COSEIK J. Comput. Struct. Eng., 26(5)
pp.335~342, October, 2013
http://dx.doi.org/10.7734/COSEIK.2013.26.5.335

pISSN 1229-3059 eISSN 2287-2302
Computational Structural
Engineering Institute of Korea

최적구조설계를 이용한 SRC 기둥의 CO_2 배출량 평가

최 세 운[1] · 전 지 혜[1] · 이 환 영[1] · 김 유 석[1] · 박 효 선[1†]

[1]연세대학교 건축공학과

CO_2 Emissions Evaluation for Steel Reinforced Concrete Columns Based on the Optimal Structural Design

Se Woon Choi[1], Ji Hye Jeon[1], Hwanyoung Lee[1], Yousok Kim[1] and Hyo Seon Park[1†]

[1]*Division of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea*

Abstract

Since the seriousness of environmental pollution came to the fore recently, various efforts have been made globally for the reduction of the environmental load. In particular, in the field of construction, an industry responsible for a considerable amount of pollution, studies have been actively conducted to reduce CO_2 emissions and energy consumption. However, most conventional research about pollution as it relates to construction is focused on the maintenance stages where CO_2 emissions are the greatest. Research related to the design stage is in its infancy, as it has only been conducted thus far on steel buildings and RC buildings. In fact, in order to achieve environmentally friendly construction considering the Life Cycle Assessment(LCA), the building design should be derived to reduce the CO_2 emissions from the early building design stage, and structural engineers should be able to suggest a design plan considering its environmental friendliness. In this study, optimal structural design method for steel reinforced concrete(SRC) columns considering CO_2 emissions is presented. The trends of CO_2 emissions in SRC columns according to the variations of steel shapes, concrete strengths and loads are investigated.

Keywords : *SRC column, optimal structural design, CO_2 emissions, environmental load*

1. 서 론

오랜 기간 동안의 급격한 산업 발전은 지구온난화, 자원의 고갈, 공해 등 인류의 생존마저 위협하는 심각한 환경오염 문제를 낳았다. 1997년 교토 의정서를 시작으로 환경보전에 관한 문제는 이제 더이상 누구의 잘못도 아닌 전 세계적인 공통과제가 되었으며, 각 산업분야에서도 환경부하 저감을 위해 다양한 노력을 쏟고 있다.

International Energy Agency(IEA)에 의하면, 건물에 의해 소비되는 에너지로 인한 CO_2배출량은 전체 CO_2배출량의 약 24%를 차지한다(De T'Serclaes, 2007). 또한 미국에서는 에너지 소비량의 약 54%가 건물과 공사과정에 직간접적으로 연관되어 있으며, 상업건물의 경우 그 영향이 더 커진다고 알려져 있다(Guggemos and Horvath, 2005). 이처럼 건설산업은 대표적인 환경저해 산업으로 2000년대 들어선 이후로 CO_2배출량을 저감시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이러한 연구 중에는 전 과정 CO_2 평가 모델 개발(Zhang *et al.*, 2006), 친환경 설비시스템 및 재료개발(Gartner, 2004; Radhi, 2010; Yang *et al.*, 2008), green building 설계(Wang *et al.*, 2005) 등이 있었으며, 대부분의 연구가 건물의 사용 및 유지관리 단계에서 발생하는 CO_2량에 초점을 두고 있다. 이는 나라마다 약간의 차이는 있지만 이 단계에서 가장 많은 CO_2량이 배출되기 때문이다(Sartori and Hestnes, 2007). 그러나 Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC, 2007)는 배출되는 양에 상관없이 저감이 가능한 단계에서는 CO_2배출량을 적극적으로 저감시키는 것이 미래개발을 위해 필요하다고 하였다. 즉, CO_2발생량이 많고 적음에 상관없이 Life Cycle Assess-

† Corresponding author:
Tel: +82-2-2123-2794; E-mail: hspark@yonsei.ac.kr
Received May 28 2013; Revised July 15 2013;
Accepted July 28 2013
©2013 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ment(LCA)적 관점에서 친환경적 건설산업을 이루기 위해서는 건물의 초기설계 단계에서부터 CO_2 배출량을 저감시키기 위한 방향으로 설계를 유도할 수 있어야 한다. 또한 재료마다 배출되는 CO_2량을 구조설계단계에 반영함으로써 CO_2 발생량을 저감시키는 것이 가능하기 때문에, 이를 바탕으로 엔지니어는 설계안의 환경성을 평가할 수 있어야 한다(Cole, 1998; Guggemos and Horvath, 2005).

구조설계단계에서 CO_2배출량을 고려하기 위한 기존 연구들은 주로 최적설계 방법을 이용하였다. Moon(2008)은 고층건물의 지속 가능한 구조설계(sustainable structural design)를 위해 투입되는 물량을 최소로 하는 철골구조물의 강성기반 최적설계 방법을 제시하였다. 그러나 이 연구의 대상인 철골구조물과 달리 2가지 이상의 재료가 사용되는 철근콘크리트(RC) 구조물이나 합성건물에서는 건물에 사용되는 재료의 생산과정에 따라 배출되는 CO_2량이 달라 동일하중 내에서 각 재료가 차지하는 물량의 비가 CO_2발생량에 영향을 미치게 된다. 따라서 RC나 합성건물의 CO_2발생량을 저감시키기 위해서는 물량 최적화뿐만 아니라 이질 재료간의 상관관계가 파악되어야 한다. Yeo와 Gabbai(2011)는 RC 보에 대하여 Embodied energy를 고려한 최적설계기법을 제시하였고, 단면의 크기에 따른 Embodied energy와 비용에 대한 콘크리트와 철근의 기여도를 분석하였다. Paya-Zaforteza 등(2009)는 Simulated Annealing(SA)기법을 이용해 철근콘크리트 프레임 구조물에 대한 CO_2발생량을 고려한 최적설계 기법을 제시하였고, 구조설계를 통해 CO_2발생량을 감소시킬 수 있음을 보여주었다.

이러한 연구결과들은 제시된 최적설계기법이 CO_2발생량을 저감시키는데 효과가 있음을 보여주고 있지만, 대부분 철골구조물 혹은 RC구조물에 한정되어 연구되었다. 그러나 현재 건설시장에서는 고층건물의 시공사례가 증가하고 있으며, 재료 및 시공기술의 발달로 인하여 그것들의 높이가 계속적으로 높아지고 있다. 일반적으로 고층빌딩에서는 합성부재가 널리 사용되고 있기 때문에(Seo *et al.*, 2009a; 2009b; Saw and Liew, 2000), 합성부재의 설계에 있어서도 CO_2배출량이 고려될 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트, 철근, 철골 3가지 재료가 사용되는 Steel Reinforced Concrete(SRC) 기둥 단면을 대상으로 한 CO_2 최적화기법을 제시한다. 이를 통해 얻은 여러 설계단면을 이용하여 SRC기둥의 CO_2배출량에 영향을 미치는 3가지 요소(① 강재 크기, ② 콘크리트 압축강도, ③ 작용 하중 크기)에 대한 영향관계를 분석한다. 본 연구에서는 CO_2량에 대한 평가범위는 재료생산 단계까지만 고려하며, 시공 이후의 운영단계 등은 고려하지 않는다.

2. SRC 기둥단면의 최적구조설계

2.1 설계변수

SRC 기둥의 CO_2배출량 최적화에 영향을 미치는 설계변수는 크게 콘크리트, 강재, 철근이 있다. 콘크리트에는 콘크리트의 압축강도, 단면적, 강재에는 강재의 항복강도, 단면적, 깊이, 웨브의 두께, 플렌지의 두께, 플렌지의 너비, 철근에는 철근의 개수, 직경, 강도가 고려된다. 그러나 복잡한 최적화 모델을 간소화하기 위하여 위의 설계변수를 Table 1과 같이 3가지로 정리하였으며, 합성기둥의 단면형상은 Fig. 1과 같다. 강재는 Table 2와 같이 실무에서 주로 사용되는 25개의 단면을 사용한다. 강재를 둘러싸고 있는 콘크리트의 크기로 폭(B)과 깊이(D)는 시공성을 고려하여 50mm씩 증가하는 것으로 하며, 폭과 깊이의 비율은 실무에서 보편적으로 사용되는 1:1~1:3을 적용한다. 콘크리트 강도에 따른 CO_2배출량은 현장 여건, 슬럼프값, 배합비 등에 따라 영향을 받는다. 그러나 고강도 콘크리트 강도 범위 내에서 강도에 따른 CO_2배출량의 값 혹은 경향을 보여주는 연구결과는 아직까지 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 Hong 등(2012)을 참고하여, Table 1과 같이 네 가지의 콘크리트 강도를 고려한다.

반면, 강재의 강도(SS400), 철근의 강도(400MPa), 개수(12), 지름(D32) 등은 고정시켜 콘크리트 강도와 강재 크기 등에 의한 SRC 기둥의 CO_2배출량 영향관계를 분석하고자 하였다.

구조재료별 CO_2배출량은 Table 3과 같다. 강재와 철근의 CO_2배출량은 한국건설기술연구원의 LCI DB를 사용하였으며, 콘크리트의 강도별 CO_2배출량은 Hong 등(2012)을 참고하였다. 본 연구에서 CO_2배출량은 재료의 생산단계만을 고려하였다.

2.2 목적함수

본 연구의 목적은 알고리즘을 통해 주어진 설계조건 하에서 구조제약조건을 만족시키는 여러 단면 중에서 최소 CO_2량을 배출하는 설계단면을 찾고, 이들을 이용하여 CO_2배출량에 영향을 미치는 인자들의 영향을 분석하는 것이다. 따라

Table 1 Design variables used in this study

Design variables	Range
Steel section	25EA
Size of concrete section	300≤B≤800(mm)
	300≤D≤1200(mm)
Strength of concretes	24, 27, 30, 35(MPa)

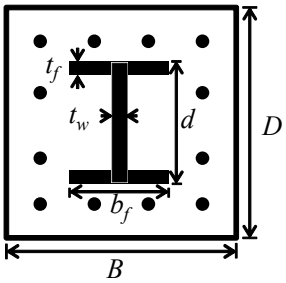


Fig. 1 Typical section of SRC columns

서 목적함수는 콘크리트, 강재, 철근 각각의 생산단계에서 배출되는 CO_2량의 합을 최소화하는 것으로 표현할 수 있으며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Minimize\ \ f=(E_s\rho_sA_sl+E_c\rho_cA_cl+E_r\rho_rA_rl) \tag{1}$$

여기서, E, ρ, A는 각 구조재료별 단위질량당 CO_2배출량, 밀도, 단면적을 의미한다. 하첨자 s, c, r는 강재, 콘크리트, 철근을 의미한다.

2.3 제약조건

설계변수들의 조합으로 설계되는 합성기둥의 단면은 제약조건을 만족하는지 검토한다. 본 연구에서는 총 6가지의 제약조건을 고려하였다.

먼저, SRC 기둥의 최소 강재량 및 주근량에 대한 구조제한을 고려하기 위해 각각 식 (2), (3)과 같은 제약조건을 사용하였다.

$$c_1=\frac{A_s}{BD}\geq R_s^{allowable} \tag{2}$$

$$c_2=\frac{A_r}{BD}\geq R_r^{allowable} \tag{3}$$

여기서, $R_s^{allowable}$과 $R_r^{allowable}$는 최소강재비와 최소철근비를 의미하며, 각각 0.01과 0.004이다(대한건축학회, 2009).

본 연구에서 사용하는 설계변수는 각각 독립적인 관계이기 때문에 주어진 범위 내에서 자유롭게 값을 가질 수 있다. 이는 사용자가 원하지 않는 단면 형상이 고려될 수 있음을 의미한다. 예를 들면, 기둥의 단면 폭(B)이 깊이(D)보다 더 작을 수 있으며, 강재의 폭(b_f)이 콘크리트의 폭보다 클 수 있다. 따라서 이에 대한 제약을 위해 먼저, 식 (4)와 같이 B와 D의 비율에 대한 제약을 사용하였다.

$$c_3=R_{\min}\leq\frac{D}{B}\leq R_{\max} \tag{4}$$

Table 2 Steel section used in this study

No.	$d\times b_f\times t_w\times t_f$
1	200×200×8×12
2	200×204×12×12
3	208×202×10×16
4	244×252×11×11
5	248×249×8×13
6	250×250×9×14
7	250×255×14×14
8	294×302×12×12
9	298×299×9×14
10	300×300×10×15
11	300×305×15×15
12	304×301×11×17
13	310×305×15×20
14	310×310×20×20
15	338×351×13×13
16	344×348×10×16
17	344×354×16×16
18	350×350×12×19
19	350×357×19×19
20	388×402×15×15
21	394×398×11×18
22	394×405×18×18
23	400×400×13×21
24	400×408×21×21
25	406×403×16×24

Table 3 CO_2 emissions according to materials

Materials	CO_2 emissions
Steel section(kg-CO_2/kg)	0.3877
Concrete (kg-CO_2/kg)	0.1417(f_{ck}=24MPa)
	0.1505(f_{ck}=27MPa)
	0.1611(f_{ck}=30MPa)
	0.1764(f_{ck}=35MPa)
Rebar(kg-CO_2/kg)	0.3963

여기서, $R_{\min}$와 $R_{\max}$는 각각 폭에 대한 깊이의 최소비율과 최대비율을 의미하며, 본 연구에서는 각각 1.0과 3.0을 사용하였다. 그리고 콘크리트 단면 크기가 강재 단면의 크기보다 크도록 하기 위해 식 (5)와 (6)을 사용하였다.

$$c_4=(D-d)\geq L_1 \tag{5}$$

$$c_5=(B-b_f)\geq L_2 \tag{6}$$

여기서, L_1는 콘크리트 단면 폭과 강재 폭의 최소 허용 차이를 의미하며, L_2는 콘크리트 단면 깊이와 강재 깊이의 최소 허용 차이를 의미한다. 본 연구에서는 L_1와 L_2의 값을 각각 250mm으로 가정하였다.

압축력과 휨이 동시에 작용하는 경우에 대한 안전 검토를 위해 KBC 2009(대한건축학회, 2009)에서 제시하는 식 (7)을 사용하였다.

$$c_6 = \begin{cases} \dfrac{M_{rx}}{M_{Cx}} + \dfrac{M_{ry}}{M_{Cy}} \le 1.0 & (\text{if } P_r < P_C) \\ \dfrac{P_r - P_C}{P_A - P_C} + \dfrac{M_{rx}}{M_{Cx}} + \dfrac{M_{ry}}{M_{Cy}} \le 1.0 & (\text{if } P_r \ge P_C) \end{cases} \quad (7)$$

여기서, P_r는 소요압축강도이며, P_A, P_C는 Fig. 2에서 각각 A점과 C점의 가용압축강도이다. M_r, M_C는 각각 요구휨강도와 C점의 가용휨강도를 나타낸다. 하첨자 x, y는 강축과 약축을 나타낸다. 참고로 Fig. 2에서 A점은 순수 압축강도를 나타낸다. C점은 축하중이 작용하는 상태에서 B점과 같은 휨강도를 갖는 소성중립축의 위치에 해당된다. D점은 압축강도가 C점의 압축강도 1/2에 해당하는 점을 나타낸다(대한건축학회, 2009).

본 연구에서 전단보강근은 HD10으로 전 단면에 대해 동일하게 설계되었다고 가정하고, 목적함수 및 제약조건 평가에서는 이를 고려하지 않았다.

2.4 SRC 기둥 단면의 최적구조설계 알고리즘

본 연구에서 사용하는 SRC 기둥 단면의 최적구조설계 알고리즘의 목적은 주어진 하중조건 및 부재 길이의 범위 내에서 Table 1에 나타난 설계변수의 조합을 통해 만들어지는 다수의 단면 중에서 최소의 CO_2배출량을 가지는 단면을 찾는 것이다.

본 연구에서 사용하는 최적구조설계의 흐름도는 Fig. 3과 같다. 먼저, 요구되는 부재력을 설정하고, 각 설계변수의 범위를 결정한다. 그리고 고려된 설계변수의 범위 내에서 각 설계변수의 값을 부여하여 기둥 단면을 생성한다. 각 설계변수의 값을 이용하여 식 (2)~(6)에 의한 제약율을 평가한다. 만약 다섯 가지의 제약조건 중 하나의 제약조건이라도 만족

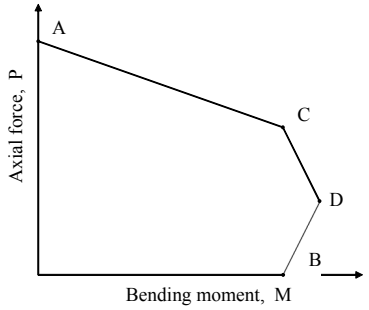


Fig. 2 Axial force-bending moment interaction diagram

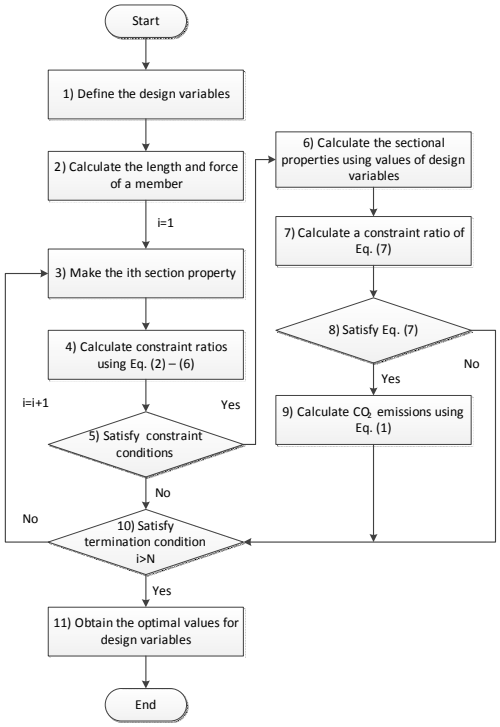


Fig. 3 Flowchart of the proposed algorithm

시키지 않는다면, 10)단계로 가서 종료여부를 판단한다. 반면, 다섯 가지의 제약조건을 모두 만족시키면 해당 단면의 구조성능을 계산하여 식 (7)에 의한 제약율을 평가한다. 계산된 제약율을 이용하여 조합력에 의한 강도 제약조건의 만족여부를 판단한다. 만약 만족시키지 않는다면, 10)단계로 가서 종료여부를 판단한다. 반면, 조합력에 의한 제약조건을 만족시킨다면, 단면설계정보를 이용하여 해당 단면에서 발생하는 CO_2량을 계산한다. 그리고 나서 종료여부를 판단한다. 본 연구에서는 각 설계변수가 가지는 값의 범위에 기반하여 고려되는 총 단면 수 N을 설정한다. 종료조건을 만족하면, 고려된 설계안들 중에서 모든 제약조건을 만족시키는 설계안들을 뽑아내어, 이들 중에서 최소의 CO_2배출량을 가지는 단면을 찾는다.

3. 결 과

본 연구의 목적은 최적화 방법을 이용하여 SRC 합성기둥의 CO_2배출량을 평가하고, CO_2배출량에 대한 영향인자에 대한 영향을 분석하는 것이다. 이를 위해 Table 1에 정리된 3가지의 설계변수를 모두 적용하여 최소 CO_2량을 배출하는 설계단면을 찾는 것이 가능하지만, 먼저 제안한 SRC 합성기둥의 CO_2최적화를 통해 단면에서 배출되는 CO_2량의 경향을 설계변수에 따라 분석해 보았다.

재료 및 강도에 따른 CO_2배출량의 경향을 분석하기 위해

강재의 단면크기와 콘크리트의 크기만을 변화하게 하였으며, 이와 같은 과정을 콘크리트의 네 가지 압축강도에 따라 반복하여 결과를 분석해 보았다(Table 1).

위와 같은 분석을 위해 본 연구에서는 소요축하중, 소요휨강도 (x축), 소요휨강도 (y축), 기둥 높이는 각각 15,000kN, 200kNm, 200kNm, 3,300mm으로 가정하였다. 추가적으로 하중 크기에 대한 영향을 평가하기 위해 하중 크기를 변화시키면서 이에 따른 CO_2배출량의 변화를 분석하였다.

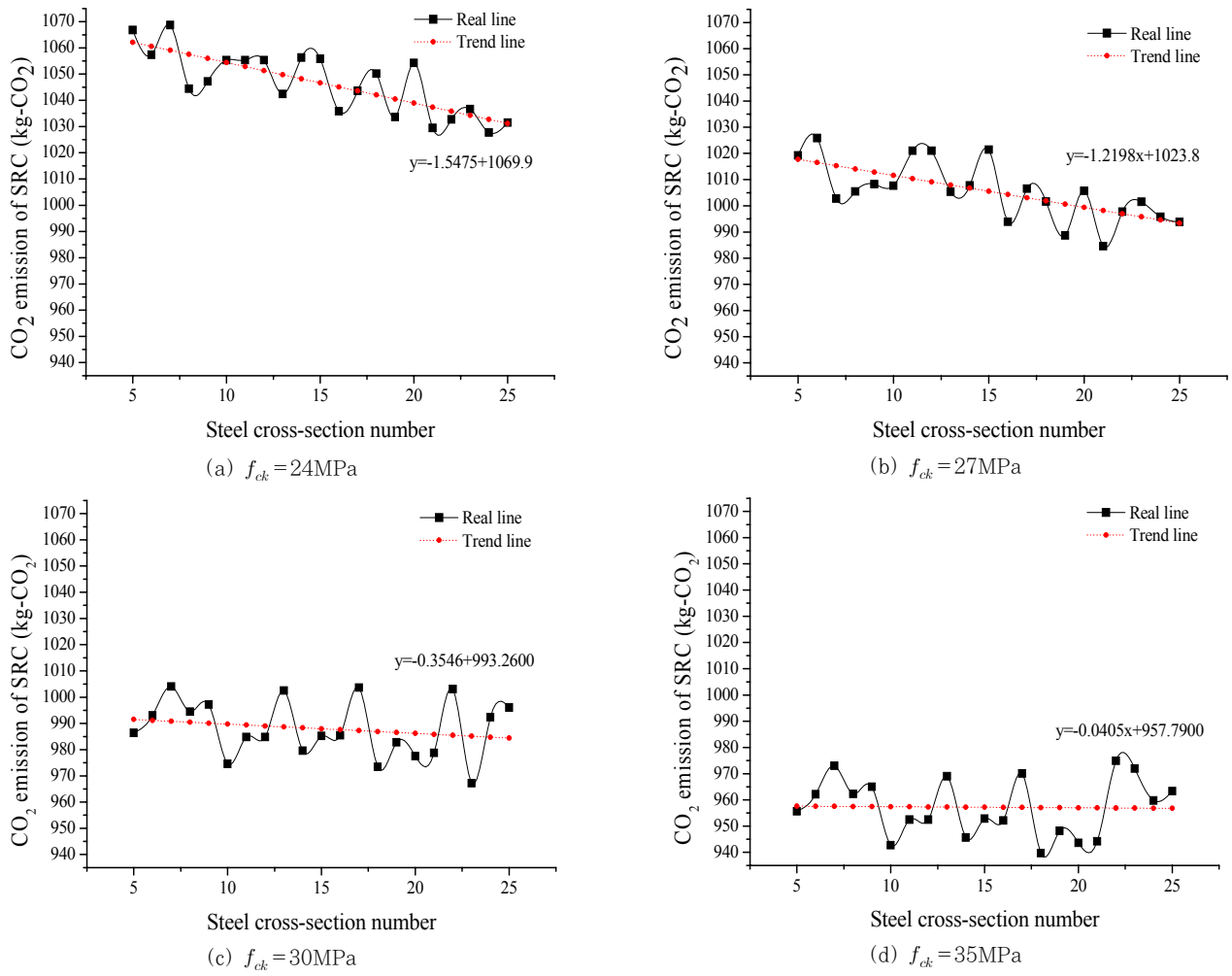
3.1 강재 단면크기에 따른 CO_2배출량

Fig. 4는 강재의 단면크기에 따른 SRC 기둥의 전단면 CO_2 배출량의 흐름을 보여준다. 이는 각 강재의 단면크기가 사용될 때, 발생하는 최소 CO_2배출량의 변화를 의미한다. x축이 증가할수록 단면크기는 증가한다. 그림에서 강재의 DB번호로 표현된 가로축은 Table 2의 단면의 번호를, 세로축은 강재, 콘크리트, 철근에서 배출되는 CO_2량의 합을 나타낸다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 강재의 단면크기에 따른 SRC전단면의 CO_2배출량을 나타내는 실선은 형상이 복잡하다. 이러한 이유는 설계변수로 사용된 강재와 콘크리트의 단면의 크기가 이산형 변수이기 때문이다. 따라서 경향 파악을 위해 추세선을 점선으로 작성해 보았으며, Fig. 4에서 알 수 있듯이 강재의 단면 크기가 증가할수록 (x축의 증가) 기둥단면에서 배출되는 CO_2량은 감소하는 경향을 갖게 됨을 확인하였다. 이는 SRC기둥의 단면설계에서 소요되는 강재량이 많을수록 배출되는 CO_2량은 감소함을 의미한다.

3.2 콘크리트 강도에 따른 CO_2배출량 변화

본 절에서는 콘크리트 압축강도에 따라 CO_2량이 어떻게 변화하는지 확인해 보았다. Fig. 4(a)~(d)는 콘크리트의 압축강도가 24, 27, 30, 35MPa일 때의 결과를 보여주고 있다. 강재의 단면 성능이 증가할수록 SRC단면의 CO_2배출량은 감소하는 경향을 갖지만, 콘크리트의 압축강도에 따라



(a) f_{ck}=24MPa (b) f_{ck}=27MPa

(c) f_{ck}=30MPa (d) f_{ck}=35MPa

Fig. 4 CO_2 emissions according to sizes of steel sections

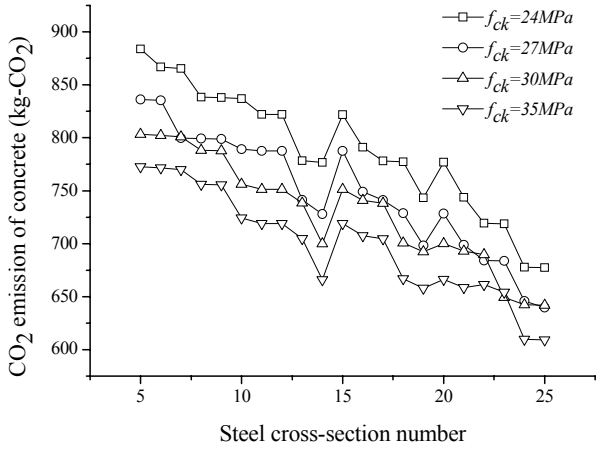


Fig. 5 CO_2 emissions according to the strength of concrete

그 기울기가 달라진다. 단면성능이 가장 작은 5번 강재를 설계하는 콘크리트의 압축강도가 커지면 콘크리트 단면의 크기가 점차 감소하게 된다. 강재가 증가함에 따라 콘크리트에서 배출되는 CO_2량의 감소폭이 작게 되고 SRC CO_2배출량의 감소 기울기는 작아지게 된다.

또한, Fig. 5을 통해서는 고강도 콘크리트를 사용함으로써 동일하중에 대한 CO_2배출량을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 비록 고강도 콘크리트의 단위 CO_2배출량이 저강도 콘크리트의 그것보다 크지만, 고강도 콘크리트를 사용함으로써 감소하는 단면에 의한 CO_2배출 저감효과가 더 큰 것으로 판단된다.

3.3 하중 크기에 따른 CO_2배출량 변화

3.1절과 3.2절에서는 SRC 기둥의 CO_2배출량에 대한 강재크기와 콘크리트 압축강도의 영향을 분석하기 위해 부재에 작용하는 축하중과 모멘트를 고정시켰다. 본 절에서는 3.1절과

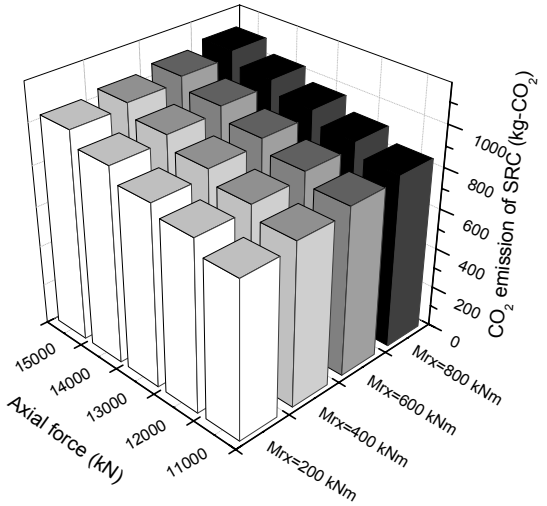


Fig. 6 CO_2 emissions according to sizes of applied loads

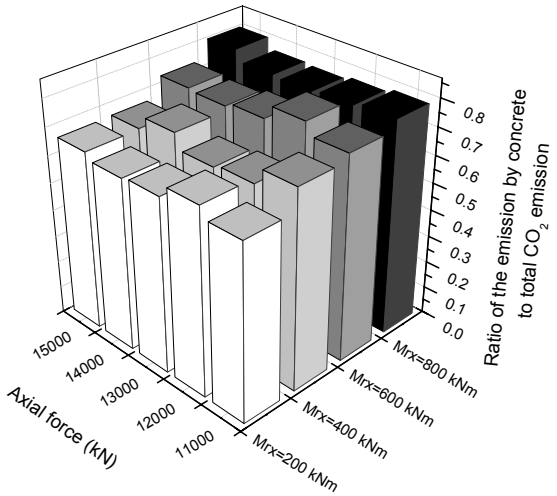


Fig. 7 Ratio of the emission by concrete to total CO_2 emission

3.2절에서 사용한 동일한 조건 하에서 부재에 작용하는 축력(1100~1500kN), 강축에 대한 휨모멘트(200~800kNm)만 변화시키면서 이에 따른 CO_2배출량의 구하였다. Fig. 6에 나타난 것처럼 하중의 증가에 따라 CO_2배출량은 증가하는 것으로 나타났으며, 축하중 증가에 의한 CO_2배출량의 증가가 모멘트 증가에 의한 CO_2배출량의 증가보다 큰 것으로 나타났다. 또한, Fig. 7에 나타난 것처럼 휨모멘트가 증가할수록 콘크리트에 의한 CO_2배출량 비율은 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 축력 증가에 따른 콘크리트에 의한 CO_2배출량 비율의 변화에 대해서는 공통적인 경향이 나타나지 않았다.

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트, 철근, 철골 3가지 재료가 사용되는 매입형 합성기둥(SRC)을 대상으로 CO_2배출량의 최적화를 수행하였으며, 배출되는 CO_2량을 고려하여 환경성을 평가하는 방법을 모색하였다. 먼저, 최적화를 위해 각 재료의 생산단계에서 발생하는 CO_2량의 합을 최소화하는 알고리즘을 제안하였으며, 이를 통해 각 조건하에서 CO_2발생량이 최소가 되는 설계단면을 얻을 수 있다. 이를 통해 얻은 다수의 설계단면을 이용하여 강재 크기, 콘크리트 압축강도, 하중 크기에 따른 CO_2배출량의 경향성을 분석하였다.

강재의 크기 및 콘크리트의 압축강도에 따라 SRC 기둥 전 단면에서 배출되는 CO_2량의 경향을 분석한 결과, 동일한 하중조건에 대하여 강재의 단면크기가 증가하면 SRC 기둥에서 배출되는 CO_2량은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 SRC 기둥의 단면설계에서 CO_2량을 감소시키기 위해서는 콘크리트의 양을 증가시키는 것보다 강재의 크기를 증가시키는

것이 보다 효율적임을 나타낸다.

또한, 콘크리트의 강도가 증가할수록 동일하중에 대한 CO_2배출량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 SRC 기둥의 단면설계에서 CO_2배출량을 줄이기 위해서는 콘크리트의 강도를 증가시키는 것이 효율적임을 나타낸다.

하중의 크기를 변화시킬 경우, 휨모멘트가 증가할수록 콘크리트에 의한 CO_2배출량 비율은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 SRC 기둥의 단면설계에서 모멘트하중이 증가할수록 콘크리트의 물량을 상대적으로 증가시키는 것이 CO_2배출량을 감소시키는 방안이 될 수 있음을 의미한다. 반면, 축력 증가에 따른 콘크리트에 의한 CO_2발생량 비율의 변화에 대해서는 공통적인 경향이 나타나지 않았다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 창의적연구자지원사업 연구(No. 2011-0018360)와 핵심연구지원사업(협동) 연구임(No. 2011-0027633).

참 고 문 헌

Architectural Institute of Korea (2009) Korean Building Code and Commentary (KBC 2009).

Cole, R.J. (1998) Energy and Greenhouse Gas Emissions Associated with the Construction of Alternative Structural systems, *Building and Environment*, 34(3), pp.335~348.

De T'Serclaes, Ph. (2007) *Financing Energy Efficient Homes: Existing Policy Responses to Financial Barriers*, International Energy Agency, Paris.

Gartner, E. (2004) Industrially Interesting Approaches to "low-CO_2" Cements, *Cement and Concrete Research*, 34(9), pp.1489~1498.

Guggemos, A.A., Horvath, A. (2005) Comparison of Environmental Effects of Steel- and Concrete-Framed Buildings, *Journal of Infrastructure Systems*, 11(2), pp.93~101.

Hong, T., Ji, Ch., Jang, M., Park H. (2012) Predicting the CO_2 Emission of Concrete Using Statistical Analysis, *Journal of Construction Engineering and Project Management*, 2(2), pp.53~60.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007: Synthesis Report.

Korea Institute of Construction Technology (www.kict.re.kr)

Moon, K.S. (2008) Sustainable Structural Engineering Strategies for Tall Building, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17(5), pp.895~914.

Paya-Zaforteza, I., Yepes, V., Hopitaler, A., González-Vidosa, F. (2009) CO_2-Optimization of Reinforced Concrete Frames by Simulated Annealing, *Engineering Structures*, 31(7), pp.1501~1508.

Radhi, H. (2010) On the Optimal Selection of Wall Cladding System to Reduce Direct and Indirect CO_2 Emissions, *Energy*, 35(3), pp.1412~1424.

Sartori, I., Hestnes, A.G. (2007) Energy Use in the Life Cycle of Conventional and Low-energy Buildings: A Review Article, *Energy and Buildings*, 39(3), pp. 249~257.

Saw, H.S., Liew, J.Y.R. (2000) Assessment of Current Methods for the Design of Composite Columns in Buildings, *Journal of Constructional Steel Research*, 53(2), pp.121~147

Seo, J.H., Kwon, B.K., Kim, S.B., Park, H.S. (2009) Structural Cost Optimization Techniques for High-rise Buildings Frame Systems Using High-strength Steels, *Journal of the Computational Structure Engineering*, 22(1), pp.53~63.

Seo, J.H., Kwon, B.K., Kim, S.B., Park, H.S. (2009) Structural Optimization of High-rise Buildings Using High-strength Steels, *Journal of the Computational Structure Engineering*, 22(3), pp.277~287.

Wang, W., Zmeureanu, R., Rivard, H. (2005) Applying Multi-objective Genetic Algorithms in Green Building Design Optimization, *Building and Environment*, 40(11), pp.1512~1525.

Yang, L., Zmeureanu, R., Rivard, H. (2008) Comparison of Environmental Impacts of Two Residential Heating Systems, *Building and Environment*, 43(6), pp.1072~1081.

Yeo, D., Gabbai, R.D. (2011) Sustainable Design of Reinforced Concrete Structures through Embodied Energy Optimization, *Energy and Buildings*, 43(8), pp.2028~2033.

Zhang, Z., Wu, X., Yang, X., Zhu, Y. (2006) BEPAS-A Life Cycle Building Environmental Performance Assessment Model, *Building and Environmental*, 51(5), pp.669~675.

요 지

최근 환경오염 문제에 대한 심각성이 대두되며 전 세계적으로 환경부하 저감을 위해 다양한 노력을 쏟고 있다. 특히 환경저해 산업의 하나인 건설분야에서는 CO_2배출량과 에너지 소비량을 줄이기 위해 활발한 연구를 진행해 왔다. 그러나 건설분야의 기존 연구들은 대부분 CO_2배출량이 가장 큰 사용 및 유지관리 단계에만 집중하고 있으며, 설계단계에 대한 연구는 2D의 철근콘크리트 부재 및 구조물에 대해서만 실행되었을 정도로 초기단계이다. 사실, LCA적 관점에서 친환경적 건설산업을 이루기 위해서는 건물의 초기설계 단계에서부터 CO_2배출량을 저감시키기 위한 방향으로 설계를 유도할 수 있어야 하며, 구조 엔지니어로서 환경성을 고려한 설계안을 제시할 수 있어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 매입형 합성기둥(SRC)을 대상으로 CO_2최적화 기법을 제시하였으며, 이를 통해 얻은 여러 설계단면을 이용하여 SRC기둥의 CO_2배출량에 영향을 미치는 3가지 요소(① 강재 크기, ② 콘크리트 압축강도, ③ 작용 하중 크기)에 대한 영향관계를 분석하였다.

핵심용어 : SRC 기둥, 최적구조설계, CO_2배출량, 환경부하