

# 낮은 W/C비를 갖는 콘크리트 제품에 대한 폐주물사의 적용

## Application of Waste Foundry Sand to Concrete-Based Product Having Low Water Cement Ratio

이 대 경\*  
Lee, Dae kyung

김 동 주\*  
Kim, Dong Ju

조 홍 준\*\*  
Cho, Hong Jun

김 진 만\*\*\*  
Kim, Jin Man

### ABSTRACT

Because the WFS(Waste Foundry Sand), by-product of a casting factory, is generally a smaller particle than a fine aggregate, it has a bad influence on quality of concrete. Especially, the grading of aggregate is a very important factor in the case of concrete-based products having low water cement ratio manufactured by vibration and pressing method. Therefore, it is necessary to use WFS with the suitable grading of aggregate that it don't has a bad influence on the quality of concrete-based products.

This study investigated the suitable using proportion of WFS by means of the composition method of aggregate suggested by Driscoll. The results showed that it was desirable to use 10% of WFS since higher strength was developed with that amount.

### 1. 서론

주물공장 부산물인 폐주물사는 산업의 발달과 함께 그 배출량이 급속히 증가하고 있어 많은 연구자들이 그 재활용을 위하여 노력을 기울려온 산업부산물이다. 최근의 연구자들은 폐주물사중 CO<sub>2</sub>형계와 같이 유해성이 없는 것은 매립하지 않고 리사이클링하기 위하여 노력하고 있으며 그중 가장 실효성 있는 방안인 콘크리트 구성재의 일부로 사용하는 것을 제안하고 있다.

그러나 콘크리트 구성재로 사용하는 것은 폐주물사의 입도가 과도하게 작은것에 따른 콘크리트 요구수량의 증가, 이에따른 건조수축의 증가등의 문제가 있을뿐만 아니라 폐주물사의 안정적인 수급, 폐기물을 이용한 래디믹스트 콘크리트에 대한 그릇된 인식등으로 범용화 되고 있지 못하는 실정이다.

이에 본 연구자들은 폐주물사를 효율적으로 리사이클링 하기위한 방안으로써 콘크리트 2차제품에 적용하는 것을 시도하였다. 콘크리트 2차제품은 낮은 물시멘트비를 갖는 콘크리트를 진동가압성형하여 제조하기 때문에 제품의 적절한 품질을 확보하기 위해서는 적정입도의 확보가 매우 중요하지만 폐주물사의 경우 대부분 0.3mm이하의 치수를 가지고 있어 제품의 품질을 저하시키는 경향이 있다.

그러므로 본 연구에서는 Driscoll의 골재합성방법을 이용하여 기존 콘크리트 제품을 저하시키지 않고 폐주물사를 적용할 수 있는 범위를 알아보기 위하여 폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트 2차제품 성상을 실험적으로 검토하였다.

\* 정회원, 공주대학교 대학원 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, (주) 천지건설 대표이사

\*\*\* 정회원, 공주대학교 건축공학과 조교수

## 2. 골재 합성방법에 관한 고찰

골재입도 합성법은 여러종류의 골재를 믹싱하여 골재가 최적입도범위에 분포하도록 하기 위함으로 가장 보편화되어있고 작도가 간편한 Driscoll의 골재합성방법을 간단히 설명하면 다음과 같다.

① 그림 1의 D스케일에 잔골재의 중량통과 백분율, C스케일에 중간골재의 통과중량 백분율을 각각 플롯트한다.

② 같은 체크기의 통과 중량 백분율끼리 치선으로 연결하되 가는 실선으로 긋는다.

③ 각 체크기의 시방입도범이를 ②에서 그은 수직상에 굵은 실선으로 표시한다. 이 실선들은 시방입도 범위에 맞는 배합비의 범위를 나타낸다.

④ 각각의 실선들을 전부 통과하고 가장 시방범위의 중앙값이 되는 a의 수직선을 긋는다.

⑤ 위의 실선과 수직선과의 만나는 점들을 그림 1의 B스케일에 수평으로 이동시켜 표시한다. 이렇게 해서 얻은 B스케일 위의 점들은 잔골재 40%와 중간골재 60%를 혼합한 합성입도를 나타낸 것이다.

⑥ 그림 1의 A스케일 위에 굵은골재의 중량통과백분율을 잡아 ②~④의 과정을 되풀이한다. 예에서는 실선 b와 같이 10%의 조골재와 90%의(세골재+중간골재) 합성입도가 되는 수직선을 그었다.

그러면 조골재 = 10%  
 중간골재 = 60% × 0.9=54%  
 세골재 = 40% × 0.9=36%  
 계 = 100%

⑦ 그림 1에서 각체의 실선과 수직선과의 교차점을 수평으로 A스케일에 옮겨 읽은 값이 합성입도가 된다. 이와같이 얻은 전체 합성입도는 도표의 A스케일에서 직접 얻을수도 있고 또한 표 1과 같이 계산에 의하여 구할수도 있다.

표 1 합성입도의 계산

체크기	통과중량 백분율								합성입도
	배합재료			시방입도	시방입도 중앙값	입도합성			
	굵은골재	중간골재	잔골재			굵은골재 × 0.10	중간골재 × 0.10	잔골재 × 0.10	
19mm	100	100	100	100	100	10	54	36	100
13mm	74	100	100	80~100	90	7.4	54	36	97.4
10mm	12	90	100	70~90	80	1.2	48.6	36	85.8
NO.4	3	52	100	55~73	64	0.3	28.1	36	64.4
NO.8	2.5	18	98	40~55	47.5	0.3	9.7	35.3	45.3
NO.30	2	4	55	20~30	25	0.2	2.2	19.8	22.2
NO.100	1.8	3.2	30	10~18	14	0.2	1.7	10.8	12.7
NO.200	1.5	2	15	4~10	7	0.2	1.1	5.4	6.7

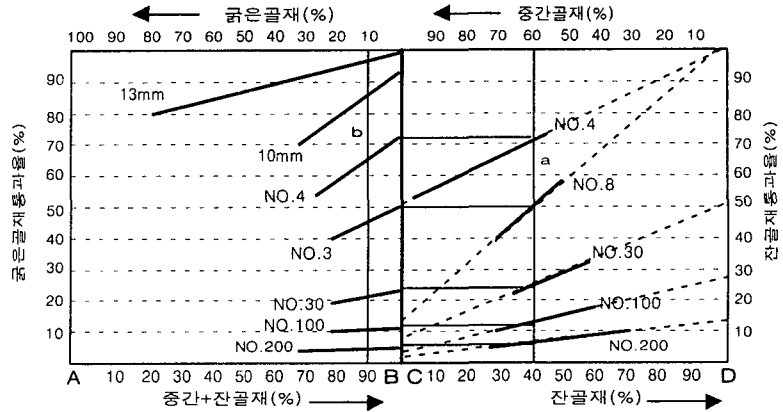


그림 3 Driscoll에 의한 골재합성도

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

폐주물사 대체율에 따른 콘크리트 제품의 품질변화를 살펴보기 위하여 본연구에서는 표 2와 같이 물시멘트비를 1수준, 폐주물사의 대체율 4수준으로 하고 압축강도 측정재령은 1, 3, 7일로 하였다.

폐주물사의 입도가 일반 모래에 비하여 작기 때문에 폐주물사 대체율의 증가에 따라 몰탈 절기가 감소하지만 이점에 대해서 본 연구에서는 검토하지 않았다.

표 2 실험계획

실험요인	실험수준
W/C	1수준
폐주물사 대체율	4수준
측정항목	압축강도 (재령 1, 3, 7일)

#### 3.2 실험방법

##### 1) 사용재료

시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 KS L 5201 1종 규격품으로 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

잔골재는 비교적 세립 잔골재인 강모래 및 조립 잔골재인 갠모래와 폐주물사를 혼합하여 사용하였으며 물리적 성질은 표 4와 같고 골재종류 및 폐주물사의 입도 분포는 그림 2, 3과 같다.

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	응결시간(h:m)		분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
	초기	종결		$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
3.15	3:14	5:50	3,465	202	245	308

표 4. 골재의 물리적 성질

종류	최대크기 (mm)	조립율	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적 중량(kg/l)
강모래	2.5	2.47	2.64	1.36	54.9	1.45
부순모래	5.0	3.11	2.64	2.70	55.1	1.56
폐주물사(A)	1.2	2.2	2.58	1.95	48	1.24
폐주물사(B)	1.2	1.94	2.48	2.1	50	1.25
폐주물사(C)	1.2	2.29	2.6	2.1	48	1.26

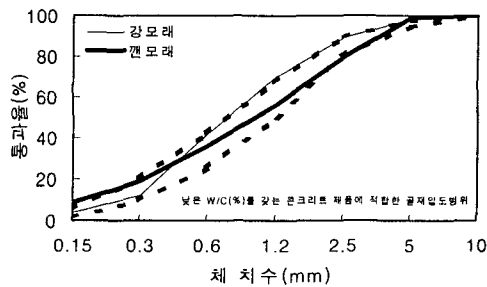


그림 2 강모래 및 갠모래의 입도분포

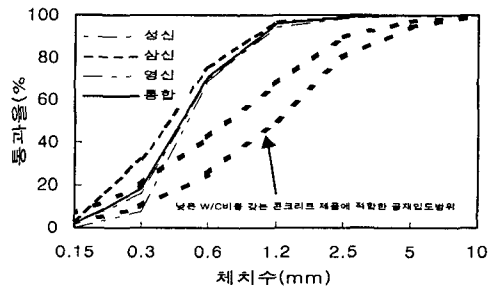


그림 3 업체별 폐주물사의 입도분포

##### 2) 시험체 제작 순서

그림 4에서 볼수있듯이 건비빔 3분후 가수하여 4분 비빔하고, 진동가압성형기 중앙부 성형몰드에 투입하여 진동과 가압을 교대로 가한후 시험체를 제작하였다.

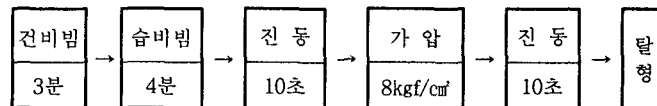


그림 4 시험체 제작순서

### 3) 시험체 양생

시험체의 양생은 스페이서의 현장제작 조건에 맞추기 위하여 그림 5와 같이 전치양생 4시간과 증기양생 20시간을 행한후 기건상태에서 시험재령까지 보관하였다. 증기양생시의 온도 상승속도는 10℃/h로 하고 80℃에 다다른 후에는 양생조내에서 서냉하였다.

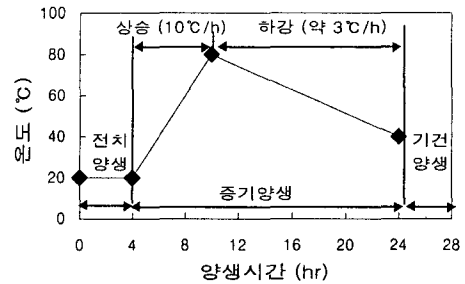


그림 5 시험체의 양생방법

## 4. 실험결과

### 4.1 폐주물사 대체율 검토

콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 콘크리트용 잔골재의 표준입도 범위는 그림 6의 a~c의 범위이지만 저자들의 사전연구에 의하면 낮은 물시멘트비를 갖는 콘크리트 2차제품의 경우 그림 6의 b~c범위가 보다 좋은 품질을 보이는 것으로 나타나 본 연구에서는 골재의 표준입도범위를 b~c범위로 한정하여 검토하였다.

잔골재의 합성방법은 이론적 고찰에서 설명된 Driscoll 골재 합성방법에 의해 1차적으로 강모래, 갠모래를 체치수 0.15, 0.3, 1.2, 2.5mm에서의 통과율을 연결하고 실험실적 조건에서 낮은 W/C비를 갖는 콘크리트 2차제품에서 가장 좋은 강도를 보인 최적의 골재 입도범위에서 굵은 실선을 그었다.

그림 7에서 볼수있듯이 골재의 비가 굵은 실선을 전부 통과하는 수직선 b에서 가장 적합할 것으로 보이며 체치수 1.2mm와 2.5mm에서 수직선이 걸치는 a와 c에서는 다소 부적합할 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 콘크리트 2차제품을 제조하는 현장에서의 경제성을 고려해 갠모래의 대체율이 높은 수준에서 골재의 합성을 결정하였다. 그지점이 갠모래:강모래의 중량%가 30:70인 지점이다.

2차적으로 그림 8와 같이 각 체치수의 실선과 수직선이 만나는 점을 폐주물사의 체치수별 통과량과 연결하여 폐주물사와 2차 합성을 하고 폐주물사 대체율 0~30%범위에서 최적의 합성배합인 a, 골재의 합성입도범위에 걸치는 b, 골재의 합성입도범위를 벗어난 c를 표 5와 같이 합성입도의 계산에 따라 합성입도를 결정하였다. 그에따른 골재의 합성입도범위는 그림 9와 같다. 그림 9에서 볼수있듯이 폐주물사 10%에서는 낮은 물시멘트비를 갖는 콘크리트 2차제품에 적합한 골재입도범위내에 모든 체치수가 분포하였으며 폐주물사 대체율 20~30%에서는 체치수 0.6mm~1.2mm사이에서 다소 벗어남을 볼 수 있다.

폐주물사 대체율 0%에서는 큰 입도인 5mm이상에서 최적의 골재입도범위 분포에 벗어남을 볼 수 있다. 이상과 같은 결과를 바탕으로 갠모래, 강모래, 폐주물사를 합성비율에 따라 표 6와 같이 실험배합하고 골재의 입도범위가 미치는 영향성을 재령별 압축강도에 따라 검토하였다.

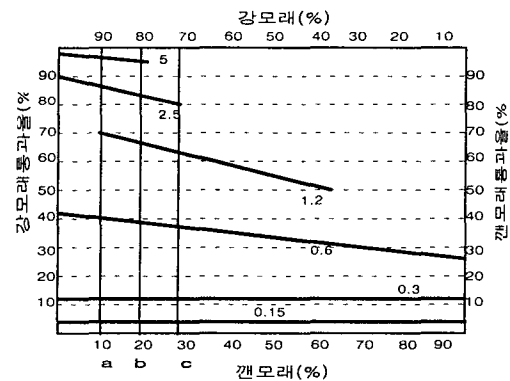
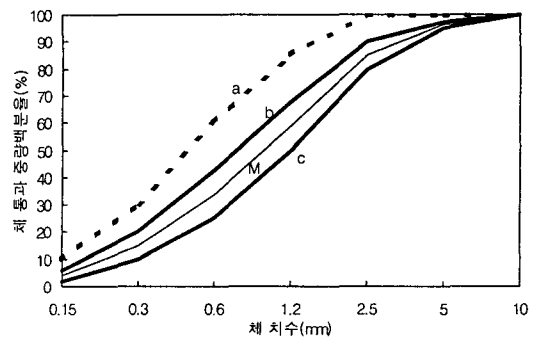


그림 7 갠모래와 강모래의 합성

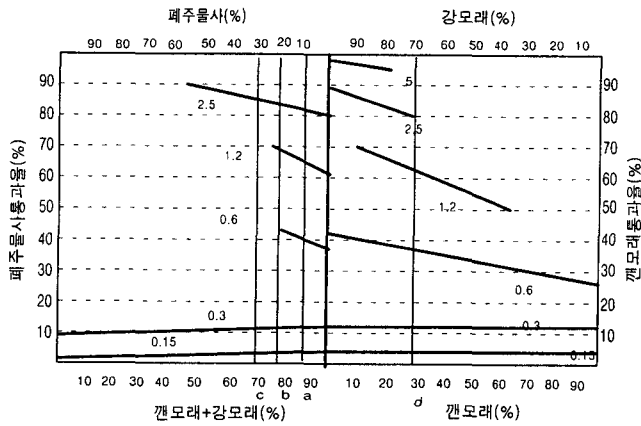


그림 8 깬모래+강모래와 페주물사의 합성입도

표 6 실험계획 및 배합

W/C (%)	페주물사 대체율 (%)	중량비 (°/wt)				
		시멘트	페주물사	깬모래	강모래	물
26.7	0	23.69	-	34.17	34.17	6.31
	10	23.69	6.83	18.45	43.05	6.31
	20	23.69	13.66	16.40	38.27	6.31
	30	23.69	20.5	14.35	33.49	6.31

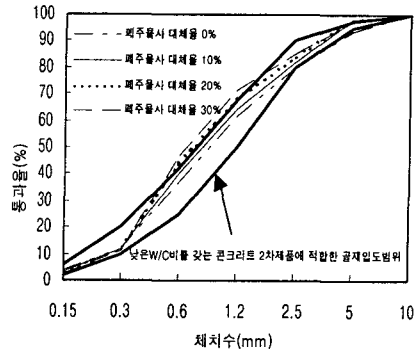


그림 9 페주물사 대체율에 따른 골재의 입도범위

표 5 페주물사 대체율에 따른 잔골재의 중량%

구분	골재의 종류별 중량%		
	강모래	깬모래	페주물사
a	63	27	10
b	56	24	20
c	49	21	30
d	70	30	0

#### 4.2 페주물사 대체율에 따른 압축강도

페주물사 대체율별 각 재령에 따른 압축강도를 나타내고 있는 표 7와 그림 10에서 알수 있는 바와 같이 모든 재령에서 페주물사 대체율 10%까지는 압축강도가 증가하고 있으나 10%이상에서는 강도가 현저하게 낮아지는 것을 볼 수 있다.

재령별 페주물사 대체율 0%에 대한 페주물사 대체율 10~30%까지의 상대압축강도 비율은 재령 1일에 110%에서 54%로 페주물사 대체율이 증가함에 따라 최고 56%의 차이를 보이고 있었다. 재령 3일에서는 108%에서 64%로 재령 7일에서는 103%에서 64%로 다소 차이가 있었으나 재령 1일보다는 다소 낮아짐을 볼 수 있다. 또한 재령이 경과됨에 따라 페주물사 대체율 30%에서는 페주물사 대체율 0%에 대한 상대압축강도 비율이 54%에서 64%로 다소 증가함을 볼 수 있으나 재령 7일에서 212kgf/cm<sup>2</sup>의 낮은 압축강도를 보였다. 그러나 페주물사 대체율 10~20%에서는 재령이 경과됨에 따라 페주물사 대체율 0%의 상대압축강도 비율이 재령1일에 110%에서 재령 7일에 103%로 다소 낮아짐을 볼 수 있으나 재령 7일에서 339kgf/cm<sup>2</sup>의 강도로 페주물사 대체율 30%보다 100kgf/cm<sup>2</sup>이상의 강도차이를 볼 수 있다. 이는 페주

표 7 페주물사 대체율에 따른 압축강도

WS(%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
	재령 1일	재령 3일	재령 7일
0	271	291	329
10	299(110)	314(108)	339(103)
20	205(76)	212(73)	234(71)
30	147(54)	186(64)	212(64)

( )는 재령별 페주물사 0%에 대한 상대압축강도 비율

물사, 켄모래, 강모래의 골재합성입도 범위의 최적 분포가 조기재령에 가장 큰 영향을 미치고 재령이 경과됨에 따라 다소 낮아지는 것으로 사료된다. 또한 그림 11에서 볼수있듯이 낮은 W/C(%)를 갖는 콘크리트 2차제품의 실적율을 살펴본 결과 폐주물사 대체율 별 재령에 따라 폐주물사 대체율 10%까지는 증가됨을 볼수있으나 10~30%까지는 감소함을 볼 수 있다.

이상과 같은 결과로 살펴볼 때 입도가 작은 폐주물사 대체율에 따른 물비의 변화를 고려하지 않아 폐주물사 대체율에 따른 강도의 변화는 규명할 수는 없지만 낮은 W/C(%)를 갖는 콘크리트 2차제품에 사용되는 골재가 최적의 골재입도범위에 존재함으로 실적율의 증가를 가져오고 그에 따라 압축강도가 증가된 것으로 사료된다.

## 5. 결론

낮은 W/C비를 갖는 콘크리트 2차제품에 골재합성이론에 의한 폐주물사의 적정범위와 그에따른 고강도화를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 골재의 합성이론에 의해 잔골재와 폐주물사의 합성시 폐주물사 대체율 10%에서 낮은 물시멘트비를 갖는 콘크리트 2차제품에 적합한 골재입도범위에 분포하고 재령 7일에서 300kgf/cm<sup>2</sup>의 강도를 보이고 있었다.
- (2) 폐주물사의 입도가 일반 모래에 비하여 작기 때문에 폐주물사 대체율의 증가에 따라 몰탈 질기가 감소했으며 그에따라 폐주물사 대체율 10%와 20~30%에서 강도차이가 100kgf/cm<sup>2</sup>이상의 차이를 보인 것으로 사료된다. 따라서 차후에는 몰탈질기변화에 따른 강도변화도 고려해야 할 것으로 보여진다.

## 감사의 글

본 연구는 공주대학교 RRC/NMR의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부임.

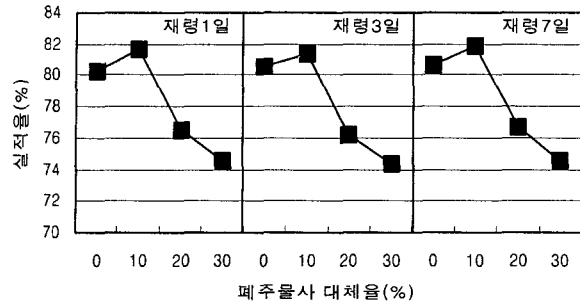


그림 11 폐주물사 대체율에 따른 실적율

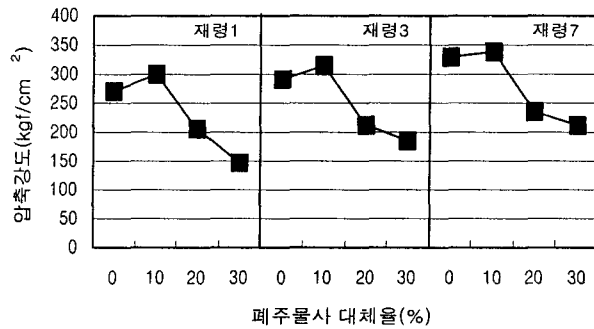


그림 10 폐주물사 대체율에 따른 재령별 압축강도

## 참고문헌

1. 권영웅외 ; 폐주물사의 재활용방안에 대한 연구, 인천대학교 공업개발 연구, 1995. 12
2. 한국자원리사이클링 ; 리사이클링 백서, 1999. 11
3. 김진만외 ; 고로슬래그를 사용한 고강도 스페이서의 개발 및 고강도화 메카니즘 분석, 대한건축학회, 2000. 10
4. 박제선외 ; 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 최적 배합설계를 위한 기초적 연구, 한국콘크리트학회, 1996. 11