

폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 기초연구

Fundamental Study on Recycling Waste Foundry Sand as Fine Aggregate for Concrete

문한영^{*} 최연왕^{**} 송용규^{***} 신동구^{****}
Moon, Han-Young Choi, Yun-Wang Song, Yong-Kyu Shin, Dong-Gu

ABSTRACT

The development of automobile, vessel, rail road, and machine industry leads increase of foundry production used as their components, which cause a by-product, waste foundry sand (WFS). The amount of the WFS produced in Korea is over 900,000 ton a year, but most WFS buries itself and only 5~6% WFS is recycled as a material in construction materials.

In this study, WFS is used as a fine aggregate for concrete. Five types of concretes aimed at the specified strength of $240 \pm 10 \text{ kgf/cm}^2$, air contents of $4.5 \pm 1 \%$ and slump of $12 \pm 1.5 \text{ cm}$ were mixed with washed coarse seashore sand(WCS) in which salt was removed and then optimum mix proportion of concrete was determined. Moreover, basic properties such as setting time, workability, bleeding and slump loss of the fresh concrete with WFS were tested and compared with those of the concrete mixed without WFS. In addition, both compressive strength of hardened concrete at each ages and tensile strength of it at the age of 28 days were measured and discussed.

1. 서 론

우리나라에서 주물을 제조할 때 소요되는 주물사는 연간 300만 톤 정도이며, 주물공장에서 발생되는 폐주물사량은 90만 톤 이상으로 이 중 약 90%이상 단순 매립되고 있으며, 발생량의 6%정도만 도로 기층재 및 시멘트 2차 제품 등으로 재활용되고 있는 실정이다.

그러므로 이렇게 많은 양의 폐주물사를 매립하므로 야기되는 토양 및 지하수 오염과 같은 2차 환경오염 문제로 인한 피해가 우려되며, 이에 대한 대책이 요구될 뿐만 아니라 폐주물사를 부가가치가 높은 재료로 재활용하기 위한 연구가 절실히 요망된다.

* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 정회원, 세명대학교 건설공학부 토목공학과 조교수
*** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정
**** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

그래서 미국, 일본 등의 선진국에서는 폐주물사를 재활용하는 방안에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 특히 폐주물사의 재활용에 관한 내용 중 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구는 1990년대초 American Foundrymen Society에서 시작되어 일본 등 세계 각국에서 활발하게 진행되고 있다.⁽¹⁾

그러나 국내의 경우, 시멘트 벽돌 및 블록 등에 일부 사용된 실적이 보고되고 있으나 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구성과 및 사용실적은 거의 없는 상태이다.

그래서 본 연구에서는 국내에서 다량 발생하는 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 폐주물사의 품질과 폐주물사를 잔골재와 대체한 모르타르의 강도 및 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 손실, 블리딩, 응결시간, 압축강도, 인장강도 및 탄성계수 등의 기초물성을 측정하여 결과로서 모르타르 및 콘크리트용 잔골재로 사용 가능한지 여부에 대하여 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 폐주물사 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC) 및 CO₂형 폐주물사(Waste Foundry Sand 이하 WFS)의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다. 이 때 폐주물사의 화학성분은 실리카가 84.3%인 반면, 시멘트와는 달리 CaO가 0.85%로 매우 작았으며, Na₂O가 1.01% 정도임을 알 수 있었다.

표 1 시멘트 및 폐주물사의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
OPC	21.95	6.59	2.81	60.1	3.32	-	2.11	2.58	3.15	3,112
WFS	84.30	5.95	0.42	0.85	0.16	1.01	-	5.61	2.60	-

(2) 골재 : 잔골재는 주문진산 표준사 (Standard Sand 이하 SS) 및 바다모래를 세척한 왕사 (Washed Coarse Sand 이하 WCS)를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 25mm인 부순돌로서 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Items Types	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids (%)	Abrasion value (%)
WFS	2.60	2.30	2.43	1,537	55.0	-
SS	2.63	0.00	1.91	1,453	55.2	-
WCS	2.60	0.78	2.97	1,653	56.4	-
Crushed Stone	2.65	0.78	6.51	1,741	64.9	28.6

2.2 실험방법

(1) 모르타르의 흡수율 : 5×5×5 cm인 모르타르 공시체를 재령 28일에서 105±5℃로 24시간 건조시킨 후 그림 1과 같이 한쪽면을 물로 채운 스펀지면에 접촉시켜서 180분까지 흡수량을 측정하였다.

(2) 모르타르 플로우 및 압축강도 : 물-시멘트비 60%, 시멘트량 600g 및 수량 360ml로 정하여 플로우 값 100±5 %를 목표로 모르타르를 제조한 후, 잔골재의 품질을 확인하기 위하여 KS F 2514에 의

하여 모르타르의 플로우 및 압축강도 측정하였다.

(3) 콘크리트의 응결 : 폐주물사를 잔골재량의 0, 30 및 50% 대체한 콘크리트의 응결시간은 KS F 2436에 의하여 측정하였다

(4) 콘크리트의 블리딩실험 : 폐주물사를 잔골재량의 0, 30 및 50% 대체한 콘크리트의 블리딩률을 KS F 2414에 의하여 측정하였다.

(5) 콘크리트의 슬럼프 손실 : 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 손실정도를 알아보기 위하여 믹싱 직후 0, 30, 60 및 90분에 슬럼프 값을 KS F 2402에 의하여 측정하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3.1 폐주물사의 품질

(1) 입도 및 조립률

폐주물사의 조립률은 표 2에서 알 수 있듯이 세척왕사와 비교하여 작은 2.43이였으나, 이 값은 일반적으로 콘크리트에 사용되는 잔골재의 조립률 2.3~3.1 범위 내에 있었다. 그러나 폐주물사의 입도 분포곡선을 살펴보면 그림 2에서와 같이 표준입도 범위를 약간 벗어남을 알 수 있다. 그래서 폐주물사의 조립률이 다소 작은 부분을 보완하기 위하여 조립률이 큰 세척왕사를 50%까지 5단계로 대체하여 폐주물사의 입도를 조절한 결과가 그림 2에서와 같이 표준입도 곡선 범위 안에 있음을 알 수 있다.

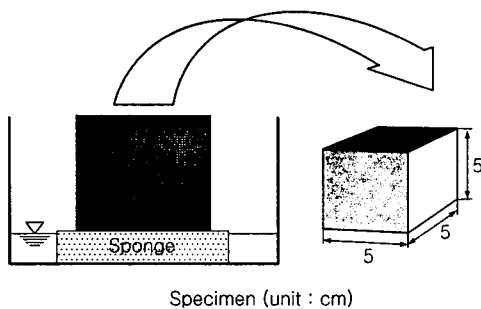


그림 1 모르타르의 흡수율 시험

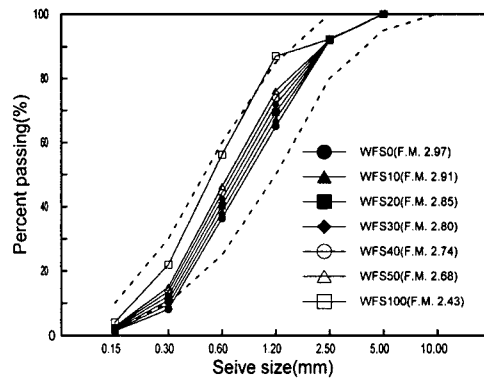


그림 2 폐주물사 대체율에 따른 입도곡선

(2) 폐주물사의 비중, 흡수율 및 유기불순물

폐주물사의 비중은 2.60으로 콘크리트용 잔골재의 범주에 있었으며, 흡수율은 2.30%로서 천연 잔골재의 흡수율에 비해 다소 높은 값을 알 수 있었다. 한편, 폐주물사의 유기불순물 실험 결과를 사진으로 나타낸 것이 그림 3이다. 이 흑백사진으로 폐주물사의 유기불순물의 정도를 판정하기는 곤란하겠으나, 폐주물사의 유기불순물 실험결과, 농황색을 나타냄으로써 표준용액의 색농도와 비교해보면 다소 옅은 색깔임을 알 수 있으므로 콘크리트용 잔골재로서의 사용이 가능함을 확인하였다.

3.2 폐주물사를 잔골재와 대체한 모르타르의 물성

(1) 모르타르의 흡수량

모르타르 시편을 연마한 밀면을 통하여 수조 내 스펀지의 물이 흡수되도록 그림 1과 같이 모르타르 시편의 밀면을 침지하여 모르타르의 모세관 흡수정도를 측정하는 시험장치이다. 이 시험장치로서 폐주물사의 대체율에 따른 모르타르의 경과시간별 모세관 흡수량을 측정하여 시편의 모세관 공극량을 간접적으로 평가한 것이 그림 4이다. 여기서 모세관 흡수량 $c = \frac{W_w}{A}$ (A: 밀면의 면적, W_w : 공시체에 흡수된 물량) 이다. 그림 4는 표준사만을 그리고 폐주물사를 50%까지 대체한 모르타르의 경과시간별 모세관 흡수량을 나타낸 것으로서, 표준사만을 사용한 모르타르가 폐주물사로서 대체한 모르타르 보다 흡수속도 및 흡수율이 다소 크게 나타났으며, 폐주물사의 대체율이 증가할수록 흡수율이 약간 증가함을 알 수 있었다.

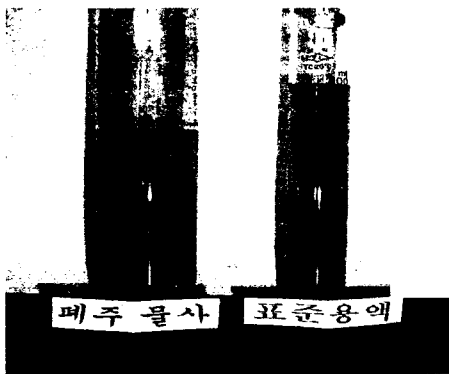


그림 3 폐주물사의 유기불순물시험

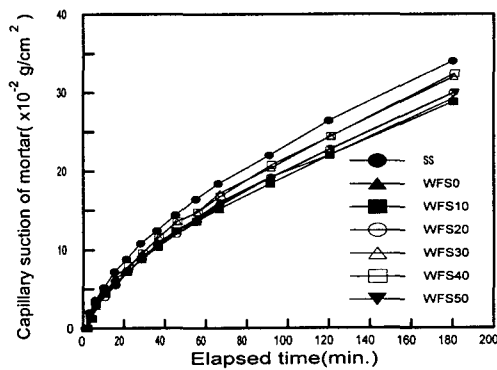


그림 4 폐주물사의 대체율에 따른 모세관흡수량

(2) 모르타르의 강도

플로우값 $100 \pm 5\%$ 를 목표로 제조한 모르타르의 재령 3, 7 및 28일의 폐주물사의 대체율에 따른 압축강도를 나타낸 것이 그림 5이다. 이 그림에서 폐주물사의 대체율 20%에서 재령에 관계없이 가장 큰 압축강도 값을 나타내었으나 대체율이 증가할수록 강도가 약간 감소되는 경향을 나타낼 수 있었다. 세척한 왕사만을 사용한 모르타르의 압축강도 100에 대하여 각 재령별 폐주물사의 대체율에 따른 모르타르의 압축강도비로 정리한 것이 그림 6이다. 이 그림에서 왕사만을 사용한 모르타르의 압축강도 100에 대하여 폐주물사 대체율 20%에서 압축강도비 110%를 나타내었으나, 대체율이 증가함에 따라 압축강도비가 감소함을 알 수 있었다. 그 이유는 폐주물사의 대체율 20%에서 잔골재의 입도 분포가 이상적 이었을 뿐만 아니라, 폐주물사 입자 표면에 붙어있는 규산소다($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_3$)가 강도 발현에 영향을 미친 것으로 생각된다. 그러나 폐주물사의 대체율 30%이상에서는 입도분포가 양호하지 못할 뿐만 아니라 규산소다의 증가로 인한 급결현상 등으로 압축강도가 다소 감소되었다고 사료된다. 이상의 실험결과를 종합해 볼 때 모르타르 제조시 폐주물사의 대체율은 20%정도가 적절하다고 생각된다.

3.3 폐주물사를 잔골재와 대체한 콘크리트의 블리딩률 및 응결시간

폐주물사 0, 30 및 50% 대체하여 제조한 콘크리트의 블리딩률 및 응결시간을 측정하는 결과를 나타낸 것이 그림 7 및 8이다. 그림 7은 폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트의 경과시간별 블리딩률을 나타낸 것으로서 폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 경과시간별 블리딩률이 증가함을 알 수 있으며, 경과시간 3시간에서 블리

당밀은 폐주물사를 대체하지 않은 경우 > 30% 대체한 경우 > 50% 대체한 경우 순으로 크게 나타났다.

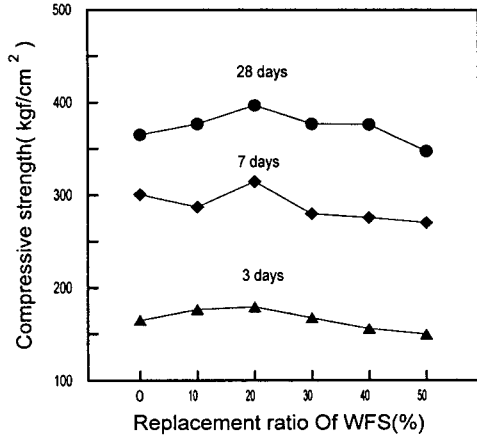


그림 5 폐주물사 대체율에 따른 모르타르의 압축강도

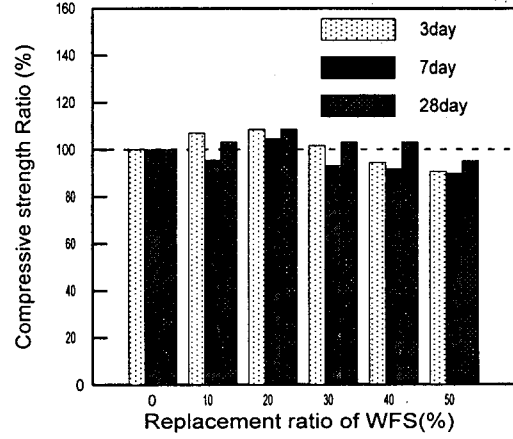


그림 6 왕사 사용 모르타르의 압축강도 100에 대한 강도비

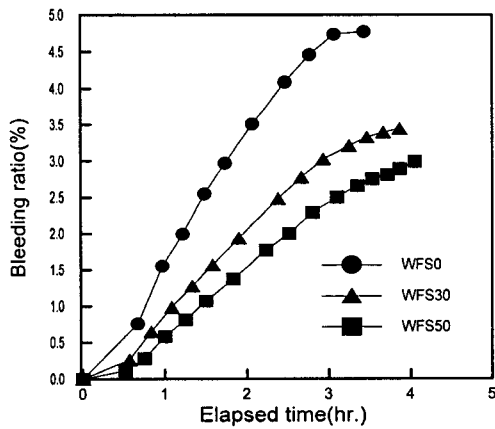


그림 7 폐주물사의 대체율에 따른 블리딩률

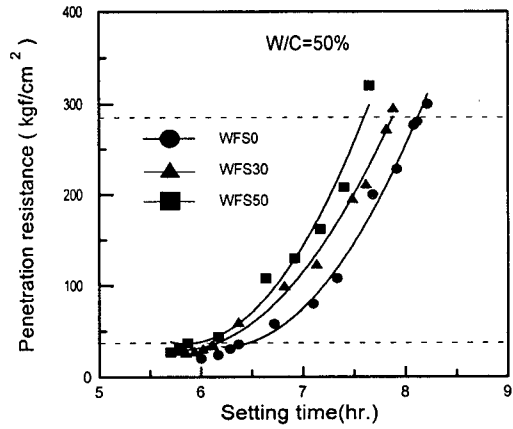


그림 8 폐주물사의 대체율에 따른 응결시간

폐주물사를 대체하는데 따라 콘크리트의 블리딩율이 감소하는 이유는 폐주물사는 세척왕사 보다 0.15mm보다 작은 세립분이 많이 포함되어 있기 때문으로 생각된다. 한편, 그림 8은 폐주물사 0, 30 및 50% 대체한 물-시멘트비 50% 콘크리트의 응결시간을 나타낸 것으로서 폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 초결 및 종결시간은 약간 빨라졌으나, 이 값은 콘크리트 표준 시방서의 초결 및 종결시간을 만족하는 값임을 알 수 있었다. 다시 말해서 폐주물사를 대체한 콘크리트의 경우 폐주물사를 대체하지 않은 경우보다 오히려 응결시간이 빨라진 이유는 폐주물사 입자 표면에 붙어있는 규산소다의 반응으로 인하여 응결이 촉진되었다고 사료된다.

3.4 폐주물사를 잔골재와 대체한 콘크리트의 강도

폐주물사를 잔골재와 대체한 콘크리트의 목표 슬럼프 값 및 공기량을 각각 $12 \pm 1.5\text{cm}$ 및 $4.5 \pm 1\%$ 로 정하여 폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트의 감수제 및 AE제량을 나타낸 것이 그림 9이다. 이 그림에서 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 감수제 및 AE제량의 경향은 상이 하였으나 약간 증가함을 알 수 있다. 즉, 폐주물사를 잔골재와 대체하는데 따라 콘크리트의 동일한 슬럼프 및 공기량을 확보하기 위하여 감수제 및 AE제량이 많이 요구되는 이유는 폐주물사의 불량한 입도분포 및 잔입자분의 영향으로 생각된다.

한편, 콘크리트의 물-시멘트비 50%일 때, 폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이 그림 10이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 재령에 관계없이 폐주물사의 대체율이 30%에서 가장 큰 압축강도 값을 나타내었다. 그러나 폐주물사의 대체율이 40%이상에서 압축강도 값이 약간 감소함으로써 폐주물사의 적정 대체율은 30%정도로 생각된다.

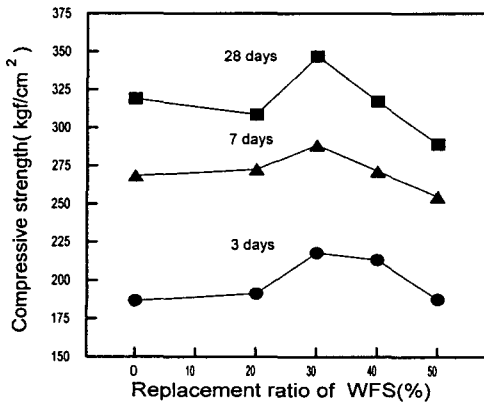


그림 9 폐주물사의 대체율과 콘크리트의 압축강도

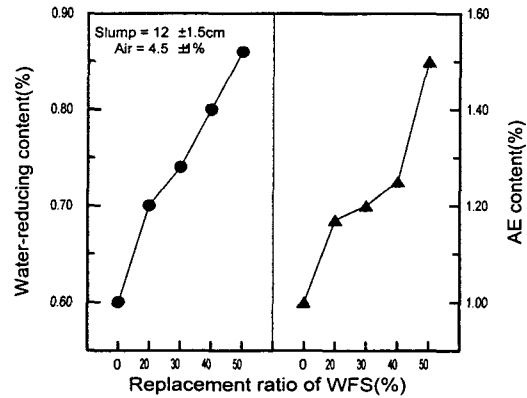


그림 10 폐주물사의 대체율과 혼화제의 사용량

4. 결론

- (1) 폐주물사의 비중 및 흡수율은 각각 2.60과 2.30%로서 흡수율은 천연 잔골재보다 컸으며, 단위용적 중량과 실적률은 다같이 약간 작았다. 한편, 유기불순물 실험결과 농황색으로서 표준용액의 색깔보다 약간 옅어 잔골재로서의 사용이 가능함을 알 수 있었다.
- (2) 폐주물사를 대체한 모르타르의 압축강도는 대체율이 20%에서 가장 좋은 값을 나타내었으며, 모르타르의 모세관 흡수율은 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 약간씩 큰 값을 나타내었다.
- (3) 폐주물사를 대체한 콘크리트의 압축강도는 재령에 관계없이 대체율이 30%에서 가장 큰 압축강도 값을 나타내었으나, 대체율 40%이상에서 압축강도는 약간 감소하므로 폐주물사의 적정 대체율은 30%정도로 생각된다.

참고문헌

1. Tarun R. Naik etc., "Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of Concrete and Masonry Products", ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 1, January-February, 1996 pp. 41-50.
2. American Foundrymen's Society, "Alternate Utilization of Foundry Sand", Report to Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Chicago, 1991.
3. 최연왕, "폐주물사를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구", 콘크리트 붐 학술 발표회 제11권 제1호, 1999, pp 52~57.