

탄소저감형 시멘트 기술동향

CO₂ Reduction Cement Technologies조재우*
Jaewoo Cho

1. 서론

시멘트 산업은 철강·석유화학 등과 함께 대표적인 국가 기간 산업의 하나인 건축·토목산업에 있어서 필수 불가결한 기초 소재 산업 중의 하나이다. 또한 시멘트 산업은 지난 1세기 동안 산업화와 도시화를 이끌어 오면서 현대화에 크게 이바지해온 산업이지만 한편으로는 자원고갈, 지구온난화, 대기환경 오염 등의 환경문제가 전 세계적인 관심사가 되고 있는 것도 사실이다.

최근 지구온난화와 관련하여 온실가스 배출량을 보면 전 세계적으로 시멘트 산업의 이산화탄소 배출량이 총배출량의 5%에 해당하고, 우리나라의 경우 온실가스 배출량이 3,900만톤(산업 부문 총배출량의 18.9%, 2004년 기준)으로 전체 배출량의 8% 정도를 차지하고 있다. 또한 에너지 소비량은 3,878천TOE (Tonnage of Oil Equivalent)로서 제조업부문 총배출량의 4.8%(2004년 기준)를 차지하고 있다. 이와 같이 시멘트 산업은 철강 및 석유화학산업과 함께 우리나라의 대표적인 에너지 다소비 산업에 해당된다. 에너지 다소비 산업에 대한 그동안의 지속적인 에너지 절약정책 추진결과 에너지 다소비산업의 에너지 효율은 높은 수준에 이르고 있으나 이러한 노력에도 불구하고 향후 우리나라가 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 의한 온실가스 감축의무를 이행해야 할 것으로 예상된다. 이에 따라 우리나라에서도 올해(2011년 7월 12일) 각 산업별 온실가스 저감량을 설정하여 발표하였으며, 시멘트 산업에서는 2020년 BAU 대비 8.5%의 감축목표를 제시받았다.

본 고에서는 이와 관련하여 현재 선진국에서의 온실가스 저감 방안에 대해 살펴보고 국내에서의 온실가스 저감 방안 및 향후 전망에 대해 알아보려 한다.

* 정희원, 한국건설생활환경시험연구원 연구개발단 선행기술팀 책임연구원
Jwcho@kcl.re.kr

2. 시멘트 제조과정

시멘트는 주 원료인 석회석과 기타 점토질 광물 등을 혼합 분쇄하여 1,450°C 이상의 고온에서 소성시켜 제조한다. 석회질 원료와 점토질 원료를 분쇄 혼합하여 킬른에서 소성해서 단단한 과상의 클링커를 만들고 냉각된 클링커를 석고(CaSO₄·2H₂O)와 혼합 분쇄하면 시멘트가 만들어진다. 시멘트 제조공정은 크게 원료공정, 소성공정, 마무리공정의 3개 공정으로 나누어지며, 다시 세분화하면 15개의 세부공정으로 세분화될 수 있다.

원료공정은 석회석을 채광하고 분쇄된 석회석과 부원료를 혼합, 분쇄, 건조하며 이때 투입되는 에너지는 분쇄용 전력이 대부분을 차지한다. 소성공정은 시멘트 생산과정에서 시멘트의 품질을 결정짓는 가장 중요한 과정으로서 저장사일로에서 인출되어 연속적으로 공급되는 원료는 예열과정을 거쳐 킬른에서 1,450°C의 고온상태의 소성과정을 거치게 되며 냉각기에 의해 급속 냉각된다. 즉 소성공정은 분쇄된 원료를 킬른에 투입하여 1,450°C 전후의 열을 가해 화학반응을 거쳐 반응용상태의 클링커를 제조한 후 이를 냉각기에 보내 200°C 정도까지 급냉시키는 공정이다. 시멘트 제조시 사용되는 에너지의 대부분이 소성공정에서 사용되고 있으며, 온실가스 배출 또한 소성공정에서 석회석의 탈탄산 및 소성용 연료의 연소에 기인하는 것이 90%를 차지하고 있다. 마무리 공정은 냉각된 클링커를 석고 및 부재료를 5% 정도 첨가하여 시멘트 분쇄기에서 분쇄하여 최종 생산품인 시멘트로 만들어지는 공정이다. 마무리 공정에서는 주로 전력이 사용되고 있다.

에너지 대량 소비형 산업인 시멘트 산업에서는 에너지 원가 절감의 관점에서 이전부터 에너지 효율 향상을 위한 대처를 해 오고 있었다. 시멘트 산업에서는 이미 CO₂ 배출량이 많은 소성공정에서 구식설비인 레폴킬른, 보일러가 딸린 킬른을 폐기하고 NSP·SP 킬른으로의 전환을 통하여 배기열원을 이용하거나 열효율을 향상시키고 있다. 나아가서 폐타이어, 폐유 등의 에너지 대체 폐기물을 이용한 에너지 소비량 저감 등의 대처나 킬른

버너의 개량, 고효율 클링커 냉각기의 도입·분쇄공정에 있어서의 에너지 절약 등을 진행해 왔기 때문에 이후의 설비투자 에너지·원료 대체 폐기물의 적극적인 이용에 CO₂ 배출량의 대폭적인 저감은 어려운 상황이 되어있다<그림 1>.

3. 선진국에서의 온실가스 저감방안

시멘트 산업은 최초 투자비용과 비교하여 자본 회수기간이 긴 대규모 장치산업이며, 물류비 비중이 큰 대표적인 내수산업이다. 또한 대량 생산으로 규모의 경제실현이 가능하고, 각 제조사별 품질수준 및 설비가 거의 평준화 되었다고 말할 수 있다. 이에 따라 시멘트의 대부분을 차지하고 있는 1종 보통 포틀랜드시멘트의 품질 차별화가 어려워 비가격 면에서의 경쟁력 확보가 어렵다는 단점도 갖는다.

APP 시멘트 TF 의장국인 일본은 APP 활동을 통해 시멘트 산업에서의 에너지 절감 및 자원 절약기술을 정리하여 배포하였다. 이 문서에 수록된 기술은 이미 상업화되어 판매하고 있는 기술들로 각 기업별 상황 및 경제성 여부에 따라 도입 여부가 결정될 수 있을 것이다. 이러한 에너지 절감 기술은 독일, 프랑스 등 유럽 국가들이 원천 기술을 보유하고 있는 경우가 많으며, 일부는 일본이 강세를 보이고 있다. 이에 따라 국내 시멘트 제조시설의 많은 부분이 유럽이나 일본 모델을 도입하여 운영하고 있는 실정이다.

- (1) 일부 시멘트사들은 기존 설비와 비교하여 우수한 설비(고효율 설비) 등을 보유하고 있으며, 이중 Lafarge사의 버너설비/운영기술 및 FL Smith사(SF Cross-Bar Cooler 등 → 약 20 kcal/kg · 클링커의 에너지 저감 추정)의 냉각기 등은 고효율 설비의 예라 할 수 있을 것이다. SF Cross Bar Cooler의 장점(regulator의 부착

에 의한 장점)으로는 기존 grate cooler보다 높은 에너지 효율, 높은 온도의 2차 및 3차 공기, 전력 소모량의 감소, 냉각기 수명의 연장, cooler 하부로의 클링커 낙하 방지 및 손쉬운 운전 및 운영을 들 수 있다. 일부의 연구자들은 grate cooler(IKN, CIS type)보다 약 20 kcal/kg · 클링커의 에너지 저감을 추정하고 있기도 하다.

- (2) 미국 등의 선진국에서 적극적으로 활용하는 기술 중의 하나는 EMC(energetically modified mechanism)를 도입한 산업부산물(슬래그, 플라이 애쉬 등) 분쇄기술이다. 이는 좀 더 새로운 분쇄기법(crack, dislocation 발생 등)을 적용하여 슬래그 및 플라이 애쉬를 분쇄하고, 이를 새로운 기술을 활용한 혼합재로 사용하는 것이다. 미국의 EMC라는 업체에서는 텍사스에 공장(Texas EMC Products, Inc.)을 세워 ‘CemPozz-EMC Highly Reactive Pozzolan’이라는 상품명으로 제품을 판매하고 있다. 이 제품의 사용에 따라 동일 배합비 조건에서 1일 재령 압축강도 값이 약 250% 수준으로 향상되었다고 발표하고 있다. 또한 혼합재 함량을 최대 70%까지 사용한다 하더라도 OPC와 동등의 압축강도 특성을 발현한다고 보고하고 있다. 특히 세계적 시멘트 규격(EN 197-1: Cement-Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements)에 따르면 혼합재 함량을 최대 95%까지 혼합하도록 하여 시멘트 사용량을 감소시키는 추세이기도 하며 이에 대한 대응이 필요한 시점이기도 하다. <그림 2>는 EMC의 제조 공정 모식도로 이노베이션 트리트먼트(분쇄 메커니즘 개발에 따른 혁신적 처리방법)에 의한 혼합재 처리 후 레미콘에서 혼합하는 모식도를 나타낸 것이다.
- (3) 또한 국가 규격의 차이에 따라 유럽 및 캐나다 등에서는 혼합재 함량을 최대 95%(EN197-1 등)까지 허용하고 있을 뿐만 아니라 포졸란 및 석회석 혼합시멘트 등 다양한 혼합시멘트가 규정되어 있다. 더불어 <표 1>에

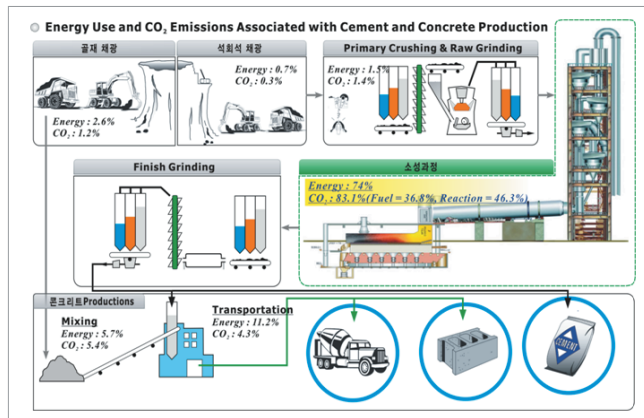


그림 1. 시멘트제조에 있어 CO₂ 배출비율

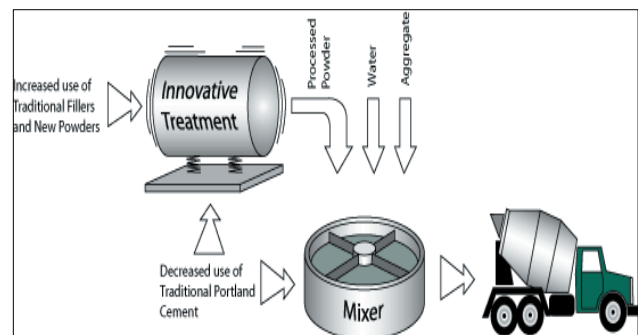


그림 2. EMC 제조 공정 모식도

서와 같이 일본 등에서는 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 첨가제 함량을 5%에서 그 이상으로 증량하기 위한 연구가 시도되고 있다.

4. 국내에서의 온실가스 저감방안

세계적으로 시멘트 공장에서의 CO₂ 저감 방안은 크게 ① 대체연료 활용방안, ② 에너지 효율향상을 위한 고효율 설비도입, ③ 혼합시멘트의 사용 증대, ④ 첨가제 및 혼합재 사용량의 증대 기술 등으로 구분할 수 있으며, 그 외 기술로는 폐열발전 설비 도입 및 CCS 기술 개발 등을 들 수 있다. 하지만 국내 시멘트 제조설비는 성능뿐만 아니라 에너지 효율 측면에서도 이미 선진국 수준에 있기 때문에 고효율 설비를 도입하는 방안은 상대적으로 저감효과가 낮을 것으로 예상된다. 따라서 현재 국내에서는 발표된 온실가스 감축량을 달성하기 위해 시멘트 혼합재 사용량 증대, 슬래그 시멘트 생산 증대, 가연성 폐기물 사용증대, 폐열발전 설비 도입과 같은 방안을 마련 중에 있다.

먼저 슬래그 시멘트 생산증대 방안에 대해서는 국내 시멘트 소비량을 보면 보통 포틀랜드 시멘트가 80% 정도를 차지하고 있고, 슬래그 시멘트의 소비량은 전체 시멘트 소비량의 20% 정도이어서 슬래그 시멘트의 사용의 확대없이는 획기적인 CO₂ 저감 효과를 기대하기 어려운 실정이다<그림 3>.

대체연료 활용방안에 있어서 국내의 경우 1990년대 중반 이후 업계의 지속적인 관련 기술개발로 인하여 폐유, 폐타이어, 폐플라스틱, 고무 등을 연료 원료로 활용하고 있다. 하지만 국내 시멘트업계의 유연탄 대체율은 약 13% 수준으로 네덜란드 83%,

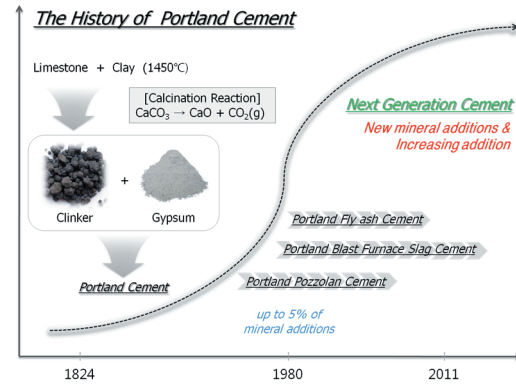


그림 3. 포틀랜드 시멘트의 변화

스위스 43%에 비하여 매우 낮은 실정이다. 따라서 현재 국내 시멘트업체에 있어서 제조 원가절감, 연료의 높은 수입 의존도 해소 및 환경보호를 위한 대체연료 이용률 확대(대체연료별 최적 연소기술, 전처리 기술 등)는 선택이 아닌 필수조건이라고 할 수 있다. 단기적으로 가연성 순환자원을 대체연료로 적극 활용하고, 장기적으로는 바이오매스, 천연가스 등 시멘트산업 연료원의 다변화가 필요하다. 대체연료 사용에 따른 온실가스 배출량의 산정은 화석연료를 대체하는 재활용연료의 CO₂ 배출계수의 차이로 인한 온실가스 저감 효과가 도출될 수 있다. 재생연료유/페타이어/폐합성수지/산업혼합쓰레기/기타 등 2005년 대비 약 422천톤(전체 연료 사용량의 17.4%)의 대체연료 사용량 증가를 가정할 경우, 2020년에는 시멘트 톤당 약 0.74% 정도의 CO₂ 발생량 저감을 예측할 수 있다.

이와 같이 국내 시멘트 산업의 CO₂ 저감기술 현황을 보면 가장 효과적인 CO₂ 저감기술은 혼합재 사용 증대 기술이라 할 수 있다. 현재 국내 보통 포틀랜드 시멘트는 95%의 클링커 광물에 5%의 혼합재를 첨가하여 혼합·분쇄하여 생산하고 있다. 하지만 보통 포틀랜드 시멘트에 혼합되는 혼합재의 양을 증대시키면 혼합재의 증가분만큼 클링커의 생산량이 감소되어 CO₂의 저감효과를 기대할 수 있다.

보통 포틀랜드 시멘트에 혼합되는 혼합재의 양을 현재 5%에서 10%로 확대 적용했을 때 클링커 생산량이 5%(45,427천톤 × 0.05 = 2,271,350톤)감소하며, 이때 약 2,271,350톤(클링커 1톤당 0.1톤의 유연탄 사용)의 유연탄 절감이 예측되고, 이에 따라 533,767톤의 CO₂ 감축량이 추정된다. 따라서 유연탄 절감에 따른 시멘트 1톤당 CO₂ 감축량은 1.5%이다.


또한, 원료 감축량(클링커 × 1.55로 가정)은 3,520천톤이며, 이중 약 90%인 3,168천톤이 석회석이다. 석회석 투입량 절감에 따른 CO₂ 감축량은 1,172,160톤이므로 시멘트 1톤당 CO₂ 감축량은 3.13%이다. 따라서 OPC 혼합재 사용량 증대에 따른 시멘트 1톤당 CO₂ 감축량은 4.63%이다.

표 1. CO₂ 저감을 위한 시멘트 첨가제 및 혼합재 동향

국가	현황
중국	- 세계 시멘트 생산량의 약 1/2를 차지 - 2001년 4월 EN 규격과 유사하게 표준을 제정하여 석회석 첨가제 함량을 15%까지 사용하도록 규정
일본	- 온실가스 저감 등을 목적으로 첨가제 사용량 확대를 추진하고자 시멘트 규격 개정 ▶ 강열감량(loss of ignition, 석회석 첨가제 사용에 대한 특성치)을 3%에서 5%로 상향 ▶ 이 경우 석회석을 첨가제로 5%에서 10%로 확대사용 가능
호주	- 2009년 아세아-태평양 파트너십 시멘트 Task Force 회의에서 석회석 첨가제를 현행 5%에서 10%로 상향·사용하는 것을 시멘트 업계의 주요 현안으로 제시
캐나다	- 2009년에 포틀랜드시멘트의 석회석 표준을 15%로 변경
미국	- 2009년 PCA 권의에 의한 ASTM C 150 개정 ▶ 포틀랜드 시멘트에 석회석을 포함한 혼합재를 5%에서 10%로 확대사용

5. 결 론

전 세계적으로 시멘트 산업에서 온실가스 저감을 위한 다양한 방안들이 시도되고 있다. 그 중에서도 포틀랜드 시멘트에 혼합재의 함량을 증대시키는 방안이 크게 대두되고 있으며 일부 선진 국가에서는 표준 등의 개정을 통하여 이미 시행하고 있는 실정이다. 우리나라에서도 온실가스 저감 방안 중 혼합재 함량 증대방안이 가장 실효적인 방안이라 판단된다.

세계에서 지금과 같은 보통 포틀랜드 시멘트(혼합재 5%)가 만들어진 것은 1979년이고, 우리나라는 1980년부터 지금까지 약 30여 년간 적용해 왔다. 최근에는 지구온난화 문제가 세계의 최우선 환경문제로 부각되고 있으며, 모든 산업에서 CO₂ 저감 노력에 총력을 기울이고 있는 상황에서 혼합재 함량을 증대시킨 포틀랜드 시멘트의 생산은 시대적 상황에 부합되는 시멘트라고 생각된다. 단, 혼합재 함량을 증대시키기 위해서는 시멘트 물성을 저하시키지 않는 다양한 방법이 선행 개발되어야 하며, 또한 혼합재 종류/함량 등에 대한 구체적 연구 및 이에 따른 KS 표준(KS L 5201 등)의 제·개정이 선행되어야 한다. 

참고문헌

1. 한국양회공업협회, 시멘트 산업에서의 기후변화협약 대응방안 연구, 2006.
2. 日本セメント協会, セメント産業の環境保全に関する自主的行動計, 2008.
3. Vagner Maringolo, Biofuels in the Cement Industry, European Biomass Association workshop, 2009.
4. Ken Humphreys, Toward a Sustainable Cement Industry Substudy 8: Climate Change, WBCSD(World Business Council for Sustainable Development), 2002.
5. 한국건설생활환경시험연구원, 시멘트 산업 경쟁력 조사, 2005.
6. 한국세라믹학회, 시멘트산업 중장기 수요예측 및 경쟁력 강화방안, 2009.

.....
 담당 편집위원 :
 이한승(한양대학교) ercleehs@hanyang.ac.kr

◆◆ 학회지 광고 게재 안내 ◆◆

콘크리트학회지는 격월간으로 발행되어 8,000여 회원을 비롯한 콘크리트 관련 업계, 학계, 유관 기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다.

귀사의 미래를 위한 광고가 저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 활용될 수 있도록 광고를 모집합니다.

1. 광고게재면

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표 2	80만원	간지	70만원
표 3	70만원	내지(전면)	50만원
표 4	100만원	박스 광고	30만원

2. 할인혜택 : 본 학회의 특별회원이거나 게재하는 광고 또는 연간 6회 이상 게재 시 상기 협찬금을 아래와 같이 할인하여 드립니다. 단, 일시불로 납부하여야 적용 가능합니다.

- 1년 계약 : 10% 할인 2년 계약 : 20% 할인 회원사 : 추가 5% 할인