



## CO<sub>2</sub>형 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구

문한영<sup>1)\*</sup> · 최연왕<sup>2)</sup> · 송용규<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>한양대학교 토목공학과 <sup>2)</sup>세명대학교 토목공학과  
(2002년 1월 23일 원고접수, 2002년 5월 10일 심사완료)

### A Study for Recycling CO<sub>2</sub> Silicate Bonded Waste Foundry Sand as Fine Aggregate for Concrete

Han-Young Moon<sup>1)\*</sup>, Yun-Wang Choi<sup>2)</sup>, and Yong-Kyu Song<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Civil Engineering Semyung University, Jecheon, 390-711, Korea

(Received January 23, 2002, Accepted May 10, 2002)

#### ABSTRACT

The amount of CO<sub>2</sub>-silicate bonded waste foundry sand(WFS) occurred in Korea is over 800,000 ton per year. WFS, as a by-product, is generated through manufacturing process of foundry may affect our environmental contamination, The reason is that WFS has been buried itself not less than 90 % out of total WFS. So, it can give damage on the ground of contamination in soil and underwater. Therefore, it is necessary to establish the method recycling WFS because of being intensified waste management law.

In this study, we performed the research with respect to harmful component analysis, the qualities of WFS, mortar and concrete mixed with WFS. As the results the specific gravity of WFS is the same as that of natural aggregate, while unit weight and percentage of solids of WFS are smaller than those of it. But it is found that WFS can be used by substituting WFS for natural aggregate after control of poor grade of WFS.

The flowability of mortar and concrete with WFS is inferior to those of natural aggregate, and the setting time of concrete with WFS is faster than that with only natural aggregate, On the contrary, the bleeding of concrete with WFS is shown good result, and compressive and tensile strength of concrete substituted WFS for 30 % are higher than those with only natural aggregate regardless of elapsed time.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>-silicate bonded WFS, environmental contamination, bleeding, poor grade, strength

#### 1. 서 론

최근 건설교통부가 설정한 모래 생산한도(쿼터) 때문에 수도권의 아파트 및 토목공사 현장에 모래 부족으로 인하여 건설업체와 레미콘 업체에 비상이 걸렸으며, 금년 1/4분기까지 건설현장에서 필요한 모래가 턱없이 부족하다고 한다<sup>1)</sup>. 그래서 주물공장에서 폐기물로 발생되는 CO<sub>2</sub>형 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구에 착안하게 되었다.

우리나라에서 주물을 제조할 때 소요되는 주물사는 연간 300만 톤 정도이며, 주물공장의 부산물인 폐주물사의 양은 약 80만 톤 이상으로 이 중 90%이상은 단순 매립되며, 발생량의 6%정도만 도로 기층재 및 시멘트 2차 제품등으로 재활용되고 있다<sup>2)</sup>.

폐주물사를 매립하므로써 야기되는 토양 및 지하수 오염과 같은 2차 환경오염 문제로 인한 피해가 우려되므로 폐주물사를 부가가치가 높은 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구가 요망된다.

그러나 지금까지 폐기물 처리업체 등은 폐주물사를 부가가치가 높은 재료로 재활용하기 위한 방안을 찾지 못하여 처리업체의 공장 부지 내에 방대한 양을 야적, 방치해 놓고 있는 실정이다.

1999년 8월 개정된 폐기물관리법에는 처리업체의 폐기물 보관량 기준조항이 크게 강화됨으로써 폐기처분된 폐주물사를 고부가가치 및 효율적 재활용에 대한 대책 및 방안이 수립되지 못할 경우 폐주물사의 처리문제로 인한 골칫거리가 야기될 수도 있다<sup>3)</sup>.

한편, 1970년대 미국 및 일본 등 세계 각 국에서는 폐주물사를 재활용하는 방안에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 특히 1990년대 초 American Foundrymen Society에서 폐주물사의 재활용에 관한 대책으로 콘크리트용 잔골재로

\* Corresponding author

Tel : 02-2290-0323 Fax : 02-2292-3356

E-mail : moon77@hanyang.ac.kr

대체 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그런데 일본의 경우, 매년 350만 톤 정도 발생하는 폐주물사 중 단순매립이 60%, 주물 재생사로의 재활용 28%, 나머지 12% 정도가 시멘트의 실리카 원료, 아스팔트용 골재 및 규석분의 대용으로 산성토양의 개량 등에 재활용되고 있다<sup>4)</sup>. 그러나 국내의 경우, 시멘트 벽돌 및 블록 등에 일부 사용된 실적이 있으며, 옹벽의 저장도 뒷채움재 및 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 기초적인 연구성과<sup>5-7,11,13,15)</sup>를 발표하고 있는 정도에 지나지 않는다.

본 연구에서는 국내에서 점차 증가추세로 발생하는 CO<sub>2</sub>형 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 폐주물사의 비중, 흡수율, 입도, 유기불순물 및 유해원소 등 품질에 대하여 천연골재와 비교 평가하였다. 그리고 천연골재를 폐주물사로 대체한 모르타르의 유동성 및 강도 등 물성에 대하여 고찰하였다.

또한, 폐주물사가 콘크리트용 잔골재로 사용 가능 여부를 평가하기 위하여 폐주물사 대체 콘크리트의 응결시간, 블리딩률, 워커빌리티, 압축, 인장강도 및 탄성계수를 측정 한 결과에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

보통포틀랜드시멘트(OPC)의 화학성분 및 물리적 성질은 Table. 1과 같다.

#### 2.1.2 골재

잔골재는 주문진산 표준사(SS)와 바다모래를 세척한 왕사(washed coarse sand, WCS 및 왕사), 세척중사(washed medium sand, WMS 및 중사) 및 부순모래(crushed sand, CRS)를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대 치수 25mm인 부순골재로서 물리적 성질은 Table 2와 같다.

한편, 천연잔골재와 대체하여 사용하기 위한 CO<sub>2</sub>형 폐주물사(CO<sub>2</sub> silicate bonded waste foundry sand, 이하 WFS 및 폐주물사)는 주물공장에서 점결제(규산소다), 경화제(CO<sub>2</sub>가스) 및 첨가제를 사용하여 제작된 주형이 폐기 처분된 것으로서 불순물 및 철분을 제거하여 모래 입자 크기로 입도 조정하였으며, 화학성분은 Table 3, 물리적 성질은 Table 4와 같다. Table 3에서 알 수 있듯이 폐주물사의 화학성분은 실리카가 84.3%로 매우 큰 반면, 석회는 0.85%로 매우 작았으며, Na<sub>2</sub>O가 1.01% 정도였다.

#### 2.1.3 화학 혼화제

주성분이 calcium ligno sulphonate계인 감수제(이하 WRA)와 공기연행제(이하 AEA)를 병용하여 사용하였으

Table 1 Chemical compositions & physical properties of OPC

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
21.95	6.59	2.81	60.1	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112

Table 2 Physical properties of aggregates

Types	Items	Specific gravity	Absorption ratio(%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids(%)	F.M.	Abrasion value(%)	Organic impurity
Fine aggregates	SS	2.63	0.00	1,453	55.9	1.91	-	-
	WCS	2.60	0.78	1,653	63.6	2.97	-	Transparent liquid
	WMS	2.62	0.63	1,597	60.9	2.63	-	"
	CRS	2.55	1.88	1,656	64.9	3.03	-	"
Coarse aggregate		2.65	0.78	1,741	65.7	6.51	28.6	-

Table 3 Chemical compositions of WFS

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	Ig. loss (%)
84.30	5.95	0.42	0.85	0.16	1.01	5.61

Table 4 Physical properties of WFS

Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids(%)	F.M.	Organic impurity
2.60	2.30	1,537	59.1	2.39	Dark yellow

며, 화학성분 및 물리적 성질은 Table 5와 같다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 유해원소분석

주물을 제작한 후 폐기처분된 폐주물사가 인체 및 환경에 유해한 원소성분을 함유하고 있는지 여부를 알아보기 위하여 Ca, Mg는 원자흡광 광도법(atomic absorption spectrophotometry, AA)을 이용하였으며, 그 외의 원소는 유도결합 플라즈마 질량 분석법(inductively coupled plasma spectroscopy, ICP-MS)을 이용하여 정량적인 분석을 실시하였다.

### 2.2.2 X선 회절

폐주물사를 분쇄하여 150  $\mu\text{m}$  체를 통과한 분말시료를 X선 회절분석을 실시하기 위하여 측정조건 CuK $\alpha$ (ni filter): 30 kV, 20 mA, Scanning speed: 8°/min, Full scale 7000 cps, 2 $\theta$ : 5° ~ 60°로 정하였다.

### 2.2.3 모르타르의 플로우값 및 압축강도

물-시멘트비 60%, 단위시멘트량 600 g, 단위수량 360 g으로 정하여 플로우값 100 $\pm$ 5%를 목표로 모르타르를 제조한 후, KS F 2514에 의하여 모르타르의 플로우값 및 압축강도를 측정하였다.

### 2.2.4 모르타르의 비중 및 흡수율

표준 양생한 재령 28일의 모르타르 공시체를 건조로에서 105 $\pm$ 5 °C로 24시간 건조시켜 비중 및 흡수율을 측정하였다.

한편, 모르타르의 공극률을 간접적으로 알아보기 위하여 5 $\times$ 5 $\times$ 5 cm인 공시체를 105 $\pm$ 5 °C로 건조시킨 후, Hall의 시험방법<sup>9)</sup>을 참고로 하여 Fig. 1과 같이 공시체 한쪽면을 물에 48시간 동안 침지시킨 후 경과시간 180분까지의 흡수율을 측정하였다.

### 2.2.5 콘크리트의 응결시간 및 블리딩

폐주물사를 사용한 콘크리트의 응결시간 및 블리딩은 각각 KS F 2436 및 KS F 2414에 의하여 측정하였다.

### 2.2.6 콘크리트의 슬럼프 손실

폐주물사를 사용한 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 손실정도를 알아보기 위하여 믹싱 직후 0, 30, 60 및 90분에 슬럼프 값을 KS F 2402에 의하여 측정하였다.

### 2.2.7 콘크리트의 압축, 인장강도 및 탄성계수

$\phi$ 10 $\times$ 20 cm 원주형 공시체를 제조하여 표준양생한 후 압축, 인장강도 및 정탄성계수를 각각 KS F 2405, KS F 2423 및 KS F 2438에 의하여 측정하였다.

## 2.3 모르타르 및 콘크리트의 배합

폐주물사를 천연 잔골재와 100%까지 대체한 모르타르의 예비실험 결과로부터 폐주물사의 적정 대체율이 50% 정도까지의 범위에 해당됨을 확인하였다. 따라서 폐주물사를 잔골재와 0, 10, 20, 30, 40 및 50%로 대체한 모르타르의 배합을 Table 6과 같이 선정하였다. 한편, 콘크리트의 배합은 모르타르의 실험결과를 토대로 하여 Table 7과 같으며, 이 때 압축강도 300 kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 콘크리트를 제조하기 위하여 물-시멘트비 50%, 목표 슬럼프 및 공기량을 각각 12 $\pm$ 1.5 cm 및 4.5 $\pm$ 1%로 정하였다.

## 3. 폐주물사의 품질에 대한 고찰

### 3.1 유해원소 및 XRD 분석

폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 대체할 경우, 폐주물사가 인체에 유해한 원소 성분을 함유하고 있는지 여부를 확인하기 위하여 실시한 원자흡광 광도법 및 유도결합 플라즈마 질량 분석법에 의한 분석결과를 정리한 것이 Table 8이다. 이 표에서 인체에 유해한 Cd(카드뮴)은 검출되지 않았으며, As(비소), Cr(크롬), Cu(구리) 및 Pb(납)

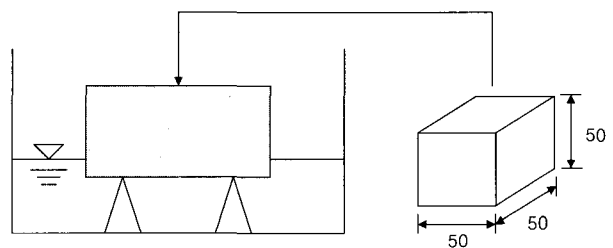


Fig. 1 Absorption test (unit : mm)

Table 5 Chemical compositions & physical properties of chemical admixtures

Items Types	Main composition	Density at 20 °C (kg/ℓ)	Standard dosage (C×%)	pH	Appearance
WRA	Calcium ligno sulphonate	1.153 $\pm$ 0.005	0.5	8.0 $\pm$ 1.0	Dark brown liquid
AEA	Neutralized vinsol resin	1.03 $\pm$ 0.003	0.005	11.0 $\pm$ 1.0	Transparent liquid

Table 6 Mixture proportions of mortar

Items Types	W/C (%)	C (g)	W (g)	S(g)				Flow value (%)
				WFS	WCS	SS	Total	
SS	60	600	360	0	0	1,347	1,347	99
WCS				0	1,809	0	1,809	103
WFS10				180	1,620	0	1,800	104
WFS20				352	1,408	0	1,760	104
WFS30				519	1,212	0	1,731	103
WFS40				656	984	0	1,640	105
WFS50				813	813	0	1,626	98

Table 7 Mixture proportions of concrete

Items Types	Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				WRA (C×%)	AEA (C×%)	
						W	C	S				G
								WFS	WCS			
WCS	25	12±1.5	4.5±1	50	41.4	165	330	0	748	1,053	0.60	0.006
WFS20					41.4			148	590	1,063	0.70	0.008
WFS30					41.1			220	513	1,069	0.74	0.009
WFS40					40.8			291	437	1,074	0.80	0.010
WFS50					40.6			361	361	1,079	0.87	0.013

Table 8 Harmful component analysis by AA and ICP-MS of WFS

Items Types	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Mg	Pb	Se	Zn
Test result	6.389	0.058	ND*	13.268	ND	0.064	0.097	3.276	0.175	ND	0.814
Limit value	-	<1.500	-	-	<0.300	<1.500	<3.000	-	<3.000	-	-

\* : Non-Detected

등은 폐기물 관리법<sup>9)</sup>에서 규정하고 있는 규제값 이하로 나타났다. 따라서 본 연구에서 사용된 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 활용할 경우, 인체 또는 환경에 나쁜 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

폐주물사의 X-선 회절분석 결과를 정리한 것이 Fig. 2로서, 이 그림에서 피크강도가 가장 큰 것이 SiO<sub>2</sub>였으며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 순으로 나타났다. 또한, 폐주물사의 XRF 분석에 의한 화학성분 중 SiO<sub>2</sub>가 84%이상인 Table 3의 결과와도 잘 일치함으로써 콘크리트용 골재로서 사용가능함을 확인하였다.

### 3.2 비중 및 흡수율

폐주물사의 품질을 평가하기 위하여 물리적 성질 중 비중 및 흡수율의 측정값을 정리한 것이 Table 4이다. 이 표에서 알 수 있듯이 폐주물사의 비중은 2.60, 흡수율은 2.30%로서 KS F 2526, "콘크리트용 골재"에서 규정하고 있는 콘크리트용 잔골재의 비중 2.50 이상, 흡수율 3.0% 이하의 값을 알 수 있었다.

그런데 폐주물사의 비중이 천연골재와 비슷함에도 불구하고 흡수율이 큰 이유는 1450 °C 이상의 쪼갬을 주형에

투입한 후 주물을 탈형하고 남은 형틀이 대기 중에 방치될 때 생기는 온도차로 인하여 폐주물사의 내부에 작은 공극이 형성된 탓으로 생각된다.

그래서 폐주물사를 포함한 5종류 잔골재의 비중과 흡수율과의 관계로 나타낸 것이 Fig. 3이다.

이 그림에서 폐주물사를 제외한 천연골재 4종류의 비중과 흡수율과의 사이에는 결정계수 95%의 비교적 좋은 선형관계를 나타냄을 알 수 있다.

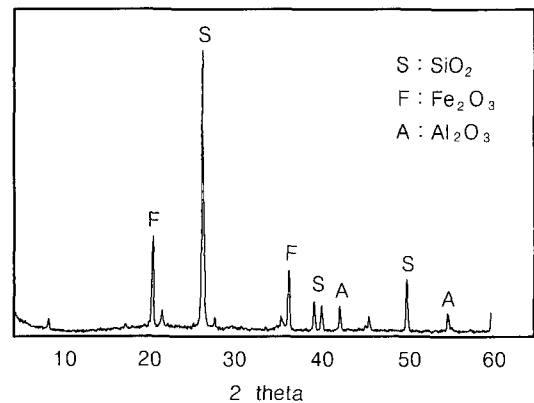


Fig. 2 X-ray diffraction analysis of WFS

다시 말해서 천연골재는 일반적으로 비중이 크면 흡수율이 작는데 비해 폐주물사의 경우, 폐주물사의 생성과정에 의한 특수성 때문에 흡수율이 천연골재보다 다소 큰 문제점이 있었다.

### 3.3 단위용적중량 및 실적률

폐주물사의 단위용적중량 및 실적률을 천연골재와 비교해 보면 Table 2 및 4에서 알 수 있듯이 부순모래 > 왕사 > 중사 > 폐주물사 > 표준사 순으로 나타났다.

폐주물사의 비중이 천연골재와 비슷함에도 불구하고 단위용적중량이 천연골재 3종류보다 작은 이유는 폐주물사 중에는 150 μm보다 작은 입자가 많이 포함되어 있어 조립률이 작을 뿐만 아니라 입자의 형상이 약간 각이 진 불규칙한 탓으로 실적률이 작다고 생각된다.

또한, 이들 5종류 골재의 단위용적중량과 실적률과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 4이며, 이 그림에서 알 수 있듯이 폐주물사의 경우, Fig. 3의 비중과 흡수율과의 관계와는 달리 폐주물사를 포함시키더라도 결정계수 98%로 매우 좋은 비례관계를 나타내었다.

### 3.4 입도분포 및 유기불순물

폐주물사를 포함한 5종류 잔골재의 입도곡선을 나타낸 것이 Fig. 5이다. 이 그림에서 폐주물사의 입도곡선은 콘크리트 표준시방서 골재의 체가름 시험방법 KS F 2502에서 정하는 잔골재의 표준입도 범위를 약간 벗어날 뿐만 아니라 잔입자가 많은 조립률 2.39를 나타내었으나, 일반적인 콘크리트용 잔골재의 조립률 2.30~3.10의 범위 내에 있음을 알 수 있다.

그래서 폐주물사의 입도분포를 콘크리트용 잔골재의 표준입도 분포 내로 조정하기 위하여 폐주물사에 비해 조립률이 큰 왕사에 폐주물사를 5단계로 대체하여 제조한 잔골재의 입도분포를 나타낸 것이 Fig. 6이다.

즉, Fig. 5에서 세척왕사의 입도분포가 표준입도곡선을 다소 벗어났을 뿐만 아니라 폐주물사도 표준입도곡선을 벗어남을 알 수 있다.

그래서 세척왕사를 폐주물사로 30, 40 및 50% 대체하므로써 표준입도곡선을 만족하는 입도분포를 나타내는 좋은 결과를 나타냈기 때문에 본 논문에서는 세척왕사를 폐주물사로 대체하게 되었다.

한편, 폐주물사를 모르타르 및 콘크리트용 골재로 사용할 경우 폐주물사 중에 함유되어 있는 유기화합물의 유해량을 파악하기 위하여 모래의 유기불순물 시험방법 KS F 2510에 의하여 측정된 결과를 색의 농도로 나타낸 것이 Table 2 및 4이다.

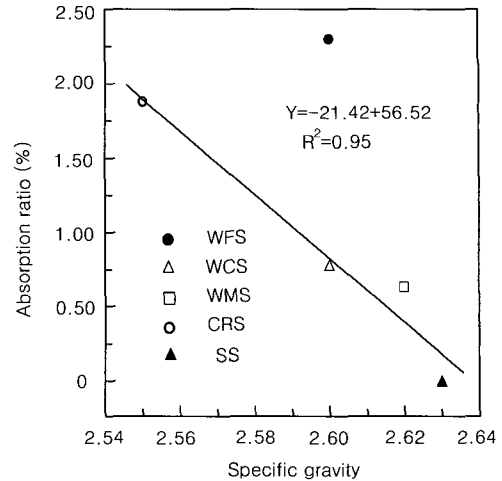


Fig. 3 Relationship specific gravity to absorption of aggregates

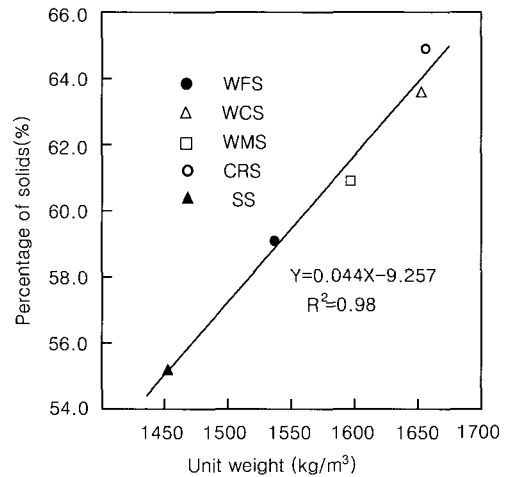


Fig. 4 Relationship unit weight to percentage of solids of aggregates

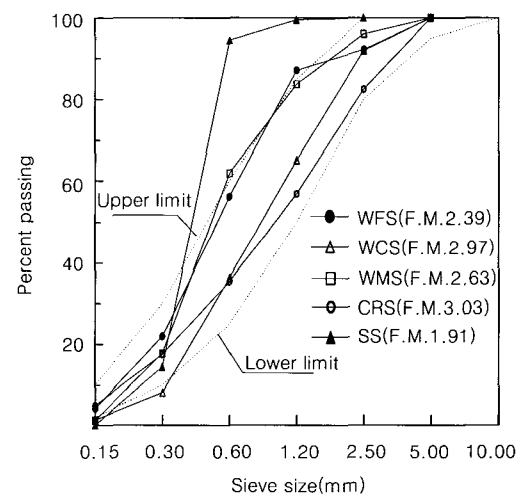


Fig. 5 Grading curve with types of aggregates

Table 2 및 4에서 3종류 천연골재는 무색 내지는 연한 담황색인 반면, 폐주물사는 옅은 농황색을 나타내었으며, 농황색을 띠는 이유는 구조공정에서 사용되고 있는 점결제 및 첨가제 이외에 노천에 야적시 불순물 등이 혼합된 탓으로 생각된다.

그러나 본 실험에 사용된 폐주물사의 옅은 농황색은 세척처리 등에 의하여 콘크리트용 골재로 사용 가능하다고 판정되었다.

#### 4. 폐주물사로 잔골재와 대체한 모르타르의 물성에 대한 고찰

##### 4.1 품질

폐주물사를 50%까지 대체하여 제조한 모르타르의 비중 및 흡수율을 나타낸 것이 Fig. 7로서, 모르타르의 비중이 2.0~2.1 정도였으며, 폐주물사의 대체율이 증가할수록 약간 감소하는 경향을 나타내었다.

한편, 폐주물사로 대체한 모르타르의 흡수율은 비중과는 반대로 대체율이 증가하는데 따라 오히려 증가하는 경향을 나타내었다.

그 이유는 폐주물사 자체의 흡수율이 천연골재보다 클 뿐만 아니라 골재 입도 곡선에서 알 수 있듯이 잔입자의 양이 많은 탓으로 폐주물사의 대체율이 증가할수록 모르타르의 흡수율이 커졌다고 생각된다. 그래서 폐주물사로 대체한 모르타르의 비중과 흡수율과의 관계로 정리한 것이 Fig. 8로서, 이 그림에서 왕사만을 사용한 모르타르는 폐주물사로 대체한 모르타르와 비교하여 비중은 가장 컸으며 흡수율은 가장 작았다.

그러나 폐주물사로 대체한 5종류 모르타르의 경우, 폐주물사의 대체율에 관계없이 비중과 흡수율 사이에는 좋은 선형관계를 나타내었으며, 천연골재를 사용한 모르타르의 일반적인 경향과도 잘 일치함을 알 수 있다.

이번에는 폐주물사로 대체한 모르타르의 흡수율을 경과시간별 및 대체율별로 정리한 것이 Fig. 9이며, 경과시간 180분에서 왕사만을 사용한 모르타르의 흡수율을 폐주물사로 대체한 모르타르와 비교해보면 대체율이 증가할수록 흡수율이 약간 커지는 경향을 나타내었다.

다시 말해서 폐주물사를 천연골재와 대체할 경우, 대체율이 증가하는데 따라 흡수율이 커지는 현상은 모르타르 및 콘크리트에 이롭지 못하므로 적정 대체율에 대한 검토가 요망된다.

##### 4.2 유동성 및 압축강도

폐주물사로 대체한 모르타르의 유동성을 파악하기 위하여 플로우값 100±5%를 목표로 제조한 모르타르의 폐주

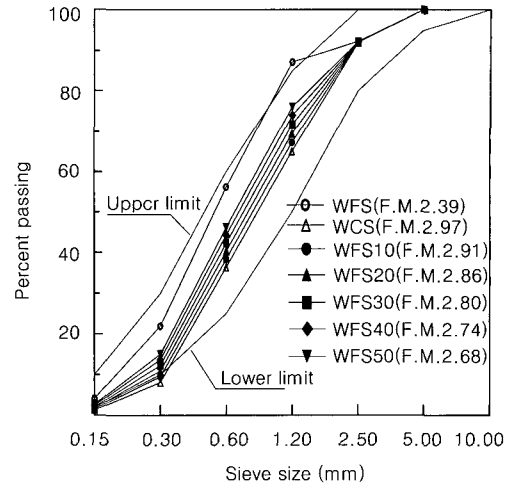


Fig. 6 Grading curve with replacement ratio of WFS

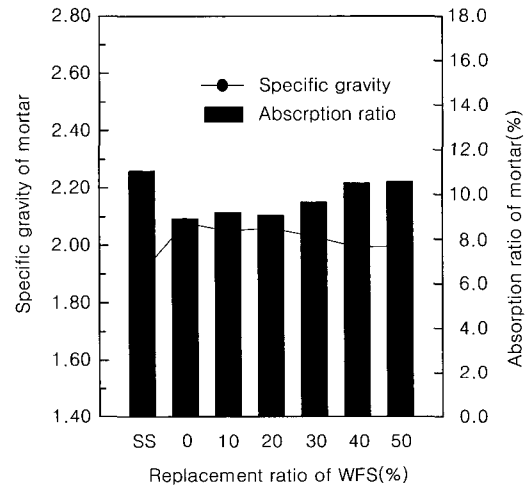


Fig. 7 Specific gravity and absorption ratio of mortar with replacement ratio of WFS

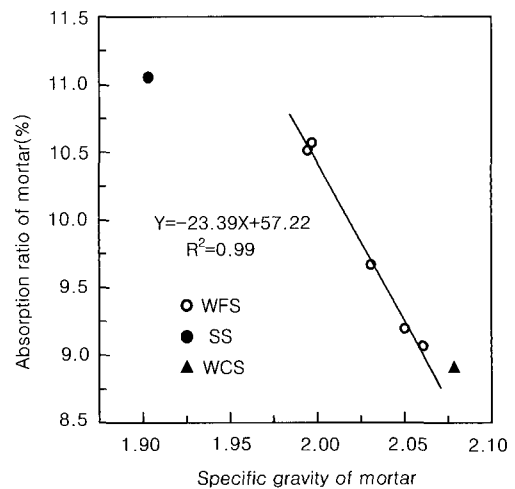


Fig. 8 Relationship absorption ratio to specific gravity of mortar replaced with WFS

물사의 대체율별 잔골재량의 감소율 즉, 왕사만을 사용한 모르타르의 잔골재량 100에 대한 폐주물사로 대체한 모르타르의 잔골재량의 비 및 재령별 압축강도를 나타낸 것이 Fig. 10이다.

폐주물사로 대체한 모르타르 잔골재량의 감소율은 대체율이 증가할수록 약간 커지는 경향을 나타내므로 동일한 플로우값을 만족시키기 위하여 폐주물사를 포함한 잔골재량을 줄여야 할 필요가 있다.

그 이유는 폐주물사의 대체율이 증가하게 되면 폐주물사에 함유된 잔입자가 혼합수를 흡수할 뿐만 아니라 폐주물사 표면에 존재하는 물유리계인 규산소다( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) 성분이 물과 반응하여 순간적으로 위응결을 일으키기 때문인 것으로 생각된다.

한편, 폐주물사로 대체한 모르타르의 대체율 및 재령별 압축강도가 약간 상이하였으며, 대체율 20%에서 재령에 관계없이 가장 큰 압축강도 값을 나타내었다. 그러나 초기재령 3 및 7일에서는 폐주물사의 대체율이 증가할수록 모르타르의 압축강도가 왕사만을 사용한 경우보다 약간 작음을 알 수 있다.

다시 말해서 폐주물사의 대체율 20% 혼합 골재의 입도 분포가 적합할 뿐만 아니라 폐주물사의 입자 표면에 존재하는 규산소다가 강도 발현에 영향을 미쳤다고 생각된다.

그런데 대체율 30%이상에서 압축강도가 다소 감소되는 경향을 나타내는 이유는 규산소다 양의 증가로 인하여 위응결 현상 및 폐주물사의 잔입자가 많은 균일한 입도로 이루어져 입도분포 및 조립률이 불리하기 때문<sup>10)</sup>이라고 생각된다.

## 5. 폐주물사를 잔골재로 대체한 콘크리트의 제 성질에 대한 고찰

### 5.1 응결

폐주물사가 콘크리트의 응결시간에 미치는 영향을 알아보기 위하여 폐주물사를 0, 30 및 50%로 대체한 콘크리트의 응결시간을 측정하여 정리한 것이 Fig. 11이다.

폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 초결 및 종결시간은 다같이 왕사만을 사용한 콘크리트보다 30분 정도 빨라졌으며, 응결시간이 빨라진 이유는 폐주물사 입자 표면에 존재하는 규산소다가 수산화칼슘과의 반응으로 응결이 촉진되었다<sup>14)</sup>고 생각된다.

그러나 이 값은 시멘트의 초결 및 종결시간 각각 1시간 이후와 10시간 이내로 규정한 콘크리트 표준 시방서의 응결시간을 만족하는 값에 해당됨을 알 수 있다.

### 5.2 블리딩

폐주물사 0, 30 및 50% 대체하여 제조한 콘크리트의 블리딩을 경과시간별로 측정하여 정리한 것이 Fig. 12이다.

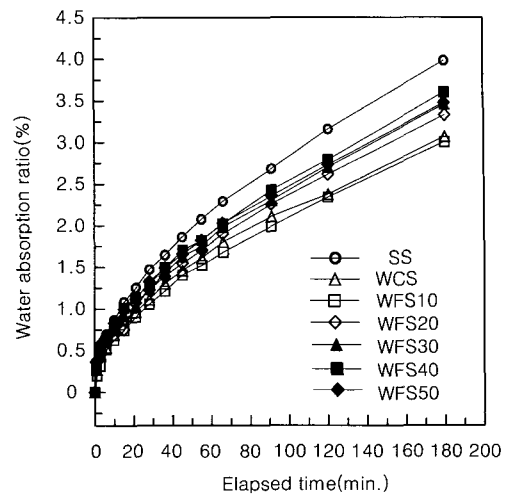


Fig. 9 Absorption ratio of mortar replaced with WFS

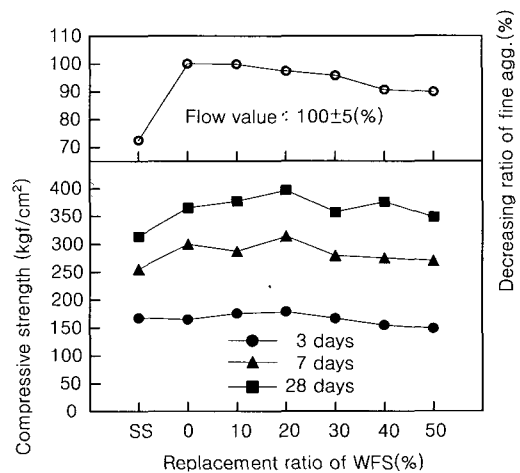


Fig. 10 Fluidity and comp. strength of mortar with replacement ratio of WFS

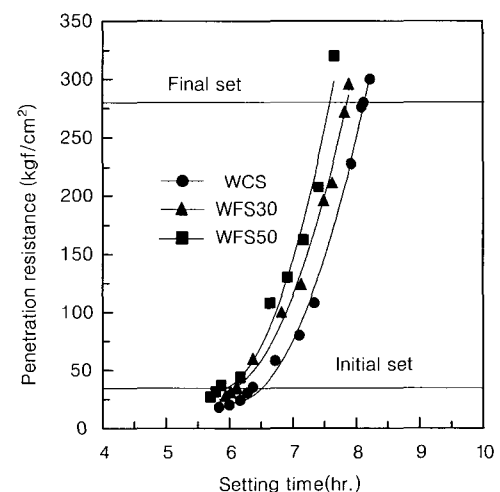


Fig. 11 Setting time of concrete replaced with WFS

이 그림에서 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 경과 시간별 블리딩률이 감소함을 알 수 있으며, 경과시간 3시간에서 블리딩률은 왕사만을 사용한 콘크리트 4.65% > 폐주물사 30% 대체한 콘크리트 3.10% > 폐주물사 50% 대체한 콘크리트 2.40% 순으로 나타났다.

특히, 폐주물사 50% 대체한 콘크리트의 블리딩률이 가장 작게 나타났으며, 블리딩률이 작은 이유는 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 폐주물사에 함유된 0.15 mm보다 작은 잔입자들이 많아 콘크리트 혼합수를 흡수하였기 때문으로 생각된다.

### 5.3 워커빌리티

폐주물사로 잔골재와 대체한 콘크리트의 슬럼프 값 및 공기량을 각각 12±1.5 cm 및 4.5±1% 목표로 정하여 콘크리트를 제조하였으며, 사용된 감수제 및 AE제 양을 나타낸 것이 Fig. 13이다. 이 그림에서 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 감수제 및 AE제의 사용량이 각각 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

다시 말해서 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 동일한 슬럼프 및 공기량을 확보하기 위하여 감수제 및 AE제의 사용량이 많이 요구되는 이유는 폐주물사 자체의 강열감량이 5.61%로 컸을 뿐만 아니라 잔입자의 양이 많아 감수제 및 AE제를 많이 흡착하였다고 생각된다.

이번에는 폐주물사 0, 30 및 50% 대체하여 제조한 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프값을 믹싱 직후 90분까지 경과 시간별로 측정하여 슬럼프 손실률로 정리한 것이 Fig. 14이다.

여기서 폐주물사의 대체율 및 경과시간이 증가함에 따라 콘크리트의 슬럼프 손실률이 크게 증가함을 알 수 있다. 폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 슬럼프 손실률이 커지는 이유는 폐주물사 대체율의 증가로 인하여 규산소다에 의한 위응결 현상 및 잔입자 양의 증가에 의한 영향 때문으로 생각된다.

### 5.4 압축, 인장강도 및 탄성계수

왕사를 폐주물사로 대체한 콘크리트의 물-시멘트비 50%에서 폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트의 압축 및 인장강도를 나타낸 것이 Fig. 15이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 재령에 관계없이 폐주물사의 대체율 30%에서 압축 및 인장강도 값이 가장 컸으며, 왕사만을 사용한 콘크리트와 비교하여 압축 및 인장강도는 각각 8% 및 4% 정도 큰 값을 알 수 있다. 폐주물사 30% 대체한 콘크리트의 압축 및 인장강도가 가장 큰 이유는 폐주물사 입자 표면에 있는 규산소다가 강도 발현을 촉진시켰을 뿐만 아니라 폐주물사의 입도 분포가 8 콘크리트의 공극을 최소화하는데 영향을 미쳤다고 생각된다.

그러나 폐주물사의 대체율 40% 이상에서는 규산소다의 증가 및 입도분포의 부적합 등으로 압축강도가 다소 감소되었다고 생각된다. 또한, 폐주물사 대체 콘크리트의 재령 28일의 압축강도에 대한 인장강도 및 탄성계수와 관계 정리한 것이 Fig. 16으로서, 압축강도가 증가함에 따라 폐주물사의 대체율에 관계없이 인장강도 및 탄성계수가 다같이 선형적으로 증가하였다.

그래서 압축강도 300 kgf/cm<sup>2</sup>에 대한 인장강도와 탄성계수를 각각 구해보면 24.0 kgf/cm<sup>2</sup> 및 2.61×10<sup>5</sup> kgf/cm<sup>2</sup> 정도로서 보통 콘크리트의 압축강도에 대한 인장강도의 범위에 상당하는 12.5였으며, 콘크리트 표준 시방서의 탄성계수값  $E_c = 15,000 \times \sqrt{300} = 2.60 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 와 비교적 일치하는 값을 알 수 있다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 폐주물사를 30% 정도 대체한 콘크리트의 압축, 인장강도 및 탄성계수는 왕사만을 사용한 보통콘크리트에 충분히 상응하는 좋은 결

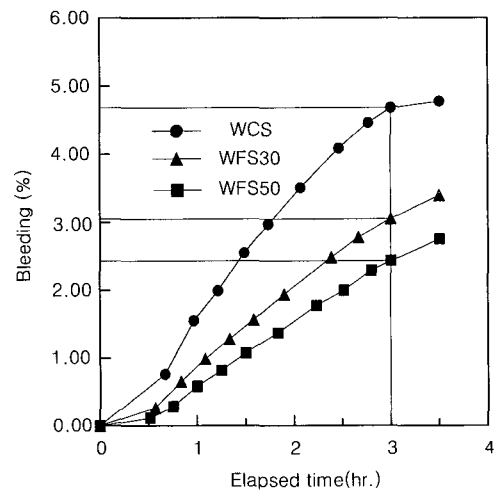


Fig. 12 Bleeding of concrete replaced with WFS

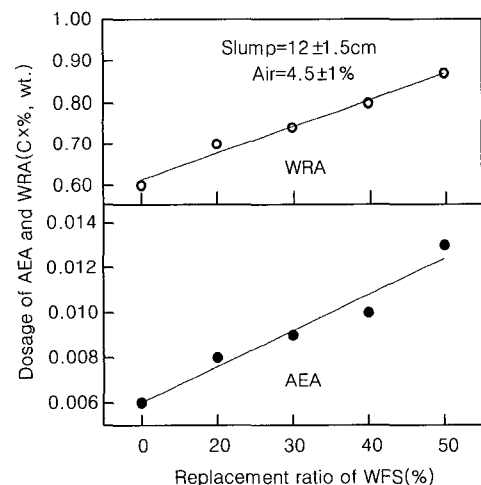


Fig. 13 The amount of WRA and AEA used in concrete with replacement ratio of WFS



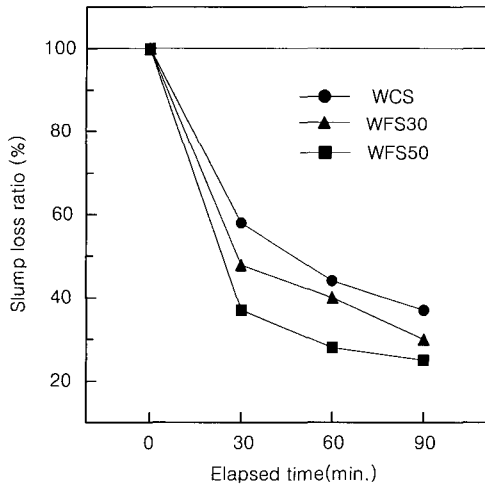


Fig. 14 Slump loss ratio of concrete replaced with WFS

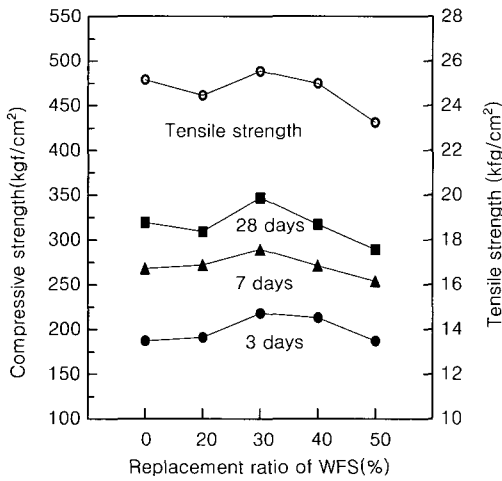


Fig.15 Compressive tensile strength of concrete with replacement ratio of WFS

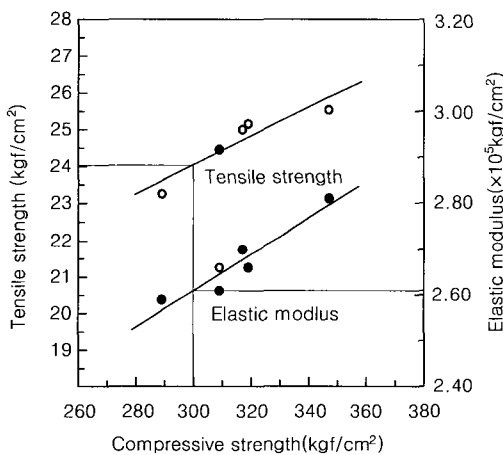


Fig. 16 Relationship tensile strength and elastic modulus to comp. strength of concrete replaced with WFS

과를 얻을 수 있으며, 이 값은 미국주물협회(american foundrymen society)가 콘크리트용으로 제안한 폐주물사의 대체율 35%<sup>4,12)</sup>와도 근접하는 좋은 결과로 생각된다.

## 6. 결 론

1) 폐주물사의 비중 및 흡수율은 각각 2.60과 2.30%로써, 비중은 천연골재와 비슷하였으나 흡수율은 컸으며, 단위용적중량 및 실적률은 작았다. 한편, 입도분포는 표준입도를 벗어나므로 천연골재를 적정비율로 대체하므로써 잔골재로 사용 가능하였다. 또한 폐주물사 중의 유해원소는 폐기물관리법에서 정한 규제값 이하로 나타났다.

2) 폐주물사 대체율의 증가에 따른 모르타르의 유동성은 보통모르타르와 비교하여 약간 떨어지므로 잔골재량을 줄이는 등 대책이 요망된다. 한편, 폐주물사 대체 모르타르의 압축강도는 대체율 20%에서 재령에 관계없이 가장 컸으나, 초기재령에서는 폐주물사의 대체율이 증가할수록 압축강도가 보통모르타르보다 약간 작았다.

3) 폐주물사 대체율의 증가에 따른 콘크리트의 초결 및 종결시간은 폐주물사 입자 표면에 존재하는 규산소다의 반응으로 보통콘크리트보다 30분 정도 빨랐다. 한편, 폐주물사 대체 콘크리트의 블리딩률은 경과시간 3시간에서 보통콘크리트의 경우 4.65%, 폐주물사 30 및 50% 대체한 경우 각각 3.10% 및 2.40% 순으로 작게 나타났다.

4) 폐주물사 대체 콘크리트의 목표 슬럼프값과 공기량을 확보하기 위하여 혼화제의 양이 많이 요구되었으나, 슬럼프 손실률은 보통콘크리트보다 오히려 증가하였다. 그러나, 폐주물사를 30% 대체한 콘크리트의 압축 및 인장강도는 재령에 관계없이 가장 컸으며, 압축강도 증가와 더불어 인장강도 및 탄성계수도 선형적으로 증가하였다.

본 연구에 사용된 폐주물사의 품질은 천연골재와 비교하여 다소 떨어졌으나, 천연골재와 적절히 대체하여 사용함으로써 충분히 개선 가능하다고 판단되었다. 한편, 폐주물사를 잔골재와 50%까지 대체한 모르타르 및 콘크리트의 물성실험결과, 유동성은 보통콘크리트와 비교하여 약간 떨어졌으나, 강도 면에서는 오히려 좋은 결과를 얻었다.

현재 폐주물사를 잔골재로 활용한 콘크리트의 백화현상, 중성화, 동결융해 저항성 및 내약품성 등과 관련된 연구를 수행 중이므로 이들 연구결과에 대한 충분한 검토 이후 실용화가 가능할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 한국경제신문, "건설현장 모래 품귀," 2001. 12. 5. bada@hankyung.com.

2. 한국자원 리사이클링 학회, “리사이클링 백서,” 문지사, 1999, pp.157~164.
3. 최춘선, “鑄物占砂를 활용한 建築資材 生産에 관하여” 한국자원 리사이클링학회지 Vol. 8, No. 5, 1999, pp.59~66.
4. 한국자원재생공사, “주형중류별 폐주물사의 환경유해성 검토 및 적정 관리방안 연구,” 생산기술연구원, 1997.
5. 文翰英, 崔然汪, 宋容閔, 申東求, “폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 기초연구,” 한국콘크리트학회 봄학술발표회, 제13권 1호, 2001, pp.281~286.
6. 최연왕 외 4인, “폐주물사를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구,” 콘크리트학회 봄 학술 발표회, 한국콘크리트학회, 제11권, 1호, 1999, pp.52~57.
7. 박제선 외3인, “폐주물사를 혼입한 콘크리트의 적정 배합설계,” 한국콘크리트 학회지, 제9권 6호, 1997, pp. 195~205.
8. Hall, C., “Water Sorptivity of Mortars Concretes, A Review,” *Magazine of Concrete Research*, Vol. 41, No. 147, 1989, pp.51~61.
9. 환경부, “폐기물관리법,” 1999.
10. 藤井 學, 阪田 憲次, 爲澤 長雄, 川上 俊器, “細骨材の 粒子形狀改善がモルタルの諸性狀に及ぼす影響,” *コンクリート工學論文集*, 第7卷 1号, 1996, pp.67~77.
11. 한국자원재생공사, “주물사 재활용 기술개발에 관한 연구,” 산업기술정보원, 1995.
12. American Foundrymen’s Society, “*Alternate Utilization of Foundry Sand*,” Report to Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Chicago, 1991.
13. Tarun R. N., et. al, “Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of Concrete and Masonry Products,” *ACI Materials Journal*, Vol. 93, No. 1, 1996, pp.41~50.
14. Roy, S., et. al, “Investigation of Portland Slag Cement Activated By Waterglass,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No.7, pp.1049~1056, 1998.
15. Paul T., Mike G., and Ray Regan, “Properties of Controlled Low Strength Material Containing Foundry Sand,” *ACI Materials Journal*, Vol. 97, No. 6, 2000, pp.698~702.

## 요 약

우리나라의 주물공장에서 발생하는 폐주물사는 연간 80만 톤 정도로서 90 %이상이 매립되고 있으므로 토양 및 지하수 오염 문제로 인한 피해가 우려된다. 또한, 폐기물관리법이 크게 강화됨으로써 폐주물사의 재활용 방안에 대한 대책 수립이 절실히 요구된다. 본 연구에서는 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 폐주물사의 품질 및 폐주물사를 대체한 모르타르 및 콘크리트의 물성에 관한 실험결과에 대하여 고찰하였다. 폐주물사의 비중은 천연골재와 비슷하였으나, 단위용적 중량 및 실적률은 작았으며, 흡수율이 다소 큰 문제점이 있었다. 폐주물사의 입도는 천연골재로서 적정비율로 대체, 유해원소 및 유기불순물은 세척처리 함으로써 콘크리트용 잔골재로 사용 가능하였다. 폐주물사 대체 모르타르의 유동성은 보통모르타르와 비교하여 약간 떨어졌으나, 압축강도는 대체율 20 %에서 크게 나타났다. 한편, 폐주물사 대체 콘크리트의 응결시간은 보통콘크리트보다 약간 빨랐으나, 블리딩률은 오히려 작았으며, 슬럼프 손실률이 다소 큰 문제점은 있었다. 그러나 폐주물사를 30 % 대체한 콘크리트의 압축, 인장강도 및 탄성계수는 재령에 관계없이 좋은 결과를 나타내었다.

**핵심용어 :** CO<sub>2</sub>형 폐주물사, 환경오염, 블리딩, 불량한 입도, 강도