

고로슬래그를 사용한 건식 및 습식 재생 잔골재 모르타르의 물리적 특성에 관한 연구

A Study on the Physical Properties of Recycled Fine Aggregate (by Dry and Wet Type Production formula) Mortar Using Blast Furnace Slag

심종우*
Shim, Jong-Woo

이세현**
Lee, Sea-Hyun

서치호***
Seo, Chi-Ho

Abstract

Recycled aggregate mortar contains plenty of calcium hydroxide to improve the strength of blast furnace slag, although the surface mortar made of recycled aggregate deteriorates adhesion to cement paste and blast furnace slag has a low initial strength. Therefore, this study assumes that the combination with both recycled aggregate and blast furnace slag will produce a better performance. The results of the experiment show that dry mortar made of recycled aggregate provides with higher strength than wet mortar does at the 3-day and 7-day age, while lower at the 28-day age. It indicates that a large amount of cement mortar made of dry recycled aggregate has deteriorated adhesion strength. The mixes with 30% and 50% of blast furnace slag and 50% and 75% of recycled aggregate provide with much better strength at the 7-day age, although they usually have latent hydraulic property at the 28-day age. It indicates that calcium hydroxide($\text{Ca}(\text{OH})_2$) in recycled aggregate has affected ground granulated blast furnace slag.

1. 서론

재생골재는 골재표면에 경화된 시멘트페이스트가 존재하는데, 경화된 시멘트페이스트 속에는 약 1/4의 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 존재하게 된다. 이는 다시 모르타르나 콘크리트로 제조되었을 때, 재생골재와 굳지않은 시멘트 페이스트 사이의 부착력 저하를 가져오는 주된 원인이 된다.

한편, 고로슬래그는 시공성 및 장기강도 증진 등의 장점을 가지고 있는 잠재수경성 재료이나, 초기 강도 저하 등을 이유로 시멘트 대체재로서 활용되기 위해서는 아직까지 많은 개선의 여지가 있는 재료이다. 하지만, 수산화칼슘 등의 자극제와 결합하여 강도 등을 개선하였다는 선행 연구도 보고된 바 있으므로 재생골재와 고로슬래그를 병용하여 사용할 경우 성능면에서 상호 보완적인 역할을 수행할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구는 고로슬래그를 사용한 재생골재모르타르의 물리적 특성 파악을 통해 향후 재생골재나 고로슬래그가 활용되기 위한 기술적 자료를 제공하고자 함에 목적이 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

(1) 실험인자 및 항목

* 한국건설기술연구원 연구원, 공학석사
** 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사
*** 건국대학교 건축공학과 교수

본 연구에서는 결합재와 잔골재의 배합 비율 1:3(부피기준)으로 고정하고, 고로슬래그 미분말과 습식 및 건식으로 생산된 재생 잔골재 혼입률을 각각의 변수로 하여 모르타르를 제조하였다. 시험항목으로는 굳지않은 모르타르의 플로우 시험과 굳은 모르타르에 대하여는 재령별로 압축강도 시험을 평가하였다.

표1. 실험인자 및 항목

실험인자			실험항목
배합비 (시멘트:잔골재)	고로슬래그	재생 잔골재 (습식 및 건식)	플로우 압축강도 (3, 7, 28일)
1 : 3 KS L 5105	0, 30, 50, 70	0, 25, 50, 75	
1	4	8	32

2.2 사용재료

(1) 천연 잔골재 및 재생 잔골재

본 연구에 사용된 잔골재의 품질은 표2와 같이 천연 잔골재, 습식 및 건식으로 생산된 재생 잔골재를 사용하였다. 천연 잔골재는 ISO 표준사를 사용하였고, 재생 잔골재는 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)의 1종 습식 재생잔골재와 2종 건식 재생 잔골재를 사용하였다.

표2. 사용된 잔골재의 품질

구 분	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
수소이온농도(pH)	8.2	12.3	12.6
비 고	-	1종	2종

(2) 고로슬래그 미분말 및 시멘트

본 연구에 사용된 고로슬래그 미분말은 분말도 4,971cm³/g, 밀도 2.91cm³/g의 3종(KS F 2563)의 것을 사용하였으며 시멘트 또한 분말도 3,414cm³/g, 밀도 3.15cm³/g의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구에는 KS L 5105에 따라 모르타르를 제조한 후, 플로우 시험을 실시하였다. 몰드에 성형한 시험체는 1일후 탈형하여 수중양생을 실시하였으며 재령 3, 7, 28일에 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과

표3. 재생 잔골재 모르타르 시험결과

3.1 플로우

구 분	고로 슬래그 (%)	재생 잔골재 (%)	플로우(cm)		압축강도(MPa)					
			Wet	Dry	재령3일		재령7일		재령28일	
					Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
N0B0	0	0	21.8	21.8	29.1	29.1	39.2	39.2	55.4	55.4
R25B0		25	22.2	20.4	32.7	36.3	44.8	45.3	56.3	48.7
R50B0		50	19.6	18.3	33.0	37.2	40.0	46.8	57.5	51.9
R75B0		75	17.5	13.4	33.5	35.7	39.1	41.4	55.2	49.8
N0B30	30	0	22.9	22.9	23.3	23.3	38.8	38.8	64.8	64.8
R25B30		25	21.7	21.4	25.0	27.5	41.7	47.9	63.2	55.3
R50B30		50	20.2	16.8	27.3	31.5	37.8	47.1	59.7	54.1
R75B30		75	18.8	13.0	28.7	30.9	41.4	46.3	58.8	54.7
N0B50	50	0	23.2	23.2	18.7	18.7	34.4	34.4	54.2	54.2
R25B50		25	21.9	20.4	21.2	25.3	33.9	41.5	59.1	51.2
R50B50		50	21.0	18.3	24.1	28.3	43.9	42.9	52.5	50.6
R75B50		75	19.1	12.4	24.5	26.5	45.0	44.4	53.3	49.3
N0B70	70	0	21.9	21.9	18.5	18.5	37.3	37.3	46.3	46.3
R25B70		25	21.0	21.0	20.3	19.6	36.5	40.0	45.2	44.4
R50B70		50	19.7	16.7	20.4	20.2	38.0	39.4	46.6	45.1
R75B70		75	18.8	13.4	22.6	21.2	39.3	36.9	48.0	44.8

재생 잔골재 혼입률 0%에서는 플로우 결과가 평균 22.5cm로 나타났으나 습식 및 건식 재생 잔골재의 혼입률 증가에 따라 플로우는 감소하였다. 하지만, 습식 재생골재모르타르의 경우 재생 잔골재 혼입률 증가에 따라 약 6%의 플로우 감소를 보인 반면, 건식 재생 잔골재 혼입률 증가에 따라서는 약 14%씩 감소하는 결과를 보였다. 이는 건식 재생골재가 8.27%로서 습식 재생골재 흡수율 4.76%보다 높기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 분석된다.

고로슬래그 혼입률에 따른 모르타르는 혼입률 증가에 따라 다소 개선되는 것으로 나타났으나 재생 잔골재의 혼입률이 플로우에 미치는 영향에는 다소 미미한 것으로 나타났다.

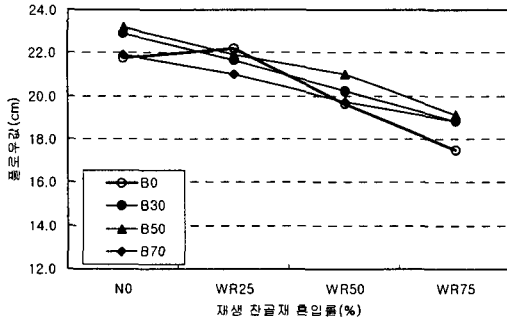


그림1 재생 잔골재 종류에 따른 플로우(습식)

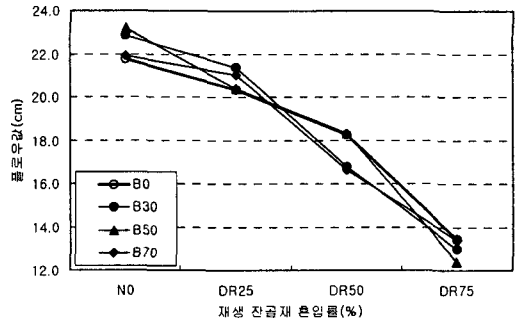


그림2 재생 잔골재 종류에 따른 플로우(건식)

3.2 재령별 압축강도

재령 3일의 재생 잔골재 모르타르의 압축강도는 천연 잔골재 모르타르 보다는 습식 재생골재모르타르의 강도가 더 높은 것으로 나타났다. 또한, 습식 재생골재모르타르보다는 건식 재생골재모르타르가 더 높게 나타났다. 이는 재생골재 표면 모르타르가 배합에 사용된 물의 일부를 흡착함으로써 인해 나타난 일시적인 물시멘트비 저감효과라고 판단된다.

또한, 재생골재의 종류에 관계없이 고로슬래그 미분말의 혼입률 증가에 따라서 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

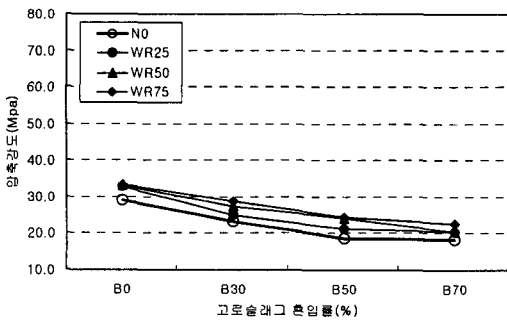


그림3 재생골재모르타르의 압축강도(습식, 재령3일)

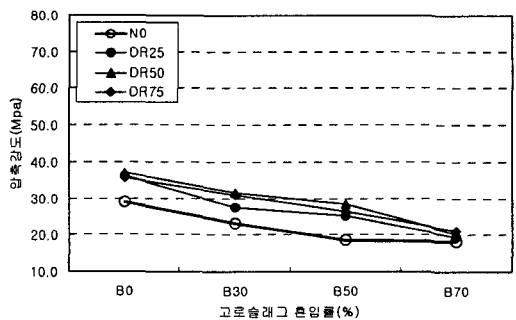


그림4 재생골재모르타르의 압축강도(건식, 재령3일)

재령 7일의 압축강도에서도 전반적으로 건식 재생골재모르타르 배합이 습식 재생골재모르타르보다 더 높았던 재령 3일의 압축강도 결과와 유사하게 나타났다. 아울러, 고로슬래그 혼입률 증가에 따라서 감소하는 압축강도 결과를 보였으나 고로슬래그 혼입률 30, 50% 배합에서 습식 및 건식 재생골재를 50, 75% 혼입한 배합의 강도가 다소 개선되는 것으로 나타났다. 이는 재생골재표면의 수산화칼슘 ($Ca(OH)_2$)이 고로슬래그 미분말을 자극하여 부분적으로 강도가 개선되는 것으로 분석된다.

재령 28일의 재생골재모르타르는 재생 잔골재의 종류에 관계없이 고로슬래그 미분말 혼입률 30%를 기준으로 감소하는 것으로 나타났다. 재령 7일까지는 건식 재생골재를 사용한 배합에서 대체로 더 높은 압축강도를 보였으나 재령 28일부터는 습식 재생골재를 사용한 배합이 더 높게 나타났다

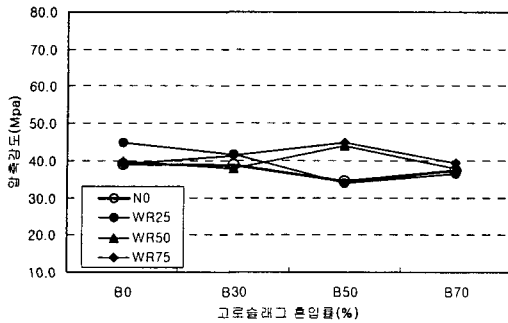


그림5 재생골재모르타르의 압축강도(습식, 재령7일)

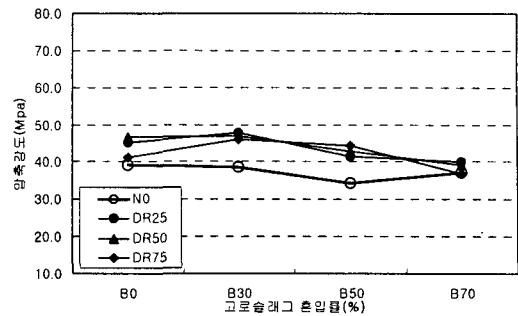


그림6 재생골재모르타르의 압축강도(건식, 재령7일)

이는 습식 재생골재보다 건식 재생골재가 재생골재 표면의 모르타르가 더 많기 때문에 궁극적으로 앞서 언급한 바와 같이 재생골재와 시멘트 페이스트간의 부착력을 감소시켰기 때문으로 분석된다.

고로슬래그 미분말의 혼입률에 따른 평균 압축강도는 고로슬래그 혼입률 30% 배합에서 고로슬래그를 혼입하지 않은 배합보다 약 10% 높게 나타나 고로슬래그의 잠재수경성이 나타난 것으로 판단된다.

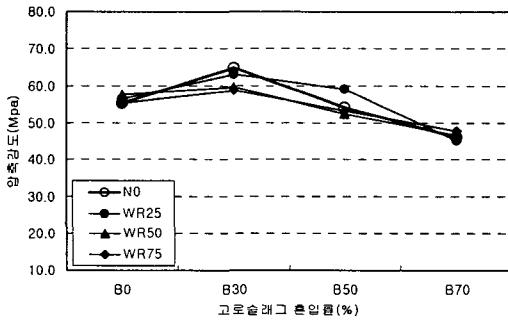


그림7 재생골재모르타르의 압축강도(습식, 재령28일)

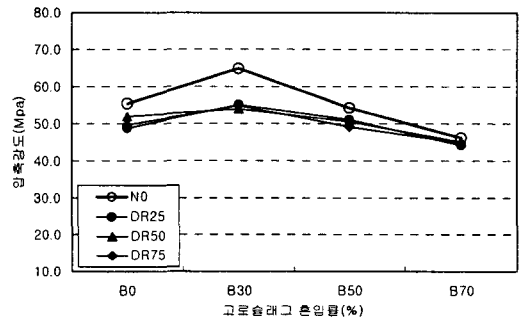


그림8 재생골재모르타르의 압축강도(건식, 재령28일)

4. 결론

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 사용한 습식 및 건식 재생 잔골재모르타르의 물리적 특성을 관찰하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 재생골재모르타르의 플로우는 재생골재 혼입률 증가에 따라 감소하였으며, 이는 습식 재생골재보다 건식 재생골재를 혼입한 배합이 높은 흡수율로 인해 플로우는 급격한 감소결과를 나타내었다.
- 2) 재령 3일, 7일에서는 건식 재생골재 모르타르가 습식 재생골재모르타르보다 다소 높은 강도를 나타냈으나 재령 28일에서는 습식 재생골재모르타르가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 건식 재생골재가 부착된 시멘트 모르타르 양이 많아 부착력 저하를 유발한 것으로 판단된다.
- 3) 고로슬래그를 혼입한 배합은 대체로 재령 28일에 잠재수경성이 나타났으나, 재령 7일에서도 고로슬래그 30, 50%와 재생 잔골재 50, 75% 혼입한 배합에서는 강도가 다소 개선되는 것으로 나타났다. 이는 재생골재의 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 고로슬래그 미분말을 자극하였기 때문으로 판단된다.

참고문헌

1. 동양시멘트(주) 중앙연구소, 고로시멘트의 특성과 응용, 1995.
2. 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.