

# 고로슬래그 미분말의 산지 및 치환율 변화가 순환잔골재 사용 시멘트 모르타르의 특성에 미치는 영향

## Effect of the Replacement Ratio and Sources of Blast Furnace Slag Powder on the Fundamental Properties of Recycled Fine Aggregates Based Mortar

한 천 구                      자 오 양\*

Han, Cheon-Goo              Zhao Yang\*

Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naedeok-Dong, Cheongju-City, 360-764, Korea

### Abstract

In this study, the quality of blast furnace slag and the engineering properties of recycled aggregate based mortar with variable replacement of blast furnace slag have been focused. Blast furnace slag(BS) manufactured in various areas in Korea were prepared for this study. For the investigation results, 4 types(among the all of 9 types) of the experimental results were identified as below the standard level when using blast furnace slag chosen from different factories. Especially the particle size of the blast furnace slag was considered as the largest problem. When using BS in the recycled aggregates based mortar, the increase amount of blast furnace slag, increased the fluidity but delayed the setting time and decreased strength at early age. Based on the relationship of the amount of BS and the engineering properties of mortar, this study found that the amount of SO<sub>3</sub> and L.O.I affect the setting time, 3 days strength and 91 days strength to the certain standard level.

Keywords : blast furnace slag powder, recycled fine aggregates, cement mortar

### 1. 서 론

전 세계적으로는 지구 온난화 등 환경문제의 심각성을 인식함에 따라 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 배출량을 줄이려는 노력을 경주하고 있다[1]. 이에 발맞추어 국내에서도 시멘트 제조과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 발생량의 축소와 함께, 제철소 차원에서는 발생하는 부산물의 고부가가치적 처리 및 레미콘 산업측면에서는 경제적인 콘크리트 생산이 서로 맞물려, 고로슬래그 미분말(Blast furnace Slag, 이하 BS)의 활용량이 매년 증가하는 추세에 있다[2].

그러나 국내에서는 포항제철소, 광양제철소에 이어 당진 제철소가 증설됨에 따라 여러 BS 분쇄업체가 계속적으로 창업되고 있는데, 분쇄기술 및 기타혼합물 첨가 등의 차이로 말미암아 업체간 품질 차이가 다소 존재하는 것으로 감지되고 있다.

또한, 오늘날 천연골재 남용에 따른 자원 고갈 문제를 해결하기 위하여 재활용이 강조되고 있는데, 건축물의 해체 과정 중 발생하는 폐콘크리트를 순환골재로 재생산하는 것은 중요한 재활용 수단중의 하나이다. 그런데, 이 중 잔골재로 분류된 순환잔골재(Recyded Fine Appregates, 이하 RFA)의 경우는 골재표면에 미수화 시멘트를 함유하는 시멘트 모르타르 성분의 다량부착으로 인해 강알칼리성, 낮은 밀도 및 높은 흡수율에 기인하여 저급품 골재로 분류된다. 그렇지만, 순환잔골재의 알칼리성은 잠재수경성 반응을 갖는 BS의 자극제로도 활용될 수 있어, BS를 시멘

Received : November 18, 2014

Revision received : January 6, 2015

Accepted : March 2, 2015

\* Corresponding author : Zhao Yang

[Tel:82-43-229-8480, E-mail : zyang5800@gmail.com]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

트에 다량 치환하는 친환경 모르타르 혹은 콘크리트의 경우는 천연잔골재보다 효율적일 수도 있을 것으로 추측된다 [3,4,5].

그러므로 본 연구에서는 전국 BS 생산공장 중 임의로 9개 사를 선정하여 시료를 채취한 다음 품질특성 분석 및 이를 순환잔골재와 함께 사용하는 시멘트 모르타르 상태에서 플로, 응결시간, 강도 등 공학적 특성을 상호 분석하므로써 BS의 품질 특성치가 시멘트 모르타르의 공학적 특성에 미치는 영향에 대하여 분석하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획으로 먼저, BS의 생산 공장 변수는 Figure 1과 같은 7개 도의 9개 공장을 임의로 선정하였고, 물성분석은 채취된 시료를 KS F 2563(고로슬래그 미분말)의 품질항목에 따라 시험하는 것으로 하였다.

또한, BS 치환에 따른 모르타르의 특성평가 실험계획 및 배합사항은 Table 1 및 2와 같다. 즉, W/B는 50% 1수준에 대하여 배합비는 1:3으로 하였고, BS의 생산 공장별 9개 시료에 대하여 OPC에 대한 치환율을 0, 25, 50% 인 3수준으로 하여 총 19배치를 실험계획 하였다. 실험사항으로 굳지 않은 모르타르에서는 플로 및 응결시간을, 경화 모르타르에서는 재령 별 압축강도 및 휨강도를 측정하는 것으로 하였다.

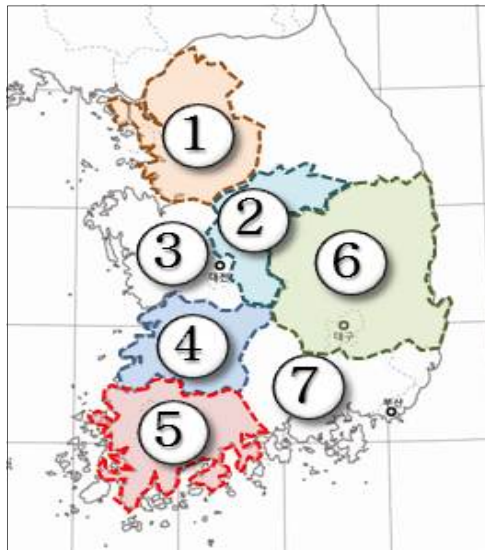


Figure 1. Position of the sampling of BS

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels	
Mixture	W/B(%)		50
	B : S	1	1 : 3
	Producing Factory of BS	9	BS1 ..... BS9
Test	BS Ratio For Series of OPC (%)	3	0, 25, 50
	Fresh Mortar	2	Flow Setting Time
	Hardened Mortar	2	Compressive Strength (3, 7, 28, 91 days) Flexural Strength (3, 28 days)

Table 2. Mixing proportions of mortar

B : S	W/B (%)	Series of OPC	Unit Content (kg/m <sup>3</sup> )			
			OPC	BS*	RFA	W
		0(plain)	451	0	1 367	226
1:3	50	25	338	113	1 362	225
		50	226	226	1 359	224

\* For the experimental plan,bs1-bs9 are divided into 9 levels

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Sound-ness (%)	Setting Time (min)		Compressive Strength(MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3 390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

### 2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료로서, OPC는 KS L 5201에 의하여 생산된 국내 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 이용하였는데, 그 물리적 특성은 Table 3과 같다. BS는 9개 공장에서 임의로 선정된 것을 사용하였는데, 그 물리 및 화학적 특성은 Table 4와 같다. 골재는 순환잔골재로서 물리적 특성은 Table 5와 같고, 기타 혼화제는 사용하지 않았으며, 물은 상수도를 이용하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저 BS의 산지 별 물성은 KS F 2563의 실험방법에 따라 국내 모 공인기관에 시험 의뢰한 결과를 분석하는 것으로 하였다. 모르타르 실험으로 굳지 않은 모르타르의 플로 및 응결시간은 KS F 5111 및 KS F 2436에 의거 실시하였고, 경화 모르타르의 압축강도 및 휨강도는 KS L 5105 및 KS F 2408에 의거 40×40×160mm의 공시체를 제작하고, 익일 탈형한 후 20±2℃의 수중에서 실험계획 된 기간 양생시킨 후 해당 재령별에서 1 GN UTM을 사용하여 강도를 측정하였다.

Table 4. Physical and chemical properties of BS

Type of BS	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	L.O.I (%)	Chemical Composition (%)					
				SiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl
BS1	2.90	3 906	0.05	59.7	24.6	1.14	15.4	0.47	0.010
BS2	2.88	3 950	0.05	43.4	36.6	2.67	12.5	0.45	0.005
BS3	2.87	3 850	0.62	45.2	33.7	2.21	12.2	0.33	0.010
BS4	2.88	3 804	1.54	41.8	36.4	3.67	12.1	0.52	0.008
BS5	2.89	3 820	0.88	41.8	34.7	2.10	12.6	0.45	0.004
BS6	2.91	3 557	0.08	41.0	36.2	1.45	13.9	0.71	0.003
BS7	2.90	3 440	0.18	43.8	35.6	1.41	13.1	0.64	0.005
BS8	2.87	3 907	0.10	39.7	38.5	1.39	14.1	0.72	0.002
BS9	2.91	4 378	0.32	26.5	45.6	2.26	16.7	0.48	0.001
Average	2.89	3 857	0.42	42.6	35.8	2.03	13.6	0.53	0.005
Standard Deviation	0.02	262.7	0.51	8.5	5.4	0.80	1.58	0.13	0.003
KS or ACI Standard	2.8 ↑	4 000~6 000	3.0 ↓	32~42	32~45	4.0 ↓	7~16	0.1~1.5	0.02 ↓

Table 5. Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M	Water Absorption Ratio (%)	Passing 0.08mm Sieve (%)
RFA	2.2	2.76	6.2	4.22

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 BS의 물리 및 화학적 특성

국내 9개 공장 BS의 물리 및 화학성분 실험 결과는

Table 4와 같다. 여기서 모든 품질 특성치는 KS규격과 비교하였으나, 단 KS에 규정이 없는 항목은 ACI규정과 비교하였다. 본 실험조사에서 각 공장 BS의 품질특성치중 KS규격이나 ACI 규정을 모두 만족하는 품질항목은 9개 품질항목 중 밀도, 강열감량, SO<sub>3</sub>량, Cl량, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>량의 총 5개 항목이었고, 1개사라도 불만족하는 항목은 4개로 나타났다는데, 그중에서도 제일 많이 불합격되는 항목은 분말도로서 BS 3종 규격인 4 000~6 000cm<sup>2</sup>/g에 BS9 1개

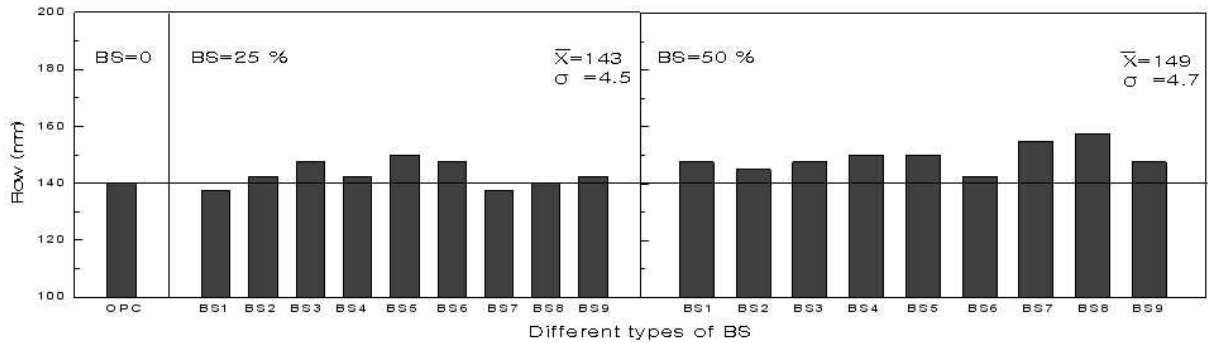


Figure 2. Flow with different types of BS

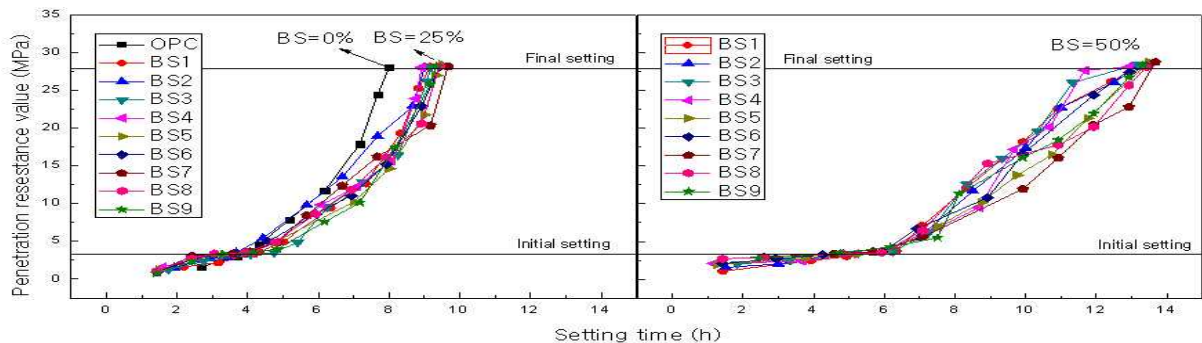


Figure 3. Penetration resistance value with different types of BS

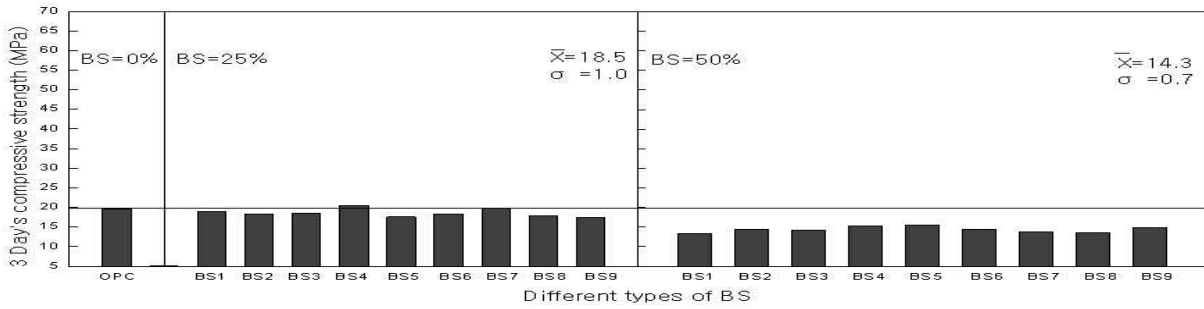


Figure 4. 3 Day's compressive strength with different types of BS

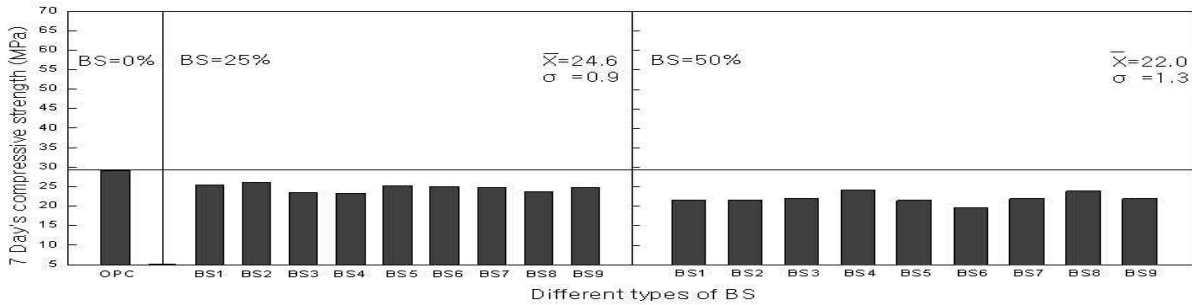


Figure 5. 7 Day's compressive strength with different types of BS

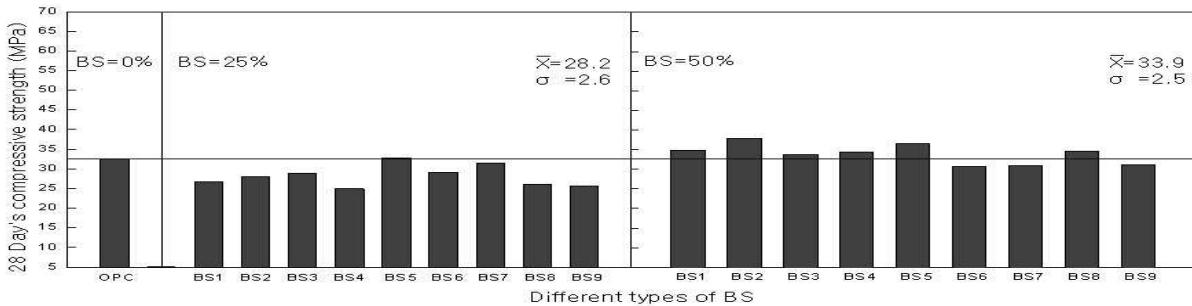


Figure 6. 28 Day's compressive strength with different types of BS

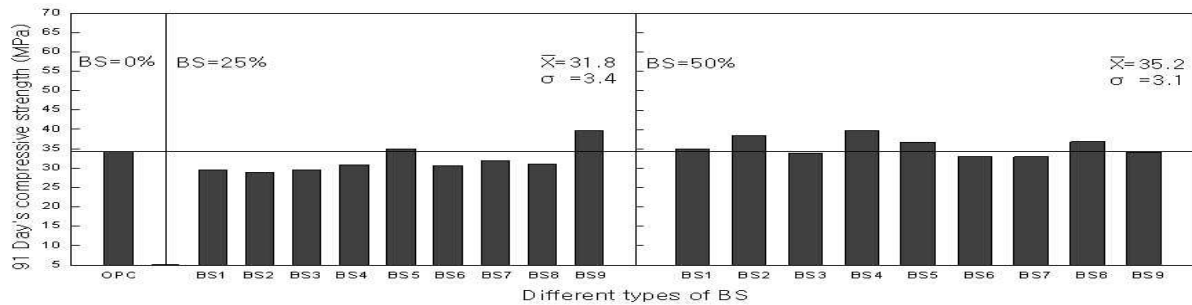


Figure 7. 91 Day's compressive strength with different types of BS

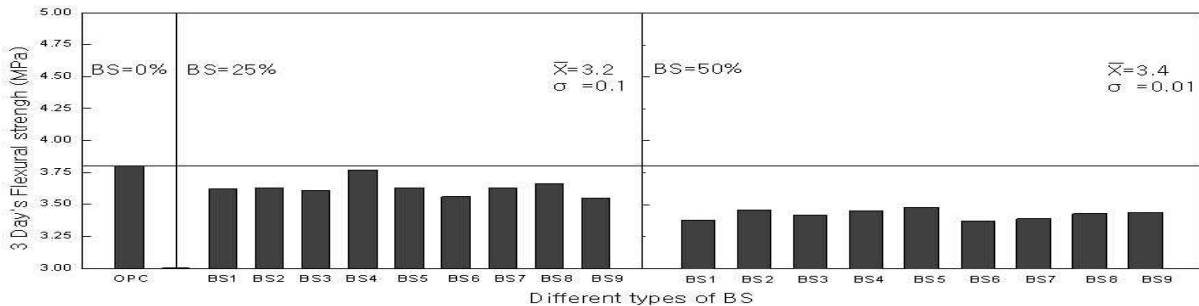


Figure 8. 3 day's Flexural strength with different types of BS

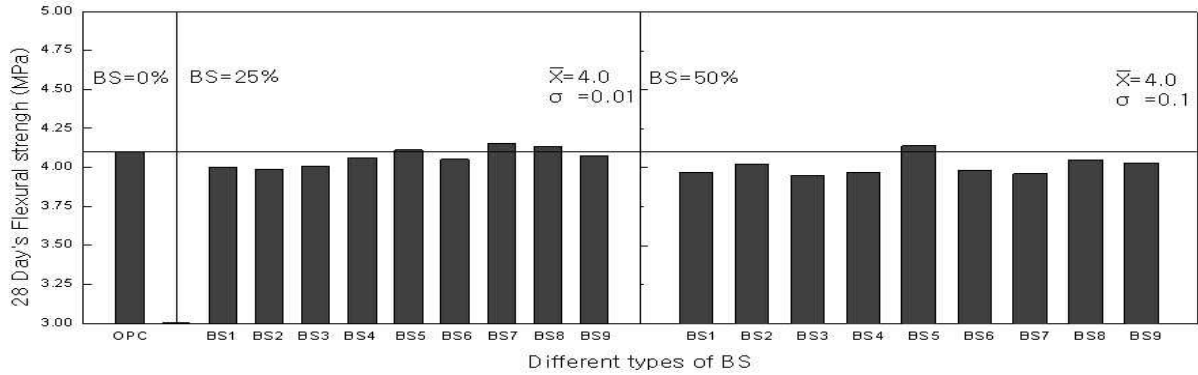


Figure 9. 28 day's Flexural strength with different types of BS

공장만이 합격하였고 8개가 불합격하는 것으로 조사되었다. 이와 같은 문제의 대책으로는 일본 JIS의 규격 등을 참조하여 분말도 4 000이하의 새로운 규격을 제정하거나, 혹은 규정준수를 요구하는 조치가 따라져야 할 것으로 사료된다. 특히 KS에는 규정이 없지만 ACI에 불합격을 나타내는 품질항목은 9개 공장 중 SiO<sub>2</sub>량은 5개, CaO량은 2개 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>량은 1개가 존재하였다.

### 3.2 굳지 않은 모르타르의 특성

본 절에서는 각 공장 별 생산된 BS의 품질이 모르타르의 특성에 미치는 영향을 분석하고자 본 실험을 진행하였다. 먼저 굳지 않은 모르타르의 특성 중 플로치에 관한 것으로 Figure 2는 BS 치환율 0, 25, 50% 별 각 공장시료의 플로치를 막대그래프로 비교한 것이다. 기존 문헌과 같이 BS의 치환율이 증가할수록 플로치는 공장 별 차이는 있을지라도 증가하는 경향이였다. 이는 BS의 매끄러운 유리질 표면에 기인하여 BS의 치환율이 증가할수록 플로치가 증가한 것으로 분석된다. 단, 산지별 BS의 품질특성치와 굳지 않은 모르타르의 플로치간에는 Table 6과 같이 특별한 상관성이 발견되지는 않고 있다. Figure 3은 응결시간으로 시간경과에 따른 프록타 관입저항치를 나타낸 것이다. 모든 공장에서 BS치환율이 증가할수록 기존문헌과 유사하게 응결시간이 지연되는 결과를 나타내었다. 공장간 품질 편차는 BS 25% 치환의 경우 및 50%치환의 경우 종결 최대치와 최소치간의 차이는 0.75시간(45분)으로 생산 공장 별 BS의 응결시간 차이는 1시간이내인 것으로 나타났다.

### 3.3 경화 모르타르의 특성

경화모르타르의 특성 분석으로 Figure 4~7은 BS 치환율 0, 25, 50% 및 재령 3, 7, 28, 91일별 각 공장시료의 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다. 전반적으로 재령 3일 및 7일에서는 BS 치환율이 증가 할수록 모두 저하하는 경향을 나타내었으나, 28일 재령에서는 BS 치환율 25%에서는 1개 공장, 50%에서 6개 공장이 OPC보다 크게 나타났고, 91일에서는 25% 치환율에서 2개 공장, 50% 치환율에서 5개 공장이 OPC 보다 크게 나타났다. 이는 기존문헌과 같이 BS의 잠재수경성반응과 관계하는 것으로서 공장 간의 차이는 SO<sub>3</sub>량 등 화학성분에 기인한 것으로 사료된다.

Figure 8 및 9는 동일요령으로 휨강도를 분석한 것이다.

전반적으로는 압축강도와 유사한 경향이지만 단, 28일 강도의 경우는 BS 25% 치환율에서 3개 공장 BS 50% 치환율에서 1개 공장이 OPC 보다 초과하는 강도값을 나타내었다.

### 3.4 BS의 특성과 모르타르의 특성간의 상관분석

Table 6은 BS의 물리·화학적 성분 항목과 시멘트 모르타르의 공학적 특성치간의 상관관계를 분석한 것이다. 단, BS 25%의 경우는 치환율이 작아 BS의 품질항목의 영향이 작게 나타나므로 50% 치환율에 대하여만 분석하였다.

50% 치환율에서 BS의 품질과 모르타르의 특성간 상관성이 대부분이 낮게 나타나고 있으므로 특별한 상관성이 없는 것으로 볼 수 있지만 L.O.I와 3일 압축강도 및 SO<sub>3</sub>량과 응결시간의 종결시간, 3일 압축강도, 91일 압축강도와 미약하지만 상관성이 있게 나타났는데, 이는 석고량이 BS의 잠재수경성 반응에 자극제 역할에 기인한 것으로 분석된다.

Table 6. The correlation of BS's physical and chemical properties and the quality of 50% BS based mortar

	Flow	Initial	Final	3day' s Compressive Strength	7day' s Compressive Strength	28day' s Compressive Strength	91day' s Compressive Strength	3day' s Flexural Strength	28day' s Flexural Strength
Density	0.02245	-0.1418	0.01757	-0.1423	0.32898	0.27971	0.2721	0.09928	-0.1397
Fineness	-0.1218	0.11543	0.08741	-0.0796	-0.021	-0.0924	0.1009	0.13804	-0.0561
L.O.I	-0.1356	-0.0608	0.02006	0.44251	0.11208	-0.1073	0.166	0.16738	-0.1340
SO <sub>3</sub>	-0.1038	-0.1427	0.40788	0.42968	0.07249	-0.0213	0.40075	0.35989	-0.1428
Cl	-0.1131	0.0995	0.16308	-0.0903	-0.12916	-0.0586	-0.1186	-0.1003	0.20471
SiO <sub>2</sub>	-0.1395	-0.1963	-0.0984	0.14999	-0.13024	0.00047	-0.1424	0.04206	-0.0171
CaO	-0.1309	-0.0461	-0.1156	0.06168	-0.10977	-0.02105	-0.1423	0.03238	-0.0574
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.1373	0.02072	-0.0907	-0.0263	-0.31139	0.06513	-0.0259	-0.0219	-0.1411
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00871	0.12048	0.15204	-0.03941	-0.14273	0.08251	-0.3622	0.07165	-0.1427

#### 4. 결 론

본 연구에서는 국내에서 생산되는 BS의 산지별 품질특성과 이의 치환율 변화가 순환잔골재 사용 시멘트 모르타르의 공학적 특성에 미치는 영향에 대하여 분석하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 9개 공장 BS의 물리·화학적 특성 측면에서 KS규격이나 ACI 규정을 모두 만족하는 항목은 9개 품질항목 중 밀도, 강열감량, SO<sub>3</sub>량, Cl량, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>량의 총 5개 항목이었고 분말도, SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 4개 항목은 불합격 공장이 존재하였다. 특히 분말도의 경우는 BS 3종 규격인 4,000~6,000cm<sup>2</sup>/g에 1개 공장만이 합격하고 8개 공장이 불합격하는 것으로 조사되었다.
- 2) 굳지 않은 모르타르의 유동성 측면에서 플로치는 BS의 치환율이 증가할수록 증가하는 경향이 나타났지만, 단, 산지차이에 따른 분말도 등 어느 품질항목도 굳지 않은 상태의 플로치와는 상관성이 거의 없게 나타났다. 응결시간은 지연되는 경향이었는데, 응결시간의 경우 종결시간은 BS 공장간 SO<sub>3</sub>량에 의해 미약한 상관성이 나타나지만 그 품질 편차는 1시간 이내로 크지 않게 나타났다.
- 3) 압축강도 및 휨강도 측면에서 BS 치환율이 증가할수록 재령 3일 7일에서는 전반적으로 저하하는 경향을 나타내었으나, 28일 및 91일 재령에서는 잠재수경성

반응으로 유사하거나 커지는 경우도 존재하였다.

- 4) BS의 물리·화학적분과 모르타르의 공학적 특성간의 관계로서 응결시간, 3 및 91일 압축강도측면에서 석고사용과 관계하는 L.O.I 및 SO<sub>3</sub>량과 미약한 상관관계가 있는 것을 알 수 있었다.

#### 요 약

본 연구에서는 우리나라에서 생산되는 고로슬래그 미분말(BS)의 품질특성과 BS의 치환율 변화가 순환골재 사용 시멘트 모르타르의 공학적 특성에 미치는 영향 및 BS 품질특성치와 모르타르의 공학적 특성치간의 상관성을 분석하고자 하였다. 분석결과 먼저 BS 품질특성은 9개 항목 중 4개 항목에서 불만족하는 공장이 존재하였는데, 이중에서도 분말도의 개선이 제일 중요하게 요구되었다. 또한, BS의 치환율이 증가할수록 순환골재사용 시멘트모르타르의 유동성은 증가하였으나 응결지연, 초기강도가 저하하는 문제는 존재하였으나, 단 잠재수경성반응으로 후기재령에서는 증가하였다. BS의 품질특성치와 시멘트 모르타르의 공학적 특성치간의 관계에서 이수석고와 관련하는 SO<sub>3</sub> 및 L.O.I는 응결시간, 3 및 91일 압축강도와 미약하지만 어느 정도 상관성이 있는 것으로 분석되었다.

**키워드** : 고로슬래그 미분말, 순환잔골재, 시멘트 모르타르

---

## Acknowledgement

This work was supported by the research grant of Cheongju University in 2014.

## References

1. Lee JH, Kim YR, Park JH, Jeong Y. Study on the Mineral Admixture Replacement Ratio for Field Application of Concrete with High Volume Mineral Admixture, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2013 Sep;1(2):93–100.
2. Kim DG. Development of Zero-Cement Brick Using Blast Furnace Slag Powder Recycled Fine Aggregates and Functional Fine Particle. [Doctor's thesis]. [CheongJu(Korea)]: CheongJu University; 2012 Dec:180 p.
3. Chol MS, Han MY, Kim MH. A Survey Report on State-of-the-Art in the Disposal and Recycling of Construction Waste, *Architectural Institute of Korea*. 1995 Apr;15(1):613–8.
4. Lee DH. Circulation for Concrete (Play) Problems and Countermeasures for the Recycling of Aggregates, *National Housing Institute of Korea*. 2004 Dec; 8(3):29–43.
5. Han CG, Lee HJ, Kim JH. Properties of High Volume Blast Furnace Slag Concrete Using Recycled Aggregate with Incineration Waste Ash, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2013 Sep;1(2):107–3.