

산업폐기물인 제강 슬래그채석을 이용한 콘크리트의 강도특성

이 봉학* · 김 태경**

Strength Properties of Concrete Using Waste Slag Aggregates as the Products of Steel Industry

Bong-Hak Lee* · Tae-Kyung Kim**

ABSTRACT

An experimental study os performed to examine the feasibility of using wastes steel furnace slag consturction materials and its utility as a replacement for the natural resources to prevent the economic loss was investigated. A half factorial exprements was performed with the variables of W/C ratio, S/A, Coarse aggregate/Slag ratio and slump as a preliminary study for optimum mix design of concrete. The results show that the W/C ratio and Slump ratio are the most important factor to the concrete strength.

The substitute of waste Slag up to 100% has little infleunce, saying that it can substitute the coarse aggregate without damaging the concrete properties.

1. 서 론

70년대 이후 급속한 산업발전과 더불어 매년 막대한 양의 산업부산물 및 폐기물이 배출되어 환경문제가 대두되면서 자원재활용에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다.

국내의 경우 포항제철, 인천제철, 광양제철 등에서 나오는 발생물량이 막대하였으

나 현재까지는 주로 연안매립이나 폐기처분에 의존하고 있는 실정에 있었다. 따라서 제철공장들은 발생폐기물에 대한 폐기장소 모색 등에 매우 큰 어려움을 겪고 있다. 이러한 실정에서 발생 부산물을 재활용 할수 있는 기술개발에 대한 연구가 시급히 요청되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 발생 부산물인 제강슬래그를 건설산업용 재료중 굵은골재로의 활용방안에 대한 연구를 수행하여, 그 활용 가능성을 검토하고 사용목적에 따른 소요강도를 얻고자 하는데 있다.

* 강원대학교 토목공학과 교수

** 강원대학교 토목공학과 시간강사

2. 실험

2.1 실험재료

2.1.1 골재

굵은골재는 춘천지역에서 생산되는 레미콘 제조용 쇄석으로 하였고, 잔골재는 홍천강유역에서 채취한 강모래를 사용하였다.

그리고, 동국철강에서 생산되는 제강 슬래그를 굵은골재에 대체용으로 사용하였다.

골재의 입도는 표준 입도곡선안에 포함될수 있도록 채가름 시험을 통해 재 조정하였으며, 실험에 사용된 골재의 특성을 Table 1, Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Physical Properties of Aggregate

Classification	Coarse Agg.	Fine Agg	Slag
	Crushed Stone	River Sand	Crushed Stone
Size(mm)	<25	<5	<25
Specific Gravity	2.64	2.60	3.01
Absorption(%)	0.91	1.23	3.45
Fineness Modulus	6.63	2.99	6.41

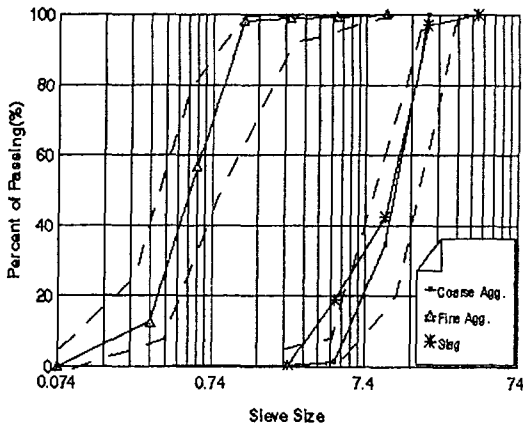


Fig.1 Gradations of Aggregate Used

2.1.2 시멘트 및 감수제

시멘트는 비중 3.12인 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 또한

본 실험에서는 국내 K사 제품인 AE제를 사용하였으며, 비중은 1.18 ± 0.02 이고, 암갈색의 색상을 갖는 재료이다.

2.2 실험방법 및 범위

굵은골재 대체용으로 제강 고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 위하여 굵은골재에 대한 제강슬래그의 치환율, 물-시멘트비, 잔골재율, 슬럼프를 주요 변수로 하여 ①~⑧까지의 순서(Order)로 Table 2 와 같이 배합설계를 하였다. 슬래그 쇄석을 굵은골재로 치환한 콘크리트의 강도특성에 미치는 요인을 파악하기 위한 목적으로 실험배치를 축소시킬수 있고 결과분석이 가능한 Half factorial design을 선택하였다.

콘크리트의 비빔은 굵은골재와 잔골재를 강제식 믹서기를 이용, 30초간 건비빔을 실시한 후, 시멘트와 물을 2/3정도 넣고 1분30초간 비빔, 나머지 물을 넣고 1분30초간 2차비빔을 실시하였다. 다짐은 탁상식 바이브레이터를 이용하여 2층 다짐을 실시하였으며, 각 요인별로 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 8개 제작(압축강도용 5개, 인장강도용 3개) 하였으며, 경화된 콘크리트를 대상으로 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 온도를 유지하면서 28일 동안 수중양생을 실시하였다. 또한 목표 슬럼프값을 조정하기 위하여 유동화제의 첨가량을 달리하여 조정하였다.

Table 2 Half Factorial Experimental Design

S L U M P	C : S	100 : 0		0 : 100	
		35	50	35	50
30	5	①			④
	15		③	②	
40	5		⑦	⑥	
	15	⑤			⑧

note : [C:S] = Coarse Agg : Slag

또한, 재령 28일에서 강도 특성을 규명하기 위하여 KS F 2405 및 KS F 2423에 규정된 시험방법에 의해 압축강도와 인장강도 실험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

제강슬래그를 굵은골재로 치환하기 위하여 여러 가지 변수와 요인에 의해 실험을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다.

표에서 보여주듯이, 변수와 요인의 변화에 따라 다소의 강도차이를 보이고 있으며, 각 경우에 대해 다소 큰 분포의 강도의 발현을 보여주고 있는데, 이는 제강슬래그 골재의 다공성이 파괴양상에 영향을 주기 때문이라 판단된다.

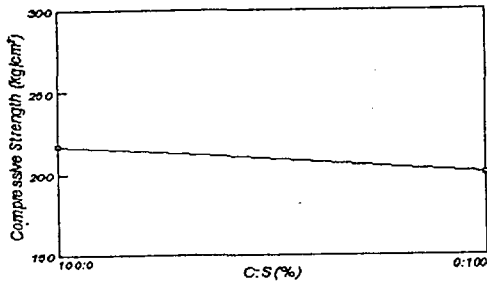


Fig. 2 Effect of C/S to Compressive Strength

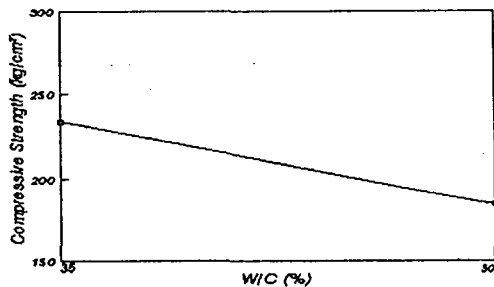


Fig. 3 Effect of W/C to Compressive Strength

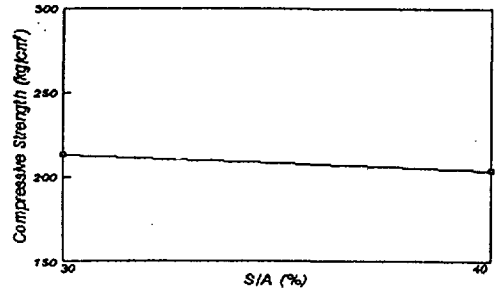


Fig. 4 Effect of S/A to Compressive Strength

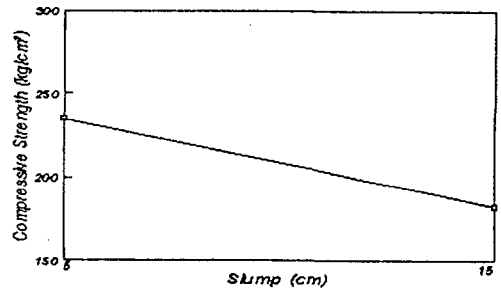


Fig. 5 Effect of Slump to Compressive Strength

Table 3의 실험 결과를 토대로 하여 Table 4 및 Fig.2~Fig.8에 실험변수들의 중요도와 상호관계를 분석하여 나타내었다.

먼저, Table 4의 Anova Test의 결과로부터 각 변수들의 변화에 대한 압축강도와와의 관계를 살펴보면, 슬럼프가 가장 크게 강도에 영향을 미치는 인자로 나타났고, 물-시멘트 비도 어느 정도 강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한, Fig.6~Fig.8에서는 제강슬래그의 굵은골재 치환율에 대해 슬럼프가 강도에 영향을 미치고 있는 인자로 나타났다.

Table 3. Strength Test Result of Specimen

Run order	A	B	C	D	Compressive Strength (Kg/cm ²)					Tensile Strength (Kg/cm ²)		
					Mean (St.Dev)					Mean(St.Dev)		
1	-	-	-	-	233	236	243	191	376	32.6	22.9	28.0
					256(61.24)					27.8(4.18)		
2	+	-	-	+	165.5	280.8	189.7	224.1	193.5	36.9	26.1	26.4
					196.3(92.38)					29.8(5.02)		
3	-	+	-	+	208.8		192.3	140.1	191.0	25.8	18.5	17.5
					183.1(25.41)					20.6(3.69)		
4	+	+	-	-	241.9	248.3	212.6	188.4	207.5	35.7	36.6	26.4
					219.7(22.70)					32.9(4.61)		
5	-	-	+	+	193.5	215.2	290.3	235.6	184.6	32.5	26.4	21.7
					223.8(37.89)					26.9(4.21)		
6	+	-	+	-	241.9	264.8	249.6	303.0	231.7	23.9	25.8	23.1
					258.2(24.87)					24.3(0.58)		
7	-	+	+	-	194.8	174.4	191.0	277.6	198.6	22.0	22.5	19.3
					207.3(36)					21.3(0.74)		
8	+	+	+	+	118.4	114.6	146.4	135.0	127.3	13.7	13.4	12.4
					128.3(11.91)					13.2(0.75)		

A : Coarse Agg : Slag B : W/C, C : S/A, D : Slump

Table 4. Analysis of Variance of the Strength Test Result

	Source	Sum-of-squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Compress Strength (kg/cm ²)	A	578	1	5878	0.294	0.6071
	B*	4082	1	4082	3.809	0.0988
	C	180.5	1	1803.5	0.089	0.7757
	D*	5512.5	1	5512.5	4.826	0.0704
	A×B	32	1	32	1.925	0.2399
	A×C	60.5	1	60.5	0.316	0.8536
	A×D	1200.5	1	1200.5	2.426	0.1835
	B×C	6090.5	1	6090.5	2.426	0.1835
	B×D	758.5	1	758.5	0.163	0.8536
	C×D	758.5	1	758.5	2.426	0.1835
	Error	979201.55	64	15300.024		
Tensile Strength (kg/cm ²)	A	1.125	1	1.125	0.024	0.8810
	B	55.125	1	55.125	1.485	0.2688
	C	91.125	1	91.125	2.928	0.1379
	D	28.125	1	28.125	0.676	0.4425
	A×B	3.125	1	3.125	0.635	0.5681
	A×C	78.125	1	78.125	1.242	0.3647
	A×D	21.125	1	21.125	0.294	0.7572
	B×C	29.25	1	29.25	0.294	0.7572
	B×D	92.25	1	92.25	1.242	0.3647
	C×D	29.25	1	29.25	0.294	0.7572
	Error	8735.465	64	136.49		

* statistically significant at the 90% level of confidence

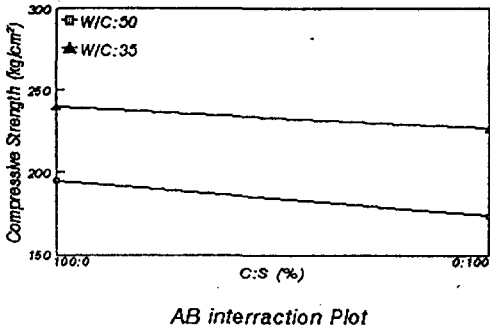


Fig. 6 Compressive Strength(AB)

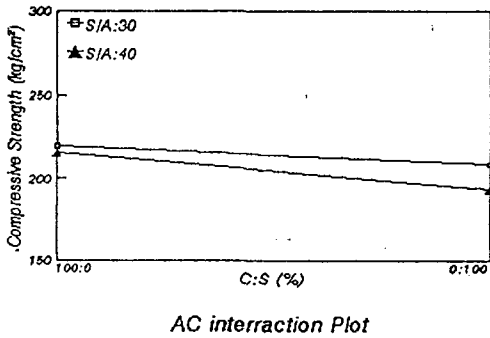


Fig. 7 Compressive Strength(AC)

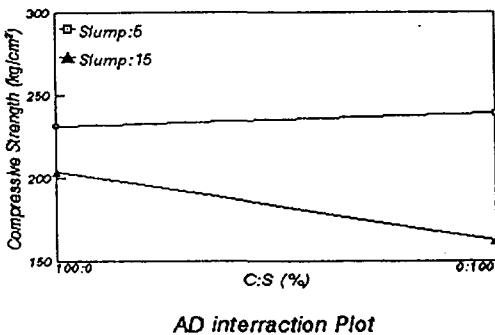


Fig. 8 Compressive Strength(AD)

Fig.2~Fig.5에서 알 수 있듯이 제강슬래그의 굵은골재 치환율 및 잔골재율은 Low에서 High로 증가함에 따라 강도에 큰 차이를 보이지 않고 있지만, 물-시멘트비 및 슬럼프의 경우 큰 폭의 강도감소를 보여주고 있다.

또한, 제강슬래그의 굵은골재 치환율이 Low에서 High로 증가함에 따라 물-시멘트비 35%, 잔골재율 30%, 슬럼프 5cm인 경우에는 강도의 변화가 비교적 작지만, 물-시멘트비 50%, 잔골재율 40%, 슬럼프값 15cm인 경우에는 강도가 다소 크게 감소함을 보여주고 있다.

4. 결론

제강슬래그를 굵은 골재로 치환한 콘크리트의 강도특성에 대해 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 압축강도에 영향을 미치는 인자로서 슬럼프가 가장 큰 것으로 나타났고, 물-시멘트비도 어느 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2) 제강슬래그의 굵은골재 치환율의 증가에 대해 슬럼프만이 강도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

3) 제강슬래그의 굵은골재 치환율을 100%까지 실시하였을 경우 강도가 약간 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 제강슬래그의 굵은골재 치환이 가능함을 의미한다.

4) 향후 과제로는 기초적 연구결과를 바탕으로 주요변수 및 범위를 재설정하여 실험을 실시한 후 결과를 분석하여 최적배합설계를 제시하고 내구성을 파악해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 “강원대학교 석재복합 신소재연구센터”의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] A.F Abbasi, Munir Ahmad, and Mohamad Wasim, “Optimization of Concrete Mix Proportioning Using Reduced Factorial Experimental Technique”, ACI Material Journal, January-February 1987, pp. 55~63
- [2] Ahmed E. Ahmed and Ahmed A.El-Kourid, “Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand”, ACI Material Journal, July-August, 1989, pp. 417- 424
- [3] Andrej Krysztafkiewicz and Marek Maik, “ Waste Cement Dusts as Fillers for Rubber Compounds”, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol. 14, pp. 776-784, 1984.
- [4] Jubal D. Hamermik and Gregory C. Frantz, “ Strength of Concrete Containing Municipal Solid Waste Fly Ash ”, ACI Material Journal, September-October 1991, pp. 508- 517
- [5] 문 한영 외 3명, “ 고로슬래그 분말을 사용한 고강도 콘크리트의 기초적 성질에 관한 연구” 대한콘크리트학회, 1995, 봄학술발표회, pp, 30~35
- [6] 문 한영 외 1명, “콘크리트용 혼화제로서 고로슬래그 미분말의 품질에 관한 연구” 대한토목학회논문집, 제14권, 제4호, 1994년, pp. 721~pp728
- [7] 오 병환 외 1명, “플라이 애쉬 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회지, 제3권 2호, 1991 .6, pp. 87~ 95
- [8] R.N. Swamy and Ammar Bouikni “ Some Engineering Properties of Slag Concrete as Influenced by Mix Proportioning and Curing”, ACI Material Journal, May-June 1990, pp, 210 ~ 225
- [9] W. Gutt 외 2명, “Blast furnace Slag as aggregate for Concrete” Magazine of Concrete Research, Vol. 26, No, 88, 1974.9.
- [10] W. Gutt 외 2명, “The Use of Light- Weight Blast furnace Slag as dense coarse aggregate in Concrete,” Magazine of Concrete Research, Vol. 26, No, 88, 1974.9.