

# 4면 중앙에 H형강으로 보강한 강-콘크리트 합성기둥 S-LFC의 압축강도에 대한 실험적 평가

이경구<sup>1</sup> · 김대희<sup>2</sup> · 전성범<sup>3</sup> · 노현섭<sup>4</sup> · 허우영<sup>5</sup> · 천성철<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>교수, 단국대학교, 건축공학과, <sup>2</sup>박사과정, 단국대학교, 건축공학과, <sup>3</sup>사원, CNP동양, 설계1본부,  
<sup>4</sup>그룹장, 삼성물산, 구조기술그룹, <sup>5</sup>프로, 삼성물산, 구조기술그룹, <sup>6</sup>교수, 인천대학교, 도시건축학부

## Experimental Evaluation of Compressive Strength of Steel-Concrete Composite Column S-LFC Reinforced with H-Shapes in the Center of All Four Sides

Lee, Kyungkoo<sup>1\*</sup>, Kim, Daehee<sup>2</sup>, Jeon, Seongbeom<sup>3</sup>,  
Noh, Hyunsup<sup>4</sup>, Heo, Wooyoung<sup>5</sup>, Chun, Sungchul<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16980, Korea

<sup>2</sup>Ph.D. Candidate, Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16980, Korea

<sup>3</sup>Engineer, Structural Design Division 1, CNP Dongyang, Seoul, 05836, Korea

<sup>4</sup>Professional(Group Leader), Construction Method Team (Structure Tech. Group), Semi-conductor Infra-structure Lab.,  
Samsung C&T, Seoul, 05288, Korea

<sup>5</sup>Professional, Construction Method Team (Structure Tech. Group), Semi-conductor Infra-structure Lab.,  
Samsung C&T, Seoul, 05288, Korea

<sup>6</sup>Professor, Division of Architecture & Urban Design, Incheon National University, Incheon, 22012, Korea

**Abstract** - Steel-concrete composite column (S-LFC, Safety Light Form Integrated Column) was developed for buildings such as semiconductor factories that have high floor heights and large spans. In order to install the formwork steel plates easily, S-LFC has a cross section in which H-shapes are placed in the centers of all four sides and longitudinal rebars are placed in the corners. In addition, octagonal hoops and U-shaped hoops were placed as transverse reinforcements. In this study, the concentrated axial load tests were performed to evaluate the effects of H-shape reinforcements and hoop shapes. The experimental results showed that the compressive capacity of S-LFC is similar to that of RC column and S-LFC develops a maximum compressive strength in KDS 41 40 10.

**Keywords** - Composite column, H-shape steel, U-shaped hoop, Compressive test, Compressive strength

### 1. 서론

반도체 공장과 같이 층고가 높고 스패인이 크며 바닥 진동 제어를 위해 높은 강성이 요구되는 건축물의 기

둥으로 Fig. 1의 S-LFC(Safety Light Form Integrated Column) 합성기둥이 개발되었다. 공기단축을 통한 빠른 생산시설 구축이 요구되는 반도체 공장에 적용하기 위해, S-LFC 기둥단면은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

먼저, 기둥 철근망의 자립을 통한 시공 안전성 확보와 콘크리트 측압에 저항하는 거푸집용 강판의 용이한 설치를 위해 4면의 중앙에 길이방향으로 H형강을 배치하였다. 또한 H형강의 횡지지와 자립성 확보를 위해 일정 간격으로 수평 H형강을 + 형태로 설치하였다. 기둥 기본 단면 치수는 1,600 mm × 1,600 mm로 계획하

Note.-Discussion open until April 30, 2024. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on September 18, 2023; revised on October 05, 2023; approved on October 05, 2023.

Copyright © 2023 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-32-835-8984 Fax. +82-32-835-0776

E-mail. scchun@inu.ac.kr

였는데, 보조띠철근과 H형강의 간섭을 배제하고, 큰 단면을 가로지르는 보조띠철근의 시공성 향상을 위하여 횡보강철근을 Fig. 1과 같이 팔각형 폐쇄형 띠철근과 네 모서리에 U형 띠철근으로 구성하였다. 최종 단면은 Fig. 1에 PL-7t로 표기된 거푸집용 강판이 4면 중앙에 위치한 H형강과 T형강을 통해 용접된 형상을 가진다. 이는 거푸집 탈형이 필요치 않아 보다 빠른 시공이 가능하며, 높이 20 m 이상의 기둥에도 1일 타설이 가능하다는 장점이 있다.

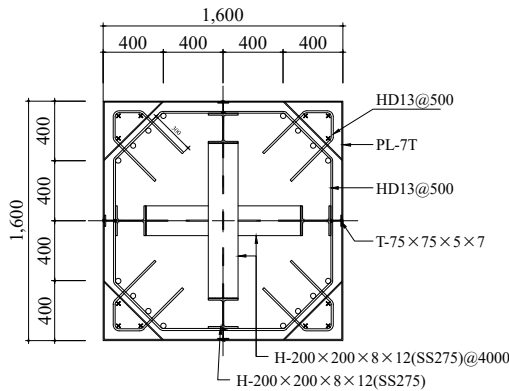


Fig. 1. S-LFC section details

국내에서는 다양한 형상의 충전형 합성기둥에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으나<sup>[1]-[3]</sup>, 단면 중앙에 H형강을 가진 전형적인 매입형 합성기둥과 달리 작은 강재를 콘크리트에 매입한 합성기둥에 대한 연구는 미흡하다. 철근 없이  $\gamma$ 형강만을 매입하고 고강도 강재를 적용한 합성기둥<sup>[4]</sup>과 달리, S-LFC는 H형강이 외곽 철근 일부를 대체하므로 강재비가 작고, H형강을 통해 시공 시 장주의 자립성을 확보할 수 있다.

강합성구조 설계에 적용하는 KDS 41 30 20 강합성구조 설계기준<sup>[5]</sup>은 단면에서 최소 강재비로 1%를 규정한다. S-LFC 기둥에서 H형강은 시공성 향상이 주목적이기 때문에, 강재비가 높지 않다. 2022년 처음 제정된 KDS 41 40 10 건축물 강-콘크리트합성구조 설계기준<sup>[6]</sup>은 강재 기여도가 작아서 콘크리트구조에 가까운 합성구조를 적용 대상으로 한다. 이 연구에서는 새롭게 개발된 S-LFC 기둥의 중심압축강도 실험을 통해, 철근 콘크리트 기둥과 중심압축강도를 비교하고, KDS 41 40 10<sup>[6]</sup>에 따른 최대 설계압축강도의 안전율을 확인하며, 모서리에 설치된 U형 띠철근의 횡구속효과를 검증하고자 한다.

## 2. S-LFC의 설계

### 2.1 단면 설계

S-LFC기둥의 기본 단면은 Fig. 1과 같이 1,600 mm × 1,600 mm 정사각형이고, 콘크리트 설계기준압축강도는 45 MPa로 계획한다. 주철근은 SD500 D35철근 16가닥을 기본으로, 네 모서리에 U형 띠철근으로 감싸는 3가닥씩 총 12가닥도 SD500 D35철근으로 구성된다. 4면 가운데에 주철근과 나란하게 SS275 H-200×200×8×12 형강을 배치하는데, 길이방향 4 m 간격으로 동일 단면 H형강을 + 형태로 용접하여 강재의 횡지지와 시공 중 안정성을 확보한다. H형강 바깥쪽 플랜지에 용접되는 T-75×75×5×7 형강은 거푸집용 강판 7t의 지지를 위해 설치하는데, 이 T형강과 7t 강판은 강도 산정에서 제외한다.

D35 28가닥 주철근의 철근비는 1.05%이고, 4개 H형강의 강재비는 0.993%이다. H형강과 주철근의 설계기준항복강도가 다르기 때문에, H형강의 강재비에 (H형강 설계기준 항복강도)/(주철근 설계기준 항복강도) 비를 곱하여 H형강을 철근으로 환산한 강재비는 0.546%이고, 전체 철근비는 1.59%가 된다.

횡보강철근은 SD400 D13철근으로 Fig. 1에 나타난 바와 같이 8각형 폐쇄형 띠철근과 네 모서리에 U형 띠철근으로 구성한다. 135° 이하로 구부린 띠철근의 모서리에 의해 횡지지된 주철근과 순간격 150 mm 이상 떨어진 주철근이 없도록 단면을 설계한다. 띠철근의 수직 간격은 KDS 14 20 50(4.4.2-(3)-②)<sup>[7]</sup>에 규정된 축방향 철근지름의 16배인 560 mm와 띠철근지름의 48배인 624 mm, 그리고 KDS 41 20 00: 2022(4.3.1-(1)-①)에서 제시하는 최소 단면 치수의 1/2인 800 mm 등 세 가지 규격보다 작은 수치인 500 mm로 설계한다.

U형 띠철근은 부재 전체 단면을 가로지르지 않더라도 횡지지하는 주철근에서부터 적절한 정착길이를 확보하면, 주철근의 좌굴방지 및 심부 콘크리트의 횡구속 성능을 발현하는 것으로 보고되었다<sup>[8]</sup>. S-LFC 단면에서는 횡지지하는 D35 주철근에서 직선 정착길이만큼 기둥 내부로 정착하였다. U형 띠철근으로 사용되는 SD400 D13의 직선정착길이  $l_d$ 를 식 (1)과 같이 산정하였다.

$$l_d = \frac{0.9f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}} \left( \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)} \alpha \beta \gamma \quad (1)$$

$$= \frac{0.9(400)(13)}{\sqrt{45}(2.5)} (1.3)(1)(0.8) = 290 \text{ mm}$$

여기서,  $f_y$ 와  $d_b$ 는 철근의 설계기준항복강도와 지름이고,  $c$ 는 철근간격 또는 피복 두께에 관련된 치수이며,  $K_{tr}$ 은 횡방향 철근지수이고,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 는 각각 철근배치 위치계수, 도막계수, 철근 크기계수로 자세한 사항은 KDS 14 20 52(4.1.2)<sup>[9]</sup>를 참고한다.

### 2.2 중심압축강도

장주효과를 고려하지 않아도 되는 짧은 기둥의 최대 중심압축강도  $P_o$ 는 식 (2)로 산정한다. 콘크리트 설계기준압축강도  $f_{ck}$  앞의 0.85는 장기하중의 영향을 고려한 저감으로, 실험에서 0.85의 적용은 적합하지 않다. 그러나 철근과 강재, 콘크리트의 설계기준강도가 발현되는 축방향 변형률이 다르고, 특히 철근과 강재가 설계기준 항복강도를 발현할 때까지 콘크리트가 설계기준 압축강도를 유지할 수 없기 때문에 식 (2)를 중심압축실험의 목표 강도로 정하였다.

$$P_o = F_y A_s + f_{yr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (2)$$

설계에서 사용하는 최대 설계축강도로 KDS 14 20 20(4.1.2-(7))<sup>[10]</sup>에서 식 (3)을 규정한다. 강도감소계수  $\phi = 0.65$  외에, 해석에서 예측하지 못한 편심에 대비하여 띠철근 기둥의 경우 0.8을 곱한다. 2022년 처음 제정된 KDS 41 40 10 건축물 강-콘크리트 합성구조 설

계기준(4.3.4.1-(3))에서는 최대 설계압축강도를 식 (4)로 산정한다. KDS 41 40 10<sup>[6]</sup>은 KDS 14 20 20<sup>[10]</sup>과 달리 콘크리트·철근·강재에 각각 다른 재료설계강도계수  $\phi$ 를 적용하는데, 식 (3)에 비해 강재와 철근의 재료설계강도계수가 높기 때문에 동일 단면에서 식 (3)보다 높은 최대 설계압축강도를 갖는다.

$$\phi P_{n,max} = \phi(0.8)P_o = 0.65 [0.8(F_y A_s + f_{yr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c)] \quad (3)$$

$$P_{d,max} = 0.8(\phi_s F_y A_s + \phi_r f_{yr} A_{sr} + \phi_c 0.85 f_{ck} A_c) = 0.8(0.9 F_y A_s + 0.9 f_{yr} A_{sr} + 0.65(0.85) f_{ck} A_c) \quad (4)$$

여기서,  $F_y$ 와  $f_{yr}$ 는 각각 강재와 철근의 설계기준 항복강도,  $A_s$ 와  $A_{sr}$ 은 각각 강재와 철근의 단면적,  $A_c$ 는 콘크리트의 단면적으로 전체 기둥 단면적  $A_g$ 에서 철근과 강재의 단면적을 뺀 값이다.

## 3. S-LFC 중심압축실험 계획

### 3.1 실험변수와 실험체 설계

실험목적인 철근콘크리트 기둥과 S-LFC 기둥의 비교, U형 띠철근의 성능 검증을 위하여, Table 1과 같이 4종류의 실험체를 계획하고 실험체 상세를 Fig. 2에 나타냈다. 실험체 이름 ‘C-①580-U②-③’에서 C는 중심압축 실험체, ①의 RC와 S-LFC는 각각 철근콘크리트 기둥과 S-LFC 기둥, 580은 단면 치수(mm), U②는 U형 띠철근의 수직 간격(mm), ③의 1과 2는 동일 실험체를 의미한다.

Table 1. Test matrix

Specimen *	Steel	Longitudinal reinforcing bar	Transverse reinforcing bar	
			Closed bar	Additional bar
C-RC580	-	SD500 20-D13+ SD500 8-D16	□-SD400 D10 @200	3-crosstie SD400 D10 @200 each direction
C-RC580-U200			○-SD400 D10 @200	
C-S-LFC580-U200-1	U-SD400 D10 @200 each corner			
C-S-LFC580-U200-2				
C-S-LFC580-U100		U-SD400 D10 @100 each corner		

\*C: centrally compressed, RC: reinforced concrete column, S-LFC: S-LFC column, 580: size of section (unit: mm), U100 and U200: 100 mm or 200 mm vertical interval of U-shaped hoops, 1 and 2: specimens with identical specifications

4면 중앙에 H형강으로 보강한 강-콘크리트 합성기둥 S-LFC의 압축강도에 대한 실험적 평가

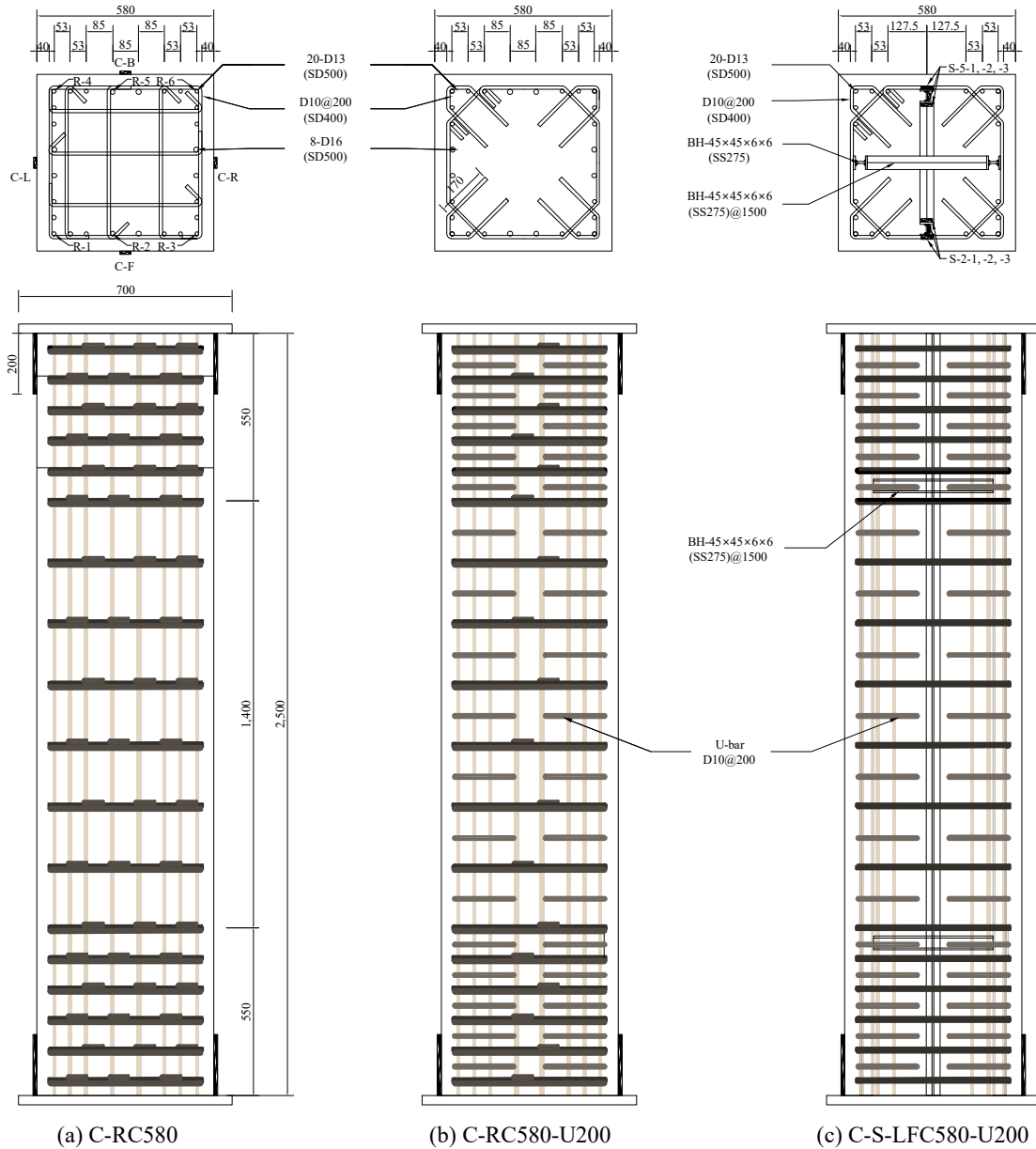


Fig. 2. Details of specimens

가력기의 용량을 고려하여 콘크리트 설계기준압축강도는 40 MPa로 계획하였고, 단면 치수는 실제 규모의 1/3 정도로 축소한 580 mm × 580 mm 정사각형이며 실험체 길이는 2,500 mm이다. 실험체는 축소 단면이지만, 2.1절에 설명한 설계기준을 모두 준수하였다.

철근콘크리트 기둥과 S-LFC 기둥의 (철근비) + (강재를 철근으로 환산한 강재비)가 유사하도록 계획하였다. 기본 주철근으로 네 모서리에 각각 SD500 D13 5가닥씩 총 20가닥이 모든 실험체에 배근되고, 철근비는 0.753%이다. 철근콘크리트 기둥은 4면 가운데에 각각

SD500 D16 2가닥씩 총 8가닥(철근비 0.472%)을 추가 배근하여 총 철근비가 1.23%이다. S-LFC 기둥은 추가 주철근과 거의 동등한 압축강도를 갖도록 SS275 BH-45×45×6×6을 4면 가운데에 배치하여 철근으로 환산한 강재비가 0.483%이고, 총 철근비는 1.24%이다. 길이방향 1.5 m 간격으로 동일 단면 BH를 + 형태로 용접하였다.

모든 실험체의 횡보강철근은 SD400 D10을 사용하였고, 수직 간격은 200 mm을 기본으로 한다. 각 실험체별 횡보강철근 특성은 다음과 같다.

- C-RC580 실험체는 Fig. 2(a)와 같이 사각 폐쇄형 띠철근과 가로, 세로 방향 3가닥의 보조 띠철근을 배치하였다.
- C-RC580-U200 실험체는 Fig. 2(b)와 같이 팔각 폐쇄형 띠철근과 네 모서리에 U형 띠철근으로 주철근을 횡지지하였다.
- C-S-LFC580-U200-1과 C-S-LFC580-U200-2 실험체는 Fig. 2(c)와 같이 C-RC580-U200과 동일한 횡보강철근을 가진다. 2.1절에 따른 S-LFC 기둥 설계의 대표 단면으로 동일 실험체를 2개 제작하였다.
- C-S-LFC580-U100 실험체는 C-S-LFC580-U200 실험체에서 U형 띠철근만 100 mm로 변경하여 U형 띠철근 간격에 따른 추가 횡구속효과를 평가한 실험체이다.

SD400 D10 U형 띠철근의 직선정착길이  $l_d$ 는 223 mm이지만, 단면 치수가 충분하지 않아 0.75배로 축소한 170 mm로 설계하였다. U형 띠철근이 횡지지하는 주철근의 지름 13 mm에 비해 띠철근의 지름이 충분하기 때문에 축소된 정착길이로도 충분한 횡지지 성능을 발현할 것으로 기대하였다.

실험체 상하부의 편심 또는 응력 집중에 의한 조기 파괴를 방지하기 위하여, 상하부 550 mm 구간에 횡보강철근 간격을 1/2로 줄여 배근하고, 200 mm 높이에 두께 12 mm 강판을 감쌌다. 하중이 직접 작용하는 실험체 상하 마구리에는 두께 30 mm 강판을 설치하고, BH 강재와 주철근에 직접 압축력이 가해질 수 있도록 BH 강재는 마구리 강판에 직접 용접하며 주철근은 끝에 나사를 가공하여 커플러와 연결하고 커플러를 강판에 용접하였다.

### 3.2 가력 및 계측 계획

20,000 kN 용량의 만능재료시험기를 사용하여 중심 압축하중을 1 mm/min 속도로 가하였다. 이때 가력기의 중심과 실험체 중심이 일치하도록 배치하여 편심을 최소화하였다.

가력된 하중은 만능재료시험기에 내장된 하중계로 계측하고, 실험체 4면에서 실험체 전체 길이를 표점거리로 하여 변위계를 설치하여 축방향 변형을 측정하였다. 실험체 가운데 높이에서 콘크리트와 철근, 강재의 변형률을 Fig. 2에 표시된 위치에서 계측하였다. 모든 실험체에서 콘크리트 변형률은 4면 가운데에서 측정하였다.

철근 변형률은 Fig. 2(a)에 (R-1)~(R-6)로 표시된 6가닥의 철근에서 계측하였는데, 철근 휨에 의한 변형을 왜곡을 방지하기 위하여 동일 위치에서 마주보는 곳에 게이지 2개를 부착하였다. S-LFC 기둥에서는 4개 BH 강재 중 (R-2)와 (R-5) 위치에 있는 BH 강재의 플랜지와 웨브 변형률을 측정하였다.

## 4. S-LFC 중심압축실험 결과

### 4.1 재료시험 결과

실험체 제작에 사용된 콘크리트와 철근, 강재의 재료시험에서 얻은 응력-변형률 곡선을 Fig. 3에 나타냈다. 실험일 콘크리트 압축강도는 42.0 MPa이었고, 평균 2,250  $\mu\text{mm}/\text{mm}$  변형률에서 최대 강도에 도달하였다. 인장시험에서 측정된 철근과 강재의 항복강도·인장강도·연신율을 Table 2에 정리하였으며, 측정값들은 모든 KS 표준<sup>[11],[12]</sup>을 만족하였다.

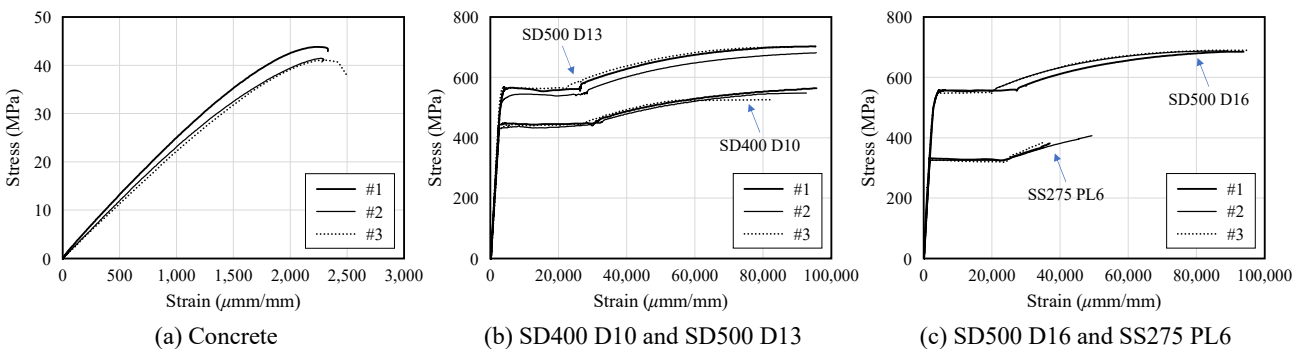


Fig. 3. Stress-strain relations of materials

#### 4.2 파괴양상

모든 실험체는 최대 하중에 이를 때 피복 콘크리트가 탈락하면서 급격한 하중 감소와 함께 파괴되었다. 파괴 전까지 육안으로 아무런 징후가 관찰되지 않았으며, 중심압축실험의 취성적인 파괴 특성을 고려하여 가력 중 근접 관찰하지는 않았다. Fig. 4는 파괴 후 실험체의 정면 사진으로, C-RC580과 C-RC580-U200, C-S-LFC580-U200-2는 최대 하중에 도달한 순간 큰 폭 발음과 함께 순간적으로 넓은 면적의 피복 콘크리트가 탈락되었다. C-S-LFC580-U200-1과 C-S-LFC580-U100 실험체는 다른 실험체에 비해 작은 소리가 발생하며 파괴되었고 콘크리트 탈락 면적도 작았다.

#### 4.3 하중-변형 관계와 중심압축강도

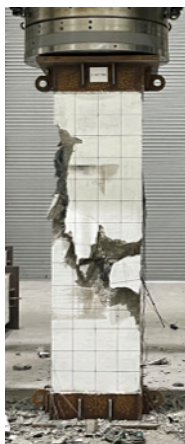
실험체 4면에서 측정한 축방향 변형의 평균을 Fig. 5에 나타냈다. 모든 실험체는 거의 유사한 하중-변형 관계를 보였으며, 특히 철근콘크리트 기둥과 S-LFC 기둥

간에 특별한 차이는 없었다. 같은 횡방향 철근을 갖는 C-RC580-U-200과 C-S-LFC580-U200 중 후자의 축방향 변형이 작지만 유의미한 차이는 아니다. 또한 U형 띠철근의 수직 간격을 1/2로 줄인 C-S-LFC580-U100은 C-S-LFC580-U200과 거의 동일한 하중-변형 관계를 보였으므로, U형 띠철근의 수직 간격에 관한 KDS 14 20 50(4.4.2-(3)-②)<sup>[7]</sup> 규정만 준수하면 동일한 성능이 발현됨을 알 수 있다.

실험체별 최대 하중  $P_e$ , 재료시험에서 측정한 강도를 식 (2)에 대입한 최대 중심압축강도  $P_o$ 와, 식 (3) 및 식 (4)에 대입한 설계강도  $P_d$ , 그리고 최대 하중에서의 변형률  $\delta_o$ 를 Table 3에 정리하였다. 실험체별 최대 하중  $P_e$ 는 최대 중심압축강도  $P_o$ 와  $\pm 5\%$  차이로, 실험체 제작과정과 실험체 설치 오차를 고려하면 모든 실험체의 최대 중심압축강도가 충분히 발현되었다고 판단된다. 실구조물 설계에서는 강도감소계수 외에 예측하지 못한 편심을 고려한 추가 저감계수로 0.8을 띠철근 기둥에 적용한다. 철근콘크리트 기둥과 S-LFC 기둥 실험

**Table 2.** Tensile test results of reinforcing bars and steel plate

Specimen		Yield strength (MPa)		Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
		Test	KS	Test	KS	Test	KS
Reinforcing bars	SD400 D10	432.9	400-520	577.0	$\geq 497.8$	18.7	$\geq 16$
	SD500 D13	556.7	500-650	698.0	$\geq 601.2$	15.0	$\geq 12$
Steel plate	SD500 D16	551.4		692.4	$\geq 601.2$	16.7	$\geq 12$
	SS275 PL6	324.8	$\geq 275$	-	410-550	37.0	$\geq 18$



(a) C-RC580



(b) C-RC580-U200



(c) C-S-LFC580-U200-1



(d) C-S-LFC580-U200-2



(e) C-S-LFC580-U100

**Fig. 4.** Specimen failures

체의 최대 하중을 각각 식 (3)과 식 (4)로 산정한 설계 강도로 나눈 값은 1.72 이상으로, 실험에서 계측된 최대 하중은 설계강도에 비해 충분히 높은 강도를 가짐을 알 수 있다.

최대 하중에서의 축방향 변형  $\delta_{co}$ 를 전체 실험체 길이 2,500 mm로 나눈 변형률은 최소 2,112  $\mu\text{mm}/\text{mm}$ 에서 최대 3,032  $\mu\text{mm}/\text{mm}$ 이고 평균은 2,469  $\mu\text{mm}/\text{mm}$ 로 나타났다. 콘크리트의 최대 응력에서의 변형률  $\epsilon_{\infty} = 2,250 \mu\text{mm}/\text{mm}$ 보다 약간 높은 변형률에서 최대 하중에 도달하였다.

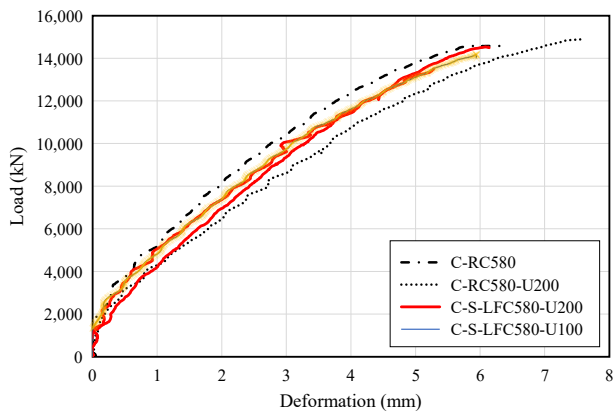


Fig. 5. Load-deformation relations

4.4 하중-변형률 관계

콘크리트와 철근, 강재에서 계측된 변형률을 Fig. 6에 나타냈다(변형률 계측 위치는 3.2절과 Fig. 2 참조). 그래프에 수직 점선으로 표시한 변형률은 재료시험에서 얻은 콘크리트의 최대 응력과, 철근 및 강재의 항복 응력에서의 변형률인  $\epsilon_{\infty}$  또는  $\epsilon_y$ 를 나타낸다.

C-RC580 실험체의 4면에서 계측된 콘크리트 변형

률은 1면을 제외하고 모두 최대하중에서  $\epsilon_{\infty}$ 를 상회하였다. 6가닥 철근의 변형률은 동일 하중에서 유사하였는데, 최대 하중에서 2가닥 철근(R-1, R-4)만 항복변형률보다 높고 나머지 4가닥 철근은 항복변형률보다 약간 낮았다. 변형률 게이지의 계측 오차와 위치별 편차를 고려하면 철근이 압축항복한 직후에 압축파괴되었다고 판단된다. 철근의 압축변형률은 콘크리트의 최대 응력에서 변형률  $\epsilon_{\infty}$ 의 1.24배이므로, 철근이 압축항복할 때 콘크리트는 최대 응력점을 지나 응력이 감소한다. (최대 하중  $P_e$ )/(최대 중심압축강도  $P_o$ ) = 1.03으로 최대 중심압축강도가 잘 발휘되었다.

최대 하중에서 C-RC580-U200 기둥의 콘크리트 변형률은 C-RC580과 동일하게 3면의 값이  $\epsilon_{\infty}$ 를 상회하였다. 변형률 게이지를 부착한 6가닥 철근 모두 최대 하중에서 항복변형률을 충분히 상회하였다. 주철근이 모두 압축항복하여 중심압축강도가 높게 발휘되었기 때문에, 주철근 배근이 동일한 C-RC580보다 최대 하중이 높았다. (최대 하중  $P_e$ )/(최대 중심압축강도  $P_o$ ) = 1.05으로 5개 실험체 중 가장 높았다. C-RC580-U200 기둥의 횡보강철근인(팔각 폐쇄형 띠철근 + U형 띠철근)의 압축 주철근 좌굴방지 및 콘크리트 횡구속 효과는 KDS 14 20 50(4.4.2-(3)-③)에 따른 (사각 폐쇄형 띠철근 + 보조 띠철근)과 동등하게 발휘되었다.

C-S-LFC580-U200-1 기둥은 4면 중 후면에서 계측된 콘크리트 변형률만 최대 하중에서  $\epsilon_{\infty}$ 보다 크고, 3면의 콘크리트 변형률은  $\epsilon_{\infty}$ 보다 낮았다. 변형률을 측정할 4가닥 철근 중 2가닥만 최대하중에서 항복변형률에 도달하였다. 후면 강재(S-5)가 전면 강재(S-2)보다 낮은 하중에서부터 변형률이 컸으며, 9,500 kN에서 후면 강재 플랜지의 변형률이 항복변형률을 상회하기 시작했다

Table 3. Comparison of bar stresses between tests and predictions of unconfined specimens

Specimen	$P_o$ (kN)	$\phi P_{n,max}$ (kN)	$P_{d,max}$ (kN)	$P_e$ (kN)	$P_e/P_o$	$P_e/P_d$	$\delta_{co}$ (mm)
C-RC580	14,149	7,358	7,815	14,605	1.03	1.99	5.978
C-RC580-U200				14,898	1.05	2.02	7.579
C-S-LFC580-U200-1	14,183	7,375	7,849	13,518	0.95	1.72	5.281
C-S-LFC580-U200-2				14,550	1.03	1.85	6.081
C-S-LFC580-U100				14,184	1.00	1.81	5.939

$P_e$  and  $P_d$  are the measured maximum load and design strength, respectively. For reinforced concrete columns and S-LFC columns, the values of  $\phi P_{n,max}$  calculated by Eq. (3) and  $P_{d,max}$  calculated by Eq. (4) are used as  $P_d$ , respectively.  $\delta_{co}$  is the axial deformation at  $P_e$ .

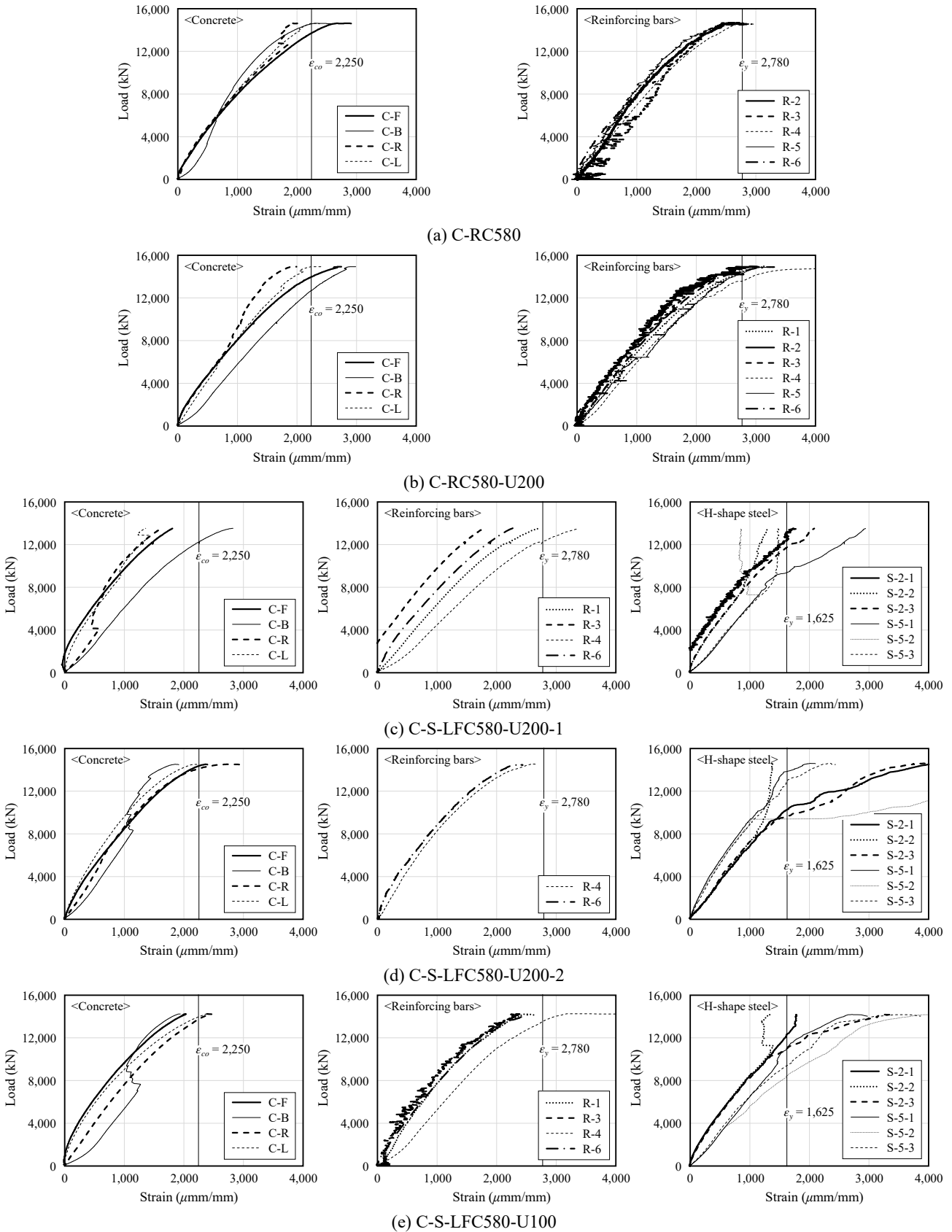


Fig. 6. Bar load vs. strain of steel tube relations



다. 다른 기둥에 비해 변형률 사이 편차가 크고, 5개 실험체 중 (최대 하중  $P_e$ )/(최대 중심압축강도  $P_o$ ) 비가 가장 낮는데, 실험에서 편심이 작용한 것으로 판단된다.

동일한 실험체인 C-S-LFC580-U200-2 기둥은 C-S-LFC580-U200-1 실험체와 달리 변형률 사이의 차이가 크지 않았다. 콘크리트 변형률은 1개만 최대 하중에서  $\epsilon_{\infty}$ 에 도달하지 못했고, 강재별 평균 변형률은 최대 하중에서 항복변형률을 크게 상회하였다. 철근 변형률은 최대 하중에서 항복변형률에 도달하지 못하였다. 그러나 실험체 제작과정에서 철근에 부착된 변형률 게이지 (R-1)과 (R-3)이 손상되었는데, 콘크리트와 강재 변형률 중 전면 위치의 변형률이 상대적으로 높은 점으로 보아, 손실된 (R-1)과 (R-3) 철근 변형률도 최대 하중에서 항복변형률을 상회하였으리라 추정된다. (최대 하중  $P_e$ )/(최대 중심압축강도  $P_o$ ) = 1.03으로 압축강도 발현에 기여하는 모든 구조재료가 충분히 자신의 강도를 발현한 후 압축파괴 되었다.

U형 띠철근 간격을 1/2로 줄인 C-S-LFC580-U100 기둥은 4면의 콘크리트 변형률 중 2면이  $\epsilon_{\infty}$ 를 상회하였지만, 강재별 평균 변형률은 최대 하중에서 항복변형률을 크게 상회하였다. 변형률을 측정한 4가닥 철근 중 1가닥은 항복변형률을 크게 상회하였다. 변형률 사이 차이가 있어 약간의 편심이 작용하였지만, (최대 하중  $P_e$ )/(최대 중심압축강도  $P_o$ ) = 1.00으로 구조재료가 설계강도를 충분히 발현하였다. U형 띠철근의 간격을 KDS 14 20 50(4.4.2-(3)-②) 규정보다 더 좁게 배근하여도 추가적인 횡구속효과가 발현되지는 않았다.

## 5. 결론

층고가 높고 스패인이 크며 바닥진동 제어를 위해 높은 강성이 요구되는 건축물의 기둥으로, 4면 가운데에 H형강을 설치하고 네 모서리에 U형 띠철근을 배근한 합성기둥 S-LFC가 개발되었다. S-LFC 기둥과 철근콘크리트 기둥의 중심압축강도 비교와 U형 띠철근의 횡구속효과 검증, KDS 41 40 10 건축물 강-콘크리트 합성구조 설계기준에 따른 최대 설계압축강도와 비교를 목적으로, 정사각형 단면 580 mm × 580 mm, 높이 2,500 mm 기둥 5개를 제작하여 중심압축실험을 실시하였다. 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 중심 압축을 받는 철근콘크리트기둥에서, 팔각 띠철근과 네 모서리에 U형 띠철근은 주철근과 심부콘크리트를 효과적으로 횡구속하여 KDS 14 20 50(4.4.2-(3))에 따른 횡보강철근과 동등한 성능을 발현하였다.
- (2) 4면 가운데 철근을 H형강으로 대체하고 팔각 띠철근과 네 모서리에 U형 띠철근을 KDS 14 20 50(4.4.2-(3)-②)의 수직간격에 따라 배근한 S-LFC 기둥은 KDS 14 20 20과 KDS 41 40 10의 최대 축강도를 발현하였다.
- (3) 네 모서리 U형 띠철근의 수직간격을 KDS 14 20 50(4.4.2-(3)-②)에서 허용하는 최대 수직간격  $s_v$ 로 배근한 기둥과  $s_v/2$ 으로 촘촘하게 배근한 기둥의 중심 압축 성능을 비교한 결과, 강도와 변형능력, 파괴유형이 동등하였다. KDS 14 20 50 (4.4.2-(3)-②)의 수직간격은 모서리에 배치된 U형 띠철근에 동일하게 적용할 수 있음을 확인하였다.

## 감사의 글

이 연구는 삼성물산의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌(References)

- [1] Kim, J.W., Kim, D.H., and Lee, K.K. (2022) Seismic Performance Evaluation of Connection with New Inner Diaphragm Between Steel Composite Column (POSCO-Column) and Built-up H-Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.34, No.6, pp.401-410 (in Korean).
- [2] Kim, J.W., Kim, D.H., Lee, K.K., Byeon, T.W., and Kim, Y.K. (2023) Seismic Performance Evaluation of the Connection Between a CFT Column (S-Column) and a Hybrid Composite Beam (S-Beam), *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.207-208 (in Korean).
- [3] Kim, S.H., Yom, K.S., and Choi, S.M. (2013) A Study on the Load Carrying Capacity and Deformation Capacity of the Internal Anchors Welded Cold Formed Concrete Filled Columns, *Journal of Korean*

- Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.4, pp.347-357 (in Korean).
- [4] Eom, T.S., Kim, J.W., and Yang, J.M. (2019) Axial Compression Behavior of Concrete-Encased Steel Angle Columns Using High-Strength Steel, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 31, No.6, pp.381-392 (in Korean).
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2022) *Design Standard for Steel Composite Structure* (KDS 41 30 20: 2022), Korea, p.40 (in Korean).
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2022) *Design Standard for Steel-Concrete Composite Structures* (KDS 41 40 10: 2022), Korea, p.26 (in Korean).
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021) *Detailed Design Standard for Concrete Structure Reinforcement* (KDS 14 20 50: 2021), Korea (in Korean).
- [8] Hwang, S.-H., Yang, K.-H., Sim, J.-I., and Choi, Y.-S. (2020) Evaluation on the Structural Performance of Reinforced Concrete Columns with Supplementary Prefabricated V-Ties, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.32, No.3, pp.225-232 (in Korean).
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021) *Design Standard for Development and Splices of Concrete Structure Reinforcement* (KDS 14 20 52: 2021), Korea (in Korean).
- [10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021) *Design Standard for Flexure and Compression of Concrete Structure* (KDS 14 20 20: 2021), Korea, pp.8-9 (in Korean).
- [11] Korean Agency for Technology and Standards (2018) *Rolled Steels for General Structure* (KS D 3503: 2018), Korea (in Korean).
- [12] Korean Agency for Technology and Standards (2021) *Steel Bars for Concrete Reinforcement* (KS D 3504: 2021), Korea (in Korean).

---

**요 약**: 반도체 공장과 같이 층고가 높고 스패이 큰 건축물을 위하여 강-콘크리트 합성기둥(S-LFC)이 개발되었다. S-LFC는 거푸집용 강관의 용이한 설치를 위하여 사각형 단면 4면의 중앙에 H형강을 배치하고, 모서리부에 길이방향 철근을 배치한 단면을 갖는다. 또한 횡보강철근으로 팔각형 띠철근과 U형 띠철근을 배근하였다. 이 연구에서는 H형강과 띠철근 형상의 효과를 평가하기 위하여 중심압축강도실험을 수행하였다. 실험 결과, S-LFC의 압축성능이 철근콘크리트 기둥의 압축성능과 유사하고, KDS 41 40 10의 최대 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다.

**핵심용어**: 합성기둥, H형강, U형 띠철근, 압축실험, 압축강도

---