

## 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 위한 기초적 연구

박 제선\* · 김 태경\*\*

### Preliminary Study for Optimum Mix Design of Concrete Incorporating Waste Foundry Sand

Je-Seon Park\* · Tae-Kyung Kim\*\*

---

#### ABSTRACT

The waste foundry sand 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, Sand/Waste foundry sand 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 foundry sand up to 30% has little influence, saying that it can substitute the fine aggregate without damaging the concrete properties.

---

#### 1. 서 론

산업부산물 또는 폐기물은 전 세계적으로 막대한 양이 배출되고 있으며 앞으로도 계속 될 전망이다. 우리나라의 경우에는 70년대 이후 급속한 산업발전이 이루어 졌으나, 환경보전이 매우 등한시 되어 왔고, 천연자원의 고갈과 함께 환경문제로 대두되면서 자원 재활용이 활발히 논의되고 있다

본 연구에서는 주물공장의 폐기물인 폐주물사를 대상으로 하였는바, 이는발생물량이 막대하고 계속적으로 누적되어온 상태

이기 때문에 방치 할 수 없는 단계에 와 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 주물공장에서 발생하는 산업폐기물인 폐주물사를 건설산업용 콘크리트 재료로서 재활용하기 위한 방안에 대한 연구를 수행함으로써, 그 활용가능성을 구명하고자 한다.

#### 2. 실험

##### 2.1 실험재료

###### 2.1.1 골재

굵은골재는 춘천지역에서 생산되는 쇠석을 사용하였고, 잔골재는 홍천강유역에서 채취한 강모래를 사용하였다.

---

\* 강원대학교 토목공학과 교수

\*\* 강원대학교 토목공학과 시간강사

그리고, 산업폐기물인 주물사는 잔골재 대체용으로 혼화재로서 사용하였으며, 화학적성질은 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. Chemical Properties of Foundry Sand

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	LOI (%)
87.3	5.03	1.29	0.15	0.01	0.37	0.42	1.56	0.47	0.03	2.91

Table 2 . Physical Properties of Aggregate

Classification	Coarse Agg.	Fine Agg.	Fine Agg.
	Crushed Stone	River Sand	Foundry Sand
Size(mm)	<25	<5	<1.18
Specific Gravity	2.64	2.60	2.43
Absorption (%)	0.91	1.23	1.63
Fineness Modulus	6.63	2.99	1.15

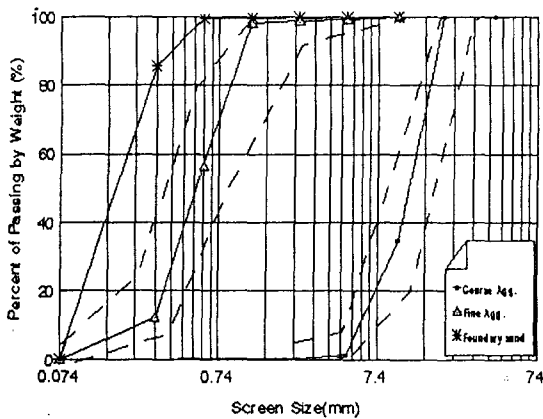


Fig .1 Gradations of Aggregate Used

### 2.1.2 시멘트

시멘트는 국내 S사 제품으로 비중 3.10인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다

### 2.1.3 감수제

본 실험에서는 국내 K사 제품인 AE 감수제를 사용하였으며, 비중은  $1.18 \pm 0.02$  이고, 암갈색의 색상을 갖는다.

## 2.2 실험방법 및 범위

잔골재 대체용으로 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 위하여 잔골재에 대한 폐주물사의 치환율, 물-시멘트비, 잔골재율, 슬럼프등을 주요 변수로하여 Table 3 와 같이 배합설계를 하였다.

콘크리트의 비빔은 굵은골재와 잔골재를 강제식 믹서에 넣고 30초간 건비빔을 실시한 후, 시멘트와 물을 2/3정도 넣고 1분30초간 비비고, 나머지 물을 넣은 다음 1분30초간 재비빔을 실시하였다.

다짐은 탁상식 바이브레이터를 이용하여 2층 다짐을 실시하였으며, 각 요인별로  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 8개 제작하여,  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 인 수중에서 28일 동안 양생을 실시하였다

그리고 KSF 2405 및 KSF 2423에 규정된 시험방법에 의해 압축 및 인장시험을 실시하였다.

		S/P		W/C	
		100 : 0	70 : 30	35	50
30	5	①			④
	15		③	②	
40	5		⑦	⑥	
	15	⑤			⑧

Table 3 .Half Factorial Experimental Design

Table 4. Strength Test Results

Run order	A	B	C	D	Compressive Strength (Kg/cm <sup>2</sup> )					Tensile Strength (Kg/cm <sup>2</sup> )		
					Mean (St.Dev)					Mean(St.Dev)		
1	-	-	-	-	382	230	280	280	203	33.44	33.44	26.27
					257(61.17)					31.05(3.38)		
2	+	-	-	+	172	255	280	255	253	23.08	25.47	25.10
					243(36.87)					24.55(1.05)		
3	-	+	-	+	197	191	201	166	185	21.34	30.89	20.70
					188(12.26)					24.31(4.66)		
4	+	+	-	-	232	236	210	266	164	23.96	31.85	25.08
					222(31.15)					26.96(3.51)		
5	-	-	+	+	168	160	158	210	256	19.43	30.89	28.34
					190(39.81)					26.22(4.91)		
6	+	-	+	-	288	236	164	260	267	23.57	30.25	21.00
					243(42.85)					24.94(3.90)		
7	-	+	+	-	139	191	199	200	231	18.15	23.96	17.25
					192(29.81)					19.87(2.94)		
8	+	+	+	+	134	213	210	152	155	23.97	25.79	17.87
					173(31.33)					22.54(3.41)		

\* A: S/P B: W/C C: S/A D: Slump

Table 5. Analysis of Variance of the Strength Test Result

	Source	Sum-of-squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Compress Strength ( kg/cm <sup>2</sup> )	A	162.0	1	162.0	0.112	0.7495
	B*	3872.0	1	3872.0	4.658	0.07495
	C	2112.5	1	2112.5	1.879	0.2196
	D	2380.5	1	2380.5	2.205	0.1881
	A×B	4.50	1	4.50	0.003	0.9578
	A×C	128.0	1	128.0	0.088	0.7768
	A×D	200.0	1	200.0	0.139	0.7225
	B×C	190.125	1	190.125	0.130	0.7305
	B×D	120.125	1	120.125	0.082	0.7847
	C×D	6.125	1	6.125	0.004	0.9510
	Error	791179.23	64	12362.18		
Tensile Strength ( kg/cm <sup>2</sup> )	A	0.125	1	0.125	0.011	0.9213
	B	25.125	1	25.125	2.548	0.1616
	C	21.125	1	21.125	2.548	0.1616
	D	3.125	1	3.125	0.277	0.6177
	A×B	21.125	1	21.125	2.548	0.1616
	A×C	3.125	1	3.125	0.277	0.6177
	A×D	1.125	1	1.125	0.097	0.7663
	B×C	1.125	1	1.125	0.097	0.7633
	B×D	3.125	1	3.125	0.277	0.6177
	C×D	21.125	1	21.125	2.548	0.1616
	Error	9858.76	64	154.04		

\* Statistically significant at the 90% level of confidence

### 3. 결과분석 및 고찰

폐주물사를 혼입한 콘크리트를 대상으로 여러 변수 및 요인에 의해 실험을 실시한 결과를 Table 4에 나타내었다.

이 결과에서 보여주듯이, 변수와 요인의 변화에 따라 강도 차이는 보이고 있으며, 각 경우 분산정도가 다소 크게 나타났는데 이는 콘크리트 품질관리 및 실험의 오차로 판단되어진다.

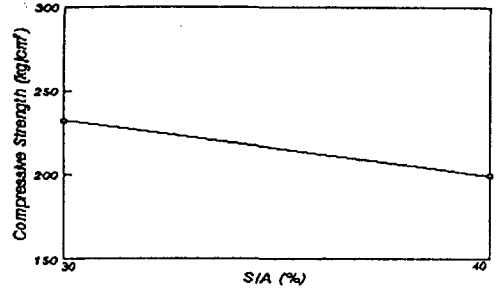


Fig. 4 Effect of S/A to Compressive Strength

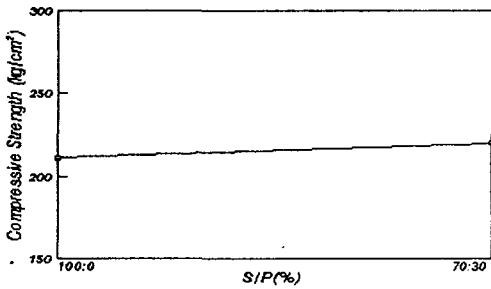


Fig. 2 Effect of S/P to Compressive Strength

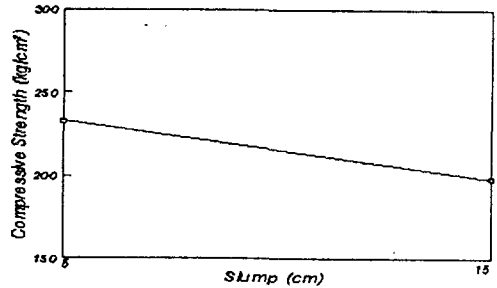


Fig. 5 Effect of Slump to Compressive Strength

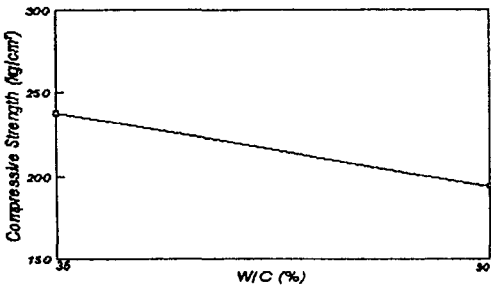


Fig. 3 Effect of W/C to Compressive Strength

Table 4의 실험 결과를 바탕으로 실험 변수들의 중요도 및 상호관계를 분석하여 Table 5 및 Fig.2~Fig.8 에 각각 나타내었다.

먼저, Table 5의 Anova Test의 결과로부터 주요 변수들의 변화가 강도에 미치는 영향을 살펴보면, 물-시멘트비의 경우가 가장 크게 나타났고, 슬럼프, 잔골재율, 주물사의 잔골재 치환율 순으로 나타났다.

또한, 주물사의 잔골재 치환율에 물-시멘트비 및 잔골재율, 슬럼프 인자의 순으로 강도에 영향을 크게 미치고 있음을 보여 주고 있다.

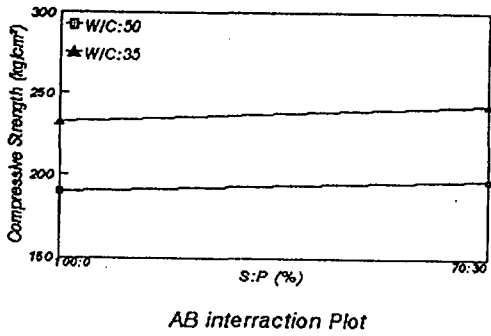


Fig. 6 Compressive Strength(AB)

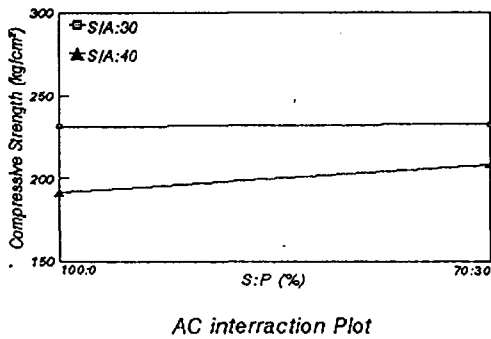


Fig. 7 Compressive Strength(AC)

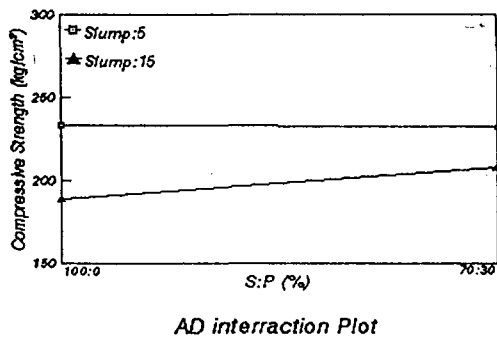


Fig. 8 Compressive Strength(AD)

그림 Fig. 2에서 보면 알 수 있듯이, 폐주물사의 잔골재 치환율은 0%에서 30%로 증가함에 따라 강도가 다소 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이는 폐주물사를 잔골재로 치환이 가능함을 보여주는 결과라 하겠다.

또한, 물·시멘트비, 잔골재율, 슬럼프의 증가에 따라 압축강도는 크게 감소함을 보여주고 있다.

그리고 폐주물사 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 물시멘트비 35%, 50%, 잔골재율 30%, 슬럼프 5cm 의 조건에서 강도의 변화를 보이지 않지만, 잔골재율 40%, 슬럼프 15cm 일때는 강도의 증가를 나타내고 있다.

이와 같은 결과는 폐주물사의 잔골재 치환율에 대해 잔골재율 및 슬럼프의 변수들이 강도에 영향을 크게 미치고 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

#### 4. 결론

폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 위한 기초적 연구를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 강도에 영향을 미치는 인자로서 물·시멘트비의 경우가 가장 크게 나타났고, 슬럼프, 잔골재율, 주물사의 잔골재 치환율 순으로 나타났다.

2) 폐주물사의 잔골재 치환율을 30%까지 실시하였을 경우 강도변화가 작게 나타났으며, 이는 폐주물사의 잔골재치환이 가능함을 의미한다.

3) 향후 과제로는, 기초적 연구 결과를 바탕으로 주요 변수 및 범위를 재설정하여 실험을 실시한 후 최적배합설계결과를 제시하고 내구성을 구명하는데 있다.

## 감사의 글

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

## 참 고 문 헌

- [1] A. F. Abbasi, Munir Ahmad, and Mohamad Wasim, “ Optimization of Concrete Mix Propotioning Using Reduced Factorial Experimental Technique ”, ACI Materials Journal, January-February 1987, pp. 55~ 63
- [2] Ahmed E. Ahmed and Ahmed A.El-Kour, “Properties of Cconcrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand” , ACI Materials Journal, July-August, 1989, pp. 417- 424
- [3] Andrej Krysztafkiewicz and Marek Maik, “ Waste Cement Dusts as Fillers for Rubber Componds” , CEMENT and CONCRETE RESERCH, Vol. 14, pp. 776-784, 1984.
- [4] Javed I. Bhatti and Kenneth J. Reid, “ Compressive Strength of Municipal Sludge Ash Mortars” , ACI Materials Journal, July- August 1989, pp.394-400
- [5] 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
- [6] 문 한영 외 3명, “ 고로슬래그 분말을 사용한 고강도 콘크리트의 기초적 성질에 관한 연구” 대한콘크리트학회, 1995, 봄학술발표회, pp, 30~35
- [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 Influnced by Mix Proportioning and Curing” , ACI Matrials, Journal , May-June 1990, pp, 210 ~ 225