내부 브레이스 보강 yLRC 합성기둥의 압축강도 및 거동에 관한 실험 연구

Experimental Study on the Compressive Strength and Behavior of yLRC Composite Columns Supplemented by Inner Braces

김명한*

Kim, Myeong Han

Abstract

Compressive strength tests on yLRC (Reinforced Concrete with y-shape steel sheets and L-shape steel angles) composite column supplemented by inner braces are performed. Although axial compressive strength tests of Non-supplemented yLRC column were performed, in the previous study, the columns showed comparatively sudden strength reduction after peak load. This study aims to verify ductile behaviors of the supplemented yLRC columns beyond the maximum load and to examine the suggested equation for calculating the compressive strength of the composite column. The experimental variables of this study are 1) the existence of inner braces, 2) the type of inner braces and 3) the number of inner braces. Total of six specimens having practical section size are fabricated for concentrically axial load test. Based on the test results, the axial behavior of the supplemented yLRC composite column are analysed and the applicability of the suggested equation is examined.

Key words : composite column, compressive strength, steel sheet, angle, inner braces

요 지

y형강판과 L형강으로 기둥의 외부를 구성하고 내부에 콘크리트를 타설하여 완성하는 yLRC (Reinforced Concrete with y-shape steel sheets and L-shape steel angles) 합성기둥의 연성거동 능력을 보완하기 위하여 내부 브레이스를 설치한 실험체를 제작하였으며, 이에 대한 압축거동 실험을 수행하였다. 기존에 제안되었던 yLRC 합성기둥에 대한 축방향 압축강도 실험은 이미 수행되었으며, 최대하중 이후에 좀 더 연성적인 거동을 위한 보완이 필요하다는 의견이 제시되었다. 또한 기존 yLRC 합성기둥의 압축강도를 예측하기 위해 제안된 식의 타당성을 검토하는 과정이 필요하였다. 내부 보강 브레이스가 기둥의 전체적인 압축거동에 미치는 영향을 분석하기 위해서 브레이스의 설치유무, 브레이스의 종류 및 개수 등을 실험변수로 하는 총 6개의 실험체를 제작하고, 이 실험체에 대하여 중심축하중 실험을 수행하였다. 실험결과를 바탕으로 보강 yLRC 합성기둥의 압축강도 및 거동에 대한 역학적인 특성을 분석하고 기존 제안식의 타당성 여부를 검토하였다.

핵심용어 : 합성기둥, 압축강도, 강판, 앵글, 내부 브레이스

1. 서 론

강재와 콘크리트의 재료적인 장점들을 효과적으로 이용하기 위하여 국내외에 적용되는 합성기둥 시스템으로는 철골철근콘크리트(SRC) 기둥과 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥, 철골콘크리트(SC) 기둥, 최근에 제안되어 연구가 진행되고 있는 yLRC 합성기둥이 있다.

하지만 효율적인 구조형식인 동시에 제한성도 존재한다. SRC 기둥은 철골기둥에 비해서 내화피복이 필요하지 않고, 콘크리트 사용에 따른 단면의 효율적인 이용이 가능하며, RC 기둥에 비해서는 단면의 크기가 축소되고 내진성능이 향상되

는 것으로 보고되고 있다. 그러나 SRC 기둥은 철골기둥 보다 공사비가 증가하여 경제성이 저하되는 것으로 평가되고 있으며, 특히 공기단축에는 별다른 효과를 나타내지 못하고 있다.

CFT 기둥은 각형 또는 원형강관에 콘크리트를 채워넣는 형식으로 강관의 구속효과와 굴부좌굴 방지로 인해서 압축내력이 상승하며, 내진성능이 우수하고, 거푸집 공사가 필요하지 않아 공기단축에도 매우 효과적이다. 하지만 내부 콘크리트의 충전상태의 육안 확인 및 기둥-보 접합부 시공의 어려움, 철골 또는 철근콘크리트 기둥에 비해 공사비 증가요인이 다수 존재하여 국내에서의 적용은 아직까지 미흡한 상태다.

*정회원 · 대전대학교 건축공학과 조교수 (E-mail : mhh314@daejin.ac.kr)

SC 기둥은 철골기둥에 비해서 단면의 내력이 증가되어 철골물량의 감소가 가능하며, 거푸집 공사의 간략화로 공기단축에도 효과적이다. 그러나 약축에 대한 휨-압축 내력이 강축에 비해서 현저하게 감소하므로, 모멘트 접합이 일반화되어 있는 국내에서의 실용화를 위해서는 개선되어야 할 점이 많다 (오명호 등, 2005).

이러한 기존 합성기둥 시스템의 단점을 보완하기 위해 제안된 yLRC 합성기둥은 L형강과 강판으로 외부를 구성하는 내부에 콘크리트를 채우는 기둥이다. L형강을 단면의 네 모서리에 배치하고 이를 얇은 강판으로 용접하여 연결하는 외부 구성은 일반 철근콘크리트 기둥의 거푸집 역할을 겸한다. 철골과 콘크리트의 합성작용으로 단면성능이 우수하며, 거푸집 공사와 배근공사를 생략할 수 있으므로 공기단축과 시공성 향상에도 상당한 효과를 나타낼 수 있다.

현재까지 yLRC 합성기둥의 실용화를 위한 연구 및 실험이 수행되었다. 기둥의 1/3 축소모델과 실제크기의 yLRC 기둥에 강재의 폭-두께비를 변수로 설정하여 압축강도를 파악하기 위한 실험이 수행되었으며, 성능에 영향을 미치는 변수에 대한 이론적 연구 및 개발이 이뤄지고 있다. 그러나 이전 연구에서 실험모델에 대한 압축강도 실험에서 최대하중점 이후 기둥의 강도가 비교적 빠르게 감소하여 최대하중의 50%가 감소한 시점에서 실험을 종료하였다. 결과적으로 실험모델에서 최대하중점 이후의 기둥 거동을 자세히 확인하지 못하였으며, 이에 대한 보완책의 필요성이 제시되었다.

이에 본 연구에서는 최대하중점 이후 빠른 강도저감에 저항하고 기둥 파괴까지의 시간을 지연시키기 위한 방법으로 yLRC 합성기둥 내부에 X자 브레이스 형태로 철골 용접보강을 하였다. 이 내부 보강 브레이스의 설치유무, 종류 및 개수를 실험변수로 기준실험체를 포함한 총 6개의 실험체에 대한 중심 압축성능 실험을 수행하였다. 실험결과를 바탕으로 내부 보강 브레이스가 yLRC 합성기둥의 최대하중점 이후 연성파괴 거동에 기여하는 효과와 기둥의 자세한 거동을 확인하였다. 이와 더불어 역학적인 특성을 분석하여 기존에 제안된 yLRC 합성기둥의 최대 압축강도 예측식과 실험결과 값을 비교하여 예측식의 근거자료 및 타당성 여부를 검토하였다.

2. yLRC 합성기둥과 내부 보강 yLRC 합성기둥

거푸집이 불필요한 yLRC (Reinforced Concrete with y-shape steel sheets and L-shape steel angles) 합성기둥(그림 1)은 공장에서 y형강판과 L형강으로 기둥외부를 제작하고, 현장에서 기둥내부에 콘크리트를 타설하여 완성된다. 이 합성기둥에서 단면성능상 가장 효율적인 위치에 철근콘크리트 기둥의 주근 역할을 하도록 L형강을 배치한다. L형강에 용접되는 y형강판은 L형강의 좌굴을 억제하고 콘크리트를 구속함으로써 철근콘크리트 기둥의 띠철근에 해당하는 역할을 한다. L형강과 강판은 그림 2와 같이 점용접으로 일체화시킨다.

합성구조로서의 효과와 시공성 향상 등을 위와 같이 개발된 yLRC 합성기둥의 실용화를 위한 기초적인 연구로 축소 및 실험모델에 대한 중심 압축성능실험이 수행되었다. L형강

그림 1. yLRC 합성기둥

그림 2. yLRC 합성기둥 제작과정

그림 3. 실험모델 압축강도 실험 그래프 (2009)

의 폭-두께비를 변수로 설정한 선행 연구에서 기둥의 최대하중 시 변형율과 L형강 폭-두께비는 반비례함을 확인하였다. 최대하중 시 변형율이 큰 것은 효율적인 단면성능을 나타내므로 폭-두께비가 작을수록 단면성능의 효율성이 증대됨을 알 수 있었다 (김형근 등, 2009). 하지만 단순 압축강도와는 별개로 그림 3의 그래프와 같이 실험모델에서의 최대하중점 이후 빠른 강도 저감으로 인한 기둥의 취성적인 거동이 문제점으로 대두되었다. 기둥의 실적용에 대한 큰 단점이 될 수 있는 이러한 문제점을 해결하기 위한 대책안으로 그림 4와 같이 기둥의 L형강 내측을 X자 형태로 연결하는 철골 보강 브레이스가 설치되었다. 보강 브레이스는 철근 및 L형강으로 종류를 결정하였으며 기둥 외부의 L형강과 직접 용접하는데 어려움이 있어 시공성을 위해 L형강에 얇은 사각형의 강판을

그림 4. X자 형태의 내부 보강 브레이스

먼저 접합하고 보강재를 용접 연결하였다.

내부 보강 브레이스는 최대하중점 이후 소량의 변형에도 하중이 급격히 감소하는 현상을 방지하고 파괴까지의 시간과 변형을 늘리는 연성파괴 거동을 유도하기 위한 목적을 갖는다. 구체적으로 기둥을 구성하는 재료의 부분적인 측면에선 세장한 L형강의 국부좌굴 이후 급격하게 진행되는 변형에 저항하도록 고정시켜주고, 기둥 전체적인 측면에서는 내부 보강으로 기둥의 좌굴길이를 줄이는 효과를 중점으로 두었다.

3. 실험방법

3.1 실험체 계획

이 연구는 내부 브레이스 보강을 하지 않은 기준실험체와 보강실험체 5개에 대해 중심 압축하중 실험을 수행하여 특성을 분석하였다. 이전 연구에 대한 문제점을 보완하기 위한 방편으로 계획된 실험으로서 실험대크기의 모델을 제작하였다. 실험체의 단면크기는 50×50 cm이고, L형강은 SS400 강재를 사용하여 90×90×7(6개 실험체)의 치수로 설정하였다. 실험체의 길이는 모두 300 cm이다. 그림 5는 무보강 기준실험체, 그림 6은 보강실험체의 단면을 나타낸 것이며 모든 실험체의 입면형상은 그림 7(a)와 같다. y형강판은 용융 아연도금 강판으로 6개 실험체에 대하여 일정한 두께 1 mm를 갖도록 제작하여 L형강에 3점용접하였다. 실험의 중요 변수인 내부 브레이스는 각각 직경 16 mm 철근과 40×40×5(mm) 크기의 L형 강재를 사용하였다. 내부에 설치된 브레이스가 기둥 전체 길이를 균등한 길이로 분할하도록 개수에 따른 설치 위치를 지정하였다. 그림 7에서 각 보강재 개수에 따른 보강재의 위치를 나타내었다. 보강재의 재료특성은 이후 재료실험 부분에서 상세히 나타내었다.

3.2 실험변수

실험은 내부 브레이스의 설치유무, 내부 브레이스의 종류, 내부 브레이스의 개수를 실험변수로 설정하여 수행되었다. 내부 브레이스가 설치되지 않은 기준실험체와 보강실험체간의 비교를 통하여 설치유무가 압축강도 및 최대하중점 이후 거동에 미치는 영향을 분석하고, 마찬가지로 보강 실험체간의 내부 브레이스와 종류와 개수가 결과값과 거동에 기여하는

그림 5. 무보강 기준실험체 단면, 그림 6. 보강실험체 단면

그림 7. 실험체 입면 및 보강재 설치 위치

표 1. 실험체 및 변수 일람

구분	실험체명	L형강 크기 (mm)	보강재	보강재 개수	비고
1	SC-L90	L-90×90×7	-	-	기준 실험체
2	SC-L90-BR16-1	L-90×90×7	D16	1개	철근 내부 보강
3	SC-L90-BR16-2	L-90×90×7	D16	2개	
4	SC-L90-BR16-3	L-90×90×7	D16	3개	
5	SC-L90-BL40-1	L-90×90×7	L-40×40×5	1개	L형강 내부 보강
6	SC-L90-BL40-2	L-90×90×7	L-40×40×5	2개	

바를 파악하기 위하여 위와 같은 변수를 설정하였다.

아래와 같이 표 1에 실험체의 상세를 나타내었다. SC-L90은 내부에 어떠한 보강도 하지 않고, 나머지 5개 보강실험체의 실험결과와 비교·분석하기 위한 기준실험체이다. 실험체 번호 2-4로 구분된 SC-L90-BR16 실험체는 직경 16 mm 철근을 내부 브레이스로 사용한 것으로 각각 1개소, 2개소, 3개소에 브레이스를 설치하였다. 이는 실험의 중요변수인 보강재 개수가 연성적인 거동에 미치는 영향을 판단하기 위해 직경 16 mm의 철근 브레이스를 사용한 것이다. 실험체 번호 5,6번은 40×40×5 L형 강재를 철근 브레이스와 같은 방법으로 각각 1개소, 2개소에 설치한 실험체이다. 마찬가지로 L형 강재 브레이스의 경우를 통해 보강재 개수의 영향을 분석하였다. 또한 SC-L90-BR16-2 (실험체 3)와 SC-L90-BL40-2 (실험체 6)을 통하여 보강재의 종류가 거동에 미치는 영향을 비교하였다.

3.3 재료실험

기둥 내부 타설을 위한 콘크리트의 설계기준강도는 21 MPa 이고, 공시체의 재령 28일 압축강도 실험결과는 평균 20.6 MPa로 나타났다. L형강은 SS400으로, 시편은 90×90×7 의 3가지 시편에 대한 항복강도, 인장강도 및 연신율을 측정 하였다. 90×90×7 시편의 항복강도는 307.8 MPa, 탄성계수는 205.5 GPa이다. 이는 시편의 평균값으로 이번 실험의 압축강도 및 예측식 검토부분에 평균값을 사용하였다.

보강재로 사용된 L40405와 직경 16 mm 철근의 인장실험도 실시하였다. L40405의 시편 3가지의 재료 특성들의 평균은 항복강도 320.2 MPa, 인장강도 421.4 MPa이다. 철근의 항복강도는 463.1 MPa, 인장강도 581.1 MPa이다. yLRC 합성기둥의 각 구성재료에 대한 인장실험 결과는 표 2와 같다.

3.4 가력 및 측정계획

실험체의 가력을 위하여 U.T.M(Universal Testing Machine)을 사용하였으며, 측방향 변형량 측정을 위한 변위계(LVDT)를 기둥 양측에 설치하여 편심 발생 여부를 검토하였다. 스트레인 게이지는 기둥 최상부에서 기둥 길이의 1/4, 2/4 및 3/4 떨어진 지점의 L형강에 2개씩, y형강판에 1개씩 총 9개를 기둥 외부에 부착하였고, 내부 브레이스마다 중앙에 1개씩 부착하였다. 그림 9에 변위계와 스트레인 게이지 설치 위치를 나타내었다. 그림에서 게이지 부착위치를 L형강과 중앙강판(Plate)에 부착한 것, 그리고 상(Top)·중(Midde)·하

표 2. L형강 시편의 인장실험 결과

강재 시편	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
L-90×90×7 (1)	327.7	439.5
L-90×90×7 (2)	309.0	431.7
L-90×90×7 (3)	286.8	424.9
L-90×90×7 (평균)	307.8	432.0
L-40405	320.2	421.4
D16 철근	463.1	581.1

그림 8. 실험체 최종 설치 상황

그림 9. 변위계 및 게이지 설치 위치

(Bottom)로 구분하였다. 예를 들어 LT는 기둥 상부 L형강에 부착된 게이지, PB는 기둥 하부 강판에 부착된 게이지를 나타낸다.

이전 연구에서 수행된 실험모델(본 실험의 기준실험체) 실험과의 비교를 위하여 실험종료시점을 용접부의 파단 시점 또는 최대하중의 50%에서 60%사이로 하중이 감소하였을 때로 계획하였다.

그림 8은 압축가력 전 변위계 및 스트레인 게이지를 설치한 실험체를 만능시험기(U.T.M)에 최종 설치한 상황이다.

4. 실험 결과

4.1 최대하중 및 파괴형상

각 실험체의 하중증가에 따른 거동의 양상과 파괴형상은 유사하게 나타났다. 하중과 변형이 선형적으로 증가하면서 최대하중에 도달하는 시점에서 큰 과열음과 함께 콘크리트의 압축파괴가 발생하였고, 이와 동시에 콘크리트의 압괴가 발생한 지점으로 추측되는 지점에서 L형강의 국부좌굴과 y형강판의 배부름이 발생하였다. 최대하중점 이후 하중이 감소하면서 L형강의 국부좌굴이 점차 진전되었다. 상당한 크기의 변형이 발생한 후에 L형강과 y형강판 사이의 용접부에 파괴가 발생하였다. 이후 최대하중의 약 50%가 감소한 시점에서 실험을 종료하였다.

기둥 입면상에서의 L형강과 콘크리트의 압축파괴는 실험체 상부지점에서 일어났다. 하지만 기준실험체(SC-L90)는 실험체 모든 면의 상부지점에서 좌굴이 일어나지 않고 실험체기준 좌측 및 전면의 중앙부에서 L형강의 국부좌굴이 관찰되었다. 보강재가 설치된 지점과 기둥의 상단 사이에서 국부좌굴이 발생하였고 결과적으로 이를 통해 보강재가 내부에 설치된 지점의 인접영역에서는 L형강의 좌굴이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

그림 10과 11에 각각 실험체의 파괴형상과 최종 파괴 시 L형강의 국부좌굴과 용접부의 파단을 나타내었다. L형강의 좌굴이 발견된 지점과 y형강판의 큰 변형이 일어난 지점에서 콘크리트가 압괴되어 부서진 흔적과 용접부의 탈락이 발견되었다. 표 3에는 실험체의 최대하중, 최대하중 시 변위 및 변형율을 나타내었다. 보강재를 설치하는 것이 기둥의 단면성능 (Sectional Capacity)에 직접적인 영향을 미치지 않으므로,

그림 10. 실험체 파괴형상

그림 11. L형강의 국부좌굴 및 용접부 파단

표 3. 최대하중, 변위 및 변형률 결과

실험체	최대하중 P_0 (kN)	최대하중시 변위 u_0 (mm)	최대하중시 변형률 ϵ_0
SC-L90	6249.3	5.03	0.00230
SC-L90-BR16-1	5809.7	4.56	0.00211
SC-L90-BR16-2	5601.0	4.62	0.00204
SC-L90-BR16-3	5982.8	4.50	0.00208
SC-L90-BL40-1	5632.6	4.34	0.00201
SC-L90-BL40-2	5578.3	5.31	0.00246

보강재의 유무가 최대하중의 크기와는 관련이 없을 것이며 이는 압축강도 실험결과에서도 나타났다.

4.2 하중-변위 관계

내부 보강재가 yLRC 합성기둥의 거동에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 가력하중과 축방향 변위의 관계를 분석하였다. 그림 12에서는 실험체 전체의 하중-변위 관계를 나타낸 것이며, 내부 보강재 설치의 효과를 명확히 알 수 있다. 기준실험체는 최대하중점 이후 급격하게 강도가 저감하여 변형량 8.66 mm에 이르는 지점에서 실험을 종료하였고, 직경 16 mm 철근 및 L40×40×5형강을 내부에 보강 설치한 실험체들은 하중이 보다 완만하게 감소하여 실험종료시점까지 큰 변위를 나타내었다.

그림 13의 (a),(b) 하중-변형 그래프는 직경 16 mm 철근의 내부 보강재를 각각 1개, 2개, 3개 설치한 실험체들을 비교한 것과 보강재 L40×40×5형강의 개수가 변형량에 미치는 영향을 비교하기 위한 그래프이다. 실험종료시점 기준 보강재 1개 설치실험체의 최종변형량은 약 12 mm, 2개 설치실험체

그림 12. 실험체의 하중-변위 관계 (보강재 설치 효과 분석)

(a) 16mm 철근 보강실험체

(b) L40×40×5형강 보강실험체

그림 13. 보강재 개수에 따른 하중-변위 관계 비교

의 최종변형량은 약 16 mm로 나타났다. 철근 보강재를 3개 설치한 실험체는 최종 24 mm 이상의 변위를 나타냈다. 보강재를 1,2개 설치한 실험체의 변위는 다소 차이가 있지만 최대하중점 이후 그래프의 기울기는 비슷하여 연성적인 거동에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 하지만 보강재를 3개 설치한 실험체는 최종변형량에서도 큰 차이를 나타냈으며 최대하중점 이후 그래프의 기울기가 보다 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 3개 보강재 설치실험체는 보다 적은 개수의 보강재를 설치한 경우보다 확실히 연성거동이 증가함을 확인할 수 있다.

직경 16 mm 철근 보강 및 L40×40×5형강을 보강한 실험체들의 하중-변위 관계를 비교하였다. 변위와 최대하중점 이후 그래프의 기울기를 통해 보강재의 종류의 영향을 판단한 결과 확실한 차이점을 보이지 않았으며, yLRC 합성기둥의 최대하중 후 연성적인 거동에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다.

4.3 최대하중 이후의 거동

위 4.2절에서는 실험체의 전 하중-변위 그래프를 나타내며 이에 대한 결과를 요약하여 서술하였다. 하지만 각 실험체별로 실험종료시점이 다르기 때문에 변위 결과로는 정확한 수치 비교에 한계성이 존재한다. 이에 각 실험체의 연성거동을 좀 더 명확하고 정량적으로 분석하기 위해서 최대하중 이후의 변위(Post-peak displacement) 그래프를 정리하여 분석하였다. (Chicoine 등, 2002)

먼저 그래프를 그리는 형식은 실험체의 최대하중(P_0) 지점을 y축의 1로 보고 최대하중 이후의 하중이 감소하는 부분을 표현하였다. 이는 이후의 하중값을 최대하중으로 나누어 하중비(Load Ratio)로 나타내었다. x축에는 최대하중 지점에서의 변형량을 0으로, 이후의 변형량을 나타내었다. 그래프에서 변형량은 12 mm 점을 최종점으로 그 이상의 변형을 보인 실험체는 12 mm 변위점까지 그래프를 정리하였다. 전체 실험체의 최대하중 이후 변위 그래프를 그림 14에 나타냈다.

그래프의 결과를 토대로 표 4에 특정 하중비지점별 각 실험체의 변위를 나타냈다. 특정한 하중비점에서의 변위가 클수록 연성적인 거동을 보였다고 볼 수 있으므로 위와 같은 방법을 설정하였고 이에 대한 수치적인 비교를 수행하였다.

먼저 최대하중의 60%에 해당하는 하중점 $0.6P_0$ 에서의 변위는 무보강 기준실험체(SC-L90) 2.54 mm, 보강실험체는 모두 7.5 mm이상의 변위를 나타내었다. 해당 하중점에 도달하

그림 14. 최대하중 이후 거동 비교

표 4. 최대하중 이후 변위

실험체 구분	0.6 P _u 하중비지점 변위	0.7 P _u 하중비지점 변위
SC-L90	2.54	1.70
SC-L90-BR16-1	7.73	4.71
SC-L90-BR16-2	10.60	6.55
SC-L90-BR16-3	12 이상	9.23
SC-L90-BL40-1	실험종료	6.35
SC-L90-BL40-2	7.59	5.51

기 전에 실험을 종료한 실험체의 경우가 있어 추가로 설정한 하중비 0.7 P_u 지점에서도 기준실험체는 변위 1.70 mm, 보강 실험체는 모두 4.7 mm 이상 변형하여 보강재의 의한 확실한 연성거동효과를 확인할 수 있다. 보강실험체간의 비교는 SC-L90-BL40-1 실험체의 이른 실험종료로 0.6 P_u 하중점에서의 변위를 나타내지 못하였다. 따라서 0.7 P_u 하중점에서의 철근 보강실험체와 L형강 보강실험체의 경우를 통해 보강재의 개수가 거동에 미치는 영향을 살펴보았다. 하중비 0.7 P_u 지점에서 SC-L90-BR16-1은 변위 4.71 mm, SC-L90-BR16-2은 변위 6.55 mm, SC-L90-BL40-1은 변위 6.35 mm, SC-L90-BL40-2은 변위 5.51 mm로 보강재의 수가 1개에서 2개로 늘어날 때의 변위는 확실한 경향없이 근소한 차이를 보여 연성적인 거동에 미치는 영향이 미비함을 확인하였다. 하지만 SC-L90-BR16-3와 같이 보강재를 3개 설치할 경우 변위는 9.23 mm로 이전 보강재 1,2개 설치실험체보다 확실히 파괴점까지의 시간과 변형량을 늘리는 효과를 나타내었다. 보강재를 3개 설치할 때 보다 소수의 보강재를 가진 기둥보다 연성적인 거동에 미치는 영향이 비교적 크다고 판단된다. 또한 같은 보강재 개수를 가진 실험체간의 비교를 통해 종류가 미치는 영향을 살펴보면, 철근과 L형강 보강실험체의 확실한 변위관계를 판단하기 어려워 연성적인 거동에 미치는 보강재 종류에 따른 영향은 적은 것으로 판단된다.

5. 최대 압축강도 예측식 검토

yLRC 합성기둥의 축소·실대실험을 통해서 실용화를 위한 첫 번째 단계로서 최대 압축강도에 대한 예측식을 제안하여

표 4. 압축강도 예측값 및 실험결과

실험체	예측값 (kN)	실험값 (kN)	$\frac{P_{0,exp}}{P_{0,pred}}$
	P _{0,pred}	P _{0,exp}	
SC-L90	5570	6249.3	1.12
SC-L90-BR16-1	5570	5809.7	1.04
SC-L90-BR16-2	5570	5601.0	1.01
SC-L90-BR16-3	5570	5982.8	1.07
SC-L90-BL40-1	5570	5632.6	1.01
SC-L90-BL40-2	5570	5578.3	1.00
평균			1.04
표준편차			0.0422

검토중이다. (김형근 등, 2009) 이 연구의 압축강도 값을 사용하여 예측식의 타당성 여부를 검토하고자 한다.

예측식의 제안과정으로서 ANSI/AISC 360-05에서는 콘크리트가 채워진 단주 합성기둥의 파괴하중에 대하여 예측식을 제시하고 있다. 이 식에 yLRC 합성기둥의 조건을 적용하여 최대 압축강도 예측식을 제안하였다.

yLRC 합성기둥의 경우 철근이 없기 때문에 기존 식의 철근 관련항은 생략할 수 있다. 또한 콘크리트 구속효과가 크지 않은 합성기둥에 대한 ANSI/AISC 규정에서 콘크리트관련항의 계수로 0.85를 적용한다. yLRC 합성기둥에서는 콘크리트 충전강관으로서와 같이 콘크리트 구속효과가 크다고 보기 어려워 이를 수용하였다. 또한 세장한 L형강의 국부좌굴로 인한 강재 유효단면적의 감소를 고려하는 계수 α를 도입하여 ANSI/AISC의 규정을 따라 식 (2)-(4)를 통해 산정하였다. 이상에서 설명한 과정을 바탕으로 yLRC 합성기둥 압축강도 식 (1)을 제안하였다.

$$P_o = \alpha A_s F_y + 0.85 A_c f'_c \quad (1)$$

$$b/t \leq 0.45 \sqrt{E/F_y} \quad (2)$$

$$\alpha = 1.0$$

$$0.45 \sqrt{E/F_y} < b/t \leq 0.91 \sqrt{E/F_y} \quad (3)$$

$$\alpha = 1.34 - 0.76(b/t) \sqrt{E/F_y}$$

$$b/t > 0.91 \sqrt{E/F_y} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{0.53E}{F_y(b/t)^2}$$

위의 식에서 A_s는 강재의 단면적, F_y는 강재의 항복강도, A_c는 콘크리트의 단면적, f'_c는 콘크리트의 압축강도, 0.85는 구속효과에 의한 콘크리트 압축강도의 증가를 나타내는 계수이다.

제안식을 이용하여 실험체의 압축강도를 예측한 결과를 표 5에 나타내었다. 간단히 계산과정을 살펴보면 L형강의 폭(b), 두께(t) 수치와 L형강의 탄성계수 205.5 GPa, 항복강도 307.8 MPa를 대입하여 감소계수 α를 0.96으로 산정하였다. 콘크리트의 압축강도와 L형강 총단면적 4844 mm², 콘크리트

의 단면적 236196 mm^2 을 대입하여 예측 압축강도($P_{0,\text{pred}}$)를 계산하였으며 이를 실험값($P_{0,\text{exp}}$)에 대한 비율로 나타내었다. 표에서 볼 수 있듯이 실험체 압축강도 결과와 예측식을 통해 계산된 예측값의 비율은 실험체 평균 1.04이며, 표준편차는 0.042를 나타내고 있다. 평균적으로 약 4%의 오차를 보이면서 대부분의 실험결과가 예측값에 상당히 근사함을 알 수 있다. 전 실험체의 최대하중이 예측값보다 다소 크게 나왔는데 이는 y형강판이 L형강의 국부좌굴을 미소하게나마 지연시킨 결과라 판단된다. 또한 기둥 내측엔 콘크리트를 채워 넣어 강재의 국부좌굴이 기둥 외측의 한 방향으로만 발생하도록 한정시켜 좌굴강도가 다소 상승했다고 볼 수 있다. 예측값에 근사한 전체 실험결과로 볼 때, 제안된 압축강도 예측식은 충분히 적용 가능하다고 판단된다.

6. 결 론

이 연구에서는 기존 yLRC 합성기둥의 연성적인 거동을 확보하기 위한 내부 보강 브레이스 yLRC합성기둥을 제안하고, 이에 대한 중심축하중 실험을 수행하였다. 보강재의 설치유무 · 개수 · 종류를 실험변수로 설정하여 실험을 수행한 결론은 다음과 같다.

- 1) 모든 실험체가 유사한 파괴양상을 나타내었다. 최대하중에 가까운 시점에서 큰 파열음과 함께 콘크리트의 압축 파괴가 발생하였으며, 이와 동시에 L형강의 국부좌굴과 y형강판의 배부름이 관찰되었다. 최대하중 이후에 강도의 감소 및 변위의 증가와 함께 y형강판-L형강 용접부에 파단이 발생하였고, 최종적인 파괴에 이르게 된다.
- 2) 무보강 yLRC 합성기둥은 최대하중 이후 급격하게 강도가 저감하였으며 보강실험체는 하중이 보다 완만하게 감소하였다. 이를 통해 내부 보강재는 최대하중 이후의 효과적인 연성거동을 유도함을 확인할 수 있었다.
- 3) yLRC 합성기둥의 최대압축강도 예측식에 의한 예측값과 실험값을 비교한 결과 평균 오차 4%, 표준편차 0.042의 근사한 값을 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 대진대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

- 오명호, 김평석, 김명환, 김대중, 김상대 (2004) 비조밀 단면을 사용한 SC 합성 기둥의 압축 내력에 관한 실험적 연구, **대한건축학회 논문집 구조계**, 제20권, 제10호.
- 오명호, 이창환, 김명환, 김대중, 김상대 (2005) SC 합성 기둥-철골 보 접합부의 내진성능에 관한 실험적 연구, **대한건축학회 논문집 구조계**, 제21권, 제3호.
- 최성모, 박수희, 박영욱, 김진호 (2005) CFT 각형 기둥-보 합성 반강접 접합부의 이력거동, **대한건축학회 논문집 구조계**, 제21권, 제6호.
- 오명호, 김범래, 김명환, 김대중, 김상대 (2005) 비조밀단면을 가진 SC 합성 기둥의 휨-압축내력에 관한 실험 연구, **한국강구조학회 논문집**, 제17권, 제4호.
- 김보람, 강성덕, 김형근, 김명환, 김상대 (2008), 강재 영구거푸집을 사용한 yLRC 합성기둥의 내화성능 연구, **한국강구조학회 논문집**, 제20권, 제3호.
- 김형근, 김명환, 조남규, 김상섭, 김상대 (2009) yLRC 합성기둥의 압축강도에 관한 실험 연구, **한국강구조학회 논문집**, 제21권, 제5호.
- SSRC (1998) Guide to stability design criteria for metal structures, Wiley, New York.
- Cusson, D., de Larrard, F., Boulay, C. and Paultre, P. (1996) Strain localization in confined high-strength concrete columns, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 9.
- Munoz, P.R. and Hsu, C-T. T. (1997), Behavior of biaxially loaded concrete-encased composite columns, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 9.
- Brian Uy. (2000) Strength of Concrete Filled Steel Box Columns Incorporating Local Buckling, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 3.
- Chicoine, T., Tremblay, R., Massicotte, B., Ricles, J. M. and Lu, L. W. (2002) Behavior and strength of partially encased composite columns with built-up shapes, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 3.
- Kenji Sakino, Hiroyuki Nakahara, Shosuke Morino, Isao Nishiyama (2004), Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 130, No. 2.
- ANSI/AISC 360-05 (2005) Specification for Structural Steel Design.

◎ 논문접수일 : 11년 10월 24일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 10월 26일
 ◎ 심사완료일 : 11년 11월 01일