



기술 초대석 01

SRC합성기둥에서 원터치-RC클립(135도 갈고리 대체용 원터치-RC클립 ; CH-RCC D13)을 활용한 폐쇄형 후프의 대체상세 제안 및 구조 성능검증 결과보고

Structural technology



| 김용주 |

㈜CH구조엔지니어링
㈜CH건설기술대표이사



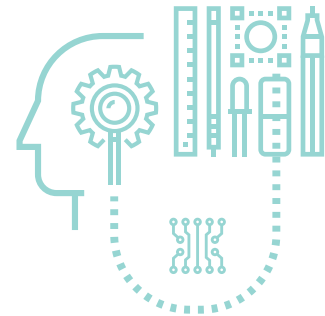
| 최병정 |

경기대학교 건축공학과
교수



| 강철규 |

경기대학교 건축공학과
교수



1. 개요

CH건설기술에서는 구조기술 지원하던 중에 현장으로부터 지속적으로 기둥후프 135도 갈고리 시공 어려움을 호소함에 따라 2017년부터 대안으로서 “띠철근 풀림방지장치”라는 이름으로 135도 갈고리보다 시공하기 쉬운 90도 갈고리에 결속하여 동등이상의 성능을 발휘할 수 있는 “강재 클립형 연결장치”를 고안하였다.

또한, 특허를 진행하면서 예비성능 검증에서 성능미달된 초기 연결장치(그림 1 참조) 등과 여러번의 형상개선을 통하여 그림 2와 같이 135도 갈고리 대체용 원터치-RC클립(CH-RCC D10과 D13)을 개발 완료하였다.

이후, 표 1과 같이 75여개의 실험체로 구조성능 검증을 통하여 90도 갈고리보다 135도 표준갈고리 구조성능이 탁월함을 확인하였고, 135도 표준갈고리보다는 원터치-RC클립(CH-RCC D10, D13)으로 90도 갈고리에 체결한 상세가 철근콘크리트 기둥 심부에서 구속력이나 정착성능면에서 가장 우수함을 확인하였다.

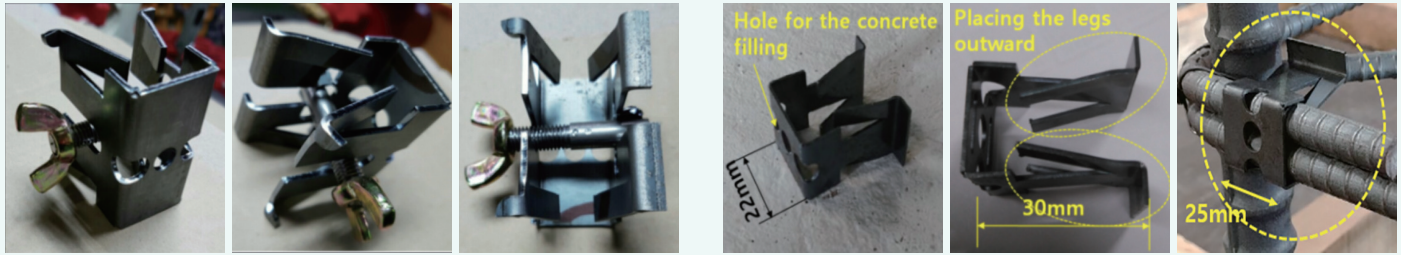
이러한 결과를 바탕으로 그림 3 (a)와 같이 2020년 10월에 한국건축구조기술사회로부터 기술인증을 받았고, 2021년부터 판매하기 시작하여 2023년 12월 기준 50여개 현장(표 2 참조)에서 사용되어 오고 있는 실정이다.

[표 1] 기둥에서의 CH-RCC D10,D13 구조성능 검증 실험체 개수

(단위 : 개수)

구분	D10	D13	D16	소계
정착성능	16	16	0	32
압축성능	14	5	0	19
내진성능	12	9	0	21
시공성평가	2	2	0	4
계	44	32	0	75

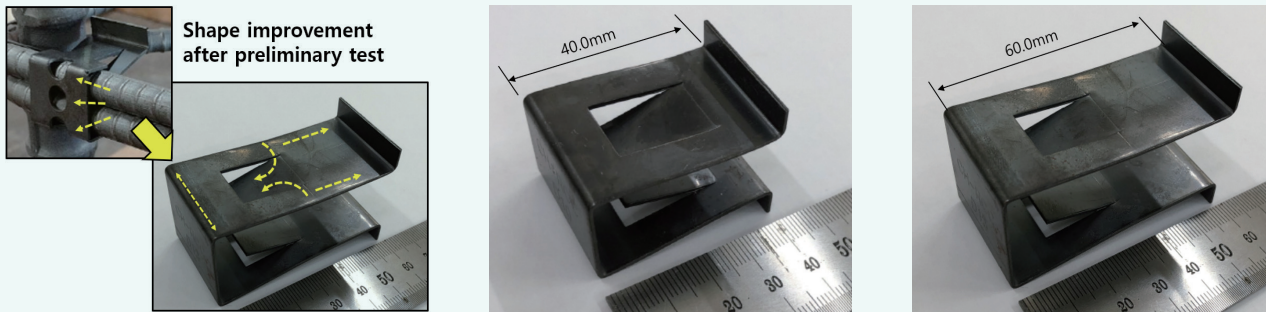
수행기관 : 페트라텍(주)



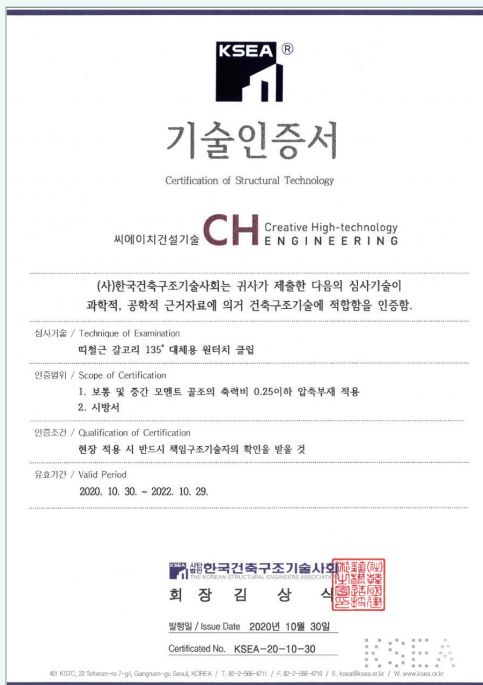
(a) 초기 나사식 클립형 연결장치

(b) 초기 클립형 연결장치와 예비성능 실험후 파괴형상

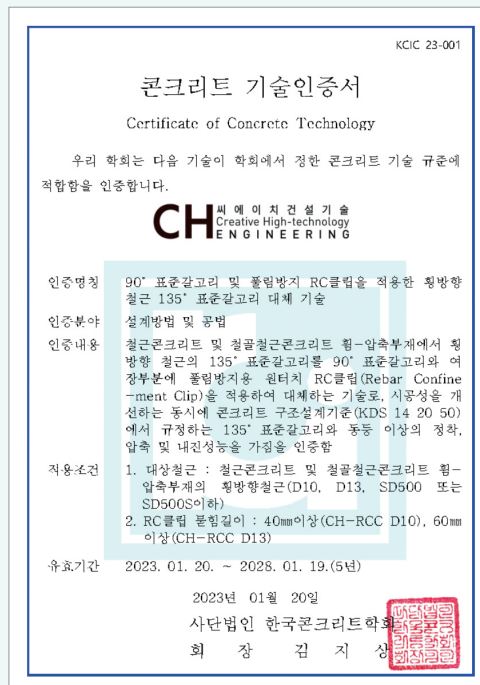
[그림 1] 초기 성능 미달된 연결장치들



[그림 2] 형상개선을 통해 개발완료한 135도 갈고리 대체용 원터치-RC클립(CH-RCC D10, D13)



(a) 건축구조기술사회 기술인증서(2020년 10월)



(b) 한국콘크리트학회 기술인증서(22년 1월)

[그림 3] CH건설기술에서 인증받은 구조기술사회 및 콘크리트학회 기술인증서

[표 2] CH-RCC D10, D13 현장적용 사례 현황

시공사	현장명	년월	품명
(주)영무토건	대구 평리동 3-1, 3-2구역주택재개발정비사업	2020년 6월	CH-RCC D10, D13
롯데건설(주)	마포풍농주상복합타워신축공사	2020년 6월	CH-RCC D10, D13
(주)대우건설	용인 수지 대우푸르지오 아파트 건설공사	2020년 10월	CH-RCC D13
(주)일원종합건설	수원 인계동 오피스텔 신축공사	2020년 10월	CH-RCC D13
계룡건설산업(주)	광교 복합체육시설 건설공사	2020년 11월	CH-RCC D10
현대건설(주)	문정동 르피에르 오피스텔 신축현장	2020년 11월	CH-RCC D13
계룡건설산업(주)	대전국제전시컨벤션 건설공사	2020년 11월	CH-RCC D13
(주)영무토건	김포한강 지식산업센터 신축현장	2020년 12월	CH-RCC D10
진경건설(주)	마포구 대흥동 다세대주택 신축현장	2021년 2월	CH-RCC D10
부석종합건설(주)	청파동1가 183,187 오피스텔 신축현장	2021년 2월	CH-RCC D10
에이엠종합건설(주)	오류동 칸타빌레8차 오피스텔 신축현장	2021년 2월	CH-RCC D13
동도건설(주)	강릉 포남동 동도센터리움 주상복합 신축현장	2021년 3월	CH-RCC D10
(주)글로벌대명	오류메디인에스 신축현장	2021년 3월	CH-RCC D10
샘코건설(주)	시립청소년음악창작센터 건립공사	2021년 4월	CH-RCC D10
호연건설(주)	독산동 다세대주택 신축공사	2021년 5월	CH-RCC D10
공존종합건설(주)	불광동 480-303, 304 생활주택 신축공사	2021년 8월	CH-RCC D10
태형건설(주)	아산 장재리 1723 오피스텔 신축공사	2021년 8월	CH-RCC D10
우일건설(주)	영동부용 고령자 복지주택 건설공사	2021년 10월	CH-RCC D10
(주)한창종합건설	삼호리 324번지 공영장 및 근생 신축공사	2021년 10월	CH-RCC D10
진흥기업(주)	하남시청역해링턴타워오피스텔 신축공사	2021년 11월	CH-RCC D13
계룡건설산업(주)	세종시국립어린이박물관 건립공사	2021년 12월	CH-RCC D10, D13
공존종합건설(주)	중곡동 67-4 생활주택 신축공사	2021년 12월	CH-RCC D10
영건설(주)	양평동4가 64-3 근린생활시설 신축공사	2021년 12월	CH-RCC D10
광덕종합건설(주)	부산 대교동2가 주상복합 신축공사	2022년 1월	CH-RCC D13
영건설(주)	문정동 69-2번지 근린생활시설 신축공사	2022년 1월	CH-RCC D10
(주)동인종합건설	천안 성거 연립주택 신축공사	2022년 2월	CH-RCC D10
포스코건설	포스코 더샵 광양베이센트 신축공사	2022년 3월	CH-RCC D10
현대건설(주)	힐스테이트 만촌 엘퍼스트 오피스텔 신축공사	2022년 3월	CH-RCC D13
계룡건설산업(주)	세종시 조치원 서북부지구 공동주택 신축공사	2022년 6월	CH-RCC D13
(주)현대산업개발	대구 범어 우방타운 1차 재건축 정비사업	2022년 7월	CH-RCC D10, D13
문호건설(주)	구일 투웨이퍼스트 하이앤드 오피스텔 신축공사	2022년 8월	CH-RCC D13
태형건설(주)	영종 듀클래스 운서역 오피스텔 신축공사	2022년 8월	CH-RCC D13
인종합건설(주)	충북 옥천 장애인복지관 및 반다비체육센터 건립공사	2022년 10월	CH-RCC D10
진경건설(주)	서울 고덕동 249-4번지 신축공사	2022년 11월	CH-RCC D10
새천년종합건설(주)	불광동 역세권 청년주택 신축공사	2022년 12월	CH-RCC D13
계룡건설산업(주)	증산도 상생역사문화교육원 신축공사	2023년 3월	CH-RCC D10, D13
명현종합건설(주)	아리지 컨트리클럽 기숙사 신축공사	2023년 3월	CH-RCC D13
계룡건설산업(주)	판교 제2테크노밸리 인터파크 사옥 신축공사	2023년 4월	CH-RCC D13
(주)인화건설	에너지플러스 서울로 신축공사	2023년 4월	CH-RCC D10
롯데건설(주)	의왕시 타임빌라스 B부지 신축공사	2023년 5월	CH-RCC D10
(주)신영건설	답십리역 지웰 에스테이트 신축공사	2023년 5월	CH-RCC D13
계룡건설산업(주)	덕산의료재단 수원덕산병원 신축공사	2023년 6월	CH-RCC D10
(주)안강건설	인덕원 시그니티 타워 신축공사	2023년 8월	CH-RCC D13

2022년 9월에는 SRC합성기둥의 폐쇄형 후프에 대하여 대체상세를 제안하고 구조 및 해석 검증을 통해 그 결과를 토대로 국내 콘크리트 구조기준을 작성하고 검수의 책임을 맡고 있는 한국콘크리트학회로부터 SRC합성기둥의 대체상세까지 기술인증을 받았다.

한국콘크리트학회에서 기술인증을 받은 것은 2020년 10월에 건축구조기술사회로부터 기술인증 받을 때 없어도 무방한 제한사항의 애매한 세부 사항까지 모두 극복하여 횡보강근 D10과 D13에 대해서는 모든 콘크리트 부재환경에서 사용할 수 있도록 기술인증을 받는 데 더 큰 의의가 있었다.

단지, D16용 원터치-RC클립(CH-RCC D16)은 시제품이 이미 제작완료하였으나 아직 실험검증이 미완료되어 판매는 하고 있지 않고 있다. 혹시나 유사품들이 D16용이라고 판매하고 있으면 기술인증을 받았다고 하는 광고보다는 시험성적서를 확인하는 것이 현장 사용하는 데 더 신뢰성이 있을 것으로 보인다.

D16용 CH-RCC에 대해서는 구조 성능검증을 끝내고 이번 기술기사와 같이 구조기술사회와 콘크리트학회에 그 결과를 보고하고 기술인증을 추가 인증 취득후 판매를 개시할 예정이다. 유념할 것은 시중에 D16용이라고 판매하고 있는 유사품은 꼭 시험성적서를 확인할 필요가 있다. 왜냐하면 띠철근 D16의 성능검증 기둥실험체는 그 특성상 국내 실험환경에서 실험하기가 쉽지 않고 최근까지 정보에 의하면 2023년 12월 현재 아직은 D16 용에 대해서 국내에서 실험한 실적이 없는 것으로 확인되고 있다.

다시 한번 강조하지만, D13용이든 D16용이든 이런 시험성적서 확인없이 현장에 적용하면 판매하는 사람보다 행여나 문제가 되면 나중에 현장에 적용한 사람이 결국 문제가 되므로 유념할 필요가 있다.

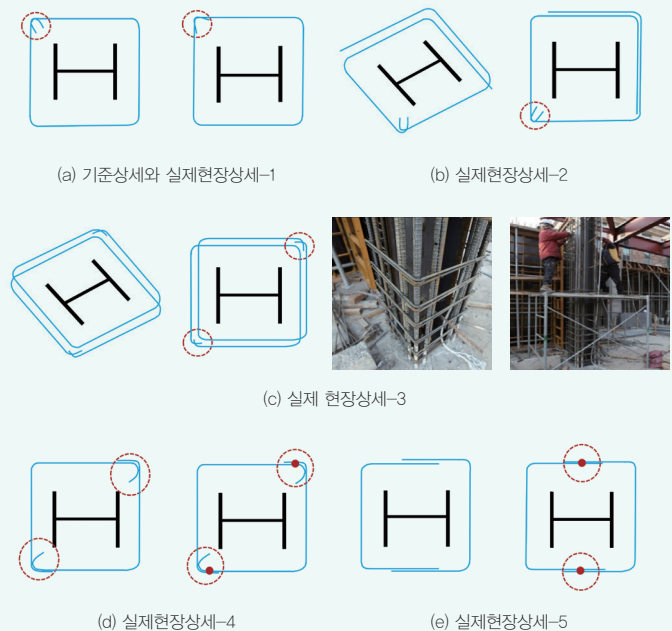
2. SRC합성기둥의 폐쇄형 후프 대체상세 제안 및 실험 검증

SRC합성기둥에서 폐쇄형 후프는 철근콘크리트 기둥의 폐쇄형 후프 기준(KDS 14 20 50 : 2021)을 동일하게 적용하고 있는 실정이고 폐쇄형 후프의 양단 135도 갈고리는 90도 갈고리에 비해 심부콘크리트 구축, 주근 좌굴 억제, 전단저항 증대에 따른 기둥 연성 향상에 중요한 역할을 하는 것은 사실이지만 하다.

그러나, SRC합성기둥에서 횡보강근이 반드시 양단 135도 갈고리가 필요한지는 여러 조건들 때문에 반드시 지켜져야 하는지 의심이 가는 대목이지만 어느 누구도 그 상황에서 갈고리를 90도 갈고리로 처리해도 문제가 없거나 무방하다고 할 수 있는 상황이 아니기 때문에 시공상 난해하여도 어떻게든 135도 갈고리를 지켜야 될 기준 내용이다.

만약, 굳이 감리나 감독측에서 SRC합성기둥에서 폐쇄형 후프를 하지 않는다고 지적을 하면 그림 4의 실제현장상세-1과 같이 갈고리를 100도에서 110도 정도의 애매한 각도로 처리하고 감리측과 서로 협의하여 기준을 준수한 것으로 하고 넘어가는 것이 일반적인 현실이다.

감리분이 원리원칙자이거나 보수적인 분이라면 그 협의는 받아들여지기 쉽지 않고, 그래서 그런 경우에는 실제현장상세-2와 3과 같은 대체상세들을 제안하여 협의한 후 책임구조기술자의 기술적 판단이라는 명분으로 상황을 처리하여 마무리한다.



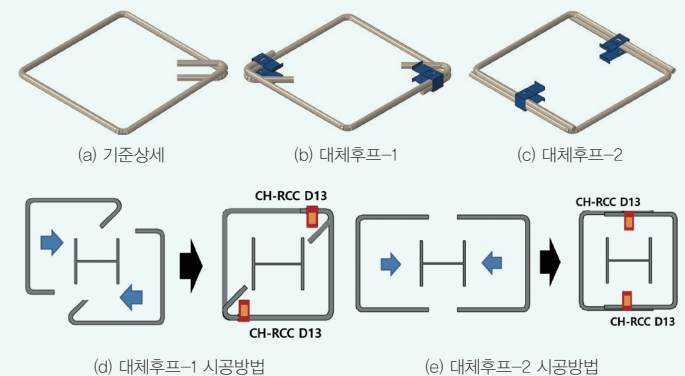
[그림 4] SRC합성기둥에서 기준의 폐쇄형 후프와 실제 현장에서 사용되는 대체상세들

추가하여 그림 4의 실제현장상세-4나 5번은 뿔잔점에서 번거로움이 있기는 하지만 구조성능 입장에서 대체상세들 중에 가장 확실하게 후프 역할을 할 수 있어 권장해 보기는 하지만, 실제 현장에서 용접의 품질이 원하는 수준으로 나온다는 보장도 없을뿐더러 용접이라는 작업의 번거로움과 화재 위험성 때문에 제안하여 본 적은 있어도 현장에서 한번도 이 상세로 작업된 적은 없는 것 같다.

그러므로, CH건설기술에서는 실제 현장에서 보강된 구조성능을 바탕으로 시공성을 개선하기 위하여 폐쇄형 후프를 대체할 횡보강근 대체상세들을 CH-RCC D13을 이용하여 제안하고 구조성능 검증을 실시하였다.

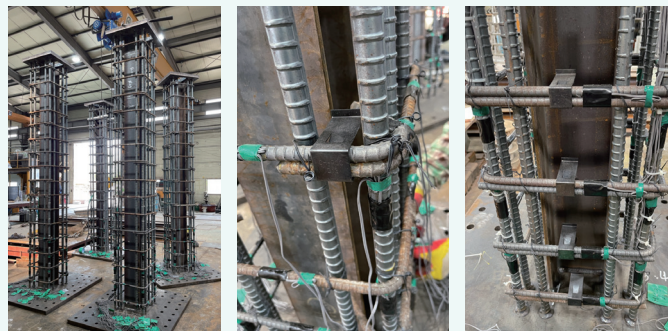
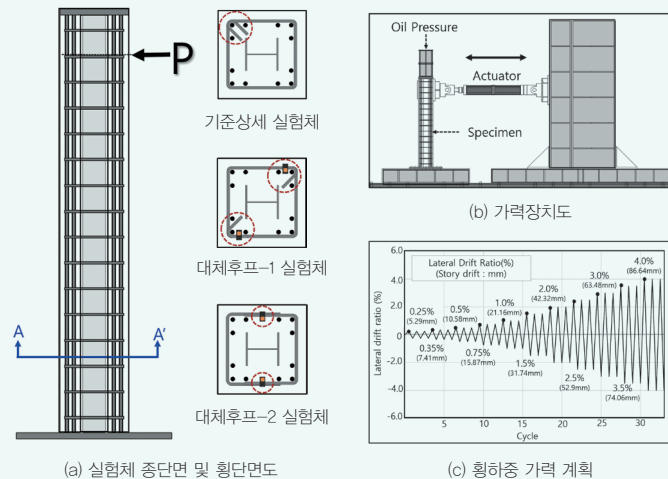
이러한 검증결과는 그동안의 책임구조기술자의 구조적 지식과 경험에 의거하여 판단하던 상황을 근본적으로 타당하고 합리적인 근거를 제시할 수 있는 기회가 되지 않을까 싶다.

제안한 대체상세는 실제현장상세-4, 5번 상세의 용접 지점에서 CH-RCC D13을 결속하는 상세를 그림 5와 같이 제안하였다.



[그림 5] CH건설기술에서 제안한 CH-RCC를 이용한 SRC합성기둥 대체후프 상세

구조성능 검증을 위해서 실제 국내 실험환경에서 실험할 수 있는 규모로 계획되어야 하므로 실험체는 그림 6과 같이 하였고 단면은 기준상세 실험체와 대체후프 실험체들로 구분하여 총 3개의 실험체로 구조성능검증을 실시하였다.



(d) SRC합성기둥 타설전 철근배근 및 CH-RCC D13 체결 상태

[그림 6] SRC합성기둥의 CH-RCC 내진성능 검증

실험체 구분에서는 기준상세 실험체(Standard ; ST)는 실험체 평면 상세의 평면 중 가장 상단의 평면에서 보는 것과 같이 H-형강 주변으로 주근 D19(SD600) 12개를 배치한 다음 직경 13mm의 폐쇄형 후프를 배치하였고 갈고리는 양쪽 135도 표준갈고리 교차 상세를 적용하여 제작하였다.

폐쇄형 후프를 배치할 때는 매입형 압축부재 강구조부재설계기준 KDS

14 31 10과 압축부재 합성콘크리트 설계기준 KDS 14 20 66에 따라 산정한 최소 피철근 간격 200mm보다 50mm 작은 150mm간격으로 기둥 길이 전체에 배치하여 실험체를 제작하였다.

대체후프-1 실험체(Alternative Hoop-1 ; AH-1)는 한쪽 135도 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 135도 갈고리가 아닌 다른 쪽의 90도로 내민 갈고리에 원터치 RC클립(CH-RCC D13)을 결속하여 폐쇄형 후프를 구성하고 기둥 길이방향 수직 간격은 기준상세 실험체와 동일하게 150mm로 배치하여 실험체를 제작하였다.

대체후프-2 실험체(Alternative Hoop-2 ; AH-2)는 겹쳐지는 중앙 위치를 기준으로 피철근 직경의 12배($12d_b$) 156mm의 정착길이를 갖는 2개의 'ㄷ'자 형태 피철근을 폐쇄형 후프와 같이 사각 형태로 겹친 다음 중앙 위치에 원터치 RC클립(CH-RCC D13)을 결속보강하여 폐쇄형 후프로 구성하고 간격은 기준상세 실험체와 동일하게 150mm로 배치하여 실험체를 제작하였다.

대체후프-2에서 후프 배근할 때 중요한 점은 피철근이 겹쳐지는 중앙 위치 기준에서 피철근 직경의 12배로 양방향에 겹쳐지게 하는 것이 중요하다. 왜냐하면, 분리된 피철근의 겹침이음으로 충분한 부착응력이 발생되어야 하기 때문이다.

반복횡하중에 따른 가력 장치도는 그림 6 (b)와 같다. 실험 중 $0.1 f_{ck} A_g$ (790kN) 보다 높은 850kN의 축력을 일정하게 유지하였으며 엑츄에이터를 이용하여 사각형태 하부 강판 밑단면으로부터 2,116mm 높이에서 500kN 용량의 횡하중 가력장치에 연결하여 변위제어로 정(+)과 부(-) 방향으로 2mm/min의 일정한 속도를 유지하며 반복 가력하였다.

이때 캔틸레버 거동을 이상화하기 위하여 두께 35mm의 하부강판 800×900 mm의 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 중간변위비(Drift ratio, Δ/L)를 기준으로 그림 6 (c)와 같이 변위비 $\pm 0.25\%$ (변위 5.29mm)로 시작하여 최종 파괴시점인 변위비 $\pm 4.0\%$ (변위 86.6mm)까지 점증적으로 증가시켰다.

각 변위이력에서는 횡하중 가력은 3주기(cycle)씩 하였다. 가력된 횡력은 엑츄에이터에 내장된 로드셀로 계속하였으며 로드셀로 계속된 횡력에

[표 3] CH건설기술에 실시한 SRC합성기둥 내진성능 실험결과

구 분	+ $P_{fn, test}$ (kN)	- $P_{fn, test}$ (kN)	$P_{fn, test}$ Ave. (kN)	휨강도 (kN·m)		$\frac{M_{n, test}}{M_{n, KDS}}$	주근 항복		H-형강 항복	
				$M_{n, test}$	$M_{n, KDS}$		Drift	P (kN)	Drift	P (kN)
기준실험체 (Standard)	212.8	212.7	212.8	450.3		1.192	3.5%, 1cycle(+)	212.2	4.0%, 1cycle(+)	277.5
대체후프-1 (AD-1)	217.3	219.3	218.3	461.9	377.8	1.223	3.5%, 1cycle(+)	211.9	4.0%, 1cycle(+)	179.6
대체후프-2 (AD-2)	220.8	223.4	223.4	472.7		1.251	3.0%, 1cycle(-)	201.2	3.5%, 2cycle(-)	184.7

Notes] $P_{fn, test}$ = 양방향 실험결과의 평균, $M_{n, KDS}$ = KDS 14 20 20에 의거한 계산 휨강도

대한 변위값과 비교하기 위하여 실험체 기둥 밑단의 가력방향과 반대방향에 각 변위계를 설치하여 횡하중에 대한 횡변위도 별도로 계측하였다.

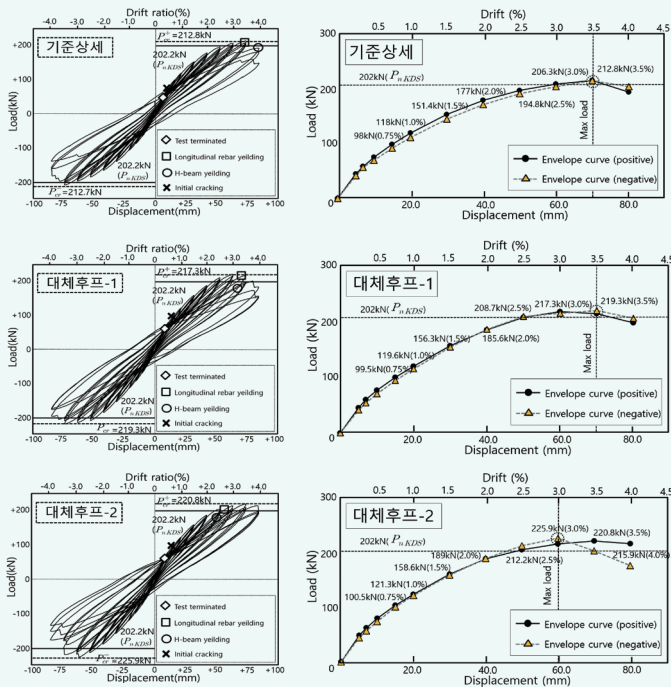
SRC기둥 실험체 단면에서의 주근 및 횡보강근의 변형률은 SRC기둥 밑단에서 550mm의 소성이상 구역내 변형률 게이지를 이용하여 측정하였으며 SRC기둥 심부내 H형강의 변형률을 측정하기 위하여 SRC기둥 최하단으로부터 상부 100mm지점의 H형강 플랜지 위치에 가력방향과 반대방향 플랜지의 위치에서 측정하였다.

구조성능 실험결과로 그림 7에서 보는 것과 같이 첫째, 최대강도값과 최대휨강도는 국내·외 기준에서 제시된 산정식으로 계산한 값보다 12.2% 이상의 높은 값을 보였으며 대체후프 실험체들은 기준상세 실험체보다 최대 4.4% 높은 최대휨강도값을 보여주었다.

둘째, 초기강성 비교에서는 대체후프를 갖는 실험체들이 기준상세 실험체와 비교할 때 최대 8% 이상의 높은 값을 보였고 이후 지속적으로 높은 값을 보이면서 실험이 종료되었다. 또한, 최종 누적 에너지소산능력 비교에서도 대체후프 실험체들이 최대 33.3%의 높은 상승값을 보여주었다.

셋째, 대체후프들에서 2개의 띠철근을 결속보강하기 위하여 사용된 원터치-RC클립(CH-RCC D13)의 거동은 RC클립의 상단, 중앙, 하단 위치에서 측정된 하중과 변형률의 결과로 확인하였는데 원터치-RC클립(CH-RCC D13) 중앙보다 상단과 하단에서 측정된 변형률이 콘크리트내 정착을 위해 보다 더 큰 변형률 거동을 하는 것으로 확인되었다.

이상과 같은 실험결과로부터 SRC합성기둥에서 폐쇄형 후프의 시공성을 개선하기 위하여 원터치-RC클립(CH-RCC D13)를 이용 결속보강한 대체후프들은 기준의 폐쇄형 후프를 갖는 SRC합성기둥과 동등이상의 구조성능 및 횡구속 효과를 발휘하는 것으로 평가할 수 있었다.



[그림 7] SRC합성기둥에서 내진성능 검증 실험결과와 그래프

3. SRC합성기둥의 폐쇄형 후프 대체상세 유한요소 해석검증

SRC합성기둥에서 구조성능 실험검증을 마친 후 그 신뢰성을 도모하기 위하여 유한요소해석을 통하여 다시한번 검증을 실시하였다.

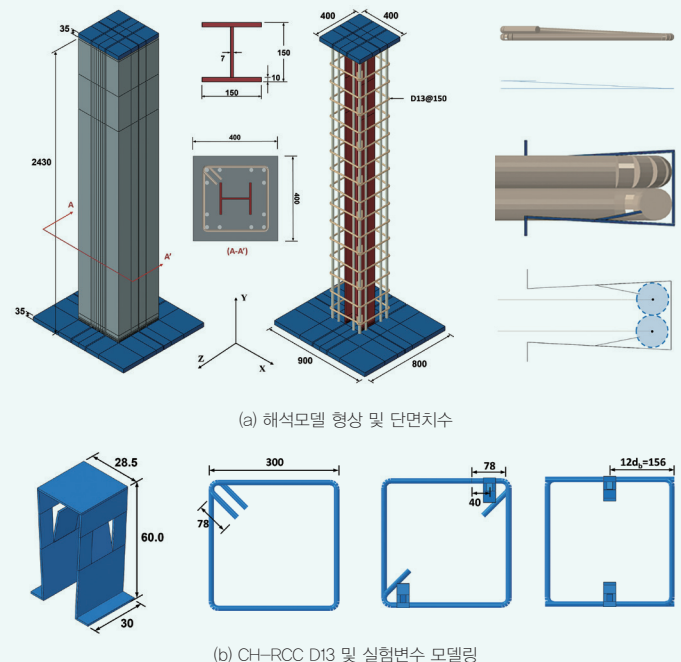
유한요소해석을 위해서 사용한 프로그램은 상용 프로그램인 ABAQUS/CAE(2020)을 사용하였다. 유한요소해석은 비선형 정적해석(Static, Riks)을 수행하였고, 비선형의 경우 재료 비선형만을 적용하였다.

해석모델은 모두 실제 실험체의 치수를 기준으로 모델링하였으며, 135도 갈고리 기준실험체 해석모델의 형상 및 단면 치수를 그림 8에 나타내었다.

해석모델의 구성요소는 크게 3가지로, 가력 하중에 저항하는 '주요 구조 요소', 실험체 변수에 따른 보조철물(대체후프 및 원터치-RC클립)들은 '추가 구조 요소', 지점 및 하중 조건 적용을 위한 '보조 요소'가 있다. 해석모델의 주요 구조 요소로는 H형강, 콘크리트가 있으며 보조철물로는 주근, 대체후프, 원터치-RC클립(CH-RCC D13), 보조 요소로는 가력부와 지점 부 강판이 있다.

구성요소 간의 접합은 실제 실험체 부재 간 일체화를 고려하여 접합 조건을 설정하였으며 콘크리트와 H형강의 접합면은 상부강판의 축하중으로 인해 완전합성으로 간주하여 타이(tie)조건을 주었고 하부강판과 용접된 H형강 또한 타이(tie)로 설정하여 겹치는 절점이 서로 변위와 회전을 공유하고 일체화되도록 설정하였다.

유한요소해석 결과, 실험체별 강성에서 초기강성은 해석 결과가 대체로 높게 나왔지만, 전반적으로 유사한 것을 확인할 수 있었다. 다만, 해석 결과에서 볼 수 있듯이 해석상에서 변위비 3.5% 이후 구간에서 하중이 감소하지 않아 해당 구간 강성이 실험보다 높게 나왔다.



[그림 8] SRC합성기둥의 CH-RCC 유한요소해석 검증 해석모델 형상 및 실험변수 모델링

해석결과가 하중 증가구간까지는 실험결과와 거동과 유사한 것을 확인할 수 있었지만, 최대하중 도달 후 하중 감소구간이 뚜렷이 나타나지 않아 실험의 최대하중과 실험의 최대하중이 나타난 시점의 변위에서의 해석에 의한 하중을 표4에 비교하였으며 비교적 서로 잘 일치함을 알 수 있다.

[표 4] 실험과 해석의 하중 비교

구 분	해석에 의한 최대변위 (mm)	실험에 의한 최대하중값 (kN)	해석에 의한 하중값 (kN)	오 차 (%)
기준 실험체 (ST)	73.9	212.8	227.5	6.5
대체후프-1 (AH-1)	63.3	217.3	219.8	1.1
대체후프-2 (AH-2)	73.9	220.8	239.1	7.7

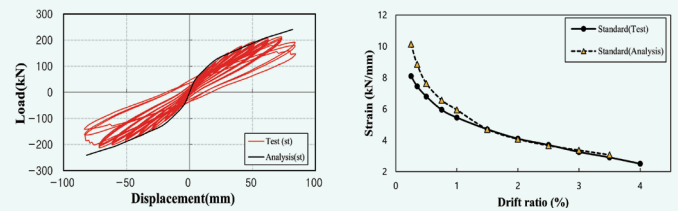
제안한 기준실험체인 양단 135도 갈고리와 대체후프 해석모델의 유효성을 검증하기 위해 해석모델의 유한요소해석 결과를 실제 실험 결과의 하중-변위 곡선과 비교하여 그림 9에 나타내었다. 해석모델의 변위 측정 위치는 실험의 변위 측정 위치와 동일하도록 횡가력면 중앙부를 기준으로 하였다.

실험에 의한 각 실험체별 이력곡선과 유한요소해석에 의한 하중-변위 곡선을 그림 9에 나타내었다. 반복가력한 실험과는 달리 유한요소해석은 단조가력으로 적용하였으므로 정가력과 부가력을 서로 대칭인 그래프로 나타내었고 해당 하중-변위 그래프로부터 산정한 초기강성과 실험 데이터의 포락곡선에서 산정한 초기강성을 비교해 표 5에 나타내었다.

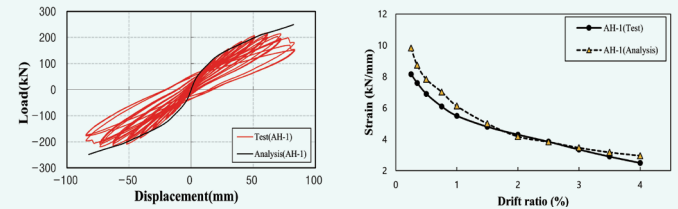
[표 5] 실험과 해석의 초기강성 비교

구 분	해석에 의한 초기강성 (kN/mm)	실험에 의한 초기강성 (kN/mm)	오차 (%)
기준 실험체 (ST)	11.4	10.6	6.9
대체후프-1 (AH-1)	11.0	10.4	5.5
대체후프-2 (AH-2)	10.9	10.6	2.8

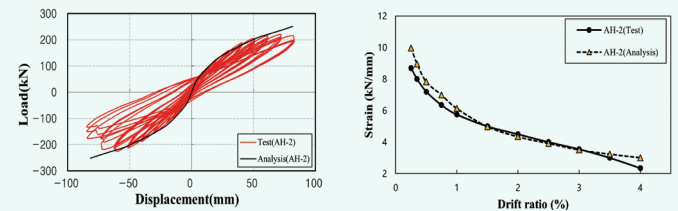
초기강성 측정은 실험체별 최대하중의 20%에 해당 변위로 나눠 측정했으며 확인 결과 실험체별 최대강도 결과와는 반대로 135도 갈고리 기준 실험체(ST)가 가장 높게 나왔으며 대체후프 실험체인 AH-1, AH-2 순서로 강성이 높게 나온 것을 확인했다. 이러한 결과는 실험과 해석에서 모두 동일하게 나타났다.



(a) 기준상세 실험체(Standard)



(b) 대체후프-1 실험체(AH-1)



(c) 대체후프-2 실험체(AH-2)

[그림 6] SRC합성기둥의 CH-RCC 내진성능 검증

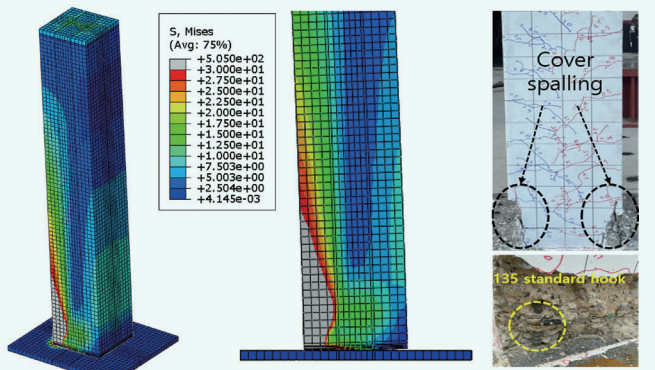
이로서 실험과 유한요소해석간의 오차는 1.1%에서 7.7% 수준에서 매우 신뢰성 있는 것으로 나타났으며 또한 구조성능 실험이 합리적인 타당성이 있음을 확인하였다.

유한요소해석을 통해 도출한 von Mises 응력분포와 실험의 파괴양상을 비교하기 위하여 실험의 최대하중일 때 실험체의 응력분포를 그림 10에 나타내었다.

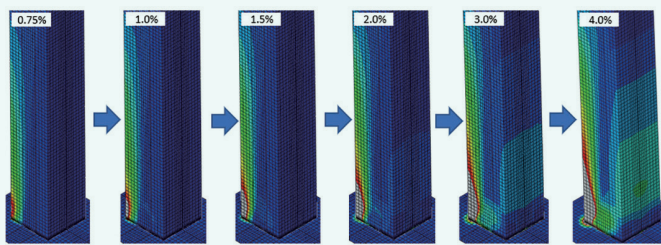
해석에 의한 응력분포를 보면 횡방향 단조가력으로 인해 응력분포의 회색으로 표시되는 기둥 하부 콘크리트 압축부에 응력이 집중되어 콘크리트 압축강도인 30MPa를 초과하고 해당 부분에서 파괴한 것으로 확인되었다. 이를 통해 실험의 파괴양상이 해석에서 잘 나타나는 것을 확인했다.

또한, 그림 10 (c)는 변위비에 따른 콘크리트 응력분포를 나타낸 그림이다. 해석결과는 스텝(step)에 대한 결과값으로 도출되므로 가장 인접한 변위비를 보이는 스텝으로 응력분포를 확인하였다.

가해지는 횡하중의 증가에 따라 변위비가 커지는데 변위비 즉, 하중이 증가함에 따라 압축력을 받는 하부 콘크리트에 응력이 점차 집중되며, 항복강도에 도달한 콘크리트의 영역이 점차 넓어졌다. 항복강도에 도달한 영역이 증가하면서 콘크리트가 압축응력에 저항하지 못하면서 하부 인장측 콘크리트에도 점차 응력이 증가하는 것을 확인했다. 이러한 응력분포는 대체후프-1과 대체후프-2 실험체에서도 동일하게 나타난다.



(a) 기준실험체 실험체 응력분포 (b) 실제실험체 파괴 형상



(c) 변위비에 따른 콘크리트 응력분포 (Standard)

[그림 10] 유한요소해석을 통한 실험체 응력분포 및 파괴 형상(Standard)

4. SRC합성기둥의 대체상세를 적용한 현장사례

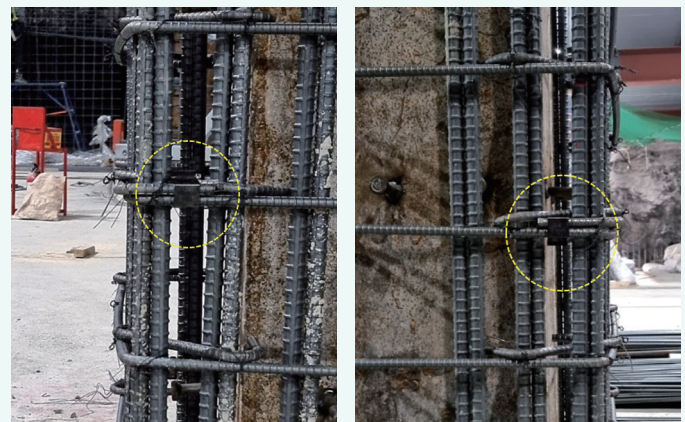
SRC합성기둥에 CH-RCC를 이용한 대체후프에 대하여 한국콘크리트 학회로부터 23년 1월에 추가 기술인증을 받은 이후 CH건설기술에서는 2 군데 현장에 적용하였다.

첫 번째 현장은 대구 만촌동의 웰퍼스트 힐스테이트 오피스텔 현장(현대건설)으로 대체후프-2의 상세를 적용하였으며 그림 11 (a)와 같이 현장에 설치하였다. 두 번째 현장은 판교 인터파크 사옥현장(계룡건설)으로 여기는 대체후프-1의 상세를 적용하였다.

현장에서는 대체후프-1의 분리형을 하기보다는 대체후프-2의 ㄷ자형 띠철근을 겹쳐서 잇는 것이 상대적으로 시공성이 편리하여 더 선호하는 것으로 보인다. 이 상세를 적용할 때에는 ㄷ자형 띠철근을 겹칠 때 중앙으로부터 충분히 겹침이음이 되는 것이 중요하다. 최소한 적용한 직경의 12배 이상을 중앙 양쪽으로 겹칠 수 있도록 하고 겹침이음 구간이 더 길면 길수록 구조성능면에서 더 좋기 때문이다.



(a) 대구 만촌동의 웰퍼스트 힐스테이트 오피스텔 현장(현대건설)



(b) 판교 인터파크 사옥현장(계룡건설)

[그림 11] SRC합성기둥의 대체상세를 적용한 현장사례

5. 결론

이번 CH건설기술에서는 지금까지 현장의 SRC합성기둥에서 폐쇄형 후프의 양단 135도 갈고리를 준수해야하는 입장과 현실적으로 시공하기가 어렵다는 의견 다툼이 있었던 기존상세에 대하여 대체상세들을 제안하고 구조성능 검증을 실시함으로써 책임구조기술자분들에게 구조성능의 타당한 근거를 제시함으로써 현장에서의 시공성 개선에 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

6. 제품문의

- 전화 : 02.2240.4990
- 네이버, 다음에
“CH건설기술”, “씨에이치건설기술”, “RCC내진갈고리” 검색
- 홈페이지 : <http://chrcc.kr>
- 유튜브 : “CH건설기술”, 또는 “135도 갈고리” 검색 그림 12 (a),
아키운 검색 그림 12 (b)



(a) CH건설기술 홈페이지 소개 유튜브(출처 : CH건설기술)



(b) CH-RCC 현장적용 사례 소개 유튜브(출처 : 아키윤)

[그림 12] CH-RCC 관련 유튜브

감사의 글

이번 검증에 지도 편달해주신 경기대학교 최병정 교수님과 강철규 교수님께 깊은 감사 말씀 올리며, 실험을 수행해 주신 (주)페트라텍 강병국 대표님과 그 직원분들께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 박경언, 김용주(2020), “띠철근 풀림방지 장치”, 특허번호 10-2148235, 대한민국 특허청, 2020년 8월
2. 박경언, 김용주(2020), “띠철근 고정클립”, 디자인 특허번호 30-1077403, 대한민국 특허청, 2020년 9월
3. 박경언, 윤현도 (2020), “클립형 연결장치로 결속된 90도 갈고리를 갖는 띠철근의 정착거동”, 한국구조물진단유지관리공학회, 24권 4호, 2020년 8월, pp. 72-80.
4. 박경언, 윤현도 (2020), “철근콘크리트 기둥의 띠철근에서 135° 갈고리 대체 클립형 연결장치의 시공성 및 비용 분석”, 한국건축시공학회, 20권 5호, 2020년 10월, pp. 459-469.
5. 박경언 (2021), “철근콘크리트 기둥에서 90도 갈고리 띠철근 결속용 클립형 연결장치의 유효성 평가”, 충남대학교 대학원, 박사학위논문, 2021년 2월

6. 김은영, 김용주, 최성모, 김대진, 박경언(2021), “인발실험을 통한 내진갈고리 대체용 RCC 장치의 부착 및 정착의 합성거동”, 한국복합신소재학회, 12권2호, 2021년 4월, pp. 21-32.
7. 김용주, 박경언, 김대진(2021), “135도 표준갈고리 대체용 원터치 클립 : RCC내진갈고리 공법소개”, 한국건축구조기술사회, 28권1호, 2021년 2월, pp. 29-46.
8. 박경언, 윤현도, 홍성걸 (2021), “강재 클립형 연결장치로 결속된 90도 갈고리를 갖는 띠철근으로 구축된 철근콘크리트 기둥의 압축거동”, 한국콘크리트학회, 33권5호, 2021년 10월, pp. 460-480.
9. 박경언, 윤현도, 홍성걸 (2022), “강재 클립형 연결장치로 단부를 결속한 횡방향철근으로 보강된 고강도 콘크리트 기둥의 전단성능”, 한국콘크리트학회, 34권2호, 2022년 4월, pp. 161-172.
10. 김용주, 최병정, 김대진 (2022), “135도 표준갈고리 시공성 개선을 위한 원터치-RC클립 및 현장사용 사례”, 한국건축구조기술사회, 29권5호, 2022년 9월, pp. 50-57.
11. 김용주, 최병정 (2022), “폐쇄형 후프의 시공성을 개선하기 위해 강재 클립형 연결장치로 보강한 대체후프를 갖는 SRC기둥의 내진거동”, 한국공간구조학회, 22권4호, 2022년 12월, pp. 59-69
12. 김용주, 최병정 (2023), “반복횡하중이 작용하는 강재 클립형 연결장치로 결속된 콘크리트 기둥의 비선형 유한요소해석”, 한국전산구조학회, 22권4호, 2023년 8월, pp. 243-250

[필자 소개]

김용주 대표는 경기대학교를 졸업하고, 동대학원 석사학위를 취득하였으며, 현재 CH 구조엔지니어링 및 CH건설기술 대표이사로 재직하고 있으며 건축구조기술사회 편집위원회 위원장으로 봉사하고 있다.

최병정 교수는 중앙대학교를 졸업하고, 일리노이주립대 석사 및 박사 졸업, 현재 경기대학교 교무부총장 및 건축공학과 정교수이며, 주요 연구분야는 내진, 내화, 합성구조 등의 연구를 진행하고 있다.

강철규 교수는 경기대학교를 졸업하고, 동대학원 석사, 박사 학위를 취득하였으며, 주요 연구분야는 내진, 내화, 합성구조 등의 연구를 진행하고 있다.