

再生骨材를 사용한 콘크리트의 强度特性에 關한 研究

The Strength Properties of the Concrete Using Recycled Aggregates

원 철* 김 동 석** 이 상 수* 권 영 호*** 박 칠 림***
Won, Cheol Kim, Dong-Seok Lee, Sang-Soo Kwon, Yeong-Ho Park, Chil-Lim

ABSTRACT

Recycling of waste concrete will contribute not only to the solution of a growing waste disposal problem, also help to conserve natural resources of aggregate and to secure future supply of reasonably recycled aggregates for building construction purpose within large urban areas. Therefore, the purpose of this study is to analyze the applicability of recycled concrete in the influence of a substitute rate of recycled aggregate.

As the result of this study, it is possible to conform that the recycled aggregate concrete substituted by 30~50% of the crushed aggregate can be applicated in site.

1. 序 論

건설자원 再活用 분야의 선진국인 서구 및 일본 등에서는 오래전부터 廢콘크리트를 콘크리트용 골재로 再活用하기 위한 연구가 진행되어 왔으며, 施工事例 및 再生骨材 콘크리트의 施工指針(案)이 발간되어 실용화 단계까지 이르렀다. 國內의 경우에는 廢콘크리트의 재활용에 대한 연구가 기초단계에 머무르고 있으나, 필요성에 대한 인식변화 및 정책적인 고려, 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

國內의 廢콘크리트의 발생량은 정확히 파악되어 있지 않으나 日本의 경우⁽¹⁾, 콘크리트 생산량의 약 5% 정도가 廢콘크리트로 발생하고 있다. 이러한 비율을 고려할 때, 國內의 경우에는 약 400~500만m³ 정도의 廢콘크리트가 발생될 것으로 추정된다. 이러한 폐기물의 발생에 대한 대책으로 정부에서는 建設廢棄物의 적정처리 및 재활용의 필요성을 인식하여 1993년에 「資源의 節約과 再活用 促進에 關한 法律」의 제정을 통해 연간 시공금액이 250억원 이상인 건설업자는 건설현장에서 배출되는 土砂, 콘크리트塊 및 아스팔트 콘크리트塊 등을 '指定副産物'로 지정하여 재활용하도록 의무화하였기 때문에, 폐콘크리트의 재활용은 매우 중요한 과제로 대두되고 있다.

특히, 최근에 도심지의 아파트 또는 건축구조물의 再建築 및 再開發事業에 의한 콘크리트 구조물의 해체과정에서 많은 양의 廢콘크리트가 발생하고 있으며, 이를 재활용할 수 있는 방안이 마련된다면 자원 및 에너지 절약 측면뿐만 아니라 폐기물에 투기에 의한 公害發生을 防止할 수 있기 때문에, 집중적인 연구가 필요한 분야로 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 도로의 路盤材가 아닌 구조물에 사용하는 一般强度 콘크리트의 골재원으로 廢콘크리트를 파쇄한 再生骨材를 재활용하기 위한 일환으로 재생골재 콘크리트의 기본성능을 실험적으로 검증하여 사용가능성을 판단하는 基礎資料로 제시하고자 한다.

* 정희원, (株)大宇建設技術研究所 主任研究員
** 정희원, (株)大宇建設技術研究所 研究員
*** 정희원, (株)大宇建設技術研究所 先任研究員
**** 정희원, (株)大宇建設技術研究所 所長·工博

2. 實驗概要 및 方法

2.1 使用材料

一般強度 범위의 재생골재 콘크리트를 제조하기 위한 재료로 시멘트는 D사의 보통 포틀랜드 시멘트(1종)를 사용하였으며, 굵은골재는 사진1. 및 사진2.와 같은 비봉석산의 25mm 碎石 및 대전 한밭 개발에서 생산한 25mm 再生骨材를 사용하였다. 또한, 잔골재는 남양만 洗滌砂를 사용하였으며, 골재의 품질시험 결과 및 粒度曲線은 표1. 및 그림1.과 같다.

본 연구에서 사용된 재생골재는 사진2.에 나타난 바와 같이 모르타르, 아스팔트, 타일 및 벽돌 조각 등이 포함되어 있으나, 粒形은 片平細長한 쇄석에 비해 약간 둥근편이다.

또한, 재생골재는 KS規準에 따른 입도범위를 약간 벗어나고 있지만, 日本의 建設省⁽²⁾에서 제시한 재생골재의 입도범위를 만족하는 것으로 나타났다. 고성능 감수제는 J사의 나프탈렌계를 사용하였다.



사진1. 쇄석골재

사진2. 재생골재

표1. 골재의 품질시험 결과

종 류 구 분	잔골재		굵은골재		재생골재	
	측정값	품질기준	측정값	품질기준	측정값	품질기준
비 중	2.61	2.5이상	2.58	2.5이상	2.39	2.2이상
조립율(F.M)	2.85	-	7.01	-	6.78	-
흡 수 율(%)	0.52	3.0이하	0.53	3.0이하	5.32	7이하
실 적 율(%)	64.8	60이상	58.1	57이상	56.5	53이상
단위중량(kg/m ³)	1,690	-	1,497	1,250이상	1,350	-

* 일본건설성 재생골재 품질기준(안)

2.2 配合條件 및 變數

재생골재를 置換한 재생골재 콘크리트와 쇄석을 사용한 보통 콘크리트를 비교하기 위한 예비실험 및 본실험의 배합조건 및 변수는 표 2.와 같다.

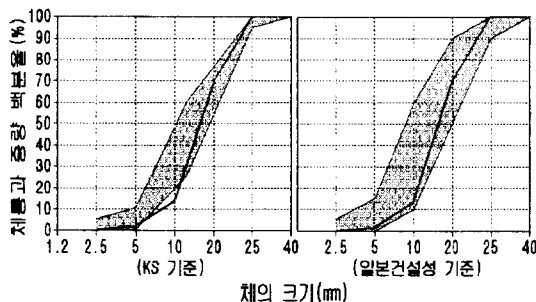


그림1. 재생골재의 입도곡선

표 2. 배합조건 및 변수

배합변수	예비실험	본실험
W/C(%)	30, 40, 50, 60	45
단위수량 (kg/m ³)	185	170, 175, 180, 185
재생골재 치환율(%)	0, 30, 50, 70, 100	0, 30, 50, 70, 100
S/a(%)	40~47	45
SP제(B×%)	0.4~1.0	0.4
AE제(B×%)	-	0.03

재생골재를 사용한 콘크리트의 強度特性을 檢討하기 위하여 물/시멘트의 범위를 4段階로 선정하였고, 이에 대한 再生骨材의 置換率을 쇄석골재에 대해 0, 30, 50, 70, 100%의 5段階로 각각 선정하였다.

高性能 減水劑의 첨가량은 목표 슬럼프(18±2cm)를 만족하는 범위에서 결정하였으며, 이를 통해 一般強度 範圍의 콘크리트를 생산하기 위한 經濟的 配合比를 도출하고자 하였다.

2.3 配合方法 및 供試體 製作

콘크리트의 배합은 각각 變數別로 목표 슬럼프를 확보하는 범위에서 一括投入方法으로 실시하였다. 이때, 믹서는 60ℓ용량의 強制式 믹서를 사용하였으며, 총 비빔시간은 3분으로 하였다. 또한, 재생골재의 치환율 외에도 재생골재 시료를 세척하여 表面乾燥狀態로 한 것과 세척하지 않고 그대로 사용한 것으로 구분하여 이에 대한 슬럼프, 空氣量, 壓縮強度 등을 함께 평가하였다. 특히, $\phi 10 \times 20$ cm 실린더형 물드를 재령별로 6개씩 제작하여 壓縮強度, 引張強度, 彈性係數를 비교하였다.

3. 實驗結果의 分析 및 考察

3.1 豫備實驗에 따른 結果分析

일반적으로 재생골재를 사용한 콘크리트는 보통골재를 사용한 것에 비해 강도가 低下되기 때문에, 실제로 재생골재를 사용한 콘크리트의 現場 實用化를 위해서는 품질 관리도 중요하지만 강도범위에 따른 가장 經濟的인 置換率 및 配合條件을 선정하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 設計基準強度가 210~240kg/cm²인 재생골재 콘크리트를 제조하기 위한 배합조건의 선정을 위해 물/시멘트비 및 재생골재의 치환율을 主變數로 배합시험을 실시하였다. 豫備實驗 結果, 물/시멘트비별 재생골재의 치환율에 따른 단위용적증량은 그림2와 같고, 압축강도는 그림3과 같다.

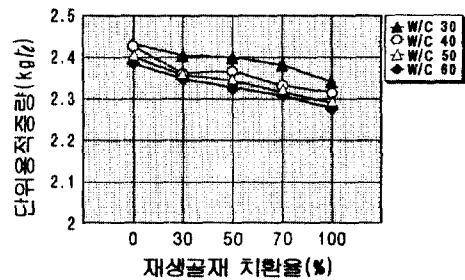


그림2 재생골재 치환율과 단위용적증량

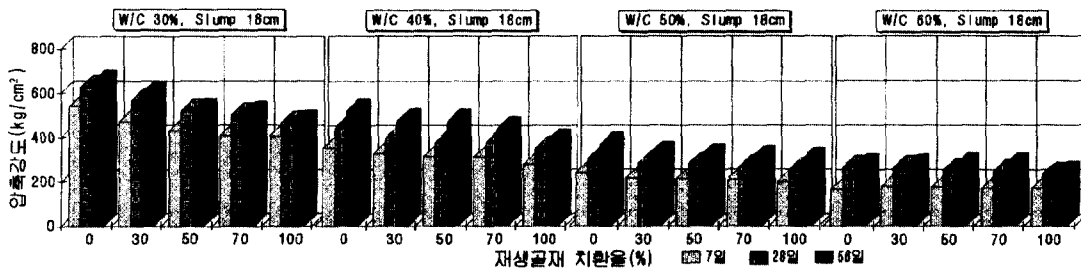


그림3. 재생골재 치환율과 압축강도 시험결과

일반적으로 재생골재는 母巖部分과 모르타르 部分 및 모르타르+母巖으로 구성되어 있기 때문에, 쇄석에 비해 比重이 낮다. 따라서, 재생골재의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 單位容積重量은 감소하는 경향이 있으며, 기존에 보고된 실험결과⁽³⁾의 경우에는 보통 콘크리트에 비해 약 2~5% 정도의 단위용적증량이 감소한 것으로 나타났다.

실험결과, 그림2.에서 보듯이 재생골재 치환율이 增加함에 따라 물/시멘트비에 관계없이 3.8~4.7% 정도로 단위용적중량이 減少되는 것으로 나타났다. 또한, 재생골재 치환율에 따른 강도의 차는 물/시멘트비가 낮은 범위일수록 크며, 재생골재 치환율이 50%, 100%일 때 압축강도는 各各 25%, 30%정도 감소되는 것으로 알려져 있다.⁽⁴⁾ 실험결과, 그림3.에 나타난 바와 같이 물/시멘트비가 낮은 범위에서는 재생골재 치환율이 50%, 100%일 때 各各 15~20%, 25~30%정도로, 높은 물/시멘트 범위에서는 각각 5~10%, 10~20%정도로 압축강도가 減少하는 것으로 나타났다. 따라서, 예비실험으로부터 일반강도 범위를 만족하기 위한 물/시멘트比를 45%로 선정하였다.

3.2 本實驗에 따른 特性結果

3.2.1 單位水量에 따른 影響

單位水量別 再生골재의 치환율에 따른 슬럼프 및 空氣量 측정결과는 그림4. 및 그림5.와 같다.

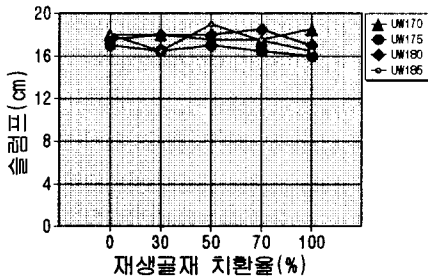


그림4. 再生골재 치환율에 따른 슬럼프 특성

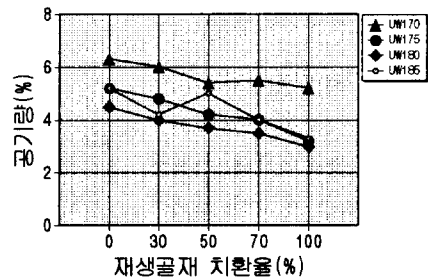


그림5. 再生골재 치환율에 따른 공기량 특성

실험결과, 再生골재의 치환율에 따른 슬럼프 變化는 쇄석을 사용한 콘크리트에 비해 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 물론, 再生골재의 吸水率은 일반적으로 높기 때문에 再生골재의 치환율이 증가할수록 슬럼프가 減少하지만, 본 연구에서는 콘크리트 제조시에 再生골재를 충분히 含水시킨 다음 表乾狀態로 실험을 하였기 때문에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

또한, 공기량은 再生골재 치환율이 증가함에 따라 전체적으로 減少하는 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 再生골재는 모르타르 부분에 기존의 潛在空隙을 含有하고 있기 때문에 再生골재 置換率이 增加할수록 空氣量은 增加하는 것으로 알려져 있지만, 본 연구에서 사용된 再生골재는 쇄석에 비하여 골재의 粒形이 良好하고 表面乾燥狀態로 사용하였기 때문으로 사료된다.

단위수량별 再生골재의 치환율에 따른 압축강도 시험결과는 그림6.과 같다.

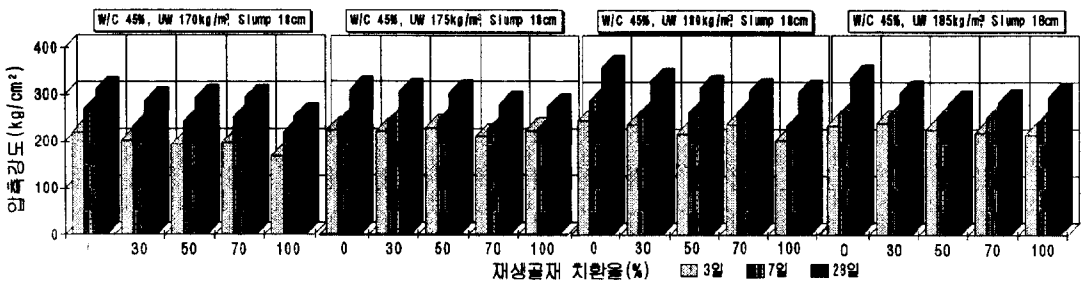


그림6. 再生골재 치환율에 따른 압축강도 시험결과

壓縮強度 試驗結果, 단위수량이 180kg/m³일 때가 재생골재의 치환율에 관계없이 가장 效率的인 강도 발현을 나타내었다. 이는 同一한 물/시멘트비(45%)에서 단위수량의 증가에 따라 단위시멘트량도 증가하는 影響도 있지만, 재생골재와 모르타르-페이스트의 매트릭스에 대한 水和度 및 緻密性이 가장 적합하기 때문으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서의 단위수량은 강도발현을 고려하여 180kg/m³로 선정하도록 하였다.

3.2.2 再生骨材의 品質에 따른 影響

앞에서 실시한 연구결과는 재생골재를 含水狀態에서 表面乾燥狀態로 한 후에 콘크리트 실험을 실시한 것이기 때문에, 굳지않은 성상 및 압축강도면에서 매우 優秀한 것으로 評價되었다. 따라서, 比較的 최적조건으로 선정된 물/시멘트비 45%, 단위수량 180kg/m³ 상태에서 충분히 함수시킨 試料(洗滌)과 재생골재 工場에서 搬入된 그대로의 試料(未洗滌)를 각각 사용하여 재생골재의 품질에 따른 콘크리트의 영향을 비교하였다. 굳지않은 콘크리트 상태에서 슬럼프 및 공기량에 대한 비교실험 결과는 각각 그림7. 및 그림8.과 같다.

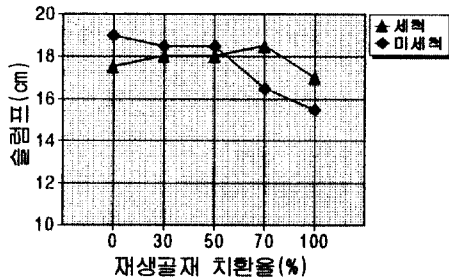


그림7. 재생골재 품질에 따른 슬럼프 특성

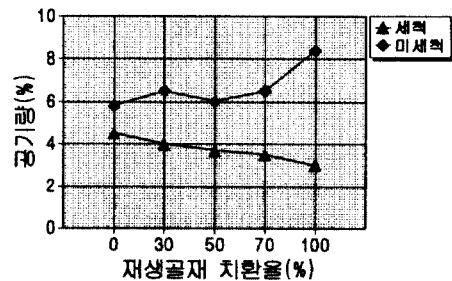


그림8. 재생골재 품질에 따른 공기량 특성

실험결과, 슬럼프의 경우에는 재생골재 치환율이 50%이상일 때, 미세척 재생골재의 슬럼프 低下가 增大하였으며, 공기량의 경우에는 재생골재 치환율이 增加할수록 미세척 재생골재의 경우에는 공기량이 增大하는 것으로 나타났다. 이러한 영향은 골재의 표면건조상태와 같은 함수량의 영향도 있으며, 微粒粉의 存在에 따른 영향도 있을 것으로 평가된다.

또한, 단위수량 180kg/m³에서 洗滌 재생골재와 未洗滌 재생골재를 각각 사용한 콘크리트의 재령별 압축강도를 비교하면, 그림9.와 같다.

압축강도 실험결과, 洗滌 재생골재보다 未洗滌 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도가 약간 低下되는 경향을 보였으나, 차이는 별로 크지 않은 것으로 나타났다.

따라서, 향후 재생골재의 品質을 增大시키기 위한 방안으로 강도의 영향을 최소화시키는 범위에서 表面乾燥 상태로 함수율을 관리하는 것도 필요할 것으로 사료된다.

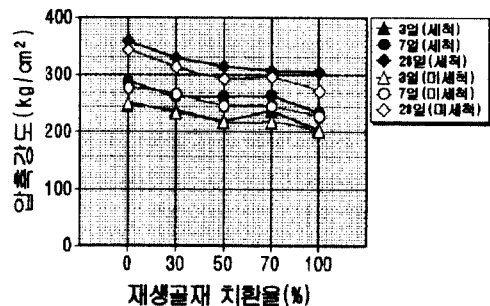


그림9. 재생골재 품질에 따른 압축강도 특성

3.2.3 引張強度 및 彈性係數

일반적으로 재생골재를 사용한 콘크리트의 引張強度는 低下되며, 압축강도의 1/10~1/13정도인 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 나타난 인장강도는 압축강도의 약 1/12~1/13정도이며, 재생골재 치환

율이 50%, 100%일 경우에는 0%에 비해 각각 7%, 15%정도 감소하는 것으로 나타났다.

또한, 재생골재 치환율에 따른 配合條件別 탄성계수는 그림10.과 같다. 실험결과, 재생골재 콘크리트의 탄성계수는 $2.0 \sim 2.6 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 정도로 일반 콘크리트($2.1 \sim 3.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)범위에 近接하는 값을 나타내었다.

또한, 단위수량 및 재생골재의 품질에 따른 영향도 있는 것으로 나타났다. 특히, 미세척한 재생골재를 50%이상 치환할 경우에는 탄성계수가 재생골재의 치환율에 비례하여 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 재생골재 자체의 탄성계수 영향뿐만 아니라 재생골재의 미립분·공극의 영향도 있는 것으로 평가된다. 따라서, 재생골재의 함수상태 및 결합재의 강도증진을 위한 방안도 함께 고려하는 것이 바람직하다.

또한, 동결융해 저항성, 크리프, 건조수축, 알칼리-골재반응, 중성화 등에 대한 지속적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

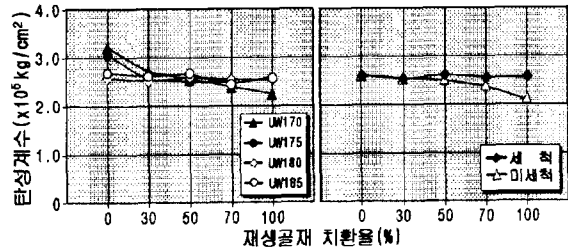


그림10. 배합조건에 따른 탄성계수 측정결과

4. 結論

재생골재 치환율의 영향을 검토한 본 연구의 結論을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 재생골재는 쇄석에 비해 比重, 實積率 및 單位容積重量이 작고 吸水率이 높다.
- 2) 동일한 물/시멘트비에서 재생골재의 치환율에 따른 슬럼프 및 공기량 변화는 치환율뿐만 아니라 재생골재의 品質에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 品質管理上 재생골재를 洗滌·含水狀態에서 사용하는 것이 바람직한 것으로 평가된다.
- 3) 물/시멘트비가 낮을수록 재생골재 치환율에 따른 강도차이는 큰 것으로 나타났으며, 재생골재 치환율이 50%, 100%일 때, 낮은 물/시멘트 범위에서는 각각 15~20%, 25~30%정도, 높은 물/시멘트 범위에서는 5~10%, 10~20%정도의 압축강도 저하가 발생하였다. 따라서, 물/시멘트비 45%, 단위수량 180kg/m³, 재생골재 치환율 50%범위에서 設計基準強度 210~240kg/cm²의 재생골재 콘크리트를 생산하는 것이 바람직하다.
- 4) 재생골재를 사용한 콘크리트의 彈性係數는 재생골재 치환율 30~50%에서 $2.5 \sim 3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 정도를 확보할 수 있기 때문에, 구조물 적용에 대한 가능성도 입증되었다.

參考文獻

- (1) 金大中 : “日本建設廢棄物 現況 및 對策”, 月刊廢棄物, p.92~99, 1994年 8月
- (2) 日本建設省建築研究所 : “廢棄物の建設事業への再利用技術に關する研究”, 建設事業への廢棄物利用技術の開發報告書(委託), p.119, 1986. 3
- (3) 金武漢, 南相顯, 金振滿 : “再生骨材의 混合條件에 따른 再生骨材 콘크리트의 施工性 및 工學的 特性에 關한 實驗的 研究”, 大韓建築學會論文集 9卷 11號 通卷 61號, 1993年 11月
- (4) 小泉 春雄, 松山 一也, 大澤 清八, 秋田 實, 笠井 芳夫, 山本 康弘, 鳥羽 聰., “再生骨材を用いたコンクリート實用化の調査(その2. 再生骨材コンクリートの試驗結果)”, 日本建築學會大會學術講演硬概集(東海), p349, 1994年 9月