

# 고로슬래그를 사용한 습식 순환 잔골재 모르타르의 강도 특성에 관한 연구

## A Study on the Strength Property of Recycled Fine Aggregate (Wet Type) Mortar with Blast Furnace Slag

심종우<sup>1)</sup>\*

Shim, Jong Woo

### 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.

The recycled aggregate includes the cement paste hardened as the surface and the type of the aggregate, which contains plenty of calcium hydroxide( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) as well as the unhydrated cement.

Accordingly, the objectives of this study are to inspect the manufacturing the recycled fine aggregate mortar used with blast furnace slag, to consider the effects of the recycled aggregate on the strength development of ground granulated blast furnace slag, and then to acquire the technical data to take into consideration the further usages of the recycled aggregate and blast furnace slag.

In eluted ions from recycled aggregate, it showed that there were sodium( $\text{Na}^+$ ) and potassium( $\text{K}^+$ ), expected to be flown out of unhydrated cement, as well as calcium hydroxide( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Application of this water to mix cement mortar with ground granulated blast furnace slag was observed to expedite hydration as calcium hydroxide( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) and unhydrated cement component were expressed to give stimuli effects on ground granulated blast furnace slag.

The results of the experiment show that the recycled aggregate mixed with blast furnace slag has comparatively higher hydration activity in 7 day than the mortar not mixed with one in 3 day mortar does, causing the calcium hydroxide in the recycled fine aggregate to work on as a stimulus to the hydration of ground granulated blast furnace slag.

**Keywords** : Recycled Aggregate Mortar, Blast Furnace Slag, Calcium hydroxide( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), Stimulus

### 1. 서론

건설폐기물의 중간처리를 통해 생산되는 순환골재는 연간 국내에서 소비되는 골재소요량의 10%에 달하는 많은 양이 생산되고 있다. 하지만, 순환골재를 콘크리트용 골재로 사용할 경우 슬럼프 및 강도저하, 알칼리량 과다 등의 단점으로 인해 아직까지 많은 양이 사용되지 못하고 있다.

순환골재 표면 모르타르에는 천연 잔골재와 더불어 미수화시멘트, 경화된 시멘트 페이스트의 약 1/4에 해당하는 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )이 존재하게 된다. 따라서 생산된 순환골재는 강알칼리성( $\text{pH}>12$ )을 지니게 된다.

고로슬래그 미분말은 잠재수경성을 지닌 혼화재료로서 수화열 감소, 장기강도 증진, 수밀성 증대 등의 개선효과

등의 장점에도 불구하고, 재령초기 강도 저하 등의 특성으로 인해 최근에도 개선하려는 연구가 진행되고 있다.

고로슬래그의 초기강도 발현을 촉진하는 방법으로는 첫째, 고로슬래그 미분말의 분말도를 높여 활성도를 높이는 방법이 있다. 그러나 분말도 증가에 따라 생산원가도 높아지는 단점이 있다. 둘째, 양생온도를 높여 슬래그 입자를 활성화 시키는 방법이 있으나 이는 현장적용에 제한적이다. 셋째, 알칼리 자극제를 첨가하는 방법이다.

고로슬래그 미분말을 순환골재 모르타르 및 콘크리트 제조에 활용할 경우, 순환골재에서 용출된  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 고로슬래그에 대한 자극제 역할을 수행하여 수화반응을 촉진시킬 것으로 사료되며, 순환골재는 알칼리 저감 효과를 얻을 것으로 예상된다. 실제로 일본에서도 순환골재콘크

1) 정회원, 한국건설기술연구원 건축구조·자원연구실 연구원, 공학박사

\* corresponding author : shimjw@kict.re.kr 011-722-6446

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

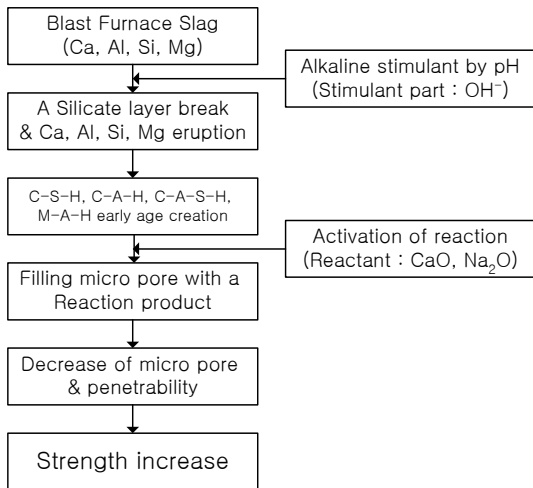


Fig. 1 Hydration of BFS by Alkaline stimulant

리트 제조시 알칼리 골재반응을 우려하여 고로슬래그 미분말 등의 혼합 사용을 전제로 하고 있다

이에 본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 사용한 순환 잔골재 모르타르를 제조하고 순환골재가 고로슬래그 미분말의 강도발현에 미치는 특성을 고찰하여 향후, 순환 잔골재와 고로슬래그 미분말의 활용성을 동시에 제고하기 위한 기술적 데이터 확보를 목표로 하였다.

## 2. 알칼리 자극제가 고로슬래그의 수화반응에 미치는 영향

고로슬래그의 수화에 미치는 자극제의 작용 메커니즘에 관한 많은 연구가 보고된 바 있다. 알칼리 자극제가 고로슬래그의 수화에 미치는 영향인자로서는 크게 자극제의 pH와 화학성분으로 나눌 수 있다.

### 2.1 자극제의 pH의 영향

알칼리 자극제의 초기 pH는 슬래그의 Si-Al 겔 피막을 파괴하는데 기여한다. 자극제 용액의 초기 pH는 고로슬래그의 최종강도까지 영향을 미치는 것이 아니라 자극제의 음이온 및 음이온군과 슬래그의 표면으로부터 용해되는  $Ca^{2+}$  간의 반응결과물인 Ca화합물을 초기에 형성시키고 고로슬래그를 용해시키는 역할을 주로 수행한다.

기존의 연구에 의하면 고로슬래그를 효과적으로 자극하기 위한 pH는 11.5 정도라는 보고도 있다. 그러나, 그 이후의 알칼리-슬래그의 수화는 자극제 용액의 초기 pH보다 Ca화합물에 의해 지배된다고 알려져 있다.

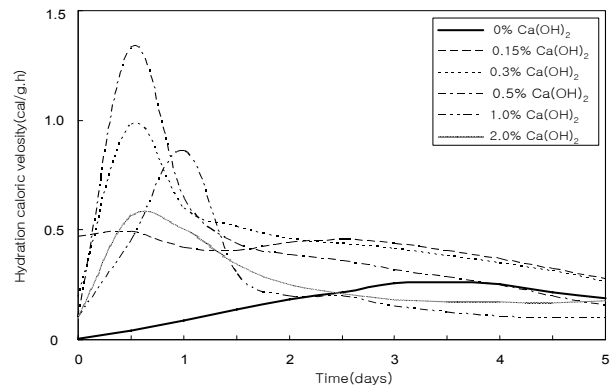


Fig. 2 Hydration of Slag Cement by additive contents

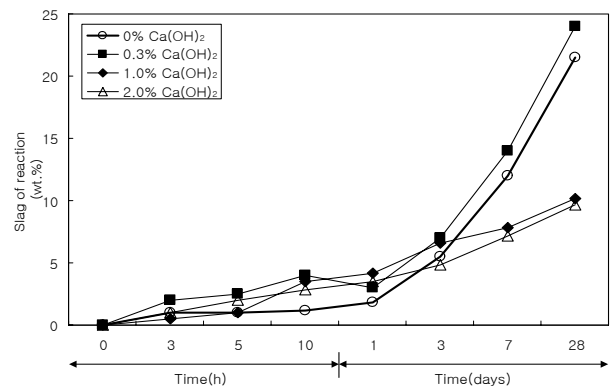


Fig. 3 Reaction volume of BFS by  $Ca(OH)_2$

### 2.2 알칼리 자극제 성분의 영향

일반적으로 수산화칼슘( $Ca(OH)_2$ ) 및 석고( $CaSO_4$ ) 등의 물질이 자극제로서 작용하는 것 뿐만 아니라, 고로슬래그의 수화에 따라 반응하여 소비되어지는 주요한 반응물로 알려져 있으며 수산화나트륨( $NaOH$ )은 단순한 자극제로서만 역할을 한다는 것과 반응제로서도 작용한다는 보고도 있다.

이상의 이론들에 근거하여 알칼리 자극제가 고로슬래그의 수화에 미치는 영향을 Fig. 1에 도식화하였다.

### 2.3 알칼리 자극제 첨가량에 따른 고로슬래그 반응률

Fig. 2와 같이 고로슬래그 혼입률이 90%인 시멘트 페이스트에 대하여 자극제로서 수산화칼슘( $Ca(OH)_2$ )을 단계별로 첨가하였을 때, 수산화칼슘 첨가량이 너무 적으면 3일 이후의 반응속도는 비교적 컸지만 그 이전의 반응속도가 작고, 또한 첨가량이 너무 많으면 3일 이내의 반응속도는 비교적 컸더라도 그 후의 반응속도가 늦어진다고 알려져 있으며, 일반적인 수산화칼슘의 최적 첨가량은 0.3% 부근이라고 하였다(송종택, 1981).

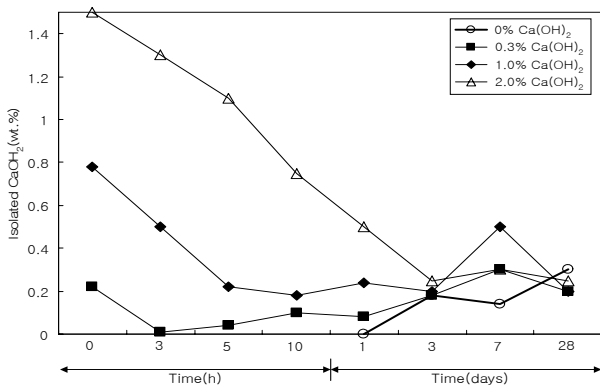


Fig. 4 Volume of isolated Ca(OH)<sub>2</sub> by time

Fig. 3은 수산화칼슘을 단계별로 첨가하였을 때 재령에 따른 고로슬래그 미분말의 반응률을 나타낸 것이다. 여기서 자극제인 수산화칼슘양의 증가에 따라 고로슬래그 반응률이 정비례하는 것이 아님을 알 수 있다. 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 0.3% 수준에서 재령 1일 이후에 최적의 반응률을 보였으며 수산화칼슘 1.0% 이상에서는 재령 3일 이후에 고로슬래그 반응률이 현저히 저하됨을 알 수 있다(송중택, 1981).

Fig. 4는 고로슬래그를 90% 혼입한 시멘트 페이스트에 대하여 자극제로서 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)을 단계별로 첨가하였을 때의 재령의 증가에 따른 유리된 수산화칼슘량의 경시변화를 나타낸 것이다(송중택, 1981).

어떠한 수산화칼슘의 첨가량의 경우에도 재령 초기에서는 첨가된 수산화칼슘이 소비되는 경향을 보였다. 특히, 0.3%의 경우에서는 3시간 만에 첨가된 수산화칼슘의 대부분이 소비된 것을 볼 수 있었다.

따라서, 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)은 첨가량보다는 시간에 따라 고로슬래그의 포졸란 반응에 의하여 우선 소비되며, 이후 서서히 유리된 수산화칼슘양이 늘어나게 된다.

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

##### 3.1.1 실험인자

고로슬래그는 알칼리량 저감과 장기강도 증진 등의 장점

을 가지고 있는 잠재수경성 재료이지만 초기강도 저하 등의 문제점을 가지고 있다. 하지만, 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이나 수산화나트륨(NaOH)과 같은 자극제와의 결합을 통해 초기강도의 개선이 가능하다는 선행 연구가 보고된 바 있다(송중택, 2000).

본 연구에서는 보통 포틀랜드 시멘트를 고로슬래그 미분말을 사용하여 단계별로 일정비율 혼입하여 모르타르를 제조하고 재령 7일 및 28일에 수화활성도를 관측하여 순환 잔골재를 사용한 모르타르 배합의 수산화칼슘으로 인한 초기강도의 발현 여부를 확인하고자 하였다.

순환 잔골재에 부착된 시멘트 모르타르가 고로슬래그 미분말의 수화에 자극제 역할을 수행한다는 예측을 확인하기 위한 시험항목을 선정함에 있어 압축강도 시험과 활성도지수 평가를 실시하였다.

#### 3.1.2 실험항목

본 연구에는 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 따라 모르타르를 믹싱 및 몰드에 성형한 후, 1일후 탈형하여 수중에서 양생을 실시하였으며, 재령 3일, 7일, 28일에 압축강도를 각각 측정하였다. 그리고 KS F 2563(콘크리트용 고로슬래그 미분말)에 의해 재령 7일 및 재령 28일의 고로슬래그 미분말의 활성도 지수를 계산하였다.

### 3.2 사용재료

#### 3.2.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 분말도 3,414cm<sup>3</sup>/g, 밀도 3.15cm<sup>3</sup>/g의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

#### 3.2.2 고로슬래그 미분말

본 연구에 사용된 고로슬래그 미분말은 레디믹스트콘크리트 제조에 일반적으로 많이 사용되는 것으로 분말도 4,971cm<sup>3</sup>/g, 밀도 2.91g/cm<sup>3</sup>, 염기도 1.86의 3종(KS F 2563)의 것을 사용하였다.

#### 3.2.3 잔골재

본 연구에 사용된 잔골재는 Table 2와 같이 천연 잔골

Table 1 Mixing fact of recycled fine aggregates

Section	Cement	Substitution rates based on Blast Furnace Slag(%)	Substitution rates based on recycled fine aggregates	Reference
Factor	OPC	0, 30, 50, 70	0, 25, 50, 75	Mortar was manufactured by KS L 5105
Type	1	4	4	16

Table 2 The quality of fine aggregates

	Natural fine aggregates (ISO standard fine aggregates)	Recycled fine aggregates (Wet type)
Density(g/cm <sup>3</sup> )	2.64	2.33
Absorption(%)	0.06	4.76
Solid Content(%)	49.2	68.5
0.08mm sieve passing ratio(%)	0.1	6.94
Reference		1Species



Photo 1 pH of recycled aggregates elution and equipment

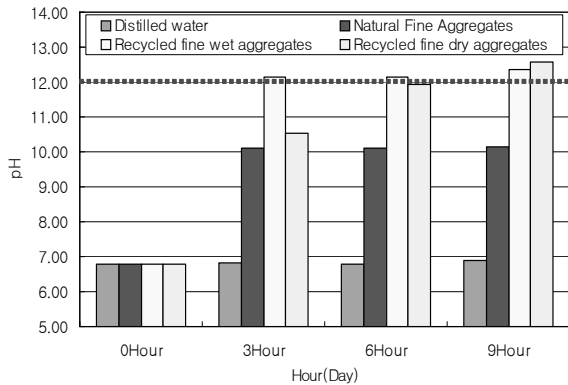


Fig. 5 pH of recycled aggregates elution and equipment

재는 ISO 표준사를 사용하였고, 순환 잔골재는 KS F 2573(콘크리트용 순환골재)에 적합한 것을 사용하였다.

### 3.2.4 순환골재의 수소이온농도(pH)

국내에서 생산된 순환 잔골재를 대상으로 pH(수소이온 농도)를 측정하였다. 큰 비이커 또는 깨끗한 통에 순환 잔골재 400g과 물 400ml를 투입하고 Photo 1과 같이 3 시간 간격으로 pH를 측정한 결과, Table 3과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 생산된 지 3일이 경과하지 않은 순환골재는 건식이나 습식 생산방식과 관계없이 pH12 이상의 강 알칼리성을 띠는 것을 알 수 있었다. 이때, 습식 순환골재는 물에 침지시킨지 3시간 만에 pH12에 도달한 반면, 건식 순환골재는 9시간 만에 도달하였다.

Table 3 Over time based on recycled aggregates characteristics of the elution

PH	Time elapsed(h)			
	0	3	6	9
Distilled water	6.80	6.81	6.79	6.90
Natural Fine Aggregates	6.80	10.10	10.11	10.15
Recycled fine wet aggregates	6.80	12.15	12.16	12.35
Recycled fine dry aggregates	6.80	10.53	11.92	12.56

이는 폐콘크리트가 파쇄되면서 경화된 페이스트 속에 있던 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 용출되기 때문인데, 순환 골재로서 생산된 후 야적기간이 오래될수록 알칼리성이 저하되기는 하지만 국내 골재수급을 감안한다면 생산 후 일정기간이상 야적한 이후에 배출하는 것은 현실적이지 못하다고 판단된다. 따라서, 생산 즉시 바로 사용되는 국내 현실을 고려하면 상기 측정 결과에 대하여 혼화재의 사용이나 순환골재의 혼입률 제한 등을 통한 pH 또는 알칼리 저감 등의 관련 대책 마련이 필요하다고 사료된다.

pH12에 도달한 이후, Photo 1에서와 같이 물위로 하얀색 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)이 수면위에 조금씩 나타나기 시작하는데, 이는 물에 유리된 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 이온 중에서 OH<sup>-</sup> 이온이 대기중의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 만나서 반응하였기 때문이다.

고로슬래그 미분말을 혼입한 순환 잔골재 모르타르의 실험결과는 Table 4와 같으며 압축강도는 재령 3일, 7일, 28일을 기준으로 측정하였고 수화활성도는 재령 7일과 28일을 기준으로 각각 측정하였다.

## 4. 실험결과

### 4.1 압축강도

#### 4.1.1 재령 3일

재령 3일의 순환 잔골재 모르타르의 압축강도는 Fig. 6

과 같이 고로슬래그 혼입률과는 관계없이 순환 잔골재 혼입률이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 순환 잔골재를 혼입하여 배합했을 때 재령초기에 종종 나타나는 물시멘트비 저감 효과로 사료된다.

Fig 7과 같이 고로슬래그 미분말 혼입률이 30, 50, 70%로 증가함에 따라 압축강도는 평균 32.1, 26.1, 21.8, 20.5MPa로서 혼입률 증가에 따라 압축강도는 저하되는 고로슬래그를 혼입한 모르타르의 초기강도에 대한 일반적인 결과를 나타냈다. 고로슬래그의 수화반응을 촉진시키기 위하여 수산화칼슘을 첨가하였으나, 재령 3일까지는 자극제의 역할이 나타나지 않았다는 기존 연구와 유사한 추이를 확인할 수 있었다.

#### 4.1.2 재령 7일

재령 7일의 순환 잔골재 모르타르는 Fig. 8와 같이 고로슬래그 미분말 혼입률 0, 30%에서는 순환 잔골재 혼입률 25%이후 압축강도가 점차 감소하는 것으로 나타났으나 고로슬래그 미분말 혼입률 50, 70%에서는 순환 잔골재의 혼입률 증가에 따라 오히려 증가하는 압축강도 경향을 보였다. 이는 고로슬래그 미분말에 대한 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)의 자극효과로 의한 것으로 사료된다.

Fig. 9의 고로슬래그 혼입률에 따른 압축강도 결과는 재령 3일과 다소 다른 추이를 보였다. 고로슬래그 혼입률 30, 50, 70%로 증가함에 따라 압축강도는 평균 40.8, 39.9, 44.2, 37.8MPa로서 혼입률 50%에서 가장 높은

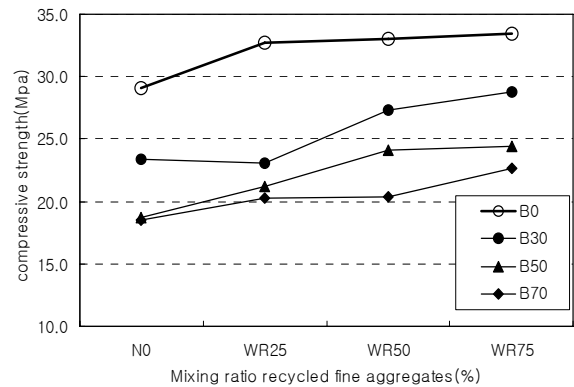


Fig. 6 Substitution rates based on recycled fine aggregate compressive strength(3days)

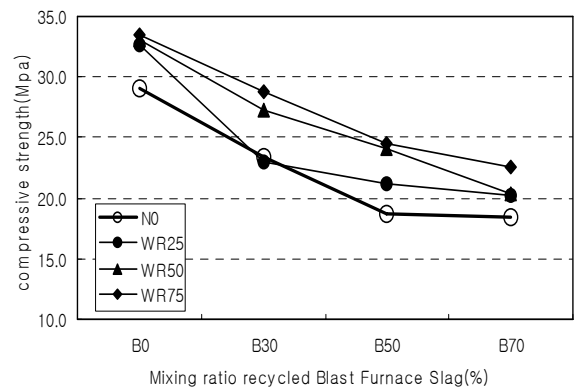


Fig. 7 Substitution rates based on Blast Furnace Slag compressive strength(3days)

Table 4 Experimental results

Division	Blast Furnace Slag	recycled fine aggregates	Compressive strength(MPa)			Hydration activity(%)				
			3days	7days	28days	7days standard		28days standard		
						3day	7day	3day	7day	28day
NOB0	0	0	29.1	39.2	55.4	74.2	100.0	52.5	70.8	100.0
R25B0		25	32.7	44.8	56.3	73.0	100.0	58.1	79.5	100.0
R50B0		50	33.0	40.0	57.5	82.6	100.0	57.5	69.5	100.0
R75B0		75	33.5	39.1	55.2	85.5	100.0	60.7	70.9	100.0
NOB30	30	0	23.3	38.8	64.8	59.5	98.9	42.1	70.0	116.9
R25B30		25	25.0	41.7	63.2	55.8	93.0	44.4	73.9	112.2
R50B30		50	27.3	37.8	59.7	68.3	94.6	47.5	65.8	103.9
R75B30		75	28.7	41.4	58.8	73.4	105.7	52.1	75.0	106.5
NOB50	50	0	18.7	34.4	54.2	47.7	87.8	33.8	62.1	97.9
R25B50		25	21.2	33.9	59.1	47.2	75.7	37.6	60.2	104.8
R50B50		50	24.1	43.9	52.5	60.4	109.9	42.0	76.5	91.4
R75B50		75	24.5	45.0	53.3	62.5	115.0	44.3	81.5	96.6
NOB70	70	0	18.5	37.3	46.3	47.1	95.2	33.4	67.4	83.5
R25B70		25	20.3	36.5	45.2	45.2	81.4	36.0	64.8	80.2
R50B70		50	20.4	38.0	46.6	51.0	95.0	35.5	66.0	81.2
R75B70		75	22.6	39.3	48.0	57.8	100.5	41.0	71.3	86.9

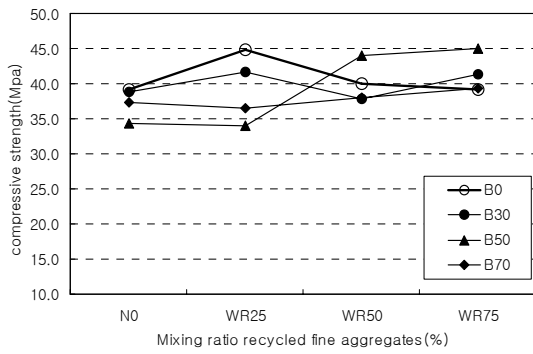


Fig. 8 Substitution rates based on recycled fine aggregate compressive strength(7days)

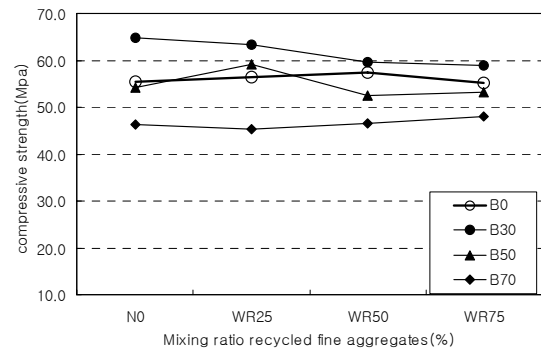


Fig. 10 Substitution rates based on recycled fine aggregate compressive strength(28days)

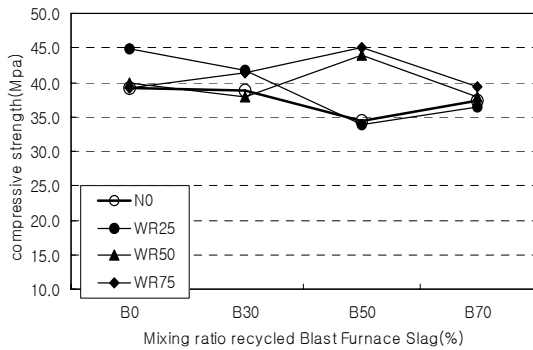


Fig. 9 Substitution rates based on Blast Furnace Slag compressive strength(7days)

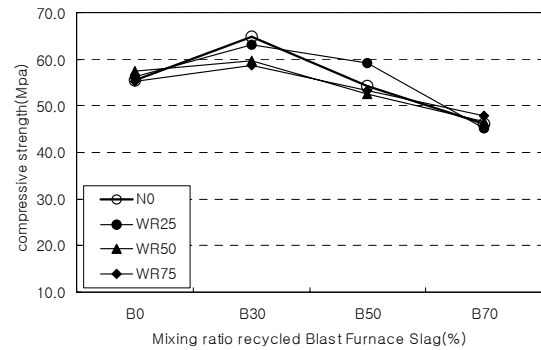


Fig. 11 Substitution rates based on Blast Furnace Slag compressive strength(28days)

강도를 나타냈다.

이러한 결과는 고로슬래그 미분말을 혼입한 모르타르가 일반적으로 28일 이후에 일반 모르타르와 유사한 강도발현 추이를 보였던 것과는 다소 거리가 있는 것으로서 순환 잔골재가 가지고 있는 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 자극제 역할을 수행하여 강도가 개선된 것으로 사료된다.

#### 4.1.3 재령 28일

Fig. 10에서 재령 28일의 순환 잔골재 모르타르는 일부 배합에서 고로슬래그 미분말 혼입률 0% 배합의 압축 강도를 상회하기 시작하는 것으로 나타났다.

Fig. 11을 보면 재령 증가에 따른 고로슬래그 혼입률의 영향이 뚜렷하게 나타났으며, 재령 28일 고로슬래그 미분말 혼입률 30%를 기준으로 강도 저하현상이 나타났다.

#### 4.3 수화활성도

순환 잔골재 혼입률을 일정하게 하고 고로슬래그 미분말의 혼입률을 변수로 하여 재령 3일, 7일, 28일 각각 측정된 수화활성도를 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다.

Fig. 12에서 보는 바와 같이 재령 3일의 수화활성도는

고로슬래그 혼입률이 증가함에 따라 감소하는 것을 나타내. 순환 잔골재의 수산화칼슘이 재령 3일까지는 강도발현에 많은 영향을 주지 못한 것으로 판단된다.

상기 결과는 고로슬래그 미분말의 수화촉진을 위해 수산화칼슘을 첨가하였으나 재령 3일까지는 첨가된 수산화칼슘이 고로슬래그의 포졸란반응을 위하여 사용되었다고 기술한 기존 연구결과와 유사한 것으로 판단된다.

재령 7일 측정된 수화활성도는 순환 잔골재 혼입률 증가에 따라 수화활성도도 증가한 것으로 나타났다.

순환 잔골재 50% 혼입한 배합에서는 고로슬래그 50% 배합에서 활성도지수가 110%로 나타났으며, 순환 잔골재 75% 혼입한 배합에서는 고로슬래그를 혼입한 모든 배합에서 혼입하지 않은 배합보다 활성도 지수가 최대 15%까지 높게 나타났다. 따라서, 재령 7일에 측정된 수화활성도가 일반 고로슬래그 모르타르의 수화활성도보다 다소 촉진된 것을 확인할 수 있었다. 이는 순환 잔골재의 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 자극제로서 고로슬래그 미분말의 수화를 촉진시켰기 때문으로 판단된다.

재령 28일 측정된 고로슬래그 순환 잔골재 모르타르의 활성도지수는 Fig. 13과 같이 천연 잔골재를 사용한 보통 모르타르와 거의 유사한 결과를 나타내었다.

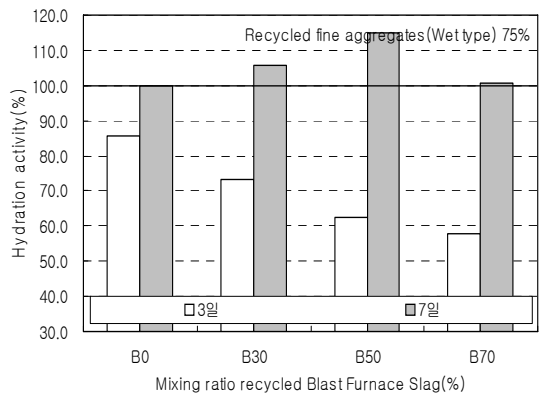
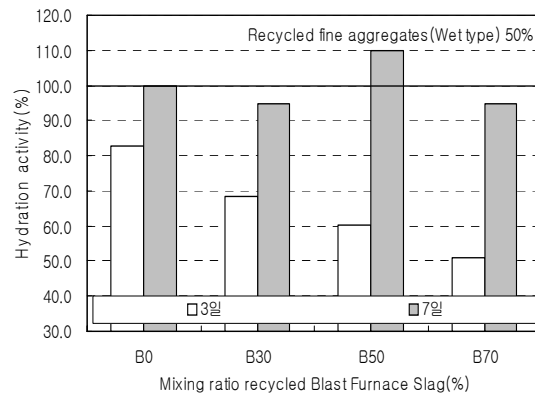
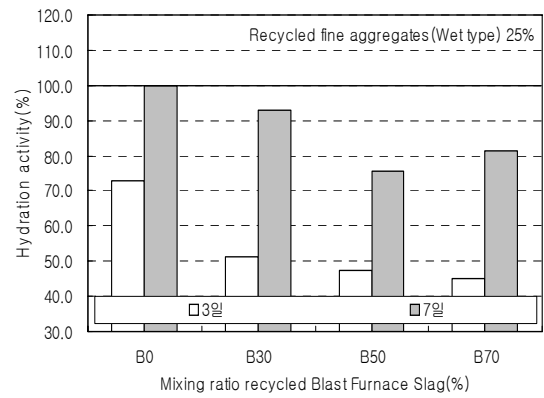
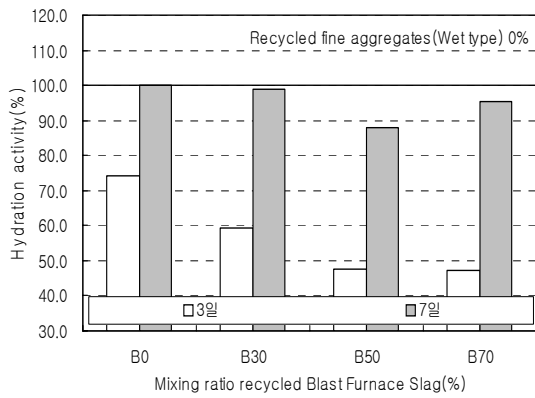


Fig. 12 Hydration activity of recycled fine aggregates mortar (7days of reference point)

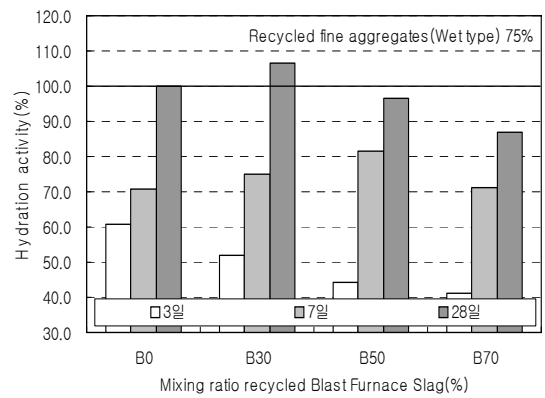
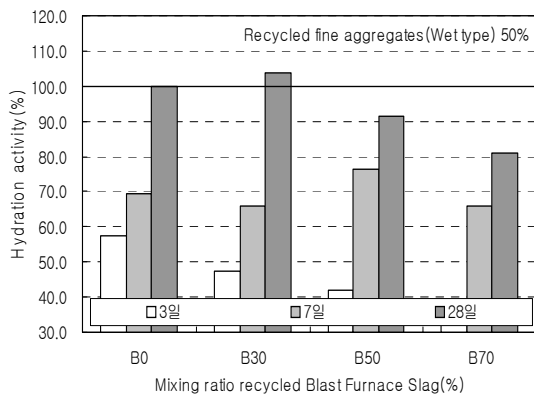
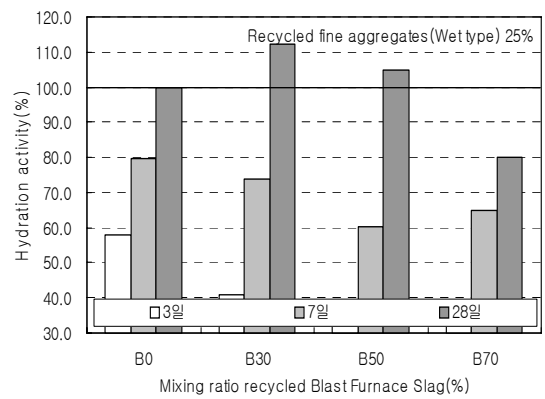
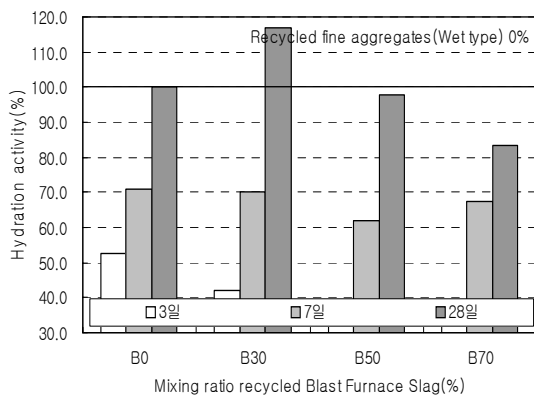


Fig. 13 Hydration activity of recycled fine aggregates mortar (28days of reference point)

## 5. 결론

## 참고문헌

고로슬래그 미분말을 사용한 순환골재 모르타르의 압축강도와 수화활성도를 측정한 결과는 다음과 같다.

- 1) 고로슬래그 미분말을 혼입·사용한 순환 잔골재 모르타르는 재령 3일에서는 고로슬래그 혼입율에 따라 강도가 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 기존 문헌에서와 같이 재령 3일에서는 고로슬래그의 수화 촉진 반응이 일어나지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 재령 3일 측정된 수화활성도도 순환 잔골재 혼입률에 관계없이 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가함에 따라 저하되는 것으로 나타났다.
- 2) 재령 7일에서는 순환 잔골재에서 용출된 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )의 자극제 역할로 인해 고로슬래그 미분말을 혼입한 배합의 압축강도 발현이 천연 잔골재를 사용한 모르타르보다 증가하는 결과를 보였다. 이러한 현상은 순환골재 혼입률이 많은 배합(혼입률 50% 이상)에서 나타났는데, 순환골재 혼입률이 증가할수록 모르타르 내부의 수산화칼슘량도 많아졌기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.
- 3) 재령 28일에서는 고로슬래그 미분말 혼입률 30% 배합에서는 고로슬래그의 수화반응으로 인해 고로슬래그를 혼입하지 않은 배합보다 높은 압축강도를 보이기 시작하였다. 이는 고로슬래그를 혼입한 모르타르의 일반적인 현상이라고 판단된다.

1. 박응모, 무기계 자극제가 고로슬래그 시멘트 수화물의 특성에 미치는 영향, 전북대 박사학위논문, pp. 7~19, 2001.
2. 송종택 외, NaOH 자극에 의한 고로수쇄슬래그의 수화반응, Journal of the Korea Ceramic Society, Vol. 17, No. 3, pp. 158~162, 1980.
3. 송종택, 고향산염 슬래그 시멘트의 수화반응, 시멘트 심포지엄, pp. 55~66, 1981.
4. 한국산업규격, KS F 2573(콘크리트용 순환골재), 기술표준원, 2006.
5. 한국산업규격, KS F 2563(콘크리트용 고로슬래그 미분말), 기술표준원, 2004.
6. 高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針, 土木學會, 1996.
7. 笠井芳夫, 阿部道彦, 柳啓: 再生コンクリートの諸物性に關する實驗的研究, セメント・コンクリート論文集 No. 50, pp. 802~807, 1996. 12.
8. 日本建築學會(編): 高爐スラグ微粉末の建築用コンクリート利用に關する研究, 高爐スラグ微粉末調査研究小委員會, 1990.
9. (財)國土開發技術研究センター, 再生コンクリートの利用技術の開發, pp. 89~94, 平成8年.
10. 再生コンクリートの利用技術の開發, (財)國土開發 技術研究センター, 1997.
11. 콘크리트再生材高度利用研究會活動報告書, 콘크리트リサイクルシステムの普及に向けての提言, 2005. 9.
12. 後藤誠史, “高爐水碎スラグ-アルカリ刺戟劑系セメント硬化体の性質”, セメント技術年報, Vol. 41, pp. 50~53, 1987.

(접수일자 : 2010년 2월 5일)

(수정일자 : 2010년 6월 7일)

(심사완료일자 : 2010년 7월 2일)

## 요 지

고로슬래그 미분말을 순환골재 모르타르 및 콘크리트의 제조에 활용할 경우, 순환골재에서 용출된  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 고로슬래그에 대한 자극제 역할을 수행하여 수화반응을 개선할 수 있을 것으로 판단되고 고로슬래그를 통해 알칼리 저감 효과를 얻을 것으로 예상되어 본 연구를 진행하게 되었다.

그 결과 고로슬래그 미분말을 혼입·사용한 순환 잔골재 모르타르는 재령 3일에서는 고로슬래그 혼입율에 따라 강도가 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 고로슬래그의 수화반응이 일어나지 않았기 때문으로 판단되며 또한, 순환 잔골재 혼입률에 관계없이 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가함에 따라 재령 3일 측정된 수화활성도도 저하되는 것으로 나타났다.

재령 7일에서는 순환 잔골재에서 용출된 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )이 자극제 역할을 수행하여 고로슬래그 미분말을 혼입한 배합의 압축강도 발현이 천연 잔골재를 사용한 모르타르보다 서서히 증가하는 결과를 보이기 시작하였으며 이로 인해 재령 7일 측정된 고로슬래그 미분말을 단계별로 혼입한 배합의 수화활성도가 고로슬래그를 혼입하지 않은 배합보다 높아지는 것으로 나타났다.

재령 28일에서는 고로슬래그 미분말 혼입률 30% 배합에서는 고로슬래그의 수화반응으로 인해 천연 잔골재를 사용한 배합보다 높은 압축강도를 보이기 시작하였으며 이때 측정된 수화활성도는 천연 잔골재를 사용한 배합과 특별한 차이를 보이지 않았으며, 이는 지속적으로 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )이 공급되지 못하였기 때문으로 판단된다.

**핵심 용어** : 순환골재, 고로슬래그, 수화활성도, 수산화칼슘