



국내의 지역 및 계절에 따른 콘크리트 배합별 환경영향평가

서은아^{1)*} · 양근혁²⁾ · 정연백¹⁾

¹⁾경기대학교 건축공학과 ²⁾경기대학교 플랜트·건축공학과

Environmental Impact Assessment of Different Concrete Mixture Proportions according to Domestic Region and Season

Eun-A Seo,^{1)*} Keun-Hyeok Yang,²⁾ and Yeon-Back Jung¹⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Kyonggi University Graduate School, Seoul 120-702, Korea

²⁾Dept. of Plant · Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

ABSTRACT This study analyzed a comprehensive database including 6331 ready-mixed concrete plant mixtures to quantitatively assess the environmental impact of concrete under mixture proportions variable according to the domestic region and season. The environmental impact indicator includes global warming, photochemical oxidant creation, abiotic resource depletion, acidification, eutrophication and human toxicity, which are determined from categorization, characterization, normalization and weighting process based on Korea lifecycle inventories. The determined environmental impact indicator was also normalized by concrete compressive strength (f_{ck}), which is defined as impact index, to calculate the environmental impact per unit strength of 1 MPa. The most common compressive strength of concrete used in the country is estimated to be 24 MPa and 27 MPa. For f_{ck} of 24 MPa, the lowest environmental impact indicator is observed in Ulsan, whereas the highest region is Gwangju and Daegu. This difference according to domestic region is primarily resulted from by the replacement of different supplementary cementitious materials. Furthermore, the impact index of concrete with f_{ck} of 24 MPa is higher by approximately 5% at wintertime than at summertime and standard season. The impact index gradually decreases with the increase of f_{ck} up to 35 MPa, beyond which it remains constant.

Keywords : environmental impact, CO₂, region, season, concrete mixture proportions

1. 서 론

콘크리트는 비교적 저렴한 가격과 우수한 성능을 바탕으로 건설산업에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 건축 재료이다. 콘크리트 배합설계는 일반적으로 목표 슬럼프와 압축강도에 의해 결정된다. 하지만 콘크리트의 주요 구성성분인 보통 포틀랜드 시멘트(ordinary portland cement, OPC)는 다량의 이산화탄소(CO₂)를 발생시킴에 따라 콘크리트 배합단계에서부터 CO₂ 저감이 중요한 목표로 고려될 필요가 있음이 제시되고 있다.^{1,3)} 하지만 콘크리트 산업에서 환경영향을 평가하는 연구는 초보적인 단계이며, 지속가능한 콘크리트 산업으로 발전하기 위해 정책수립과 기술지원을 위한 자료도 아직까지 매우 미흡한 상태이다.⁴⁾

국내의 기후환경은 비교적 4계절이 뚜렷하며, 재료 공급원도 지역에 따라 차이가 있다. 이에 따라 동일 목표 슬럼프와 압축강도에 대한 콘크리트 배합표는 레미콘 공장의 위치에 따라 계절별, 지역별로 다소 차이가 있다. 특히 고로슬래그(granulated ground blast-furnace slag; GGBS), 플라이애쉬(fly ash; FA) 및 실리카퓌름(silica fume; SF) 등의 혼화재(supplementary cementitious materials, SCM) 치환율은 이들 공장위치에 따라 지역별로 상당한 차이가 있다. 제철소가 위치한 광양과 포항인근지역의 레미콘 공장에서는 콘크리트의 혼화재로 대부분 GGBS를 사용하는 경향을 보이는 반면, 화력발전소가 위치한 삼천포와 영흥 등의 인근지역 레미콘 공장에서는 GGBS보다 FA 치환율이 더 높다. 이로 인한 콘크리트 배합성분 비율들의 차이는 전과정 평가(lifecycle assessment, LCA)에 의한 콘크리트 환경부하량에 영향을 끼치게 된다.³⁾ 환경설계 및 그린 시방서 개념^{4,8)}이 중요하게 다루어지는 시점에서 국내의 계절 및 지역에 따른 콘크리트 생산단계에서의 환경부하량 비교는 설계자 및 시공자에게 귀중한 데이터를 제공할 수 있다.

*Corresponding author E-mail : ssooaa@naver.com

Received September 27, 2013, Revised November 5, 2013,

Accepted December 16, 2013

©2014 by Korea Concrete Institute

이 연구의 목적은 국내의 지역과 기후조건이 콘크리트의 배합설계와 환경영향에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 환경영향 평가를 위한 시스템 경계는 콘크리트 구성 원재료들의 채취단계(요람)에서부터 시공 전 단계까지이다. 평가요소는 절대 부하량으로서 CO₂ 발생량을 평가하였으며, 환경영향 지표로서 지구온난화, 광화학산화물생성, 자원고갈, 부영양화, 산성화 및 인간독성을 평가하였다. 평가지표는 환경부에서 제시한 ‘한국형 환경영향지수 방법론⁹⁾’에 근거하였으며, 환경영향평가는 ISO 14040 시리즈⁸⁾를 기반으로 하였다. 각 재료의 원재료 채취단계부터 운반단계까지의 전과정 목록(lifecycle inventory; LCI)은 한국환경산업기술원¹⁰⁾에서 제공하는 국가 LCI 데이터베이스 정보망을 기반으로 하였다.

2. 콘크리트의 전과정 환경영향 평가 절차

2.1 목적 및 범위 설정

이 연구에서 전과정 평가의 시스템경계는 Fig. 1에 나타난 콘크리트 공정흐름도와 같이 재료채취단계(요람)에서 시공 직전단계까지이다. 전과정 평가에서는 소모되는 자원과 발생하는 대기 배출물, 수계 배출물 등이 고려되었다. 콘크리트 배합설계에 대한 자료는 국내 14개 레미콘사에서 제공한 6331개 데이터를 이용하였다. 콘크리트 구성재료의 운송단계에서는 시멘트, GGBS, FA와 같은 결합재는 23톤 벌크차량, 골재는 15톤 트럭을 적용하였다. 생산된 콘크리트의 운반은 6 m³ 용량의 레미콘 트럭을 사용하였다.

2.2 전과정 목록(life-cycle inventory, LCI) 분석

전과정 목록분석은 전과정 평가의 가장 중요한 단계로 연구범위에서 설정한 시스템경계까지의 투입물과 산출물 요소를 기록하여 목록화하는 과정이다. 여기서 투입물은 에너지원, 원재료, 제품 등이며, 산출물은 CO₂, CO, NO_x와 같은 환경오염물질들을 뜻한다. 따라서 시스템 경계 내에서 콘크리트 전과정 평가에서 발생된 9가지 환경부하 발생량(CO₂, CO, NO_x, SO_x, NH₃, 무연탄, 유연탄, 천연가스, 원유)에 의한 환경영향을 평가하기 위해서는 각각의 LCI DB가 요구된다.

LCI DB는 천연자원 매장량과 에너지원 등의 환경에 영향을 받기 때문에 자국의 DB를 이용하는 것이 바람직하다. 하지만 국내에 구축된 건설자재의 LCI DB는 현저히 부족하기 때문에 GGBS, FA, SF은 일본 토목학회의 자료를 이용하였다.¹¹⁾ 고려된 시스템 경계에서 콘크리트의 환경부하량은 Yang et al.⁶⁾에 의해 제시된 평가절차를 따랐으며, 다음에 요약하였다.

2.3 환경영향 평가

환경영향 평가지표는 LCI DB에 의해 산정된 환경부하량이 각각의 영향범주에 미치는 영향을 정량화한 것이다. 이 연구에서는 환경영향 범주를 무생물 자원고갈, 지구온난화, 광화학산화물 생성, 산성화, 부영양화 및 인간독성의 6개로 분류하였다. 환경영향을 객관적으로 평가하기 위하여 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치 부여하는 과정이 필요하다. 이들 과정을 통해 산정되는 환경영향 지표(WI)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁹⁾

$$WI_i = \frac{\sum_j (Load_j \cdot eqv_{i,j})}{N_i} w_i \quad (1)$$

여기서, Load_j는 j번째 목록항목의 환경부하량이며, eqv_{i,j}는 영향범주 i에 속한 j번째 목록항목의 특성화 계수 값이다. N_i는 영향범주 i의 정규화 기준 값이며, w_i는 영향범주 i의 가중치 값을 뜻한다.

환경영향 평가지표는 콘크리트에 투입되는 총 결합재 소비량에 의해 결정된다.^{6,12)} 즉, 콘크리트 압축강도의 증가는 결합재양의 증가로 인해 환경부하량의 증가를 동반한다. 반면 콘크리트 압축강도의 증가는 구조부재의 단면크기를 줄일 수 있다. 이는 콘크리트 물량의 감소를 통하여 환경부하량 감소를 유도할 수 있음을 의미한다. 따라서 콘크리트의 환경영향은 단위 압축강도(1 MPa)의 발현을 기준으로 평가할 필요가 있다. 이 연구에서는 단위 압축강도에서의 환경영향을 평가하기 위해서 환경영향 지표를 콘크리트 압축강도로 무차원한 값을 환경영향지수(λ_i)로 다음과 같이 정의하였다.

$$\lambda_i = \frac{WI_i}{f_{ck}} \quad (2)$$

여기서 f_{ck}는 콘크리트의 설계압축강도이다.

3. 콘크리트 배합 데이터 베이스

계절과 지역의 변화가 콘크리트의 환경영향에 미치는 영향을 평가하기 위하여 국내 14개 레미콘사에서 제공

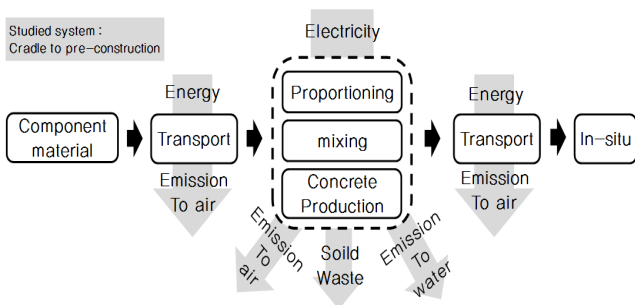


Fig. 1 Procedure of concrete LCA (studied system : from cradle to preconstruction)

한 6331개의 콘크리트 배합설계 데이터베이스를 정리하였다. 구축된 콘크리트 배합설계 DB는 레미콘 회사에서 검증을 거친 후 실제적으로 건설현장에서 사용되는 자료이다. 이 데이터베이스에서는 결합재로 시멘트만을 사용한 배합과 혼화재를 치환한 배합을 포함하고 있다. 콘크리트의 배합설계에 따라 혼화재의 치환율은 상이하지만 혼화재를 치환한 콘크리트 배합설계에서는 FA를 치환한 콘크리트 배합설계가 주로 사용되고 있다. 이는 GGBS에 비해 FA의 콘크리트 유동성 향상능력과 가격경쟁력 때문이라 판단된다.¹³⁾

3.1 계절별 콘크리트 배합 데이터 베이스

계절에 따른 콘크리트 배합은 표준기(3~5월, 9~10

월), 하절기(6~8월), 동절기(11~2월)로 구분하였는데, 각 계절별 데이터 수는 각각 1176배합, 2931배합, 1359배합이다(Fig. 2). 데이터베이스에서 콘크리트의 재령 28일 압축강도의 범위는 18 MPa~40 MPa이다. 국내 건설현장에서 주로 많이 사용되는 콘크리트 압축강도는 24 MPa, 21 MPa, 18 MPa 순이었다. 압축강도 35 MPa 이상의 콘크리트의 사용은 전체 데이터베이스에서 약 5%이었다.

Fig. 3과 4에는 콘크리트 설계 압축강도 24 MPa와 27 MPa에서 계절에 따른 혼화재 치환율을 나타냈다. 일반적으로 하절기의 혼화재 치환율이 표준기와 동절기의 치환율보다 약 10% 높았다. 콘크리트 압축강도가 24 MPa에서 27 MPa로 증가함에 따른 계절별 고로슬래그와 플라이애쉬 치환율의 변화는 미미하였다. 반면에 고로슬래그와 플라이애쉬를 모두 사용한 경우에는 표준기와 동절기에 혼

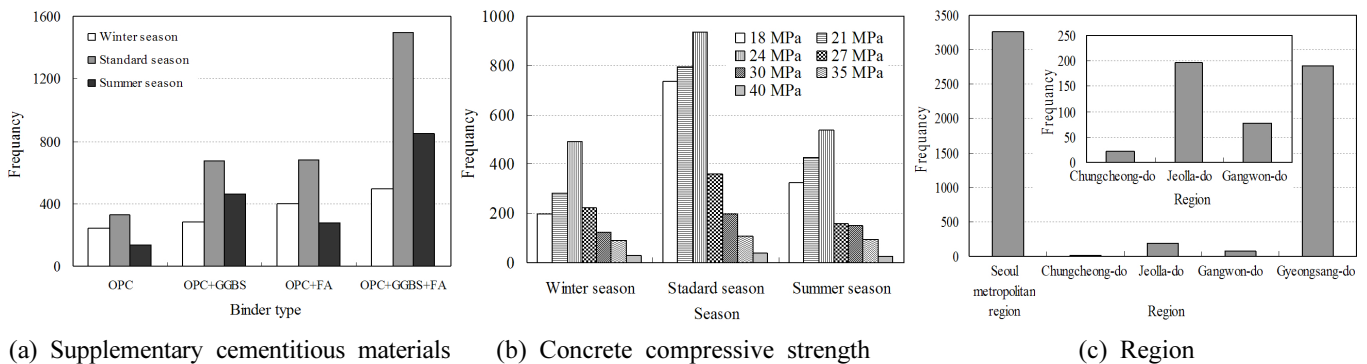


Fig. 2 Distribution of main parameters in the database

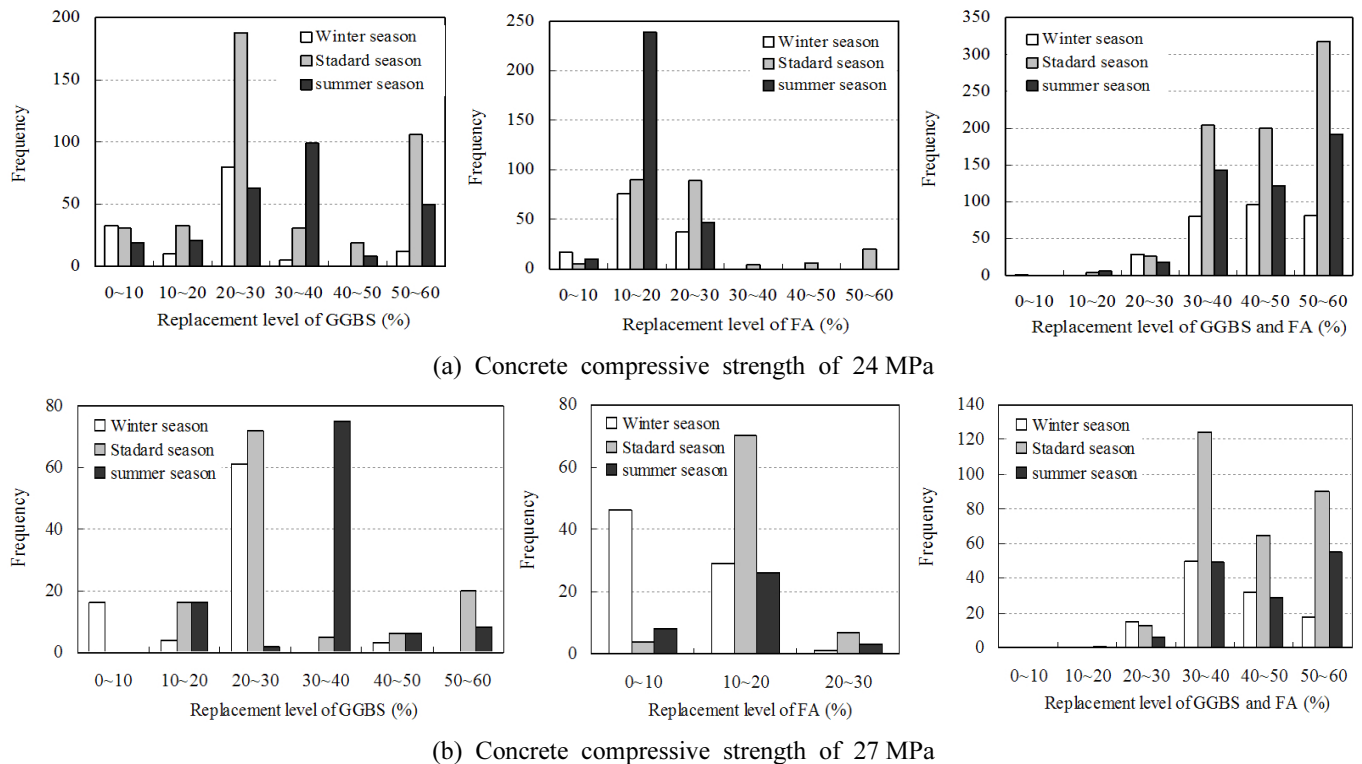


Fig. 3 Distribution of main parameters in the most common compressive strength ranges according to seasons (range given in horizontal axis: less or equal~greater than)

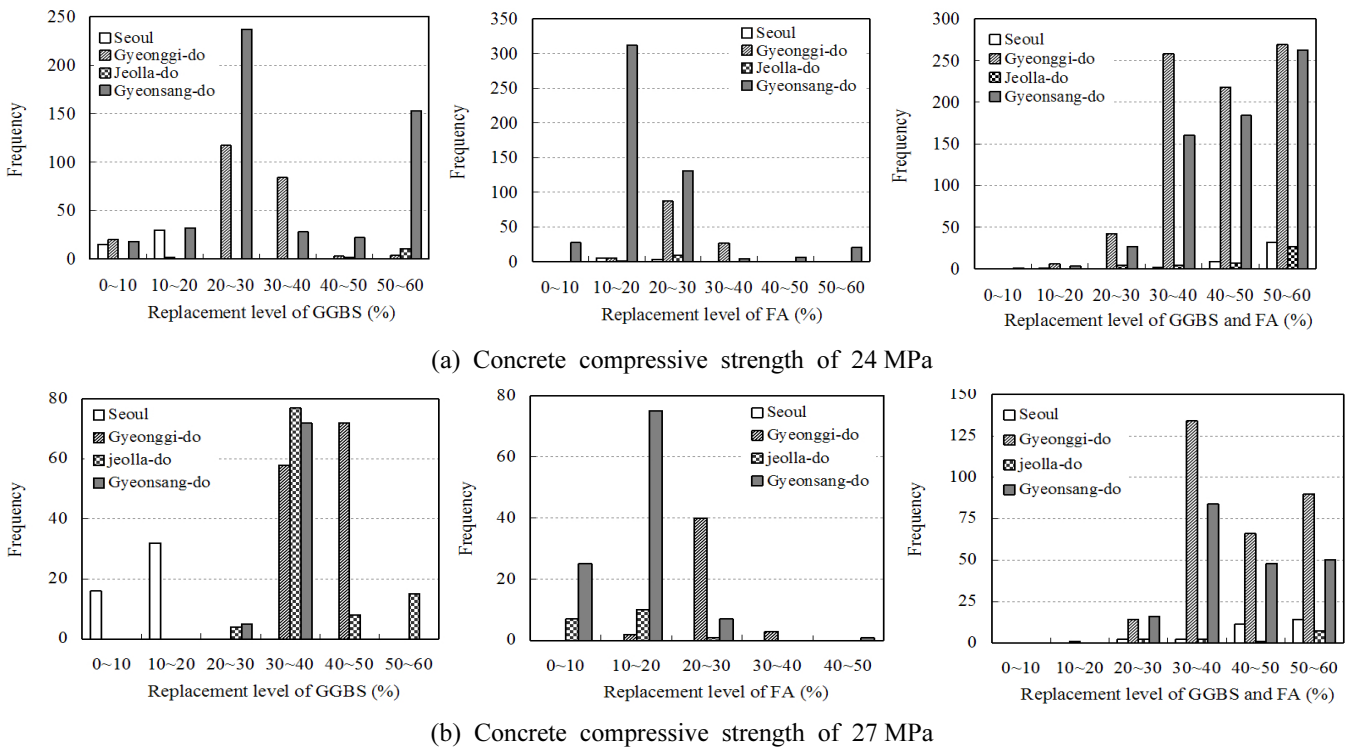


Fig. 4 Distribution of main parameters in the most common compressive strength ranges according to region (range given in horizontal axis: less or equal-greater than)

화재 치환율이 10% 이상 증가하였다.

3.2 지역별 콘크리트 배합 데이터베이스

지역별로는 서울, 경기권 3311배합, 강원권 228배합, 충청권 21배합, 전라권 195배합, 경상권 2823배합이다. 이 연구에서는 충청권과 전라권의 콘크리트 배합 데이터의 도(부산)로 하였다. 지역에 따른 콘크리트 배합설계의 분포경향은 큰 차이가 없었다. 콘크리트 압축강도가 24 MPa일 때 경기권, 전라권, 경상권에서 가장 많이 사용하는 콘크리트 배합설계의 고로슬래그 치환율(R_C)은 30~40%이었다. 서울의 R_C 은 10~20%로 상대적으로 낮았다. 또한 경기권의 경우 다른 지역과 다르게 압축강도가 증가함에 따라 R_C 가 약 10% 증가하였다. 플라이애쉬의 치환율(R_F)의 경우 압축강도에 큰 영향을 받지 않았으며, 경기권의 R_F 은 경상권과 비교하여 약 10% 정도 높았다. 반면에 고로슬래그와 플라이애쉬를 복합 치환한 콘크리트에서는 지역의 차이는 거의 없었지만, 강도가 24 MPa에서 27 MPa로 증가함에 따라 혼화재 치환율이 20% 가량 감소하였다.

4. 콘크리트 배합의 환경영향

4.1 환경영향에 대한 계절영향

부산지역 OPC 콘크리트의 계절에 따른 환경부하 발생량을 Fig. 5에 나타내었다. 콘크리트의 환경부하 발생량

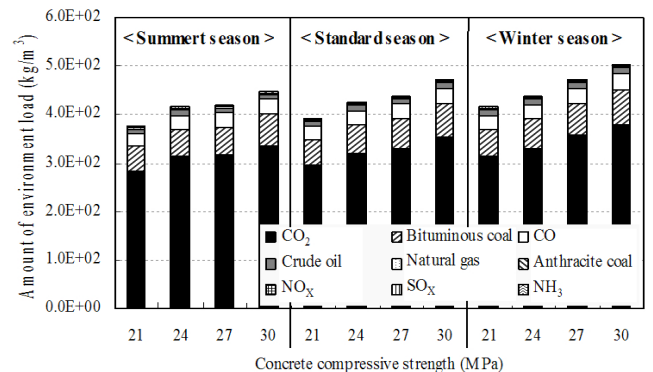


Fig. 5 Environmental loads of concrete according to the concrete compressive strength under different seasons

은 압축강도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 동절기의 환경부하량이 가장 많았다. CO₂는 콘크리트의 환경부하 발생량 중의 약 75%로 가장 많이 발생하였으며 이어서 무연탄, CO와 원유의 순이었다. 이는 콘크리트의 주재료인 시멘트의 CO₂ 발생량이 타 콘크리트 구성 재료에 비해서 현저히 높기 때문이다. 반면에 콘크리트에서 천연가스 및 유연탄의 소비량과 NO_x, SO_x, NH₃의 발생량은 미미하였다. 또한 콘크리트 압축강도 24 MPa 이하의 경우에는 총 환경부하 발생량이 하절기에서 동절기로 변함에 따라 약 2% 증가했지만 27 MPa를 넘어서면서 총 환경부하 발생량은 약 3% 증가하였다. 계절에 따른 콘크리트의 환경영향을 평가하기 위해 Fig. 5와 동일한 OPC 콘크리트 배합의 환경영향을 평가하여 Fig. 6에 나타냈다. 환경영향 지표(WI_T)값은 동절기, 표준기, 하절기

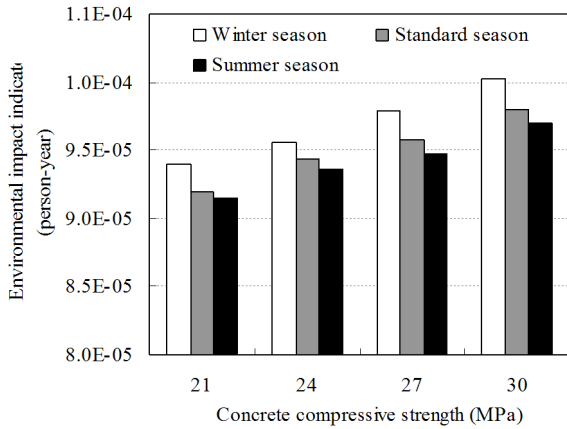


Fig. 6 Effect of f_{ck} on environmental impact indicator

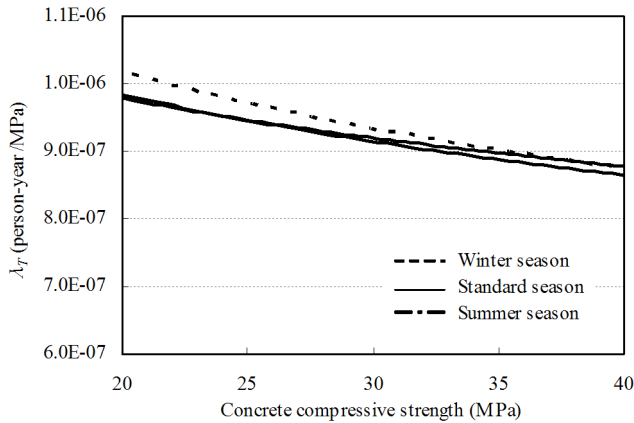


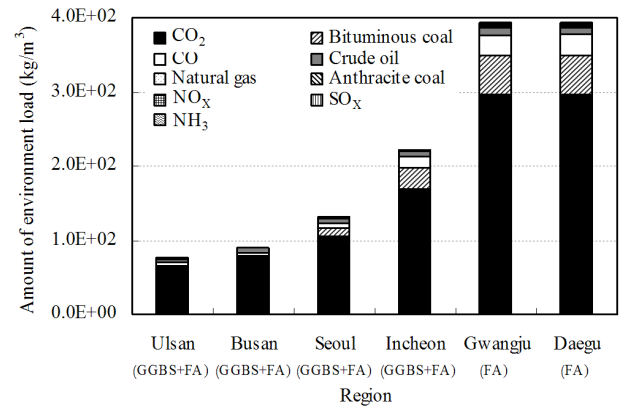
Fig. 7 Environmental impact index under different seasons

순으로 나타났다. 표준기 WZ_T 와 비교하여 동절기는 약 2% 증가했으며, 하절기는 약 1% 감소하였다. WZ_T 는 결합재의 양에 의해 결정되기 때문이다. 동절기의 경우에는 콘크리트의 양생이 낮은 기온에서 이루어지기 때문에 단위시멘트의 양을 증가시키거나 혼화재의 치환율을 저감하는 반면에 하절기에는 콘크리트의 온도균열을 방지하기 위해 단위시멘트 양을 감소시킨다.^{13,14)} 이러한 계절에 따른 결합재량의 증감은 콘크리트의 환경영향에 영향을 미쳤다.

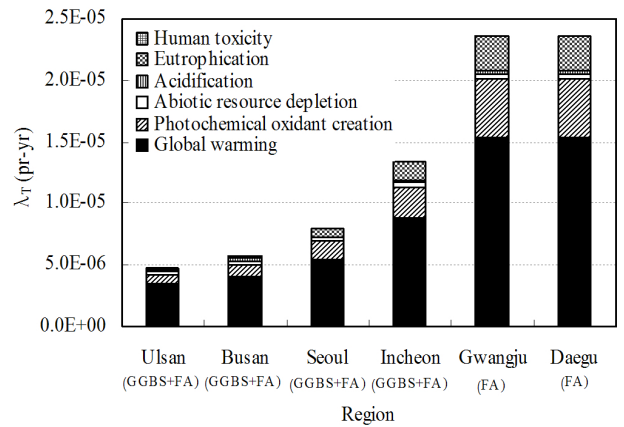
Fig. 7에는 압축강도에 따른 계절별 환경영향 지수(λ_T)를 추세선으로 나타내었으며 압축강도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 동절기의 λ_T 가 하절기 λ_T 보다 약 5% 높았으며 하절기와 표준기의 λ_T 는 거의 동일하였다. 반면에 콘크리트 압축강도가 35 MPa를 넘어서면 콘크리트의 환경영향지수에서 계절의 영향은 미미하였다.

4.2 환경영향에 대한 지역영향

Fig. 3과 4를 바탕으로 지역에 따라 주로 사용되는 콘크리트배합을 선택하여 6개 도시(서울, 인천, 대구, 광주, 울산, 부산)의 콘크리트의 환경부하 발생량과 환경영향지표를 평가하였다(Fig. 8). 일반적으로 6개 도시에서 주로



(a) Environmental loads of concrete



(b) Life-cycle environmental impact of concrete

Fig. 8 Environmental impact of concrete with SCM under different regions

사용되는 콘크리트는 혼화재가 치환된 콘크리트배합이었으며 도시에 따라 혼화재 종류와 혼화재 치환율이 상이하였다. 혼화재가 치환된 콘크리트에서는 지역에 따른 콘크리트의 환경영향의 차이가 현저히 크게 나타났다. 6개 도시 중에서 대구의 환경영향 지표가 가장 높았으며 가장 낮은 도시는 울산이었다. 반면에 광주와 대구의 경우 주로 사용되는 콘크리트 배합이 동일하여 환경영향 또한 동일하였다. 이는 지역에 따라 콘크리트 구성재료의 품질, 레미콘회사의 배합비와 콘크리트 타설지역의 환경조건의 차이로 인해 콘크리트 배합설계가 달라지기 때문이다. 울산에서 주로 사용된 콘크리트는 FA와 GGBS가 복합치환된 콘크리트로 대구나 광주와 비교하여 혼화재 치환율이 현저히 높았다. 콘크리트의 환경영향은 OPC의 양에 의해 결정되기 때문에 혼화재 치환율이 높을수록 환경부하 발생량과 환경영향 지표는 감소한다.

Fig. 9에는 혼화재가 치환되지 않은 콘크리트(OPC 콘크리트)에서 6개 도시의 환경부하 발생량과 환경영향지표를 나타내었다. OPC 콘크리트에서는 혼화재가 치환된 콘크리트와 비교하여 지역에 따른 환경영향의 차이가 크지 않았다. 인천의 환경부하 발생량이 가장 높았으며 광주가 가장 낮았다. OPC 콘크리트의 환경부하 발생량의 대부분은 CO₂ 발생량이었으며 6개 도시의 평균 CO₂ 발

5. 결 론

6331 개의 레디믹스 콘크리트 데이터를 기반으로 지역별, 계절별 콘크리트 배합비를 분석하였으며 지역과 계절이 전과정 환경영향 크기에 미치는 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

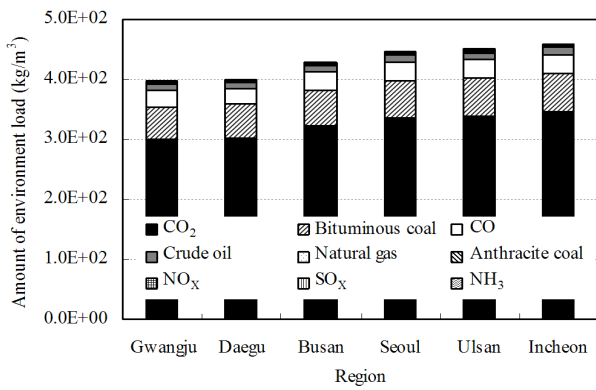
- 1) 콘크리트 배합설계에서 하절기의 혼화재 치환율은 동절기의 혼화재 치환율과 비교하여 약 10% 높았다.
- 2) 6331개의 국내 레미콘 배합설계에서는 고로슬래그와 플라이애쉬를 30% 이상 복합치환한 콘크리트를 가장 많이 사용하였으며 다음으로 플라이애쉬를 10~20% 치환한 콘크리트를 많이 사용하였다.
- 3) 콘크리트 압축강도가 24 MPa 이하의 콘크리트에서는 하절기에서 동절기로 계절이 변함에 따라 환경부하 발생량이 2% 증가하였다. 반면에 27 MPa 이상의 콘크리트는 하절기와 동절기의 환경부하 발생량의 차이가 약 3%였다.
- 4) 압축강도 24 MPa일때, 콘크리트의 환경영향지수는 동절기가 하절기 및 표준기에 비해 약 5% 높았다. 반면에 콘크리트 압축강도가 35 MPa를 넘어서면서 계절이 콘크리트의 환경영향 지수에 미치는 영향은 미미하였다.
- 5) 혼화재가 치환된 콘크리트에서 6개 대표도시(서울, 울산, 부산, 인천, 광주, 대구)의 환경부하 발생량 및 환경영향 지표가 가장 낮은 지역은 울산이었으며, 가장 높은 지역은 광주와 대구였다.
- 6) 지역에 따른 콘크리트 환경영향 지표의 차이는 혼화재 첨가의 경우가 무첨가에 비해서 다소 컸다.

감사의 글

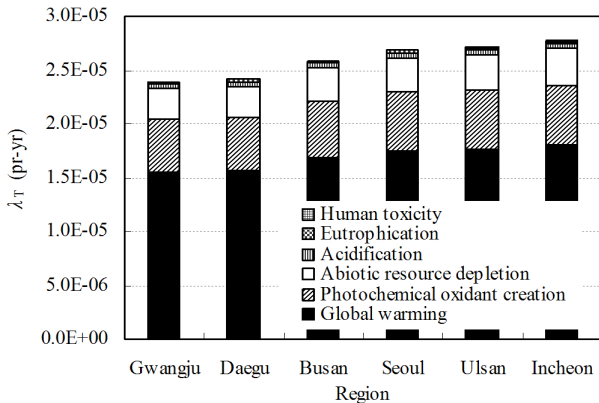
이 논문은 국토교통과학기술진흥원 건설기술혁신사업(과제번호: 12CCTI-C063722-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Korea Concrete Institute, *Concrete and Environment*, Kimoonang Publishing Company, Seoul, 2011, pp. 224-244.
2. Kim, R. H., Roh, S. J., and Tae, S. H., "A Study on the LCCO₂ sssessment according to the Apartment Types using Sustainable Durability Design Method," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 31, No. 2, 2012, pp. 79-86.
3. Korea Concrete Institute, *Concrete and Environment*, Kimoonang Publishing Company, Seoul, 2011, pp. 16-30.
4. Choi, D. S., Lee, M. E., and Cho, K. H., "Environmental Impact Assessment in Domestic Construction Industry Using Life Cycle Assessment," Korea Institute of



(a) Environmental loads of concrete



(b) Typical life-cycle environmental impact of concrete

Fig. 9 Environmental impact of concrete without SCM under different regions

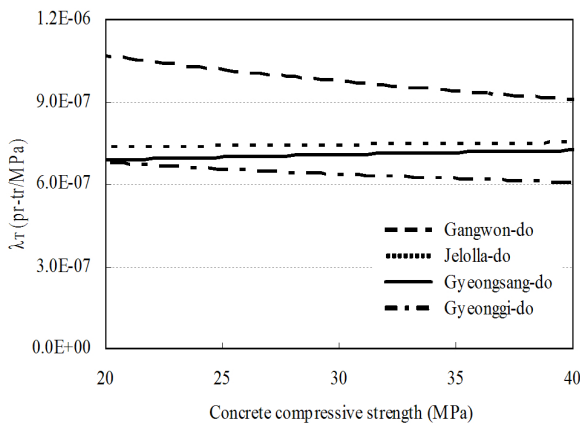


Fig. 10 Environmental impact index of concrete under different regions

생량은 324 kg/m³이었다. 또한 6개 도시의 환경영향 지표는 환경부하 발생량과 비슷한 경향을 보였으며 9개의 영향지표 중 지구온난화가 가장 높았다.

4개도(강원도, 전라도, 경상도, 경기도)의 콘크리트 환경영향지수에서 강원도와 경기도의 λ_T 는 압축강도가 증가함에 따라 감소하였으며 전라도와 경상도의 λ_T 는 큰 변화가 없었다(Fig. 10). 또한 지역 간 λ_T 의 차이는 콘크리트 압축강도가 24 MPa에서 40 MPa로 증가함에 따라 3% 감소하였다.

- Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 6, No. 1, 2012, pp. 46-55.
5. Task Group 3.3, *Environmental Design*, International Federation for Structural Concrete (fib), Switzerland, 2004. 74 pp.
 6. Yang, K. H., Seo, E. A., Jung, Y. B., and Tae, S. H., "Effect of Ground Granulated Blast-Furnace Slag on Life-Cycle Environmental Impact of Concrete," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 26, No. 1, 2014, pp. 13-21. (doi: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2014.26.1.013>)
 7. ICC, *International Green Construction Code*, International Code Council, USA, 2012, 147 pp.
 8. ISO, *Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework*, ISO 14040, International Standardisation Organisation (ISO), 2006, 28 pp.
 9. The Ministry of Environment, *Method of Environmental Impact Assessment Index of Korea*, 2003, 166 pp.
 10. Korea LCI Database Information Network, <http://www.edp.or.kr/lcidb>. (access on September 31, 2013)
 11. Sakai, K. and Kawai, K., *JSCE Guidelines for Concrete No.7: Recommendation of Environmental Performance Verification for Concrete Structures*, Japan Society of Civil Engineering, 2006, 28 pp.
 12. Korea Concrete Institute, *Environmental Impact and CO₂ Evaluation of Concrete Structure*, Kimmondang Publishing Company, Seoul, 2013, 123-130.
 13. Han, M., C., "Estimation of the Strength Development of the Super Retarding Concrete Incorporating Fly Ash and Blast Furnace Slag," *Journal of The Korea Institute of Building Construction*, 2008, Vol. 8, No. 5, pp. 199-24.
 14. Korea Concrete Institute, *New Concrete Engineering*, Kimmondang Publishing Company, Seoul, 2011, pp. 671-686.

요약 지역과 계절이 콘크리트의 전과정 환경영향에 미치는 효과를 정량적으로 평가하기 위해 6331개의 레디믹스 콘크리트 배합을 분석하였다. 콘크리트의 환경영향은 국가 생애주기 데이터목록을 기반으로 산출한 환경부하 발생량을 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치 단계를 거쳐 6가지 환경영향 범주(지구온난화, 자원고갈, 광화학산화물생성, 산성화, 부영양화, 인간독성)로 나타났다. 단위압축강도에서의 환경영향 지표를 평가하기 위해 콘크리트 압축강도로 무차원한 환경영향 지수로 정의하였다. 국내에서 가장 많이 사용되는 콘크리트의 압축강도(f_{ck})는 24 MPa와 27 MPa이다. f_{ck} 이 24 MPa일때 환경영향 지표가 가장 낮은 지역은 울산이었으며 가장 높은 지역은 광주와 대구였다. 지역에 따른 환경영향의 차이는 지역에 따라 사용되는 혼화재의 종류와 치환율이 다르기 때문이다. 또한 압축강도 24 MPa일때, 콘크리트의 환경영향지수는 동절기가 하절기 및 표준기에 비해 약 5% 높았다. 반면에 콘크리트의 환경영향 지수는 콘크리트 압축강도가 35 MPa를 넘어서면서 계절의 영향은 미미하였다.

핵심용어 : 환경영향, CO₂, 지역, 계절, 콘크리트 배합비율