

V-타이를 활용한 RC기둥의 단면확대 보강 및 프리캐스트 중공 기술 개발 최종보고서

2020 . 02. 24.

주관연구기관 / 포엠 주식회사
위탁연구기관 / 경기대학교

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘V-타이를 활용한 RC기둥의 단면확대 보강 및 프리캐스트 중공 기술 개발’(연구개발 기간 : 2017. 04. 01 ~ 2019. 12. 31) 과제의 최종보고서 보완본 1부를 제출합니다.

2020 . 02. 24.

주관연구기관명 : 포엠 주식회사 (고정완)

위탁연구기관명 : 경기대학교 산학협력단 (이준성)



주관연구기관책임자: 심재일

위탁연구기관책임자: 양근혁

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19TBIP-C126 471-03	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. - 2019.12.31.	단계구분	3차연도/ 3차연도
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명	국토교통기술사업화지원사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	V-타이를 활용한 RC기둥의 단면확대 보강 및 프리캐스트 중공 기술 개발			
연구책임자	심 재 일	해당단계 참여연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 402,000 천원 민간: 268,000 천원 정부 외: 천원 상대국: 천원 계: 670,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 35 명 내부: 35 명 외부: 명	총 연구비	정부: 1,346,000 천원 민간: 904,000 천원 정부 외: 천원 상대국: 천원 계: 2,250,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	포엠 주식회사			참여기업명	해당없음
국제공동연구 위탁연구	상대국명: 해당없음 연구기관명: 경기대학교 산학협력단			상대국 연구기관명: 해당없음 연구책임자: 양 근 혁	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	15건	10건									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약: 연구 결과

- 기존 기둥의 내진 단면 확대 및 유지보강을 위한 V-타이 기술 기반의 철근 선조립 공법 개발
 - 현장 공정을 최소화하면서 내진상세를 만족하는 기둥 철근 선조립 공법 개발
 - 확대 단면에서 폐쇄형 외부 띠철근 형성 및 보조 띠철근 배근을 위한 요소 기술 제시
 - 확대 단면의 콘크리트 품질 확보를 위한 고접착성의 자기충전 콘크리트 배합개발
 - 기둥의 단면확대 및 유지 내진보강을 위한 철근 선조립 공법의 시공성 평가 및 시공 가이드라인 제시
- V-타이 기술 기반의 철근 선조립 기술을 적용한 단면확대 및 유지 기둥의 구조거동(압축 및 내진 성능) 평가
 - 확대 단면에서 V-타이 정착을 위한 요소기술 제시
 - 제안기술로 보강된 단면확대 및 유지 기둥의 중심 축하중 거동 평가

보고서 면수

100 page

· 제안기술로 보강된 단면확대 및 유지 기둥의 정적 내진성능 평가	
3) 철근 선조립 공법을 적용한 단면확대 및 유지 기둥의 내진보강 설계 가이드라인 · 신·구 단면에서 구속된 콘크리트의 응력-변형률 거동 모델링 · 제안 기술로 보강된 단면확대 기둥의 반복 횡하중-횡변위 거동 모델링 · 단면확대 및 유지 기둥의 소요 휨 연성에 대한 철근 선조립 배근설계 모델 · 단면확대 보강 및 유지 기둥의 현장 적용성 평가	
4) 제안 기술의 결과물 실용화를 위한 기반 구축: 신기술 인증 신청 등 · 비즈니스 모델 구축 및 철근 선조립 생산에 대한 OEM 협약	

요약문

연구의 목적 및 내용	이 연구의 목표는 폐쇄형 외부 띠철근 형성 및 보조 띠철근 배근이 어려운 기존 RC 기둥의 내진 단면확대 보강 및 단면유지 보강에서 V-타이 보조띠철근 배근기술(건설신기술 인증)의 적용을 확대하는 것임. 이를 통해 공공 안전성 확대 및 개발 기술의 사업성과 확장을 달성하고자 함. 1) 기존 기둥의 내진 단면 확대 및 유지보강을 위한 V-타이 기술 기반의 철근 선조립 공법 개발 · 현장 공정을 최소화하면서 내진상세를 만족하는 기둥 철근 선조립 공법 개발 · 확대 단면에서 폐쇄형 외부 띠철근 형성 및 보조 띠철근 배근을 위한 요소기술 제시 · 확대 단면의 콘크리트 품질 확보를 위한 고접착성의 자기충전 콘크리트 배합 개발 · 기둥의 단면확대 및 유지 내진보강을 위한 철근 선조립 공법의 시공성 평가 및 시공 가이드라인 제시 2) V-타이 기술 기반의 철근 선조립 기술을 적용한 단면확대 및 유지 기둥의 구조 거동(압축 및 내진 성능) 평가 · 확대 단면에서 V-타이 정착을 위한 요소기술 제시 · 제안기술로 보강된 단면확대 및 유지 기둥의 중심 축하중 거동 평가 · 제안기술로 보강된 단면확대 및 유지 기둥의 정적 내진성능 평가 3) 철근 선조립 공법을 적용한 단면확대 및 유지 기둥의 내진보강 설계 가이드라인 · 신 · 구 단면에서 구속된 콘크리트의 응력-변형률 거동 모델링 · 제안 기술로 보강된 단면확대 기둥의 반복 횡하중-횡변위 거동 모델링 · 단면확대 및 유지 기둥의 소요 힘 연성에 대한 철근 선조립 배근설계 모델 · 단면확대 보강 및 유지 기둥의 현장 적용성 평가 4) 제안 기술의 결과물 실용화를 위한 기반 구축: 신기술 인증 신청 등 · 비즈니스 모델 구축 및 철근 선조립 생산에 대한 OEM 협약				
연구개발성과	· 학술적 성과 : 국내 · 외 논문게재 15편 · 지식재산권 : 특허 출원 9건(해외 3건, 국내 6건), 등록 1건(진행 중 8건) · 사업화 모델 보고서: 1건 · 실용적 성과: 설계 가이드라인 1건 / 설계 프로그램 등록(1건 등록 진행 중) · 사업화 매출계약: 121건 / 기술 인증: 1건(현장 조사 완료)				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1) 활용계획(기술수요처) · 기존 건축물의 내진보강을 위한 RC 기둥 및 전단벽 경계요소의 단면확대 및 단면유지 내진보강 · 지진 등으로 손상된 기둥단면의 보수 · 보강 · RC 부재에서 보조 띠철근에 대한 신산업 창출 · RC 기둥의 철근 선조립 시장 진입 2) 기대효과 · 단면확대 보강기둥과 동일단면 보강기둥의 내진향상에 대한 원천기술 확보 · V-타이를 포함한 철근 선조립 기술의 가격 경쟁력 확보(12% 원가절감) 및 설계 VE 요소기술 제공을 통한 사업확장(기존 띠철근 시장의 10% 이상 점유) · 기존 기둥 내진보강 시장의 10% 점유목표: 연간 약 500억원(시공비 포함) 매출 · 베트남 국립건설대학교 및 중국 설계원의 협업을 통한 기술 수출 추진 중				
국문핵심어 (5개 이내)	V-타이	단면확대 보강기둥	단면유지 보강기둥	사업화 모델	기술구매계약
영문핵심어 (5개 이내)	V-tie	Section enlargement strengthening column	Section maintain strengthening column	Business model	Technology purchase contract

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 사업화 기술 정의	1
나. 사업화 기술 설명	2
2. 연구수행내용 및 성과	11
가. 연구 추진전략·방법 및 추진 체계	11
나. 주요 연구 내용	17
다. 연구 개발 성과	96
다. 연구 결과	101
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	103
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	106
붙임. 참고 문헌	107

1. 연구개발과제의 개요

가. 사업화 기술 정의

- 본 제안은 특허명 “내진설계를 위한 시공성이 개선된 철근콘크리트 기둥의 보조 띠철근 배근방법” 및 “띠철근 고정용 클립 또는 띠철근 고정부재를 이용한 철근콘크리트 수직 부재의 내부 띠철근 고정구조”에서 핵심기술인 원터치 V-타이 보조 띠철근 배근기술을 이용하여 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 내진성과 시공성을 향상시키는 기술임 (그림 1.1).
- 사업화 대상 기술은 증축 및 리모델링 구조물에서 저층에서 부족한 내력과 연성을 향상시키기 위한 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 배근의 효율성을 높이고 부재의 구조적 성능을 향상시키기 위한 기존 크로스타이 배근을 대체하는 V-타이의 배근임.
- 단면확대 및 단면유지 보강에서 외부띠철근의 벌어짐 현상을 지연시키기 위해, 드형 외부띠철근의 겹침부위에 V-타이를 배근하여 콘크리트 구속효과 향상 및 주철근 조기좌굴 제어.
- 크로스타이 배근이 어려운 확대 단면에서 V-타이 보조 띠철근을 배근하여 기둥의 연성향상 기술.
- 추가 개발한 선조립 공법: 주철근과 보조 V-타이를 포함한 폐쇄형 횡보강근의 선조립 공법을 개발함(신축기둥 및 보강단면에서 적용 가능).
- 선조립 철근 유닛은 기둥의 각 면에서 설치될 수 있는 주철근, 양단 135° 갈고리를 갖는 직선형 타이, 그리고 중간 주철근에 배근되는 V-타이 보조 띠철근으로 구성됨으로서 기둥의 강성, 내력 및 연성 향상.

구분	사업화 기술	
	내진 설계용 V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 구조 및 이의 시공방법	기둥의 단면확대 보강을 위한 철근 선조립 유닛 공법
■ 특허번호	10-2016-0123094	10-2018-0122693
■ 권리자	포엠 주식회사, 지엘기술 주식회사	경기대학교 산학협력단, 포엠 주식회사
■ 기존기술과 비교하여 성능 개선 등 차별화 내용	보강단면에서 V-타이 보조띠철근을 배근함으로써 주철근 좌굴제어 및 콘크리트 구속효과를 높여 기둥 내력과 연성 향상	선조립 철근 유닛은 공장에서 선조립 유닛을 이용하여 현장공정 최소화하고 기둥의 내력과 연성 향상시키는 새로운 기술.

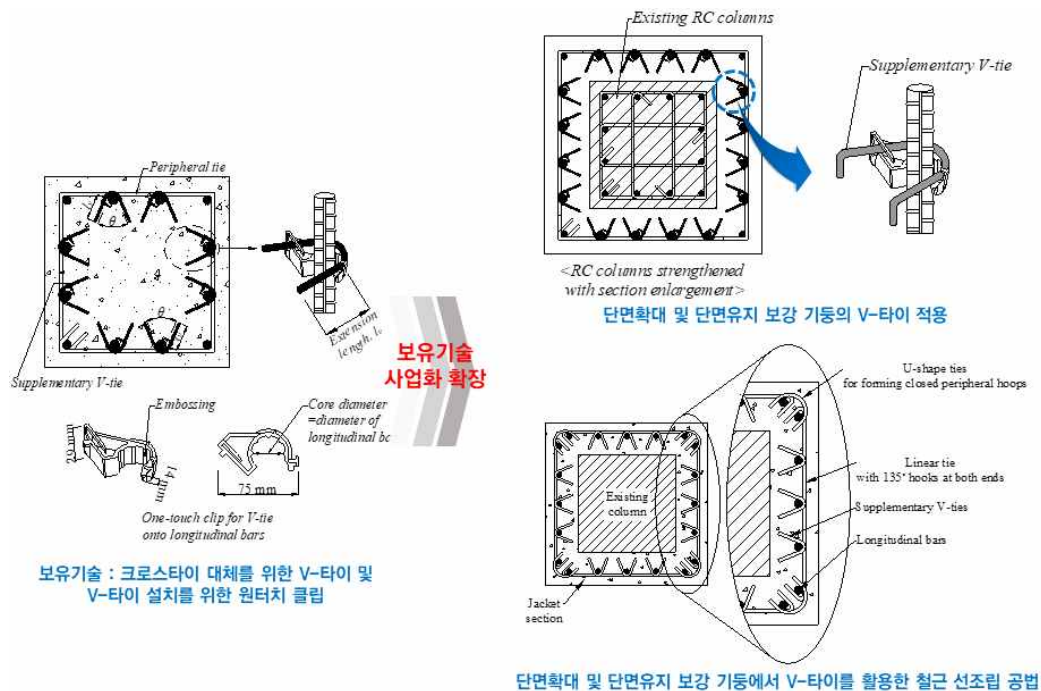


그림 1.1 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 내진성능 향상을 위한 V-타이 기술의 확장

나. 사업화 기술 설명

(1) 제안 기술의 명칭

- V-타이 보조 띠철근 배근기술의 사업화 확장을 위한 RC 기둥의 내진 단면확대 및 단면유지 보강기술 개발
 - 보유기술인 원터치 V-타이 보조 띠철근 배근방법을 이용하여 기존 크로스타이의 시공이 어려운 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 내진성능 향상을 위한 실용화 기술.

(2) 기술의 구성

- 보유기술인 V-타이 설계기술(설계기준에서 제시하는 철근콘크리트 기둥의 내부 보조띠철근으로써, 한단 135° 타단 90°의 갈고리를 갖는 크로스타이의 대체)은 일반 철근콘크리트 기둥의 적용을 위해 국토교통부 건설신기술 인증, 한국콘크리트학회 기술인증 및 한국건축구조기술사 신기술 인증 등을 받았으며, 원터치 V-타이는 제품화로 실용화에 성공하였음.
- 제안기술은 보유기술인 V-타이 배근설계 기술의 장점을 극대화하면서 사업화 확장을 위한 것으로서 보조 띠철근 배근이 상당히 어려워 취성과괴로 연결되는 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에 V-타이 기술을 접목하는 실용화 중점임(그림 1.1).
 - ※ V-타이를 포함한 철근선조립 기반 단면확대 보강기둥의 내진성능 향상 기술.
 - ※ V-타이를 포함한 철근선조립 기반 단면유지 보강기둥의 내진성능 향상 기술.

(3) 기술의 핵심요소

- V-타이 배근 원천기술: 원터치 설치가 가능한 시공성 향상과 주철근 좌굴제어 및 콘크리트 구속효과가 우수한 보조 띠철근 기술.
- 철근 선조립 기술 : 주철근, 양단 135° 의 선형 타이, V-타이 보조띠철근으로 구성된 공장생산 현장 배근형 철근 선조립 유닛
- V-타이 단부 정착기술(원천기술 확장) : 확대단면의 두께제어를 위하여 V-타이의 문힘길이 감소를 위한 정착기술 부여.
- 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 성능기반 설계기법: 기존 크로스타이 적용이 어려운 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에 V-타이 보조띠철근을 배근함으로써 주철근 좌굴제어 및 콘크리트 구속효과를 높여 연성향상을 도모하며, 소요 연성에 대한 V-타이 배근기술을 확립함.

특성	원천기술	① V-타이 및 원터치 클립 기술은 국내·외적으로 유사기술 없는 원천기술임. ② 일반 RC 기둥에서 V-타이 설계기술은 실용화를 위한 인증을 받았음. ③ 보유 원천기술을 단면확대 보강 및 유지기둥으로 확대: 기둥의 철근 선조립 기술로 독창성 확대.
	주요성능	· 구속효과 : RC 기둥의 주철근 좌굴제어 및 코어 콘크리트 구속효과 향상 · 내력 : 제안기술을 적용한 기둥의 압축 및 휨 내력은 설계기준의 공칭강도 이상 · 연성 : 제안기술을 적용한 기둥의 압축 및 휨 연성은 기존 기술로 보강된 기둥 대비 150% 이상 · 시공성 : 기존기술 보강 기둥의 시공 시 공기 1/3 이상 단축
활용성 (사업적용성)		· 기존 건축물의 내진보강을 위한 RC 기둥 및 전단벽 경계요소의 단면확대 내진보강 · 지진 등으로 손상된 기둥단면의 보수·보강 · RC 부재에서 보조 띠철근에 대한 신산업 창출 · RC 기둥의 철근 선조립 시장 진입

※ 제안한 사업화 기술은 RC 기둥에서 보조 띠철근으로 이용되는 한단 135° 타단 90° 갈고리를 갖는 크로스타이 대체를 위한 원터치 V-타이에 대한 원천기술을 단면확대 및 단면유지 보강 기둥으로의 내진성능 향상 적용을 위한 것임.

※ RC 기둥에서 보조 띠철근으로 이용되는 크로스타이 대체에 대해 구체적인 연구 또는 실용화로 연계된 유사기술은 없음.

4) 기술의 독창성

① 동종분야 유사 기술 대비 차별성 및 독창성

- 그림 1.2에 나타내었듯이 본 기술의 PCT 출원을 위한 관련 유사기술 조사결과 및 특허맵 분석결과 기술은 독창적인 원천기술로서 국내외적으로 유사기술 없음으로 평가되었음.
- RC 기둥에서 보조띠철근으로서 V-타이를 연구하고 실용화한 사례가 없음. 특히 RC 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 보조띠철근 배근이 불가능하기 때문에 이와 관련한 유사연구 또는

지적재산권은 없음.

- 신청기술의 공정과 성능발현 측면에서의 독창성과 우수성을 한단 135° 타단 90° 갈고리를 갖는 크로스타이 기술과 비교하여 표 1.1에 나타내었음.

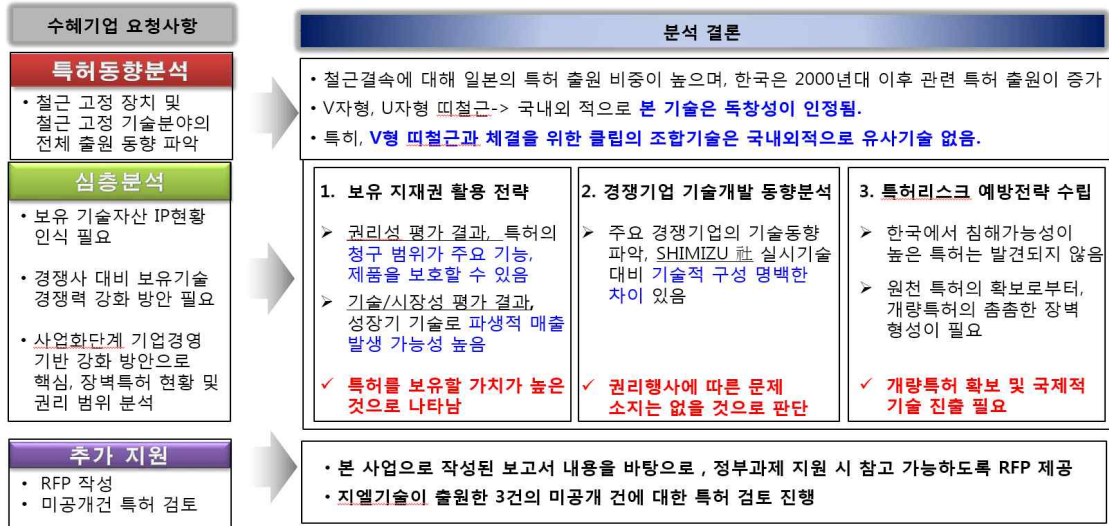


그림 1.2 국내·외 유사기술의 조사·분석결과(특허맵 주요 결론)

표 1.1 제안기술의 독창성

내용	기존기술 (한단 90° 타단 135° 크로스타이)	제안기술	독창성 범위
- 선행공정 영향도	• RC 기둥에서 외부 띠철근 배근 후 공정이 이루어짐.	• 기존 기술과 동일 • 공장에서 주철근 및 횡보강근이 조립되기 때문에 현장에서는 철근 선조립 유닛의 단순 배근이 이루어짐.	
- 작업조건	• 주철근의 위치가 어긋날 경우 배근이 어려움. • 철근 밀집배근 영역에서는 정확한 배근이 어려움. • 주철근의 상호 간격과 크로스타이의 길이가 정확하게 일치하지 않을 경우 배근 안됨. • 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 적용 불가능. • 결속선 공정시간 요구됨.	• 철근 조립이 공장에서 이루어지기 때문에 배근의 정확성이 높음. • 주철근, 횡보강근이 공장에서 조립되어 현장 배근이 용이함. • 배근이 단순하여 고소작업 등에서 안전사고 위험성 낮음. • 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서도 배근 원활	○
- 균질성능 발현 여부	• 주철근의 위치가 어긋날 경우 크로스타이 배근의 불량으로 인해 기둥의 연성저하 심할 수 있음. • 고강도 콘크리트, 고축력 기둥일수록 크로스타이의 90° 갈고리 풀림 현상 심하고 이로 인해 기둥 연성저하 심할 수 있음.	• 주철근의 위치 및 상호간격과 관계없이 기둥의 내력과 연성의 변화 없음. • 콘크리트 강도 및 축력비에 관계없이 풀림 또는 뺄힘 현상 없음. • 철근 선조립 유닛은 공장에서 사전 조립되기 때문에 품질이 균일함. • 특히 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 내진성능 향상에 크게 기여할 수 있음.	○

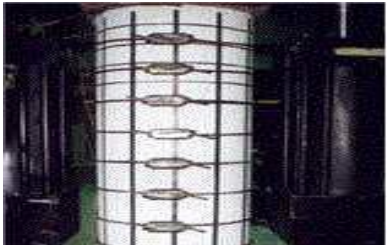
(5) 기술의 활용성

(가) 시장성

① 기존 건축물 내진보강 시장특성 및 전망

- 기존 건축물 내진보강의 기술은 크게 강도 증진형(건물의 강도와 강성을 증가시키는 방법), 연성 증진형(건물의 변형능력을 향상시키는 방법) 및 에너지 소산형(건물에 작용하는 지진하중을 저감시키는 방법)으로 구분될 수 있음(표 1.2).
- 설계기준의 강화 및 도심지에서의 증축요구 증가로 인해 건물 전체의 강도와 강성 그리고 연성을 향상시키는 공법이 주목을 받고 있으며, 이에 따라 단면확대 및 단면유지 보강공법의 적용성이 증가하고 있음.

표 1.2 기존 건축물 내진보강의 기술

□ 강도 증진형 : 건물의 강도와 강성을 증가시키는 방법		
· 기둥 및 보의 단면 증설 	· 전단벽 증설 	· 가새골조 설치 
□ 연성 증진형 : 건물의 변형 능력(급격한 붕괴 방지)을 향상시키는 방법		
· 기둥 및 보의 강판보강 	· 기둥 및 보 탄소섬유 시트보강 	· 기둥 및 보의 단면 증설 
□ 에너지 소산형 : 지진에너지를 흡수하여 건물에 작용하는 지진하중을 저감시키는 방법		
· 마찰형 	· 금속항복형 	· 유압실린더형 

- 지난해 9.12 경주 강진 이후 기존 건축물의 내진보강 공사에 대한 시급성이 급격히 증가하고 있음. 정부는 당시 2단계 내진보강계획(2016~2020년)의 조기 달성을 독려하면서 주요 SOC(사회간접자본)과 함께 학교를 내진보강 조기완료 대상으로 우선 설정하였음.
- 국내의 노후화 건축물의 현황분석에서 20년 이상 건축물의 총 연면적은 약 16.7억 m²이며 15년 이상 20년 미만 건축물의 총 연면적은 약 15.5억 m²임. 국내 노후화 건축물의 리모델링 및 내진보강을 위한 국내의 시장은 2015년 기준으로 4조원 이상이 형성되면서 지속적인 증가가 예상됨(그림 1.3).
- 올해부터 학교 내진보강 공사시장이 급속도로 팽창할 것으로 예상되는데, 교육부는 총 5조원 이상을 투입해 2037년까지 전체 3만4036개 유치원 및 초중고대학교(관리동 제외)의 내진보강을 조기 완료한다는 계획임.
- 구조물 보강 및 리모델링 시장은 주로 탄소섬유 또는 강판을 이용한 부착형 보강공법이 주도하고 있음. 하지만 부착형 보강공법의 환경적 문제점 및 장기거동에서 보강재의 탈락이라는 심각한 구조적 문제점 그리고 구조물 전체의 휨 강성 및 내진성능 향상 측면에서 단면증설 및 단면유지 기둥보강 공법이 다시 주목을 받고 있음.

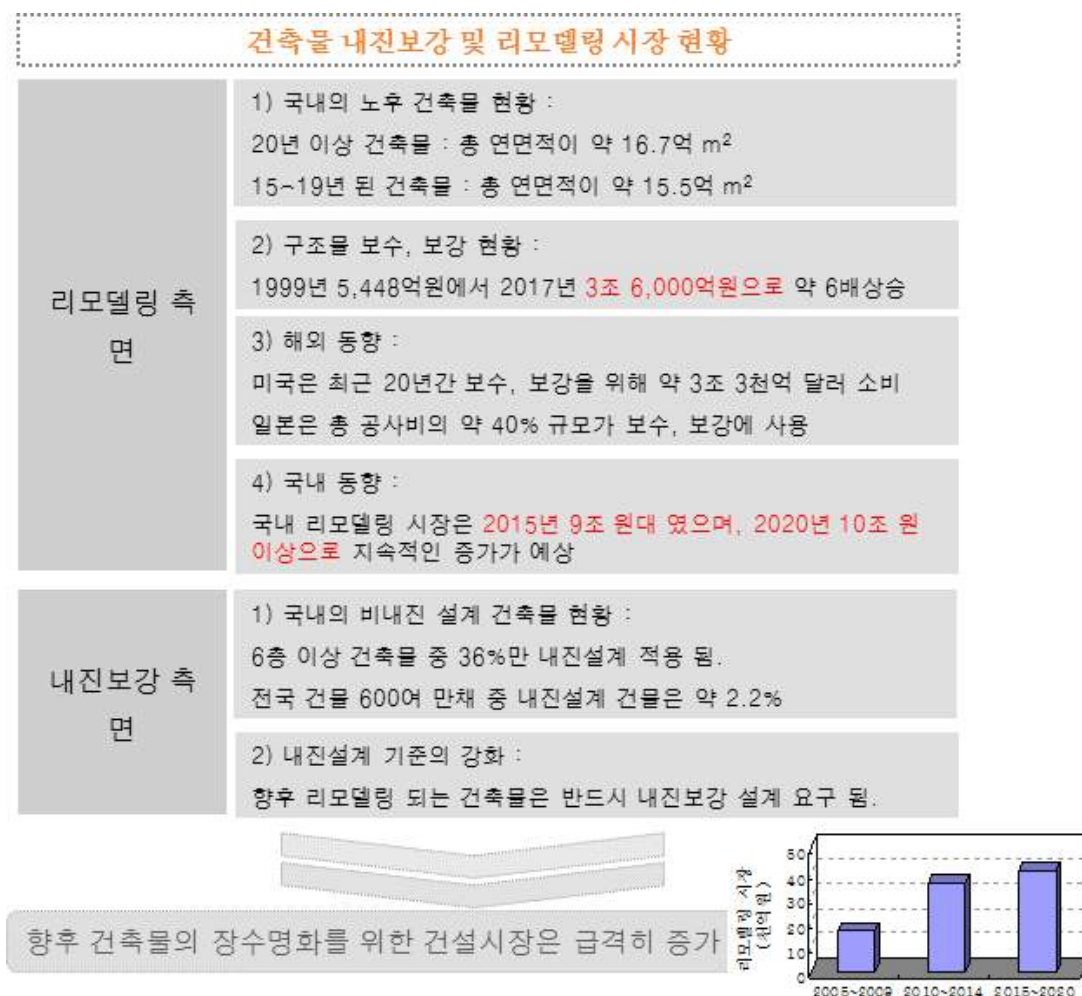


그림 1.3 건축물 내진보강 및 리모델링 시장 전망

- 구조물 내진보강 공사시장이 급팽창하면서 이에 대한 우려도 함께 제기되고 있는데, 내진설계 보강기준 및 활용기술 마련이 덜 된 상태에서 대대적인 보강공사가 이뤄질 경우 향후 큰 사회적 문제로 대두될 가능성이 높음.
- 따라서 제안기술은 단면확대 및 단면유지 보강기둥의 강성 및 내진성능을 향상시킬 수 있는 측면에서 구조물 보강 및 리모델링 시장의 중요한 활용기술로 대두될 수 있다고 판단됨.

② 기존 건축물 내진보강에 대한 국가 정책지원 및 방향

- 정부는 「지진재해대책법」 제15조·제16조 및 「기존 공공시설물 내진보강 기본계획 (2016~2020)」을 수립하였음.

< 내진보강대책 수립 근거 법령 >

- 「지진재해대책법」 제15조(기존 시설물의 내진보강기본계획 수립 등), 제16조(기존 시설물의 내진보강 추진 등)
- 같은 법 시행령 제11조(내진보강대책 수립 대상 시설 및 방법 등)

- 정부는 기존 공공시설물 내진보강 기본계획(2016~2020)」에 따라 구조물 내진보강은 현재 시설물별 내진설계기준을 만족하도록 추진하고 있음.
- 시설물별 내진보강 우선순위는 국민안전처 내진보강 필요성 검토결과 및 기관(부서)별 자체 내진보강 계획 등을 고려하여 단계적인 내진보강을 추진하기로 하였음.

< 건축물의 내진보강 중·장기 계획>

- 1단계 사업 추진(‘10~‘14년)은 공공건축물(지역재난 대책본부)의 경우 총 12,801동 중 20%인 2,568동에 대하여 내진보강 사업 추진
- 민간건축물의 경우 1단계 계획으로 총 796,715동 중 5%인 39,824동에 대하여 내진보강 사업 추진토록 권고
- 중요도 특등급인 지역재난 대책본부 전체 건축물에 대하여 1단계 사업으로 우선적으로 내진보강 시행
- 국토교통부는 2017년도 시설물 노후화, 기후변화에 대비하여 도로유지보수, 내진보강, 위험도로 개선 등 안전사업에 대해 3조 6천원의 예산을 책정하였음.

(나) 국내 건설공사에서의 활용전망

- 건설회사(L사, K사, D사 등)를 상대로 설문조사 한 결과 RC 기둥의 시공에서 가장 어려운 점의 하나가 한단 90°, 타단 135° 갈고리를 갖는 크로스타이의 배근이었음(그림 1.4). 특히 크로스타이의 배근은 주철근의 배근상태에 상당히 영향을 받으므로 현장에서는 양단 90° 갈고리의 크로스타이가 종종 이용되면서 감리자와의 마찰 원인이 되기도 함.
- 기존기둥의 단면확대 공법에서 가장 어렵고 공사비 증가의 원인은 크로스타이 시공을 위해 앵커를 시공하고 용접하는 공정으로서 이에 대한 개선이 필요함.
- 이에 따라 건설사 및 LH를 상대로 본 제안기술을 소개한 결과 기존 크로스타이를 대체하여 현장적용 하겠다는 의견이 대다수이었음.

DAELIM	건설신기술 공동추진	
마이메스동서	건설신기술 및 현장적용	
계룡건설	구조적 안전성에 대한 신뢰	
DOOSAN	기술의 우수성 인정	
posco 포스코엔지니어링	용인구성지구 지식산업센터 적용	
대우건설	구조기술사회 인증 후 추진	

- 이천의료원, 세종 어반아트리움 현장 적용예정
- 설계단계 적용

- V-tie의 유형별 클립의 색상반영
- 구조기술사회 인증 후 터키설계 VE 적용

- VE적용 대상공법 선정
- 내화성능 인증요청 => 내화실험 후 자료송부완료

- V-타이의 현장적용 실적요청



- 내진설계를 필요로 하는 기둥의 내부 후프의 형태에 대한 연구는 많으나 제안된 V-타이 기술에 대한 유사공법은 없음.
- 내진설계를 위한 기둥의 설계에서 상대적으로 횡보강근이 과밀하게 시공되는데, 제안된 V-타이 기술은 이를 방지할 수 있음.
- 기존 크로스타이 방법과 비교하였을 때, 시공성이 용이하며 경제성 측면에서도 유리함.
- 다양한 주철근 배근설계에 관계없이 안정적인 보조 띠철근 배근이 가능함.
- 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 연성향상을 위한 보조 띠철근 활용성이 높음.

그림 1.4 건설회사와의 기술소개 및 활용성 회의

- 본 제안기술을 적용한 RC 기둥의 구조적 성능은 크로스타이 보조띠철근을 갖는 RC 기둥에 비해 동등 이상으로서 품질확보가 용이하며, 시공성도 뛰어나 향후 RC 기둥, 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 보조띠철근으로서 그 활용성이 급격히 증가될 것으로 판단됨.

(다) V-타이의 대량생산 시스템 구축을 통한 제품화 및 신시장 창출

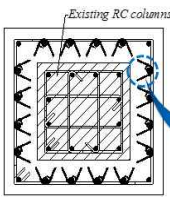
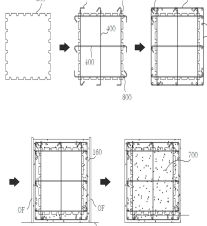
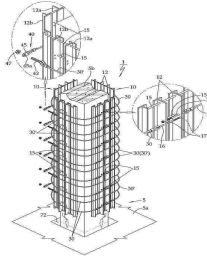
- 제안된 V형 철근과 원터치 클립은 공장에서 가공·제작되어 조립된 후 현장에 납품하게 됨. 따라서 V-타이의 원활한 현장납품과 품질관리를 위하여 철근 스페이스 제작회사인 운진건설산업(주)과 협약하여 공장제작 시스템을 구축하였음(그림 1.5).
- 결과적으로 힘·압축을 받는 부재, 단면확대 및 단면유지 보강 기둥 등에서 보조 띠철근인 V-타이의 시장을 창출하였음.



그림 1.5 국제 건축자재 박람회 전시회 모습

(라) 국내의 유사기술과 수준 비교

구분	해당기술	유사기술1	유사기술2	유사기술3
RC기둥에서 보조띠철근 배근방법	■ 주철근의 위치 및 상호간격과 관계없이 배근이 용이함. ■ 철근 밀집배근 영역에서도 원터치형 끼움방식이므로 배근이 용이함.	■ U자형 부착할릴방지근을 주철근을 둘러싸며, 축방향에 직교하도록 배근하는 방법 ■ U형 철근 고정이 어려워 실용화로 연결 못함. ■ 구조적 검증결과 없음	■ 절곡(갈고리)부가 상기 주철근에 내접 및 외부 띠철근에 걸쳐지고, 양단이 내부 띠철근 상에 걸쳐지도록 설치된 배근방법 ■ U형 철근의 보조 띠철근 배근은 제시되었지만 주철근과 고정장치 없음.	■ 일단부와 타단부를 기둥 콘크리트 코어(CORE) 속으로 위치시키는 배근방법 ■ 원형 기둥에서 V형 띠철근 배근방법을 제시하였지만 그 고정이 어려워 실용화로 연결 못함.
V-타이의 고정클립	■ V-타이와 원터치형 클립은 공장에서 조립되어 현장에서 바로 주철근에 끼움형식으로 체결되기 때문에 결속선 공정들을 생략할 수 있음.	■ 수직 철근에 안착하기 위한 수평선상의 철근을 고정하기 위해 오목부를 둔 스프링 와이어로 만든 클립. ■ 수직철근과 수평철근의 연결을 위한 스프링 와이어 결속장치로서 주철근과 횡보강근의 체결 불가능.	■ 주철근과 후프근과의 접합을 간단하고 강력하게 수행할 수 있는 클립. ■ 주철근과 횡보강근 체결을 위하여 현장에서 볼트체결 공정 필요하여 실용화 실패	■ 2개의 홀더를 이용하여 보강 철근의 교차 부위를 결속시킬 수 있도록 한 보강 철근 결속용 고정클립. ■ 수직철근과 수평철근의 연결을 위한 결속장치로서 주철근과 횡보강근의 체결 불가능.

단면확대 보강 공법	■ 크로스타이를 대체하는 보조띠철근으로서 현장에서 주철근과의 체결이 쉽고 구조적 성능도 우수한 보조 띠철근 설계·시공 공법이라고 제시될 수 있음.  Existing RC column <RC column strengthened with section enlargement>	■ HPC(Half-PC) 기둥에서, 주근과 주근의 외측에서 주근을 횡방향으로 감싸는 형태로 설치되는 다수 개의 주근과 대근을 매설하면서 일정한 형태의 단면으로 구성 	■ 기강재 및 와이어로프를 사용함으로써 외부 띠철근을 이용한 보강기술로 크로스타이 대체를 위한 신청기술과 차별화 됨. 	
-----------------------	---	---	---	--

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구 추진전략 · 방법 및 추진 체계

(1) 연구 추진전략 · 방법

(가) 기술개발에서 애로사항 발생 시 해결방법

- 경기대학교와 연구협력 협정서를 맺은 내진설계 분야에서 전문그룹을 형성하고 있는 한국콘크리트학회, 한국구조물진단유지관리공학회 등을 통해 연구자문을 받음.
- 기존 기술 및 설계방법에 대한 기존문헌은 소속대학교 전자도서관과 학술자료 찾기 및 제공을 위한 웹을 통해 수집함. 수집된 문헌은 세미나 및 연구 네트워크를 통하여 기존연구의 문제점을 분석하고 아이디어를 창출하는데 이용함.
- 연구내용에 대한 외부자문위원을 구성하여 연구개발에 자문을 구함. 외부자문위원은 한국콘크리트학회와 구조물유지관리공학회의 전문가들로 구성함.
- 성능평가에서 실험 데이터에 대한 신뢰성을 확보하지 못할 경우에는 재 실험 계획 및 보완실험을 통하여 실제 사업화에 필요한 신뢰성 있는 자료를 구축함.
- 애로사항을 보완하기 위한 비정기적인 세미나를 수시로 진행하였으며, 이는 외부자문위원의 자문을 통해 해결함.

(나) 특허 등 사업화를 위한 지식재산권 확보방안

- RC기둥 단면확대 보강공법은 확대되는 단면의 크기가 매우 작기 때문에 내부로 배근되는 크로스타이의 직경 및 길이가 축소되어야 함. 따라서 V-타이 적용시 필요한 구속효과를 발휘하면서 배근할 수 있는 방법의 제시로 특허를 확보함.
- 단면확대 및 단면유지 보강 기둥 시스템은 기존 해외에서 보유하고 있는 지적재산권의 철저한 분석을 기반으로 사업화 단계측면에서 시공성 뿐만 아니라 경제성을 충분히 반영된 요소기술을 개발함.

(다) 성과달성을 위해 필요한 과제제안기관과의 협업방법

- 주관기관인 포엠(주)에서는 실험체 제작 및 실험을 주관하면서 기존 영업망을 활용하여 사업화 확대 및 수익모델 창출에 중점둬.
- 위탁연구기관에서는 실험변수 설정 및 실험측정 결과 분석 등을 주관기관과 협력하면서 수행하고 특히 산업체에서 부족한 연구인력을 보완하면서 학교 연구실의 특성을 살려 제안기술의 설계모델들을 개발하고, 실험 및 해석연구의 통합적 기반을 바탕으로 실무에서 이용할 수 있는 설계 가이드라인을 제시하는데 중점을 둬.

- 시장진입을 위해 중요한 기술인증에 대해서는 위탁연구기관에서 기술의 중요성, 공학적 원리 및 기술적 검증 등을 담당하며, 주관기관에서는 시공성 및 원가절감 평가 등을 담당함.
- 단면확대 및 단면유지 보강 기둥 시스템 개발은 참여기관과의 기술적 제휴를 맺고 있는 안전 진단업체 관련 산업체와의 미팅 및 자문을 통하여 문제점 및 개선된 방향으로 추진함.
- 본 기술개발을 성공적으로 추진하기 위해서 기술정보활동, 연구인력과 실험장 확보 및 협력 네트워크 구축함(그림 2.1).
- 본 기술개발과 관련된 국내 전문가들과의 협력네트워크를 구축하여 기술정보수집, 실험변수설정 및 결과분석 등을 위한 기술세미나를 진행함.
- 주관 및 참여연구기관은 실험 및 이론모델 정립을 위해서 상호 협업을 적극적으로 추진함.
- 년차별 추진전략은 정기적인 세미나와 회의를 통해 기초자료 조사, 실험에 의한 결과 분석 및 비교, 모델 제시 및 설계 가이드라인의 순서로 추진함.
- 포엠(주), 대림산업(주), 아이에스동서(주)는 2017년 1월 1차 개발된 V-타이 보조띠철근의 건설 신기술을 통하여 사업성을 확보하였음.
- 본 연구개발을 통하여 개발된 시스템의 현장적용을 위해 대림산업(주)와 아이에스동서(주)의 구매의사서를 통한 현장적용성을 확보함.
- 해외 기술 소개: 베트남 국립건설대학교 교수진 및 베트남 산업체와의 워크숍을 통해 기술 소개.

(2) 연구개발 추진체계(그림 2.2)

(가) 주관연구기관: 포엠(주)

- 주관연구기관인 포엠(주)는 본 기술의 사업화를 최우선 순위로 두고 3년간 “V-타이로 구축된 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 내진성능 향상공법”을 개발함. 특히 V-타이를 포함하는 철근 선조립 공법을 추가적으로 개발함으로써 기술의 경제성을 확보하면서 실용성을 높였음. 이를 위해 내진성능 확보(압축내력 및 휨내력과 연성비)를 위한 성능실험, 시제품제작 및 대량생산체제를 구축하여 사업화에 중점을 두었음.
- 자료 수집 및 시장진입 리스크 분석
 - RC기둥의 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 제작기술 자료 수집
 - 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 시장성 분석 및 차별화전략 수립
- 실험체 제작 및 성능실험 지원
 - 철근 선조립 기술 기반 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 도면작성 및 실험체 제작
(주요변수 : 축력비, 신단면과 구단면의 비, 보강 양, 콘크리트 강도 등)
 - 철근 선조립 기술 기반 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 성능실험 지원
(중심축하중 실험 및 반복 횡하중 실험)



그림 2.1 연구 네트워크 구축

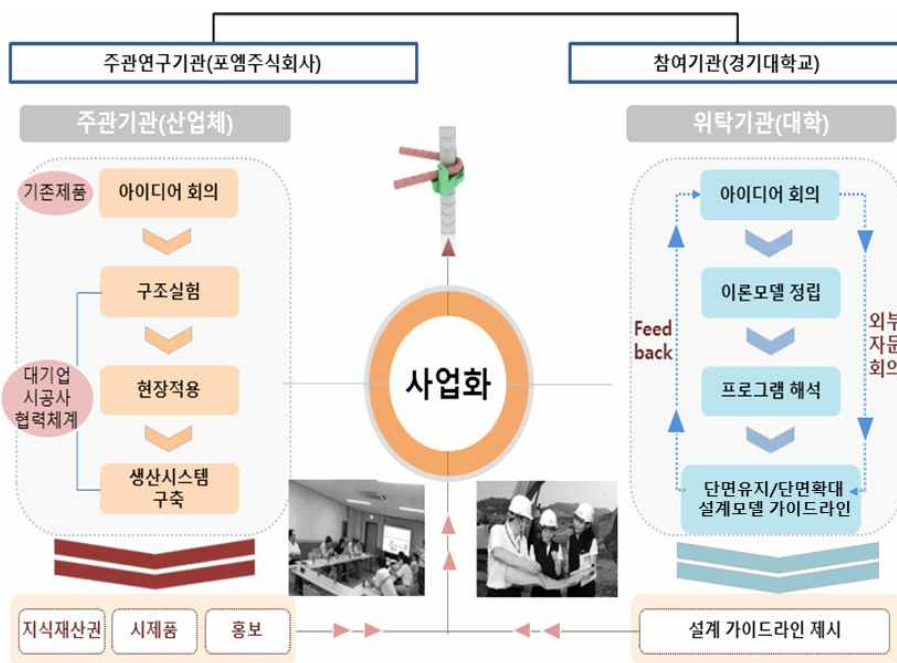


그림 2.2 연구개발 추진체계

- 제안기술을 적용한 기둥의 시공성 평가(시공속도, 품질의 안전성 등)
- 제안기술의 특허맵 분석 및 비즈니스 모델 구축
 - 관련 유사기술들에 대한 특허맵 분석
 - 철근 선조립 생산라인에 대한 OEM 협약
 - 제안기술의 시장진입을 위한 단기 및 중기 비즈니스 모델 구축
- 시제품 제작 및 현장적용
 - 철근 선조립 기술에서 효율성을 극대화 시킬 수 있는 V-타이의 형상 및 횡보강근의 배근방법

- 제안기술로 보강된 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 현장적용성 평가

(나) 위탁연구기관: 경기대학교 산학협력단

- 위탁연구기관인 경기대학교 산학협력단은 본 기술의 효율적인 보강기술개발을 최우선 순위로 두고 3년간 “내진성능을 효과적으로 확보할 수 있는 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 설계 가이드라인”을 제시하였음. 이를 위해 주관연구기관과의 협업을 통해 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 내진성능의 계획 및 분석을 진행하고 분석된 결과를 기반으로 휨 및 연성에 대한 주요 설계식 및 설계가이드라인을 제시하였음.
- 철근 선조립 기술 기반 V-타이의 정착상세 제시 및 실험검증
 - 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 실용적으로 적용할 수 있는 V-타이 정착상세 제시
 - V-타이 정착상세에 따른 부착실험 검증(주요변수: 정착상세, 콘크리트 강도)
- V-타이를 포함하는 철근 선조립 공법 개발
 - 주철근과 보조 V-타이를 포함한 폐쇄형 횡보강근의 선조립 공법 개발.
 - 철근 선조립의 공장 조립을 통한 현장공정 최소화 기술 개발
- 철근 밀집된 확대단면에서 콘크리트 품질 확보를 위한 고접착성 자기충전 콘크리트 개발
 - RC 부재의 단면 보강을 위한 고접착성 자기충전 콘크리트 배합설계 개발
 - 고접착성 자기충전 콘크리트의 접착력 및 유동성 평가
- 내진성능실험 계획 및 분석(주관기관 협업)
 - 철근 선조립 기술 기반 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 실험체 변수설정 및 계획
(주요변수 : 축력비, 신단면과 구단면의 비, 보강량, 콘크리트 강도 등)
 - 철근 선조립 기술 기반 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 성능 분석
(압축 및 휨 내력, 압축 및 휨 연성비, 에너지흡수능력)
 - 압축 및 휨 내력의 설계기준과의 비교
- 휨 및 연성설계용 주요 설계모델 제시
 - 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 구축된 콘크리트의 응력-변형률 관계 모델링
 - 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 축하중-모멘트 상관도 모델링
 - 비선형 해석 기반 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 횡하중-횡변위 및 모멘트-곡률 관계 모델링
 - 휨 연성과 횡보강근 지수의 관계 단순 모델링
- 개발된 기술을 적용한 구조물의 내진성능 평가(기존 공법 대비 우위성 분석)
- 성능기반 설계 및 시공 가이드라인 제시
 - 제안기술이 적용된 단면확대 및 단면유지 기둥의 내진보강 시공 및 설계 가이드라인 제시

(3) 연구개발 추진일정

구분	연구과제명 (연구수행기관)	세부추진내용 (연구수행 Activity)	1차년도			2차년도				3차년도			
			2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
주관	V-타이를 적용한 단면확대 기둥 및 단면유지 보강기둥의 내진성능 향상 기술 (포엠)	철근 선조립 기반 단면확대 및 단면유지 보강 기술의 자료 수집 및 시장진입 리스크 분석											
		제안 기술의 특허맵 분석 및 비즈니스 모델 구축											
		단면확대 보강 기둥의 중심 축하중 실험 지원											
		단면확대 보강기둥의 휨 실험 지원											
		단면유지 보강 기둥의 중심 축하중 실험 지원											
		단면유지 보강기둥의 휨 실험 지원											
		개발기술을 적용한 기둥의 시공성 및 품질 확보성 평가											
		시제품 제작 및 현장 적용											
		V-타이를 포함하는 철근 선조립 공법의 기술인증											
위탁	V-타이로 구축된 단면확대 기둥과 단면유지 보강기둥의 설계 모델 및 가이드라인 제시 (경기대)	철근 선조립 기술 기반 V-타이의 정작상세 제시 및 실험 검증											
		V-타이를 포함하는 철근 선조립 공법 개발											
		기존 기둥 보강을 위한 자기충전 콘크리트 개발											
		단면확대 보강 기둥의 중심 축하중 실험 계획 및 결과 분석											
		단면확대 보강기둥의 휨 실험 계획 및 결과 분석											
		개발공법 적용 건물의 내진성능 평가											
		단면확대 보강 기둥의 중심 축하중 실험 계획 및 결과 분석											
		단면확대 보강기둥의 휨 실험 계획 및 결과 분석											
		휨 및 연성설계용 설계모델 제시											
		성능기반 설계 및 시공 가이드라인 제시											
		V-타이를 포함하는 철근 선조립 공법의 기술인증											

(4) 위탁연구/외부용역/국제공동연구 현황

구 분	과 제 명	발주 기관	수행자 (수행 기관)	위탁 또는 용역 필요성	위탁 또는 용역 목표 및 내용	연구 기간	소요 금액 (천원)
위탁연구	V-타이로 구속된 단면확대 기둥과 단면유지 보강기둥의 설계 모델 및 가이드라인 제시	포엠 주식 회사	양근혁 (경기대학교 산학협력단)	산업체에서 부족한 연구 인력 보완, 모델제시 및 시장 진입을 위한 기술인증 인프라 지원	- 요소기술 개발에 대한 협업 - 실험 변수 설정, 실험측정 및 결과 분석 등을 주관기관과 협력 - 세부 요소기술 개발 제안기술의 설계 모델 개발 - 제안기술을 적용한 구조물의 내진 성능 평가 - 실험 및 해석연구의 통합적 기반을 바탕으로 실무에서 이용할 수 있는 설계 가이드라인 제시	2017. 04.01. ~ 2019. 12.31.	285,000

나. 주요 연구 내용

(1) 확대단면에 적용을 위하여 단부가 개선된 V-타이의 상세 설계¹⁾

(가) 파괴양상

- 모든 그룹 I 실험체에서 V-타이와 인발철근의 용접부 파괴 또는 인발철근의 파단은 발생하지 않았으며, T형 실험체를 제외한 모든 실험체의 파괴양상은 콘크리트 쪼갬으로 나타남(그림 2.3).

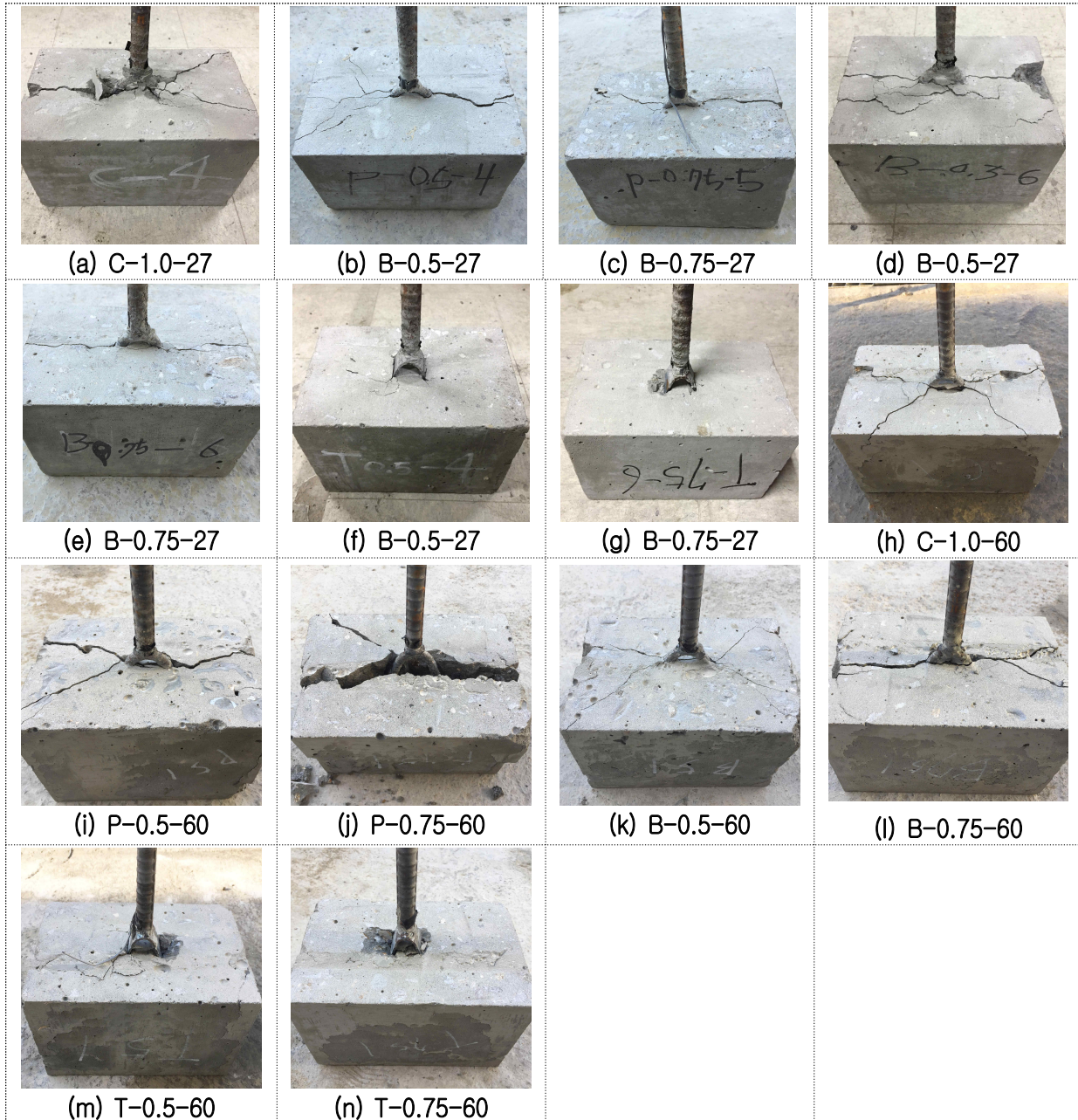


그림 2.3 그룹 I 실험체의 파괴양상

1) 증빙자료 pp. 1-14.

관련 출판논문

· 기둥의 단면 확대보강을 위한 V-타이 보조 띠철근의 형상 제시, 한국시공학회논문집, 2018.

- 콘크리트 균열이 발생하기 이전에 V-타이의 뽑힘은 거의 발생하지 않았으며, 이는 파괴된 콘크리트 단면에서 V-타이의 미끄러짐이 발생하지 않은 것으로 확인할 수 있음(그림 2.4 (a)).
- 모든 그룹 I 실험체에서 V-타이와 인발철근의 용접부 파괴 또는 인발철근의 파단은 발생하지 않았으며, T형 실험체를 제외한 모든 실험체의 파괴양상은 콘크리트 쪼갬으로 나타남.
- T형 V-타이는 콘크리트와의 일체성 향상을 위해 강판에 구멍을 천공하였는데, 이로 인해 단면이 손실되어 콘크리트 쪼갬이나 V-타이의 뽑힘이 발생하기 이전에 강판이 선행파단 되었음(그림 2.4 (b)).
- V-타이가 콘크리트에 완전히 매립된 그룹 II 실험체의 대표적인 파괴양상은 그림 2.5에 나타내었으며, 보통강도 콘크리트에 매립된 그룹 II 실험체는 모두 콘크리트 쪼갬이 발생하였음(그림 2.5 (a)).
- 반면에 고강도 콘크리트에 매립된 인발실험체는 콘크리트 쪼갬이나 뽑힘보다는 V-타이 철근의 파단에 의해 파괴되었음(그림 2.5 (b)). R형 V-타이가 매립된 실험체는 콘크리트 쪼갬이 발생하였는데, 이는 R형 V-타이의 강판의 강도가 다른 형상의 V-타이보다 높았기 때문임.
- 즉, 피복두께가 확보된 콘크리트 인발 실험체에서 제안된 형상의 V-타이는 문힘길이가 감소하였음에도 적절하게 정착되었다고 판단됨.

(나) 최대 부착하중

- 실험결과는 표2.1에 요약하여 나타내었음. 실험체 명에서 C, P, B, T 및 R은 V-타이의 형상을 나타내며, 0.5, 0.75 및 1.0은 문힘길이를, 27과 60은 콘크리트 강도를 나타냄. 예를 들어 P-0.5-27 실험체는 $0.5l_{db}$ 의 문힘길이를 갖는 P형 V-타이에 27 MPa 콘크리트를 타설한 실험체임. 최대 부착하중과 부착강도는 동일한 실험체들의 평균값으로 나타내었음.
- 각 실험체의 최대 부착하중(P_{max})은 C형 V-타이를 사용한 실험체의 최대 부착하중($P_{control}$)로 무차원화하여 그림 2.6에 나타내었음. 그림 2.6에서 P_{max} 보다 5% 이상 작은 값은 나타내지 않았는데, 이는 C형 V-타이를 이용한 실험체보다 현저하게 적은 값을 갖는 실험체는 실무적으로 의미가 없기 때문임.
- 그룹 I 실험체에서 최대 부착하중은 고강도 콘크리트에서 보통 콘크리트보다 평균적으로 약 39% 증가하였으며, V-타이의 형상이나 문힘길이에 따른 경향은 보통강도 콘크리트와 고강도 콘크리트에서 큰 차이를 보이지 않았음. 모든 콘크리트 강도에서 최대 부착하중은 문힘길이가 $0.75l_{db}$ 인 P형에서 가장 크게 나타났으며, C형보다 약 8% 높았음.
- 동일한 형상을 가진 실험체는 문힘길이가 감소하면서 최대 부착하중이 감소하였는데, 보통강도 콘크리트를 사용한 P형, B형 및 T형에서 각각 28%, 38% 및 6% 감소하였음. 문힘길이가 T형의 최대 부착하중에 미치는 영향은 다른 실험체들에 비해 적었는데, 이는 콘크리트의 쪼갬이나 뽑힘파괴가 발생하기 이전에 T형 V-타이가 파단 되었기 때문임.
- 그룹 II 실험체는 콘크리트 피복두께의 증가로 인해 동일한 형상을 가진 그룹 I 실험체보다 약 61~97% 높은 최대 부착하중을 나타내었음.

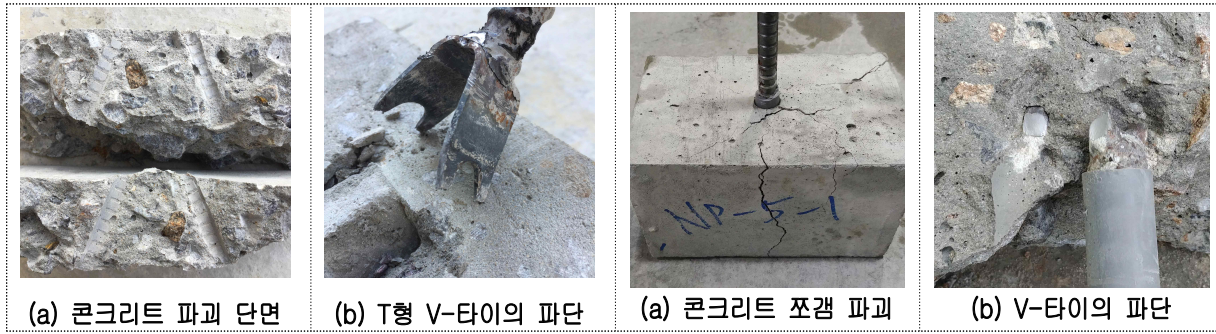


그림 2.4 그룹 I 실험체의 전형적인 파괴양상

그림 2.5 그룹 II 실험체의 전형적인 파괴양상

표 2.1 실험결과 요약

그룹	실험체	f_{ck} (MPa)	V-tie	l_{db} (mm)	P_{max} (kN)	τ_b (MPa)	τ_b / τ_{pre}	파괴 양상*
I	C-1.0-27	27	C-type	75	37.0	8.7	0.84	<i>S</i>
	P-0.5-27		P-type	37.5	26.2	10.3	0.99	<i>S</i>
	P-0.75-27		P-type	56	38.1	11.7	1.13	<i>S</i>
	B-0.5-27		B-type	37.5	18.2	7.9	0.76	<i>S</i>
	B-0.75-27		B-type	56	32.0	8.9	0.85	<i>S</i>
	T-0.5-27		T-type	37.5	19.2	4.4	0.42	<i>V</i>
	T-0.75-27		T-type	56	21.7	3.5	0.34	<i>V</i>
	C-1.0-60	60	C-type	75	47.9	11.3	0.73	<i>S</i>
	P-0.5-60		P-type	37.5	41.1	16.2	1.04	<i>S</i>
	P-0.75-60		P-type	56	53.9	16.3	1.05	<i>S</i>
	B-0.5-60		B-type	37.5	33.1	13.8	0.89	<i>S</i>
	B-0.75-60		B-type	56	49.1	14.7	0.95	<i>S</i>
	T-0.5-60		T-type	37.5	21.4	4.8	0.31	<i>V</i>
	T-0.75-60		T-type	56	21.6	3.3	0.21	<i>V</i>
II	C-1.0-27	27	C-type	75	59.9	13.8	1.32	<i>S</i>
	P-0.5-27		P-type	37.5	51.6	25.7	2.47	<i>S</i>
	P-0.75-27		P-type	56	61.4	21.5	2.07	<i>S</i>
	R-0.5-27		R-type	37.5	43.1	11.3	1.09	<i>S</i>
	R-0.75-27		R-type	56	51.8	9.1	0.88	<i>S</i>
	C-1.0-60	60	C-type	75	68.0	15.6	1.01	<i>W</i>
	P-0.5-60		P-type	37.5	67.3	29.7	1.92	<i>V</i>
	P-0.75-60		P-type	56	66.3	20.4	1.32	<i>V</i>
	R-0.5-60		R-type	37.5	79.1	20.8	1.34	<i>S</i>
	R-0.75-60		R-type	56	84.9	14.9	0.96	<i>S</i>

Note] f_{ck} = compressive strength of concrete, l_{db} = embedded length of V-tie leg, P_{max} = peak load, τ_b = bond strength, τ_{pre} = predicted bond strength using CEB-FIP equation.

* In the failure mode, *S*, *V*, and *W* refer to the concrete splitting failure, fracture of V-ties, and welding fracture at the reinforcing bar connected with V-ties.

- 그룹 II 실험의 보통강도 콘크리트에서 문힘길이가 $0.75l_{db}$ 인 실험체의 최대 부착하중은 l_{db} 의 증가로 인해 $0.5l_{db}$ 인 실험체보다 약 20% 높았음. 반면에 고강도 콘크리트에서 문힘길이가 최대 부착하중에 미치는 영향은 매우 미미하였는데, 이는 고강도 콘크리트를 타설한 그룹 II 실험체들이 대부분 V-타이의 파단으로 인해 파괴되었기 때문이다.
- 보통강도 콘크리트에서 최대 부착하중은 문힘길이가 $0.75l_{db}$ 인 P형 실험체에서 가장 높게 나타

났다. 고강도 콘크리트에서 최대 부착하중은 R형에서 가장 높게 나타났는데, 이는 다른 형태의 V-타이에 사용된 직경 10 mm 이형철근의 항복강도보다 높은 강도의 강판으로 제작된 R형 V-타이가 고강도 콘크리트의 쪼갬이 발생할 때까지 파단 되지 않았기 때문이다.

(다) 부착 강도

- V-타이는 인발철근이 받는 인장력을 통해 콘크리트 내부에서 콘크리트와의 부착력으로 저항함. 이때 V-타이에 발생하는 부착응력(τ_b)은 V-타이의 표면에서 균등하게 분배된다고 가정하였으

며, $\tau_b = \frac{0.5P \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\pi d_b l_{db}}$ 과 같이 산정할 수 있는데, 여기서 P 는 작용하중을, d_b 와 θ 는 각각 V-타이의 공칭지름과 절곡각을 의미함. 이 연구에서 사용된 V-타이의 절곡각은 모두 45° 임.

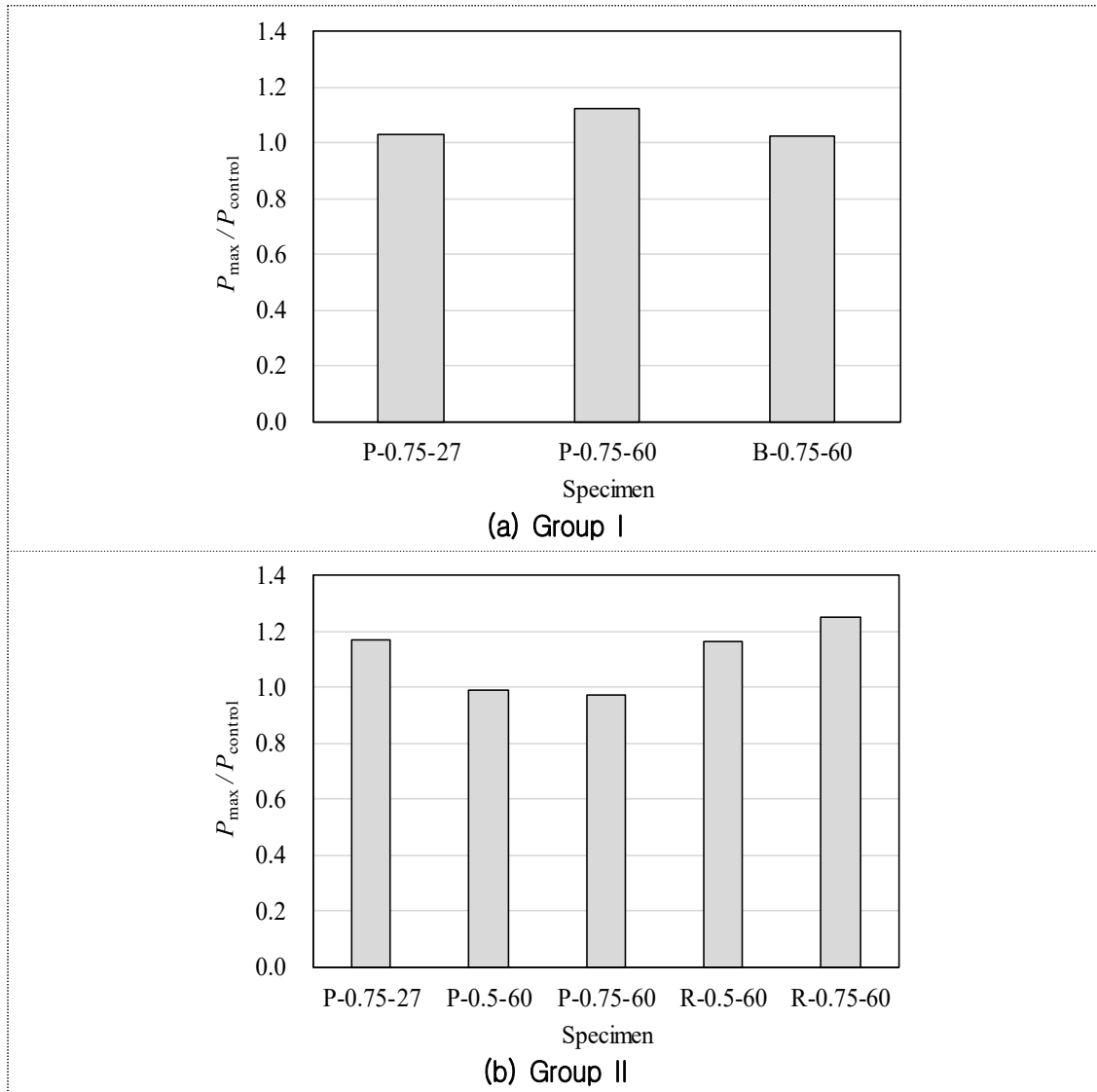


그림 2.6 무차원화된 최대 부착하중

- 실험을 통해 얻어진 V-타이의 부착강도는 최대 부착하중과 마찬가지로 산정된 각 실험체의 부착응력(τ_b)을 C형 V-타이를 사용한 실험체의 최대 부착 응력($\tau_{control}$)으로 무차원화하여 그림 2.7에 나타내었는데, 이때 1.0보다 현저히 작은 값을 갖는 실험체는 생략하였음.
- 그룹 I에서 보통강도 콘크리트를 타설한 실험체의 부착강도는 C-1.0-27 실험체보다 P-0.5-27, P-0.75-27 및 B-0.75-27 실험체에서 각각 18%, 35% 및 1% 높았음. 고강도 콘크리트에서는 P-0.5-60, P-0.75-60 및 B-0.75-60 실험체가 기존 V-타이를 사용한 실험체보다 각각 43%, 44% 및 30% 높았음.
- 보통강도 콘크리트의 동일한 문힘길이에서 부착강도는 P형 실험체에서 가장 크게 나타났으며, C형과 B형보다 각각 약 26% 및 32% 높았음. 문힘길이의 증가에 따른 P형과 B형의 부착강도 증가는 매우 적었음.

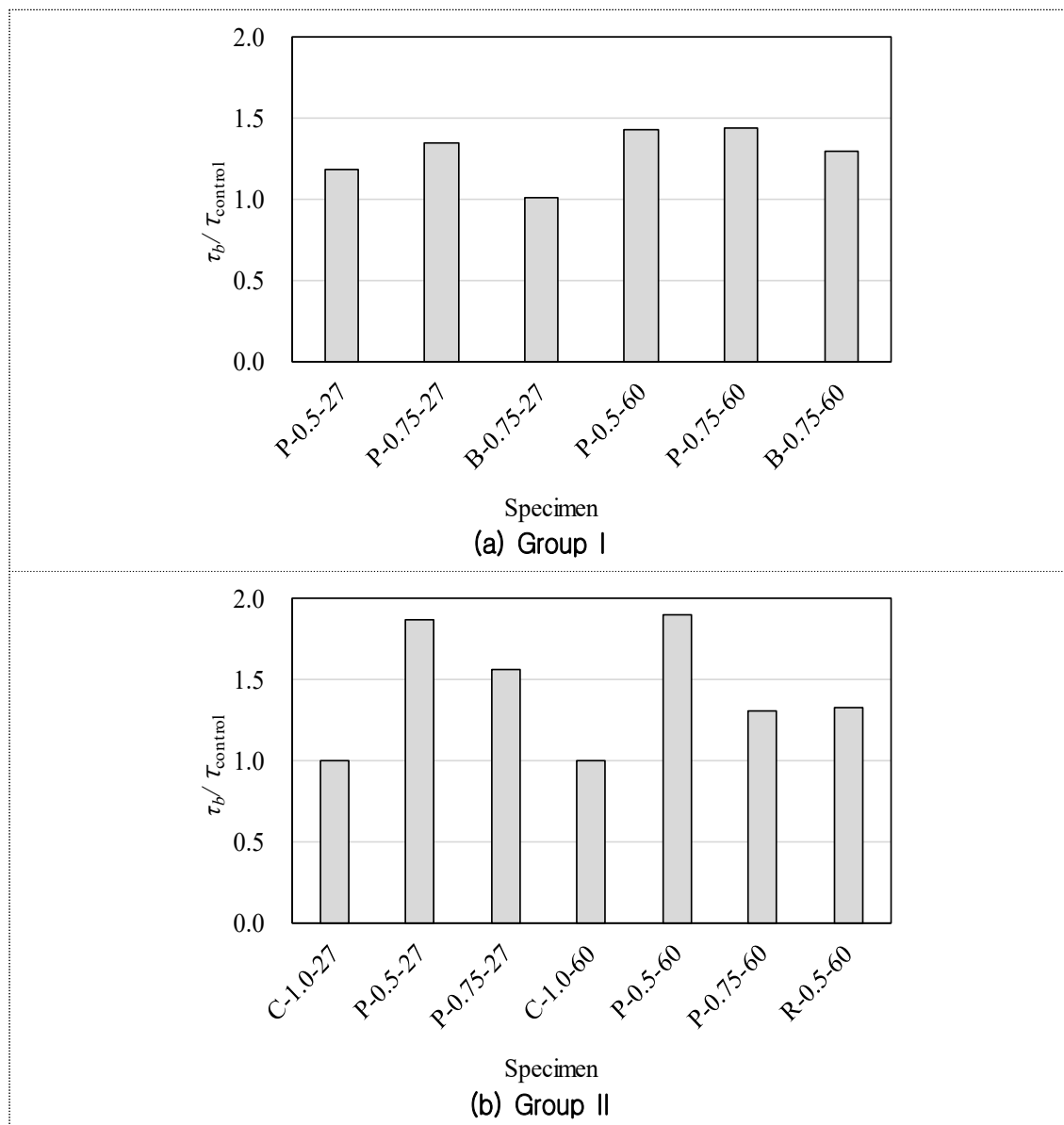


그림 2.7 무차원화된 부착강도

- 그룹 II 실험체에서 문힘길이가 $0.5l_{db}$ 인 P형의 부착강도는 콘크리트 강도와 상관없이 다른 형상의 V-타이보다 높았으며, 그 차이는 보통강도 콘크리트에서 더 컸음.
- 콘크리트 강도가 27 MPa에서 60 MPa로 증가함에 따라서 C형과 P형의 부착강도는 각각 24% 및 29% 감소하였음. 반면에 R형은 콘크리트 강도의 증가와 함께 부착응력이 급격히 증가하였는데, 이는 앞 절에서 언급한 최대 부착하중의 증가와 같이 최종 파괴 시까지 V-타이의 파단이 발생하지 않았기 때문임.

(라) 설계기준과의 비교

- CEB-FIP 설계기준에서는 콘크리트와 이형철근의 부착강도를 제시하였는데, 쏄갠이 발생하는 구속되지 않은 콘크리트에서 부착강도의 예측값은 콘크리트 압축강도(f_{ck})의 제곱근의 2배로 산정함.
- Table 1에는 부착강도 실험값(τ_b)과 CEB-FIP에서 제시하는 예측값(τ_{pre})를 비교하여 나타내었음. 그룹 I 실험체의 부착강도는 대부분 예측값보다 낮았는데, 이는 콘크리트 피복두께가 확보되지 않아 최대 부착강도에 도달하기 이전에 콘크리트 쏄갠파괴가 발생하였기 때문임.
- 특히 T형 V-타이를 배근한 실험체의 부착강도는 강판의 선행 파단으로 인해 예측값의 0.21배 ~ 0.42배로 나타났음. P형 실험체는 콘크리트 강도나 문힘길이와 상관없이 예측값과 동등 이상의 부착강도를 나타내었음.
- 그룹 II 실험체에서는 문힘길이가 $0.75l_{db}$ 인 R형 실험체를 제외한 모든 실험체의 부착강도가 예측값보다 높았는데, 특히 P형 V-타이는 보통강도와 고강도 콘크리트에서 예측값보다 각각 2.27배 및 1.62배 높은 부착강도를 나타내었음. 또한 문힘길이가 $0.5l_{db}$ 인 V-타이의 부착강도는 형상과 상관없이 CEB-FIP의 예측값보다 높았으며, 이는 제시된 형상의 V-타이의 부착강도가 문힘길이가 $1.0l_{db}$ 보다 작은 경우에도 CEB-FIP 설계기준에 비해 안전 측에 있음을 의미함.

(마) 부착-미끄러짐 관계

- 콘크리트 인발 실험에 따른 부착하중-미끄러짐 관계는 그림 2.8과 그림 2.9에 나타내었음.
- 미끄러짐은 하중단에서만 측정하였는데, 이는 실험체의 V-타이가 콘크리트에 완전 매립되어 자유단 변위의 측정이 불가능하기 때문임. 따라서 미끄러짐 양은 실제 V-타이의 미끄러짐보다 더 크게 측정됨.
- 그룹 I의 보통강도 콘크리트 실험체에서 초기 강성은 모든 실험체에서 비슷한 수준이었으며, 문힘길이가 커질수록 부착하중은 증가하였음. T형 V-타이는 콘크리트의 쏄개짐이나 뿔힘의 발생 이전에 강판이 절단되었으므로 강판의 항복 이후에 하중이 유지되었음.
- 그룹 I의 고강도 콘크리트 실험체의 부착-미끄러짐 관계는 보통강도 콘크리트 실험체와 비슷한 경향을 보였는데, 특히 T형 V-타이의 경우에는 보통강도 콘크리트 실험체와 비슷한 거동과 최대하중을 보였음. P-0.75-60 실험체는 가장 큰 부착하중을 나타내었음. 최대하중 이후의 감소

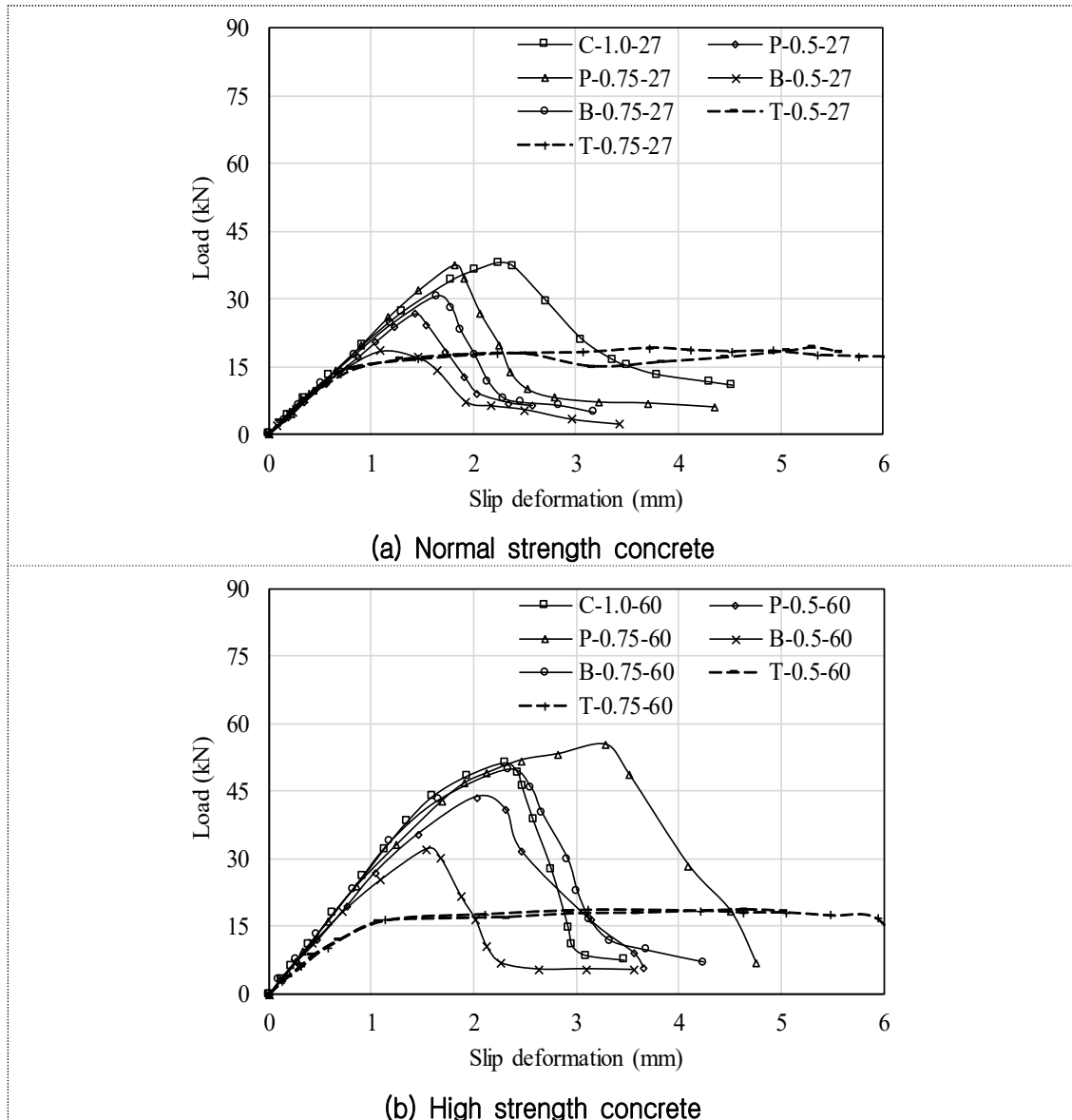
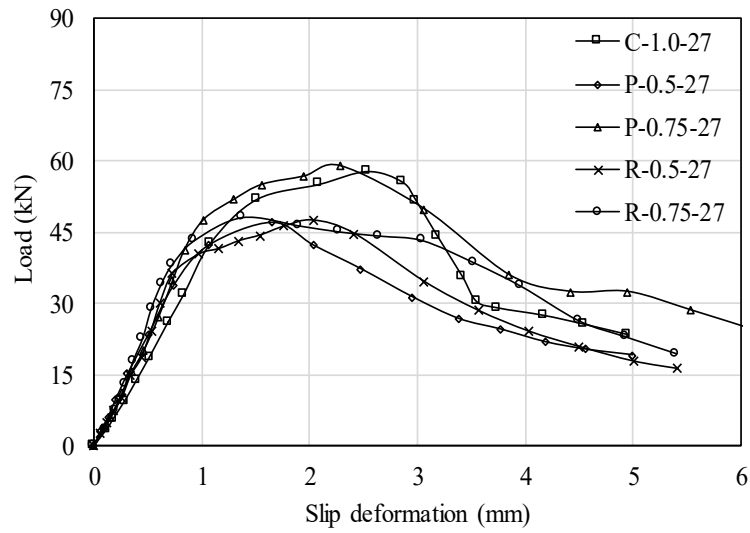


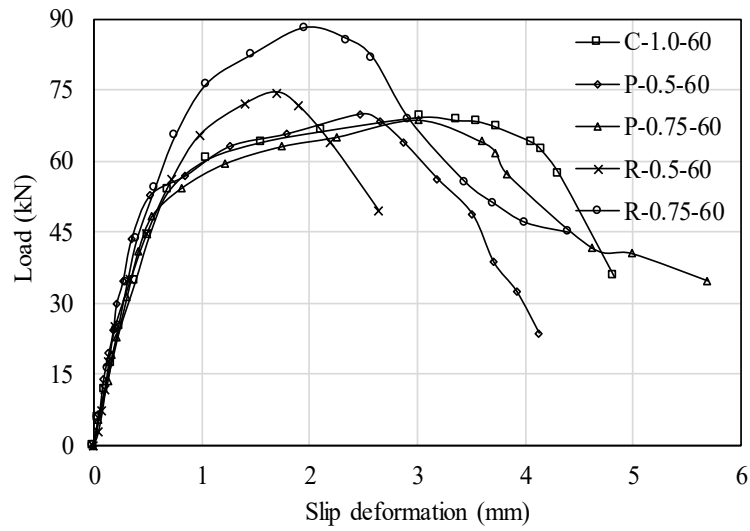
그림 2.8 그룹 I 실험체의 부착-미끄러짐 관계

기울기는 보통강도 콘크리트보다 더 급격하였는데, 문힘길이에 따른 차이는 미미하였음.

- V-타이가 콘크리트에 완전 매립된 그룹 II의 보통강도 콘크리트 실험체의 경우에는 C형 V-타이의 초기 상승부분의 기울기가 더 작았으며, 이는 더 많은 미끄러짐이 발생되었음을 의미함.
- 최대하중 이후의 감소 기울기는 모두 비슷한 수준이었으며, 그 기울기는 콘크리트에 완전 매립으로 인해 그룹 I 실험체보다 더 완만하였음. 콘크리트의 균열 이후에 미끄러짐은 급격히 증가하였음.
- 고강도 콘크리트를 사용한 실험체에서 초기 기울기는 다른 그룹의 실험체보다 더 높았음. 이 그룹의 실험체는 파괴양상에서 콘크리트의 쪼갬이나 뿔힘보다는 V타이의 파단으로 그 파괴양상이 결정되었는데, 이는 부착-미끄러짐 관계에서 V-타이가 항복한 이후에 미끄러짐 양이 급격히 증가된 것으로 판단됨.



(a) Normal strength concrete



(b) High strength concrete

그림 2.9 그룹 II 실험체의 부착-미끄러짐 관계

(가) 실험 결과 및 분석

시멘트 기반 MC-4, MC-8 및 CC-3 배합에 경우 타설시 조기 응결 및 반죽질기 불량으로 측정 및 타설을 진행 하지 못 함.

① 유동성

- 시멘트 기반 단면증설 모르타르에서 S/B 및 W/B가 미치는 영향은 미미하였으며, 그룹Ⅱ의 경우에는 초속경 시멘트의 비율이 증가함에 따라 플로우가 줄어들었음. 목표 테이블 플로우(220 mm)는 MC-2, MC-5 배합 및 그룹 IV의 모든 배합에서 만족함.
- 그룹 V에서는 P/C 비율이 증가할수록 플로우가 감소하였으며, CC-1 배합은 목표 슬럼프 플로우 600 mm를 만족하였음.

② 압축강도(f_{ck})

- 단면증설 모르타르 및 콘크리트 압축강도결과 및 압축강도 발현율은 그림 2.10 그림 2.11 및 표 2.2에 나타내었음.
- 시멘트 기반 모르타르 배합에서 S/B 및 W/B가 압축강도에 미치는 영향은 미미한 반면에, 저 시멘트 기반 배합의 경우에는 S/B, W/B 비율이 압축강도 결과에 영향을 미침.
- MC-5의 재령 28일 압축강도는 44.49 MPa로 가장 높게 측정되었음.
- 그룹 Ⅱ의 모든 배합에서 압축강도는 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)의 기준(20 MPa)을 만족하였음.
- 그룹 I 및 Ⅱ의 강도 발현율은 큰 차이가 없었음. 반면에, 그룹 Ⅲ 및 IV에서는 재령 3일 차까지 비슷한 발현율을 보이다가 재령 7일 차부터는 그룹 Ⅲ가 그룹 IV보다 급격하게 강도발현이 되었으며, 재령 7일을 기준으로 그룹 Ⅲ가 그룹 IV보다 약 20~30% 높았음.
- 단면증설 콘크리트 배합에서 압축강도와 강도 발현율은 초속경 시멘트 치환율이 증가할수록 감소하였음.

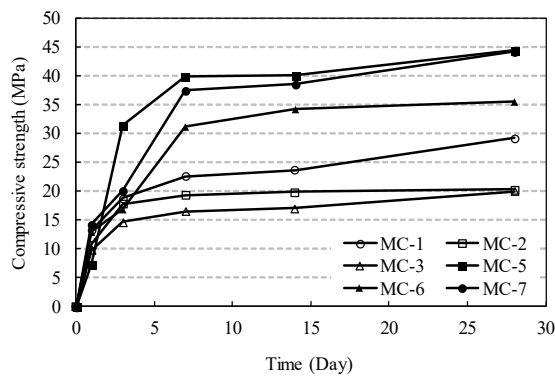
2) 증빙자료 pp. 15-30.

관련 출판 논문

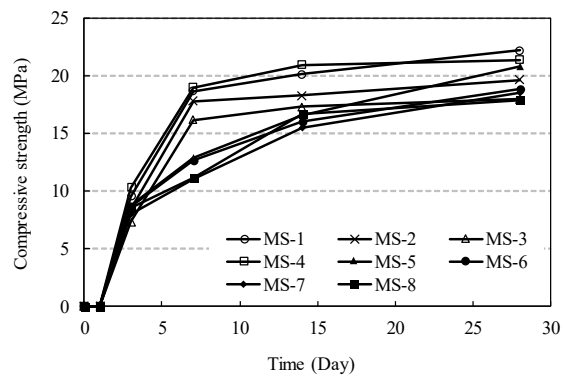
- 재유화형 분말수지와 초속경 시멘트를 혼입한 모르타르의 압축강도 및 접착강도 특성, 한국시공학회논문집, 2018.
- 단면확대 보강 적용을 위한 콘크리트의 자기충전 성능 평가, 한국건설순환자원학회논문집, 2019.

표 2.2 단면증설 모르타르 및 콘크리트 실험결과

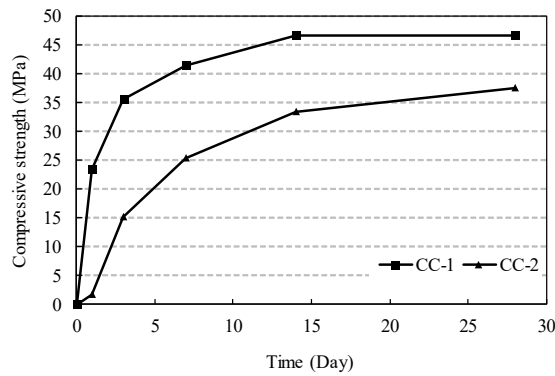
그룹	실험체 명	f_{ck} (MPa)					f_r (MPa)	플로우 (mm)	f_b (MPa)		$f_b/\sqrt{f_{ck}}$	
		1day	3day	7day	14day	28day			14day	28day	14day	28day
I	MC-1	13.2	18.8	22.5	23.6	29.2	-	185	0.17	0.28	0.035	0.052
	MC-2	10.7	17.8	19.3	19.8	20.3	-	235	0.43	0.51	0.097	0.113
	MC-3	9.7	14.7	16.5	17.0	20.0	-	185	0.41	0.45	0.099	0.101
	MC-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	MC-5	7.2	31.3	39.9	40.1	44.5	-	250	0.77	1.02	0.122	0.153
	MC-6	13.0	16.9	31.2	34.3	35.5	7.4	180	1.03	1.20	0.176	0.201
	MC-7	14.3	20.1	37.4	38.5	44.1	6.3	165	1.05	1.18	0.169	0.178
	MC-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	MS-1	-	9.5	18.6	20.1	22.2	-	175	0.25	0.27	0.056	0.057
	MS-2	-	8.4	17.8	18.3	19.6	-	170	0.41	0.46	0.096	0.104
	MS-3	-	7.3	16.2	17.3	18.0	-	175	0.39	0.40	0.094	0.094
	MS-4	-	10.3	19.0	20.9	21.4	-	165	0.35	0.38	0.077	0.082
IV	MS-5	-	8.8	12.9	16.5	20.8	-	225	0.33	0.62	0.081	0.136
	MS-6	-	8.7	12.7	16.1	18.8	4.2	235	0.56	0.57	0.140	0.131
	MS-7	-	8.0	11.1	15.5	18.6	4.7	250	0.36	0.84	0.091	0.195
	MS-8	-	8.6	11.1	16.6	17.8	-	250	0.60	0.60	0.147	0.142
V	CC-1	23.4	35.6	41.3	46.7	46.7	5.6	610	1.42	1.43	0.208	0.209
	CC-2	1.7	15.1	25.4	33.3	37.5	5.8	400	1.39	1.65	0.241	0.270
	CC-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



(a) 시멘트 기반 모르타르



(b) 저 시멘트 기반 모르타르



(c) 콘크리트

그림 2.10 단면증설 모르타르 및 콘크리트의 압축강도

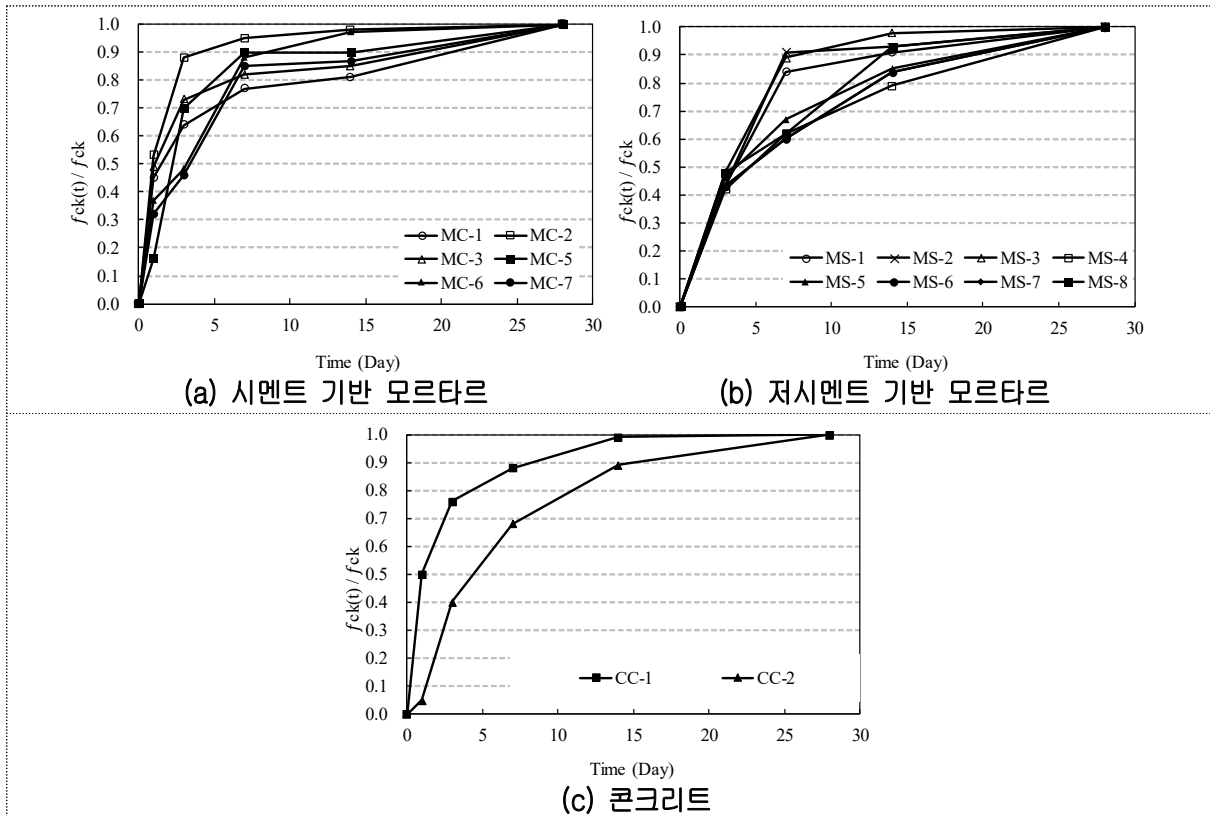


그림 2.11 단면증설 모르타르 및 콘크리트의 압축강도 발현율

③ 접착강도(f_b)

- 단면증설 모르타르 및 콘크리트의 접착강도와 압축강도의 상관관계로 무처리 시킨 결과 및 그래프는 표 2.3, 그림 2.12 및 그림 2.13에 나타내었으며, 파괴 형상은 그림 2.14에 나타냄.
- 모든 모르타르 시험체의 접착강도는 P/B 증가 및 W/B, S/B의 감소에 따라 증가하였으며, 그룹 II 시험체의 접착강도는 재령 28일 이후에 KS 기준에서 제시한 1.0 MPa 보다 높은 접착강도를 나타내었음.
- 폴리머 초속경 시멘트를 10% 치환한 MC-6 배합의 접착강도는 재령 28일 기준 1.20 MPa로 다른 시험체보다 높았음.
- 그룹III, IV는 KS 기준에서 제시한 접착강도보다 낮았음.
- 면처리에 따른 접착강도 실험결과(표 2.4), 모든 시험체의 접착강도는 재령 28일 이후에 1.0 MPa 이상으로 측정되었으며, MC-6 배합의 경우 무처리 시험체가 1.29 MPa로 가장 높은 접착강도를 나타내었음.

표 2.3 단면증설 모르타르 면처리에 따른 접착강도

시험체 명	접착강도 (MPa)									
	14day					28day				
	무처리	치핑	페인트	접착제	치핑+접착제	무처리	치핑	페인트	접착제	치핑+접착제
MC-6	1.05	1.32	0.95	1.31	1.00	1.29	1.27	1.12	1.10	1.23
MC-7	1.15	1.23	0.89	-	-	1.59	1.64	1.18	-	-

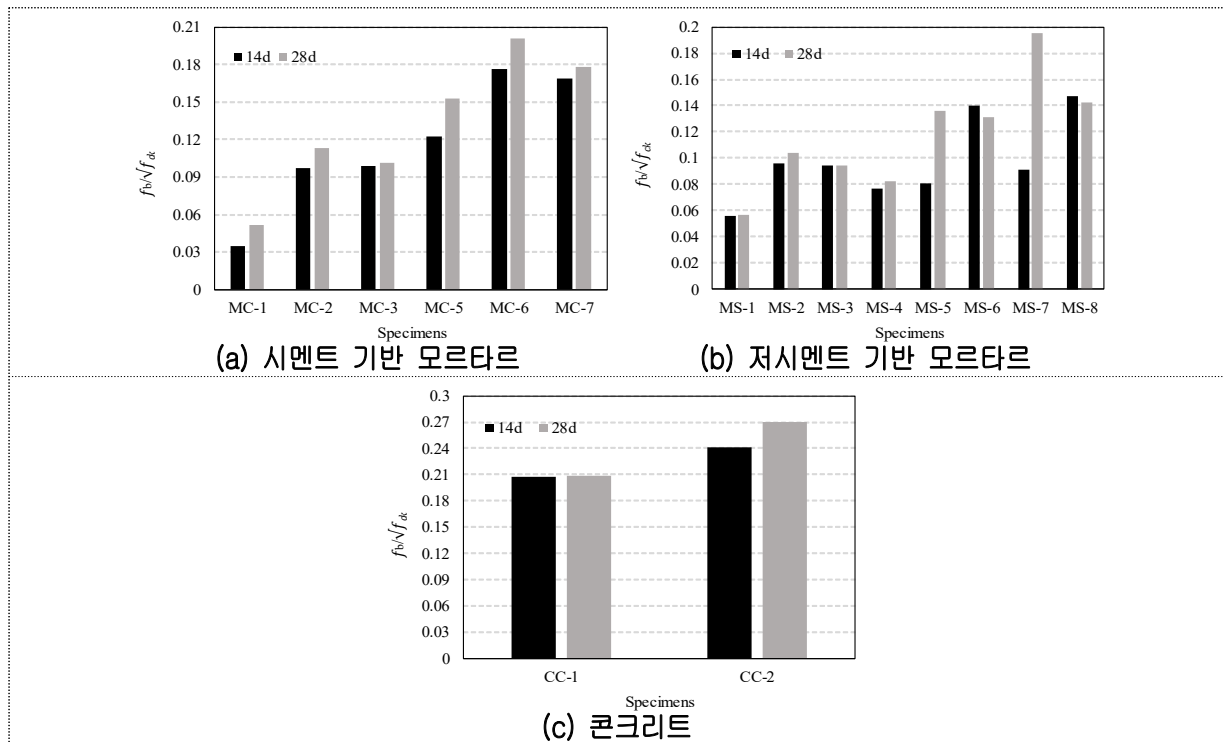


그림 2.12 단면증설 모르타르 및 콘크리트 무차원

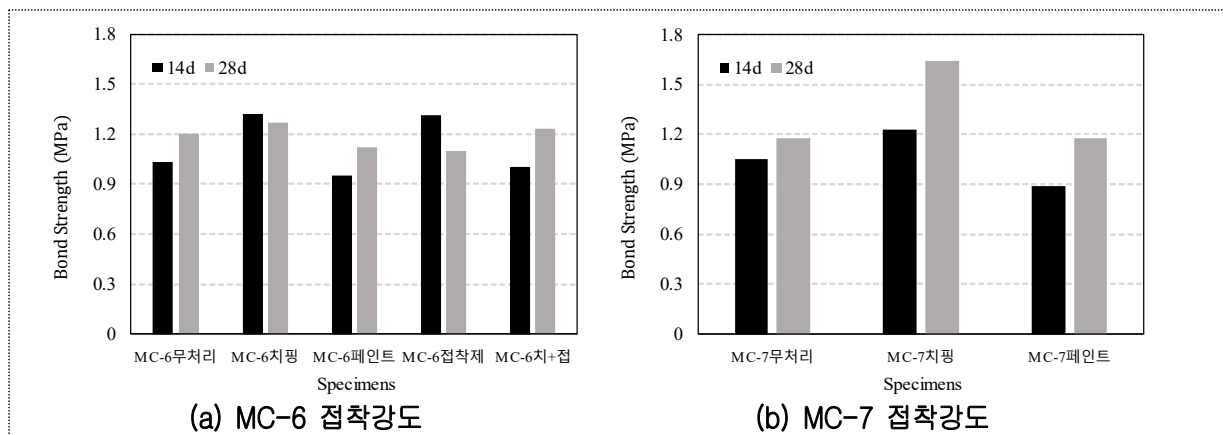


그림 2.13 면 처리에 따른 접착강도

표 2.4 단면증설 모르타르 면처리에 따른 무차원화된 접착강도

실험체 명	접착강도 무차원									
	14day					28day				
	무처리	치핑	페인트	접착제	치핑+접착제	무처리	치핑	페인트	접착제	치핑+접착제
MC-6	0.176	0.225	0.162	0.224	0.171	0.201	0.213	0.188	0.185	0.206
MC-7	0.169	0.198	0.143	-	-	0.178	0.247	0.178	-	-

- MC-7 배합의 경우 재령 14과 28일 모두 치핑 처리한 시험체에서 1.23 MPa와 1.64 MPa로 가장 높은 접착강도를 나타내었지만, 무처리면과의 차이는 미미하므로 단면 확대보강공법에서 기존단면의 면처리는 무처리가 가장 효율적임.

- 그룹 V의 접착강도는 P/B가 증가와 함께 높아졌으며, 1.0 MPa보다 높았음.
- 무차원 결과를 확인하게 되면 대부분 배합에서 접착강도가 높을수록 무차원 값이 높아지고 있으며, 무차원 값은 압축강도 보다 접착강도가 더 영향을 줌.

④ 휨강도(f_r)

- 단면중설 모르타르 및 콘크리트 휨강도 측정은 MC-6, MC-7, MS-6, MS-7 및 그룹V 시험체만 수행하였음.
- 휨 강도 측정 결과는 표 2.2에 나타내었으며, 휨 시험체의 파괴 형상은 그림 2.15에 나타냄.
- 휨 강도가 KS F 4042에서 제시하는 기준 휨 강도(6 MPa)보다 높은 배합은 MC-6와 MC-7 배합이며, 나머지 시험체의 휨 강도는 6 MPa보다 낮았음.

⑤ 건조수축

- 시멘트기반 배합 MC-6와 MC-7의 건조수축은 저시멘트 기반 배합 보다 적었으며, 초속경 시멘트의 치환율은 건조수축에 영향을 미치지 않음(그림 2.16).
- 산업부산물을 사용한 MS-6, MS-7배합의 건조수축률은 시멘트 기반 배합보다 약 1.87배 높았음.

(나) 결론 및 최적 배합 제시

- 저시멘트 기반의 그룹 II에서 목표 플로우 220 mm를 만족하는 배합은 MC-5이며, 초속경 시멘트 치환율이 올라갈수록 플로우는 감소하였음.
- 단면중설 콘크리트 배합에서 목표 슬럼프 플로우 600 mm 만족하는 배합은 CC-1이며, CC-2 배합의 경우에는 400 mm로 목표 슬럼프 플로우에 만족하지 못함.
- 유동성 평가 결과, 자기충전 콘크리트는 유동성 평가 기준(JSCE 및 EFNARC)을 만족하였음
- MC-3을 제외한 그룹 I, II의 압축강도는 KS 기준의 압축강도(20 MPa)를 만족하였음.
- 재령 28일 압축강도 대비 재령 7일차 압축강도 발현율은 저시멘트 기반 그룹 III 배합에서 가장 높았으며, 나머지 그룹 I, II 및 IV 경우에는 큰 차이가 없었음.
- 그룹 II 배합의 재령 28일 기준 접착강도는 KS F 4042에서 제시하는 1.0 MPa보다 높았음.
- 휨강도 측정 결과, MC-6와 MC-7 배합은 KS F 4042에서 제시하는 휨 강도(6 MPa)보다 높았음.
- 건조수축은 시멘트기반 배합보다 저시멘트 기반 배합에서 더 컸음.
- 따라서 단면중설을 위한 모르타르 배합에서 KS F 4042 설계 기준을 모두 만족하는 배합은 MC-6 배합이며, 콘크리트의 경우에는 CC-1 배합이 적합하였음.

- 즉, 폴리머와 초속경 시멘트 기반 단면보강용 모르타르 및 콘크리트는 자기충전이 가능하며 기존 구조물과의 접착성을 확보 할 수 있음.
- 이를 기반으로 단면 확대보강공법에서 추가단면의 배합을 결정하였으며, 이는 V-타이를 포함한 철근선조립 기반 단면 확대보강기둥의 중심축하중 실험체의 제작에 적용되었음.

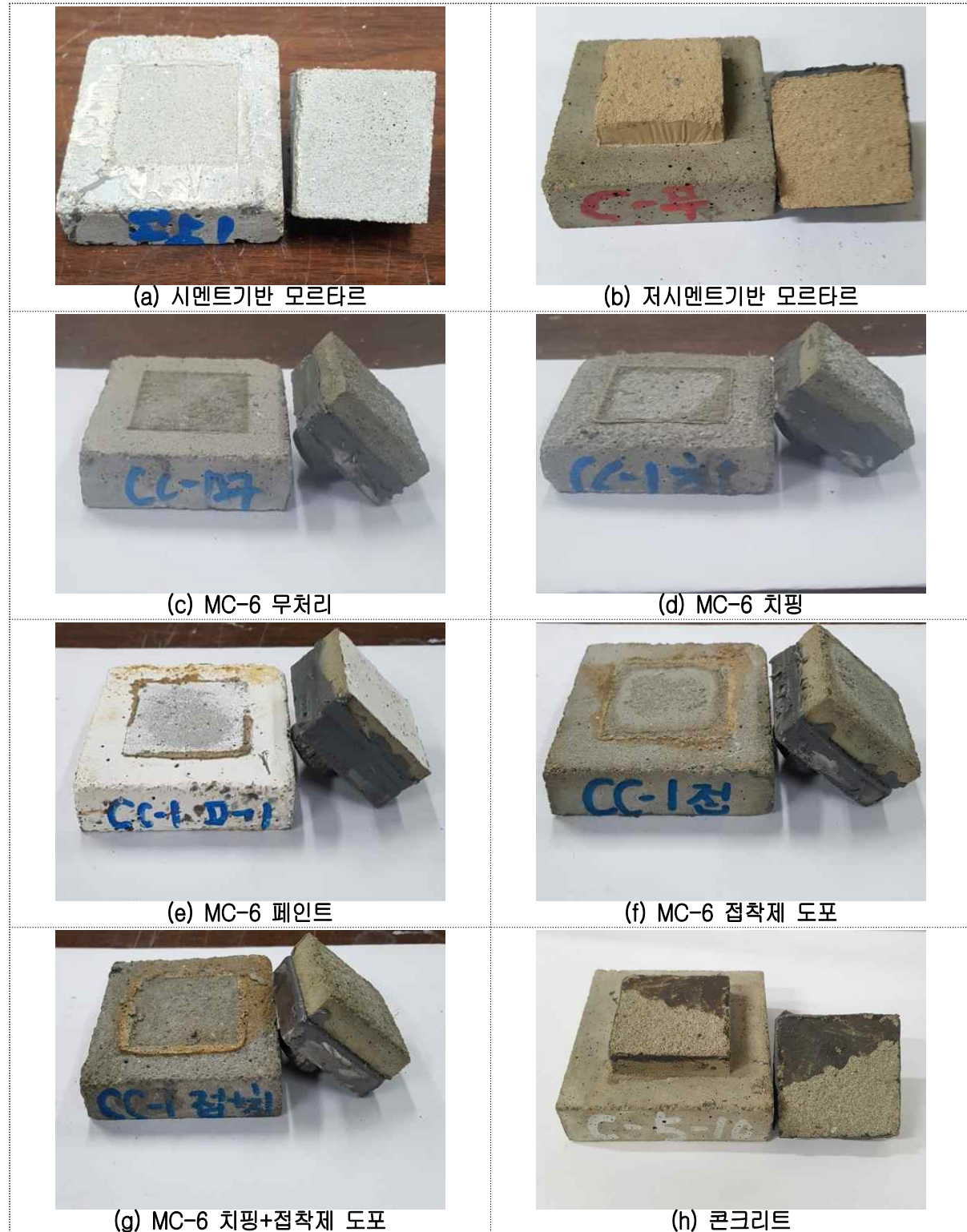


그림 2.14 단면증설 모르타르 및 콘크리트 접착강도 실험 파괴형상



(a) 모르타르 파괴형상



(b) 콘크리트 파괴형상

그림 2.15 단면증설 모르타르 및 콘크리트 파괴 형상

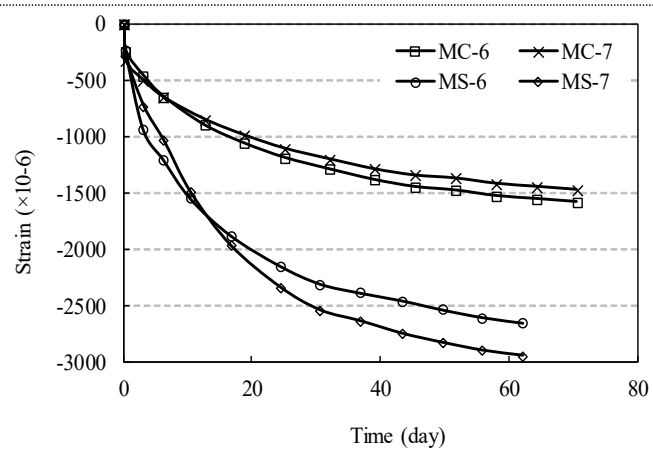


그림 2.16 단면증설 모르타르 건조수축 그래프

(3) 단면확대 및 단면유지 보강 기둥에서 콘크리트의 응력-변형을 관계3)

(가) 제안모델과의 비교(그림 2.17)

- 제시된 구속된 콘크리트의 응력-변형을 관계는 기존에 수행된 구속된 콘크리트의 압축강도 실험결과(Lee, 2001; Hong, 2006; Yun, 2007(a); Yun, 2010(b); Moon, 2010; Jeong, 2010; Giuseppe, 2010)들과 비교하였음.
- 제시된 구속된 콘크리트의 응력-변형을 모델은 구속된 콘크리트의 응력-변형을 관계에서 상승기울기, K_s , ϵ_{cc} , ϵ_{85} 및 하강기울기의 실험결과를 비교적 잘 예측하였음. 특히 기둥부재에서 자주 쓰이는 f_{ck} 와 ρ_{sh} 가 각각 30 MPa 이하와 0.010~0.017의 영역에서 구속된 콘크리트의 응력-변형을 관계를 잘 예측하였음.

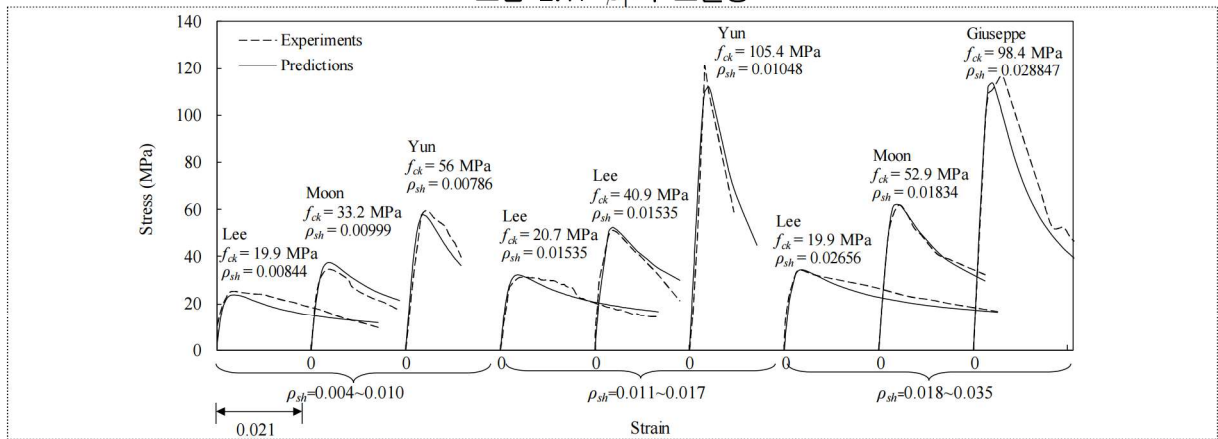
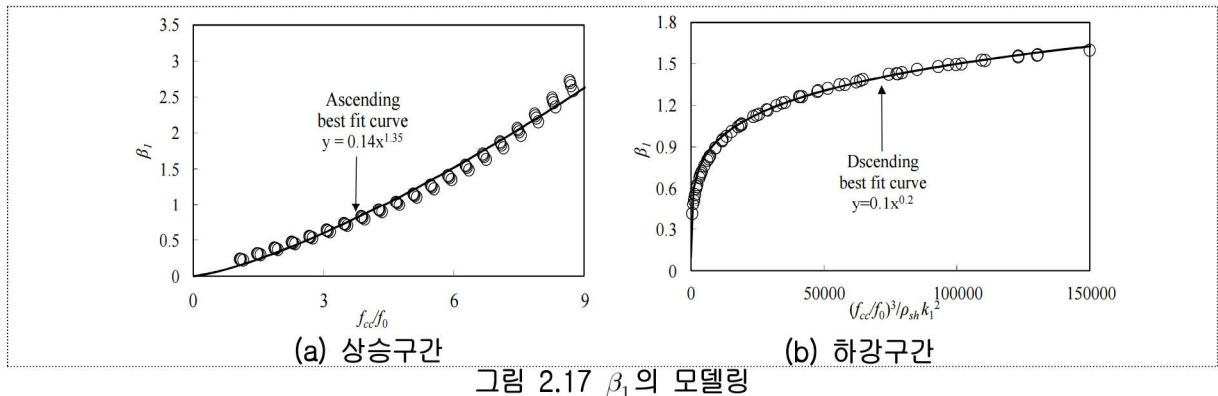


그림 2.18 제안모델과 구속된 콘크리트의 응력-변형을 관계의 비교

3) 증빙자료 pp. 31-42.

관련 출판 논문

· A Stress-Strain Model for Unconfined Concrete in Compression considering the Size Effect, Advances in Materials Science and Engineering, 2019.

(4) 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 횡하중-횡변위 관계(비선형 해석)(4)

(가) 제안모델과의 비교

- 본 연구에서 제시된 비선형 해석절차를 기반으로 작성된 V-타이를 포함한 철근선조립 기반 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 모멘트-곡률 관계는 그림 2.19에 나타내었음. 모멘트-곡률 관계 제안모델은 콘크리트의 초기 휨 균열 발생 및 항복 시점을 적절하게 제시하고 있음.
- 그림 2.20에는 기존연구에서 수행된 일체타설 기둥의 반복 횡하중 실험으로 얻은 횡하중-횡변위 관계와 제안모델의 비교를 나타내었음. 실험결과와의 비교를 위하여 모멘트-곡률 제안모델은 횡하중-횡변위 관계로 계산하였음.
- 횡하중-횡변위 제안 모델은 초기 강성, 항복 내력 및 최대 내력을 매우 잘 예측하였지만, 최대 내력 이후의 거동은 다소 과대평가하였음. 특히 기존 크로스타이를 적용한 기둥의 경우에는 최대내력 이후에 주철근의 좌굴과 함께 하중이 급격히 감소하였기 때문에 횡하중-횡변위 예측값보다 더 급격한 감소 기울기를 나타내었음.

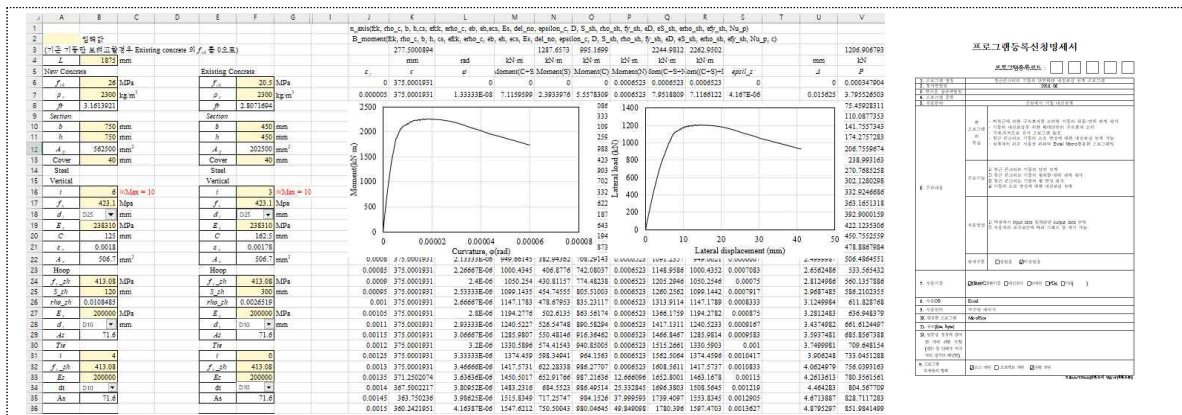
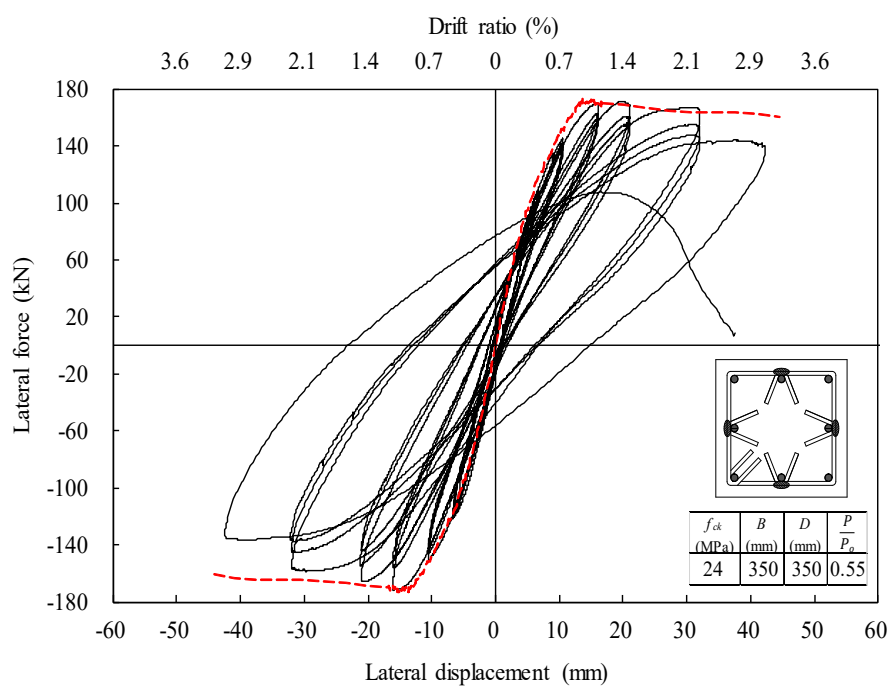
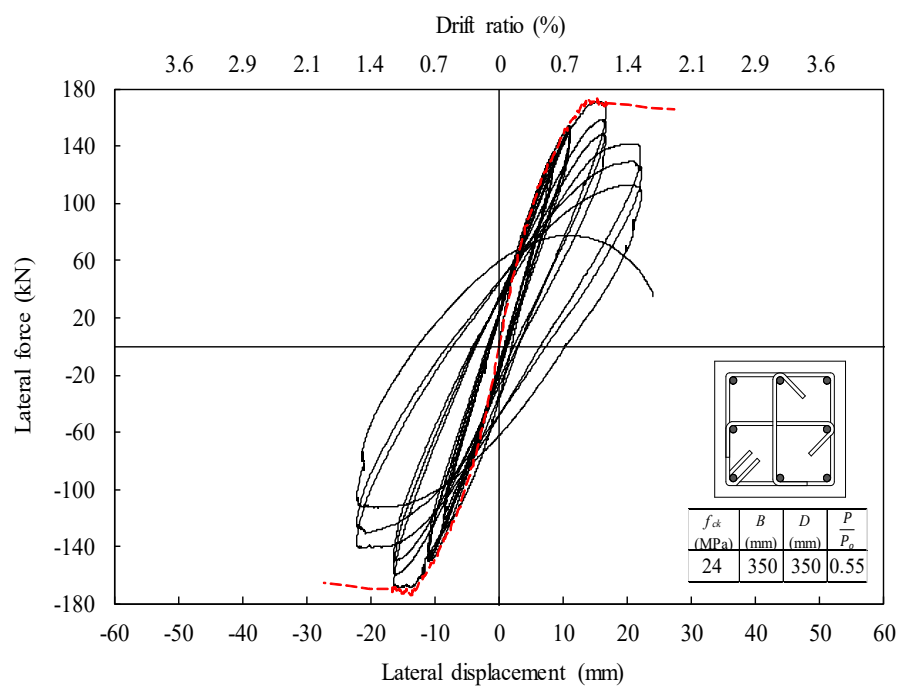


그림 2.19 비선형해석을 통한 보강 기둥의 횡하중-횡변위 및 모멘트-곡률 관계

4) 중빙자료 pp. 43-50.

관련 출판 논문

- Flexural Behavior of Reinforced Concrete Columns with Supplementary V-Shaped Ties, ACI Structural Journal, 2017.
- Flexural Behavior of Columns Strengthened using an RC Jacket with Seismic Details, ACI Structural Journal, 출판예정.
- Seismic Behavior of RC Jacketed Columns under Different Axial Loads, Magazine of Concrete Research, 출판예정.



(5) 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 곡률 및 변위 연성비 모델⁵⁾

(가) 곡률 및 변위 연성비 모델링

- 초기 휨 균열 발생 시 휨 강도는 횡보강근의 영향이 매우 작으므로 주철근 및 축력 지수에 의한 함수로 나타냄.

$$\eta_{cr} = M_{cr}/f_{ck}Bd^2 = [0.02(\omega_s^{0.4} + \omega_p^{0.6})^{2.69}] \quad (5.1a)$$

$$\eta_y = M_y/f_{ck}Bd^2 = [0.20(1.2\omega_s^{0.7} + \omega_p^{0.5})^{1.51}] \quad (5.1b)$$

$$\eta_n = M_n/f_{ck}Bd^2 = [0.39(1.2\omega_s^{1.4} + \omega_p^{1.4} + \omega_{hs}^{2.5})^{0.71}] \quad (5.1c)$$

$$\eta_{80} = M_{80}/f_{ck}Bd^2 = [0.28(1.1\omega_s + \omega_p^{1.1} + \omega_{hs}^{3.1})^{0.96}] \quad (5.1d)$$

- 곡률 산정을 위한 중립축 깊이는 그림 2.22에 나타난 바와 같이 회귀분석을 통하여 다음과 같이 나타냄.

$$c_{cr} = [0.69(1.2\omega_p^{1.1})^{0.08}]D \quad (5.2a)$$

$$c_y = [0.62(\omega_p^{1.2})^{0.22}]D \quad (5.2b)$$

$$c_n = [1.12(\omega_p^{0.3} + \omega_{hs}^{3.5})^{0.26}]D \quad (5.2c)$$

$$c_{80} = [0.45(\omega_p^{1.1} + \omega_{hs}^{3.5})^{0.92}]D \quad (5.2d)$$

- 축하중을 받는 기둥의 곡률 연성비(μ_ϕ)는 다음과 같이 나타낼 수 있음.

$$\mu_\phi = \phi_{80}/\phi_y = \frac{(d - c_y)\epsilon_{80}}{c_{80}\epsilon_y} \quad (5.3)$$

- 횡보강근 체적지수, 철근의 항복강도 및 축력지수의 함수로 다음과 같이 제시 할 수 있으며, 주철근 지수에 의한 곡률 연성비의 감소율은 약 1.3% 이하로 영향이 매우 작기 때문에 곡률연성비 평가모델의 함수에서 제외하였음.

$$\mu_\phi = 0.071\text{EXP}(2.7\xi) \quad (5.4a)$$

$$\xi = \left[(0.3 + \omega_{hs}^{0.5})^{0.5} \left(\frac{1}{(f_y/400)^{0.1}\omega_p^{0.3}} \right) \right] \quad (5.4b)$$

5) 증빙자료 pp. 51-64.

관련 출판 논문

· Flexural Behavior of Columns Strengthened using an RC Jacket with Seismic Details, ACI Structural Journal, 출판예정.
· Seismic Behavior of RC Jacketed Columns under Different Axial Loads, Magazine of Concrete Research, 출판예정.

(나) 기존연구와의 비교

① 횡하중-횡변위 관계

- 기둥의 횡하중은 그림 2.25에 나타난 바와 같이 각 시점의 휨 모멘트를 기둥의 위험단면에서부터 하중점까지의 높이(L)로 나누어 산정 할 수 있음.
- 횡변위는 기둥의 곡률 분포로부터 모멘트 면적법으로 계산 될 수 있는데, 이때 곡률은 초기 휨 균열발생 및 인장철근이 항복하는 시점 전까지 선형으로 분포하며, 최대 내력 및 최대 내력 도달 후 80% 시점에서는 소성힌지(l_p) 구간에 집중되는 것으로 가정할 수 있음. 따라서 그림 2.22의 이상화된 곡률분포로부터 각 시점에서의 횡변위(Δ)는 다음과 같이 계산 될 수 있음.

$$\Delta_{cr} = \phi_{cr} L^2 (1/3) \quad (4.5a)$$

$$\Delta_y = \phi_y L^2 (1/3) \quad (4.5b)$$

$$\Delta_n = \phi_y L^2 (1/3) + (\phi_n - \phi_y) l_p (L - 0.5l_p) \quad (4.5c)$$

$$\Delta_{80} = \phi_y L^2 (1/3) + (\phi_{80} - \phi_y) l_p (L - 0.5l_p) \quad (4.5d)$$

- 여기서, Δ_{cr} , Δ_y , Δ_n 및 Δ_{80} 은 각각 초기 휨 균열 발생, 인장 철근 항복, 최대 내력 및 최대 내력 도달 후 최대 내력의 80% 시점의 횡변위를 나타냄.
- 일반적으로 축하중을 받는 휨 부재의 변위 연성비 산정에서는 휨 내력 이후 최대 휨 내력의 80%시점에서의 횡변위(Δ_{80})와 인장철근이 항복하는 시점에서의 횡변위(Δ_y)의 비율 적용함.
- 따라서 축하중을 받는 기둥의 변위 연성비(μ_Δ)는 식 (22b)와 (22d)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있음.

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_{80}}{\Delta_y} = 1 + \frac{(\phi_{80} - \phi_y) l_p (L - 0.5l_p)}{\phi_y L^2} \quad (4.6)$$

- 이를 곡률 연성비(μ_ϕ)에 대해 정리하면 다음과 같음.

$$\mu_\phi = 1 + \frac{(\mu_\Delta - 1) L^2}{3l_p (L - 0.5l_p)} \quad (4.7)$$

- 이때 등가소성 힌지 길이(l_p)는 Pauly and Priestely의 제안모델로서 다음과 같이 산정할수 있음.

$$l_p = 0.08L + 0.022d_b f_y \quad (4.8)$$

- 여기서 d_b 는 주철근의 직경을 나타냄.

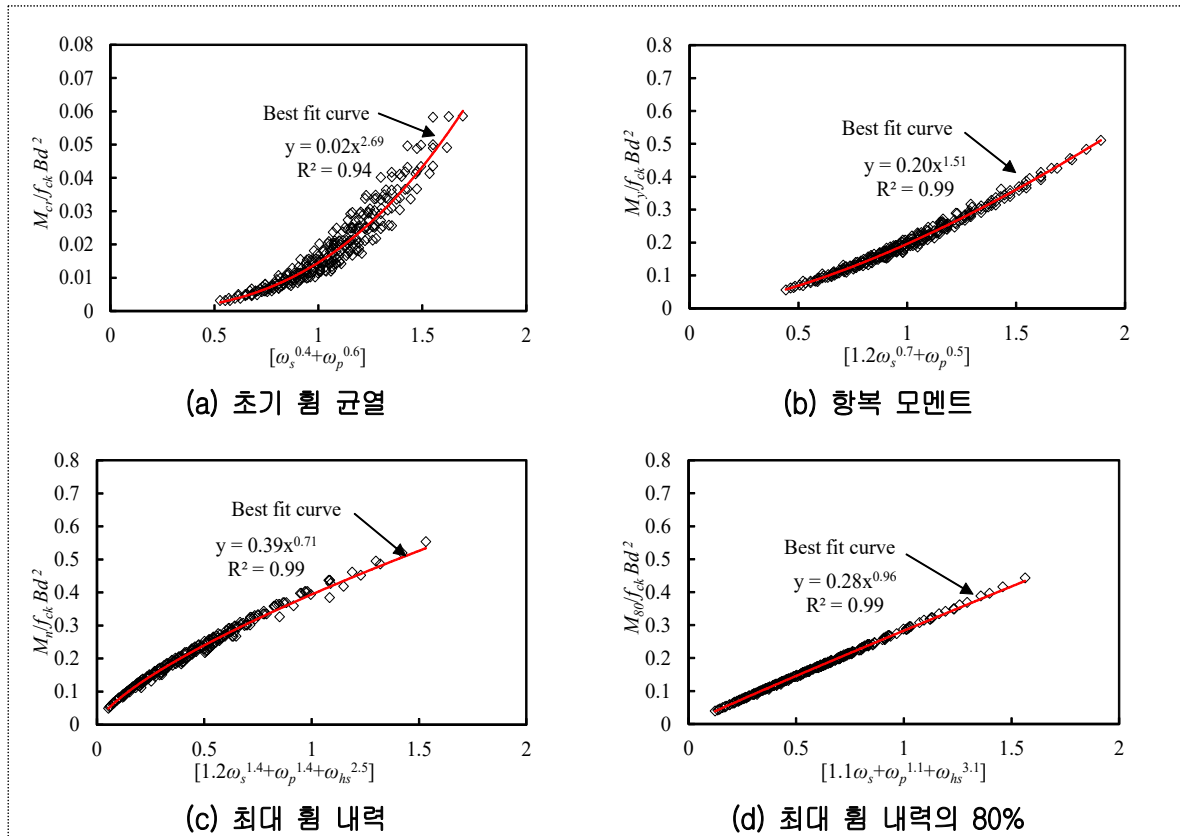


그림 2.21 각 단계에서 모멘트의 단순모델

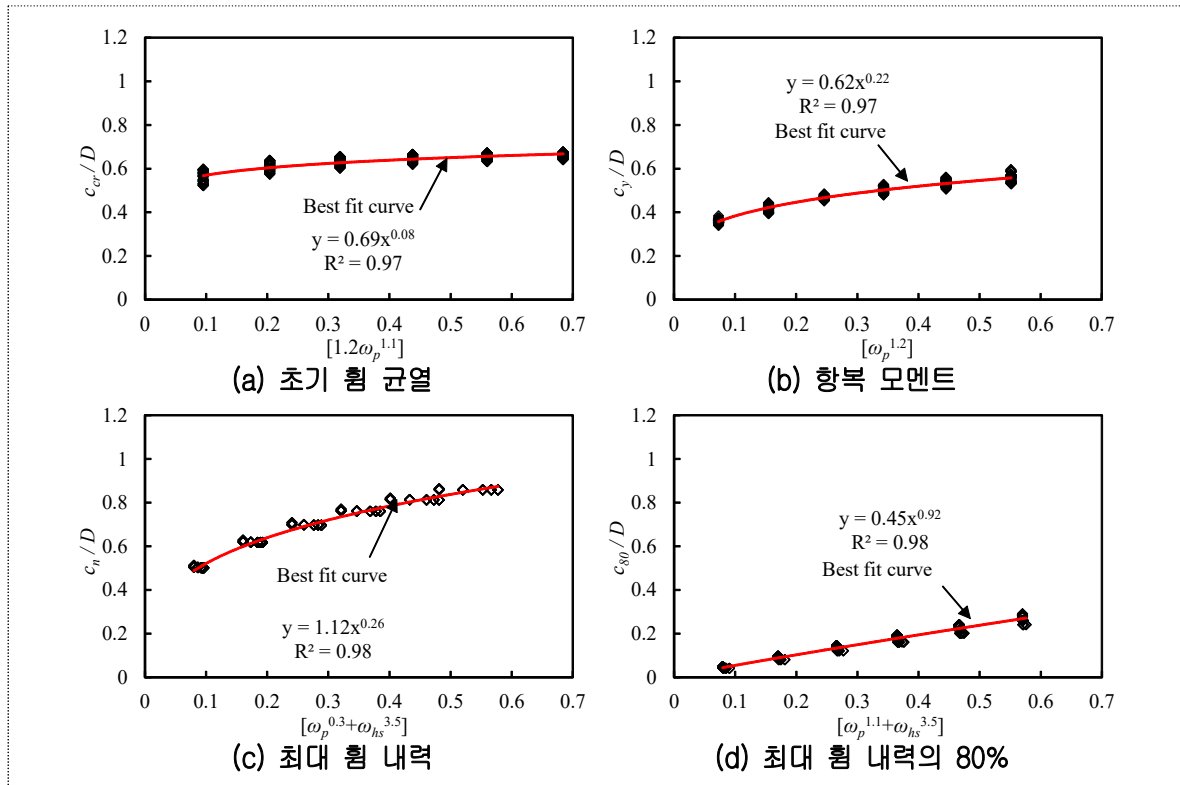


그림 2.22 각 단계에서 중립축 깊이의 단순모델

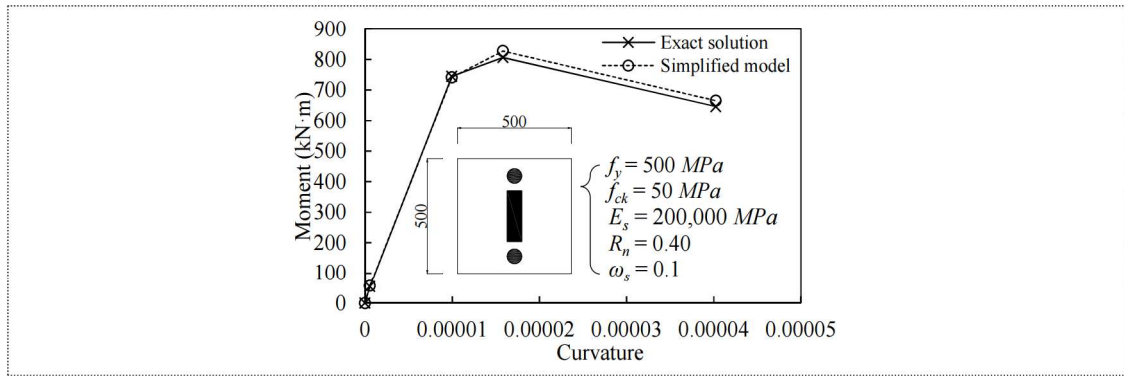


그림 2.23 기존연구와의 모멘트-곡률 관계 비교

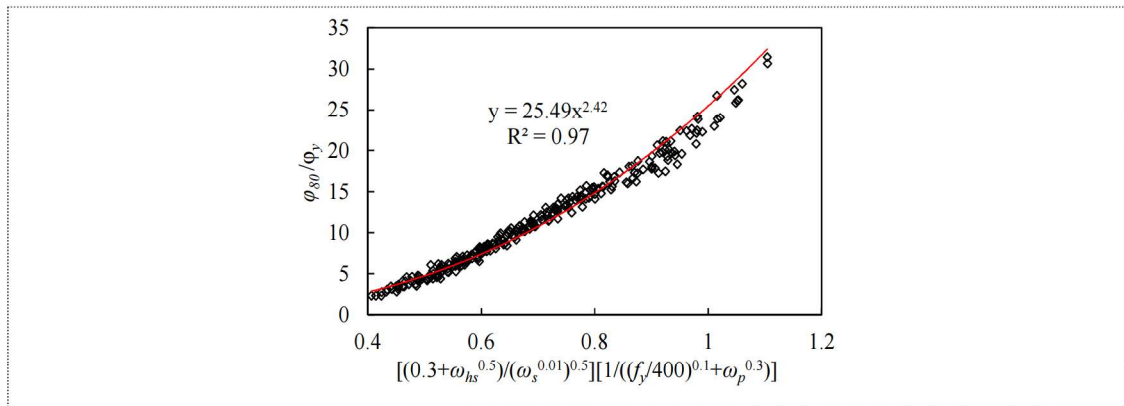


그림 2.24 곡률 연성비 모델링을 위한 회귀분석

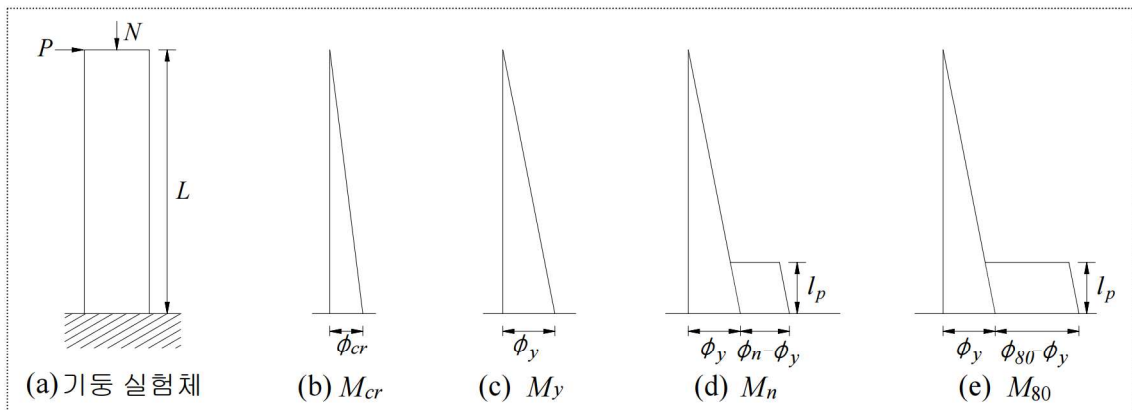


그림 2.25 각 단계에서의 이상화된 곡률분포

② 단순 제안식과 실험 결과와의 비교

- 제시된 횡하중-횡변위 모델의 단순 제안식은 그림 2.26에 나타낸 바와 같이 내부 횡보강근의 형태, 축력비 및 콘크리트 압축강도를 고려하여, Park and Lee, Kim et al, Sim et al 및 Razvi and Saatcioglu)의 실험결과와 비교하였음.
- 비교에 이용된 기둥 실험체는 횡보강근의 배근형태가 외부만 보강된 단순배근형 기둥 및 내부 보조띠철근으로서 크로스타이가 배근된 기둥에서, f_{ck} 가 25.7~100 MPa, R_n 가 0.3~0.5, ρ_s 가 2.21~2.87 %, f_y 가 425~484 MPa, ρ_{svh} 가 0.63~1.16사이에 있음.

- 비교 결과, 제안모델은 횡보강근 배근형태 작용축력비에 관계없이 기둥의 최대내력 (최대 4% 차이), 최대내력 시 변위 및 최대내력 이후 내력 하강기울기에 대한 실험결과와 잘 일치하였으며, 특히 제안모델은 f_{ck} 가 100 MPa인 기둥의 횡하중-횡변위 거동도 잘 예측하였음.
- 따라서 제시된 모멘트-곡률 관계 모델은 RC 기둥의 휨 연성설계를 위해 비교적 단순한 절차에서 적용할 수 있을 것으로 기대함.

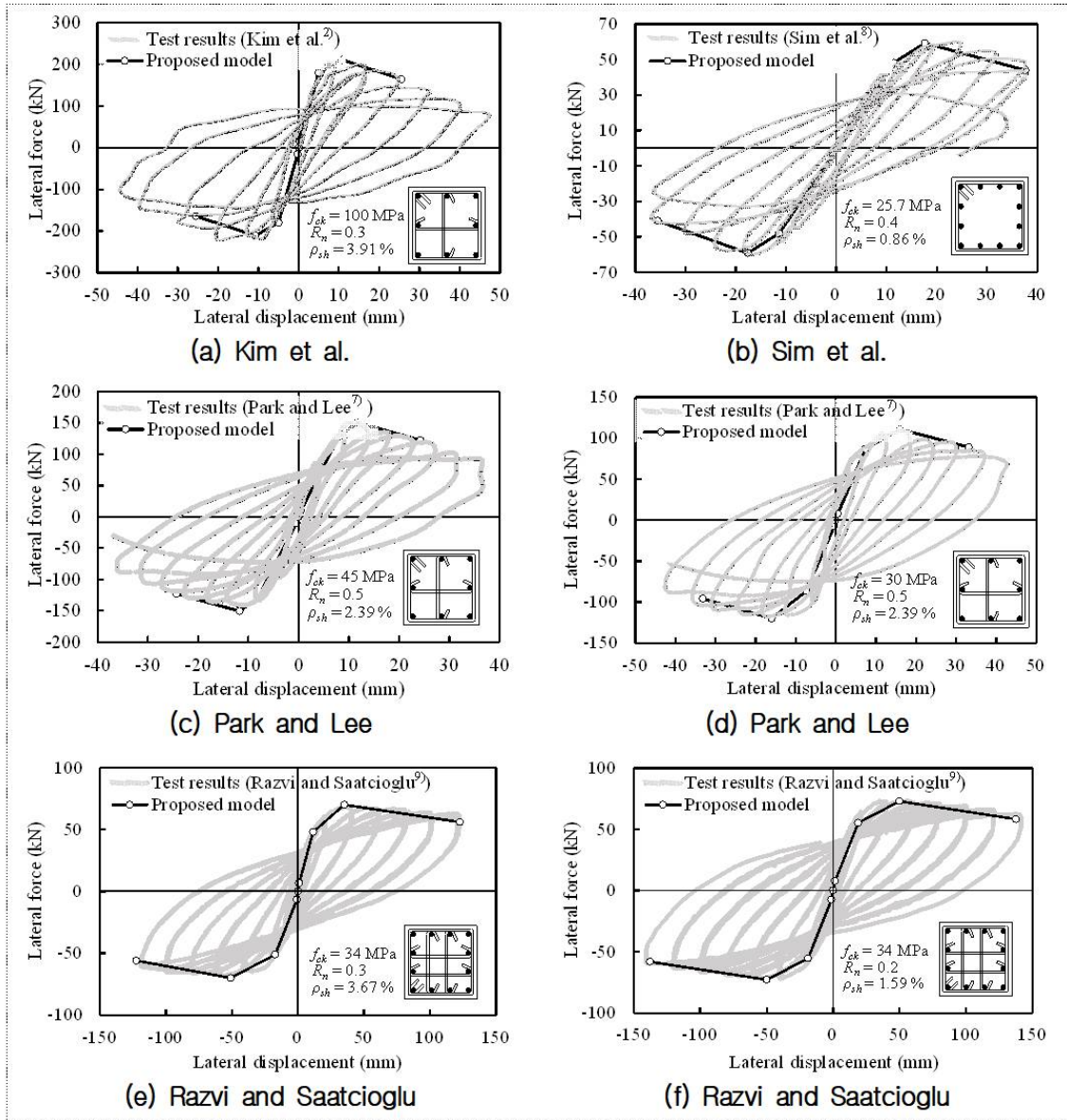


그림 2.26 단순 제안식과 실험 결과와의 비교

(6) V-타이를 포함한 철근 선조립 기술 개발6)

(가) 목적

- 최근 구조물 전체 내진성능 평가 관점에서 기둥의 단면확대 보강기술에 대한 관심이 증가하고 있음. 기둥의 단면확대 보강기술은 구조물 전체의 강성, 내력 및 연성 향상에 효율적으로 대응할 수 있음.
- 하지만 기둥의 단면확대 내진보강 기술에서 가장 중요한 사항 중 하나는 연성향상인데, 이는 기존 기둥의 간섭으로 인해 확대 단면에서 폐쇄형 외부 띠철근과 보조 띠철근 배근이 어렵기 때문임.
- ACI 318-14 및 건축구조기준(KBC, Korea Building Code)에서는 중간모멘트 골조 및 특수 모멘트 골조의 기둥 잠재소성힌지 구간 내에서 폐쇄형 외부 띠철근과 보조 띠철근으로서 한단 135°, 타단 90° 인 크로스타이 배근을 요구함. 기둥의 내진보강을 위한 단면확대 보강 시 확대 단면에서의 띠철근 배근은 이 설계 기준을 따라야 하지만 기존 기둥의 간섭으로 인해 이는 매우 어려운 사항임(그림 2.27).
- 기존 단면확대 보강 기술에서 외부 띠철근 배근을 위해 사용되는 ㄷ형 외부띠철근의 겹침이음은 보강기둥의 최대내력이후 벌어짐이 발생하며, 이는 코어 콘크리트 구속력 저하 및 주철근의 조기좌굴을 유발하여 기둥 연성향상 측면에서 매우 불리함(그림 2.28).

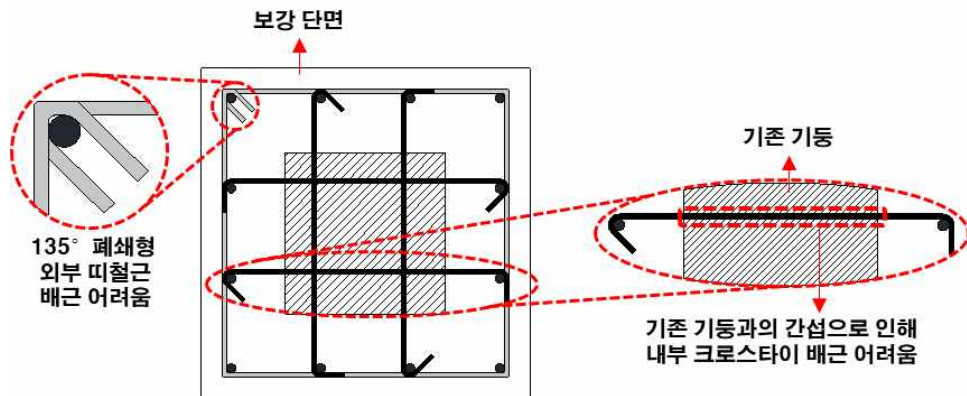


그림 2.27 단면확대 보강 기둥의 폐쇄형 외부띠철근 및 보조띠철근 배근의 필요성

6) 증빙자료 pp. 1-400.

관련 출판 논문

- Axial Performance of RC Columns Strengthened with Different Jacketing Methods, Engineering Structures, 2020.
- Axial Test of full-scale columns strengthened with jacket section, Magazine of Concrete Research, 출판예정.
- Flexural Behavior of Columns Strengthened using an RC Jacket with Seismic Details, ACI Structural Journal, 출판예정.
- Seismic Behavior of RC Jacketed Columns under Different Axial Loads, Magazine of Concrete Research, 출판예정.
- Axial performance of RC columns with glass-fiber grids as peripheral hoops, Journal of Structural Integrity and Maintenance, 출판예정
- 확대단면에서의 띠철근 배근 방법에 따른 보강 기둥의 중심 축하중 거동 평가, 한국구조물진단유지관리공학회, 2018.
- 철근 선조립 공법 기반 단면확대 보강기둥의 중심 축하중 거동 평가, 한국콘크리트학회논문집, 2018.
- 확대단면에서 폐쇄형 외부 띠철근 배근 방법에 따른 보강기둥의 중심축하중 거동 평가, 대한건축학회논문집구조계, 2019.

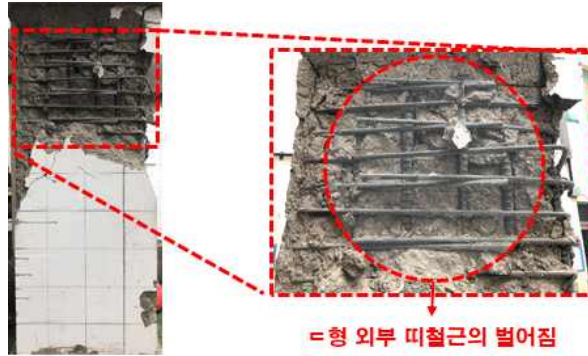


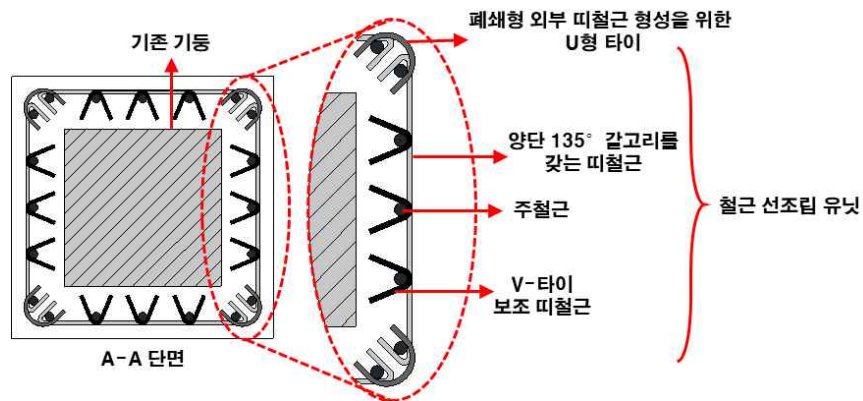
그림 2.28 기존 기둥 단면확대 보강기술에서 ㄷ형 외부 띠철근의 벌어짐.

- 또한 기존 기둥의 단면확대 보강기술에서 보조 띠철근은 배근을 하지 않거나, 기존 기둥의 앵커링을 통해 한단이 135° 갈고리를 갖는 타이틀을 이용하였음. 이들 앵커링 타이틀은 기존 기둥을 손상시켜 기둥 내력에 부정적 영향을 미칠 수 있으며, 시공성도 매우 저하시켜 공사기간과 공사비 증가의 주요 원인이 되기도 함.
- 따라서 기둥의 단면확대 보강기술에서 내진보강을 위한 폐쇄형 외부 띠철근과 보조 띠철근의 배근은 매우 중요한 요소로서 이에 대한 실용적 기술개발은 매우 중요한 의미를 갖음.
- 도시의 인구집중 및 신도시 개발로 인해 점차 증가하는 건축물들의 공기단축과 건설기술의 수출경쟁력 향상을 위해 현장적용 기반의 원가절감형 건설공법의 중요성이 높아지고 있음.
- 고령화 사회로 인한 건설산업의 노동력 감소에 대응하기 위한 고부가가치의 단순공법 개발은 향후 건설생산력의 가장 중요한 경쟁요소임. 이로 인해 건설 현장에서는 프리캐스트 공법 및 철근 선조립 공법 등을 통한 현장공정 최소화에 대한 요구가 높아지고 있음.
- 기둥 단면확대 내진보강 기술에서도 폐쇄형 외부횡보강근을 손쉽게 배근가능하며 건설산업의 노동력 감소에 대응할 수 있도록 현장 공정을 최소화하는 철근 선조립 공법 기술을 적극 도입할 필요가 있음.

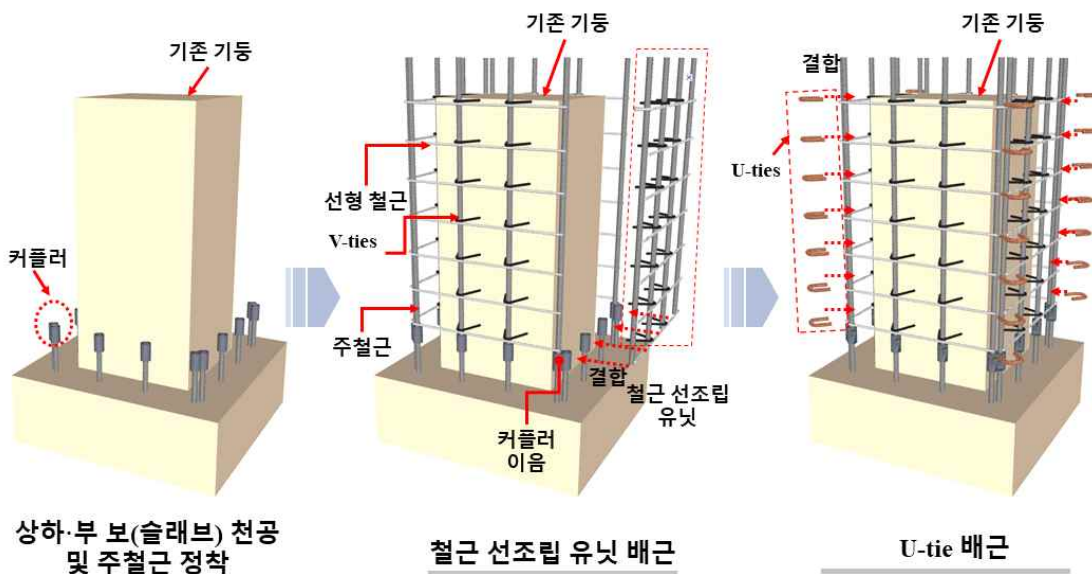
(나) 개요

- 기존 기둥의 단면확대 내진 보강 시 기존 기둥의 간섭으로 설계기준에서 요구하는 폐쇄형 외부 띠철근 및 보조 횡보강근인 크로스타이의 배근은 현실적으로 어려움.
- 이 문제를 해결하기 위한 제안 기술인 철근 선조립 유닛은 기존 기둥의 각 면에서 설치될 수 있는 주철근, 양단 135° 갈고리를 갖는 직선형 타이, 그리고 중간 주철근에 배근되는 V-타이 보조 띠철근으로 구성됨(그림 2.29(a)).
- 이는 설계기준에서 요구하는 횡보강근 내진 배근상세를 만족함으로써 결과적으로 기존 기둥의 내진보강을 달성할 수 있음.
- 철근 선조립 유닛은 공장에서 제작되며, 현장에서는 선조립 유닛들의 조립 및 콘크리트 타설 등의 공정만을 수행함으로써 공기단축을 포함한 시공성을 향상시킬 수 있음.

- 철근 선조립 유닛들은 기둥 각 면에서 설치되고 폐쇄형 외부 띠철근 형성을 위하여 기둥 모서리에서 U형 타이가 현장에서 배근됨. 따라서 양단 135° 갈고리를 갖는 직선형 타이들은 기둥 모서리에서 U형 타이에 의해 연결됨으로서 폐쇄형 외부 띠철근을 형성함(그림 2.29(b)).
- 보조 띠철근으로 배근되는 V-타이의 역학적 기구는 콘크리트를 구속하고 중간 주철근의 조기 좌굴을 방지하는 역할을 함으로서 기둥의 연성향상에 기여함. 또한 기존 기둥의 간섭없이 배근 가능하여 구조적 안전성과 시공성을 동시에 확보할 수 있음.
- V-타이를 포함한 철근 선조립 기술의 시공속도는 크로스타이의 앵커링의 기존 단면확대 보강 기술에 비해 약 68% 감소됨.
- 철근 선조립 기술은 기존 단면확대 보강기술인 앵커링을 통한 크로스타이 배근 기술과 비교 예정임.
- 단면확대 보강에서 철근 선조립 기술과 앵커링을 통한 크로스타이의 보강기술은 시공 시간 측정 및 시공 편의성 등의 평가를 위한 시공 기술자 인터뷰를 통해 평가할 계획임.



(a) 철근 선조립 유닛 구성 개요



(b) 철근 선조립 유닛을 이용한 기둥 단면확대 및 단면유지 보강 절차

그림 2.29 단면확대 및 단면유지 내진 보강을 위한 철근 선조립 유닛

(7) V-타이 단면확대 보강 기둥의 압축 거동 성능 분석(1차)7)

(가) 중심축하중 실험결과 분석

① 균열 및 파괴모드

- No.2, No.5, No.6, No.8, No.12, No.14, No.15, No.16, No.18, No.19 및 No.20 실험체는 콘크리트 타설 불량 및 대형단면기둥의 셋팅 시 오차로 인한 편심으로 인해 적절한 실험결과를 얻지 못하였음.
- 무보강 기둥(No.1)의 초기 균열은 기둥면에서 최대내력의 약 75% 수준에서 발생하였음. 이후 균열진전은 기둥의 축방향으로 나아갔으며, 피복 콘크리트의 박리는 초기 균열 발생 이후 최대 내력까지 천천히 진행되었음. 최대 내력 이후 No.1(Existing)은 주철근의 좌굴이 나타나면서 하중이 감소하였으며 최종파괴 모드에서 외부띠철근의 벌어짐은 나타나지 않았음(그림 2.30(a)).
- ㄷ-시리즈 보강 기둥의 초기균열은 No.1(Existing)과 비슷한 최대내력의 약 74~82% 수준에서 초기 균열이 발생하였으며, 또한 발생위치 및 균열진전도 No.1(Existing)과 유사하였음. 그러나 최대내력 시점에서 ㄷ-시리즈 보강 기둥은 ㄷ형 외부띠철근의 벌어짐이 나타났으며, 이에 따라 주철근의 좌굴로 하중이 감소하였음. V-타이가 배근되지 않은 보강 기둥(No.9)의 최종파괴모드는 외부 띠철근의 벌어짐으로 인해 코어 콘크리트가 크게 파손되었음(그림 2.30(e)).
- 그러나, V-타이가 배근된 보강 기둥의 최종 파괴모드는 V-타이의 구속효과로 인해 V-타이가 배근되지 않은 보강 기둥에 비해 코어 콘크리트의 파손이 적었으며, 주철근의 좌굴길이도 짧았음. 내부 기둥의 최종 파괴모드는 주철근이 항복하였지만 좌굴현상은 나타나지 않았으며, 띠철근의 벌어짐도 없었음.
- U-타이 보강 기둥의 초기균열은 최대내력의 약 71%수준으로 No.1(Existing)과 비슷한 시점에서 발생하였으나, 기둥의 모서리부분에서 초기균열이 발생하였음. 초기 균열발생이후 균열진전은 기둥 모서리부분에서 축방향으로 나아가 콘크리트 박리가 나타났음. 최대내력 시점에서 U-타이 보강 기둥은 주철근의 좌굴과 함께 하중이 감소하였지만, 외부 띠철근의 벌어짐은 나타나지 않았음(그림 2.30(h)).
- U-타이 보강 기둥의 최종 파괴 시 코어 콘크리트의 파손은 ㄷ-시리즈 보강 기둥에 비해 적었음.

② 축하중-축변형률 관계

- 단면확대보강기둥의 축하중-축변형률 관계는 그림 2.31에 나타냄.
- 축변형률은 기둥 네 모서리에서 측정한 변위값들의 평균을 실험구간의 길이로 나누어 산정하였음.

7) 증빙자료 pp. 65-90.

관련 출판 논문

- Axial Performance of RC Columns Strengthened with Different Jacketing Methods, Engineering Structures, 2020.
- Axial Test of full-scale columns strengthened with jacket section, Magazine of Concrete Research, 출판예정.
- Axial performance of RC columns with glass-fiber grids as peripheral hoops, Journal of Structural Integrity and Maintenance, 출판예정
- 확대단면에서의 띠철근 배근 방법에 따른 보강 기둥의 중심 축하중 거동 평가, 한국구조물진단유지관리공학회, 2018.
- 철근 선조립 공법 기반 단면확대 보강기둥의 중심 축하중 거동 평가, 한국콘크리트학회논문집, 2018.
- 확대단면에서 폐쇄형 외부 띠철근 배근 방법에 따른 보강기둥의 중심축하중 거동 평가, 대한건축학회논문집구조계, 2019.
- V-타이와 V-클립을 적용한 단면확대 보강기둥의 중심축하중 거동 평가, 한국콘크리트학회논문집, 2019.

- No.1(Existing)의 초기 기울기는 초기균열 발생 시점까지 선형 증가하였으며, 초기균열 발생 이후에는 완만하게 증가하였음. No.1(Existing)은 최대내력 이후 하중의 감소는 완만하였는데, 이는 콘크리트 압축강도가 약 15 MPa로서 상당히 낮기 때문임.
- No.4(Monolithic)에서도 낮은 콘크리트 압축강도로 인해 최대내력 이후 하중감소는 다소 완만하였음.
- ㄷ-시리즈 보강 기둥에서 초기 강성은 No.1(Existing)에 비해 크게 증가하였음. ㄷ-시리즈 보강 기둥의 기울기는 초기균열 발생 이후 점차 완만하게 증가하였으며, 이후 피복 콘크리트의 박리가 시작하면서 최대내력에 도달하였음.
- ㄷ-시리즈 보강 기둥에서 V-타이가 배근되지 않은 보강 기둥(No.9)은 최대 내력 이후 외부 띠철근의 벌어짐으로 인해 하중이 급격하게 감소하였음. 반면 V-타이가 배근된 ㄷ-시리즈 보강 기둥의 최대내력 이후 하중의 감소 기울기는 V-타이의 양이 증가할수록 완만하였음.
- U-타이 보강 기둥(No.13)의 경우 최대 내력 이후 외부 띠철근의 벌어짐이 나타나지 않았으며, 최대 내력 이후 감소기울기는 V-타이가 배근되지 않은 ㄷ-시리즈 보강기둥(No. 9)와 비슷하였음. 즉, U-타이 보강 기술에 V-타이 보조띠철근을 배근한다면 최대 내력 이후 감소기울기는 완만해질것이라 판단됨.
- 주철근이 정착되지 않은 기둥(No.17)은 주철근이 정착된 기둥(No.7)과 초기강성은 비슷한 수준이었지만 최대내력 이후 하중은 주철근이 정착된 기둥(No.7)에 비해 급격하게 감소함.
-



그림 2.30 중심축하중 실험 파괴모드:제시된 공법 기둥



(d) Cross-tie anchoring



(e) $\subseteq$ +No V-tie($1.3l_{db}$)



(f) $\subseteq$ +V-tie($1.0A_{sh}$)



(g) $\subseteq$ +V-tie($1.5A_{sh}$)

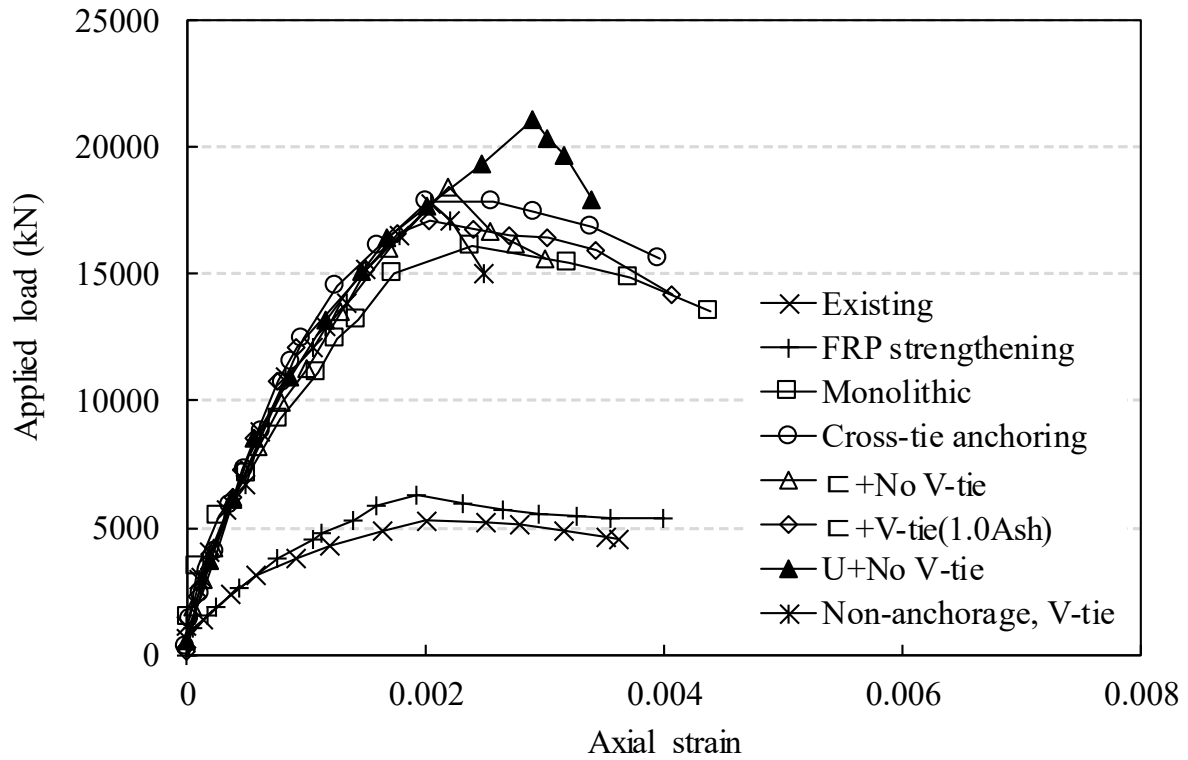


(h) U+No V-tie

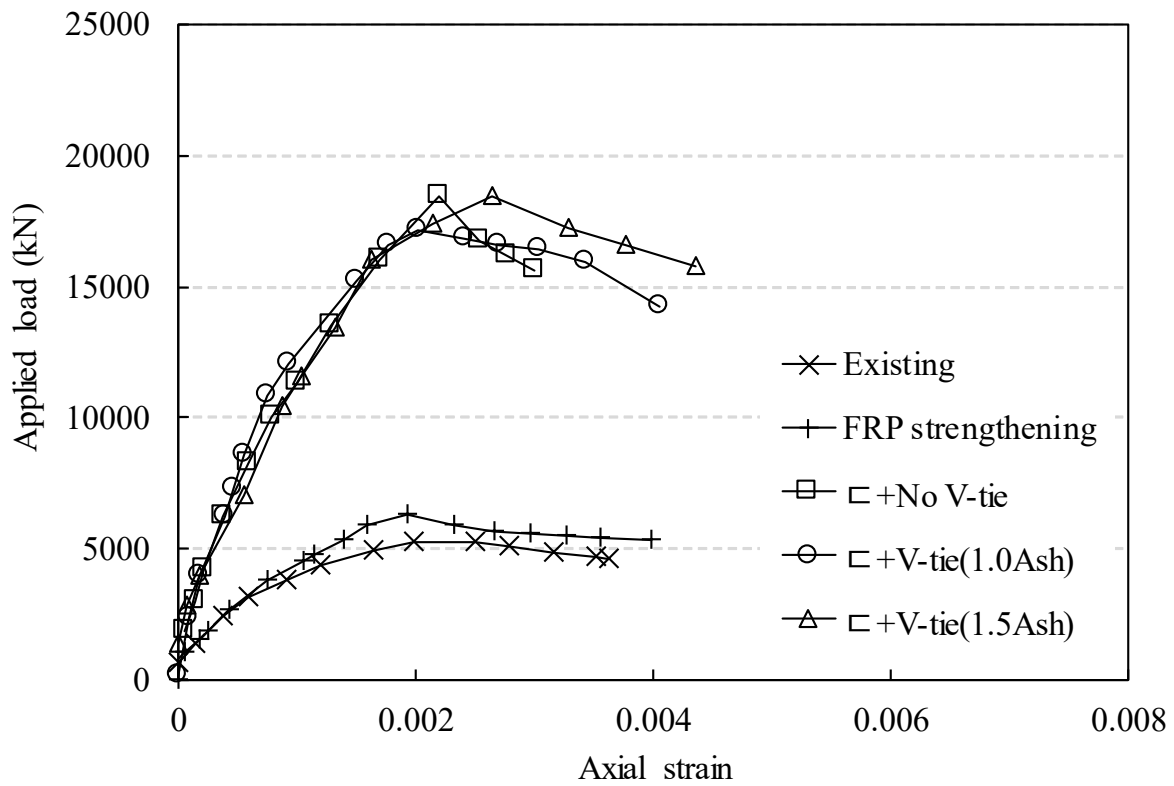


(I) Non-anchorage, V-tie

그림 2.30 중심축하중 실험 파괴모드;제시된 공법 기둥(계속)



(a) 기존공법과의 비교



(b) V-타이 증가에 따른 비교(=시리즈)

그림 2.31 1차 중심축하중 실험 축하중-축변형률 관계

표 2.5 1차 중심 축하중 실험 결과

Specimens	Test results					Predictions	
	P_{cr} (kN)	P_n (kN)	ϵ_{cc}	ϵ_{85}	μ	$(P_n)_{ACI}$ (kN)	$(P_n)_{Exp}/$ $(P_n)_{ACI}$
No.1 Existing	3,894	5,277	0.0020	0.0036	0.90	5,173	1.02
No.3 FRP strengthening	-	6,298	0.0019	0.0039	0.98	5,173	1.22
No.4 Monolithic	12,258	16,084	0.0024	0.0044	1.05	15,557	1.03
No.5 Cross-tie anchoring	13,989	17,876	0.0020	0.0037	0.93	17,193	1.04
No.9 $\square$ +No V-tie	13,582	18,424	0.0021	0.0028	0.70		1.07
No.10 $\square$ +V-tie($1.0A_{sh}$)	14,067	17,119	0.0021	0.0042	1.05		1.00
No.11 $\square$ +V-tie($1.5A_{sh}$)	14,551	18,443	0.0026	0.0044	1.10		1.07
No.13 U+No V-tie	14,877	21,091	0.0029	0.0035	0.88		1.23
No.17 Non-anchoring, V-tie	13,425	17,781	0.0021	0.0027	0.68		1.03

③ 최대 압축내력

- $\square$ -시리즈 보강 기둥의 압축내력은 No.1(Existing)에 비해 약 3.2~3.5배 높았음. 반면, V-타이의 양이 보강 기둥의 압축내력에 미치는 영향은 미미하였음(표 2.5).
- U-타이 보강 기둥(No. 13)의 압축내력은 No.1에 비해 약 4.0배 높았으며, $\square$ -시리즈 보강 기둥에 비해서는 약 1.1배 높았음(표 2.5).
- 모든 실험체의 압축내력은 ACI 318-14(2014)에 의해 산정된 공칭내력(17,193 kN)보다 높았음.
- No.1(Existing)의 압축내력은 ACI 318-14의 공칭내력보다 약 1.24배 높았음.
- 반면 $\square$ -시리즈 보강 기둥의 최대 압축내력은 ACI 318-14 공칭내력보다 약 1.05~1.13배로서 그 안전율은 무보강 기둥에 비해 낮았음. 이는 $\square$ 형 외부 띠철근의 벌어짐으로 인해 주철근의 좌굴로 기둥의 압축내력이 감소하였기 때문임.
- U-타이 보강 기둥(No. 13)의 압축내력은 ACI 318-14의 공칭내력보다 약 1.23배 높았으며 No.1(Existing)과 비슷한 수준이었음.
- No.4(Monolithic)의 압축내력은 낮은 기존 콘크리트 강도로 인해 No.7($\square$ +V-tie($1.0A_{sh}$)))의 94% 수준이었음.
- No.3(FRP strengthening)의 압축내력은 No.1(Existing)에 비해 약 19% 증가하였음.
- No.17(Non-anchoring, V-tie)의 압축내력은 주철근을 정착한 기둥(No.10)과 비슷한 수준의 압축내력을 보였음.
- $\square$ -시리즈(No.10, No.11)의 압축내력은 기존공법(Cross-tie anchoring)에 비해 각각 0.96배 및 1.03배로 비슷한 수준이었으며 U-타이 보강 기둥(No.13)의 압축내력은 기존공법(Cross-tie anchoring)에 비해 1.18배 높았음.

④ 압축 연성비

- 단면확대보강 기둥의 압축연성비(μ)는 Saatcioglu and Razvi(1992)의 제안식을 이용하여 평가하였음(표 2.5).

$$\mu = \frac{\epsilon_{85}}{0.004}$$

(1)

- 여기서, ϵ_{85} 는 최대 내력 이후 최대내력의 85% 시점에서의 압축변형률을 나타냄.
- V-타이가 배근되지 않은 ㄷ-시리즈 보강 기둥(No.9)의 압축연성비는 0.70로 무보강 기둥에 비해 낮았음. 이는 ㄷ형 외부 띠철근의 벌어짐과 크기효과에 의해 연성이 감소하였기 때문임(Ali and Mario; 2012).
- V-타이를 배근한 ㄷ-시리즈 보강 기둥(No.10 및 No.11)의 압축연성비는 1.05 및 1.10으로 무보강 기둥(No.1)에 비해 약 20% 상승하였음. 기둥 단면의 크기가 클수록 크기효과에 의해 압축내력 및 연성은 감소할 수 있음(Ali and Mario; 2012). 그러나 V타이를 배근한 보강 기둥의 압축연성비는 대형단면의 크기효과에 의한 연성저하 가능성이 있음에도 불구하고 무보강 기둥(No.1)에 비해 최소 1.2배 이상 높았음.
- 한편 V-타이가 배근되지 않은 U-시리즈 보강 기둥(No.13)의 압축연성비는 0.88로 무보강 기둥(No.1)과 비슷한 수준이었음.
- No.4(Monolithic)의 압축연성비는 1.05로 No.7(ㄷ+V-tie($1.0A_{sh}$)))과 비슷한 수준이었음.
- No.3(FRP strengthening)의 압축연성비는 No.1(Existing)에 비해 약 9% 증가하였음.
- No.17(Non-anchoring, V-tie)의 압축연성비는 주철근을 정착한 기둥(No.10)에 비해 35% 낮은 압축연성비를 보였음.
- ㄷ-시리즈(No.10, No.11)의 압축연성비는 기존공법(Cross-tie anchoring)에 비해 각각 1.13배 및 1.18배높았으며, U-타이 보강 기둥(No.13)의 압축연성비는 기존공법(Cross-tie anchoring)과 비슷한 수준이었음.

(8) V-타이 단면확대 보강 기둥의 압축 거동 성능 분석(2차):기술보완⁸⁾

(가) 중심축하중 실험결과 분석

① 균열 및 파괴모드

- 무보강 기둥(Existing)의 초기 균열은 기둥면에서 최대내력의 약 73% 수준에서 발생하였음. 이후 균열진전은 기둥의 축방향으로 나아갔으며, 피복 콘크리트의 박리는 초기 균열 발생 이후 최대 내력까지 천천히 진행되었음. 최대 내력 이후 무보강 기둥은 주철근의 좌굴이 나타나면서 하중이 감소하였으며 최종파괴 모드에서 외부띠철근의 벌어짐은 나타나지 않았음(그림 2.32(a)).
- C-시리즈 보강 기둥의 초기균열은 무보강 기둥과 비슷한 최대내력의 약 71~78% 수준에서 초기 균열이 발생하였으며, 또한 발생위치 및 균열진전도 무보강 기둥과 유사하였음. V-타이가 배근되지 않은 보강 기둥(C+No V-tie)의 최종파괴모드는 외부 띠철근의 벌어짐으로 인해 코어 콘크리트가 크게 파손되었음(그림 2.32(d)).
- 그러나, V-타이가 배근된 보강 기둥의 최종 파괴모드는 V-타이의 구속효과로 인해 V-타이가 배근되지 않은 보강 기둥에 비해 코어 콘크리트의 파손이 적었으며, 주철근의 좌굴길어도 짧았음.
- C-시리즈 보강 기둥에서 V-타이를 세로로 배근된 실험체는 외부 띠철근의 벌어짐이 나타나지 않았음.
- U-시리즈 보강 기둥의 초기균열은 최대내력의 약 73%~77%수준으로 무보강 기둥(Existing)과 비슷한 시점에서 발생하였으나, 기둥의 모서리부분에서 초기균열이 발생하였음. 초기 균열발생 이후 균열진전은 기둥 모서리부분에서 축방향으로 나아가 콘크리트 박리가 나타났음. 최대내력 시점에서 U-시리즈 보강 기둥은 주철근의 좌굴과 함께 하중이 감소하였지만, 외부 띠철근의 벌어짐은 나타나지 않았음(그림 2.32(g), (h), (i)).
- U-시리즈 보강 기둥의 최종 파괴 시 코어 콘크리트의 파손은 C-시리즈 보강 기둥에 비해 적었음.
- V-타이가 배근된 U-시리즈 보강 기둥의 최종 파괴모드는 동일 조건의 C-시리즈 보강 기둥과 비슷한 경향을 보였음.
- 띠철근 대응으로 유리섬유 망을 외부에 감싼 실험체의 초기균열은 무보강기둥(Existing)과 비슷한 수준에서 발생하였으며, 발생위치 및 균열진전도 무보강 기둥과 유사하였음.

8) 증빙자료 pp. 91-118.

관련 출판 논문

- Axial Performance of RC Columns Strengthened with Different Jacketing Methods, Engineering Structures, 2020.
- Axial Test of full-scale columns strengthened with jacket section, Magazine of Concrete Research, 출판예정.
- Axial performance of RC columns with glass-fiber grids as peripheral hoops, Journal of Structural Integrity and Maintenance, 출판예정
- 확대단면에서의 띠철근 배근 방법에 따른 보강 기둥의 중심 축하중 거동 평가, 한국구조물진단유지관리공학회, 2018.
- 철근 선조립 공법 기반 단면확대 보강기둥의 중심 축하중 거동 평가, 한국콘크리트학회논문집, 2018.
- 확대단면에서 폐쇄형 외부 띠철근 배근 방법에 따른 보강기둥의 중심축하중 거동 평가, 대한건축학회논문집구조계, 2019.
- V-타이와 V-클립을 적용한 단면확대 보강기둥의 중심축하중 거동 평가, 한국콘크리트학회논문집, 2019.



그림 2.32 2차 중심축하중 실험 파괴모드



(m) All-fabric sheet



(n) 300-fabric 2L



(o) 150-fabric 2L



(p) Existing+fabric 2L



(q) fabric 2L($2.0A_{sh}$)



(r) U+All fabric($2.0A_{sh}$)

그림 2.32 2차 중심축하중 실험 파괴모드(계속)

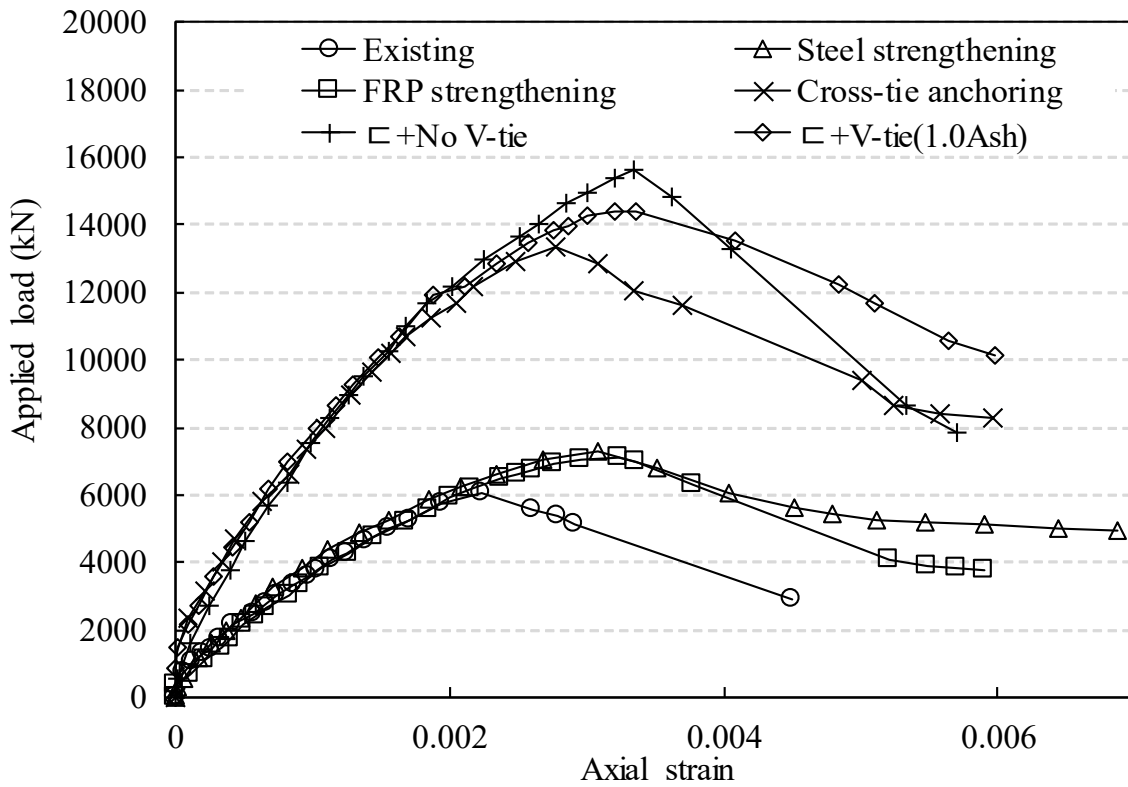
- 또한 유리섬유 망을 배근한 단면 확대보강기둥 실험체의 초기균열 및 최종 파괴모드는 철근이 배근된 단면 확대보강기둥 실험체와 유사하였음.

② 축하중-축변형률 관계

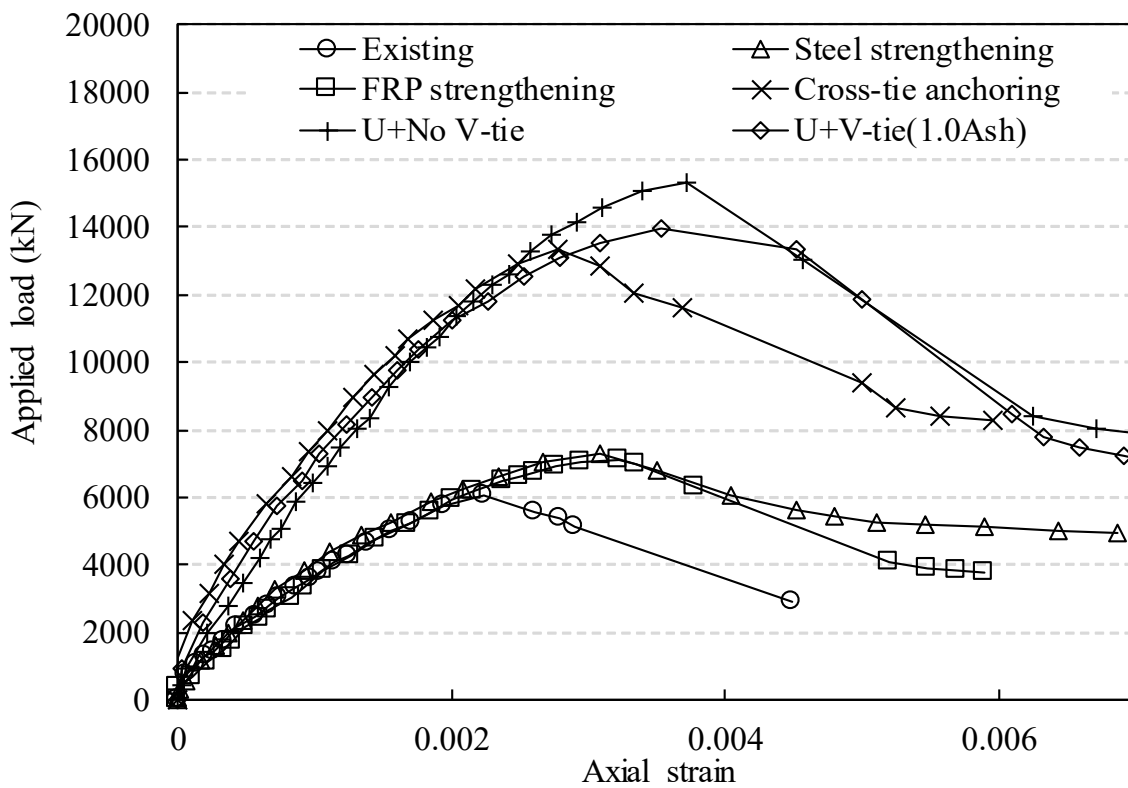
- 단면확대보강기둥의 축하중-축변형률 관계는 그림 2.33에 나타냄.
- 축변형률은 기둥 네 모서리에서 측정한 변위값들의 평균을 실험구간의 길이로 나누어 산정하였음.
- 무보강 기둥(Existing)의 초기 기울기는 초기균열 발생 시점까지 선형 증가하였으며, 초기균열 발생 이후에는 완만하게 증가하였음. 무보강 기둥은 최대내력 이후 하중의 감소는 상승부와 비슷한 기울기로 감소하였음.
- π -시리즈 보강 기둥에서 초기 강성은 무보강 기둥에 비해 크게 증가하였음. π -시리즈 보강 기둥의 기울기는 초기균열 발생 이후 점차 완만하게 증가하였으며, 이후 피복 콘크리트의 박리가 시작하면서 최대내력에 도달하였음.
- π -시리즈 보강 기둥에서 V-타이가 배근되지 않은 보강 기둥(π +No V-tie)은 최대 내력 이후 외부 띠철근의 벌어짐으로 인해 하중이 급격하게 감소하였음. 반면 V-타이가 배근된 π -시리즈 보강 기둥의 최대내력 이후 하중의 감소 기울기는 V-타이의 양이 증가할수록 완만하였음.
- U-시리즈 보강 기둥에서 초기 강성 및 초기 균열발생 이후 강성의 저하속도는 π -시리즈 보강 기둥과 비슷하였음. U-시리즈 보강 기둥의 최대내력 이후 하중 감소 기울기에 대한 V-타이의 배근양의 영향은 π -시리즈 보강 기둥에서와 비슷한 경향이었음.
- 띠철근 대응으로 유리섬유 망을 외부에 감싼 실험체의 초기기울기는 무보강기둥(Existing)과 비슷한 수준이었으나, 최대내력에 도달함과 동시에 유리섬유 망이 끊어지면서 급격하게 하중이 감소하였음.
- 단면 확대보강기둥에서 유리섬유 망으로만 배근된 실험체(fabric 2L($2.0A_{sh}$))의 초기 기울기와 최대내력 이후 하중감소는 크로스타이를 배근한 실험체와 비슷한 거동을 보였음. 그러나, 철근을 배근한 단면 확대보강기둥에서 유리섬유 망을 추가로 보강한 실험체(U+All fabric($2.0A_{sh}$))의 최대내력 이후 하중감소는 철근으로만 보강된 실험체(U+V-tie($2.0A_{sh}$))에 비해 적었음.

③ 최대 압축내력

- 최대 압축내력은 기존 기둥의 콘크리트 강도 차이로 인해 ACI 318-14에 의해 산정된 공칭내력과 실험결과에 대한 비로 분석하였음(표 2.6).
- 크로스타이로 보강한 실험체(Cross-tie anchoring)를 제외한 모든 실험체의 압축내력은 ACI 318-14(2014)에 의해 산정된 공칭내력보다 높았음.
- 철판 보강 및 FRP 보강 기둥의 압축내력은 무보강 기둥에 비해 각각 20% 및 18% 증가하였음.

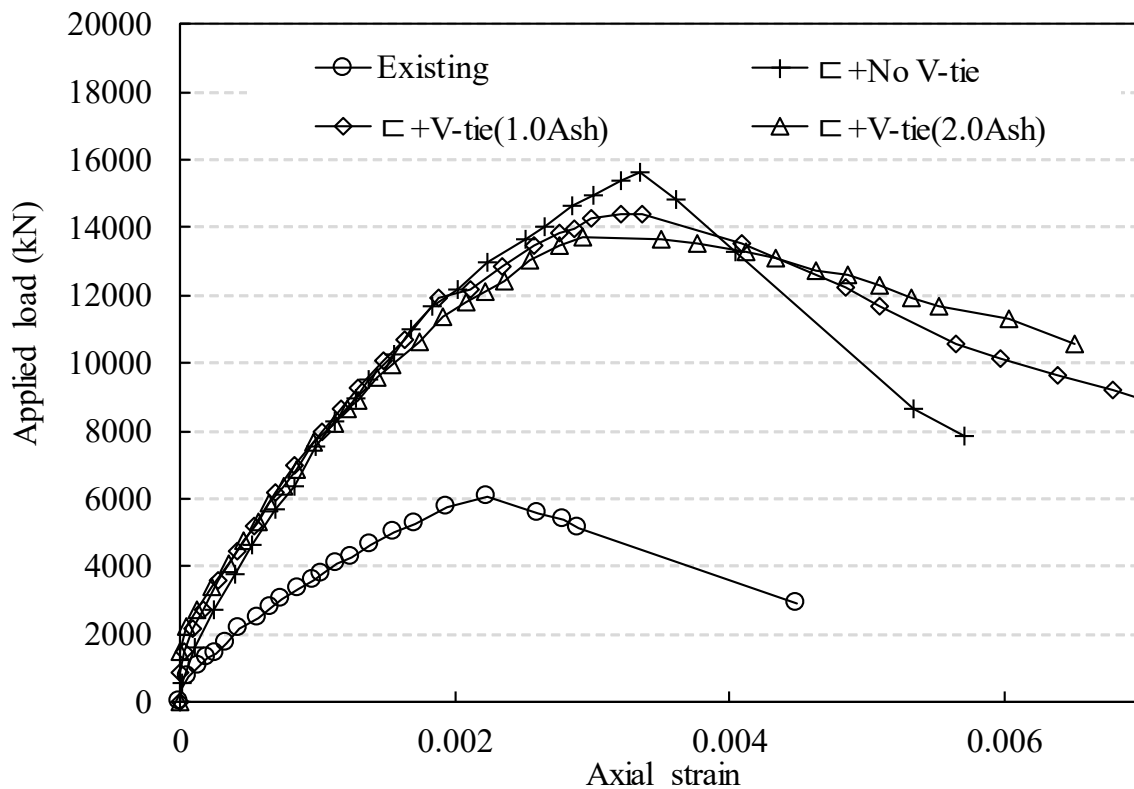


(a) 기존 공법과의 비교(C-시리즈)

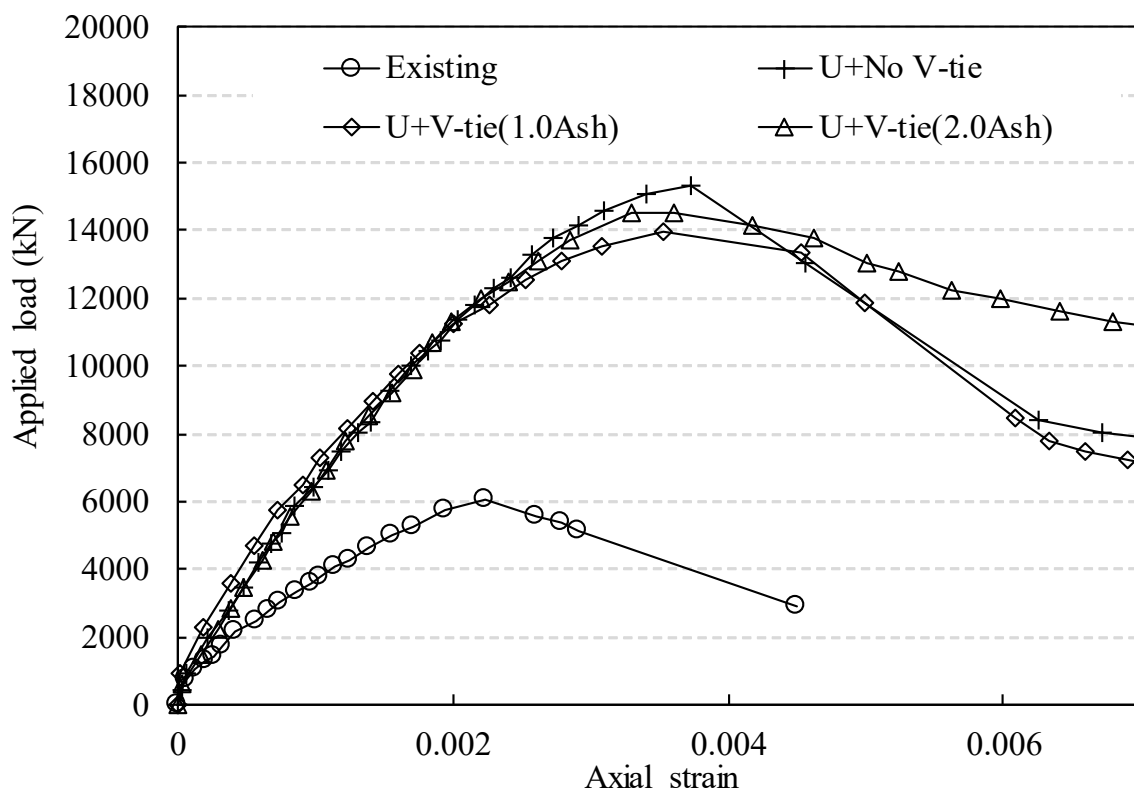


(b) 기존 공법과의 비교(U-시리즈)

그림 2.33 2차 중심축하중 축하중-변형률 관계

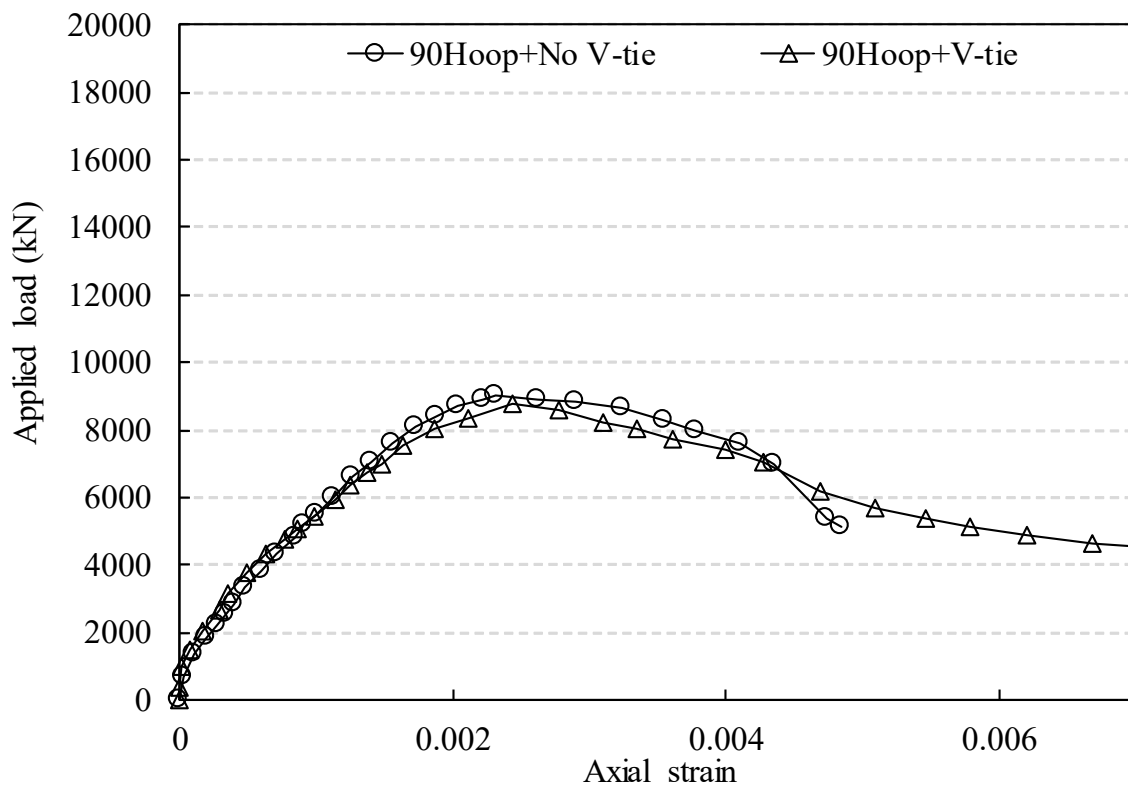


(c) 횡보강량에 따른 비교(C-시리즈)

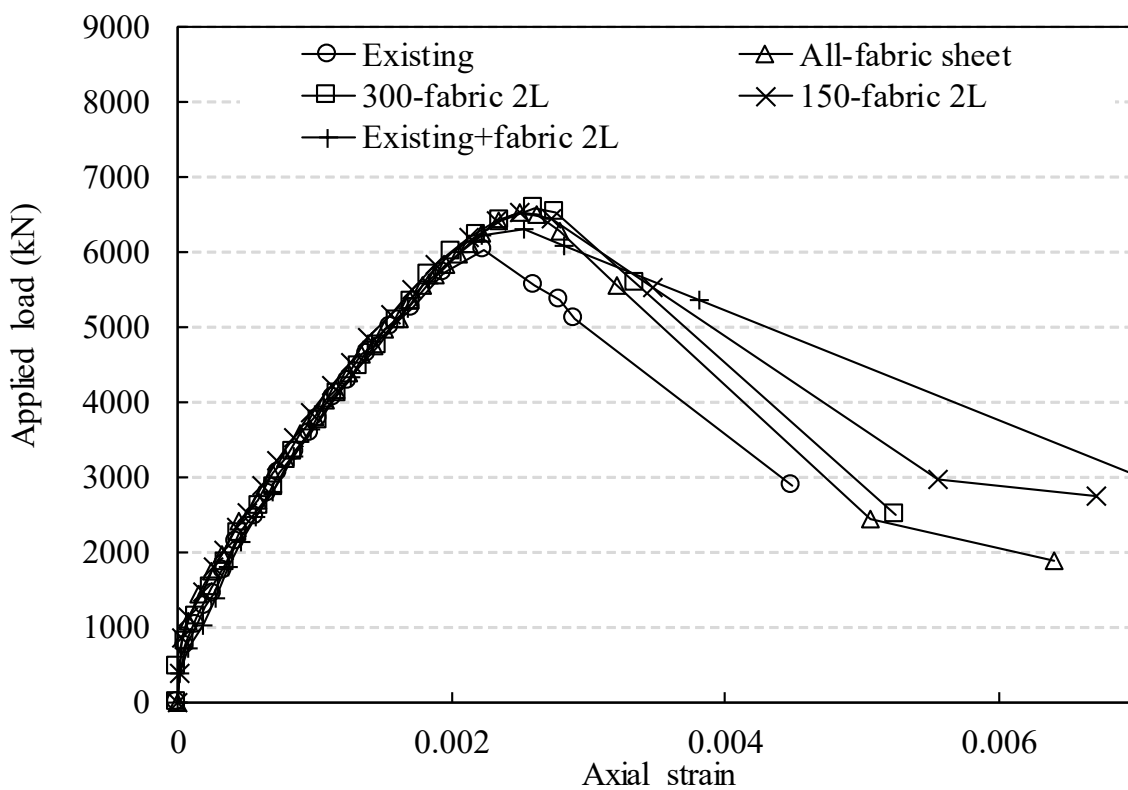


(d) 횡보강량에 따른 비교(U-시리즈)

그림 2.33 2차 중심축하중 축하중-변형률 관계(계속)



(e) V-타이의 구속효과



(f) 피철근 대용 유리섬유 망의 구속효과 비교

그림 2.33 2차 중심축하중 축하중-변형률 관계(계속)

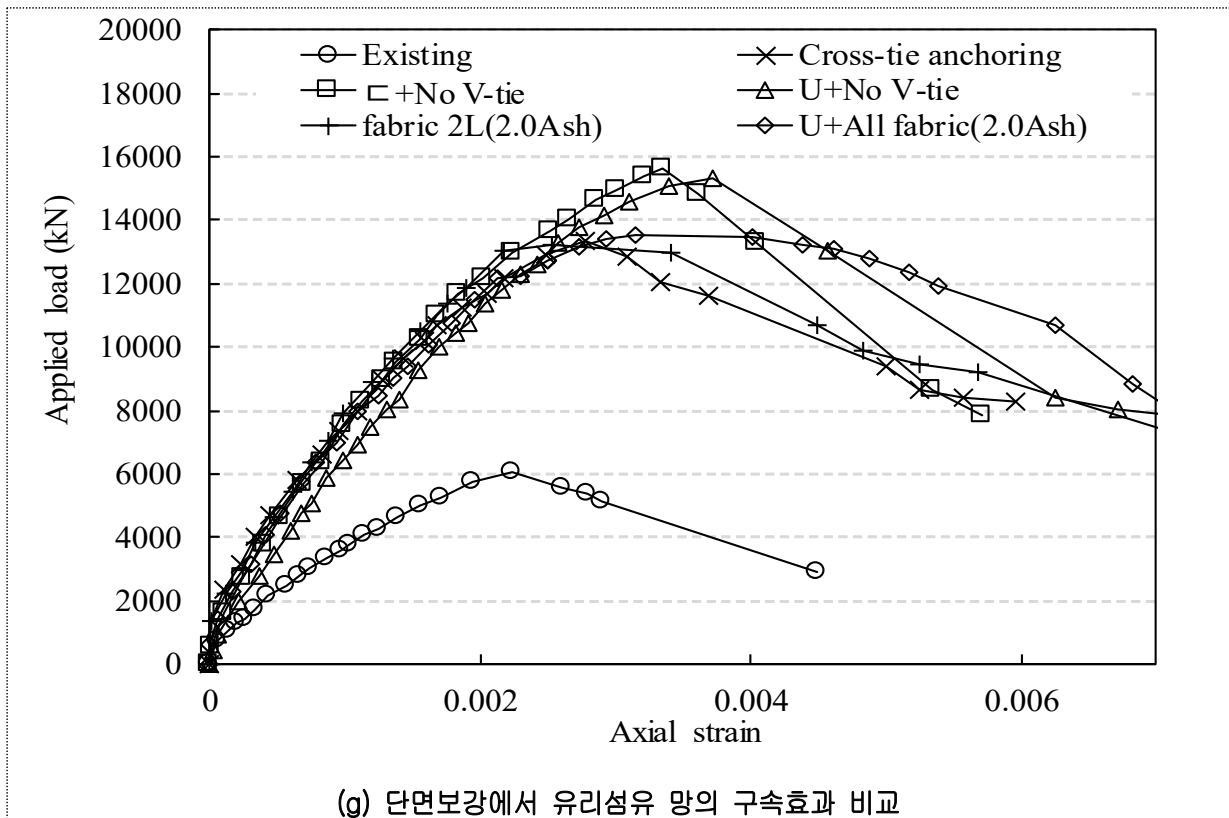


그림 2.33 2차 중심축하중 축하중-변형률 관계(계속)

표 2.6 2차 중심축하중 실험 결과

No.	Strengthening method	f_{ce} (MPa)	f_{ej} (MPa)	Test result				Predictions	
				P_n (kN)	ϵ_{cc}	ϵ_{85}	μ	ACI 318-14	
								$(P_n)_{Pre.}$ (kN)	$(P_n)_{Exp.}/(P_n)_{Pre.}$
1	Existing	33.8	-	6,034	0.002240	0.002910	0.73	5,665	1.07
2	Steel strengthening ($t = 4.5$ mm)	33.8	-	7,320	0.003083	0.003934	0.98		1.29
3	FRP strengthening (1 wrapping)	33.8	-	7,113	0.003233	0.003877	0.97		1.26
4	Cross-tie anchoring	33.8	25.9	13,317	0.002778	0.003740	0.93	13,813	0.96
5	$\sqsubset$ +NoV-tie($1.3l_d$)	37.2	32.1	15,606	0.003552	0.004050	1.01	15,281	1.02
6	$\sqsubset$ +V-tie($1.0A_{sh}, 0.25l_d$)	33.8	25.9	14,414	0.003577	0.004840	1.21	13,813	1.04
7	$\sqsubset$ +V-tie($2.0A_{sh}, 0.25l_d$)	22.7	25.9	13,696	0.002928	0.006039	1.51	12,335	1.11
8	U+No V-tie	37.2	32.1	15,303	0.003728	0.004566	1.14	15,281	1.00
9	U+V-tie($1.0A_{sh}$)	33.8	25.9	13,979	0.003536	0.004996	1.25	13,813	1.01
10	U+V-tie($2.0A_{sh}$)	22.7	25.9	14,528	0.003500	0.005980	1.50	12,335	1.18
11	90Hoop + No V-tie	22.7	-	9,004	0.002313	0.004111	1.03	6,966	1.29
12	90Hoop + V-tie	22.7	-	8,758	0.002442	0.004273	1.07		1.26
13	All-fabric sheet	33.8	25.9	6,545	0.002497	0.003216	0.80	5,665	1.16
14	300-fabric 2L	33.8	25.9	6,583	0.002607	0.003348	0.84		1.16
15	150-fabric 2L	33.8	25.9	6,526	0.002503	0.003466	0.87		1.15
16	Existing+Fabric 2L	33.8	25.9	6,318	0.002537	0.003808	0.95	5,665	1.12
17	fabric 2L($2.0A_{sh}$)	22.7	25.9	13,223	0.002530	0.004487	1.12	12,335	1.10
18	U+All fabric($2.0A_{sh}$)	22.7	25.9	13,544	0.003154	0.006252	1.56	12,335	1.07

- 크로스타이로 보강한 실험체(Cross-tie anchoring)의 압축내력은 ACI 318-14에 의해 산정된 공칭내력의 0.94배이었음.
- π -시리즈의 압축내력은 ACI 318-14 공칭내력의 1.02 ~ 1.11 배 수준이었음. 반면 U-시리즈의 압축내력은 ACI 315-14 공칭내력의 1.00 ~ 1.18수준임. π +V-tie($2.0A_{sh}$) 및 U+V-tie($2.0A_{sh}$)의 압축내력은 기존 공법(Cross-tie anchoring)에 비해 1.15배 및 1.21배 높은 수준임.
- 90° 외부 띠철근에 V-타이의 배근 유·무에 따른 최대 압축내력은 비슷한 수준이었음. 이는 90° 외부 띠철근의 풀림 현상이 없어 V-타이의 구속효과가 반영되지 않았음.
- 띠철근 대용으로 유리섬유 망을 외부에 감싼 실험체의 최대내력은 무보강기둥에 비해 약 5% 증가하였음.
- 단면 확대보강기둥에서 유리섬유 망으로만 배근된 실험체(fabric 2L($2.0A_{sh}$))와 철근을 배근한 단면 확대보강 기둥에서 유리섬유를 추가로 보강한 실험체(U+All fabric($2.0A_{sh}$))의 최대내력은 U-시리즈의 철
- 근으로만 보강된 실험체(U+V-tie($2.0A_{sh}$)))에 비해 각각 9% 및 7% 낮았음.

④ 압축 연성비

- 단면확대보강 기둥의 압축연성비(μ)는 Saatcioglu and Razvi(1992)의 제안식을 이용하여 평가하였음(표 2.6)
- 띠철근 대용으로 유리섬유 망을 외부에 감싼 실험체의 압축연성비는 무보강 기둥에 비해 최소 약 10% 이상 증가하였음.
- 단면 확대보강기둥에서 유리섬유 망으로만 배근된 실험체(fabric 2L($2.0A_{sh}$)))의 압축연성비는 U-시리즈의 철근으로만 보강된 실험체(U+V-tie($2.0A_{sh}$)))에 비해 약 25% 낮은 수준이었음. 그러나, 철근을 배근한 단면 확대보강기둥에서 유리섬유 망을 추가로 보강한 실험체(U+All fabric($2.0A_{sh}$)))의 압축연성비는 U-시리즈의 철근으로만 보강된 실험체(U+V-tie($2.0A_{sh}$)))에 비해 1.04배 높았음.

(9) V-타이 단면확대 보강 기둥의 휨 거동 성능 분석⁹⁾

(가) 휨 거동에 대한 실험결과 분석

① 파괴모드

- 모든 기둥 실험체는 3cycle 시점에서 초기 수평 휨 균열이 발생하였으며, 7 cycle시점에서 주철근이 항복하였고, 하중 이 증가이력에 따라 수평 휨 균열의 간격이 좁아지고 기둥의 높이에 따라 진전하였음.
- 또한 변위 증가에 따라 10 ~ 13 cycle 시점에서 수직 균열이 발생하였고, 13 ~ 16 cycle 시점에서 최대 내력에 도달하였음. 이후 수평균열과 수직 균열이 교차 되면서 피복 콘크리트 박리가 진행되어 내력이 점차 감소하는 경향을 보임.
- 피복 콘크리트의 박리는 19 ~ 22 cycle에서는 나타났음.
- Corss-tie anchoring 실험체는 앵커링된 크로스타이의 뿔힘 현상이 나타나 구철근의 좌굴이 심하게 나타났음.
- 주철근이 정착되지 않은 실험체의 균열은 기둥과 하부스터브에서 집중적으로 나타났으며, 콘크리트 피복 박리 높이 또한 주철근이 정착된 실험체에 비해 낮았음(그림 2.34).

② 횡하중-횡변위 관계

- 단면확대보강기둥의 축하중-축변형률 관계는 그림 2.29에 나타냄.
- 초기에 기둥의 내력이 증가하면서 강성이 일정하였으나, 변위가 증가함에 따라 콘크리트 인장측에서 균열이 발생하면서 변위가 급격하게 증가하였음.
- 균열 내력은 최대 내력의 약 33 ~ 40% 정도 수준에 있었음.
- 이후 휨에 저항하는 주철근이 항복 변형률에 도달하였는데 이때 항복 내력은 최대 내력의 약 85% 수준이었음.
- 하중의 증가속도가 줄어들면서 최대내력에 도달하였고, 이후 변위가 증가함에 따라 주철근이 좌굴하면서 하중이 급격히 떨어졌음.
- V-타이의 배근량이 높을수록 최대 내력 이후 강성 저하 및 강도 감소율이 낮았음.
- 작용 축하중비가 0.25에서 0.40 및 0.55로 증가할수록 최대 내력 이후 하강 기울기는 증가하는 경향을 보임.

③ 최대 휨 내력

- 단면 확대보강기둥의 최대 휨 내력과 ACI 318-14 기준에 의해 산정된 휨내력 및 이에 해한 비를 표 2.7에 나타냄.

9) 증빙자료 pp. 119-152.

관련 출판 논문

- Flexural Behavior of Columns Strengthened using an RC Jacket with Seismic Details, ACI Structural Journal, 출판예정.
- Seismic Behavior of RC Jacketed Columns under Different Axial Loads, Magazine of Concrete Research, 출판예정.



그림 2.34 휨 거동 실험 최종파괴 양상

- 주철근을 정착하지 않은 실험체를 제외한 모든 실험체의 휨내력은 ACI 318-14 기준에 의해 산정된 휨내력 이상이었음.
- Steel strengthening 및 FRP strengthening의 휨 내력은 철판 및 FRP의 보강효과를 고려하지 않아 ACI 318-14기준에 의해 산정된 휨 내력의 비가 각각 1.32배 및 1.16배 이었음.
- 횡보강근량 $1.0A_{sh}$, $1.05A_{sh}$ 및 $2.0A_{sh}$ 에 대한 휨 내력은 각각 371.7 kN에서 362.8kN 및 377.8 kN로, V-타이 배근량 증가에 대한 휨내력에 미치는 영향은 미미하였음.
- 작용 축하중비가 0.25에서 0.4 및 0.55로 증가하면서 휨 내력은 약 1.04배 및 1.08배 증가하였음.
- U+V-tie($2.0A_{sh}$)의 휨 내력은 기존 공법(steel strengthening, FRP strengthening 및 Non-anchorage, No V-tie)에 비해 각각 2.12배, 2.41배 및 1.48배 높았음.

④ 변위 연성비

- 일반적으로 철근 콘크리트 휨 부재의 연성은 Park and Paulay가 제시한 변위 연성비에 의해 평가됨.
- 변위 연성비는 축력하중이 작용하는 경우 최대 내력 도달이후 최대내력의 80% 시점의 변위와 주철근 항복시점의 변위의 비로 구할 수 있음.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_{80}}{\Delta_y} \quad (1)$$

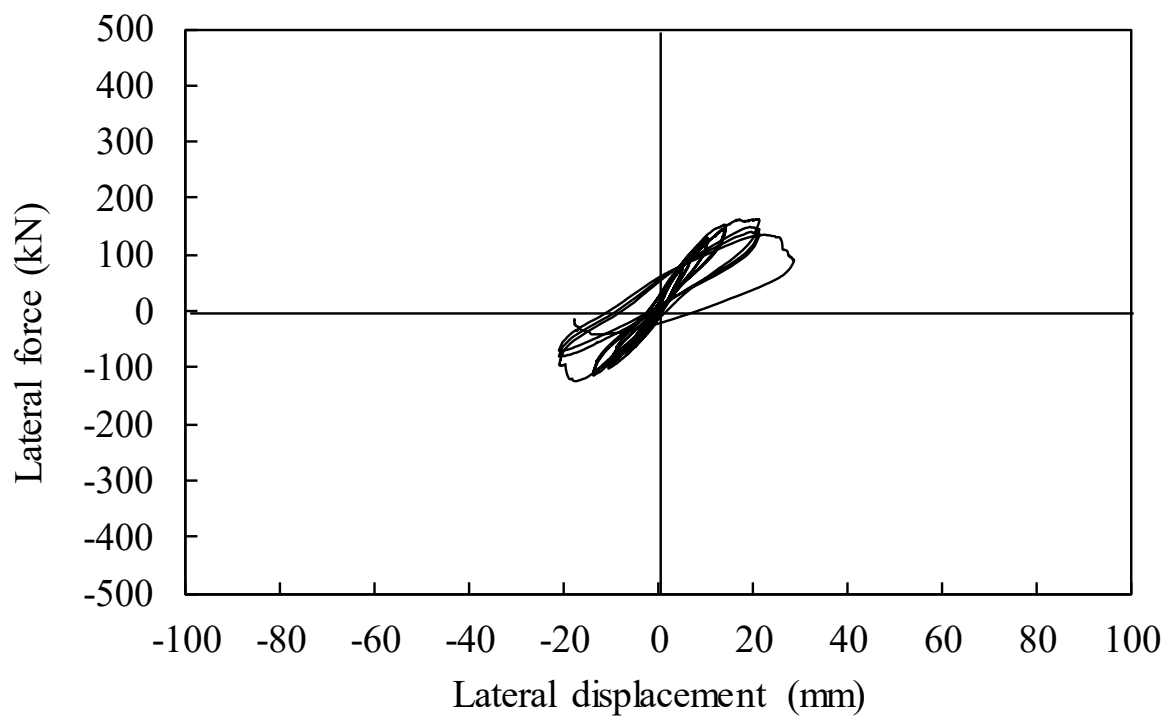
- 횡보강근비가 증가할수록 변위 연성비는 증가하는 경향을 보였으며, 작용 축하중비가 커질수록 최대 내력 도달 이후 급격한 내력감소가 발생하여 변위연성비는 감소하는 경향을 보임(표 2.7).
- steel strengthening, FRP strengthening 및 주철근이 정착되지 않은 실험체의 항복변위는 횡하중-횡변위 관계에서 초기 상승부에서 기울기가 급격하게 변하는 지점에서 산정하였음.
- Existing 실험체는 내진설계가 반영되지 않은 실험체로 변위 연성비가 2.07로 매우 취약적임.
- U+V-tie($1.0A_{sh}$)의 변위 연성비는 동일한 횡보강근비를 가진 실험체(Cross-tie anchoring, τ +No V-tie 및 U+No V-tie) 실험체에 비해 각각 약 12%, 12% 및 6% 높았음.
- U+V-tie($2.0A_{sh}$)의 변위 연성비는 기존 공법(steel strengthening, FRP strengthening, Cross-tie anchoring 및 Non-anchoring No V-tie)에 비해 각각 1.19배, 1.53배, 1.71 배 및 1.56배 높았음.
- 축력비가 0.25인 실험체의 변위연성비는 4.43으로 축력비가 0.4 및 0.55로 증가할수록 약 24% 및 39% 감소하였음.
-

⑤ 일손상지수(W_{80})

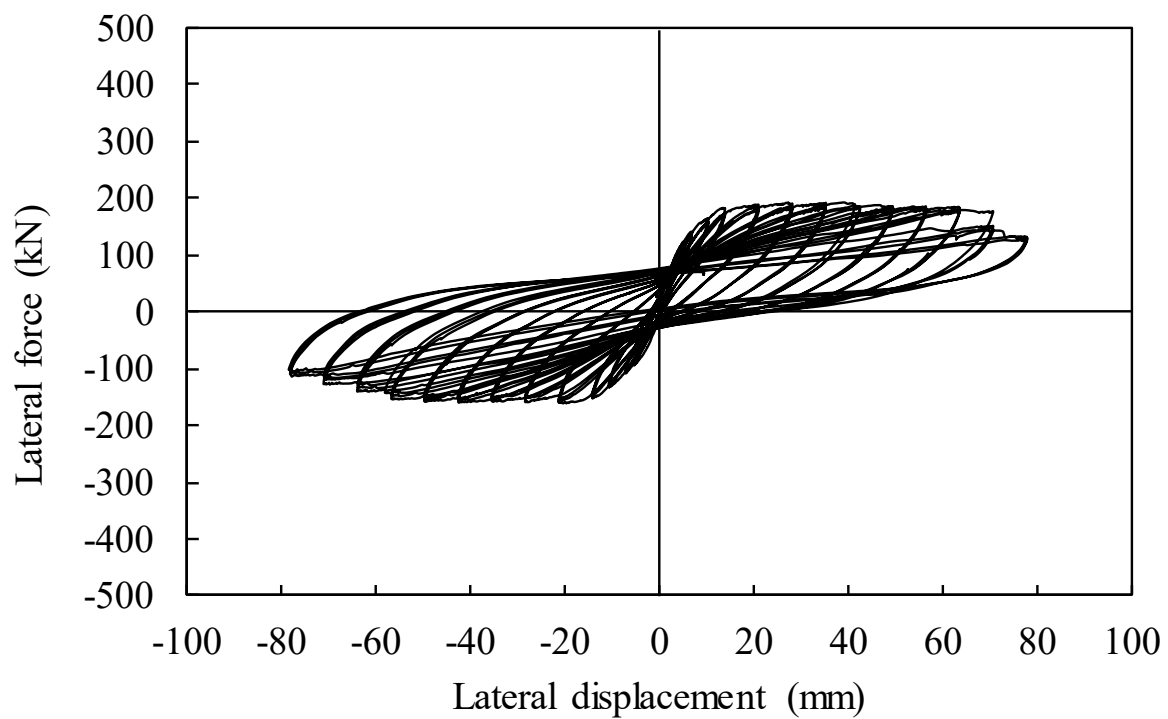
- 반복하중이 작용하는 부재의 연성은 Sheikh and Khoury가 제시한 부재연성비에 의해 평가할수있음.

$$W_c = \frac{1}{V_n \Delta_y} \sum_{i=1}^{n_c} (w_m) \left(\frac{K_m}{K_y} \right) \left(\frac{\Delta_m}{\Delta_y} \right)^2 \quad (1)$$

$$K_m = \frac{K_m^+ + K_m^-}{2} \quad (2)$$

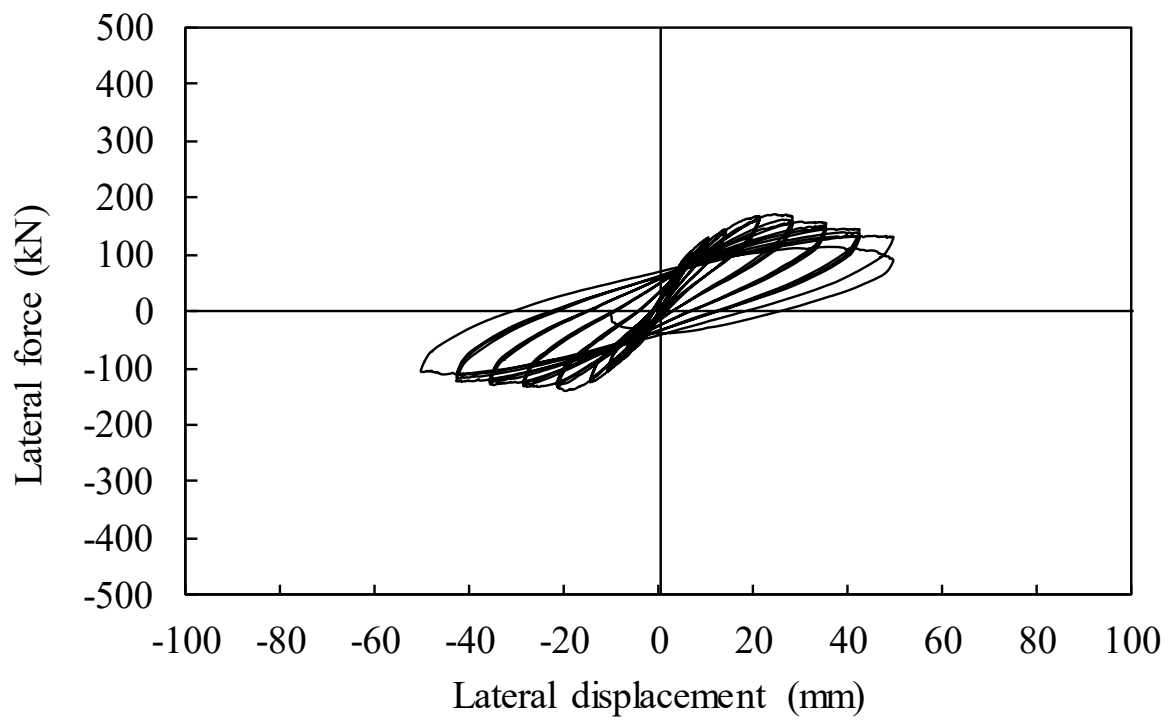


(a) Existing

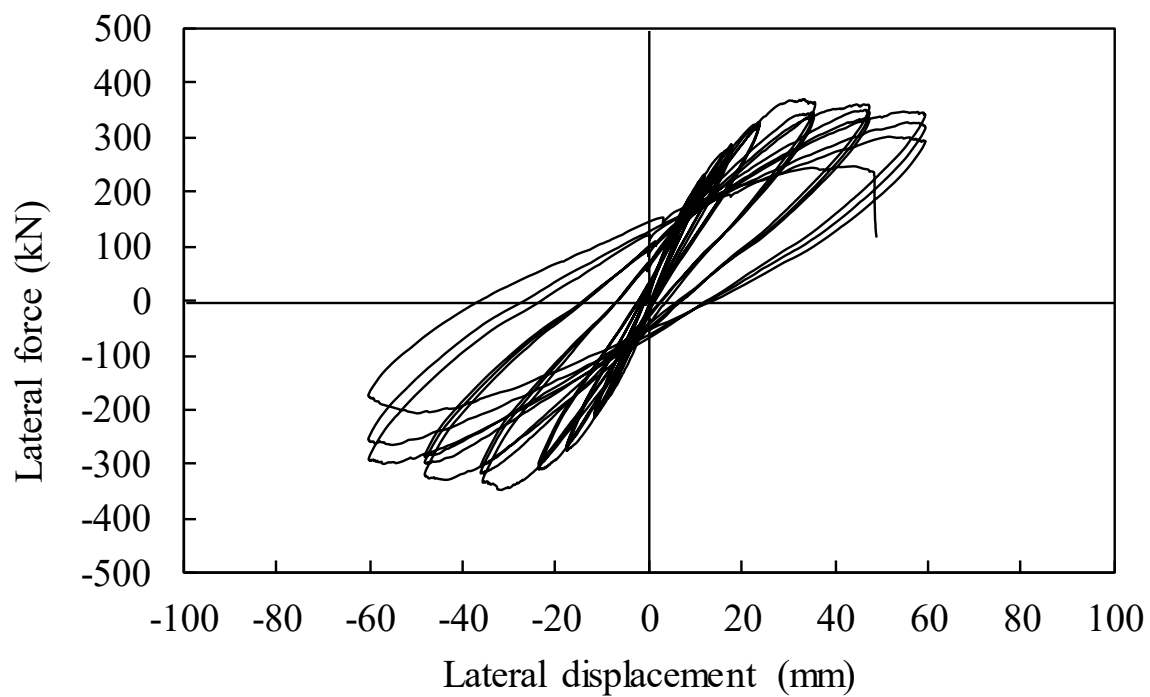


(b) Steel strengthening

그림 2.35 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계

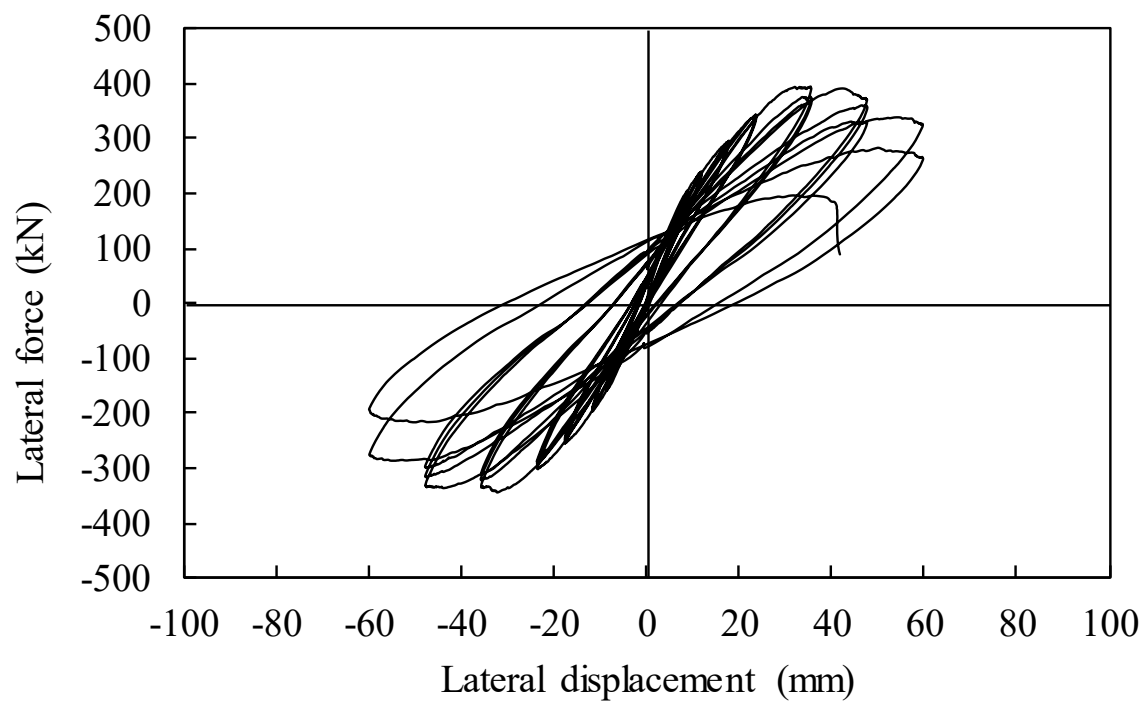


(c) FRP strengthening

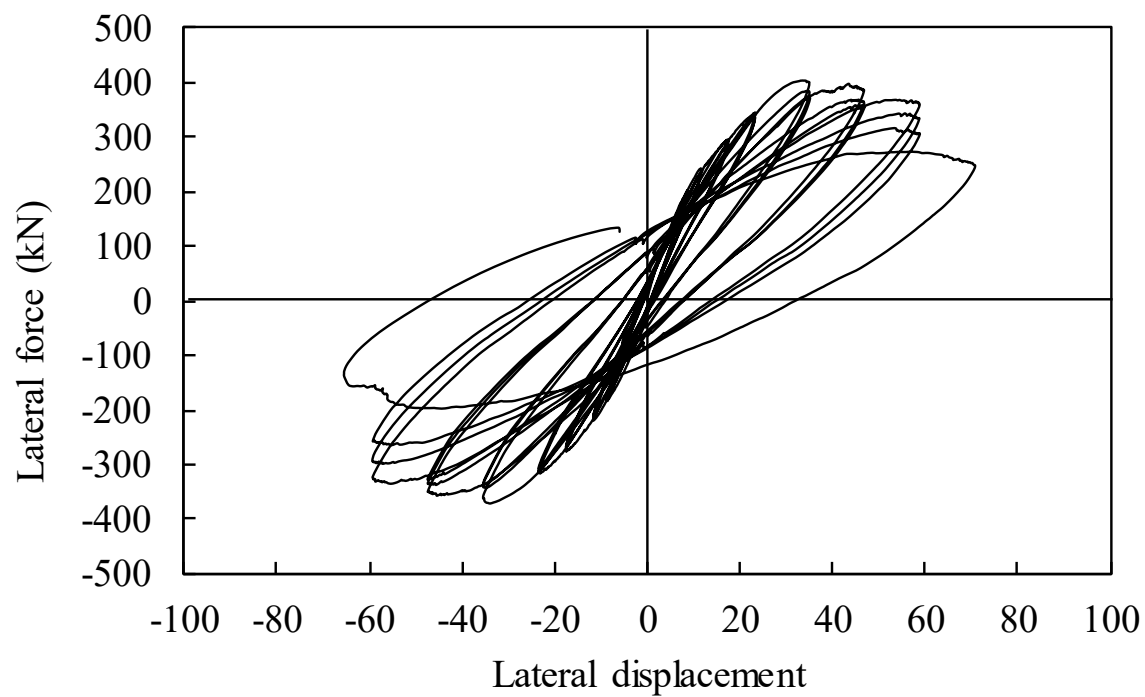


(d) Cross-tie anchoring

그림 2.35 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)

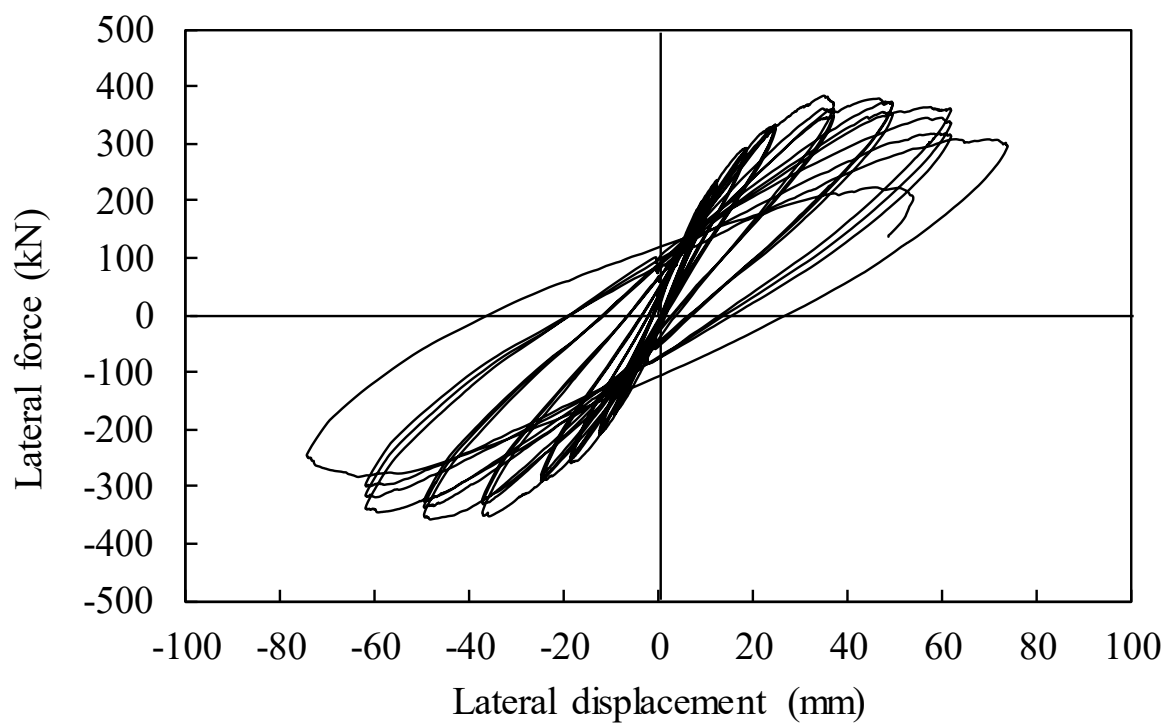


(e) □+No V-tie

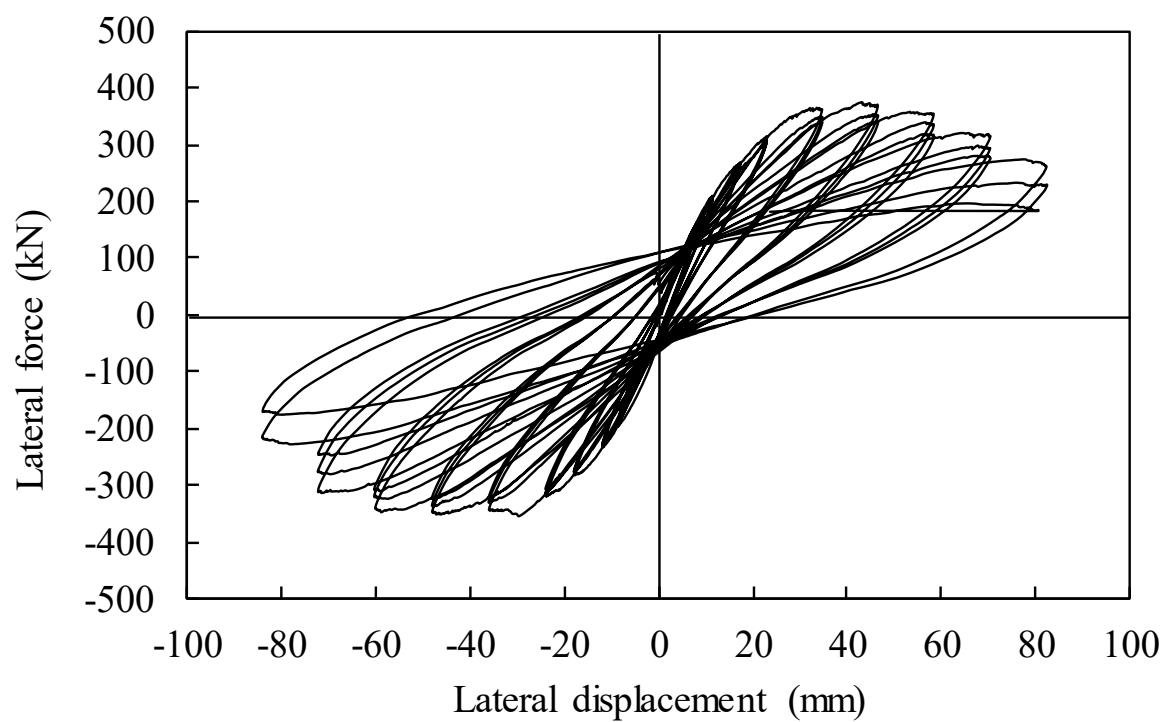


(f) U+No V-tie

그림 2.35 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)



(g) U+V-tie(1.0 A_{sh})



(h) U+V-tie(1.5 A_{sh})

그림 2.35 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)

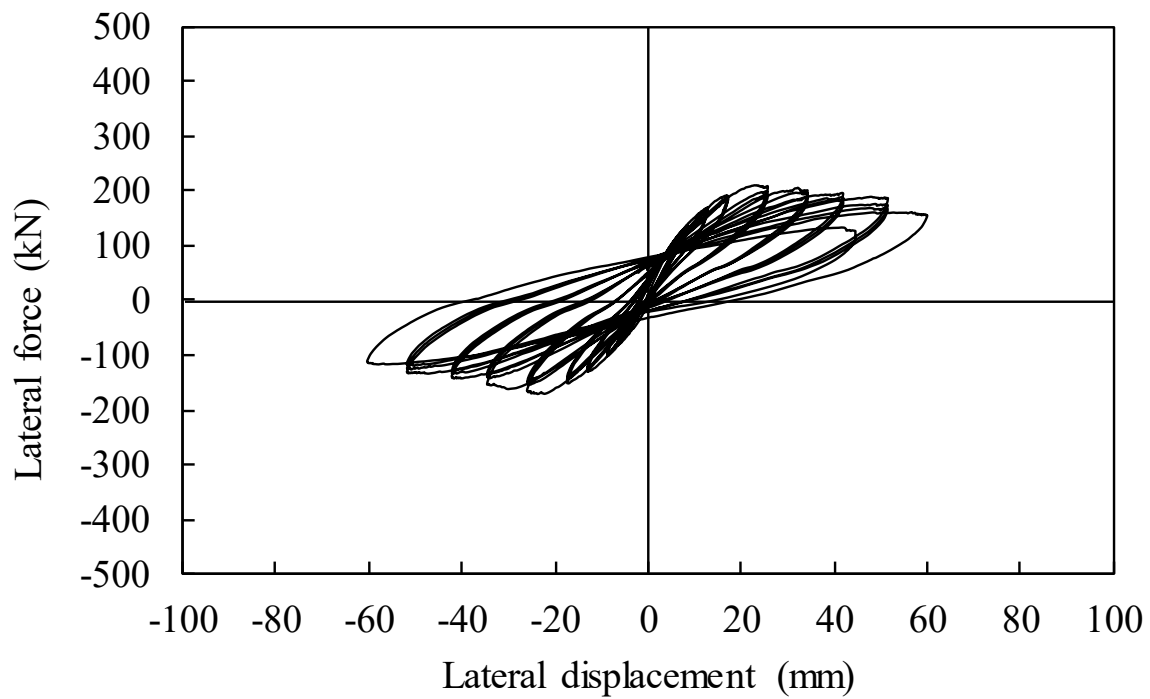
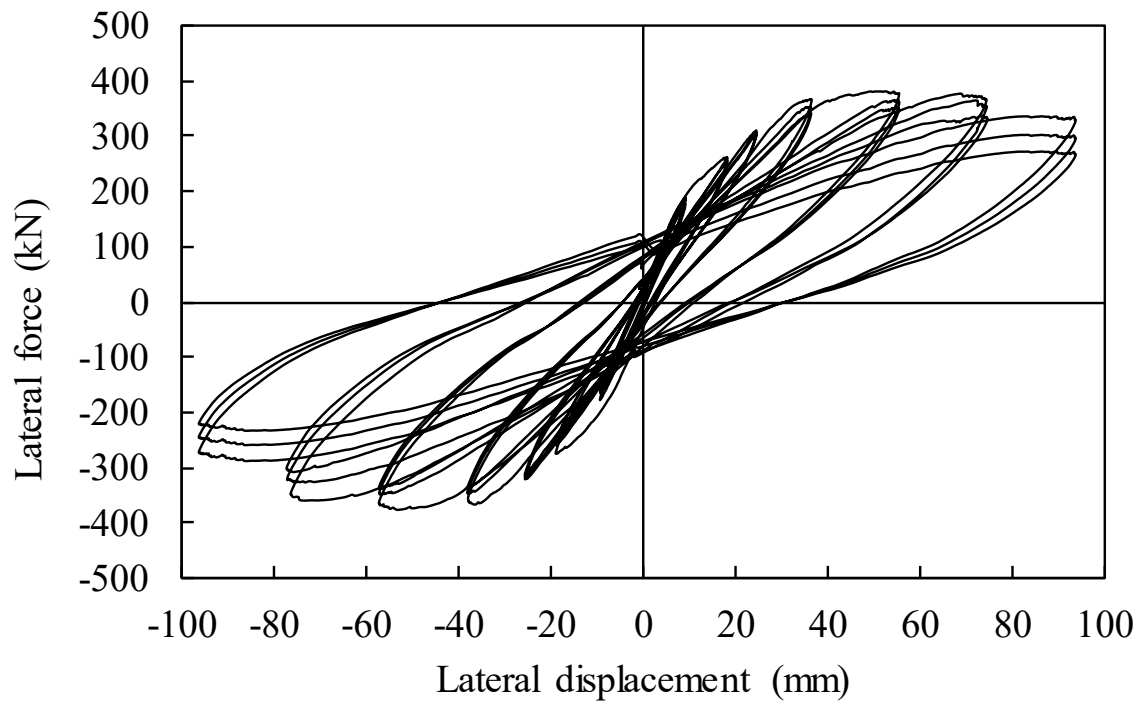
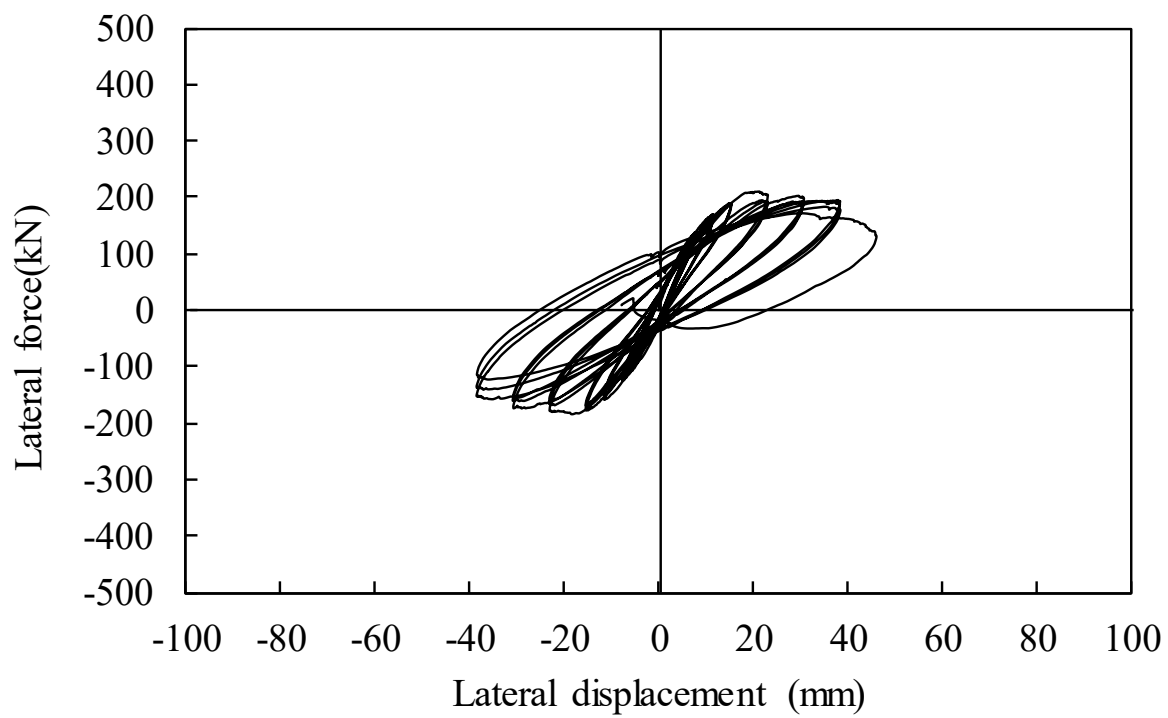
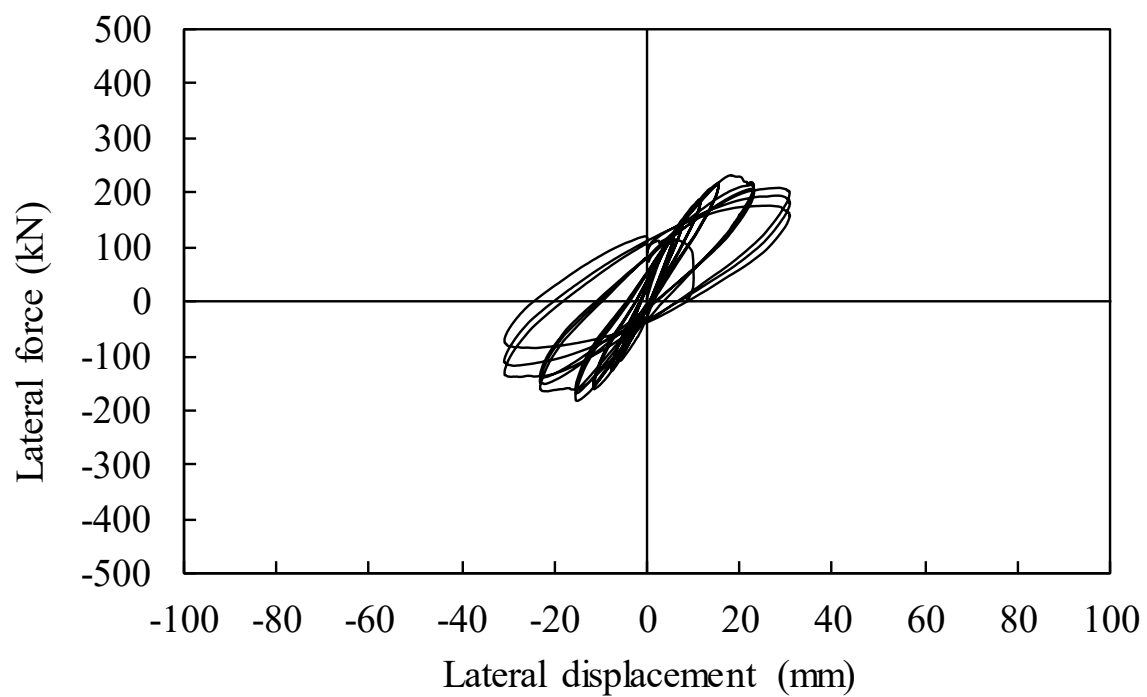


그림 2.35 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)



(k) 축력비 $0.4(1.5A_{sh})$



(l) 축력비 $0.55(1.5A_{sh})$

그림 2.35 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)

표 2.7 휨 거동 실험 결과

실험체명	f_{ce} (MPa)	f_{cj} (MPa)	실험값											예측값	
			V_{cr} (kN)		V_y (kN)		$(V_n)_{Exp}$ (kN)			Δ_y (mm)	Δ_{80} (mm)	μ_Δ	W_{80}	$(V_n)_{ACI}$ (kN)	$(V_n)_{Exp} / (V_n)_{ACI}$
			정방향	부방향	정방향	부방향	정방향	부방향	평균						
1. Existing	36.6	-	52.8	41.2	129.1	102.1	162.2	124.6	143.4	10.24	21.16	2.07	12.0	135	1.06
2. Steel strengthening	36.6	-	70.8	54.0	165.9	134.7	193.7	162.8	178.2	14.49	63.88	4.41	123.9	135	1.32
3. FRP strengthening	34.3	-	58.2	56.6	144.9	135.8	172.1	141.8	157.0	14.56	49.68	3.41	70.5	135	1.16
4. Cross-tie anchoring	35.2	25.9	132.3	130.2	283.0	276.5	372.4	349.1	360.8	18.08	55.23	3.05	46.6	351	1.03
5. π +No V-tie	35.2	25.9	140.4	120.1	296.7	256.4	395.5	345.6	370.6	17.72	54.07	3.05	45.7	351.5	1.05
6. U+No V-tie	34.3	25.9	136.2	124.4	295.2	274.5	403.4	369.8	386.6	17.21	55.79	3.24	56.5	350.5	1.10
7. U+V-tie($1.0A_{sh}$)	34.3	25.9	146.6	135.7	292.8	260.3	384.5	359.0	371.7	17.96	61.53	3.43	58.6	345.5	1.08
8. U+V-tie($1.5A_{sh}$)	34.3	25.9	124.6	120.4	267.8	281.0	373.0	352.5	362.8	18.13	71.38	3.94	92.3	345.5	1.05
9. U+V-tie($2.0A_{sh}$)	34.3	25.9	123.9	126.5	270.1	288.5	379.9	375.6	377.8	18.15	94.86	5.23	164.8	345.5	1.09
10. $\text{축력비} 0.25$ ($1.5A_{sh}$)	35.2	25.9	72.5	62.3	170.2	130.7	211.0	171.5	191.2	11.62	51.42	4.43	86.6	190.3	1.00
11. $\text{축력비} 0.40$ ($1.5A_{sh}$)	31.6	25.9	71.9	62.9	170.8	159.2	211.2	185.4	198.3	11.32	37.91	3.35	69.9	188.9	1.05
12. $\text{축력비} 0.55$ ($1.5A_{sh}$)	36.6	25.9	80.8	70.2	188.2	159.0	233.8	180.5	207.1	11.34	30.68	2.71	36.8	181.3	1.14

$$\Delta_m = \frac{\Delta_m^+ + \Delta_m^-}{2} \quad (3)$$

- 여기서, V_n 은 실험체의 최대 하중을, n_c 는 실험된 총 cycle의 개수를, w_n 은 m 번째 cycle에서 에너지양을, K_m 은 m 번째 cycle에서의 평균강성을, K_m^+ 과 K_m^- 은 각각 m 번째 cycle에서의 정 및 부방향의 강성을, Δ_m 은 m 번째 cycle의 평균 최대 횡변위를, Δ_m^+ 과 Δ_m^- 은 각각 m 번째 cycle에서의 정 및 부방향의 최대 변위를 나타냄.
- 일손상지수는 변위 연성비와는 다르게 에너지 흡수 능력 및 강성을 고려하여, 횡하중-횡변위 곡선을 한 cycle씩 분리하여 각각의 면적을 누적한 결과로부터 총 에너지 흡수능력을 정량적으로 평가할 수 있음.
- 일반적으로 12 cycle까지의 하중단계별 일손상지수는 거의 일정하였으나, 최대내력 및 최대내력 도달이후 급격하게 증가하는 경향을 보임(표 2.7).
- 축력비가 0.25인 실험체의 일손상지수는 86.6으로 축력비가 0.4 및 0.55로 증가할수록 약 19% 및 58% 감소하였음.
- 횡보강근비가 $1.0A_{sh}$ 에서 $1.5A_{sh}$ 및 $2.0A_{sh}$ 로 증가함에 따라 일손상지수는 1.6배 및 2.8배 증가하였음.
- U+V-tie($2.0A_{sh}$)의 일손상지수는 기존 공법(Steel strengthening, FRP strengthening, Cross-tie anchoring 및 Non-anchorage, No V-tie)에 비해 각각 1.33배, 2.34배, 3.54배 및 4.20배 높았음.

(가) 중심축하중 실험결과 분석

① 균열 및 파괴모드

- 단면유지보강 기둥($1.5A_{sh}$) 실험체는 가력 기기의 오작동으로 인해 실험결과를 얻지 못하였음.
- 무보강 기존 기둥(Non-Seismic)의 초기 균열은 기둥면에서 최대내력의 약 75% 수준에서 발생하였음. 이후 균열진전은 기둥의 축방향으로 나아갔으며, 피복 콘크리트의 박리는 초기 균열 발생 이후 최대 내력까지 천천히 진행되었음. 최대 내력 이후 무보강 기존 기둥(No.1)은 주철근의 좌굴이 나타나면서 하중이 감소하였으며 최종파괴 모드에서 외부띠철근의 벌어짐은 나타나지 않았음(그림 2.36(a)).
- 단면유지 보강 기둥의 균열 진전은 무보강 기존 기둥과 유사하였으며, 최종 파괴 모드도 무보강 기존 기둥과 유사하게 횡보강근의 벌어짐 없이 주철근의 좌굴로 인해 최종파괴 되었음.
- V-타이가 배근된 단면유지 보강 기둥의 최종 파괴모드는 V-타이의 구속효과로 인해 V-타이의 배근량이 증가할수록 코어 콘크리트의 파손이 적었으며, 주철근의 좌굴길이도 짧았음.

② 축하중-축변형률 관계

- 기존 기둥 및 단면유지 보강 기둥의 축하중-축변형률 관계는 그림 2.37에 나타냄.
- 축변형률은 기둥 네 모서리에서 측정한 변위값들의 평균을 실험구간의 길이로 나누어 산정하였음.
- 무보강 기둥(Existing)의 초기 기울기는 초기균열 발생 시점까지 선형 증가하였으며, 초기균열 발생 이후에는 완만하게 증가하였음. 무보강 기둥의 최대내력 이후 하중은 급격한 기울기로 감소하였음.
- 단면유지 보강 기둥에서 초기 강성은 무보강 기둥과 유사한 수준이었음. 최대 내력 이후 보강 기둥의 기울기는 무보강 기존 기둥에 비해 완만하게 감소하였으며, 감소 기울기는 V-타이의 양이 증가할수록 완만하였음.

③ 최대 압축내력(표 2.8)

- 기존 기둥 및 단면유지 보강 기둥의 압축내력은 ACI 318-14(2014)에 의해 산정된 공칭내력보다 높았음.
- 단면유지 보강 기둥의 압축내력은 무보강 기둥과 비슷한 수준이었음.
- M2.0 기둥의 압축내력은 M1.0 기둥과 비슷한 수준이었음.

④ 압축 연성비

- 단면확대보강 기둥의 압축연성비(μ)는 Saatcioglu and Razvi(1992)의 제안식을 이용하여 평가하였음(표 2.6)

10) 증빙자료 pp. 183-190.



(a) Existing_1



(b) Existing_2



(c) Section maintain strengthening
($1.0 A_{sh}$)



(d) Section maintain strengthening
($2.0 A_{sh}$)

그림 2.36 단면유지 보강 기둥의 중심축하중 실험 최종파괴 양상

- 무보강 기존 기둥의 압축연성비는 각각 0.67 및 0.78 수준이었음.
- 단면유지 보강 기둥(No.3 및 No.4)의 압축연성비는 1.18 및 1.98으로 무보강 기둥(No.1)에 비해 약 118% 및 254% 높았음.
- 단면유지 보강 기둥(Section Maintain_2.0A_{sh})의 압축연성비는 Section Maintain_1.0A_{sh}에 비해 168% 높았음.

(라) 결론

- 단면 유지 보강 기둥의 균열 진전 및 최종 파괴 모드는 무보강 기존 기둥과 유사하였음.
- 단면유지 보강 기둥의 압축내력은 무보강 기존 기둥과 유사한 수준이었으며, ACI 318-14(2014)에 의해 산정된 공칭내력보다 높았음.
- 단면유지 보강 기둥(No.3 및 No.4)의 압축연성비는 1.18 및 1.98으로 무보강 기둥(No.1)에 비해 약 118% 및 254% 높았음.
- 단면유지 보강 기둥(Section Maintain_2.0A_{sh})의 압축연성비는 Section Maintain_1.0A_{sh}에 비해 168% 높았음.

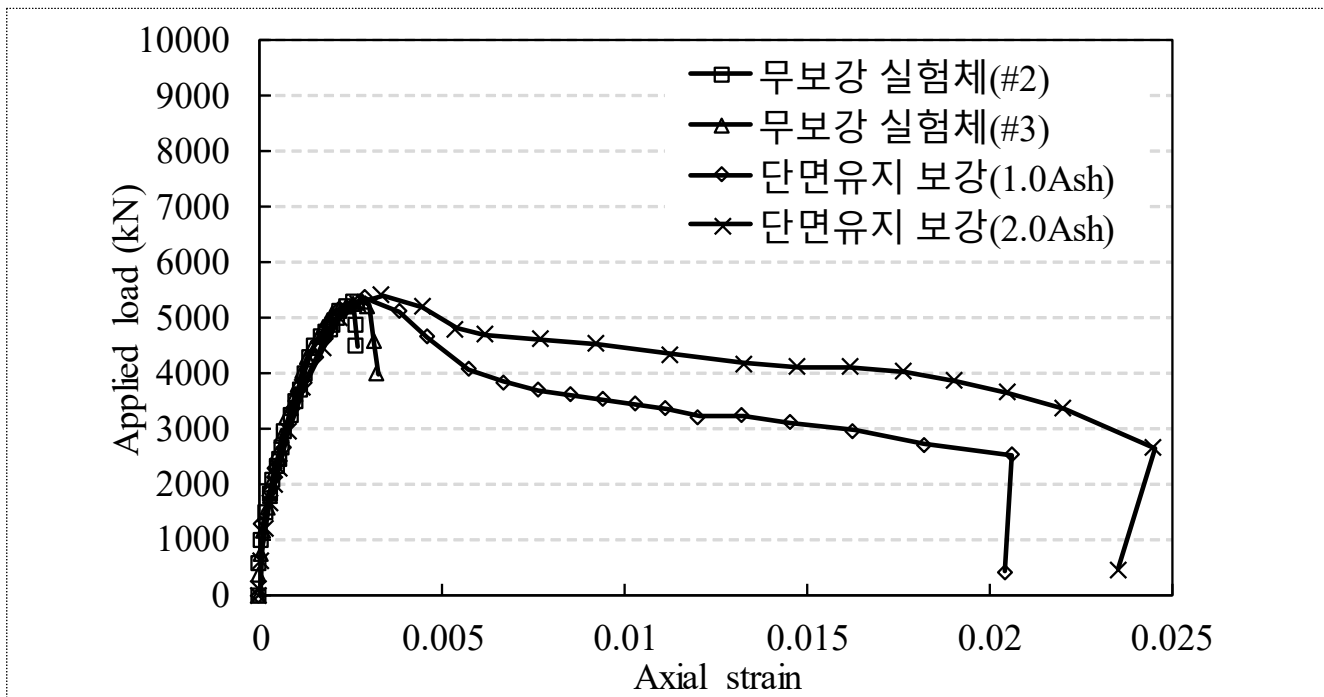


그림 2.37 단면유지보강기둥 중심축하중 축하중-변형률 관계

표 2.8 단면유지 보강 기둥의 중심축하중 실험 결과

No.	Strengthening method	f_{ck} (MPa)	Test result				Predictions ACI 318-14	
			P_n (kN)	ϵ_{cc}	ϵ_{85}	μ	$(P_n)_{Pre.}$ (kN)	$(P_n)_{Exp.} / (P_n)_{Pre.}$
1	Existing_1	19.3	5229	0.0026	0.0027	0.67	5,296	1.00
2	Existing_2		5298	0.0023	0.0031	0.78		1.00
3	Section maintain strengthening(1.0A _{sh})	19.5	5372	0.0029	0.0047	1.18	5336	1.01
4	Section maintain strengthening(2.0A _{sh})		5406	0.0032	0.0079	1.98		1.01

(가) 휨 거동에 대한 실험결과 분석**① 파괴모드**

- Section maintain strengthening($1.0A_{sh}$)_0.25 기둥은 가력 기기 오작동으로 인해 실험결과를 얻지 못하였다.
- 모든 기둥 실험체는 3cycle 시점에서 초기 수평 휨 균열이 발생하였으며, 7 cycle시점에서 주철근이 항복하였고, 하중이 증가이력에 따라 수평 휨 균열의 간격이 좁아지고 기둥의 높이에 따라 진전하였음.
- 또한 변위 증가에 따라 10 ~ 13 cycle 시점에서 수직 균열이 발생하였고, 13 ~ 16 cycle 시점에서 최대 내력에 도달하였음. 이후 수평균열과 수직 균열이 교차 되면서 피복 콘크리트 박리가 진행되어 내력이 점차 감소하는 경향을 보임.
- 피복 콘크리트의 박리는 19 ~ 22 cycle에서는 나타났음.

② 횡하중-횡변위 관계

- 단면 확대보강 기둥의 축하중-축변형률 관계는 그림 2.39에 나타냄.
- 초기에 기둥의 내력이 증가하면서 강성이 일정하였으나, 변위가 증가함에 따라 콘크리트 인장측에서 균열이 발생하면서 변위가 급격하게 증가하였음.
- 균열 내력은 최대 내력의 약 31 ~ 35% 정도 수준에 있었음.
- 이후 휨에 저항하는 주철근이 항복 변형률에 도달하였는데 이때 항복 내력은 최대 내력의 약 77 ~ 87% 수준이었음.
- 하중의 증가속도가 줄어들면서 최대내력에 도달하였고, 이후 변위가 증가함에 따라 주철근이 좌굴하면서 하중이 급격히 떨어졌음.
- V-타이의 배근량이 높을수록 최대 내력 이후 강성 저하 및 강도 감소율이 낮았음.
- 작용 축하중비가 0.25에서 0.40 및 0.55로 증가할수록 최대 내력 이후 하강 기울기는 증가하는 경향을 보임.

③ 최대 휨 내력

- 단면유지 보강 기둥의 최대 휨 내력과 ACI 318-14 기준에 의해 산정된 휨내력 및 이에 해한 비를 표 2.9에 나타냄.
- 모든 기둥의 휨 내력은 ACI 318-14 기준에 의해 산정된 휨 내력 이상이었음.
- 무보강 기존 기둥의 휨 내력은 ACI 318-14 기준 대비 1.05배 ~ 1.14배 수준에 있었으며, 단면유지 보강 기둥의 최대 휨 내력은 ACI 318-14 기준 대비 1.08배 ~ 1.19배 수준에 있었음.
- 횡보강근양 $1.5A_{sh}$ 및 $2.0A_{sh}$ 으로 배근된 단면유지보강기둥의 휨 내력은 각각 165.6 kN 및 170.4 kN으로, V-타이 배근양 증가에 대한 휨내력에 미치는 영향은 미미하였음.
- 단면유지보강 기둥의 휨 내력은 동일조건인 무보강 기둥에 비해 1.03~1.07배 높았음.

11) 증빙자료 pp. 191-204.

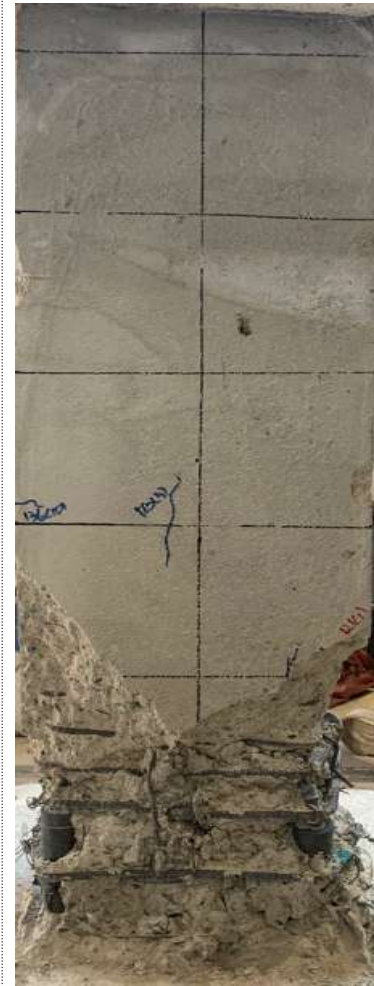
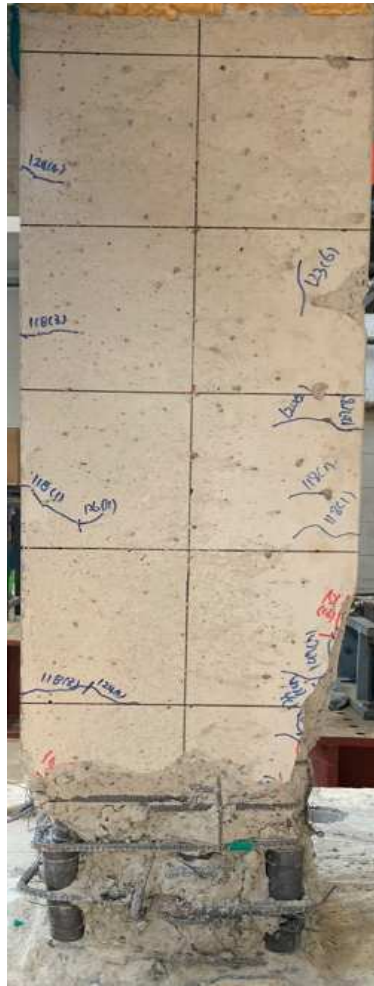
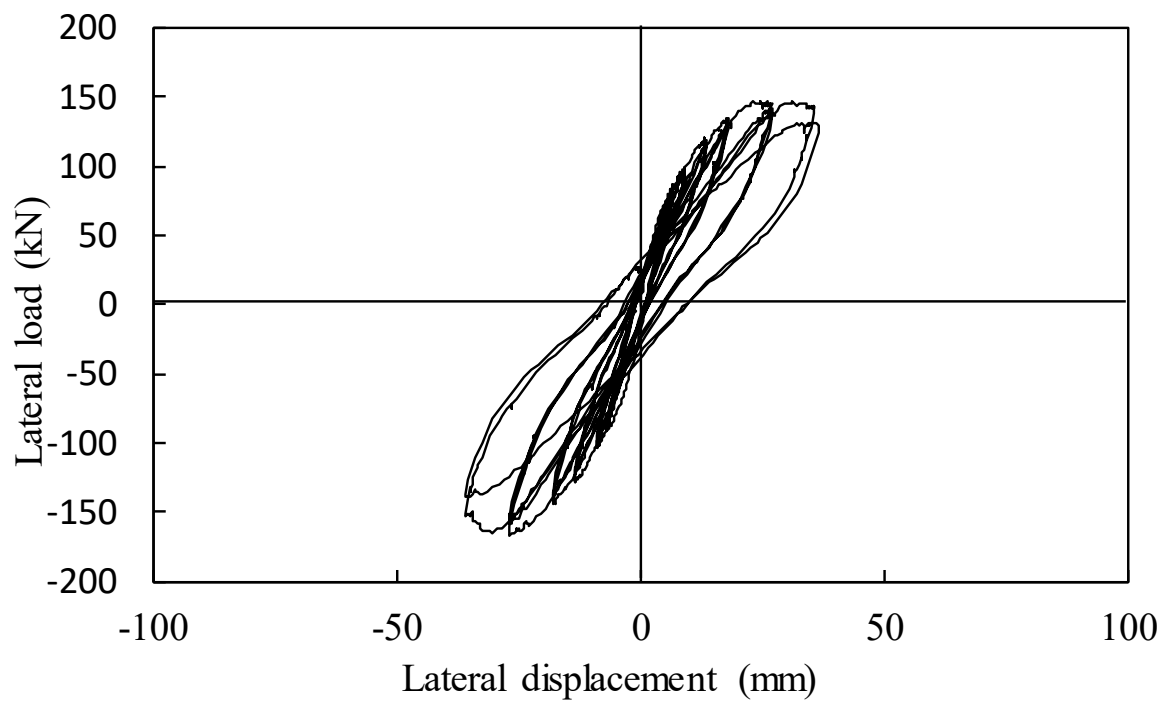
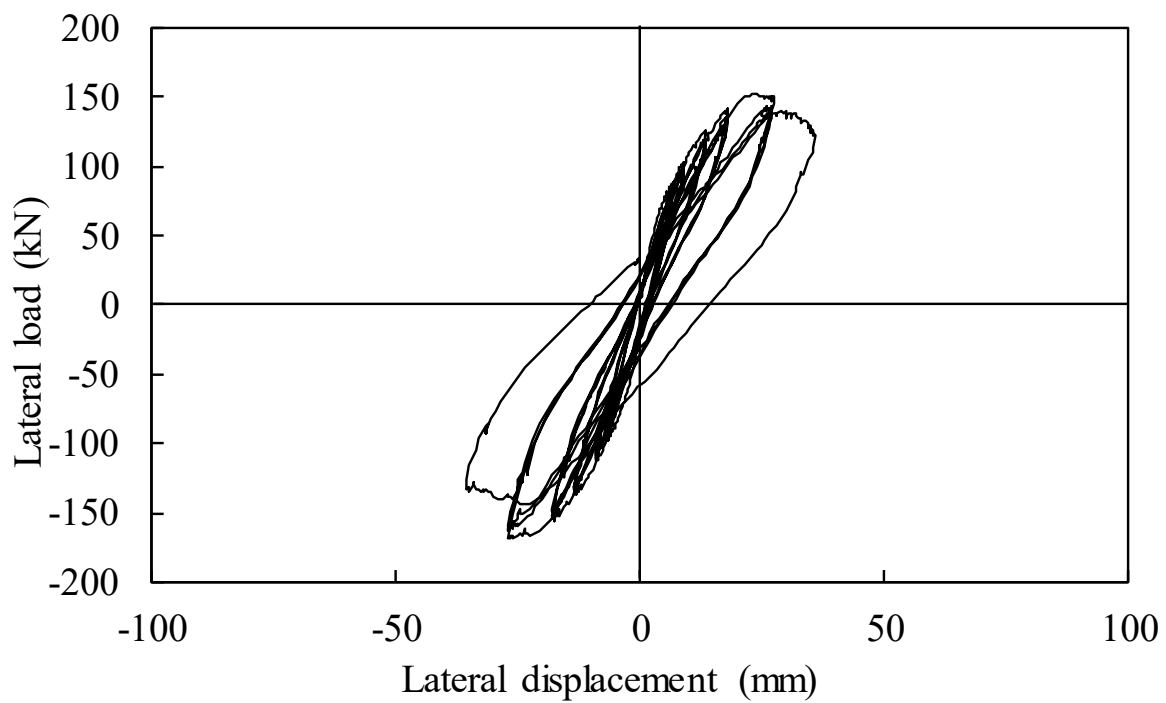


그림 2.38 단면유지 보강 기둥의 휨 거동 실험 최종파괴 양상

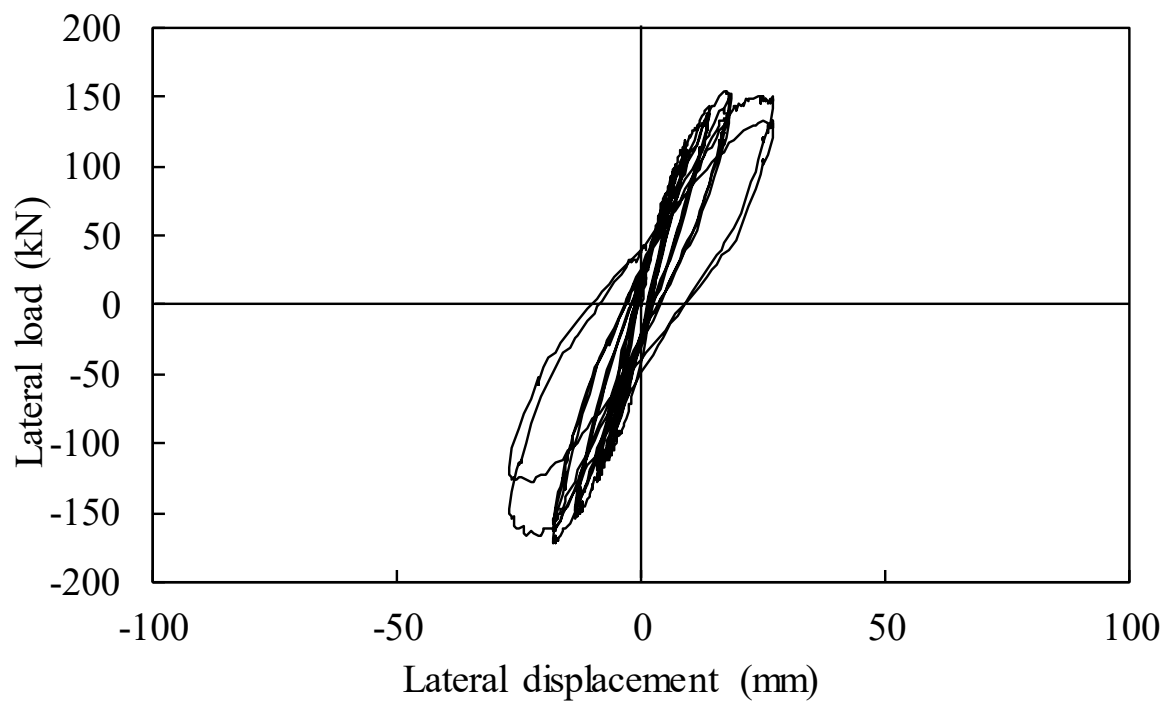


(a) Existing_0.25

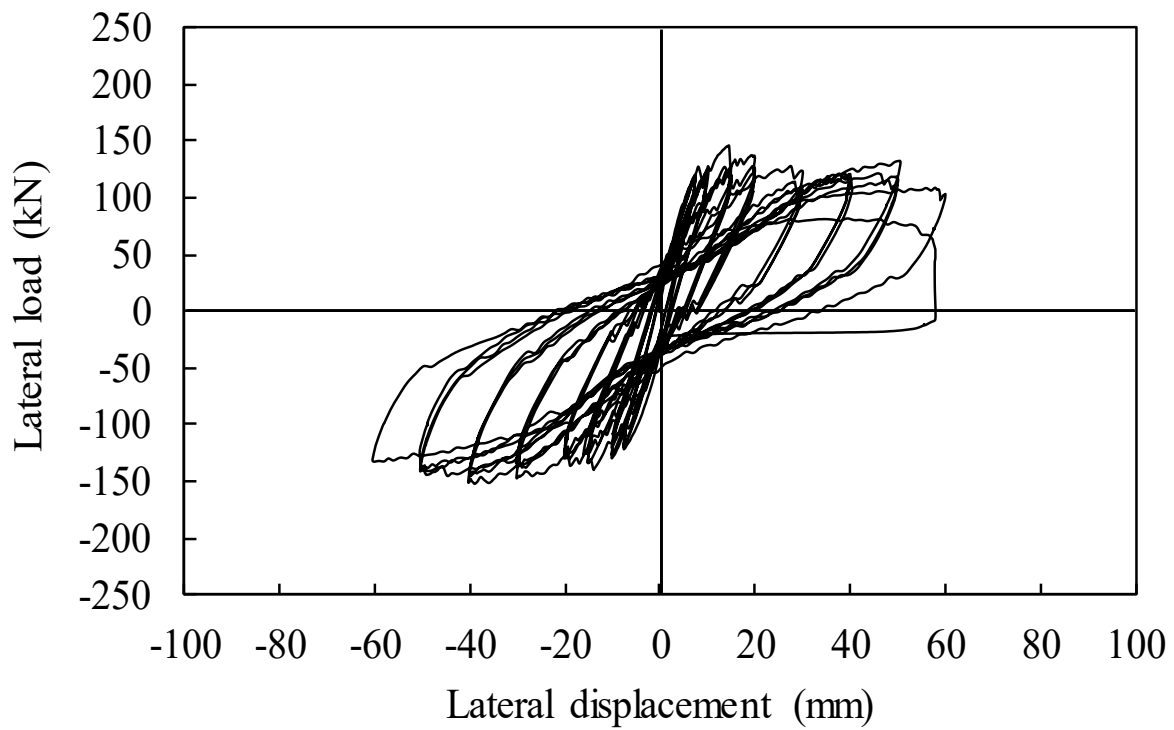


(b) Existing_0.4

그림 2.39 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계

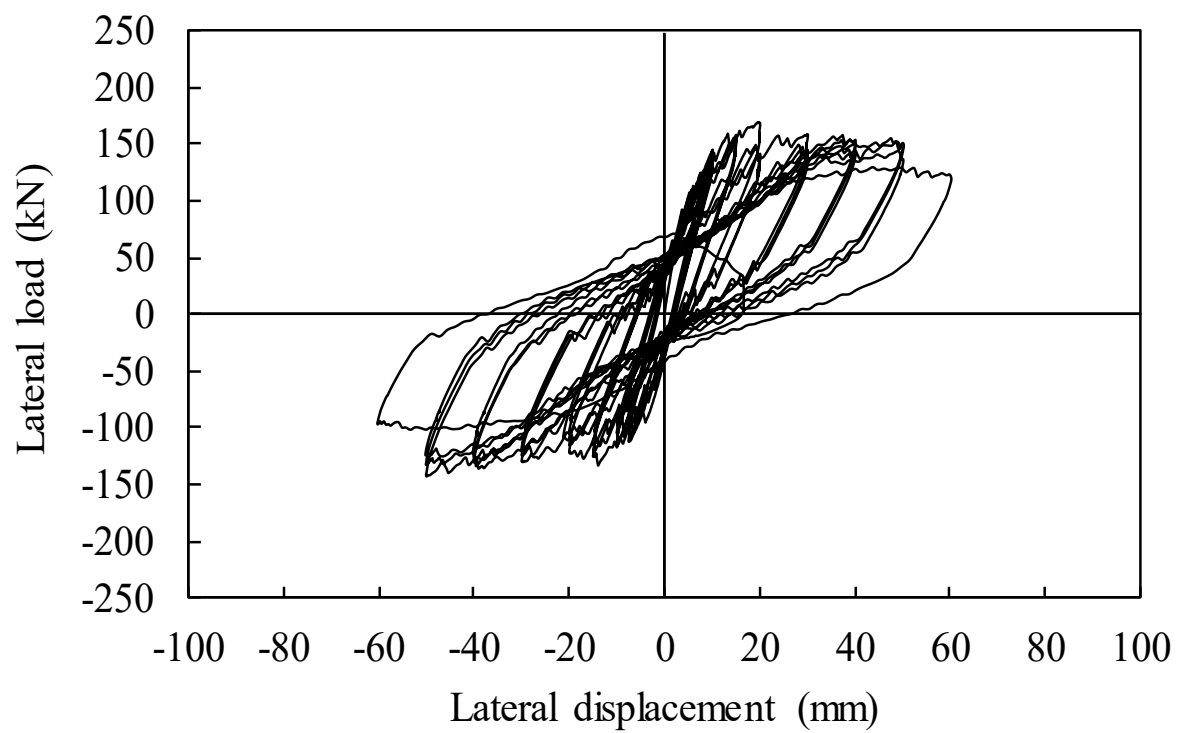


(c) Existing_0.55

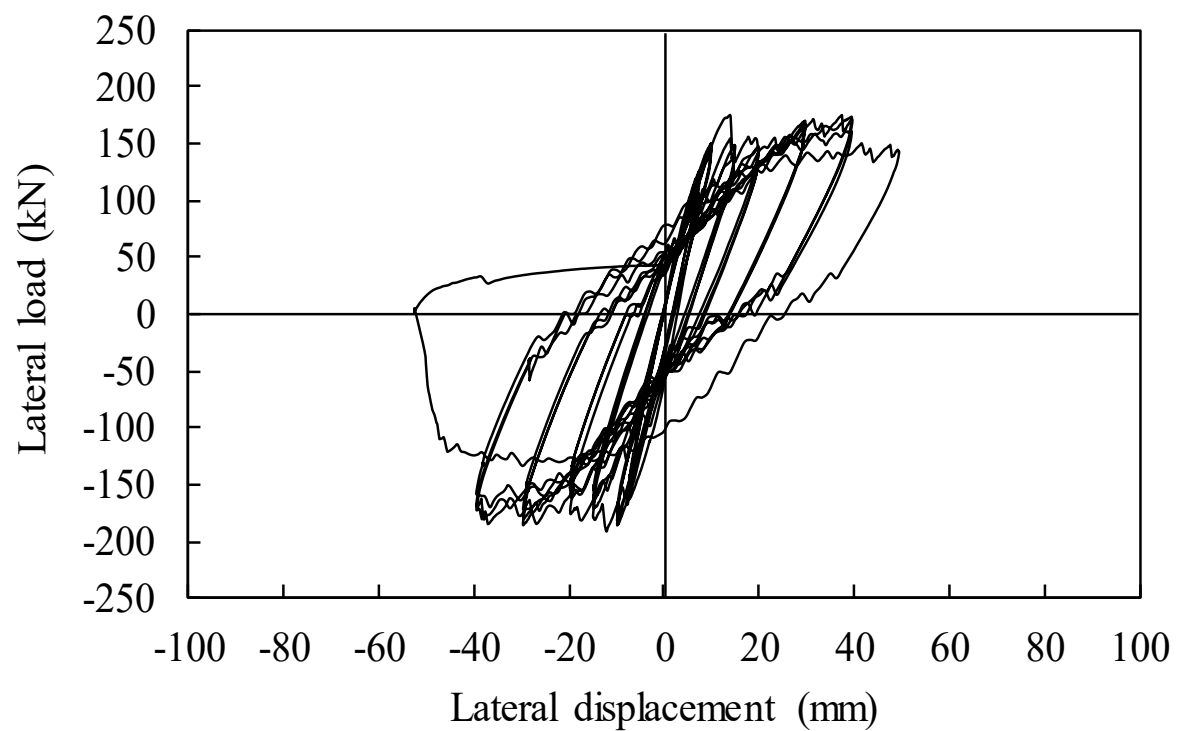


(d) 축력비 0.25($1.5A_{sh}$)

그림 2.39 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)



(e) 축력비 0.25($2.0A_{sh}$)



(f) 축력비 0.4($1.5A_{sh}$)

그림 2.39 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)

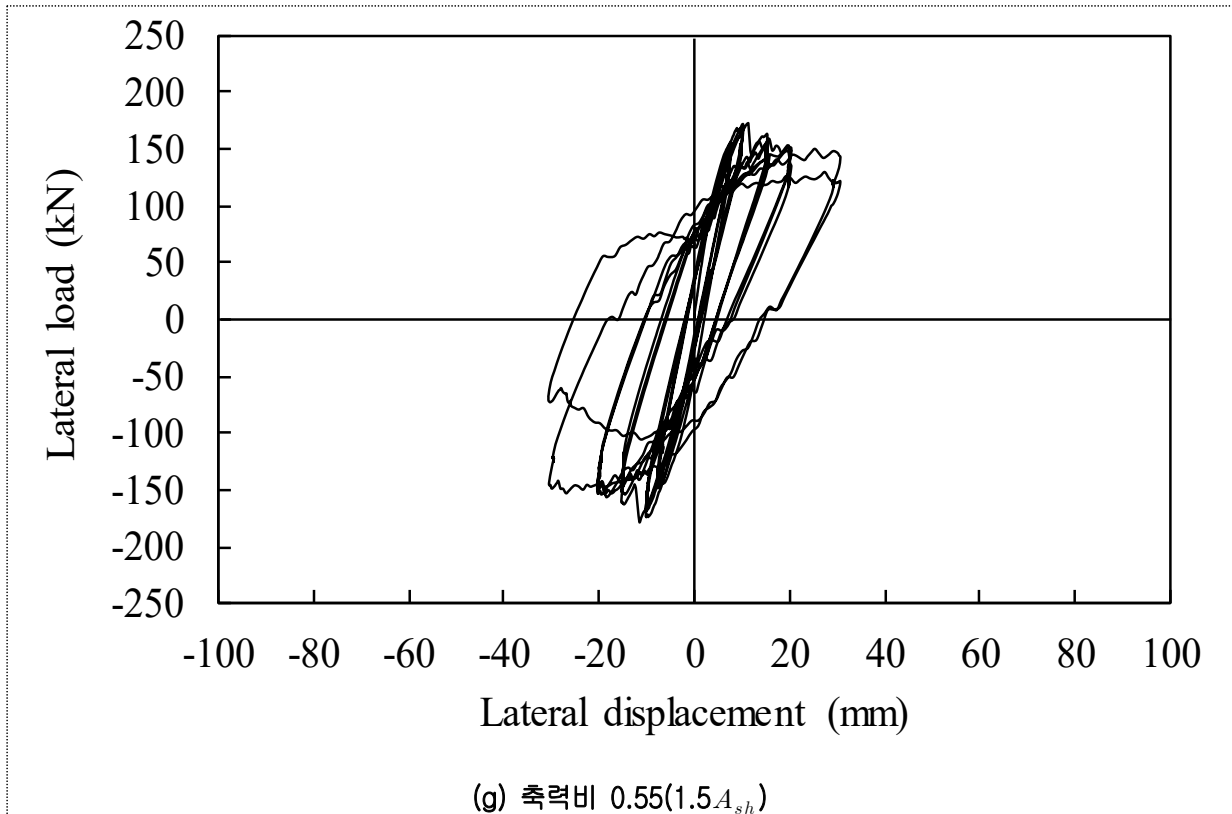


그림 2.39 휨 거동 실험 횡하중-횡변위 관계(계속)

④ 변위 연성비

- 일반적으로 철근 콘크리트 휨 부재의 연성은 Park and Paulay가 제시한 변위 연성비에 의해 평가됨.
- 단면유지보강기둥의 변위연성비는 단면확대 보강 기둥과 동일한 방법으로 산정함.
- 횡보강근비가 증가할수록 변위 연성비는 증가하는 경향을 보였으며, 작용 축하중비가 커질수록 최대 내력 도달 이후 급격한 내력감소가 발생하여 변위연성비는 감소하는 경향을 보임(표 2.9).
- 2차년도에 수행된 기존 무보강 실험체는 내진설계가 반영되지 않은 실험체로 변위 연성비가 2.07로 매우 취약적임.
- 단면유지보강된 기둥(No. 4 및 No. 5)의 변위연성비는 각각 4.79 및 4.98로 기존 무보강 기둥에 비해 각각 2.31배 및 2.41배 높았음.
- 축력비가 0.25인 실험체의 변위연성비는 4.79로 축력비가 0.4 및 0.55로 증가할수록 약 17% 및 38% 감소하였음.

⑤ 일손상지수(W_{80})

- 반복하중이 작용하는 부재의 연성은 Sheikh and Khouiry가 제시한 부재연성비에 의해 평가할 수있음.

표 2.9 휨 거동 실험 결과

실험체명	f_{ck} (MPa)	실험값											예측값	
		V_{cr} (kN)		V_v (kN)		$(V_n)_{Exp}$ (kN)			Δ_y (mm)	Δ_{80} (mm)	μ_Δ	W_{80}	$(V_n)_{ACI}$ (kN)	$(V_n)_{Exp} / (V_n)_{ACI}$
		정방향	부방향	정방향	부방향	정방향	부방향	평균						
1. Existing_0.25	25	46.5	53.9	109	114	134.4	155.4	144.9	10.2	-	-	-	138.6	1.05
2. Existing_0.4	25	49.9	52.5	125.9	129.6	154.0	171.9	163.0	10.0	-	-	-	151.4	1.08
3. Existing_0.55	29	51.6	56.8	125.4	137.6	152.2	184.9	168.5	10.0	-	-	-	147.9	1.14
4. Section maintain strengthening ($1.5A_{sh}$)_0.25	25	45.6	46.8	127.8	130.1	146.6	152.7	149.7	10.0	48.1	4.79	165.6	138.6	1.08
5. Section maintain strengthening ($2.0A_{sh}$)_0.25	25	56.8	49.4	140.1	113.5	168.3	142.2	155.2	10.1	50.2	4.98	170.4	138.6	1.12
6. Section maintain strengthening ($1.5A_{sh}$)_0.4	29	57.4	65	140.8	175.3	175.9	190.4	183.1	9.9	39.6	3.99	134.6	157.1	1.17
7. Section maintain strengthening ($1.5A_{sh}$)_0.55	29	57.6	58.6	152.1	154.9	172.8	179.1	175.9	10.2	30.5	2.99	31.0	147.9	1.19

- 단면유지보강기둥의 일손상지수는 단면확대 보강 기둥과 동일한 방법으로 산정함.
- 축력비가 0.25인 실험체의 일손상지수는 165.6으로 축력비가 0.4 및 0.55로 증가할수록 약 19% 및 81% 감소하였음.
- 횡보강근비가 $1.5A_{sh}$ 에서 $2.0A_{sh}$ 로 증가함에 따라 일손상지수는 1.03배 증가하였음.

(라) 결론

- 모든 기둥의 휨내력은 ACI 318-14 기준에 의해 산정된 휨 내력 이상이었음.
- 횡보강근량 $1.5A_{sh}$ 및 $2.0A_{sh}$ 으로 배근된 단면유지보강기둥의 휨 내력은 각각 165.6 kN 및 170.4 kN으로, V-타이 배근량 증가에 대한 휨내력에 미치는 영향은 미미하였음.
- 단면유지보강된 기둥(No. 4 및 No. 5)의 변위연성비는 각각 4.79 및 4.98로 기존 무보강 기둥에 비해 각각 2.31배 및 2.41배 높았음.
- 축력비가 0.25인 실험체의 변위연성비는 4.79로 축력비가 0.4 및 0.55로 증가할수록 약 17% 및 38% 감소하였음.
- 축력비가 0.25인 실험체의 일손상지수는 165.6으로 축력비가 0.4 및 0.55로 증가할수록 약 19% 및 81% 감소하였음.
- 횡보강근비가 $1.5A_{sh}$ 에서 $2.0A_{sh}$ 로 증가함에 따라 일손상지수는 1.03배 증가하였음.

(12) 철근 선조립 유닛의 시공성 평가

(가) 시공성 평가 개요

- 철근 선조립 유닛 보강 기술의 시공적 측면에서 핵심은 원가절감, 공기단축, 시공절차 단순화로 제시할 수 있음.
- 철근 선조립 유닛 보강 기술의 공기단축과 시공절차 단순화는 비용으로 정량화하기에는 여러 가지 고려할 점이 많이 있지만 전문가가 추정할 수 있는 것은 시공절차가 줄기 때문에 시공시간이 단축됨.
- 따라서, 철근 선조립 유닛 보강 기술의 시공시간 단축을 정량적으로 평가하기 위해 기존 크로스타이의 앵커링을 통한 단면확대 보강기술과 비교함.

(나) 시공성 평가 방법(그림 2.41)

- 주요변수는 크로스타이 앵커링의 기존 단면확대 보강 기술과 철근 선조립 유닛을 이용한 단면확대 보강 기술로 구분함.
- 시공성 평가를 위한 기존 기둥의 단면크기는 500 mm × 500 mm이며 라멘조 형태로 제작함.
- 주철근은 직경 22 mm의 이형철근을 16개 배근하였음.
- 횡보강근 배근은 ACI 318-14의 내진상세 반영을 위한 최소 횡보강근량을 기준으로 수행함.
- 시공성은 기둥 1개에 주철근, 외부띠철근 및 크로스타이의 배근 시간과 철근 선조립 유닛의 배근시간을 측정함. 또한 시공성은 경력 30년 작업자와 경력 25년 작업자의 인터뷰를 통해 시공난이도, 체감 작업속도 등을 평가함.

(다) 시공성 평가 결과(그림 2.41)

- 크로스타이 앵커링의 기존 단면확대 보강 기술로 기둥 1개의 철근 배근 시간은 약 1시간 12분 23초가 소요됨.
- 철근 선조립 유닛을 이용한 단면확대 보강 기술로 기둥 1개의 철근 배근 시간은 23분 15초가 소요됨.
- 철근 선조립 유닛을 이용한 단면확대 보강 기술의 시공시간은 기존 단면확대 보강 기술에 비해 약 68% 감소하여 시공속도가 매우 빠름.
- 숙련된 철근 배근 작업자(경력 30년 및 25년)의 인터뷰 결과, 크로스타이의 앵커링의 기존 단면확대 보강 기술은 크로스타이의 앵커링 및 에폭시 주입으로 시공이 어려움. 반면, 철근 선조립의 단면확대 보강 기술은 공장제작이 된다면 현장에서의 효율성이 좋을것이라 판단됨.



(a) 기존 단면확대 보강기술

(b) 철근 선조립 보강기술

그림 2.40 크로스타이, 원터치 V-타이 및 선조립 V-타이의 시공성 평가

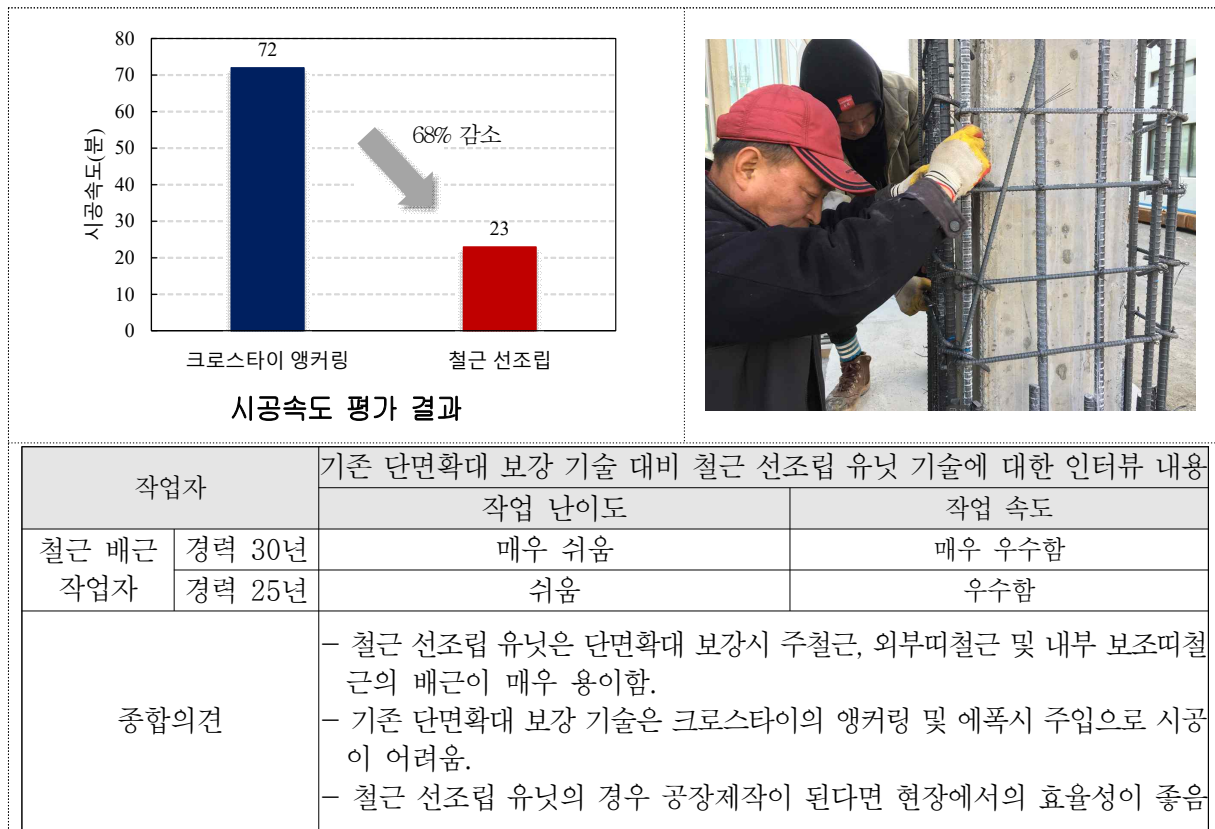


그림 2.41 기존 단면확대 보강 기술 및 철근 선조립 보강 기술의 시공성 평가 인터뷰 결과

(13) 단면확대 보강된 구조물의 내진성능 평가

(가) 내진성능 평가 개요

- V-타이로 보강된 단면확대 보강 기둥은 기둥의 내력 및 연성능력의 증가로 인해 구조물 전체의 강도, 강성 및 연성 등을 효과적으로 향상시킬 수 있음.
- V-타이를 포함하여 단면확대 보강된 구조물의 내진성능은 기존 구조물 및 본 신청기술로 보강된 구조물의 내진성능 향상정도를 비교하여 평가하였음.
- 대상 건물은 성남시 분당구 미금로 ○○번지에 위치한 필로티 형식의 주상복합으로 건물의 개요는 다음과 같음(그림 2.42).

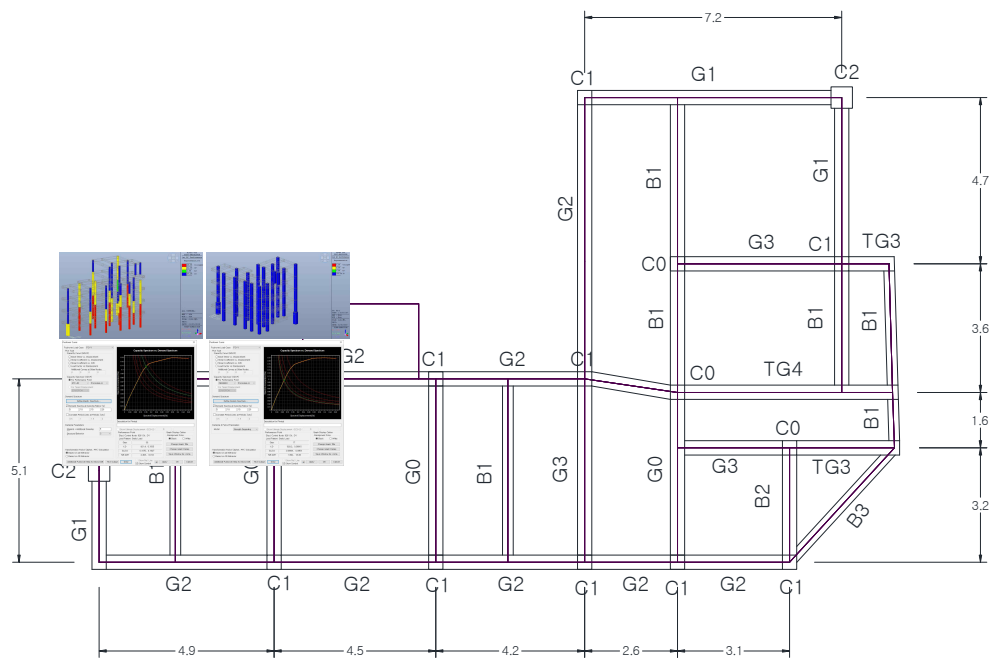
위치	• 경기도 성남시 분당구 미금로 ○○번지
용도	• 주상복합
규모	• 지상 5층
구조형식	• 철근콘크리트 구조
기초형식	• 지내력 기초(매트 기초)

(나) 내진성능 평가 방법

- 내진성능 평가 절차는 “학교시설 내진성능 평가 및 보강 매뉴얼”을 기반으로 수행하였음.
- 기존 구조물에 대해 리모델링 및 증축 등을 가정하여 1차 정밀평가를 수행하였음.
- 프로그램은 MIDAS GEN을 사용하여 평가하였음.

(다) 내진성능 평가 결과

- 기존 구조물의 1차 정밀평가 결과, 수평 부재는 인명안전(Life Safety)수준이며, 필로티를 포함한 일부 수직부재는 붕괴로 인해 내진성능을 발휘하지 못하였음(그림 2.43(a)).
- FRP로 보강된 구조물의 수평부재는 즉시거주(Immediate Occupancy) 수준에 도달하였으나, 일부 수직부재는 붕괴로 인해 내진성능을 발휘하지 못하였음.
- 강판으로 보강된 구조물의 내진성능은 FRP로 보강된 구조물과 동일한 결과를 보였음.
- 이에 비해 본 신청기술로 보강된 구조물의 내진성능은 수평부재 및 수직부재 모두 즉시거주(Immediate Occupancy) 수준에 도달하였다(그림 2.43(b)).



(14) 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 성능 기반 설계 및 시공 가이드라인¹²⁾

(가) 제안기술이 적용된 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 압축 및 휨 성능 기반 설계 가이드라인(자세한 내용은 증빙자료 참조)

- 본 기술과 관련된 설계기준, 전문시방서 및 시험규격 관련 표준명은 다음 표 2.10과 같음. 본 기술은 RC 기둥에서 보조띠철근과 관련된 내용이므로 기본적으로 신기술 제 808호(철근콘크리트 부재의 보조 횡보강근 기능을 하는 원터치 클립 기반의 V-타이 배근 설계 및 시공 기술), ACI 318-14 및 콘크리트 구조설계기준을 따름.
- 설계기준에서 제시되지 않은 내용들에 대해서는 실험적·이론적 연구 및 현장적용을 기반으로 특기 설계 가이드라인을 제시하였음. 이 설계 가이드라인은 현장 적용 시 특별히 적용되어야 할 총칙, 재료, 품질시험기준 및 구조 설계방법 등을 포함하고 있음.
- 시방서에서는 공사에 필요한 재료의 종류와 품질, 사용처, 시공방법 등을 나타내고 있음. 특히 시공 중에 필요한, 시공계획, 현장조사, 공정계획, 안전대책 및 작업 폐기물의 처리 등에 대해서 상세하게 나타내고 있음.
- 제시된 설계가이드라인 및 시방서는 본문과 해설로 구성하였음. 해설에서는 설계지침 및 시방서 제시의 배경과 권장사항 등을 구체적으로 설명하였음. 본 설계가이드라인 및 시방서에 제시되지 않은 내용에 대해서는 기본적으로 ACI 318-14와 콘크리트 표준시방서를 따름.

표 2.10 제안기술과 관련된 설계기준, 전문시방서 및 품질시험기준

기준 및 시방서	기준 및 표준명	관리기관
설계기준	ACI 318-14	American Concrete Institute
설계기준	CEB-FIP	Fib
설계기준	콘크리트구조설계기준	한국콘크리트학회
설계기준	도로교설계기준	국토해양부
시방기준	콘크리트표준시방서	한국콘크리트학회
시험규격	KS	국가기술표준원
시험규격	ASTM	ASTM International
신기술	제 808호	국토교통부

12) 증빙자료 pp. 223-242

(가) 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 사업화 모델

① 가치제안(Value Proposition) : 고객의 관점에서 바라본 V-타이의 가치와 V-타이가 고객의 니즈를 어떻게 충족시킬 것인가?

- V-타이는 기존 단면확대 및 단면유지 보강 기술의 문제점인 기존 기둥의 간섭, 앵커링 등으로 인한 복잡한 시공 공정, 90도 갈고리의 풀림 및 철근결속의 어려움 등을 해결함. 특히, 철근 선조립 기술을 통해 배근과 결속을 동시에 해결함(그림 2.44).
- V-타이를 통해 철근공은 시공숙련도와 관계없이 모든 기둥의 품질을 크로스타이 기둥과 비교하여 동등이상으로 확보할 수 있음.

② 표적시장(Target Customer): V-타이의 활용 대상은 누구이며, 표적 제품은 무엇인가?

- V-타이의 표적은 기둥의 내진보강 기술 시장임. V-타이는 기존 단면확대 및 단면유지 보강 기둥 대비 동등 이상의 구조적 안전성을 갖고 있음.
- V-타이는 크로스타이 대비 동등 이상의 구조적 안전성을 갖고 있음. 1) 주철근은 내진설계용 띠철근의 굽힘각도 0° ~ 90°에서 부착응력의 저하가 발생하지 않음. 2) 내진설계용 띠철근이 적용된 기둥의 중심 축내력 및 축연성비는 각각 105%와 155% 향상됨. 3) 내진설계용 띠철근이 적용된 기둥의 최대모멘트 및 연성비는 각각 101%와 151% 향상됨(그림 2.45).
- V-타이는 기존 단면확대 및 단면유지 보강 기술보다 시공성이 우수함. 1) 배근에 대한 시공속도는 기존 앵커링에 의한 크로스타이에 비해 약 50% 단축시킬 수 있음. 2) 철근배근 노무자들은 본 기술에 대해서 체감속도가 매우 빠르고 결속을 위한 별도의 장비가 필요없는 장점이 있음. 3) 콘크리트 타설 노무자들은 타설에 대한 난이도는 개발된 자기충전 콘크리트로 전체적으로 기존 공법에 비해 시공성이 다소 우수함(그림 2.46).
- V-타이는 크로스타이보다 철근의 물량을 감소시킴. 1) 오피스텔 건축물(연면적 86,279 m²) 기준으로 크로스타이 대비 철근물량이 약 41.4% 감소함. 2) CO₂ 배출량은 크로스타이에 비해 약 26% 감축됨(그림 2.47).
- 우수한 구조적 안전성과 시공성을 보이는 V-타이는 설계자인 건축구조기술사, 시공자인 건축시공기술자, 감리자인 건축감리원의 승인이 필요함. 이에 건축구조기술사, 건축시공기술자 및 감리원에 대한 기술의 홍보가 필요함.

13) 증빙자료 pp. 243-264

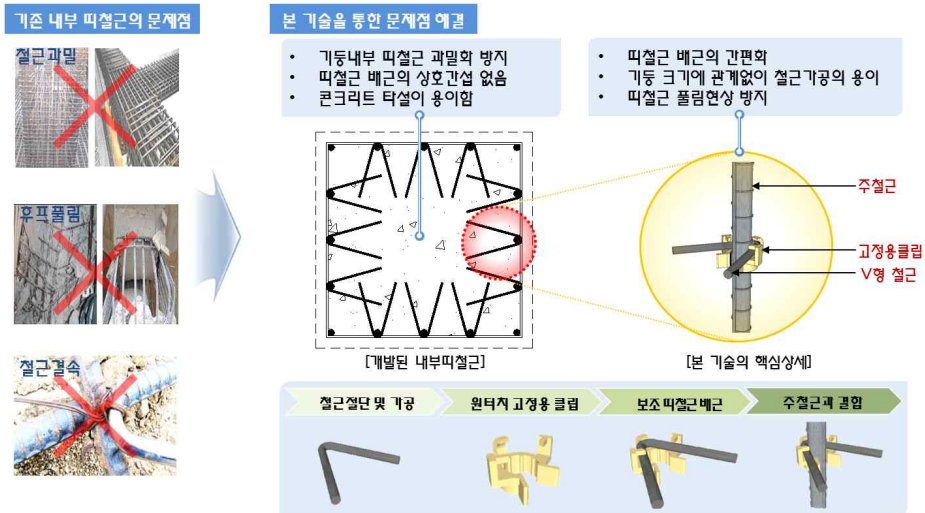


그림 2.44 V-타이의 가치 제안

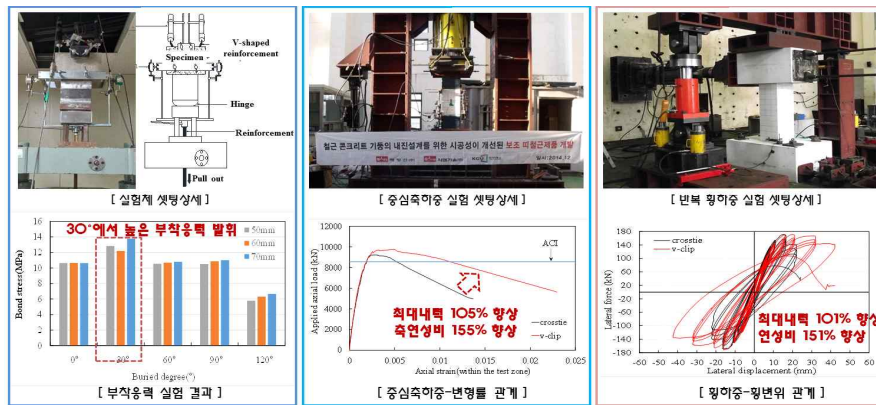


그림 2.45 V-타이의 구조적 안정성



현장 노무자 인터뷰		기존 제품 대비 본 제품의 시공성에 대한 의견		
작업자		작업 난이도	작업 속도	종합 의견
띠철 배근	1(경력 30년)	쉬움	우수함	- 내부 콘크리트내에 V형 띠철근배근이 매우 용이함. - 배근에 대한 체감속도가 매우 빠름. - 결속을 위한 별도의 장비가 필요 없는 장점이 있음.
	2(경력 10년)	쉬움	우수함	
콘크리트 타설	1(경력 10년)	비슷함	다소 우수함	- 콘크리트 타설에 대한 난이도는 기존공법과 비슷함. - 심부 콘크리트의 진동다짐이 쉬움. - 전반적으로 기존 방법에 비해 시공성이 다소 우수함.
	2(경력 5년)	비슷함	비슷함	

그림 2.46 V-타이의 우수한 시공성

층	Crosstie(ton)		V형 철근(ton)		층	Crosstie(ton)		V형 철근(ton)		본 제품 사용에 따른 절감효과
	기둥	특수 전단벽	기둥	특수 전단벽		기둥	특수 전단벽	기둥	특수 전단벽	
B2F	1.54	6.40	0.45	4.28	14F	0.94	0.23	0.33	0.20	- 내부 보조 락업철근 절감량 : 기둥 30.6 ton + 특수 전단벽 44.9 ton = 75.5 ton
B1F	2.03	8.46	0.60	5.65	15F	0.94	0.23	0.33	0.20	
1F	2.58	10.42	0.81	6.97	16F	0.82	0	0.28	0	- V형 내부 보조 락업철근 적용 시 절감량 : 기둥 10.4 ton + 특수 전단벽 33.8 ton = 44.2 ton
2F	1.59	4.81	0.50	3.43	17F	0.82	0	0.28	0	
3F	1.29	4.85	0.41	3.22	18F	0.82	0	0.28	0	- V형 내부 보조 락업철근 적용시 절감률 : (75.5-44.2) ton / 75.5 ton x 100 % = 41.4%
4F	1.76	5.47	0.56	3.64	19F	0.82	0	0.28	0	
5F	0.79	0.36	0.30	1.51	20F	0.82	0	0.28	0	본 제품 사용에 따른 CO ₂ 감축효과
6F	0.79	0.29	0.30	1.23	21F	0.86	0	0.30	0	
7F	0.90	0.29	0.34	1.20	22F	0.86	0	0.30	0	- 국내 Life cycle inventory data base(LCI DB): 운송과정 CO ₂ 배출량 : 0.34 CO ₂ -kg/kg 제작과정 CO ₂ 배출량 : 1.14E-06 CO ₂ -kg/kg-km
8F	0.90	0.82	0.34	0.57	23F	0.86	0	0.30	0	
9F	0.90	0.82	0.34	0.57	24F	0.86	0	0.30	0	- 내부 보조 락업 = 3.34E+04 CO ₂ -kg/FU - V형 내부보조 락업 = 2.46E+04 CO ₂ -kg/FU
10F	0.90	0.82	0.34	0.57	25F	0.86	0	0.30	0	
11F	0.82	0.20	0.28	0.17	26F	0.86	0	0.30	0	- V형 내부 보조 락업 적용시 CO ₂ 절감률 : (3.34E+04-2.46E+04) CO ₂ -kg / 3.34E+04 CO ₂ -kg = 26%
12F	0.82	0.20	0.28	0.17	27F	0.96	0	0.33	0	
13F	0.82	0.20	0.28	0.17	Total	30.6	44.9	10.4	33.8	

그림 2.47 V-타이의 우수한 경제성

- V-타이를 포함한 철근선조립 기반 보강 기술은 건축물의 내진성능 향상에 대한 요소 기술로서, 기술의 적용처는 기존 건축물의 증축 및 내진보강을 위한 기둥 보강, 전단벽 경계요소 임.
- 2016년 경주지진에서는 진앙지 주변에 위치하는 학교시설 및 주택을 포함한 일부 건축물의 기둥 등의 지진피해를 제외한 구조물의 지진피해규모는 크지 않았지만, 2017년 발생한 포항지진에서는 노후화된 공동주택, 학교시설을 포함한 새롭게 신축된 필로티 및 공동주택에 심각한 지진피해, 특히 기둥부의 파괴는 향후 국내 내진대책을 위한 중요한 이슈로 부각되었음(그림 2.48).
- 철근콘크리트 기둥의 보강에는 기존의 단면을 유지하여 보강하는 방법과 기존의 단면을 확대하여 보강하는 방법이 있음.
- 기둥의 내력 및 연성 보강을 위한 공법은 강판 또는 탄소 섬유를 기둥면 전면에 부착하는 부착형 공법과 기둥의 단면을 확대하는 단면확대 공법이 있으며, 기둥의 단면확대 공법은 부착형 보강공법에 비해 내력과 강성 향상 측면에서 크게 효과적임.

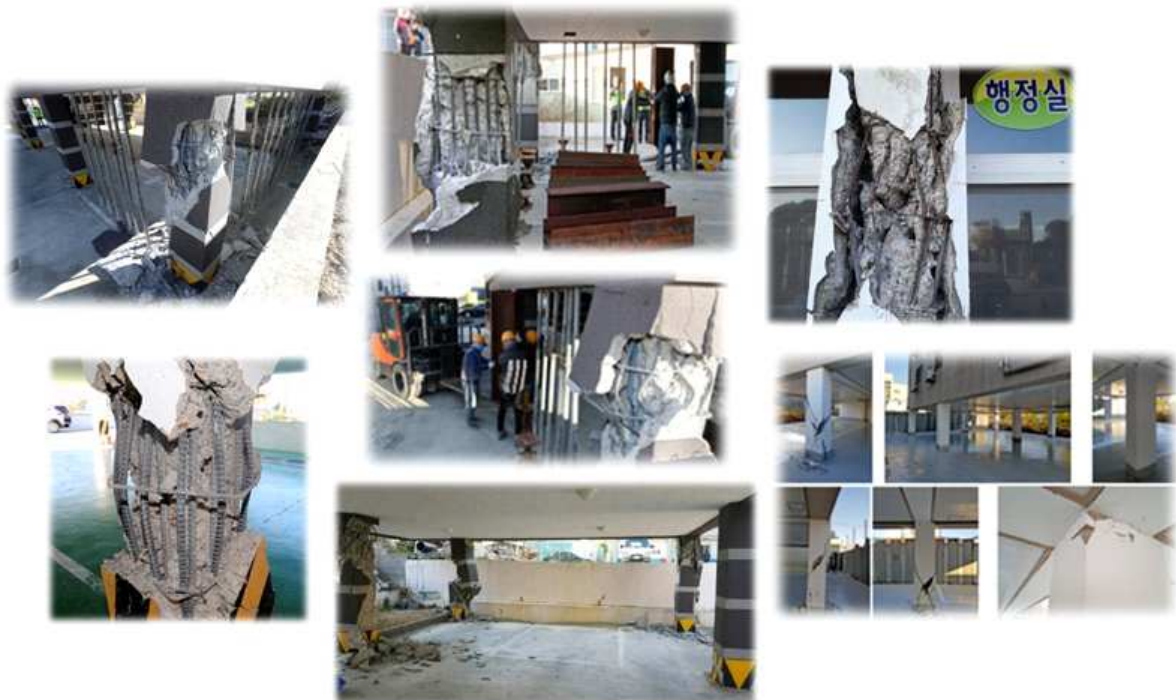
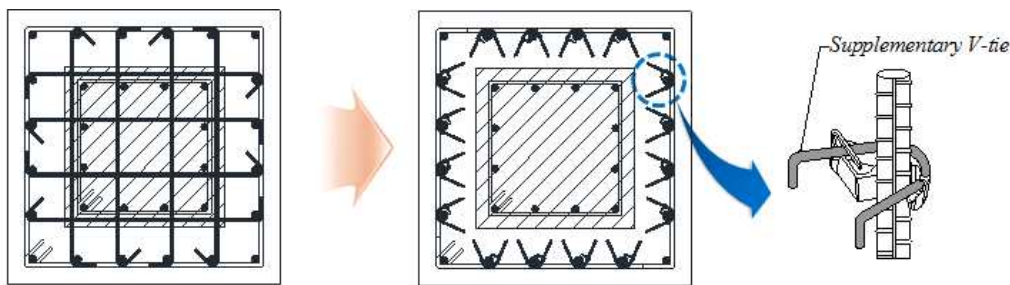


그림 2.48 국내 지진으로 인한 건축물 기둥부 피해

- 기존의 단면확대 보강공법은 기존 기둥과의 간섭으로 인해 폐쇄형 외부 띠철근 및 보조 크로스 타이의 배근이 매우 어려움.
- V-타이 기술은 보조 띠철근 배근이 상당히 어려운 구조물에 부족한 내력과 연성을 향상시키기 위한 단면 보강 시, 배근의 효율성을 높이고 부재의 구조적 성능을 향상시키기 위한 기존 크로스 타이 배근을 대체하여 내진성능과 시공성을 향상시키는 기술임(그림 2.49).
- 또한 시공성이 향상되고, 기존 기둥에 의한 간섭을 최소화하여 기둥의 구속 효과 및 주철근 좌굴 방지 효과를 극대화시키고, 기둥의 내진설계 기준에서 요구하는 폐쇄형 횡보강근을 원활하게 설치할 수 있는 기둥의 단면확대 및 단면유지 보강을 위한 철근 선조립 유닛 공법을 개발하여 특허 출원함(그림 2.50).
- 필로티와 같은 건축물은 기존의 단면을 유지하여 내부 전용공간을 확보하는 내진보강 공법을 선호함.
- 필로티 구조를 갖는 대부분의 주거용 건축물의 경우, 필로티 층은 주차공간으로 이용되기 때문에 단면확대를 통한 사용 면적을 감소시키기 어려움. 이에 기존의 단면을 유지하여 내부 전용공간을 확보하는 내진보강 공법을 선호함.
- 지진 등의 이유로 파손되어 보수가 필요한 경우, 본 기술을 활용하면 내진성능을 확보함과 동시에 동일한 단면으로 완벽히 복원 가능함(그림 2.51).



기존 RC기둥의 단면증설공법

단면확대 보강기둥의 V-타이 적용

그림 2.49 단면확대 기둥의 V-타이 적용

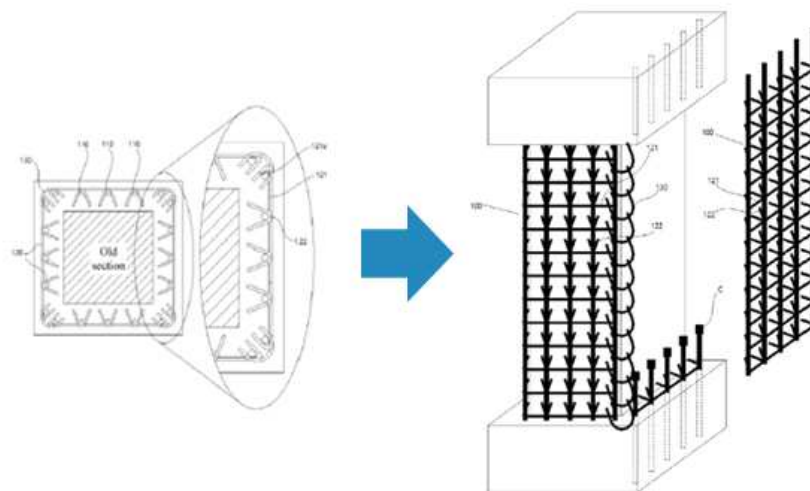


그림 2.50 V-타이를 포함한 철근 선조립 기반 철근 선조립 유닛 공법

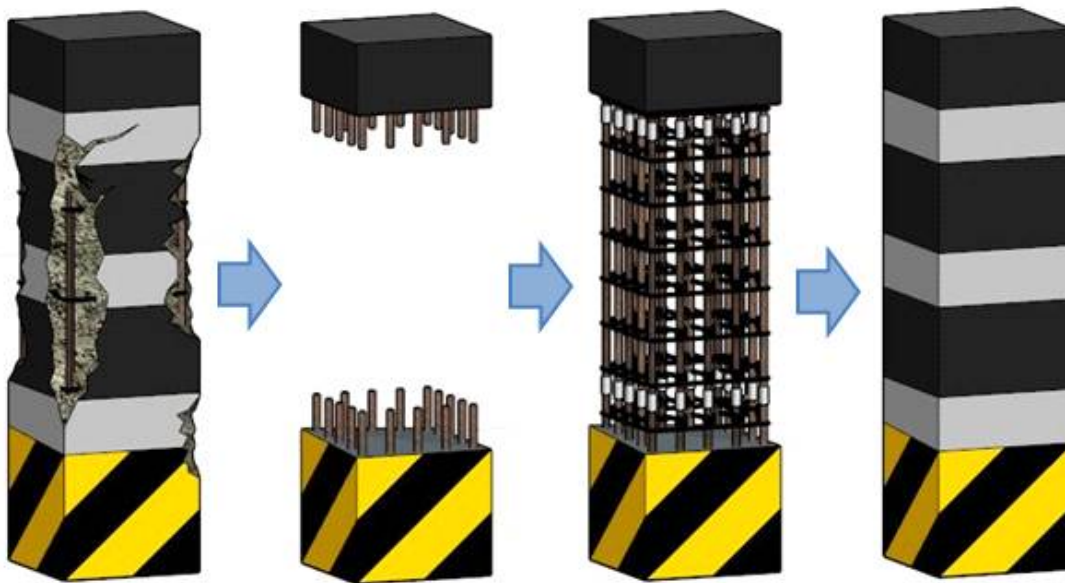


그림 2.51 V-타이를 포함한 철근 선조립 기반 단면유지 보강 기술

③ 가치사슬/조직(Value Chain/Org.) : V-타이를 제작·유통하는데 필요한 구조와 조직의 자원을 효율적으로 활용하는 방법은 무엇인가?

- 제품의 생산은 직접제조 및 OEM제조를 통해 진행할 수 있음.
- 직접제조는 V-타이를 절곡하는 절곡, 절단용 프레스와 클립을 사출할 수 있는 사출기를 구입하여야 하며, 철근의 절곡과 클립의 사출에 노하우가 있는 숙련된 노무자를 직접고용하고 공장을 구축하여야 함. 이와 같은 직접제조는 초기 투자비가 많으며, 숙련된 노무자를 구하는 것이 어려움.
- 이에 초기(3~5년)에는 OEM제조를 통해 제품을 생산하는 것이 효율적임.
- V-타이의 제조는 프레스 방식과 절곡 방식이 존재하지만, 절곡 방식은 대량생산이 어렵고 제조업체의 사정으로 견적을 받을 수 없음. 이에 프레스 방식을 이용하여 V-타이를 제조하며, OEM업체는 운진00기업으로 결정함(표 2.11).

표 2.11 V-타이의 OEM제조 단가

No.	업체명	가공방식	규격	생산원가(원/개당)			납품단가(원)
				재료비	가공비	제조경비	
1	00기업	프레스	D10	124	59	24.9	207.9
			D13	137.5	64	27.07	201.5
2	대호000	프레스	D10	136	71.5		207.5
			D13	149.5	82.5		232.0
3	운진00기업	프레스	D10	80	30		110
			D13	130	30		170
4	광일00	절곡		견적불가			
5	청하00	절곡		견적 불가			

* 본 단가는 50만개를 기준으로 산정한 금액임.

- 고정용 클립은 사출제품으로 사출을 위한 금형의 제작은 포엠 주식회사에서 100% 부담하고 OEM업체에서는 단순 사출만하는 방법으로 견적을 받음. 고정용 클립의 견적가는 거의 비슷한 수준임. 이에 V-타이와 고정용 클립의 결합을 편리하게 하기 위해 운진00기업에서 OEM하기로 함.
- 제품의 관리는 포엠 주식회사의 V-타이 관리부를 신설하여 본사에서 제품의 생산, 제고, 품질 및 납품 등을 관리함. 관리부는 총괄 1인과 업무보조자 1인으로 구성함.
- 제품의 유통은 포엠 주식회사 단독으로 진행함.

④ 전달방식(Delivery Design) : 제품의 판매전략은 무엇인가?

- RC기둥의 단면확대 및 단면유지 보강에서 철근 선조립 기반의 V-타이 설계기술은 특허맵 분석 결과 국내·외적으로 원천성을 가지고 있음.
- V-타이의 궁극적인 판매전략은 누구나 손쉽게 구입하여 사용할 수 있는 범용제품이므로, 향후 범용제품으로 판매하기 위해 설계사와 시공사가 많이 접하는 학회 및 협회, 신문을 통해 광고를 게재하며, 박람회를 통해 일반 시민에게도 기술의 우수성을 홍보함.
- V-타이는 건설신기술 제808호와 한국건축기술사회 기술인증, 한국콘크리트학회 기술 인증 및 한국토지주택(LH)공사 우수 신기술 선정 등 인증을 받았으며 기술 인증을 통한 제품 홍보에 노력하고 있음(그림 2.52).
- 각종 특허를 보유하고 있으며 연구를 통해 국내 및 해외에 기술과 관련된 특허 출원 및 등록을 계속 추진하고 있음.
- 이를 통해 지식재산권에 기반한 판매가 가능하며 발주처와 설계사를 통해 제품 홍보를 진행함.

⑤ 수익 흐름(Revenue Stream) : V-타이의 수익모델과 그에 따른 잠재수익율은 어떻게 되는가?

- 크로스타이의 단가를 산정하기 위해 LH공사 시방서를 참고하여 크로스타이의 길이와 무게로부터 단가를 산정함(표 2.12).

표 2.12 고정용 클립의 OEM제조 단가

No.	업체명	가공방식	규격	캐버티	생산원가(원)			납품단가(원)
					재료비	가공비	제조경비	
1	00정밀	사출	D22	16	13.0	21.0	-	34.0
2	00에스텍	사출	D22	8	14.4	16.6	3.1	34.1
3	운진00기업	사출	D22	12	12.2	18.5	4.2	34.9
4	00하이텍	사출	D22	2	17.1	44.2	12.2	73.5
5	하남00	사출	D22	10	20.1	31.4	8.9	60.4

* 본 내용은 50만개를 기준으로 산정한 대략 단가로서 추후 판매수량에 따라서 변동될 수 있음.



그림 2.52 V-타이의 기술 인증

- V-타이 제품의 판매원가는 OEM원가에 관리비, 경비, 연구비 및 이윤이 포함되어야 함.
- V-타이 제품은 기둥 단면이 700 mm보다 클 경우 크로스타이보다 경제성을 갖음(표 2.13).
- V-타이 제품의 잠재수익율은 10 mm 철근에서 10%, 13 mm 철근에서 11.1% 임(표 2.14).

⑥ 경쟁전략(Competitive Strategy) : V-타이가 시장에서 지속적으로 경쟁우위를 확보하기 위한 방법은 무엇인가?

- 기존 단면확대 보강 기술에 비해 시공이 편하며 감리와의 마찰을 줄일 수 있어 건설사에서 V-타이에 대한 관심이 높을 경우 최소물량을 소화하는 조건으로 연간 단가계약을 실시함.
- V-타이의 현장적용을 통해 현장에서 발생하는 문제점을 해결하고 현장에서 요구하는 성능에 대한 지속적인 연구개발을 수행중임.

표 2.13 단면크기별 크로스타이의 단가(원)

크로스타이 직경	단면크기(mm)						
	300	400	500	700	900	1100	1200
10 mm	327.4	398.8	470.1	612.9	755.6	898.4	969.7
13 mm	619.6	747.2	874.9	1130.2	1385.6	1640.9	1768.6

* 철근의 단가는 600 원/kg으로 산정함. 철근의 갈고리는 LH공사 시방서를 따름.

표 2.14 V-타이 직경에 따른 판매원가(원)

V-타이 직경	OEM 원가				제조원가				이윤	판매 원가
	재료비	조립비	운반비	소계	관리비	경비	연구비	소계		
10 mm	144.9	35.1	20	200	40	10	20	70	30	300
13 mm	204.9	35.1	40	280	70	30	20	120	50	450

- 또한 V-타이가 적용된 새로운 기술에 대해서는 지식재산권의 확보와 전문가들의 자문을 받고 있음.

(나) V-타이의 예상 시장 규모

- 국내의 콘크리트 구조물 착공현황은 지속적으로 유지, 증가하고 있으며 이에 더불어 철근시장 규모도 증가하고 있는 추세임.
- 국내의 V-타이 시장 규모는 2018년도의 착공현황을 기준으로 추산하면 약 223억원 평가됨(그림 2.53).
- 기존 크로스타이 대신 V-타이 설치를 기준으로 산출한 계상 금액임.

건축물 연면적에 따른 시장조사

- 2018년 건축물 착공 연면적 : 52,182,411m²
 주거용 : 38,721,213m²
 상업용 : 13,461,198m²
- 1m²당 V-타이 사용개수 : 1.3 EA/m² (최근 여의도우체국, SK뷰 아파트 산출근거 평균값)
- 전체 V-타이 시장금액 : 52,182,411m² × 1.3 EA/m² × 330원/EA
 = 22,386,254,000원 (추정)

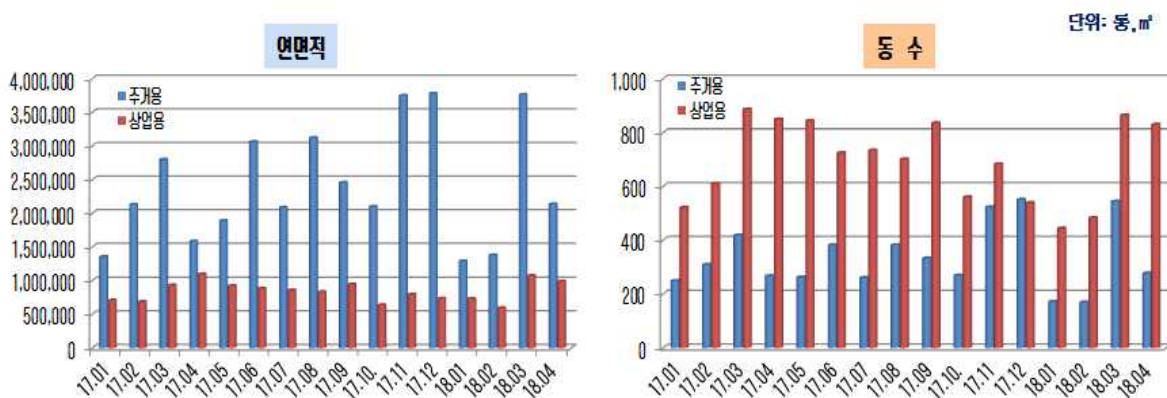


그림 2.53 최근 1년간 콘크리트 구조물 착공 현황

① 기술인증 현황(그림 2.54)

- ## ② 기술인증 현황

- 국토교통부 건설신기술 인증. (2025.01.17.)
- 건축구조기술사회 기술 인증. (2019.01.12.)
- 한국콘크리트학회 기술 인증. (2021.10.09.)
- 한국토지주택공사 (LH) 신기술 적용 평가. (시범적용 단계)
- 서울주택도시공사 (SH) 신기술 적용 평가. (시범적용 단계)
- 교육부 학교시설 내진설계기준 등재. (기둥 후프철근 대체용 V형 타이, 코너 접합부 보강용)
(그림 2.55)

그림 2.54 V-타이 관련 특허 등록 및 출원

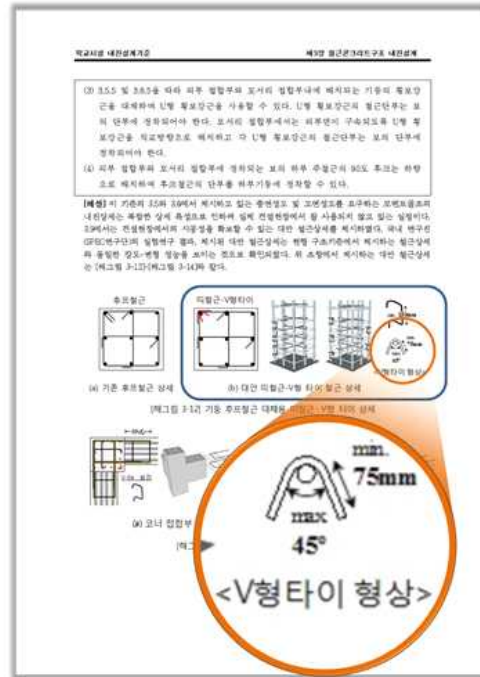
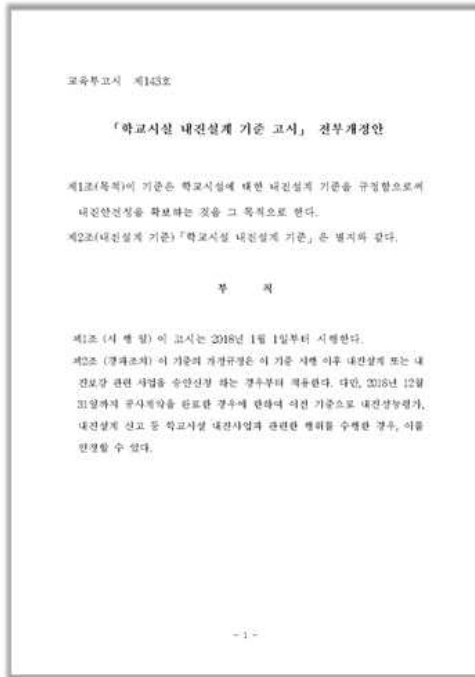


그림 2.55 학교시설 내진설계 기준(교육부) 등재

다. 연구 개발 성과

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	저자명 / 특허 등록 (출원) 인	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Flexural Behavior of Reinforced Concrete Columns with Supplementary V-Shaped Ties	경기대학교	Keun-Hyeok Yang, Min-Kyoung Kwak, and Jae-Il Sim	ACI Structural Journal Vol. 114, No. 5	1.287	2017.09	SCI
2	논문	A Stress-Strain Model for Unconfined Concrete in Compression considering the Size Effect	경기대학교	Keun-Hyeok Yang, Yong-Je i Lee, and Ju-Hyun Mun	Advances in Materials Science and Engineering Vol. 2019	1.399	2019.03	SCI(E)
3	논문	Axial Performance of RC Columns Strengthened with Different Jacketing Methods	경기대학교	Yong-Ha Hwang, Keun-Hyeok Yang, Ju-Hyun Mun, and Seung-Jun Kwon	Engineering Structures Vol. 226, No. 2020	3.084	2010.01	SCI(E)
4	논문	Axial Test of full-scale columns strengthened with jacket section	경기대학교	Yong-Ha Hwang, Keun-Hyeok Yang, and Ju-Hyun Mun	Magazine of Concrete Research	2.026	출판 예정	SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	저자명 / 특허 등록 (출원) 인	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
5	논문	Flexural Behavior of Columns Strengthened using an RC Jacket with Seismic Details	경기대학교	Keun-Hyeok Yang, Yong-Ha Hwang, Seung-Jun Kwon, and Ju-Hyun Mun	ACI Structural Journal	1.287	출판 예정	SCI
6	논문	Seismic Behavior of RC Jacketed Columns under Different Axial Loads	경기대학교	Keun-Hyeok Yang, Yong-Ha Hwang, and Ju-Hyun Mun	Magazine of Concrete Research	2.026	출판 예정	SCI
7	논문	Seismic Behavior of RC Jacketed Columns under Different Axial Loads	경기대학교 / 포엠 주식회사	Yong-Ha Hwang, Keun-Hyeok Yang, and Yong-Soo Choi	Journal of Structural Integrity and Maintenance Vol. 5, No.1	-	2020.02	비SCI (SCOPUS)
8	논문	철근콘크리트 기둥의 휨 연성에 대한 V-타이 보조띠철근의 효율성 평가	경기대학교	이혜진, 양근혁, 박민경	한국콘크리트학회논문집 Vol. 29, No. 4	0.4	2017.08	비SCI (SCOPUS)
9	논문	기둥의 단면 확대보강을 위한 V-타이 보조 띠철근의 형상 제시	경기대학교 / 포엠 주식회사	권혁진, 양근혁, 심재일	한국건축시공학회논문집 Vol. 18, No. 2	0.47	2018.04	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	저자명 / 특허 등록 (출원) 인	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
10	논문	재유화형 분말수지와 초속경 시멘트를 혼입한 모르타르의 압축강도 및 접착강도 특성	경기대학교	이광일, 윤현섭, 양근혁	한국건축시 공학회논문 집 Vol. 18, No. 4	0.47	2018.08	비SCI
11	논문	확대단면에서의 띠철근 배근 방법에 따른 보강 기둥의 중심 축하중 거동 평가	경기대학교 /포엠 주식회사	황용하, 양근혁, 심재일, 최용수	한국구조물 진단유지관 리공학회 논문집 Vol. 22, No. 6	0.31	2018.11	비SCI
12	논문	철근 선조립 공법 기반 단면확대 보강기둥의 중심 축하중 거동 평가	경기대학교 /포엠 주식회사	황용하, 양근혁, 심재일, 최용수	한국콘크리 트학회논문 집 Vol. 30, No. 6	0.4	2018.12	비SCI (SCOPUS)
13	논문	확대단면에서 폐쇄형 외부 띠철근 배근 방법에 따른 보강기둥의 중심축하중 거동 평가	경기대학교 /포엠 주식회사	황용하, 양근혁, 심재일, 최용수	대한건축학 회논문집 구조계 Vol. 35, No. 7	0.37	2019.07	비SCI
14	논문	단면확대 보강 적용을 위한 콘크리트의 자기충전 성능 평가	경기대학교	황용하, 양근혁, 송금일, 송진규	한국건설순 환자원학회 논문집 Vol. 7, No. 3	0.36	2019.09	비SCI
15	논문	V-타이와 V-클립을 적용한 단면확대 보강기둥의 중심축하중 거동 평가	경기대학교 /포엠 주식회사	황용하, 양근혁, 심재일, 최용수	한국콘크리 트학회논문 집 Vol. 31, No. 5	0.4	2019.10	비SCI (SCOPUS)
16	특허	내진 설계용 V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 구조 및 이의 시공방법 (10-1913818)	지엘기술 주식회사 /포엠 주식회사	윤인구, 심재일	대한민국	-	2018.10	등록

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	저자명 / 특허 등록 (출원) 인	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
17	특허	V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 구조 (10-2004419)	포엠 주식회사	심재일	대한민국	-	2019.07	등록
18	특허	V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 방법 (10-2004420)	포엠 주식회사	심재일	대한민국	-	2019.07	등록
19	특허 (PCT)	V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 구조 (PT17004)	포엠 주식회사	심재일	PCT	-	2017.11	출원
20	특허 (PCT)	V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 방법 (PT17005)	포엠 주식회사	심재일	PCT	-	2017.11	출원
21	특허 (베트남)	METHOD FOR ENLA RGING CROSS-SECTI ON OF COLUMN TO REINFORCE COLUM N USING PRE-ASSEM BLED REBAR UNIT (1-2018-05328)	경기대학교 산학협력단 / 포엠 주식회사	Keun-H yeok Yang, Ju-Hyu n Mun, Yong-Je i Lee, Yong-H a Hwang, Sun-Ku Yoon, and Jae-Il Sim	베트남	-	2018.11	출원
22	특허	V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 구조 (10-2017-0148040)	포엠 주식회사	심재일	대한민국	-	2017.11	출원
23	특허	V형 띠철근을 이용한 기둥 보강 방법 (10-2017-0148041)	포엠 주식회사	심재일	대한민국	-	2017.11	출원

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	저자명 / 특허 등록 (출원) 인	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향 력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
24	특허	비부착 체결구조를 갖는 철근콘크리트 기둥의 내진보강 기술 (10-2018-0081846)	경기대학교 산학협력단 / 포엠 주식회사	양근혁, 문주현, 윤순구	대한민국	-	2018.07	출원
25	특허	기둥의 단면확대 보강을 위한 철근 선조립 유닛 공법 (10-2018-0122693)	경기대학교 산학협력단 / 포엠 주식회사	양근혁, 문주현, 이용재, 황용하, 윤순구, 심재일	대한민국	-	2018.10	출원
26	특허	철근 선조립 공법으로 제조되는 신축 기둥 또는 단면확대 보강 기둥에서 폐쇄형 외부 띠철근을 형성시키기 위한 V-클립 (10-2019-0037629)	경기대학교 산학협력단 / 포엠 주식회사	양근혁, 황용하, 윤순구	대한민국	-	2019.04	출원
27	특허	선조립 철근배근을 이용한 손상된 기둥의 단면유지 복구공법 (10-2019-0114663)	경기대학교 산학협력단 / 포엠 주식회사	양근혁, 황용하, 윤순구, 최용수	대한민국	-	2019.09	출원
28	소프트웨 어 등록	철근콘크리트 기둥의 단면확대 내진보강 설계 프로그램	경기대학교 산학협력단	양근혁	대한민국	-	2020.01	심의 중

라. 연구 결과

○ 과학·기술적 성과

- 기둥 내진보강을 위한 철근 선조립 기술의 독창적 선도
- 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 연성향상을 위한 원천기술 확보 및 국제기술 선도
- 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 성능기반 설계에 대한 설계기준 및 시방지침의 기초 자료 제공
- 국내의 내진설계기준의 강화에 따른 횡보강근의 의무적인 배근으로 콘크리트 내부의 철근의 과밀화를 방지할 수 있는 선도적인 기술 제공.
- 기둥의 성능기반 설계에 대한 전문인력 양성 및 연구 인프라 확대
- 내진보강의 성능평가, 설계, 시공관리 등 전반적인 매뉴얼 개발에 대한 기초자료 제공
- RC 기둥에서 구조적 성능, 시공성 및 경제성이 우수한 보조 띠철근 배근기술의 경쟁력 향상 및 설계 VE의 요소기술 제공
- 구조물 장수명화 등의 지속가능성 기술에 대한 기술의 확산

○ 사회·경제적 성과

- 제안 기술은 기존 보조띠철근 배근기술에 비해 약 12% 낮은 가격 경쟁력을 갖음. 제안 기술이 보조 횡보강근 시장의 10%만 진입하여도 연간 1,000억원 이상의 매출이 가능한데, V-타이의 구조적 우위, 시공성 우위 및 경제성 우위 그리고 건설 신기술 인증 등을 고려하면 기존 횡보강근 시장의 10% 이상 점유 가능.
- 국내 노후화 구조물의 보강 시장 및 증축 건축물에서 V-타이 활용한 기둥단면 확대공법이 10%만 차지하여도 약 4,000억원의 매출(시공비 포함)이 가능한데, V-타이의 구속효과에 의한 기둥 연성향상, 시공성 우위 및 경제성 우위 등을 고려하면 기존 기둥보강 시장의 10% 이상 점유 가능.
- 해외 기술 소개: 베트남 국립건설대학교 교수진 및 베트남 산업체와의 워크숍을 통해 기술 소개.
- 이라크, 쿠웨이트 및 베트남 등에 진출한 현대건설, 대림산업 등을 통하여 V-타이 제품의 수출 가능.
- 건축물 내진성능 향상을 통한 지진피해 감소 및 건축물 장수명화를 통한 환경성 향상.
- 고소작업에서도 주철근 배근상태에 관계없이 그리고 철근 선조립 유닛의 현장 배근으로 시공 최소화로 위험요소 낮아짐.

○ 정책적 성과

- 철근 선조립 설계기술에 대한 국제 경쟁력 제고 및 설계기준의 국내기술 반영.

- 선조립 철근에 대한 신산업 창출 및 현장작업 최소화를 통한 산업재해 감소.
- 기둥의 단면확대 및 단면유지 내진 보강공법에 대한 설계 및 검증체계에 대한 기초자료 제시.
- 건축물의 내진설계 및 보강에 대한 국가적 관리체계 대응 기술
- 건축물의 지진피해를 감소시킴으로서 사회적 비용 절감
- 콘크리트 구조의 요소기술 인프라 확장을 통한 시장의 활성화

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

(1) 목표

구분	핵심연구성과 (level1)	단위 성과 (level2)	총괄 질적 성과						해당 기관	예산 (백만)	총괄 양적 목표			
			질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중 치			목표치	가중치		
총괄 총괄	A	V-타이 를 적용한 단면확대 보강기동 의 내진성능 향상 기술	A-1	압축거동 향상	①	압축내력	기존공법의 110%	중심축하 중 실험	공인기관 성적서 및 보고서	1	주관 기관	350	특허: 출원 1 건 논문 등재: 1 건	5 2
					②	압축연성비	기존공법의 150%	중심축하 중 실험	공인기관 성적서 및 보고서	1				
			A-2	휨거동 향상	①	휨 내력	기존공법의 110%	중심축하 중 실험	공인기관 성적서 및 보고서	1	주관 기관	400	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문 등재: 1 건	5 5 2
					②	휨 변위 연성비	기존공법의 150%	중심축하 중 실험	공인기관 성적서 및 보고서	1				
			A-3	설계모델 제시	①	응력변환률 모델	1건	기술 문서	보고서 및 논문	1	위탁 기관	30		
					②	중환위 관계 모델	2건	기술 문서	보고서 및 논문	1		30		
			A-4	압축, 휨 거동 성능 분석	①	압축, 휨 내력 연성비	1건	기술 문서	보고서 및 논문	2	위탁 기관	50	논문 등재(SOE): 1 건	5
			A-5	설계 가이드라인 제시	①	성능기반 설계 가이드라인	1건	기술 문서	보고서 및 논문	2	위탁 기관	30	논문 등재: 1 건	2
			A-6	사업화 계획	①	사업계획 수립	1건	기술 문서	보고서 및 논문	2	주관 기관	40	사업화보고서: 1 건	5
			A-7	기술실시 계약 사업화 매출 계약	①	현장 상용화	2건	구매 확약서	구매확약 및 연장 적용사례	2	주관 기관	14	사업화매출계약: 2 건 (30,000,000원)	20
	A-8	기술인증	①	신기술인 증 (NET)	1건	기술 인증서	기술 인증서	2	주관 기관	35	기술인증: 1 건	15		
	B	손상된 기동에서 V-타이 를 적용한 단면유지 보강기동 의 내진성능 향상 기술	B-1	압축 거동 복구	①	압축 연성비	기존 기동의 압축 연성비 확보	중심축하 중 실험	공인기관 성적서 및 보고서	1	주관 위탁	180	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문 등재: 2 건 논문 등재(SOE): 1 건	5 5 4 2
			B-2	휨 거동 복구	①	휨 변위 연성비	기존 기동의 휨 연성비 확보	중심축하 중과 반복 휨 실험	공인기관 성적서 및 보고서	1	주관 위탁	180		
			B-3	사업화 매출 계약	①	현장 상용화	3건	구매 확약서	구매확약 및 연장 적용사례	2	주관 기관	7	사업화매출계약: 3 건 (40,000,000원)	18
	계								20	1,346	특허: 출원 3 건 등록 2 건 논문 등재(SOE): 2 건 논문 등재: 6 건 사업화보고서: 1 건 기술인증: 1 건 사업화매출계약: 5 건 (70,000,000원)	100		

(2)

목표 달성도

구분		목표치	달성치	달성도 (%)	비고 (미달성 사유)
압축거동 향상		압축 내력: 기존 공법의 110%	기존 공법의 172%	156	초과달성
		압축 연성비: 기존 공법의 150%	기존 공법의 163%	108	초과달성
휨 거동 향상		휨 내력: 기존 공법의 110%	기존 공법의 165%	150	초과달성
		휨 변위 연성비: 기존 공법의 150%	기존 공법의 160%	106	초과달성
압축 거동 복구		압축 연성비: 0.7 (기존 기둥 이상)	기존 기둥(0.78)의 254%	254	초과달성
휨 거동 복구		휨 변위 연성비: 2.0 (기존 기둥 이상)	기존 기둥(2.07)의 241%	241	초과달성
특허	출원	3 건	9 건	300	해외 3건/국내 6건
	등록	2 건	3 건	150	초과 달성
논문등재	국외(SCI(E))	2 건	6 건	300	3건 출판 완료 3건 출판 예정
	국내	6 건	9 건	150	초과달성
사업화보고서		1 건	1 건	100	달성
신기술인증		1 건	진행 중	현장 조사 완료	현장 조사 완료
사업화매출계약		5건 (70,000,000원)	121 건 (278,905,909원)	398	초과달성
신규고용인력		-	6명		초과달성

- 단면확대 보강에서 압축 내력 및 연성비의 달성도는 각각 156% 및 108%로 초과 달성하였으며, 휨 내력 및 휨 변위 연성비의 달성도는 각각 150% 및 106%로 초과달성하였음.
- 단면유지 보강에서 압축연성비의 달성도는 284%로 초과달성하였으며, 휨 변위 연성비의 달성도는 241%로 초과달성하였음.
- 특허 등록은 3건 완료되었으며, 연구진행중 출원된 특허는 연구종료 이후에도 등록 진행 예정임. 특허 출원은 해외 3건, 국내 6건이 완료되었음.
- 특허진행에 대한 예상 심사결과 발표 및 등록 일시는 다음과 같음. 본 기술의 특허 등록은 과제 종료 이후에도 지속적으로 진행할 예정임.

구분	출원번호	출원일	국문명칭	현재 상태	향후예상일정
국내	10-2018-0081846	2018.07.13	비부착 체결구조를 갖는 철근콘크리트 기둥의 내진보강 기술	출원	20.2월경 1차 심사결과 20년 하반기 등록
국내	10-2018-0122693	2018.10.15	기둥의 단면확대 보강을 위한 철근 선조립 유닛 공법	출원	20.3~4월 1차 심사결과 20년 하반기 등록
국내	10-2019-0037629	2019.04.01	철근 선조립 공법으로 제조되는 신축 기둥 또는 단면확대 보강 기둥에서 폐쇄형 외부 띠철근을 형성시키기 위한 V-클립	출원	20년 하반기 1차 심사결과 21년 상반기 등록
국내	10-2019-0114663	2019.09.18	선조립 철근배근을 이용한 손상된 기둥의 단면유지 복구공법	출원	21년 상반기 1차 심사결과 21년 하반기 등록
베트남	1-2018-05328	2018.11.28	기둥의 단면확대 보강을 위한 철근 선조립 유닛 공법	출원	21년 이후 1차 심사결과 21~22년 이후 등록

- 논문 성과는 국외(SCI(E)급) 3편이 출판 완료되었으며, 3편이 출판 단계임. 그리고 국내 9편이 출판 완료되었음.
- 신기술은 현재 방재신기술 인증을 진행하고 있으며, 현재 현장 조사를 마치고 2차 심사 진행 중임.
- 사업화매출계약은 121건으로 총 278,905,909원의 성과를 달성함.
- 기술의 사업화를 위해 고용한 신규인력은 총 6명임.
- 결과적으로 모든 연구성과 목표는 초과 달성하였다고 평가될 수 있음.
- 연구 목표 계획에서 고려되지 않았지만 개발 기술의 실용화를 위하여 단면확대 보강기둥의 연성기반 설계에 대해 소프트웨어 등록을 진행하고 있음.

구분	소프트웨어 명칭	저작권자명	저작자명	등록국가	창작일	비고
소프트웨어 등록	철근콘크리트 기둥의 단면확대 내진보강 설계 프로그램	경기대학교 산학협력단	양근혁	대한민국	2018.06	심의 중

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

- 제안 기술은 기존 건축물의 내진성능 향상에 대한 요소기술로서 기술의 수요처는 기존 건축물의 증축 및 내진보강을 위한 기둥 보강, 전단벽 경계요소 보강임. 이에 따라 연구결과의 학술적·실용적 활용측면은 다음과 같이 요약될 수 있음.

1) 학술적 측면

- 실험체크기의 기둥을 모사한 기둥의 압축 및 휨 거동 분석 기초자료
- 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 성능기반 설계 가이드라인
- 보강용 자기충전 콘크리트의 기초자료
- 선조립 철근을 이용한 기둥의 압축 및 휨 거동에 대한 학술자료 제시

2) 실용화 측면

- V-타이를 포함한 철근 선조립 유닛 기반 단면확대 및 단면유지 보강 공법의 배근 방법 및 설계의 기초자료
 - 철근 선조립 유닛 공법 또는 유리섬유 망을 이용한 단면 보강 시 현장 공정의 최소화 및 기술의 선진화
- 특히, 구조물의 내진설계 및 보강에 대한 관련법규들의 강화로 제안 기술인 V-타이를 포함한 철근 선조립 유닛 설계기술의 활용도는 지속적으로 상승할 것으로 예상됨.
- 본 연구결과를 활용하기 위해 필요한 향후조치는 다음과 같음.
 - 단면확대 및 단면유지 보강 기둥의 중심축하중 및 휨 거동 실험 결과물의 논문발표 및 홍보
 - 각종 기술세미나와 기술대전을 통한 기술홍보
 - 안전성 및 기술성 검증을 공인 기술인증 추진
 - 국내외 특허 보완 및 해외 기술수출 지속적 추진

붙임. 참고문헌

- (1) ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2011, 503p.
- (2) A.K. Samani, M.M. Attard, A stress-Strain Model for Uniaxial and Confined Concrete under Compression, *Engineering Structures*, 41, 2012, pp.335-349
- (3) Architectural Institute of Korea, Korea Building Code, Korea: Architectural Institute of Korea, 2016, 644 p.
- (4) ASTM, ASTM C469/C469M: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, 5p
- (5) Bazant, Z.P., Size Effect in Tensile and Compressive Quasibrittle Failure, *Proc. Int. Workshop, Size Effect in Concrete Structures*, Japan, 1993, pp.161-180
- (6) Binici, B., An Analytical Model for Stress-Strain Behavior of Confined Concrete, *Engineering Structures*, 27, 2005, pp.1040-1051
- (7) Comité Euro-International Du Béton, CEB-FIP Model Code for Concrete Structure 1991, Thomas Telford, 1991, 437 p.
- (8) Dong, J.F., Wang, Q.Y., Guan Z.W., Material Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete Made with Recycled Earthquake Waste, *Journal of Construction and Building Materials*, 130, 2017, pp.241-251
- (9) Giuseppe, C., Giovanni, M., Compressive Behavior of Short High-strength Concrete Columns, *Engineering Structures*, 32(9), 2010, pp.2755-2766
- (10) Hillerborg, A., Fracture Mechanics Concepts Applied to Moment Capacity and Rotational Concrete and Rock, Vienna, 1988, pp.233-240
- (11) Hong, K.N., Han, S.H., Yi, S.T., High-Strength Concrete Columns Confined by Low-Volumetric-Ratio Lateral Ties. *Engineering Structures*, 28(9), 2006, pp.1346-1353
- (12) Hong, K.N., Shin, J.S., Han, S.H., Seo, D.W., Ahn, K.G., Mechanical Properties of Very Rapid Hardening Polymer Mortar for Concrete Repair, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 15(4), 2014, pp.31-37
- (13) Jeong, H.C., Cha, S.W., Kim, I.H., Characteristics of the Stress-strain Relationship of Square Section Concrete Confined by Hoop Reinforcement with Cross-ties, *Earthquake Engineering Journal*, 14(3), 2010, pp.39-48
- (14) J.G.M. Van Mier, Strain-softening of Concrete under Multi-axial Loading Conditions, Doctoral Thesis, Eindhoven University of Technology, 1984
- (15) Jung, J.S., Seismic Performance Evaluation of Medium and Low-Rise R/C Buildings Strengthened by RCSF-Method [dissertation], Chonnam National University, 2015, 87 p.
- (16) Kang, S.M., and Park, H.G., Moment-Curvature Relationship of Structural Walls with

- Confined Boundary Element, Journal of the Korea Concrete Institute, 15(2), 2003, pp.281-288
- (17) Kim, B.J., Jin, I.G., Choi, H.B., Kang, K.I., The Effect of Form Oils on Bond Characteristics of Reinforced Concrete Members, Journal of Architectural Institute of Korea, 23(12), 2007, pp.89-96
 - (18) Kim, J.K., Han, B.S., and Shin, S.W., Ductility Capacity of Ultra-high Strength R/C Tied Columns Considering the Axial Load Ratio and Configuration of Transverse Reinforcement, Journal of the Architectural Institute of Korea, 25(1), 2009, pp.3-11
 - (19) Kim, S.H., Hwang, J.P., The CO₂ Emission in the Process of Cement Manufacture Depending on CaO Content, Korea Concrete Institute, 25(4), 2013, pp.365-370
 - (20) Kim, W.G., Properties of Polymer-Modified Mortars Using a VA/E/MMA Terpolymer Powder, Journal of the Architectural Institute of Korea, 26(7), 2010, pp.111-118
 - (21) Kim, W.W., and Yang, K.H., Effect of Bending Angle and Embedment Length on the Bond Characteristics of V-Shaped Tie Reinforcement, Journal of the Korea Institute Building Construction, 15(5), 2015, pp.465-471
 - (22) Kim, W.W., Mun, J.H., and Yang, K.H., Simplified Model for the Stress-Strain Relationship of Confined Concrete, Architectural Institute of Korea, 16(5), 2012, pp.1-10
 - (23) Korean Industrial Standards, Standard Test Method for Comparing Concrete on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel, Korea: Korean Standards Association, 2015, 9 p.
 - (24) KS F 2403, Standard test method of making and curing concrete specimens
 - (25) KS F 2405, Method of test for compressive strength of concrete
 - (26) KS F 2408, Method of test for flexural strength of concrete
 - (27) KS F 2424, Testing method for length change of mortar and concrete
 - (28) KS F 2594, Standard test method for slump flow of fresh concrete
 - (29) KS F 4042, Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure
 - (30) KS L 5105, Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortar
 - (31) Lee, Y.H., An Experimental Study on the Strength and Ductility of High-Strength Concrete Columns Confined by Lateral Ties under Axial Loads, Chugang University, Doctor degree, 2001, 144p
 - (32) Lee, Y.H., Chung, B.H., and Chung, H.S., A Study on Confinement Effectiveness of Lateral Ties in RC Columns under Axial Loads, Journal of the Architectural Institute of Korea, 16(2), 2000, pp.3-11
 - (33) Lim, J.C. and Ozbakkaloglu, T., Stress-Strain Model for Normal-and Light-Weight Concretes under Uniaxial and Triaxial Compression, Construction and Building Materials, 71, 2014, pp.492-509
 - (34) Liu Jin, Min Du, Dong Li, Xiuli Du, Haibin Xu, Effects of Cross Section Size and Transverse Rebar on the Behavior of Short Squared RC Columns under Axial

- Compression, Engineering Structures, 142, 2017, pp.223-239
- (35) Markeset, G. and Hillerborg, A., Softening of Concrete in Compression-Localization and Size Effects, Cement and Concrete Research, 25(4), 1995, pp.702-708
 - (36) Markeset, G., Size Effect on Stress-Strain Relationship of Concrete in Compression, Third Int. Symp. on Utilization of HSC, Norway, 1993, pp.1146-1153
 - (37) Moon, C.H., A Stress-strain Model of High of High-strength Concrete Confined with High-strength Transverse Reinforcement, Sungkyunkwan University, Master degree, 2011, 104 pp
 - (38) Oh, S.G., Park, J.H., Experiment on the Chloride Ion Migration Coefficient of PCM and Numerical Analysis on the Chloride Ion Diffusion after Patching Repair, KJournal of the Architectural Institute of Korea, 24(4), 2008, pp.117-124
 - (39) Park, R., Priestley, M.H.N., and Gill, W.D., Ductility of Square-Confined Concrete Columns, Journal of Structural Division, ASCE, 108(ST4), 1982, pp.929-950
 - (40) Park, S.Y., and Lee, Y.H., A Clip Confinement Effect on the Behavior of Concrete Column subjected to High Axial and Reversed Cyclic Lateral Loads, Journal of the Architectural Institute of Korea, 24(10), 2008, pp.19-28
 - (41) Paulay, T., and Priestley, M.J.N., Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, Wiley Interscience Publication, New Jersey, USA, 1992, 768 p.
 - (42) Razvi, S., and Saatcioglu, M., Confinement Model for High-Strength Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, 125(3), 1999, pp.281-289
 - (43) Sakino, K., Sun, Y., Stress-Strain Curve of concrete Confined by Rectilinear Hoop, Structure and Construction Engineering, 461(8), 1994, pp.94-103
 - (44) Seo, S.Y., and Ham, J.H., Experimental Study on the Confinement Effect of Headed Cross Tie in RC Column Subjected to Cycling Horizontal Load, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 16(5), 2012, pp.1-10
 - (45) Sim, J.I., The Influence of Unit Weight of Concrete on Size Effect of Compressive Strength, Direct Tensile Strength and Fracture Energy, Doctoral Thesis, Kyonggi University, 203 p.
 - (46) Sim, J.I., Yang, K.H., and Byun, H.Y., Flexural Capacity and Ductility of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Unbonded Wire Rope Units, Journal of the Korea Concrete Institute, 21(2), 2009, pp.209-216
 - (47) Sim, J.I., Yang, K.H., Jeon, J.K, Influence of Aggregate Size on the Compressive Size Effect According to Different Concrete Types, Construction and Building Materials, 44, 2013, pp.716-725
 - (48) Sun, C.G., Seismological and Geotechnical Characteristics of the 12 September 2016 Gyeongju Earthquake, The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers, 65(4), 2017, pp.14-19
 - (49) Testuya Suzuki, and Masayasu Ohtsu, Damage Estimation of Concrete Canal due to Earthquake Effects by Acoustic Emission Method, Journal of Construction and

Building Materials, 67, 2014, pp.186-191

- (50) Troung, G.T., Kim, J.C., Choi, K.K., Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns Retrofitted by Various Methods, Engineering Structures, 134, 2017, pp.217-235
- (51) Vonk, R.A., A Micromechanical Investigation of Concrete Loaded in Compression, Heron 38, 3, 1993
- (52) Wallace, J.W., Seismic Design of RC Structural Walls. Part I: New Code Format, Journal of Structural Engineering, ASCE, 12(1), 1995, pp.88-101
- (53) Wang, D.Y., Wang, Z.Y., Smith S.T., Yu, T., Size Effect on Axial Stress-Strain Behavior of CFRP-Confined Square Concrete Columns, Construction and Building Materials, 118, 2016, pp.116-126
- (54) Watson, S., and Park, R., Simulated Seismic Load tests on Reinforce Concrete Columns, Journal of Structural Engineering, ASCE, 120(6), 1994, pp.1825-1849
- (55) Yang, K.H., Ashour, A.F., Lee, E.T., Axial Behaviour of Reinforced Concrete Short Columns Strengthened with Wire Rope and T-shaped Steel Plate Units, Concrete Research Magazine, 61(2), 2008, pp.143-154
- (56) Yang, K.H., Development of a Simplified V-Shaped Ties for Seismic Design of Reinforced Concrete Columns, Technical Report, Kyonggi University, 2015
- (57) Yang, K.H., Lateral Confinement Effectiveness of V-Shaped Supplementary Ties in RC Columns Subjected to Axial Compressive Loads, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 32(3), 2016, pp.11-18
- (58) Yang, K.H., Mun, J.H., Cho, M.S., and Kang, T.H., K., Stress-Strain Model for Various Unconfined Concretes in Compression, ACI Structural Journal, 111(4), 2014, pp.819-826
- (59) Yang, K.H., Mun, J.H., Cho, M.S., Kang, Thomas, H.K., Stress-Strain Model for Various Unconfined Concrete in Compression, ACI Structural Journal, 111(4), 2014, pp.819-826
- (60) Yong, Y.K., Nour, M.G., Nawy, E.G., Behavior of Laterally Confined High-Strength Concrete Under Axial Loads, The Structural Engineering, 114(2), 1988, pp.332-351
- (61) Yun, S.H., Kang, Y.S., Park, D.H., Constitutive Model of Laterally Confined High Strength Concrete, The Korea Concrete Institute Journal, 22(4), 2010, pp.481-488
- (62) Yun, S.H., Park, D.H., Modified constitutive Models of Confined High Strength Concrete, The Concrete Institute Journal, 19(2), 2007, pp.421-424

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.