

시간 의존적 거동을 고려한 CFT 기둥의 극한 하중 계산을 위한 수치 해석 모델 제안

김 성 훈¹ · 광 효 경^{2†}

¹한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사과정, ²한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

Numerical Model for the Estimation of Ultimate Load Capacity of CFT Columns Considering Time-dependent Behavior

Seong Hun Kim¹ and Hyo-Gyoung Kwak^{2†}

¹Graduate Student, Department of civil and Environmental Engineering, KAIST, Daejeon, 34051, Korea

²Professor, Department of civil and Environmental Engineering, KAIST, Daejeon, 34051, Korea

Abstract

This paper introduces a numerical analysis model capable of evaluating CFT (Concrete-Filled Tube) columns across all time stages, incorporating creep behavior analysis and inelastic analysis to account for time-dependent behavior. The proposed model is compared with experimental results, revealing that the numerical model presented in this paper demonstrates more accurate trends than existing design criteria. Following verification, a numerical analysis is conducted for each slenderness ratio, determining the ultimate load capacity and examining the short-term and long-term sustained load behavior of the overall CFT column members.

Keywords : CFT, layer section, creep deformation, time-dependent deformation, inelastic analysis

1. 서론

높은 인장 강도와 연성 능력을 가지고 있는 강재와 압축에 대해 효율적인 저항성능을 보이는 콘크리트로 이루어진 복합 재료부재는 구조물을 만드는데 있어서 상당한 이점을 가진다 (Hwang and Kwak, 2015). 이러한 이점을 바탕으로 하여 구조물의 기둥을 만들 때 주로 쓰이는 복합부재는 철근 콘크리트 기둥이다. 철근 콘크리트(Reinforced Concrete) 기둥은 콘크리트 내에 철근을 보강하여 강재와 콘크리트의 재료적 이점을 활용한 부재이다. 이러한 철근 콘크리트 기둥과 같이 강재와 콘크리트의 복합부재 기둥인 CFT(Concrete Filled Tube)는 강재로 이루어진 외부 강관에 콘크리트를 내부에 충전하는 또다른 복합부재기둥으로, 철근 콘크리트 기둥보다 상대적으로 강도, 강성, 연성이 뛰어나다. 그러나 이러한 CFT 기둥에 대한 광범위한 연구가 이전부터 진행되어 왔음에도 불구하고, 상대적으

로 철근 콘크리트 기둥 보다 비탄성 거동과 장기 지속 하중에 대한 거동, 그리고 외부 강관에 의하여 내부 콘크리트가 구속 되는 부재의 특성상 발생하는 구속효과 등에 대한 연구가 현재 미흡하고, 그래서 추가적인 연구가 필요한 상황이다.

ACI, AISC, EC4와 같은 설계기준들에서 CFT 기둥 설계에 대한 기준들을 제시하고 있지만, 이러한 설계 기준들은 CFT 부재의 비탄성 거동과 강관 구속 효과에 의한 거동들을 잘 묘사하지 못하여 기둥 부재의 실제 극한 하중을 과소 혹은 과대 평가하는 경향이 있다. 이를 해결하기 위해 강관의 구속효과에 관한 연구가 진행되었고(Hu *et al.*, 2003) 그와 더불어 CFT 부재의 굽힘력과(Furlong *et al.*, 1967) 장기 거동에 대한 연구(Chen *et al.*, 2017) 또한 진행되었다.

이러한 선행 연구자들의 연구를 바탕으로 본 논문에서는 CFT 기둥 부재의 비탄성 거동과 강관에 의한 외부 구속 효과를 고려한 단기 하중에 대한 수치 해석을 실시하여 실제 CFT

[†]Corresponding author:

Tel: +82-42-350-3661; E-mail: khg@kaist.ac.kr
Received October 25 2023; Revised January 4 2024;
Accepted January 19 2024

© 2024 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.

기둥 부재의 거동과 정확성을 비교하고, 이후 CFT 기둥 부재에 장기 지속 하중이 가해졌을 때 크리프 함수의 전개에 기본을 둔 1차 순환적 단계 알고리즘을 기반으로 한 수치 해석을 진행하였다. 이러한 1차 순환적 단계 알고리즘을 기반으로 한 수치 해석은 앞서 연구자들이 크리프 변형을 예측하기 위해 사용한 크리프 컴플라이언스 기반 수치 해석 모델(Chen *et al.*, 2023)에 비해 최적화된 결과를 제시하는 장점이 있으나 CFT 기둥 부재의 장기 거동을 분석하는 데에 아직 활용되지 않아 본 연구에서 적용하였다. 본 논문에서 진행한 수치 해석 모델의 타당성을 검증하기 위하여 원형 CFT 기둥 부재에 대한 기존의 실험 결과와 해석 결과를 비교할 것이고, 그와 동시에 EC4 설계 기준과의 비교를 통해 수치 해석 모델의 정확성을 입증하였다.

2. 재료모델

이 장에서는 본 논문에서의 수치해석 모델에 사용될 콘크리트 및 강관의 재료 모델과 장기 지속 하중 해석에 사용되는 콘크리트 크리프에 대해 소개하고자 한다.

2.1 콘크리트

CFT의 거동은 강관과 강관 내의 콘크리트의 응력-변형률 관계에 의존하기 때문에 수치해석 모델에서 우선적으로 강관과 콘크리트의 재료모델을 구성하여야 한다. 일반적인 철근 콘크리트 기둥과는 다르게 CFT 기둥의 거동을 설명하기 위해서는 외부 강관에 의한 구속 효과를 고려한 재료 모델을 사용하여야 한다(Mander *et al.*, 1988). 이를 고려한 압축 부분의 콘크리트의 응력은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r}, x \leq 1 \quad (1)$$

$$f_c = k_3 f'_{cc}, x > 1 \quad (2)$$

여기서, f'_{cc} 는 구속된 콘크리트의 압축 강도로 $f'_{cc} = f'_c + 4.1f_i$ 로 나타내어지고, f_i 는 강관에 의한 콘크리트의 구속의 정도를 나타내는 강도로, 강관의 두께와 콘크리트의 지름, 그리고 강관의 항복강도에 따라 표현된다. x 는 변형률에 관한 변수로 $x = \epsilon_c / \epsilon_{cc}$ 이고, ϵ_c 는 콘크리트의 종방향 압축 변형률이고, $\epsilon_{cc} = 0.003[1 + 5(f'_c / f'_{c0} - 1)]$ 로 나타내어지며, 여기서 f'_{c0} 은 구속되지 않은 콘크리트의 강도이다. r 은 콘크리트의 탄성 계수에 관한 변수로, 다음과 같은 식 (3)으로 나타내어진다.

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3)$$

여기서, E_c 는 콘크리트의 탄성계수이고, $E_{sec} = f'_c / \epsilon_{cc}$ 로 나타내어지는 탄성 계수이다. $\epsilon_{cu} = 11\epsilon_{cc}$ 이고, k_3 의 값은 강관의 두께와 콘크리트의 지름에 따라 나타내어진다. 이를 바탕으로 압축 부분의 콘크리트의 응력 변형률 관계를 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

인장 측 콘크리트의 응력-변형률 관계의 경우에는 균열 이후 부분인 ϵ_{cr} 보다 큰 변형이 일어났을 때의 변형 연화(strain softening) 영역을 선형으로 단순화하였으며, 그에 따른 인장 영역에서 균열 전후의 부분을 표현하면 다음과 같은 식 (4), 식 (5)로 나타내어진다.

$$f_t = E_c \epsilon_c, \epsilon_c \leq \epsilon_{cr} \quad (4)$$

$$f_t = f'_t - \frac{(\epsilon_c - \epsilon_{cr}) f'_t}{(\epsilon_0 - \epsilon_{cr})}, \epsilon_{cr} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_0 \quad (5)$$

ϵ_{cr} 은 콘크리트의 인장 강도를 탄성 계수로 나누어준 값으로 균열이 발생하는 순간의 변형률이다. 위 식들은 균열 발생 후 콘크리트가 상대적으로 작은 값이기는 하나 인장 강화 효과(tension stiffening effect)를 고려하여 인장력에 저항한다는 가정을 바탕으로 하여 제시된 모델식이고, Fig. 2와 같이 나타내어진다(Bazant and Oh, 1984).

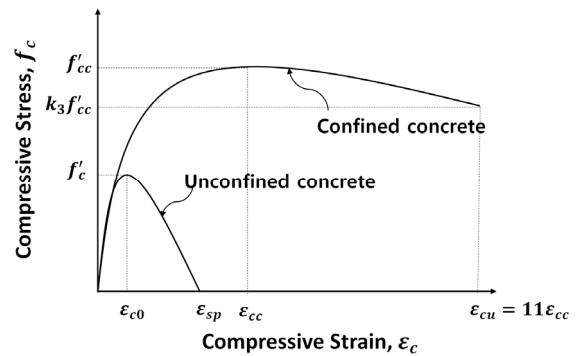


Fig. 1 Stress-strain curve of concrete (Compressive region)

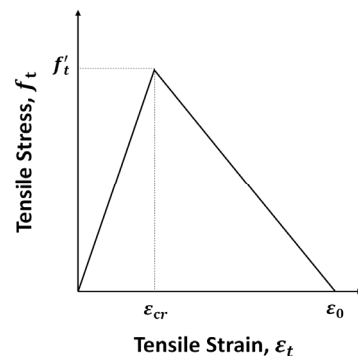


Fig. 2 Stress-strain curve of concrete (Tensile region)

2.2 강관

강관에 사용되는 강재는 콘크리트와는 달리 압축 영역과 인장영역에서 동일한 응력-변형률 관계를 보이는 경향이 있으며, 항복점에 도달하기까지는 선형 거동을 보이다가 항복점 이후 구간에서는 급격한 변형률의 증가를 보이는 거동을 하게 된다. 항복점 이후의 소성 거동 구간을 적절한 기울기를 가진 직선으로 모델링하여 선형변형경화 구간을 고려하게 하는 모델이 콘크리트 관련 구조물에 대한 이전 연구들에 성공적으로 적용되어 왔음에 따라 Fig. 3과 같이 두개의 직선 구간으로 표현되는 철근의 응력 변형률 관계를 사용하였다(Vebo and Ghali, 1977).

2.3 크리프

콘크리트에 지속적인 응력이 작용하는 경우 순간적으로 나타나는 탄성 변형 이후에 나타나는 시간에 따라 지속적인 비탄성 변형을 크리프라고 한다. 이 크리프 변형은 하중이 작용하는 방향으로 진행되며, 대상 부재가 구속되어 있고, 서로 다른 재료로 구성되어 있을 경우 크리프는 내부 작용에 의한 하중의 재분배를 일으킨다. 따라서 시간이 지남에 따라 크리프 변형률이 커질수록, 곡률 또한 커지게 되어 처짐을 증가시키게 된다. CFT 기둥의 경우에도 마찬가지로 기둥에서 크리프는 인장측에서 강관에 의해 구속되므로 강관은 곡률 변화량에 영향을 주게 된다. 강관 내의 인장측 콘크리트가 균열되면 응력을 받지 못하게 되어 크리프 또한 발생하지 않게 되는데, 그러므로 인장측 콘크리트의 균열 이후 압축 부 내에서만 크리프가 일어나게 되어 압축 부의 응력이 감소하게 되는 원인이 된다. 이렇듯 콘크리트만 들어가 있지 않은 복합 구조물에서 크리프의 효과를 계산할 때 실제 시간에 따른 변형은 콘크리트의 순수 크리프가 아닌 강재와 같은 물질에 의해 수정된 값이라는 것을 고려해야 한다(Neville et al., 1983).

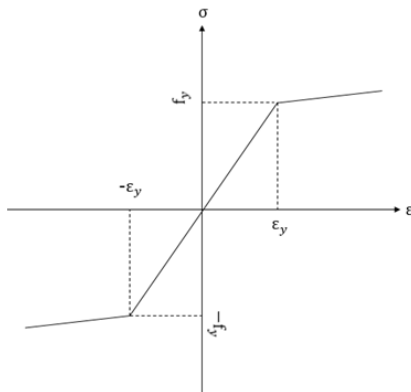


Fig. 3 Stress-strain curve of steel

본 논문에서는 재령과 재하기간 간의 함수의 곱으로 나타내어지는 ACI 모델식을 바탕으로 하는 크리프 함수를 사용하였고, 식 (6)과 같이 나타내어지며, $E(t')$ 는 탄성계수, $f(t')$ 는 시간 t' 에서의 재하에 대한 재령의 효과를 나타내는 함수, 그리고 $g(t-t')$ 는 하중 작용하에 시간에 따른 크리프의 효과를 나타내는 함수이다. 크리프 함수에 사용되는 크리프 계수식은 식 (7)과 같이 나타내어지며, $\Phi_{\infty}(t')$ 는 극한 크리프 계수로, 보통의 철근 콘크리트는 2.35 정도의 극한 크리프 계수를 가지지만, 여러 CFT에 장기 거동 실험에 따르면 CFT의 경우 50~60% 정도의 크리프 계수를 가진다고 하였으므로, 본 논문에서는 1.5 정도의 값을 사용한다.

$$C(t, t') = \frac{1}{E(t')} [1 + K_0 f(t') g(t-t')] \tag{6}$$

$$\Phi(t, t') = \frac{(t-t')^{0.6}}{10 + (t-t')^{0.6}} \Phi_{\infty}(t') \tag{7}$$

앞서 구한 크리프 계수식을 탄성 계수로 나누어 만들어진 일반적인 크리프 함수와 응력의 곱으로 크리프 변형률을 식 (8)과 같이 나타낼 수 있는데, 이 식을 그대로 사용하면 수치 해석 시 모든 시간 구간에서 응력 변화 이력을 저장해서 해석의 효율성을 떨어뜨리는 문제를 가지고 있다. 그래서 이 논문에서는 이와 다른, Kabir 등에 의해 제안된 디리클레 급수와 최소 자승법을 이용한 형식의 크리프 함수 모델인 식 (9)를 사용했는데, 이 모델은 Zienkiewicz에 의해 제안된 식 (10)과 식 (11) 같은 1차 순환적 단계 알고리즘과 결합하여, 이전 시간 단계의 A_i 와 응력변화만을 이용하여 크리프 변형률을 구하도록 하여 수치 해석시 저장용량을 감소시켰다(Zienkiewicz et al., 1968). 여기서 ϵ_n^c 는 크리프로 인한 비탄성 변형률, $C(t, \tau)$ 는 크리프 컴플라이언스 함수, $a_i(\tau)$ 는 크리프 컴플라이언스 계수, 그리고 λ_{μ_i} 는 지연시간의 역수이다.

$$\epsilon_n^c = \sum_i^n C(t_n, t_i) * \Delta \sigma_i \tag{8}$$

$$C(t, \tau) = \sum_{i=1}^m a_i(\tau) * (1 - e^{-\lambda_{\mu_i}(t-\tau)}) \tag{9}$$

$$\epsilon_n^c = \sum_i^m A_{i_{n-1}} * (1 - e^{-\lambda_{\mu_i} \Delta t_n}) \tag{10}$$

$$A_{i_n} = A_{i_{n-1}} * e^{-\lambda_{\mu_i} \Delta t_n} + \Delta \sigma_n * a_i(\tau) \tag{11}$$

3. 수치해석 모델링

이 장에서는 본 논문에서의 수치해석 모델에 사용되는 시간 의존적 거동을 고려한 비탄성 수치 해석 모델을 제안하고 기존에 이루어진 실험들을 통해 해석 모델을 검증하고자 한다. 본 논문에서의 수치 해석 모델들은 Fortran 90 코드를 기반으로 프로그래밍되어 연구를 진행하는데 활용되었다.

3.1 비탄성 해석법

본 논문에서는 시간 의존적 하중을 고려하기 때문에 이를 위해 콘크리트의 크리프 변형률을 시간에 따라 결정하여야 한다. 이를 위해 2.3에서 언급한 크리프 함수 전개에 기본을 둔 1차 순환적 단계 알고리즘을 사용하여 크리프 변형률을 효과적으로 고려하도록 하였다. 그와 더불어, 부재의 두께 방향으로 가상의 강관과 콘크리트 층으로 모사한 적층 단면을 사용하여 부재에 작용하는 외력에 의해 발생하는 구조물의 변형을 외부 하중 조건 하에 각 단면의 영향이 증첩되어 나타나도록 하여 연구를 진행하였다.

하중 증가에 따른 구조 거동을 파악하기 위해 본 논문에서는 복합법을 사용하여 비선형 해석을 시행하였다. 이 방법은 반복 해석에 첫 번째로 들어갈 때에만 강성 행렬을 재구성하고 이후 반복 해석 과정에서는 처음 구성된 강성 행렬을 유지하여 사용하는 방법이다. 본 논문에서 수렴 여부의 결정은 전체 변위의 제곱 (d_j^2)에 대한 변위 증분의 제곱 (Δd_j^2)의 합이 지정된 오차 한계값 T 보다 작을 경우 수렴한다고 하는 식 (12)을 설정하여 사용하였다. 이러한 해석 과정을 순서도로 나타내면 Fig. 4와 같이 나타내어진다.

$$E_d = \frac{[\sum_j (\Delta d_j^i)^2]^{0.5}}{[\sum_j (d_j^i)^2]^{0.5}} \leq T \quad (12)$$

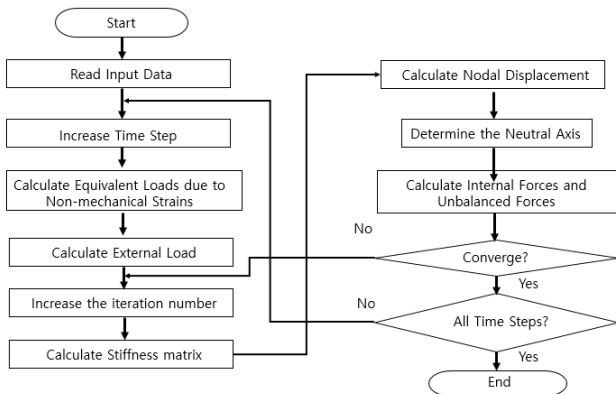
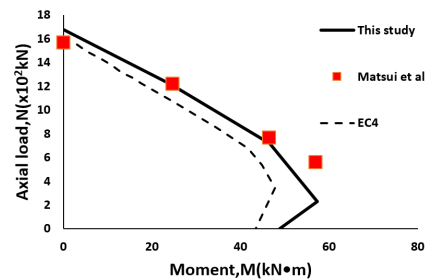


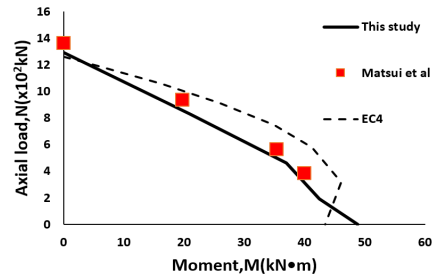
Fig. 4 Flow chart for static nonlinear analysis

3.2 수치해석모델 검증

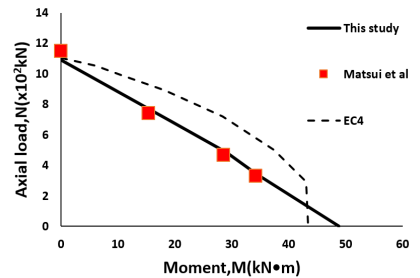
Matsui의 CFT에 대한 축력과 힘에 관한 극한 강도 실험 (Matsui *et al.*, 1995)와 기존의 CFT에 대한 Eurocode 4, 그리고 본 논문에서의 수치 해석 모델 값을 비교함으로써 수치 해석 모델의 신뢰성을 검증하였다. 해당 실험에서 사용한 CFT 부재의 D/t의 값은 40.5이며, 실험에 사용된 부재의 재료의 물성치는 $f_{ck} = 34.2MPa$, $E_c = 33.0Gpa$, $f_y = 353.0MPa$ 그리고 $E_s = 200.0Gpa$ 의 값을 가지고 있다. 세장비에 따른 영향을 고려하기 위해 세장비가 16, 48, 72, 96인 경우에 대하여 각각 해석을 진행하여 결과를 비교하였다. 그 결과는 Fig. 5(a)~(d)와 같고 Matsui의 실



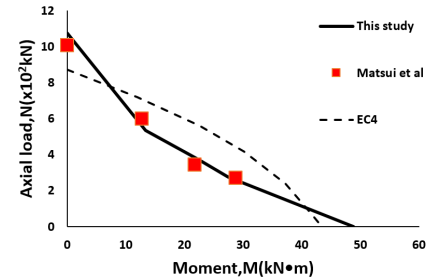
(a) Slenderness ratio = 16



(b) Slenderness ratio = 48



(c) Slenderness ratio = 72



(d) Slenderness ratio = 96

Fig. 5 Comparison of Analytical Model with Test results and Eurocode 4

험결과는 빨간색 네모로 표시하였고, Eurocode 4의 결과는 점선으로, 본 논문의 수치 해석 모델의 결과는 실선으로 표시하였다.

Fig. 5에서 수치해석 결과를 Matsui의 실험 데이터와 비교한 결과 수치 해석과 실험 결과가 잘 맞는 것이 관찰되었으며 이는 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. (1) 개발된 수치 해석 방식은 CFT 기둥의 극한 저항 용량을 정확하게 예측할 수 있다. (2) Eurocode4는 상대적으로 세장비가 작은 CFT기둥의 내력을 과소평가할 수 있으나, 세장비가 증가함에 따라 내력을 과대평가할 수 있는데, 이는 Eurocode4가 균일한 안전율을 보장하지 못함을 의미한다. 이는 Eurocode4가 세장비, 하중의 편심 및 구속 효과를 정확하게 고려하지 않은 데서 발생하는 것으로 보인다. (3) P-Δ 효과로 인해 세장비가 증가함에 따라 저항 용량의 감소율이 증가하게 된다. (4) 상대적으로 큰 세장비를 갖는 CFT 기둥에서 콘크리트의 크리프 변형으로 인한 더 큰 강도 감소가 발생한다. (5) 콘크리트의 크리프 변형에 따른 CFT 기둥의 강도 감소는 철근 콘크리트(RC) 기둥에 비해 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 종합적으로, Matsui의 실험 결과와 비교했을 때 기존의 Eurocode 4의 결과보다 본 논문에서의 수치 해석 모델이 전 세장비 구간에서 잘 일치한다는 것을 파악할 수 있다.

또한 본 논문의 수치 해석 모델에 적용된 크리프에 의한 장기 거동에 대한 해석의 정확성을 검증하기 위해 본 논문에서는 CFT 기둥에 대해 장기 거동 실험을 수행한 Chen 등(2017),

Wang 등(2011)의 실험결과와 본 수치 해석모델에서의 결과의 크리프의 값을 Fig. 6(a), (b)에서 비교하였다.

Chen 등(2017)의 실험에 사용된 부재 재료의 물성치는 $f_{ck} = 62.3MPa$, $D/t = 70$, $f_y = 350.0MPa$ 그리고 $E_s = 198.0Gpa$ 의 값을 가지고 있고, Wang 등(2011)의 실험은 $f_{ck} = 41.2MPa$, $D/t = 53.85$, $f_y = 299.3MPa$ 그리고 $E_s = 189.0Gpa$ 의 값을 가지고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이 각 연구자들의 실험결과와 본 수치 해석모델에서의 크리프의 값은 전반적으로 비슷한 추세를 가지고 있는 것을 파악 할 수 있다.

4. 수치해석

기존의 설계 기준인 Eurocode 4에서는 비교적 간단한 방법으로 CFT 기둥의 극한 하중식을 제안하였고, 그에 따라 실제의 CFT 기둥의 극한 하중을 과대 또는 과소평가하는 경향이 있다. 그러한 점을 보완하기 위해 제안된 본 논문에서 수치해석 모델을 제시하였고, 이것을 바탕으로 CFT 기둥에서 단기 및 장기 하중에 의해 극한 하중에 도달하는 경우에 대한 해석을 수행하였다. 기둥의 주요 물성은 Table 1과 같이 설정되었다.

CFT의 단면 지름-강관 두께 비율이 70인 경우에 세장비가 10, 40, 70, 100인 경우에 대해 단기 하중과 장기 하중 각각 수치 해석 모델을 통해 계산하면 Fig. 7(a)~(d)와 같은 결과를 나타낸다.

결과에서 볼 수 있듯이 전반적으로 단기 하중의 극한 하중이 장기 하중의 극한 하중보다 더 크다는 것을 알 수 있고, 세장비가 커짐에 따라 단기 및 장기 하중 모두 극한 하중이 점점 더 큰 비율로 감소한다는 것을 그래프의 모습으로 파악할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 Eurocode 4로 CFT 기둥 부재를 해석할 때 생기는 부정확성을 개선하기 위해 비탄성 해석 기법을 고려한 수치 해석 모델을 제안하였다. 그와 더불어 기존의 설계기준 식에서 제대로 고려하지 못하는 크리프에 대한 장기 지속 하중에 대한 부분도 고려하여 모든 시간 구간의 CFT 기둥

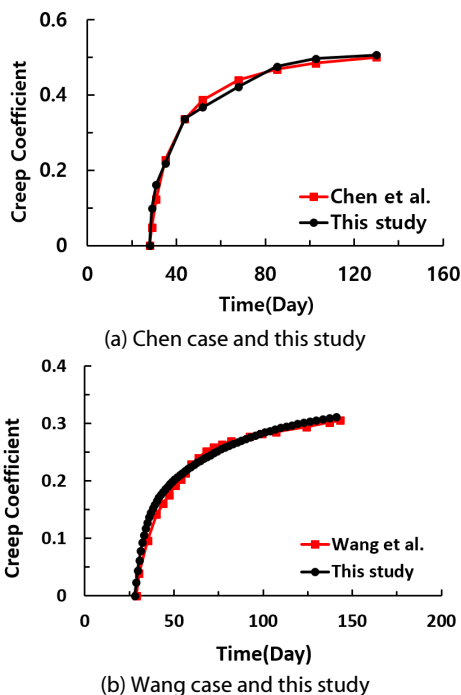


Fig. 6 Comparison of creep coefficient

Table 1 Material properties of column

Concrete compressive strength (kgf/cm^2)	329
Steel tensile strength (kgf/cm^2)	3600
Modulus of Elasticity (Concrete)(kgf/cm^2)	270000
Modulus of Elasticity (Steel)(kgf/cm^2)	2100000
Creep coefficient	1.5

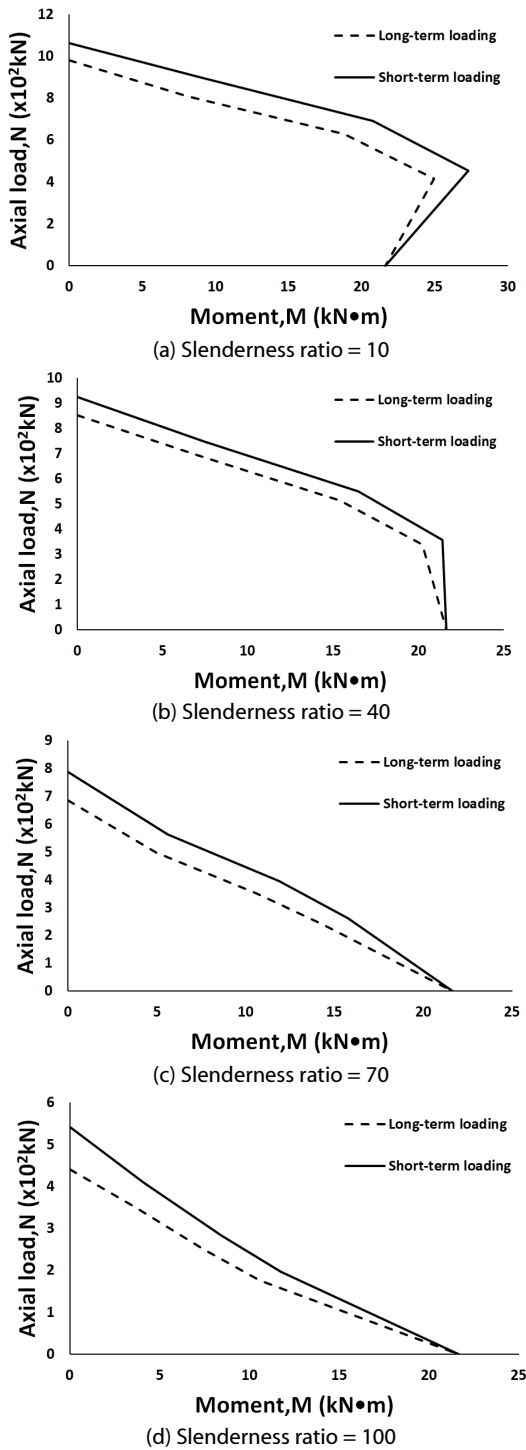


Fig. 7 D/t=70 Column Ultimate Load Capacity

에 대하여 해석할 수 있는 수치 해석 모델을 제안하였다. 제안된 수치 해석 모델을 기존의 실험 결과와 비교해 본 결과 전체적으로 실험 결과와 잘 일치하는 것을 파악할 수 있었다. 또한, Eurocode4와 수치 해석 결과를 비교한 결과 Eurocode4가 세장비와 D/t의 변화에 따라 3~9% 정도 크리프의 영향을 과소평가하고 있음을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 한 가지 단면 지

름-강관 두께 비율 및 극한 크리프 계수에 대하여 수치 해석을 진행하였는데, 더 많은 D/t 경우들과 극한 크리프 계수에 대하여 수치 해석을 수행할 경우 기존의 설계 기준의 개선을 위해 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 성과는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023R1A2C2005101).

References

- Bazant, Z.P., Oh, B.H.** (1984) Deformation of Progressively Cracking Reinforced Concrete Beams, *J. Am. Concr. Inst.*, 81(3), pp.268~278.
- Chen, B., Lai, Z., Lai, X., Varma, A.H., Yu, X.** (2017) Creep-Prediction Models for Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridges, *J. Bridge Eng.*, 22(7), p.04017027.
- Chen, Z., Gao, F., Hu, J., Liang, H., Huang, S.** (2023) Creep and Shrinkage Monitoring and Modelling of CFST Columns in a Super High-Rise Under-Construction Building, *J. Build. Eng.*, 76, p.107282.
- Furlong, R.W.** (1967) Strength of Steel-Encased Concrete Beam Columns, *J. Struct. Div.*, 93(5), pp.113~124.
- Hu, H.-T., Huang, C.-S., Wu, M.-H., Wu, Y.-M.** (2003) Nonlinear Analysis of Axially Loaded Concrete-Filled Tube Columns with Confinement Effect, *J. Struct. Eng.*, 129(10), pp.1322~1329.
- Hwang, J.Y., Kwak, H.G.** (2015) A Numerical Model of Reinforced Concrete Members Exposed to Fire and After-Cooling Analysis, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 28(1), pp.101~113.
- Mander, J.B., Priestley, M.J., Park, R.** (1988) Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *J. Struct. Eng. (United States)*, 114(8), pp.1804~1826.
- Matsui, C., Tsuda, K., Ishibashi, Y.** (1995) Slender Concrete Filled Steel Tubular Columns under Combined Compression and Bending, *Structural Steel, PSSC95, 4th Pacific Structural Steel Conference*, 3, Steel-Concrete Composite Structures, Singapore, pp.29~36.
- Neville, A.M., Dilger, W.H., Brooks, J.J.** (1983) *Creep of Plain and Structural Concrete*, London and New York, Construction Press.
- Vebo, A., Ghali, A.** (1977) Moment-Curvature Relation of Reinforced Concrete Slabs, *J. Struct. Div.*, 103(3), pp.515~531.

Wang, Y., Geng, Y., Ranzi, G., Zhang, S. (2011) Time-Dependent behaviour of Expansive Concrete-Filled Steel Tubular Columns, *J. Construct. Steel Res.*, 67(3), pp.471~483.

Zienkiewicz, O.C., Watson, M., King, I.P. (1968) A Numerical Method of Visco-Elastic Stress Analysis, *Int. J. Mech. Sci.*, 10(10), pp.807~827.

요 지

본 논문에서는 시간 의존적 거동을 고려하기 위한 크리프 거동 해석과 비탄성 해석법을 통해 기존의 설계기준 보다 정확하고 전 시간 단계에서의 CFT 기둥의 해석을 가능하게 하는 수치 해석 모델을 제안하고, 기존의 CFT 기둥에 수행된 실험 결과와 비교하였다. 그 결과 본 논문에서 제안된 수치 해석 모델의 결과가 기존의 설계 기준의 결과보다 정확한 추세를 나타낸다는 것을 파악 할 수 있었다. 검증 이후 세장비에 따른 수치 해석을 수행하여 전반적인 CFT 기둥 부재의 단기 및 장기 지속 하중 거동에 대한 극한 하중의 정도를 확인하였다.

핵심용어 : CFT, 적층 단면, 크리프 변형, 시간 의존적 거동, 비탄성 해석법