

고로슬래그를 사용한 재생 잔골재 모르타르의 초기강도 특성에 관한 연구

A Study on the Early-Age Strength Properties of Recycled Fine Aggregate Mortar Using Blast Furnace Slag

심종우*
Shim, Jong-Woo

이세현**
Lee, Sea-Hyun

서치호***
Seo, Chi-Ho

ABSTRACT

This study aims to obtain technical data for improvement of utilization of Blast Furnace Slag(BFS), recycled aggregate in the future by complementing fundamental problems of BFS such as manifestation of initial strength and excessive alkali quantity as well as weakness of recycled fine aggregate through manufacturing of recycled fine aggregate mortar using BFS. Since hydroxide ion concentration of calcium hydroxide($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ion erupted from recycled fine aggregate newly produced is over 12.

In recycled fine aggregate mortar transposing and using BFS powder, calcium hydroxide($\text{Ca}(\text{OH})_2$) erupted from recycled fine aggregate played a role of stimulus from the day 3 and manifestation of compressive strength was slowly increased with mortar using natural fine aggregate and showed considerable increase from the day 7.

1. 서론

2005년 8월 건설교통부에서는 용도별 「순환골재 품질기준」을 공고하였으며 환경부와 더불어 도로 보조기층용 골재 등은 공공공사에 일정 비율 이상 사용토록 하였다. 하지만, 콘크리트용 골재로는 아직까지 사용되지 못하고 있는데, 이의 주된 원인중 하나는 재생(순환)골재를 콘크리트용 골재로 사용할 경우 강도저하, 내구성 저하와 더불어 알칼리량 과다로 인한 알칼리골재반응의 발생우려 때문이다.

페콘크리트를 파·분쇄하여 만드는 재생골재는 골재표면이나 골재형태로서 경화된 시멘트페이스트가 존재하는데, 경화된 시멘트페이스트 속에는 약 1/4의 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 존재하게 된다. 이 때문에 재생 굵은골재 및 잔골재는 생산되었을 때, 강알칼리($\text{pH}>12$)를 지니게 되며 모르타르나 콘크리트 등에 골재로 활용되었을 경우, 알칼리량 과다로 인해 알칼리골재반응을 야기할 수 있다.

한편, 고로슬래그는 장기강도 증진, 알칼리량 저감, 수밀성 증대 등 다양한 장점을 지니고 있는 국내에서 활용되고 있는 대표적인 혼화제이나 초기강도 저하 등의 문제점으로 인해 많은 양이 활용되고 있지는 못하고 있었으나, 초기강도 개선 등을 도모하기 위하여 소석회 등과 같은 자극제 투입을 통해 초기강도의 개선을 유도하려는 노력이 있었으나 아직까지 많은 양이 사용되지는 못하고 있었다.

이에 본 연구에서는 고로슬래그를 사용한 재생 잔골재 모르타르를 제조하여 재생 잔골재와 고로슬래그 미분말이 가지고 있는 알칼리량 과다와 초기강도 발현의 문제점 등을 보완하여, 재생 굵은골재 및 잔골재의 활용과 고로슬래그 미분말의 활용성 제고를 위한 기술적 데이터 확보를 목표로 하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원, 공학석사

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사

*** 정회원, 건국대학교 건축공학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

2.1.1 재생 잔골재의 pH

국내에서 생산된 재생 잔골재를 대상으로 pH(수산화이온농도)를 측정하였다. 비이커에 재생 잔골재 400g과 물 400ml를 투입하고 3시간 간격으로 pH를 측정한 결과, 그림1에서 보는 바와 같이 재생(순환)골재는 생산방식과 관계없이 pH12 이상의 강알칼리성을 띄고 있다. 이는 폐콘크리트가 파쇄되면서 경화된 페이스트 속에 있던 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 용출되기 때문인데, 재생골재로서 생산된 후 야적기간이 오래될수록 알칼리성이 저하되기는 하지만 국내 골재수급을 감안하면 생산 후 일정기간이상 야적한다는 것은 거의 현실적이지 못하므로 생산즉시 바로 활용이 된다고 감안하면 상기 pH측정결과에 대하여 혼화재의 사용이나 재생골재의 치환률 제한과 같은 대책이 필요하다고 사료된다.

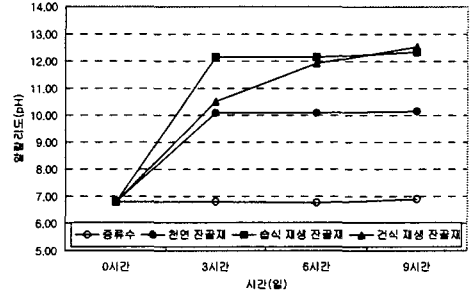


그림 1 재생 잔골재의 pH

2.1.2 실험인자 및 항목

고로슬래그는 앞서 언급한 바와 같이 알칼리량 저감과 장기강도 증진 등의 장점을 가지고 있는 포졸란 재료이나, 초기강도 저하 등의 이유로 시멘트 대체재로서 아직까지 많은 양이 사용되고 있지는 못하고 있다. 하지만, 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이나 수산화나트륨(NaOH)과 같은 자극제와 결합하게 되면 초기강도의 개선이 가능하다는 선행 연구가 보고된 바 있다. 따라서, 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 용출되는 재생 잔골재와 고로슬래그를 동시에 사용하게 되면 상호보완적인 역할이 가능할 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서는 고로슬래그와 재생 잔골재를 단계별로 치환하여 모르타르를 제조하고 이에 대한 특성을 검토하였다. 이에 대한 시험항목으로는 굳지 않은 모르타르의 플로우 시험과 압축강도 시험, 활성도지수 평가를 실시하였다.

표 1 실험인자 및 항목

실험인자			실험항목
배합비	고로슬래그	재생 잔골재	
1 : 3 (시멘트:잔골재) KS L 5105	0, 30, 50, 70	0, 25, 50, 75, 100	플로우 압축강도
1	4	5	

2.2 사용재료

2.2.1 천연 잔골재 및 재생 잔골재

본 연구에 사용된 잔골재는 표 2와 같다. 천연 잔골재는 ISO 표준사를 사용하였고, 재생 잔골재는 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)의 1종 습식 잔골재를 사용하였다. 아울러 상기 언급한 수산화이온농도를 비교하기 위하여 사용된 건식 잔골재까지 3종의 잔골재의 품질을 각각 비교하였다.

표 2 사용된 잔골재의 품질

구분	천연 잔골재 (ISO표준사)	재생 잔골재 (습식)	재생 잔골재 (건식)
밀도(g/cm^3)	2.64	2.33	2.13
흡수율(%)	0.06	4.76	8.27
실적률(%)	49.2	68.5	68.3
0.08mm체 통과량(%)	0.1	6.94	6.64
비고	-	1종	2종

2.2.2 고로슬래그 미분말 및 시멘트

본 연구에 사용된 고로슬래그 미분말은 레디믹스트콘크리트 제조에 일반적으로 많이 사용되는 것으로 분말도 $4,971\text{cm}^3/\text{g}$, 밀도 $2.91\text{cm}^3/\text{g}$, 염기도 1.86의 3종(KS F 2563)의 것을 사용하였으며 시멘트 또한 분말도 $3,414\text{cm}^3/\text{g}$, 밀도 $3.15\text{cm}^3/\text{g}$ 의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구에는 KS L 5105에 따라 믹싱 후, 굳지않은 모르타르는 플로우시험을 실시하였으며, 몰드에 성형한 모르타르 시험체는 1일후 탈형하여 수중에서 양생을 실시하였다. 재령 3일, 7일에 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 플로우

그림 2는 고로슬래그와 재생 잔골재를 단계별로 각각 치환하여 제조한 모르타르의 플로우 실험결과이다. 재생 잔골재 모르타르의 경우, 재생 잔골재 치환률이 25%씩 단계별로 증가함에 따라 플로우값이 1~3cm씩 단계별로 감소하였다.

일반적으로 모르타르의 플로우는 고로슬래그의 치환률 증가에 따라 증가하는 것으로 알려져 있으며, 실제로 동일한 재생 잔골재 치환률인 경우는 고로슬래그 치환률 증가에 따라 플로우값비가 증가하였다. 하지만, 재생 잔골재 치환률이 플로우의 경향 전체를 좌우하는 것으로 나타났다. 고로슬래그 미분말의 경우, 치환률 50%에서 재생 잔골재 치환률에 관계없이 가장 플로우 개선효과를 나타냈다.

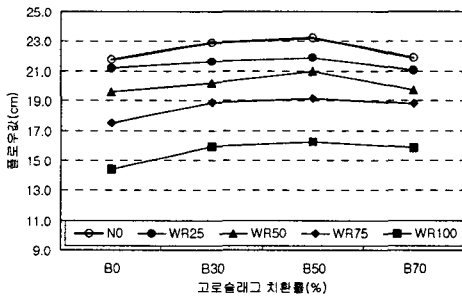


그림 2 고로슬래그 치환률에 따른 플로우

3.2 압축강도 및 활성도지수

재령 3일의 재생 잔골재 모르타르의 압축강도는 재생 잔골재의 치환률이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이때, 고로슬래그 미분말 치환률 0%에서 보다 치환률 30, 50, 70 단계별로 증가함에 따라 강도 증진율이 더 우수한 것으로 나타났는데, 이는 일반적으로 재생 잔골재를 치환하여 배합했을 때 나타나는 재령초기 물시멘트비 저감효과와 더불어 재생 잔골재에서 용출된 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 고로슬래그 미분말의 수화반응을 촉진시켰기 때문으로 분석된다.

표 3 굳지않은 재생골재콘크리트 시험결과

구분	고로슬래그	재생 잔골재	플로우		압축강도		
			값	비	재령3일	재령7일	활성도
NOB0	0	0	21.8	100	29.1	39.2	100
		25	22.2	100	32.7	44.8	100
		50	19.6	100	33.0	40.0	100
		75	17.5	100	33.5	39.1	100
		100	14.4	100	33.7	42.9	100
NOB30	30	0	22.9	105	23.3	38.8	99
		25	21.7	102	23.0	41.7	93
		50	20.2	103	27.3	37.8	95
		75	18.8	108	28.7	41.4	106
		100	15.9	111	27.9	39.3	92
NOB50	50	0	23.2	107	18.7	34.4	88
		25	21.9	103	21.2	33.9	76
		50	21.0	107	24.1	43.9	110
		75	19.1	109	24.5	45.0	115
		100	16.2	113	26.0	43.3	101
NOB70	70	0	21.9	101	18.5	37.3	95
		25	21.0	99	20.3	36.5	81
		50	19.7	100	20.4	38.0	95
		75	18.8	107	22.6	39.3	101
		100	15.9	111	22.8	37.4	87

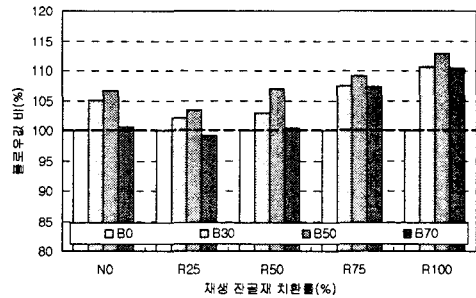


그림 3 재생 잔골재 치환률에 따른 플로우

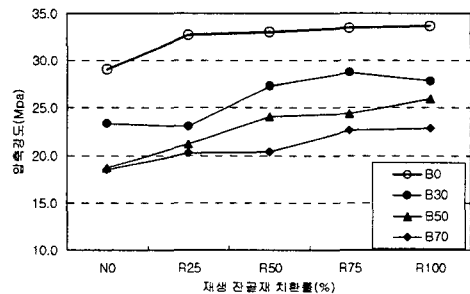


그림 4 재생 잔골재 치환률에 따른 압축강도(3일)

이는 그림5의 재령 3일의 활성화지수를 통해서도 알수 있는데, 천연잔골재 모르타르에 비하여 고로슬래그 미분말을 50% 사용한 배합의 활성화지수는 64%인데 비하여, 재생 잔골재를 치환한 배합은 고로슬래그 미분말 70%를 치환사용한 일부 배합을 제외한 거의 모든 배합에서 64%를 상회하는 것으로 나타났다.

재령 7일의 재생 잔골재 모르타르는 고로슬래그 미분말 치환률 0, 30%에서는 재생 잔골재 치환률 25%이후 압축강도가 점차 감소하는 것으로 나타났으나 고로슬래그 미분말 치환률 50, 70%에서는 재생 잔골재의 치환률 증가에 따라 오히려 증가하는 압축강도 경향을 보였다. 이는 재생 잔골재 치환률 증가보다는 고로슬래그 미분말의 치환률 증가에 더 영향을 많이 받았기 때문으로 분석되는데, 재령 3일에서 나타났던 고로슬래그를 치환한 배합이 강도증진률이 높았던 현상이 조금 더 두드러지게 나타나는 것으로 판단된다. 믹싱후 재생 잔골재에서 용출된 강알칼리의 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 고로슬래그 미분말의 불투수성의 산성피막(ASH_6)을 파괴하여 입자내부의 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} 등의 이온을 용출시켜 고로슬래그 미분말의 수화반응을 촉진시켰기 때문으로 분석된다.

이는 일반적으로 고로슬래그미분말의 수화활성도를 판단하기위하여 실시하는 활성화지수를 통해서도 판단할 수 있는데, 일반적인 고로슬래그 모르타르의 활성화지수는 그림7의 점선과 같이 88%였으나 재생 잔골재 치환률 50%와 75%에서는 최대 115%로 나타났다. 이는 위에 언급한 바와 같이 고로슬래그 미분말에 재생 잔골재에서 용출된 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 자극제로서 수화를 촉진시켰다는 것을 입증하는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 고로슬래그 미분말을 이용한 재생 잔골재 모르타르의 초기특성을 관찰하기 위한 연구로서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 갓 생산된 재생 잔골재에서 용출되는 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이온은 수산화이온농도(pH)가 12를 상회하여 고로슬래그 미분말과 같은 혼화재를 사용하였을 때, 자극제 역할을 수행할 수 있다고 판단되었다.

2) 고로슬래그 미분말과 재생 잔골재를 단계별로 치환하여 제조한 모르타르의 플로우 특성은 고로슬래그 미분말보다는 재생 잔골재의 치환률에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

3) 고로슬래그 미분말을 치환·사용한 재생 잔골재 모르타르는 재령 3일부터 재생 잔골재에서 용출된 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 자극제 역할을 수행하여 압축강도 발현이 천연 잔골재를 사용한 모르타르보다 서서히 증가하는 결과를 보이기 시작했으며, 재령 7일부서는 현저한 증가추이를 보였다.

참고문헌

1. 동양시멘트(주) 중앙연구소, 고로시멘트의 특성과 응용, 1995.
2. 박용모, 무기계 자극제가 고로슬래그 시멘트 수화물의 특성에 미치는 영향, 2001. p. 7~15.
3. セメント・コンクリート化学の基礎解説, セメント, 1996. pp.101.
4. セメント・コンクリート用混和材料, 改訂版, 笠井芳夫編輯, 技術書院 高爐水砕スラク微分末, pp. 28.

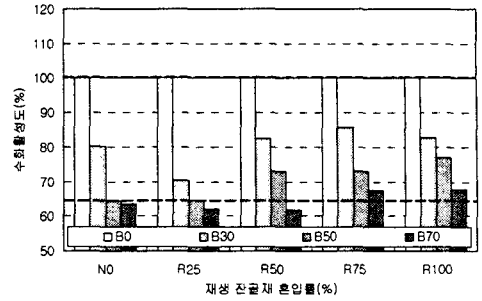


그림 5 재생 잔골재 치환률에 따른 활성화지수(재령3일)

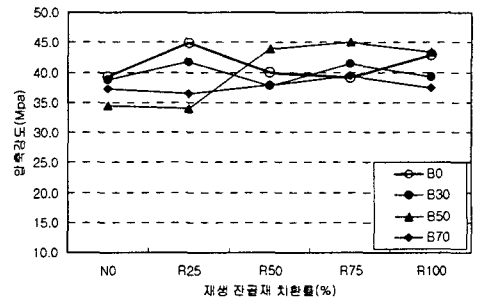


그림 6 재생 잔골재 치환률에 따른 압축강도(7일)

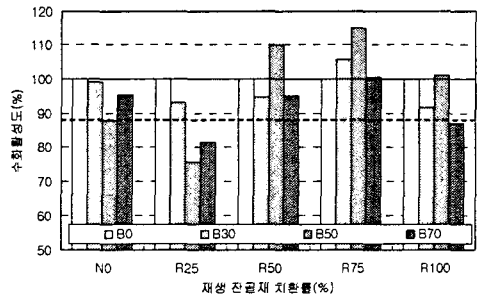


그림 7 재생 잔골재 치환률에 따른 활성화지수(재령7일)