

# 품질향상재 종류 및 치환율 변화에 따른 순환잔골재 사용 고로슬래그 모르타르의 품질향상

## Improvement of Blast Furnace Slag Mortar Using the Recycled Fine Aggregates Depending on Improvement Material Type and Replacement Ratio

(Received March 29, 2012 / Revised April 17, 2012 / Accepted April 17, 2012)

한천구<sup>1)</sup>, 김대건<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>\*청주대학교 대학원 건축공학과

Cheon-Goo Han<sup>1)</sup> Dae-Gun Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering Graduate School Cheong-ju University, Cheong-ju, 360-764, Korea

### Abstract

In this study, the research examined the effect on FC, WG, RP replacement ratio on the quality improvement of BS mortar using the RA. First of all, the flow value increased as the FC contents increased, and decreased as the WG and RP contents increased. The air contents was reduced as the FC and RP contents increased, but was increased as the WG contents went up. While the compressive strength of 1 : 7 mix proportion increased with the increase of the FC and WG contents, it decreased as there was more RP contents. The compressive strength of RP could increase as the mix proportion increased, but the difference depending on the improvement material type and replacement ratio decreased gradually. The absorption deteriorated as the FC and RP contents increased in all the mix proportions, but improved a little when WG was used. Meanwhile, the absorption decreased as the compressive strength improved in all the mix proportions as a correlation, but the order was FC, RP and WG depending on the quality improvement material types. The FC and WG were most favorable in terms of quality improvement as a total analysis, and the RP and WG was most effective in terms of economical efficiency and resource recycling.

**키워드** : 순환잔골재, 고로슬래그 미분말, 품질향상재, 미분시멘트, 폐석고, 순환골재 미분말

**Keywords** : Recycled Fine Aggregates, Ground Granulated Blast Furnace Slag, Improvement Material, Fine Particle Cement, Waste Gypsum, Recycled Aggregates Powder

## 1. 서론

폐기물 콘크리트를 순환골재로 재생산하는 과정에서 잔골재로 분류된 순환잔골재(이하 RA)의 경우는 골재 표면에 미수화 시멘트를 함유하는 모르타르의 다량 부착으로 인해 강알칼리성 및 높은 흡수율을 띤다. 따라서, 순환골재 품질기준에서는 21 MPa 이하의 저장도용 부위에만 순환골재를 사용할 수 있도록 규정하고 있다.<sup>1)</sup>

또한, 제철산업의 선철제조 시 부산물로 발생하는 고로슬래그 미분말(이하 BS)은 알칼리 성분 및 황산염 등 자극성 물질에 의해 강도가 발현되는 잠재수경성 물질이다. 따라서, BS의 경우 모르타르 및 콘크리트용 결합체에 단독으로는 사용되지 않고 주로 일정한 치환율 범위안에서 콘크리트용 혼화재료로 사용되고 있다.<sup>2)</sup>

이에 본 연구팀에서는 본 연구의 사전 연구로써 RA의 알칼리로써 BS의 잠재수경성 반응을 자극시켜, 무 시멘트 조건에서 알칼리 액티베이션(Alkali Activation)화 시키는 새로운 메카니즘으로 강도 발현성을 확인한 바 있다.<sup>3)</sup> 그 연구 결과에 따르면 일반 및 고강도 영역보다는 저장도

\* Corresponding author

E-mail: taek5610@hanmail.net

및 빈배합 영역에서 보다 활용성이 높은 것으로 나타나, 콘크리트 2차 제품 영역 중 콘크리트 벽돌 제조로 연구의 초점을 맞추게 되었다.<sup>4)</sup>

따라서, 본 연구는 종전보다 더욱 향상된 RA 사용 BS 모르타르의 품질향상으로, 궁극적으로는 콘크리트 2차 제품 적용을 목적으로 빈배합 조건에서 품질향상재 종류 및 치환을 변화에 따른 품질향상 효과를 검토하고자 하였다. 즉, 시멘트 제조과정 중 분말도를 높여 분리 채취한 미분시멘트(이하 FC)와 비료제조 공정 중 부산물로 발생하는 폐석고(이하 WG), 순환골재 생산 과정 중 먼지를 집진한 순환골재 미분말(이하 RP)을 수화반응 활성화 및 알칼리 자극 등의 목적으로 BS에 대한 일정의 치환율로 혼합하여, 벽돌 등 모르타르 제품의 품질규정인 압축강도 및 흡수율 측면에서 그 특성을 분석하므로써, 실무의 효율적인 활용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다.

먼저, BS와 RA만을 사용하는 무 시멘트 모르타르 상태에서 모르타르 배합비는 1 : 7, 1 : 10, 1 : 13의 3수준으로 계획하였고, W/B는 Plain(품질향상재 0 %)에 대한 목표 플로우 120±10 %를 만족시키기 위하여 배합 설계하였다.

즉, 배합비 1 : 7에서는 W/B 80 %, 1 : 10에서 W/B 100 %, 1 : 13에서 W/B 130 %로 설계하였으며, 결합재 변수로는 BS 100 %에 대하여 FC, WG, RP를 각각 10, 20 %로 2수준씩 치환하는 것으로 하였다.

실험 사항으로는 굳지 않은 모르타르에서 플로우치 및 공기량, 경화 모르타르에서는 압축강도 및 흡수율을 측정하는 것으로 하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 BS는 국내 A사산 3종을 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 Table 2와 같고, RA는 국내 D사산을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같으며, 입도분포는 Fig 1과 같다.

한편, BS에 대한 품질향상재로 사용된 FC는 국내 A사 시멘트 분쇄과정에서 발생하는 미립자 시멘트를 Separator Bag Filter로 집진하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은

Table 4와 같고, WG는 국내 N사산 인산 폐석고를 사용하였는데 그 물리·화학적 성질은 Table 5와 같다. 또한, RP는 국내 D사산을 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 Table 6과 같다.

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels			
Mixture	Mix proportion (BS : RA)	3	1 : 7	1 : 10	1 : 13
	W/B (%)		80	100	130
	Target flow (%)	1	· 120±10		
	Plain	6	· 100		
	Improvement material		· 10, 20		
			· 10, 20		
Experiment	Fresh mortar	2	· Flow · Air contents		
	Hardened mortar	2	· Compressive strength (1, 7, 28 days) · Water absorption(7 days)		

1) Ground granulated blast furnace slag

2) Fine particle cement

3) Waste gypsum

4) Recycled aggregates powder

Table 2. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	L.O.I (%)	Moisture content (%)	Chemical composition (%)						
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2.90	4 254	1.91	0.23	0.002	1.95	5.26	34.2	42.5	0.55	15.79

Table 3. Physical properties of RA

Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M.	Water absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve (%)	pH
2.20	2.76	6.20	2.40	11.5

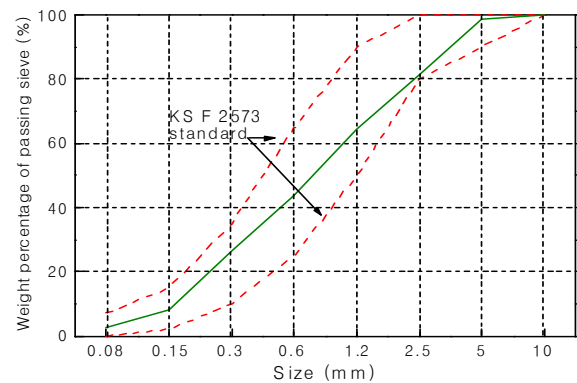


Fig 1. Particle size distribution of RA

Table 4. Physical properties of FC

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
		Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.12	7 613	180	279	35.6	42.5	48.6

Table 5. Physical and chemical properties of WG

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical composition (%)						
		SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
2.36	4 100	3.0	1.2	0.2	39.3	0.1	54.3	0.6

Table 6. Physical and chemical properties of RP

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	pH	Chemical composition (%)						L.O.I (%)
			SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	
2.30	6 443	12.4	27.35	6.66	5.99	33.87	1.54	2.47	20.26

은 Fig 3과 같다.

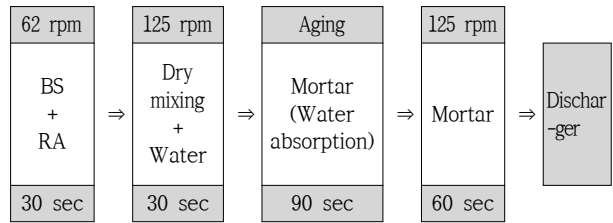


Fig 2. Mixing process of mortar

### 2.3 실험방법

본 연구에서 모르타르의 혼합은 KS L 5109에 의거, 전 동식 혼합 믹서를 사용하여 Fig 2와 같이 혼합하였다.

굳지 않은 모르타르의 실험으로 플로우는 KS L 5105, 공기량은 KS F 2421 규정에 의거하여 실시하였다. 경화 모르타르 실험으로 압축강도는 KS L 5105, 흡수율은 KS F 4004 규정에 의거하여 실시하였으며, 각 실험방법의 모습

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 실험 결과

Table 7은 본 연구의 배합사항 및 실험결과를 나타낸 것이다.

Table 7. Mixture proportions and Experiment result

Mix proportion	W/B (%)	Binder composition (%)		W (kg/m <sup>3</sup> )	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					Experiment result					
					BS	FC	WG	RP	RA	Flow (%)	Air contents (%)	Compressive strength (MPa)			Water absorption 7 days
												1 day	7 days	28 days	
1 : 7	80	BS	100	183	229	0	0	0	1 601	126.0	3.8	5.6	9.7	11.1	6.0
			FC	10	183	206	23	0	0	1 602	130.0	3.8	6.0	9.9	12.0
		20		183	183	46	0	0	1 603	132.5	3.7	6.2	10.2	13.9	5.3
		WG	10	183	206	0	23	0	1 598	124.0	3.9	6.7	11.1	12.9	6.4
			20	183	183	0	46	0	1 596	122.5	3.9	7.0	12.4	14.8	6.5
		RP	10	183	206	0	0	23	1 598	125.5	3.6	5.8	9.7	10.6	5.8
			20	183	183	0	0	46	1 595	123.5	3.5	5.6	9.5	10.3	5.4
		1 : 10	100	BS	100	168	168	0	0	0	1 680	119.0	4.0	5.3	9.5
FC	10				168	151	17	0	0	1 682	120.5	3.7	5.4	9.7	11.6
	20			168	135	34	0	0	1 682	122.0	3.8	5.5	10.1	13.0	5.3
WG	10			168	151	0	17	0	1 678	112.0	4.1	6.1	10.1	11.3	6.5
	20			168	134	0	34	0	1 676	110.0	4.2	6.3	11.1	12.5	6.6
RP	10			168	151	0	0	17	1 678	110.5	3.9	5.4	9.5	10.5	5.8
	20			168	134	0	0	34	1 676	106.8	3.8	5.3	9.0	10.2	5.5
1 : 13	130			BS	100	171	131	0	0	0	1 703	118.0	4.2	5.0	7.8
		FC	10		171	118	13	0	0	1 703	121.0	4.2	5.1	8.3	10.2
			20	171	105	26	0	0	1 705	121.5	4.0	5.3	8.6	10.5	5.8
		WG	10	170	118	0	13	0	1 702	115.0	4.3	5.3	9.2	10.6	6.6
			20	170	105	0	26	0	1 700	113.0	4.3	5.6	9.7	11.1	6.6
		RP	10	170	118	0	0	13	1 701	112.5	4.0	5.4	7.9	10.1	6.0
			20	170	105	0	0	26	1 699	110.5	3.9	5.2	8.0	9.9	5.6

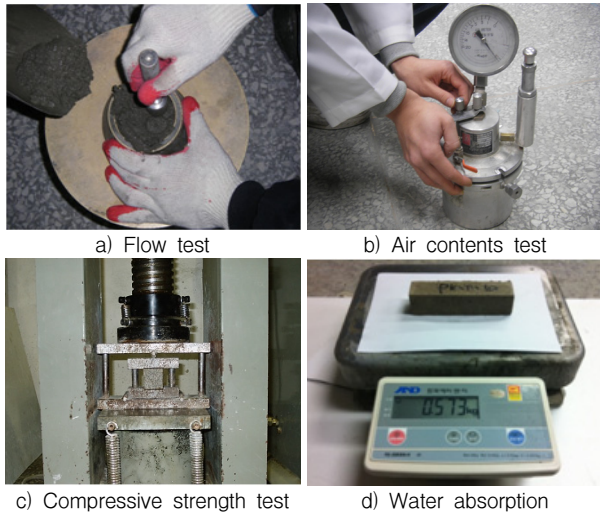


Fig 3. Experiment method

## 3.2 굳지 않은 모르타르 특성

### 3.2.1 플로우

Fig 4는 배합비별 품질향상재 종류 및 치환율에 따른 플로우를 나타낸 것이다.

전반적으로 배합비가 커질수록 상대적으로 증가하는

RA의 거친 입자에 기인하여 W/B를 크게 배합설계 시켜주어야 함을 알 수 있었다.

또한, 각 모르타르 배합비에 있어 FC가 사용된 경우는 치환율이 증가할수록 입자가 미세하여 연속입도분포를 이룸에 기인하여 플로우는 증가하는 것으로 나타난 반면<sup>5)</sup>, WG 및 RP가 사용된 경우는 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 WG 및 RP 자체의 각진 입형 및 높은 흡수율에 기인한 것으로 사료된다.

### 3.2.2 공기량

Fig 5는 배합비별 품질향상재 종류 및 치환율에 따른 공기량을 나타낸 것이다.

전반적으로 배합비가 커질수록, RA의 다공질 구조 및 플로우치 저하에 따른 모르타르 내부 갭의 증가로 인하여 공기량은 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 세부적으로는 FC 및 RP가 사용된 경우 치환율이 증가할수록 고분말도 입자에 의한 모르타르 내부 공극충전 효과에 기인하여 감소하는 경향을 보였으나, WG의 경우는 반대로 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나, 모든 수준에서 0.5 % 이내로 소폭의 변화를 보이는 것으로 나타나 품질향상재 종류 및 치환이 공기량에 미치는

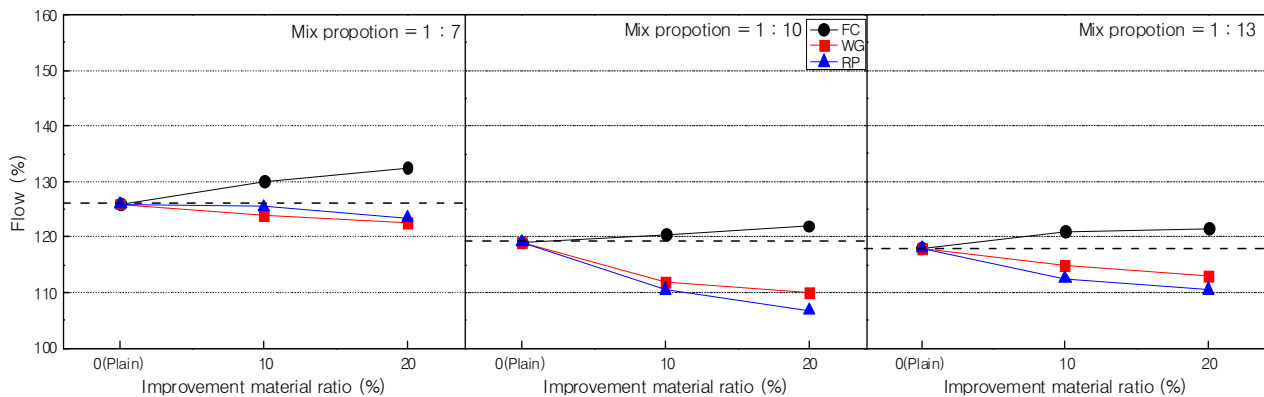


Fig 4. Flow depending on improvement material with mix proportion

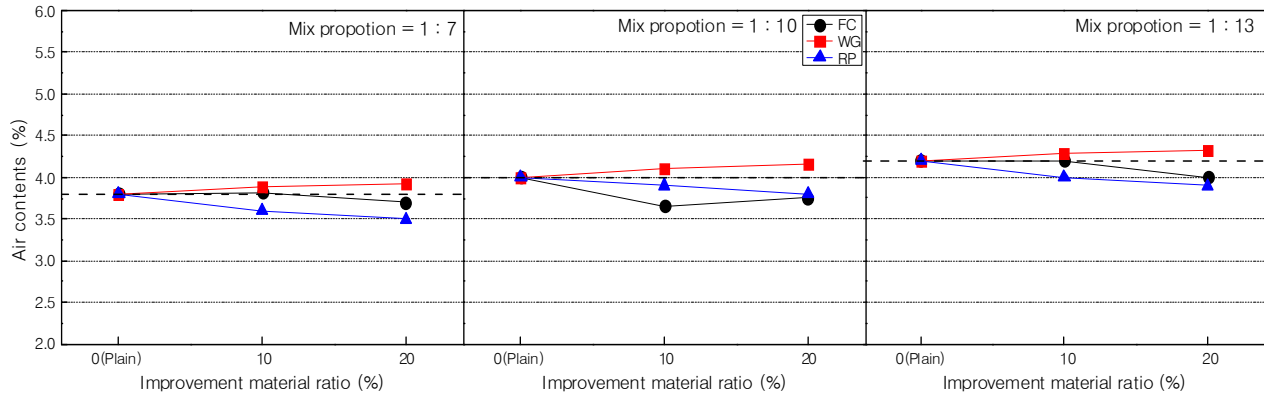


Fig 5. Air contents depending on improvement material with mix proportion

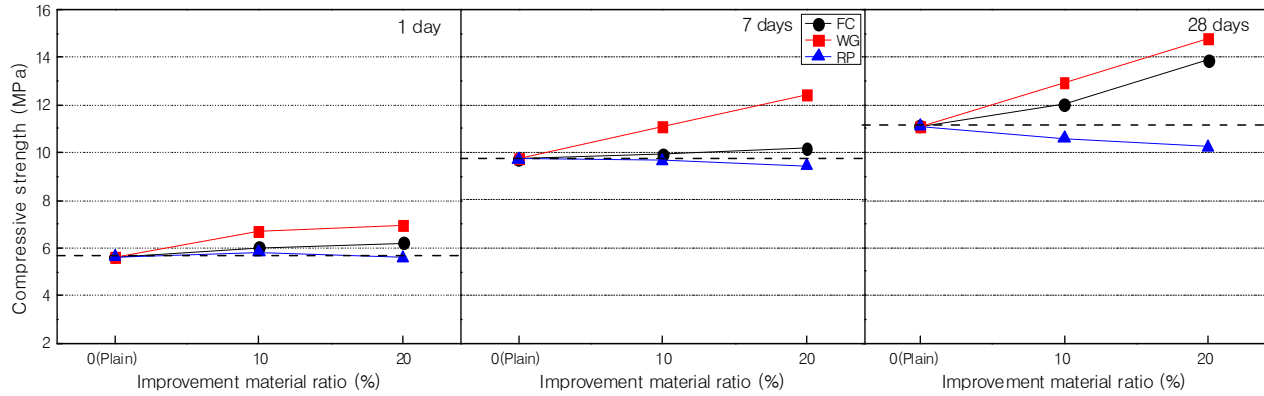


Fig 6. Compressive strength depending on improvement material with age (mix proportion = 1 : 7)

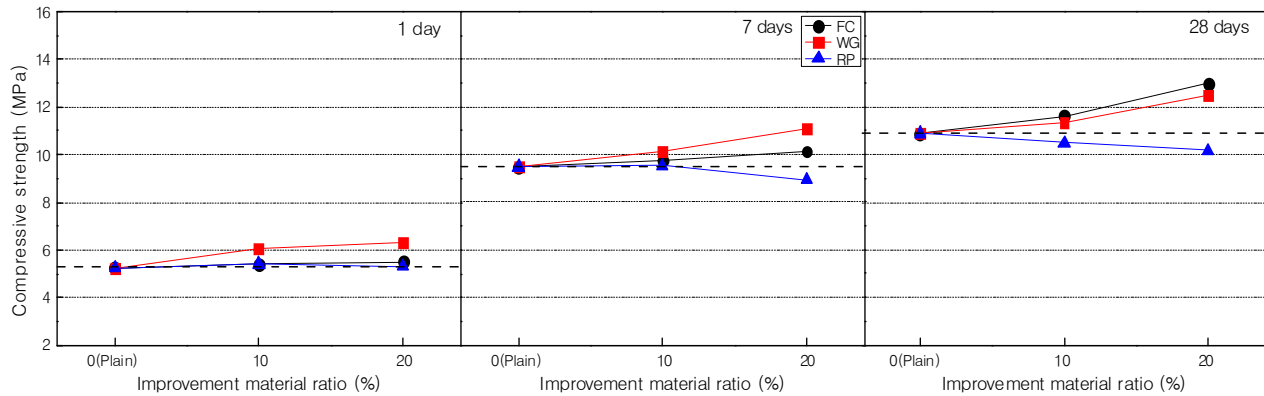


Fig 7. Compressive strength depending on improvement material with age (mix proportion = 1 : 10)

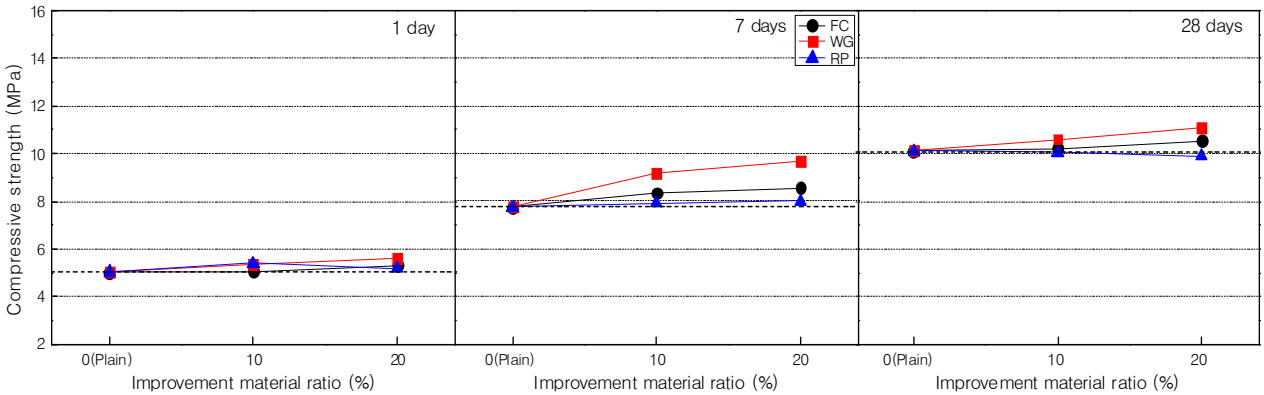


Fig 8. Compressive strength depending on improvement material with age (mix proportion = 1 : 13)

영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

### 3.3 경화 모르타르 특성

#### 3.3.1 압축강도

Fig 6~8은 모르타르 배합비 및 재령별 품질향상제 종류 및 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 배합비가 커질수록 압축강도는 대체적으로 유사하지만 미소하게 저하하는 경향으로 나타났다.

세부적으로는, 배합비 1 : 7의 경우 FC 및 WG는 모든

재령에서 치환율이 증가할수록 강도는 점차 증가하는 경향을 보였다. 이 중 FC는 그 자체가 시멘트 성분으로 알칼리 증진 및 결합재의 강도 향상에 기인한 것이고, WG의 경우는  $SO_4$  성분이 BS에 대하여 수화촉진 자극제 역할을 수행함에 따라 WG 20%에서는 여타의 경우보다 최고 강도값을 나타내었다. 반면, RP의 경우는 치환율이 증가할수록 강도가 점차 저하하는 경향을 보였는데, 이는 RP의 알칼리 자극 요소에 비해 BS 절대량 저하로 수화반응량이 감소되었기 때문인 것으로 분석된다.<sup>6)</sup>

또한, 배합비 1 : 10의 경우, 전반적인 경향은 1 : 7과

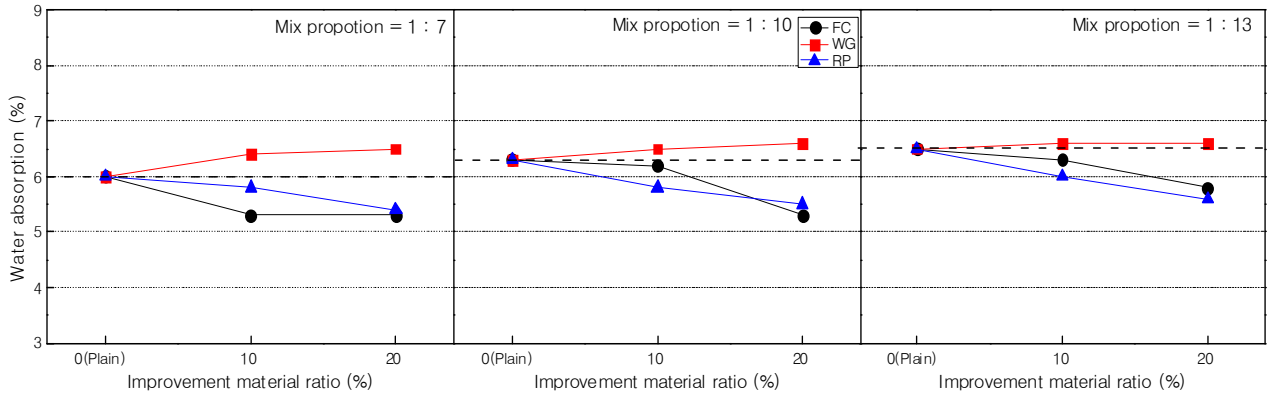


Fig 9. Water absorption depending on improvement material with mix proportion

유사하게 나타났으나, 28일 재령에 이르러서는 FC가 WG를 사용한 경우에 비해 강도를 역전시키는 경향도 나타나는데, 이는 FC의 고분말도 시멘트 입자가 BS 모르타르의 전반적인 수화반응을 활성화시켜 재령이 경과될수록 강도를 크게 증진시킨 것의 요인으로 사료된다.

한편, 배합비 1 : 13의 경우는 1 : 7과 유사한 강도 경향을 보였으나, 품질향상재 종류 및 치환율에 따른 강도 차이는 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 7일 재령까지는 모든 품질향상재 치환 조건에서 Plain에 비해 강도가 저하지 않았고, 28일 재령에서는 RP 20 %의 경우 미소하게 강도 저하하고 전반적으로 모두 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 빈배합 조건의 모르타르에서는 상대적으로 결합재량이 작아지게 되므로 품질향상재에 의한 영향보다는 BS 자체에 의한 영향이 작아진 것으로 분석된다.

### 3.3.2 흡수율

Fig 9는 배합비별 품질향상재 종류 및 치환율에 따른 흡수율을 나타낸 것이다. 전반적으로 배합비가 커질수록 RA 함유량 및 모르타르 내부 공극의 증가에 기인하여 흡수율은 점차 증가하는 것으로 나타났으나, 모든 수준에서 KS F 4004의 흡수율 규정치 10 % 이하는 만족하였다.

또한, 모든 배합비에서 FC 및 RP가 사용된 경우, 미세립자의 모르타르 내부 공극충전 효과로 인하여 Plain에 비해 흡수율이 다소 낮게 나타났다. 반면, WG가 사용된 경우는 석고가 경화하면서 생성되는 에트링가이트에 의해 모르타르 내부 공극이 이완 작용되므로써 흡수율이 다소 높게 나타나는 것으로 분석된다.

### 3.3.3 상호관계

Fig 10은 품질향상재 종류별 압축강도와 흡수율의 상관관계를 나타낸 그래프이다.

전반적으로 압축강도가 증가할수록 흡수율은 감하는 경

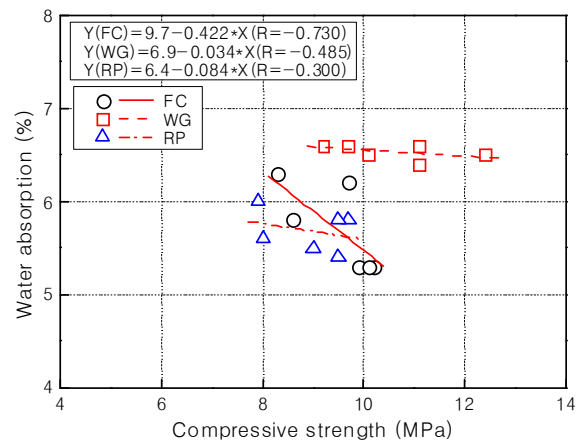


Fig 10. Relationship between compressive strength and water absorption with improvement material

향을 보였다.

세부적으로, 품질향상재의 종류에 따른 압축강도와 흡수율의 관계는 FC는 압축강도가 증가할수록 흡수율이 크게 저하하는 반면, RP는 중간 정도의 경향을 보인 반면, WG가 사용된 경우는 가장 높은 압축강도를 나타내는 동시에, 가장 높은 흡수율도 기록하여 저하 경향이 미미하였다. 이는 WG의 모체 성분인 석고가 물과 반응하면 입자 주변에 에트링가이트(Ettringite)가 생성되는데, 이러한 에트링가이트가 BS의 강도 발현에 있어 자극제 역할 및 강도 보조 역할을 수행하면서 강도상으로는 유효한 영향을 미치지만, 모르타르의 부피 팽창을 일으킴에 따라 흡수율은 다소 높게 나타나는 것으로 사료된다.<sup>7)</sup>

### 3.3.4 종합분석

Table 8은 품질향상재 종류에 따른 품질향상 효과에 대하여 본 실험 결과로부터 종합 분석한 것이다. 분석은 압축강도 및 흡수율, 경제성 및 자원활용성의 4가지 측면에서 검토하였다.

Table 8. Synthesis analysis

Improvement material type	Compressive strength	Water absorption	Economic efficiency	Recycling of resource
FC	●	●	○	○
WG	●	◎	●	●
RP	◎	●	●	●

※ 기호 중 ● : 양호, ◎ : 보통, ○ : 불량

- 1) 압축강도는 Plain보다 큰 것을 양호한 것으로, KS F 4004 압축강도 규정을 만족하는 것은 보통, 그 이하는 불량으로 평가함.
- 2) 흡수율은 Plain보다 작은 것을 양호한 것으로, KS F 4004 흡수율 규정치를 만족하는 것은 보통, 그 이상은 불량으로 평가함.
- 3) 경제성은 단가가 발생하지 않는 것을 양호한 것으로, 단가는 있지만 기존 재료보다 저렴한 경우 보통, 기존 재료보다 비쌌 경우 불량으로 평가함.
- 4) 자원활용성은 폐기물일 경우 양호한 것으로, 부산물로 재활용됨일 경우 보통, 기존 재료일 경우 불량으로 평가함.

먼저, 압축강도의 경우 FC 및 WG가 사용되었을 때 양호한 효과를 보였고, RP의 경우는 크게 저하하지 않는 보통의 효과를 나타내었으며, 흡수율은 FC 및 RP에서 양호한 효과를 보였고, WG에서 보통의 효과를 나타내었다.

한편, 경제성은 WG 및 RP의 경우 단가가 발생하지 않아 양호한 효과를 보였으며, FC는 기존 시멘트 재료비 수준보다 약간 상승하는 단가를 보여 불량으로 나타났다. 자원활용성으로 RP와 WG는 폐기물을 활용함으로 양호한 효과를 보였고, FC는 기존 공정 생산품으로 그리 좋은 효과를 나타내지 않았다.

이상을 종합하면, RA 사용 BS 모르타르의 품질향상적인 측면에서는 FC 및 WG를 사용하는 것이 적절한 방법 이겠으나, 경제성 및 자원활용성까지 고려한다면 WG는 기본이고 품질이 크게 저하하지 않고, 저하하더라도 비교적 동등한 수준의 품질을 유지하는 RP의 활용도 순환자원의 효율적 활용이라는 환경적인 측면에 있어 바람직한 방법이 될 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 RA 사용 BS 모르타르의 품질향상에 FC, WG, RP의 치환율 변화에 따른 효과를 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 플로우는 FC 치환율이 증가할수록 증가하였고, WG 및 RP 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 나타내었다. 또한, 공기량은 FC 및 RP 치환율이 증가할수록 감소하였고, WG 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.
- 2) 압축강도 특성으로 배합비 1 : 7의 경우 FC 및 WG 치환율이 증가할수록 강도는 증가한 반면, RP 치환율이

증가할수록 저하하는 경향을 보였다. 또한, 배합비가 커짐에 따라 RP의 경우도 압축강도가 상승하는 경우도 존재하였지만, 품질향상재 종류 및 치환율에 따른 차이는 점차 감소하였다.

3) 흡수율은 모든 배합비에서 FC 및 RP 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 보였으며, WG가 사용된 경우는 다소 높게 나타났다.

4) 상호관계로써 모든 배합비에서 압축강도가 증가할수록 흡수율은 감소하는 경향을 보였는데, 품질향상재 종류에 따라서는 FC에서 가장 큰 감소, RP 및 WG의 순이었다.

5) 종합 분석으로 모르타르의 품질향상 측면으로는 FC 및 WG가 유리한 것으로 나타났지만, 경제성 및 자원활용적인 측면으로는 WG와 RP가 가장 유호한 것으로 나타났다.

이상을 종합하여 볼 때, 품질향상과 더불어 본 연구의 본질적인 목표인 자원재활용 측면까지 고려하면 품질향상재로써 폐기물인 WG 및 RP를 BS에 20 %까지 치환하여 사용하면, 의미 있는 활용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- 1) 국토해양부, 순환골재 품질기준, 2009. 05.
- 2) 고로시멘트의 특성과 응용, 동양시멘트(주), pp. 12~15, 1995. 06
- 3) 박경택, 손호정, 손석현, 백대현, 한민철, 한천구 ; 순환골재와 고로슬래그 미분말의 수화반응성 메카니즘, 한국건설순환자원학회 학술발표논문집, 제2권 제1호, pp. 37~40, 2010. 05.
- 4) 박경택, 손석현, 한천구 ; 순환골재를 사용한 무시멘트 고로슬래그 모르타르의 배합요인에 따른 품질특성, 한국건설순환자원학회지, 제5권 제3호, pp. 69~76, 2010. 09.
- 5) 최성용, 노동현, 김경민, 박상준, 권오봉, 한민철 ; 미분시멘트 치환율 변화가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향, 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, 통권 제13호, pp. 133~136, 2007. 11.
- 6) 박경택, 손석현, 한천구 ; 고로슬래그 미분말과 순환골재를 사용하는 무시멘트 모르타르의 특성에 미치는 순환골재 미분말의 영향, 대한건축학회 논문집, Vol. 27, No. 6, pp. 99~106, 2011. 06.
- 7) 박종택, 오홍섭 ; 인산부산석고의 각 형태조건에 따른 슬래그 시멘트의 품질특성에 관한 실험적 연구,

### 품질향상재 종류 및 치환율 변화에 따른 순환잔골재 사용 고로슬래그 모르타르의 품질향상

본 연구는 RA 사용 BS 모르타르의 품질향상에 미치는 FC, WG, RP의 치환율 변화에 따른 영향을 검토하였다. 먼저, 플로우는 FC 치환율이 증가할수록 증가하였고, WG 및 RP 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 나타내었다. 공기량은 FC 및 RP 치환율이 증가할수록 감소하였고, WG 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 압축강도 특성으로 배합비 1 : 7의 경우 FC 및 WG 치환율이 증가할수록 강도가 증가한 반면, RP 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 보였으나, 배합비가 커짐에 따라 RP의 경우도 압축강도가 상승하는 경우도 존재하였는데, 품질향상재 종류 및 치환율에 따른 차이는 점차 감소하였다. 흡수율은 모든 배합비에서 FC 및 RP 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 보였으며, WG가 사용된 경우는 다소 높게 나타났다. 한편, 상호관계로는 모든 배합비에서 압축강도가 증가할수록 흡수율은 감소하는 경향을 보였는데, 품질향상재 종류에 따라서는 FC, RP, WG의 순이었다. 종합 분석으로 품질향상 측면은 FC 및 WG가 가장 유리한 것으로 나타났지만, 경제성 및 자원재활용 측면까지 고려하면 WG와 RP가 가장 효과적인 것으로 나타났다.