

廢棄物을 이용한 콘크리트 材料

文 英 鎬

< 産業技術情報院 · 資源 · 環境 · 建設班 · 責任研究員 >

I. 序 論

국민 생활수준의 급속한 향상과 경제성장으로 인하여 우리나라의 廢棄物 배출은 연간 7~9%씩 증가하고 있는데, 1991년 말 현재 전국 일반폐기물 발생량은 하루 평균 9萬 2,246톤으로 연간 3,367萬톤에 이르고 있다. 근래에 들어 廢棄物의 효과적인 처리방법으로 再活用과 燒却에 대한 관심이 높아지고 있으나, 1992년의 경우 매립이 89.7%, 燒却이 1.6%, 再活用在 7.9%로 거의 대부분을 埋立에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 폐기물 처리 시설 및 埋立地 부족문제가 심각한 실정이다. 폐기물 처리에서 가장 중요한 것은 가능한 폐기물 발생량의 억제, 유용자원의 再活用, 위생 매립 등에 의한 適正埋立의 3단계라 할 수 있다.

이미 많은 종류의 廢棄物이 콘크리트의 混和材料나 골재로 再活用되고 있는데, 대표적인 것으로는 콘크리트의 耐久性을 높일 수 있는 플라이애시, 高強度 콘크리트용의 실리카 흙, 輕量 콘크리트의 골재로 사용되는 슬래그 등을 들 수 있다.

本稿에서는 이미 본격적으로 활용되고 있는

플라이애시나 실리카 흙, 슬래그 뿐만아니라, 각종 쓰레기와 産業廢棄物을 이용하여 콘크리트에 사용되는 사례를 조사·분석하게 되는데, 쌀겨, 톱밥 등의 有機性 폐기물이나 콘크리트 廢材, 유리 廢材, 벽돌 廢材 등의 無機性 폐기물과 산업폐기물 등을 콘크리트에 사용하는 方案과 문제점등에 대해 기술한다.

II. 有機性 폐기물

유기성 폐기물은 쌀겨, 코코넛 줄기, 톱밥 등 주로 植物性的의 유기성 폐기물이 지역에 따라 사용될 수 있다.

1. 쌀 겨

쌀겨는 인도 등지에서 프리캐스트 블록이나 슬래브에 콘크리트 용 骨材로 사용되어 오고 있다. 쌀겨는 톱밥에 비하여 상대적으로 적은 水溶性 시멘트 독성을 가지고 있으며, 0.1~0.15톤/m³의 낮은 密度를 나타내는 물질이다. 쌀겨 콘크리트는 쌀겨와 시멘트의 配合比와 다짐의 정도에 따라 달라지지만, 대개 중량이 0.6톤/m³정도이다. 또 압축 강도는 대개 30~130kgf/cm²이고, 휨 강도는 20~50kgf/cm² 정도를 나타낸다.

2. 쌀겨 재(RHA)

쌀겨는 쌀겨 재(RHA)로 만들어 사용하면 더 효율적인데, 콘크리트에서 시멘트의 부분적인 代替材料로 사용할 수 있다. RHA는 主成分이 비정질의 실리카 질로서 약 85~97%를 차지하고 있는데, 燒却過程에 따라 이러한 成分含量이 달라지게 된다. RHA가 콘크리트에 미치는 영향은 燒却溫度, 燒却時間, 空氣量 주입등에 따라 그 특성이 달라지게 된다. 지금까지의 실험과 연구결과에서는 자연 공기의 주입 상태로 400°C에서 4시간 동안 소각하고, 자연 상태에서 되도록 즉각적인 冷却過程을 거친 후 100분 동안 글라인딩한 상태의 쌀겨 재가 그 특성이 뛰어나다고 보고되고 있다. 물론, 여기서 사용되는 쌀겨 재는 정미소 등에서 바로 배출되는 일반적인 쌀겨 재를 사용했을 경우이다.

RHA 20%와 시멘트 80%를 혼합한 콘크리트와 RHA를 전혀 사용하지 않은 콘크리트에 대하여 그 압축 강도를 살펴보면, 28일 강도에서 620kgf/cm², 450kgf/cm²로 RHA를 20% 정도 첨가한 경우의 콘크리트 강도가 400% 이상 강도 증가를 보였다. 또 RHA를 시멘트에 대하여 70% 정도까지 대체해서 사용하더라도 전 養生期間에 걸쳐서 보통의 콘크리트에 비하여 동등 이상의 강도를 발휘한다는 흥미로운 사실이 입증되고 있다. RHA 콘크리트는 조적공사의 모르타르, 기초부 콘크리트, 매스 콘크리트, 시멘트 벽돌의 제조 등에 사용하기에 적합하다.

3. 톱밥

톱밥을 이용한 콘크리트는 저렴한 가격으로 輕量 콘크리트를 만들 수 있는 利點이 있다. 톱밥은 시멘트 페이스트의 수화반응과 경화를 阻害하는 수용성 독성을 상당 부분 포함하고 있다. 따라서 톱밥을 콘크리트에 사용하기 위해서는 물리 화학적인 事前處理가 필요하고, 이로 인해서 톱밥 콘크리트의 사용시 추가적인

비용이 다소 발생하게 된다. 前處理 방법은 콘크리트 재료로 믹싱하기 전에 톱밥을 물에 잠겨두거나 씻는 방법이 있는데, 이렇게 함으로써 톱밥이 콘크리트의 경화를 저해하는 물질을 除去하게 된다. 또 톱밥 콘크리트에는 시멘트의 체적에 대하여 약 1/6~1/3을 첨가하여 사용하게 된다. 톱밥을 이용한 콘크리트나 시멘트 제품은 乾燥收縮率이 아주 크기 때문에 변형이 다소 자유로워도 가능한 부위에 사용해야 한다는 사용상, 설계상의 제한이 뒤따른다.

印度 등에서는 톱밥과 마그네슘 산염화물 시멘트를 사용하여 철근 콘크리트제 문이나 창문틀을 만드는 데 사용해 오고 있다. 이러한 제품은 木質系 시멘트 제품과도 상당히 유사한데, 加工性和 나사의 고정, 페인팅이 쉬운 등의 장점을 가지고 있다.

4. 코코넛 줄기 廢材

코코넛 줄기 廢材는 코코넛으로부터 섬유를 분리할 때 분리되는 먼지와粒狀의 副産物을 일컫는다. 이러한 부산물은 輕量 콘크리트의 골재로 사용될 수 있다. 코코넛 식물의 廢材를 이용한 콘크리트는 비중이 0.4~0.7로 대단히 가볍고, 斷熱性이 뛰어난 특징을 가지고 있다.

Ⅲ. 都市 쓰레기

都市 쓰레기 중에는 콘크리트용 골재로 사용할 수 있는 것들이 많이 포함되어 있는데, 콘크리트 廢材, 폐벽돌, 폐유리 등의 도시 쓰레기나 기존 구조물의 解體에 따른 각종 건설 부산물 등이 있다. 이미 콘크리트 廢材를 재활용하는 방법은 각국마다 주요한 이슈가 되고 있어, 그 효율적인 活用方案에 대한 연구도 한창이다.

1. 콘크리트 廢材

건축물 등의 해체 후에는 많은 양의 콘크리트 廢材가 발생된다. 이러한 콘크리트 廢材를 파쇄하여 새로이 콘크리트용 골재로 사용할 수

있다. 일반적으로 리사이클 콘크리트를 사용한 콘크리트의 물과 시멘트의 비는 보통의 콘크리트와 비교하여 동일한 슬럼프 값에 대해서 5% 이상의 물이 더 필요하게 된다. 이와 같이 리사이클골재가 콘크리트를 비빌 때 물의 함유이 더 필요한 것은 골재의 거친 표면과 형상이 날카로운 것 등의 이유 때문인 것으로 알려져 있다.

워커빌리티는 보통의 자연산 골재를 사용했을 때 보다 더 빠른 속도로 나빠지게 되는데, 이것은 리사이클골재는空隙을 많이 포함하고 있어 콘크리트의 믹싱 후에 연속된 수분의空隙 침투효과 때문인 것으로 여겨진다. 그러나 이러한 워커빌리티의 저하속도가 빨라진다고 해서 콘크리트의 강도에 크게 나쁜 영향을 주게 되는 것은 아니다.

대개 리사이클콘크리트에 포함된 모르타르의 약 40% 정도가 그대로 포함되어 있는데, 이러한 모르타르나 시멘트 페이스트가 골재에 부착되면 리사이클콘크리트의 탄성계수를 저하시

키고, 크리프나 건조 收縮量을 증대시키는 바람직스럽지 못한 결과를 나타낸다. 그러므로 구조물의 특성상 콘크리트의 압축 강도보다는 처짐에 의해 크게 영향을 받게 되는 구조물에는 리사이클콘크리트를 사용하는 것은 非經濟的일 수도 있다. 그리고 프리스트레스트 콘크리트에 리사이클콘크리트를 사용하는 것은 자연산의 골재를 이용한 콘크리트보다 상대적으로 높은 크리프와 건조수축으로 오히려 비경제적인 결과를 초래할 수도 있다.

한편 리사이클골재에서 가장 힘든 문제의 하나는 品質管理라 할 수 있는데, 이것은 기존의 콘크리트 건물의 콘크리트 특성이 각양각색이고, 리사이클하는 프로세스에 따라 생산된 골재의 특성이 또한 다르기 때문이다. 이처럼 균질한 골재를 생산하기가 어렵다는 사실이 리사이클골재의 사용시 설계상의 標準化를 어렵게 만들고, 시공상의 品質管理도 힘들게 만드는 요인이 되고 있다.

<表 1>再生 굵은 골재만을 사용한 콘크리트의使用基準

콘크리트 종 류	細 骨 材 모래 (%)	粗 骨 材	설계기준 강도 (kgf/cm ²)	用 途
		재생골재 混入率 (%)		
A	100	50이상	150이하	간이 콘크리트
B	100	30초과~50미만	180이하	(버팀 콘크리트 등)
C	100	30이하	210이하	일반구조용 콘크리트

<表 2> 재생 모래와 再生 굵은 골재를 사용하는 경우의 콘크리트 使用基準

콘크리트 종류	粗 骨 材	細 骨 材	설계기준강도 (kgf/cm ²)	用 途
I	재생골재 1종	보통 골재	210이상 (철근 콘크리트)	저층 집합주택, 단독주택
II	재생골재 2종	보통 골재 혹은 재생골재 1종	160이상 (무근 콘크리트)	블록 조의 기초
III	재생골재 3종	재생골재 2종	160이하 (버팀 콘크리트)	목조의 기초, 문, 담



日本 建設省 建築研究所가 제안한 「再生骨材를 사용한 콘크리트의 使用基準(案)」에 따르면 잔 골재는 모두 보통의 자연산 모래를 사용하고 굵은 골재는 일정비율의 재생 골재를 사용할 때, 재생 골재의 혼합비율에 따라서 A, B, C의 3종류로 분류하고 있다. 이에 대한 사용 기준은 <表 1>과 같고, 또 재생 모래와 재생 골재를 동시에 사용할 때의 기준은 <表 2>와 같이 제시하고 있다.

리사이클골재를 사용할 수 있는 콘크리트 구조물로는 대체로 低強度를 요구하는 구조물에 적합한데, 기초부 콘크리트, 콘크리트 포장, 非耐久材로 사용되는 콘크리트 부재에는 별 어려움 없이 사용될 수 있을 것이다. 再生骨材는 보통의 자연산 골재보다 품질이 나쁜데, 재생 골재의 含水量이 많이 포함된 콘크리트일수록 콘크리트의 品質이 저하된다. 그런데, 최근에는 특수한 설비를 이용하여 再生骨材를 사용한 골재가 자연산 골재와 同等한 특성을 갖는 골재 생산에 대한 연구가 시도되고 있고, 日本등지에서는 시험 플랜트에서 이와 같은 골재를 생산하여 실험한 결과, 자연산 골재를 사용했을 때와 콘크리트의 성질이 동등하다는 사실을 입증하기도 했다.

그리고 지금까지의 破碎 시스템으로도 재생 골재의 함량이 30% 정도까지는 보통 콘크리트와 동등한 특성의 콘크리트를 생산할 수 있다. 그러나 골재 함량이 30%를 넘게 되면 품질저하가 문제가 되고, 이 때는 간이 콘크리트 등에 사용할 수 있다.

2. 벽돌 廢材

벽돌 廢棄物은 파쇄하여 콘크리트 용 골재로 사용할 수 있는데, 특히 방글라데시 같은 국가에서는 자연산 골재가 극히 부족하기 때문에 벽돌 廢棄物도 훌륭한 콘크리트의 골재로 사용될 수 있다. 우리나라의 경우에도 都市化, 건축물의 現代化 등으로 기존 주택이나 건축물의 해체에 따른 많은 양의 建設廢棄物이 쏟아지고 있다.

점토 벽돌을 파쇄하여 콘크리트의 골재로 사용하기 위한 시험결과에서 물과 시멘트의 비가 0.88~0.54 사이에서 콘크리트 28일 압축강도가 230~430kgf/cm² 정도인데, 이것은 보통 콘크리트의 강도와 거의 동등한 결과를 나타낸다. 또한 이 때의 콘크리트의 비중은 2.0~2.08로 輕量 콘크리트이다.

점토 벽돌을 파쇄하여 콘크리트의 골재로 사용시의 특징은 콘크리트의 인장강도가 보통 콘크리트에 비하여 11% 정도 높고 탄성계수는 30% 정도 낮아지는 특성을 나타낸다.

3. 廢 유리

가정용 폐기물에서 유리 형태의 폐기물이 차지하는 비중이 英國은 9% 정도에 이르고, 美國에서는 약6~8%에 이르는 것으로 추산되고 있다. 이러한 많은 廢棄物이 원활히 수거되어 다시 재사용되는 것이 바람직하지만, 유리 제품의 부분적인 破損이나 수집 및 재사용상의 어려움으로 많은 유리 폐기물이 발생되고 있는 실정이다.

이러한 유리 廢棄物을 콘크리트의 골재로 사용하는 방안이 연구되면서 유리 골재라는 단어가 생겨났다. 유리 골재를 이용하면 자연산 골재를 이용했을 때의 콘크리트 압축강도가 450kgf/cm²인데 반하여 똑 같은 조건에서 600kgf/cm²의 강도를 나타낸다고 실험 결과에서 보고되고 있다.

이러한 유리 골재를 이용하여 일반적인 콘크리트에 사용하는 방법 외에도 콘크리게 인조 대리석의 생산은 獨逸에서는 인기있는 建設資材의 하나가 되고 있다. 그러나 유리 골재를 사용할 때는 알칼리 환경상태인 시멘트와 유리의 알칼리 반응이 다소 문제가 되기 때문에 유리의 사용시에는 시멘트의 선택이나 유리의 前處理 등의 공정이 필요하다. 아직 이러한 분야의 연구는 初步的 단계이므로 유리 골재 콘크리트의 장기적인 거동 등이 좀 더 연구되어야 할 것이다.

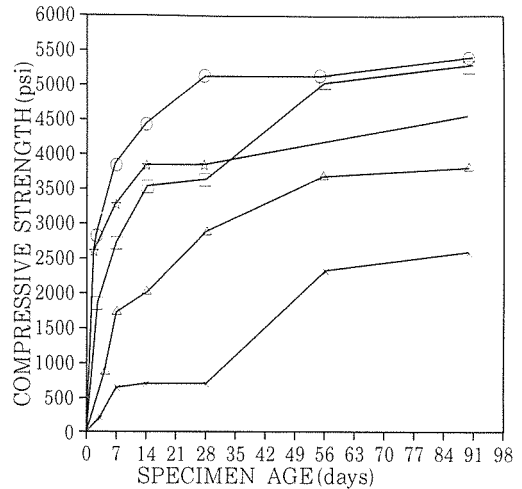
4. 燒却灰(MSW Ash)

근래에 들어 폐기물의 효과적인 처리방법으로 再活用과 燒却에 대한 관심이 높아가고 있다. 1992년의 경우 국내 발생 쓰레기의 89%가 매립되고 再活用に 7.9%, 燒却이 1.6%인 50萬톤 정도이다. 우리나라의 현재 쓰레기 매립장은 719개소인데, 대부분의 매립장이 1,000평 이하의 저습지, 농지, 폐하천 부지 등에 임시방편으로 관리되고 있다. 이러한 매립지 또한 1993년 말까지는 시설의 61%인 439개소가 매립이 완료될 예정으로 있어 폐쇄될 전망이다. 그러나 새로운 매립장의 건설은 용지의 절대부족과 지역 주민에 의한 님비(Not In My Back Yard) 현상으로 순탄하지만 않은 실정이다. 그리고 국내에서 발생하는 쓰레기 중에서 불에 태울 수 있는 可燃性 쓰레기가 전체의 47.4%나 되고 있지만, 燒却되는 비율은 극히 미미한 실정이다. 따라서 현재 1.6%에 머물고 있는 폐기물의 燒却率을 1997년까지 14.2%로 높이기 위해 14기의 燒却爐를 새로 건설할 예정이다. 이렇게 되면 하루 1萬2,000톤의 쓰레기가 소각되지만 여기서 나오는 燒却灰의 처리문제도 심각하게 대두된다.

燒却灰는 전기집진에 의해 회수되는 EP재(Electrostatic Precipitater Ash)와 재로서 하부에 남게 되는 BA재(Bottom Ash)가 배출되는데, 콘크리트에는 이용특성상 EP재가 BA재보다 좋기 때문에 EP재의 再活用に 대한 관심이 높다. 그리고 燒却灰는 콘크리트에 사용시 소각할 폐기물의 종류와 특성, 그리고 소각시설에 따라 달라지게 된다. 대체적으로 燒却灰는 시멘트에 대체하여 사용하게 되는데, 燒却灰의 사용비율이 높아질수록 콘크리트의 품질 特性이 저하된다. 그러나 많은 실험과 연구를 통하여 시멘트에 대하여 30% 정도까지 대체하여 사용할 경우는 콘크리트의 강도가 높아지지만, 이 한계를 초과하면 콘크리트의 압축강도가 급격히 저하된다.

<圖 1>은 燒却灰의 양생기간에 따른 燒却

灰 치환율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 ‘%’는 燒却灰의 치환율을 나타낸 것이고, ‘Control’은 보통의 콘크리트를 나타내고 있다.



<圖 1> 燒却灰의 치환율과 養生期間에 따른 압축강도의 변화

美國과 日本 등의 선진국에서는 이미 燒却灰를 콘크리트 용 재료로 재활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있는데, 우리나라도 이에 대한 충분한 연구와 再活用 기술 개발이 시급한 실정이다.

5. 下水汚泥

下水處理로부터 발생하는 下水汚泥(sludge)는 脫水時 첨가되는 응집제의 종류에 따라 高分子系와 石灰系로 분류되며, 高分子系는 골재, 포장재, 타일, 透水性 블록 등으로 石灰系는 시멘트 원료, 콘크리트 混和劑, 매립재, 성토 등의 건설재료로 재활용 되고 있다.

汚泥의 재활용은 퇴비, 토양개량제 등의 농업에서 많이 이용되고 있으며, 汚泥消化에 의한 가스 이용, 연료로 이용하는 등의 에너지 이용으로 재활용되어 왔으나, 최근들어 건설재료로서 재활용되어 범위가 점차 늘고 있다.

건설재료로의 이용은 농업, 에너지 이용과는 달리 汚泥의 有機物을 이용하는 것이 아닌 無

機物을 이용한다는 점이 특색이다.

매립재, 도로의 路盤材로 이용되는 汚泥의 溶融슬래그는 脫水 케이크의 건조분쇄물과 소각재를 1,200~1,500°C로 가열하여 만든다. 이는 유기물을 연소시켜 무기물만을 溶融시키는 것으로 에너지 이용방법에 따라 아크 放電 爐, 코크스 爐, 중유 또는 가스를 사용하는 表面溶融 爐 등이 있으나, 溶融 슬래그의 모양, 성질, 강도 등의 변화는 냉각방법에 따라 결정된다.

高分子系 汚泥는 소각되어 경량골재로 재활용될 수 있다.

下水汚泥를 경량 골재로 제조하는 과정은 <圖 2>와 같이 汚泥를 소각한 재를 혼합-건조-소성하여 0.3~5mm 정도의 球狀粒子로 만드는데, 최종적으로 입도조정을 거치게 된다. 제조된 경량골재의 비중은 약 1.2~1.6 정도로 가볍고, 強度는 보통 골재에 비해 손색이 없다고 한다. 또한 汚泥의 소각재는 生石灰, 시멘트 등을 첨가 혼합하여 土質改良劑로 활용할 수 있다.

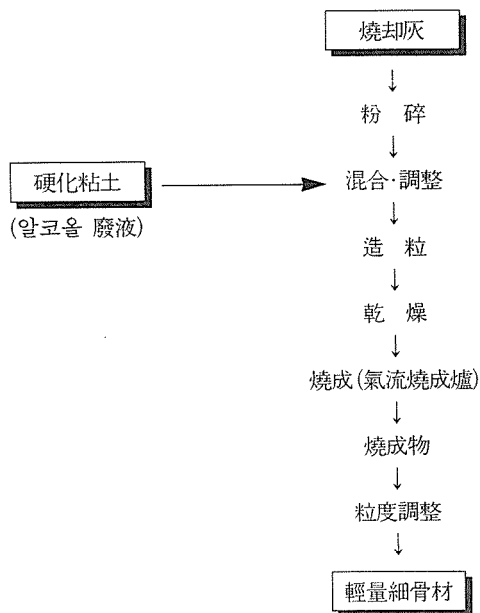


그림 2. 汚泥燒却灰의 경량골재 제조과정

6. 廢 스티로폴

廢 스티로폴을 시멘트, 모래와 균일 혼합해서 소성시키면 廢 스티로폴 부분에 공극이 발생하여 輕量 기포 콘크리트가 형성된다. 輕量性, 斷熱性이 뛰어나고, 準不燃性材料로도 이용할 수 있다.

7. FRP 廢材

FRP 廢材를 미분쇄하여 콘크리트의 모래 대신에 輕量 골재로 사용하는 방안도 보고되고 있다. 이러한 재료는 특히, 미장 모르타르 등에 사용시 탁월한 재료 특성을 나타내게 된다.

8. 연 탄 재

최근 들어 주거생활의 現代化로 생활 쓰레기에서 연탄재가 차지하는 비율이 25% 정도로 상당히 줄어들기는 하였으나, 아직까지 국내 생활 쓰레기에서 가장 많은 양을 배출하고 있다. 이러한 연탄재를 시멘트 벽돌에 모래 대용으로 사용하는 방안이 다각도로 강구되었고, 관련된 특허도 다수 발표되고 있다. 연탄재를 이용한 시멘트 벽돌은 斷熱性, 遮音性 등에서 뛰어난 특성을 나타내고, 강도에서도 기존의 시멘트 벽돌 이상의 성능을 발휘한다. 연탄재를 再活用하여 벽돌 등을 생산하는 업체는 3개사 정도가 있다.

9. 複合 쓰레기

다양한 생활 쓰레기를 분리하지 않고 파쇄하여 시멘트와 혼합하여 보도 블록이나 조정블록 등을 생산하는 기술로, 쓰레기의 分離收去와 選別處理에 따르는 비용을 줄이고, 쓰레기를 전체적으로 이용하는 방법에서 가장 再活用度가 높은 아이템이라 할 수 있다. 이와 관련된 제품 생산기술이 국내외에서 많은 특허가 출원되고 있고, 국내에서도 기술개발에 성공하여 제품의 生産段階에 있다.

<表 3> 슬래그의 재활용 用途

고 로 슬 래 그	제 강 슬 래 그
<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트 원료(혼화제, 증량제) • 규산질 비료원료 • 벽돌용 골재 • 성토용 골재 • 복토용 골재 • 호안공사용 골재 • 공유수면 매립지 뒷 채움재 • 도로기층 또는 보조기층용 골재 • 요업용 골재 • 배수층 골재 • 콘크리트용 골재 • 철도도상용 골재 	<ul style="list-style-type: none"> • 시멘트 원료(혼화제, 증량제) • 규산질 비료원료 • 벽돌용 골재 • 성토용 골재 • 복토용 골재 • 호안공사용 골재 • 공유수면 매립지 뒷 채움재 • 도로기층 또는 보조기층용 골재 • 미끄럼 방지용 골재

<表 4> 재활용 사업자의 資格과 節次

목 적	자 격	절 차
• 시멘트 원료용	대기환경보전법 제10조의 규정에 의한 배출 시설(시멘트소성로) 설치허가를 받은 자	시·도지사에게 신고
• 규산질비료 원료용	비료관리법 제11조의 규정에 의한 비료 생산업 허가를 받은 자	"
• 벽돌용 및 요업용 골재	주택건설촉진법 제41조의 규정에 의한 주택 자재 생산업 등록을 한 자	"
• 골재 가공	공업배치 및 공장설립에 관한 법률 제16조의 규정에 의한 공장(골재생산업) 등록을 한 자	"
• 도로기층용 골재 사용 (제강 슬래그에 한함)	각종 법령에 의해 認許可를 받은 사업자	"
• 성토용 골재 등 토목 공사용	각종 법령에 의한 공사관계 認許可를 받은 사업자	"

* 시험 또는 연구용의 경우에는 상기에도 불구하고 시·도지사에게 신고함으로써 사용 가능.

* 골재 加工業體에서 가공할 제품 중 KS 규격 등 公認規格이 있는 가공제품의 사용은 재활용 신고대상에서 제외(가공업소와의 보상책임의무 조건 부여)

IV. 산업용 廢棄物

슬래그, 플라이애시, 실라카 흙, 클링커 등은 이미 콘크리트의 사용이 일반화된 것들로 단지

폐기물을 再活用한다는 측면을 넘어서서 콘크리트의 高強度化, 高耐久化, 輕量化 등의 새로운 기능과 특성을 만들어내면서 콘크리트 재료에서는 없어서는 안될 주요한 위치를 점하고 있다.

1. 슬 래 그

製鐵所의 부산물인 슬래그는 잘 알려져 있는 재료로 이미 콘크리트 등에 효과적으로 사용되고 있는 재료이다. 슬래그의 물리화학적 특성은 그 제조공정에 의해 크게 영향을 받게 되는데, 시멘트의 원료로 사용되어 고로 슬래그 시멘트를 만들고, 輕量 콘크리트의 골재로 사용되며, 최근에서 粉末化하여 각종 건축자재로도 생산되고 있다.

또 국내의 현대 시멘트 단양공장에서는 각종 슬래그와 광재를 微細 분말화하여 소성시킨 후, 냉각시에 석고 등의 원료를 혼합하여 건축용 자재원료로 포장, 판매하고 있다. 각종 슬래그의 再活用 용도는 <表 3>과 같고, 再活用 사업자의 資格과 절차는 <表 4>와 같다.

2. 플라이애시

플라이애시는 석탄화력 발전소에서 集塵되는 미세 분말로 시멘트의 원료나 콘크리트에서 시멘트의 代替材料이 골재의 代替材料로도 사용되고 있고, 각종 건축자재로도 생산되고 있다. 이미 플라이애시는 콘크리트에서 없어서는 안 될 중요한 재료가 되고 있는데, 콘크리트의 耐久性 증진, 워커빌리티의 향상, 乾燥收縮의 減少, 化學浸透에 대한 低抗性 등으로 댐 등의 매스 콘크리트나 콘크리트 포장, 해양 콘크리트 구조물 등에 널리 사용되고 있다.

최근에는 플라이애시를 이용한 高強度化에 대한 연구 등 수 많은 연구결과가 발표되어 있고, 플라이애시의 使用效率을 높이기 위한 고순도 플라이애시(classified fly ash)에 대한 연구도 한창이다.

또한 美國의 Agglite社 등에서는 플라이애시를 시멘트와 특수한 혼화제와 혼합하여 전처리 과정을 거친 후, 작은 덩어리 형태의 輕量 골재를 제조하는 기술을 개발하여 美國 내 400개 이상의 석탄화력 발전소에 이러한 공정 시스템을 설치할 계획으로 있고, 이렇게 되면 유용 부산물의 효율적인 이용과 매립지 確保

難, 플라이애시 처리비용 등을 크게 節減할 수 있다.

한편 석탄재를 이용한 각종 建築資材도 개발되고 있는데, 일반 콘크리트 패널, ALC제품, 벽돌 등에 다양하게 사용되고 있으며, 최근에는 日本의 電源開發公社와 大同 콘크리트社에서는 무게비로 석탄재 40%, 시멘트와 발포제를 60%의 비율로 섞어서 輕量 기포 콘크리트의 일종인 吸音材를 개발하였는데, 중·고음의 영역에서 90% 이상의 흡음성능을 나타내는 신제품을 개발하기도 하였다.

3. 실 리 카 흙

실리카흙은 페로 실리콘 등을 제조할 때 생성되는 부산물로 시멘트에 비해서도 비표면적이 50배 이상 큰 超微粒分으로 된 재료이다. 실리카흙의 가장 큰 특징은 콘크리트에 사용되어 超高強度 콘크리트를 제조할 수 있다는 데 있다. 일반 콘크리트의 강도가 300kgf/cm²전후인데 비해 실리카흙은 시멘트에 대해 10~20% 혼합 사용하면 콘크리트의 압축강도를 1,000kgf/cm²이상까지 만들 수 있게 된다.

실리카흙같은 경우는 부산물의 개념을 넘어서서 이미 콘크리트의 고강도화를 위해서 없어서는 안 될 주요 資源으로 정착된 경우이고, 그 부가가치를 극대화시킨 廢棄物 재활용의 경우라 할 수 있다. 실리카흙을 콘크리트에 사용하는 연구는 이미 상당 부분까지 진행되고 있다.

4. 廢 비 닐

폴리머를 콘크리트와 함께 사용하는 방법으로 플라스틱콘크리트가 이미 常用化되고 있다. 그런데 農業用 廢 비닐이나 공장에서 나온 廢 비닐 등의 열가소성 수지를 이용하여 再生樹脂 콘크리트를 만드는 방법이 다양한 용도로 전개되고 있다.

특히, 농업용 廢비닐은 한국자원재생공사에서 수거하여 운반비 정도의 실비만의 廉價로 필요한 경우에 구입할 수 있다. 농업용 廢비닐은 세척, 파쇄, 용융 등의 과정을 통하여 콘

콘크리트계 재료에 혼합하여 사용될 수 있는데, 아직까지는 구조용 재료보다는 法面블록이나 조경블록 등에 일부 활용되고 있다. 국내에도 이와 관련된 업체가 3개사 정도가 있다.

5. 鑛山 폐기물

주로 탄광 등에서 발생하는 炭鑛 廢材를 콘크리트에 재활용하는 경우는 그 사용상에 한계가 있어 현재까지는 輕量骨材로 사용하는 정도이다. 炭鑛 廢材를 콘크리트의 輕量 骨材로 사용하기 위해 프랑스나 벨기에 등에서는 로터리 킬른을 이용하고, 英國이나 폴란드 등에서는 신터 스트랜드 프로세스를 통하여 輕量 골재를 만들고 있다. 신터 스트랜드 프로세스로 제조되는 방법은 설비 투자비가 저렴한 대신에 주로 輕量 콘크리트 블록 제품에 많이 사용되고, 로터리 킬른으로 제조하는 방법은 투자비가 비싼 대신에 이렇게 만든 輕量 骨材는 구조용의 輕量 콘크리트 골재로 사용될 수 있는 등의 특징이 있다.

6. 레미콘 슬러지

廢레미콘에서 발생하는 시멘트와 혼합된 슬러지를 자갈과 모래는 골재 회수장치를 통해서 선별하여 레미콘 제조용으로 再使用하고, 시멘트와 혼합된 슬러지는 沈降탱크와 脫水裝置를 거쳐 고정화된 汚泥로 분류한다. 이렇게 발생된 특정 폐기물인 슬러지와 클링커, 석고 등을 혼합하여 분쇄한 다음 시멘트를 생산하게 된다.

국내에서 발생하는 廢레미콘 슬러지로 생산할 수 있는 제품의 판매물량은 350톤/년 정도이다. 재생제품의 주요 이용처는 레미콘 제조 공장 및 콘크리트제품 생산공장 등이다.

7. 廢石膏

廢石膏의 재활용 용도로서 가장 많이 이용되는 것이 시멘트의 부원료로 사용하는 방법이고, 그 다음으로 석고보드를 만드는 것이다. 폐석고를 시멘트의 원료로 이용하는 방법에는

폐석고 만을 단독으로 사용하거나 플라이애시, 슬래그 등과 혼합하여 사용하기도 한다. 즉, 포틀랜드 시멘트의 주 원료인 클링커에 슬래그, 폐석고, 플라이애시 등을 혼합·분쇄하여 슬래그시멘트를 제조하게 된다.

8. 石粉

석재 加工業에서 배출되는 석분을 콘크리트 재료로 이용할 수 있다. 석분은 콘크리트의 결점인 건조·수축과 미세 龜裂을 방지하는 원료로 사용될 수 있는데, 시멘트계의 각종 건축 자재에 석분을 이용하게 되면 미세 균열을 줄일 수 있게 된다. 또 건물 등의 바닥재에 사용되는 셀프 레벨링 재에도 석분이 사용된다.

9. 목재·제지의 燒却灰

목재나 종이류의 燒却灰를 이용하여 각종 벽돌류나 건축자재로 활용할 수 있는데, 특히 동남아 지역 등에서는 저렴한 건축자재로 생산되고 있다. 목재 등의 燒却灰는 일정 비율까지는 콘크리트의 강도에 크게 영향을 미치지 않지만, 다량으로 사용하게 되면 콘크리트 強度低下 등의 문제점이 발생된다.

V. 其他 폐기물

위에서 언급한 것 외에도 폐기물을 이용하여 콘크리트에 사용될 수 있는 시멘트계 재료나 골재가 많은데, 여기서는 간략히 그 내용을 소개한다.

1. 기포 골재

기포 골재는 나무 껍질, 톱밥, 슬러지 케이크, 폐 플라스틱, 석탄재, 폐 타이어 등의 廢棄物을 분쇄한 후, 둥글게 뭉쳐서 골재로 만든 것으로 이러한 골재로 만든 콘크리트는 보통의 콘크리트에 비하여 단위중량이 20~30% 가볍고, 콘크리트와 골재와의 接着性도 우수하다.

2. 보크사이트 廢材

보크사이트 폐기물을 1,200~1,360°C로 소성한 후 등글게 문쳐서 콘크리트의 人工重量骨材로 사용하는데, 美國과 日本 등지에서 생산되고 있다. 이 제품에 의한 콘크리트의 특징은 콘크리트의 압축강도, 휨 강도, 인장 강도가 보통의 콘크리트에 비하여 높다.

3. 유황 廢棄物

유황을 콘크리트 표면에 침투시켜 콘크리트의 강도 改善, 장식성 부여, 단열성 개선 등으로 활용할 수 있다.

4. 鑛石 焙燒物

選鑛 중에 나오는 배燒物인 황 철광의 철암을 이용하여 印度 등지에서는 輕量 골재로 만들어 사용되고 있다. 이러한 재료는 微細粉末 상태에서 훌륭한 포졸란 활성을 나타내기 때문에 콘크리트와의 혼합시 뛰어난 재료적 특성을 나타낸다.

VI. 結 論

세계 각지에서 폐기물을 再活用하여 콘크리트에 사용되고 있는 사례는 무수히 많고, 여기서는 그 일부를 간략히 소개하였다. 비단 외국어 사례를 열거할 필요도 없이 우리 주변에서도 폐기물에 대한 再活用 사례가 점점 많아지고 있다. 그 중에서도 특히 콘크리트에 사용될 수 있는 폐기물이나 副産物은 무수히 많고, 그 可能性도 높은 편이다.

廢棄物의 재활용 관점에서 콘크리트 재료의 일부로 사용시 유리한 이유는 여러가지가 있겠지만, 특히 다음과 같은 점에서 유리하다고 할 수 있다.

1. 콘크리트의 汎用性

콘크리트는 어디서나 사용되는 재료이다. 즉, 현대사회에서 콘크리트가 요구되지 않는 지역은 없다. 그런데 廢棄物을 재활용할 때 그 운반비 등으로 모든 지역에서 동등한 經濟性을 확보할 수는 없고, 콘크리트의 재료인 시멘트나 골재 등은 대개 원거리에서 수송되고, 콘크리트 재료 원가의 상당 부분이 관련 재료의 輸送費가 차지하게 된다. 따라서 폐기물이 발생되는 장소 부근에서 콘크리트에 副産物을 즉각적으로 이용하면 폐기물 처리비용과 수송비용의 節感과 콘크리트 원자재인 골재의 구득난과 운반비용이 절약된다.

2. 콘크리트의 安定性

콘크리트라는 재료는 대체로 시멘트와 골재, 물 등에 의해 경화되어 구조물을 형성하게 되는데, 대개의 경우 콘크리트에 사용되는 시멘트는 接着力이 좋고, 경화후후 化學적인 安定性을 나타낸다. 그리고 발생하는 폐기물은 쉽게 시멘트 등과 결합할 수 있어 안정적인 경화 특성을 갖게 된다.

3. 콘크리트의 強度

콘크리트의 강도는 구조재료 중에서도 재료적 특성상 낮은 강도 특성을 나타낸다. 즉, 콘크리트는 본래 均一材料가 아니고, 여러 가지 재료가 혼합되어 이루어져 있고, 일반적으로 높은 강도를 요구하지 않는 경우도 많다. 그리고 기존 콘크리트의 강도도 상당히 偏差가 심한 경우가 많기 때문에 廢棄物을 콘크리트에 사용시 일정한 품질관리만 확보된다면 필요한 강도의 한계 내에서 콘크리트의 재료로 사용할 수 있는 것이다.

4. 콘크리트 수요의 大量化

콘크리트는 이 세상에서 인류가 문명을 표현

하기 위해서 사용되는 가장 흔하고도 많이 쓰이는 재료이다. 그리고 폐기물의 發生量도 해마다 크게 증가하고 있다. 따라서 廢棄物의 재 활용시 대량으로 그 사용처를 확보할 수 있는 경우로 콘크리트 만큼 많은 재료를 소화해 내는 경우는 별로 없다.

5. 콘크리트의 多樣化

콘크리트계 재료가 실제 사용시에는 고강도에서부터 저강도까지 강도상으로 다양한 요구가 있을 뿐만 아니라, 건축자재 생산에서 斷熱性, 遮音性 등의 다양한 기능도 요구된다. 앞에서도 언급했지만, 각종 산업 부산물이 오히려 콘크리트계 재료에 새로운 기능과 다양한 성능을 부여한 경우도 많다. 그러므로 廢棄物을 이용하여 콘크리트가 요구하는 기능이나 성능에 適合하게 응용될 수 있는 경우가 많다.

이와 같이 폐기물을 콘크리트에 사용할 가능성은 많지만, 이에 못지 않게 効率적인 再活用이 못되고 있는 경우가 대부분인 것이 사실이다. 이러한 이유는 폐기물을 그대로 콘크리트의 재료로 사용할 수 있는 경우는 드물고, 폐기물을 다시 分類하거나 다른 프로세스를 거쳐야 하는 경우가 많기 때문이다.

그러므로 폐기물을 콘크리트에 효율적으로 재 활용하기 위해서는 폐기물의 특성과 사용할 폐기물이 콘크리트에 어떤 影響을 미치는지 등에 대한 충분한 검토가 필요하다.

[參考文獻]

1) M.Ohkubl et al, "Tests of Mortar or Concrete Mixed with Waste Incinerated Ash on the Compressive Strength and other Characteristics," *J Strut Constr Engng AIJ*, no.443, 1993, pp.1~9
2) W.K.Yip et al, "Aggregate Made from

Incinerated Sludge Residue," *J Mster in Civil Engng*, vol.2, no.2 1990, pp.84~93.

3) J.H.Tay, "Ash from Oil-Palm Waste as Concrete Material," *J Mater in Civil Engng*, vol.2, no.2, 1990, pp.94~105.

4) C.K.Murthy, "Low Cost Concrete Made from Waste Materials," *Housing Sci*, vol.9, no.4, 1985, pp.313~323.

5) J.D.Hamernik, "Strength of Concrete Containing Municipal Solid Waste Fly Ash," *Aci Mater J*, vol.88, no.5, 1991, pp.508~517.

6) A.A.Ikong, "The Relationship between the Strength and Non-Destructive Parameters of Rice Husk Ash Concrete," *Cem & Concr Res*, vol.23, 1993, pp.387~398.

7) D.C.Opala, "Strength Characteristics of Medium Workability Ordinary Portland Cement-Rice Husk Ash Concrete," *Builbind and Environ*, vol.27, no.1, 1992, pp.105~111.

8) P.de Vries, "Concrete Re-Cycled Crushed Concrete as Aggregate," *Concrete*, May 1993, pp.9~13.

9) 폐기물 재활용 기술사례집, 「환경처」, 1993, 362.p.

10) 김광우 등, "폐콘크리트의 재활용-美國 FHWA 시범 프로젝트의 소개," 「대한토목학회지」, vol.40, no.5, 1992, pp.42~47.

11) 배규웅, "폐 콘크리트의 재생 및 재활용 방안," 「레미콘」, no.35, 1993, pp.26~35.

12) 山田優, "콘크리트 폐재를 콘크리트에 재이용," 「セナントコンクリート」, no.544, 1992, pp.1~7.

13) 大久保全陸 等, "쓰레기 조각재를 혼입한 모르타르 콘크리트의 압축강도 특성에 관한 기초적 연구," 「日本建築學會構造系論文報告集」, no.443, 1993, pp.1~10.