
폐콘크리트로부터 재생된 골재의 합리적 평가에 관한 연구

A Study on Rational Evaluation of Recycled Aggregates Extracted from Demolished Concrete



송하원*

Song, Ha-Won



변근주**

Byun, Keun-Joo



하주형***

Ha, Ju-Hyung

ABSTRACT

Recently, the amount of disposed construction materials like demolished concrete is growing fast and the shortage of natural concrete aggregates is becoming serious. Therefore, recycling of aggregates extracted from the demolished concrete is getting important and use of the recycled aggregates for concrete has been seriously considered. However, the use of the recycled aggregates even for low performance concretes is very limited because there are few rational standard evaluation criteria for recycled aggregates which should be different from that for natural aggregates. In this study, rational evaluation criteria for the recycled aggregates are proposed for their use as concrete aggregates. The study also shows that the performance for both the recycled aggregates and the recycled concrete manufactured with the recycled aggregates can be evaluated effectively according to water absorption ratio of recycled aggregates.

Keywords : demolished concrete, recycled aggregate, recycled concrete, rational evaluation, water absorption ratio

* 정회원, 연세대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 연세대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 연구원

· 본 논문에 대한 토의를 2001년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2001년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

지난 1960년대 이후 경제성장과 이에 수반된 국토건설, 사회기반시설의 건설, 산업기반 및 공장건설, 대단위 주거환경 개선사업 추진 등 건설 산업에 대한 투자가 비약적으로 증가하였고, 그 후 약 35년이 경과하면서 최근에는 건설폐기물 발생량이 기하급수적으로 늘어나게 되었다. 이런 현상은 지속가능개발(sustainable development) 기술적인 면에서 에너지, 자원, 환경문제를 일으키기 시작하였다. 건설폐기물은 인구가 밀집된 도시와 그 주변지역에서 주로 발생하기 때문에 매립장 또는 중간처리장까지 원거리 운송이 불가피해지고 배출사업자의 인식부족, 처리업자의 근시안적 영리추구 등의 요인으로 적정하게 처리되어야 할 건설폐기물이 주변야산이나 인적이 드문 외진 곳에 불법적으로 투기되어 심각한 사회문제를 야기하고 있다.

한편 그 동안 풍부한 자원으로 인식되었던 골재의 수요량이 지속적인 증가추세를 보이고 있는 반면에 골재의 공급량은 한정되어 있기 때문에 심각한 골재수급 불균형현상이 초래되고 있고 점차 심화될 것으로 예상되고 있다.

최근 재생골재를 이용한 콘크리트에 대한 연구가 국내에서도 그 필요성이 제기되어 관련단체 및 대학을 포함한 연구기관 등에서 연구가 진행되어왔고 특히 일본, 독일 등에서는 재생골재의 사용을 촉진하기 위한 법령을 제정하여 상용화에 박차를 가하고 있다.⁽¹⁾ 우리나라에도 관련법령에 따라 97년 건설교통부에서 「건설폐기물처리 및 재활용 요령」⁽²⁾을 마련하여 재생골재를 사용하여 콘크리트의 제조 및 시공현장에 적용시킬 수 있도록 하였다.

그러나 재생골재에 대한 합리적 평가 방안이 없는 현 상황에서 기존의 일반골재에 대한 평가 방법과 일반골재를 사용하여 제조된 콘크리트에 대한 품질평가 기준에 맞추어 재생골재 콘크리트를 평가한다면 지극히 비현실적이고 재생골재를 사용하여 제조된 콘크리트의 적극적인 사용은 제한적일 수밖에 없다. 따라서 대표적인 건설폐기물인 폐콘크리트에서 발생하는 재생골재를 콘크리트용 골재로 사용하여 환경부하를 저감할 수 있

는 콘크리트로 본격적으로 사용될 수 있도록 재생골재의 합리적인 평가 방안을 마련하는 것이 절실히 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 재생골재의 제특성을 분석하여 재생골재의 합리적 평가방안을 제안하였고 그에 따라 재생골재로 만든 환경부하 저감형 재생 콘크리트의 성능을 분석하였으며, 재생골재 및 재생골재 콘크리트의 합리적 평가가 재생골재의 흡수율로서 가능성을 규명하였다.

2. 재생골재의 특성

2.1 재생골재의 물리적특성

본 연구에서는 국내의 여러 지역의 재활용 플랜트에서 생산된 재생골재에 대해 기초물성 시험을 행하였고 폐콘크리트에서 재생된 재생골재에 혼입된 목재, 스티로폼, 아스팔트 등의 불순물을 실험전에 가능한 한 제거하였으며 굵은골재는 5 mm~25 mm, 잔골재는 5 mm 이하로 조정된 후 실험하였다. Table 1은 본 연구에서 행한 실험과 기존의 재생골재관련 연구결과들^(3~15)을 비교한 것이며, 본 연구에서 사용한 5종류의 재생골재(A,B,C,D,E)는 국내 5곳에서 채취한 서로 다른 재생골재를 나타낸다.

2.1.1 조립률

일반적으로 잔골재의 조립률은 2.3~3.1이고 굵은골재의 조립률은 6~8 정도인데, Table 1에서 보면 재생골재의 경우 굵은골재의 조립률이 평균 6.97이고, 잔골재의 조립률이 평균 3.1로서 이 범위 안에 속한다. 따라서 재생골재의 조립률은 일반골재와 동일한 기준으로 평가될 수 있다.

2.1.2 비중

실험결과, 재생골재는 굵은골재의 경우 2.16~2.24(평균 : 2.21), 잔골재의 경우 1.9~2.33(평균 : 2.15)로서 일반골재가 보통 2.5~2.7인 것에 비하여 비중이 16% 작게 나타났다. 재생골재의 비중이 2.5이하인 것은 골재표면에 붙어 있는 시멘트 모르타르의 비교적 낮은 비중 때문인 것으로 볼 수 있으므로 재생골재의 비중은 재

생결은골재 표면에 붙어 있는 모르타르양의 과소를 측정하는 간접적인 지표가 될 수 있다. 그리고 비중은 흡수율과 밀접한 관련이 있으므로 흡수율

과 함께 재생골재를 평가할 수 있는 주요 평가기준으로 사용될 수 있다.

Table 1 국내외 재생골재실험연구결과

연구자	항 목	조립률		비중		흡수율 (%)		실적률 (%)		마모량 (%)		안정성 (%)		0.08mm 체 통과량 (%)	
		굵은 골재	잔 골재	굵은 골재	잔 골재	굵은 골재	잔 골재	굵은 골재	잔 골재	굵은 골재	잔 골재	굵은 골재	잔 골재	굵은 골재	잔 골재
본연구	재생골재 A	8.06	2.85	2.22	2.33	6.9	4.2	56.3	62.1	41.61	31.33	13.09	2.9	10.8	
	재생골재 B	7.12	3.63	2.24	2.11	5.92	9.11	59.0	68.4	36.6	21.76	21.11	1.7	5.6	
	재생골재 C	6.95	2.95	2.16	2.19	6.72	4.45	64.6	68.6	43.22	36.12	14.42	0.55	7.25	
	재생골재 D	7.74	3.5	2.24	1.9	5.76	14.97	66.0	75.9	28.6	28.24	17.64	1.07	10.5	
	재생골재 E	7.85	2.94	2.21	2.18	5.9	6.0	58.9	63.0	40.7	29.22	23.51	1.75	6.6	
	평 균	7.54	3.17	2.21	2.15	6.24	7.74	60.82	67.6	38.25	28.33	17.95	1.59	8.15	
김무한 ⁽³⁾		6.89	2.75	2.37	2.48	5.48	6.24	62.8	63.5	-	-	-	-	-	
김무한 ⁽⁴⁾		-	-	2.26 ~ 2.47	2.10	4.85 ~ 10.4	11.2	53 ~ 58.2	58.0 ~ 66.8	25	50	20	-	-	
건설교통부 ⁽⁵⁾		-	-	2.21 ~ 2.39	2.05 ~ 2.39	4.90 ~ 6.80	5.02 ~ 11.33	55.56 ~ 63.68	57.74 ~ 69.40	-	-	-	0.33 ~ 3.04	1.70 ~ 11.90	
이진용 ⁽⁶⁾		6.39 ~ 6.50	-	2.35 ~ 2.73	-	0.84 ~ 3.87	-	-	-	30.7 ~ 40.1	2.47 ~ 7.90	-	-	-	
이세현 ⁽⁷⁾		-	3.37	2.23 ~ 2.24	-	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
이봉학 ⁽⁸⁾		-	-	2.40	2.30 ~ 2.38	4.27 ~ 6.03	7.20 ~ 10.57	-	-	-	-	-	-	-	
김광우 ⁽⁹⁾		-	3.1	2.48	2.30	7	10.57	-	-	-	-	-	-	-	
Buck, A.D. ⁽¹⁰⁾		-	-	2.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hansen, T. C. ⁽¹¹⁾		-	-	2.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hansen, T. C. ⁽¹²⁾		-	-	2.49	-	-	-	-	-	22.4 ~ 41.4	-	-	-	-	
Hasaba, S. ⁽¹³⁾		-	-	-	2.31	7	11.0	-	-	-	-	-	-	-	
Building Contractors Society of Japan ⁽¹⁴⁾		-	-	-	-	3.6 ~ 8.0	8.3 ~ 12.1	-	-	25.1 ~ 35.1	18.4 ~ 58.9	7.4 ~ 20.8	-	-	
山田義雄 ⁽¹⁵⁾		6.77 ~ 7.42	-	2.41 ~ 2.45	-	5.17 ~ 5.50	-	-	-	24.9 ~ 25.4	31.5 ~ 46.4	-	0.64	-	

2.1.3 흡수율

실험결과, 재생굵은골재의 흡수율은 5.9%~6.9% (평균 : 6.24%)이고 재생잔골재의 흡수율은 4.2%~14.97% (평균 : 7.74%)로서 일반골재에 대한 기준(3.0%이하)보다 높은 흡수율을 나타낸다.

흡수율이 높은 이유는, 골재 내부에 미세한 균열이 발생된 경우와 골재표면에 모르타르가 과도하게 붙어있는 것으로 볼 수 있으며 콘크리트 품질에 미치는 영향으로서는 강도의 저하, 건조수축의 증대, 동결융해에 대한 내구성이 저하되는 악영향을 초래하게 된다. 본 연구에서 수행한 실험에서는 재생굵은골재의 흡수율의 평균은 6.24%, 재생잔골재의 흡수율의 평균은 7.74%로서 천연골재에 비해 흡수율이 다소 높다는 것을 알 수 있고, Table 1에서 보면 다른 연구에서도 재생골재가 일반골재에 비해 높은 흡수율을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 흡수율로서 재생골재를 평가하기 위해서는 일반골재와는 다른 평가기준이 필요하다.

2.1.4 안정성

실험결과에 의하면 재생굵은골재의 손실량은 21.76%~31.33% (평균 : 28.33%)이고 재생잔골재의 손실량은 13.09%~23.51% (평균 : 17.95%)이다. 이러한 결과에 의하면 대부분의 재생골재가 현재 건설교통부 건설폐기물 처리 및 재활용 요령에서 재생골재에 대해 규정하고 있는 안정성의 기준(굵은골재 : 12%이하, 잔골재 : 10%이하)을 만족시키지 못한다. 그리고 외국의 재생골재 안정성 시험결과를 보면 표 1의 B.C.S.J의 시험결과는 각기 다른 파쇄방법으로 생산된 15종의 재생굵은골재의 중량 감소율은 18.4%에서 58.9%의 분포를 보이고 있고,⁽¹⁴⁾ Karra는 대부분의 재생골재는 천연골재에 비해 내구성이 떨어지며 콘크리트용 골재에 관한 ASTM C33 규정을 만족시킬 수 없다고 결론지었다.⁽¹⁶⁾ 따라서 재생골재의 평가를 위해서는 안정성 시험에 관한 재검토가 필요함을 알 수 있다.

2.1.5 마모감량

실험에 의하면 마모감량은 28.6%~43.22%

범위이고 평균 38.25%이다. 그리고 기존의 연구를 보면 B.C.S.J의 시험에서는 15종의 콘크리트에서 생산된 재생굵은골재의 로스안젤레스 마모시험결과, 마모율이 25.1%에서 35.1% 사이에 분포되는 것으로 나타났고,⁽¹⁴⁾ Yoshikane는 40MPa 고강도 콘크리트에서 생산된 재생굵은골재의 로스안젤레스시험 마모율이 20.1%에서 28.7%로 밝히고 있다.⁽¹⁷⁾ ASTM C33 콘크리트용 골재의 표준시방서에 의하면 콘크리트제조용으로 사용되는 골재의 마모율은 일반적으로 50%를 상회하면 안되도록 정하고 있으며 KS F 2527에서는 40%이하로 정하고 있다. 이러한 연구결과에 따르면 대부분의 재생골재가 마모시험에서 천연골재에 대한 기준을 만족시키므로 특별히 마모율에 대한 재생골재의 평가기준을 별도로 정할 필요가 없이 천연골재에 대한 것을 그대로 사용해도 좋을 것으로 보인다.

2.1.6 실적률

실험결과, 재생굵은골재의 실적률은 56.3%~66.0%(평균 : 60.82%) 범위에 있고 재생잔골재의 실적률은 62.1%~75.9% (평균:67.6%)의 범위에 있다. KS에서는 부순돌 굵은골재는 55% 이상, 부순돌 잔골재는 53%이상으로 정하고 있는데 Table 1에서와 같이 대부분의 재생골재는 이 기준들을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 실적률에 대한 재생골재의 재료 평가기준을 별도로 정할 필요가 없이 일반골재에 대한 규정을 그대로 사용해도 좋을 것으로 보인다.

2.1.7 0.08 mm체 통과량

현재 부순돌 골재의 KS 및 재생골재 관련 요령에서 유해물 함유량의 기준이 되는 0.08 mm체 통과량 실험의 평균값이 재생굵은골재 1.59%, 재생잔골재 8.15%로서 일반골재의 기준(굵은골재 : 1.5%이하, 잔골재 : 7%이하)을 초과하는 것으로 나타났다. 한편, 박승범 등에 의한 실험⁽¹⁸⁾을 통해서 보면 흡수율이 모두 8%가 넘는 성능이 낮은 재생골재들이 0.08 mm체 통과량은 재생굵은골재, 재생잔골재 모두 1%이하로 기준을 충분히 만족하고 있어서 골재의 흡수율과 0.08 mm체 통과량과는 별다른 상관관계가 없는 것으

로 보여, 골재의 물성과는 별도로 관리되어야 함을 보여주며 재생골재 생산시 파쇄, 모르타르제거 공정과는 별도로 미립분제거 공정과 유해물질 혼입에 대한 품질관리가 이루어져야 할 것으로 보인다.

2.2 기존 골재의 평가기준 분석

Table 2는 기존 한국산업규격(KS) 천연골재와 부순돌골재의 평가기준인 KS F 2526, KS F 2527을 나타낸다.

Table 1의 연구결과와 Table 2로부터 마모감량과 실적률 항목은 재생골재가 일반골재의 기준을 만족시키므로 그대로 사용해도 될 것으로 보이나 비중, 흡수율, 안정성, 유해물 함유량 등은 재생골재에서는 다르게 평가되어야 할 항목임을 알 수 있다. 여기서, 비중과 흡수율은 서로 밀접한 상관관계가 있는 물성이며, 그 값들은 골재의 고유성질이기에 때문에 골재의 적합성을 판정하는데 필수적인 항목이다. 특히 흡수율은 보통골재와 비교해서 재생골재의 가장 다른 물리적 특성으로서 재생골재의 흡수율은 천연골재의 흡수율에 비하여 거의 1.8~4.5 배에 이르기 때문에 재생골

재에 적합한 평가 기준이 필요하다. 그리고 안정성 항목은 2.1.4에서 설명한 바와 같이 실험값이 균일하지 못하고 천연골재에서의 엄격한 기준을 그대로 적용할 경우 재생골재의 사용은 거의 불가능하므로 재검토가 필요한 것으로 보인다. 또한 유해물함유량 항목의 경우 재생골재에 포함되어 있는 유해물은 원콘크리트에 부착되어 충분히 제거되지 않은 파쇄에 의해 생긴 미립분이 주된 것이므로 부순돌 골재와 마찬가지로 0.08 mm체 통과량으로 평가해야 할 것으로 보인다. 그리고 연구결과 미립분은 파쇄과정시 비교적 대량으로 발생하지만 생산공정중에 비중선별기나 스크린 등을 설치하여 상당부분이 제거될 수 있고 또한 잔류하는 것이 배합에 약간의 영향을 미칠 수도 있으나 콘크리트의 강도·내구성에 미치는 영향은 그리 크지 않으므로⁽¹⁹⁾ 현재 콘크리트 표준시방서에서 정하고 있는 부순돌, 부순모래에 있어서의 유해물 함유량의 최대치인 굵은골재 1.5% 이하, 잔골재 7% 이하를 적용해도 될 것으로 보인다.

2.3 안정성 실험의 분석

Fig. 1은 국내의 연구기관에서 동일한 시료에 대한

Table 2 골재표준규격

종 류		KS 규격 ^(2),21)				
		천연골재		부순돌골재		
특 성			굵은골재	잔골재	굵은골재	잔골재
	절건비중			2.5이상	2.5이상	2.5이상
흡수율(%)			3.0이하	3.0이하	3.0이하	3.0이하
안정성(%)			12이하	10이하	12이하	10이하
마모율(%)			40이하	-	40이하	-
실적률(%)			-	-	55이상	53이상
유 해 물	점토덩어리 (%)		0.25이하	1.0이하	-	-
	연한석편 (%)		5.0이하	-	-	-
합 유 량	0.08mm 체 통과량 (%)	표면이 마모를 받는 경우	1.0이하	3.0이하	1.0이하	7.0이하
		그 밖의 부분	1.0이하	5.0이하		
량	석탄 및 갈탄함유량 (%)	콘크리트 표면이 중요한 부분	0.5이하	0.5이하	-	-
		그 밖의 부분	1.0이하	1.0이하		
	염화물 (NaCl 환산량)(%)		-	0.04이하	-	-

안정성 실험결과가 불규칙한 분포를 나타냄을 보여 준다.⁽²²⁾ 그림에서 일본에서 행해진 시험은 동일한 골재시료를 사용하여 18개의 다른 시험기관에서 수행된 것으로서 재생굵은골재 A의 경우 안정성 시험의 결과값이 1%에서 11%까지 분포하고, 재생굵은골재 B의 경우는 4%에서 38%까지 값이 분포하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 재생골재에 대한 안정성 실험의 결과 값의 편차가 심하고 실험자에 따라서 그 결과 값이 차이가 심하게 나는 등의 문제가 있다. 그리고 일반골재의 안정성 기준을 그대로 재생골재에 적용할 경우 너무 엄격하여 대부분이 사용 불가능한 골재로 평가됨을 알 수 있다. 따라서 안정성 시험의 결과값은 흡수율 시험의 결과값에 비해 시험간의 차이가 대단히 크게 나타나는 등 결과값의 신뢰성에 문제가 있으므로 재생골재의 품질을 평가하는 지표로서는 적당하지 않은 것으로 판단된다.

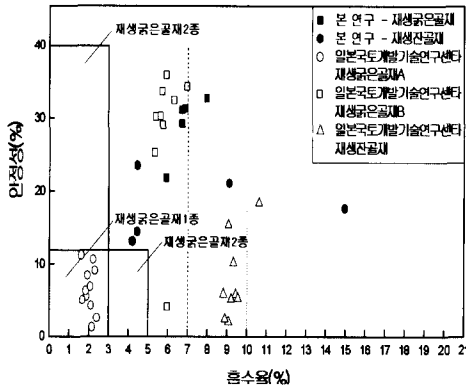


Fig. 1 안전성 시험결과

3. 흡수율에 의한 재생골재의 평가

재생골재의 흡수율을 품질평가의 주요지표로 사용 타당성여부를 판단하기 위해 다음과 같이 기존의 실험결과^(2,3)를 분석하였다. 재생골재의 흡수율의 저하에 따른 품질개선이 어떻게 일어나는가를 규명하기 위하여 재생골재의 2차처리 및 3차처리를 통해 재생굵은골재에서는 흡수율을 2% 정도까지, 재생잔골재에서는 흡수율을 4% 정도까지 저하시켜 현재의 건설교통부 건설폐기물 처리 및 재활용요령의 흡수율에 의한 분류상 1종

(재생굵은골재 : 3%이하, 재생잔골재 : 5%이하), 2종(재생굵은골재 : 5%이하, 재생잔골재 : 10%이하), 3종(재생굵은골재 : 7%이하) 재생골재를 가지고 행한 실험결과를 분석하였다. Table 3은 재생골재의 처리방법에 따른 흡수율과 재생골재의 등급을 나타낸다.

Table 3 재생골재등급

	항 목	기 호	흡수율 (%)	재생골재 등급
재생굵은골재	1차처리	재생굵은골재1	5.94	3종
	2차처리	재생굵은골재2	3.78	2종
	3차처리	재생굵은골재3	2.16	1종
재생잔골재	1차처리	재생잔골재1	9.94	2종
	2차처리	재생잔골재2	5.30	2종
	3차처리	재생잔골재3	3.92	1종

재생골재의 처리횟수를 증가시킴에 따라 흡수율이 감소되어서 Fig. 2에서 Fig. 7까지에서 보는 바와 같이 비중, 단위용적중량, 실적률은 증가하고 모르타르부착량은 감소하게되며, 입도분포가 좋아져서 표준입도 분포곡선에 포함되는 등 재생골재의 성질이 전반적으로 우수해짐을 알 수 있다. 즉 흡수율이 감소됨에 따라 재생골재의 품질이 높아진다.

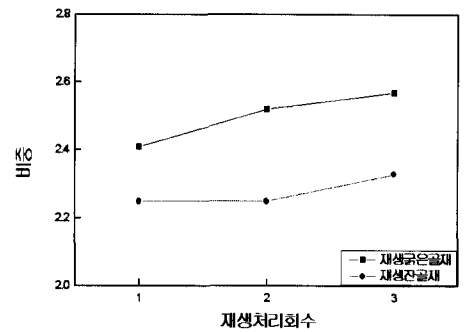


Fig. 2 재생처리회수에 따른 비중변화

Fig. 2는 처리회수를 늘림에 따라 흡수율의 감소와 함께 재생골재의 비중은 증가함을 보여 준다. 처리정도에 따라 굵은재생골재의 경우 일반골재(2.5이상)와 유사한 수준이며 굵은골재와 잔골재 모두 2.2 이상이다.

Fig. 3에서 보면 굵은골재, 잔골재 모두 3차 재생처리를 통해 흡수율을 저하시킴에 따라 단위용적중량은 10% 증가한다.

Fig. 4는 실적률도 처리회수를 증가시키에 따라 굵은골재, 잔골재 모두 4% 정도 높아지는데 3차 처리한 골재의 경우에는 일반 골재와 유사한 값이 되는 것을 보여준다. Fig. 5에서 모르타르 부착율은 재생골재를 절건상태로 하여 5일간 염산(농도 36%)에 침적하여 용해된 양을 구한 것

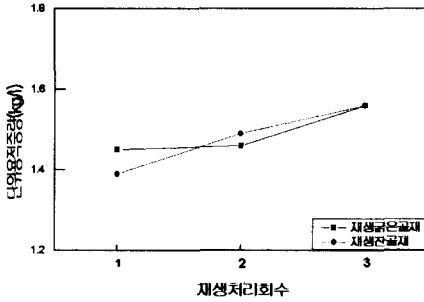


Fig. 3 재생처리회수에 따른 단위용적중량변화

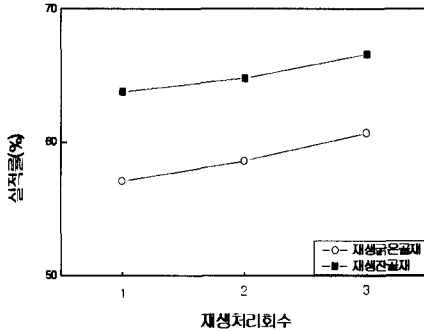


Fig. 4 재생처리회수에 따른 실적률변화

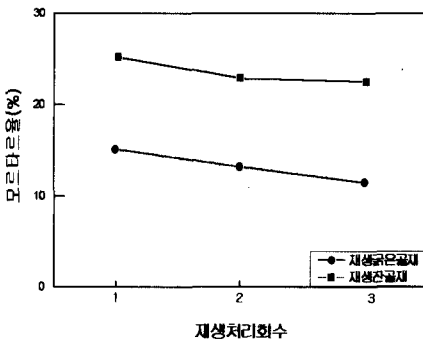


Fig. 5 재생처리회수에 따른 모르타르 부착율

으로서 재생골재의 모르타르율은 처리회수를 증가시키면 감소하는 것으로 보이며 잔골재가 굵은골재보다 모르타르부착율이 45% 정도 높다.

Fig. 6과 Fig. 7은 재생 잔골재, 재생 굵은골재 모두 1차 처리한 것은 표준입도분포에서 벗어나지만 재차 처리를 함에 따라 표준입도 분포내에 포함됨을 보여준다. 즉 재생처리를 많이 할수록 원콘크리트에 사용한 골재의 입도에 상당히 근접해짐을 알 수 있다.

위의 결과들로부터 재생처리를 통해 재생골재의 흡수율을 감소시키에 따라 재생골재의 제품질이 높아지며, 따라서 흡수율의 평가를 통해 재생골재의 품질을 구분하는 것이 가능함을 알 수 있다.

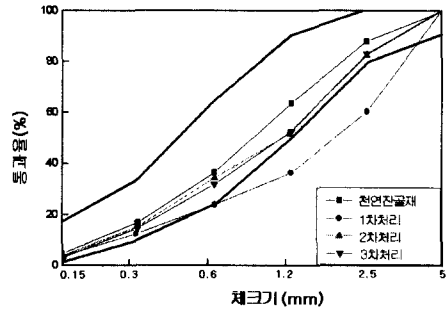


Fig. 6 재생처리회수에 따른 잔골재의 입도분포

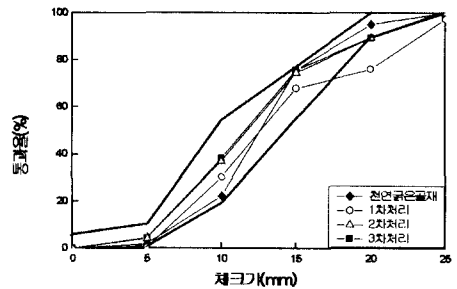


Fig. 7 재생처리회수에 따른 굵은골재의 입도분포

4. 재생골재의 흡수율에 따른 재생골재 콘크리트의 성능

재생골재 콘크리트는 사용된 재생골재의 흡수

율에 따라 명확한 거동의 차이를 보인다. 여기서는 재생골은골재 1종(흡수율 3%이하), 2종(흡수율 5%이하), 3종(흡수율 7%이하)을 각각 천연잔골재와 배합하여 만든 재생골재 콘크리트의 특성을 실험⁽²⁴⁾을 통해 분석하였다. Fig. 8에서 Fig. 12까지는 사용된 재생골은골재의 흡수율에 따른 콘크리트의 블리딩량, 압축강도, 탄성계수, 동결융해저항에 관한 내구성지수, 건조수축변형률의 차이를 보여준다.

Fig. 8에서 사용한 재생골재의 흡수율이 일반골재에 비해 커질수록 블리딩이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 재생골재에 포함된 미분과 모르타르의 보수성에 따른 것으로 사료된다.

Fig. 9는 사용된 재생골은골재의 흡수율에 따른 압축강도를 나타낸 것으로서 저장도 범위일 경우, 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 재생골재의 흡수율에 큰 영향을 받지 않지만 300 kgf/cm² 이상의 고강도 영역으로 갈수록 재생골재의 흡수율에 따른 차이가 증대하여 고강도 콘크리트일수록 사용한 재생골재의 흡수율의 영향을 더 많이 받는 것을 알 수 있다.

재생골재에 함유된 모르타르 성분이 많을수록 콘크리트의 전체에서 차지하는 시멘트 풀의 양이 증가하기 때문에 탄성계수는 작아진다. 이러한 요인은 콘크리트 부재에서의 휨변형과 크리프의 증대뿐만 아니라 건조수축을 증대시키는 원인이 된다. Fig. 10에서는 사용한 재생골재의 흡수율에 따른 재생골재 콘크리트의 탄성계수를 나타내는데, 흡수율 5% 이하의 재생골은골재를 사용한 재생골재 콘크리트는 문제가 없는 것으로 보이나 흡수율 5% 이상의 재생골은골재를 사용한 재생골재 콘크리트는 탄성계수가 다소 낮게 나와서 중요구조물의 사용에는 주의가 요망되는 것으로 보인다.

Fig. 11은 사용한 재생골은골재의 흡수율에 따라 콘크리트의 동결융해저항성을 나타내는 내구성지수를 나타낸 것인데 일반적으로 내구성지수가 80이상이면 내구성이 좋은 콘크리트에 속하므로 흡수율 5% 이하의 재생골은골재를 사용한 재생골재 콘크리트의 경우는 내구성이 대체로 우수한 것으로 보이나 흡수율 5% 이상의 재생골은골재를 사용한 재생골재 콘크리트의 경우는 내구

성이 부족한 것으로 보인다.

Fig. 12는 사용한 재생골은골재의 흡수율에 따른 재생골재 콘크리트의 건조수축률을 나타내는 것으로서 사용한 재생골은골재의 흡수율이 낮을

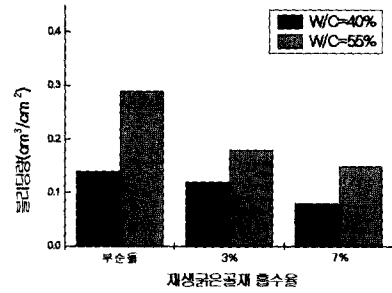


Fig. 8 재생골은골재의 흡수율에 따른 블리딩량변화

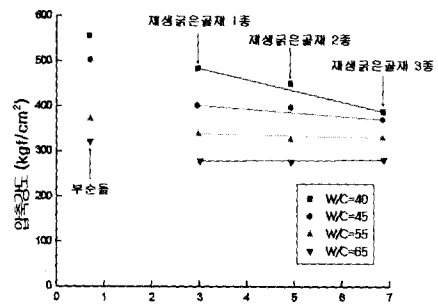


Fig. 9 재생골은골재의 흡수율에 따른 압축강도변화

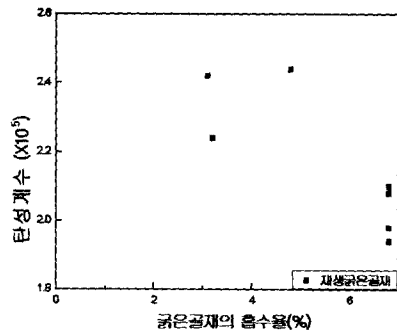


Fig. 10 골은골재의 흡수율에 따른 탄성계수 변화

수록 건조수축률이 작고, 같은 W/C = 0.4에서 흡수율 5% 이하인 재생골재를 사용한 재생골재 콘크리트는 일반콘크리트와 건조수축률이 유사하나 흡수율 5% 이상인 재생골재를 사용한 재생골재 콘크리트는 건조수축률이 약간 큰 편이다. 따라서 건조의 영향을 받는 구조물에 재생골재 콘크리트를 사용할 경우에는 사용되는 재생골재의 품질특성 및 재생골재 콘크리트의 수축저감대책을 검토해야 한다.

이상으로부터, 흡수율이 낮은 재생골재를 사용한 재생골재 콘크리트일수록 성능이 우수하여 흡수율에 의해 재생골재와 재생골재로 제조된 재생골재 콘크리트를 분류하는 것이 적절한 것으로 보이며, 흡수율이 5% 이하인 재생골재를 사용한 재생골재 콘크리트는 강도 및 내구성이 우수하지만 흡수율이 5% 이상인 재생골재를 사용한 재생골재 콘크리트는 내구성이 충분하지 않으므로 내구성이 고려될 필요가 없고 동결융해를 받지 않는 구조물로의 제한적인 사용이 가능하다.

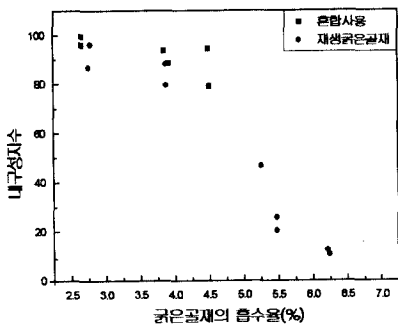


Fig. 11 재생골재와 흡수율에 따른 내구성지수변화

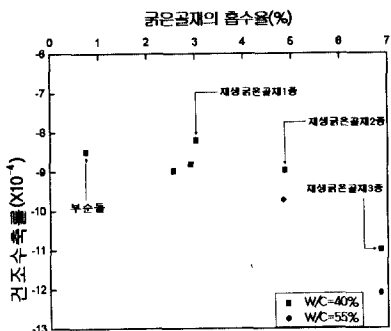


Fig. 12 재생골재의 흡수율에 따른 건조수축률변화

5. 결론

본 연구는 폐콘크리트에서 추출한 재생골재를 환경부하 저감형 콘크리트용 골재로 본격적으로 사용되게 하기 위하여 재생골재의 합리적 평가에 대한 연구로서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 행한 실험과 기존의 재생골재 관련 연구들을 종합적으로 검토하여 재생골재의 물리적 특성을 분석하였고, 재생골재는 일반골재와는 다른 물리적 성질을 가지므로 재생골재에 적합한 평가기준이 필요함을 규명하였다.
- 2) 본 연구의 실험 및 기존의 연구결과들을 토대로 시험 결과값의 편차가 심하고 신뢰성이 낮은 안정성 시험을 재생골재 품질기준에서 제외할 것과 재생골재의 품질기준으로 흡수율, 비중, 마모감량, 실적률, 0.08 mm 체 통과량 등을 정할 것을 제안하였다.
- 3) 재생골재를 흡수율에 따라 평가하여 골재의 비중, 단위용적중량, 실적률, 모르타르 부착률, 입도분포 등과 재생골재로 만든 콘크리트의 블리딩량, 압축강도, 탄성계수, 내구성지수, 건조수축률 등을 분석해본 결과, 재생골재의 흡수율로서 재생골재와 재생골재콘크리트의 성능을 합리적으로 평가할 수 있음을 규명하였다.

감사의 글

본 연구는 국립기술품질원의 연구비 지원으로 수행된 것으로 연구비지원에 감사드리며, 본 연구에 관해 많은 도움을 주신 동경대학교 대학원 신영역창성과학 연구과 K. Ozawa 교수와 일본 건설성 토목연구소 재료시공부 H. Katahira씨에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 大和竹史, "콘크리트의 리클에 관한 해외의 동향," 콘크리트工学, Vol. 35, No. 7, 1997, pp. 19-22.

2. 건설교통부, 건설폐기물 처리 및 재활용 요령, 1997.
3. 김무한, "재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 기초적 연구(I)," 대한건축학회논문집, 제9권, 제8호, 1993, pp. 201-211.
4. 김무한, "재생골재 콘크리트의 특성과 이용전망," 레미콘, 1994, 7월, pp.53-65.
5. 건설교통부, 건설산업폐기물의 리사이클링시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구, 1997.
6. 이진용, "재생콘크리트의 강도발현 및 건조수축 특성 연구," 한국콘크리트학회지, 제 9권 6호, 1997, pp. 217-223.
7. 이세현, "폐콘크리트 재활용 기술개발에 대하여," 폐기물, 1997, 9월, pp. 163-170.
8. 이봉학, "재생 폐콘크리트의 성능향상에 관한 연구," 한국콘크리트학회지, 제7권, 2호, 1995, pp. 136-145.
9. 김광우, "재생콘크리트의 강도특성상의 문제점," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 7집, 1992.
10. Buck, A.D., "Recycled Concrete as a Source of Aggregate," ACI Journal, Vol. 74, No.5, 1977, pp.212-219.
11. Hansen, T.C., Recycling of Demolished Concrete and Masonry, RILEM Report6, E&FN SPON, 1992.
12. Hansen, T.C. and Narud, H., "Strength of Recycled Concrete made from Crushed Coarse Aggregate," Concrete International-Design and Construction, 5, No. 1, 1983, pp.79-83.
13. Hasaba, S., Kawamura, M., Toriik, K., "Drying Shrinkage and Durability of Concrete made of Recycled Concrete Aggregate," Translation of the Japan Concrete Institute, No. 3, 1981, pp.55-60.
14. Building Contractors Society of Japan, Proposed Standard for the Use of Recycled Aggregate Concrete, Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste, 1977.
15. 山田義雄, "再生組骨材を使用した生コンクリートの性状ついて," 生コンクリート, Vol. 16, No. 10, 1997, pp. 52-56.
16. Karra, T., "Evaluation Technique des Possibilities D'emplois des Dechets Aans la Construction," Rechrche Experimentale Applique au Cas de Beton Fabrique a Partier de Ganulats de Betons Recycles, 1986.
17. Yoshikane, T., "Present Status of Recycling Waste Cement Concrete in Japan," Private Communication Research Laboratory, Taiyu Kensetsu Co. Ltd., Japan, 1988.
18. 충남대학교, 폐콘크리트의 재활용 및 처리기술개발, 1997.
19. 日本建設省, 콘크리트副産物の再利用に關する用途別暫定品質基準(案), 建設省技調發第 88号, 4月, 1994.
20. 국립기술품질원, KS F 2526 콘크리트용 골재, 1997.
21. 국립기술품질원, KS F 2527 콘크리트용 부순 골재, 1997.
22. (財)國土開發技術研究センター, "再生コンクリートの利用技術の開発, 平成6年度報告書(その 2)," 共通試験による再生骨材の品質試験方法の検討, 1995, pp.351-369.
23. 中本純次, 戸川一夫, 三岩敬孝, 吉兼亨, "再生骨材の品質がコンクリートの諸特性に及ぼす影響," 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 20, No. 2, 1998, pp.1129-1134.
24. 阿部道彦, "再生骨材を用いたコンクリート," 콘크리트工學, Vol.33, No.12, 1995, pp.110-116.

요 약

최근 폐콘크리트와 같은 건설폐기물 발생량이 급속히 늘어나고 있고 천연골재의 부족도 심각한 실정이다. 따라서 폐콘크리트에서 추출된 재생골재의 재활용은 매우 필요한 실정이다. 그러나 일반골재와는 다른 재생골재의 물성을 평가할 수 있는 합리적 평가기준의 부재로 저성능 콘크리트로서의 재생골재의 사용도 매우 어려운 실정이다. 본 연구는 폐콘크리트에서 추출된 재생골재를 환경부하 저감형 콘크리트용 골재로 본격적으로 사용될 수 있도록 재생골재의 평가 기준을 제안하였으며, 특히 재생골재의 흡수율에 따라 재생골재와 재생골재로 제조된 폐콘크리트의 성능이 효과적으로 평가될 수 있음을 밝혔다.

(접수일자 : 2000. 1. 24.)