

# 폐주물사를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구

## A study on the Physical Properties of Concrete Using Waste Foundry Sand

최연왕\*      최재진\*\*      김기형\*\*\*      김호형\*\*\*\*      김용직\*\*\*\*  
Choi, Yun Wang      Choi, Jae Jin      Kim, Ki Hyung      Kim, Ho Hyung      Kim, Yong Jik

### ABSTRACT

The aimed of this study is to analyze the qualities of foundry waste sand and the basic physical properties of the concrete mixed with the foundry waste sand, as a way of study for reusing the foundry waste sand disused in the foundry as the fine aggregate for concrete.

According to the experimental results, the foundry waste sand is composed of silica ore whose main ingredient is  $\text{SiO}_2$ , and doesn't produce harmful objects of hydration reaction, and the fluidity of concrete shows a decline with the increase of replacement ratio of foundry waste sand, and the compress strength, the tensile strength, the elastic modulus of concrete containing foundry waste sand are improved at the replacement rate of 25%.

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 목적

최근 국내산업의 급속한 발전과 더불어 산업폐기물의 양적증대 및 처리문제가 가장 시급한 환경문제로 인식되어 폐기물의 재활용 및 폐기물처리 과정에서의 환경오염을 최소화 하고자 국가폐기물관리 종합계획이 1996년에서 2001년까지를 대상으로 수립되어 사업장폐기물 가운데 일반폐기물인 경우 재활용 비율을 2001년에는 68%를 목표로 하고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 환경문제에 대한 상황변화에도 불구하고 국내 주조산업 일반폐기물인 폐주물사는 현재 발생량의 6%정도만 도로기층재 및 벽돌재료로 재활용되고 있고 94%는 단순매립에 의존하고 있다. 그러나, 최근 지방자치에 의한 NIMBY(Not In My Back Yard)현상의 확산으로 폐주물사의 매립지 확보가 더욱 어려워지고 있어 폐주물사의 재활용에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

- \*    정희원, 세명대학교 토목공학과 조교수
- \*\*   정희원, 천안공업대학 토목공학과 부교수
- \*\*\*   정희원, 여주대학 토목공학과 조교수
- \*\*\*\*   세명대학교 대학원 석사과정

폐주물사의 재활용에 대한 연구 중 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 연구는 1990년초에 미국의 AFS에서 시작되어<sup>2)</sup> 일본 등 세계각국에서 활발히 진행되고 있으며,<sup>3)</sup> 국내의 경우 벽돌 및 블록에 일부 사용실적이 보고되어 있으나 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 연구성과 및 사용실적은 부족한 실정이다.

본 연구는 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 국내 주물공장에서 발생하는 폐주물사의 물리, 화학적 특성과 그 특성이 모르타 및 콘크리트의 품질에 미치는 영향을 분석, 고찰하여 폐주물사를 사용한 콘크리트의 개발 및 실용화를 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

## 1.2 국내 폐주물사의 발생현황

폐주물사는 주물공장에서 주형제작을 위하여 사용되는 조형능력이 있는 주물사를 생형법, 개스형법, 자경성후란 계통 등으로 주조 후 폐기한 주조산업의 일반폐기물로 1997년 실태조사에 의하면 연간 735,531 톤의 폐주물사가 발생하였고 연간 4%정도로 증가될 것으로 예측하여 2000년에는 816,599 톤의 폐주물사가 발생될 것으로 예상되고 있다.<sup>4)</sup>

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 폐주물사(Foundry Waste Sand, 이하 FWS로 약함)는 주물 공장에서 제품을 만든 후 폐기되는 각종 폐주물사가 혼합된 재료를 이물질 및 철분을 제거하고 원래 주물사의 입자크기로 환원시킨 시료를 사용하였으며 폐주물사의 화학성분은 표 1과 같다.

표 1 폐주물사의 화학성분

Items Types	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> (%)
F W S	90.4	2.6	3.7	0.3	0.5	-

골재는 충추산 강모래(이하 RS로 약함)와 강자갈을 사용하였으며 콘크리트용 잔골재로서의 폐주물사의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재 및 폐주물사의 물리적 성질

Items Types	G <sub>max</sub> (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Solids by weight(%)
Coarse aggregate	25	2.64	0.86	7.15	-	1,692	64.6
RS	-	2.62	1.82	2.94	O.K	1,641	63.8
FWS	-	2.62	1.12	1.40	O.K	1,539	58.7

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 X선 회절분석 및 SEM분석

No.100체를 통과하는 폐주물사를 시멘트 중량의 50%로 혼합하고 물-결합재비를 50%로 하여 제작한 페이스트를 20°C의 수중에서 28일 양생 후 분쇄하여 분말법에 따른 X선 회절분석을 실시하였다. 측정조건은 CuK(Ni, filter) 35kV, 20mA, Scan Speed 80/min, 2θ = 0° ~ 60° 로 측정하였다.

또한 폐주물사를 혼합한 시멘트 경화체의 미세조직을 관찰하기 위하여 주사형 전자현미경(SEM)을 사용하여 3,000배 확대 촬영하였다.

### 2.2.2 입형 및 색상 사진분석

폐주물사의 입형 및 색상을 분석하기 위하여 No.50체에 남은 시료를 실체현미-사진촬영시스템을 이용하여 노출 및 속도는 AUTO로 150배 확대 촬영하였다.

### 2.2.3 모르터 및 콘크리트의 배합

모르터는 강모래에 대한 폐주물사의 혼합률을 중량비로 0%, 25%, 50% 및 75%의 4단계 변화시켜 플로우 및 강도시험을 실시하였으며, 콘크리트는 모르터의 실험결과를 분석하여 혼합률을 0%, 25%, 35% 및 45%의 4단계로 혼합하였다. 모르터는 KS L 5105의 표준배합으로 제조하였고, 강도측정용 콘크리트 배합은 굵은골재의 최대치수 25mm, 물-시멘트비 50%, 단위시멘트량 350kg/m<sup>3</sup>, 잔골재를 42%로 정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 잔골재로서 폐주물사의 품질에 대한 고찰

폐주물사의 품질을 판단하기 위하여 폐주물사의 화학성분을 분석한 표 1에 의하면 폐주물사는 주성분이 SiO<sub>2</sub>로 구성된 규사광 또는 규석광물로 판단되며, 폐주물사가 시멘트 수화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 폐주물사 분말을 시멘트 중량의 50%로 혼합하여 제작한 경화체의 미세조직을 확대 촬영한 것이 사진 1이며, 수화생성물을 알아보기 위하여 XRD 분석을 실시한 것이 그림 1이다.



사진 1 폐주물사 혼합 경화체의 미세조직

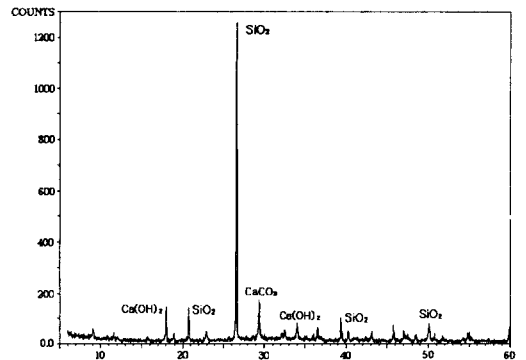


그림 1 폐주물사 혼합 경화체의 XRD 분석

사진 1의 분석결과 폐주물사에 의한 특이한 수화결정체는 나타나지 않았으며, 경화체의 광물조성을 분석한 그림 1에서도 시멘트의 수화생성물인 Ca(OH)<sub>2</sub>와 폐주물사의 주광물 조성인 SiO<sub>2</sub>만이 분석되고 있어 폐주물사가 시멘트 수화에 유해한 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

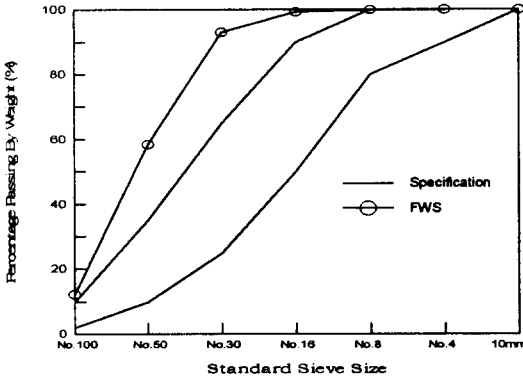


그림 2 폐주물사의 입도곡선

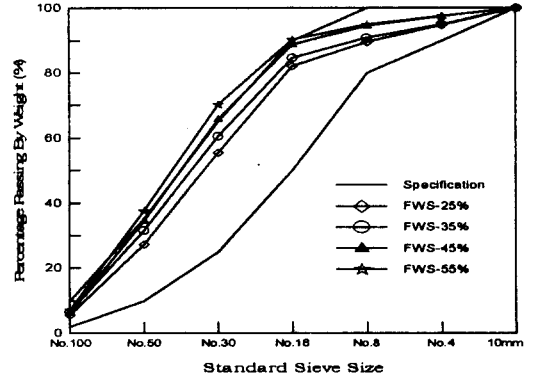


그림 3 폐주물사의 혼합률 변화에 따른 입도곡선

다음은 폐주물사의 입도분포를 알아보기 위하여 폐주물사의 입도곡선과 콘크리트용 잔골재의 입도 분포 규정치와 비교하여 정리한 것이 그림 2이다. 폐주물사의 입도는 그림 2에서와 같이 No.30체를 시료 무게의 90% 이상이 통과하고 있으며, No.100체 통과량은 12.3%로 나타나 일반 강모래와 비교하여 잔입자가 많은 특성을 나타내고 있어 콘크리트용 잔골재의 입도 분포 규정치 범위에 적합하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 일반 강모래와 혼합하여 입도조정을 하는 것이 바람직하다고 판단되며, 적당한 혼합률을 알아보기 위하여 강모래에 대한 폐주물사의 혼합률을 중량비로 25%부터 55%까지 10%단위로 변화시켜 정리한 것이 그림 3이다. 그림 3의 분석결과 폐주물사의 혼합률이 45%이하에서 입도분포 규정치 범위를 만족하고 있어 폐주물사의 입도조정을 위한 최대 혼합률은 45%임을 알 수 있다.

다음은 콘크리트용 골재의 가장 기본이 되는 비중, 흡수율 및 단위용적중량을 측정하여 일반 잔골재와 비교한 표 2에 의하면 폐주물사의 비중은 2.62, 흡수율은 1.12%로 KS F 2558(콘크리트용 바순모래)에 규정된 비중 2.5 이상, 흡수율 3%이하를 만족하고 있음을 알 수 있다. 이러한 원인은 주물사 원석이 규사광 또는 규석광으로 내부가 치밀한 구조로 되어있으며, 주형제조시 주물사 표면에 코팅처리가 되는 경우 주물 작업시 열을 받지 않은 부분은 코팅제가 남아 있어 골재에 물이 흡수되는 것이 방해되는 것도 흡수율이 작은 값을 나타내는 하나의 원인이라 판단된다. 또한 단위용적중량은 강모래와 비교하여 다소 작은 값을 나타내었으며, 이러한 이유는 폐주물사의 조립률이 작고 입도분석 결과 균일한 크기의 입자가 많이 분포되어 있기 때문으로 판단된다.

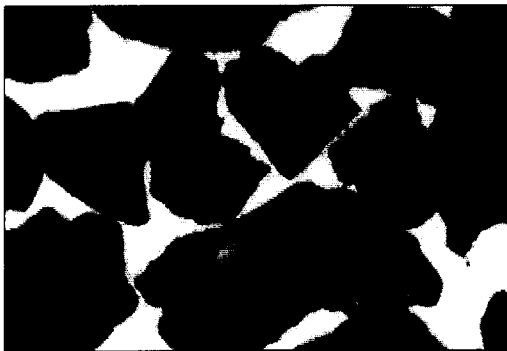


사진 2 강모래의 사진 (150배)

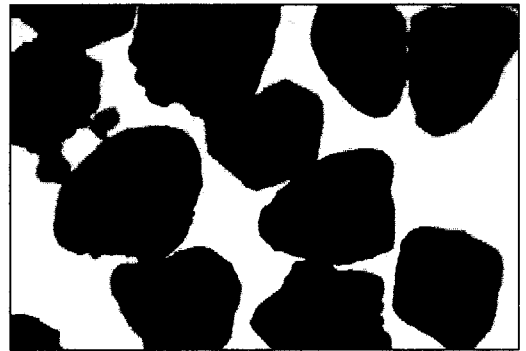


사진 3 폐주물사의 사진 (150배)

다음은 폐주물사의 입형 및 색상을 판정하기 위하여 No.50체에 남은 시료를 실체현미-사진촬영시스템을 이용하여 150배 확대 촬영한 것이 사진 2 및 사진 3이다. 사진 2 및 사진 3에서 강모래의 입형보다 폐주물사의 입형이 비교적 각이 적은 둥근 모양을 나타내고있어 폐주물사가 강모래보다 입형이 좋음을 알 수 있으며 폐주물사의 색상이 강모래보다 검은색을 띄는 것은 점결제의 연소에 의한 것으로 판단된다.

이러한 폐주물사의 품질시험 결과로부터 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 일반 강모래와 혼합하여 사용하는 것이 콘크리트용 잔골재의 품질 규격을 만족함을 알 수 있다.

### 3.2 폐주물사 혼합모르터의 물성에 대한 고찰

폐주물사의 혼합률 변화가 모르터의 강도특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 폐주물사를 강모래에 대하여 중량비로 0%, 25%, 50% 및 75%의 4단계로 혼합한 모르터의 재령 28일까지 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 4이다. 그림 4에서 폐주물사 혼합률 25%의 모르터 강도는 폐주물사를 혼합하지 않은 기준모르터의 강도와 비교하여  $\pm 5\%$ 범위 내에서 강도차이를 나타내고 있으나, 폐주물사의 혼합률 75%인 경우에 최대 23%정도의 강도감소가 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 폐주물사의 혼합률이 증가할수록 모르터의 압축강도가 저하되는 원인 중 한 부분은 폐주물사의 입도가 균일한 크기의 잔입자로 이루어져 입도분포 및 조립률이 불리하기 때문이라 판단되며, 사진 2 및 사진 3에서 폐주물사의 입형이 강모래보다 다소 둥글고 표면이 매끄러운 것도 강도감소의 원인이라 판단된다.

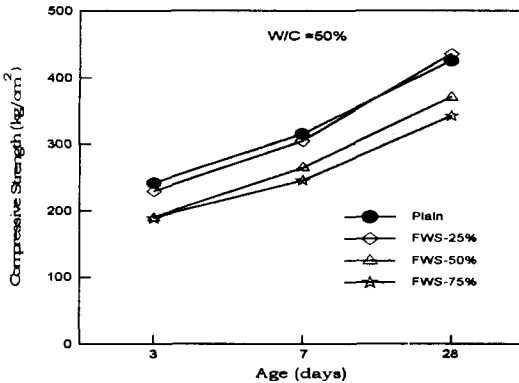


그림 4 폐주물사 혼합 모르터의 재령별 압축강도

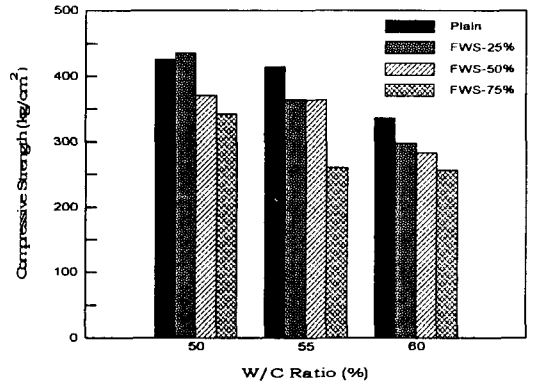


그림 5 물-시멘트비 변화에 따른 모르터의 압축강도

다음은 물-시멘트비 변화 및 혼합률 변화에 따른 폐주물사 혼합 모르터의 강도특성을 알아보기 위하여 물-시멘트비를 3단계, 폐주물사 혼합률을 4단계 변화시켜 재령 28일의 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 5이다. 그림 5에서 모르터의 압축강도는 물-시멘트비의 변화에 상관없이 폐주물사의 혼합률이 증가함에 따라 강도는 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 폐주물사의 혼합률이 압축강도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

### 3.3 폐주물사 혼합콘크리트의 물성에 대한 고찰

폐주물사의 품질 및 폐주물사를 혼합한 모르터의 실험결과를 기초로 하여 폐주물사를 강모래에 대한 중량비로 0%, 25%, 35%, 및 45%까지 4단계로 변화시키고 각각에 AE감수제를 첨가한 폐주물사를 혼합한 콘크리트의 공기량 및 슬럼프 값을 측정하여 정리한 것이 그림 6이며, 압축강도를 측정된 결과를 정리한 것이 그림 7이다. 그림 6의 결과 물-시멘트비와 잔골재율이 동일한 경우 폐주물사 혼합률이 증가함에 따라 콘크리트의 슬럼프 및 공기량이 비례적으로 감소되고 있음을 알 수 있다.

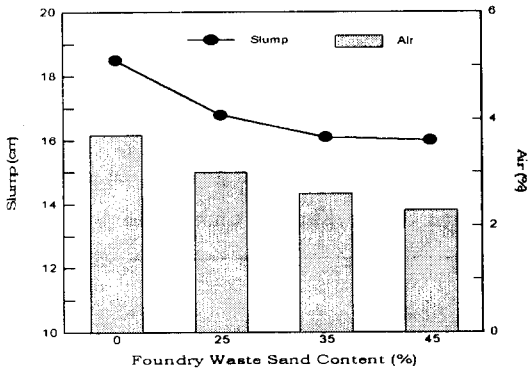


그림 6 폐주물사 혼합물에 따른 슬럼프 및 공기량

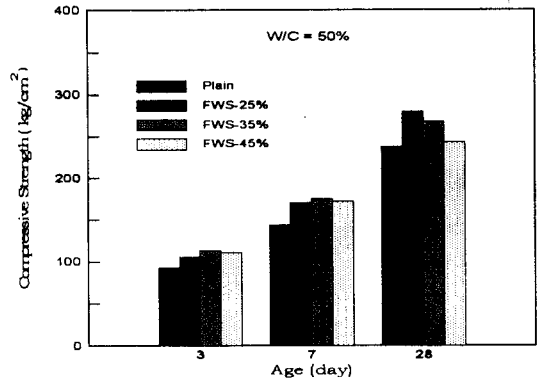


그림 7 폐주물사 혼합 콘크리트의 재령별 압축강도

이러한 감소원인은 폐주물사 혼합물이 증가함에 따라 잔골재의 조립률이 작아짐에 따른 비표면적의 증가로 잔골재의 수분 흡착력이 다소 커지며, 또한 폐주물사에 포함되어 있는 점토 및 벤토나이트 등의 미립의 점결체에 의한 보습효과 및 혼화제 흡수에 따른 영향이라고 판단된다.

그림 7의 결과 폐주물사를 혼합한 콘크리트의 압축강도는 강모래를 사용한 기준콘크리트에 비해 압축강도가 증진되고 있음을 알 수 있으며, 특히 재령 28일에서 혼합물 25%인 경우 압축강도 증진효과가 18%로 가장 크게 나타나 최적 혼합률이 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 실험결과는 폐주물사의 혼합에 따른 골재전체의 입도분포 개선효과 및 잔입자에 의한 내부공극 충전이 강도증진의 가장 큰 원인이라고 판단된다.

#### 4. 결론

폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 폐주물사의 품질과 폐주물사를 혼합한 모르타 및 콘크리트의 기초적 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 폐주물사가 시멘트 수화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 폐주물사를 혼합한 경화체의 미세조직 관찰 및 XRD분석을 실시한 결과 폐주물사에 의한 유해한 수화생성물은 관찰되지 않았다.
- (2) 폐주물사의 입도는 균일한 크기의 잔입자로 이루어져 입도분포 및 조립률이 불리하며, 입도조정을 위하여 강모래와 혼합사용시 폐주물사의 입도조정을 위한 최대 혼합률은 45%임을 알 수 있다.
- (3) 폐주물사를 혼합한 콘크리트의 유동성 및 공기량은 폐주물사 혼합량이 증가할수록 비례적으로 감소하므로 일반 강모래를 사용한 콘크리트와 같은 유동성 및 공기량을 확보하기 위해서는 감수제 및 AE제의 사용량이 더 요구됨을 알 수 있다.
- (4) 폐주물사 혼합 콘크리트의 압축강도는 혼합물 45%까지는 강모래를 사용한 기준 콘크리트에 비해 강도증진효과가 있었으며, 혼합물 25%에서 강도증진 효과가 18%로 가장 크게 나타나 최적혼합률이 존재하는 것을 알 수 있다.

#### 참고문헌

- (1) “(녹색 환경의 나라) 건설을 위한 국가폐기물관리종합계획”, 환경부, 1996.
- (2) American Foundrymen's Society, “Alternate Utilization of Foundry Sand”, Report to Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Chicago, 1991.
- (3) 官澤信夫 外2人, “鑄物工場から發生する廢砂の再利用”, 近畿大學環境科學研究報告, no.13, 1985.
- (4) “주형종류별 폐주물사의 환경유해성 검토 및 적정 관리 방안 연구”, 한국자원재생공사, 1997.6.