

충전형 강합성 기둥의 압축강도에 대한 설계기준 분석

김호룡¹ · 김성보^{2*}

¹선임연구원, 한국건설생활환경시험연구원, ²교수, 충북대학교, 토목공학부

Investigation of Design Specifications for Compressive Strength of Concrete-Filled Steel Tube Columns

Kim, Ho Ryoung¹, Kim, Sung Bo^{2*}

¹Senior Researcher, Korea Conformity Laboratories, Cheongju, 28115, Korea

²Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

Abstract - In this paper, the design compressive strength of concrete-filled steel tube columns was analyzed and compared to the results by applying the criteria shown in several design specifications, i.e. AASHTO-LRFD, AISC, Eurocode 4, and Korea Design Standard, respectively. The characteristics of the design criteria for the concrete-filled steel tube columns were investigated, and the respective design compression strength by various domestic and foreign design standards was calculated and compared with the experimental results. The effect of steel strength, compact, non-compact and slender sections on design compressive strength for various composite columns were evaluated. It was shown that the design strength by AASHTO-LRFD and Eurocode 4 showed good agreement with the experimental results in the literature, also AISC and KDS underestimate the compressive strength compared to other design standards.

Keywords - Concrete-filled, Steel-composite, Column, Compressive strength, Design specification

1. 서론

강합성 단면을 갖는 기둥은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 매 입형, 충전형 및 조합형으로 구분된다^[1]. 특히, 충전형 합성 기둥은 사각형 또는 원형의 강관 내부에 콘크리트가 충전된 형태로서, 콘크리트를 둘러싸고 있는 강관의 국부좌굴이 발생할 수 있지만 내진성능이 우수하고 시공의 용이성 및 가속된 콘크리트의 강도증진효과로 다양한 건설 현장에 적용되고 있다.

이러한 구조적 장점을 가지고 있는 충전형 강합성 기둥의 압축강도에 대하여 실험적 및 해석적 연구가 활발히 진행되고 있으며, 여러 설계기준에 이를 반영하여 설계압축강도를 규정하고 있다. 콘크리트 충전 강합성 기둥의 압축강도

에 대한 초창기의 실험적 연구는 Knowles and Park^[2], Janss and Ansljijn^[3]에 의하여 수행되었다. 이후 냉간성형강재를 적용한 강합성 기둥 그리고 편심 압축력을 받는 강합성 기둥의 압축강도에 대한 연구가 각각 Lin^[4], Fujimoto *et al.*^[5], Yoshioka *et al.*^[6]에 의하여 발표되었다. Matsui *et al.*^[7]은 원형 단면과 사각형 단면을 갖는 강합성 기둥의 압축강도에 대한 실험을 단면의 폭-두께비에 따라 수행하고 설계압축강도를 평가하였다. O'Shea and Bridge^{[8],[9]}는 콘크리트 압축강도, 강재의 항복강도 변화에 따른 강합성 기둥의 압축강도에 대한 실험적 연구를 수행하였고, Seo and Chung^[10] 그리고 Han^[11]은 그동안의 기둥 길이가 짧은 단주의 압축강도에 대한 실험적 연구에 한계를 벗어나 비교적 길이가 긴 장주 영역에 속하는 강합성 기둥의 내력에 관한 실험적 연구를 발표하였다. Kang *et al.*^[12]은 일반 콘크리트뿐만 아니라 폴리머콘크리트를 충전한 강관 단주의 압축거동에 대한 실험

Note.-Discussion open until June 30, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 28, 2021; revised on November 21, 2021; approved on November 21, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-43-261-3241 Fax. +82-43-275-2377

E-mail. sbkim@chungbuk.ac.kr

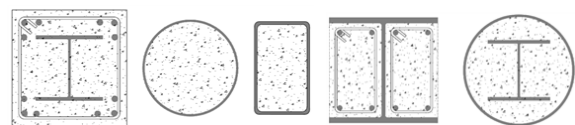


Fig. 1. Type of composite section

을 수행하였다. Patel^[13]은 비탄성효과를 고려한 세장한 단면을 갖는 강합성 기둥의 압축강도를 해석적으로 평가하였으며, Lai^[14]는 비조밀단면과 세장한 단면을 갖는 강합성 기둥의 설계압축강도에 대한 연구를 수행하였다. 최근 들어, Lee *et al.*^[15]은 세장한 단면을 갖는 고강도 강관을 적용한 각형 충전형 합성기둥의 압축강도에 대한 실험적 연구를 수행하였고, Lim and Eom^[16]은 박판절곡강관을 사용한 콘크리트 충진 팔각강관기둥에 대한 중심축압축실험을 통해 합성기둥의 압축성능을 조사하였다.

AASHTO-LRFD^[17]에서 제시된 강합성 기둥의 압축강도는 비합성형 기둥에 적용하는 동일한 형태의 식을 사용하여 산정한다. 단, 강재와 콘크리트의 합성효과를 고려하여 수정된 탄성계수 및 항복강도를 적용하고, 매입형과 충전형에 따른 합성단면 상수값을 상이하게 사용한다. 이러한 설계 개념은 도로교설계기준(한계상태설계법)^[18]과 강교설계기준(KDS 24 14 31)^[19]에서도 동일하게 반영하고 있다.

AISC(2016)^[20]에서는 강합성 기둥을 매입형과 충전형을 구분하여 압축강도를 산정한다. 특히, 충전형 합성기둥은 강관단면의 폭-두께비에 따라서 조밀단면, 비조밀단면, 세장단면으로 구분하여 강관의 국부좌굴효과를 고려한다.

Eurocode 4^[21]에서 강합성 기둥의 압축강도에 대한 설계는 기본적으로 Eurocode 3에서 제시한 비합성형 강재 기둥의 설계와 동일하다. 초기처짐과 세장비파라미터에 따른 감소계수를 도입하여 강합성 기둥의 압축강도를 산정한다. 특히, 강관에 의한 콘크리트의 구속에 따른 콘크리트의 강도 증진효과뿐만 아니라 콘크리트 팽창에 따른 강관의 원주방향 인장응력으로 인한 강관의 강도 감소효과를 동시에 반영하고 있다.

국내에서는, 강구조한계상태설계기준^[22]에서 매입형과 충전형을 구분하지 않고 합성기둥의 압축강도를 제시하였다. 이후, 강구조설계기준^[23]은 AISC(2005)와 같이 매입형과 합성형을 구분하여 설계압축강도를 규정하였으며, 원형단면을 갖는 충전형 합성기둥에서 콘크리트의 강도기여효과를 기존의 AISC 설계기준보다 크게 반영하였다. 특히 2014년에 발간된 강구조설계기준^[24]에서는 충전형 합성기둥에서 콘크리트의 강도 기여분을 반영하는 계수를 보다 합리적으로 수정하여 제시하였고, 다양한 설계기준을 코드화하여 출간된 강구조 부재설계기준(KDS 14 31 10)^[25]에서도 이것을^[24] 인용하고 있다.

이 논문에서는 기존에 발표된 충전형 강합성 기둥의 압축강도와 관련된 대부분의 논문들에서 실험결과와의 비교를

통한 설계기준의 적절성 검토가 수행되지 않은 점을 반영하여, 충전형 강합성 기둥의 설계압축강도를 국내·외 여러 설계기준에서 제시된 규정식들에 의하여 산정하고 그 결과를 여러 문헌에서 발표된 실험결과와 함께 비교하였다. 다양한 단면과 길이를 갖는 충전형 강합성 기둥에 대하여, 강관의 항복강도 변화, 폭-두께비에 따른 조밀단면, 비조밀단면 및 세장한 단면 영역 등 설계압축강도에 영향을 주는 설계인자들을 파악하고, 설계변수의 변화에 따른 합성기둥의 설계압축강도의 영향을 분석하였다.

2. 설계기준

2.1 AASHTO-LRFD

AASHTO-LRFD^[17]의 강합성 기둥의 설계압축강도 P_u 는 식 (1)과 같고, 도로교설계기준(한계상태설계법)^[18]도 이 규정을 동일하게 사용한다.

$$P_u = \phi P_n \tag{1}$$

여기서, 저항계수 $\phi = 0.9$ 이고 공칭압축강도 P_n 은 비합성형 단면을 갖는 기둥의 압축강도 산정식과 동일한 형태의 식 (2a)로부터 얻는다. 단, 식 (2b)에 나타낸 바와 같이 합성기둥의 세장비파라미터(λ)에서 강재의 항복강도(F_y) 대신에 강관과 종방향철근(F_{yr}) 및 콘크리트(f'_c)의 영향을 함께 고려하여 수정된 압축강도(F_e)를 적용한다. 그리고, 강재의 탄성계수(E) 대신에 강관(A_s)과 콘크리트 단면적(A_c)을 고려하여 수정된 탄성계수(E_e)를 적용한다.

$$P_n = \begin{cases} 0.66^{\lambda} F_e A_s & (\lambda \leq 2.25) \\ \frac{0.88 F_e A_s}{\lambda} & (\lambda > 2.25) \end{cases} \tag{2a}$$

여기서,

$$\lambda = \left(\frac{KL}{r_s \pi} \right)^2 \frac{F_e}{E_e} \tag{2b}$$

$$F_e = F_y + C_1 F_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + C_2 f'_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \tag{2c}$$

$$E_e = E \left[1 + \left(\frac{C_3}{n} \right) \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \right] \tag{2d}$$

위 식 (2c)의 수정된 압축강도(F_e)는 강관의 항복강도, 종방

향철근의 환산강도, 콘크리트의 환산강도를 모두 포함하고 있다. 또한, 식 (2d)의 합성단면을 갖는 기둥의 좌굴하중에 적용되는 수정된 탄성계수(E_e)는 종방향철근은 무시하고 강관과 콘크리트의 영향만을 고려하고 있으며, 강재와 콘크리트의 단면2차모멘트의 비가 사용되지 않고, 단면적의 비를 사용하는 특징이 있다.

식 (2c)와 식 (2d)에서 사용되는 합성단면상수, C_1 , C_2 , C_3 는 Table 1에 나타난 바와 같이 강합성 기둥의 형태에 따라 매입형과 충전형을 구분하여 적용한다.

Table 1. Composite column constant

Cross-section	C_1	C_2	C_3
Encased shapes	0.7	0.6	0.2
Filled tubes	1.0	0.85	0.4

강합성 기둥 설계를 위한 일반적인 제한사항으로서 기둥의 전체단면적에 대한 강관단면적 비, 콘크리트의 압축강도, 강재의 항복강도 등에 대하여 식 (3)을 만족하도록 규정하고 있다.

$$A_s/A \geq 0.04 \quad (3a)$$

$$21 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 55 \text{ MPa} \quad (3b)$$

$$F_y, F_{yr} \leq 420 \text{ MPa} \quad (3c)$$

또한, 합성기둥에 적용되는 강관단면의 두께에 대한 제한 규정은 강관 단면 형태에 따라 식 (4)와 같다.

$$\text{원형 강관: } D/t \leq 2.8\sqrt{E/F_y} \quad (4a)$$

$$\text{사각형 강관: } b/t \leq 1.7\sqrt{E/F_y} \quad (4b)$$

2.2 AISC와 강구조설계기준

AISC^[20]에서 제시한 설계압축강도는 식 (1)과 같으나 저항계수가 $\phi = 0.75$ 이다. 공칭압축강도(P_n)는 아래의 식 (5)와 같이 비탄성좌굴과 탄성좌굴영역을 구분하는 설계변수 (P_{no}/P_e)를 적용하여 산정한다. 이와 같은 설계 개념은 강구조 부재설계기준(KDS 14 31 10)^[25]에서도 동일하게 적용된다.

$$P_n = \begin{cases} P_{no}0.658^{P_{no}/P_e} & (P_{no}/P_e \leq 2.25) \\ 0.877P_e & (P_{no}/P_e > 2.25) \end{cases} \quad (5)$$

위 식 (5)에서, P_{no} 는 길이효과를 고려하지 않은 강합성 기둥의 압축강도로서, 강관의 국부좌굴효과를 고려하여 단면을 폭-두께비(λ)에 따라 Table 2에서 제시된 λ_p 와 λ_r 값으로부터 조밀단면, 비조밀단면 및 세장단면 영역으로 구분하여 각각 식 (6), 식 (7), 식 (8)과 같이 산정한다.

Table 2. Width-thickness ratio(λ)

Section	λ	λ_p	λ_r	λ_{max}
Rectangular	b/t	$2.26\sqrt{E/F_y}$	$3\sqrt{E/F_y}$	$5\sqrt{E/F_y}$
Circular	D/t	$0.15E/F_y$	$0.19E/F_y$	$0.31E/F_y$

2.2.1 조밀단면($\lambda \leq \lambda_p$)

$$P_{no} = P_p \quad (6a)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (6b)$$

$$C_2 = \begin{cases} 0.85 & (\text{사각형단면}) \\ 0.95 & (\text{원형단면, AISC}) \\ 0.85 \left(1 + 1.8 \frac{tF_y}{Df_{ck}} \right) & (\text{원형단면, 강구조설계기준(2009)}) \\ 0.85 \left(1 + 1.56 \frac{tF_y}{(D-2t)f_{ck}} \right) & (\text{원형단면, 강구조설계기준(2014), KDS}) \end{cases} \quad (6c)$$

조밀단면 영역에서 강합성 기둥의 P_{no} 는 식 (6a)와 같이 합성기둥의 완전소성강도(P_p)와 동일하다. 여기서, 콘크리트 강도 기여분을 반영하는 계수(C_2)가 원형단면인 경우 AISC (2016)에서는 $C_2 = 0.95$ 로 일정하다.

한편, 국내 강구조설계기준(2009)^[23]은 AISC 규정과는 상이하게 콘크리트의 강도 기여분을 반영하는 계수 C_2 를 적용하였다. AISC에서는 C_2 가 일정한 상수인 반면에 강구조 설계기준(2009)^[23]의 C_2 는 식 (6c)와 같이 강관의 직경(D), 두께(t), 항복강도(F_y) 및 콘크리트의 압축강도(f_{ck})에 의하여 산정되었다. 하지만 합성기둥의 전체 단면이 콘크리트의 강도 기여분에 반영되는 불합리한 점이 있었다. 최근에 발간된 강구조설계기준(2014)^[24]과 KDS 14 31 10^[25]에서는 전체 합성기둥에서 강관의 두께를 제외한 단면($D - 2t$)에 대하여 콘크리트의 강도 기여분을 평가하는 식 (6c)를 적용하고 있다.

2.2.2 비조밀단면($\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$)

$$P_{no} = P_p - (P_p - P_y) \frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} \quad (7a)$$

$$P_y = F_y A_s + 0.7 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (7b)$$

비조밀단면을 갖는 합성기둥의 P_{no} 는 단면의 폭-두께비 (λ)가 λ_p 에서 λ_r 로 증가함에 따라 P_p 와 P_y 사이에서 포물선 형태로 감소한다. 여기서, 완전소성강도(P_p)는 조밀단면에 대한 식 (6b)와 같고, P_y 는 P_p 에서 콘크리트 강도 기여분을 반영하는 계수 $C_2 = 0.7$ 을 적용한 값으로 식 (7b)와 같다.

2.2.3 세장단면($\lambda > \lambda_r$)

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0.7 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (8)$$

세장단면에 대한 P_{no} 는 식 (7b)에 제시된 P_y 에서 강관의 항복강도(F_y) 대신에 식 (9)에 제시된 강관의 좌굴강도(F_{cr})를 대입하여 산정한다.

$$F_{cr} = \begin{cases} 9E_s/(b/t)^2 & \text{(사각형단면)} \\ \frac{0.72F_y}{\left((DF_y)/(tE_s) \right)^{0.2}} & \text{(원형단면)} \end{cases} \quad (9)$$

한편, 합성기둥의 휨좌굴하중(P_e)은 유효휨강성(EI_{eff})과 유효좌굴길이(KL)로부터 식 (10)과 같이 얻는다. 여기서, 유효휨강성은 식 (11a)에서와 같이 강관의 휨강성($E_s I_s$), 종방향철근의 휨강성($E_s I_{sr}$) 그리고 콘크리트의 휨강성의 일부분을($C_3 E_c I_c$) 합산한다. 콘크리트 휨강성의 기여분을 반영하는 계수 C_3 는 콘크리트와 강관 및 주철근의 단면적으로부터 식 (11b)와 같이 계산한다.

특히 식 (11b)에서 나타낸 바와 같이, AISC(2010)와 국내 강구조설계기준(2014) 및 KDS 14 31 10에서는 콘크리트와 강관의 면적을 이용하여 C_3 를 계산하지만, AISC(2016)에서는 종방향 철근의 영향을 포함하는 것으로 개정되었다.

$$P_e = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{(KL)^2} \quad (10)$$

여기서,

$$EI_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (11a)$$

$$C_3 = \begin{cases} 0.6 + \frac{2A_s}{A_c + A_s} \leq 0.9 & \text{(AISC(2010), 강구조설계기준(2014))} \\ 0.45 + 3 \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \leq 0.9 & \text{(AISC(2016))} \end{cases} \quad (11b)$$

2.3 Eurocode

Eurocode 4(European Committee for Standardization, 2004)^[21]에서 제시된 압축력을 받는 강합성 기둥의 설계는 아래와 같이 Eurocode 3에 기술된 비합성형기둥의 설계 절차를 따른다.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} \leq 1.0 \quad (12a)$$

여기서,

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^{-2}}} \leq 1.0 \quad (12b)$$

$$\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^{-2} \right] \quad (12c)$$

식 (12a)에서, N_{Ed} 는 설계하중, $N_{pl,Rd}$ 는 합성기둥의 압축강도를 나타낸다. 그리고 χ 는 식 (16a)에서 규정된 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)와 식 (12b)에서의 설계변수(Φ)에 따른 감소계수이다. 초기처짐(initial imperfection)을 나타내는 변수(α)는 길이방향으로 배근된 철근비(A_{sr}/A_c)가 3% 이하인 경우 $\alpha = 0.21$, 3%에서 6%인 경우 $\alpha = 0.34$ 를 적용한다. 또한, 아래의 식 (13)과 같이 합성기둥의 압축강도($N_{pl,Rd}$)에 대한 강관의 압축강도비(δ)가 $0.2 \leq \delta \leq 0.9$ 이 되도록 제한하고 있다.

$$\delta = \frac{A_s F_y}{N_{pl,Rd}} \quad (0.2 \leq \delta \leq 0.9) \quad (13)$$

한편, 합성기둥의 압축강도($N_{pl,Rd}$)는 식 (14a)로 산정하되, 원형단면이며 식(16a)로 표현되는 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)가 0.5 이하인 경우 식 (14b)를 적용한다.

$$N_{pl,Rd} = A_s \frac{F_y}{\gamma_s} + A_c \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + A_{sr} \frac{F_{sr}}{\gamma_{sr}} \quad (14a)$$

$$N_{pl,Rd} = \eta_s A_s \frac{F_y}{\gamma_s} + A_c \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \left(1 + \eta_c \frac{t F_y}{D f_{ck}} \right) + A_{sr} \frac{F_{sr}}{\gamma_{sr}} \quad (14b)$$

식 (14a)는 강관과 콘크리트의 합성효과를 무시한 구성재료의 설계소성강도의 합을 의미한다. 여기서, 강합성 기둥

의 재료에 대한 재료계수는 강관, 콘크리트, 주철근에 대하여 각각 $\gamma_s = 1.0, \gamma_c = 1.5, \gamma_{sr} = 1.15$ 이다. 그리고, 식 (14b)는 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)가 0.5 이하인 원형단면의 경우에 적용하는 강관과 콘크리트의 합성효과를 고려한 설계압축강도이다. 강관과 콘크리트의 합성효과를 고려하는 계수 η_s, η_c 는 강합성형 기둥의 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)에 따라 각각 식 (15a), 식 (15b)로 산정된다.

$$\eta_s = 0.25(3 + 2\bar{\lambda}) \leq 1.0 \tag{15a}$$

$$\eta_c = 4.9 - 18.5\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2 \geq 0 \tag{15b}$$

합성기둥의 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)는 식 (16a)와 같이 강합성 기둥의 완전소성강도($N_{pl,Rk}$)와 탄성좌굴하중(N_{cr})의 비에 대한 양의 제곱근이다.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} \leq 2.0 \tag{16a}$$

여기서,

$$N_{pl,Rk} = A_s F_y + A_c f_{ck} + A_{sr} F_{sr} \tag{16b}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{(KL)^2} \tag{16c}$$

$$EI_{eff} = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + 0.6 E_c I_c \tag{16d}$$

AISC와 KDS 14 31 10에서는 유효휨강성(EI_{eff})을 산정할 때 콘크리트 휨강성 기여분($C_3 E_c I_c$)을 반영하는 상수 C_3 를 식 (11)에서와 같이 구성재료의 면적비로 산정하지만, Eurocode 4에서는 식 (16d)에서와 같이 콘크리트의 휨강성($E_c I_c$)의 60%로 일정하게 적용하여 강합성 기둥의 유효휨강성을 산정한다.

3. 분석 및 고찰

기존의 여러 문헌^{[2]-[14]}에서 발표된 원형단면을 갖는 강합성형 기둥실험체(circular concrete filled steel tube, CCFT) 173개와 사각형단면의 실험체(rectangular concrete filled steel tube, RCFT) 189개에 대한 실험결과를 여러 설계기준에서 제시된 설계압축강도와 비교·분석하였다. AASHTO, AISC(2016), KDS, Eurocode 4에서 제시된 강합성 기둥의 압축강도를 결정하는 주요 인자는 각각 식 (2), 식 (5), 식 (12)

에서 나타낸 바와 같이 각각 $\lambda, P_{no}/P_e, \bar{\lambda}$ 로 표기된 세장비파라미터이다.

Fig. 2에 여러 문헌에서 발표된 실험체의 재료로부터 설계기준에서 제시된 세장비파라미터($\lambda, P_{no}/P_e, \bar{\lambda}^2$)들을 계산하여 원형단면(CCFT)과 사각형단면(RCFT)에 대하여도 시하였다. 실험적 연구는 식 (2)와 식 (5)에서 나타난 세장비파라미터가 2.25 이하인 비탄성 영역에 해당하는 합성기둥에 대하여 수행되었으며, 그 중에서 세장비파라미터가 0.1 이하인 경우가 89%인 것으로 분석되었다.

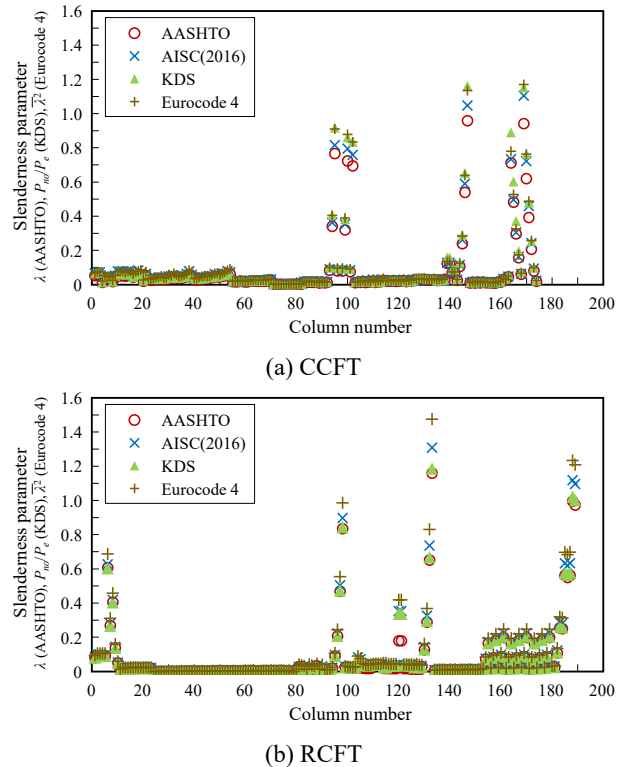


Fig. 2. Slenderness distribution of experimental results

Fig. 3에 다양한 원형 단면을 갖는 강합성 기둥 실험체의 극한하중을 AASHTO, AISC(2016), KDS, Eurocode 4에서 제시된 설계압축강도와 비교하였다. 강합성 기둥을 단면의 직경·두께비에 따른 조밀, 비조밀, 세장단면으로 구분하기 위하여 Table 2에 제시된 폭·두께비를 재료특성이 포함된 무차원 변수로 변환하여 적용하였다.

즉, $(D/t)(F_y/E_s)$ 값을 (1) 0.15 미만, (2) 0.15 이상 0.19 이하, (3) 0.19 초과 세 가지 영역으로 구분하여 각각 조밀, 비조밀, 세장단면의 영역으로 나타내었다. 각각의 영역에 대한 강합성 기둥의 설계압축강도를 계산하여 실험결과와 극한하중과의 차이를 백분율로 표기하였다. 기존의 실험적 연

구는 대부분 조밀단면을 갖는 강합성 기둥에 대하여 수행되었으며, 4가지 설계기준에 의한 설계압축강도는 실험치에 비하여 안전측으로 분포되고 있음을 확인하였다.

Table 3에 조밀, 비조밀, 세장단면의 영역별로 설계압축강도와 실험결과와의 차이에 대한 평균(Ave.)과 표준편차(Stv.)를 계산하여 나타내었다. AASHTO에 의한 설계압축강도는 세 가지 영역에서 실험결과와의 차이가 평균 30%를 초과하지 않으나, AISC(2016), KDS의 결과는 실험결과와의 차이가 최대 45.9%까지 발생하였으며, AISC(2016)와 KDS는 거의 동일한 설계압축강도를 제시하고 있다. 특히 Eurocode 4에 의한 설계압축강도는 조밀단면 영역에서 다른 설계기준에 비하여 실험결과와 가장 유사한 압축강도를 나타내고 있으며, 구속된 콘크리트의 강도증진효과를 고려하기 때문이라고 판단된다. KDS에서도 Eurocode 4에서와 같은 구속된 콘크리트의 강도증진효과를 고려하지만, 식 (6c)에서와 같이 그 효과를 단면형상($t/(D-2t)$)과 재료특성(F_y/f_{ck})에 따라 일정하게 고려하고 있으나, Eurocode 4는 식 (15)와 같이 세장비파라미터에 따른 강재와 콘크리트의 합성효과를 반영하고 있는 영향으로 분석된다.

Fig. 4에서 사각형단면(RCFT)을 갖는 강합성 기둥 실험체의 극한하중을 AASHTO, AISC(2016), KDS, Eurocode 4에서 제시된 설계압축강도와 비교하였다. Table 2에 제시된 폭-두께비를 재료특성이 포함된 무차원 변수로 변환하여 적용하였다.

즉, $(b/t)\sqrt{(F_y/E_s)}$ 값을 (1) 2.26 미만, (2) 2.26 이상 3.0이하, (3) 3.0 초과 세 가지 영역으로 구분하여 각각 조밀, 비조밀, 세장단면의 영역으로 나타내었다. 각각의 영역에 대한 강합성 기둥의 설계압축강도를 계산하여 실험결과로 제시된 극한하중과의 차이를 백분율로 표기하였다. 원형단면을 갖는 강합성 기둥과는 다르게 사각형 단면을 갖는 강합성 기둥의 설계압축강도가 실험결과와 극한하중보다 압축강도를 크게 평가하는 경우가 비조밀단면 영역과 세장단면 영역에서 일부 발생하고 있다.

Table 4에서 사각형 단면(RCFT)을 갖는 강합성 기둥의 설계압축강도와 실험결과와의 차이에 대한 평균(Ave.)과 표준편차(Stv.)를 계산하여 나타내었다. AISC와 KDS는 다른 설계기준들에 비하여 사각형 단면을 갖는 강합성 기둥의 압축강도를 실제 극한하중 대비 최대 42.2% 저평가하고 있으며, AASHTO와 Eurocode 4는 사각형 단면을 갖는 충전형 강합성 기둥의 압축강도를 다른 설계기준에 비하여 실험결과와 근접하게 제시하고 있다.

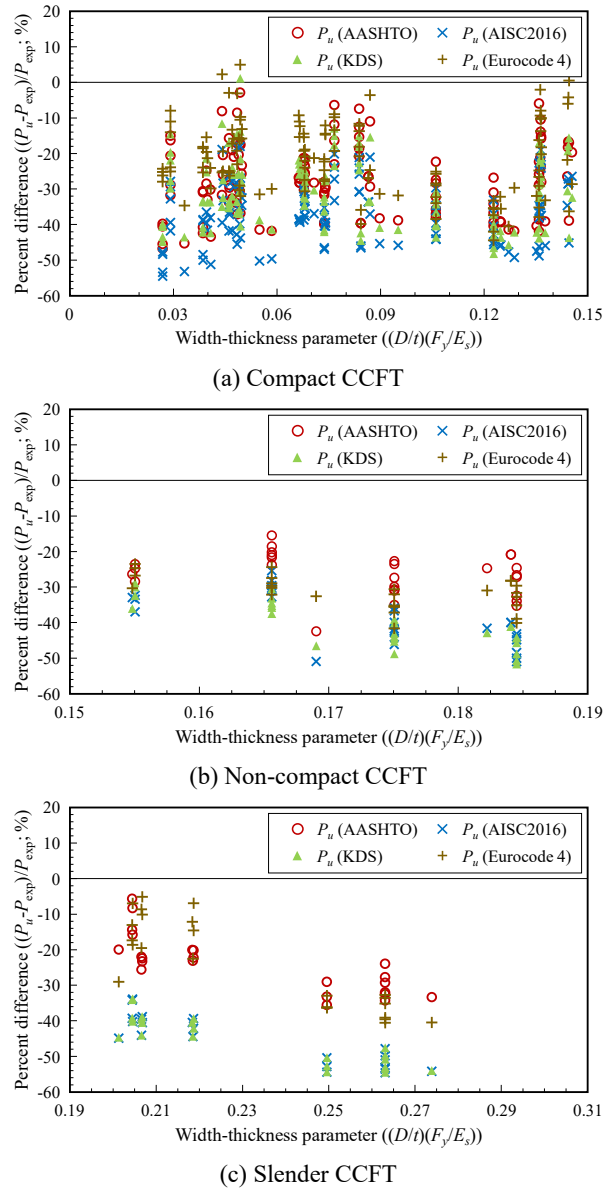


Fig. 3. Comparison of experimental results and design specifications (CCFT)

Table 3. Percent difference of design axial strength and experimental results (CCFT) (Unit: %)

Section type		P_{AASHTO}	P_{AISC16}	P_{KDS}	P_{EURO4}
Compact	Ave.	-27.8	-36.7	-30.6	-21.6
	Stv.	9.9	8.6	9.7	10.3
Non-compact	Ave.	-26.3	-38.9	-40.5	-31.5
	Stv.	6.0	7.2	6.5	4.7
Slender	Ave.	-24.0	-45.3	-45.2	-23.9
	Stv.	8.0	6.7	6.7	12.6

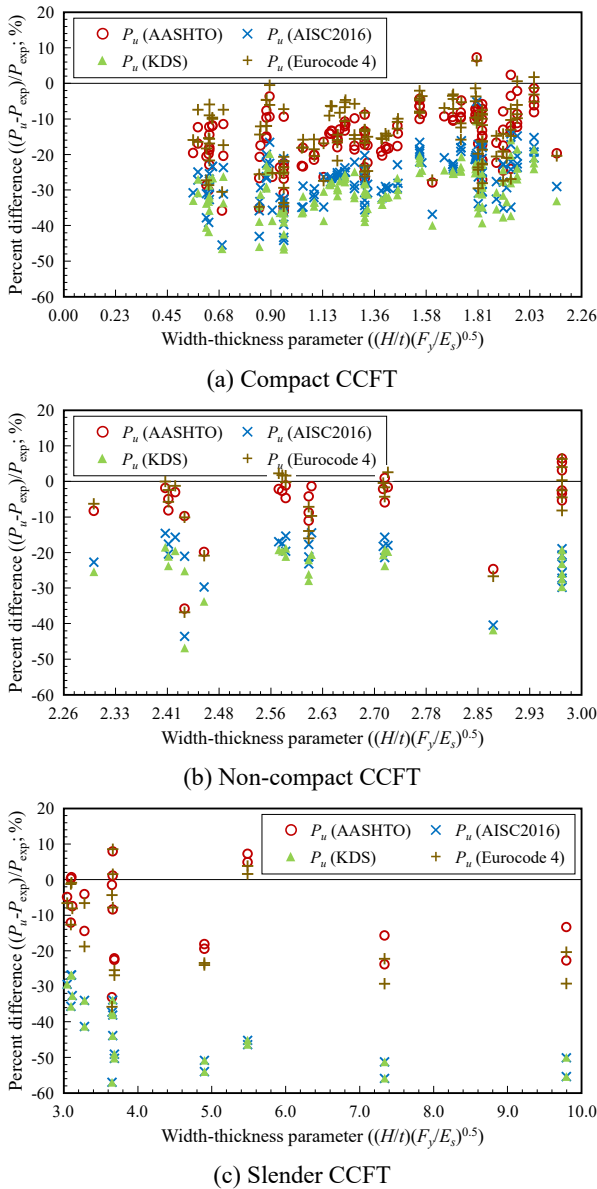


Fig. 4. Comparison of experimental results and design specifications (RCFT)

Table 4. Percent difference of design axial strength and experimental results (RCFT) (Unit: %)

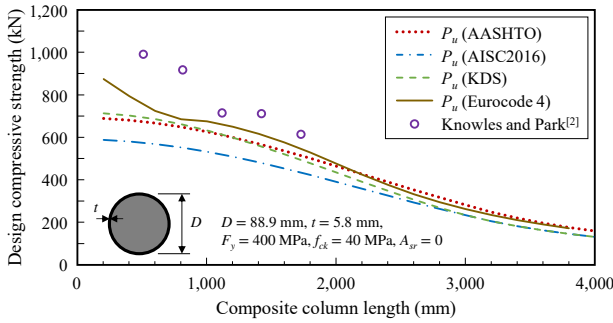
Section type		P_{AASHTO}	P_{AISC16}	P_{KDS}	P_{EURO4}
Compact	Ave.	-15.6	-26.8	-29.9	-14.3
	Stv.	7.9	7.2	6.8	8.5
Non-compact	Ave.	-5.8	-21.8	-24.4	-5.9
	Stv.	8.9	7.2	6.9	9.8
Slender	Ave.	-9.0	-42.2	-42.2	-12.0
	Stv.	10.4	9.5	9.5	12.1

Figs. 5-6에서 원형단면(CCFT)과 사각형단면(RCFT)을 갖는 강합성 기둥에 대하여 기둥의 길이 변화에 따른 설계 압축강도를 실험결과와 함께 비교하였다. 기존의 실험적 연구는 단면형상, 콘크리트 압축강도, 강재의 항복강도 및 기둥의 길이를 변수로 수행되었다.

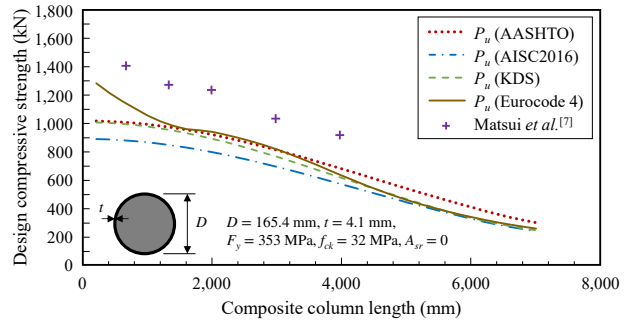
여기서는 동일한 단면형상, 콘크리트 압축강도, 강재의 항복강도에 대하여 기둥의 길이 변화에 따른 압축강도특성을 파악하였다. AASHTO, AISC, KDS의 설계기준은 모두 세장비파라미터의 값에 따라 비탄성영역과 탄성영역으로 구분하여 공칭압축강도를 계산한 후, 일정한 상수의 저항계수를 곱하여 설계강도를 얻는다. 그에 반하여 Eurocode 4에서의 설계압축강도는 비탄성영역과 탄성영역을 구분하지 않는 단일 식으로 공칭강도를 제공하고, 세장비파라미터와 초기처짐효과를 고려하는 감소계수를 곱하여 설계강도를 얻는다. AASHTO에 의한 설계압축강도가 다른 설계기준에 비하여 원형단면 및 사각형 단면을 갖는 강합성 기둥의 압축강도를 실험결과와 근접하게 제시하고 있다. Eurocode 4의 결과는 기둥의 길이가 짧은 단주영역에서는 AASHTO와 유사한 설계압축강도를 제공하고 있으며 장주영역으로 갈수록 AISC, KDS에 근접하는 설계강도를 나타내고 있다.

특히, Eurocode 4에서는 원형단면이면 정식 (16a)로 표현되는 세장비파라미터가($\bar{\lambda}$)가 0.5 이하인 경우, 외부 강관으로 구속된 콘크리트의 강도증진효과를 고려하여 식 (14b)를 사용하여 압축강도를 평가한다. 이는 다른 설계기준과는 구별되는 특징이며 그 결과 Fig. 7에서 기둥의 길이가 매우 짧은 영역에서 Eurocode 4의 설계압축강도가 다른 설계기준에 비하여 실험결과와 유사함을 확인하였다. 하지만 Fig. 8에서의 사각형 단면에서는 외부 강관으로 구속된 콘크리트의 강도증진효과를 고려하지 않으므로 이러한 거동이 나타나지 않는다.

Fig. 7과 Table 5에서 Fig. 5와 Fig. 6에서 적용한 원형 단면(CCFT)과 사각형 단면(RCFT)을 갖는 강합성 기둥에 대하여 기둥의 길이 변화에 따른 여러 가지 설계기준에서 제시된 세장비파라미터($\lambda, P_{no}/P_e, \bar{\lambda}^2$)들을 계산하여 나타내었다. AASHTO에서의 세장비파라미터는 강관과 종방향철근 및 콘크리트의 영향을 함께 고려하여 수정된 압축강도(F_c) 및 수정된 탄성계수(E_c)를 사용하여 산정한다. AISC, KDS에서의 세장비파라미터는 길이효과를 고려하지 않은 압축강도와 합성기둥의 휨좌굴하중의 비(P_{no}/P_e)에 해당되며, P_{no} 는 폭-두께비에 따라 조밀단면, 비조밀단면 및 세장단면으로 구분하여 계산한다. Eurocode 4에서의 세장비파라미

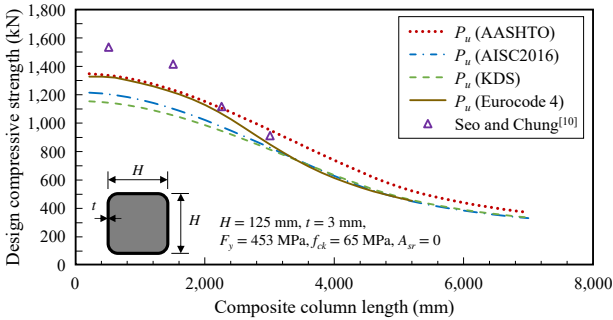


(a) CCFT-1

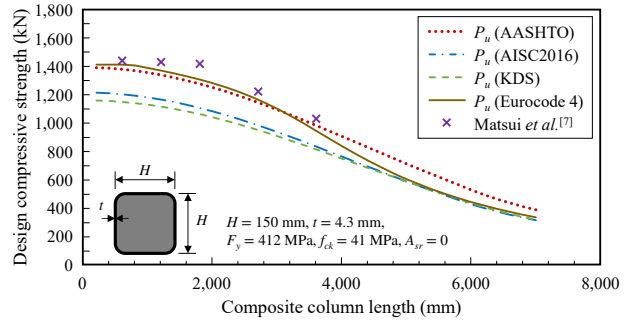


(b) CCFT-2

Fig. 5. Design compressive strength (CCFT)

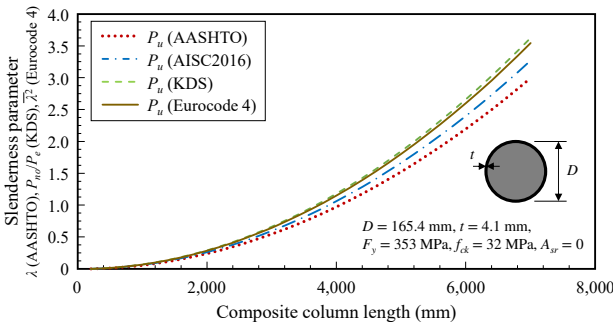


(a) RCFT-1

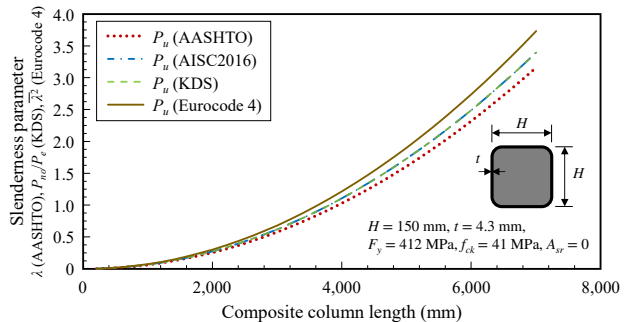


(b) RCFT-2

Fig. 6. Design compressive strength (RCFT)



(a) RCFT



(b) RCFT

Fig. 7. Slenderness parameters of design specifications

Table 5. Slenderness parameters of design specifications

L (mm)	CCFT				RCFT			
	AASHTO (λ)	AISC(2016) (P_{no}/P_e)	KDS (P_{no}/P_e)	Eurocode ($\bar{\lambda}^2$)	AASHTO (λ)	AISC(2016) (P_{no}/P_e)	KDS (P_{no}/P_e)	Eurocode ($\bar{\lambda}^2$)
1,000	0.0611	0.0667	0.0740	0.0723	0.0646	0.0653	0.0653	0.0763
2,000	0.2443	0.2668	0.2958	0.2891	0.2583	0.2611	0.2611	0.3050
3,000	0.5497	0.6003	0.6656	0.6504	0.5813	0.5875	0.5875	0.6863
4,000	0.9772	1.0672	1.1833	1.1562	1.0334	1.0444	1.0444	1.2201
5,000	1.5268	1.6675	1.8490	1.8066	1.6146	1.6319	1.6319	1.9064
6,000	2.1986	2.4013	2.6625	2.6015	2.3251	2.3499	2.3499	2.7452
7,000	2.9925	3.2684	3.6240	3.5409	3.1647	3.1984	3.1984	3.7366

터는 식 (16a)에서 정의된 값($\bar{\lambda}^2$)으로서 AISC, KDS에서의 (P_{no}/P_e)에 대응된다. AASHTO에 의한 세장비파라미터가 다른 설계기준보다 가장 작은 값을 제공하고 있으며, 사각형 단면을 갖는 강합성 기둥에서는 AISC(2016)과 KDS의 세장비파라미터는 동일함을 확인하였다.

강합성 기둥의 설계압축강도를 결정하는 주요한 설계인자인 합성기둥의 유효휨강성(EI_{eff})을 평가하는데 있어서 AISC와 Eurocode의 차이점을 분석하였다. 두 설계기준 모두 유효휨강성은 강관의 휨강성, 종방향철근의 휨강성 그리고 콘크리트의 휨강성의 일부분을 합산한다. AISC는 콘크리트 휨강성의 기여분을 반영하는 계수 C_3 는 콘크리트와 강관 및 주철근의 단면적으로부터 식 (11b)와 같이 계산한다. 특히, AISC(2010)과 KDS 14 31 10에서는 콘크리트와 강관의 면적을 이용하여 C_3 를 계산하지만, AISC(2016)에서는 종방향 철근의 영향을 포함하여 C_3 를 산정한다. 그러나 Eurocode에서는 식 (16d)에서와 같이 콘크리트 휨강성의 기여분을 60 %로 일정하게 평가하고 있다.

Fig. 8에서 AISC에서 제시하고 있는 콘크리트 휨강성의 기여분을 반영하는 계수 C_3 의 영향을 나타내었다. 강합성 기둥 단면적에 대한 종방향 철근의 비(A_{sr}/A_g)를 0%에서 6%까지 2%씩 증가시켜가면서, 강합성 기둥 전체 단면적에 대한 강관단면적비(A_s/A_g)의 증가에 따른 콘크리트 휨강성의 기여분을 반영하는 계수 C_3 값을 비교하였다.

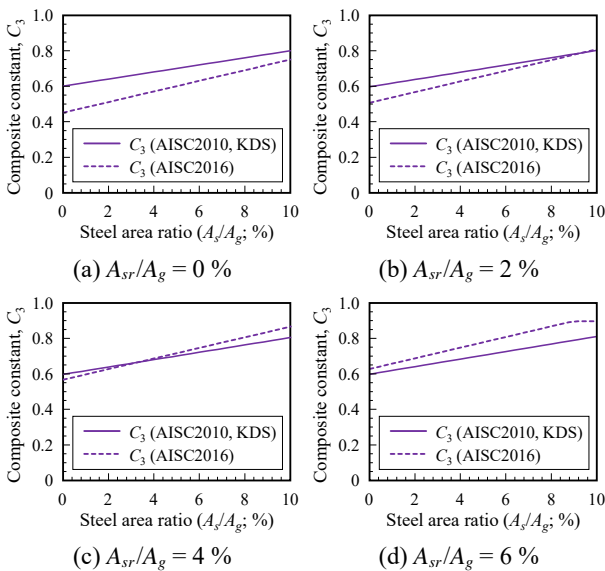


Fig. 8. Composite constant C_3

강합성 기둥 단면적에 대한 주철근의 비(A_{sr}/A_g)가 2% 미만인 경우에는 강합성 기둥 전체 단면적에 대한 강관 면적

비(A_s/A_g)에 상관없이 AISC(2016)의 C_3 값이 KDS 14 31 10 보다 작다. 하지만, 주철근의 비(A_{sr}/A_g)가 2% 이상인 경우 AISC(2016)의 C_3 값이 KDS 14 31 10보다 커지게 되며 기둥 전체 면적에 대한 강관의 면적비(A_s/A_g)가 6%일 때 최대 12.5% 크게 산정된다.

한편, Eurocode 4에서는 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)가 0.5 이하인 원형단면의 경우에 합성기둥의 압축강도 산정에서 강관의 영향은 감소시키고 콘크리트의 영향은 증가시키고 있다. 즉, 강관과 콘크리트의 합성효과를 고려하는 계수 η_s, η_c 는 강합성형 기둥의 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)에 따라 각각 식 (15a), 식 (15b)로 산정한다. 여기서, 강합성형 기둥에 작용하는 압축력에 의한 콘크리트의 팽창으로 인하여 콘크리트를 둘러싸고 있는 강관에는 원주 방향의 인장응력으로 인하여 유효항복응력의 감소되므로 $\eta_s \leq 1.0$ 이 되고, 강관으로 구속된 콘크리트는 압축강도가 증가되므로 $\eta_c \geq 1.0$ 으로 적용된다.

Fig. 9에 강합성형 기둥의 세장비파라미터($\bar{\lambda}$)의 증가에 따른 강관과 콘크리트의 합성계수 η_s, η_c 가 도시되어 있다. 강관의 유효항복응력의 감소효과를 나타내는 η_s 는 합성기둥의 세장비가 0.5에서 0까지 감소함에 따라 1에서 0.75까지 선형적으로 감소한다. 즉, 기둥의 길이가 매우 짧은 합성기둥의 경우에 강관의 압축강도를 최대 75%까지 감소시키고 있다. 그러나 강관으로 구속된 콘크리트의 압축강도를 증가시키는 η_c 는 합성기둥의 세장비가 0.5에서 0까지 감소함에 따라 0에서 4.9까지 포물선으로 증가한다. 즉, 극단적으로 기둥의 길이가 짧은 합성기둥의 경우에 콘크리트의 압축강도를 최대 4.9배 증가시킨다. 원형단면에서만 적용되는 이 기준으로 인하여, Fig. 5에서 합성기둥의 길이가 매우 짧은 단주일수록 압축강도는 급격히 증가한다.

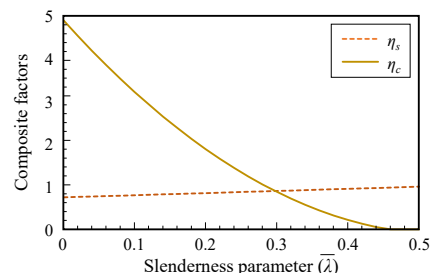


Fig. 9. Composite factors of steel and concrete

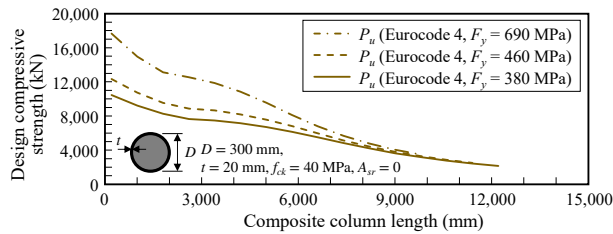
Fig. 10에서 조밀단면 영역에 속하는 원형단면과 사각형 단면의 합성기둥에 대하여 강관의 항복강도 변화에 따른 설계 압축강도를 비교하였다. 설계 대상 강종으로 교량구조용 압연강재인 HSB380, HSB460, HSB690을 적용하여 항복강도

변화의 영향을 분석하였다. 현행 KDS 14 31 10의 강구조 부재설계기준은 AISC 기준을 인용하고 있고, AASHTO-LRFD 기준은 강관의 항복강도를 420 MPa 이내로 제한하고 있기 때문에 Eurocode 4와 AISC 기준에 대한 결과를 비교하였다.

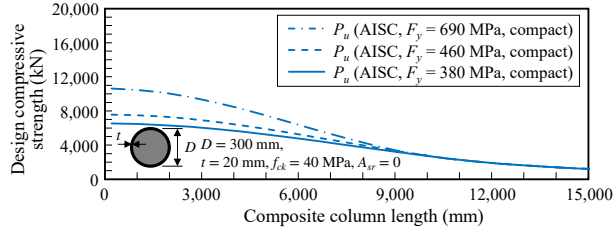
원형단면을 갖는 합성기둥에서 Eurocode 4에서 사용하는 세장비파라미터(λ)가 0.5 이하로 작아질수록 콘크리트의 구속효과를 반영하는 파라미터(η_c)가 증가하는 영향으로 설계 압축강도의 급격한 증가를 확인할 수 있다. 하지만 식 (16a)와 같이 세장비파라미터(λ)의 값을 2 이하로 제한하는 조건으로 인하여 외경이 300 mm이고 강관의 두께가 20 mm인 설계 대상 합성 기둥의 경우 길이가 약 12 m 이내에서만 설계 압축강도가 산정되는 것으로 나타났다. 강관의 항복강도가 82% 증가함에 따라 설계압축강도는 Eurocode 4와 AISC

에서 각각 59.1%, 66.7% 증가하지만 기둥의 길이가 증가함에 따라 강관의 압축강도 증가효과는 크지 않다.

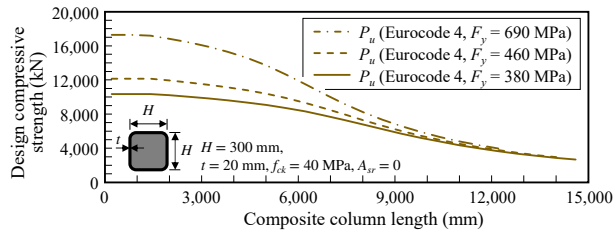
Fig. 11에서는 비조밀단면과 세장단면 영역에 속하는 합성형 기둥에 대하여 강관의 항복강도 변화에 따른 설계기준별 압축강도를 비교하였다. Eurocode 4에서는 강관의 직경-두께비에 따라 비조밀단면 및 세장단면을 구분하지 않으므로 Fig. 10에서 나타난 바와 유사하게 강관의 항복강도가 증가함에 따라 설계압축강도가 최대 38% 증가함을 확인하였다. 그러나 AISC에서는 단면을 조밀, 비조밀, 세장단면으로 구분하여 설계압축강도를 산정한다. 원형단면의 경우 강관 항복강도 증가에 따라 단면이 조밀단면에서 세장단면으로 구분되며, 이에 따라 설계압축강도의 증가는 단주영역에서 최대 18% 증가하지만 기둥의 길이가 증가함에 따라 압축강도



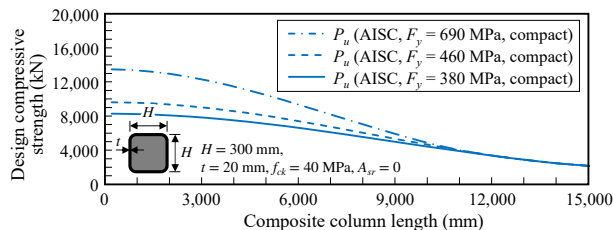
(a) Eurocode 4-CCFT



(b) AISC-CCFT

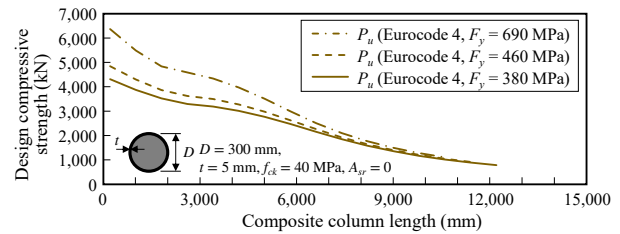


(c) Eurocode 4-RCFT

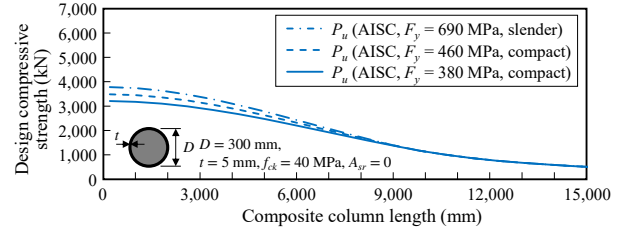


(d) AISC-RCFT

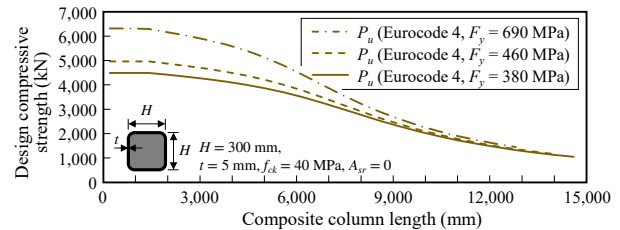
Fig. 10. Comparison of design compressive strength of compact section ($t = 20$ mm)



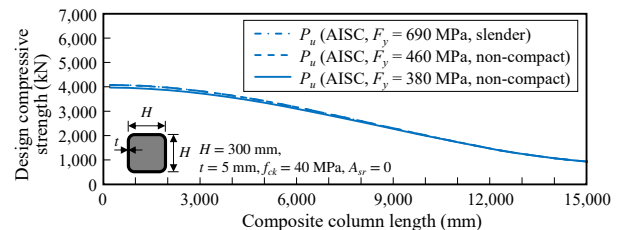
(a) Eurocode 4-CCFT



(b) AISC-CCFT



(c) Eurocode 4-RCFT



(d) AISC-RCFT

Fig. 11. Comparison of design compressive strength of non-compact and slender section ($t = 5$ mm)

의 증가효과는 감소한다. 한편, 사각형 강관의 경우에는 강관 항복강도 증가와 함께 단면의 구분이 비조밀단면에서 세장 단면으로 변화되며, 설계압축강도는 증가는 단주영역에서 최대 2.6%로 산정되어 항복강도 증가에 따른 합성기둥의 설계압축강도의 증가효과는 미비함을 확인하였다.

4. 결론

이 논문에서는 원형 및 사각형 강관에 콘크리트가 충전된 강합성 기둥의 압축강도를 다수의 논문에서 발표된 실험적 연구와 국내·외 여러 설계기준에서 제시하고 있는 설계압축강도와 비교·분석하였다. 충전형 강합성 기둥에 대한 설계기준 특성을 파악하고, 설계압축강도에 영향을 주는 다양한 설계인자들에 대한 영향을 고찰하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) AASHTO-LRFD의 설계기준은 단면을 구성하고 있는 재료의 단면적 비에 따른 수정된 탄성계수 및 항복강도를 적용하고, AISC와 국내 강구조설계기준은 강합성 단면의 국부좌굴효과를 고려하여 조밀, 비조밀, 세장단면 영역으로 구분하여 설계압축강도를 산정한다. Eurocode 4는 강관으로 구속된 콘크리트의 강도 증진효과와 콘크리트의 팽창에 따른 강관의 강도저하효과를 동시에 고려하며, 강합성 기둥의 초기처짐 효과가 포함된 설계압축강도를 제시하고 있다.
- (2) 원형단면을 갖는 강합성 기둥에서, AASHTO-LRFD에 의한 설계압축강도는 조밀, 비조밀, 세장단면 영역에서 실험결과와의 차이가 평균 30% 이내이며, AISC와 KDS 규정에 의한 설계강도는 실험결과와의 차이가 최대 46%까지 발생하였다. Eurocode 4에 의한 설계압축강도는 조밀단면 영역에서 다른 설계기준에 비하여 실험결과와 유사한 압축강도를 산정하고 있다.
- (3) 사각형단면을 갖는 강합성 기둥의 설계압축강도에 대하여, AISC와 KDS의 규정은 설계압축강도를 실제 극한하중 대비 최대 42% 저평가하고 있으며, AASHTO와 Eurocode 4에 의한 설계강도가 다른 설계기준에 비하여 실험결과와 근접한 결과를 제시하고 있음을 확인하였다.
- (4) 강관의 항복강도가 380 MPa, 460 MPa, 690 MPa로 증가함에 따라 조밀단면 영역에서의 설계압축강도는 Eurocode 4와 AISC에서 각각 59.1%와 66.7% 증

가하지만, 비조밀단면과 세장단면 영역에서는 항복강도 증가에 따른 합성기둥의 설계압축강도의 증가효과는 미비함으로 분석되었다.

- (5) 기존의 실험적 연구는 세장비파라미터가 2.25 이하인 비탄성 영역에 해당하는 합성기둥에 대하여 수행되었으며, 그 중에서 세장비파라미터가 0.1 이하인 경우가 대부분인 것으로 파악되었다. 추후, 실제적인 강합성 기둥의 압축강도 평가를 위하여 세장비파라미터가 2.25 이상인 영역에 해당되는 강합성 기둥의 압축강도에 대한 실험적 연구가 요구된다.

감사의 글

이 논문은 행정안전부의 방재안전분야 전문인력 양성사업의 지원을 받아 제작되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] Cho, K.H., and Kim, S.B. (2019) Compressive Strength of Concrete-Encased Composite Columns According to Design Specifications, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.3, pp.223-231 (in Korean).
- [2] Knowles, R.B., and Park, R. (1969) Strength of Concrete Filled Steel Tubular Columns, *Journal of the Structural Division*, American Society of Civil Engineers, Vol.95, No.12, pp.2565-2588.
- [3] Janss, J., and Anslijn, R. (1974) *Le Calcul des Charges Ultimes des Colonnes Métalliques Enrobés de Béton*, Rapport CRIF, MT89, CRIF, (in French).
- [4] Lin, C.Y. (1988) Axial Capacity of Concrete Infilled Cold-Formed Steel Columns, *Proceedings of the Ninth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, University of Missouri-Rolla, USA, pp.443-457.
- [5] Fujimoto, T., Nishiyama, I., Mukai, A., and Baba, T. (1995) Test Results of Eccentrically Loaded Short Columns - Square CFT Columns, *Proceedings of the Second Joint Technical Coordinating Committee Meeting*, U.S.-Japan Cooperative Research Program, National Science Foundation, USA, pp.26-28.
- [6] Yoshioka, K., Inai, E., Hukamoto, N., Kai, M., Murata, Y., Noguchi, T., Tanaka, Y., Tokinoya, H., and Mukai, A. (1995) Compressive Tests on CFT Short Columns,

- Part 1: Circular CFT Columns, *Proceedings of the Second Joint Technical Coordinating Committee on Composite and Hybrid Structures*, National Science Foundation, USA.
- [7] Matsui, C., Mitani, I., Kawano, A., and Tsuda, K. (1997) AIJ Design Method for Concrete Filled Steel Tubular Structure, Presented at Concrete Filled Steel Tubes: A Comparison of International Codes and Practices, Association for International Cooperation and Research in Steel-Concrete Composite Structures, Austria, pp.93-115.
- [8] O'Shea, M.D., and Bridge, R.Q. (1997) Circular Thin-Walled Tubes with High Strength Concrete Infill, *Proceedings of the Engineering Foundation Conference*, American Society of Civil Engineers, Germany, pp.780-793.
- [9] O'Shea, M.D., and Bridge, R.Q. (2000) Design of Circular Thin-Walled Concrete-Filled Steel Tubes, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.126, No.11, pp.1295-1303.
- [10] Seo, S.Y., and Chung, J.A. (2002) An Experimental Study on Strength of Slender Square Tube Columns Filled with High Strength Concrete, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.14, No.4, pp.471-479 (in Korean).
- [11] Han, L.-H. (2002) Tests on Stub Columns of Concrete-Filled RHS Sections, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.58, No.3, pp.353-372.
- [12] Kang, H.-S., Lim, S.-H., and Moon, T.-S. (2002) Behavior of CFT Stub Columns Filled with PCC on Concentrically Compressive Load, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.18, No.9, pp21-28 (in Korean).
- [13] Patel, V.I. (2013) *Nonlinear Inelastic Analysis of Concrete-Filled Steel Tubular Slender Beam-Columns*, Ph.D Dissertation, Victoria University, Australia.
- [14] Lai, Z. (2014) *Experimental Database, Analysis and Design of Noncompact and Slender Concrete-filled Steel Tube (CFT) Members*, Ph.D Dissertation, Purdue University, USA.
- [15] Lee, H.J., Park, H.G., and Choi, I.R. (2015) Axial Load Test on Rectangular CFT Columns Using High-Strength Steel and Slender Section, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.2, pp.219-229 (in Korean).
- [16] Lim, J.J., and Eom, T.S. (2019) Evaluation of Compression Strengths of Octagonal Concrete-Filled Tube Columns, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.5, pp.349-360 (in Korean).
- [17] American Association of State Highway and Transportation Officials (2017) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (8th Ed.), USA.
- [18] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016) *Korean Highway Bridge Design Code (Limit State Design)*, Korea (in Korean).
- [19] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2018) *Design Standard of Steel Bridge* (KDS 24 14 31: 2016), Korea (in Korean).
- [20] American Institute of Steel Construction (2016) *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-16), USA.
- [21] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (EN 1994-1-1: 2004), Belgium.
- [22] Ministry of Construction and Transportation (1998) *Limit State Design Standard of Steel Structures*, Korea (in Korean).
- [23] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009) *Design Standard of Steel Structures*, Korea (in Korean).
- [24] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2014) *Design Standard of Steel Structures*, Korea (in Korean).
- [25] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017) *Design Standard of Steel Structural Members* (KDS 14 31 10: 2017), Korea (in Korean).

요약: 이 논문에서는 원형 및 사각형 강관에 콘크리트가 충전된 강합성 기둥의 압축강도를 실험적 연구와 국내·외 여러 설계기준에서 제시하고 있는 설계압축강도와 비교·분석하였다. AASHTO-LRFD, AISC, Eurocode 4 및 국내 강구조설계기준에서 규정하고 있는 충전형 강합성 기둥에 대한 설계기준 특성을 파악하였다. 다양한 단면과 길이를 갖는 충전형 강합성 기둥에 대하여, 강관의 항복강도 변화, 폭-두께비에 따른 조밀단면, 비조밀단면 및 세장한 단면 영역 등 설계압축강도에 영향을 주는 설계인자들을 파악하고, 설계변수의 변화에 따른 합성기둥의 설계압축강도의 영향을 분석하였다. AASHTO-LRFD와 Eurocode 4에 의한 설계강도가 다른 설계기준에 비하여 충전형 강합성 기둥의 설계압축강도를 실험결과와 유사하게 제시하고 있으며, AISC와 강구조설계기준은 설계압축강도를 다른 기준들에 비하여 비교적 저평가하고 있음을 확인하였다.

핵심용어: 충전형, 강합성, 기둥, 압축강도, 설계기준