



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0037524
(43) 공개일자 2021년04월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/20 (2020.01) G06F 119/18 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
G06F 2119/18 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2020-0103216
(22) 출원일자 2020년08월18일
심사청구일자 2020년08월18일
(30) 우선권주장
1020190119571 2019년09월27일 대한민국(KR)

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
홍원기
경기 용인시 수지구 성북2로 158, 601동 1602호 (성북동, 성동마을엘지빌리지6차)
누 엔 딘 한
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (경희대학교 국제캠퍼스 공과대학 1층 104-1호)
(74) 대리인
기림특허법인

전체 청구항 수 : 총 10 항

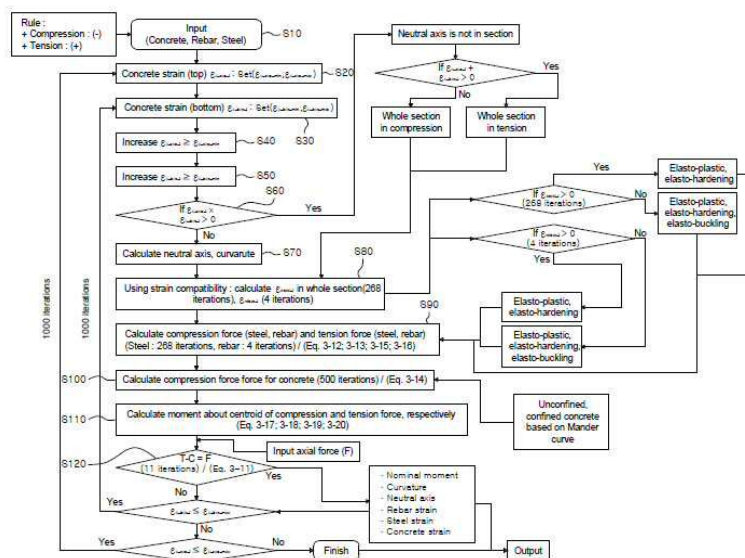
(54) 발명의 명칭 **철골-철근 이종 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법**

(57) 요약

본 발명에 따른 철골-철근 이종 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법은: 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 철골, 철근, 콘크리트 각각에 대한 기초 데이터를 입력부로 입력하는 단계; 상기 입력부에서 입력된 기초 데이터에 기초하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 단면 상부에서의

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



콘크리트 변형률을 제어 연산부에서 산출하는 단계; 상기 단면 상부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계 이후에 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 단면 하부에서의 콘크리트 변형률을 제어 연산부에서 산출하는 단계; 상기 단면 하부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계 이후에 임의 층에서의 단면 상부 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부가 증가시켜가는 단계; 상기 임의 층에서의 단면 상부 변형률을 단계적으로 증가시키는 단계 이후에 임의 층에서의 단면 하부 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부가 증가시켜가는 단계; 상기 임의 층에서의 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0보다 큰지의 여부를 제어 연산부가 판단하는 단계; 상기 제어 연산부의 판단 결과에 기초하여 임의 층에서의 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0 또는 마이너스(-)일 경우, 축 방향 외력을 제어 연산부에서 산출하는 단계; 및, 상기 축 방향 외력 산출 단계 이후에 공칭 모멘트를 제어 연산부가 산출하는 단계;를 포함하되, 상기 공칭 모멘트는 하기 수식에 의해 산출되는 것을 특징으로 한다.

$$M_{\text{nominal}} = M_R/\text{centroid} + M_{\text{steel}}/\text{centroid} - M_{\text{conc}}/\text{centroid}$$

여기서, M_{nominal} 은 공칭 모멘트, $M_R/\text{centroid}$ 는 철근(rebar)의 중심 모멘트, $M_{\text{steel}}/\text{centroid}$ 는 철골의 중심 모멘트, $M_{\text{conc}}/\text{centroid}$ 는 콘크리트의 중심 모멘트임.

이에 의하여, 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 설계시 철골-철근 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 고려하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 축력 모멘트 상관 관계 도출에 의해 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 소성, 비탄성 및 비선형 거동을 편리하게 도출하는 철골-철근 이종 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법을 제공할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20190531
과제번호	20190531
부처명	미래창조과학부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업/중견연구자지원사업
연구과제명	기둥-보 일체형 모듈러 구조기반의 PIPE RACK 프레임 개발 연구(2/5)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2019.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20182270
과제번호	20182270
부처명	한국연구재단(통합)
과제관리(전문)기관명	한국연구재단(학술진흥)
연구사업명	이공분야기초연구사업/기본연구지원사업(SGER)
연구과제명	SRC (철골-철근 콘크리트 복합) multi-story, multi-bay 프리캐스트 프레임 모듈의
개발 및 적용	
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2016.11.01 ~ 2019.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 철골, 철근, 콘크리트 각각에 대한 기초 데이터를 입력부(100)로 입력하는 단계(S10);

상기 입력부(100)에서 입력된 기초 데이터에 기초하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 단면 상부에서의 콘크리트 변형률을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계(S20);

상기 단면 상부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계(S20) 이후에 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 단면 하부에서의 콘크리트 변형률을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계(S30);

상기 단면 하부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계 이후에 임의 층에서의 단면 상부 콘크리트의 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부(200)가 증가시켜가는 단계(S40);

상기 임의 층에서의 단면 상부 콘크리트 변형률을 0으로부터 단계적으로 증가시키는 단계 이후에 임의 층에서의 단면 하부 콘크리트의 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부(200)가 증가시켜가는 단계(S50);

상기 임의 층에서의 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0보다 큰지의 여부를 제어 연산부(200)가 판단하는 단계(S60);

상기 제어 연산부(200)의 판단 결과에 기초하여 임의 층에서의 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0 또는 마이너스(-)일 경우, 축 방향 외력을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계; 및

상기 축 방향 외력 산출 단계 이후에 공칭 모멘트를 제어 연산부(200)가 산출하는 단계(S110);를 포함하되,

상기 공칭 모멘트는 하기 수식에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

$$M_{\text{nominal}} = M_R/\text{centroid} + M_{\text{steel}}/\text{centroid} - M_{\text{conc}}/\text{centroid}$$

여기서, M_{nominal} 은 공칭 모멘트, $M_R/\text{centroid}$ 는 철근(rebar)의 중심 모멘트, $M_{\text{steel}}/\text{centroid}$ 는 철골의 중심 모멘트, $M_{\text{conc}}/\text{centroid}$ 는 콘크리트의 중심 모멘트임.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 철근의 중심 모멘트($M_R/\text{centroid}$)는 하기 수식에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

$$\begin{aligned} M_{R/\text{centroid}} &= A_{r3} \times E_r \times \epsilon_{r3} \times (d_3 - d_c) + A_{r4} \times f_{yR} \times (d_4 - d_c) \\ &\quad - A_{r1} \times f_{yR} \times (d_1 - d_c) - A_{r2} \times f_{yR} \times (d_2 - d_c) \\ &= A_{r3} \times E_r \times \epsilon_{r3} \times \frac{d_3 - c_1}{h + d_s - c_1 - 0.5t_{f2}} \times (d_3 - d_c) \\ &\quad + A_{r4} \times f_{yR} \times (d_4 - d_c) - A_{r1} \times f_{yR} \times (d_1 - d_c) \\ &\quad - A_{r2} \times f_{yR} \times (d_2 - d_c) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서, A_{ri} 는 임의 i 층에서의 철근 면적, f_{yR} 은 철근의 항복 강도, d_i 는 임의 i 층의 철근으로부터 콘크리트 단면의 상단까지의 거리, d_c 는 중심(centroid)에서 콘크리트 단면의 상단까지의 거리, E_r 은 철골, 철근의 영률(Young's modulus), ϵ_{ri} 는 임의 i 층 철근의 변형률임.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 철골의 중심 모멘트($M_{steel/centroid}$)는 하기 수식에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

$$\begin{aligned}
 M_{steel/centroid} = & 0.5 \times A_{s4} \times f_{s4} \times (d_{s4} - d_c) + A_{s5} \\
 & \times f_{s5} \times (d_{s5} - d_c) - A_{s1} \times f_{s1} \\
 & \times (d_{s1} - d_c) - A_{s2} \times f_{s2} \times (d_{s2} - d_c) \\
 & - 0.5 \times A_{s3} \times f_{s3} \times (d_{s3} - d_c) = 0.5 \\
 & \times [(h + d_s - c_1 - t_{f2}) \times t_w] \\
 & \times \left[\left(\epsilon_{ys} \times \frac{h + d_s - c_1 - t_{f2}}{h + d_s - c_1 - 0.5t_{f2}} \right) \times E_s \right] \\
 & \times (d_{s4} - d_c) + b_f \times t_f \times f_{ys} \times (d_{s5} - d_c) \\
 & - [b_f \times t_{f1} \times f_{ys} \times (d_{s1} - d_c) \\
 & + (2c_1 - 2d_s - h - t_{f1} - 0.5t_{f2}) \times t_w \\
 & \times f_{ys} \times (d_{s2} - d_c) + 0.5 \\
 & \times (h + d_s - c_1 - 0.5t_{f2}) \\
 & \times t_w \times f_{ys} \times (d_{s3} - d_c)]
 \end{aligned}$$

(16)

여기서, A_{si} 는 H형강 단면의 임의 i 층 면적, f_{ys} 는 스틸의 항복 강도, d_{s1} 은 H형강의 임의 i 층에서 인가된 힘과 콘크리트 단면의 상단까지의 거리, d_c 는 중심(centroid)에서 콘크리트 단면의 상단까지의 거리임.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 콘크리트의 중심 모멘트($M_{conc/centroid}$)는 하기 수식에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

$$\begin{aligned}
 M_{conc/centroid} = & + a_{-1} \times c_{-1} \times B_{-1} \times f'_{-c} \times (r_{-1} \times c_{-1} - d_c) - a'_{-1} \times c_{-2} \times B_{-2} \times f'_{-c} \times (r'_{-1} \times c_{-2} \\
 & + x_{-1} - d_c) + a_{-2} \times c_{-2} \times B_{-2} \times f'_{-cc} \times (r_{-2} \times c_{-2} + x_{-1} - d_c)
 \end{aligned}$$

여기서, a_i 는 콘크리트 영역 임의 i 의 응력 계수, a'_{-1} 는 콘크리트 영역 내부의 응력 계수, c_i 는 구속되지 않은 등가 구속 콘크리트 면적에 대한 압축 영역의 높이, B_i 는 구속되지 않은 등가 구속 콘크리트 면적의 폭, f'_{-c} 는 비구속 콘크리트의 압축 강도, f'_{-cc} 는 등가 구속 콘크리트의 압축 강도, r_{-1} 은 콘크리트 영역 i 의 중심 계수, r'_{-1} 은 내부 콘크리트 영역의 중심 계수, d_c 는 중심(centroid)에서 콘크리트 단면까지의 거리, x_{-1} 은 콘크리트 등가 구속 영역의 가장자리에서 콘크리트 단면 상단까지의 거리임.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 축 방향 외력 산출 단계는 중립축과 곡률을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계(S70)를 포함하는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 축 방향 외력 산출 단계는 제어 연산부(200)에서 변형도 적합법을 이용하여 단면적 상 임의 층에서의 철골 변형률과 철근 변형률을 산출하는 단계(S80)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 철골 변형률의 산출은 제어 연산부(200)에 의한 최적의 반복 연산에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 철근 변형률의 산출은 제어 연산부(200)에 의한 최적의 반복 연산에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이종 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 축 방향 외력 산출 단계는 철골과 철근에 대한 압축력과 인장력을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계(S90)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이종 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 축 방향 외력 산출 단계는 콘크리트에 대한 압축력을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계(S100)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 철골-철근 이종 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 설계시 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 축력 모멘트 상관 관계 도출에 의해 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 소성, 비탄성 및 비선형 거동을 도출하는 철골-철근 이종 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 철골 콘크리트 기둥의 양중, 축 하중, 횡 하중 등의 적용시 구조 프레임의 거동은 콘크리트의 소성 거동, 철골 및 철근의 비탄성 거동의 영향력 하에 놓이게 된다. 구조 설계시 이와 같은 콘크리트의 소성 거동, 철골 및 철근의 비탄성 거동의 영향력을 반영하기 위해서는 기둥 축력의 정도, 철근 및 콘크리트의 변형률, 연성도 등의 파라미터가 고려된 비선형 유한요소해석의 수행이 요구된다.
- [0003] 또한, 이러한 복합 프레임은 콘크리트, 철골 및 철근의 융합 정도에 따라 매우 복잡하게 반응하게 된다. 따라서, 상기와 같은 비선형 유한요소해석을 대체할 수 있는 보다 단순화된 방법의 개발이 요구되어 왔다.
- [0004] 종래기술에 따른 콘크리트 기둥의 성능 예측 방법의 일 예가 대한민국 특허등록번호 제10-0994640호(2010년11월 09일자 등록, 이하 '특허문헌 1'이라 함) 등에 개시되어 있다.
- [0005] 그러나, 종래기술에 따른 콘크리트 기둥의 성능 예측 방법으로는 콘크리트 기둥의 성능 예측이 후프 철근에 의해서 제공되는 콘크리트 구속력 기반으로 이루어지므로 콘크리트 기둥 성능의 예측이 부정확하고 예측에 한계가 있을 수 있다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-0994640호(2010년11월09일자 등록)
- (특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-1257765호(2013년04월18일자 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은, 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 설계시 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 고려하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 축력 모멘트 상관 관계를 도출함과 동시에, 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 소성, 비탄성 및 비선형 거동을 도출하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과 가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법은: 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 철골, 철근, 콘크리트 각각에 대한 기초 데이터를 입력부로 입력하는 단계; 상기 입력부에서 입력된 기초 데이터에 기초하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 단면 상부에서의 콘크리트 변형률을 제어 연산 부에서 산출하는 단계; 상기 단면 상부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계 이후에 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 단면 하부에서의 콘크리트 변형률을 제어 연산부에서 산출하는 단계; 상기 단면 하부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계 이후에 단면 상부 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부가 증가시켜가는 단계; 상기 단면 상부 콘크리트 변형률을 0으로부터 단계적으로 증가시키는 단계 이후에 단면 하부 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부가 증가시켜가는 단계; 임의 층에서의 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0보다 큰지의 여부를 제어 연산부가 판단하는 단계; 상기 제어 연산부의 판단 결과에 기초하여 임의 계산 단계에서의 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0 또는 마이너스(-)일 경우, 축 방향 외력을 제어 연산부에서 산출하는 단계; 및, 상기 축 방향 외력 산출 단계 이후에 공칭 모멘트를 제어 연산부가 산출하는 단계;를 포함하되, 상기 공칭 모멘트는 하기 수식에 의해 산출되는 것을 특징으로 한다.

[0009] $M_{nominal} = M_R / \text{centroid} + M_{steel} / \text{centroid} - M_{conc} / \text{centroid}$

[0010] 여기서, $M_{nominal}$ 은 공칭 모멘트, $M_R / \text{centroid}$ 는 철근(rebar)의 중심 모멘트, $M_{steel} / \text{centroid}$ 는 철골의 중심 모멘트, $M_{conc} / \text{centroid}$ 는 콘크리트의 중심 모멘트임.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 따르면, 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 설계시 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 고려하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 축력 모멘트 상관 관계를 도출함과 동시에, 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 소성, 비탄성 및 비선형 거동을 편리하게 도출하는 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명에 따른 방법으로 공칭 굴곡 모멘트 용량을 산출하기 위한 알고리즘,
 도 2는 본 발명에 따른 방법을 수행하기 위한 제어 블록도,
 도 3은 본 발명에 따른 변형률 적합성에 기반한 반복계산 기법 알고리즘을 도시한 도면,
 도 4는 (a) 후프 철근 및 스틸 섹션으로 구속된 콘크리트, (b) 기둥의 최대 측방 하중 상태에서의 변형, 응력, 이에 대응되는 힘 성분을 도시한 도면,
 도 5 내지 8은 본 발명에 따른 방법과 종래 방법과의 모멘트-곡률 관계도를 비교한 예시 그래프,
 도 9는 본 발명에 따른 방법으로 얻어진 3차원 P-M 다이어그램이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 대해 상세히 설명한다.

[0014] 본 발명에 따른 철골-철근 이중 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법은, 도 1에 도시된 바와 같이, 기초 데이터 입력 단계(S10)와, 단면 상부 콘크리트 변형률 산출 단계(S20)와, 단면 하부 콘크리트 변형률 산출 단계(S30)와, 단면 상부 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 연산하는 단계(S40)와, 단면 하부 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 연산하는 단계(S50)와, 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0보다 큰지의 여부를 판단하는 단계(S60)와,

단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0 또는 마이너스일 경우 축 방향 외력을 산출하는 단계와, 공칭 모멘트 산출 단계(S110)를 포함한다.

- [0015] 상기 기초 데이터 입력 단계(S10)에서는, 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 철골, 철근, 콘크리트 각각에 대한 기초 데이터가 입력부(100)로 입력된다.
- [0016] 상기 단면 상부 콘크리트 변형률 산출 단계(S20)에서는 상기 단계 10에서 입력부(100)에 입력된 기초 데이터에 기초하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 단면 상부(top)에서의 콘크리트 변형률을 제어 연산부(200)에서 산출한다.
- [0017] 상기 단면 하부 콘크리트 변형률 산출 단계(S30)에서는 상기 단면 상부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계(S20) 이후에 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 단면 하부(bottom)에서의 콘크리트 변형률을 제어 연산부(200)에서 산출한다.
- [0018] 상기 단면 상부 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 연산하는 단계(S40)에서는, 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 단면 하부에서의 콘크리트 변형률 산출 단계(S30) 이후에 단면 상부 콘크리트의 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부(200)가 증가시켜나가며 연산한다.
- [0019] 상기 단면 하부 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 연산하는 단계(S50)에서는, 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 단면 상부에서의 콘크리트 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 연산하는 단계(S40) 이후에 단면 하부 콘크리트의 변형률이 0으로부터 단계적으로 증가 되도록 제어 연산부(200)가 증가시켜나가며 연산한다.
- [0020] 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0보다 큰지의 여부를 판단하는 단계(S60)에서는 상기 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0보다 큰지의 여부를 제어 연산부(200)가 판단한다.
- [0021] 상기 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0 또는 마이너스일 경우 축 방향 외력을 산출하는 단계에서는 상기 단계 60에서의 제어 연산부(200)의 판단 결과에 기초하여 임의의 층에서의 단면 상부 변형률에 단면 하부 변형률을 곱한 값이 0 또는 마이너스(-)일 경우, 축 방향 외력을 제어 연산부(200)가 산출한다.
- [0022] 상기 축 방향 외력 산출 단계는 제어 연산부(200)가 중립축(neutral axis)과 곡률(curvature)을 산출하는 단계(S70)를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0023] 이에 따라, 본 발명에 따른 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법에 의해 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 고려하여, 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 중립축과 곡률을 용이하게 산출해내어 거동 예측이 정확히 이뤄지도록 할 수 있다.
- [0024] 또한, 상기 축 방향 외력 산출 단계는 제어 연산부(200)에서 변형도 적합법(strain compatibility)을 이용하여 단면적 상 임의 층에서의 철골 변형률(ϵ_{steel_i})과 철근 변형률(ϵ_{rebar_i})을 산출하는 단계(S80)를 더 포함하는 것이 바람직하다(도 3 참고).
- [0025] 이에 따라, 제어 연산부(200)가 기존의 유한요소해석법보다 더욱 손쉽고 간편한 방법으로 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 고려하여, 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 소성, 비탄성 및 비선형 거동을 예측하도록 할 수 있다.
- [0026] 상기 철골-철근 콘크리트 복합 단면 변형률의 산출은 제어 연산부(200)에 의해 철골의 최적화(예컨대, 268회)된 횟수의 반복 연산에 의해 이루어지는 것이 바람직하다.
- [0027] 이에 따라, 제어 연산부(200)가 가장 최적화된 횟수로 반복 연산하여 철골-철근 콘크리트 복합 단면 변형률의 산출이 가장 효율적으로 수행되도록 할 수 있다.
- [0028] 상기 철골-철근 콘크리트 복합 단면 변형률의 산출은 제어 연산부(200)에 의해 철근의 최적화(예컨대, 4회)된 횟수의 반복 연산에 의해 이루어지는 것이 바람직하다.
- [0029] 이에 따라, 제어 연산부(200)가 가장 최적화된 횟수로 반복 연산하여 철골-철근 콘크리트 복합 단면 변형률의 산출이 가장 효율적으로 수행되도록 할 수 있다.
- [0030] 한편, 상기 축 방향 외력 산출 단계는 콘크리트, 철골과 철근에 대한 압축력과 인장력을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계(S90)를 더 포함하는 것이 바람직하다.

- [0031] 이에 따라, 본 발명에 따른 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법에 의해 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 철골과 콘크리트, 철근에 대한 압축력과 인장력을 용이하게 산출해내어 거동 예측의 신뢰도가 더욱 향상되도록 할 수 있다.
- [0032] 또한, 상기 축 방향 외력 산출 단계는 콘크리트에 대한 압축력을 제어 연산부(200)에서 산출하는 단계(S100)를 더 포함하는 것이 바람직하다.
- [0033] 이에 따라, 본 발명에 따른 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법에 의해 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 콘크리트에 대한 압축력을 용이하게 산출해내어 거동 예측의 신뢰도가 더욱 향상되도록 할 수 있다.
- [0034] 상기 공칭 모멘트 산출 단계(S110)에서는 상기 축 방향 외력 산출 단계 이후에 공칭 모멘트를 제어 연산부(200)가 산출한다.
- [0035] 여기서, 상기 단계 110은 압축력과 인장력 각각의 중심 모멘트를 제어 연산부(200)가 산출하는 단계를 포함한다.
- [0036] 한편, 본 발명에 따른 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법은 상기 단계 110에서 산출된 인장력의 중심 모멘트(T)에서 압축력의 중심 모멘트(C)를 뺀 값이 상기 축 방향 외력 산출 단계에서 산출된 축 방향 외력(F)와 같은 지의 여부를 판단하는 단계(120)를 더 포함한다.
- [0037] 단계 120에서의 판단 결과에 기초해 $T - C = F$ 이면, 디스플레이와 같은 출력부(300)로 공칭 모멘트(nominal moment), 곡률(curvature), 중립축(neutral axis), 철근 변형률(rebar strain), 철골 변형률(steel strain), 콘크리트 변형률(concrete strain)을 출력하고, $T - C \neq F$ 이면, 임의 변형률에서의 콘크리트 단면 하부의 변형률이 콘크리트 단면 하부 변형률 최대값 이하인지의 여부를 판단한다.
- [0038] 임의 층(i)에서의 콘크리트 단면 하부의 변형률이 콘크리트 단면 하부 변형률의 최대값 이하이면 제어 단계는 상기 단계 30으로 점프하고, 이하가 아니면 임의 층에서의 콘크리트 단면 상부의 변형률이 콘크리트 단면 상부 변형률 최대값 이하인지의 여부를 판단한다.
- [0039] 여기서, 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 임의 층에서의 콘크리트 단면 상부의 변형률이 콘크리트 단면 상부 변형률의 최대값 이하이면 제어 단계는 상기 단계 20으로 점프하고, 이하가 아니면 제어 단계는 종료되어 출력부(300)로 공칭 모멘트, 곡률, 중립축, 철근 변형률, 철골 변형률, 콘크리트 변형률을 출력한다.
- [0040] 한편, 철골 콘크리트 복합부재의 양중, 축 하중, 횡 하중 등의 적용 시 구조 프레임의 거동은 콘크리트의 소성 거동, 철골 및 철근의 비 탄성 거동의 영향력 하에 놓이게 된다. 이와 같은 비 탄성 거동을 적절하게 구조 설계 및 해석에 반영하기 위해, 본 실시예의 축력 모멘트 상관 관계 도출 방법(이하, 방법)에서는 철근에 의한 콘크리트의 구속 효과뿐만 아니라 철골 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 적용하였고, 실험 결과를 통해 이를 검증하였다.
- [0041] 본 실시예에 따른 방법에서 축 방향 외력(F_{axial})은 하기의 수식과 같이 단순화될 수 있다.

수학적 1

[0042]
$$F_{axial} = F_{R/tension} + F_{steel/tension} - C_c - F_{R/compression} - F_{steel/compression}$$

- [0043] 여기서, $F_{R/tension}$ 은 철근(rebar)의 장력이고, $F_{steel/tension}$ 은 철골(steel)의 장력이며, $F_{R/compression}$ 은 철근의 압축력이고, $F_{steel/compression}$ 은 철골의 압축력임.
- [0044] 한편, 철근의 장력($F_{R/tension}$)은 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 2

$$F_{R/tension} = A_{r3} * E_r * \epsilon_{r3} + A_{r4} * f_{yR}$$

여기서, A_{ri} 는 i 층에서의 철근 면적(mm^2)이고, i 는 1 내지 4 또는 철근 층수의 정수일 수 있으며, E_r 은 철골, 철근의 영률(Young's modulus, MPa)이고, ϵ_{ri} 는 i 층 철근의 응력이며, f_{yR} 는 철근의 항복 강도(MPa)임.

한편, 철골의 장력($F_{\text{steel}/tension}$)은 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 3

$$F_{\text{steel}/tension} = 0.5 * A_{s4} * f_{s4} + A_{s5} * f_{ys}$$

여기서, A_{si} 는 H형강 단면의 i 파트에서의 면적(mm^2)이고, f_{ys} 는 스틸의 항복 강도(MPa)임.

한편, C_c 는 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 4

$$C_c = a_1 * c_1 * B_1 * f'_c - a'_1 * c_2 * B_2 * f'_c + a_2 * c_2 * B_2 * f'_{cc}$$

여기서, a_i 는 콘크리트 영역 i 의 응력 계수이고, i 는 1(구속되지 않은 콘크리트의 깊이) 내지 2(구속되어 있는 콘크리트의 깊이)의 정수일 수 있으며, c_i 는 구속되지 않은 등가 구속 콘크리트 압축 영역의 높이(mm)이고, B_i 는 구속되지 않은 등가 구속 콘크리트 면적의 폭(mm)이며, f'_c 는 구속되지 않은 콘크리트의 압축 강도(MPa)이고, a'_1 은 콘크리트 영역 내부의 응력 계수이며, f'_{cc} 는 등가 구속 콘크리트의 압축 강도(MPa)임.

한편, 철근의 압축력($F_{R/compression}$)은 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 5

$$F_{R/compression} = (A_{r1} + A_{r2}) * f_{yR}$$

여기서, A_{ri} 는 i 층에서의 철근 면적(mm^2)이고, i 는 1 내지 4의 정수일 수 있으며, f_{yR} 는 철근의 항복 강도(MPa)임.

한편, 철골의 압축력($F_{\text{steel}/compression}$)은 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 6

$$F_{\text{steel}/compression} = (A_{s1} + A_{s2}) * f_{ys} + 0.5 * A_{s3} * f_{ys}$$

여기서, A_{si} 는 H형강 단면의 i 파트에서의 면적(mm^2)이고, f_{ys} 는 스틸의 항복 강도(MPa)임.

또한, 본 실시예에 따른 방법에서 공칭 모멘트(M_{nominal})는 하기의 수식과 같이 단순화될 수 있다. 여기서, 공칭 모멘트는 철골 콘크리트 기둥의 강성이나 구조 성능을 대별한다.

수학식 7

$$M_{nominal} = M_{R/centroid} + M_{steel/centroid} - M_{conc/centroid}$$

여기서, $M_{R/centroid}$ 는 철근(rebar)의 중심 모멘트이고, $M_{steel/centroid}$ 는 철골(steel)의 중심 모멘트이며, $M_{conc/centroid}$ 는 콘크리트의 중심 모멘트임.

즉, 본 실시예에 따른 방법에서 공칭 모멘트($M_{nominal}$)는 철근의 중심 모멘트($M_{R/centroid}$) 및 철골의 중심 모멘트($M_{steel/centroid}$)의 합에서 콘크리트의 중심 모멘트($M_{conc/centroid}$)를 뺀 값으로 단순화될 수 있다.

이에 따라, 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 설계시 철골-철근(후프 철근) 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 고려하여 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 축력 모멘트 상관 관계 도출에 의해 철골-철근 두 가지 종류의 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과가 고려된 철골-철근 콘크리트 복합기둥(10)의 소성, 비탄성 및 비선형 거동을 비교적 짧은 시간 안에 손쉽게 용이하게 도출하는 철골-철근 콘크리트 복합기둥의 거동 예측 방법을 제공할 수 있다.

한편, 철근의 중심 모멘트($M_{R/centroid}$)는 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 8

$$\begin{aligned} M_{R/centroid} &= A_{r3} \times E_r \times \epsilon_{r3} \times (d_3 - d_c) + A_{r4} \times f_{yR} \times (d_4 - d_c) \\ &\quad - A_{r1} \times f_{yR} \times (d_1 - d_c) - A_{r2} \times f_{yR} \times (d_2 - d_c) \\ &= A_{r3} \times E_r \times \epsilon_{r3} \times \frac{d_3 - c_1}{h + d_s - c_1 - 0.5t_{f2}} \times (d_3 - d_c) \\ &\quad + A_{r4} \times f_{yR} \times (d_4 - d_c) - A_{r1} \times f_{yR} \times (d_1 - d_c) \\ &\quad - A_{r2} \times f_{yR} \times (d_2 - d_c) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서, A_{ri} 는 임의의 i 층에서의 철근 면적(mm^2)이고, i 는 1 내지 4의 정수일 수 있으며, f_{yR} 은 철근의 항복 강도(MPa)이고, d_i 는 임의의 i 층의 철근으로부터 콘크리트 단면의 상단까지의 거리(mm)이며, d_c 는 중심(centroid)에서 콘크리트 단면의 상단까지의 거리(mm)이고, E_r 은 철골, 철근의 영률(Young's modulus)이며, ϵ_{ri} 는 임의의 i 층 철근의 변형률임.

한편, 철골의 중심 모멘트($M_{steel/centroid}$)는 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} M_{steel/centroid} &= 0.5 \times A_{s4} \times f_{s4} \times (d_{s4} - d_c) + A_{s5} \\ &\quad \times f_{y5} \times (d_{s5} - d_c) - A_{s1} \times f_{y5} \\ &\quad \times (d_{s1} - d_c) - A_{s2} \times f_{y5} \times (d_{s2} - d_c) \\ &\quad - 0.5 \times A_{s3} \times f_{y5} \times (d_{s3} - d_c) = 0.5 \\ &\quad \times [(h + d_s - c_1 - t_{f2}) \times t_w] \\ &\quad \times \left[\left(\epsilon_{y5} \times \frac{h + d_s - c_1 - t_{f2}}{h + d_s - c_1 - 0.5t_{f2}} \right) \times E_s \right] \\ &\quad \times (d_{s4} - d_c) + b_f \times t_f \times f_{y5} \times (d_{s5} - d_c) \\ &\quad - [b_f \times t_{f1} \times f_{y5} \times (d_{s1} - d_c) \\ &\quad + (2c_1 - 2d_s - h - t_{f1} - 0.5t_{f2}) \times t_w \\ &\quad \times f_{y5} \times (d_{s2} - d_c) + 0.5 \\ &\quad \times (h + d_s - c_1 - 0.5t_{f2}) \\ &\quad \times t_w \times f_{y5} \times (d_{s3} - d_c)] \end{aligned} \quad (16)$$

여기서, A_{si} 는 H형강 단면의 임의의 i 층에서의 면적(mm^2)이고, f_{ys} 는 스틸의 항복 강도(MPa)이며, d_{s1} 은 H형강의 임의의 i 층에서 주어진 힘과 콘크리트 단면의 상단까지의 거리(mm)이며, d_c 는 중심(centroid)에서 콘크리트

단면의 상단까지의 거리(mm)임.

[0070] 한편, 콘크리트의 중심 모멘트($M_{conc}/centroid$)는 하기의 수식에 의해 도출될 수 있다.

수학식 10

$$M_{conc}/centroid = a_1 * c_1 * B_1 * f'_c * (r'_1 * c_1 - d_c) - a'_1 * c_2 * B_2 * f'_c * (r'_1 * c_2 + x_1 - d_c) + a_2 * c_2 * B_2 * f'_{cc} * (r'_2 * c_2 + x_1 - d_c)$$

[0072] 여기서, a_i 는 콘크리트 영역 임의 i 의 응력 계수이고, i 는 1 내지 2의 정수일 수 있으며, a'_1 는 콘크리트 영역 내부의 응력 계수이고, c_i 는 구속되지 않은 등가 구속 콘크리트 면적에 대한 압축 영역의 높이(mm)이며, B_i 는 구속되지 않은 등가 구속 콘크리트 면적의 폭(mm)이고, f'_c 는 구속되지 않은 콘크리트의 압축 강도(MPa)이며, f'_{cc} 는 등가 구속 콘크리트의 압축 강도(MPa)이고, r_1 은 콘크리트 영역 i 의 중심 계수이며, r'_1 은 내부 콘크리트 영역의 중심 계수이고, d_c 는 중심(centroid)에서 콘크리트 단면까지의 거리(mm)이며, x_1 은 콘크리트 등가 구속 영역의 가장자리에서 콘크리트 단면 상단까지의 거리(mm)임.

[0073] 도 1은 상기와 같은 방식으로 공칭 굴곡 모멘트 용량을 산출하기 위한 알고리즘을 나타낸다. 본 실시예에 따른 방법은 보다 단순화된 방식으로 후프(hoop) 철근과 철골 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 산출할 수 있다.

[0074] 도 4의 (a)는 후프 철근 및 스틸 섹션으로 구속된 콘크리트, 도 4의 (b)는 기둥의 최대 측방 하중 상태에서의 변형, 응력, 이에 대응되는 힘 성분을 도시한 도면이고, 도 5 내지 8은 본 발명에 따른 방법과 종래 방법과의 모멘트-곡률 관계도를 비교한 예시이다.

[0075] 도 5의 실선 A는 분석 대상 컬럼(S-08-L)에 대해 고도로 구속(highly confined), 후프 간격 100 mm, 60%의 축 하중의 조건에서 Tawil이 구한 결과를 비교한 그래프이며 정확하게 일치하는 것을 알 수 있다. 점선 B는 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다. 또한, 실선 C는 약한 구속(lightly confined), 후프 간격 320 mm, 60% 축 하중의 조건에서 종래 방법에 의한 결과를 나타내며, 점선 D는 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다. 본 발명에 따른 방법은 유한요소해석 대비 현저히 단순화된 방식으로 산출되었음에도 불구하고, 종래 방법과 비교하여 상당히 높은 정합도를 보인다.

[0076] 도 6은 다른 분석 컬럼(S-08-M)에 대한 결과이다. 실선 A는 고도로 구속(highly confined), 후프 간격 100 mm, 60%의 축 하중의 조건에서 종래 방법에 의한 결과이며, 점선 B는 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다.

[0077] 또한, 실선 C는 약한 구속(lightly confined), 후프 간격 320 mm, 60% 축 하중의 조건에서 Tawil에 의한 종래 방법에 의한 결과를 나타내며, 점선 D는 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다. 도 6에서도 본 발명에 따른 방법은 비교적 높은 정합도를 보인다.

[0078] 도 7은 또 다른 분석 컬럼(S-08-H)에 대한 결과이다. 실선 A는 고도로 구속(highly confined), 후프 간격 75 mm, 30% 축 하중의 조건에서 Tawil에 의한 종래 방법에 의한 결과를 나타내며, 점선 B는 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다. 또한, 실선 C는 약한 구속(lightly confined), 후프 간격 320 mm, 30% 축 하중의 조건에서 Tawil에 의한 종래 방법에 의한 결과를 나타내며, 점선 D는 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다.

[0079] 도 8은 철근 버클링(buckling)이 있는 철골 섹션의 구속 효과 영향을 시험한 결과이다. 실선 A는 후프 간격 75 mm, 0%의 축 하중 조건에서 종래 방법(유한요소해석)에 의한 결과를 나타낸다. 실선 B는 $K_e = 1.23$ (철골에 의한 콘크리트 코어의 구속 효과를 고려), 0%의 축 하중, 점선 C는 $K_h = K_p = 1$ (철골에 의한 콘크리트 코어의 구속 효과 미고려), 0%의 축 하중 조건에서 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다. 또한, 실선 D는 $K_e = 1.23$ (철골에 의한 콘크리트 코어의 구속 효과를 고려), 30%의 축 하중, 점선 E는 $K_h = K_p = 1$ (철골에 의한 콘크리트 코어의 구속 효과를 미고려), 30%의 축 하중 조건에서 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타내며, 실선 F는 $K_e = 1.23$ (철골에 의한 콘크리트 코어의 구속 효과를 고려), 60%의 축 하중, 점선 G는 $K_h = K_p = 1$ (철골에 의한 콘크리트 코어의 구속 효과를 미고려), 60%의 축 하중 조건에서 본 발명에 따른 방법에 의한 결과를 나타낸다.

[0080] 본 결과에서 알 수 있듯이 철골에 의한 콘크리트 코어의 구속 효과를 고려할 때가 그렇지 않은 경우에 비해 모멘트 강성이 상당히 증가 됨을 확인할 수 있다.

[0081] 도 9는 본 발명에 따른 방법으로 얻어진 3차원 P-M 다이어그램을 도시한다. K_e 는 1.70(철골에 의한 콘크리트

코어의 구속 효과를 고려), 후프 간격 75 mm 인 S-08-L을 대상으로 한 결과이다.

이상과 같이 본 발명의 실시예들은 철골 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 고려한 철골 콘크리트 기둥의 축력 모멘트 상관 관계 도출 방법을 제공할 수 있다. 특히, 본 발명의 실시예들에 따른 방법은 종래의 유한요소해석 대비 현저히 단순화된 방식으로 철골 부재에 의한 콘크리트의 구속 효과를 산출할 수 있다.

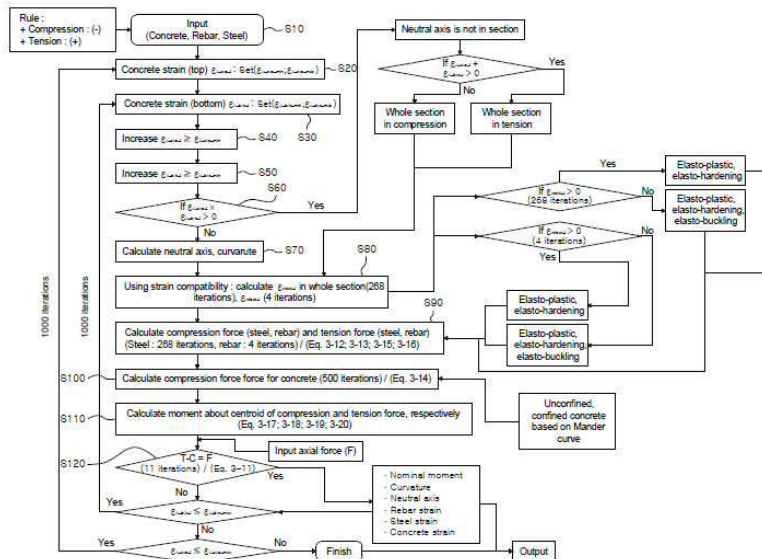
상기에 의해 설명되고 첨부된 도면에서 그 기술적인 면이 기술되었으나, 본 발명의 기술적인 사상은 그 설명을 위한 것이고, 그 제한을 두는 것은 아니며 본 발명의 기술분야에서 통상의 기술적인 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적인 사상을 이하 후술 될 특허청구범위에 기재된 기술영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

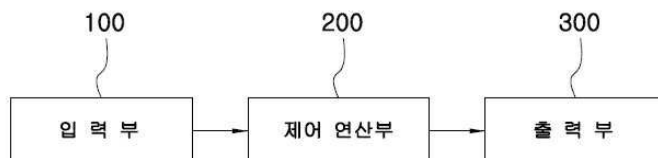
100 : 입력부 200 : 제어부
300 : 출력부

도면

도면1

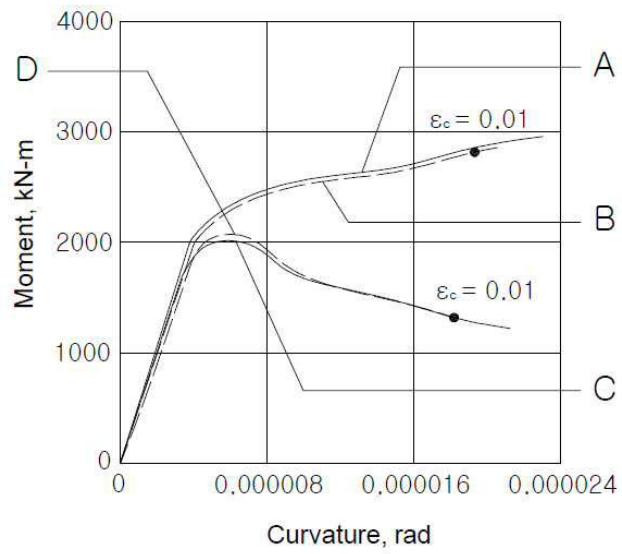


도면2



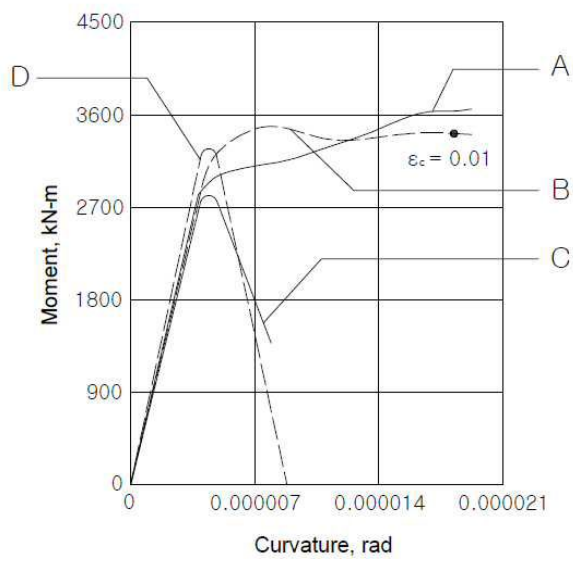
도면5

Moment-curvature relationship



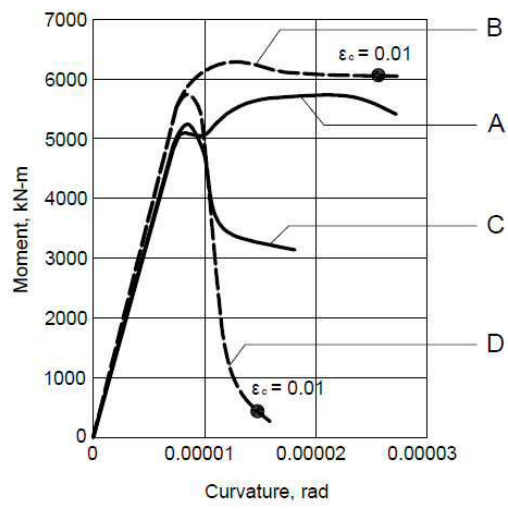
도면6

Moment-curvature relationship



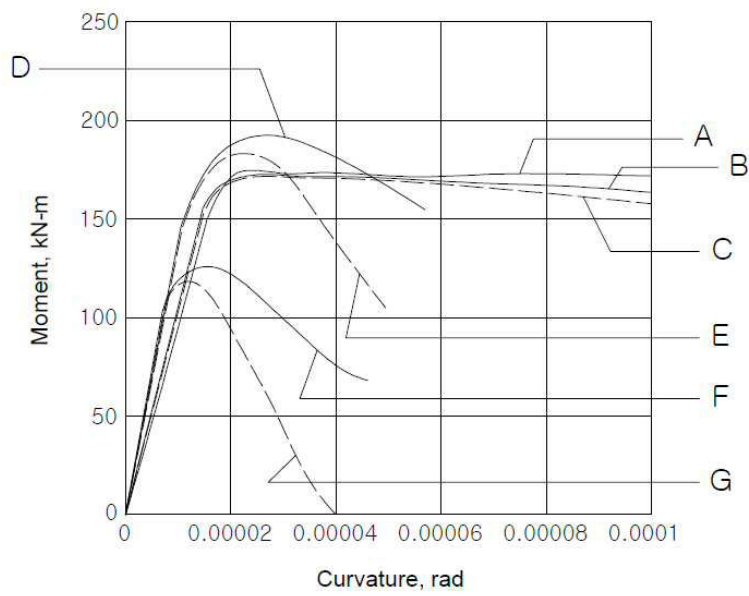
도면7

Moment-curvature relationship



도면8

Moment-curvature relationship



도면9

