

시멘트 산업의 신기술 연구과제

권우택, 김수룡, 김병익
 요업기술원 세라믹·건재본부
 srkim@kicet.re.kr

1. 서론

21세기 초반을 맞아, 국내의 시멘트 산업은 전환기에 와 있다. 국내 시멘트 수요의 감소가 예상되는 가운데, 더욱더 엄격해 지는 환경 규제 기준, 소비자의 다양한 요구, 주택등급제 실시, 모래 등의 천연자원의 고갈, 고유가 시대의 돌입 등등 해결해야할 기술적 과제가 산적해 있다.

본고에서는 선진국의 신기술 연구과제의 사례를 통하여 그 교훈을 찾아보고, 우리의 힘으로 수행해 나가야 할 신기술 연구과제를 살펴 보고자 한다.

2. 선진국의 신기술 연구과제 사례

2.1 미국 PCA의 시멘트·콘크리트 수요 확대를 위한 10대 과제

2.1.1 개요

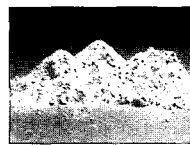
미국의 내수는 2013년까지 년평균 1.8%씩 성장할 것으로 전망되고 있다. PCA는 1996년부터 시멘트·콘크리트의 수요 확대를 위해 5개년 계획을 운영하였다. 그러한 노력이 결과, 실시 전에는 내수성장율이 0.9% (1996/1986년)이었는데, 실시 후의 성장율은 1.9% (2003 / 1986년), 3.2% (2003 / 1996년)로 나타났다. 비록 경제적·사회문화적 환경은 다르지만 향후 국내 수요의 감소에 대비하여 타산지석으로 삼아야 할 것이다.

2.1.2 10대 과제

① 化粧 콘크리트(artificial & decorative concrete)

도시의 감각화(amenity)와 미감의 중시 경향이 나타나면서 사용되기 시작되었다. 재료는 백색시멘트(다른 시멘트도 사용 가능), 안료, 혼화제, 골재로 구성되며, 현

장 타설 콘크리트, 프리캐스트 콘크리트, 틸트업 콘크리트, 보수·改裝, 매스리 및 모르타르, 治裝 마감재에 적용되고 있다.



white cement
Braaksma
Denver, CO.



pigment



Original art by
Carolyn

② 교량(bridges)

미국에는 47만5천개의 교량이 있으며, 이중 70%가 콘크리트 교량이다. 특히, 최근에는 고성능 콘크리트(High performance concrete)의 저렴한 건설 및 보수비(LCC), 내구성, 심미성, 보수용이성을 활용한 “차세대 교량의 설계 및 시공 지침” (44개 기관 참여)을 개발하여 운용하고 있다.



③ 건물(buildings)

콘크리트 건물이 공간설계의 유연성(long span 등에 의한 공간 활용 극대화), 내구성, 내화성, 내진성, 내풍성(허리케인, 토네이도), 안전성 면에서 유리하다는 점을 적극 홍보함과 동시에 다양한 설계지원 자료, 공사사례 소개 및 각 분야별로 전문가를 링크해 놓아 언제든지 컨설팅을 받을 수 있게 하였다.



④ 콘크리트 하우스(Concrete homes)

과거에는 목조 주택이 주류를 이뤘는데, 콘크리트 모델 하우스 개발 전시, 주택설계 프로그램 지원과 더불어 “아름다운 집, 오래 가는 집” 이란 캐치프레이즈를 내걸면서 콘크리트 하우스의 미관, 내화성, 내진성, 안전성, 차음성(정숙성) 면에서 차별화 하고, 다양한 공법 및 건축자재를 개발·적용하고 있다.



⑤ 메스리(Masonry)

콘크리트 벽돌은 다양한 크기, 형상, 색깔, 문양, 자연미(천연 암석이나 점토를 사용한 것)를 가지기 때문에 미적인 설계가 가능하며, 저렴한 공사비, 우수한 내구성을 갖는다. 또한, 관련 자재와 공법 모두 표준화가 잘 되어 있어 설계로부터 시공에 이르기까지 여러 가지면에서 이점이 많다.



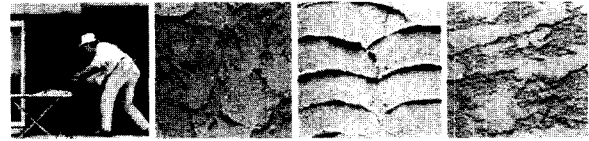
⑥ 도로(Pavements)

도로분야에서는, 도로의 종류에 따라 soil 시멘트, 전압 콘크리트(RCC: roller compacted concrete), 일반 콘크리트(레미콘) 중에서 선택하여 사용할 수 있다.



⑦ 治裝用 플라스터(stucco)

Stucco란 일반적으로 포틀랜드 시멘트 플라스터를 말하며, 건물의 외장 마감재이다. 구성재료는 시멘트, 모래, 물 3가지이며, 경제적으로 단단한 표면을 제공하며, 부식되지 않고, 내화성을 갖고, 다양한 색상과 문양을 얻을 수 있다.



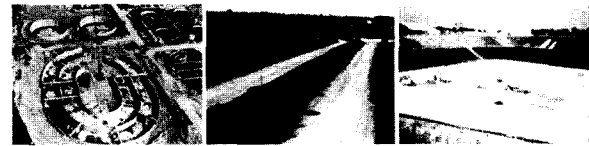
⑧ 운송 및 철도(Transit and rail)

콘크리트의 내구성, 우수한 강도, 유연성, 경제성으로 인하여 여러 가지 교통 구조물로 쓰이고 있다.



⑨ 폐기물 처리(waste treatment)

포틀랜드 시멘트를 가지고 인간과 자연에게 해로운 물질을 고화/고정화하여 안정처리하고 있으며, 여기에는 소일 시멘트, 전압 콘크리트가 적용되고 있다.



⑩ 수처리(Water resources)

소일 시멘트, 전압 콘크리트를 이용해, 정수장, 폐수처리장, 댐, 배수구, 수로, 제방, 저수조 등 각종 수처리 구조물을 건설한다.



2.2 일본 시멘트업계의 기후온난화 방지 대응 사례

현재 세계적 규모로 논의되고 있는 「지구 온난화 문제」에 대해서, 일본은 교토 의정서의 골격에 대하여 구체적인 대책을 추진하고 있으며, 일본내 CO₂ 배출량의 5%를 배출하는 시멘트업계도 CO₂ 배출 삭감 대책을 추진하고 있다. 시멘트는 석회석을 주원료로 하고 있어, 석회석(CaCO₃ → CaO + CO₂)에 의한 원료 기원의 CO₂를 많이 배출하고 있다. 또, 시멘트 산업은 에너지 다소비산업이고, 생산비 중에서 에너지비가 높은 비율을 차지하고 있다. 따라서, 에너지 절약대책을 가장 중요 과제로 다루어, 다양한 신기술을 개발·도입하고 있다.

2.2.1 자주행동계획 목표

시멘트업계는, 다른 많은 업종과 함께 「일본經團聯 환경자주행동계획」에 참여, 1996년 12월, 「시멘트 산업의 환경보전법에 관한 자주적 행동계획」을 책정(1998년 10월 개정) 해, 다음의 목표치를 설정하고 있다.

[목표]

2010년도에 시멘트 제조용 에너지 원단위(시멘트 제조용+자가 발전용+구입 전력 : 1차 에너지 베이스)를 1990년도 대비 3%정도 저감시킨다.

(주) 시멘트 제조용 에너지의 종류 : 일반탄, 중유, 석유 코크스, 도시가스, 구입 전력

[참여율]

자주행동계획에 참가하고 있는 기업수 = 20사/협회 가맹 20사

(주) 일본 시멘트협회에 가입하고 있지 않은 시멘트 회사는, 백색 시멘트(장식용의 백색 시멘트)와 에코 시멘트(치바현의 이치하라에 신설, 도시 쓰레기 소각회 및 오니 등의 폐기물을 시멘트로써 재자원화)를 제조하고 있는 특수한 시멘트 회사. 양 회사의 생산량 규모는 일본 전체의 0.3%이하.

[상기 지표 채용의 이유]

시멘트의 생산량은, 경기나 정책에 따라 크게 변화하기 때문에 장래 예측이 곤란하여, 업계로서 관리 가능한 지표로서 「시멘트 제조용 에너지 원단위」를 채용하고 있다.

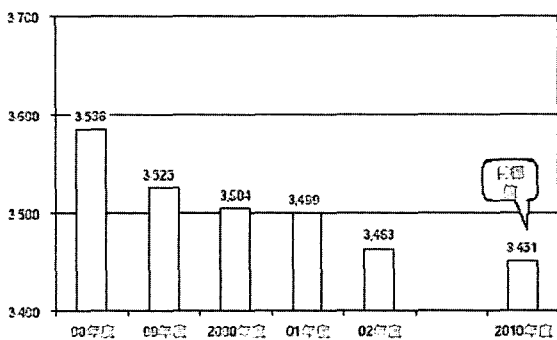


Fig. 1. 시멘트 제조용 에너지 원단위(MJ/t-시멘트).

· 2010년도 전망의 전제 조건

- 시멘트 생산량 : 최근 5년간 실적 및 일본經團聯 제시 통일경제 지표로부터, 89,900천톤으로 예상
- 화력 등 자가 발전 비율 : 70%정도로 예상 (2002년

도 실적 : 58%)

- 폐열 자가발전 비율 : 10%정도로 예상 (2002년도 실적 : 10%)

2.2.2 목표 과제 및 달성 상황

① 에너지 절약설비의 보급 촉진

- 분쇄기의 수형밀화, 예비 분쇄기 설치
- 고성능 세퍼레이터의 도입
- 연료 버너의 개량
- 대형 팬의 회전 제어 등

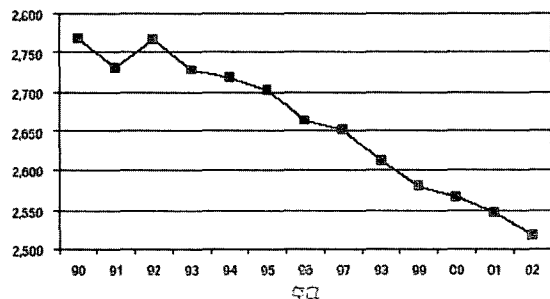


Fig. 2. 시멘트 제조용 열에너지 원단위의 추이.

(폐기물 연료 제외) (MJ/ton-시멘트)

(주) 에너지 소비의 70%이상을 차지하는 시멘트 소성공정에 있어서의 에너지 절약

대책에 대해서는, 이미, 1997년도에 있어 최신 설비(NSP·SP 킬른)로 전환이 100% 실시되었고, 또, 폐열 이용, 열교환 효율의 향상 등의 대응도 한계에 이르고 있기 때문에, 향후의 개선 여지는 거의 없다.

② 폐기물 연료의 사용 확대

- 폐 플라스틱, 톱밥, 골육분 등의 연소설비 설치

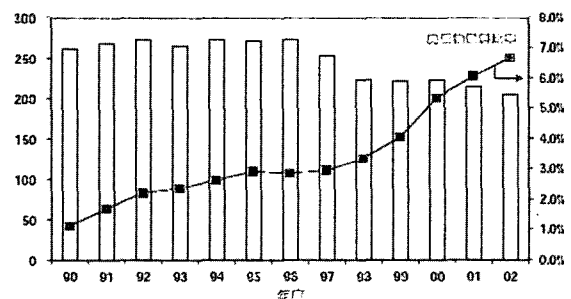


Fig. 3. 시멘트 제조용 열에너지 소비량과 폐기물 연료 비율의 추이(PJ).¹⁾

1) P : peta 10¹⁵

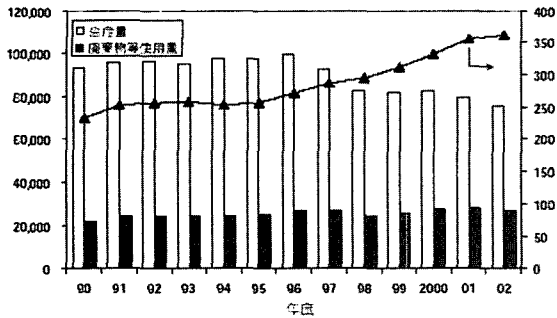


Fig. 4. 시멘트 생산량과 폐기물 등 사용량 추이(천톤, kg/ton-시멘트).

③ 기타 폐기물의 사용 확대

- 천연 원료의 사용 저감 (석탄회, 하수 오니, 도시 쓰레기의 활용 등)

④ 혼합 시멘트의 생산 비율 확대

- 생산 설비의 확충
- 출하 설비의 증강 등

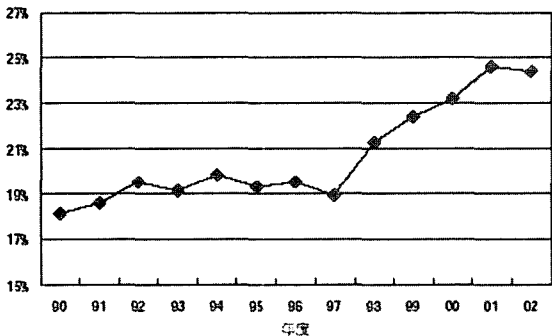


Fig. 5. 혼합 시멘트 생산 비율 추이.

2.2.3 에너지 사용, CO₂ 배출 상황

· 에너지

에너지 원단위를 90년도 대비 3.4% 저감 한 것에 의해, 2002년도의 에너지 사용량은, 시멘트 생산량(1990년도 대비) 감소를 19%보다 많은, 22%가 감소 되었다.

· CO₂

2002년도의 CO₂ 배출량 (에너지 기원)은, 생산량이 90년도 대비 19% 감소했음에도 불구하고, 18%의 감소에 머물러, 배출 원단위가 1.2% 상승했다. 이것의 주된 요인은, 시멘트 업계에서는 석탄 화력에 의한 자가 발전

비율이 해마다 상승해 왔으나, 자가 발전은 구입 전력에 비해 단위 당량 당의 CO₂ 배출량이 크다. 원료 기원의 CO₂ 배출 원단위에 대해서는, 혼합 시멘트의 비율 증가 등에 의해 2000년도까지 감소 경향이었으나, 최근에는 수출전용 포틀랜드 시멘트 클링커의 비중 증가에 의해 증가 경향이다. (클링커로 시멘트를 만드는 프로세스는 약간의 첨가제가 더해지기 때문에, 단위무게 당 CO₂ 배출량은 시멘트 편이 작다).

2.2.4 온난화 대책에 기여하는 폐기물 등 이용의 현황과 향후의 과제

시멘트 산업에서는, 이전부터 폐 타이어나 석탄회 등 타 산업에서 발생한 폐기물·부산물을, 원·연료의 일부로서 적극적으로 활용해 왔는데, 2002년도에는 약 2,700만톤에 이르는 많은 양을 안전하게 시멘트 생산에 이용해, 최종 처분장예의 부담 경감에 큰 공헌을 하였다. 시멘트 공장에서의 폐기물·부산물의 활용은, 최종 처분장의 연명 뿐만이 아니고, 석회석이나 화석연료 등의 천연 자원의 절약으로 연결되기 때문에, 중요한 온난화 대책이라고 평가 받고 있다. 또, 폐기물을 소각·매립 처분할 때의 환경 부하 및 그 이후의 처분장의 유지 관리에서 발생하는 환경 부하의 저감에도 기여한다.

더욱이 폐 발전 등으로 회수되는 열에너지는 20%정도가 한도인데 비하여, 시멘트 킬른에서의 열회수 효율은 70% 이상으로 높기 때문에, 사회 전체에서의 에너지 절약에 많은 공헌을 하게 된다. 현재의 폐기물 처리 방법(또는 리사이클 방법)별 평균적인 환경 부하 데이터는 명확하게 밝혀지고 있지 않으나, 장래에 이것들이 밝혀진 시점에서, LCA적 관점으로 평가하게 되면, 시멘트 산업에서의 폐기물 이용에 의한 온실 효과 가스 삭감 양에 대해서는 그 공헌을 인정 받게 될 것이다.

3. 신기술 연구과제 내용

3.1 친환경 시멘트 (Green cement, Eco cement, Neutral cement) 개발

Green cement는 2012년까지 “환경부하율 50% 감축과 시멘트 톤당 500kg의 자원재활용”을 목표로 실용화가

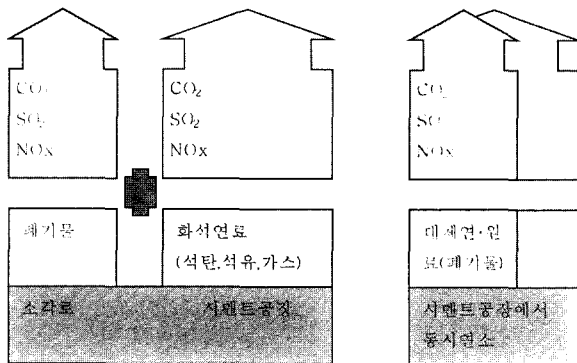


Fig. 6. 시멘트 공장에서 폐기물 재활용시 환경부하를 감소 효과 개념도

추진 중에 있는 친환경적인 차세대 시멘트이다. 즉, 시멘트공장에서 발생하는 환경부하와 소각로에서 폐기물의 처리 시 발생하는 환경부하를 시멘트 공장에서 동시 연소하여 감축하자는 개념이다.

Eco cement는 도시 쓰레기 소각재, 하수 오니 등의 폐기물 약 45~50% 정도에 석회석 등의 천연 원료 50~55%를 보충하여 1350°C 정도의 고온에서 소성한 클링커에 석고를 첨가한 시멘트이다. 이것은 일본의 태평양 시멘트사에서 개발한 기술이며, 2000년에 일본 치바현에 년산 11만톤 규모의 실용 플랜트가 가동 중에 있다.

Neutral cement는 시멘트에 악영향을 주는 알칼리 성분의 영향을 중화시켜서 고알칼리 석회석을 시멘트 원료로 활용할 수 있도록 하는 시멘트로서 석회석 자원의

획기적인 활용방안을 제시할 수 있는 시멘트이다.

3.2 시멘트공장 중심의 자원순환형 시스템 구축

해의 시멘트 산업에서의 폐기물 재활용은 1970년대부터 유럽과 미국을 중심으로 시작되었으며 일본도 초기에는 국내 시멘트 업계와 마찬가지로 제철소의 고로 슬래그 등을 중심으로 다양한 산업계 부산물 및 폐기물을 재활용 하였다. 1990년대에는, 서로 다른 산업간에 부산물 및 폐기물을 원료와 연료로서 재활용하여 산업계 전체적인 면에서 폐기물의 발생을 극소화 하고자 하는 '산업의 재편성' 과 지역사회에서 발생하는 생활계 폐기물을 자원화 하는 '지역사회와의 공생' 을 키워드로 Fig. 10에 개념적으로 나타낸 자원순환형 사회를 만들고 궁극적으로는 제로에미션(Zero Emission) 사회를 구축하고자 시멘트 산업을 '지구환경보전에 공헌하는 산업' 으로서 그 역할을 재설정하여 「지구온난화 방지」, 「천연자원의 보존」, 「매립장의 수명연장」 등의 과제를 해결하고자 노력하고 있다.

· 생활 폐기물의 시멘트 자원화 기술 개발

소각전의 생활계 쓰레기는 음식물, 종이, 폐플라스틱 등이 포함되어 있으며 이를 킬른에 투입하여 발효기술을 이용, 처리하여 시멘트 원료로서 사용하는 것이다. 이 기술은 유럽의 퇴비화 시설을 응용한 것으로 호기성

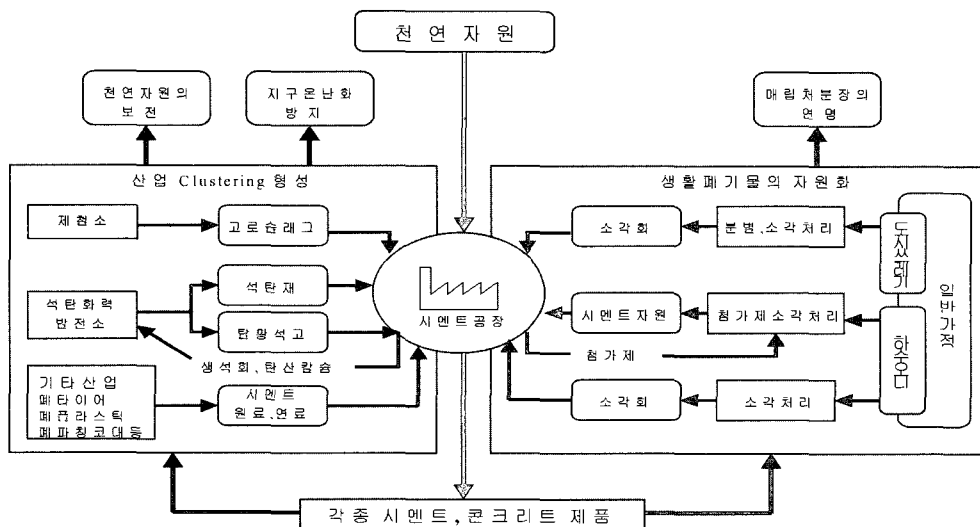


Fig. 7. 시멘트 공장을 중심으로 한 자원 순환형 시스템의 예시.

발효에 의해 폐기물 중의 탄수화물과 단백질을 분해시키고 다음에 셀룰로우스 등의 난분해 성분을 3일 정도 분해시키면, 폐기물 중의 유기물은 거의 완전히 분해되고 분해 중에 발생한 가스는 인접 시멘트 킬른의 연소공기를 사용하여 탈취 처리하므로 악취 발생이 없고 취급이 용이해 지며 처리된 후 시멘트의 연·원료로 사용된다.

· 가연성 폐기물의 시멘트 소성용 연료 사용기술 개발
 시멘트 킬른에서의 가연성 폐기물 처리에 따른 장점은 연소온도가 1200~1800°C 정도로 높고 체류시간이 길어 완전연소가 가능하며, 연소 후 남는 잔류물은 클링커의 원료로서 사용되며 또한 에너지의 효율이 높다는 것이다. 이러한 장점 때문에 페타이어, 폐유, 폐플라스틱 등의 가연성 폐기물이 처리되고 있다. 그러나 폐플라스틱 중에는 PVC등 염소함량이 많이 포함되어 있어서 시멘트 연료로 적용하는데 많은 제약이 있다. 따라서 일본 등 외국에서는 염소함량이 많은 폐기물을 확대적용하기 위해서 염소 by-pass 설비 개발 및 유동층 연소로, 가스화 연소설비 등 가연성 폐기물을 확대적용 하기위한 다양한 기술을 개발하고 있다.

3.3 기능성 무기도료의 개발

알칼리 실리케이트를 바인더로 한 내구성, 내오염성, 내수성 등이 우수한 친환경 무기질 페인트로서, 건축물의 옥내외 마감용 페인트, 얇은 벽 바름재로 적용이 시도되고 있다. 사용되는 원료는 칼슘 실리케이트, 수경성 물질, 소듐 실리케이트, 포타슘 실리케이트, 리튬 실리케이트, 실리카졸 외 나노 세라믹 알칼리 실리케이트류가 있다. 국내 시장규모는 600억원(순수 자재시장, 아크릴계의 벽바름재 시장 포함)으로 추정되며, 독일의 경우 건축용 도료시장의 약 30% 점유하고 있으며, 일본의 경우 TOTO, 일본RCG 등 내오염 외벽마감재로 제품 출시, 시장반응이 매우 좋다. 따라서 친환경 페인트 시장이 커짐에 따라 국내 시장이 활성화될 것으로 전망된다.

3.4 콘크리트의 고기능화 기술개발

도심화에 따라 대기 오염, 수질 오염 등 여러 가지 문

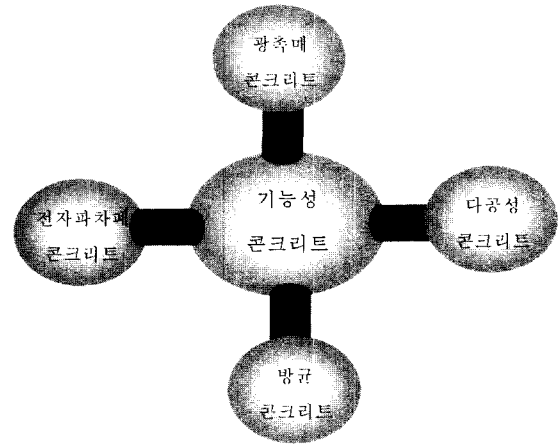


Fig. 8. 기능성 콘크리트의 개발 개념도

제점이 발생되고, 사회 간접 자본으로 콘크리트 구조물도 새로운 기능성을 부여하여, 우리 생활의 여러 가지 문제점을 해결하려는 시도가 이루어지고 있다. 이들의 특징은 새로운 재료의 도입으로 고성능 콘크리트는 물리적 성질을 위주로 하는 반면, 기능성 콘크리트 주로 화학적 성질을 이용하는 예가 많다. Fig. 8에 최근 각광 받고 있는 콘크리트 고기능성 예를 나타내었다.

3.5 기능성 재활용 소재 개발

재활용 소재에서는 건설폐기물 중 철근 및 골재가 일부 재활용 되고 있으며, 폐수지, 폐유리 등은 재활용 방안이 연구되고 있지만, 경제성이 없어 실용화되고 있지 못하고 있고, 기타 폐기물에서 유가 금속의 회수방법이 연구되고 있다. 또한 선진국에서는 기능성 시멘트를 이용하여 저·중준위 방사성의 차폐 및 산업폐기물의 고화 처리방법을 연구 중에 있으며, 이는 사회적으로 문제화 되고있는 방사성 폐기물 및 산업폐기물의 안정처리에 기여할 것으로 전망된다.

4. 맺음말

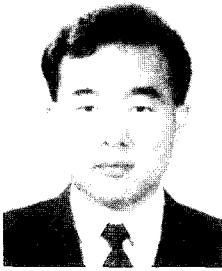
「지속 가능한 사회의 발전」을 위해서는 환경과 인간이 조화가 되는 건강한 순환형 사회의 건설이 필수적이다. 최근에 일본 등 외국에서는 자원 재활용에 있어서 시멘트산업의 역할이 부각되고 있으며, 폐기물의 특성을 최대한 활용하는 재활용 소재 및 쾌적한 환경을 중시하는 기

능성 환경소재에 대한 기술개발과 사회적 관심이 증가하고 있다.

자원을 순환적으로 이용하는 경제사회 시스템으로서 원활하게 작동하기 위해서는 재활용 소재와 기능성 환경소재와 같은 「정맥산업」의 기술개발과 고도화를 추진하는 동시에 물건을 제조하는 관점에서 순환의 관점으로 바꾸어서, 재활용이 용이한 제품의 설계와 폐기물이 발생하지 않는 공정설계 및 시멘트 산업과 같은 동맥산업의 green화를 추진하여, 자원생산성 향상을 도모해 나가야 할 것이다.

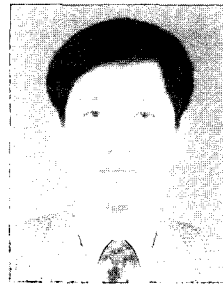
참고 문헌

1. D.M. Queen, "US demand; 2004 & beyond", International Cement Review, pp. 27-32. (2004).
2. 미국 포틀랜드 시멘트 협회 (PCA), www.cement.org
3. 일본 시멘트 협회, www.jcassoc.or.jp/Jca/Image/Uj_03_011.pdf.
4. Takahasi Shimoda, "A Mature Industry's Innovation Towards Industrial Ecology", 태평양시멘트 연구보고 143, pp. 5-15. (2002).
5. F. Willitsch, "Use and preparation of Alternative Fuels for the Cement Industry" Cement Plant Environment Handbook, International Cement Review 151-7 (2003).



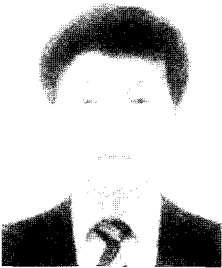
권 우택

- 아주대학교 화학공학과 (학사)
- 한양대학교 화학공학과 (석사)
- 한양대학교 화학공학과 박사과정중
- 현재 요업기술원 세라믹·건재본부 선임연구원



김 수룡

- 한양대학교 요업공학과 공학사
- 서울대학교 무기재료공학과 (석사, 박사)
- 현재 요업기술원 세라믹·건재본부 책임연구원



김 병익

- 한양대학교 요업공학과 (학사)
- 한양대학교 무기재료공학과 (석사, 박사)
- 현재 요업기술원 세라믹·건재본부 부부장