

특별강연

친환경 건축시대의 시멘트·콘크리트산업의 대응 방안

이 한 승

<한양대학교 건축학부>

1. 서 언

필자는 「건설업의 '쌀'로 불리는 시멘트를 전량 수입하지 않은 이상 시멘트 업계의 어려움은 안팎으로 가중될 것이라는 게 업계의 중론이다. 「시멘트는 대체품이 없는 훌륭한 재료이지만 성장에는 어느 정도 한계에 와 있다.」, 「지구 CO₂ 발생의 20%는 시멘트에서 나오고 있다.」, 「콘크리트가 인간을 공격한다.」라는 보도를 들을 때마다 과연 시멘트·콘크리트는 친환경을 화두로 하는 21세기에는 지속가능한가? 라는 생각을 한다. 그러나, 이러한 비난은 그동안 개발 및 성장위주로 진행되어온 시멘트·콘크리트 산업의 업보이며 위기자초이나, 위기는 반드시 기회이며 이러한 환경을 극복하지 못하면 시멘트·콘크리트의 미래는 없다는 절박한 심정으로 미친한 생각이지만 친환경건축시대의 시멘트·콘크리트 산업의 친환경적 대책에 대하여 몇 가지 서술하고자 한다. 본고는 필자가 여러 가지 자료를 종합하여 작성한 것이나 독자들이 이러한 총체적인 문제를 다시금 생각하는 기회를 가져주기를 바라는 작은 소망에서 서술하는 것이니 많은 이해를 부탁하는 바이다.

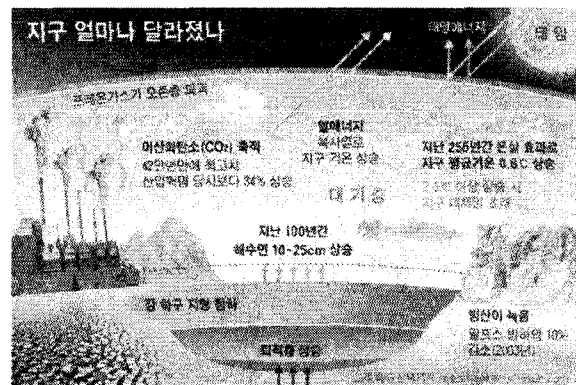
2. 친환경 건축기술

2.1 지구온난화문제

지구의 대기는 대부분의 수증기 (약 80%)와 이산화탄소 및 SO₂를 포함한 온실가스들로 구성

되어 있다. <그림 1>에 나타낸 바와 같이 지구 대기 중에 포함된 온실가스들은 태양 및 지구의 열을 흡수하는 온실효과 (greenhouse effect)를 통하여 지구의 온도를 일정 수준으로 유지시키고 있다. 따라서, 현재의 지구 평균 온도는 약 15℃이나 온실가스들에 온실효과 부재시 온도는 -18℃ 정도로 낮아지게 된다. 그러나 19세기 후반에 시작된 산업혁명 이후 화석연료 사용의 증가로 대기에는 <표 1>과 같은 종류의 온실가스가 급속히 증가하게 되었으며 이에 따른 온실효과의 증대 (enhanced greenhouse effect)로 지구의 온도 상승 즉 지구온난화 (global warming)를 유발한 것으로 과학자들은 주장하고 있다.

이러한 배경 하에, 1997년 일본 교토에서 기후 변화협약에 관한 교토의정서가 채택된 이후(그림 2 참조), 2005년 2월 14일 러시아 비준에 따라 교토의정서가 발효됨으로써 OECD 31개 협약 국가들은 환경부하 저감을 위하여 온실가스의 감축 의무를 준수해야 하는 실정에 와있다.



<그림 1> 지구온난화에 의한 환경변화

<표 1> 온실가스의 종류

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs, PFCs, SF ₆
배출원	에너지사용/ 산업공정	폐기물/ 농업/축산	산업공정/ 비료사용	냉매/세척용
지구온난화 지수(CO ₂ =1)	1	21	310	1,300~23,900
온난화기여도 (%)	55	15	6	24
국내총배출량 (%)	88.5	4.6	2.8	4.2

우리나라에서는 국제사회에서의 응분의 역할 분담을 위하여 1998년 4월 국무총리를 위원장으로 하는 기후변화협약 범정부대책기구를 설치하였으며, 이중 기후변화협약에 관한 총괄 연구개발은 과학기술부가 주관이 되어 실시하는 것으로 하고 있다.

특히, 우리나라는 2013년부터 온실가스를 감축해야 하는 2차 의무이행 대상국에 편입될 것이 확실시됨에 따라 모든 산업분야에 걸쳐 반드시 온실가스를 감축해야하며, 특히, 시멘트 및 철강 등 건설과 관련하여 에너지를 대량 소비하고 폐기물을 많이 발생시키는 건축 생산활동은 온실가스를 줄여야 하는 주요 대상으로 초점이 되고 있다. 특히, <그림 3>과 같이 교토의정서 발효에 따라 국내 산업별로는 철강/ 시멘트/ 석유화학/ 정유/ 제지 등 에너지 다소비 업종과 발전/

항공 등은 타격을 받을 것으로 예상되며, 자동차 / 건설업종의 경우 단기 전망은 좋지 않지만 장기적으로는 시장 확대 등을 통해 긍정적으로 평가 되고 있다. 한편, 배기가스 저감장치 개발업체와 풍력/수력 등 신/재생 에너지개발업체, 조립업체 등은 수혜가 예상되고 있다.

2.2 건축생산 활동이 지구환경에 미치는 영향 및 친환경건축의 새로운 방향

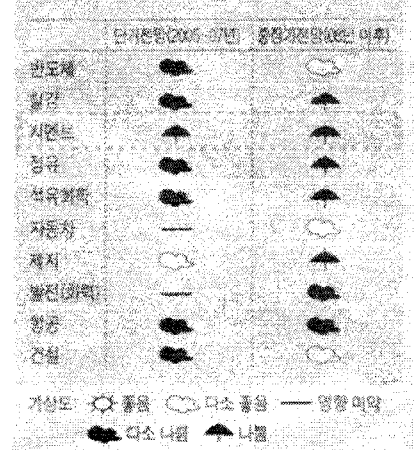
건축생산 활동은 국내 산업 전체 CO₂ 발생량의 42%, 에너지 소비량의 24% 및 폐기물 발생량의 30%를 차지하는 등 대량소비/대량폐기를 특징으로 하는 반환경 산업이므로 이를 지구환경 보존을 위한 친환경 산업으로 변환하기 위한 기술 개발이 필요하다. 따라서, 건축을 친환경

교토의정서 주요 내용

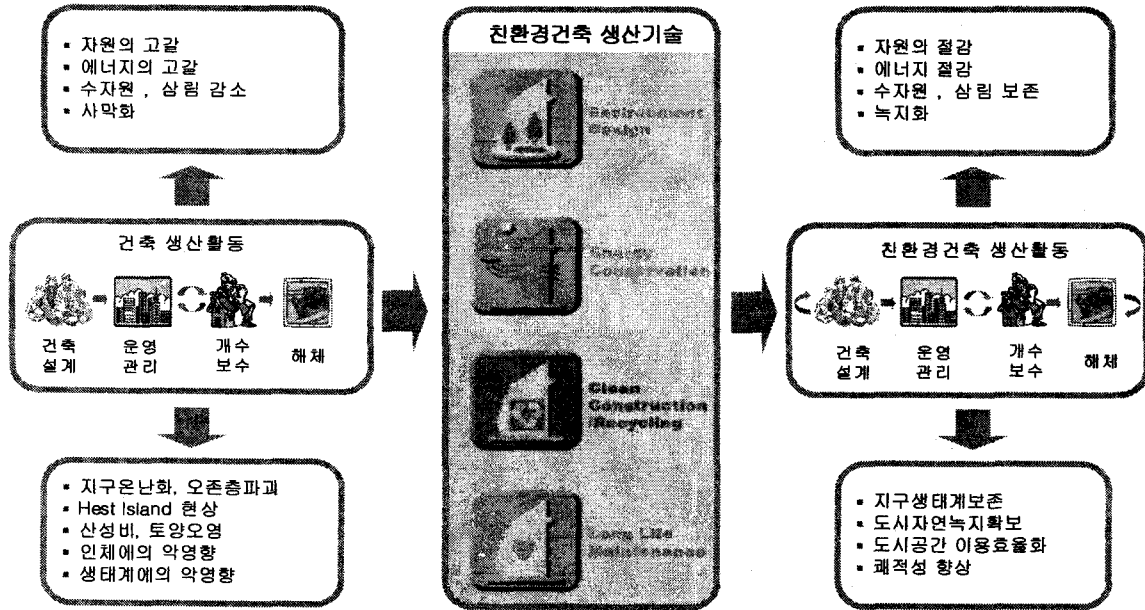
규제대상	6종 온실가스
2008년부터 적용되는 국가들	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 온실가스 배출량을 1차 의무이행기간(2008-2012년) 중 1990년 대비 5.2% 감축 ▲ 국가별 차별적인 감축목표(8-10%) 부여 : 미국 7%, 일본 6%, EU 8%, 아일랜드 10% 등
최종면 2013년부터 적용되는 국가들(한국 등)	1차 의무이행기간 중 기후협약상 공통 의무만 이행
기타 결정사항	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 교토의정서 이행 점검 : 공동이행, 청정개발체계, 배출권 거래 등을 통한 유연성 인정 ▲ 흡수원(대기의 이산화탄소를 흡수, 제거하는 기능을 하는 것) 인정

<그림 2> 교토의정서 주요 내용

교토의정서 발효에 따른 주요 업종별 기상도 (자료: 대한상의)



<그림 3> 주요 업종별 기상도



<그림 4> 친환경건축 생산 활동 개념

적으로 지속시키기 위해서는 <그림 4>와 같이 건축물의 설계, 시공, 운영, 해체 등 건축물의 Life cycle 전반에 걸친 건축활동이 지구 환경에 미치는 영향을 명확히 평가하고, 대책을 수립하기 위한 친환경건축 생산기술 연구가 필요하며, 환경부하 저감 및 쾌적성 향상을 목표로 자원절감, 에너지절약, 장수명화, 재활용 등 첨단 친환경건축 기술을 사용하여 기존 개발 지상주의의 건설활동을 지속가능한 개발 위주의 새로운 패러다임으로 전환이 필요한 실정이다. 건축부문에서의 자원절감, 에너지절약, 폐기물 절감, 내구성 향상 등의 친환경대책은 지구 환경부하를 저감하면서 거주환경성능을 향상시키는 방향으로 연구되어야 하고, 이를 위해서는 건축물의 Life Cycle을 통하여 정량적인 평가방법 (LCCO₂ 평

가 및 주거환경 성능 평가)의 정립이 요구되고 있다.

2.3 국내외 친환경건축 기술의 연구 동향

이상과 같은 친환경건축의 필요성에 따라 WTO 체제 하에서 UN, OECD, ISO 등을 중심으로 한 국제단체는 CO₂ 저감에 의한 지구온난화 방지, 지속가능한 개발 및 LCA(Life Cycle Assesment)를 주제로 건축생산기술에 관한 연구를 활발히 진행하고 있으며 환경부하 저감 목표 및 실천기간 등의 강제 규정을 설정하고 있다. 또한, OECD국가 전체 에너지소비량의 약 30%가 건축부문에서 발생하고 있으므로, 1999년부터 OECD 선진국들은 Sustainable Building

<표 2> 친환경건축 생산 활동 분야의 새로운 방향

건축 생산 활동 분야	기존 건축 생산 활동	➡	친환경건축 생산 활동
건축 계획/구조 분야	과다설계, 자원 대량 투입	➡	최적설계, 자원 절감, 삶의 질 향상
건축 환경/설비 분야	에너지 대량소비, 부하 발생	➡	부하저감, 에너지 절약
건축 재료/시공 분야	공해 발생, 대량생산, 대량 폐기	➡	공해저감, 최적생산, 공기단축, 재활용
건축 유지관리 분야	과다소비, 재건축	➡	유지관리 비용 절감, 장수명화

Project를 수행하여 건축측면에서의 환경대책을 연구하고 있다. 한편, 선진외국에서는 기후변화 협약 등 환경관련 국제협약에 적극적으로 대처하기 위하여 국가적 차원에서 다음과 같은 건축물 환경성능 평가 프로그램을 연구 개발하고 있으며, 이를 인증제도(19개국)로 발전시켜 활용하고 있으며 그 대표적인 예는 다음과 같다.

- ① Green Building Challenge 2002(GBC, 캐나다)
 - 자원소비, 환경부하, 실내환경, 내구성, Life Cycle
- ② BREEAM (영국 BRE)
 - 쾌적성, 에너지, 교통, 수자원, Management 등
- ③ LEEDS (US Green Building Council)
 - 에너지와 대기, 재료와 자원 보호, 실내환경, 관리 등
- ④ 環境共生住宅 (日本)
 - 자원 및 에너지절약, 환경조화, 건강과 Amenity 등

또한, 1990년대 중반 이후 선진 외국에서는 건설 산업 경쟁력 향상 및 생산성 향상을 목적으로 국가주도 건설 산업 혁신 운동을 추진하고 있으며, 그 핵심기술은 친환경건축 생산기술로서 공사기간 단축, 에너지 절약, 생산성 향상, 구조물 장수명화, 공해저감, 폐기물 발생 억제/재활용 기술 등의 장기적이며 지속적인 연구개발을 추진하고 있다.

- ① 미 국 : 국가 건설목표 National Construction Goals
미국 에너지성 Vision 2020
- ② 영 국 : Rethinking Construction: 1998
Egan보고서
- ③ 일 본 : 건설성 종합기술개발 프로젝트
(장수명화)
제2차 과학기술기본계획(삶의 질 향상)
- ④ 싱가포르 : Construction 21 운동 : 생산체계 혁신변화

그러나, 국내의 환경 관련 연구는 1997년 교토 의정서 채택이후 범정부적인 차원에서 정책입안

및 연구계획 발표가 이루어지고 있으며 연구 개발은 과기부가 담당하도록 하고 있으나, 아직 미흡한 수준이다. 또한, 기존 핵심 건축 요소기술을 발전시켜 건축설계, 시공, 유지관리, 해체 등 건축물 생산 전체 Life Cycle을 대상으로 친환경 기술과 융합하여 시너지효과의 창출이 요구된다. 또한, 환경성능 평가를 위하여 주거 건물을 대상으로 외국의 친환경건축 성능평가 기준을 참고한 인증제도를 시작하고 있는 초기 단계 수준이라고 할 수 있어 친환경건축에 대한 국가차원의 지속적인 연구체제 구축이 필요하다고 판단된다.

2.4 친환경건축 기술 사례

<표 3>은 친환경건축 기술을 구현한 그린빌딩(Green Building)의 기술 일람을 나타낸 것이다. 구체적인 그린화 기술의 채택에 있어서는 대책적 의미, 환경보전 효과, 기술의 성숙도, 지역성, 경제성 등을 종합적으로 판단하여 적절한 계획이 되도록 충분히 검토하여야 한다.

(1) 주변 환경에 대한 배려

- (가) 시설 배치는 지형 변형을 최소화 하는 등 주변환경에 미치는 영향이 경감되도록 계획
- (나) 시설내외의 녹화율(綠化率)을 높임으로써 열 부하의 저감, 지역생태계의 보호·육성, 도시기후의 완화 등에 힘씀
- (다) 유해물질 배출을 억제하는 등, 대기, 수질, 토양 등 주변 환경 오염방지에 노력

(2) 운용단계의 에너지 절약 및 에너지 절약 자원

- (가) 단열성이 우수한 공법 및 자재를 채택함으로써 구체를 통한 열 부하의 저감에 힘씀
- (나) 단열 및 일사차폐성이 우수한 유리 및 차양 등을 채택함으로써 개구부를 통한 열 부하의 저감에 힘씀
- (다) 실내에서 발생한 열 및 오염물질의 확산을 억제하며, 공조·환기량의 저감에 노력

<표 3> 그린 빌딩(Green)의 기술 일람

항목		세부항목	기술(Grreen)의 내용	
1	주변 환경의 고려	(1)지역생태계보전	①자연의 지형을 살린 배치, ②녹지의 네트워크, ③Biotope, ④그 외	
		(2)도시기후완화·지하수함양	①부지 내의 녹화, ②옥상녹화, ③벽면녹화, ④투수성 포장, ⑤그 외	
		(3)주변 환경의 오염방지	①수질오탁(水質汚濁)의 억제, ②대기오염의 억제, ③토양오염의 방지, ④악취·소음·진동·일사강해·진과장해·지반침하의 방지, ⑤그 외 (실협배수·배기는 취급하지 않음)	
2	운용단계의 에너지절약	2.1 부하의 제어	(1)외벽·지붕·바닥의 단열	①고단열·고기밀, ②외단열, ③반 지하구조, ④옥상녹화, ⑤지붕산수, ⑥구체집열 등
			(2)창의 단열·일사 차폐	①열선반사/흡수유리, ②차양, ③복층/Low-E/허트밀러유리, ④Air flow window ⑤Double skin, ⑥그 외
			(3)국소 공조·국소 배기	①Task·Ambient공조 ②바닥흡출공조 ③국소배기 ④분연 ⑤탈취변기, ⑥그 외
			(4)낭비의 회피	①혼합손실 회피, ②제습제열 회피, ③배전손실 저감, ④역률개선, ⑤변압기의 손실저감
	에너지절약 자원	2.2 자연 에너지 이용	(1)자연채광	①자연채광 고려 창의디자인, ②Light self, ③Top light/High side light, ④ 광운동제어
			(2)자연통풍	①자연통풍을 촉진하는 디자인(바람의 탑, 빛 정원 등), ②Night page, ③환기장·환기덤퍼제어
			(3)자연에너지이용	①태양광발전, ②태양공기집열, ③태양수집열, ④지중열, ⑤정수열, ⑥하천/해수열, ⑦풍력, ⑧소수력, ⑨외기냉방, ⑩냉각 냉수, ⑪그 외
		2.3 에너지·자원 유효 이용	(1)에너지의 효율적 이용	① Cogeneration(엔진/터빈), ②연료전지, ③배열회수, ④배기열회수(전열교환기 등), ⑤그 외(하수열 등)
			(2)부하 평준화	①수집열, ②빙집열, ③ 열집열, ④토양집열, ⑤집전(NAS전지 등), ⑥가스냉방, ⑦그 외
			(3)반송에너지의 최소화	①VAV, ②VWV, ③환기량제어(CO/CO ₂), ④위생동력의 생에너지, ⑤승강기의 생에너지,
	3	장수명	(1)용통성의 확보	①충고의 용통성, ②바닥하중의 용통성, ③부지면적의 용통성, ④바닥면적의 용통성, ⑤그 외 Renewal의 고려
			(2)건축 재료의 합리적 내구성	①내구성/내진성/내화성/보수성이 우수한 재료, ②내구성을 높이는 구법, ③부분갱신이 용이한 구법, ④그 외
(3)설비재료의 합리적 내구성			①내구성/내진성/내화성/보수성이 우수한 재료, ②내구성을 높인 재료의 사용방법, ③교환이 용이한 구조, ④그 외	
4	환경친화재료	(1)저 환경부하 재료	① 자연재료(목재), ②자연재료(석재 외), ③일회용품의 사용을 최소화 (Air filter 등), ④리싸이클이 곤란한 재료의 사용억제, ⑤인체에 무해한 재료(VOC발생이 없는 건재의 채용, 석선(石線) 등의 고려, 변압기 차단기의 절연재 등), ⑥그 외	
		(2)열대재형틀의 사용 합리화	①형틀전용회수의 증가, ②각종대체형틀, ③PC화, ④그외 형틀을 사용하지 않는 공법	
		(3)부산물·재생자원의 활용	①고로시멘트 등, ②전로강 등의 이용범위확대, ③재생쇄석·재생자재, ④오니(汚泥)소성벽돌, ⑤그 외 재생자원의 활용	
		(4)해체가 용이한 재료·공법	①정척(定尺)을 고려한 모듈설계, ②표준화설계, ③그 외	
5	적정사용·적정처리	(1)폐기물의 삭감	①분별수집 고려한 설계 ②쓰레기운송시스템 ③부익쓰레기 처리 등	
		(2)건축부산물의 발생 억제·재자원화	①분별수집 철저한 재자원화 ②적량구입 ③Prefab화 ④가설자재 배려, ⑤발생토적정처리	
		(3)Non-hydrofluorocarbon화·hydrofluorocarbon회수	①Hydrofluorocarbon, ②Non-fluorocarbon냉매, ③대체furlong소화, ④Hydro fluorocarbon 단열재, ⑤Non-hydrofluorocarbon 단열재, ⑥fluorocarbon 회수 를 고려한 시스템, ⑦그 외	

(라) 건축설비 시스템을 구축함에 있어서 에너지 손실의 저감에 노력

(3) 자연에너지 이용

- (가) 자연광을 적극적으로 활용하여 조명부하의 저감에 힘씀
- (나) 자연통풍을 적극적으로 활용하여 냉방부하의 저감에 노력
- (다) 태양광발전, 태양열급탕, 외기냉방 등에 의한 자연에너지의 이용에 노력

(4) 에너지·자원의 유효이용

- (가) 에너지의 효율적인 이용 및 전력부하의 평준화에 힘씀
- (나) 시설부위에 상응하는 운전제어방식을 이용하여 반송에너지의 최소화 노력
- (다) 고효율 조명기구 사용, 시설부위에 상응하는 점등방식 등을 적용함으로써 조명에너지의 최소화 노력
- (라) 우수 또는 배수처리수를 시설의 잡용수의 일부로써 이용함과 동시에 각종 절수시스템을 적용함으로써 수자원의 소비저감에 노력
- (마) 신뢰성이 높고 적절한 운전관리가 가능한 관리시스템을 구축함으로써 시설에서 필요로 하는 소비에너지가 최소한이 되도록 노력

(5) 장수명화

- (가) 층고·바닥면적·바닥하중 등에 유연성(융통성)을 부여함으로써 내부기능의 변화에 유연하게 대응할 수 있으며 유지관리가 용이하도록 노력
- (나) 내구성·내진성 등에 우수한 건축자재·공법을 활용함으로써 건축물 장수명화에 노력
- (다) 유지관리 및 갱신이 용이하며 합리적 내구성을 갖는 설비기구·시스템 적용에 노력

(6) 환경친화재료의 사용

- (가) 환경부하가 적은 자연재료 등의 사용에 노력
- (나) 열대림의 감소를 고려하여 열대재(熱帶材)형틀(거푸집)의 합리적 사용에 힘씀
- (다) 부산물의 재이용 및 리사이클 재료의 적용에 노력
- (라) 개개의 자기재(資機材)의 갱신이 용이하도록 분해가 용이한 재료, 모듈재료 등의 사용에 노력

(7) 적정사용·적정처리

- (가) 건설부산물의 발생억제 및 재이용에 노력
- (나) 환경부하가 큰 물질을 사용한 자기재의 사용억제 및 적절한 회수에 대하여 검토
- (다) 시설운용시의 폐기물을 적절하게 처리 가능한 시스템에 대하여 검토

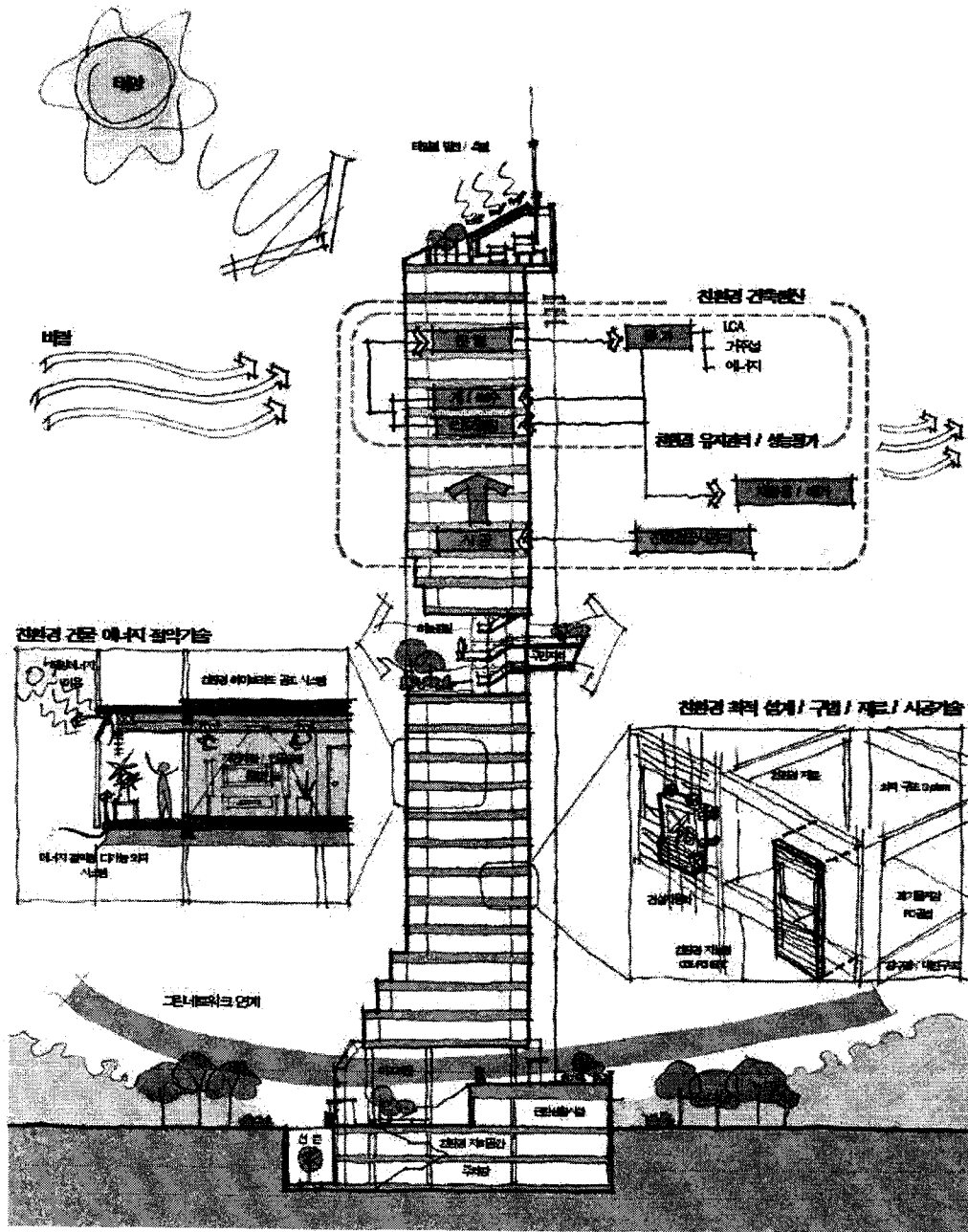
<그림 5>는 건축 설계, 시공, 운영, 유지관리의 건축생산 전체 과정에서 친환경건축기술을 도입하여 축조 가능한 친환경건축물 사례를 나타낸다.

3. 친환경 건축시대의 시멘트·콘크리트산업의 대응 방안

3.1 에너지 절약 시스템의 구축

(1) 에너지 대체연료의 사용

국내 시멘트 소성 원료는 유연탄으로 대부분을 중국, 호주, 러시아 및 기타 아시아지역에서 100% 수입하고 있으며, 유연탄 가격도 2003년에는 t당 30달러를 유지하던 것이 2004년도에는 60~70달러로 두 배나 올랐으며 올해는 가격이 더 상승할 것으로 보인다. 또한, 국내의 시멘트 생산을 위한 대체연료 사용 비중은 업체별로 약 14~15%정도로 선진국의 절반 수준에 머물러 있다. 따라서, 에너지를 절약해야 하는 시멘트 업계에서는 <표 4>와 같이 대체연료를 사용하는 방향으로 가닥을 잡아가고 있으며, 페타이어,



<그림 5> 친환경건축 기술을 적용한 건축물 사례

페플라스틱, 폐목재, 폐유 등의 가연성 폐자재를 시멘트 소성 에너지원으로 활용하여 에너지를 절약하는 시스템을 더욱 강화할 필요가 있다고 판단된다.

(2) 에너지 절약 고효율 사용 설비 구축

시멘트 제조원가의 약 30%를 차지하는 연료

비, 연료비의 절감은 곧 시멘트 원가의 절감입니다. 일부 국내 시멘트공장에서는 NSP(New Suspension Preheater), 즉 뉴 서스펜션 프리히터라는 새로운 예열시스템을 채용하고 있으며, NSP시스템이란 킬른의 버너에서 생성된 고온의 가스를 예열실로 보내 원료의 예열에 이용하는 기존의 SP시스템에 새로운 예열실을 추가로 설

<표 4> 시멘트공장에서의 대체원료 및 대체연료 사례

대체원료	연소재(Fly ash) 소각재 폐수처리오니 공정오니 정수오니 제강슬러지 석회슬러지	화력발전소, 열병합발전소 제지회사 제지회사, 전자회사 화학공장 정수장 제철회사 석회공장
대체연료	타이어 합성고무류 합성수지류 정제카본 대체연료유	대한타이어공업협회 중간처리업체(재활용) 중간처리업체(재활용) 화력발전소 유류정제회사
시멘트 혼합재	배연탈황석고 수재슬라그	화력발전소 제철회사
충진제	연소재(Fly ash)	화력발전소

치 운영하여 연소효율 및 생산성을 향상시키고 있다.

또한, 튜브밀과 비교하여 분쇄에너지 효율이 높고 또한 설치 면적이 적은 수직형 롤러밀의 도입, 마감분쇄밀의 전단계에 분쇄효율이 좋은 롤러밀형의 예비분쇄기의 설치, 신형 세퍼레이터의 개선, 클링커소성상황의 변화에 대응하여 킬른버너를 최적화하는 기술 개발, 시멘트제조 과정중의 대형팬 회전수의 제어 등에 의해 에너지효율을 높이는 설비기술이 개발이 요구되고 있다.

3.2 지구기후변화 협약에 대한 능동적 대처

대표적인 에너지 다소비업종인 시멘트 업계는 에너지세가 신설되고 제품의 제조와 폐기까지 전 과정에서 온실가스 발생량을 명기하는 등 환경에 대한 규제 강화가 불가피해 장기적으로 큰 어려움을 겪을 것으로 전망되며, 특히, 지구온난화 기후변화협약이 본격적으로 가동되면 가장 큰 피해를 입을 것으로 예상된다. 이에 따라, 국내 및 국외에서는 이에 대한 대책이 활발하게

이루어지고 있다.

(1) 국내 시멘트회사의 에너지절약 자발적 협약 (Voluntary Agreement)

에너지다소비업종인 국내 시멘트산업은 기업 스스로 감축목표를 설정하여 정부와 협약을 체결하고 정부는 자금지원, 규제완화 등의 인센티브를 부여하는 VA제도에 적극 참여하여 에너지 절약에 최선을 다하고 있으나 아직 구체적인 성과나 정부의 지침 등은 세워지고 있지 않은 실정이다.

(2) 일본 자주행동계획에 있어서 목표 설정

1996년 12월에 「시멘트산업의 환경보전에 관한 자주적 행동계획」을 책정하고 2010년도에 시멘트 제조용 에너지 원단위(시멘트제조용+자가발전용+구입전력 : 일차에너지 베이스)를 1990년도와 비교하여 3% 정도 저감시키는 계획을 세우고 있으며, 20개 관련회사가 참여하고 있다. 또한, 시멘트생산량은 경기나 정책에 의해 크게 좌우되기 때문에 장래적인 예측이 곤란하므로 업계로서 관리가능한 지표로서 「시멘트제조용 에너지 원단위」를 채용하고 있다. 이를 위해

<표 5> 일본의 온난화대책 설비투자 상황 (2001~2003년도)

	2001년도		2002년도		2003년도	
	건수	투자액 (백만원)	건수	투자액 (백만원)	건수	투자액 (백만원)
에너지절약 설비의 보급촉진	26	1,817	38	217	32	341
에너지대체 폐기물 등의 사용 확대	23	2,990	37	4,985	17	2,873
기타 폐기물 등의 사용 확대	42	4,839	34	2,999	51	4,991
혼합시멘트의 생산비율 확대	1	300				
합계	92	9,946	109	8,201	100	8,205

위와 같은 4개의 주된 테마에의 투자를 추진하고 있다.

3.3 시멘트공장에 있어서 폐기물 리사이클 시스템 구축

우리나라는 현재 순환형사회형성을 추진하고 있으며, 이에 따라 시멘트 업계에서는 산업기초자재를 제공하는 동맥산업으로서의 역할 뿐만 아니라 여러 장소에서 배출되는 폐기물·부산물을 받아들여 리사이클하는 정맥산업으로서의 역할이 기대되고 있다. 이러한, 폐기물에는 오니, 소각회, 육골분, 분뇨, 생활쓰레기 등이 있으나 이를 시멘트산업에 있어 에코시멘트 제조로 리사이클 하는 데에는 다음과 같은 특징이 있어 이를 적극 활용하여야 한다.

(1) 2차폐기물 발생이 없다.

통상의 쓰레기소각장에서는 쓰레기를 태운 후, 소각회가 발생하고 최종처분장에 반출한다. 또한, 소각처분하지 않고 매립 처분되는 것도 있다. 근년, 최종처분장의 신규입지가 어려운 점에서 최종처분장의 잔여용량은 매우 적은 실정이다. 시멘트공장에서는 각종 폐기물·부산물의 성분 전부를 시멘트 제조용의 원료, 열에너지원으로 이용하기 때문에 2차 폐기물 발생이 없다.

(2) 무공해 시스템

시멘트공장에 반입된 폐기물은 다른 시멘트원료와 함께 1450℃의 고온으로 소성되기 때문에 다이옥신류는 거의 발생하지 않는다.

(3) 천연원료가 삭감 된다.

시멘트공장에서는 석회석, 점토, 규석 및 철원을 주원료로서 시멘트를 제조하고 있지만, 폐기물·부산물을 시멘트원료로서 리사이클하는 것에 의해 그 분량만큼 천연원료의 사용량을 삭감하는 것이 가능하다. 이것에 의해 채굴량을 삭감할 수 있고 자연환경 보호로 연결된다.

(4) 지역순환형 사회구축에의 공헌

도시쓰레기 소각장이나 도시쓰레기를 반입하는 것에 의해 일반폐기물 최종처분장의 연명에도 공헌할 수 있다.

3.4 시멘트·콘크리트계 다기능·고성능 건축재료의 개발 및 실용화

시멘트를 주원료로 하는 콘크리트에는 여러 가지 성능을 부여할 수 있는 장점이 있으며 이를 이용하여 친환경건축에 도움을 줄 수 있다. 그 예로써, 저소음 포장콘크리트, 전파흡수 콘크리트, 질소 산화물(NOx) 흡수 콘크리트 등 <표 6>과 같이 친환경 콘크리트를 개발하고 실용화 함으로써 친환경을 도모할 수 있다.

3.5 시멘트·콘크리트 산업 환경평가 및 홍보 시스템 구축

시멘트산업은 독자의 노하우, 기술을 축적하는 것에 의해 타 산업의 폐기물·부산물을 대체원료로 사용하고 있다. 이것은 천연자원의 보전에 도움이 되며 타 산업의 폐기물 처리 문제도

<표 6> 기타 친환경 콘크리트 기술 예

명칭	메커니즘	용도
식생 콘크리트	다공성 콘크리트 부분과 그 부분에 토양기능을 부여하여 콘크리트에 식물이 뿌리내릴 수 있도록 함	도로, 댐, 터널부근의 경사지면, 하천 및 해안 제방부분, 해중 해초양식 및 해수정화 블록
방균 콘크리트	니켈 및 텅스텐계 방균제 혼입 콘크리트로 콘크리트의 화학적 침식요인인 유산화세균 생육을 억제 함	하수도관 및 맨홀, 온천 및 화학공장 등의 콘크리트 구조물
습도 조절 콘크리트	제오라이트 혼입 콘크리트의 제오라이트 수분 흡착성에 의해 습도 조절	미술관, 박물관, 수장고 등의 습도 조절
콘크리트 표면 오염 제거 기술	지의류에서 추출한 유기산 성분 및 제초제성분을 콘크리트 표면에 도포	노출콘크리트면, 댐, 교각, 옹벽 등의 표면오염 부분
재생골재 콘크리트	콘크리트로부터 채취한 재생골재를 이용 콘크리트 제조	도로 노반재, 중력식옹벽, 사력댐 옹벽, 포장콘크리트 등

해결하는 것이다. 이들의 실적은 폐기물을 유효하게 이용하는 제로에미션이나 지구 환경부하 감소에 결정적인 역할을 할 수 있는 실적이라고 할 수 있다. 그러나, 국내에는 시멘트관련 연구자가 점점 줄어들고 있으며 전국 대학에 시멘트를 전공하는 교수가 4명밖에 없는 등 학문자체의 존폐위기론도 대두되고 있다. 따라서, 시멘트의 환경보전 노력을 홍보할 수 있는 환경전문가의 양성이 절실히 요구된다고 할 수 있다. 또한, 시멘트 제조 전체 과정에서 어느 정도의 CO₂가 발생되어 어느 정도 환경부하를 차지하는지에 대한 정확한 평가를 할 수 있는 LCA(Life Cycle Assessment)전문가 양성 및 프로그램을 개발하여 대처하지 않으면 안 된다고 판단된다.

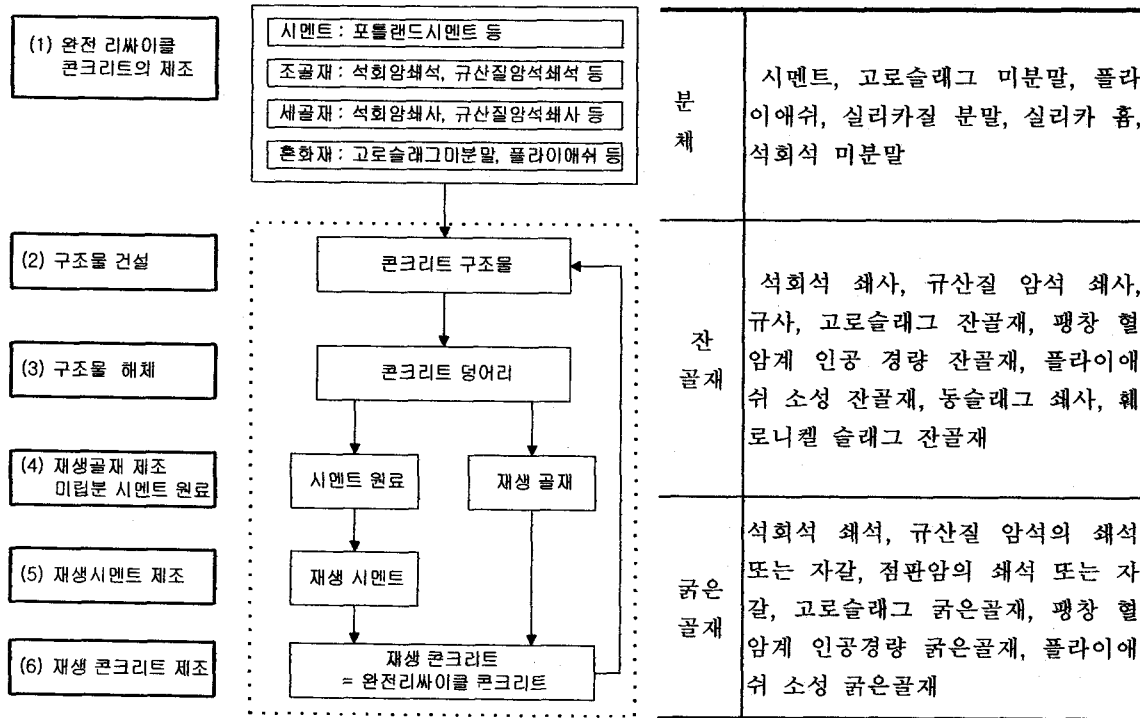
특히, 시멘트산업을 친환경적인 산업이라고 매도하는 단체 및 언론에 대한 무방비적 대처는 큰 문제가 아닐 수 없다. 「자연과 인간은 하나다.」 2004 경향하우징페어 "Summer Festival"의 주제다. 8월 24일부터 28일까지 5일간 - 중간생략 - 벽에서 원적외선과 음이온이 나오는 것은 물론 새집증후군을 완벽하게 해결할 수 있는 「시멘트독 차단 페인트」나 광촉매를 함유한 천연벽지, 물의 특성을 이용해 질병을 예방-치료하는 무균수 생성기, 곰팡이 생성과 먼지를 예방하는 광촉매제 등 이루 말할 수

없이 많은 친환경제품이 출품됐다.」라던가, 환경스페셜에서 「콘크리트가 인간을 공격한다」는 터무니없는 보도가 나간 이후로 일반인들은 시멘트·콘크리트에 대한 불신을 가지고 있어 이에 대한 인식개선이 무엇보다도 중요하다고 판단되며, 시멘트·콘크리트 업계가 공동대처하여 시멘트·콘크리트의 친환경개발, 친환경제품, 친환경 노력 등의 성과를 지속적으로 홍보하고 교육하는 시스템의 구축이 필요하다고 판단된다.

3.6 지속적 시멘트·콘크리트산업 성장을 위협하는 신기술에 대한 대책 필요

최근 시멘트의 과대한 CO₂ 발생에 대한 문제점을 해결하고자 CO₂발생 저감형 새로운 시멘트 개발, CO₂ 무배출형 비소성 시멘트 개발, 완전리사이클 콘크리트 개발 등 지금과는 전혀 다른 제조 시스템의 시멘트·콘크리트가 출현하고 있으며, 시멘트산업의 지속적인 성장을 위해서는 이와 같은 신기술에 대해서도 능동적으로 대처하는 자세가 필요하다고 판단된다.

(1) CO₂ 발생 저감형 새로운 시멘트 개발 사례 일본의 가지하라 조교수의 계산으로는 포틀



<그림 6> 완전 리사이클 콘크리트 Material Flow

랜드시멘트(PC) 생산과정에서 PC 1톤당 0.5톤의 CO₂ 가 발생, 또한 PC 1톤을 생산하는 데에 필요한 원료로부터 0.5톤의 CO₂ 가 나온다고 한다. 즉 PC 1톤을 생산하면 CO₂ 도 1톤이 발생한다는 것으로 전세계의 PC 생산량은 97년 1000억톤으로 추계되고 있기 때문에 CO₂ 도 같은 양이 발생하는 것이 된다.

지구온난화의 원인 물질로는 CO₂, SO_x, NO_x, 프레온 메탄 등이 알려져 있으나 CO₂ 는 기여율이 50%로 압도적으로 높아 이중 20% 가 가까이 시멘트 공장 등으로부터의 발생 가스라고 한다. 때문에 "PC의 생산은 중지해야 한다" 라는 것이 가지하라 조교수의 지론으로 이에 대체되는 기술로서 대량으로 있는 천연점토와 전기화학공업의 부산물로서 과잉 생산되고 있는 가성소다에 의한 새로운 시멘트를 제안하고 있다. 이 시멘트는 점토를 400~500℃의 가소(假燒)로 비정질로 한 다음, 가성소다와 반응시키는 것만으로 CO₂ 의 발생은 극미량이다. 12시간 양생의 PC가 15메가 파스칼(압축강도)인 것에 대해 새로운 시멘트는 25메가 파스칼로 강도가 높

으며 산이나 염에도 강하다고 한다.

(2) 무기계 산업폐기물을 활용한 CO₂

무배출형 비소성 시멘트 활성화 방안

현재 산업계는 온실가스 감축을 위한 기후변화협약의 교토의정서 발효로 그 대응책 마련에 고심 중입니다. 특히, 온실가스의 55%를 차지하는 CO₂ 배출량중 약 10%는 시멘트 제조 분야에서 배출되는 것으로 알려져 있고, 따라서 향후 온실가스 감축은 시멘트 업계의 가장 큰 현안으로 등장할 것으로 예상됩니다. 또한 시멘트 산업은 대부분 석회석 자원에 의존하고 있으며, 현재 우리나라의 석회석 매장량은 약 40억 톤에 불과한 데 이대로 가면 50년이 채 못가서 고갈될 상황입니다. 따라서 이에 대한 근본적인 대책이 요구되는바, 천연자원을 소비하지 않고 산업부산물 및 폐기물을 주재료로 활용하여 이산화탄소의 배출이 거의 없는 새로운 시멘트, 즉 상온에서 제조가 가능한 무기 결합체에 대한 관심이 선진국을 중심으로 점차 고조되고 있으며, 이에 현재 수백만톤이 적치되어 있는 폐석고 및 폐석

회 등을 이용한 비소성 시멘트의 개발이 연구되고 있다.

(3) 완전 리사이클 콘크리트 개발

완전 리사이클 콘크리트란 「시멘트 및 시멘트 원료로 되는 물질만이 콘크리트의 결합재, 혼합재 및 골재로서 사용되어 경화후 다시 전량이 시멘트 원료 및 재생골재로서 사용 가능한 콘크리트」를 말한다. 그림 9에 나타낸 바와 같이 완전 리사이클 콘크리트의 Material Flow는 폐쇄된 체계로 구성된다. 가장 단순한 조합으로서는 석회암 쇄석·쇄사를 굵은 골재·잔 골재로서 사용한 경우이다. 또한, 종래의 콘크리트를 완전 리사이클 콘크리트로 순차 바꾸어 가는 경우, 장래 콘크리트 사정 및 자원환경문제는 해결되리라고 판단되며, 현재 이러한 콘크리트는 실험단계를 넘어 일부 실용화 단계에 접어들고 있다. 이에 따라, 국내에서의 골재부족 문제를 고려하면 완전 리사이클 개념을 도입한 신개념의 친환경 콘크리트에 관한 연구가 요청된다고 하겠다.

4. 결 언

지금까지 21세기 지속적인 개발과 성장을 목표로 하는 건축시대의 친환경건축기술에 대하여 개괄하고 이러한 시대에 발맞추어 시멘트·콘크리트 산업의 친환경대응방안에 대하여 서술하였다. 특히, 친환경이라는 것은 건축생산의 어느 단계에서 집중적으로 개발되어 해결되는 문제가 아니라 건축생산 전체 과정을 통하여 전체 분야에서 종합적인 관점으로 기술을 개발하고 이를 정확히 평가하는 평가지표 및 평가시스템의 구축이 중요한 것을 언급하였다.

이러한 맥락에서 지속적인 개발과 성장을 목표로 하는 시멘트·콘크리트 산업에 있어서는 환경보전 및 공해방지 시스템의 구축, 에너지 절약시스템의 구축, 지구기후변화협약에 대한 능동적 대처, 시멘트공장에 있어서 폐기물 리사이클 시스템 구축, 시멘트·콘크리트계 다기능·고성능 건축재료의 개발 및 실용화, 시멘트·콘크리

트 산업 환경평가 및 홍보시스템 구축, 지속적 시멘트·콘크리트산업 성장을 위협하는 신기술에 대한 대책 등을 개괄적으로 서술하였다.

위에서 언급한 시멘트·콘크리트산업의 친환경대책이 문제를 해결하는 전부는 아니겠지만 이러한 생각과 이를 바탕으로 한 실천적인 행동이 병행된다면 문명의 시대를 선도한 시멘트·콘크리트가 반드시 반환경산업의 치욕을 떨쳐버리고 지구자원보전 및 지구기후변화협약의 주체로써 지속가능한 개발 및 성장을 주도하는 산업으로 다시 태어날 수 있다고 감히 주장하는 바이다.

또한, 석회석(CaCO_3)을 소성하여 CO_2 를 대량 발생시키는 시멘트가 오히려 대기 중의 CO_2 와 반응하여 지구온난화 주범인 CO_2 문제를 전부 해결한다던가, 1450°C 로써 소성되는 시멘트가 인간생활에서 발생하는 모든 쓰레기 및 폐기물발생 문제를 해결하는 유일한 방법이라는 생각을 하지만 이를 올바르게 인식하거나 실제 그러한 것이 과학적·공학적인 연구에 의해 입증되지 않은 점이 매우 안타까운 실정이다.

천박한 지식으로 두서없이 친환경시대의 시멘트·콘크리트산업의 대응방안에 대하여 서술하였지만 시멘트·콘크리트를 사랑하는 한 연구자의 애정으로 너그려이 받아 주시기 바라며, 본고를 계기로 하여 시멘트·콘크리트의 친환경성에 관한 연구개발, 홍보 및 교육에 실제적인 성과가 이루어지기를 희망한다.

마지막으로, 은사님께서 말씀해 주신 다음 말을 언급하면서 시멘트·콘크리트산업에 종사하는 기술자 및 연구자분들도 더욱더 단결하여 어려운 세태를 슬기롭게 헤쳐나가시기를 기원합니다.

「문과생은 일간신문에 좋은 글을 기고하여 정부고위관료나 기업총수에게 발탁되어 성공할 수 있고, 공대생은 조직을 잘 짜서 이를 기반으로 성공할 수 있다」