

현무암을 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 위한 기초적 연구

정 영화* · 김 태경**

Preliminary Study for Optimum Mix Design of Concrete Incorporating Waste Basalt

Young-Hwa Jung * · Tae-Kyung Kim **

ABSTRACT

The waste basalt might be recycled in concrete, resulting in energy saving and environmental protection. An half Factorial Experiments were performed with the variables of W/C ratio, S/A, Crushed stone/Basalt ratio and Slump as a preliminary study for optimum mix design of concrete. The results show that the W/C ratio is the most important factor to the concrete strength.

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

1. 서론

현재 건설공사의 급증으로하여 천연골재가 부족해짐에 따라 콘크리트용 골재의 구입난이 점차 심각해지고 있는 실정이다.

우리나라의 경우 제주 및 철원 지역은 다공성인 현무암이 과거 화산활동으로 인해 상당량이 매장되어 있음에도 불구하고 현재 하루방이나 맷돌, 조경용 공작품을 제작하거나 계단, 경계블럭 등에 사용되고 있다.

그러나, 제주도에서는 인건비 상승 및 3D현상으로 이미 이 산업이 사양화되고 있

으며, 무엇보다도 제주도와 철원에서는 잔류폐기물 처리 문제로 고심하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 현무암 제품 생산 중 남게 되는 잔류폐기물을 처리하여 환경오염을 방지하고, 아울러 철원지역에 다량으로 매장되어 있는 현무암을 적절하게 이용하여 국민소득증대에 기여함은 물론 천연골재의 고갈로 인한 건설공사의 어려움을 해소하며, 또한 사하중을 경감시켜 구조물의 단면을 절약하고 모양을 날렵하게 하는데 기여코자 철원지역 천연 현무암을 경량골재로 하는 경량콘크리트를 개발하고자 한다.

아울러 천연경량골재를 이용한 콘크리트의 설계시공지침이나 매뉴얼을 만드는데 기초자료를 제공하는데 기여코자 한다.

* 강원대학교 토목공학과 교수

** 강원대학교 토목공학과 시간강사

2. 실험

2.1 실험재료

2.1.1 골재

굵은 골재는 춘천지역에서 생산되는 최대치수 25mm인 레미콘 제조용 쇠석으로 하였고, 잔골재는 홍천강유역에서 채취한 강모래를 사용하였다.

그리고, 철원지역에서 생산되는 현무암을 굵은골재에 치환하여 사용하였다. 사용된 골재의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

2.1.2 시멘트

시멘트는 비중 3.12인 국내 S사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.3 AE감수제

국내 K사 제품으로 비중 1.18인 AE감수제를 사용하였다.

Table 1. Physical Properties of Aggregates

Type of Agg.	Gravity	Absorption (%)	Fineness Modulus
Crushed stone	2.64	0.91	6.63
Basalt	2.57	3.55	7.16
Fine Agg.	2.60	1.23	2.99

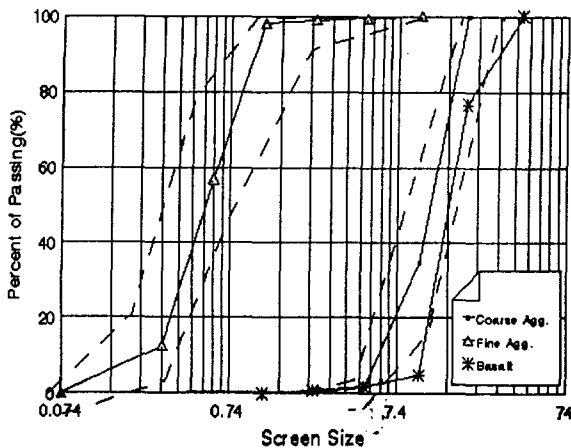


Fig. 1 Gradations of Aggregates Used

2.2 실험방법 및 범위

콘크리트에 있어 굵은골재 치환용으로 현무암을 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 위해 굵은골재에 대한 현무암의 치환율, 물-시멘트비, 잔골재율, 슬럼프를 주요 변수로 하여 Table 2와 같이 배합설계를 하였다.

콘크리트의 비빔은 굵은골재와 잔골재를 강제식 믹서에 넣고 30초간 건비빔을 실시한 후, 시멘트와 물을 2/3정도 넣고 1분30초간 비빔 다음, 나머지 물을 넣고 1분30초간 재비빔을 실시하였다. 다짐은 탁상식 바이브레이터를 이용하여 2층으로 나누어 다짐을 실시하였다. 각 요인별로 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체를 8개 제작하였으며, $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 수중에서 28일 동안 양생을 실시하였다.

그리고, KS F 2405 및 KS F 2423에 규정된 방법에 의해 압축강도와 인장강도 실험을 실시하였다.

Table 2. Half Factorial Experimental Design

S / A	SLUMP	C / B	
		100 : 0	0 : 100
30	5	①	④
	15	③	②
40	5	⑦	⑥
	15	⑤	⑧

3. 결과 및 고찰

ANOVA Test를 이용해 현무암을 혼입한 콘크리트를 대상으로 여러 변수 및 요인에 의해 실험을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Strength Test Results

Run order	A	B	C	D	Compressive Strength (Kg/cm ²)					Tensile Strength (Kg/cm ²)		
					Mean (St.Dev)					Mean(St.Dev)		
1	-	-	-	-	331	337	242	331	280	38.2	24.2	27.0
					304(38.92)					29.8(6.05)		
2	+	-	-	+	217	185	232	267	231	22.9	20.1	35.6
					226(29.69)					26.2(6.47)		
3	-	+	-	+	134	143	206	176	160	23.9	16.6	24.2
					164(24.24)					21.6(3.30)		
4	+	+	-	-	245	66	97	191	224	23.9	27.75	17.5
					165(69.75)					23.0(4.39)		
5	-	-	+	+	190	167	211	194	192	25.5	30.2	24.2
					191(11.00)					26.6(2.90)		
6	+	-	+	-	408	350	261	337	446	37.9	25.7	24.2
					360(65.68)					29.3(5.97)		
7	-	+	+	-	200	259	264	242	245	22.3	20.4	29.9
					242(22.57)					24.2(4.10)		
8	+	+	+	+	173	113	204	178	167	17.5	25.5	20.7
					167(29.81)					21.2(3.50)		

* A - Crushed stone:Basalt 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	36.125	1	36.125	0.006	0.9411
	B*	14706.125	1	14706.125	4.039	0.0912
	C	1275.125	1	1275.125	0.217	0.6579
	D	13041.125	1	13041.125	3.328	0.1179
	A×B	3403.125	1	3403.125	0.616	0.4624
	A×C	3655.125	1	3655.125	0.667	0.4454
	A×D	435.125	1	435.125	0.072	0.7970
	B×C	3655.125	1	3655.125	0.667	0.4454
	B×D	435.125	1	435.125	0.072	0.7970
	C×D	3403.125	1	3403.125	0.616	0.4624
	Error	19872.743	64	310.51		
Tensile Strength (kg/cm ²)	A	2.000	1	2.000	0.163	0.7002
	B*	60.50	1	60.50	24.20	0.0027
	C	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
	D	12.50	1	12.50	1.190	0.3171
	A×B	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
	A×C	0.500	1	0.500	0.040	0.8481
	A×D	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
	B×C	0.500	1	0.500	0.040	0.8481
	B×D	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
	C×D	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
	Error	3672.8	64	57.39		

* Statistically significant at the 90% level of confidence

Table 3에서 알 수 있듯이, 실험 변수들의 상호작용(interaction)에 의해 강도 차이가 나타나고 있으며, 표준편차를 보면 분산정도가 다소 크게 나타나는데 이는 실험의 오차와 품질관리의 불량으로 판단되어진다.

Table 3의 실험 결과를 바탕으로 실험 변수들의 중요도 및 상호작용을 분석하여 Table 4 및 Fig.2~Fig.7에 각각 나타내었다.

먼저, Table 4의 ANOVA Test 결과로부터 주요 변수들의 변화가 강도에 미치는 영향을 살펴 보면, 물-시멘트비의 경우가 가장 크게 나타났고, 슬럼프, 잔골재율, 현무암의 굵은골재 치환율 순으로 나타남을 알 수 있다.

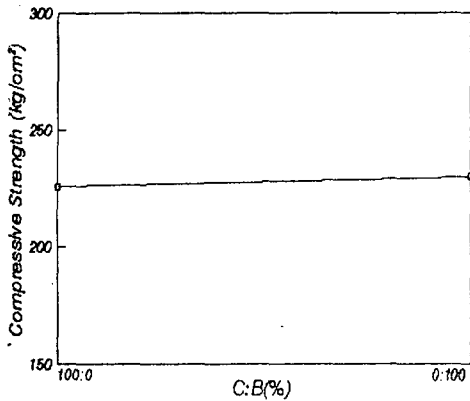


Fig. 2 Effect of C/B to Compressive Strength

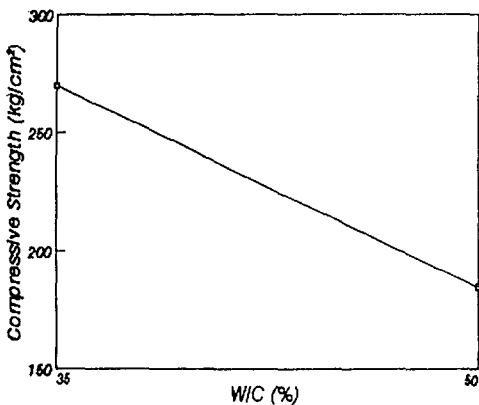


Fig. 3 Effect of W/C to Compressive Strength

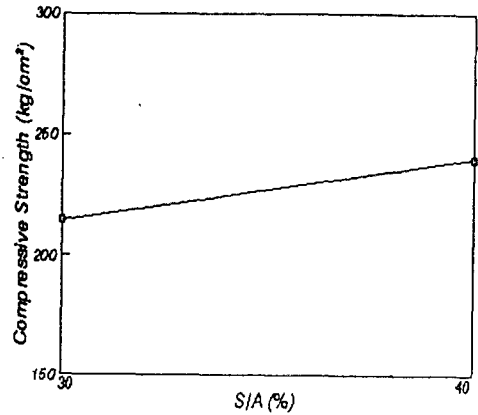


Fig. 4 Effect of S/A to Compressive Strength

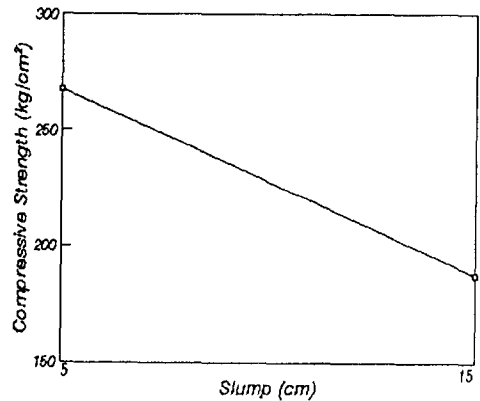
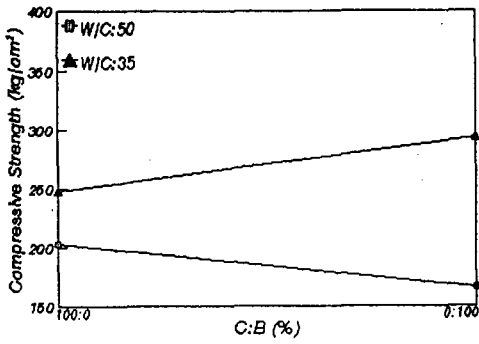


Fig. 5 Effect of Slump to Compressive Strength

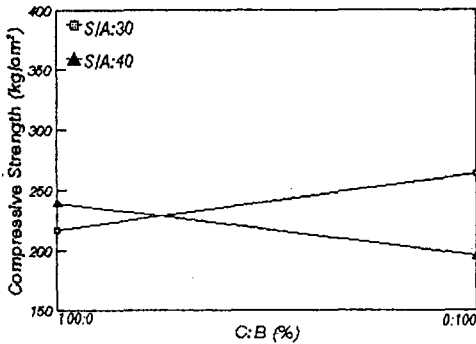
Fig. 2~5에서 보여주듯이, 현무암 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 강도가 약간 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 현무암의 굵은골재로서의 치환이 가능함을 보여주고 있는 것이다. 또한, 잔골재의 함유량이 증가함에 따라 강도는 다소 증가하였으나, 물-시멘트비, 슬럼프의 증가에 따라서는 압축 강도가 크게 감소하는 경향을 보여주었다.

그리고, Fig. 6~8에서 알 수 있듯이, 굵은골재로서 현무암의 치환율이 증가함에 따라 물-시멘트비가 35%, 잔골재율이 30%이면 강도가 증가하고 물-시멘트비 50%, 잔골재율 40%이면 감소하는 것으로 나타났다.



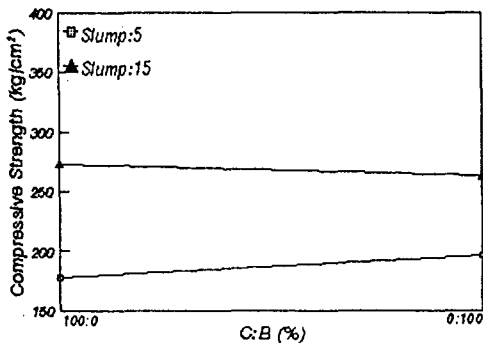
AB interaction Plot

Fig. 6 Compressive Strength(AB)



AC interaction Plot

Fig. 7 Compressive Strength(AC)



AD interaction Plot

Fig. 8 Compressive Strength(AD)

그러나, 굵은골재로서 현무암의 치환율이 증가함에 따라 슬럼프는 강도에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

굵은골재를 현무암으로 100%치환했을 경우 물-시멘트비 50%, 잔골재율 30%, 슬럼프 5cm일 때는 공시체 표면에 상당한 큰 공극이 생겨서 강도가 작게 나타났는데, 이는 현무암 골재가 다공성이기 때문인 것으로 판단된다.

이와 같은 결과로부터 현무암의 굵은골재 치환율에 대해 물-시멘트비, 잔골재율 및 슬럼프의 변수들이 압축강도에 커다란 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

1) 일반쇄석골재를 사용하였을 때와 비교하여 현무암을 골재로 사용하였을 때 콘크리트의 압축강도는 저하되지 않았으며, 오히려 미미하나마 증가하는 것을 알 수 있었다.

2) 콘크리트의 압축강도를 높이려면 물-시멘트가 적어야 하는 것이 일반적인 것임을 전제로 하고, 물-시멘트비(W/C)가 높을 때는 일반쇄석골재를 사용했을 때에 비해 현무암을 골재로 사용했을 때 콘크리트의 압축강도가 저하되나 물-시멘트비가 낮을 때는 이와는 반대로 현무암을 썼을 때 일반쇄석골재를 썼을 때보다 콘크리트의 압축강도가 상당히 커지는 것을 알 수 있었다.

3) 잔골재율(잔골재량/전체골재량, S/A)이 높을 때는 일반쇄석골재를 썼을 때가 현무암 골재를 썼을 때보다 콘크리트의 압축강도가 크지만 잔골재율이 적을 때는 이와 반대로 현무암골재를 썼을 때가 일반쇄석골재를 썼을 때보다 콘크리트의 압축강도가 상당히 크게 나타남을 알 수 있었다.

결론적으로, W/C가 높을 때나 S/A가 클 때를 제외하고는 현무암을 일반쇄석골재의

대체용으로 사용하여도 콘크리트의 압축강도에는 큰 문제가 없음을 알았다. 다만, 현우암 골재를 썼을 경우 콘크리트의 유동성이 저하되어 시공성이 떨어질 우려가 있고, 동결융해 및 화학저항성이 저하될 우려가 있다고 생각되므로 이들에 대한 연구가 보충되어야 할 것이다.

감사의 글

“본 연구는 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.”

참고 문헌

- [1] Buck, A. D., "Recycled Concrete", Highway Research Record 430, HRB, 1973, pp. 1-8.
- [2] 최 광일 외 3명, "제주도 골재를 사용한 콘크리트의 실험적 연구", 한국콘크리트학회지, 제7권 1호, 1995.5, pp 148~153.
- [3] Douglas C. Montgomery, "Design and Analysis of Experiments", Third edition, Wiley.
- [4] Forster, S. W., "Recycled Concrete as a Source of Aggregate", ACI Journal, Title No. 74-22, May 1977, pp.212-219.
- [5] Hansen, T. C., "Recycled Concrete Aggregate and Fly Ash Produce Concrete without Portland Cement", Cement and Concrete Research, Vol. 20, 1990, pp.355-356.
- [6] Hansen, T. C., "Recycling of Demolished Concrete and Masonry", Part 1, Report of Technical Committee 37-DRC, RILEM, E & FN Spon, London, 1992, pp, 1-160.
- [7] Hansen, T. C., and Narud H., "Recycled Concrete and Fly Ash make Calcium Silicate Bricks", Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 4, 1983, pp. 505-510.
- [8] 김진만, 유광우, 남상일, 김무한., "재생골재 콘크리트의 구조체적용성에 관한 실험적 연구(제2보)", 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 8집, 동국대학교, 1993.
- [9] 이상수, 최민수, 김진만, 남상일, 김무한., "재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합조건의 영향에 관한 실험적 연구(제 1보)", 건국대학교, 1993.
- [10] Rasheeduzzafar, and Khan, A., "Recycled Concrete-A Source for New Aggregate", Cement, Concrete, and Aggregates, Vol. 6, No. 1, 1984, pp. 17-27.
- [11] Yrjinson, W. A., "Recycling of Portland Cement Concrete Pavements", NCHRP Syn. 154, TRB, December 1989.