

# 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적 배합설계를 위한 기초적 연구

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

백민경\*      이주형\*\*      김태경\*\*\*      윤경구\*\*\*\*      박제선\*\*\*\*\*  
Paek, Min Kyong    Lee, Joo Hyoung    Kim, Tae Kyung    Yoon, Kyong Ku    Park, Je Seon

---

### Abstract

The waste foundry sand might be recycled in concrete, resulting in energy saving and environmental protection. An half Factorial Exprements 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 사회적인 문제뿐만 아니라 환경문제로 대두되면서 자원 재활용이 활발히 논의되고 있다

본 연구에서는 주물공장의 산업폐기물인 폐주물사를 대상으로 하였으며, 이 분야에 대한 연구는 많이 이루어져 있지는 않지만, 발생물량이 막대하고 계속적으로 누적되어온 상태이기 때문에 방치할수

---

\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 석사과정  
\*\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 박사수료  
\*\*\*\* 정회원, 한국도로공사 책임연구원, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

없는 단계에 와 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 주물공장에서 발생하는 산업폐기물인 폐주물사를 건설용 콘크리트 재료로서 재활용하기 위한 방안에 대한 연구를 수행하여, 그 활용 가능성을 타진하고자 한다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험재료

굵은골재는 춘천지역에서 생산되는 굵은골재최대치수 25mm, 비중 2.64인 레미콘용 쇠석을 사용하였고, 잔골재는 홍천강유역에서 채취한 비중 2.60, 조립율 2.99인 강모래를 사용하였다. 그리고, 비중 2.43인, 조립율 1.15인 산업폐기물인 주물사를 잔골재에 대체하여 혼화재로서 사용하였으며, 화학적성질은 Table 1 에 나타내었다. 또한, 시멘트는 국내 S사 제품인 비중 3.12의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

Table 1 Chemical Properties of Waste 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> (%)	L.O.I (%)
87.32	5.03	1.29	0.15	0.01	0.37	0.42	1.56	0.47	0.03	2.91

### 2.2 실험방법 및 범위

콘크리트에 있어 잔골재 대체용으로 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 잔골재에 폐주물사의 치환율, 물-시멘트비, 잔골재율, 슬럼프값을 주요 변수로하여 Table 2 와 같이 배합설계를 하였다. 콘크리트의 비빔은 굵은골재와 잔골재를 강제식 믹서기에 넣고 30초간 건비빔을 실시한 후, 시멘트와 물을 2/3 정도 넣고 1분 30초간 비빔, 나머지 물을 넣고 1분 30초간 재비빔을 실시하였다. 다짐은 탁상식 바이브레이터를 이용하여 2층 다짐을 실시하였으며, 각 요인별로  $\phi 10\text{cm} \times 20$ 의 원주형 공시체를 8개 제작하였으며, 재령 28일에서 경화된 콘크리트의 경우  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  온도를 유지하면서 28일 동안 수중양생을 실시하였다.

KS F 2405 및 KS F 2423 에 규정된 방법에 의해 압축시험 및 인장시험을 실시하였다.

Table 2 Half Factorial Experimental Design

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

### 3. 결과 및 고찰

폐주물사를 혼입한 콘크리트를 대상으로 여러 변수 및 요인에 의해 실험을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다. 표에서 보여주듯이, 변수와 요인의 변화에 따라 다소 강도 차이는 보이고 있으나, 그 분산정도가 다소 크게 나타났는데 이는 콘크리트 품질관리 및 실험의 오차로 판단되어진다. Table 3의 실험 결과를 바탕으로 실험 변수들의 중요도 및 상호관계를 분석하여 Table 4 및 Fig.1~Fig.12에 각각 나타내었다.

먼저, Table 4의 ANOVA TEST로부터 주요 변수들이 변화에 따라 강도에 미치는 영향을 살펴 보면, 물-시멘트비의 경우가 가장 크게 나타났고, 슬럼프, 잔골재율, 주물사의 잔골재 치환율 순으로 나타남을 보여주고 있다. 또한, 주물사의 잔골재 치환율에 대한 슬럼프, 물-시멘트비에 대한 잔골재율의 인자들도 강도에 영향을 다소 크게 미치고 있음을 보여주고 있다.

그림에서 보면 알수 있듯이, 폐주물사의 잔골재 치환율은 0%에서 30%로 증가함에 따라 강도가 다소 증가하는 경향을 보이고 있으며 이는 폐주물사의 잔골재로서의 치환이 가능함을 보여주고 있다. 또한, 물시멘트비, 잔골재율, 슬럼프의 증가에 따라 압축강도는 크게 감소함을 보여주고 있다. 그리고 폐주물사의 잔골재 치환율의 증가에 따라 물시멘트비 35%, 50%, 잔골재율 30%, 슬럼프 5cm의 조건에서 강도의 변화를 보이지 않지만, 잔골재율 40%, 슬럼프 15cm일 때는 강도의 증가를 나타내고 있다.

이와 같은 결과는 폐주물사의 잔골재 치환율에 대해 잔골재율 및 슬럼프의 변수들이 강도에 영향을 많이 미치고 있음을 보여주고 있다.

Table 3 Strength Test Result of Specimen

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

### 4. 결 론

폐주물사의 혼입한 콘크리트의 최적배합설계를 위한 기초적 연구를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 강도에 영향을 미치는 인자로서 물-시멘트비의 경우가 가장 크게 나타났고, 슬럼프, 잔골재율, 주물사의 치환율 순으로 나타났다.
- 2) 폐주물사의 잔골재 치환율을 30%까지 실시하였을 경우 강도변화가 미세하게 나타났으며, 이는 폐주물사의 잔골재치환이 가능함을 의미한다.
- 3) 향후 과제로는, 기초적 연구 결과를 바탕으로 주요 변수 및 범위를 재설정하여 실험을 실시한 후 결과를 분석하여 최적배합설계를 제시하고 내구성을 살리는 데 있다.

Table 4 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

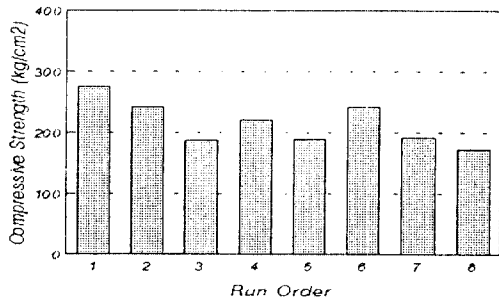


Fig.1 Compressive Test Result

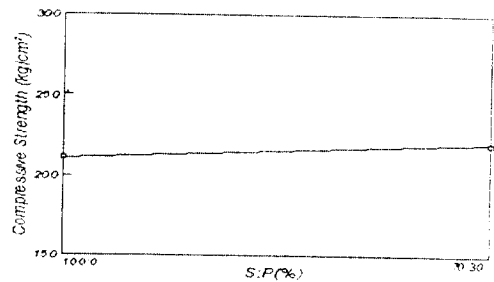


Fig.2 Effect of S/P to Compressive Strength

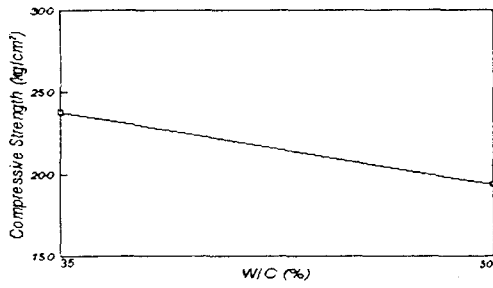


Fig.3 Effect of W/C to Compressive Strength

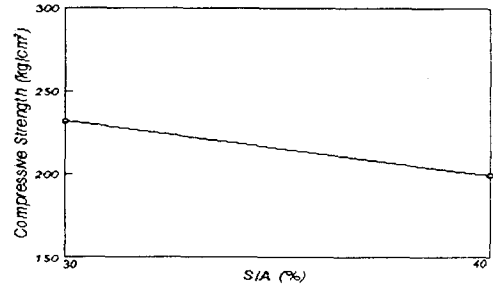


Fig.4 Effect of S/A to Compressive Strength

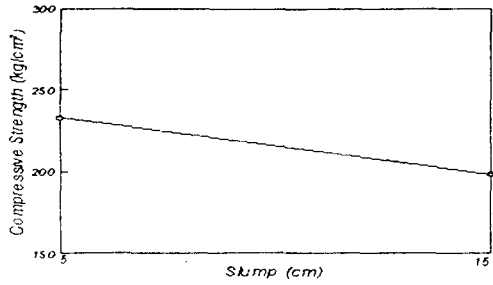
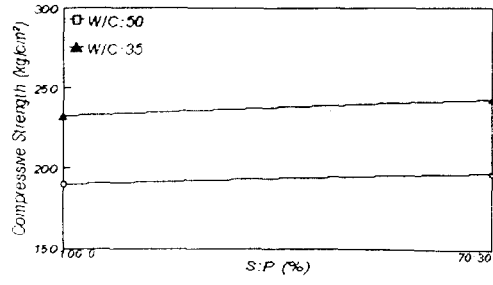
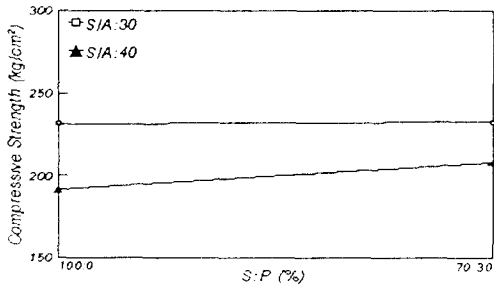


Fig.5 Effect of Slump to Compressive Strength



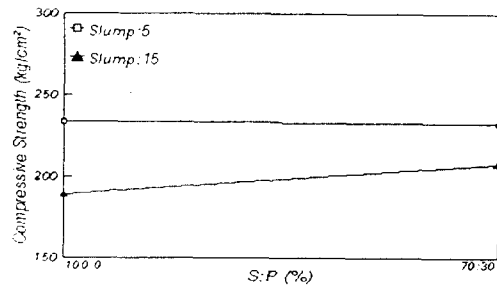
AB interaction Plot

Fig.6 Compressive Strength(AB)



AC interaction Plot

Fig.7 Compressive Strength(AC)



AD interaction Plot

Fig.8 Compressive Strength(AD)

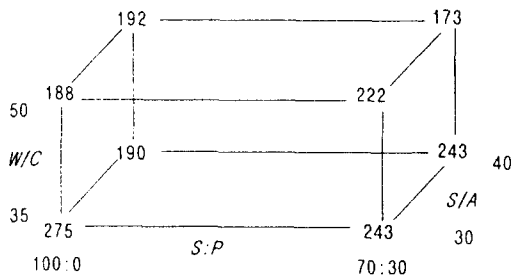


Fig.9 Cube Plot of Compressive Test Result(ABC)

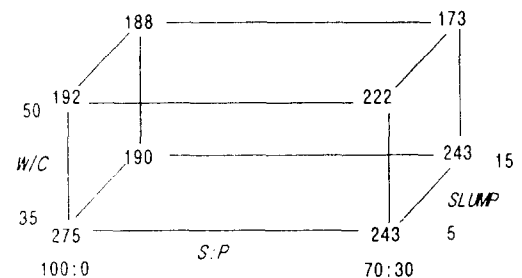


Fig.10 Cube Plot of Compressive Test Result(ABD)

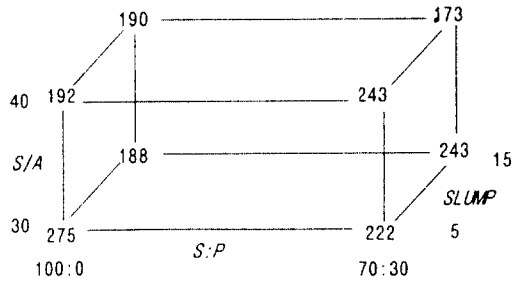


Fig.11 Cube Plot of Compressive Test Result(ACD)

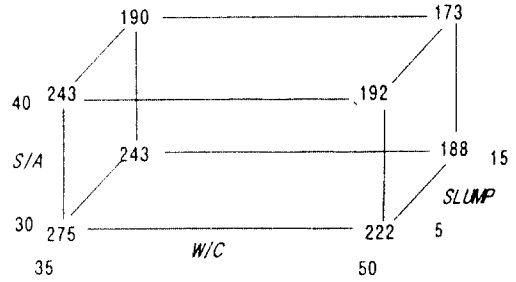


Fig.12 Cube Plot of Compressive Test Result(BCD)

● 참고문헌 ●

1. A.F.Abbasi, Munir Ahmad, and Mohamad Wasim, "Optimization of Concrete Mix Propotioning Using Reduced Factorial Experimental Technique", ACI Material Journal, January-February 1987, pp.55~63
2. Javed I. Bhatti and Kenneth J. Reid, "Compressive Strength of Municipal Sludge Ash Mortars", ACI Material Journal, July-August 1989, pp.394~400
3. 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
4. Andrej Krysztafkiewicz and Marek Maik, "Waste Cement Dusts as Fillers for Rubber Componds", CEMENT and CONCRETE RESERCH, Vol. 14, pp.776~784, 1984.
5. 오 병환 외 1명, "플라이 애쉬 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회지, 제3권 2호, 1991 .6 , pp.87~95