

콘크리트구조물의 이산화탄소배출 저감 기법에 관한 연구

A Study on Reduced CO₂ Emission of Concrete Structures

김 기 환* 송 하 원** 변 근 주***
Kim, Ki Hwan Song, Ha Won Byun, Keun Ju

ABSTRACT

This study concerned the quantification of environmental aggressiveness of concrete structure building up and applied to design of concrete structure. Only the content of carbon dioxide evacuated in the process of fabricating concrete structure was taken as an environmental load and various parameters, for example, material production, transportation, building-up, destruction and reuse were considered. Also, the life span of a concrete structure was taken into account in evaluating the carbon dioxide evolution. Consequently a single equation for the environmental load was obtained, which were subsequently used to assess the effect of high strength/durable concrete structures.

1. 서론

최근 환경문제가 국제적인 이슈가 되고 있고, 매년 세계 에너지소비의 약 40%가 건설 분야에서 소비되고 있다. 우리나라의 역시 전체 에너지 소비의 약 30%를 건설 산업이 차지하고 있다. 특히 지구 온난화의 주된 원인이 이산화탄소임이 밝혀짐에 따라 생애주기 분석에 따른 건설 활동에 의해 발생하는 이산화탄소 저감을 고려한 콘크리트 구조물의 설계에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 콘크리트 구조물의 건설시 발생하는 환경부하 중 이산화탄소 배출량을 정량화하여 이를 콘크리트 구조물의 설계에 반영하는 연구를 수행하였다. 구조물의 사용수명은 염해만을 고려하였으며, 이산화탄소 배출과정은 건설 재료의 생산, 운반, 폐기 및 재활용을 고려하였다. 또한 콘크리트 구조물의 고강도화 및 고내구성화에 대한 이산화탄소 저감효과를 정량적으로 유도하였다.

2. 콘크리트 구조물의 이산화탄소 배출량의 정량화

2.1 건설재료의 이산화탄소 배출량의 정량화

-
- * 정회원, 연세대학교 건설공학연구소 연구원
 - ** 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수
 - *** 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수

표 1 2000년도 건설재료의 이산화탄소 배출량

재 료	이산화탄소 배출량 (ton-C/ton)
포틀랜드 시멘트	0.322
고로슬래그 시멘트	0.138
잔골재	0.003
굵은골재	0.003
부순 굵은골재	0.007
일반철근	3.500
고장력철근	3.465
형강	4.950

표 2 2000년도 운송장비 별 이산화탄소 배출량

운송장비	구분	이산화탄소 배출량 (ton-C/대)
레미콘트럭(13.2ton)	1톤트럭	0.000268
	2.5톤트럭	0.000365
	3톤트럭	0.000306
	4.5톤트럭	0.000412
	5톤트럭	0.000458
	8톤트럭	0.000786
	11톤트럭	0.000693
	20톤트레일러	0.001036
	레미콘트럭(13.2ton)	0.000819

건설재료의 이산화탄소를 정량화하기 위한 배출량은 표 1과 같다.

표 1의 2000년 이산화탄소 배출량으로부터 도출된 시멘트 및 바인더 제조시 이산화탄소 배출량은 식 (1), (2)와 같고 골재의 이산화탄소 배출량은 식 (3), 철강에서의 이산화탄소 배출량은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{cement} = 0.322 \times m_{cement} \tag{1}$$

$$E_{binder} = 0.138 \times m_G \tag{2}$$

$$E_{agg} = 0.003m_{fine} + 0.003m_{coarse} + 0.007m_{crush} \tag{3}$$

$$E_{steel} = 3.5m_s + 3.465m_{h_s} + 4.951m_{s_s} \tag{4}$$

2.2 운송에서의 이산화탄소 배출량의 정량화

운송단계의 이산화탄소 배출량은 적재용량을 운송장비의 한계용량으로 산출하였고 표 2와 같다. 레미콘 트럭 1대 당 레미콘 적재량은 13.2t을 기준으로 산정하였다. 운송에서의 이산화탄소배출량은 레미콘트럭을 사용하는 콘크리트의 운반과 일반 자재의 운반으로 분류하여 산출하였으며, 공차시와 만차시의 연료 소비 차이는 고려하지 않았다. 콘크리트의 운송은 식 (5)와 같으며, 일반자재의 운송시는 식 (6)으로 나타내었다.

$$E_{trans} = L \times C_{remi} \times n_{con} \tag{5}$$

$$E_{trans} = L \times \sum (C_{trans} \times n_{trans}) \tag{6}$$

2.3 폐기 및 재활용에서의 이산화탄소 배출 저감

폐기단계에서의 이산화탄소 배출량은 표 3과 같이 나타내며 식 (7)과 같이 나타낸다.

표 3 폐기단계에서 사용 장비의 이산화탄소 배출량

폐기장비 종류	규격	작업량 (m ² /hr)	CO ₂ 배출량 (ton-C/m ²)
브레이카+백호우	0.12m ³	2.40	0.0000687
	0.20m ³	3.80	0.0000652
	0.40m ³	9.00	0.0000773
	0.70m ³	10.50	0.0000515
	1.00m ³	17.70	0.0000608

$$E_{demol} = A \times C_{deoml} \tag{7}$$

재활용단계에서의 이산화탄소 배출량은 표 4와 같이 나타내며 식 (8)과 같이 나타낸다.

표 4 건설폐기물 재활용 공정에서의 이산화탄소 배출량

재활용 공정	에너지소비량 (kcal/ton)		이산화탄소 배출량 (ton-C/ton)
	전기	794.34	0.0002292
연료(경유)	3414.53	0.0009802	
합계	4,208.87	0.0012094	

$$E_{recycle} = 1.209 \times m_{recycle} \quad (8)$$

2.4 이산화탄소 배출 영향인자

콘크리트 구조물 건설시 제조, 운반, 폐기 및 재활용의 각 단계별 이산화탄소 배출량은 식 (9)로 나타낸다.

$$E_{tot} = E_{product} + E_{trans} + E_{demol} + E_{recycle} \quad (9)$$

$$E_{tot} \leq E_{req} \quad (10)$$

위 식 (10)에서 E_{req} 는 환경설계시 요구되어지는 이산화탄소 배출량의 설계 기준값이다. 본 장에서는 콘크리트 구조물 건설시 자재의 제조, 운송, 폐기 및 재활용에 대한 수학적 정량화를 통해서 구체적인 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 이를 통해서 이산화탄소 배출량을 최소화 할 수 있는 계획을 세울 수 있다.

2.5 콘크리트 구조물의 수명에 따른 이산화탄소 배출량

구조물의 수명이 다하게 되면 재건축이 필요하게 되며 이 과정에서 시공 및 폐기로 인한 이산화탄소가 추가 배출하게 된다. 따라서 콘크리트 구조물의 수명이 길어질수록 재건축에 따른 이산화탄소량 배출량이 감소하게 되며 사용수명을 통해서 이산화탄소의 연간 배출량을 산출 해 낼 수 있다. 구조물의 연간 이산화탄소 배출량은 식 (11)으로 나타낸다.

$$E_T = \frac{t_R}{t} \times E_{tot} \quad (11)$$

3. 콘크리트 구조물의 이산화탄소 배출 저감

3.1 고강도 콘크리트

고강도 콘크리트의 사용에 의해 구조물의 단면은 감소하였으며, 이에 시멘트, 골재, 철근의 사용량 역시 감소하여 운송, 폐기 및 재활용에서 배출되는 이산화탄소량도 감소하였음을 정량적으로 규명하였다. 공종별 감소량은 표 5에 나타내었으며, 그림 1에서 총 감소량을 비교하였다.

표 5 공종별 이산화탄소 감소량

설계 기준 강도	40 MPa	60 MPa	감소량 (ton-C)	감소비율 (%)
	배출량 (ton-C)	배출량 (ton-C)		
건설 재료	5684.25	5401.62	282.63	98.6
운 송	58.93	53.77	5.16	8.76
해 체	0.00337	0.0337	0	0
재활용	22.98	20.96	2.02	8.79
합 계	5766.19	5476.38	289.81	5.03

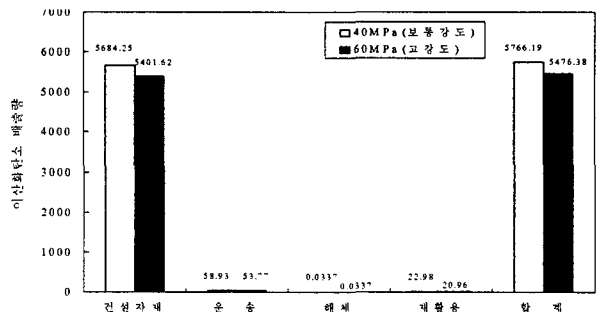


그림 1 고강도 콘크리트 사용에 따른 이산화탄소 배출량 비교

3.2 고내구성 콘크리트

본 연구에서는 임계염화물량을 시멘트량의 0.4%를 사용하였고, 이 값은 염소이온의 부식성과 시멘트 수화물의 방청 효과를 고려했다는 측면에서, 보다 더욱 합리적인 부식 임계염화물량을 제공하기 때문이다. 콘크리트 별 확산계수 (D)는 콘크리트 배합별 확산계수에서와 같이 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트는 1.2×10^{-12} m²/s, 고로슬래그 시멘트 콘크리트는 0.5×10^{-12} m²/s로 한다.

콘크리트 구조물의 사용수명은 Fick의 확산 제 2법칙을 이용하여 산정하여 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 사용수명은 26년이며, 고로슬래그 시멘트의 사용수명은 62년으로 산출되었다. 이 구조물들의 사용수명에 대한 이산화탄소 배출량은 식 (12)를 이용해서 산출하였다.

$$E_T = \frac{t_R}{t} \times E_{tot} \quad (12)$$

콘크리트 구조물의 설계 사용수명을 100년이라 했을 때, 콘크리트 교량의 건설, 폐기 및 재활용시 배출되는 총 이산화탄소량을 통해서 산출 할 수 있다. 총 이산화탄소 배출량은 5766.19 ton-C 이므로 100년간 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트를 사용한 교량의 이산화탄소 배출량은 22178 ton-C이며, 고로슬래그 시멘트 교량의 이산화탄소 배출량은 9300 ton-C이고 표 9와 같다.

표 9 고내구성 콘크리트 사용에 따른 사용수명 및 이산화탄소 배출량

구 분	보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트	고로슬래그 시멘트 콘크리트	비 고
사용 수명 (year)	26	62	36년 ↑
100년간 이산화탄소 배출량 (ton-C)	22178	9300	58% ↓

4. 결론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 고강도 콘크리트를 사용하여 건설 자재, 운송, 폐기 및 재활용에 이르는 과정에서 이산화탄소를 저감하는 방법을 제시하였으며, 자료의 분석과 콘크리트 교량의 대상 구조물을 통해서 보통 콘크리트를 사용한 경우보다 고강도 콘크리트를 사용한 대상교량에서 철근 사용량에 따른 이산화탄소의 변화가 가장 많았음을 알 수 있었고, 총 이산화탄소 배출량은 5.03% 감소하였음을 검증함으로써 실제 교량의 건설에 있어서 이산화탄소의 배출량을 저감할 수 있는 한 예를 제시하였다.
- 2) 본 연구에서는 대상교량의 염해에 의한 철근 부식이 시작되는 시간인 사용 수명이 보통 콘크리트를 사용한 경우는 26년이며, 고내구성 콘크리트의 경우는 62년으로 36년 증가함을 알 수 있었다. 또한 구조물의 사용수명을 100년으로 가정하였을 경우 재건축에 의해 배출되는 이산화탄소량은 고내구성 콘크리트의 경우 58% 감소함을 검증하였다. 따라서 고내구성 콘크리트를 사용할수록 재료적인 측면과 사용 수명적인 측면 모두 이산화탄소 배출량은 감소함을 알 수 있다.

참고문헌

1. FIB bulletin 28 : Task Group 3.3 (2004) Environmental design, FIB state-of-art report
2. 日本土木學會地球環境委員會環境負荷評價 (LCA) 研究小委員會編. (1997) 土木建設業における會環境負荷評價 (LCA) 研究小委員會講演要旨集
3. 한국건설기술연구원. (2004) 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구