

재생골재를 활용한 고성능 콘크리트의 개발

- Development of High Performance Concrete Using Recycled Aggregate -



신성우*
Shin, Sung Woo

1. 연구배경

1.1 국내 건설폐기물 발생 및 처리현황

최근 국내에서도 대도시의 경우 시가지의 재개발과 같은 사회적 요인, 그리고 건물의 노령화 및 기능저하에 따라서 콘크리트 구조물의 철거 및 해체에 따라 발생하는 건설폐기물량이 해마다 증가하고 있다. 건설폐기물은 건축공사·토목공사 및 건설 구조물의 해체공사에서 배출되는 부산물 및 쓰레기를 통칭하는 것으로서 토사(土砂), 오니(汚泥), 폐콘크리트, 폐아스팔트, 목재, 종이류, 금속류, 폐플라스틱류, 폐유리 및 폐도자기류 등이 포함된다.

이 중에서 발생량이 제일 많은 것은 폐콘크리트이며, 전체 건설폐기물의 약 67%를 점하고 있으며, 그 양은 매년 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 폐콘크리트의 경우는 대부분 도로포장용 보조재나 토지를 굴착한 후 성토재 혹은 뒷채움재로 사용하고, 실제 구조물에 대한 재활용실적은 거의 미약한 상황이어서 매년 급격하게 증가하고 있는 건설폐기물을 처리하기 위한 다각적인 방안이 모색되어야 할 시점에 있다.

1.2 고성능 콘크리트의 필요성

건설 구조물의 약 80% 이상이 철근 콘크리트 구조로 건설되

표 1. 콘크리트 해체재의 재활용 사례

이 용 형 태		용 도
콘크리트 부재 이용 20 ~ 40 cm 덩어리		어초, 부서 등 할석, 바닥지정재 등
파쇄재	굵은 덩어리	바닥 기초재료, 동일용도에 재사용, 기초재료 등
	굵은골재, 잔골재	콘크리트용 바닥 기초재료, 아스팔트용으로 재이용
처리과정에서 발생하는 분말		지반개량, 충전재(filler) 등

고 있으며, 이를 위해 사용하는 콘크리트는 안전하고 경제적인 구조물 건설을 위하여 적절한 품질과 안정적인 공급이 이루어져야 한다. 또한 콘크리트는 그 구성재료가 약 70%의 골재와 30%의 기타재료(시멘트, 물, 혼화제 등)로 이루어져 있어 골재는 각종 건설공사의 기초재료로 경제에 미치는 영향이 지대하므로 안정적인 공급이 절실히 요청되고 있다. 그러나 최근 한정된 자원으로 부족량이 감소추세를 보이고 있고 환경보전의 강화로 골재채취여건이 악화되면서 수급불안정이 야기될 수 있어 골재의 원활한 수급을 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 이에 대한 대안으로 폐콘크리트를 이용한 재생골재의 생산과 구조물재료의 사용을 적극 고려할 필요가 있으며, 특히 고성능 콘크리트의 필요성이 크게 증가되고 있는 현시점에서 재생골재를 활용할 수 있는 방안을 도출하는 것은 매우 시급하다 할 수 있다.

폐콘크리트를 재생골재로 이용하기 위하여는 ① 적절한 재생골재 혼합비율, ② 부족한 시공성을 위한 고성능 감수제와 같은 혼

* 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수

화제의 이용, ③ 재생골재 생산 플랜트에서의 적절한 설비, ④ 사용 전 충분한 살수 등 몇 가지의 이용대책이 강구된다면 지금까지 매립용 및 성토재로서의 사용뿐만 아니라 콘크리트용 재생골재로서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

페콘크리트로부터 재생골재를 콘크리트용 골재로서 이용하는 방법은 단독으로 사용하는 경우와 쇄석과 혼합하여 사용하는 방법이 있으며 이에 대한 연구가 국내에서도 이루어져 왔으며 정부에서도 관련 법규 제정을 통한 재활용산업의 활성화를 유도하고 있으나 아직까지는 크게 활성화되지는 못하고 있는 실정이다. 또한 재활용이 대부분 건설공사의 성토, 복구용 등 저급재료로서 사용되었을 뿐 구조용 콘크리트나 2차 제품 등 고급재료로서의 실적이 미미한 상황이다. 이는 기존의 연구에서도 드러났듯이 압축강도의 저하와 시공성에 따른 문제이며 또한 국내 건설업계 전반에서의 재생골재에 대한 인식 부족으로 보여 진다.

1.3 연구의 목적

본 연구는 기존 철근 콘크리트 구조물을 철거하는 과정에서 발생하는 페콘크리트를 파쇄하여 얻은 재생골재를 활용하여 콘크리트 압축강도가 400 ~ 600 kgf/cm²의 범위를 가지는 고강도, 고유동, 고내구성 고성능 콘크리트를 개발하고 이를 실용화함으로써 보다 경제적이면서 구조물의 수명이 월등히 증가된 고부가가치 구조물 건설을 위한 재생골재활용 고성능 콘크리트의 개발 가능성을 도출하는 것을 연구의 주된 목표로 한다.

2. 재생골재 활용 고성능 콘크리트 개발

2.1 일반사항

본 연구에서는 400 ~ 600 kgf/cm²의 고성능 콘크리트를 제조하기 위하여 국내에서 생산되는 재료를 사용하되 천연 굵은골재의 일정비율을 재생 굵은골재로 대체하여 국내실정에 맞고 경제적인 배합비를 도출하기 위한 최적배합비 선정을 그 목적으로 하고 있다. 따라서 이러한 고성능 콘크리트를 제조하기 위하여 특별한 품질관리 없이도 어느 곳에서나 시공 가능한 콘크리트를 양산하기 위한 최소 단위시멘트량, 시공성을 고려한 물-시멘트비, 고성능 감수제의 투입량 등을 결정하여 실제 구조물에 재생골재활용 고성능 콘크리트를 적용하기 위한 자료를 제공하고자 한다.

2.2 사용재료

본 연구에서는 콘크리트의 제조단가 상승 문제를 해결하기 위하여 소요 압축강도를 만족하는 단위시멘트량의 최적사용량을 결정하되 시멘트는 일반적으로 사용되는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하도록 하였으며 유동성을 증진시키기 위하여 고성능 감수제 등

의 고유동화제를 사용하도록 하였다. 굵은골재는 레미콘 회사에서 쉽게 구입할 수 있는 것으로 하되 강도발현에 유리한 쇄석을 사용하는 것으로 하며, 가능하면 골재의 최대치수를 줄이지 않는 방향으로 하였다. 그리고 페콘크리트로부터 생산되는 재생골재를 천연 굵은골재를 대신하여 대체하도록 하였다. 잔골재로는 최근 널리 이용되는 해사를 사용하였다.

2.2.1 시멘트

시멘트의 품질상태는 고성능 콘크리트의 제조에 있어 강도발현에 지대한 영향을 미치므로 보관상태가 양호한 시멘트를 사용하는 것이 필수적이다. 배합에 필요한 시멘트를 대량 구입하여 보관할 때에는 습기 및 통풍에 유의하여 출고된 시점의 품질에 변동사항이 없도록 해야만 한다. 시멘트의 종류에는 조기강도 발현에 유리한 조강 포틀랜드 시멘트 등이 있으나 1종 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 시멘트 단가가 매우 높으므로 결과적으로 콘크리트 제조단가 상승의 원인이 된다. 따라서 이러한 것을 고려하여 가능한 경제성을 갖도록 하기 위해 본 연구에서는 보통 포틀랜드 시멘트(1종 시멘트)를 사용하여 고성능 콘크리트를 제조하였다. 시멘트의 물성은 제조회사의 품질성적서를 참조하되 일정기준을 갖는 시멘트를 구입, 물성 시험을 통하여 변동사항의 유무를 확인하도록 한다.

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내의 H사 제품으로 화학적 구성성분 및 물리적 특성은 다음 <표 2, 3>에 각각 나타나 있다.

표 2. 시멘트의 화학적 구성성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig-Loss	F-CaO
21.2	6.5	3.1	60.9	3.5	2.2	1.7	1.1

표 3. 시멘트의 물리적 특성

분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	초결 (분)	종결 (분)	3일 강도 (kgf/cm ²)	7일 강도 (kgf/cm ²)	28일 강도 (kgf/cm ²)
3.556	0.09	292	487	220	286	373

2.2.2 굵은골재

골재의 입형은 골재와 시멘트 페이스트와의 부착력 증가를 위하여 비표면적이 크고 마모율이 작으며 입자형태가 각이 진 쇄석이 강도 발현에 유리하며, 고성능 콘크리트에서는 특히 부착면적 증대 및 골재자체의 결함이 적은 것이 되도록 하기 위하여 골재의 크기가 작은 것을 사용하는 것이 바람직하다.

그러나 기존 연구결과에 의하면 압축강도가 400 ~ 600 kgf/cm² 정도 되는 고성능 콘크리트의 경우 25 mm의 골재를 사용하여도 고강도 콘크리트의 제조가 충분히 가능하다고 일반적으로 알려져 있다. 또한 현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 골재는 25 mm가 주종을 이루고 있는 실정이다. 따라서 본 연구

에서도 굵은골재의 최대크기를 25 mm로 제한하여 사용하도록 하였으며, 재생골재는 폐콘크리트를 파쇄하여 생산된 최대크기 25 mm의 골재를 사용하였다. 시험배합에 사용한 굵은골재의 물리적 특성은 다음 <표 4>에 나타나 있으며, 본 실험에 사용한 재생 굵은골재가 다음 <사진 1>에 나타나 있다.

표 4. 굵은골재의 물리적 특성

구분	최대크기(mm)	조립률	비 중	흡수율(%)
천연	25	6.5	2.64	1.29
재생1종	25	6.53	2.20	2.95

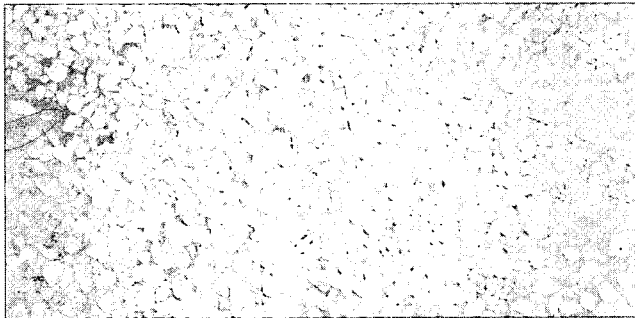


사진 1. 5mm 재생 굵은골재

2.2.3 잔골재

최근 들어 골재의 품귀현상과 강모래를 구하기 어려워짐에 따라 바다에서 채취한 해사를 씻은 세척사를 건설현장에서는 많이 사용하고 있다. 그러나 해사에는 건축물의 내구성을 저하시키고 철근부식의 원인이 되는 염분을 함유하고 있으므로 해사 사용시에는 세심한 주의를 기울여야 한다. 현재 국내의 규정에 의하면 건축공사에 사용하는 해사의 염분도를 0.04 % 이하로 제한하고 있는 것도 바로 이 때문이다. 본 연구에 사용한 세척사(해사)는 염분도가 0.002 %로 나타나 염분함유로 인한 콘크리트의 내구성 저하에 대한 염려는 없는 것으로 나타났다. 잔골재에 대한 물성 시험결과가 다음 <표 5>에 나타나 있다.

표 5. 잔골재의 물리적 특성

구 분	조립률	비중	염분량	흡수율
해사(세척사)	2.83 %	2.65	0.002 %	1.15 %

2.2.4 화학 혼화제

보통강도 콘크리트에서는 물-시멘트비가 비교적 큰 편이므로 운반시간이 특별히 긴 경우를 제외하고는 시공성이 크게 문제가 되지 않는다. 그러나 물-시멘트비가 낮은 고강도 콘크리트의 경우 소요 작업성을 확보하기 위해서는 현재 국내에서도 많이 사용되고 있는 고성능 감수제(고유동화제라고도 부름)를 사용하는 것이 불가피하다. 그러나 일정양 이상(보통 약 2 % 이상)을 사용하게 되

면 골재분리가 발생할 수도 있고, 다른 혼화제와의 적합성 등에서 문제가 발생할 수도 있으므로 사용량을 될 수 있으면 줄이는 것이 바람직하다 하겠다.

지금까지 사용되고 있는 고성능 감수제는 주로 나프탈렌계로서 최근에는 이보다 성능이 개선된 다양한 혼화제가 개발되고 있으며, 그 중 대표적인 성분은 폴리카르본산계와 같은 것이 있다. 본 연구에서는 고성능 감수제를 1.0 ± α %를 사용하여 슬럼프 플로우치를 60 ± 5 cm를 확보할 수 있도록 배합실험을 계획하였으며 고성능 감수제는 나프탈렌계와 폴리카르본산계로서 D사의 제품을 사용하였다. 연구에 사용된 고성능 감수제의 화학적 성분 및 물리적 특성이 다음 <표 6>에 나타나 있다.

표 6. 고성능 감수제의 화학적 구성성분 및 물리적 특성

색 상	형태	주성분	비 중	PH	고형분
암갈색	액체	나프탈렌계	1.22	7.5	38.8
암갈색	액체	폴리카르본산계	1.20	7.3	39.5

2.3 배합실험

2.3.1 변수선정

배합실험의 변수 선정은 천연골재의 일부를 재생골재로 대체한 고성능 콘크리트의 소요 압축강도와 작업성을 확보하기 위하여 잔골재율을 40 %로 고정한 후 단위시멘트량(C : 540, 560 kg/m³), 물-시멘트비(W/C : 32, 34 %), 재생골재 치환율(R/N : 0, 20, 50, 100 %), 고성능 감수제 성분(A, B Type)에 따른 혼화제 사용량(A : 1.0 %, B : 2.0 %)을 조절하면서 비교가 될 수 있도록 선정하였다.

표 7. 고성능 콘크리트 배합변수

배합요인	구분	변수 범위	배합 기준
단위시멘트량(kg/m ³)		540, 560	· 목표 강도 : 400 ~ 600 kgf/cm ² · 목표 슬럼프 : 18 cm 이상 · 목표 플로우 : 60 ± 5 cm
골재 최대치수(mm)		25	
물-시멘트비(W/C, %)		32, 34	
잔골재율(S/a, %)		40	
S.P.제 첨가율(%)		1.0 ± α	
굵은골재 대체율(%)		0, 20, 50, 100	

(2) 배합상세

이상과 같은 실험변수에 따라 결정된 각 실험체별 배합상세가 다음 <표 8>에 나타나 있다.

2.4 배합

물-시멘트비가 낮고 고성능 감수제를 사용하는 고성능 콘크리

표 8. 각 실험체별 배합상세

No.	단위시멘트량 (C, kg/m ³)	물-시멘트비 (W/B, %)	잔골재율 (%)	굵은골재 대체율 (S/a, %)	고성능 감수제
1	540	32	40	0	A*- 1.0 %
2					B**- 2.0 %
3				20	A - 1.0 %
4					B - 2.0 %
5				50	A - 1.0 %
6					B - 2.0 %
7				100	A - 1.0 %
8					B - 2.0 %
9	540	34	40	0	A* - 1.0 %
10					B** - 2.0 %
11				20	A - 1.0 %
12					B - 2.0 %
13				50	A - 1.0 %
14					B - 2.0 %
15				100	A - 1.0 %
16					B - 2.0 %
17	560	32	40	0	A - 1.0 %
18					B - 2.0 %
19				20	A - 1.0 %
20					B - 2.0 %
21				50	A - 1.0 %
22					B - 2.0 %
23				100	A - 1.0 %
24					B - 2.0 %
25	560	34	40	0	A - 1.0 %
26					B - 2.0 %
27				20	A - 1.0 %
28					B - 2.0 %
29				50	A - 1.0 %
30					B - 2.0 %
31				100	A - 1.0 %
32					B - 2.0 %

A* : 폴리카르본산계, B** : 나프탈렌계

트 제조시에는 강제식 믹서의 사용이 필수적으로 본 실험에서는 1회 배합용량이 80리터이고, 교반날개가 4개 달린 강제식 믹서를 사용하였다.

재료의 투입방법은 믹서에 굵은골재와 잔골재를 넣고 30초간 건비빔 후 시멘트를 넣고 1분간 건비빔 후 고성능 감수제를 섞은 물을 투입하여 2분간 혼합하였다.

혼합은 모두 완전한 비빔상태를 만든 후 슬럼프 및 플로우치를 측정하여 목표로 하는 소요슬럼프와 플로우치에 도달하여 작업성이 확보된 것으로 판단될 때까지 고성능 감수제를 조절하여 추가 투입하는 순서로 콘크리트를 제조하였다.

2.5 압축강도 시험

20 ± 3°C의 수중에서 양생된 공시체는 압축강도 측정시간 직전에 물에서 꺼내어 공시체 표면의 수분이 증발하기 전에 압축강

도 시험시 재하면이 균일한 힘을 받도록 공시체 연마기로 연마한 후 200톤 용량의 U.T.M(Universal Testing Machine)을 사용하여 압축강도를 측정하였다.

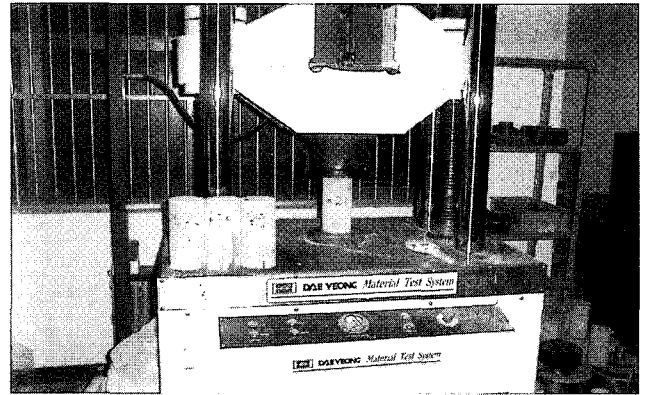


사진 2. 압축강도 시험광경

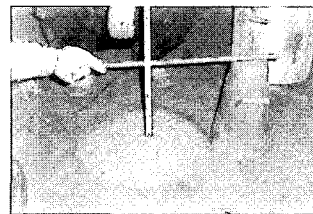


사진 3. 슬럼프 측정 모습

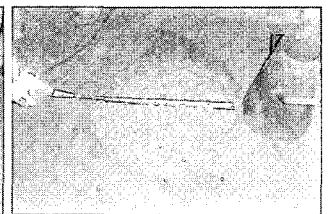


사진 4. 슬럼프-플로우 측정 모습

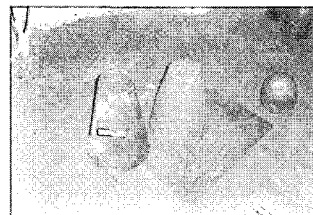


사진 5. 고성능 감수제 투여 전

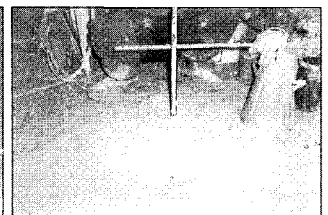


사진 6. 고성능 감수제 투여 후 콘크리트 슬럼프

3. 실험결과

3.1 슬럼프 및 슬럼프-플로우

본 실험에서는 각 배합의 경우마다 슬럼프 플로우가 기준치를 만족하지 못하는 경우를 대비하여 실험시 실험자가 배합당시의 상태를 고려하여 고성능 감수제를 분산 투여하는 방법을 취하였으며, 이 때 투여하는 고성능 감수제의 양은 기준 투여치로 정한 결합재량의 1.0%를 기준으로 하고 이에 대해 0.5%씩 추가 투여하면서 소요의 작업성을 확보하도록 하였다.

또한, 재생골재는 천연골재에 비하여 흡수율이 크기 때문에 사전에 골재에 물을 충분히 뿌려주어 골재가 표면건조 내부포화상태가 되도록 하는 것이 콘크리트의 작업성에 좋은 영향을 미치는 것으로 알려져 있어, 본 실험에서는 이에 대한 효과를 검증하기 위하여 단위시멘트량이 560 kg/m³이고 물-시멘트비가 34%인 No. 25 ~ 32번 시험체는 충분히 살수한 상태에서 배합하였다.

표 9. 각 실험체별 슬럼프 및 슬럼프 플로우값

No.	슬럼프(cm)	플로우(cm)	No.	슬럼프(cm)	플로우(cm)
1	21	-	17	20	32
2	24	34	18	24	48
3	16	-	19	26	40
4	20	30	20	23	34
5	18	-	21	26	54
6	24	50	22	25	46
7	19	37	23	27	65
8	22	38	24	19	31
9	22	35	25	27	60
10	20	31	26	28	58
11	18.5	32	27	28	64
12	26	50	28	28	60
13	21.5	38	29	27	60
14	26	49	30	27	56
15	20	32	31	26	46
16	25	46	32	27	62

이상과 같은 방법으로 배합된 각 시험체에 대하여 측정된 슬럼프 플로우값이 다음 <표 9>와 <그림 1 ~ 4>에 시험변수별로 비교

되어 나타나 있다. 그림과 표에서 알 수 있는 것처럼 단위시멘트 량과 물-시멘트비가 증가함에 따라 슬럼프 플로우 값도 증가함을 알 수 있었으며 이는 시멘트량의 증가에 따라 단위수량도 함께 증가하기 때문으로 판단된다.

또한 재생골재 대체율에 따른 슬럼프-플로우 값은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그리고 폴리카르본산계와 나프탈렌계 고성능 감수제에 의한 슬럼프-플로우 값은 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용한 경우가 나프탈렌계보다 약 10% 정도 큰 값을 나타내는 것으로 나타나 향후 콘크리트의 작업성을 향상시키기 위해서는 폴리카르본산계 고성능 감수제의 사용을 고려할 수 있음을 알 수 있었다.

배합 전에 충분히 살수한 재생골재를 사용한 경우는 그렇지 않은 경우보다 약 30% 이상 슬럼프 플로우 값이 증가하는 것으로 나타났으며, 사전 살수가 되지 않은 경우는 대부분 초기 배합조건으로 정한 슬럼프 플로우 기준치인 60 ± 5 cm를 만족하지 못하였지만, 사전 살수된 경우는 이 기준을 대부분 만족하는 것으로 나타나 재생골재를 사용할 경우는 천연골재의 경우보다 충분한 살수가 반드시 실시되어야 함을 알 수 있었다.

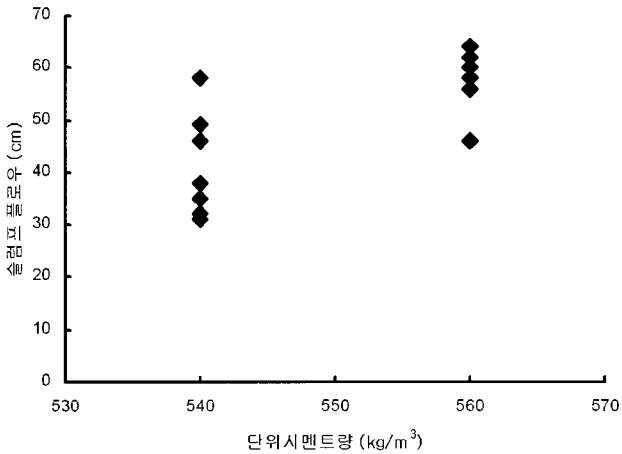


그림 1. 단위시멘트량에 따른 슬럼프-플로우 값(W/B 34%)

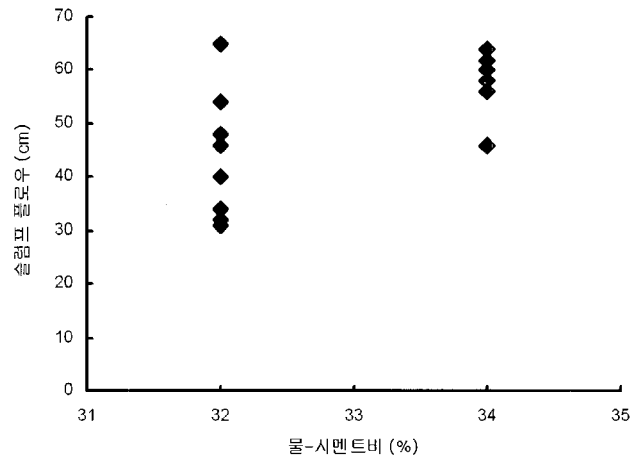


그림 2. 물-시멘트비에 따른 슬럼프-플로우 값(단위시멘트량: 560 kg/m³)

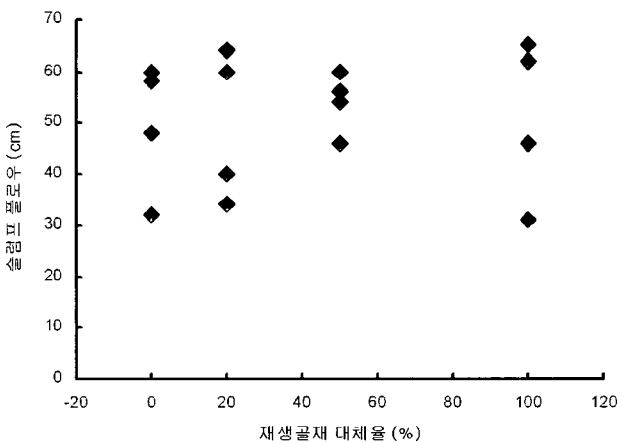


그림 3. 재생골재 대체율에 따른 슬럼프-플로우 값 (단위시멘트량 560 kg/m³)

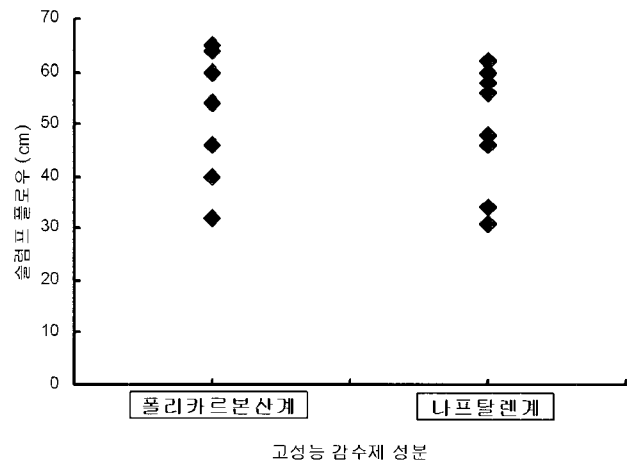


그림 4. 고성능 감수제 종류(성분)에 따른 슬럼프-플로우 값 (단위시멘트량(B) 560 kg/m³)

3.2 콘크리트 압축강도

각 실험체별로 7일, 28일 재령에 압축강도를 측정하였으며, 그 결과가 다음(그림 5 ~ 10)과 <표 10>에 나타나 있다.

각 실험변수에 따른 압축강도 발현특성은 28일 평균압축강도가 약 724 kgf/cm²로 측정되어 본 실험에서 목표강도로 정한 압축강도 상한치인 600 kgf/cm²을 약 20% 정도 초과하는 것으로 나타났다. 또한 단위시멘트량이 540 kg/m³에서 560 kg/m³으로 증

가함에 따라 약 6% 정도의 강도증진 효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나 물-시멘트비가 32%에서 34%로 증가함에 따라 강도는 약 15% 정도 감소하는 것으로 나타나 고성능 콘크리트 제조 시 강도발현을 위해서는 가능한 한 물-시멘트비를 낮추는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

또한 폴리카르본산계와 나프탈렌계 고성능 감수제의 강도발현 효과는 두 성분 사이에는 별반 차이가 없음을 알 수 있었으며, 재생골재의 대체율이 0, 20, 50, 100%로 증가함에 따라 강도

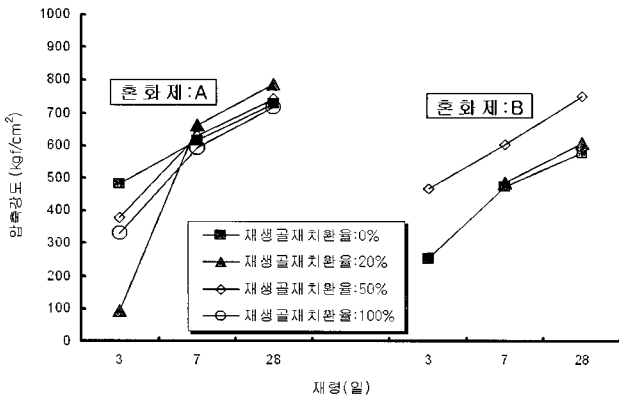


그림 5. 재생골재 대체율에 따른 재령별 압축강도 비교 (단위시멘트량 540 kg/m³, 물-시멘트비 32%)

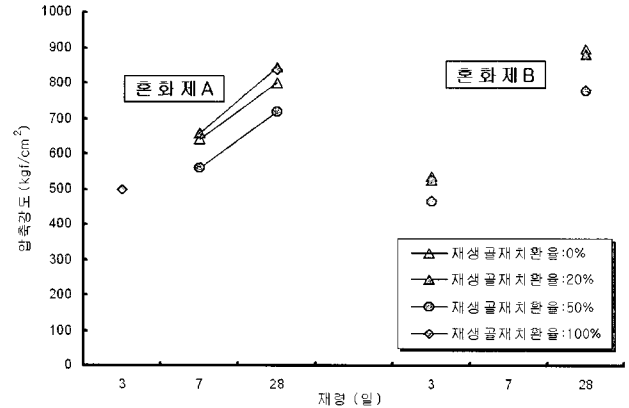


그림 6. 재생골재 대체율에 따른 재령별 압축강도 비교 (단위시멘트량 540 kg/m³, 물-시멘트비 34%)

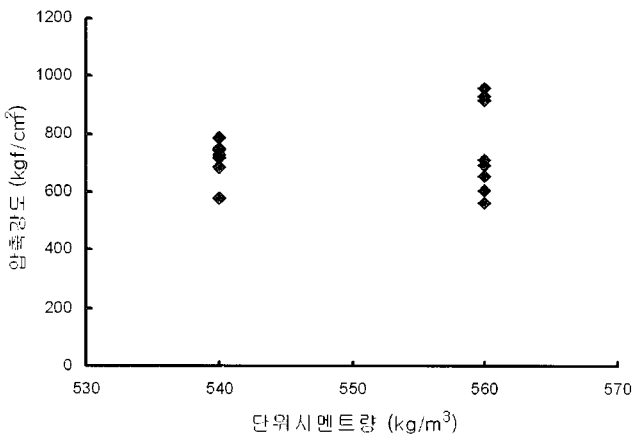


그림 7. 단위시멘트량에 따른 28일 압축강도 비교(물-시멘트비 32%)

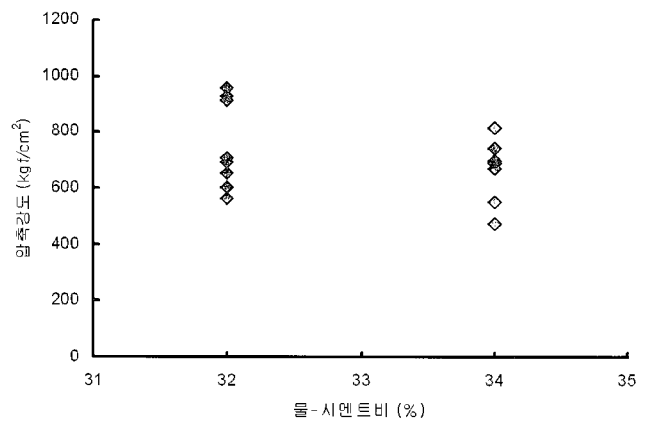


그림 8. 물-시멘트비에 따른 압축강도 비교(단위시멘트량 560 kg/m³)

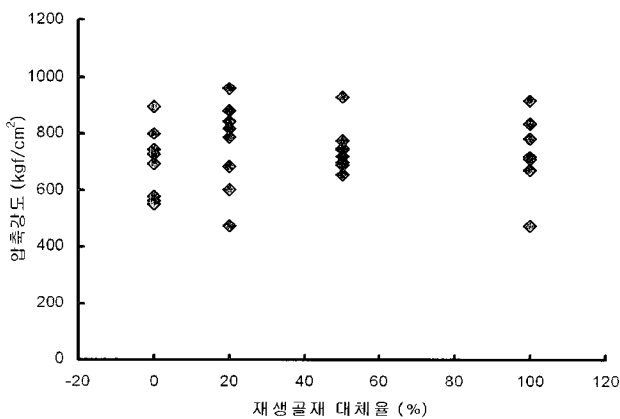


그림 9. 재생골재 대체율에 따른 압축강도 비교

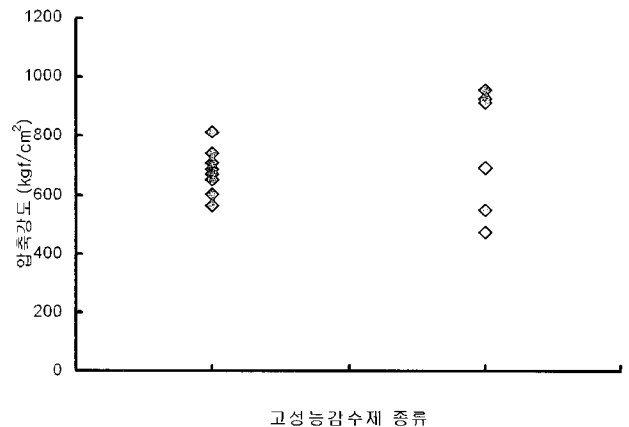


그림 10. 고성능 감수제 종류(성분)에 따른 압축강도 비교 (단위시멘트량 560 kg/m³)

표 10. 콘크리트 압축강도 측정결과(kgf/cm²)

재령 No.	f _{ck} (28일)	재령 No.	f _{ck} (28일)	재령 No.	f _{ck} (28일)	재령 No.	f _{ck} (28일)	재령 No.	f _{ck} (28일)	재령 No.	f _{ck} (28일)	재령 No.	f _{ck} (28일)	재령 No.	f _{ck} (28일)
1	727	5	744	9	799	13	719	17	563	21	655	25	742	29	688
2	577	6	749	10	895	14	775	18	692	22	929	26	552	30	697
3	785	7	717	11	844	15	836	19	603	23	708	27	816	31	670
4	684	8	#	12	881	16	781	20	958	24	915	28	474	32	475

* 편심, # 데이터 손실

발현의 차이는 거의 없음을 알 수 있었다.

그러나 재생골재 대체율과 콘크리트 재령에 따른 압축강도는 재생골재 대체율이 20%인 경우가 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 50%인 경우가 높게 나타나 재생골재의 적정 대체율은 약 20~50% 정도가 적절할 것으로 판단된다.

4. 결 론

1) 지난 2000년에 국내에서 발생한 건설폐기물은 연간 약 2,900만 톤으로 이 중 약 67%가 폐콘크리트로 나타났으며, 건설폐기물의 재활용비율은 약 85% 정도이지만 구조용 재료가 아닌 보조용 재료로 사용되고 있다.

2) 현재 국내에서 생산되고 있는 천연골재와 재생골재를 적절히 적용할 경우 현재 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트 압축강도 240~270 kgf/cm²에 비해 2배 이상의 강도를 가지는 고강도의 고성능 콘크리트를 충분히 제조할 수 있음을 확인하였다.

3) 이 경우 적절한 재생골재 대체비율은 약 20~50% 범위이며, 특히 콘크리트 제조를 위한 사전준비로 골재에 충분한 살수가 이루어지고, 고성능 감수제를 적절히 사용하면 고유동의 작업성과 고강도의 안전성을 동시에 확보할 수 있음을 확인하였다.

4) 전세계적인 구조물의 건설경향은 초고층, 장스팬 구조물로서 이를 보다 경제적이고 안전하게 건설하기 위해서는 고성능의 재료사용이 필수적이며, 본 실험에서 개발된 재생골재활용 고성능 콘크리트를 적용할 경우 고품질의 고부가가치 구조물 건설이 가능할 것으로 기대된다.

5) 현재 일반강도 콘크리트를 사용함에 따른 내구성능저하 및 수직부재 단면증가에 따른 사용면적 감소와 같은 단점을 단순보조 재료의 사용에 그치고 있는 재생골재를 활용한 고성능콘크리트를 적용함으로써 단면축소 및 내구성능향상 등의 효과를 얻을 수 있으며, 나아가 국가 부존자원의 보존과 환경보호 등의 고부가가치 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

5. 재생골재의 활용을 위한 제언

본 연구에서 목표로 하는 재생 굵은골재를 활용하여 콘크리트 압축강도 400 kgf/cm² 이상의 고강도-고유동성을 갖춘 고성능 콘

크리트의 제조는 충분히 가능한 것으로 나타났으므로 현재 아스팔트 포장의 보조재나 건축 지하 구조물 뒷채움재 등과 같은 제한적인 부분에 재활용되고 있는 재생골재를 건설 구조물의 각종 구조 부재에 적극 사용함으로써 구조물의 성능향상과 경제성, 국내 자원보존 및 환경보호 등의 여러 이득을 적극 도모하여야 할 것으로 판단된다.

이외에도 국가적인 차원에서 건설폐기물의 재활용률을 높일 수 있는 몇 가지 방안을 정리하면 다음과 같다.

1) 현재 국민주택규모 이하에 대한 리모델링 사업에 대해서는 일부 세제감면혜택을 부여하는 것처럼 일정규모 이상의 재생골재를 활용한 구조물을 건설할 경우 세제감면혜택을 부여함으로써 건설폐기물의 적극적인 재활용을 도모할 필요가 있다.

2) 본 실험에서 확인되었듯이 재생골재를 사용한 구조용 콘크리트의 품질은 천연골재를 사용한 콘크리트에 비하여 거의 차이가 없음을 확인하였다. 따라서 특히 공공건설사업에 대하여 일정비율의 재활용 의무를 규정함으로써 재생골재의 활용을 유도하여야 한다.

3) 일반 건설기술자에 대한 종합적인 교육시스템을 수립하여 재생골재를 중심으로 건설폐기물의 종합적인 관리 및 재활용방안을 교육할 필요가 있다.

4) 세계적인 건설기술개발 추세가 고성능의 재료개발과 이에 대한 구조물에의 안전한 사용에 집중되고 있는 현실을 감안할 때, 우리나라의 국제경쟁력을 높이기 위해서는 고부가가치 고성능 재료개발은 시급하며, 특히 환경보호와 부존자원보존 측면에서 재생골재 등을 활용한 고성능 콘크리트와 같은 재료개발과 이의 실용화를 위한 국가차원에서의 집중적인 연구인력 육성과 연구비투자가 필요하다. □

참고문헌

1. 大和竹史, “콘크리트의 리사이클링에關する海外의動向”, 콘크리트工學, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.19~22.
2. 山崎庸行, “建設業의立場から —建築—”, 콘크리트工學, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.35~41.
3. 阿部臨道彦, “콘크리트用再生骨材”, 콘크리트工學, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.42~48.

4. 横山 滋, "セメント原料への利用", *コクリート工學*, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.49~52.
5. 嘉門雅史, "地盤改良材への利用", *コクリート工學*, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.49~52.
6. 友澤 史紀, 野口 貴文, "完全リサイクルコクリート", *コクリート工學*, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.57~60.
7. 河野 廣隆, "再生骨材", *セメント・コンクリート*, No.618, 1998. 8, pp.64~69.
8. 笠井芳夫, "解体コクリートの 처리の現況", *コクリート工學*, Vol. 35, No.7, 1997. 7, pp.13~24.
9. F. Tomosawa and T. Noguchi, "Towards Completely Recyclable Concrete", *Integrated Design and Environmental Issues in Concrete Technology*, 1996, pp.263~272, E&FN SPON.
10. 崔 敏壽, 阿部道彦, 南波篤志, "再生骨材の粒子構成の特性", *セメント・コンクリート論文集*, No.49, 1995. 5, pp.336~341.
11. 飛坂基夫, 笠井芳夫, 加賀秀治, 阿部道彦, 福部 聰, "實機プラントにおける再生コクリートの製造・工程管理(その 1) 再生骨材の品質", *일본建築學會大會學術講演梗概集*, 1996. 9, pp.389~390.
12. (財)國土開發技術研究センター; 再生コクリートの利用技術の開發, *平成6年度報告集(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. 3, pp.351~369.
13. Edited by Y. Kasai : *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Vol. 1 : Demolition Methods and Reuse*, CHAPMAN AND HALL, 1988.
14. Edited by Y. Kasai : *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Vol. 2 : Reuse of Demolition Waste*, CHAPMAN AND HALL, 1988.
15. Edited by Y. Erik K. Laulitzen : *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, F&FN Spon, 1994.
16. Edited by T. C. Hansen : *RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, 1989, pp.109~110, E&FN SPON.
17. J. Vyncke and E. Rousseau : *Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium*, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, 1984, pp.57~69, F&FN SPON.
18. R. J. Collins : *Reuse of Demolition Materials in Relation to Specifications in The UK*, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, 1994, pp.49~56, F&FN SPON.
19. C. J. Kibert : *Concrete/Masonry Recycling Progress in the USA*, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, 1994, pp.83~91, F&FN SPON.
20. Edited by T. C. Hansen : *RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, 1989, pp.116~120, E&FN SPON.
21. Edited by T. C. Hansen : *RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, 1989, p.121, E&FN SPON.
22. R.-R. Schulz : *The Processing of Building Rubble as Concrete Aggregate in Germany*, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, 1994, pp.105~116, F&FN SPON.
23. Edited by T. C. Hansen : *RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, 1989, p.122, E&FN SPON.
24. A. Morel and J. L. Gallias : *Practical Guidelines for The Use of Recycled Aggregates in Concrete in France and Spain*, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, 1994, pp.105~116, F&FN SPON.
25. A. Henrichsen : *Report on Unified Specifications for Recycled Coarse Aggregates for concrete*, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, 1994, pp.119~120, F&FN SPON.
26. Edited by J. W. Llewellyn and H.Davies : *Sustainable Use of Materials*, *Proceedings of an International Seminar held on 23 & 24 September 1996 at the Building Research Establishment, Garston Watford, UK*.
27. 建設교통부, "콘크리트 구조설계기준", *한국콘크리트학회*, 1999.
28. 김무한, "재생골재의 현황 및 재활용방안", *한국콘크리트학회지* 제 9권 6호, 1997. 12, pp.11~17.
29. 김무한, "건설폐기물 및 재생골재 콘크리트", *한국콘크리트학회지* 제 10권 6호, 1998. 12, pp.52~60.
30. 이봉학, 김광우, 박계선, 김진영, "재생 폐콘크리트의 성능향상에 관한 연구", *한국콘크리트학회 논문집*, 제 7권 2호, 1995. 4, pp.136~145.
31. 신성우, "고강도 콘크리트의 기술현황 및 콘크리트 강도에 따른 고성능 감수제의 효과", *한국과학재단 학·연·산 교류회*, 1999, pp.342~354.
32. 신성우, "건축폐기물의 감량화를 위한 구조적인 측면에서의 고찰", *월간 폐기물*, 1993. 10, pp. 92~95.