

# 폐쇄형 후프의 시공성을 개선하기 위해 강재 클립형 연결장치로 보강한 대체후프를 갖는 SRC기둥의 내진거동

## Seismic Behavior of SRC Columns with Alternative Hoops by Steel Clip-Type Devices to Improve Constructability of Closed Hoops

김 용 주\*  
Kim, Young-joo

최 병 정\*\*  
Choi, Byong-Jeong

### Abstract

In SRC column, the closed hoops are applied with the same detail of both 135° standard hooks to expect the same performance as hoops of RC columns. This standard detail is actually complicated to construct, thus, two separating rebars are connected in the form of a square shape and welded over the overlapping section. But this is also complicated in construction practice. Therefore, this study describes experimental results regarding cyclic behaviors shown with alternative hoops cramped by the steel clip type-binding device instead of welding and standard specimen. As a result of the experiment, the specimens with alternative hoops of the SRC column showed comparable performance to the specimens with closed hoops. Therefore, it can be evaluated that the alternative hoops applied with the rebar confinement clips in the SRC column can replace the closed hoop.

**Keywords :** SRC column, Closed hoop, 135° Standard hook, Alternative hoop, Steel clip-type devices, Cyclic behavior

## 1. 서론

SRC기둥에서 폐쇄형 후프철근은 철근콘크리트(RC) 기둥에서와 같이 심부 콘크리트 구속, 주근 좌굴 억제 및 전단 저항능력 증대에 따른 연성 향상에 중요한 역할을 한다.

그러므로, SRC기둥에서 외부띠철근(Hoops) 갈고리는 그 길이가 띠철근 직경의 6배( $6d_b$ )와 최소 75mm 이상 연장하도록 하고 양 끝단을 135° 구부려 교차하도록 규정하고 있는 철근콘크리트 기둥의 폐쇄형 후프철근 기준(KDS 14 20 50 : 2021)을 동일하게 적용하고 있다. 그러나, 지상구조물의 SRC기둥이나 지하구조물의 역타공법의 SRC기둥 모두 이미 심부의 강재(H-형강 등)가 설치

될 경우 상부 위치에 브라켓이 설치가 되어 있거나 완성된 강재보로 인해 위에서 폐쇄형 후프철근을 끼워 넣을 수 있는 방법은 없다.

그러므로, SRC기둥의 경우 폐쇄형 후프철근을 설치할 때에는 설치된 심부 강재 주변으로 주근을 배치하고 한 쪽 135°와 다른 한쪽 90°갈고리를 가진 띠철근을 심부 강재 옆에서 끼워 넣는 다음 90° 갈고리를 135°로 구부리는 과정으로 완성하여야만 하는 데 그 시공과정은 매우 어려운 실정이다.

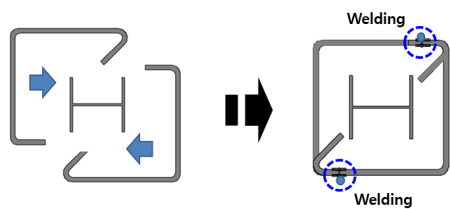
이와 같이 복잡한 시공과정 때문에서 현장에서는 <Fig. 1>의 (a)와 같이 한쪽 갈고리가 135°로 되어 있는 2개의 ‘L’자형 띠철근을 H-형강 주변으로 폐쇄형 후프철근과 같은 사각형태로 이은 다음 분리된 띠철근이 겹치는 구간에서 용접하는 방법과 <Fig. 1>의 (b)와 같이 2개의 분리된 ‘C’자형 띠철근을 H-형강의 플랜지를 완전히 감싸고 겹치는 중앙 위치에서 용접하는 방법 중 현장 여건에 따라 선택하여 사용하고 있는 실정이다.

현장에서 대체후프로 사용되는 위의 2가지 방법 모두 분리된 2개의 띠철근을 일체화하기 위한 용접 때

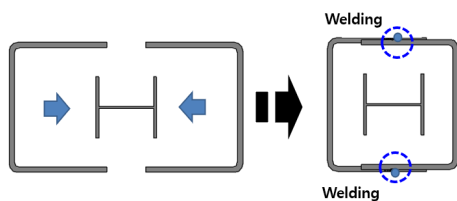
\* 정회원, 대표, (주)CH구조엔지니어링  
CEO, CH Structural Engineering Co  
\*\* 교신저자, 정회원, 경기대학교 건축공학과 교수,  
공학박사  
Professor, Kyonggi University of Architectural  
Engineering  
Tel: 031-249-9702 Fax: 031-249-6300  
E-mail: bjchoi@Kyonggi.ac.kr

문에 이또한 쉬운 방법이 아니며 만약 용접을 하지 않고 가는 철선으로 2개의 띠철근이 겹친 구간에서 잇기만 한다면 이 상세는 구조성능면에서 폐쇄형 후프의 성능과 대등하다고 할 수 없으므로 다른 대체상세를 모색할 필요가 있다.

그러므로, 이 연구에서는 <Fig. 1>의 2가지 대체후프에서 용접하는 과정을 생략하고 클립 형태의 연결장치를 사용하여 용접 위치에 대신 장착함으로써 SRC기둥의 폐쇄형 후프와 비교할 때 시공성을 개선하고 동시에 성능면에서 대등한 구조성능이 발휘되는 지 평가하고자 한다.



(a) Existing working method-1



(b) Existing working method-1

<Fig. 1> Existing working method of alternative hoops in the SRC column

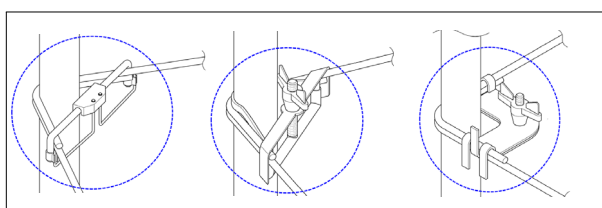
## 2. 강재 클립형 연결장치

### 2.1 연결장치의 제안 및 개선

양쪽 135° 표준갈고리 교차 상세를 갖는 폐쇄형 후프의 시공은 SRC기둥 뿐만 아니라 철근콘크리트 기둥에서도 쉽지 않다. 그러므로, 135° 표준갈고리와 대등한 성능을 발휘하면서 시공성이 개선될 수 있도록 철근콘크리트 기둥에서 먼저 제안하여 검증되었던 데, 최초 개발 단계에서 2개 띠철근 연결하는 장치는 <Fig. 2> (a)와 같이 현장에서 작업이 가장 용이한 양쪽 90° 갈고리를 동시에 구속하는 개념으로 고안하기 시작하였다<sup>1)</sup>.

그러나, 이러한 개념의 연결장치들은 장치 자체가 시공하는 띠철근보다 가격이 비싸 비경제적인 것이어서 배제하고 <Fig. 2> (b)와 같이 한쪽 90° 갈고리에서 2개의 띠철근을 구속하는 클립형태의 강재 장치로 개발을 진행하였다. ‘ㄷ’자 모양의 클립 형태를 갖는 강재 장치에 2개 띠철근을 보다 더 강력하게 구속시킬 의도로 <Fig. 2> (b)와 같이 나사선을 설치하고 조임장치를 설치하였으나 나사선과 조임장치 설치로 강재 자체 두께가 2.0mm이상 두꺼워져 펴졌다가 오무라는 드는 복원성이 없어지는 결점사항이 확인되어 이 장치도 개발안에서 배제하였다<sup>2)</sup>.

다음으로 주로 복원성이 필요한 판스프링이나 다른 공업용으로 사용되는 SK5M-S강을 이용하여 두께 1.0mm, 춤 22mm, 폭 25mm, 장치 길이 30mm로 하며 콘크리트 충진을 도모하기 위해 전면 및 모서리에 지름 8mm의 원형 구멍을 뚫고 2개의 띠철근을 구속시키는 날개를 장치 바깥쪽으로 배치하여 <Fig. 2> (c)와 같이



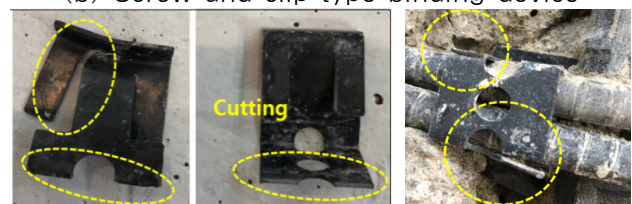
(a) Early concept devices of simultaneous hook binding



(b) Screw and clip-type binding device



(c) Early clip-type binding device



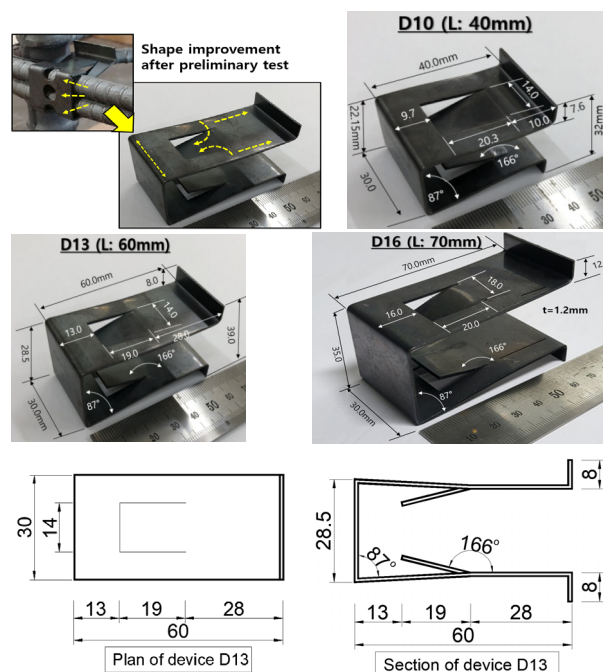
(d) Failure of early clip-type binding device (rebar bander)

<Fig. 2> Early clip-type binding devices

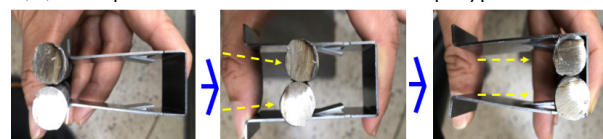
제작한 다음 열처리하여 마무리하였다<sup>3)</sup>.

실물 제작한 장치로 띠철근에 장착해 본 결과, 손쉽게 장착이 되어 구조성능만 확보된다면 사용에 문제가 없을 것으로 판단되었다.

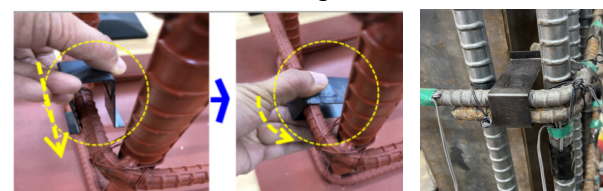
〈Fig. 2〉 (c)와 같이 초기 실물 제작한 클립 형태의 연결장치를 2개의 철근을 묶어주는 장치라 하여 리바밴더(Rebar Bander)라고 명칭하였고 실규모 철근콘크리트 기둥의 중심축과 반복횡가력 예비성능실험을 실시하였다.



(a) Shape & dimension of steel clip-type devices



(b) Binding method



(c) Installation procedure

〈Fig. 3〉 Rebar Confinement Clips

예비성능실험 결과, 리바밴더 장치를 사용한 실험체들은 반복횡가력 실험에서 표준실험체와 유사한 거동을 보인 하였으나 중심축가력 실험에서 양쪽 135° 표준

갈고리를 갖는 기준 실험체의 횡구속 성능에 미치지 못하고 반복횡가력 실험에서도 최대 하중, 에너지소산능력 등 여러 다양한 측면에서 부족한 성능을 보여 형상 개선이 필요하였다.

또한, 예비성능실험에서 리바밴더 장치는 〈Fig. 2〉 (d)와 같이 바깥쪽 날개와 모서리가 찢겨져 파단되고 콘크리트 충진을 위한 구멍들이 모서리가 파손되는 주요 원인이 되어 이러한 주요 결점사항들을 보완할 필요가 있었다.

## 2.2 연결장치의 최종 형상과 RC기둥에서 검증

〈Fig. 3〉 (a)의 형상보완 비교 그림에서와 같이 바깥에 있던 날개를 안쪽으로 배치하고 콘크리트 충진에는 효과가 없는 구멍은 삭제하여 최종 형상을 〈Fig. 3〉 (a)와 같이 띠철근 D10용, D13용, D16용 3가지 형태로 결정하였다<sup>4)</sup>.

개선 보완한 최종 연결장치들은 〈Fig. 3〉 (a)의 3가지 형태에서 D16용만 제외하고 띠철근 D10용과 D13용의 연결장치는 정착성능<sup>8)</sup>, 중심축하중 성능<sup>10)</sup>, 반복횡가력 성능<sup>11)</sup>을 거쳐 135° 표준갈고리와 대등한 성능을 확인하였으며 시공성과 경제성 측면에서도 우수한 성능을 확인하였다<sup>9)</sup>. 이러한 검증 결과들을 바탕으로 이 클립 형태의 강재 연결장치를 2개의 띠철근을 동시에 구속한다고 하여 현장에서는 철근 구속클립(Rebar Confinement Clips)라 명칭하여 사용하기로 하였다.

## 3. 실험 계획 및 방법

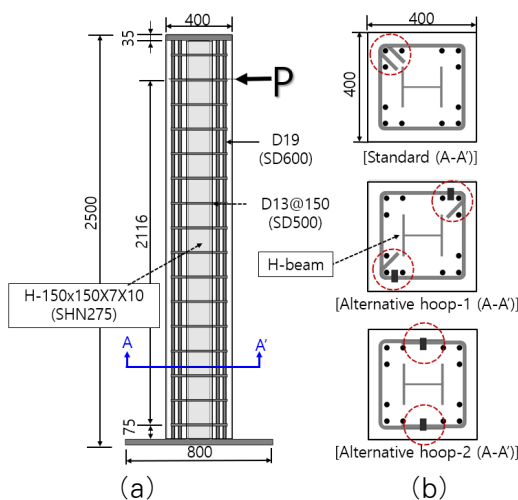
### 3.1 실험 계획

폐쇄형 후프를 적용한 SRC기둥의 표준실험체와 대체 후프들을 가진 SRC기둥 실험체들의 구조성능을 비교하기 위하여 현장에서 실제 사용되는 SRC기둥 중에 실험을 위하여 기둥 단면 400×400mm으로 계획하고 콘크리트 강도를 30MPa를 적용하여 표준실험체와 서로 다른 대체후프를 가진 실험체 각 1개씩, 총 3개의 SRC기둥 실험체를 제작하였다.

모든 실험체는 〈Fig. 4〉 (a)와 같이 실험체 하부에 항복강도 355MPa(SM355)를 갖는 두께 35mm의 크기

800×900mm의 강판을 먼저 배치하고 중앙 위치에 H-150×150×7×10(SHN275)을 배치한 다음 밑단의 맞댄 전면에 필릿 용접하여 SRC기둥 평면 중심의 H-형강을 먼저 구성하였다.

표준실험체(Standard ; ST)는 실험체 평면 상세의 <Fig. 4> (b) 평면 중 가장 상단의 평면에서 보는 것과 같이 H-형강 주변으로 주근 D19(SD600) 12개를 배치한 다음 직경 13mm의 폐쇄형 후프철근을 배치하였고 갈고리는 양쪽 135° 표준갈고리 교차 상세를 적용하여 제작하였다.



<Fig. 4> Details of specimens

폐쇄형 후프를 배치할 때는 매입형 압축부재 강구조 부재설계기준(KDS 14 31 10)과 압축부재 합성콘크리트

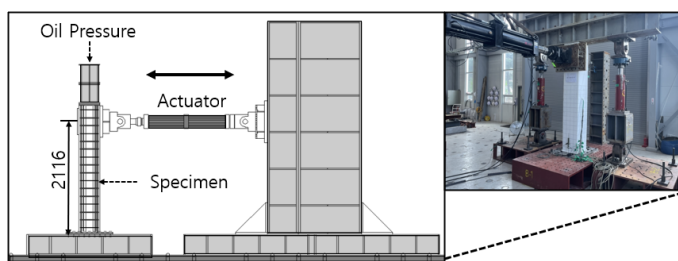
설계기준(KDS 14 20 66)에 따라 산정한 최소 피철근 간격 200mm보다 50mm 작은 150mm간격으로 기둥 길이 전체에 배치하여 실험체를 제작하였다.

대체후프-1을 가진 실험체(Alternative Hoop-1 ; AH-1)는 <Fig. 4> (b) 중앙과 같이 한쪽 135° 갈고리를 갖고 다른 쪽은 피철근 직경의 6배( $12d_b$ )인 78mm 내민길이를 갖는 2개의 'L'자형 분리된 피철근을 폐쇄형 후프와 같이 사각형태로 겹친 다음 한쪽 135° 갈고리가 아닌 다른 쪽의 90°로 내민 갈고리에 강재 클립형 연결장치를 결속하여 폐쇄형 후프를 구성하고 기둥 길이방향 수직 간격은 표준실험체와 동일하게 150mm로 배치하여 실험체를 제작하였다.

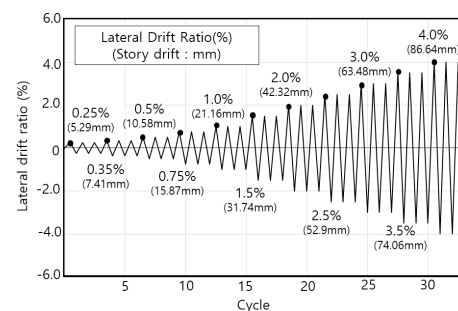
대체후프-2를 가진 실험체(Alternative Hoop-2 ; AH-2)는 <Fig. 4> (b) 하단과 같이 겹쳐지는 중앙 위치를 기준으로 피철근 직경의 12배( $12d_b$ ) 156mm의 정착길이를 갖는 2개의 'C'자 형태 피철근을 폐쇄형 후프와 같이 사각 형태로 겹친 다음 중앙 위치에 강재 클립형 연결장치를 결속보강하여 폐쇄형 후프로 구성하고 간격은 표준실험체와 동일하게 150mm로 배치하여 실험체를 제작하였다.

### 3.2 재료 특성

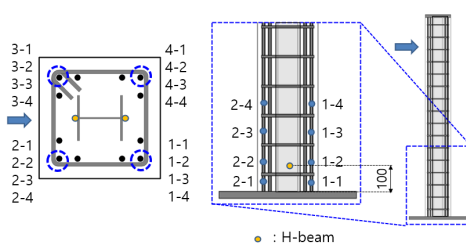
SRC기둥에서 사용된 철근, H-형강과 강재 클립형 연결장치(SK5M-S강)의 시편에 대한 인장시험 결과는



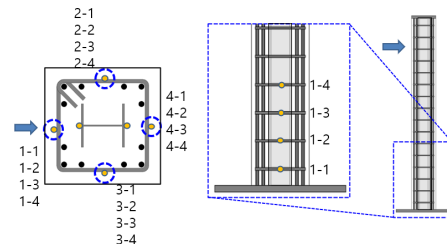
(a) Test setup



(b) Lateral loading history



(c) Longitudinal rebar & H-beam strain gauge setup



(d) Transversal rebar strain gauge setup

<Fig. 5> Test setup of lateral-loading experiment



〈Table 1〉에 나타내었다. 횡보강근과 주근으로 사용된 D13(SD500), D19(SD600)의 항복강도는 각각 518, 717MPa로 나타났고 이때의 항복변형률은 0.0032, 0.0048로 나타났으며 H-형강의 시편에 대한 인장시험 결과 항복강도는 341MPa, 항복변형률은 0.0017로 나타났다. 강재 클립형 연결장치(SK5M-S)의 시편에 대한 인장시험 결과에서 항복강도는 460MPa, 항복변형률은 0.0045로 나타났다.

콘크리트 압축강도는  $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 원주 공시체를 이용하여 측정하였으며 콘크리트 공시체는 기건 양생후 부재 실험 직전과 종료일 때 압축강도를 측정하였고 각각의 공시체 3개로부터 얻은 평균 압축강도는 30MPa이다.

〈Table 1〉 Steel, Hbeam, SK5M-S tensile test results

Division	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$\epsilon_y$ (mm/mm)	$E_s$ (MPa)
D13	518	696	0.0032	178,680
D19	717	823	0.0048	215,540
H-beam(SHN275)	341	473	0.0017	200,588
SK5M-S	460	600	0.0045	102,222

$f_y$ : yeilding stress,  $f_u$ : tensile stress,  $\epsilon_y$ : yeilding strain,  $E_s$ : elastic modulus

### 3.2 가력 및 측정

반복횡하중에 따른 가력 장치도는 〈Fig. 5〉 (a)와 같다. 실험 중  $0.1f_{ck}A_g$  (790kN) 보다 높은 850kN의 축력을 일정하게 유지하였으며 액추에이터를 이용하여 사각형태 하부 강관 밑단면으로부터 2,116mm 높이에서 500kN 용량의 횡하중 가력장치를 연결하여 변위제어로 정(+)과 부(-) 방향으로 2mm/min의 일정한 속도를 유지하며 반복 가력하였다.

이때 캔틸레버 거동을 이상화하기 위하여 두께 35mm의 하부강관 800×900mm의 하부 스티드에 관통된 44개의 구멍과 지름 27mm의 강재 락 볼트를 이용하여 기둥

실험체 하부 스티브를 반력판에 완전히 고정시켰다. 하중 가력계획은 ACI 374.1-05를 참고하여 계획하였으며 층간 변위비(Drift ratio,  $\Delta/L$ )를 기준으로 〈Fig. 5〉 (b)와 같이 변위비  $\pm 0.25\%$ (변위 5.29mm)로 시작하여 최종파괴 시점인 변위비  $\pm 4.0\%$ (변위 86.6mm)까지 점증적으로 증가시켰다. 각 변위이력에서는 횡하중 가력은 3주기(cycle)씩 하였다. 가력된 횡력은 액추에이터에 내장된 로드셀로 측정하였으며 로드셀로 측정된 횡력에 대한 변위값과 비교하기 위하여 실험체 기둥 밑단의 가력방향과 반대방향에 각 변위계를 설치하여 횡하중에 대한 횡변위도 별도로 측정하였다.

SRC기둥 실험체 단면에서의 주근 및 횡보강근의 변형률은 SRC기둥 밑단에서 550mm의 소성예상 구역내 〈Fig. 5〉 (c)와 (d)의 위치에서 변형률 게이지를 이용하여 측정하였으며 SRC기둥 심부내 H형강의 변형률을 측정하기 위하여 SRC기둥 최하단으로부터 상부 100mm 지점의 H형강 플랜지 위치에 가력방향과 반대방향 플랜지의 위치에서 측정하였다.

## 4. 실험 결과 분석 및 고찰

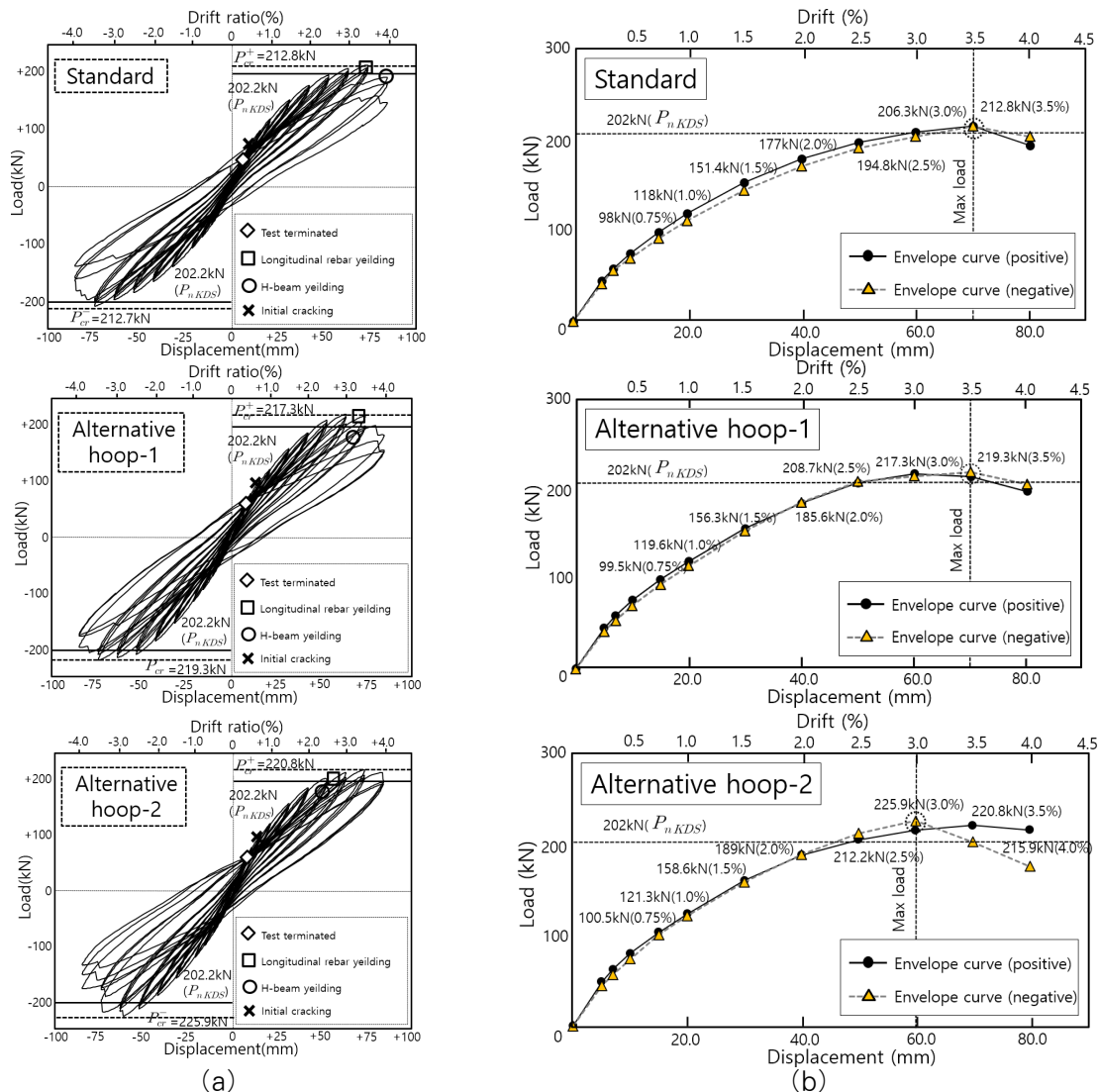
### 4.1 SRC기둥 휨강도 분석

폐쇄형 후프와 대체후프를 갖는 SRC기둥의 휨강도는 KDS 14 20 20기준에서 제시하는 휨강도 산정식을 이용하여 산정하였으며 기준의 휨강도의 값은  $377.8\text{kN}\cdot\text{m}$ 로 산정되었다(KDS 14 20 20 ; 2016). 〈Table 2〉에서는 총 3개 실험체와 액추에이터에서 측정된 각각의 최대휨하중값( $P_{fn.test}$ )에 따라 산출되는 최대휨강도값( $M_{n.test}$ ), KDS 14 20 20 기준식에 따라 산정된 설계 휨강도값( $M_{n.KDS}$ )을 나타내었으며 D19의 주근과 H-

〈Table 2〉 Experimental results

Specimen	+	-	$P_{fn.test}$	Flexural strength		$\frac{M_n.test}{M_n.KDS}$	Longitudinal rebar		H-beam yeilding	
	$P_{fn.test}$	$P_{fn.test}$	Ave.	(kN·m)			yeilding			
	(kN)	(kN)	(kN)	$M_n.test$	$M_n.KDS$		Drift	$P(kN)$	Drift	$P(kN)$
Standard	212.8	212.7	212.8	450.3		1.192	3.5%, 1cycle(+)	212.2	4.0%, 1cycle(+)	277.5
AH-1	217.3	219.3	218.3	461.9	377.8	1.223	3.5%, 1cycle(+)	211.9	4.0%, 1cycle(+)	179.6
AH-2	220.8	223.4	223.4	472.7		1.251	3.0%, 1cycle(-)	201.2	3.5%, 2cycle(-)	184.7

Notes]  $P_{fn.test}$ : an average of test result values in both loading directions,  $M_{n.KDS}$ : predicted flexural capacity by KDS 14 20 20



〈Fig. 6〉 Lateral load - lateral displacement result and envelop reponse of specimens

형강의 항복할 때의 변위비 및 하중값을 비교하기 위하여 같이 나타내었다. 〈Fig. 6〉 (a) 그래프는 실험체와 엑츄에이터에서 측정된 횡하중-횡변위 관계를 나타낸 것이며, 〈Fig. 6〉 (b) 그래프는 각 실험체별로 포락곡선을 정, 부방향(Positive +, Negative -)의 거동을 같이 나타낸 것이다.

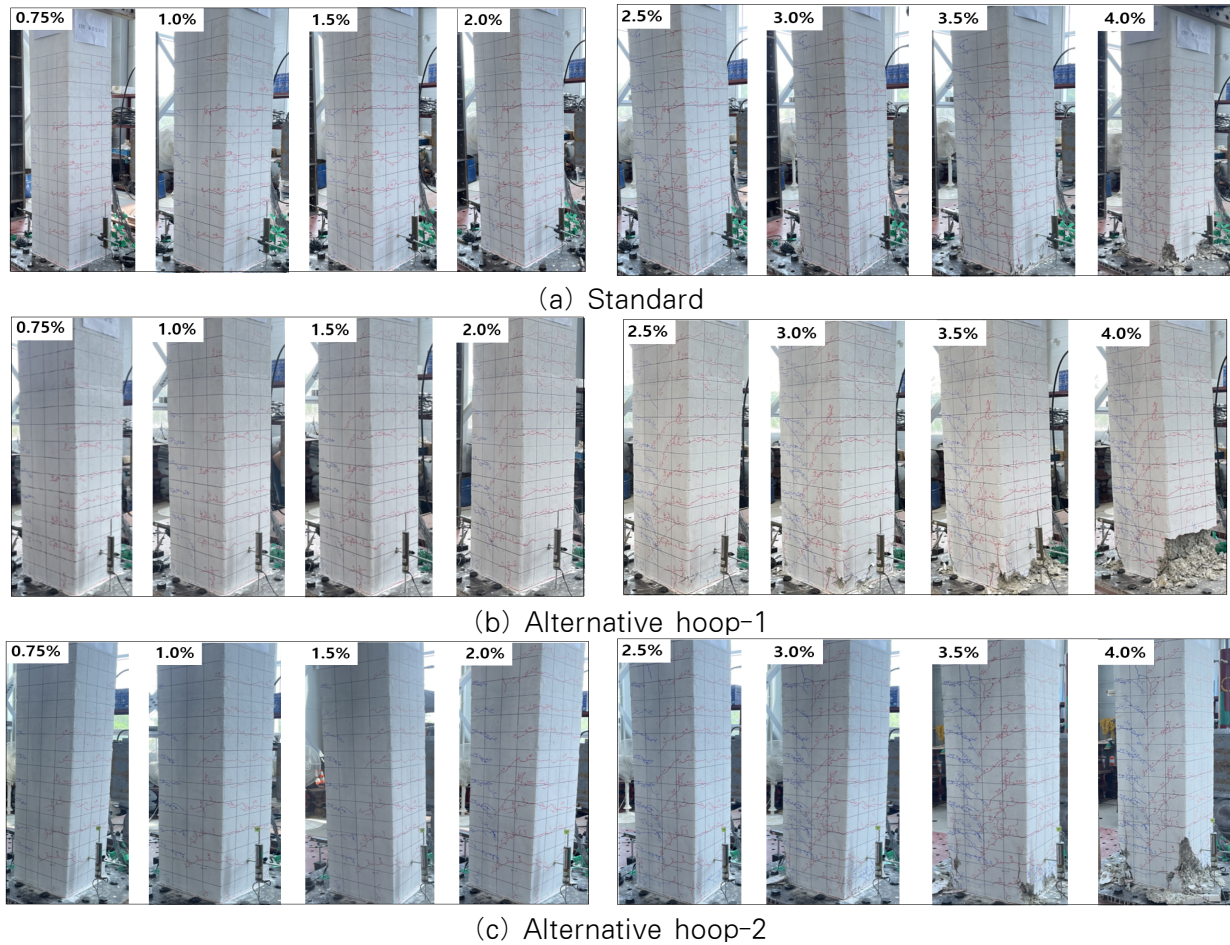
〈Table 2〉에서 각 실험체에 나타난 횡하중값( $P_{fn\ test}$ )은 정(+)과 부(-)방향 가력할 때 측정된 최대강도값( $+P_{fn\ test}$ ,  $-P_{fn\ test}$ )의 절대값에 평균값으로 산출하였다. 실험결과, 측정된 최대횡하중값( $P_{fn\ test}$ )은 표준실험체의 212.8kN을 기준으로 대체후프를 가진 실험체 2개는 각각 2.6%, 4.4% 높은 값인 218.3kN, 223.4kN이 측정되었다.

〈Table 2〉에서의 기재된 최대휨강도값( $M_{n\ test}$ )은 측

정된 최대횡하중값( $P_{fn\ test}$ )에 〈Fig. 4〉에 표시된 하부강관 밑단면에서부터 하중점까지의 전단경간거리 2.116m를 곱하여 산출되었다. 산출된 최대휨강도값은 최대횡하중값과 마찬가지로 표준실험체의 450.3kN·m값을 기준으로 대체후프를 가진 실험체들은 높은 값인 461.9kN·m, 472.7kN·m이 산출되었다

총 3개 실험체에서 나타난 최대휨강도는 모두 KDS 14 20 20에 의하여 산정한 설계휨강도( $M_{n\ KDS}$ )인 377.8kN·m 보다 12.2%~25.1%의 높은 값을 보였다. 각 실험체의 최대횡하중값은 표준실험체와 대체후프-1 실험체는 변위비 3.5%에서 최대횡하중값이 나타났고 3.5% 변위비에서 주근의 항복이 나타났으며 바로 다음 변위비 4.0%에서 H-형강의 항복변형률이 나타났다.

대체후프-2 실험체는 변위비 3.0%에서 최대횡하중이



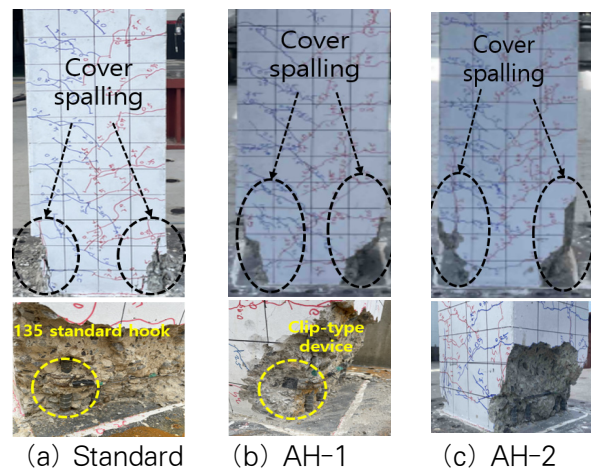
〈Fig. 7〉 Crack progress of each specimens

나타났고 3.0% 변위비에서 주근의 항복이 나타났으며 바로 다음 변위비 3.5%에서 H-형강의 항복변위가 나타나는 차이를 보였으나 표준실험체를 포함한 모든 실험체는 주근이 항복한 이후 바로 H-형강이 항복하는 동일한 거동을 보여주었다.

#### 4.2 균열 양상 및 최종 파괴상태 분석

〈Fig. 7〉은 3개 실험체의 각 변위비에 따른 균열 진전을 변위비 0.25%에서 0.5%까지의 초기 균열 진전 상태는 제외하고 변위비 0.75%부터 4.0%의 실험종료까지 나타난 것이다.

3개의 실험체는 모두 〈Fig. 7〉의 균열진전에서 보는 바와 같이 초기부터 기둥 소성예상구역인 하부 위치에서 처음으로 휨균열이 발생하였으며 변위비 2.0%에서부터 후프철근 간격인 150mm 간격으로 기둥의 복부 방향을 향해 산발적이면서 경사각이 완만한 사인장균열이 발생하기 시작하였다.



〈Fig. 8〉 Comparisons of final appearance

완만한 사인장균열은 점차 그 수가 증가하면서 최대하중값이 나타나는 변위비에서부터 기둥 최하단에서 압축파괴로 인한 피복 콘크리트가 탈락이 일부 나타나다가 최종 변위비 4.0%에서 기둥의 후프철근이 육안으로 보일 정도로 피복 콘크리트가 탈락되면서 실험이 종료



되는 균열 양상을 보여 주었다.

최종 실험 종료후 기동 파괴상태를 비교해보면 <Fig. 8>에서 보는 바와 같이 표준실험체에서는 압축파괴로 콘크리트가 탈락된 하단의 구간에서 135° 갈고리의 탈락이나 뿔뿔이 나타나지 않았으며, 대체후프-1 실험체에서도 강재 클립형 연결장치로 결속된 갈고리 또한 뿔뿔이나 탈락 현상이 나타나지 않았다.

대체후프-2 실험체는 연결장치가 결속된 위치에서 피복 콘크리트가 탈락되지 않아 연결장치와 결속된 후프 철근의 상태를 육안으로는 확인할 수 없었다. 그러나, 최종 피복 콘크리트 파괴 범위나 양상은 나머지 2개의 실험체와 유사한 형태를 보여주었다.

이와 같이 3개 실험체는 모두 유사한 균열 진전 양상과 최종 파괴범위 및 상태를 보여주었다. 이와 같은 균열 진전과 파괴 상태의 비교로 부터 반복횟수중에 대하여 제안한 대체후프의 사용은 폐쇄형 후프와 대등한 횡구속 효과가 있음을 보여주는 결과라고 판단된다.

### 4.3 포락곡선, 강성변화, 에너지소산능력 분석

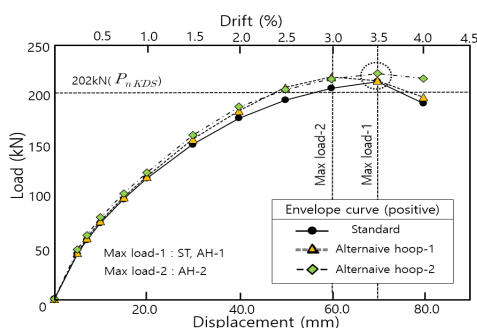
<Fig. 9> (a), (b)는 각 실험체의 변위비(Drift ratio, %) 단계별 비교 포락곡선을 비교하였으며 Fig. 9 (a)는 각 실험체별로 정(+)방향 포락곡선을 같이 나타냈고

<Fig. 9> (b)는 부(-)방향 포락곡선을 실험체를 비교하여 나타내었다. 포락곡선 비교에서 제안한 대체후프 실험체들은 표준실험체와 비교할 때 최대강도값은 정(+)과 부(-)방향 가력에서 항상 각 변위비 단계별로 상위값을 유지하였다.

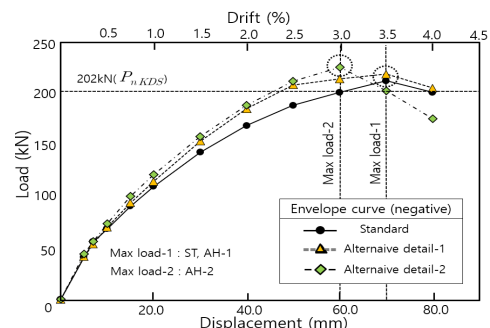
다만, 대체후프-2 실험체의 부방향인 <Fig. 9> (b)에서 변위비 3.0%에서 정, 부방향 모두에서 가장 큰 최대하중값을 보이다가 변위비 3.5%에서 다른 실험체들보다 하중 감소가 큰 폭을 보이는 차이를 보였다. 이는 3개 실험체 가운데 가장 큰 하중값 도달에 따라 H 형강과 하부 강판과의 용접 부분에서 일부 탈락이 되면서 하중에 대한 저항력이 급속도로 감축된 것으로 판단된다. <Fig. 9> (c)에서는 각 실험체의 변위비 단계별 강성(Stiffness, K)의 변화를 나타내었다. 여기서, 강성 K는 각 하중의 주기에서 정과 부방향 가력에서의 최대강도값과 최대변위가 만나는 점의 기울기로 평균하여 강성을 산정하였다.

3개 실험체 모두 유사한 강성감소 변화율을 보여주었으며 표준실험체를 기준으로 대체후프 실험체들은 초기 강성 2% 이상 크게 나타났고 실험이 종료될 때까지 지속적으로 큰 값을 보였다.

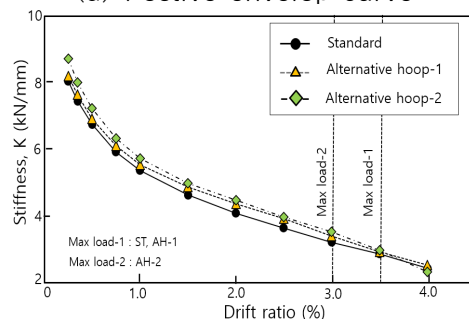
<Fig. 9> (d)는 3개 실험체별 각 변위비에 따라 누적된



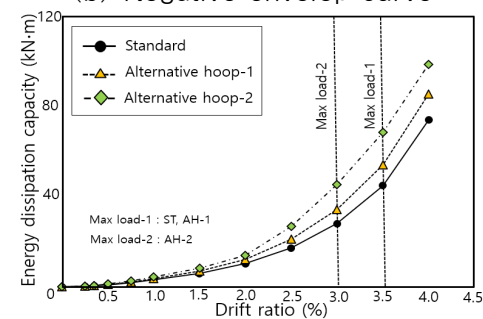
(a) Postive envelop curve



(b) Negative envelop curve



(c) Stiffness curve



(d) Cumulative energy dissipation capacity

<Fig. 9> Comparisons of envelop curve, stiffness curve, cumulative energy dissipation capacity



에너지소산능력을 같이 나타내었다. 비교결과, 제안한 대체후프 실험체들은 표준실험체보다 높은 에너지소산 능력을 보여 주었다. 특히, 대체후프 실험체들은 변위비 2.0%에서부터 육안으로 차이를 구분할 만큼 높은 값을 유지하는 것으로 나타났으며 최종 누적 에너지소산능력 값은 표준실험체 73.9kN·m를 기준으로 대체후프-1 실험체가 85.5kN·m로 15.7%의 상승효과가 있었고 대체 후프-2 실험체에서는 98.5kN·m로 33.3%의 상승값을 보여 가장 높은 에너지소산능력값을 보여주었다.

#### 4.4 H 형강 및 주근, 횡보강근 거동

##### 4.4.1 H 형강과 주근의 거동

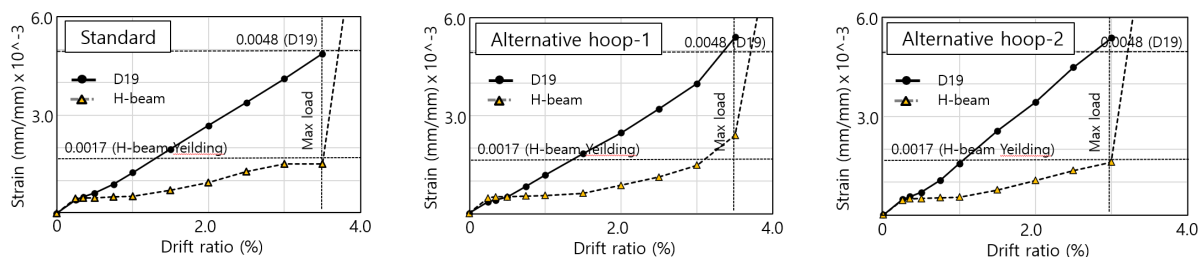
〈Fig. 10〉 (a)는 각 실험체의 H 형강과 주근의 변형률을 실험체별로 같이 나타낸 것이다. 주근의 항복은 모든 실험체에서 최대항하중값을 보인 변위비에서 나타났으며 각 실험체의 최하단 측정위치에서 항복변형률이 가장 빨리 나타났고 H 형강의 항복은 주근이 항복한 바

로 다음 변위비에서 나타나거나 동일한 변위비에서 나타났다.

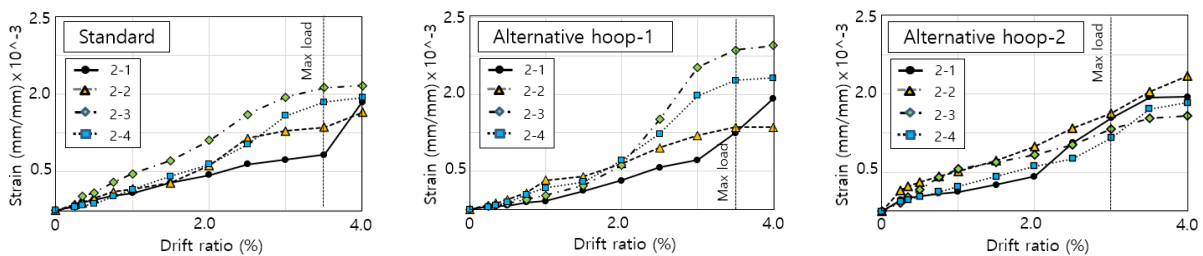
표준실험체와 대체후프-1 실험체는 변위비 3.5%에서 최대항하중값이 나타났고 이때 주근의 항복이 나타났다. 대체후프-2 실험체에서는 변위비 3.0%에서 최대항하중 값이 나타났고 이때 주근의 항복이 나타났다. 3개 실험 체 모두는 주근이 항복한 변위비에서 H형강이 항복한 거동을 보여주었다. 이의 결과로서 SRC기둥의 반복항하 중에 대한 파과는 주근과 H형강이 동일한 변위비에서 항복함으로써 주근과 H형강이 하중을 대등한 분담으로 영향을 받아 최종 파괴되고 있음을 확인할 수 있었다.

##### 4.4.2 횡보강근의 거동

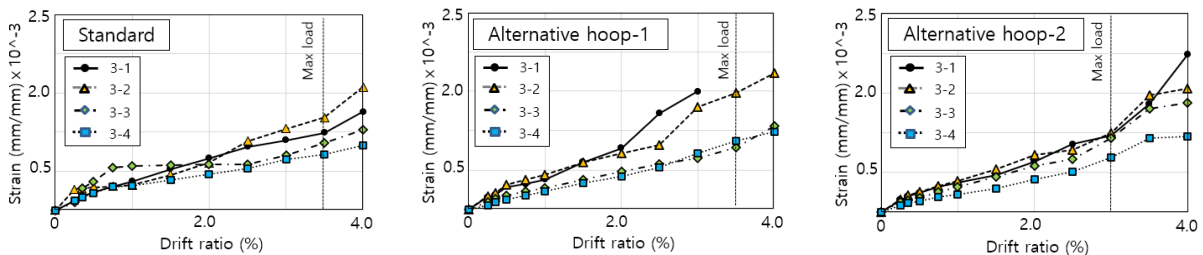
〈Fig. 10〉 (b), (c)는 〈Fig. 5〉 (d)의 횡보강근에서 측정 된 하중-변형률 그래프에서 가력방향과 직각에 위치한 2번 지점의 하중-변형률 거동을 〈Fig. 10〉 (b)에 나타난 것이며 가력방향과 평행방향 위치 중 3번 지점에서의 변형률 거동을 나타낸 것이다. 모든 실험체의 횡보강근



(a) Logitudinal rebar and H-beam strain



(b) Transversal rebar strain of #2 position



(c) Transversal rebar strain of #3 position

〈Fig. 10〉 Longitudinal rebar and H-beam, transversal rebar strain of each specimens

은 사용된 D13 철근의 항복변형률에 도달하지 못하고 실험이 종료되었으며 전반적으로 변위비 2.0%에서 변형률이 식별 가능할 정도로 증가되기 시작하였고 이러한 추이로 거동하다가 실험이 종료되었다.

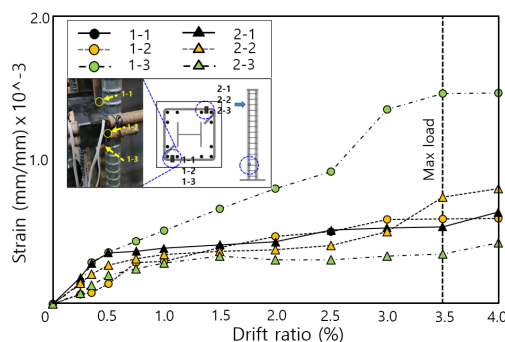
측정된 4개 위치에서의 모든 변형률 거동은 유사하나 심부 콘크리트 팽창으로 횡보강근에 가장 큰 영향을 줄 것으로 예상한 2번 지점에서 측정된 <Fig 10> (b)의 표준실험체와 대체후프-1 실험체를 비교해보면 상대적으로 높은 하중에 대하여 대체후프-1 실험체의 횡보강근 변형률 증가율이 더 커지는 것을 알 수 있다. 또한, 대체후프-2 실험체의 횡보강근 변형률 거동도 표준실험체와 유사한 거동을 확인할 수 있다. SRC기둥의 횡보강근 거동 비교로부터 3개 실험체 모두 항복변형률은 나타나지 않았지만, 대체후프의 실험체들은 표준실험체 폐쇄형 후프와 대등한 횡구속 효과를 발휘하는 것으로 평가할 수 있다.

#### 4.4.3 강재 클립형 연결장치의 거동

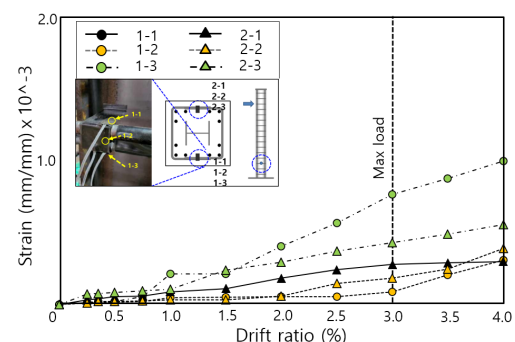
강재 클립형 연결장치의 하중에 따른 변형률은 SRC 기둥 최하단으로부터 375mm 상부에 위치한 띠철근에 결속된 연결장치에서 측정하였다.

대체후프-1과 2의 실험체에서 강재 클립형 연결장치의 변형률 거동은 <Fig 11> (a) 그래프내에 표시한 위치에서 변형률 게이지 위치를 설치하여 측정하였다. 대체후프-1 실험체에서 2개의 연결장치 중 2번째 연결장치에서 측정된 하중-변형률 그래프는 <Fig 11> (c)에 나타내었고 대체후프-2 실험체에서 2개의 연결장치 중 1번째 연결장치에서 측정된 하중-변형률 그래프는 <Fig 11> (d)에 나타내었다.

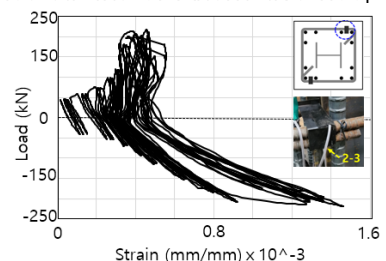
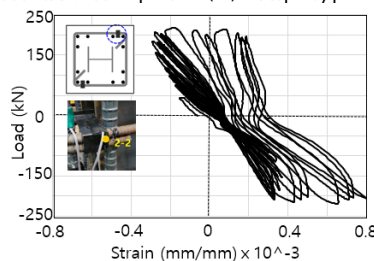
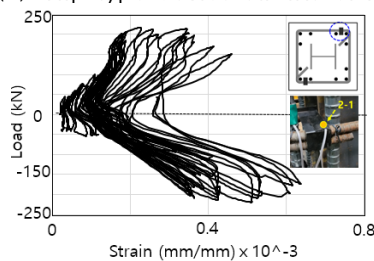
<Fig 11> (a)에서 대체후프-1 실험체의 1번 연결장치 상단 1-1에서는 측정되지 않았고 중앙의 1-2의 변형률은 미미하게 거동하는 반면, 하단 1-3에서 측정된 연결



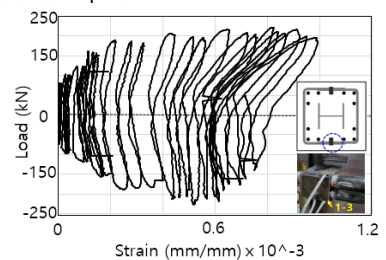
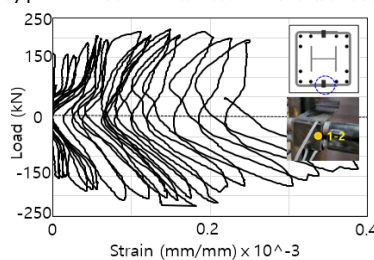
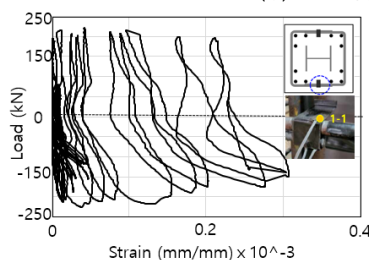
(a) Clip-type device strains of Alternative hoop-1



(b) Clip-type device strains of Alternative hoop-2



(c) #2 Clip-type device strains of Alternative hoop-1



(d) #1 Clip-type device strains of Alternative hoop-2

<Fig. 11> Steel clip-type device load-strain of Alternative hoop-1 and Alternative hoop-2

장치의 변형률은 상대적으로 큰 거동을 보여 주었다. 대체후프-1 실험체 2번의 연결장치에서 측정된 변형률들은 1번 연결장치에서의 중앙부인 1-2의 변형률 거동과 모두 유사한 범위내 거동을 보여 주고 있으며 변위비 2.5%에서 전반적으로 변형률이 상승하는 거동을 보여 주었다.

〈Fig. 11〉 (b) 그래프에서 대체후프-2 실험체의 연결장치 변형률 거동도 대체후프-1 실험체의 연결장치 변형률 거동과 같이 하중이 증가함에 따라 각 측정위치별로 변형률이 증가하는 거동을 보여주고 있으며 각 연결장치에서 하단의 변형률의 거동이 상대적으로 큰 거동을 보여주었다.

〈Fig. 11〉 (c)에서의 대체후프-1 실험체 2번 연결장치의 상단 2-1과 하단 2-3에서 측정된 변형률 거동은 반복횡가력에 따라 정(+)과 부(-)가력 방향으로 늘어났다가 줄어드는 거동을 보이고 있지만 모두 인장 변형 범위 내에서 변형률 거동을 보이고 있다. 반면, 중앙의 2-2에서는 반복횡가력에 따라 SRC기둥의 거동과 유사하게 인장과 압축변형률 거동 상태를 같이 보여 주고 있다.

이와 비교할 때 〈Fig. 11〉 (d)에서 대체후프-2 실험체의 하중-변형률 그래프에서는 모두 인장변형률 거동을 보여주고 있는 차이를 나타내었다. 또한, 〈Fig. 11〉 (d)의 대체후프-2 실험체에서도 연결장치의 거동은 대체후프-1 실험체와 같이 중앙보다 하단의 변형률 거동이 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있었다.

위와 결과로부터 SRC기둥 거동에 따라 대체후프의 강재 클립형 연결장치는 분리된 2개의 띠철근을 결속보강하여 정착성을 발휘하는 데 기여하고 있음을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

폐쇄형 후프의 시공이 어려운 SRC기둥에서 폐쇄형 후프와 대등한 구조성능을 발휘하면서 시공성을 개선할 수 있는 대체후프 실험체들을 대상으로 반복횡하중 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 최대강도값과 최대휨강도는 국내·외 기준에서 제시된 산정식으로 계산한 값보다 12.2%이상의 높은 값을 보였으며 대체후프-1과 대체후프-2 실험체들은 표준실험체

보다 각각 2.6%, 4.4% 높은 최대휨강도값을 보여주었다.

2) 대체후프를 갖는 실험체와 폐쇄형 후프를 갖는 표준 실험체는 모두 최대강도값이 나타난 변위비에서 주근의 항복이 나타났으며 동일한 변위비에서 심부 H-형강의 항복이 나타나는 동일한 거동을 보였다. 또한, 균열 전진의 양상과 최종 콘크리트 압축 파괴로 인한 파괴의 탈락으로 실험이 종료되어 최종 휨에 의해 SRC기둥이 파괴된 것으로 판단된다.

3) 대체후프를 갖는 실험체들이 표준실험체와 비교할 때 초기 강성은 각각 2%와 8% 이상의 높은 값을 보였고 이후 지속적으로 높은 값을 보이면서 실험이 종료되었다. 또한, 최종 누적 에너지소산능력 비교에서도 대체후프-1과 대체후프-2 실험체들이 각각 15.7%, 33.3%의 높은 상승값을 보여주었다.

4) 3개 SRC기둥 실험체의 횡보강근의 거동은 하중과 횡보강근 변형률의 비교에서 변위비 2.0%부터 변형률이 크게 상승하다가 그 상승폭을 유지하면서 실험이 종료되었으며 대체후프를 갖는 실험체들은 표준실험체와 비교할 때 유사한 변형률 거동을 보여주었다.

5) 대체후프에서 2개의 띠철근을 결속보강하기 위하여 사용된 강재 클립형 연결장치의 거동은 연결장치의 상단, 중앙, 하단 위치에서 측정된 하중과 변형률의 결과로 확인하였는데 강재 클립형 연결장치 중앙보다 상단과 하단에서 측정된 변형률이 콘크리트내 정착을 위해 보다 더 큰 변형률 거동을 하는 것으로 확인되었다.

이상과 같은 실험결과로부터 SRC기둥에서 폐쇄형 후프의 시공성을 개선하기 위하여 강재 클립형 연결장치를 이용하여 결속보강한 대체후프들은 기존의 폐쇄형 후프를 갖는 SRC기둥과 대등한 구조성능 및 횡구속효과를 발휘하는 것으로 평가할 수 있다.

## 감사의 글

이 성과는 CH건설기술의 재원으로 지원을 받아 실험은 (주)페트라텍에서 수행된 연구입니다. 또한 본 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다 (No.2020R1A2C110233111). 이에 감사드립니다.

## References

1. Park, K. Y., & Kim, S. Y., "Band Steel Locking Device (Patent Public Number 10-1750791)", Korean Intellectual Property Office (KIPO), 2017.
2. Park, K. Y., & Kim, S. Y., "Band Steel Locking Device (Patent Public Number 10-1927760)", Korean Intellectual Property Office (KIPO), 2018.
3. Park, K. Y., & Kim, S. Y., "Band Steel Locking Device (Patent Public Number 10-2018-0059116)", Korean Intellectual Property Office (KIPO), 2018.
4. Park, K. Y., and Kim, Y. J., "Band Steel Locking Device (Patent Public Number 10-2148235)" Korean Intellectual Property Office (KIPO), 2020.
5. MOLIT, "Compression Member Composite Concrete Design Standard (KDS 14 31 10)", Sejong, Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2017.
6. MOLIT, "Design Standard of Steel Structure for Compressive Member (KDS 14 20 66)", Sejong, Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2021.
7. MOLIT, "Flexure and Compression Design for Concrete Structures (KDS 14 20 20)", Sejong, Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2016.
8. Park, K. Y., & Yun, H. D., "Clip-Type Binding Implement Effect on Anchorage Behavior of 90-Degree End-Hooked Transverse Reinforcement in Reinforced Concrete Columns", Journal of the Korea for Structural Maintenance and Inspection 24(4), pp. 72-80, 2020, doi: 10.11112/jksmi.2020.24.4.72
9. Park, K. Y., & Yun, H. D., "Constructability and Cost Analysis of the Clip-Type Binding Implement Substituting 135° End-Hooked Transverse Reinforcement in Reinforced Concrete Columns", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol.20, No.5, pp.459-469, 2020, doi: 10.5345/JKIBC.2020.20.5.459
10. Park, K. Y., Yun, H. D., & Hong, S. G., "Effect of a Steel Clip-Type Binding Implement on the Axial Compressive Behavior of Reinforced Concrete (RC) by 90-Degree End-Hooked Hoops", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.33, No.5, pp.469-480, 2021, doi: 10.4334/JKCI.2021.33.5.469
11. Park, K.Y., Yun, H.D., & Hong, S.G., "Shear Performance of High-Strength Concrete Columns with Transverse Reinforcement Binded by Steel Clip-Type Implements" Journal of the Korea Concrete Institute Vol. 34, No.2, 2022, pp.161-172, 2022, doi: 10.4334/JKCI.2022.34.2.161

- Received : October 18, 2022
- Revised : November 21, 2022
- Accepted : November 22, 2022