

직접변위기반 설계법에 의한 SRC 합성기둥의 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of SRC Composite Column using Direct Displacement Based Design Method

정 인 규*
Jung, In-Kju

박 순 응**
Park, Soon-Eung

김 동 혁***
Kim, Dong-Hyuk

요 약

본 연구에서는 변위기반 성능설계 개념에 의해 기존 철근콘크리트 기둥과 콘크리트에 강재를 매입한 SRC 합성기둥에 대하여 최대 설계지진 가속도에 대한 내진성능개선의 성능설계를 비교하였다. SRC 합성기둥은 구조물의 강도를 증가시킬 뿐 아니라 연성도를 증가시키는 효과가 있다. SRC 합성기둥의 단면은 H형 강재와 원형의 중공 강관을 매입한 형태로 구성되어 있다. SRC 합성기둥에 대한 P-M상관도와 단면 공칭휨모멘트를 분석하고 이를 바탕으로 SRC 합성기둥에 대한 설계 변위 추정을 위해 변위기반 내진설계 알고리즘을 제시하였다. 성능기반설계에 의한 성능개선설계를 위하여 목표성능변위 및 설계지진가속도 조건에 대해 직접변위기반 설계방법 및 변위계수법에 의한 내진성능개선 설계 방법을 제시하였다. SRC 합성기둥은 기존 RC 기둥과 비교하여 성능개선설계 결과 변위 연성비 및 변위성능에서 크게 개선된 성능설계 결과를 나타내었다.

Abstract

In this study, the displacement-based design concept, the performance by the existing reinforced concrete column and steel reinforced concrete composite column for SRC purchased the maximum design ground acceleration improvement compared to the performance design. SRC have several advantages such as strength enhancement and high ductility. H-beam or steel tubes were used for embedded elements of the SRC composite columns. SRC cross-section for the P-M diagram and analysis on the nominal bending moment SRC designed for composite columns for disparity estimation is presented to the displacement-based seismic design. Performance improvement of the performance-based design performance targets for the design seismic displacement and design criteria for the direct displacement-based design methods and to improve the seismic performance due to the displacement coefficient method is proposed to design. SRC compared with the RC column designed to improve the performance and displacement ductility ratio displacement results in the performance design results showed significantly improved performance.

키워드 : SRC 합성기둥, 변위기반설계, 내진성능, 변위연성도

Keywords : SRC composite column, Displacement based design, Seismic performance, Displacement ductility

1. 서 론

최근 세계 각국에서 발생하는 지진에 의한 피해가 증가하므로 건설 구조물의 설계기법이 한계상태 설계법(Limit State Design)에서 성능기반 내진설계

(Performance Based Seismic Design)와 구조적 성능개선에 관심이 집중되고 있다. 이러한 내진설계기준의 변화는 사회기반 시설물에 대한 유지 및 관리에 대한 중요성을 인식하고 향후 발생 가능한 지진에 대하여 구조물의 내진성능 확보를 통한 성능향상이 매우 중요하다는 것을 보여주고 있다. 기존의 RC 및 강골조 구조부재에 대한 내진성능 설계에 관한 연구는 1990년대 중반 이후 현재까지 꾸준히 연구되어 많은 발전을 가져왔다.

* 정회원, 안동과학대학 건설정보과 교수, 공학박사

** 정회원, 경북대학교 방재연구소 책임연구원, 공학박사
Tel: 053-950-6445 Fax:053-950-6428, 교신저자
E-mail : plastic2@ync.ac.kr

*** 정회원, 경북대학교 토목공학과, 공학석사

최근 콘크리트에 강재를 매입한 형태의 SRC (Steel Reinforced Concrete) 합성기둥은 건축구조에 많이 채용되어 왔고 도심을 통과하는 도시철도와 경량전철의 교각 등에 필요성이 급속히 증가되고 있는 추세이다. SRC 합성기둥은 매입강재와 콘크리트 두 재료의 취약점을 상호 보완하는 효과를 갖음으로써 기둥의 축력 및 휨에 대한 높은 강성과 강도를 확보할 수 있으며, 기존 연구에서 SRC 합성기둥의 압축, 휨, 전단실험을 통하여 SRC 합성기둥의 우수한 구조적인 거동을 확인하였다.¹⁾²⁾ 또한, SRC 합성기둥의 거동에 관한 실험과 해석에 의해 RC 기둥보다 휨강도와 연성도 측면에서 우수한 성능을 나타내며, 요구되는 성능기준에 중요한 연성 확보가 용이한 것으로 조사되었다.³⁾⁴⁾ 따라서, SRC 합성기둥에 대한 내진 성능 개선을 고려할 경우 개선된 설계 기법의 적용이 필요하다.

하중기반 설계법(Force-based Design Method, FDM)에 기초한 구조물 설계의 경우 지지력만으로 지진수준에 따른 구조물의 전체적인 성능 혹은 손상을 평가하는 것은 상대적으로 큰 불확실성을 포함하고 있다. 하중기반 설계법의 문제점을 보완하여 구조물의 비선형거동에 대한 고려와 목표성능 구현이라는 두 가지 목적을 동시에 달성할 수 있도록 설계하는 방법으로 변위를 구조물의 성능평가 대상으로 사용한 직접변위기반 설계법이 보다 합리적인 설계방법이라 할 수 있다. 현재 일부 국가에서는 설계기준에 변위기반 설계법을 개념적으로 요구하고 있으나, 실용적인 절차나 방법이 구체적으로 개발되어 있지 못한 상황이다. 특히 국내의 경우 아직 기초적인 연구단계에 머물러 있는 수준이다.

직접변위기반 설계법(Direct displacement-based design method, DDM)⁵⁾은 Kowalsky⁶⁾ 등(1995)에 의해 제안된 방법으로서 단자유도시스템에 대한 손상을 변형률에 기초한 변위한계로 나타냄으로써 지진하중에 대해 의도된 한계상태를 얻을 수 있도록 철근콘크리트 구조물에 대한 내진성능설계 방법이다. 이 방법은 기존의 능력스펙트럼법이 가속도-변위 스펙트럼을 이용하는 반면, 변위 응답스펙트럼을 이용하고, 초기에 가정된 목표변위가 설계시에 직접적으로 고려되며, 반복수행시 각 감쇠비에 따른 변

위 응답 스펙트럼을 작성하는 것이 필수적이며, 이를 통하여 목표변위에 적합한 구조물의 유효주기를 구하는 것이 가능하다. 이후 Chopra와 Goel(2001)에 의해 제안된 비탄성 스펙트럼을 적용한 방법을 제안하였는데, 전반적인 과정은 Kowalsky가 제안한 직접변위기반 설계법과 유사하나, 비선형 하중-변위 관계를 등가선형 시스템으로 고려하고, 연성효과를 고려한 비탄성 설계 응답스펙트럼을 사용함으로써 실제 지진발생시 비선형거동과 그에 따른 최대변위를 보다 정히 예측할 수 있는 방법이다.⁷⁾⁸⁾ 따라서, 본 연구에서는 직접변위기반 설계법을 적용하여 SRC 합성기둥의 비탄성 거동과 최대 변위를 보다 정확히 예측하고, SRC 합성기둥에 대한 성능개선 변위기반 내진 설계법을 제안하고자 한다.

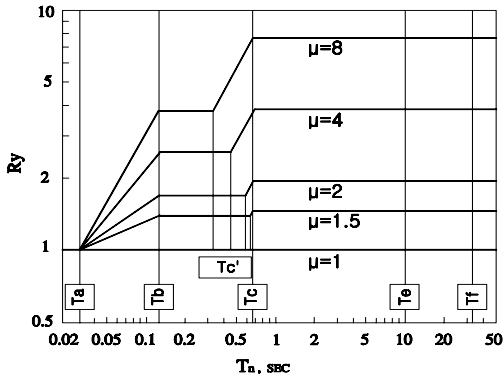
2. 직접변위기반 내진성능 설계법

본 장에서는 SRC 합성기둥의 내진성능개선을 위한 성능설계를 위하여 직접변위기반 설계법의 기본 개념을 이용하여 SRC 합성기둥의 목표 성능향상을 위한 성능설계법을 제시하도록 하였다.

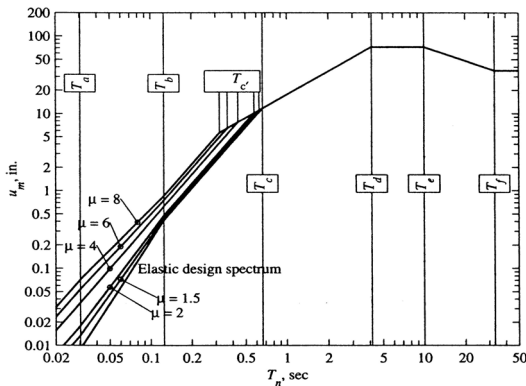
2.1 설계 스펙트럼

직접변위기반 설계법의 적용을 위해 본 연구에서는 Newmark⁹⁾ 등(1982)이 제안한 탄성 설계스펙트럼에 대하여 연성비(μ)로부터 산정되는 식(1)의 항복강도 감소계수 R_y 에 의해 비탄성 설계스펙트럼을 적용하였다. 이때 연성비에 따른 항복 감소계수와 고유주기가 <그림 1>과 같고, 작성된 비탄성 변위 설계스펙트럼은 <그림 2>와 같이 묘사되는데, 이를 이용하여 목표 변위에 대한 고유주기를 산정할 수 있다.

$$R_y = \begin{cases} 1 & T_n < T_a \\ \sqrt{2\mu - 1} & T_b < T_n < T_c \\ \mu & T_n < T_c \end{cases} \quad (1)$$



〈그림 1〉 항복강도에 대한 감소계수

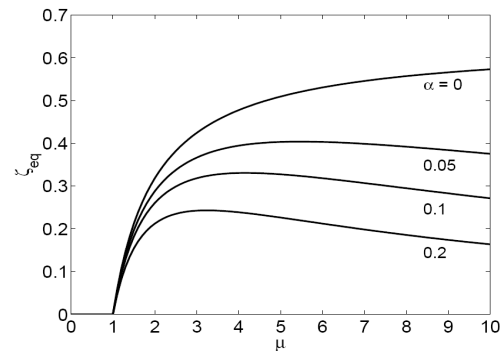


〈그림 2〉 비탄성 변위 스펙트럼

대변위로서 최대강도 $V_y(1 + \alpha\mu - \alpha)$ 에 대응하게 된다. 이 경우 등가고유주기 T_{eq} 는 선형 탄성일 경우 시스템의 고유주기 T_n 으로부터 식(2)과 같이 고려된다.

$$T_{eq} = T_n \sqrt{\frac{\mu}{1 + \alpha\mu - \alpha}} \quad (2)$$

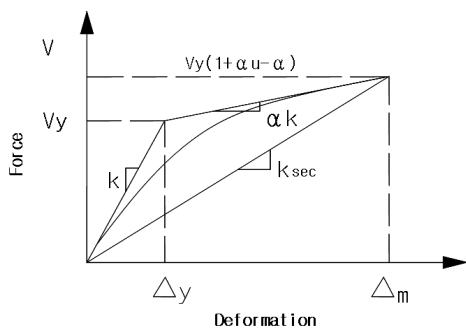
등가유효감쇠비 ζ_{eq} 는 비탄성 시스템과 등가 선형시스템의 진동주기에서 에너지 소산을 고려하여 <그림4>와 같이 Chopra 및 Goel(2001)이 제시한 식(3)을 사용하였다.



〈그림 4〉 유효감쇠비

2.2 유효등가강성 및 유효등가감쇠

비선형 단자유도 시스템의 성능치 평가를 위하여 <그림 3>과 같이 비선형해석에 의한 하중-변위 관계로부터 유효등가 할선강성 k_{sec} 을 산정할 수 있다.



〈그림 3〉 유효강성비

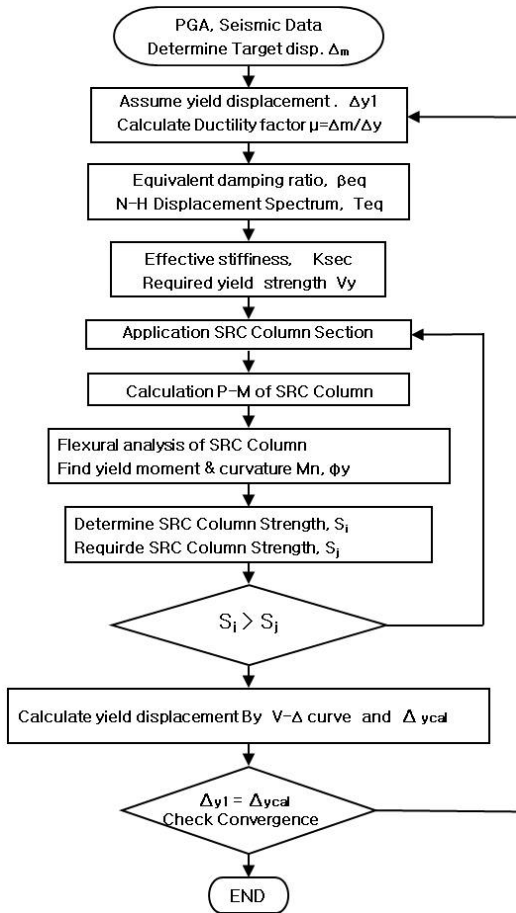
여기서, k 는 탄성영역의 강성, αk 는 항복영역의 강성, α 는 항복 후 강성비, V_y 는 항복강도, Δ_y 는 항복변위, $\mu = \Delta_m / \Delta_y$ 는 변위 연성비, Δ_m 는 최

파라서 등가 선형 시스템의 총 유효 감쇠비는 선형 시스템의 유효감쇠비 ξ 와 ζ_{eq} 의 합으로 식(4)과 같게 된다.

$$\overline{\xi}_{eq} = \xi + \zeta_{eq} \quad (4)$$

2.3 SRC 합성기둥의 변위기반 내진설계의 알고리즘

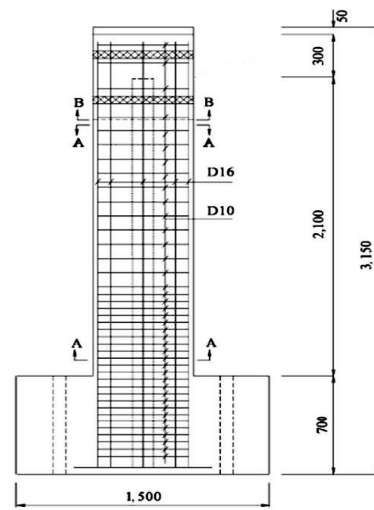
이상에서 소개된 변위기반 설계방법을 SRC 합성기둥의 설계개념을 적용하여 SRC 합성기둥에 대한 직접변위기반 내진성능 설계의 알고리즘을 <그림 5>와 같이 제시하였다.



〈그림 5〉 SRC 합성기둥의 내진설계 알고리즘

관을 매입한 SRC-C의 총 4개 모델을 선정하여 축하중 667kN을 작용시켜 해석하였다.

단면의 중앙에 강재를 매입한 모델은 주철근을 포함한 1.63%의 강재비를 사용하였다. 매입강재의 형상 및 배치 구조를 달리하여 기둥에 적합한 강재 형상 및 강재의 배치 형태를 결정하도록 하였다. 주철근은 SD30의 D16 철근을 설계기준의 최소요구량인 8개를 배근하였고, 횡방향 철근은 D10 철근을 30m m 간격으로 배근하였다.



〈그림 6〉 해석모델

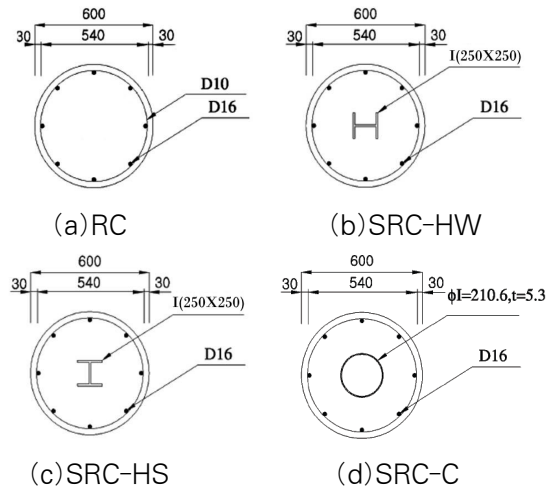
3. SRC 합성기둥의 해석모델

3.1 해석모델

SRC 합성기둥의 휨에 대한 P-M상관도와 단면의 공칭성능을 분석하기 위하여 유한요소 프로그램인 CSICOL(Analysis and Design of Reinforced and Composite Columns)¹⁰⁾을 이용하여 해석을 수행하였다. 콘크리트 설계강도($f_{ck} = 24MPa$), 철근은 SD 30($f_y = 300MPa$)을 사용하였고, 강재는 일반 구조용 강재인 SS400($f_y = 235MPa$)을 사용하였다.

〈그림 6〉에서 전체 단면의 직경($D = 600mm$), 전단지간($L = 2,100mm$)을 갖는 형상비(aspect ratio, L/D) 3.5인 합성기둥을 사용하였다.

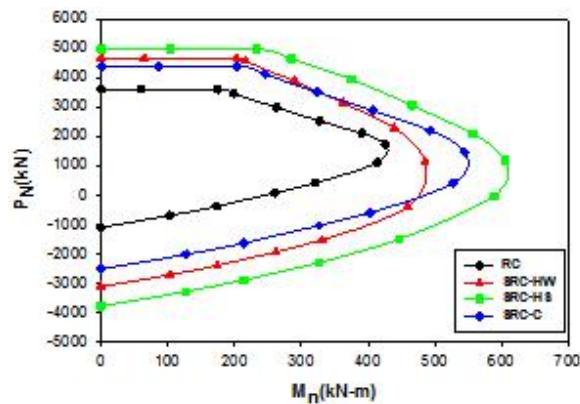
SRC 합성기둥은 〈그림 7〉와 같이 RC 기둥과의 비교를 위해 기존 RC 기둥과 H형강을 강축과 약축으로 매입한 SRC-HS, SRC-HW 2개와 원형 중공강



〈그림 7〉 단면상세

기존 RC 기둥과 SRC 합성기둥에 대한 P-M상관도를 통하여 기둥별 최대 축력과 모멘트와의 관계를 비교 분석하였다. 기둥은 축력과 모멘트를 동시

에 받는 구조 요소이므로 기둥 설계시 축력과 모멘트의 합성작용에 대한 P-M 상관도를 통하여 기둥 강도를 검토한다. 세장비가 큰 기둥에 대한 강도 검토에도 P-M 상관도를 이용하게 되는데, 기둥 길이의 영향으로 인한 2차 모멘트 $P-\Delta$ 를 산정하여 극한하중에 의한 단면력을 기둥 단면강도와 비교하는 개념이 적용되고 있다. 따라서 기둥단면의 강도 해석은 장주를 포함한 모든 철근콘크리트 기둥의 설계에 필수적인 해석이라고 할 수 있다.

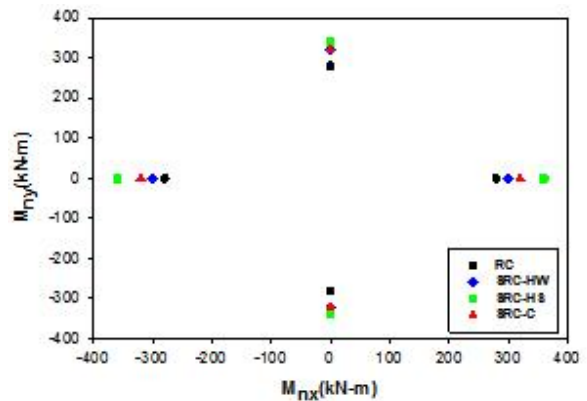


〈그림 8〉 P-M 상관도

〈그림 8〉은 기둥별 P-M 상관도를 분석한 것이며 H형 강재를 매입한 SRC 합성기둥이 RC 기둥보다 축력은 65% 정도의 성능향상을 보인다. 또한, SRC-HW에 비해 SRC-HS는 축력의 변화는 작지만 P-M 상관도에서 같은 축력하에서 모멘트를 더 많이 받을 수 있는 것으로 나타났다. SRC-C는 RC 기둥보다 45% 정도의 성능향상을 기대할 수 있음을 알 수 있다. 또한, SRC-C는 SRC-HS 비해 축력은 20% 정도 성능이 떨어지지만 모멘트 저항능력은 상대적으로 차이가 적은 것으로 나타났다. SRC-C가 비록 축력에 저항하는 성능이 SRC-HS 미치지 못하지만, 형강의 배치 각도에 따라 성능의 차이가 나는 H형강을 매입한 SRC 합성기둥에 비해 어떠한 방향에서도 동일한 성능을 내는 원형강관을 매입한 SRC-C가 실제 시공 상에서는 장점이 될 수도 있을 것으로 판단된다.

3.3 단면 공칭모멘트

〈그림 9〉는 x축과 y축의 공칭모멘트 $M_{nx}-M_{ny}$ 곡선을 통해 모멘트에 저항하는 기둥의 성능을 비교 분석하였다. $M_{nx}-M_{ny}$ 의 최대값을 비교해 보면 RC 기둥과 SRC-C는 $M_{nx}-M_{ny}$ 에서 x,y축에서 동일하다. 이는 방향에 따라 단면이 동일하기 때문이다. SRC-HW, SRC-HS의 $M_{nx}-M_{ny}$ 곡선을 살펴보면 x,y축에 따라 모멘트에 저항하는 성능이 최대 20%까지 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 H형강이 매입되는 기둥에서는 주축이 되는 방향에 따라 철근의 배치 각도를 달리하는 것이 시공 시 기둥의 능력을 최대로 활용하는 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.



〈그림 9〉 단면 공칭모멘트(2축)

4. 내진성능평가의 결과 및 고찰

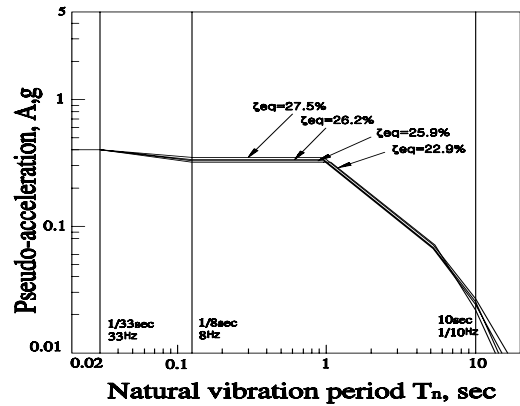
4.1 고유주기 산정

직접변위기반 설계법의 적용을 위하여 지진 설계 스펙트럼을 필요로 한다. 본 연구에서는 탄성 설계 스펙트럼의 작성을 위하여 Newmark-Hall(1982)이 제안한 삼원 탄성 설계스펙트럼(N-H스펙트럼)을 적용하였고, 최대 지반가속도(PGA)값을 0.4g인 경우를 고려하여 기존 RC 기둥과 SRC 합성기둥에 대하여 가속도, 속도, 변위 증폭계수 $\alpha_A, \alpha_V, \alpha_D$ 를 감쇠비 ζ 에 따라 산정하여 설정된 변위 목표에 따라 설계 변위스펙트럼을 작성하여 각 기둥별로 시스템의 감쇠비에 따른 고유주기를 산정하였다.

기존 RC 기둥 및 SRC-HW, SRC-HS, SRC-C에 대하여 등가선형시스템의 연성도와 유효 감쇠비에 따른 항복후 강성비 $\alpha = 0.195$ 로 추정하여 유효 감쇠비를 각각 $\overline{\zeta_{eq}}=22.9\%$, $\overline{\zeta_{eq}}=25.9\%$, $\overline{\zeta_{eq}}=27.5\%$, $\overline{\zeta_{eq}}=26.2\%$ 로 산정하였고, 각각의 기둥에 따라 가속도, 속도, 변위에 대한 증폭계수는 <표 1>와 같으며, 이를 적용한 응답변수에 따른 N-H 삼원 설계스펙트럼, 변위, 가속도 스펙트럼을 <그림 10>, <그림 11>, <그림 12>에 도시하였다.

<표 1> 증폭계수

	RC	SRC-HW	SRC-HS	SRC-C
$\overline{\zeta_{eq}}$	22.9	25.9	27.5	26.2
α_A	0.931	0.958	0.998	0.975
α_V	1.108	1.195	1.225	1.215
α_D	1.124	1.154	1.254	1.221

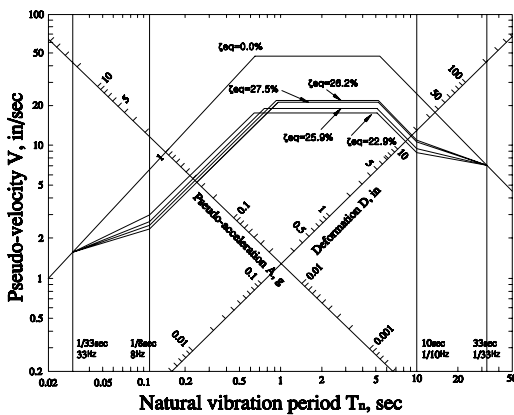


<그림 12> 가속도 스펙트럼

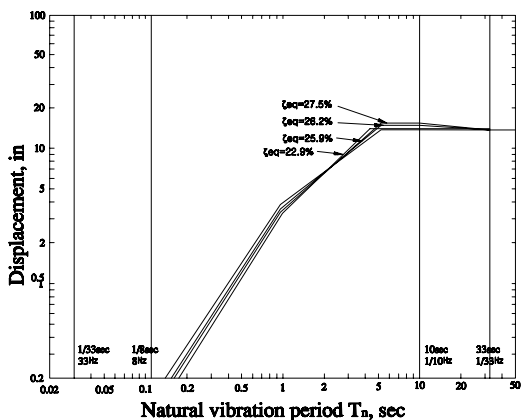
4.2 직접변위기반 설계법의 적용 및 결과고찰

직접변위기반 설계법에 의해 기존 RC 기둥과 SRC 합성기둥에 대하여 최대지반가속도 0.4g을 적용하여 내진성능을 비교 검토하였다. 목표변위에 대해 초기 항복 변위값을 가정하여 수렴한 결과를 얻을 때까지 반복하였다. 직접변위기반 설계법에 의해 목표 변위값의 수렴후 결과를 이용하여 최대 지반 가속도에 따라 비선형 정적해석을 실시하였다.

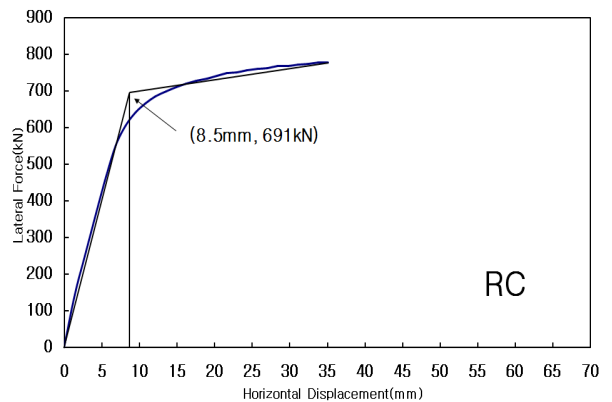
<그림 13>은 RC 기둥의 목표변위 35mm에 대해 항복변위 8.5mm, 변위 연성비가 4.11, 항복강도 691kN로 산정되었고, <그림 14>의 SRC-HW는 목표변위 43.5mm에 대해 항복변위 10.1mm, 변위 연성비가 4.31, 항복강도 960kN이며, <그림 15>의 SRC-HS의 경우 목표변위 46.7mm에 대해 항복변위 10.22mm, 변위 연성비가 4.57, 항복강도 1020kN이다.



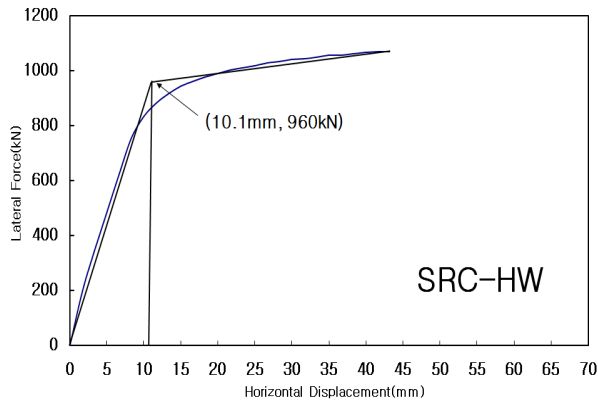
<그림 10> N-H 설계 스펙트럼



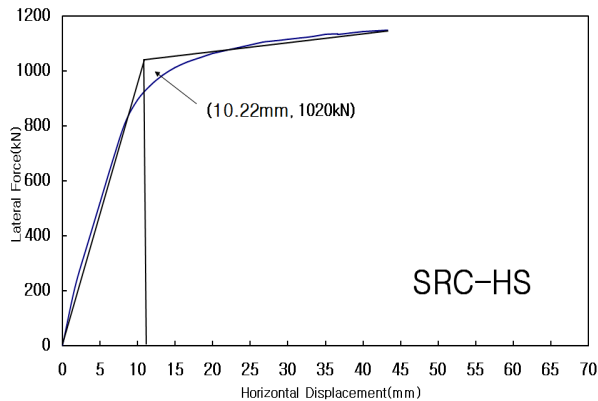
<그림 11> N-H 변위 스펙트럼



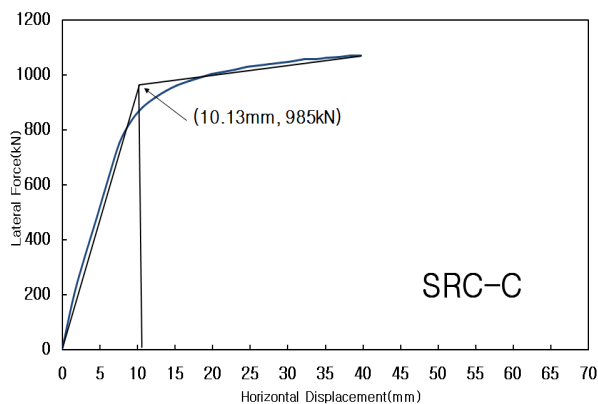
<그림 13> RC 기둥의 비선형 정적해석



<그림 14> SRC-HW 합성기둥의 비선형 정적해석



<그림 15> SRC-HS 합성기둥의 비선형 정적해석



<그림 16> SRC-C 합성기둥의 비선형 정적해석

<그림 16>의 SRC-C의 경우 목표변위 44.2mm에 대해 항복변위 10.13mm, 변위 연성비가 4.36, 항복강도 985kN로 산정되었다.

직접변위기반 설계법에 의한 내진성능설계 결과는 <표 2>와 같이 정리된다. 따라서, 기존 RC 기둥에 비해 SRC 합성기둥이 더 향상된 축력과 휨에 대

한 내력을 가지고, 높은 연성과 에너지 흡수능력을 지니므로써 내진에 대한 저항성이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 특히, H형강을 강축으로 매입한 SRC-HS가 가장 좋은 성능을 나타내었다.

<표 2> DDM에 의한 내진성능설계 결과

Design Parameters	RC	SRC-HW	SRC-HS	SRC-C
Initial Yield Displacement	45mm	63mm	63mm	63mm
Equivalent Damping ratio	22.9%	25.9%	27.5%	26.2%
Equivalent Period	0.72 sec	1.21 sec	1.21 sec	1.21 sec
Yield Displacement	8.5 mm	10.1 mm	10.2 mm	10.1 mm
Target Displacement	35 mm	43.5 mm	46.7 mm	44.2 mm
Displacement Ductility factor	4.11	4.31	4.57	4.36
Yield Later Force	691kN	960kN	1020kN	985kN

<표 3> DDM과 DCM의 비교

Design Parameters	RC		SRC-HS	
	DDM	DCM	DDM	DCM
Yield Disp.	8.5mm	8.5mm	10.2mm	10.2mm
Target Disp.	35mm	22.1mm	46.7mm	27.5mm
Ductility factor	4.11	2.59	4.57	2.69
Yield Force	691kN	691kN	1020kN	1020kN

또한, 직접변위기반 설계법에 의해 추정된 설계결과에 대하여 변위계수법(Displacement Coefficient Method, DCM)¹¹⁾을 적용하여 동일한 최대 설계지반 가속도에 대해 성능평가 목표 변위값을 추정하여 비교 검토하여 <표 3>에 나타 내었다. 최대 설계지반가속도에 대해 성능평가 목표 변위값의 추정결과 DDM의 목표 성능값의 최대 63%에 미치지 못하는 것으로 나타났다. DCM은 항복 전 항복강도의 60%에 해당하는 점에서의 유효강성을 사용하고, 산정된 유효강성과 유효주기에 의한 목표변위를 추정하는 반면, DDM은 항복 후의 강성비를 고려한 유효 할선 탄성계수 및 변위 연성도에 의한 유효 탄성계수를 고려하고 있어 목표 변위에 따른 성능 설계

평가에 있어서 높은 연성비의 거동에 대해서도 타당성 있게 반영되는 것으로 평가된다.

5. 결 론

본 연구에서는 강제 매입형 SRC 합성기둥에 대하여 직접변위기반 설계법(DDM)을 적용하여 SRC 합성기둥의 내진성능개선 설계를 위한 성능설계 방법을 제시한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기존 RC 기둥과 SRC 합성기둥의 구조성능을 분석한 결과 P-M 상관도에서 SRC 합성기둥이 축력은 최대 65%정도의 성능 향상을 나타내었다. 이는 SRC 합성기둥이 높은 연성과 에너지 흡수능력을 지님으로써 내진에 대한 저항성능이 뛰어난을 알 수 있었다.

2) 내진설계 및 평가에 쉽게 적용할 수 있는 직접 변위기반 설계법을 이용한 결과 RC 기둥에 비해 SRC 합성기둥의 유효 감쇠비, 가속도, 속도, 변위의 증폭계수는 약 7~20% 증가하였으며, 이를 바탕으로 설계 스펙트럼, 고유주기, 유효강성 및 요구되는 항복강도를 결정하고 비선형 정적해석을 실시하여 목표변위에 대해 내진성능을 평가할 수 있었다.

3) 본 연구에서 적용된 직접변위기반 내진성능 평가방법에 의한 RC 기둥 및 SRC 합성기둥의 내진성능개선 설계 및 성능 평가 방법은 내진 성능개선 목표의 설계변위값이 성능평가에 대하여 합리적이고 간편한 방법이다. 기존 RC 기둥과 비교하여 최대 내진성능효과를 나타내는 SRC-HS 합성기둥은 항복변위 20%, 목표변위 33%, 항복력 48%로 크게 개선된 내진성능 결과를 제공해 주었다.

감사의 글

본 논문은 2011학년도 교육과학기술부 교육역량 강화사업에 의한 안동과학대학교 교육역량강화사업비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이환수, 오명호, 김상대, “축력을 받는 SC기둥의 휨 성능에 관한 연구”, 한국강구조학회논문집,

제15권 1호, pp.87-96, 2003.
 2. 정진안, 양일승, 최성모, “매립형 SRC 기둥재의 변형성능에 대한 축력의 영향”, 한국강구조학회 논문집, 제15권 3호, pp.251-259, 2003.
 3. 정인근, 심창수, 정영수, 민진, “SRC 합성기둥의 P-M상관도 분석을 위한 실험”, 대한토목학회 논문집, 제25권 3호, pp.555-563, 2005.
 4. 한정훈, 박창규, 심창수, 정영수, “준정적 실험에 의한 SRC 합성교각의 내진성능평가”, 한국지진 공학회 논문집, 제10권 4호, pp.85-94, 2006.
 5. Anil. K. Chopra, Goel Rakesh K, "Direct displacement based design : Use of inelastic vs. elastic design spectra" Earthquake Engineering, vol. 17, No. 1, pp.47-64, 2001.
 6. Kowalsky, M.J., Priestley, M.J.N., and MacRae, G. A., "Displacement-based Seismic Design of RC Bridge Columns in Sesimic Regions," Earthquake Engineering and Structural Dynamic, vol. 24, pp.1623 -1643, 1995.
 7. 정인규, 조창근, 박순응, “변위기반 설계법에 의한 RC 기둥의 Steel Jacket 보강 내진성능개선 설계법”, 한국공간구조학회지, Vol. 10 No. 3, pp.4 9-57, 2010.
 8. 정인규, 박문호, 조창근, “스틸재킷 보강 철근 콘크리트 기둥의 변위기반 내진성능 개선 설계법”, 콘크리트학회 논문집, 제22권 1호, pp.11- 18, 2010.
 9. Newmark, N.M. and Hall, W.J., "Earthquake Spectra and Design, EERI Monograph Series" Earthquake Research Institute, Oakland, California, 1982
 10. CSICOL, "For Analysis and Design of Reinforced and Composite Columns," Berkeley, California, USA, 2003.
 11. Fedral Emergency Management Agency(FEM A-356), "Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Building", Washington, DC, USA, 2000.

(접 수 일 자 : 2012년 04월 23일)
 (심사완료일자 : 2012년 09월 13일)
 (게재확정일자 : 2012년 09월 15일)