. The mix proportion of polymer concrete(° /Vol)

Coarse Agg.	Fine Agg.	Filler	Binder	
			UP*	PS*
40.5	19.1	16.9	18.7	4.8

Note :UP* =Unsaturated Polyester ,PS* =Polystyrene

3.2 사용 재료

3.2.1 결합재

본 실험에서 사용한 폴리머 결합재로는 국내 S사 제품인 불포화폴리에스테르수지(Unsaturated Polyester resin)를 사용하였고 그 물성은 Table 4와 같다. 또한, 개시제는 불포화 폴리에스테르 수지의 축·중합반응을 시발시키는 약품으로서 Methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO)를 사용하였다.(개시제는 폴리머 결합재에 대해서 중량비 1%를 사용하였다.)

표 4. Physical properties of polymer resin

Type of polymer	Specific gravity	viscosity (poise)	Acid value	Non volatile materials(%)
UP*	1.1	4.1	28	62

Note : UP* =Unsaturated Polyester resin

3.2.2 수축저감제

폴리머 콘크리트의 경화과정에서 발생하는 축·중합반응에 의해 불포화폴리에스테르수지는 경화시에 체적 수축이 발생하기 때문에 과대한 체적 수축으로 인한 폴리머 콘크리트의 균열을 억제하고 치수 안정성 유지 및 한도 이상의 수축을 제어하기 위하여 수축 저감제를 사용하였고 그 물성은 Table 5와 같다.

표 5. Physical properties of shrinkage reducing agent

Specific gravity	viscosity (poise)	Non volatile materials(%)
0.95	33	35

3.2.3 골재 및 충전재

골재와 충전재에 대한 물성은 Table 1 및 Table 6과 같다. 골재는 수분 함량이 0.1% 이하가 되도록 건조하여 사용하였으며 충전재는 중질탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였다.

표 6. Physical properties of materials

Types	Density (g/cm ³)	Particle size(mm)	Water content(%)
Coarse Agg.	2.65	5~10	< 0.1
Filler	2.7	0.032	< 0.1

3.3 실험 방법

3.3.1 재료분리

Ø10× 20의 원형 공시체를 수평으로 상·중·하 3등분한 각각의 밀도를 측정하여 밀도 차에 의한 재료 분리 여부를 검토하였다.

3.3.2 슬럼프

바닥면 안지름 15cm, 윗면 안지름 10cm, 높이 15cm의 슬럼프

프 콘에 시료를 2층으로 25회 붓 다짐을 하여 채워 넣고 슬럼프 콘을 수직으로 들어 올려 슬럼프를 측정하였다.

3.3.3 압축강도

KS F 2481(폴리에스테르 레진콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 측정하였으며, 80±2℃에서 가열 양생하여 3일 강도를 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 재료분리

Fig. 2는 급냉 제강 슬래그 대체율에 따른 재료분리를 나타낸 것이다. 모든 대체율에서 상·중·하부의 표준 편차가 0.01 이하로 급냉 제강 슬래그의 밀도차에 의한 침강 현상은 없는 것으로 나타났다. 이는 불포화 폴리에스테르 수지의 점도가 높고, 또한 된비빔 콘크리트이기 때문으로 사료되며 따라서 불포화 폴리에스테르 폴리머 콘크리트에서의 재료분리 문제는 없을 것으로 판단된다. 하지만 급냉 제강 슬래그 사용으로 인한 밀도의 증가는 필연적인 결과이며 대체율 100%에서 기본배합의 9%까지 밀도가 상승하였다.

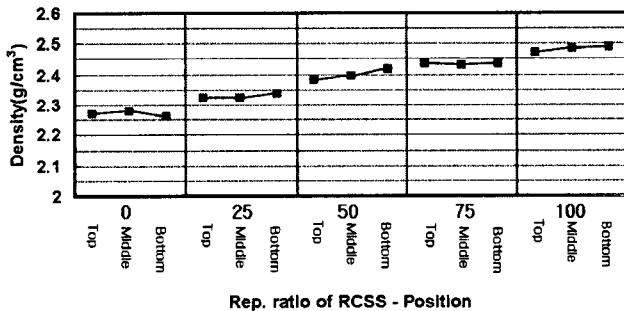


그림 2. The variance of density of Polymer concrete according to Replacement ratio of RCSS

4.2 슬럼프

Fig. 3은 급냉 제강 슬래그 대체율에 따른 슬럼프를 나타낸 것이다. 대체율 0%의 기본 배합에서는 슬럼프 값이 0mm로 나타났다. 그러나 급냉 제강 슬래그의 사용량이 증가 할수록 슬럼프가 증가하여 대체율 25%에서는 20mm, 대체율 50%에서는 53mm까지 증가 하였고 대체율 75%와 100%는 대체율 50%와 동일한 수준의 슬럼프 값을 보였다. 급냉 제강 슬래그를 사용함에 따라 슬럼프가 크게 증가한 것을 알 수 있는데 이는 급냉 제강 슬래그의 입형이 구형으로 골재 사이의 마찰 저항을 감소 시킨 것과 모래에 비해 작은 비표면적에 기인한 상대적인 수지량의 증가 때문으로 판단된다. 따라서 급냉 제강 슬래그를 잔골재로 활용할 경우 유동성을 크게 개선시키는 것이 확인 되었다.

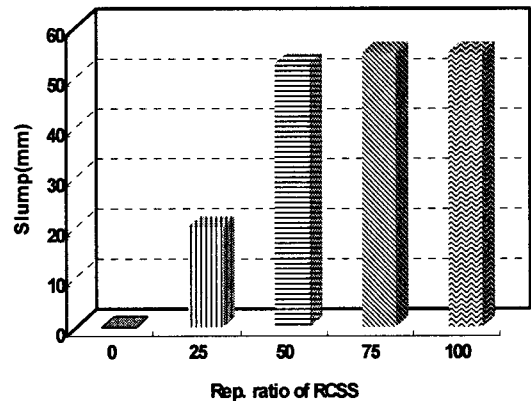


그림 3. Slump of Polymer concrete according to Replacement ratio of RCSS

4.3 압축강도

Fig. 4는 급냉 제강 슬래그 대체율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 기본 배합에서 117MPa의 강도를 보였고 대체율 50%에서 126MPa까지 강도의 증가를 보였으나 대체율 75%에서 119MPa로 다소 감소하였다가 대체율 100%에서 최고 강도인 129MPa로 기본배합에 비해 10MPa의 강도 증진을 나타내었다. 급냉 제강 슬래그 대체율에 따라 압축강도의 큰 차이는 보이고 있지 않으나, 급냉 제강 슬래그의 사용함에 따라서 기본 배합과 동일한 강도를 나타내거나 소폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 구형의 급냉 제강 슬래그를 사용함으로써 보다 밀실하게 충전되기 때문으로 판단 되며, 따라서 급냉 제강 슬래그를 잔골재로 활용할 경우 강도를 증진시킬 수 있을 것으로 판단 된다.

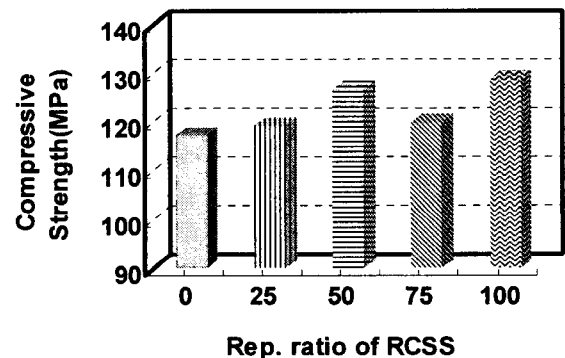


그림 4. Compressive strength of Polymer concrete according to Replacement ratio of RCSS

5. 결론

- 1) 밀도가 큰 급냉 제강 슬래그를 불포화 폴리에스테르 폴리머 콘크리트에 잔골재로 활용할 때 재료분리의 여부를 확인하기 위하여 모든 대체율에 대하여 시편의 상·하부 밀도차를 검토한 결과 표준편차 0.01이하를 나타내고 있어 급냉 제강 슬래그에 의한 재료분리는 없는 것으로 나타났다.

- 2) 급냉 제강 슬래그의 잔골재 대체율에 따라 슬럼프 값이 0mm에서 55mm까지 크게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 급냉 제강 슬래그를 잔골재로 활용할 경우 불포화 폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 유동성을 크게 개선시키는 것이 확인 되었다.
- 3) 급냉 제강 슬래그의 잔골재 대체율 0%에서 117MPa의 강도를 보였고 대체율 50%까지 강도가 증가하는 경향을 보였으나 대체율 75%에서 다소 감소하였다가 대체율 100%에서 최고 강도인 129MPa로 기본배합에 비해 10MPa의 강도 증진을 나타내었다. 따라서 급냉 제강 슬래그를 잔골재로 활용할 경우 기존의 배합과 비교하여 동일한 강도 이상의 강도를 확보할 수 있는 것이 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 05건설핵심기술 연구개발 사업(과제 번호: 05건설핵심D02)의 지원 하에 대한주택공사와 공주대학교 자원재활용소재 연구센터(RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부이며 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받는 것으로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참고 문헌

1. 한국 철강 협회, www.kosa.or.kr
2. 문한영외 1인, 한국 콘크리트학회 논문집 Vol.14, No.4, pp.597~607, 2002.08
3. 조성현외 3인, 한국 콘크리트학회 논문집 Vol.17, No.1, pp77~84, 2005.02
4. 오옥수의 2인, “제강 슬래그 내의 지금 회수방법”, 특허청, 특허 등록 번호, 10-0098062-0000.1996
5. 폴리머 콘크리트 소위원회, “콘크리트·폴리머 복합체”, 한국 콘크리트학회
6. 황의환외 2인, 한국공업화학, Vol.10, No.7, pp1066~1072, 1999. 11