

미국의 지속가능한 콘크리트 기술

Sustainable Concrete Technologies of U.S.



최동욱*
Dong-Uk Choi

1. 서론

미국은 1997년 교토의정서에 가입하지 않아 국제 사회의 거센 비난을 받아 왔다. 그러나 2009년 미국 하원은 미국청정에너지 안전보장법안(ACES)을 통과시켰고, 이 법안은 미국의 전체 온실가스 배출량을 2020년까지 2005년 대비 17% 감축, 2050년까지 83% 감축한다는 야심찬 목표를 포함하고 있다. 미국과 캐나다를 합한 북미의 경우, 전 세계 에너지의 약 25%를 소비하고 있지만 인구 측면에서는 전 세계 인구의 5.1%에 지나지 않는다¹⁾. 2008년을 예로 보면 미국의 CO₂를 비롯한 온실가스 배출(63.7억톤)은 전 세계 배출량(315억톤)의 20.2%를 차지하고 있다. 미국의 1인당 온실가스 배출량은 약 20톤-CO₂/년이며 유럽 평균(9톤-CO₂/년)과 비교하면 1인당 배출량은 2배 이상, 개발도상국과는 4~10배(중국 5톤/인/년, 인도 2톤/인/년)에 달한다¹⁾. 이렇게 막대한 에너지를 소비하고 많은 온실가스를 배출하는 미국은 당연히 지구 기후변화를 포함한 콘크리트 산업의 지속가능한 발전에 큰 관심과 노력을 경주하고 있다. 본 기사에서는 미국 콘크리트 산업에서 환경영향의 평가체계, 온실가스 인벤토리 구축 상황, 관련 표준과 설계기준 그리고 미국콘크리트학회(ACI)를 비롯한 여러 기관, 단체의 동향을 고찰하였다.

2. 기후변화 대응과 지속가능한 콘크리트 기술

2.1 전과정평가(LCA, life cycle assessment)

전과정평가의 개념 및 과정은 ISO 14040, 14044에 제시되어 있다^{2, 3)}. LCA는 특정 산업 또는 제품의 환경 영향을 평가하는데 있어서 가장 중요한 도구 중 하나이며, 미국 역시 전과정평가를 사용하여 산업 및 제품의 인벤토리를 구축하고, 이에 관련

한 데이터 베이스를 제공하고 있다.

2.1.1 US LCI 데이터베이스

미국의 국가 전과정평가 데이터를 포함하고 있는 LCI 데이터베이스는 국가신재생에너지연구소(national renewable energy laboratory, www.nrel.gov/lci/)에서 관리하고 있으며 현재 Phase 1보고서가 출판되어 있다^{4, 5)}. 포틀랜드 시멘트 생산과 관련하여 2006년 데이터가 최신 정보이지만 국가 평균 배출계수만 나타나 있다. 구조용 콘크리트 역시 건축물 및 건설 분야에서 다른 여러 항목과 함께 개발이 시급한 항목으로 분류되어 있다.

2.1.2 캐나다 아테나(Athena)

캐나다의 Athena Sustainable Materials Institute는 환경영향의 평가도구로써 Athena Impact Estimator for Buildings를 운영하고 있으며, 데이터베이스는 강재, 시멘트, 구조용 콘크리트 등을 모두 포함한다(www.athenasmi.org)⁶⁾. 시멘트 생산의 경우 캐나다 6개 지역에 걸친 전과정평가의 결과로 각 지역별 시멘트의 에너지 소비 및 온실가스 배출계수를 상세하게 포함하고 있다. 아테나 데이터베이스는 미국표준협회(ANSI)에서도 결과를 수용하고 있는 투명성과 신뢰도가 높은 자료이다.

2.1.3 미국 BEES

BEES(building for environmental and economical sustainability)는 미국표준기술연구소(NIST)에서 운영하고 있는 환경영향의 평가도구이다(www.bfrl.nist.gov). 현재 BEES 4.0 version이 출시되어 있으며, 웹에서 내리기가 가능하다. BEES 4.0의 데이터베이스는 슬래브, 벽체, 보 및 기둥용 1종 포틀랜드 시멘트, 실리카 폼 시멘트(SF 10%), 고로슬래그 시멘트(고로슬래그 20, 35, 50%), 플라이 애쉬 시멘트(플라이 애쉬

* 정회원, 한경대학교 건축학부 교수
choidu@hknu.ac.kr

15, 20, 35%), LPC(limestone powder cement, 석회석 미분 5, 10, 20%)를 포함하고, 또한 이러한 시멘트를 사용한 21, 28, 34 MPa(3,000, 4,000, 5,000 psi)급 콘크리트의 배출계수도 포함한다⁷⁾.

2.2 환경영향의 평가체계

환경영향에 관한 평가체계로서 전 세계적으로 가장 널리 알려진 것은 영국 BRE(building research establishment)의 BREEAM(BRE environmental assessment method)인 것으로 사료된다. 그러나 미국의 LEED, Green Globes 등도 역시 중요한 평가체계로 자리매김하고 있다.

2.2.1 LEED(leadership in energy and environmental design)

건축 구조물에 대한 환경영향 평가체계인 LEED는 1998년 USGBC(U.S. green building council, www.usgbc.org)이 발표하였으며, 현재 Green Globes와 함께 미국의 대표적인 평가체계이다. LEED는 전문가 자격증을 부여하고 있으며, 일정 자격을 취득한 전문가는 LEED Accredited Professional (LEED AP)로 불린다. 그러나 LEED는 국가 및 지방정부의 입법 등에 의한 강제 사항은 아니며, 필수 항목을 포함 7가지 영역에서 건축 구조물의 환경성능을 평가하고, 결과적으로 4가지 환경 등급을 부여할 수 있도록 구성되어 있다.

2.2.2 Green Globes

미국의 Green Globes(www.greenglobes.com)는 건축 구조물의 지속가능성을 평가할 수 있는 온라인(online) 전과정 평가에 의한 환경영향의 평가도구(online LCA tool)이며, BREEAM에 근거를 두고 있다. 2010년 버전(version)부터 시작하여 미국 표준(ANSI Standard)으로 인정될 예정이다⁸⁾.

2.2.3 기타 평가체계

미국의 평가체계는 이외에도 주거용 건축물에 대한 National Green Building Standard(ICC-700-2008)가 있으며 역시 ANSI가 인증하고 있다. 또한 평가체계는 아니지만 에너지 소비를 저감할 수 있는 건설기술 요령을 포함한 Energy Star도 있다.

2.3 표준 및 설계기준

미국의 건축 구조물은 전체 에너지 소비의 40%, CO₂ 배출의 39%, 물 소비의 13% 및 GDP의 15%를 차지하는 것으로 평가되고 있으며, 2008년 미국은 87.8백만톤의 시멘트를 생산하였

다. 이에 따라 아래와 같은 녹색 건축 구조물에 대한 표준 및 설계기준 제정이 계속 이루어지고 있는 것으로 보여 진다.

2.3.1 Standard 189.1

미국의 대표적인 건축 구조물의 환경 표준은 ANSI/ASHRAE/USGBC/IES 등에서 공동으로 관리하고 있는 Standard 189.1-2009(standard for the design of high-performance green buildings)로 사료되며, 이 표준은 아래 IgCC에 포함되어 있다⁹⁾.

2.3.2 IgCC(international green construction code)

미국의 구조물 설계기준인 IBC(international building code)를 관리하는 ICC(international code council)는 2010년 3월 IgCC를 모델코드로 발표하였다. 이 모델코드는 현재 PV(public version)의 내리기(www.iccsafe.org)가 가능하며, 퍼블릭 코멘트에 의한 수정 절차를 거쳐서 2012년 초 정식 모델코드로 채택될 예정이다. 이 모델코드를 주정부, 지방정부 등에서 인용하는 경우, 바로 입법적인 효과를 갖게 되는 중요한 의미가 있다. IgCC는 다음과 같이 7개 분야로 구성되어 있다.

- 1) Site development and land use
- 2) Material resource conservation and efficiency
- 3) Water resource conservation and efficiency
- 4) Indoor environmental quality and comfort
- 5) Commissioning, operation, and maintenance
- 6) Existing buildings
- 7) Existing building site development

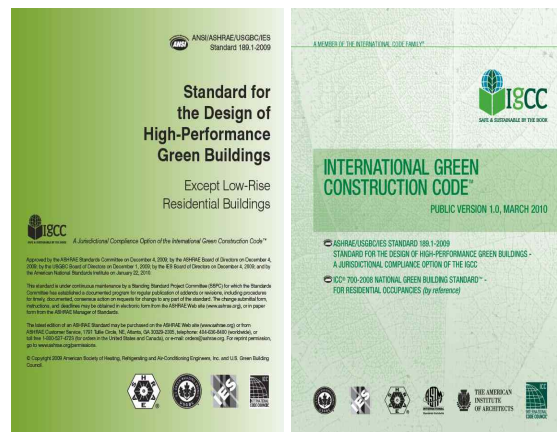


그림 1. Standard 189.1-2009 및 IgCC(2010)

2.3.3 ASTM C 150

ASTM C 150(standard specification for portland cement)은 2004년 포틀랜드 시멘트에 킬른에서 소성되지 않은 석회암 분말(limestone powder)을 5%까지 포함할 수 있도록 개정된 바 있었다. 추가적으로 2009년도 개정판에서는 무기질 재료(inorganic processing material) 5%, 유기질 재료(organic processing material) 1%까지 허용하였다. 그러므로 보통 포틀랜드 시멘트에서 이들의 함량을 최대 11%까지 허용한 것이 된다¹⁰⁾.

3. 미국콘크리트학회(ACI) 및 기타 기관/단체의 지속가능한 콘크리트 기술

3.1 EPA(environmental protection agency)

미국 환경청(EPA)는 미국 총 온실가스 배출의 84%를 차지하는 14개 주요 산업에 대한 온실가스 배출을 보고하였다¹¹⁾. 이

보고서에 의하면 2002년 시멘트 산업에서 온실가스 배출량은 총 83백만톤-CO₂이고, 이는 전체 산업 중 약 4%에 해당한다. <그림 2>에 시멘트 산업의 에너지 소비 및 CO₂ 배출 현황을 나타내었다. 또한 건설 분야에서의 온실가스 배출은 <그림 3>과 같이 총 1.31억톤-CO₂이고, 전체 산업 중 약 6%에 해당한다.

3.2 ACI Vision 2030

ACI에서 처음 지속가능성을 언급한 것은 2001년 발표한 Vision 2030인 것으로 사료된다. Vision 2030에서는 1970년 미국의 상황과 현재(2000년)를 비교한 것을 근거로 2030년까지 콘크리트 산업의 에너지 효율성, 환경성능, 자원보존 등의 정량적인 감축 목표를 제시하였다. 그러나 Vision 2030은 관련 단체(미국시멘트협회 등)와 사전 조율 등이 부족한 상태에서 작성된 점이 노출되었고, 이에 따라 아래 다수의 관련 단체가 참여하는 JSI(joint sustainability initiative)로 재구성되었다.

3.3 ACI Committee 130

ACI의 130 기술위원회(sustainability)는 최근 참고 문헌 8, 12 등을 발표하고 있으며, 100개 이상의 ACI 위원회 중에서도 현재 가장 활동이 활발한 조직 중 하나이다. 콘크리트의 열질량(thermal mass), 장수명, 경제성 등 콘크리트의 환경적 이점을 부각시키는 면에서도 많은 노력을 하고 있으며, 특히 2008년부터 ACI-ISO/TC71/SC8 공동으로 매년 환경 포럼을 개최하고 있다.

3.4 JSI(joint sustainability initiative)

JSI에서는 ACI, 포틀랜드시멘트협회(PCA), 레미콘협회(NRMCA) 등을 비롯한 26개 시멘트 및 콘크리트 산업과 관련된 기관과 단체가 협력하고 있으며, 현재 콘크리트 분야에서 지속가능발전을 주도

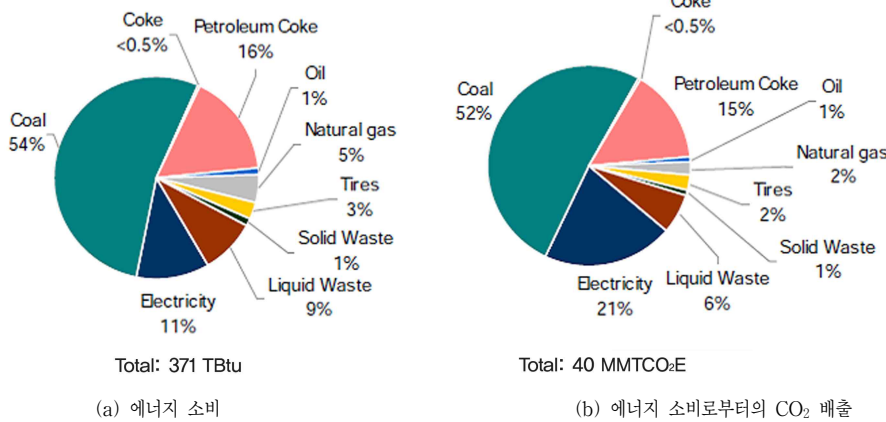


그림 2. 미국 시멘트 산업에서 에너지 소비 및 CO₂ 배출 현황 (2002년)¹¹⁾

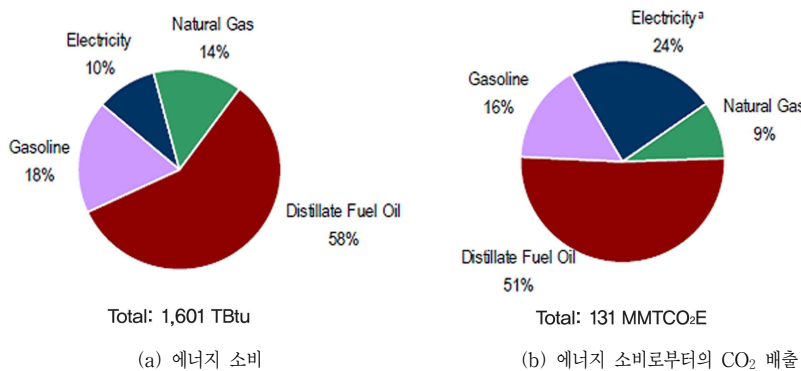


그림 3. 미국 건설 산업에서 에너지 소비 및 CO₂ 배출 현황(2002년)¹¹⁾

하고 있는 협의체이다(www. sustainableconcrete. org).

3.5 ISO/TC71/SC8

미국은 ISO/TC71(concrete, reinforced concrete and prestressed concrete)의 간사국이며, 이 위원회의 8 소위원회(SC8)는 현재 콘크리트 및 콘크리트 구조물의 환경성능에 대한 국제표준을 제정 중에 있다. 이 국제표준은 현재 ‘콘크리트 및 콘크리트 구조물의 환경성능에 대한 일반 원칙’이 진행되고 있으며, 다음과 같이 8개의 표준으로 구성될 예정이다. 우리나라도 SC8 간사국인 일본 등과 함께 이 국제표준 제정에 참여하고 있으며 필자 역시 이 위원회 활동에 정기적으로 참석하고 있다.

- 1) Part 1: General principle
- 2) Part 2: System boundary and inventory data
- 3) Part 3: Constituent and concrete production
- 4) Part 4: Environmental design of concrete structures
- 5) Part 5: Execution of concrete structures
- 6) Part 6: Use of concrete structures
- 7) Part 7: End of life phase including recycling of concrete structures
- 8) Part 8: Labels and declaration

3.6 NRMCA(national ready mixed concrete association)

3.6.1 NRMCA의 에너지 소비 및 온실가스 배출 감축 목표
미국레미콘협회인 NRMCA는 2020년(팔호 안은 2030년까지 목표)까지 2007년 대비 다음과 같은 목표를 자체적으로 설정하였다.

- 1) 에너지 소비 20%(30%) 감축
- 2) CO₂ 배출량 20%(30%) 감축
- 3) 물(음용수) 사용 10%(20%) 감축
- 4) 폐기물 30%(50%) 감축
- 5) 재활용 재료 사용 200%(400%) 로 증가

3.6.2 지속가능한 콘크리트 플랜트 지침

NRMCA의 Sustainable Concrete Plant Guidelines (www.nrmca.org)는 2010년 발표되었다¹³⁾. 이 지침은 콘크리트 플랜트에 대하여 정량적으로 환경성능에 기초한 평가체계를 제시한 것이고, 2009년 시행한 설문조사에 기초하고 있다. 이 지침은 필수항목을 포함하여 다음과 같이 5가지 분야의 환경

영향을 평가하도록 하고 있으며 평가 결과에 따라 4가지(platinum/gold/silver/bronze) 등급으로 환경성능 등급을 부여할 수 있도록 제안하고 있다.

- 1) Material acquisition
- 2) Production
- 3) Construction
- 4) Product use
- 5) Recycling

또한 이 지침은 설문조사 결과에 기초하여 다음과 같은 미국의 여러 가지 정량적 평균값을 제시하고 있는데, 일부 내용을 소개하면 아래와 같다.

- 1) 레미콘 1 m³당 시멘트 량 = 287 kg/m³
- 2) 콘크리트 생산에 필요한 물의 양(배합수 제외) = 67.8 liter/m³
- 3) 콘크리트 생산에 필요한 배합수 양 = 130 liter/m³
- 4) 콘크리트 생산에 필요한 에너지 = 4.33 × 10⁶ btu/m³
- 5) 콘크리트 1 m³당 온실가스 배출 = 534 kg-CO₂/m³
- 6) 콘크리트 운반 관련 온실가스 배출계수 = 0.0479톤-CO₂/m³
- 7) 운송에 필요한 디젤 연료 소비 = 6.05 liter/m³

4. 결론

지구 기후변화와 이에 대한 대응에 있어서 가장 앞선 국가는 북유럽의 영국, 덴마크, 노르웨이 등을 포함한 여러 국가와 일본 정도인 것으로 사료된다. 이 글에서 제시한 것과 같이 북미의 캐나다 및 미국도 콘크리트 산업과 관련한 환경부하를 저감시키기 위한 여러 가지 활발한 활동을 하고 있다. 우리나라 역시 저탄소 녹색성장 정책에 맞추어 여러 가지 실질적인 활동이 이루어지고 있으므로 지속적인 연구개발과 더불어 이미 이루어진 연구결과를 적극적으로 취합하는 일 또한 중요한 것으로 판단된다. 예를 들어서 LCI 데이터베이스와 관련하여 지식경제부와 환경부가 개발한 국가 데이터베이스인 ‘KLCIDB(www.edp.or.kr/lcidb)’, 국토해양부의 ‘LCIDB’ 및 환경영향 평가도구인 ‘APESS(http://apess.kict.re.kr)’ 등을 들 수 있다. 친환경건축물인증제도 등도 지속적으로 발전시켜 나가야 할 분야로 사료된다. 또한 우리학회는 한국표준협회, 한국건설기술연구원과 함께 ‘시멘트 및 레미콘 산업의 온실가스 저감을 위한 표준화 기반구축’ 사업에 착수하고 있으며, 이로부터 시멘트 및 콘크리트 산업의 국가 환경표준 제시가 가능할 것으로 전망해 본다. □

참고문헌

1. Malhotra, P., 'Sustainability and Global Warming Issues, and Their Impact on Cement and Concrete Technology,' International Symposium, Taipei, Taiwan, 2008. 11.
2. ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, International Organization for Standardization, 2006.
3. ISO 14044, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, International Organization for Standardization, 2006.
4. NREL, US, LCI Database Project - Phase I Final Report, National Renewable Energy Laboratory, 2003.
5. NREL, US, LCI Database project - User's Guide (draft), National Renewable Energy Laboratory, 2004.
6. Athena Sustainable Materials Institute, Cement and Structural Concrete Products: Life Cycle Inventory Update #2, Ottawa, Canada, 2005.
7. NIST, BEES 4.0: Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide, National Institute for Standards and Technology, 2007.
8. USGBC, The Sustainable Concrete Guide: Strategies and Examples, US Green Building Council, 2010.
9. ANSI/ASHRAE/USGBC/IES, Standard for the Design of High-Performance Green Buildings, Standard 189.1-2009, 2009.
10. Tennis, P. and Melander, J.M., 'US Cement Specifications', Concrete International, ACI, 2010. 1, pp. 31 ~ 34.
11. EPA, Quantifying Greenhouse Gas Emissions from Key Industrial Sectors in the United States(working draft), Environmental Protection Agency, 2008.
12. ACI Committee 130, E., Concrete: The Sustainable Material Choice, ACI SP-269, in CD - Rom, 2010.
13. NRMCA, Sustainable Concrete Plant Guidelines, National Ready Mixed Concrete Association, 2010.

담당 편집위원 :
권기주(한국전력공사) kyeunkjoo@kepeco.co.kr

▶ 학회 홈페이지(www.kci.or.kr)에서 구매 가능합니다.

콘크리트구조설계기준 예제집

| 한국콘크리트학회 편 | 468쪽(A4변형) | ISBN 9788962252200 |
| 비회원 35,000원, 회원 28,000원 | 출판사 기문당 | 2010. 2. 25 발행 |

■ 소개

우리학회가 주관하여 1999년 5월에 처음으로 콘크리트구조설계기준을 제정하였다. 그 후 2000년 9월에는 설계기준의 배경을 쉽게 이해하도록 설계기준해설집을 발간하였다. 그 뒤 2003년과 2007년에 기준과 해설집을 개정하였다. 그런데 일반적으로 구조설계기준은 해설집뿐만 아니라 예제집도 갖추어야 함에도 불구하고 10년 동안 예제집을 마련하지 못한 실정이었다. 이 예제집은 설계기준의 마지막 부분을 채우기 위한 목적으로도 발간한 것이다. 필자들은 이 예제집이 독자들에게 콘크리트구조설계기준의 효율적인 사용에 많은 도움을 주었으면 하는 바람이다.

BOOK NOTICE

