

再生骨材콘크리트의 特性和 利用展望

金 武 漢

(忠南大 建築工學科 教授, 工博)

1. 序 論

근간 建築需要의 증대 및 건축물의 大型化와 더불어 골재수요가 급증함에 따라 골재자원의 부족현상이 국내에서도 점차 현실적인 과제로 대두되고 있다. 이러한 가운데, 도시의 再開發·環境整備, 建物の 老朽化 및 機能低下로 인하여 철근콘크리트조 건축물의 해체가 증가일로에 있는데, 이러한 건축물 해체공사에서는 막대한 량의 廢棄콘크리트가 발생함에 따라 도시 및 주거환경 파괴의 주범이 되고 있으며, 또한 사회·경제적인 측면에서도 큰 문제로 제기되고 있다.

지금까지 콘크리트 廢棄物은 주로 해안을 비롯한 매립공사에 이용되어 왔지만 최근에는 埋立地도 부족하고 특히 대도시 주변에서는 그 처리방법에 고심하고 있는 것이 현 실정이다. 따라서 廢棄콘크리트를 再生骨材로서 이용하려는 생각은 이와 같은 상황하에서 제기된 것이지만 이는 資源節約, 에너지節約의 관점에서 도 큰 의미를 갖는다고 생각된다.

資源再生問題에 있어서 資源리싸이클이란 장래에 있어 천연자원의 고갈에 대처하고 인간사회에 알맞은 社會環境을 유지시키기 위하여 필

요불가결하며, 資源리싸이클이 충분한 기능을 발휘하기 위해서는 經濟的인 側面의 整備 뿐만 아니라 社會的인 側面에서의 條件도 整備되어야 한다. 최근 美國, 日本 등 선진 제외국에서는 콘크리트 構造物의 解體過程에서 발생하는 막대한 콘크리트廢棄物을 콘크리트용 골재로서 再利用하는 방법이 등장하여 이에 관한 기술개발이 學界 및 콘크리트産業界를 중심으로 꾸준히 진행되고 있으며, 日本의 경우 「再生骨材 및 再生骨材 콘크리트의 使用規準案·同解説」이 發刊되어 본격적인 실용화단계로 접어들고 있다.

이러한 동향을 감안하여 본 고에서는 資源 및 에너지 절약 뿐만 아니라 廢棄物의 處理 및 活用이라는 측면에서 廢棄콘크리트를 사용한 再生骨材콘크리트의 工學的인 特性和 이용 전망에 대하여 기술하고자 한다.

2. 廢棄콘크리트의 利用現況 및 利用方案

건설사업 또는 社會基盤施設整備 등에 따라 발생하는 건설폐기물에는 廢棄콘크리트, 廢棄아스팔트콘크리트, 土砂, 목재 등을 들 수 있는데, 거의 자원으로 재생이용이 가능한 것이

다. 日本에서는 1974년 建築業協會(Building Contractors Society)가 廢棄콘크리트의 處理 및 再利用에 關하여 研究를 하기 시작하여, 1978년 「再生骨材 및 再生骨材콘크리트의 社用規準案 및 同解説」의 발표로 인해 실용화의 단계에 이르렀으며, 1991년 10월에 「재생자원이용의 촉진에 관한 법률(再生資源利用法)」이 실시되어 건설부산물중 廢棄콘크리트, 廢棄아스팔트콘크리트, 土砂 등의 재활용을 활발히 추진하고 있다.

또한 독일에서는 1900년경에 廢棄콘크리트의 재이용에 대해 관심을 가졌으며, 兩次大戰後 발생한 막대한 양의 廢棄콘크리트 처리가 중요한 사회문제로 대두됨에 따라 1951년 廢棄 콘크리트의 재이용에 관한 기준이 DIN 4136에 소개되었으며, 1955년까지 11.5백만 m³의 량이 再生骨材로 사용된 이래, 최근 양질의 天然骨材枯竭에 따라 代替骨材로서 廢棄콘크리트의 재이용에 관한 研究가 체계적으로 이루어지고 있을 뿐만 아니라 規準案이 작성되어 실제로 응용되고 있는 실정이다.

덴마크에서는 廢棄콘크리트를 1929년의 도로포장, 1959년 공항포장, 1969년 고속도로 포장등에 사용한 이래 최근 그 발생량이 매년 증가하고 있어 각종 사회문제를 야기시키고 있어 廢棄 콘크리트의 처리 및 재이용에 대해 다각적으로 연구중에 있다.

영국의 경우도 건설폐기물이 매년 2천만톤 이상이라는 막대한 량이 발생하고 있는데, 이 가운데 폐기콘크리트의 약 1/2이 再生骨材로 재이용되었을 뿐만 아니라 천연골재의 고갈, 자원 및 에너지 절약의 중요성이 재인식되어 활발한 研究報告가 행해지고 있으며, 또한 사용규준안(BC 1047, BC 6543)이 작성되어 실용화되고 있다.

최근 국내에서도 대도시의 경우 시가지의 재개발과 같은 社會的 要因, 그리고 建物の 老朽化 및 機能低下에 따라서 콘크리트구조물의 철거 및 해체에 따라 발생하는 廢棄콘크리트의 량이 증가일로에 있다. 이에 따라 국내에서도

1993년에 ‘자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행령’에 입법되었고, 이 법률에 의거하여 연간 시공금액이 250억원 이상인 건설업체는 각종 건설공사에서 발생하는 토사, 콘크리트덩이 등의 부산물을 재활용하도록 규정하였다.

建設廢棄物중 발생량이 가장 많은 것은 폐기콘크리트로서 전체 건설폐기물의 약 1/3을 점하고 있는데, 국내에서 발생하는 廢棄콘크리트 량을 정확히 추정하는 것은 곤란하지만 건축물의 滅失面積 등을 基礎로 하여 발생량을 추정한 기존논문에 의할 때, 현재 연간 약 400만m³의 폐기콘크리트가 발생하는 것으로 추정되고 있다.

再生骨材를 콘크리트용 골재로서 이용하는 방법으로는 단독으로 사용하는 경우와 다른 골재와 혼합하여 사용하는 경우로 구분할 수가 있다. 日本의 경우 建築業協會委員會에서는 주로 再生骨材를 단독으로 사용하여 콘크리트를 제조하는 경우를 대상으로 研究가 진행되어 品質基準 및 使用規準을 제시하고 있다. 그 반면 建設省 總合技術開發프로젝트委員會에서는 再生骨材를 단독으로 사용하여 콘크리트를 제조하는 경우에는 품질의 저하가 크기 때문에 再生骨材를 더욱 유효하게 이용하기 위하여 다른 보통골재와 혼합사용하여 품질저하가 없는 콘크리트를 제조하는 기술을 개발하고 있으며, 현재 再生粗骨材와 쇄석을 혼합사용한 콘크리트의 각종 物性에 關하여 實驗研究를 계속적으로 실시하고 있다.

建設現場에서 발생한 廢棄콘크리트를 콘크리트용 骨材로서 재이용함에 있어 일반적인 廢棄콘크리트의 製造·供給시스템을 살펴보면 그림 1과 같다. 또한 廢棄콘크리트는 破碎 및 製造狀態에 따라 다양한 용도로 이용될 수 있는데 개략적인 내용은 表 1에 정리하였다.

한편, 廢棄콘크리트를 이용한 再生骨材는 여러가지 품질상의 제약으로 인하여 主要 建設材料로 이용하기에는 한계가 존재하고 있으며, 따라서 廢棄콘크리트를 再生骨材로 이용하기

위하여 다음과 같은 品質改善策이 강구되어야 한다.⁽¹⁾

① 再生骨材의 입형이 불량하고 시공성이 떨어지는 문제는 현재 碎石의 사용비율이 80%를 넘어서고 있는 상황에서 큰 제약요인이 되지 못한다. 부족한 施工性은 單位水量的의 증가보다는 AE減水劑 또는 高性能減水劑와 같은 混和劑를 이용하여 개선하도록 한다.

② 微粒分 및 不純物의 含量을 줄이기 위하여 再生骨材 生産플랜트에는 異物質除去設備 및 洗淨施設의 설치를 필요로 한다.(例:比重을 이용한 浮游物, 木片의 除去, 磁石을 이용한 鐵物의 제거 등) 단, 廢棄콘크리트에서 시멘트 粒子를 분리해내는 기술은 앞으로 더 깊은 연구를 필요로 하며, 長期的으로는 廢棄콘크리트를 熔融固化시켜 재이용할 수 있는 기술 개발도 검토될 수 있을 것이다.

③ 再生骨材는 吸水率이 매우 높으므로 콘크리트제조에 사용할 경우는 사용전에 충분한 撒水를 통하여 표면건조내부포수상태로 사용해야 한다.

④ 재생골재를 사용한 콘크리트의 품질확보를 위하여 재생골재는 명확한 等級分類(classification)을 통하여 用途를 제한하여 사용하는 것이 필요하다. 참고로 日本의 建設省에서 제시한 폐기콘크리트 재생골재의 이용방안을 살펴보면 表 2와 같다.

⑤ 再生骨材를 구조물에 사용함에 있어서는 粒度, 粒形의 조정 및 強度低下를 막기 위하여 단독으로 사용하기 보다는 天然産 普通骨材와 혼합하여 사용하는 것이 유효하다.

위와 같은 면밀한 利用對策이 강구될 경우 廢棄콘크리트를 이용한 재생골재는 지금까지 埋立用 및 盛土材로 주로 사용되던 事例에서 벗어나 콘크리트用 細·粗骨材로서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

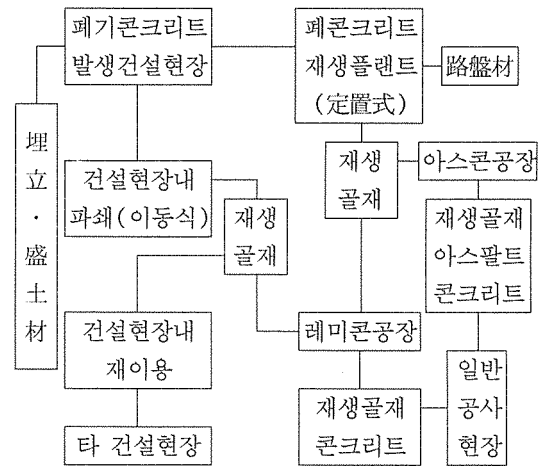


그림 1. 再生骨材의 製造 및 供給시스템

表 1. 廢棄콘크리트의 用途

形象	用途	利用方案
部材·덩어리	어초, 바닥갈기들	建物は 보, 기둥부분을 切斷하여 어초로 재이용하고 얇은부분은 가공하여 바닥갈기들로 이용
1次破碎狀態	滑石, 바닥다짐재 道路用材料	建設現場에서 1차 破碎된 콘크리트를 30~50mm 정도로 2차 破碎하여 바닥다짐 材料, 埋設材, 混和材, 路盤材로 이용하거나 不良土와 혼합교반하여 이용
粗骨材	아스팔트용骨材 콘크리트용骨材	廢棄콘크리트를 破碎하여 生産된 조골재를 아스팔트용 粗骨材로 이용하거나 콘크리트 제조용 5mm이상의 粗骨材로 재이용
細骨材	콘크리트용骨材	廢棄콘크리트를 破碎한 세골재를 콘크리트용 혹은 시멘트 2次製品用 細骨材로 재이용
微粉末	地盤改良	地盤 深層 混合處理에 이용

資料: 日本建設省, 「建設事業에의 廢棄物利用技術의 開發」報告書

表 2. 廢棄콘크리트를 이용한 再生骨材의 活用方案

分類		用途	地盤盛土		路盤鋪裝	土木 構造物		RC造 建築 構造物	備 考
			地盤處理	埋設		鐵筋	無筋		
建設現場 1次破碎 粗骨材			△	△	○	×	×	×	低價, 品質偏差 큼
再生骨材	粗骨材	低處理	△	○	☆	△	○	○	모르터부착 많음
		高度處理	☆	☆	☆	○	☆	○	高價
細骨材			○	○	△	△	○	△	混合物
廢棄콘크리트 微粉末			○	△	×	×	×	×	알카리성

註) ○ : 이용가능, △ : 조건부 이용가능, ☆ : 이용가능하나 비경제적, × : 이용불가
 資料) 日本建設省, 「建設事業에의 廢棄物利用技術 開發」報告書

3. 再生骨材의 品質

3. 1 再生骨材의 製造

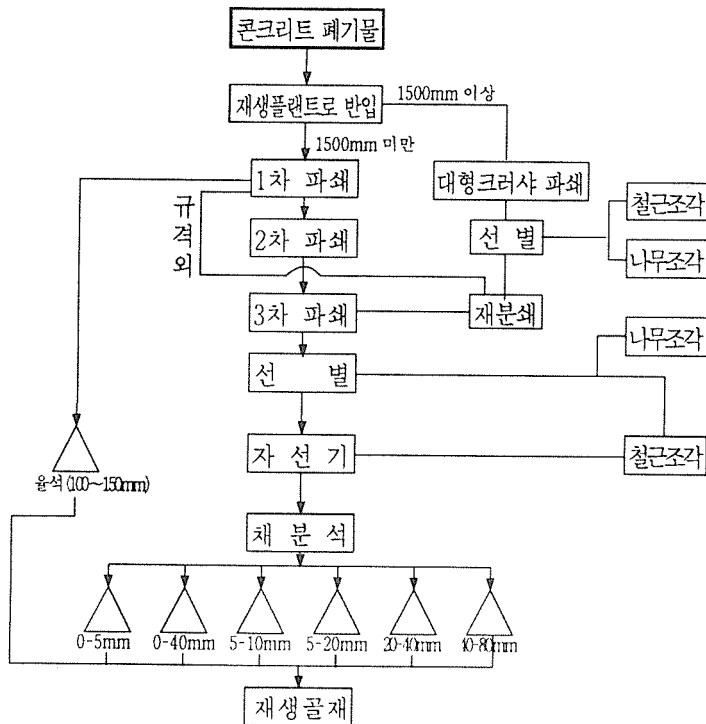


그림 2. 再生骨材의 製造過程

그림 2는 再生骨材를 제조하는 工程인데, 폐기콘크리트를 원료로 하는 경우 폐기콘크리트를 再生플랜트에 반입하기 전에 파쇄기의 용도 및 용량에 적절한 크기의 치수로 분쇄한 후 재생플랜트로 반입하며, 이렇게 반입된 폐기콘크리트는 조크러셔(용량 100t/h)를 이용하여 1, 2차 파쇄를 하여 철근과 목편과 같은 불필요한 물질을 제거한다. 그 후 임팩트 크러셔(용량 100t/h)를 사용하여 3차 파쇄하고, 磁選機를 이용하여 최종적으로 철근조각을 제거한 후, 각 체의 치수별 체분석을 행하여 재생골재를 생산하게 된다.

破砕한 콘크리트에서 시멘트페이스트분을 완전히 제거할 수만 있다면 原콘크리트에 사용한 細·粗骨材를 그대로 이용할 수 있으나, 시간과 비용을 고려할 때 콘크리트를 破砕한 그대로의 형태로 再利用하는 方法이 편리하다. 이러한 破砕骨材는 原콘크리트에 사용한 細·粗骨材를 시멘트페이스트로 굳힌 것과 같은 상태이므로 그 성질은 原콘크리트의 물시멘트비에 의해 영향을 받을 것이라고 생각되나, 실험결과에 의하면 原콘크리트의 強度차이에는 거의 상관없이 동일한 破砕骨材를 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있으며, 이는 콘크리트 構造物 強度의 불규칙성에 관계없이 破砕骨材를 만들 수 있다는 점에서 유리하다.

최대치수 25mm 정도로 破砕했을 때 粗骨材와 細骨材가 4 : 1 정도의 비율로 제조된다. 단 細骨材는 매우 거칠어 단독으로는 사용하기 어렵다고 생각된다. 骨材로서의 성질은 입자의 크기에 따라 변화하고 입자가 작아질수록 絶乾比重이 작아지고 吸水率이 크게 된다. 이는 입자를 구성하는 原骨材와 시멘트페이스트의 비율

이 변하기 때문이며, 일반적으로 입자가 작을수록 시멘트페이스트분이 많아지고 骨材로서의 品質은 저하한다.

3. 2 再生骨材의 品質

3. 2. 1 不純物

콘크리트廢棄物에는 마감재, 흙 등이 부착되어 있는 경우가 많으며, 또한 異物質이 혼합되어 있는 것이 일반적이므로 파쇄하기 이전에 原콘크리트단계에서 불순물을 제거하는 것이 중요하며, 비록 이러한 처리를 행한 경우에도 많은 불순물을 함유하고 있다. 표 2는 해체된 건축물에서 발생한 廢棄콘크리트를 原콘크리트로 하여 제조한 재생골재중의 불순물 혼입상황의 一例를 나타낸 것으로 불순물 가운데 혼입량이 많은 것은 無機系의 마감재이고 불순물의 혼입량은 각체에 잔류하는 재생골재 중량의 0.3~1.6% 정도이다.⁽⁷⁾

3. 2. 2 粒形·粒度

재생골재의 형상은 파쇄기의 용량과 형식에 따라 상당한 차이가 있으나 대체적으로 조크러셔로 破砕한 것은 쇠석상으로 모가 나 있고 原 폐기콘크리트에 사용한 粗骨材에 모르타와 페이스트가 부착된 채 破砕된 상태로 되어 있다.

재생골재의 입도는 파쇄기의 종류 및 형식과 原콘크리트에 사용된 굵은 골재의 입도에 따라 다르며, 1차 파쇄후 분쇄형과 충격형 파쇄기로 재차 파쇄하면 폐기콘크리트의 열화된 시멘트 페이스트로 인해 0.3mm 이하의 미립분이 증가한다. 특히 미립분은 콘크리트의 性狀에 상당한 영향을 미치는 것으로 과다할 경우 소정의

표-3 再生骨材중의 不純物 混入狀況

불순물의 종류		벽돌	재	플라스터	아스팔트	유리	인조석	타일	금속류	목편
불순물의 구성비율 (%)	최소	33.2	0.6	0.0	1.6	2.3	0.6	1.8	0.0	1.1
	최대	52.4	33.9	20.5	9.6	13.6	5.5	3.8	3.5	2.2
	평균	41.4	21.8	11.8	5.8	5.2	3.6	3.0	2.0	1.6

워커빌리티 및 콘시스턴시를 얻는데 필요한 단위수량이 증가하게 되며, 이와 반대로 미립분이 부족한 경우는 保水효과가 작게 되고 블리딩을 증가시키는 등 콘크리트의 제물성에 악영향을 미치고 있어 표준입도범위내의 적절한 골재립이 요구된다.^(8, 9)

골재의 최대치수는 파쇄방법에 의해 다르지만 原콘크리트의 크기에 따라 粗碎, 中碎用등의 파쇄기를 사용하거나 또는 파쇄기의 파쇄간극, 로타주변의 바 간극 등을 조정함으로써 임의의 최대치수를 얻을 수 있으며, 파쇄후의 세골재량은 최대치수가 클수록 그 양이 줄어들게 된다.

3. 2. 3 比重, 吸水率

재생골재의 絶乾比重은 原콘크리트에 사용된 骨材의 比重보다 작은 粗骨材는 콘크리트의 비중애, 細骨材는 모르터의 比重에 가깝다. Mulheron의 연구⁽¹⁰⁾에 의하면 재생골재는 천연골재에 비해 18%가량 낮은 비중을 나타낸다고 보고하고 있다. 대체적으로 재생골재의 비중은 粗骨材가 2.26~2.47 (평균 2.34), 細骨材는 2.02~2.25 (평균 2.10)으로, 原콘크리트의 강도, 그리고 파쇄방법에 의한 차이는 없는 편이나 KS에 규정된 細·粗骨材의 絶乾比重의 하한치를 하회하고 있다.

吸水率은 천연골재에 비해 비교적 크게 나타나는데, 粗骨材가 4.85~10.4% (평균 6.46%), 細骨材가 9.80~11.6% (평균 11.2%)이고, 粗骨材에 대해서는 原콘크리트의 물시멘트비가 큰 만큼 吸水率이 크게 되는 경향을 볼 수 있다. 水中侵漬했을 경우의 破碎骨材의 吸水曲線은 24시간 이후에도 吸水가 진행되는 경향이 있다.

3. 2. 4 單位容積重量, 實積率

骨材의 實積率은 콘크리트의 단위수량 및 최적 잔골재율과 거의 직선관계를 나타내고 있으며, 실적률이 1% 낮은 골재를 사용할 경우 동일수준의 워커빌리티를 얻기 위해 단위수량은 2~4%, 잔골재율은 0.8% 높여야 한다. 再生

骨材의 實積率은 53% 이상을 기준으로 하고 있는데, 대체로 再生 粗骨材의 실적률은 53~58.2% 정도이고 細骨材는 58~66.8% 정도로서 강모래·강자갈에 비해 10% 정도가 작은 편이다. 재생골재의 실적율은 플랜트에 의해서 차이가 나타나는데, 이러한 차이의 원인으로서는 크러셔의 종류와 시간당 제조량의 차이에 의한 것이라고 여겨진다.

위와 같은 실적율의 감소현상 때문에 再生骨材콘크리트는 강모래·강자갈콘크리트와 동일수준의 시공성을 유지하기 위하여 單位水量은 25kg, 잔골재율은 4.7% 정도 높여야 하는 것이 문제점으로 제기되며 그 대책으로서는 高性能減水劑와 플라이애쉬의 첨가 및 혼입이 요망된다.

3. 2. 5 破碎強度, 安定性 및 摩耗減量

再生骨材의 強度는 原콘크리트의 강도에 따른 차이를 보이지는 않으며, 人工輕量骨材와 硬質火山礫과 비슷하거나 그것보다 약간 강한 것으로 판정되고 있다. 또 破碎骨材는 加壓함에 따라 모르터 부분은 부서지나 최종적으로는 原콘크리트에 사용된 細骨材가 남기 때문에 거의 부서지기 어려운 상태로 된다.

硫酸소다에 의한 骨材의 安定性 試驗結果는 몹시 불규칙하나, 5싸이클에서의 손실량이 粗骨材에서 50% 정도, 細骨材에서 20% 정도로서, 콘크리트용 碎石의 KS규격치 (12% 이하)보다 매우 좋지않다. 이것은 吸水率이 크다는 점에서도 예상할 수 있다.

로스엔젤레스 시험기에 의한 摩耗減量은 25% 정도로, 콘크리트용 碎石의 KS규격치(40% 이하)보다 양호하다. 또 볼밀(Ball Mill)을 이용하여 粒度別로 摩耗減量을 살펴보면 粒度가 큰 것이 摩耗減量이 큰 경향이 있다. 대부분의 입자는 10분 정도에서 減量이 거의 일정하고, 그 후는 摩耗가 적어지고 있다. 시험후의 試料는 모가 난 부분이 없어지고 등근 형상으로 된다.

3. 2. 6 시멘트付着量

再生骨材를 鹽酸溶液에 침적하여 시멘트페이

스트를 溶解하여 溶失된 양을 시멘트 부착량이 라하는데, 이러한 시멘트부착량은 현저한 흡수 율 증가와 0.3mm 이하의 미립분의 증가 및 비 중의 감소에 상당한 영향을 미치게 된다. BCSJ의 보고⁽¹¹⁾에 의하면 시멘트부착량은 입 자가 조립인 것보다는 세립에서 보다 많은 것 으로 알려지고 있는데, 粗骨材(20~30mm)인 경 우는 약 20%이고, 세골재(0.3mm 이하)는 45~65% 범위이다. 또한 Hansen의 보고⁽¹²⁾ 도 이와 유사한 것으로 16~30mm체인 경우 35%, 8~16mm체는 40%, 4~8mm체는 60% 라고 보고하고 있다.

결국 前述한 粒度別 絶乾比重과 吸水率의 차 이는 시멘트페이스트 부착량에 의해 좌우되고 있다고 할 수 있으며, 이는 粒度를 구성하는 원재료와 시멘트페이스트와의 비율이 粒度에 의해 변화하고 粒度가 작은 만큼 시멘트페이 스트분이 많아지고 골재로써의 품질이 저하한다 는 것이다.

4. 再生骨材콘크리트의 性質

4. 1 아직 굳지않은 再生骨材콘크리트의 性質

再生骨材 콘크리트는 사용골재의 형상이 쇠 석상이기 때문에 전반적으로 粒形이 불량하고 골재자체의 모르타분에 의해 흡수율이 크기 때 문에 骨材의 特殊性에 의해 보통콘크리트와는 상당히 다른 성질이 나타나고 있다. 아직 굳지 않은 상태에 있어서 再生骨材콘크리트의 性質 에 관해서 보통콘크리트와 比較하여 檢討해 보 면 다음과 같다.

4. 1. 1 워커빌리티

再生骨材는 흡수율이 크기 때문에 사용전에 프리웨팅하는 것이 원칙이나 이와 같은 조치를 한 경우에도 骨材粒形이 나쁘기 때문에 일반적 으로 워커빌리티가 나쁘게 되는 경향이 많다. 따라서 일반적으로 재생골재는 입도 및 입형이

불량한 쇠석상과 실적률의 감소로 인해 천연골 재콘크리트와 동일수준의 워커빌리티를 확보하 기 위하여는 단위수량이 25kg정도 증가하게 된다. (그림 3 참조)⁽¹³⁾

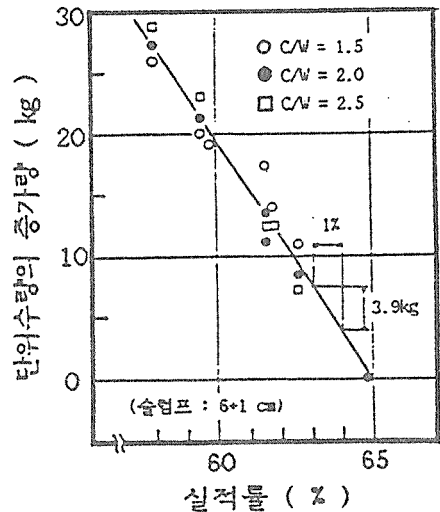


그림 3. 粗骨材의 實積率과 單位水量的 增加量과의 關係

또한 12cm 이하의 저슬럼프 콘크리트에서는 콘크리트의 종류에 의한 단위수량의 변화는 작 은 편이나 18cm 이상의 고슬럼프 콘크리트에 서는 명확한 차가 보인다. 再生骨材의 사용량 이 많은 콘크리트일수록 단위수량이 커지는데 이를 슬럼프 20cm의 콘크리트에서 比較해 보 면 보통 콘크리트에서 약 190 l/m³인 것에 비하여 再生骨材콘크리트에서는 8~22 l/m³ 가 증가된다. 이와 같이 콘크리트의 단위수량 이 많아지는 것은 콘크리트의 乾燥收縮에 의한 龜裂을 발생시키는 원인이 되기 때문에 된비빔 콘크리트의 사용, 유효한 高性能減水劑의 사용 등에 의해 가능한 한 單位水량을 低減시키는 것이 바람직하다.

4. 1. 2 空氣量

AE제를 사용한 보통콘크리트와 再生骨材콘 크리트의 骨材修正係數를 보정하지 않은 실측

공기량의 분포상태를 비교하여 살펴보면, 보통 콘크리트는 공기량이 약 3.5%를 중심으로 분포하고 있어 매우 바람직한 경향을 보이나 再生骨材콘크리트에서는 전체적으로 공기량이 크고 범위도 넓게 걸쳐 있게 된다.

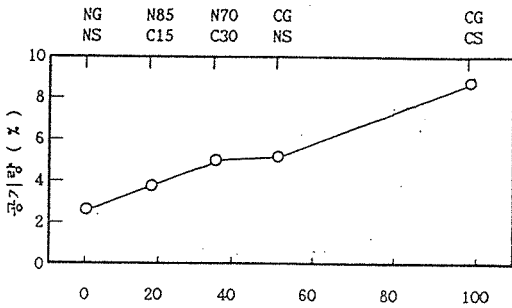


그림 4. 再生骨材의 代替率과 空氣量과의 關係

그림 4는 재생골재의 대체율에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것으로 천연골재콘크리트의 공기량은 3.5%, 강모래 + 재생자갈의 경우는 4.7%, 재생모래 + 재생자갈의 경우는 7.5%로서 재생골재의 대체율이 증가함에 따라 공기량이 현저하게 증가하는 경향을 볼 수 있다.⁽¹¹⁾ 이와 같이 再生骨材 콘크리트의 空氣量이 많고, 骨材自體의 空隙이 크기 때문으로 사료된다. 再生骨材의 골재수정계수는 1~2% 정도이므로 이를 이용하여 補正을 행하면, 實質空氣量은 보통콘크리트에 비해 약간 큰 정도로 되어 그리 큰 차이는 아니라고 할 수 있다.

4. 1. 3 單位容積重量

再生骨材의 單位容積重量은 보통골재에 비해 비중이 작는데, 특히 細骨材에서 명확한 차이를 보이고 있다. 따라서 再生骨材콘크리트는 일반적으로 단위용적중량이 작아지는 경향을 보인다. 同一調合의 강모래·강자갈콘크리트(單位容積重量: 약 2.33t/m³)와 比較하면 再

生콘크리트에서는 약 5~13% 정도 단위용적중량이 감소한다. 그 이유는 再生骨材콘크리트의 경우 再生骨材중의 수분 및 단위수량이 보통 콘크리트에 비하여 크기 때문에 氣乾狀態에 놓아둘 경우 單位容積重量이 작기 때문이다.

4. 1. 4 블리딩

再生骨材콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 單位水量이 크기 때문에 이론적으로는 블리딩이 커질 것으로 예상되나, 실제 실험결과에 의하면 재생골재콘크리트는 강모래·강자갈을 사용한 콘크리트에 비하여 대체적으로 블리딩량이 작은 경향을 보인다.^(11, 14) 그 이유는 첫째, 폐기콘크리트의 파쇄과정에서 발행하는 미분량에 의한 것으로 미립분량이 2~7%의 범위에서는 강모래·강자갈콘크리트와 유사한 경향이나 미립분량이 10% 이상되면 미립입자의 保水작용에 의해 콘크리트 중의 수분이 미립입자의 표면에 흡착되기 때문이며, 둘째요인으로는 재생골재가 채석상인 관계로 骨材의 粒形이 나빠서 骨材相互間의 架橋作用에 의해 沈降이 적어지기 때문에 블리딩현상이 나타나기 어렵다는 점을 들 수 있다. 그리고 세째로는 블리딩수가 골재하부에 잠류하는 비율이 강자갈에 비해 많은 점이 擧論될 수 있다. 따라서 夏期에 재생골재콘크리트를 시공하는 경우에는 콜드조인트가 생기지 않도록 이어치기 허용시간과 흡수누름까지의 시간을 충분히 배려할 필요가 있다.

4. 2 硬化 再生骨材콘크리트의 性質

보통포틀랜드시멘트를 사용한 再生骨材 콘크리트의 압축강도를 비롯한 각종 強度 및 收縮, 中性化速度, 凍結融解低抗性 등의 제특성 및 再生骨材에 혼입할 가능성이 있는 不純物이 콘크리트 品質에 미치는 영향 등에 관하여 考察해 보면 다음과 같다.

4. 2. 1 壓縮強度

(1) 骨材의 混合條件과 壓縮強度

再生骨材의 混合條件과 물시멘트比別 압축강도와와의 관계를 나타낸 그림 5. 그림 6에 의하면 강모래·강자갈을 사용한 콘크리트에 비해 재생골재콘크리트에서는 再生粗骨材의 경우 대체율별 혼합조건에 따라 약 15%, 再生細骨材의 경우 약 25%, 再生細·粗骨材의 경우 30~40% 정도 현저하게 낮은 강도발현을 보이고 있다.

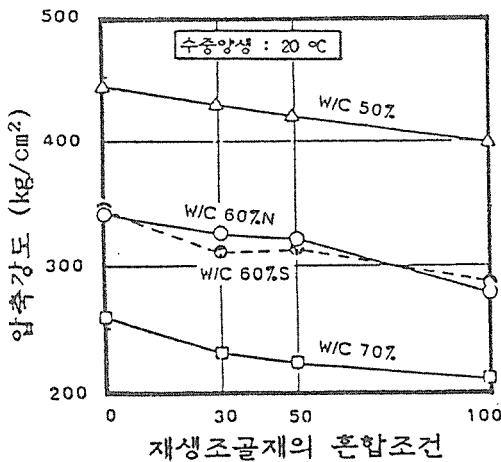


그림 5. 再生粗骨材의 混合條件과 壓縮強度의 關係

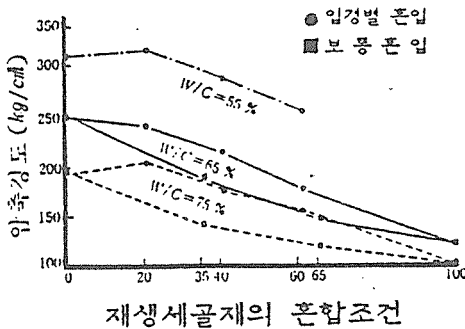


그림 6. 再生細骨材의 混合條件과 壓縮強度의 關係

특히, 再生粗骨材가 강도저하에 미치는 영향은 비교적 적은 반면, 再生細骨材의 영향은 큰 것

으로 나타나고 있다.^(11, 15, 16)

그런데 再生細骨材의 粒度를 조정(0.15mm 이하는 제거)하여 사용하면 강도저하를 작게 하는 것이 가능하다. 그러나 실용화의 단계에서는 再生骨材에 혼입된 불순물의 양이 변동한다거나 프리웨팅의 조정이 정확하지 않게 되면 품질변동이 더욱 증대할 가능성이 있다.

(2) 시멘트물비와 壓縮強度

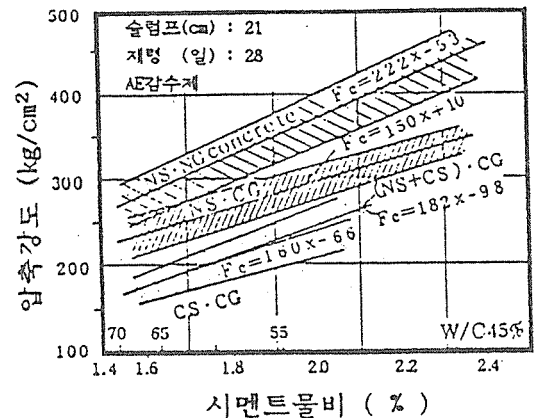


그림 7. 시멘트물비와 壓縮強度의 關係

그림 7은 혼합조건에 따라서 시멘트물비와 壓縮強度의 관계를 나타낸 것이다. 시멘트물비의 증가에 따라 압축강도는 線形的인 상승경향을 나타내며, 또한 재생골재의 강도발현비율이 시멘트물비의 증가에 따라 증가하게 된다.⁽¹⁷⁾ 물시멘트비 50%에서 330kg/cm² ~ 250kg/cm²의 강도를 발현하는데, 이러한 強度는 再生骨材콘크리트 각각의 압축강도의 실용적 한계치로 여겨진다.

(3) 材齡과 壓縮強度

압축강도는 재령에 따라서 증대하고 그 증가는 보통콘크리트와 거의 동일하게 변화하는데, 재령 1주에서 4주 강도의 65% 전후, 13주에서 116% 전후의 強度發現을 나타낸다.⁽¹⁷⁾

(4) 不純物과 壓縮強度

解體現場 등에서 얻어지는 原콘크리트에는

마감재료 등이 부착하여 이것이 再生骨材에서 불순물로 되는데, 이는 재생골재의 품질에 악영향을 미치게 된다.

불순물중 타일 및 판유리 등 겉보기 비중이 비교적 큰 것을 포함한 콘크리트를 논의로 할 때, 無機質系 내지 有機質系 不純物을 포함하는 콘크리트의 強度化는 불순물을 포함하지 않는 것에 비하여 저하한다. 그러나 신더의 영향은 비교적 작아 혼입율이 골재용적의 약 10%에 달할 때까지는 강도저하가 보이지 않는다. 시험결과, 혼입량도 고려할 때, 강도저하에 대한 각 불순물의 영향은 塗料 > 아스팔트 > 石膏水和物 > 木材 > 복토 > 플라스틱의 순으로 된다.

시멘트水和生成物과 化學的 反應이 염려되는 판글라스 및 석고수화물을 함유하는 콘크리트는 외관상 특별한 異狀은 보이지 않지만 재령 20주의 콘크리트에 있어서 石膏粒界부근에 에트링가이트 모양의 침상결정이 生成, 粗大한 組織이 보인다. 따라서 混入時의 形態, 量 및 養生條件에 의하여 콘크리트의 손상원인으로 될 가능성이 크다.

한편 신더, 플라스틱을 함유하는 콘크리트의 재령 12주의 中性化깊이는 함유하지 않은 것보다 각각 1.3~2배로 된다. 이에 대하여 아스팔트 및 도료 등은 中性化를 촉진시키지 않으며 초산비닐도료의 경우에는 抑制效果가 보인다.

4. 2. 2 引張強度 및 휨強度

인장강도(F_t)와 압축강도(F_c)는 相關關係가 있는데, $F_t=1/12F_c$ 와 $F_t=1/12F_c+10$ 의 2개의 직선사이에 거의 수렴되고, 물시멘트비 10%의 변화에 대하여 인장강도는 약 3~8kg/cm²의 변화를 나타낸다.

再生骨材를 사용하면 인장강도가 저하하는데, 특히 再生細骨材에 의한 저하가 현저하다. 저하율은 보통콘크리트와 비교하여 再生 I종 콘크리트에서 1~6%, 再生 III종 콘크리트에서 10~25% 정도이다. 재령경과에 따른 강도

발현율은 압축강도와 같은 경향이다.

압축강도에 대한 휨강도비는 대략 1/5~1/8의 범위로서 보통콘크리트의 비율과 거의 동등하다. 骨材의 혼합조건별로 보면 다른 강도와 같이 再生細骨材에 의한 저하가 현저하다.

4. 2. 3 彈性係數

標準養生 종료시 압축강도와 정탄수계수의 관계는 그림 8과 같다. 再生骨材콘크리트의 탄성계수는 대략 $1.5\sim 3.0\times 10^5\text{kg/cm}^2$ 로 보통 콘크리트의 값($2.1\sim 3.9\times 10^5\text{kg/cm}^2$)을 하회하는데, 일본 건축학회 및 BS에서 제안된 식은 다음과 같다.^(18, 19)

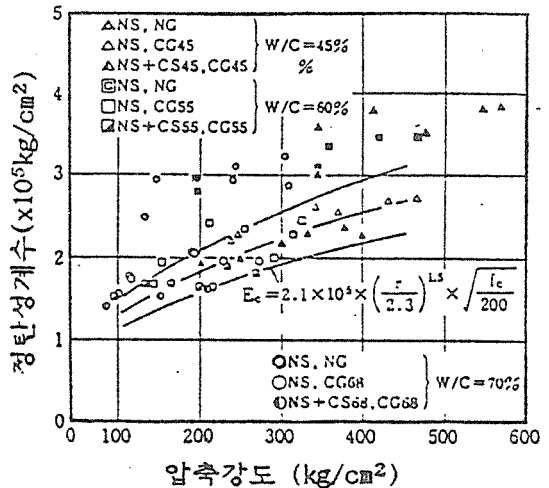


그림 8. 壓縮強度와 靜彈性係數의 關係

日本建築學會式

$$E_c = 2.1 \times 10^5 \times \left(\frac{r}{2.3}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{f_c}{200}}$$

BS8110 $E_{c28} = 20 + 0.2f_{cu,28} (28days)$

그림 8은 壓縮強度와 靜彈性係數의 關係를 나타낸 것으로 콘크리트의 압축강도가 높아짐에 따라 재생골재콘크리트와 보통콘크리트의 동탄성계수의 차이는 더욱 현저해지는 경향을

보인다. 또한 靜彈性係數와 材齡의 관계는 보통콘크리트의 경우와 큰 차가 없고, 그 증가율은 1주에 대하여 4주에서 12~15%, 13주에서 20~25%, 26주에서 25~30%이다.

4. 2. 4 乾燥收縮

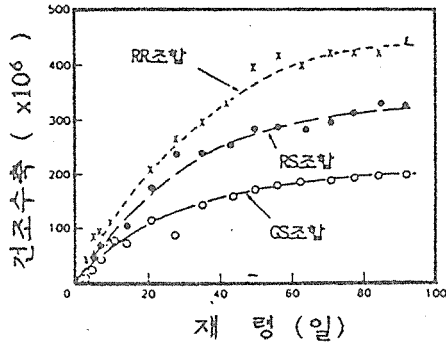


그림 9. 材齡과 乾燥收縮의 關係

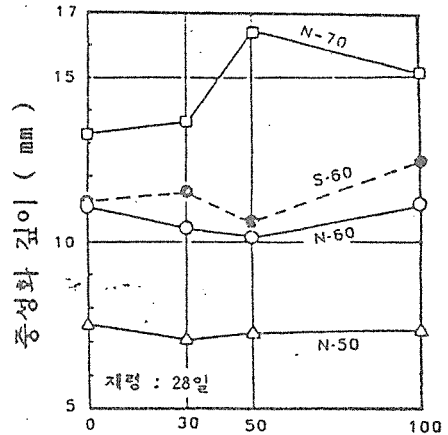
보통콘크리트에 비하여 再生骨材콘크리트의 乾燥收縮은 약간 큰 값을 보인다. 재령 90일에서 골재의 혼합조건에 따른 재령과 건조수축의 관계를 나타낸 그림 9에 의하면 재생골재콘크리트는 보통콘크리트에 비해 再生粗骨材로 100% 대체한 경우는 건조수축이 55% 가량 증가하며, 再生細骨材로 100% 대체한 경우는 건조수축이 40% 가량 증가하게 된다. 그리고 再生細·粗骨材로 모두 대체하는 경우는 2배 이상의 건조수축이 발생한다. 한편 混和材料를 이용하여 乾燥收縮을 감소시킬 수 있는데, 再生細·粗骨材의 조합에 플라이애쉬를 10% 대체했을 경우는 건조수축이 35% 정도 감소하며, 실리카흄을 5% 대체할 경우는 건조수축을 60% 정도 감소시킬 수 있다고 한다.^(16, 20)

4. 2. 5 耐久性 및 透水性

(1) 中性化와 鐵筋의 발청

시험용 콘크리트를 4주동안 5%의 탄산가스중에 놓아 두었을 때 中性化깊이는 물시멘트비의 증가에 따라 현저히 높아지는 경향을 보이거나 재생골재의 대체율에 따른 영향은 그리 크

지 않은 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁵⁾ (그림 10 참조) Yoda의 報告⁽²²⁾에 의하면 5%의 탄산가스중에 놓아 두었을 때 再生骨材콘크리트의 中性化깊이는 보통콘크리트의 1.2배에 달한다고 한다.



재생골재의 혼합조건

그림 10. 再生骨材의 混合條件과 中性化깊이의 關係

(2) 耐凍結融解性

凍結融解 횟수와 相對動彈性係數(R.Ed) 및 供試體 重量比(w/w_0)와의 관계를 나타낸 그림 11에 의하면 再生骨材콘크리트는 보통콘크리트에 비해 동결융해 횟수의 증가에 따라 상대동탄성계수가 현저하게 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 AE콘크리트도 이와 유사한 경향을 나타내어 空氣連行의 有無에 따른 영향은 작은 것으로 판단된다. 재생골재콘크리트의 동결융해저항성이 저하하는 이유는 재생골재에 모르타의 부착으로 인한 흡수율의 현저한 증가와 동결융해 횟수의 증가에 따라 재생골재중에 포함된 모르타의 급격한 劣化現象에 기인한다고 생각된다.⁽²¹⁾ 그러나 再生骨材콘크리트의 耐凍結融解性은 AE제, 高性能減水劑 등을 사용하고, 정밀한 시공에 의해 보통콘크리트와 동등하게 되는 것이 가능하다고 할 수 있다.

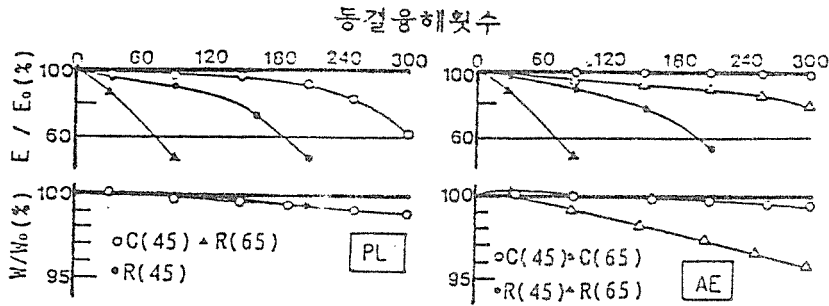


그림 11. 동결융해실험

5. 結 言

최근 國內에서도 市街地의 再開發, 建物の 老朽化 및 機能低下에 따라 건축물의 철거 및 해체공사가 증가하면서 廢棄콘크리트의 발생량도 크게 증가하고 있는 상태에 있다. 이와 같은 廢棄物은 지금까지는 주로 海岸을 매립하는 형식으로 처리되었으나 최근 埋立地의 부족현상이 나타나고 또한 이러한 폐기물의 경제적인 재활용에 대한 요구가 높아지고 있는 상태이다.

현재 日本을 비롯한 諸外國에서는 매년 막대한 양이 발생하는 廢棄콘크리트와 관련하여 이러한 폐기콘크리트를 콘크리트용 골재로 재이용하는 연구를 활발히 진행시켜, 그동안 再生骨材의 문제점 즉, 각이 많은 쇄석상으로 인한 粒度·粒形의 不良, 낮은 比重, 높은 吸水率 多量의 微粒紛 등과 같은 問題를 개선하기 위한 활발한 研究報告가 행해지고 있으며, 최근에는 使用規準案이 작성되어 實用화되고 있는 실정이다.

그러나 國內에서는 최근들어 廢棄콘크리트의 재이용에 관한 중요성을 인식하고는 있으나 實務的인 支援은 부족한 상태이고 또한 國家的인 次元에서의 研究開發의 부족으로 廢棄콘크리트의 재활용이 매우 미흡한 상태에 있다. 최근 建設廢棄物의 再活用に 대한 法을 입법하여 폐기콘크리트의 재활용을 장려하고 있으나 폐기콘크리트의 재활용에 있어 뚜렷한 工學的인 知識 또는 研究結果가 없이 現場에서 재활용한다

면 品質上의 瑕疵가 발생할 우려가 매우 높아 결국 본래의 취지와는 달리 폐기콘크리트의 재활용이 不實工事의 또 다른 원인을 제공하게 될 것임은 자명한 일이다. 따라서 廢棄콘크리트를 콘크리트用 骨材로 재이용하기 위하여는 우선적으로 再生骨材의 物性和 재생골재를 사용한 콘크리트의 工學的 特性에 대한 구체적이고 實驗·實證的인 研究를 통하여 使用指針案이 우선적으로 마련되어야 할 것이다.

또한 廢棄콘크리트를 再生骨材로 재활용함에 있어서는 再生骨材의 品質이 비교적 劣等한 상태이므로 明確한 等級分類를 통하여 用途를 제한하여 사용하고, 재생골재를 單品으로 사용하기보다는 천연산 골재와 혼합하여 사용할 것을 권장하며, 用途面으로는 道路用콘크리트를 중심으로 이용범위를 확대해 나가는 것이 필요하다고 생각한다.

[參 考 文 獻]

1. 김무한·최민수, 국내 폐기콘크리트 발생량의 예측 및 재생골재로의 이용전망에 관한 연구(건축부문 폐기콘크리트를 중심으로), 대한 건축학회 학술발표대회 논문집, 1993. 4, pp.425-430
2. 金武漢 外, 再生骨材콘크리트의 構造體 適用性에 관한 基礎的 研究, 大韓建築學會論文集 第9卷, 第8號, 1993. 8, pp.200-211

3. 김무한 외, 재생골재의 혼합조건에 따른 재생골재콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제 9권, 제11호, 1993.11, pp.109-120
4. 小林茂敏, 低品質骨材を用いたコンクリートの特性, セメント&コンクリート, No. 440, 1983.
5. 趙勝衍, 再生骨材콘크리트의 施工性 및 工學的 特性에 관한 實驗的 研究, 忠南大碩士論文, 1991.8
6. 笠井芳夫, リサイクル骨材について, 月刊生コンクリート, Vol.10, No.11, Nov.1991, pp.90-96
7. 向井 外. 特殊な材料を用いたコンクリート(再生骨材), 콘크리트工學, 1987.1, Vol.25, No.1, pp.102-109
8. 日本建設業協會 建設廢棄物處理再利用委員會, 再生骨材および再生コンクリートの使用規準(案), 콘크리트工學, Vol.16, No.7, 1978, pp.42-46
9. 김무한 외, 잔·굵은 골재로서 폐기콘크리트를 사용한 콘크리트에 관한 실험적 연구(제1보-제4보), 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제6권 제1호, 1986. 4, .489-500
10. M.Mulheron and M.O'Mahony, The durability of recycled aggregates and recycled aggregate concrete; Reuse of Demolition Waste, Vol.2, Chapman and Hall, pp. 633-642
11. 笠井芳夫, 再生骨材콘크리트에 關する 研究, 콘크리트工學, Vol.16, No.7, 1978. 4, pp.18-31
12. T.C. Hansen and H. Narud, (1983a) Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate, Concrete International; Design and Construction, 5(1), pp.79-83
13. 山本泰彦, 콘크리트의 워카빌리티-오비요強度におよぼす粗骨材粒の性質, 콘크리트ジャーナル, 1969. 11
14. 福土勳, 콘크리트用細骨材として破砕의 利用, セメント&コンクリート, No. 357, Nov.1976, pp.9-17
15. Y.Kasai, Durability of concrete using recycled coarse aggregate, RILEM; Reuse of Demolition Waste, Vol.2, Chapman and Hall, pp.623-632
16. R.Sri. Ravindrarajah and C.T.Tam, Method of improving the quality of recycled aggregate concrete, RILEM; Reuse of Demolition Waste, Vol.2, Chapman and Hall, pp.575-583
17. M.Kakizaki and Y.Kasai, Strength and elastic modulus of recycled concrete, RILEM; Reuse of Demolition Waste, Vol. 2, Chapman and Hall, pp.565-574
18. T.Ikeda, S.Yamane and A.Sakamoto, RILEM; Reuse of Demolition Waste, Vol. 2, Chapman and Hall, pp.585-594
19. BS 8110, Structural use of concrete; Part2 Code of practice for special circumstances, 1985
20. R.Sri. Ravindrarajah, Y.H.Loo and C.T. Tam, Recycled concrete as fine and aggregate concrete, Magazine of Concrete Research; Vol.39, No.141; 1987.12. pp. 214-220
21. 西林新藏ほか, 再生骨材콘크리트의 彈塑性的性質及び耐久性, 第6回콘크리트工學年次講演論文集, pp.77-80
22. A.Yoda, Accelerated carbonation test of recycled aggregate concrete corrosion test of rebars, Report of Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste, BCS, pp.121-122