

폐주물사를 잔골재와 대체한 콘크리트의 물성에 대한 고찰

문한영* · 송용규* · 최재진** · 최연왕*** · 김기형****

한양대학교 토목공학과* · 천안공업대학 토목공학과**

세명대학교 토목공학과*** · 여주대학 토목과****

I. 서론

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

그런데 이들 많은 양의 폐주물사를 매립하므로 인하여 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.

그래서 미국, 일본 등의 선진국에서는 폐주물사를 재활용하는 방안에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 특히 폐주물사의 재활용에 관한 내용 중 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구는 1990년대 초 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.

그러므로 본 연구에서는 국내에서 다량 발생되는 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 폐주물사의 품질과 폐주물사를 잔골재와 대체한 모르타르의 기초물성 및 콘크리트의 공기량, 슬럼프 및 압축강도 등을 측정된 결과로서 모르타르 및 콘크리트용 잔골재로 사용 가능한지 여부에 대하여 고찰하였다.

II. 사용재료 및 실험방법

1. 사용재료

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

Table 1. Chemical compositions and physical properties of cement and WFS

Types	Items	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 부순모래 (이하 CRS), 바다모래를 세척한 왕사(이하 WCS) 및 세척중사(이하 WMS)를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 25mm인 부순돌이며, 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

* (우)133-791 서울시 성동구 행당동 17 한양대학교 토목공학과 콘크리트·재료연구실
Tel. : (02)2290-0323, Fax : (02)2292-3356, E-mail : moon77@email.hanyang.ac.kr

Table 2. Physical properties of aggregate and WFS

Items Types	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids (%)	Abrasion value (%)
CRS	2.55	1.88	3.03	1,656	55.7	-
WFS	2.60	2.30	2.43	1,537	55.0	--
WCS	2.60	0.78	3.44	1,653	56.4	--
WMS	2.61	0.63	2.63	1,597	56.2	--
Coarse aggregate	2.65	0.78	6.51	1,741	64.9	28.6

2. 실험방법

- (1) 모르타르의 플로우 및 압축강도 : 물-시멘트비 48.5%, 시멘트와 잔골재의 중량비 1 : 2.45로 혼합하여 모르타르의 플로우 및 압축강도를 KS L 5105에 의하여 측정하였다.
- (2) 콘크리트 공기량 : 콘크리트 시료를 용기에 3층으로 채워 다짐대로 25회씩 다진 후 콘크리트 공기량을 KS F 2421에 의하여 측정하였다.
- (3) 콘크리트 슬럼프 : 콘크리트 시료를 슬럼프 콘 용적의 1/3씩 3층으로 채워 각 층을 다짐대로 25회씩 다진 후 콘크리트 슬럼프를 KS F 2402에 의하여 측정하였다.
- (3) 콘크리트 압축강도 : $\phi 10 \times 20$ cm 원주형 공시체를 제조한 후 약 21℃ 정도의 수중에서 표준 양생하여 재령 7 및 28일에서의 압축강도를 KS F 2403에 의하여 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 폐주물사의 품질

(1) 입도 및 조립률

표 2에서 알 수 있듯이 폐주물사의 조립률은 세척왕사, 세척중사 및 부순모래와 비교하여 작은 2.43였으나 이 값은 일반적으로 콘크리트에 사용되는 잔골재의 조립률 2.3~3.1 범위 내에 있었다. 그러나 그림 1에서와 같이 폐주물사의 입도 분포곡선을 살펴보면 표준입도 범위를 약간 벗어날 뿐만 아니라 조립률이 다소 작은 부분을 보완하기 위하여 폐주물사에 비해 조립률이 큰 세척왕사 또는 세척중사 및 부순모래를 혼합하여 폐주물사의 입도를 조절하였다.

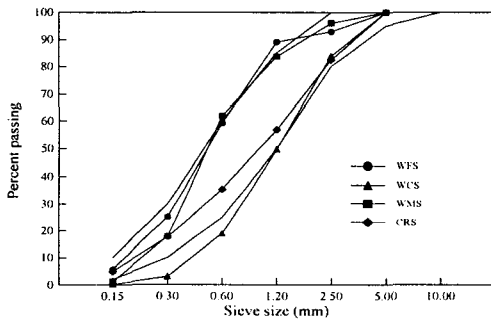


Fig 1. Grade curve of WFS and fine aggregates

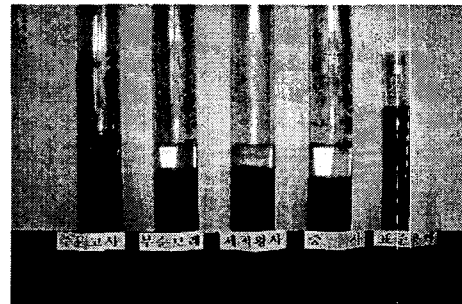


Fig 2. Organic impurities of WFS and fine aggregates

(2) 폐주물사 및 잔골재의 비중, 흡수율 및 유기불순물

폐주물사의 비중은 2.60으로 콘크리트용으로 사용되는 보통 잔골재의 범주에 있었으나, 흡수율은

2.30%로서 천연 잔골재보다 훨씬 큰 값을 알 수 있었다. 한편, 폐주물사, 세척왕사, 세척중사 및 부순모래의 유기불순물 실험 결과를 사진으로 나타낸 것이 그림 2이다. 그림 2의 흑백사진으로 폐주물사의 유기불순물의 정도를 판정하기는 곤란하겠으나, 폐주물사의 유기불순물 실험결과, 농황색을 나타내므로써 표준용액의 색농도와 비교해보면 다소 옅은 색깔임을 알 수 있으므로 콘크리트용 잔골재로서의 사용이 가능함을 확인하였다.

2. 폐주물사를 잔골재와 대체한 모르타르의 물성

폐주물사의 대체율에 따른 모르타르의 플로우 값 및 압축강도의 측정결과를 각각 정리한 것이 그림 3 및 그림 4이다. 그림 3은 폐주물사의 대체율에 따른 모르타르의 플로우 값을 나타낸 것으로서 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 잔골재의 종류에 관계없이 플로우 값이 크게 감소됨을 알 수 있었다.

다시말해서 폐주물사의 대체율에 따라 모르타르의 플로우 값이 감소되는 이유는 폐주물사의 입도분포, 조립물 이외에 입형이 세척왕사, 세척중사 및 부순모래보다도 콘크리트용 잔골재로서 부적합한 것으로 판단되었다. 한편, 그림 4는 폐주물사의 대체율에 따른 모르타르의 압축강도를 재령 3, 7 및 28일로 나타낸 것으로서 모르타르의 압축강도는 잔골재 종류에 관계없이 폐주물사의 대체율이 증가할수록 감소함을 알 수 있었다. 폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 모르타르의 압축강도가 약간 감소하는 이유는 폐주물사의 품질이 표 2에서 알 수 있듯이 세척왕사, 세척중사 및 부순모래보다 다소 떨어지는데 기인되었다고 생각된다.

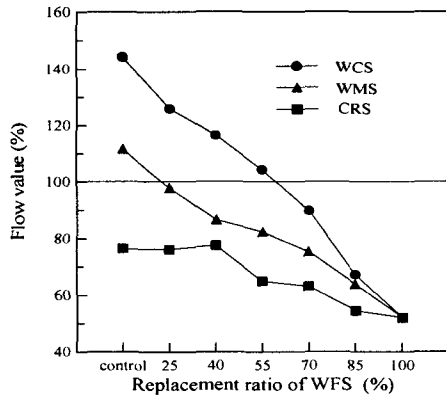


Fig 3. Flow value of mortar according to replacement ratio of WFS

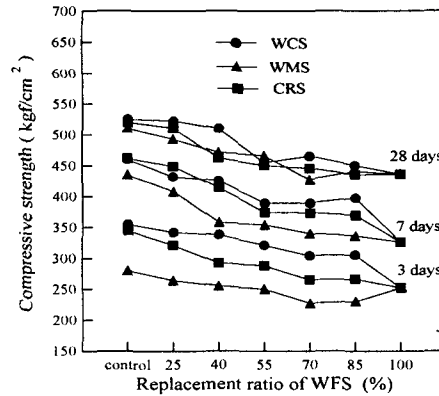


Fig 4. Compressive strength of mortar according to replacement ratio of WFS

3. 폐주물사를 잔골재와 대체한 콘크리트의 강도 특성

폐주물사를 잔골재와 대체한 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 각각 $12 \pm 1.5\text{cm}$ 및 $4.5 \pm 1\%$ 를 목표로 제조하였다. 폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트의 단위수량 및 AE제량을 나타낸 것이 그림 5로서 이 그림에서 폐주물사의 대체율이 증가함에 따라 잔골재 종류에 관계없이 단위수량 및 AE제량이 각각 증가함을 알 수 있다. 폐주물사를 부순모래와 대체한 콘크리트의 슬럼프와 공기량이 세척왕사나 세척중사와 대체한 경우 보다 단위수량 및 AE제량이 더 크게 요구됨을 알 수 있었다.

다시 말해서 폐주물사의 경우, 불량한 입도 분포 및 다량의 잔입자분을 포함하고 있기 때문에 세척왕사, 세척중사 및 부순모래 보다도 콘크리트용 잔골재로서 부적합한 탓으로 폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 콘크리트의 동일한 슬럼프 및 공기량을 확보하기 위하여 단위수량과 AE제량이 많이 요

구되었다고 생각된다. 한편, 그림 6은 콘크리트의 물-시멘트비 50%일 때 폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것으로서 폐주물사를 세척왕사와 대체한 경우, 재령에 관계없이 폐주물사의 대체율 50%에서 가장 큰 압축강도 값을 나타내었다. 그러나 폐주물사를 세척중사 또는 부순 모래와 대체한 경우, 재령에 관계없이 폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 압축강도가 감소하는 결과를 나타내었다. 이상의 실험결과를 종합해 볼 때 폐주물사의 적정 대체율은 30~50% 범위로 생각되며, 세척왕사가 3종류의 천연골재 중 폐주물사와 가장 좋은 조합을 이루었다고 생각된다.

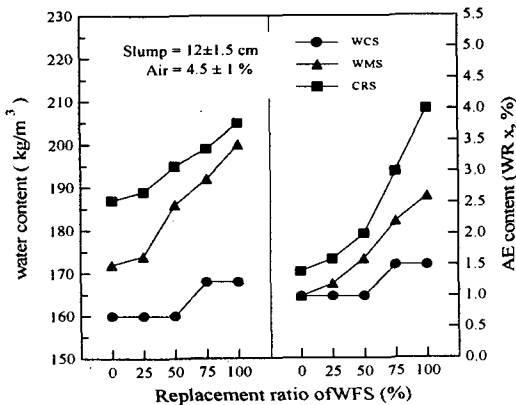


Fig 5. Water content and AE content according to replacement ratio of WFS

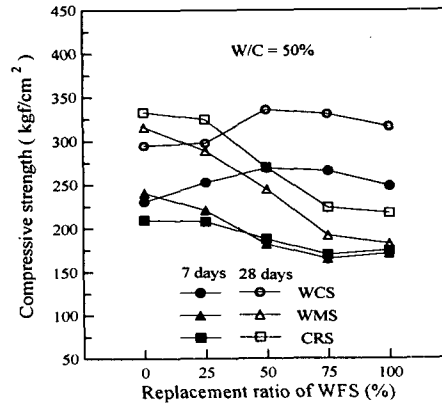


Fig 6. Compressive strength of concrete according to replacement ratio of WFS

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 옅었다.
- (2) 폐주물사를 대체한 모르타르의 플로우값 및 압축강도는 대체율이 증가함에 따라 잔골재의 종류에 관계없이 감소하였다. 그 이유는 폐주물사의 품질이 천연 잔골재보다 다소 떨어지는데 기인되었음을 알 수 있었다.
- (3) 폐주물사는 표준입도분포를 약간 벗어나는 잔 입자분을 포함한 입도분포 때문에 폐주물사의 대체율이 증가하는데 따라 콘크리트의 목표 슬럼프 및 공기량을 확보하기 위하여 단위수량과 AE제량이 많이 요구되었다.
- (4) 폐주물사를 세척왕사와 대체할 경우 재령에 관계없이 대체율 50%에서 가장 큰 압축강도를 나타내었으며, 적정 대체율은 30~50% 범위였다. 천연 잔골재 3종류 중 세척왕사가 폐주물사와 가장 좋은 조합을 이루었다.

참고문헌

1. Tarun R. Naik 외 3인(1996), "Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of Concrete and Masonry Products", ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 1, January-February
2. 최연왕(1999), "폐주물사를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구", 콘크리트 봄 학술 발표회 제1권 제1호
3. American Foundrymen's Society, "Alternate Utilization of Foundry Sand", Report to Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Chicago, 1991.