

낮은 물비를 갖수용성 합성 질석유의 재사용을 위한 한외여과 연구는 콘크리트 제품에 대한 폐주물사의 적용

김진만* · 조성현** · 콧은구*

*공주대학교 건축공학과 · **공주대학교 RRC/NMR

Application of Waste Foundry Sand for Concrete-Based Products of Low Water Ratio

Jin-Man Kim* · Sung-Hyun Cho** · Eun-Goo Kwak*

*Dept. of Architectural Engineering, Kongju National University, Kongju, 314-701, Korea

**RRC/NMR, Kongju National University, Kongju, 314-701, Korea

요 약

ABSTRACT : This is the study for recycling waste foundry sand. Authors studied about main subject of grading of aggregate and three experimental items such as physical properties of waste foundry sand, optimum grading for concrete products of low water ratio, and quality variations of concrete products according to substitution proportion of fine aggregate as waste foundry sand.

We were convinced of following results by experimental study. The first was that waste foundry sand was not fit as the aggregate for concrete because of bad qualities such as grading, unit weight, solid volume and passing 0.08 mm sieve, so it is proper to composition using with other fine aggregates. The second was that optimum grading is fineness modulus of 2.77 to 3.28. And the last is that optimum condition about substitution proportion as waste foundry sand is 10% of fine aggregate.

key words : waste foundry sand, grading of aggregate, concrete products, fineness modulus

1. 서 론

1.1 연구배경

금속주조 조형시 다량으로 발생하는 폐주물사는 국내의 경우에도 1998년 기준으로 연간 약 76만ton

이상이 발생되고 있으며, 매년 약 4% 정도씩 증가될 것으로 추정되고 있다¹⁾. 폐주물사는 주형 종류별, 사용되는 점결제의 종류 및 지역 등에 따라 그 품질이 매우 다양하며, 또한 여러 가지의 불순물을 함유하고 있으므로 주형종류별, 재생처리 용도별, 매립장별로 분별 처리하는 것이 바람직하나 현재로서는 분별처

리 되지 않을 뿐 만 아니라 처리형태도 대부분 매립에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 매립을 위해서는 별도의 비용이 소요되며, 매립 중에 분진이 발생하여 주변 자연환경을 훼손할 뿐 만 아니라 매립 후에는 매립지를 타 용도로 장기간 사용할 수 없게 되어 결과적으로 국토를 황폐화시키는 문제점도 있다.

폐주물사의 재활용에 관한 연구는 미국의 경우 AFS(America Foundrymen's Society)에서 1980년대 말부터 1990년대 초에 걸쳐서 연구가 진행되었는데, 주로 폐주물사를 다시 재생하여 주물사로 사용하지 않고 별도의 다른 용도로 활용하기 위한 것에 초점을 맞추었다. AFS의 수행 과제는 "Alternate Utilization of Foundry Waste Sand"라 불리웠는데, 시멘트 재료, 콘크리트용 골재, 목 울 재료, 성토 재료 등의 다양한 분야에 대한 용도개발에 관심을 두고 진행되었다²⁾.

일본의 경우에도 1988년과 1990년에 가장 활발하게 연구 논문이 발표되었으며 발표된 내용들을 보면 우리가 폐주물사라고 호칭하는 것을 회수사라고 하여 못쓰는 모래가 아니라 자원이라는 느낌을 줄 수 있는 용어를 사용하고 있고, 이의 재활용을 위하여 거의 전 분야에 걸쳐서 연구가 되었다^{2,7)}.

국내의 경우에도 폐주물사에 관한 연구보고 및 특허자료가 1990년대에 비교적 많이 보이고 있는 것으로 보아 거의 실용화 단계에 다다른 것으로 보이지만, 실용화하기에는 경제적인 문제가 선결과제로 남아있는 것으로 보인다^{8,12)}.

폐주물사를 재활용하는 방법은 신사화하는 방법과 다른 용도로 재활용하는 방법을 생각할 수 있다. 신사화하는 방법은 기술적으로는 가능하지만 경제성이 낮아 적절치 않으며, 다른 용도로 재활용하는 것이 바람직하다. 폐주물사는 실리카의 함량 85% 이상으로 매우 높고 알루미늄과 산화철이 주성분을 이루고 있고 특별히 문제가 되는 중금속이 포함되어 있지 않으므로 결합제로 무기계를 이용한 폐주물사의 경우에는 건설용 골재로 사용하는 것이 가장 효율적인 재활용 방법이라고 할 수 있다.

한편 콘크리트용 세골재는 종래 강모래를 사용하였으나 자연환경 보호에 따라 강모래의 채취가 어렵게 되어 해사를 세척하여 사용하게 되었으나 내륙지역의 경우 그 수급에 어려움이 있어 석분중의 미

립분을 제거하여 제조한 쇄사를 사용하게 되는 등 세골재의 수급상황은 갈수록 어려워지고 있어 각 산업분야에서 발생하는 슬래그 또는 분말상의 부산물 또는 폐기물을 콘크리트용 세골재로 사용할 수밖에 없는 상황으로 변해가고 있다.

그러나 폐주물사의 경우 일반 콘크리트용 골재에 비하여 품질이 열악하기 때문에 폐주물사를 골재를 전량 대체하는 용도로 사용하는 것은 문제가 있으며, 또한 폐주물사의 사용에 의한 콘크리트의 품질 저하 등에 관한 연구도 아직 미흡한 실정이다.

1.2 연구목적

폐주물사는 주형의 종류에 따라 사용하는 원 주물사의 종류와 특성이 다르고, 각각의 주물사에 혼합되는 바인더나 혼합물의 종류도 다르기 때문에 일반 건설용의 골재보다 품질 변동이 아주 심한 문제점을 가지고 있을 뿐만 아니라 전반적으로 크기가 건설용 모래보다 매우 작기 때문에 모래의 전부를 대체하는 것은 최종 제품의 품질에 심각한 문제를 가져오게 되므로 콘크리트 제품의 종류에 따른 일정한 사용 한도가 존재하게 된다⁸⁾.

본 연구는 충남 지역에 소재한 콘크리트 제품 생산 공장에 폐주물사를 적용하기 위하여 행한 일련의 실험적 연구이다. 대상 제품은 시멘트 및 잔골재에 소량의 물을 가하여 비빈 후 진동 가압에 의해 성형하는 제품이다. 이러한 제품의 경우 일반적으로 골재의 입도가 제품의 품질에 매우 중요한 영향을 미치게 된다. 그러므로 본 연구에서는 골재의 입도를 중심으로 본 제품에 맞는 적절한 골재 입도 범위를 확인하고, 본 제품에 폐주물사를 효율적으로 적용하기 위한 방안을 제시하기 위한 것이다.

1.3 연구 계획

본 연구의 프로세스는 그림 1에 나타낸 바와 같다. 먼저 세골재를 대체하기 위하여 사용할 폐주물사를 선정하기 위한 검토를 수행하였다. 검토 대상은 본 연구에서 대상으로 하고 있는 콘크리트 제품 생산 공장의 인근에 위치한 3개 기업에서 배출되는 폐주물사이다.

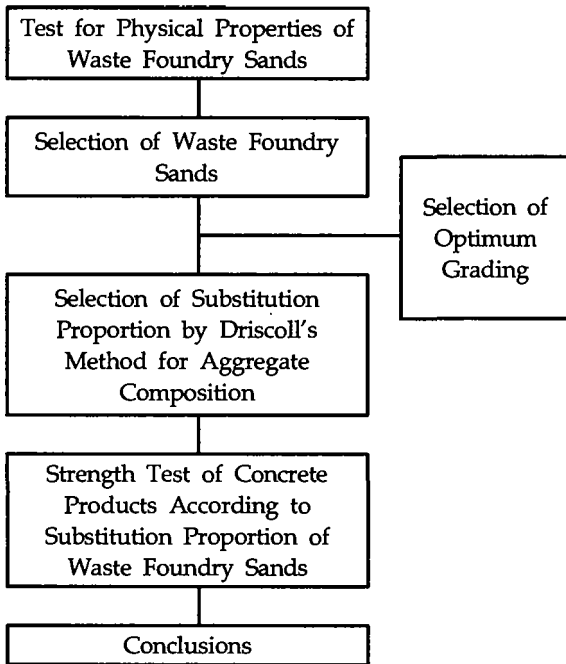


Fig. 1. Process of this project

다음으로는 낮은 물비를 갖는 콘크리트 제품에 적정한 입도분포에 관하여 검토하였다. 콘크리트용 세골재의 입도분포는 KS 및 콘크리트 시방서⁹⁾에 규정되어 있지만, 본 제품과 같이 수량을 극도로 적게 하여 제조하는 경우에는 관련 규정을 적용하기 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 본 제품에 적정한 골재의 입도분포를 실험적으로 구명한 다음 결정된 입도분포를 유지하도록 폐주물사와 모래 및 쇠사를 Driscoll의 골재 합성방법¹⁵⁾에 따라 합성하여 폐주물사의 대체비율을 결정하였으며, 대체비율의 적정성을 확인하기 위하여 폐주물사의 대체비율에 따른 콘크리트

리트 제품의 강도특성을 실험적으로 검토하여 결론을 도출하였다.

2. 폐주물사 물리적 특성

2.1 실험계획

배출량과 운송여건을 고려하여 3개사에서 배출되는 폐주물사를 검토 대상으로 하였다. 검토 대상 폐주물사는 모두 무기계인 규산소다를 첨가제로 하고 있어 비교적 간단한 공정으로 재활용할 수 있는 폐기물이다. 측정항목은 입도, 비중, 흡수율, 셋기 손실량 및 단위용적중량으로 하였다.

2.2 실험결과 및 분석

(1) 입도

입도시험결과는 표 1 및 그림 2에 나타낸 바와 같이 3종 모두 최대치수는 1.2mm로 나타났으며, C의 경우 가는모래로 분류되는 조립율(FM) 값인 2.3과 동일한 수준을 보이고 있어 콘크리트용 세골재로 분류할 수 있지만, A 및 B의 경우에는 조립율이 2.20 및 1.94로 매우 낮은 값을 보이고 있다. 이와 같이 조립율이 작은 것은 굳지않은 상태에서는 콘크리트의 요구수량을 증가시키게 되며, 경화상태에서 건조수축량을 증가시키는 원인으로 작용하게 된다.

또한 연속입도를 살펴보면 B사의 경우에는 0.15~0.3mm의 크기의 것이, A사 및 C사의 경우에는 0.3~0.6mm의 것이 약 80%에 점유하고 있어 지나치게 불연속적인 입도를 보이고 있고, 콘크리트 표준시

Table 1. Test results of waste foundry sands

Test items	Test results			Spec. ^{11~12)}	Remarks
	A	B	C		
Fineness Modulus	2.20	1.94	2.29	-	Normal range : 2.30~3.10
Max. size(mm)	1.2	1.2	1.2	-	Range of size : 1.2, 2.5, 5.0
Specific gravity	2.58	2.48	2.6	≥ 2.5	
Water absorption(%)	1.95	2.11	2.10	≤ 3.0	
Unit weight(kg/m ³)	1,242	1,252	1,257	-	Normal fine agg.(wet) : 1,350~1,500
Solid volume(%)	48	50	48	-	River Sand : 55~65%
Under 0.08mm(%)	3.7	3.6	3.8	≤ 3.0	

방사의 연속 2개 체 사이에 잔존하는 양이 45%를 넘지 않도록 한 규정을 크게 벗어나고 있다.

이와 같이 입도 시험결과는 콘크리트용 잔골재의 기준을 만족하지 않고 있어 폐주물사를 단독으로 콘크리트용 골재로 사용하는 것은 부적합한 것으로 나타났다.

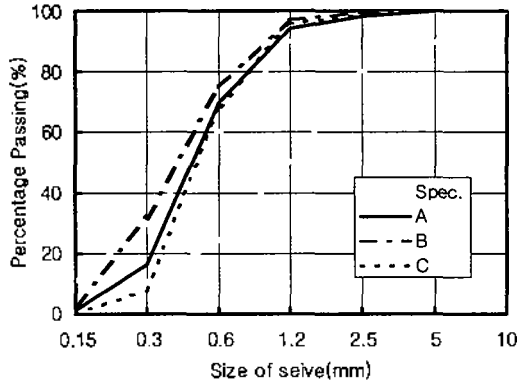


Fig. 2. Grading test results

(2) 흡수율 및 비중

흡수율은 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 전 반적으로 3종 모두 2.1 이하의 흡수율을 보이고 있어 콘크리트용 잔골재의 기준인 3.0 이하를 만족하고 있으며, A사의 것이 제일 양호한 결과를 보이고 있다. 비중의 경우에는 콘크리트용 골재의 경우 2.5 이상이 되어야 하지만 B사의 폐주물사는 2.48로 기준을 하회하고 있는데 이는 골재 표면에 묻어 있는 점결재에 기인한 것으로 사료된다. A사 및 C사의 것은 기준을 만족하고 있다.

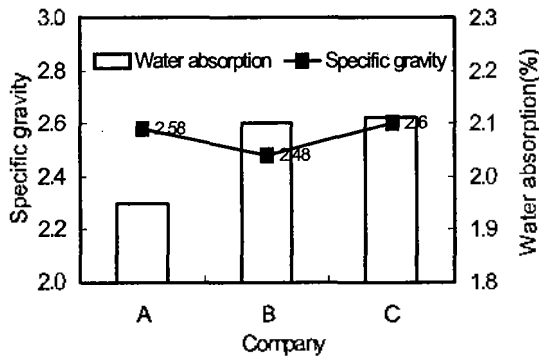


Fig. 3. Test results of specific gravity and water absorption

(3) 단위용적 중량 및 실적을

단위용적중량은 보통 잔골재가 습윤상태에서 1,350~1,500(kg/m³)의 범위를 보이는 것에 비하여 폐주물사는 1,242~1,257(kg/m³)의 범위를 보이고 있어 매우 낮은 값을 보이고 있다. 실적을 또한 48~50(%)를 보이고 있어 강모래에 비하여 매우 낮은 값을 보이고 있다. 이러한 결과를 보이는 것은 표면에 묻어 있는 점결재 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

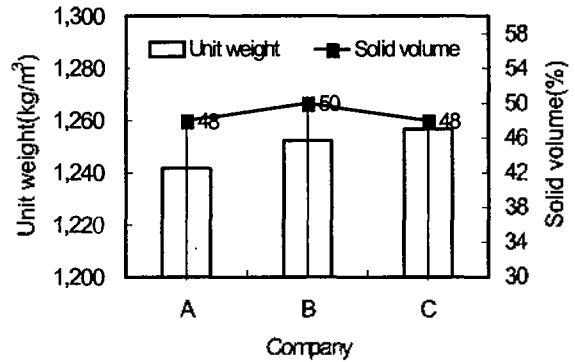


Fig. 4. Test results of unit weight and solid volume

(4) 씻기 손실량

씻기 손실량 시험은 0.08mm 체에 통과하는 양을 의미하는 것인데, 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 폐주물사의 경우 3.6~3.8(%)의 값을 보이고 있어 콘크리트용 잔골재의 기준치인 3.0(%)를 상회하고 있다. 이는 고결된 상태에서 물리적으로 파쇄를 하였기 때문에 나타난 결과로 사료된다. 미립분의 증가는 콘크리트의 경우 건조수축량의 증가를 유발하여 균열 발생 가능성을 높이게 된다.

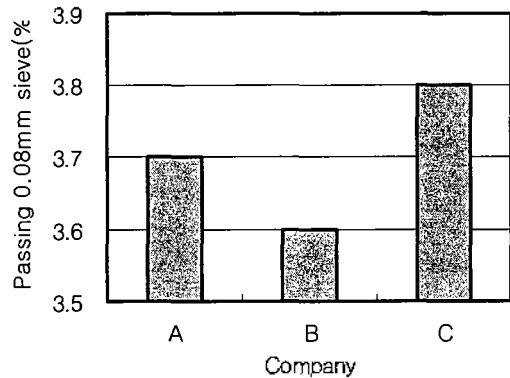


Fig. 5. Test results of passing 0.08mm sieve

2.3 소결론

이상과 같이 재활용이 가능한 폐주물사를 대상으로 물성을 검토한 결과 전반적으로 콘크리트용 잔골재의 기준에는 크게 미흡한 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 폐주물사는 단독으로 콘크리트용 골재로 사용하는 것은 적절치 않으며, 다른 재료와 적절히 혼합 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3. 콘크리트 제품의 공학적 특성에 미치는 잔골재 입도 분포의 영향

3.1 실험계획 및 방법

본 실험은 잔골재의 입도분포가 콘크리트 제품의 강도, 단위중량 및 표면 형상에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다. 입도분포는 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 국내 시방기준을 참조하여 잔골재의 표준입도분포 범위를 포함한 5가지 수준(A, B, C, D, E)으로 하였으며, 각 입도곡선의 조립율은 1.69, 2.15, 2.77, 3.38, 3.98이다. 입도분포는 강모래 및 갠모래를 추가하여 입도곡선에 맞도록 인위적으로 조정하였다.

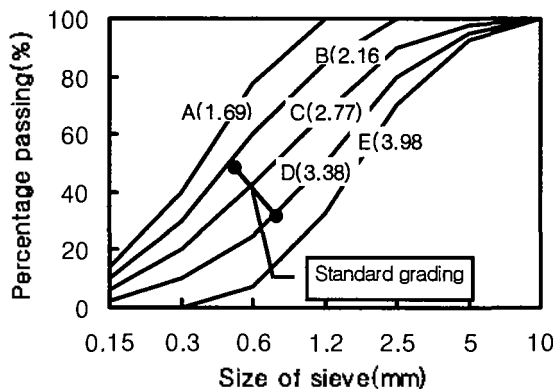


Fig. 6. Diagram to decide fineness modulus

콘크리트의 배합은 일반적인 콘크리트 진동 제품의 배합을 사전에 검토하여 시험비빔을 거친 후 표 2와 같이 결정하였으며, 측정항목은 실적율, 압축강도 및 표면거칠기로 하였다.

실적율은 흙의 다짐시험방법에 준하여 다진 후 단위중량을 측정하고, 이 값을 공극이 없을 경우를 고려하여 계산한 이론 단위용적중량 값에 대한 비율로 나타낸 것이다. 압축강도는 시험체를 진동 가압 성형 후 재령 3일이 경과하였을 때 측정하였다. 표면 거칠기는 압축강도 시험용 시험체를 대상으로 표면의 거칠기를 목적으로 판정하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

(I) 실적율

골재의 조립율에 따른 실적율의 변화를 골재의 종류별로 나타낸 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 조립률 값에서는 골재 종류에 상관없이 동일한 수준의 실적율을 보이고 있으나, 동일한 골재를 사용한 경우에도 조립률이 변화하면 실적율이 큰 변화를 보이고 있어 본 연구의 대상인 낮은 물시멘트 비를 갖는 콘크리트 진동제품의 경우에는 골재의 종류보다는 조립율 즉, 골재의 크기가 제품의 품질에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

조립율의 영향을 골재의 종류에 따라 좀 더 구체적으로 살펴보면, 강모래의 경우 조립률 및 물시멘트비가 증가할수록 전반적으로 실적률이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 부순모래의 경우에는 강모래와 유사하지만 강모래에 비해 상대적으로 불규칙한 경향을 보이고 있는데, 이는 부순모래가 강모래에 비하여 입형이 불균일하기 때문에 나타난 현상으로 추정된다.

그림 7에서 ○로 표기한 부분은 다짐실험에서

Table 3. Experimental plan and mix proportion

Factors of experiment		Mix proportion				Test items
Kinds of aggregate	FM of aggregate	W/C (%)	Cement (o/wt)	Water (o/wt)	Aggregate (o/wt)	
River sand	1.69 · 2.15 · 2.77	29	23.69	6.81	68.34	<ul style="list-style-type: none"> • Solid volume • 3 day compressive Strength • Surface roughness
Crushed sand	3.38 · 3.98					

실적률이 높게 나타나고 있지만, 진동·가압 성형시 수분이 유출되거나 제품이 성형기 몰드에 달라붙는 현상이 나타나는 등 성형 작업이 매우 어려웠음을 의미하는 것인데, 골재의 크기가 증가할수록 진동 가압 성형이 가능한 몰시멘트비가 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이는 골재의 크기가 증가하면 비표면적이 감소하기 때문에 잉여수가 많아져 발생한 결과로 사료된다.

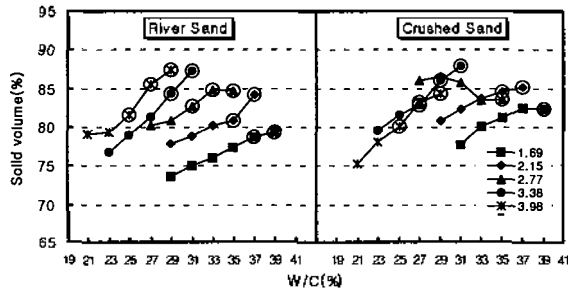


Fig. 7. Variation of solid volume according to the fineness modulus of aggregate. Symbol ○ represents that there are so more water than required water and it is difficult to cast.

또한 몰시멘트비에 따른 경향을 살펴보면, 동일한 조립율의 경우 몰시멘트비의 증가에 따라 실적율도 증가하는 현상을 보이고 있다.

이상의 결과를 종합하면, 전반적으로 세골재의 크기가 커질수록 실적율이 높아지고 성형가능한 몰시멘트비가 감소하는 경향을 보이고 있어 골재의 크기를 증대시키는 것이 진동가압성형 제품의 경우에는 좀더 우수한 품질을 기대할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 압축강도

골재 종류별 입도분포와 몰시멘트비에 따른 압축강도 시험결과를 나타낸 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 강모래의 경우, 각 입도분포에서 몰시멘트비가 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있고, 부순모래의 경우, 압축강도가 강모래에 비해 상대적으로 불규칙한 경향을 보이는 등 전반적으로 실적을 시험결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

이와같이 부순모래의 경우가 불규칙한 것은 부순모래의 입형이 편평 세장하여 골재 모서리의 취약부분이 다짐시험 및 진동 가압 성형시 깨지는 현상이 발생하기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

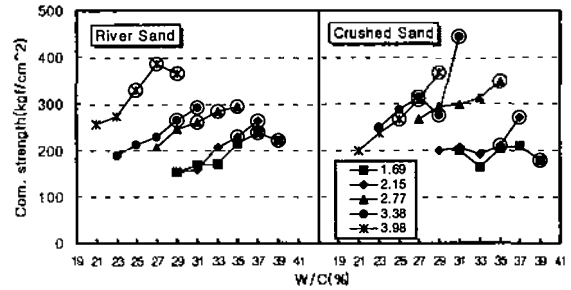


Fig. 8. Variation of compressive strength according to the fineness modulus of aggregate. Symbol ○ represents that there are so more water than required water and it is difficult to cast.

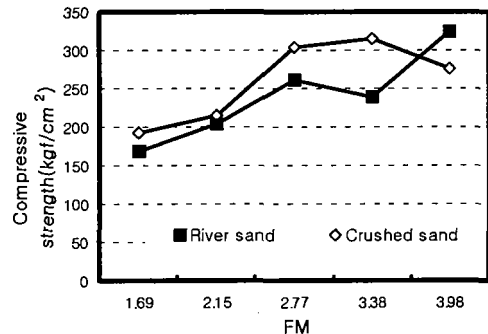


Fig. 9. Average compressive strength in each fineness modulus

또한 동일한 조건에서 몰시멘트비가 증가할 경우 압축강도가 증대하는 현상을 보이고 있는데 이는 일반 콘크리트에서 강도와 몰시멘트비가 반비례하는 현상과는 반대의 경향이다. 이러한 결과를 보이는 것은 진동 가압 성형하는 콘크리트 제품의 경우도 일반 콘크리트와 동일하게 몰과 시멘트의 수화반응에 의해 강도를 발현하지만, 수분은 양생 공정에서 다시 공급되기 때문에 성형 시점에서 보면, 강도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 몰시멘트비가 아니고 구성재료의 입도분포가 얼마나 더 최밀 입도에 근접하는지 여부라는 것을 의미하는 것임을 알 수 있다.

그림 9는 각 조립률별 평균 압축강도를 나타낸

것으로 전체적으로 부순모래를 사용한 경우가 강모래를 사용한 경우에 비하여 높은 강도를 보이고 있다. 조립율에 따라서는 전술한 바와 같이 조립율의 증가에 따라서 강도의 증가가 나타나며, 조립율 2.77 이상의 경우에는 골재 종류에 상관없이 상대적으로 높은 압축강도를 보이고 있다.

(3) 표면거칠기

Photo 1은 골재 종류 및 입도분포에 따른 표면 거칠기의 변화를 나타낸 것으로 조립률이 증가할수록 표면이 거칠게 나타나고 있다. 실적률, 압축강도, 표면형상 모두를 고려하였을 때, 조립률 1.69와 2.15에서는 표면형상이 양호하게 나타나고 있으나, 압축강도가 낮은 수준을 보이고 있고, 조립률 3.98에서는 압축강도가 높은 수준을 보이고 있으나, 표면이 매우 거칠게 나타났다.

3.3 소결론

잔골재의 입도분포가 콘크리트 제품의 강도, 단위중량 및 표면 형상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험적으로 검토한 결과 실적률 및 압축강도의 경우 조립율 2.77, 3.38, 3.98에서 우수한 결과를 보이고 있으나 조립율 3.98은 표면형상이 매우 거칠어 제품으로서의 가치가 떨어지는 결과를 보이고 있어 강도 및 표면형상을 종합적으로 고려하면, 진동 가압 성형하는 콘크리트 제품의 적절한 입도분포는 조립

율 2.77~3.38의 범위인 것으로 나타났다.

4. 폐주물사 대체율에 따른 콘크리트 제품의 품질 변화

4.1 개요

본 실험은 폐주물사의 적정 대체율을 골재의 입도에 근거하여 결정한 후 이를 실험적으로 확인하기 위한 것이다. 사용하는 골재의 종류가 강모래, 부순모래 및 폐주물사이므로 단계적으로 Driscoll의 골재 합성방법에 의하여 3개 재료의 사용비율을 결정하였으며, 확인실험은 시험체를 제작한 후 압축강도와 실적율을 측정하여 검토하였다.

4.2 골재합성

전술한 바와 같이 콘크리트표준시방서에서 제시하고 있는 콘크리트용 잔골재의 표준입도 범위는 그림 10의 a~c 범위이지만 선행 실험결과 진동 가압 성형하는 콘크리트 제품의 경우 b~c의 범위가 적절한 것으로 나타났으므로 본 실험에서는 골재의 입도분포범위를 b~c범위로 한정하여 검토하였다.

Driscoll의 골재 합성방법을 단계적으로 그림 11 및 12에 나타내었다. 합성의 제 1단계는 강모래 및 부순모래의 통과율을 각 체치수에서 연결하고, 연결된 직선상에 선행 실험결과 가장 좋은 강도를 나타낸 최적의 골재 입도범위에 한정하여 굵은 실선을

F.M		1.69	2.15	2.77	3.38	3.98
River sand	Surface texture					
	Quality control	Pass	Pass	Pass	Pass	Reject
Crushed sand	Surface texture					
	Quality control	Pass	Pass	Pass	Pass	Reject

Photo 1. Surface roughness according to fineness modulus of fine aggregate

곳은 작업이다. 이 굵은 직선은 강모래와 켄모래의 입도가 다르므로 경사지게 되며, 이 경사진 굵은 직선을 만나도록 수직선을 그리면, 굵은 직선을 가장 많이 만나는 수직선이 두 골재의 합리적인 합성비율을 임을 의미하게 된다. 그림 11에서는 수직선 a, b, c가 굵은 실선을 모두 만나고 있다. 수직선 a는 강모래와 켄모래의 합성비율이 90 : 10임을 의미하고, b는 80 : 20, c는 70 : 30임을 나타내고 있다. 본 연구에서는 현장에서의 경제성을 고려하여 부순모래의 사용량이 높은 수직선 c를 합성비율로 결정하였다.

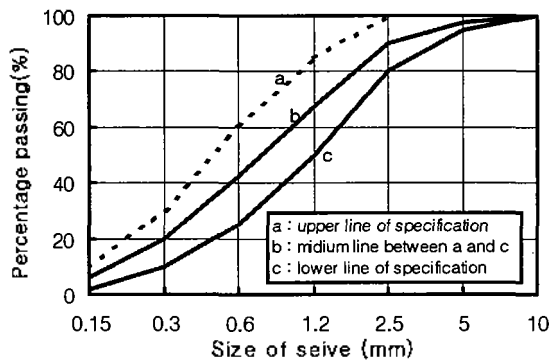


Fig. 10. Grading of aggregate according to F.M

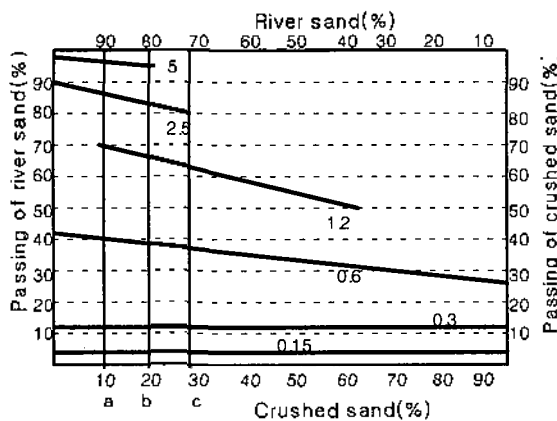


Fig. 11. Composition of river sand and crushed sand

제2단계는 그림 12에 나타내었는데, 1단계의 작업인 그림 11은 그림 12의 오른쪽에 해당한다. 1단계에서 켄모래와 강모래의 합성비율을 30 : 70으로 결정하였으므로 합성된 두 잔골재의 체통과율은 그림 12에서 수직선 d와 경사진 굵은 직선이 만나는 점이 된다.

그러므로 1단계에서 수행한 작업과 동일하게 켄모래와 강모래가 합성된 잔골재와 폐주물사를 합성하면, 폐주물사 대체율 0~30% 범위에서 최적의 합성배합인 a, 골재의 합성입도범위에 걸치는 b, 골재의 합성입도범위를 벗어난 c의 합성입도를 얻을 수 있다.

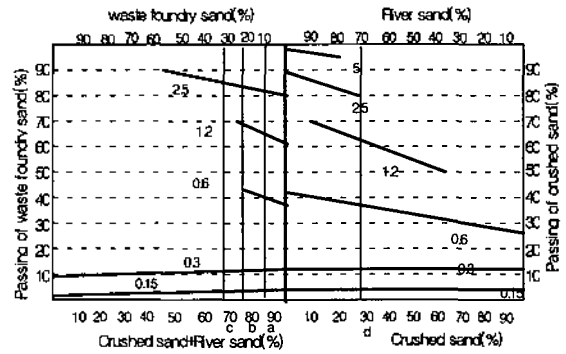


Fig. 12. Composition of Waste Foundry Sand, river sand and crushed sand

이 결과를 바탕으로 전체 재료의 합성비율을 표 4에 나타내었으며, 합성된 골재의 체통과율곡선을 나타낸 그림 13에서 알 수 있는 바와 같이 폐주물사의 대체율 10%의 경우에는 선행시험결과 결정된 최적의 입도분포 범위에 포함되지만, 20 및 30%의 경우에는 체치수 0.6~1.2mm 사이에서 약간 벗어나고 있다. 또한 폐주물사를 사용하지 않은 경우에는 5mm 체에서 약간 벗어나고 있음을 알 수 있다.

이상의 검토 결과를 바탕으로 폐주물사의 대체율은 10%가 최적임을 알 수 있었으나 확인실험을 위한 실험변수는 0, 10, 20, 30%를 채용하였다.

Table 4 Composition proportion of fine aggregate

Kind ¹⁾	River sand	Crushed sand	WFS
a	63	27	10
b	56	24	20
c	49	21	30
d	70	30	0

1) is vertical line name in fig. 12.

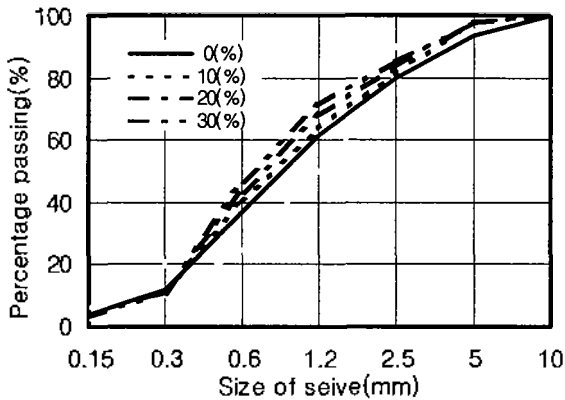


Fig. 13. Percentage passing of aggregate due to ratio of WFS

4.3 실험계획 및 배합

폐주물사 대체율에 따른 콘크리트 제품의 품질 변화를 검토하기 위한 본 연구의 실험계획 및 배합은 표 5와 같다. 각 조건별 측정항목은 다짐 밀도 및 압축강도로 하였다.

4.4 실험결과

폐주물사 대체율별 각 재령에 따른 압축강도를 나타내고 있는 그림 14에서 알 수 있는 바와 같이 모든 재령에서 폐주물사 대체율 10%까지는 압축강도가 증가하고 있으나 10% 이상에서는 강도가 낮아지는 것을 볼 수 있다.

재령별 폐주물사 대체율 0%에 대한 폐주물사 대체율 10~30%까지의 상대압축강도 비율은 재령 1일에 110%에서 54%로 폐주물사 대체율이 증가함에 따라 최고 56%의 차이를 보이고 있었다.

Table 6. Test results of compressive strength

Substitution proportion		Test ages		
		1day	3day	7day
Raw data	0(%)	271	291	329
	10(%)	299	314	339
	20(%)	205	212	234
	30(%)	147	186	212
Proportion by 0(%)	0(%)	100	100	100
	10(%)	110	108	103
	20(%)	76	73	71
	30(%)	54	64	64

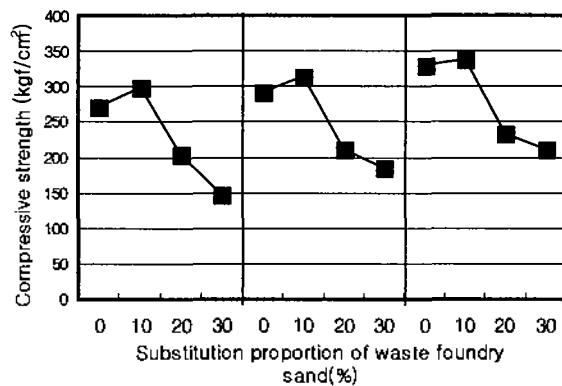


Fig. 14. Compressive strength

재령 3일에서는 108%에서 64%로 재령 7일에서는 103%에서 64%로 다소 차이가 있었으나 재령 1일 보다는 다소 낮아짐을 볼 수 있다. 또한 재령이 경과됨에 따라 폐주물사 대체율 30%에서는 폐주물사 대체율 0%에 대한 상대압축강도 비율이 54%에서 64%로 다소 증가함을 볼 수 있으나 재령 7일에서 212kgf/cm²

Table 5. Experimental plan and mix proportion

Factors of experiment		Mix proportion						Test items
Kinds of aggregate	Ratio of WFS	W/C (%)	Cement (o/wt)	WFS (o/wt)	Crushed sand(o/wt)	River sand(o/wt)	Water (o/wt)	
River sand	0	26.7	23.69	-	34.17	34.17	6.31	• Solid volume • 3 day compressive Strength
	10	26.7	23.69	6.83	18.45	43.05	6.31	
Crushed sand	20	26.7	23.69	13.66	16.40	38.27	6.31	
	30	26.7	23.69	20.50	14.35	33.49	6.31	

의 낮은 압축강도를 보였다. 그러나 폐주물사 대체율 10(%)에서는 재령이 경과됨에 따라 폐주물사 대체율 0%의 상대압축강도 비율이 재령1일에 110%에서 재령 7일에 103%로 다소 낮아짐을 볼 수 있으나 재령 7일에서 339kgf/cm²의 강도로 폐주물사 대체율 30%보다 100kgf/cm² 이상의 강도차이를 보이고 있다.

또한 그림 15에서 알 수 있듯이 낮은 W/C(%)를 갖는 콘크리트 2차제품의 실적율을 살펴본 결과 폐주물사 대체율별 재령에 따라 폐주물사 대체율 10%까지는 증가됨을 볼수있으나 10~30%까지는 감소함을 볼 수 있다.

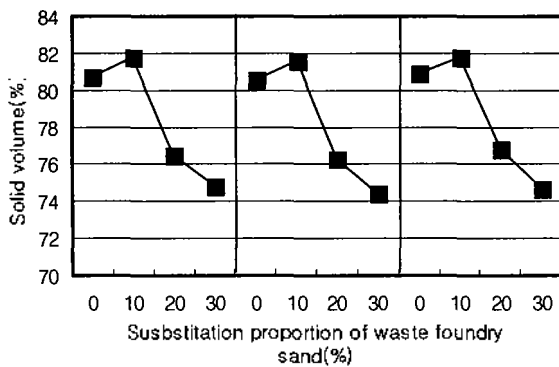


Fig. 15. Solid volume

이상의 검토 결과를 종합적으로 고찰하면, 콘크리트용 골재보다 크기가 작은 폐주물사의 최적 대체율을 실험적으로 구명한 결과, 본 실험의 범위내에서는 최적 대비율은 중량비로 사용하는 전체 잔골재량의 10(%)인 것을 확인할 수 있었고, 20~30(%)에서는 강도 및 실적율의 저하를 고려하여 배합설계에서 시멘트량을 증대하거나 양생시간을 증대하는 등의 조치를 강구하여야 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

폐주물사의 재활용 방안의 하나로 낮은 물비멘트비를 갖는 콘크리트 제품에 적용하기 위하여 입도를 중심으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 재생사용이 용이한 3개사의 폐주물사를 대상으로 콘크리트용 골재로서 요구되는 기본 물성을 검토한 결과 비중 및 흡수율은 비교적 적절한 품질을

갖추고 있으나 입도가 과도하게 작고 단위용적중량 및 실적율이 불량하며, 셋기 손실량이 기준치를 넘고 있어 콘크리트용 골재로 단독으로 사용하기에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

2) 폐주물사의 적용 대상 제품인 낮은 물비를 갖는 콘크리트 제품에서 최적의 입도 분포를 알아보기 위하여 실적율, 압축강도 및 표면 거칠기를 비교 검토한 결과 조립율 2.77~3.28의 범위가 가장 적절한 입도분포인 것으로 나타났다.

3) 낮은 물비를 갖는 콘크리트 제품에서 폐주물사의 적정 대체율의 범위를 알아보기 위하여 목표 입도 범위를 조립율 2.77~3.28로 하여 Driscoll의 골재 합성법에 의해 합성한 결과 최적의 폐주물사 대체율은 10(%)로 나타났으며, 이를 실험적으로 검토한 결과에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

4) 폐주물사의 대체율 20~30(%)의 경우 압축강도 및 실적율에서 매우 불리한 결과를 얻었으므로 이 경우에는 강도 저하를 방지하기 위한 별도의 조치를 강구하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단이 지정한 공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터(RRC/NMR)의 연구비 지원에 의해 수행된 연구의 일부입니다.

참 고 문 헌

- (사)한국자원리사이클링학회, 리사이클링 백서, 문지사, 1999. 11, pp.157-164,
- Alido, Ferdinand B., Dasher, Darryl R., Use, reuse and recycling of waste foundry sand, Proceedings of the 1998 91st Annual Meeting & Exposition of the Air & Waste Management Association Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting & Exhibition, 98-RPB.07P Air & Waste Management Assoc. Pittsburgh PA USA Conf. Jun. 14-18 1998, NO: 49496
- Thibault, Maurice, FRENCH FOUNDRY RECLAIMS ESTER-SILICATE SAND, Foundry Management &

- Technology, v.112 n.4, pp. 129-131, 1984
4. Marvinney, A. A., RECLAIMING FOUNDRY SANDS, Foundry Management & Technology, v.107 n.8, pp. 8-26 and 40, 1979
 5. Srinagesh, K., FORMULA FOR QUANTITATIVE RECYCLING, British Foundryman, v.75 n.4, p 72, 1982.
 6. Miske, Jack C., RECLAIMING FOUNDRY SAND - AN OVERVIEW, Foundry Management & Technology, Cleveland, OH, USA, Foundry Management & Technology v.113 n.8, p 20-22, 24, 26-27, 1985.
 7. Anon, Navistar foundry recycles 350 tons a day of dust and spent sand into usable product, National Engineer v.102 n.1, pp.26-28, 1998.
 8. 권영웅 외, "폐주물사의 재활용방안에 대한 연구", 인천대학교 공업개발 연구, 1995, 10.
 9. 박제선 외, "폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적 배합설계를 위한 기초적 연구", 한국콘크리트학회, 1996, 11 pp.~.
 10. 윤경구, 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 153-161, 1998. 8.
 11. 한상목, 석탄 폐석 및 폐주물사를 이용한 경량골재 및 그의 제조방법, 대한민국 특허, 등록번호 10-146159-0000, 1998. 5
 12. 김기중, 폐주물사(슬래그)를 이용한 보판 등의 시멘트 혼합 건축자재, 대한민국 특허, 등록번호 10-082718-0000. 1995. 2.
 13. 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회, 1999.
 14. 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 1999,
 15. 최계식, 토목재료 시험법과 해설 및 응용, 형설출판사, pp. 360~399, 1996.
 16. (사)대한건축학회, 건설교통부제정 건축공사 표준시방서, 기문당, 1999.
 17. (사)한국콘크리트학회, 건설교통부제정 콘크리트표준시방서, 기문당, 1999.
 18. 김진만 외, "고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트 2차 제품의 고강도화 메커니즘", 한국청정학회 논문집, 제7권 제2호, 2001, 7, pp.109~117.
 19. P. Kumar Mehta, "Concrete-structure, properties, and materials", prentice hall, 1993, pp.~88.
 20. 김진만 외, "고로슬래그를 사용한 고강도스페이서의 개발 및 고강도화 메커니즘 분석", 대한건축학회 학술발표논문집, 제20권 제2호, 2000, 10, pp.535~538.