

# 해외 시멘트 콘크리트 산업의 최근 동향 및 향후 전망

이 광 명 (성균관대학교 토목환경공학과 교수)

김 병 기 (경기화학공업 연구개발센터 혼화재료팀장)

## 1. 서 론

21세기에 접어들면서 IT, BT, NT 등 첨단 산업은 하루가 다르게 발전하고 있으며, 이러한 추세에 맞추어 시멘트 산업에서도 많은 변화가 진행되고 있다. 특히 국제적인 장기 불황은 시멘트 산업의 구조 및 개발 추세에 변화의 바람을 불어왔다. 특히 일본의 경우 시멘트 회사들의 합병으로 거대한 기업들이 탄생하게 되었으며, 스미모토 오사카, 태평양(찌찌부+오노다+일본시멘트社), 우베 미쯔비시 등이 대표적이다. 또한 서구 시멘트 회사의 대표적인 라파즈 시멘트 또한 활발하게 아시아 시멘트 시장에 진출하여 이제는 지역적이고 협소한 시멘트 회사의 존재는 사라지게 되었으며, 특히 기존의 포틀랜드 시멘트의 단순 생산 뿐만이 아닌 사업의 다각화로 인한 고부가가치화, 친환경적인 사업으로의 변화를 시도하고 있다. 특히 사업의 다각화 측면에서 다양한 종류의 특수시멘트 개발, 폐기물 처리, 재자원화 사업 등이 가장 활성화 되고 있다. 특히 환경 친화형 시멘트, 내구성이 뛰어난 시멘트, 지능형 시멘트의 개발을 통해 새로운 수요를 창출하고자 노력하고 있다.

전세계에서 콘크리트 관련 기술의 변천사를 살펴보면 콘크리트용 화학 혼화제의 기술 발전이 콘크리트의 발전과 밀접한 관계에 있음을 확인할 수 있다. 공기연행제, 고성능 감수제, 증점제 그리고 방청제에 이르기까지 수많은 혼화제의 출현으로 콘크리트

의 기술이 비약적으로 발전해 온 것이 사실이다. 아울러 플라이 애쉬, 고로 슬래그, 실리카 폼과 같은 혼화제가 시멘트 대체재로 사용되면서 콘크리트의 고강도화, 내구성 증진, 수화열 감소 등의 효과를 얻을 수 있었다.

최근 토목, 건축분야 구조물의 고층화, 대형화 등이 진행되면서 콘크리트의 고성능화는 나날이 증가되고 있는 추세이다. 이러한 콘크리트의 고성능화는 콘크리트 재료인 시멘트, 혼화 재료의 특성을 고려하여 다각적으로 연구되고 있으며 최근 고강도, 고내구성, 고유동의 성질을 모두 갖는 고성능 콘크리트의 개발 및 실용화가 활발히 이루어지고 있다. 본고에서는 해외 시멘트, 콘크리트 산업의 최근 동향과 전망에 대하여 시멘트, 혼화 재료, 콘크리트편으로 나누어 기술하였다.

## 2. 시 멘 트

해외 시멘트 업계에서는 오염물질 무배출 및 자원 재활용을 목표로 제로 에미션(Zero Emission)사업 및 환경사업을 적극적으로 진행하고 있으며, 또한 고부가가치의 특수소재 및 혼화제 시장의 확대를 추진하고 있는 추세이다. 또한 폐기물을 이용한 에코시멘트, 고기능성 시멘트, 강도와 내구성이 뛰어난 시멘트의 개발을 시도하고 있다.

에코시멘트는 생태환경(Ecology)과 시멘트의 합성어로서 최근 사회문제화 되고 있는 도시 쓰레기나

하수 슬러지 등을 주원료로 하여 일본에서 만든 수경성 시멘트의 일종이다. 에코 시멘트는 일반적인 폐생산물을 최종 처분하는데 그치지 않고 환경적으로 안전한 새로운 토목 건축 자재용 시멘트 개발시 제조 원료로 사용할 수 있도록 재자원화한 것이기 때문에 환경과 자원 활용의 양쪽 측면에서 의미가 크다. 특히 일본에서는 정부주도의 일본 통산성 NEDO 과제(1993년~1996년) 연구를 시작하여 이미 실증 플랜트를 가동하여 생산하고 있으며, 최근에는 이러한 것들을 규격화(JIS)시켜 사용을 확대하고 있다. 그러나 아직까지는 소비자 의식에 의한 판매의 한계가 있는 실정이며, 향후 정부주도의 많은 홍보도 필요한 것으로 보여진다.

환경친화력을 갖춘 고기능성 시멘트 제조에도 많은 연구가 진행되고 있는데 기존 포틀랜드 시멘트에 비해 제조 온도가 낮고, 석회석 사용량도 비교적 적은 벨라이트( $2CaO \cdot SiO_2$ )계 시멘트를 개발하여 수화열을 낮추며, 석회석 사용을 줄이므로써 석회석 자원절감 및  $CO_2$  발생량 절감 효과를 기대하고 있다. 이러한 환경친화적 시멘트는 시멘트 조성시 산업부산물인 고로수쇄슬래그 및 플라이 애쉬 등을 적극적으로 활용함으로써 부산물 공해를 막으며 동시에 이를 자원화함으로써 폐자원을 유용하게 활용하는 한편 시멘트 재료의 특성화를 시켜 고부가가치화시킬 수 있다. 또한 이러한 보통 포틀랜드 시멘트의 성분 중  $SiO_2$ 가 적고  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SO_3$  성분을 증가시켜  $C_4A_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_4AF$ 와 같은 시멘트 크링카 광물을 합성하여 시멘트 콘크리트 경화시 발생하는 수축이나 균열을 억제할 수 있는 팽창재도 개발되고 있다.

그외에도 미국 노스웨스턴 대학의 ACBM에서 연구된 MDF(기존 강도의 100배 이상 발현)시멘트는 일반 시멘트 경화체와는 달리 치밀한 미세구조를 가짐으로써 새로운 신소재로 부각되고 있다. 이러한 강도 증진 메커니즘은 수용성 폴리머 겔을 사용하여 시멘트 경화체 중에 존재하는 큰 기공들을 충전함으로써 얻을 수 있으며, 일반적인 시멘트 제조공정이

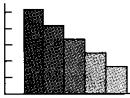
고온의 것에 비하여 저온에서 수화반응에 의하여 치밀한 구조를 만들 수 있는 장점이 있다. 이러한 제품의 용도로는 일반 시멘트로서 사용되고 있는 건축, 토목분야의 기능을 넘어서 스포링, 엔지니어링, 자동차 부품 등 각종 구조재료로서도 가능하며 시멘트 분야에 있어서도 새로운 고부가가치를 창출해 낼 수 있을 것으로 기대된다.

### 3. 혼화 재료

#### 가. 고성능 감수제

고강도 콘크리트와 고유동 콘크리트의 제조에 사용되는 고성능 감수제는 1960년대 일본에서 나프탈렌술폰산 포르말린 축합물(NSF 또는 PNS)과 독일에서 텔라민술폰산 포르말린 축합물(MSF 혹은 PMS)을 이용하여 각각 개발되었다. 이 혼화제는 첨가율이 0.5~3.0%로 높게 사용될 수 있고, 응결의 과다한 지연이나 공기를 과잉으로 연행시키는 부작용이 적을 뿐만 아니라 감수율이 20% 이상으로 리그닌계 AE 감수제의 두배 이상이 되어 고성능 감수제라 불리게 되었다.

PNS 및 PMS계 고성능 감수제는 초기의 유동성은 쉽게 확보할 수 있으나 시간이 지날수록 콘크리트의 유동성이 저하(슬럼프 로스)하는 문제를 안고 있었다. 이러한 슬럼프 로스 문제를 해결하기 위해 전세계적으로 많은 연구자들이 세가지의 방향으로 연구를 수행해 오고 있는데, 첫째는 PNS나 PMS의 화학적 구조를 변화시키는 방법, 둘째는 슬럼프 로스를 줄이는 화학 첨가제를 투여하는 방법, 셋째는 감수 성능 및 유동성 유지 성능이 기존의 PNS 및 PMS계 고성능 감수제에 비해 우수한 PC(Polycarboxylate)계 고성능 감수제의 개발이다. 일본에서는 1997년부터 콘크리트의 단위 수량 규정이 강화되면서 PC계 고성능 감수제에 대한 수요가 획기적으로 늘어났으며, 1999년부터는 일본 레미콘 조합에서 슬럼프 18cm 이상이면서 30MPa 이상의 콘



크리트에는 PC계 고성능 감수제를 의무적으로 사용하도록 규정하였다. 향후 국내외적으로 PC계 고성능 감수제의 수요가 점차 증가할 것으로 보여진다.

### 나. 방청제

자연산 골재의 고갈로 인하여 철근 콘크리트의 제조에도 강모래를 대신하여 해사를 사용하는 경우가 많기 때문에 이로 인한 철근의 부식이 발생할 수 있다. 방청제는 콘크리트에 사용된 철근의 부식을 지연시키거나 방청을 목적으로 사용되는 혼화제로서 부식 방지제(Migrating Corrosion Inhibitor)라고도 한다. 방청제로 아질산 칼슘이 널리 사용되고 있으며, 아질산염 나트륨도 방청제로 사용될 수 있으나 알칼리-골재 반응을 촉진시킬 수 있다고 알려져 있다. 그외에 방청제로 산화아연(ZnO), 소디움몰리브데이트(Na-Molybdate), 테트라메틸 포스포니움 아질산염(Tetramethyl Phosphonium Nitrite) 등이 사용되고 있다. 최근에는 유기계인 아미노카르복실레이트계(Amino-Carboxylate) 방청제가 개발되었다.

### 다. 증점제

증점제는 콘크리트의 점성을 증가시켜 콘크리트 중의 골재가 페이스트로부터 침전이나 분리되는 현상을 줄여주는 화학 혼화제이다. 이 혼화제는 사용 목적에 따라 수중 불분리 콘크리트에 사용될 경우에는 수중 불분리성 혼화제(Antiwashout Admixture)로 불리기도 하고, 고유동 콘크리트 혹은 자기 충전 콘크리트의 분리 저감을 목적으로 사용할 경우에는 분리 저감제(Anti-Segregating Admixture)로 불리기도 한다. 증점제의 종류로는 메틸 셀룰로즈, 하이드록시 에틸셀룰로즈, 하이드록시 프로필 셀룰로즈 등의 셀룰로즈계, 폴리 아크릴 아미드계 고분자, 웰란검, 커들란 등의 폴리스카라이드계의 바이오 고분자 등이 있다.

증점제의 대부분은 분말 형태로 시판되기 때문에 콘크리트 제조시에 증점제의 투입을 위해 별도의 저장 설비가 필요하거나 백타입의 제품을 사람이 직접 손으로 투입해야 되는 등의 불편함이 있다. 최근에 이러한 단점을 보완하고자 일본의 K사에서는 수용해성 증점제를 개발하였다고 보고한 바 있다.

### 라. 메타카올린

최근 새로운 혼화제로 관심의 대상이 되고 있는 것이 카올린족 광물인 메타카올린(Metakaolin)이다. 메타카올린이란 균질하게 성분 조합한 카올린(Kaolin)을 특수한 전처리를 거친 후 이를 소정의 조건으로 소성하여 활성화시킨 다음 일정한 입도도 미분화한 것으로서 시멘트의 혼화 재료로 약 10% 전후를 시멘트에 혼합 사용함으로써 콘크리트의 각종 물성을 현저하게 개선시키는 효과가 있다고 보고되고 있다. 또한 단기적으로 에트링가이트(Ettringite)의 생성과, 시멘트 중의 주요 광물인 알라이트(Alite)의 활성화로 인한 반응속도의 증가로 초기강도를 증가시키고 중장기적으로는 시멘트의 수산화 칼슘과의 포졸란 반응으로 콘크리트조직이 치밀화되어 강도 및 내구성을 향상시키며 특히 고강도용 콘크리트에 큰 효과를 발휘한다. 이러한 메타카올린은 미국, 프랑스, 일본 등 선진국에서는 이미 상품화되어 고강도 콘크리트 제조시 사용하는 실리카 폼의 대체제 및 콘크리트의 물성 개선용으로 널리 사용되고 있는 추세이다.

## 4. 고성능 콘크리트

### 가. 고유동 콘크리트

고유동 콘크리트(Self-Compacting Concrete, SCC)는 바이브레이션 작업을 필요로 하지 않고 완전히 콘크리트 자중으로 거푸집의 모든 부분에 충전될 수 있으며, 높은 유동성에도 불구하고 굵은 골재

가 전혀 분리되지 않는 콘크리트이다. 이러한 SCC는 콘크리트의 우수한 자기 충전성을 통한 작업성의 향상, 노동력 절감의 실현, 우수한 내구성 등의 효과가 있다.

1989년 동경대학 Okamura 교수와 연구진들은 고성능 감수제와 고로슬래그 미분말 및 플라이 애쉬를 사용하여 최초의 SCC를 개발하였으며, 이후 콘크리트의 유동성이 저하되지 않는 범위내에서 단위수량이나 물/시멘트비를 줄이기 위한 연구 뿐만 아니라 밀실한 콘크리트를 통해 고성능을 발휘하는 것에 목표를 두고 구조물내에서 콘크리트의 자기충진성에 주안점을 둔 연구가 진행되어 오늘날 많은 구조물에 SCC가 사용되게 되었다. SCC와 OPC 사이의 단위가격 차이가 얼마 안되기 때문에 향후 SCC가 표준 콘크리트로서 사용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

## 나. 고강도 콘크리트

1975년 미국에서 74층의 Water Tower Place에 압축강도  $630\text{kgf/cm}^2$ 인 고강도 콘크리트를 사용한 이래로 전세계적으로 고강도 콘크리트의 사용이 일반화되고 있으며,  $800\text{kgf/cm}^2$ 이 넘는 초고강도를 사용한 사례도 다수 있다. 고강도 콘크리트를 사용한 건축물로는 시애틀의 Two Union Square의 합성기둥에  $1,300\text{kgf/cm}^2$ 의 콘크리트가 사용되었고, 말레이시아의 페트로나스 타워의 기둥강도는  $800\text{kgf/cm}^2$ 이었으며, 교량에는 건축물보다는 다소 낮은  $600 \sim 700\text{kgf/cm}^2$ 의 고강도 콘크리트가 사용되고 있다.

최근 압축강도가  $1,500\text{kgf/cm}^2$ 이 넘는 콘크리트가 개발되어 실용화되고 있으며 그중 반응성 분말 콘크리트(Reactive Powder Concrete, RPC)는 슬럼프 플로우 200mm 이상에서 일반 양생의 경우 28일 압축강도가 약  $2,000\text{kgf/cm}^2$ 를 발현하며,  $90^\circ\text{C}$ 에서 2일간 양생한 경우 3일 강도가 무려  $2,400\text{kgf/cm}^2$ 까지 발현하는 초고강도 콘크리트이다. 현

재 RPC를 실용화하여 토목 및 건축 구조물에 적용을 시도하여 성공적으로 결과를 얻은 바 있는데 그중 대표적인 예로서 캐나다 Sherbrooke 인도교 및 Monaco의 기차역, 한강의 선유 인도교가 있다. 향후 이러한 초고강도 콘크리트 구조물이 계속적으로 증가되리라 보여지며, 차세대 콘크리트로서의 가능성이 상당히 높다고 알려져 있다.

## 다. 고내구성 콘크리트

미국 및 세계 각국에서는 1980년대부터 콘크리트의 내구성에 대한 문제가 중요한 이슈가 되어 왔으며, 플라이 애쉬, 고로 슬래그, 실리카 폼 등의 포졸란과 AE제, 고성능 감수제 등을 사용하여 내구성이 우수한 콘크리트를 개발하여 다수의 해저 터널, 해상 교량 등에 적용해 오고 있다. 1990년대에 덴마크와 캐나다에서는 오랜 기간 동안 연구 개발을 통해 극심한 해양 환경하에 처해 있는 Great Belt Link와 Confederation Bridge를 성공적으로 건설한 바 있다.

EU 국가의 12개 기관이 산학협동으로 참여하여 1996~2000년까지 5년 동안 수행한 DuraCrete 프로젝트에서는 신뢰성 이론을 이용한 내구성 설계방법을 제안하였으며, 미국 콘크리트학회의 수명평가 위원회에서는 Life365라는 염해에 근거한 콘크리트 구조물의 수명평가 프로그램을 개발하여 실제 교량 건설에 적용한 바 있다. 일본에서는 건축학회에서 고내구성 콘크리트조 설계시공지침을 발간하였고, 토목학회의 콘크리트 표준시방서에 내구성에 관한 규정을 포함시켜 콘크리트 구조물의 수명을 증진시키고자 노력하고 있다.

콘크리트 구조물의 내구성 확보 즉 수명 증진을 위해서는 고내구성 콘크리트의 개발 및 적용, 내구성 설계기준 정립, 공용중인 구조물의 열화도 평가 등을 비롯하여 아직도 해결해야 할 과제가 많이 남아 있으며, 이를 위해 세계 각국에서는 폭넓은 연구와 조사가 수행되고 있다.

## 5. 맺음 말

해외 시멘트 업계에서 향후 2010년까지 전략적으로 추진하는 과제로는 CO<sub>2</sub> 발생량 저감, 에너지 효율성 증대, 오염 물질 무배출, 제품의 규격화, 자원 재활용 등으로 지구 환경보존이 주관심사임을 알 수 있다.

또한 콘크리트의 경쟁력 강화를 위해서는 내구성을 증시킨 시멘트의 개발 및 보급이 중요한 과제이다. 그외 다양한 용도에 응용될 수 있는 특수 시멘트 및 혼합 시멘트 등의 제품 개발을 통해 새로운

수요를 창출하여야 할 것이다.

21C 콘크리트의 타건설재료에 대한 우월성을 확보하기 위해서는 혁신적인 콘크리트 기술의 개발을 필요로 한다. 해외에서는 내구성 콘크리트, 유동성 콘크리트, 초고강도 콘크리트와 같은 고성능 콘크리트에 대한 연구 개발 및 실용화가 광범위하게 진행되고 있으며, 인공 포졸란, 재생 골재 등의 자원 재활용에 대한 관심이 고조되고 있다.

결론적으로 미래의 콘크리트는 강도와 시공성이 우수하면서도 수명이 길고 환경 친화적으로 발전될 것이다. ▲

## 시사 용어 해설

### ▶ 상계관세

상계관세(Countervailing Duty)란 국내 산업의 경쟁력을 유지하기 위한 차별관세의 일종으로 수출국 정부가 지급한 보조금을 상쇄하기 위해 수입국이 수입품에 부과하는 특별관세를 말한다.

상계관세는 상쇄관세로도 불리며 일반 관세와 마찬가지로 수입품의 국내 가격을 적정 수준으로 유지해 동종 제품의 국내 생산을 증가시키고 수입품 소비를 감소시킴으로써 과다 수입을 막자는 것이 기본 취지다. 즉 수출국이 특정 수출산업에 대해 장려금이나 보조금을 지급, 수출상품의 가격경쟁력을 높일 경우 수입국이 외국정부의 부당한 보조금에 상응하는 관세를 부과함으로써 공정 무역을 지향한다는 것이다. 이 경우 부과금액은 기본관세 외에 해당상품에 지급되는 장려금이나 보조금만큼이 더해져 산정된다. 또 차별관세의 부과요건은 △외국에서 생산 및 수출에 직·간접적으로 장려금·보조금을 받는 수입품 △이러한 수입품에 의해 국내 산업이 저해되거나 저해될 우려가 있는 경우 등이다. 관세 및 무역에 관한 일반협정(GATT) 제6조와 세계무역기구(WTO)의 보조금 및 상계조치에 관한 협정은 상계관세 부과에 대한 내용을 담고 있으나 보조금 지급이 수입국의 기존 국내 산업에 피해를 주거나 줄 우려가 있는 경우에만 발동하도록 규정하고 있다. 그러나 현실적으로 상계관세 규정이 당초 취지와는 달리 보호무역의 정책수단으로 남용될 소지가 크다는 지적이 일고 있다. 한국산 D램을 제조한 미국 마이크론테크놀로지의 경우 하이닉스가 채권단의 출자전환 및 부채탕감 등 실질적인 보조금 지원을 통해 제품을 수출, 자국 산업에 피해를 준 만큼 그에 해당하는 관세를 매겨야 한다고 주장하고 있다.