

최종보고서(일반과제용)								보안등급			
								일반[✓], 보안[]			
중정기관양행명	국토교통부			사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업				
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				내역사업명		국토교통기술혁신연구 (기반연구 유형)				
공고번호	공고-제00호			연구개발과제번호		21CTAP-C157662-02					
국가과학기술 표준분류	EI1102	90%	EI0406	10%							
연구주제	(대분류)재난재해예방 등 안전기술 개발 (중분류)예방형 재난대응 시스템 (소분류)저비용 내진보강 공법										
연구개발과제명	국문	신개념 자기프리스트레싱(Self-Prestressing) 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 성능향상 및 고효율·저비용·장수명 내진보강기술 개발									
	영문	Development of the high efficiency, low cost, and high durability based seismic strengthening methods using the new concept of self-prestressing system									
주관연구기관	기관명	뉴콘텍이앤씨(주)			사업자등록번호	215-87-32309					
	주소	(우 06373)서울 강남구 자곡로 174-10, 622호			법인등록번호	110111-4192566					
주관연구책임자	성명	이기중			직위	책임급(소장)					
	연락처	직장전화	031-790-4430			휴대전화	010-5331-6112				
		전자우편	woojoone@naver.com			국가연구자번호	11134896				
연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(21개월)									
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(9개월)									
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그외기관등의지원금 자립단체기타()				합계		연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물		합계
총계	369,000	12,300	110,700	-	-	-	-	381,300	110,700	492,000	-
1년차	159,000	5,300	47,700	-	-	-	-	164,300	47,700	212,000	-
2년차	210,000	7,000	63,000	-	-	-	-	217,000	63,000	280,000	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편		비고				
	역할	기관유형									
공동연구기관	(주)한국방재안전기술	심재일	대표이사	010-9456-4427	safety-k@naver.com		책임급	중소기업			
위탁연구기관	-	-	-	-	-		-	-			
연구기관 외 기관	-	-	-	-	-		-	-			
연구개발담당자 실무담당자	성명	우병철			직위	상무					
	연락처	직장전화	031-790-4430			휴대전화	010-8449-9204				
		전자우편	nct999@hanmail.net			국가연구자번호	11889914				

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 03월 18일

주관연구개발책임자 : 이 기 중 (직인)

주관연구개발기관의 장 : 뉴콘텍이앤씨(주) 전 종 철 (직인)

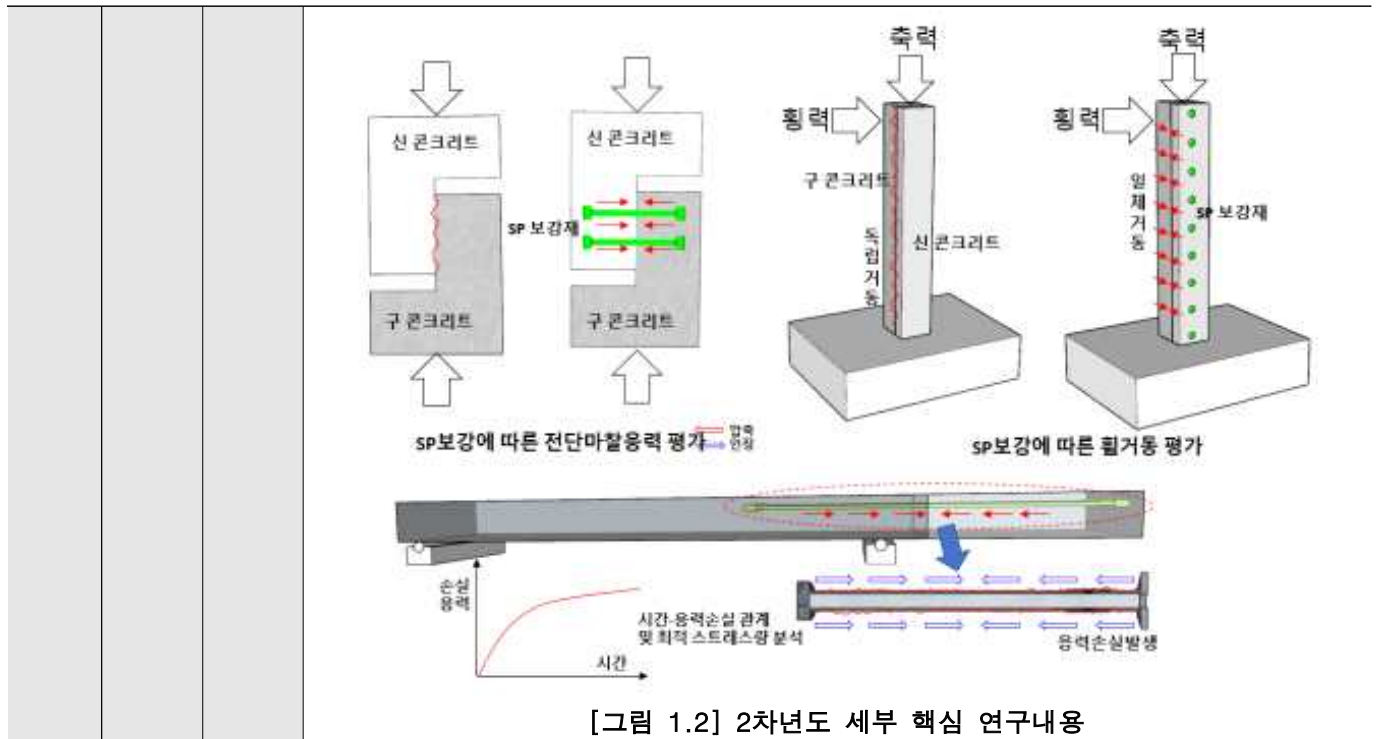
공동연구개발기관의 장 : (주)한국방재안전기술 심 재 일 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명	국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		21CTAP-C157662-02	
내역사업명	국토교통기술혁신연구					
국가과학기술표준분류	EI1102	90%	EI0406	10%		
연구주제	(대분류)재난재해예방 등 안전기술 개발 (중분류)예방형 재난대응 시스템 (소분류)저비용 내진보강 공법					
연구개발과제명	신개념 자기프리스트레싱(Self-Prestressing) 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 성능향상 및 고효율·저비용·장수명 내진보강기술 개발					
전체 연구개발기간	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(21개월)					
총 연구개발비	총 492,000천원 (정부지원연구개발비 : 369,000천원, 기관부담연구개발비 : 123,000천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)					
연구개발단계	기초[✓] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(2) 종료시점 목표(6)	
연구개발과제 유형	지정공모 [] 자유공모 [✓]					
연구개발과제 특성	기반연구					
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		본 연구의 최종목표는 신개념 Self-Prestressing 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 성능향상 및 고효율·저비용·장수명 내진보강기술의 개발임.			
	전체 내용		1) 작용-반작용에 의해 프리스트레싱이 도입되는 SP보강재 개발(Type I·II) ◦ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 SP보강재 설계 Type I (엔드홀더 Type) ◦ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 SP보강재 설계 Type II(커플러 Type) ◦ 실험을 통한 SP보강재의 Self-Prestressing mechanism 및 역학적 특성 정립 ◦ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 기반 SP보강재가 적용된 부재의 전단내력, 휨 내력 및 휨강성 평가 2) 정착력 향상을 위한 확공용 언더컷 드릴 비트 개발 ◦ 정착력을 향상시키기 위한 천공 장비 및 형태에 대한 아이디어 도출 ◦ 앵커의 정착력 향상을 위한 확공용 언더컷 드릴 비트의 시공성 및 내구성 평가 ◦ 확공용 드릴비트를 사용하여 구성된 앵커체의 인발성능평가 3) SP 보강재를 이용한 기본설계 및 스마트 내진보강 시스템 개발 ◦ 교량 및 확장 형태에 따른 설계 및 시공상세 개발 ◦ 구조물의 내진보강 조건 및 형상에 따른 시공상세 개발 ◦ 경제성 및 시공성을 고려한 합리적인 설계 및 시공절차 제시			
	1년차	목표	- 주관연구기관[뉴콘텍이앤씨(주)]: 전문분야(SP보강재 개발)에 따라 핵심개발목표를 2가지 분야로 구분하여 수행할 계획임. ※ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 SP보강재 설계 Type I (엔드홀더 Type) ※ SP보강재의 Self-Prestressing mechanism 검토를 위한 실험 및 역학적 특성 정립 ※ 확공용 언더컷 드릴 비트 설계 - 공동연구기관[(주)한국방재안전기술]: 전문분야(SP보강재 개발)에 따라 핵심개발목표를 2가지 분야로 구분하여 수행할 계획임. ※ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 SP보강재 설계 Type II(커플러 Type) ※ SP보강재의 Self-Prestressing mechanism 검토를 위한 실험 및 역학적 특성 정립.			
		내용	- 연구목표 달성을 위한 세부 핵심 연구내용(그림 1.1) · 제시된 연구목표 달성을 위한 목표 달성 접근법 측면에서 각 핵심성과별 연구 목표에 따라 3파트의 전문 분야로 세분화 하여 연구를 수행하며, 계획된 1차 년도 연구 내용은 다음과 같음. ※ Part A : 작용-반작용 기반 Self-Prestressing 도입장치(SP보강재) Type I 설계 ※ Part B : 작용-반작용 기반 Self-Prestressing 도입장치(SP보강재) Type II 설계			

		※ Part C : SP보강재의 Self-Prestressing mechanism 분석 및 역학적 특성 정립 Self-Prestressing 도입 장치 개발 엔드폴더 삽입 및 계면 마찰력 증대를 위한 드릴 비트 개발 Self-Prestressing 도입장치 Type I Self-Prestressing 도입장치 Type II sp보강재의 재료적 특성평가 sp보강재의 역학적 특성 Self-Prestressing 시 강관-강봉의 내력 관계 [그림 1.1] 1차년도 세부 핵심 연구내용
	목표	– 주관연구기관[뉴콘텍이앤씨(주)]: 1차년도와 연계한 전문분야별 핵심목표는 다음과 같음. ※ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 기반 SP보강재(Type I)가 적용된 부재의 전단내력 평가 ※ SP보강재(Type I·II)의 응력손실 평가 ※ SP보강재 기반 교량확장을 위한 스마트 내진보강 시스템 개발 – 공동연구기관[(주)한국방재안전기술]: 1차년도와 연계한 전문분야별 핵심목표는 다음과 같음. ※ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 기반 SP보강재(Type I)가 적용된 부재의 휨내력 및 휨강성 평가 ※ SP보강재 기반 건축물 보강용 스마트 내진보강 시스템 개발
2년차	내용	– 연구목표 달성을 위한 세부 핵심 연구내용(그림 1.2) · 제시된 연구목표 달성을 위한 목표 달성 접근법 측면에서 각 핵심성과별 연구 목표에 따라 3파트의 전문 분야로 세분화 하여 연구를 수행하며, 계획된 2차년도 연구내용은 다음과 같음. ※ Part A : SP보강재가 적용된 구조물의 역학적 거동평가(Mock-up test) ※ Part B : 확공용 언더컷 드릴 비트의 시작품 제작 ※ Part C : 교량확장 및 건축물 보강용 스마트 내진보강 시스템 개발 설계 가이드라인 시공 가이드라인



[그림 1.2] 2차년도 세부 핵심 연구내용

연구개발성과												
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	1) 활용계획 ◦ 기존 구조물의 증·개축 및 내진성능 향상을 위한 보강재료 분야 ◦ 기존 토목구조물 및 건축물의 내력향상 및 내진보강 분야 ◦ 기존 콘크리트 구조물의 내구성 및 수밀성 향상을 위한 보수·보강 분야 2) 기대효과 ◦ 신개념 보수·보강재 기술의 경쟁력 제고 및 국내 원천기술 확보 ◦ 기존 기술의 문제점을 해결 및 보강 성능확보에 대한 신뢰성 향상 ◦ 내진보강 및 내구성 등의 성능향상에 따른 구조물의 장수명화(유지관리 비용 절감) ◦ 간편한 방식으로 프리스트레싱이 가능하여 좁은 장소 등 다양한 현장적용 가능 ◦ 구조물의 보수보강 또는 내진보강 시장적용을 통해 연각 약 100억 사업화 가능 ◦ 토목·건축 시공기술 및 보수·보강 성능향상 기술에 대한 전문인력 양성효과											
연구개발성과의 비공여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록· 기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	1	2										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장 소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	프리스트레스		내진보강		자기 프리스트레싱		프리텐션		포스트 텐션			
영문핵심어 (5개 이내)	Prestress		Seismic strengthening		Self-prestressing		Pre-tension		Post-tension			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	3
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	7
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	94
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	95
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	96
7. 참고 문헌	98

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

○ 작용-반작용에 의해 프리스트레싱이 도입되는 SP보강재 개발(Type I·II)

- 본 제안 기술의 핵심은 강관에 작용된 인장력이 강봉에 작용하는 압축력에 의해 반작용에 의해 정확히 전달하는 SP보강재의 개발임.
- 현장에서 제작된 상기 SP보강재를 설치한 후, 압압편의 강봉을 릴리스하면 자동으로 강관에 상존하던 인장력이 압축력으로 변환하면서 주변 구조물에 프리스트레스가 도입된 시스템 개발임
- 본 제안 기술의 핵심은 강관에 작용된 인장력을 강봉에 압축력으로 정확히 전달하는 SP보강재의 개발임. SP보강재는 외측의 강관과 내측의 강봉으로 구성되며, 강관과 강봉의 마찰저항을 최소화하여 힘의 손실이 발생되지 않도록 하는 것이 중요함. 특히, 강관에 작용된 인장력과 강봉에 반작용된 압축력의 상관관계의 제시가 필요함. 본 기술은 커플러 및 엔드홀더 방식에 따라 2개의 타입으로 구분하여 개발.

○ 정착력 향상을 위한 확공용 언더컷 드릴 비트 개발

- 본 제안 기술의 핵심은 일차 천공후 엔드홀더 설치를 위한 확공용 비트의 개발임. 확공용 비트는 앵커의 구조적 성능을 최대로 발휘될 수 있도록 천공홀의 단부를 정확히 확공하는 것이 중요함.

○ SP 보강재를 이용한 기본설계 및 스마트 내진보강 시스템 개발

- 본 제안 기술의 핵심은 개발된 제품을 이용한 설계 및 시공 가이드라인의 개발임. 설계 및 시공 가이드라인의 개발을 위해서는 프로토타입에서의 다양한 실험이 필요함. 또한 실험결과들의 재현성과 검증의 절차가 매우 중요함.
-

2) 연구개발과제의 연차별 목표

○ 1차년도

- 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 SP보강재 설계 Type I (엔드홀더 Type)
 - : 기존 SP보강재에 대한 선행연구 조사 및 분석
 - : SP보강재에 대한 설계기준의 조사 및 분석
 - : 요소 기술에 대한 이론적 정립 및 기존연구 분석을 통한 Self-Prestressing 기반 SP보강재 설계
- SP보강재의 Self-Prestressing mechanism 검토를 위한 실험 및 역학적 특성 정립
 - : SP보강재의 물리·역학적 특성평가
 - : 중공강관 및 강봉의 역학적 특성평가
 - : 중공강관과 강봉이 적용된 SP보강재의 주요상세개발
 - : 기존 내진보강재 및 프리스트레스트 공법에 대한 선행연구 조사 및 분석
- 확공용 언더컷 드릴 비트 설계
 - : 정착력을 향상시키기 위한 천공 장비 및 형태에 대한 아이디어 도출
 - : 기존 앵커의 정착력에 선행연구 조사 및 분석
 - : 정착력을 향상시키기 위한 최적의 천공 장비 및 형태의 결정

○ 2차년도

- 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 기반 SP보강재(Type I)가 적용된 부재의 전단내력 평가
 - : SP보강재가 적용된 구조체의 전단거동 평가를 위한 주요 변수 설정
 - : SP보강재가 적용된 신·구 콘크리트 구조체의 전단거동 특성 평가
 - : SP보강재의 역학적 특성 및 구조적 거동특성 정립
-

- SP보강재(Type I·II)의 응력손실 평가

- 확공용 언더컷 드릴비트 시작품제작

: 천공장비 및 천공형태에 따른 부착거동 특성평가

: 천공장비 및 천공형태에 따른 시공성 및 장비의 내구도 평가

- SP보강재 기반 교량확장을 위한 스마트 내진보강 시스템 개발

: 교량 및 확장 형태에 따른 설계 및 시공상세 개발

: 현장 조건 및 구조적 거동평가에 기반 한 합리적인 설계 및 시공 절차 제시

- 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 기반 SP보강재(Type I)가 적용된 부재의 휨내력 및 휨강성 평가

: SP보강재가 적용된 구조체의 휨내력 및 휨강성 평가를 위한 주요 변수 설정

: SP보강재가 적용된 신·구 콘크리트 구조체의 휨 거동 특성 평가

- SP보강재 기반 건축물 보강용 스마트 내진보강 시스템 개발

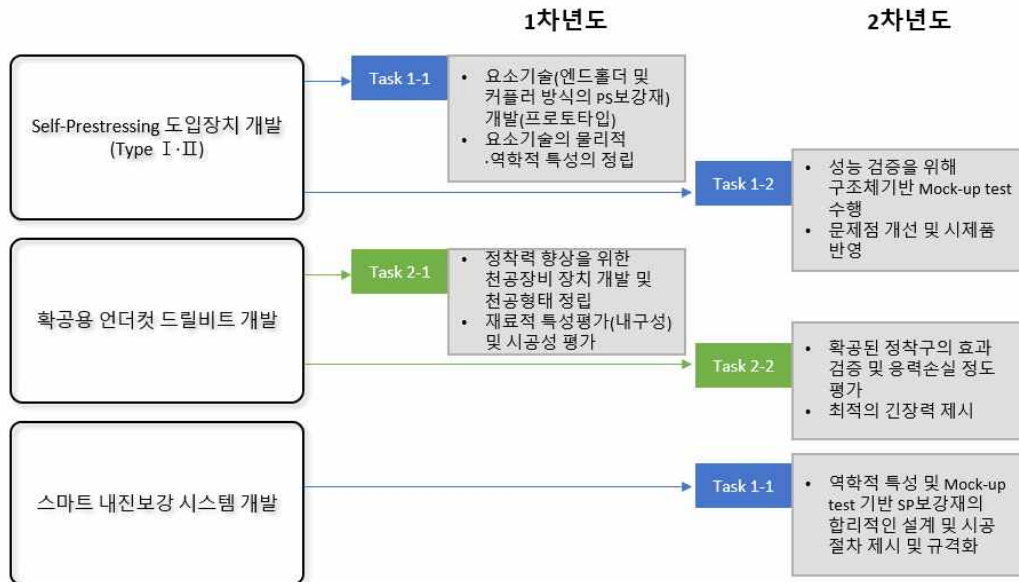
: 현장 조건 및 보강형상에 따른 설계 및 시공상세 개발

: 현장 조건 및 구조적 거동평가에 기반 한 합리적인 설계 및 시공 절차 제시

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차~ 2년차 (2020~ 2021)	신개념 자기프리스트레싱 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 성능향상 및 고효율 저비용 장수명 내진보강 기술 개발	확공용 언더컷 드릴비트 개발	유사기술 없음	신개념 SP 보강재 시스템 개발	-	20
	확공용 언더컷 드릴 비트 개발	엔드홀드 타입의 SP보강재 개발	유사기술 없음	20mm이상 30mm이상	-	20
		교량 구조물의 스마트 내진보강 시스템 개발	유사기술 없음	500MPa이상 200GPa이상 100KN이상 50KN이상	-	20
	엔드홀드 타입 Self-prestressing 보강재 개발	커플러 타입의 SP보강재 개발	유사기술 없음	500MPa이상 200GPa이상 100KN이상 50KN이상	-	20
	커플러 타입 Self-prestressing 보강재 개발	소규모 건축물의 스마트 내진보강 시스템 개발	유사기술 없음	보강재로 보강된 건축물의 성능평가(휨내력 110% 이상, 휨강성 110% 이상)	-	20

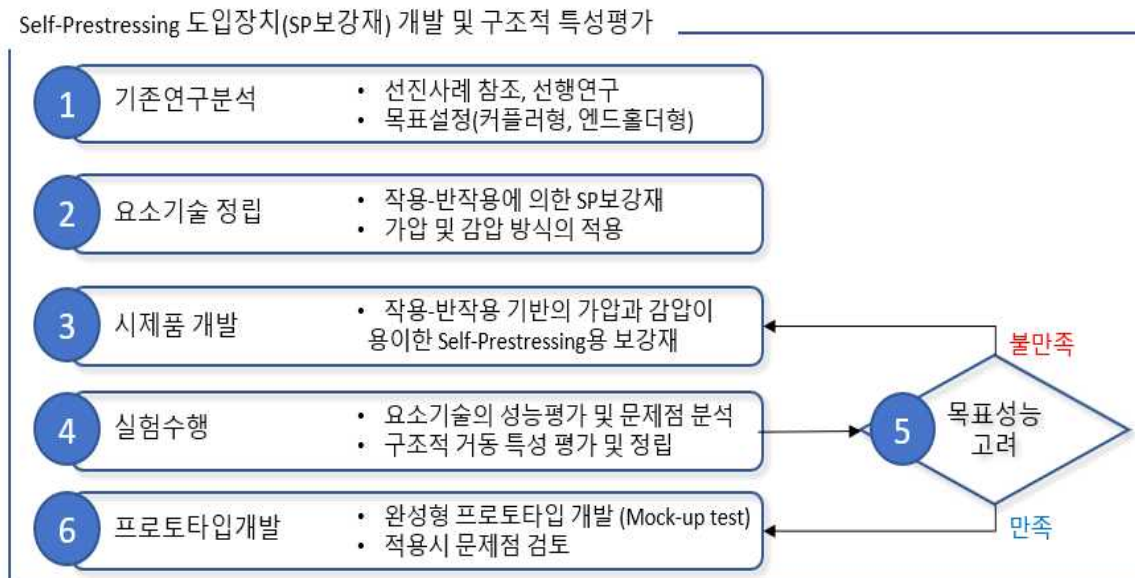
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구 로드맵



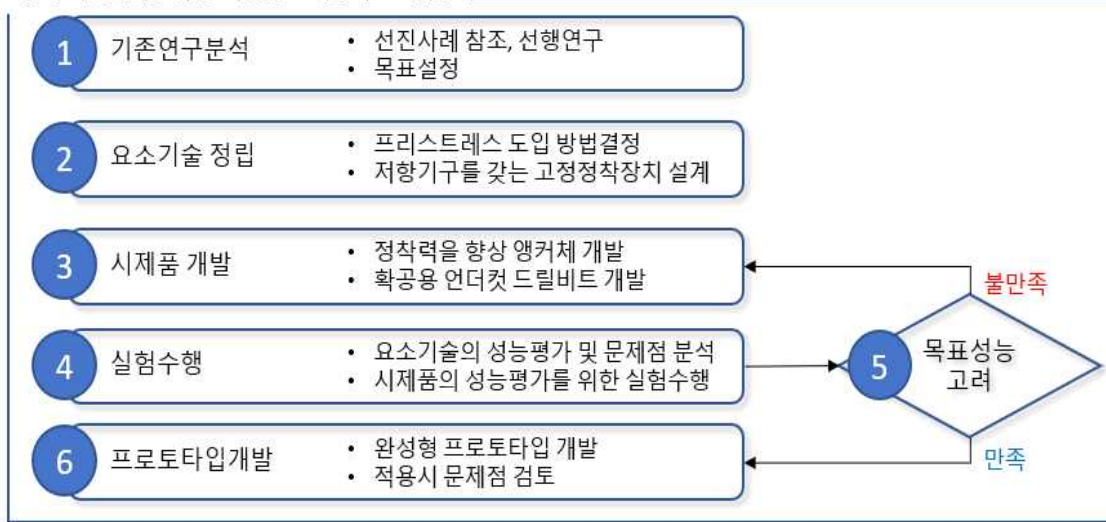
2) 세부 연구 목표별 흐름도

① 세부연구목표: Self-Prestressing 도입장치(SP보강재) 개발 및 구조적 특성 정립



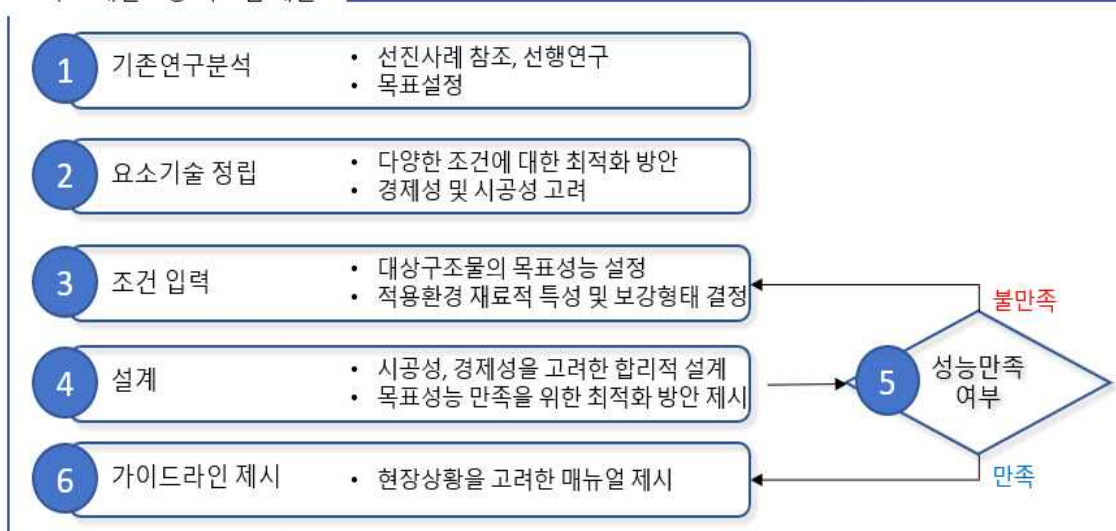
② 세부연구목표: 정착력 향상을 위한 확공용 드릴비트 장비 개발

정착력 향상을 위한 확공용 드릴 비트 개발



③ 세부연구목표: 스마트 내진보강 시스템 제시(가이드라인 제시)

스마트 내진보강 시스템 개발



3-2. 연구개발 추진체계

- 기술적 성능향상 및 구조적 안전성을 확보하기 위해 연구개발의 경험이 풍부한 (주)한국방재안전기술이 공동연구기관으로 참여함.
- 연구는 각 핵심기술의 개발에 대한 전문성 및 숙련도를 향상시키기 위해 2개의 기관으로 공동연구체계를 구성하여 각 핵심요소의 개발을 전담하여 추진함.

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	신개념 Self-Prestressing 시스템을 이용한 콘크리트 구조물의 성능향상 및 고효율·저비용 장수명 보강기술 개발	주관연구책임자 (이기중)외 총 6명

기관별 참여 현황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
주관 연구기관	1	3
공동 연구기관	1	4

뉴콘텍이앤씨(주)
작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 엔드홀더형 SP 보강재 개발 및 스마트 내진보강 시스템 정립
주관연구책임자(이기중)외 2명
담당기술개발내용
■ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 SP보강재 설계 Type I (엔드홀더 Type) ■ SP보강재의 Self-Prestressing mechanism 검토를 위한 실험 및 역학적 특성 정립 ■ 확공용 언더컷 드릴 비트 설계 및 성능평가 ■ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 기반 SP보강재(Type I)가 적용된 부재의 전단내력 평가 ■ SP보강재 기반 교량확장을 위한 스마트 내진보강 시스템 개발

(주)한국방재안전기술
작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 커플러형 SP 보강재 개발 및 스마트 내진보강 시스템 정립
연구책임자(심재일)외 2명
담당기술개발내용
■ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 도입장치 기반 SP보강재 설계 Type II (커플러 Type) ■ SP보강재의 Self-Prestressing mechanism 검토를 위한 실험 및 역학적 특성 정립 ■ 작용-반작용 연동 Self-Prestressing 기반 SP보강재(Type II)가 적용된 부재의 휨내력 및 휨강성 평가 ■ SP보강재 기반 건축물 보강용 스마트 내진보강 시스템 개발

3-3. 추진일정

1차년도															
번호	연구내용	추진 일정									연구 개발비 (단위:천원)	책임자 (소속기관)			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9					
1	SP보강재 Type I 개발												34,800	이기중 (주관)	
2	SP보강재 Type II 개발												34,800	심재일 (공동)	
3	SP보강재 Type I 의 역학적 특성 평가												50,000	이기중 (주관)	
4	SP보강재 Type II 의 역학적 특성평가												50,000	심재일 (공동)	
5	언더컷 비트 개발												42,400	이기중 (주관)	
2차년도															
번호	연구내용	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연구 개발비 (단위:천원)	책임자 (소속기관)
1	SP보강 구조체의 전단 특성평가													72,000	이기중 (주관)
2	SP보강 구조체의 휨 거동 특성평가													72,000	심재일 (공동)
3	언더컷 드릴비트 시작품 제작													56,000	이기중 (주관)
4	교량구조물의 스마트 내진보강 시스템 개발													40,000	이기중 (주관)
5	소규모 건축물의 스마트 내진보강 시스템 개발													40,000	심재일 (공동)

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 1차년도 연구개발 내용

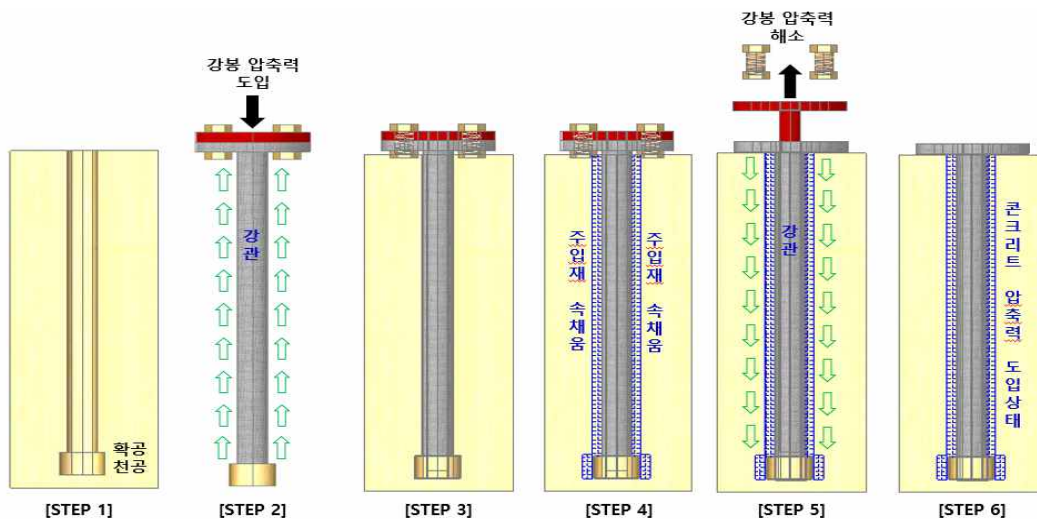
단위기술 1: SP보강재 개발 (Type I·II)

- SP 보강재 Type I 개발
 - 아래 그림은 SP 보강재 각부 명칭을 보여주고 있으며, SP 보강재는 강봉과 강관, 강봉과 강관을 결합 고정하는 고정 나사, 그리고 확공 홀에 삽입 설치되는 엔드홀더로 구성되어 있음.



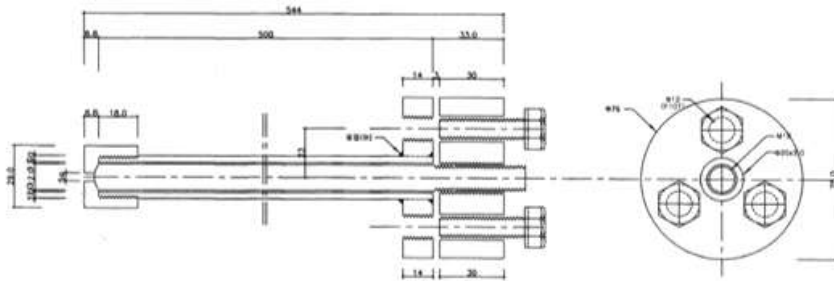
[Type I - SP 보강재 각부 명칭]

- Type I - SP 보강재의 구조적 메카니즘은 다음과 같다.
 - Step 1 : 콘크리트 확공 천공
 - Step 2 : SP 보강재 강봉에 압축력을 도입하면, SP보강재 강관은 인장을 받는 상태가 됨.
 - Step 3 : 압축력이 도입된 SP보강재(강관 인장상태)를 확공 천공된 Hole에 삽입 설치
 - Step 4 : 확공 천공 홀에 주입재 속 채움
 - Step 5 : 고정나사를 풀어서 강봉의 압축력을 해방시키면 강관은 인장상태에서 압축상태로 전환됨.
 - Step 6 : 최종적으로 SP 보강재 강관이 압축상태로 전환되면서 콘크리트에 압축력이 도입되는 구조적 메카니즘을 가지고 있음.



[Type I - SP 보강재 메카니즘]

- Type I - SP 보강재 설계 관련 SP 보강재 시스템 상 강관이 콘크리트속에 매입되어 콘크리트에 압축력을 전달하는 역할을 하므로, 보다 큰 프리스트레스 힘을 도입하기 위해서는 강관의 인장강도가 무엇보다 중요함.
- 이를 위해 기존 SCM440 재료로는 인장강도에 한계가 있어서 SCM440 재료에 열처리를 하여 설계 제작하였으며, 아래 그림은 이러한 요구사항을 만족시켜 제작된 장치 시제품을 보여 주고 있음.



[Type I - SP 보강재 장치 시제품]

- 강봉에 압축력을, 강관에는 인장력을 도입하기 위한 힘 도입 장치 시제품을 설계 제작하였으며 아래 그림에서 제일 좌측 그림은 SP 보강재 프리스트레스 힘 도입 장치 시제품을, 중간은 힘 도입 유압잭, 제일 우측 그림은 실제 Type I - SP 보강재에 힘을 도입하는 장면을 보여 주고 있음.



[Type I - SP 보강재 프리스트레스 힘 도입 장치 시제품]

1 보강재 설계

- SP 보강재는 힘의 평형조건에 따라 내부 강봉의 압축력이 외부 강관에 인장력으로 작용하게 되는 메커니즘임.
- SP보강재의 설계를 위해서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 함.

Step 1 : 강관내에 강봉의 삽입과 강봉에 압축력을 가하기 위해서는 강관의 한단이 개방된 상태가 되어야 함.

Step 2 : 동시에 SP보강재의 형상은 강봉의 압축력을 강관에 전달하기 위해 강관의 양 단이 폐쇄된 상태가 되어야 함.

Step 3 : 강관의 인장력 해소를 통한 프리스트레스 도입을 위해 내부 강봉의 압축력 해소를 위한 강관의 단부 개방이 필요함.

Step 4 : 따라서, 강관의 단부에 볼트-너트 체결 방식을 통해 사용에 따라 개방 및 폐쇄 구조가 가능하도록 설계되어야 함.

Step 5 : 또한, 강봉의 압축력을 외부 강관에 인장력으로 충분히 전달하기 위해서 내부 강봉은 강관의 면적과 동일 또는 그 이상으로 설계되어야 함.

- 위와 같은 사항을 고려하여 SP보강재가 콘크리트 부재 내에서 프리스트레스를 도입하기 위한 원리 및 순서는 다음과 같음).

Step 1 : SP내부 강봉을 압축(또는 외부 강관을 인장)하여 강관에 인장력을 전달.

Step 2 : 강관에 인장력이 전달된 상태로 볼트를 체결하여 고정.

Step 3 : 고정된(강관이 긴장된 상태) SP 보강재를 콘크리트에 매립.

Step 4 : 콘크리트 양생 후 체결된 볼트를 해체하여 강봉의 압축력 해소를 통해 강관의 인장력 해소.

Step 5 : 강관의 인장력 해소 시 부착된 콘크리트 면에 인장력 전달을 통해 콘크리트에 압축력 전달(콘크리트에 프리스트레스 도입).

- 이 연구에서는 SP보강재에 프리스트레스를 도입하기 위해 강관을 직접 인장시키는 인장도입형 방법과, 내부 강봉을 압축하여 강관을 인장시키는 압축도입형 방법으로 각각 SP 보강재를 설계하였음.



[SP보강재의 프리스트레스 도입 메커니즘]

1) 강재의 선정

- PS 보강재의 구성요소인 강관과 강봉의 경제성을 고려하였을 때, 현재 국내에서 유통되고 있는 강관 및 강봉을 기반으로 SP 보강재의 설계가 요구됨.
- 강봉의 경우 현재 국내에서 수급이 가능한 가장 고강도의 강재는 인장강도가 800~900 MPa 수준인 SCM 440 임.
- 강관의 경우 현재 국내에서 수급이 가능한 가장 고강도 소재는 인장강도가 400~500 MPa 수준인 SM45C 강재 기반의 강관임.
- SM45C의 경우 열처리를 통해 약 700 MPa 수준까지 인장강도를 향상 시킬 수 있지만 열처리 시 변형 및 가공이 어렵다는 단점이 있음.
- 따라서 이 연구에서는 사용성, 경제성 및 재료의 수급성 등을 고려하였을 때 SP 보강재에 적용이 적합한 강재는 SCM 440으로 판단되며, 이를 기반으로 SP 보강재의 설계 및 역학적 특성평가를 수행하였음.

- 규격 외로 국내 P사에서 항복강도 800 MPa 이상의 강관을 제조 및 유통하고 있으며, 이 연구에서는 추후 경제성을 고려하여 P사의 강관(기성제품)을 기반으로 SP 보강재를 추가적으로 설계 및 실험에 적용하였음.

1. 재료명

관련규격				형상	열처리	사이즈	시편방향	용도
KS	JIS	AISI	Others	R	* 참고	Φ32	L	기계 및 자동차 부품
SM45C	S35C	1045	-					

* 열처리 조건 : NO 880℃, Q/T 816℃(오일)/640℃

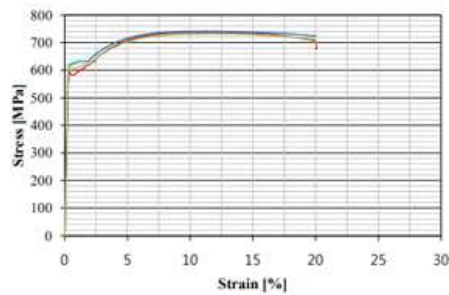
2. 화학적 성분

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	-	-
0.440	0.243	0.675	0.0204	0.0190	0.051	0.094	0.013	0.165	0.011	-	-

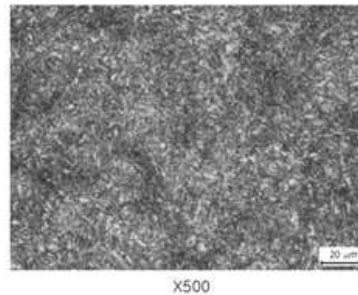
3. 기계적 특성

경도 [HFB]	항복강도 [MPa]	인장강도 [MPa]	연신율 (G.L. : 20mm) [%]
83.3	537	737	20

4. 인장곡선(응력-변형률 곡선)



5. 조직



[SM45C의 주요 화학·역학적 특성]

1. 재료명

관련규격				형상	열처리	사이즈	시편방향	용도
KS	JIS	AISI	Others	R	* 참고	Φ45	L	고압용기, 기계 및 자동차 부품
SCM440	SCM440	4140	-					

* 열처리 조건 : As-rolled

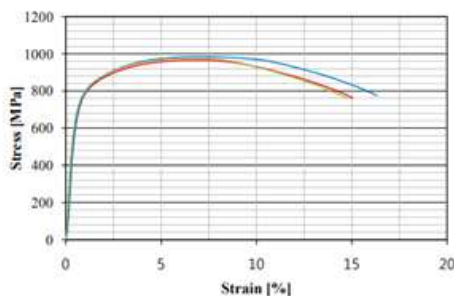
2. 화학적 성분

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	-	-
0.409	0.233	0.802	0.0151	0.0199	0.140	1.021	0.189	0.181	0.0129	-	-

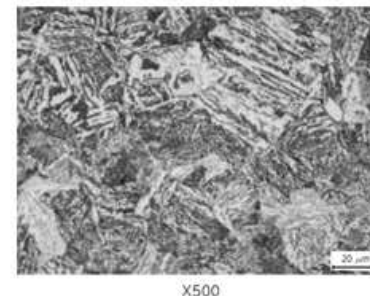
3. 기계적 특성

경도 [HFB]	항복강도 [MPa]	인장강도 [MPa]	연신율 (G.L. : 35mm) [%]
84.1	684	975	15

4. 인장곡선(응력-변형률 곡선)



5. 조직



[SCM 440의 주요 화학·역학적 특성]

<P사 강재의 화학·역학적 특성>

화학적 성분 (wt.%)					역학적 성질		
C	Si	Mn	P	S	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)
0.18 이하	0.40 이하	2.00 이하	0.03 이하	0.03 이하	800 이상	860 이상	10 이상

2) 연결상세 설계

- 볼트-너트 체결 방식 기반으로 강관 단부의 개방 및 폐쇄 구조가 가능하도록 하기 위해서는 강관의 단부를 볼트로 하고, 이를 커버하여 강관 단부를 폐쇄할 수 있는 너트부로 구분하여 설계가 요구됨.
- 볼트와 너트의 설계는 아래의 절차에 따라 설계 될 수 있으며, 이 연구에서는 커플러 연결 방식을 통해 SP 보강재의 길이가 자유롭게 조절 가능하도록 설계하였음.

3) 볼트설계

- 볼트부의 설계는 다음식과 같이 결정 될 수 있음.

① 축방향으로 하중을 받는 경우

$$\sigma = \frac{W}{\pi d_1^2} = \frac{4W}{\pi d_1^2}, \quad d_1^2 = \frac{4W}{\pi \sigma_a}, \quad d_1 = \sqrt{\frac{4W}{\pi \sigma_a}}$$

- 여기서 W , σ_a , d_1 및 d 는 각각 축하중 (N), 볼트항복강도 (N/mm^2), 나사 골지름 (mm), 나사 바깥지름 (mm)을 의미함.

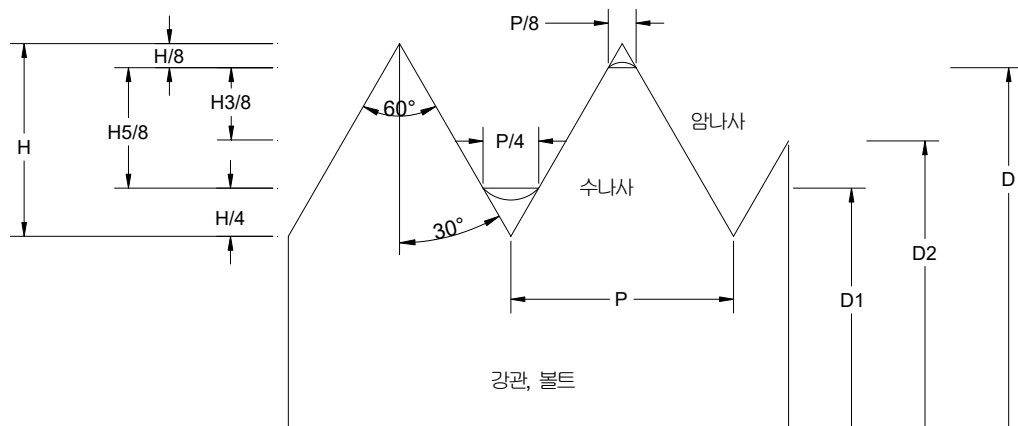
- 나사가 M5 이상에서 볼트지름은 다음식과 같이 결정될 수 있음.

$$d_1 = 0.8d = \sqrt{\frac{4W}{\pi \sigma_a}}, \quad d = \sqrt{\frac{4W}{0.8^2 \pi \sigma_a}} \approx \sqrt{\frac{2W}{\sigma_a}}$$

② 축방향과 비틀림 모멘트를 동시에 받는 경우

$$W = W + \frac{1}{3}W = \frac{4W}{3}, \quad d = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{4W}{3}}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{8W}{3\sigma_a}}$$

엔드너트, 커플러



[볼트-너트의 구조상세]

4) 너트설계

- 운동용 너트부의 설계는 다음식과 같이 결정 될 수 있음.

$$H = n \cdot p = \frac{P \cdot p}{\pi (d^2 - d_1^2)} = \frac{P \cdot p}{\pi \cdot d_2 \cdot h \cdot p_a}$$

- 여기서 H , n , p 및 p_a 는 각각 너트의 높이, 나사산 수, 피치 및 허용 접촉압력을 의미함.

- 체결용 너트의 경우설계 시 강의 경우 H는 볼트의 지름 이상 확보하여야 함.

5) 볼트 및 너트 사이즈 결정

- 위의 설계방식에 따라 다양한 강재의 강도 및 프리스트레스력에 따라 볼트 및 너트를 설계할 수 있음.
- 다음 표에는 항복강도가 각각 600(SCM 440) 및 800(P800)MPa인 강재에서 도입되는 프리스트레스

- 력이 50, 100 및 150 kN 일 때 요구되는 d 및 d_1 의 최소 요구 사이즈를 나타내었음.
- 너트의 경우 H는 볼트의 지름 이상으로 확보하여야 함.

<항복강도에 따른 d_1 및 d 의 요구 사이즈>

도입 하중(kN)	항복강도 600 MPa(SCM 440)		항복강도 800 MPa(P800)	
	d (mm)	d_1 (mm)	d (mm)	d_1 (mm)
50	10.3	14.9	8.9	12.9
100	14.5	21.1	12.6	18.3
150	15.9	25.8	15.5	22.4

6) 인장도입형 SP 보강재 설계

- 인장도입형 SP 보강재의 구성은 인장력을 받는 강관, 내부에서 압축력을 받는 강봉, 강관 단부의 폐쇄구조를 위한 엔드홀더와 볼트 및 강관의 길이 조절 및 볼트 체결을 위한 커플러로 구성됨.
- 각 구성 요소는 연결 상세의 볼트 및 너트 설계 절차에 따라 항복강도 대비 70%의 프리스트레스력 도입 시 약 100 kN의 힘을 받을 수 있도록 설계하였음.
- 설계절차에 따라 결정된 각 구성요소의 치수는 인장력을 받는 강관의 외경 25.4 mm, 강관의 두께 3.6 mm, 내부 강봉의 지름 16 mm, 엔드홀더 및 커플러의 외경 32 mm, 볼트의 외경 25.4 mm 임.
- 강관에 직접 인장력을 도입하기 위한 장치의 하중도입 상세 절차는 다음과 같음.

Step 1 : 중공형 오일잭 및 하중계에 SP 보강재를 삽입

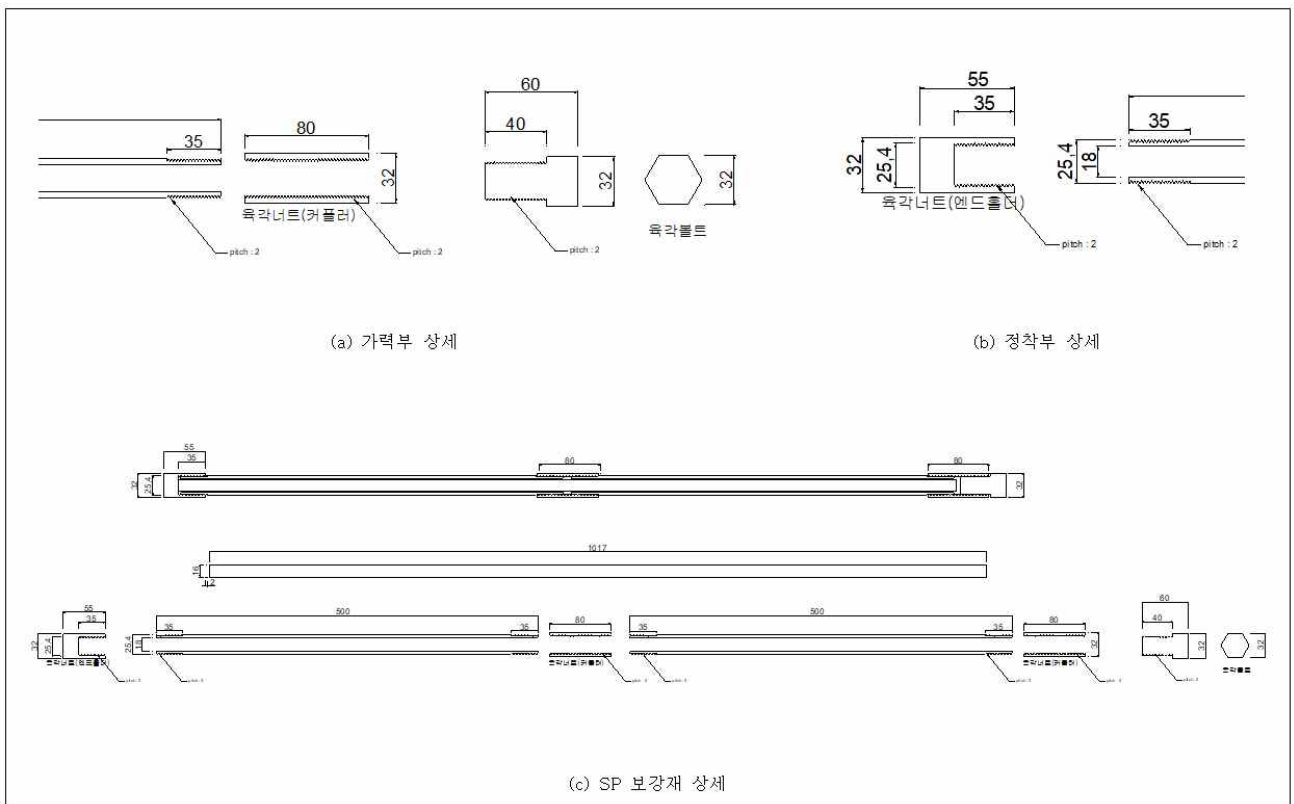
Step 2 : 커플러 사이 또는 커플러와 엔드홀더 사이에 지그를 체결

Step 3 : 중공형 오일잭을 이용하여 강관을 긴장시킴

Step 4 : 강봉 삽입 및 볼트 체결

7) 압축도입형 SP 보강재 설계

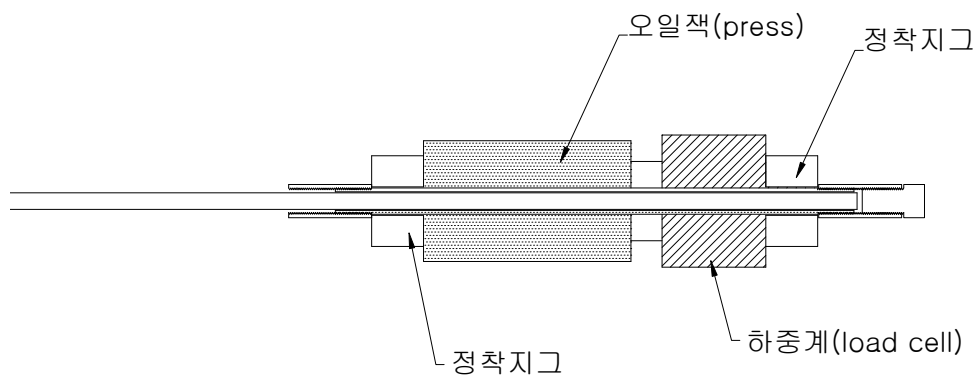
- 압축도입형 SP 보강재의 구성은 인장력을 받는 강관, 내부에서 압축력을 받는 강봉, 강봉의 힘을 볼트에 전달하기 위한 캡, 강관 단부의 폐쇄구조를 위한 엔드홀더, 볼트를 관통하여 강봉에 압축력을 전달할 수 있는 중공형 볼트와 볼트 및 강관의 길이 조절 및 볼트 체결을 위한 커플러로 구성됨.
- 각 구성 요소는 볼트 및 너트 설계 절차에 따라 항복강도 대비 70%의 프리스트레스력 도입시 약 100 kN의 힘을 받을 수 있도록 설계하였음.
- 설계절차에 따라 결정된 각 구성요소의 치수는 강관의 외경 25.4 mm, 강관의 두께 3.6 mm, 내부 강봉의 지름 16 mm, 엔드홀더 및 커플러의 외경 32 mm, 중공볼트의 외경 25.4 mm, 중공볼트의 내경 13 mm 임.



[인장도입형 SP보강재 설계 상세]



[인장도입형 SP 보강재 시작품]



[인장도입형 SP 보강재의 인장장치 상세]



[인장도입형 SP 보강재의 인장장치 상세(계속)]

- 강봉에 압축력을 도입하기 위한 장치 및 압축력 도입 상세 절차는 다음과 같음.

Step 1 : 강관 내부에 캡이 부착된 강봉을 삽입 후 중공볼트로 가체결

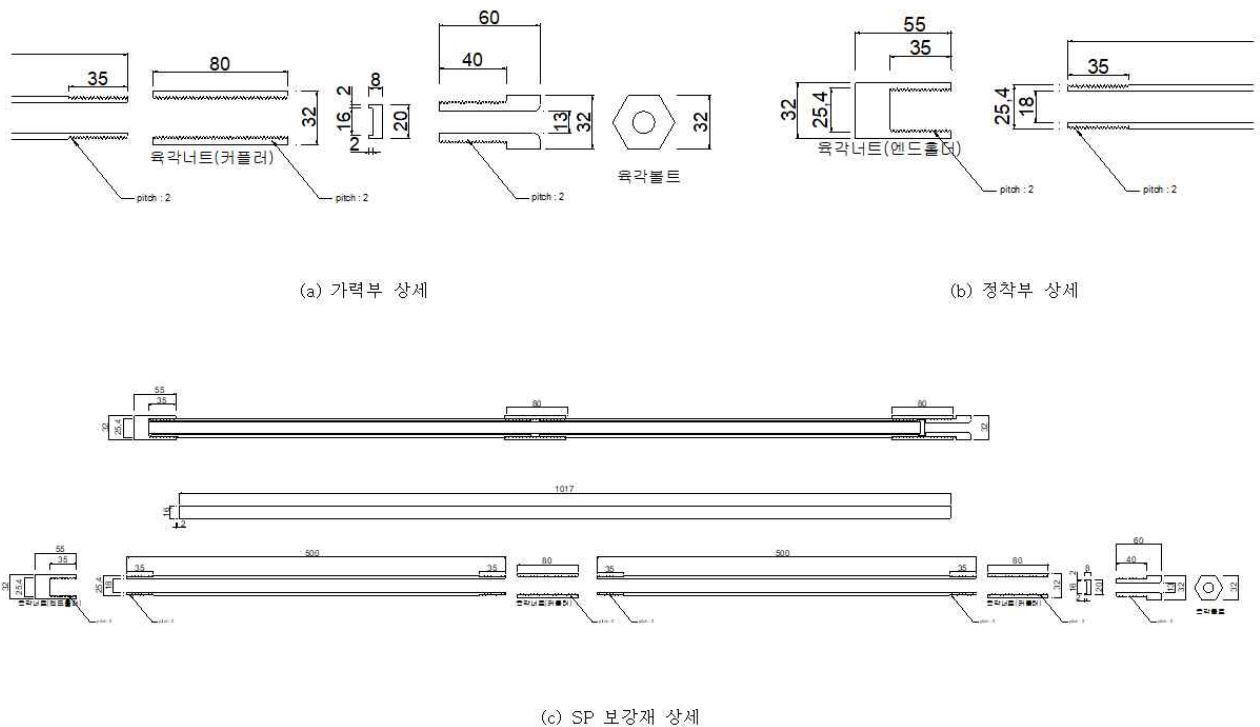
Step 2 : SP 보강재 상부 커플러 하단에 정착 지그 체결

Step 3 : 지그가 체결된 SP 보강재를 하중계와 오일잭이 설치된 압축 프레임에 셋팅

Step 4 : 중공 볼트를 관통하여 강봉에 압축력을 전달할 직경 22 mm의 T형 압축핀 삽입

Step 5 : 오일잭을 이용하여 강봉 압축

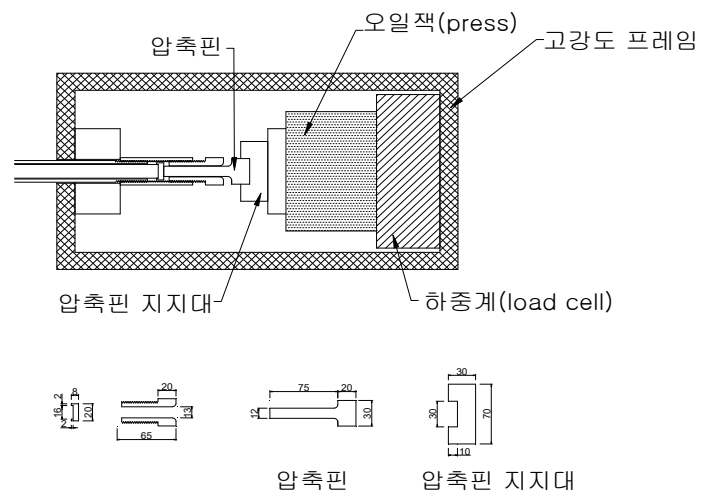
Step 6 : 볼트 체결



[압축도입형 SP보강재 설계 상세]



[인장 도입형 SP 보강재 시작품]



[압축도입형 SP 보강재의 압축장치 상세]

단위기술 2: SP보강재 역학적 특성 평가 및 정립

[Type I SP 보강재 역학적 특성 평가]

• 인장강도시험

- 아래 그림에서 보는 바와 같이 SP 보강재 인장강도시험에 사용된 시험편은 비 열처리된 시험편과 열처리된 시험편 2가지를 테스트하였음.
- 시험 수행은 KS B 0801규정에 따라 시험을 수행하였으며, 시험에 사용된 시편 및 시험장면은 아래 그림에서 보여주고 있음.



[SP 보강재(Type I) 인장강도 시험편]



[SP 보강재 인장강도 시험 장면]

시험 성적서

접수번호 : KCTA-2020-0377
 의뢰인 : 전 총 청
 업체명 : 유온텍이앤씨(주)
 주소 : 서울시 강남구 자곡로 174-10, 622호(자곡동)
 시험명 : 기계구조용 탄소강

접수일자 : 2020년 06월 26일
 상장서이동목적 : 연구과제제출물

- 결 과 -

연번	구분	시험 항목	단위	시험 방법	시험 검사결과
1	기계구조용 탄소강	인장강도	N/mm ²	KS B 0802:2003	709
		항복강도	N/mm ²		424
		연신율	%		37
		경도	-	KS B 0805:2000	217 HBW 10/3000
	화학성분	C	%	KS D 1662:2007	0.47
		Si	%		0.25
		Mn	%		0.75
		P	%		0.011
		S	%		0.012
2	기계구조용 탄소강 (열처리)	인장강도	N/mm ²	KS B 0802:2003	952
		항복강도	N/mm ²		707
		연신율	%		29
		경도	-	KS B 0805:2000	269 HBW 10/3000
	화학성분	C	%	KS D 1662:2007	0.46
		Si	%		0.25
		Mn	%		0.75
		P	%		0.011
		S	%		0.012

작성 자	김영진	기술책임자	성명	박준형
성명	김영진	성명	박준형	

1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험 및 시료명대로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
 2. 이 성적서는 총보, 사진, 광과 불 소용돌이로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서는 원본(제발행부 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본(지정본은 제외)은 효력이 없습니다.

2020년 07월 07일

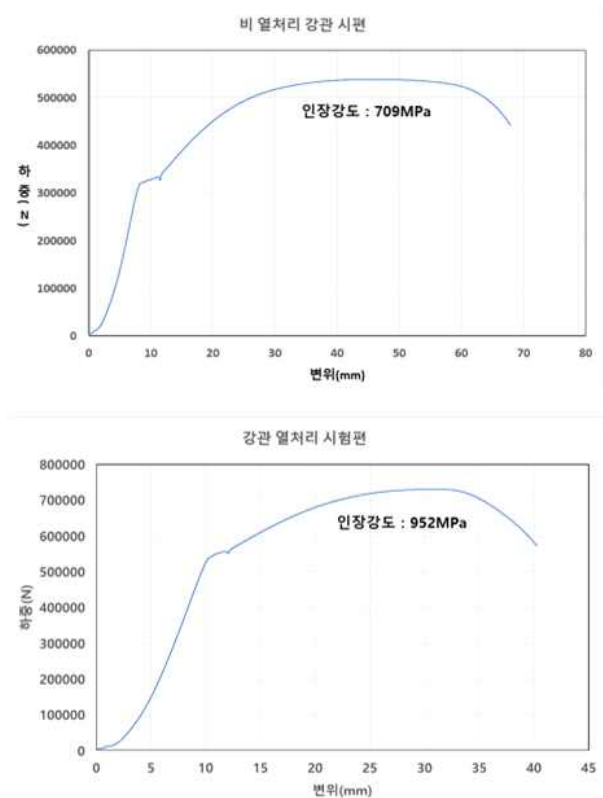
케이씨티 시험 연구

전화번호 : 041)583-7890 041)583-7891
 주 소 : 충청남도 천안시 동남구 대성로 1898-35

KCT-KQP-15-F02

총 1 페이지 중 1 페이지

[SP 보강재(Type I) 인장강도 시험성적서]

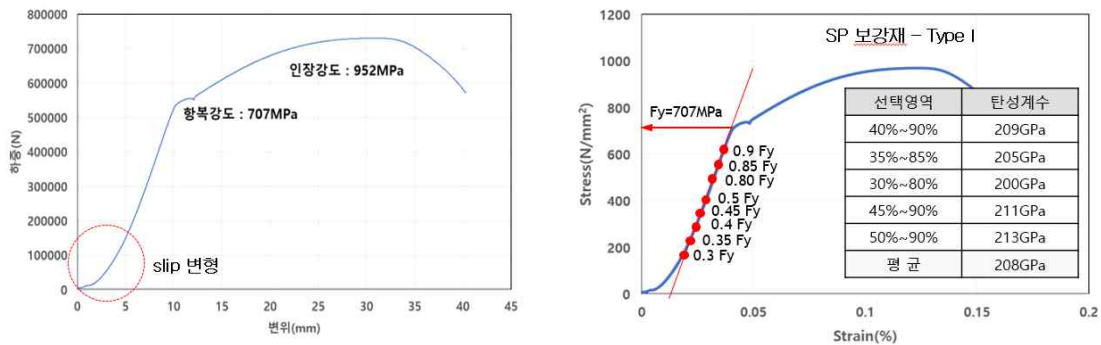


[인장강도 시험 결과 분석]

- 시험의 신뢰도를 검증받기 위해 시험은 재료 시험 관련 국가 공인기관인 KCT시험연구원에 의뢰하여 인장강도시험을 수행하였으며, KCT시험연구원에서 발행된 공인 시험성적서는 위의 그림에서 보여주고 있음.
- 강관에 대한 인장강도 시험결과 비 열처리 시험편은 709MPa, 열처리 시험편은 952MPa로써 이는 당초 목표인 500MPa과 비교하였을 때 최대 90% 증가한 수치임. 따라서 당해연도 연구목표를 약 2배 가까이 초과 달성하였음.

• 탄성계수

- SP보강재의 탄성계수 분석은 열처리된 시험편에 대하여 수행하였으며, 아래 그림에서 보는 바와 같이 강재의 인장강도 시험으로부터 얻어진 하중-변위 그래프를 응력-변형률 그래프로 바꾸어서 분석하였으며, 초기에 완전히 시험편이 고정되지 않아서 발생하는 slip 변형을 고려하여 분석하였음.
- 분석 방법은 아래 그림에서 보는 바와 같이 항복강도 대비 영역을 5가지 경우로 선택하여 평균값으로 분석하였으며, 분석결과 평균 탄성계수 값이 208GPa로써 당초 연구 목표로 제시했던 200GPa과는 4% 증가한 수치이나 거의 유사한 값을 보였다고 판단됨.



[SP 보강재(Type I) 탄성계수 분석]

• 인발 강도 시험

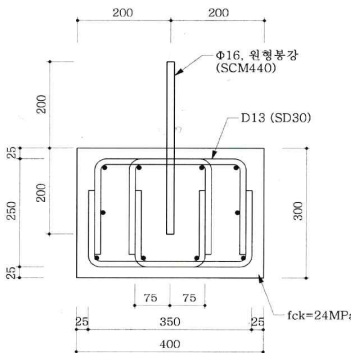
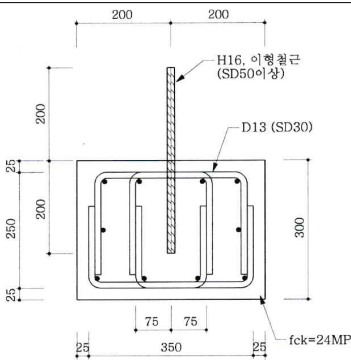
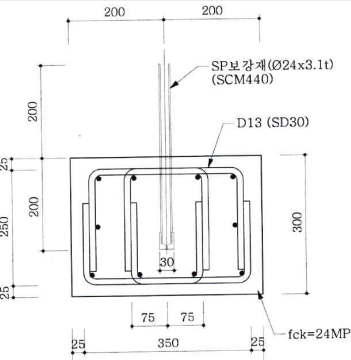
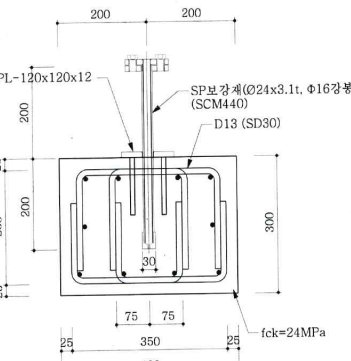
- 인발강도 시험을 위해 시험편설계는 강재 인장강도($\phi N_{ca} \geq N_{ua}$, $N_{sa} = n \times A_{sa,N} \times f_{uta}$), 뺨힘 강도($\phi N_{pn} \geq N_{ua}$, $N_{pn} = \phi_{c,p} \times N_p$), 측면파열강도($\phi N_{sb} \geq N_{ua}$, $N_{sb} = 13 C_{a1} \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f_{ck}}$), 콘크리트 파괴강도($\phi N_{cb} \geq N_{ua}$, $N_{cb} = \frac{A_{nc}}{A_{nco}} \times \phi_{ed}, N \times \phi_c, N \times \phi_{cp}, N \times N_b$)에 대하여 각각 검토하여 시험편을 설계하였으며, 시험편의 파괴 검토 강도 값은 아래 표에 나타내었으며, 이를 토대로 설계된 시험체 단면은 아래 그림에 나타내었음

[시험편의 파괴 검토 강도값]

구 분	fck	강재인장강도	뺨힘강도	측면파열강도	콘크리트파괴강도
		Nsa	Npn	Nsb	Ncb
Φ16	30	172.86	67.54	151.42	145.24
	24	172.86	54.03	180.58	129.90
SP강재	30	173.72	237.48	378.60	145.24
	24	173.72	189.99	338.63	129.90
SP보강재	30	173.72	284.98	414.74	159.09
	24	173.72	227.98	370.95	142.30

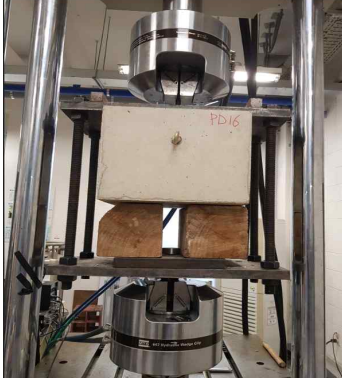
- 시험체는 총 4개를 설계 제작하였으며, 원형철근 16mm(PR16), 이형철근(PD16), SP강재(PNP16), SP보강재(PSP16)로 인발시험을 수행하였으며, 실험의 최종 목적은 성과점검기준표상에 제시한 SP보강재의 인발강도가 100kN을 초과하는지 검토하는 것이며, 아울러 각각의 시험체 비교를 통해 SP보강재의 프리스트레스 힘 도입 효과를 아울러 비교 평가하고자 하였음.

- 아래 그림은 Type I - SP 보강재의 인발시험 계획 및 시험체 제작 장면을 보여 주고 있음.

시험체 명	시험체 설명	도면	시험체 제작
PR16	원형봉강 ($\Phi 16$ -SCM440)	 (a) 단면도	 [시험체 조립]
PD16	이형철근 (H16-SD50 이상)	 (a) 단면도	 [시험체 타설]
PNP16	SP 보강재 ($\Phi 24$ -압축 력 미도입)	 (a) 단면도	 [시험체 다짐]
PSP16	SP 보강재 ($\Phi 24$ -압축 력 도입)	 (a) 단면도	 [시험체 양생]

[Type I - SP 보강재의 인발시험 계획 및 시험체 제작]

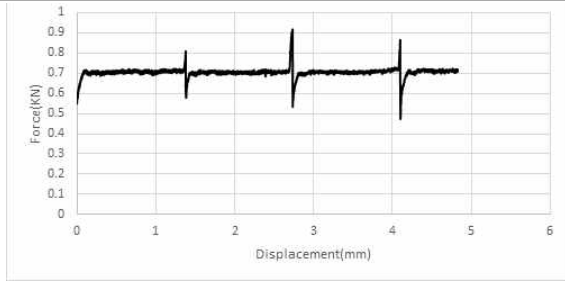
- 시험의 신뢰도를 검증받기 위해 시험은 재료 시험 관련 국가 공인기관인 첨단건설재료시험센터(대구 계명 대학교 내)에 의뢰하여 인발 강도 시험을 수행하였음.
- 아래 그림은 시험전과 시험후를 비교한 시험 전경을 보여주고 있음.

구 분	시험 전	시험 후
PR16		
PD16		
PNP16		
PSP16		

[Type I - SP 보강재의 인발 시험 전경]

- 아래 그림은 Type I - SP 보강재의 시험 결과를 보여 주고 있으며, PR시험체는 시험을 시작하자마자 최대 하중 0.9kN에서 원형철근이 뽑히는 현상이 발생하였음.

PR16 시험체

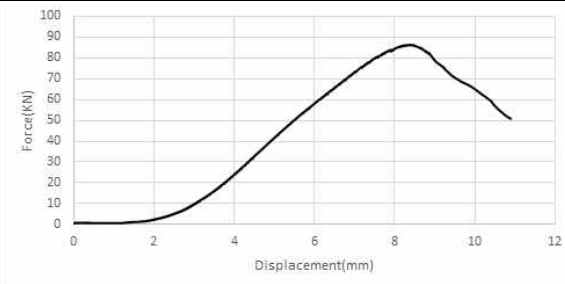


하중-변위 그래프

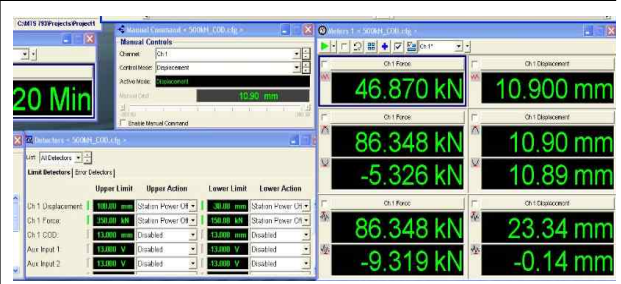
(시험 시작하자마자 slip 발생하면서 뽕힘)

최대 하중 : 0.9kN

PR16 시험체

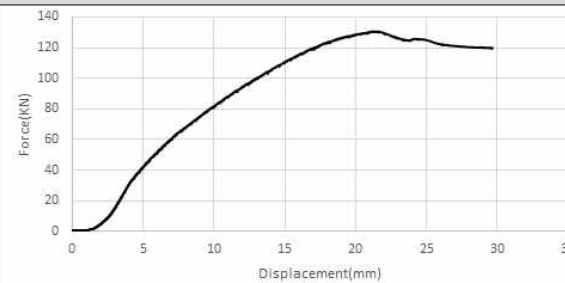


하중-변위 그래프

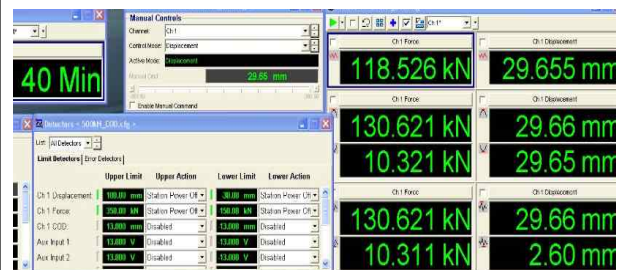


최대 하중 : 86kN

PNP16 시험체

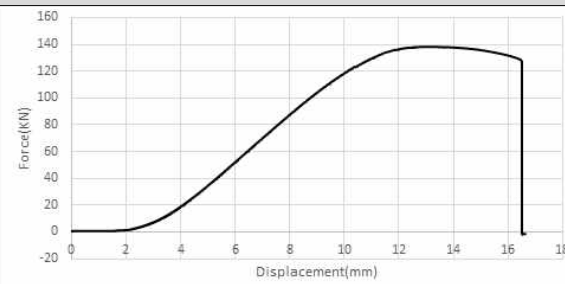


하중-변위 그래프

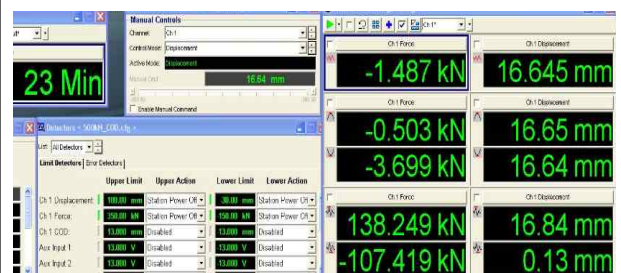


최대 하중 : 130kN

PSP16 시험체



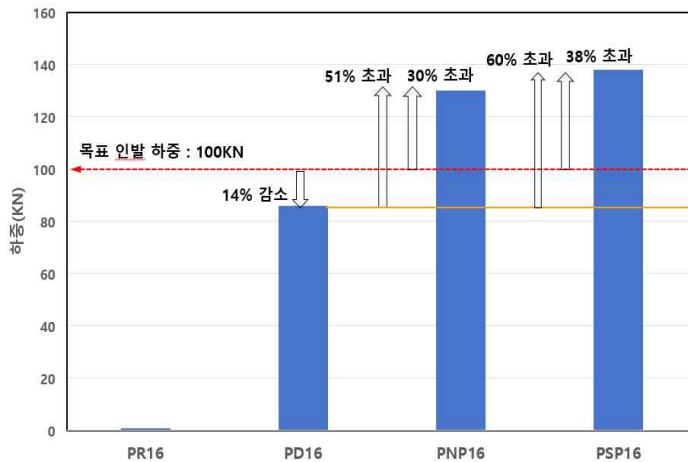
하중-변위 그래프



최대 하중 : 138kN

[Type I - SP 보강재의 인발 시험 결과]

- SP 보강재와 관련한 PNP16과 PSP16시험체의 최대 인발 하중값은 각각 130kN과 138kN으로, 이는 성과 점검 기준표상에 제시한 100kN과 비교하여 보았을 때 각각 30%, 38% 초과하였음.
- 이형철근인 PD16시험체와 상대 비교하여 보았을 때 PNP16과 PSP16 시험체는 각각 51%, 60% 초과하는 것으로 나타나 SP보강재의 인발 저항 능력은 우수하다고 판단됨.



[최대 인발 하중 비교]



[PNP16과 PSP16 시험체 파괴 상태 비교]

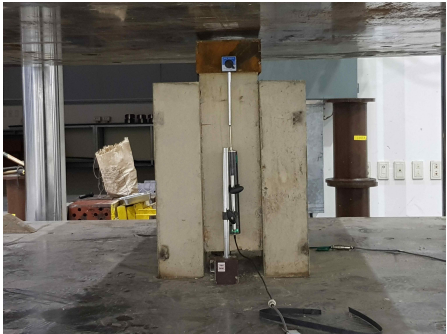
- SP 보강재에 프리스트레스 압축력이 도입된 PSP시험체와 미 도입된 PNP시험체와 비교하여 보았을 때 인발 하중값이 6% 증가하는 것으로 나타났으며 이는 프리스트레스 압축력 도입의 효과가 있는 것으로 평가됨.
- 특히 PNP16 시험체는 위의 그림에서 보듯이 SP강재가 2cm정도 뽑히면서 상면에 균열이 발생하는 것을 볼 수 있는데 반해 PSP16시험체는 뽑힘 파괴가 일어나지 않으면서 콘크리트 시험체에 균열이 전혀 발생하지 않고 건전한 상태로 남아 있어서 SP보강재의 프리스트레스 힘 도입 효과가 충분히 있는 것으로 분석되었으며, 이는 향후 구조물 보수 보강에 적용할 때 상당한 이점으로 작용할 것으로 판단됨.

• 직접 전단강도시험

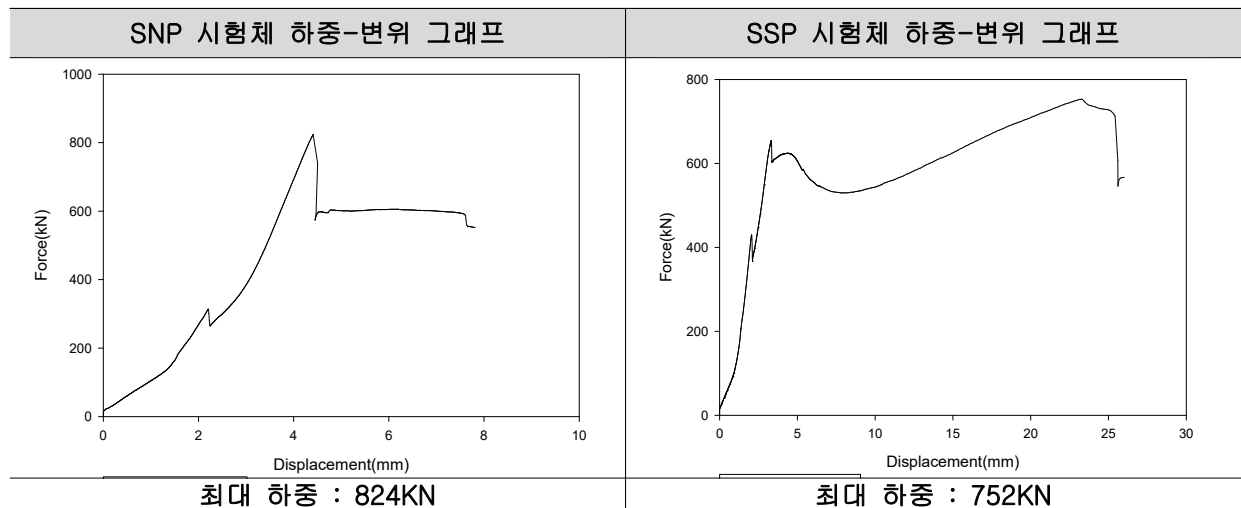
시험체 명	시험체 설명	도면	시험체 제작
SNP16	SP보강재 (Φ24-압축력 미 도입)		
SSP16	SP보강재 (Φ24-압축력 도입)		

[Type I - SP 보강재의 전단시험 계획 및 시험체 제작]

- 전단 시험 수행은 KS B 0801규정에 따라 시험을 수행하였으며, 시험에 사용된 시편 도면 및 제작 과정은 위의 그림에서 나타내었으며, 시험 전후를 비교한 시험장면은 아래 그림에서 나타내었음.

구 분	시험 전	시험 후
SNP16		
SSP16		

[Type I - SP 보강재의 전단 시험 전경]



[Type I - SP 보강재의 전단 시험 결과]

- 전단 시험 결과 SP 보강재의 전단 강도는 SNP 시험체의 최대하중이 824kN으로 4면 지지를 고려한 직접 전단강도는 206kN이었으며, SSP 시험체의 최대하중은 824kN으로 직접 전단강도는 188kN으로 나타났음.
- 성과점검기준표상의 목표 직접전단강도와 비교하여 보았을 때 SNP 시험체는 3.12배, SSP 시험체는 2.76 배로 나타났으며, 두 시험체 모두 목표 전단강도와 비교해 보았을 때 약 3배 정도의 전단강도가 향상되는 것으로 나타났음. 다만 기대와는 달리 SSP 시험체의 전단강도가 작게 나온 이유는 SP 보강재 시편 제작 과정에서 발생하는 오차에 기인한 것으로 판단됨.
- 국가공인인증기관인 첨단건설재료시험센터에서 발행한 인발시험과 직접전단강도 시험에 대한 시험성적서는 아래 그림에서 보여 주고 있음.

시험 성적서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCM2020-096 접 수 일 자 : 2020년 9월 17일
신 청 인 : 뉴콘텍이앤씨(주)
주 소 : 서울 강남구 자곡로 174-10 (자곡동) 622호(자곡동)
시 료 명 : 일커 인발시험

시험 결과

시험항목	시험방법	시험명	최대하중 (kN)	변위 (mm)	비 고
인발시험	외위자 제시	PD16	86.35	8.39	
		PR16	0.92	2.74	
		PNP16	130.61	21.35	
		PSP16	138.24	13.10	

• 시험장비 : 500 kN 피로시험기(MTS)
• 재하속도 : 1 mm/min

비고: 1. 이 성적서는 외위자가 제시한 시험 및 시험방법으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보, 전람, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

발 달 자 : 장 석 수 (053-580-6700)
2020년 10월 19일

국토교통부 부산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://contec.kci.go.kr

4-1 F-P-14-03(0)

시험 성적서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCM2020-097 접 수 일 자 : 2020년 9월 17일
신 청 인 : 뉴콘텍이앤씨(주)
주 소 : 서울 강남구 자곡로 174-10 (자곡동) 622호(자곡동)
시 료 명 : 철근구조벽체 적용 전단연결재(SNP, SSP16)

시험 결과

시험항목	시험방법	시험명	최대하중 (kN)	변위 (mm)	비 고
전단시험	외위자 제시	SNP	824.22	4.41	
		SSP16	752.97	23.25	

• 시험장비 : 5 MN 대형부재 시험기(SHIMADZU)
• 재하속도 : 0.5 mm/min

비고: 1. 이 성적서는 외위자가 제시한 시험 및 시험방법으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보, 전람, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

발 달 자 : 장 석 수 (053-580-6700)
2020년 10월 19일

국토교통부 부산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://contec.kci.go.kr

2-1 F-P-14-03(0)

**[인발시험 시험성적서
(첨단건설재료실험센터 제공)]**

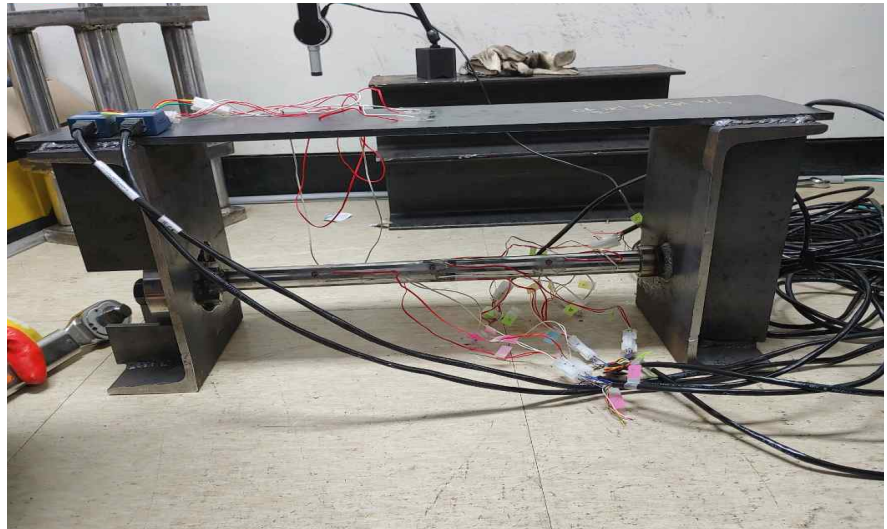
**[직접전단시험 시험성적서
(첨단건설재료실험센터 제공)]**

• SP 보강재 텐션과 디텐션 실험

- SP보강재의 텐션과 디텐션 실험을 수행하였으며, 아래 그림은 텐션과 디텐션 실험에 대한 실험장면과 실험 결과를 보여 주고 있음.
- 아래 그림에서 보는 바와 같이 SP보강재(Type Ⅰ)의 텐션/디텐션 실험 결과 강관이 압축력을 도입할 때 인장을 받는 상태에서 압축력을 해방하면 강관이 인장에서 압축으로 전환되는 것을 확인할 수 있었음.



[SP보강재 압축력 도입]

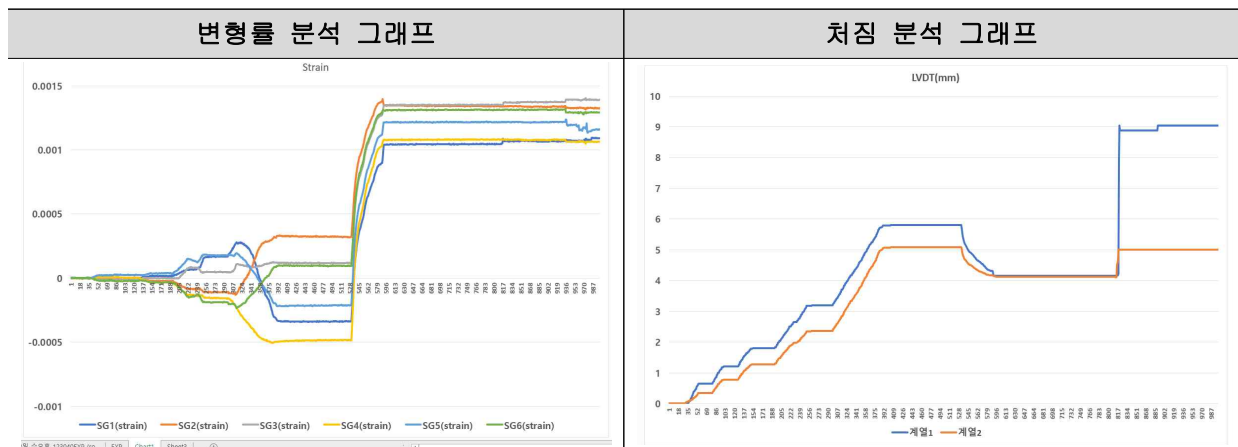


[SP보강재 텐션/디텐션 실험 Setting 장면]



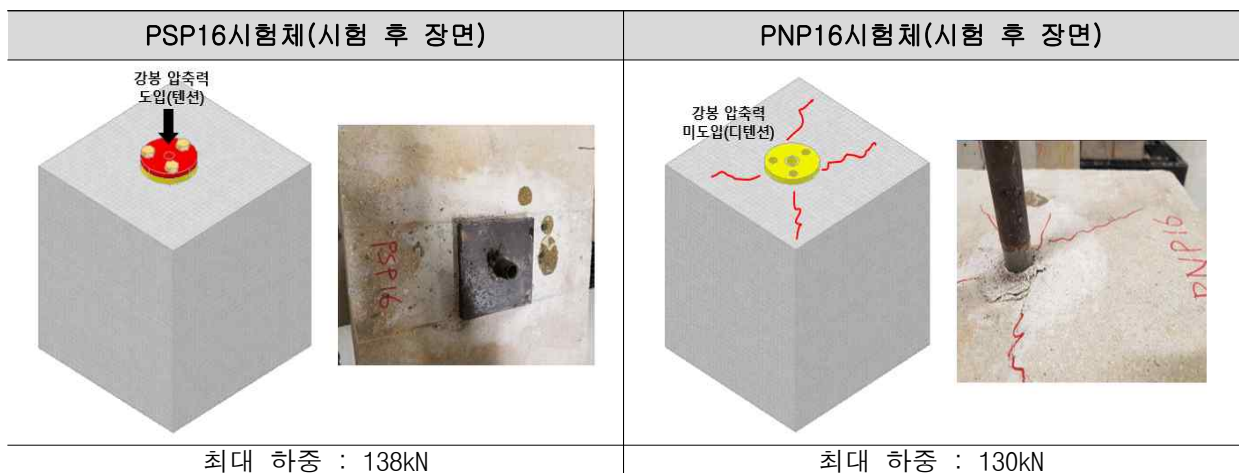
[SP보강재 텐션/디텐션 실험 장면]

[SP보강재 텐션/디텐션 실험 계측 장면]



[SP보강재-Type I 텐션/디텐션 실험 장면 및 실험 결과]

- 한편으로 상기 인발하중 시험 결과를 토대로 텐션 시험체인 PSP16시험체와 디텐션 시험체인 PNP16시험체를 비교 분석해 보면 아래 그림에서 보는 바와 같이 PSP16시험체는 텐션에 따른 콘크리트 압축력 도입 효과로 파괴상태에서도 콘크리트 면이 상대적으로 건전함을 알 수 있어서 SP보강재의 프리스트레스 힘 도입 효과가 충분히 있는 것으로 판단됨.

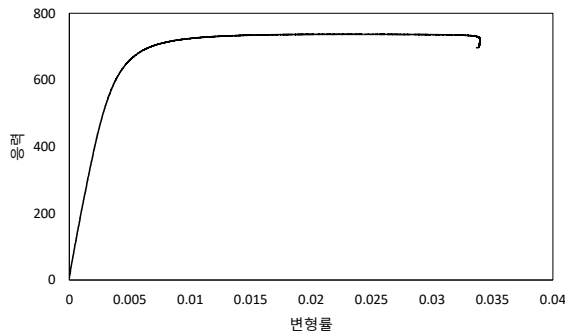


[SP보강재-Type I 인발시험 결과 토대 텐션/디텐션 효과 분석]

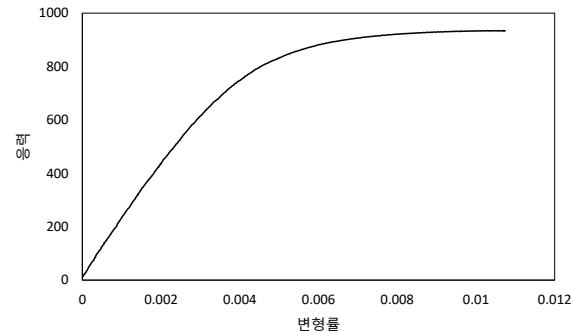
[Type II SP 보강재 역학적 특성 평가]

• 인장강도 및 탄성계수 시험

- 제작된 SP보강재의 원소재인 SCM 440 및 P800 강종의 인장강도 및 탄성계수는 첨단건설재료시험센터에 의뢰하여 평가하였음.
- 시험결과 SCM 440의 인장강도 및 탄성계수는 각각 735MPa 및 203,761MPa 이었으며, P800 인장강도 및 탄성계수는 각각 931MPa 및 218,355MPa로 평가되었음.



(a) SCM440



(b) P800

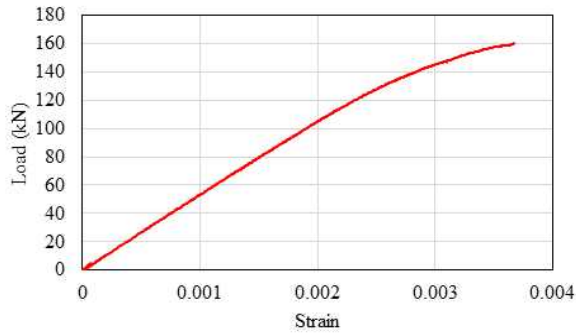
[강재의 응력-변형률 관계]

1) 강관의 인장하중-변형률 관계 평가

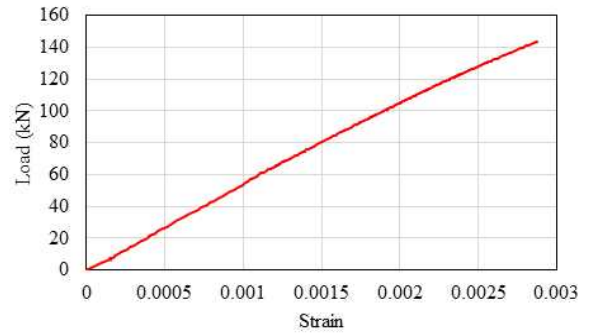
- SP 보강재가 소성변형 및 파단을 일으키지 않는 범위에서 유효한 프리스트레스를 도입하기 위해서 SP 보강재의 파단실험을 통한 하중 및 변형률 관계의 분석이 필요함.
- SCM 440 및 P800 강종을 기반으로 제작된 SP 보강재의 인장실험은 각 강종별로 4개씩 수행하였음.
- SCM 440 및 P800 강종 기반 SP보강재는 모두 단면이 상대적으로 작은 나사부에서 파단이 발생하였음.
- 실험결과 SCM 440의 파단하중은 평균 160.4kN 이었으며, 파단 시 평균 변형률은 0.0035로 평가되었음.
- SCM 440 기반 SP보강재의 경우 하중이 130kN 이상에서 소성변형이 발생하였으므로 인장 시 소성변형이 발생하지 않는 항복하중은 130kN 지점으로 평가됨.
- P800의 기반 SP 보강재의 파단하중은 평균 144.9kN 이었으며, 파단 시 변형률의 평균은 0.0028로 평가되었음.
- P800의 기반 SP 보강재의 경우 탄성변형 중 파단이 발생하였음.
- 따라서, SP 보강재의 인장력 도입을 위한 최대 하중점은 SCM 440이 130kN, P800이 144.9kN으로 결정함.

<SP 보강재의 파단하중 및 파단 시 변형률>

구분		실험체1	실험체2	실험체3	실험체4	평균
SCM 440	파단하중(kN)	160.4	161.9	158.0	161.2	160.4
	파단시 변형률	0.0037	0.0034	0.0034	0.0033	0.0035
P800	파단하중(kN)	143.5	149.0	144.1	142.8	144.9
	파단시 변형률	0.0029	0.0025	0.0028	0.0030	0.0028



(a) SCM 440



(b) P800

[SP 보강재의 일반적인 하중-변형률 관계]



[SP 보강재의 파단 시 파괴모드]

• SP 보강재 응력손실 실험

- 프리스트레스트력이 도입된 SP 보강재의 시간에 따른 응력손실 및 응력손실에 대한 프리스트레스트력의 도입방식에 따른 영향성을 평가하기 위해 총 48개의 응력손실 실험을 수행하였으며, 실험의 주요 변수를 다음 표에 나타내었음.
- 인장도입형의 경우 도입되는 프리스트레스트력이 40, 60 및 80%일 때 시간의 변화에 따른 응력변화를 측정하였으며, 압축도입형의 경우 도입되는 프리스트레스트력이 30, 50 및 70% 일 때 시간의 변화에 따른 응력변화를 측정하였음.
- 프리스트레스트력 도입은 SP보강재의 파단 실험결과에 따라 SCM 440의 경우 130kN에 대한 비율로 결정하였으며, P800의 경우 144.9kN에 대한 비율로 결정하였음.
- 인장도입형 및 압축도입형 실험체는 각각 SP 보강재의 설계 시 고안된 인장장치 및 압축장치를 통해 프리스트레스트력을 도입하였음.
- 응력의 손실은 탄성구간내에서 하중과 변형률이 선형 비례관계인 점을 고려하여 변형률의 변화로 평가하였으며, 프리스트레스트력이 도입된 실험체는 총 14일간 응력변화를 측정하였음.
- 프리스트레스트력 도입방식별 응력손실율은 인장도입형의 경우 14일 이후 평균 59.5% 손실되었으며, 압축도입형의 경우 14일 이후 평균 5.0%의 응력이 손실되었음.
- 응력손실 측정결과 프리스트레스 도입방식, 강종 및 도입된 프리스트레스트력에 관계없이 즉시 손실 이후 1일까지 추가적인 응력손실은 약 2%이하였으며, 이후 14일까지 추가적인 응력손실율은 1% 이하로 평가되었음.



[시간에 따른 응력변화 실험]

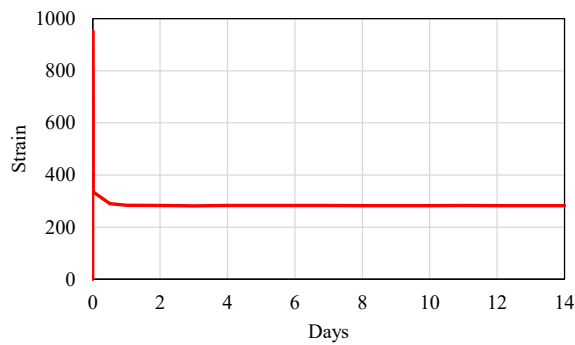
- 도입된 프리스트레스력 변화에 따른 SP보강재의 응력손실률의 경우 인장도입형은 도입된 프리스트레스력이 20% 증가할 때마다 응력손실률은 약 5%씩 감소하였으며, 압축도입형은 도입된 프리스트레스력의 변화에 따라 응력손실률의 변화 경향은 보이지 않았으나, 도입된 프리스트레스력이 70%일 때 응력의 손실률이 가장 낮았음.
- 강종별 SP보강재의 응력손실률은 인장도입형의 경우 SCM 440은 평균 66.1% 손실되었으며, P800의 경우 평균 54.4% 손실되었음. 압축도입형의 경우 SCM 440은 평균 6.5% 손실되었으며, P800의 경우 평균 4.4% 손실되었음.
- 응력손실 평가 결과 프리스트레스 도입방식별로는 압축도입형이 인장도입형 대비 응력손실률 54.5% 더 낮았으며, 강종별로는 P800의 응력손실률이 SCM 440 대비 평균 7% 낮은 응력손실률을 나타냄.
- 따라서 SP 보강재는 P800의 강종으로 압축도입방식을 통한 프리스트레스력 도입이 성능 확보 측면에서 우수할 것으로 판단됨.

<응력손실 실험의 주요변수>

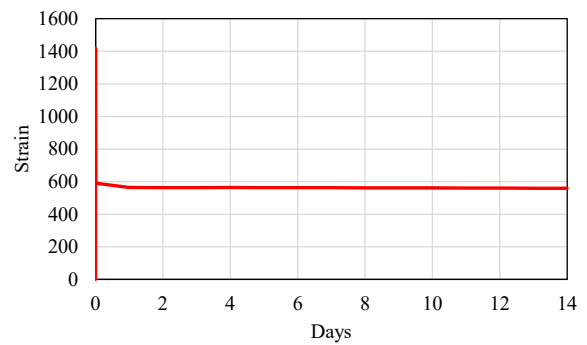
프리스트레스 도입방식	강종	도입된 프리스트레스력(%)
인장도입형	SCM 440	40, 60, 80
	P800	
압축도입형	SCM 440	30, 50, 70
	P800	

<프리스트레스력 도입방식과 강종별 응력손실을>

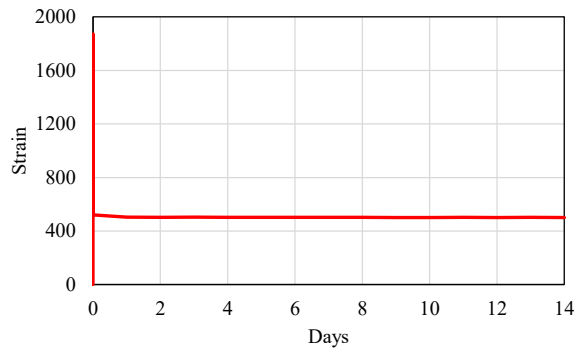
프리스트레스 도입방식	강종	즉시(%)	1일(%)	2일(%)	14일(%)
인장도입형	SCM 440	63.0	65.8	66.0	66.1
	P800	52.7	53.9	53.9	54.4
	평균	57.9	59.9	60.0	60.3
압축도입형	SCM 440	5.1	6.0	6.0	6.5
	P800	3.4	4.1	4.2	4.4
	평균	4.3	5.1	5.1	5.5



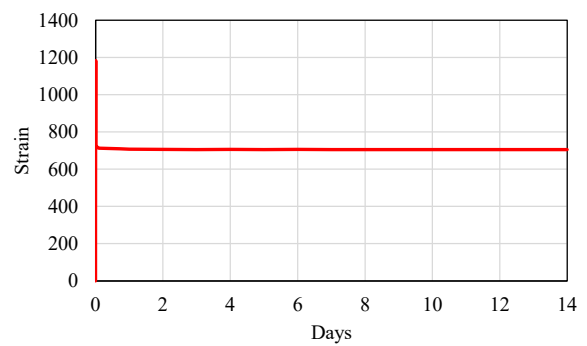
(a) SCM440-40%



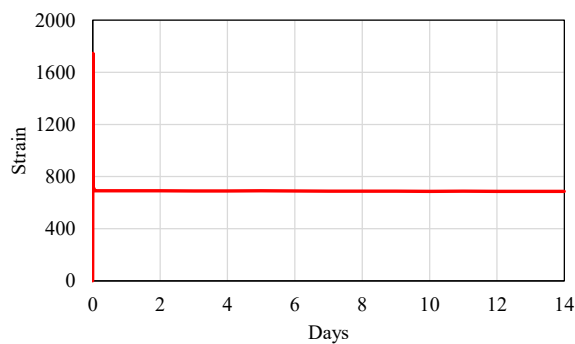
(b) SCM440-60%



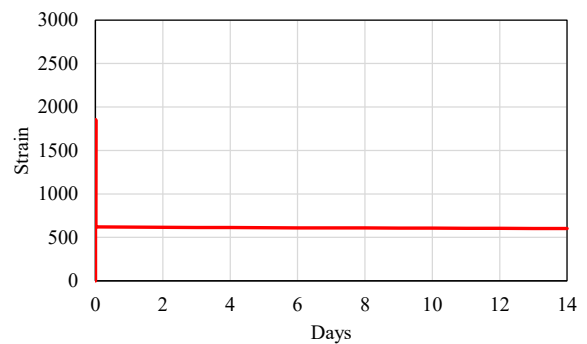
(c) SCM440-80%



(d) P800-40%

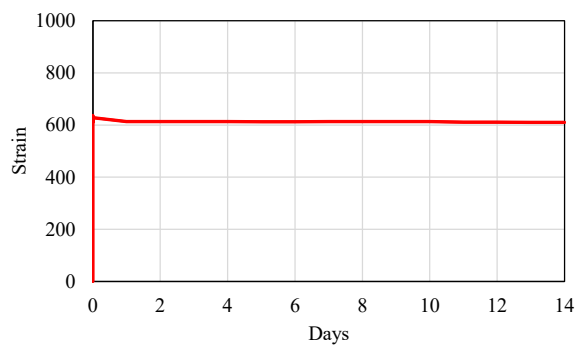


(e) P800-60%

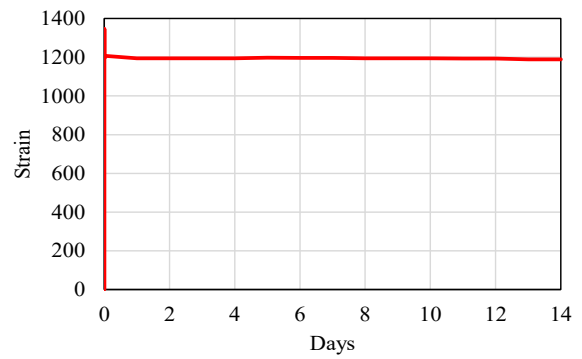


(f) P800-80%

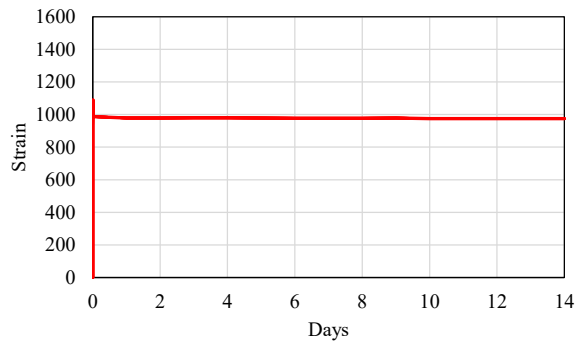
[인장도입형 SP보강재의 시간-변형률 관계]



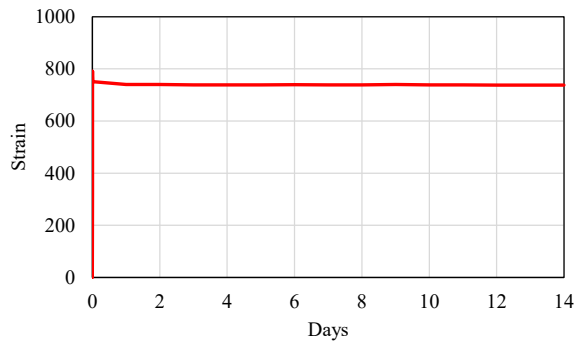
(a) SCM440-30%



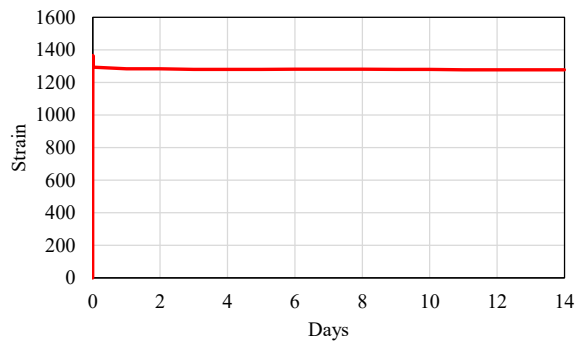
(b) SCM440-50%



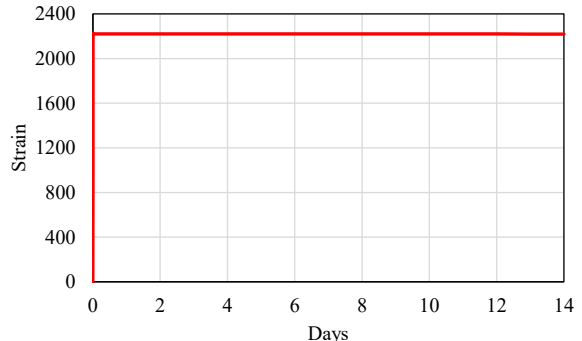
(c) SCM440-70%



(d) P800-30%

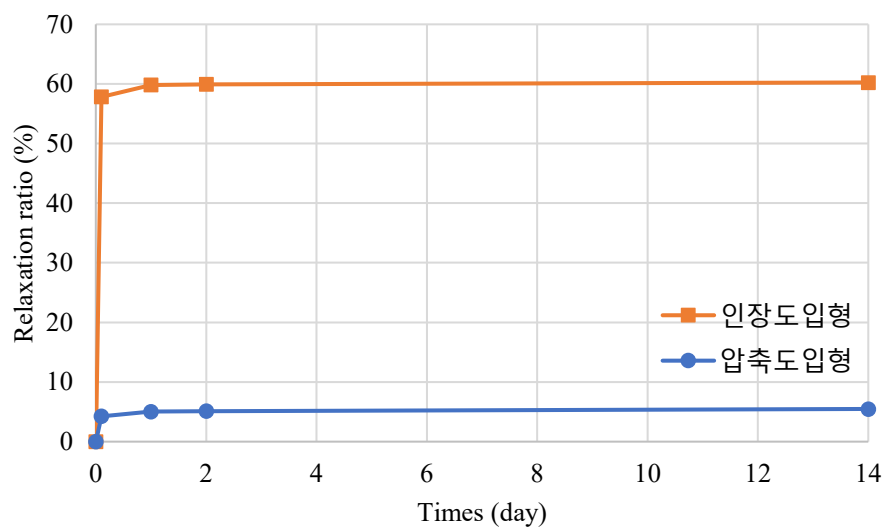


(e) P800-50%

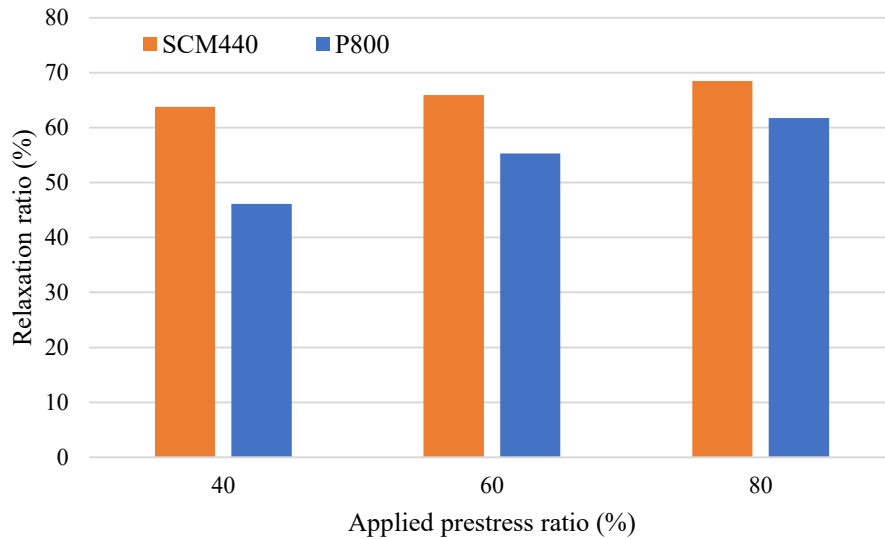


(f) P800-70%

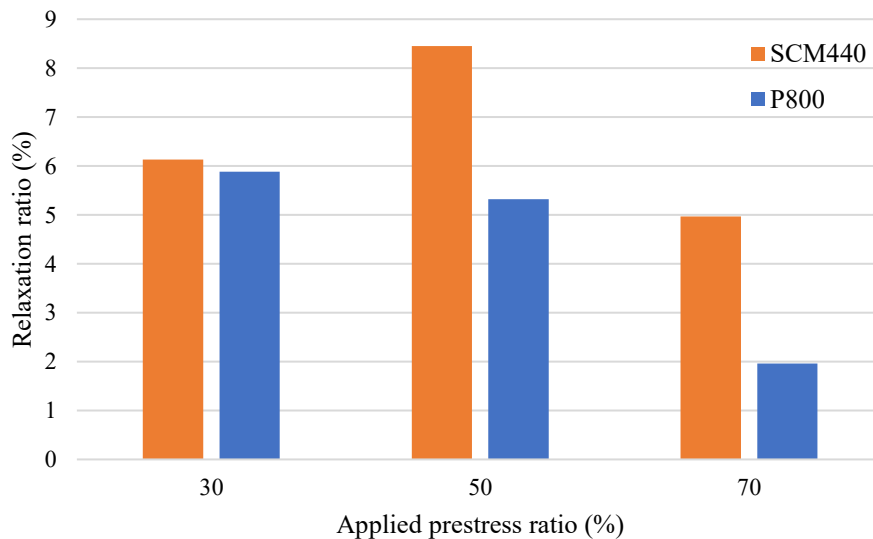
[인장도입형 SP보강재의 시간-변형률 관계]



[프리스트레스 도입방식에 따른 SP 보강재의 응력손실 변화]



(a) 인장도입형



(b) 압축도입형

[도입된 프리스트레스력 변화에 따른 SP 보강재의 응력손실 변화]

• 인발시험

- 제작된 SP보강재의 정착성능에 대한 평가를 하기위해 인발하중 실험을 실시하였음.
- 주요 변수는 콘크리트의 압축강도와 도입된 프리스트레스력이며, 각 변수별로 총 16개의 실험체에 대해 인발실험을 수행하였음.
- 콘크리트의 설계 압축강도는 일반적으로 사용되는 24MPa와 고강도인 40MPa로 결정하였으며, 도입된 스트레스력이 인발특성에 미치는 영향성을 평가하기 위해 프리스트레스력을 0, 50 및 70%로 설정하였음.
- 실험상세 및 주요 실험결과는 다음과 같음.

1) 실험 상세

- 인발하중 및 부착응력-미끄러짐 관계는 300×300×300 mm의 입방형 시험체를 사용하여 KS F 2441(2016, 현재 폐지됨)의 실험방법에 준하여 인발하중을 평가하였음.
- 인발하중 시험체에 매립된 보강재의 사이즈는 D25 이형철근을 기준으로 각 변수별 지름 25.4 mm의 철근(다월바) 및 SP 보강재를 매립하였음.
- 인발하중 실험 시 설계 압축강도가 각각 24MPa 및 40MPa 인 콘크리트의 측정 강도는 각각 23MPa와 38MPa 로 평가되었음.

- 인발하중 실험은 2,000kN 용량의 오일잭과 500kN 용량의 하중계를 이용하여 측정하였으며, 미끄러짐은 실험체 하단에서 50mm 용량의 LVDT를 이용하여 측정하였음.

<인발실험 상세>

그룹	시험체 명	콘크리트 설계 강도 (MPa)	PS 도입응력 (%)	비고
I	B24-D	24	-	기존보강재(다월바)
	B24-0		0	
	B24-50		50	
	B24-70		70	
II	B40-D	40	-	기존보강재(다월바)
	B40-0		0	
	B40-50		50	
	B40-70		70	



(a) 실험체 제작



(b) 인발실험

[인발실험체 제작 및 실험]

<인발실험 결과>

그룹	시험체 명	인발하중 (kN)	최대 하중시 미끄러짐 (mm)	비고
I	S24-0D	141.1	0.120	
	S24-0	150.7	0.020	
	S24-50	153.4	0.335	
	S24-70	152.9	1.545	
II	S40-0D	124.9	0.099	
	S40-0	153.0	1.015	
	S40-50	148.7	0.980	
	S40-70	152.7	0.460	

2) 파괴모드

- 모든 SP 보강재는 콘크리트의 압축강도 및 프리스트레스트력 도입에 관계없이 PS 보강재의 나사 부분에서 파단이 발생되었음.
- 따라서, 개발된 SP 보강재는 300mm 이상 매립 시 뽑힘 및 쪼갬 파괴가 발생하지 않으며, 도입된 프리스트레스트를 콘크리트로 충분히 전달할 수 있을 것으로 판단됨.
- 반면, 철근을 매립한 실험체의 경우 설계강도가 24MPa인 실험체는 쪼갬파괴가 발생하였으며, 설계강도가 40 MPa인 실험체는 철근 정착부 지그가 파괴되었음.

3) 인발하중 및 하중-미끄러짐 관계

- 모든 SP 보강재의 인발실험체는 PS보강재에서 파단파괴가 발생하였으며, 파단 하중은 콘크리트의 압축강도 및 프리스트레스트력의 도입에 관계없이 평균 151.9kN 에서 발생되었음. 이는 SP보강재의 파단 강도와 동일한 수준임.
- D25 철근을 매립한 실험체(다월바 시스템)의 경우 최대 인발하중은 평균 133kN 이었지만, 설계 압축강도가 40MPa인 콘크리트 실험체의 경우 철근 정착부 지그가 파괴되어 최대 인발하중이라 판단하기 어려움.
- 파단 하중 시 SP보강재의 미끄러짐은 평균 0.72mm 이었으며, 도입된 프리스트레스트력에 대해 별 다른 영향을 받지 않았음. 반면, 설계강도가 40MPa인 SP보강재 실험체의 경우 설계강도가 24MPa인 실험체 대비 파단 하중시 미끄러짐이 평균 약 0.19mm 더 크게 발생되었음.
- SP 하중변화에 따른 SP보강재의 미끄러짐의 경우 하중이 평균 100kN 수준에서 미끄러짐이 시작되었으며, 이후 하중의 증가에 따라 선형으로 미끄러짐이 증가하는 경향을 나타내었음.
- SP 보강재가 적용된 인발실험체 최대 인발하중은 도입된 프리스트레스트력에 관계없이 철근을 매립한 실험체의 최대 인발하중 대비 평균 1.14배 높게 평가되었음.



(a) B24-D



(b) B24-0

[인발실험의 주요 파괴모드]



(c) B24-50



(d) B24-70



(e) B40-D



(f) B40-0

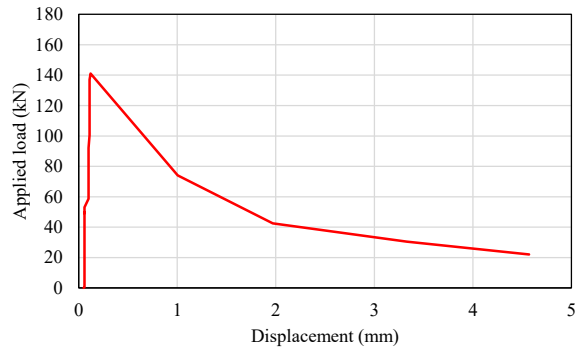


(g) B40-50

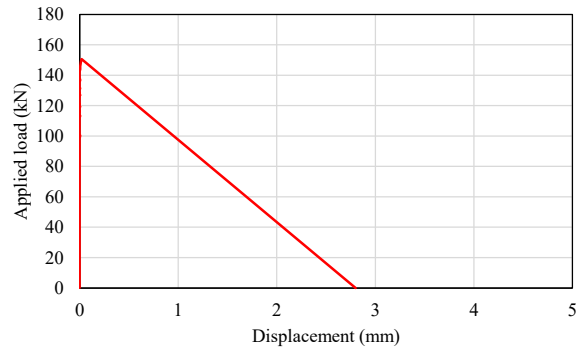


(h) B40-70

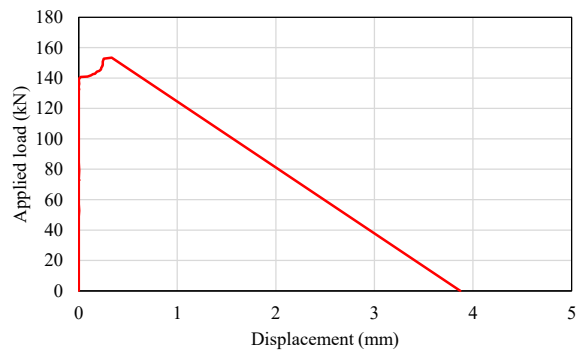
[인발시험의 주요 파괴(계속)]



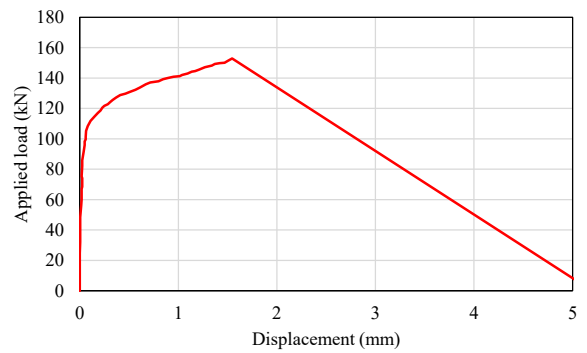
(a) B24-D



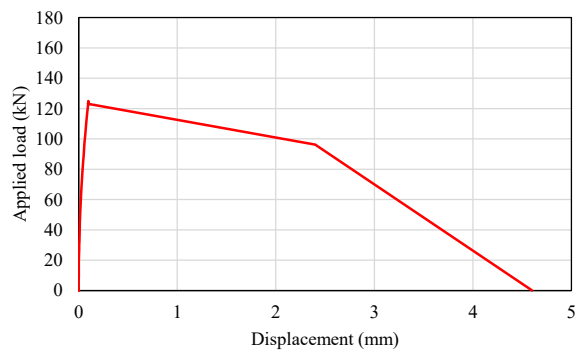
(b) B24-0



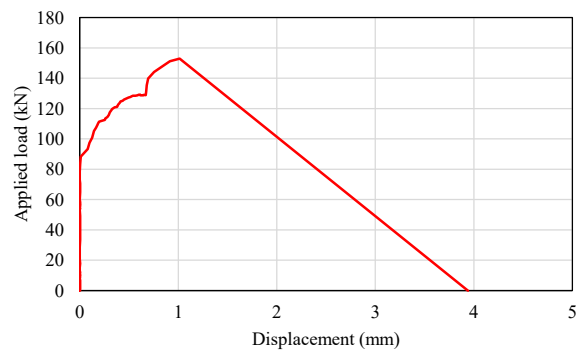
(c) B24-50



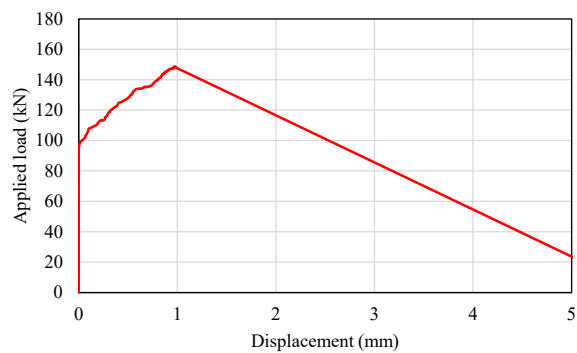
(d) B24-70



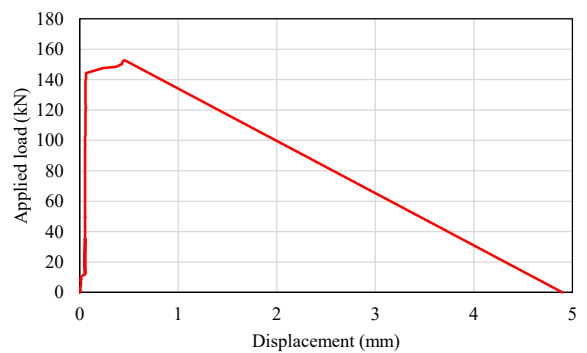
(e) B40-D



(f) B40-0

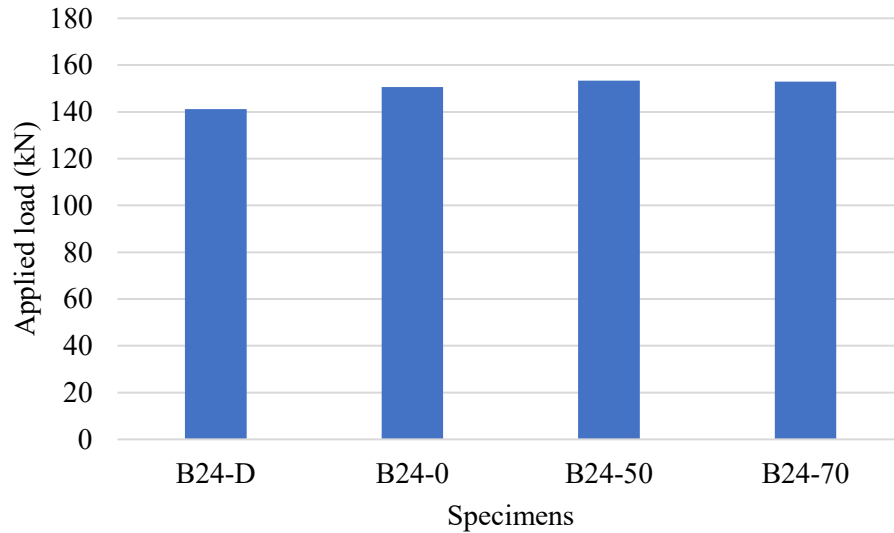


(g) B40-50

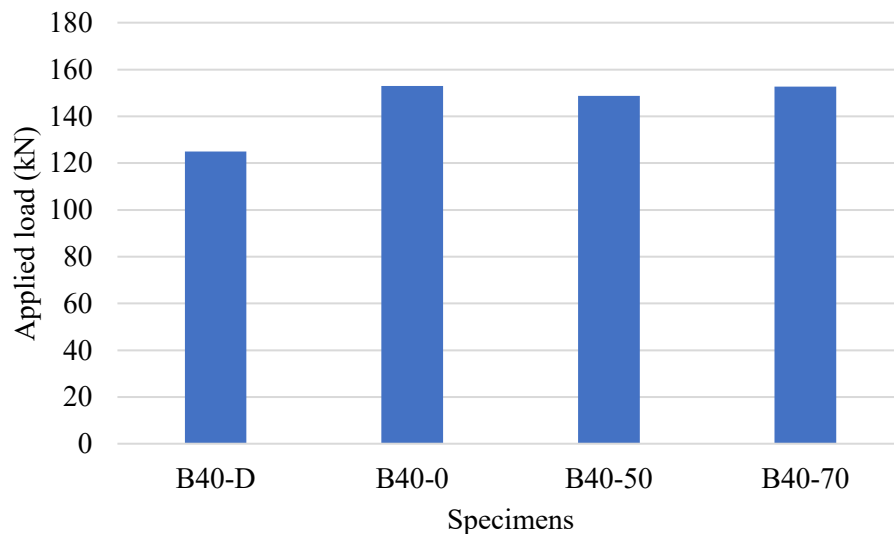


(h) B40-70

[인발하중-미끄러짐 관계]



(a) 콘크리트 설계강도 24 MPa



(b) 콘크리트 설계강도 40 MPa

[도입된 프리스트레스력 변화에 따른 SP 보강재의 인장하중]

- 직접전단하중 시험
 - 기둥과 코벨, 전단벽과 기초, PC부재의 전단키 등의 콘크리트 경계면에서는 전단마찰(shear friction)에 의해 전단하중 전달기구가 형성됨.
 - 특히 콘크리트의 확장을 통한 부재 및 구조물의 보강 시 기존 콘크리트와 현장타설 콘크리트 경계면에서의 전단마찰에 의한 하중전달 평가가 필요함.
 - 전단마찰에 의한 하중전달은 콘크리트 마찰계수(점착력), 전단마찰철근 보강 및 예상 마찰면에 수직으로 작용하는 응력 등에 의해 영향을 받음.
 - 따라서, SP 보강재 및 보강재에 유도된 Prestressing이 전단마찰내력에 미치는 영향성을 평가하기 위해 SP보강재가 적용된 콘크리트의 전단마찰응력을 평가하였음.
 - 주요 변수는 콘크리트의 압축강도와 도입된 프리스트레스력이며, 각 변수별로 총 16개의 실험체에 대해 전단마찰실험을 수행하였음.
 - 콘크리트의 설계 압축강도는 일반적으로 사용되는 24MPa와 고강도인 40MPa로 결정하였으며, 도입된 스트레스력이 전단마찰특성에 미치는 영향성을 평가하기 위해 프리스트레스력을 0, 50 및 70%로 설정하였음.

- 실험상세 및 주요 실험결과에 다음과 같음.

1) 실험 상세

- 전단마찰특성 평가 시험은 300×820×150 mm의 시험체를 사용하였으며, 전단마찰하중 측정을 위한 실험체의 실험구간은 중앙부 200×150 mm 단면임.
- 전단마찰실험체에 매립된 보강재의 사이즈는 D25 이형철근을 기준으로 각 변수별 지름 25.4mm의 철근(다월바) 및 SP 보강재를 매립하였음. 인발하중 시험체에 매립된 보강재의 사이즈는 D25 이형 철근을 기준으로 각 변수별 지름 25.4mm의 철근(다월바) 및 강관을 매립하였음.
- 실험 시 설계 압축강도가 각각 24MPa 및 40MPa 인 콘크리트의 측정 강도는 각각 23MPa와 38MPa 로 평가되었음.
- 전단마찰특성평가 실험은 1,000kN 용량의 유압 오일잭과 500kN 용량의 하중계를 이용하여 측정 하였으며, 전단변형률 평가를 위해 실험구간에서 콘크리트 변형률 게이지를 이용하여 수직, 수평 및 45°의 변형률을 측정하였음.

2) 파괴모드

- 전단마찰특성평가 실험에서 모든 실험체는 보강재, 콘크리트 압축강도 및 도입된 프리스트레스력에 관계없이 초기 균열이 중앙부 실험구간에서 수직으로 형성되었으며, 이후 하중증가에 따라 균열 이 진전되어 실험구간에서 수직으로 최종파단이 발생하였음.
- 전단마찰특성평가 실험체의 파괴모드는 보강재 종류 및 도입 응력에 대해 별다른 영향을 받지 않았음.

3) 전단마찰하중 및 전단 변형률

- 전단변형률(γ_{xy})은 3축게이지(Strain Rosette)를 통해 측정된 변형률을 통해 산정하였음.
- $\gamma_{xy} = 2\epsilon_b - \epsilon_a - \epsilon_c$
- 여기서, ϵ_a , ϵ_b , ϵ_c 는 각각 x축, 45°, y축의 수직변형률을 의미함.
- SP보강재가 적용된 설계강도가 24MPa인 콘크리트 실험체(그룹 I)의 전단마찰하중은 도입된 프리 스트레스력이 0, 50 및 70% 일 때 각각 224, 245 및 264kN 이었으며, 설계강도가 40MPa인 콘 크리트 실험체(그룹 II)의 전단마찰하중은 도입된 프리스트레스력이 0, 50 및 70% 일 때 각각 296, 337 및 360kN으로 평가됨.
- 그룹 I에서 SP보강재가 적용된 실험체의 전단마찰하중은 프리스트레스력의 도입에 따라 0% 대비 50 및 70%에서 각각 1.09배 및 1.18배 높았으며, 그룹 II에서 SP보강재가 적용된 실험체의 전단마 찰하중은 프리스트레스력의 도입에 따라 0% 대비 50 및 70%에서 각각 1.14배 및 1.22배 높았음.

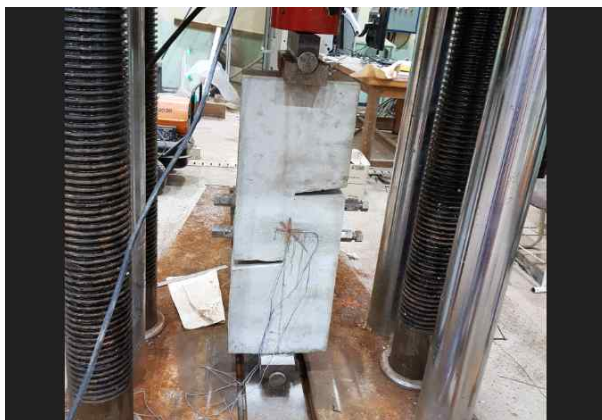
<전단마찰실험 상세>

그룹	시험체 명	콘크리트 설계 강도 (MPa)	PS 도입응력	비고
I	S24-0D	24	-	기존보강재(다월바)
	S24-0		0	
	S24-50		50	
	S24-70		70	
II	S40-0D	40	-	기존보강재(다월바)
	S40-0		0	
	S40-50		50	
	S40-70		70	

- 콘크리트 설계압축강도가 40MPa인 그룹 II 실험체의 전단마찰하중은 도입된 프리스트레스력에 관계없이 콘크리트 설계압축강도가 24MPa인 그룹 I 실험체 대비 평균 1.35배 높았음.
- 이는 SP보강재에 적용된 프리스트레스가 콘크리트 실험체의 전단면에 수직방향의 힘(축력)으로 작용하여 콘크리트의 마찰저항을 높여 결과적으로 콘크리트의 마찰내력을 향상시킨 것으로 판단됨.
- 철근(다월바)가 보강된 실험체의 최대전단마찰하중은 그룹 I의 경우 239kN이었으며, 그룹 II의 경우 323kN으로 그룹 II의 실험체가 그룹 I 대비 1.36배 높았음.
- SP 보강재가 적용된 콘크리트의 최대전단마찰하중은 철근으로 보강된 실험체 대비 도입된 프리스트레스력이 0, 50 및 70% 일 때 그룹 I에서 각각 0.94, 1.03 및 1.11배 수준이었으며, 그룹 II에서 각각 0.91, 1.04 및 1.11배 수준으로 프리스트레스력이 도입된 경우에 철근보강 실험체 대비 높은 전단마찰내력을 나타내었음.
- 전단마찰특성평가 실험체의 전단변형률 전단마찰하중의 증가에 따라 선형으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 최대마찰하중 이후 균열과 함께 콘크리트게이지의 탈락으로 더 이상 변형률의 측정은 불가하였음.
- SP보강재가 적용된 실험체의 최대전단마찰하중시 전단변형률은 도입된 프리스트레스력이 0, 50 및 70%일 때 그룹 I에서 각각 0.00054, 0.00061 및 0.00064이었으며, 그룹 II에서 각각 0.00067, 0.00072 및 0.00079로 평가되었음.
- 최대전단마찰하중시 전단변형률은 도입된 프리스트레스력과 전단마찰하중이 증가함에 따라 증가하였으며, 도입된 프리스트레스력이 50 및 70% 일 때 0% 대비 그룹 I에서 각각 1.13 및 0.19배, 그룹 II에서 각각 1.07 및 1.18배 증가하였음.
- 콘크리트 설계압축강도가 40 MPa인 그룹 II 실험체의 최대전단마찰하중시 전단변형률은 도입된 프리스트레스력에 관계없이 콘크리트 설계압축강도가 24MPa인 그룹 I 실험체 대비 평균 1.22배 증가하였음.



(a) 실험체 제작



(b) 전단마찰실험

[전단마찰응력 실험체 제작 및 실험]

<전단마찰응력 실험결과>

그룹	시험체 명	전단마찰하중 (kN)	최대 하중시 전단변형률	비고
I	S24-D	238.6	0.00060	
	S24-0	224.0	0.00054	
	S24-50	245.2	0.00061	
	S24-70	263.9	0.00064	
II	S40-D	323.4	0.00074	
	S40-0	295.8	0.00067	
	S40-50	336.7	0.00072	
	S40-70	359.8	0.00079	



(a) S24-D



(b) S24-0



(c) S24-50



(d) S24-70

[전단마찰 실험의 주요 파괴모드]



(e) S40-D



(f) S40-0

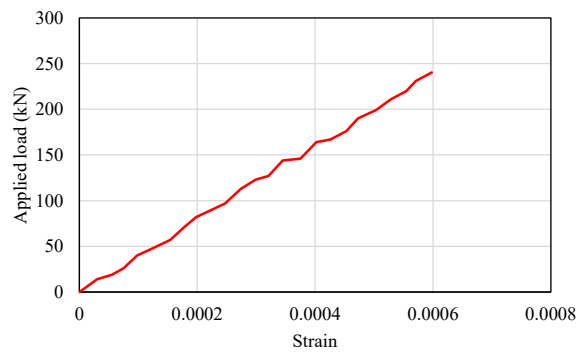


(g) S40-50

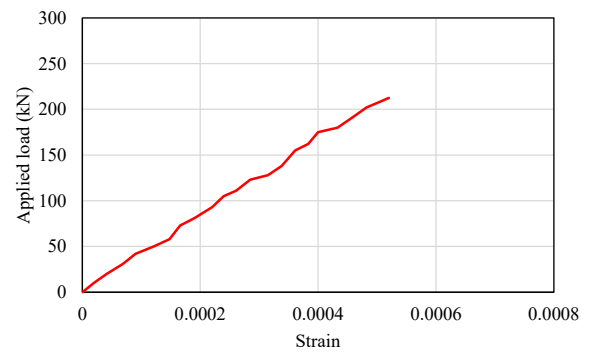


(h) S40-70

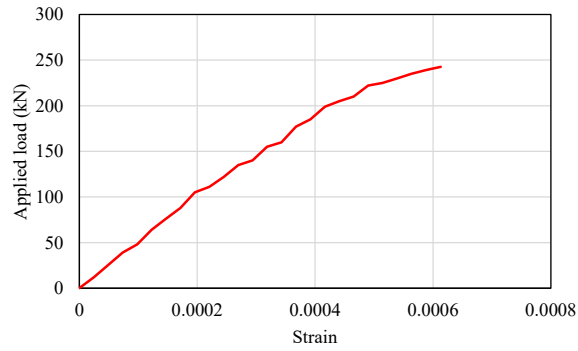
[전단마찰 실험의 주요 파괴모드]



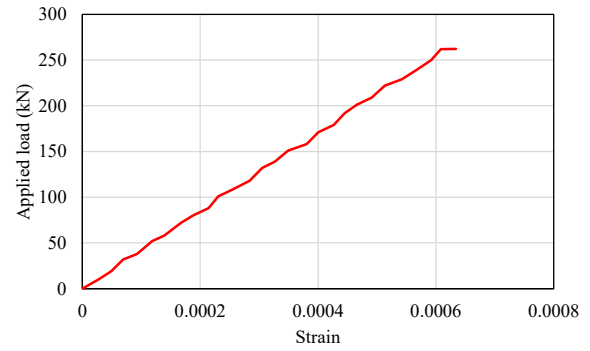
(a) S24-D-1



(b) S24-0-1

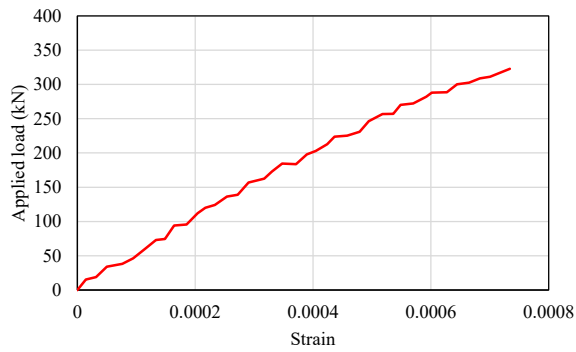


(c) S24-50-1

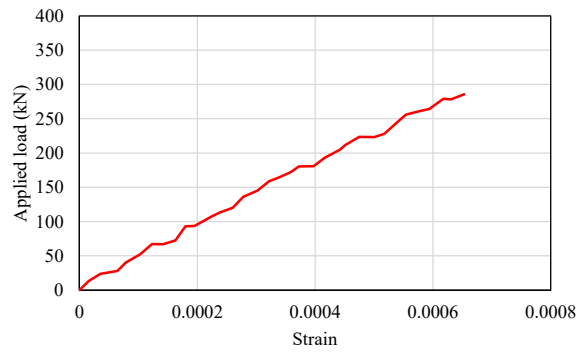


(d) S24-70-1

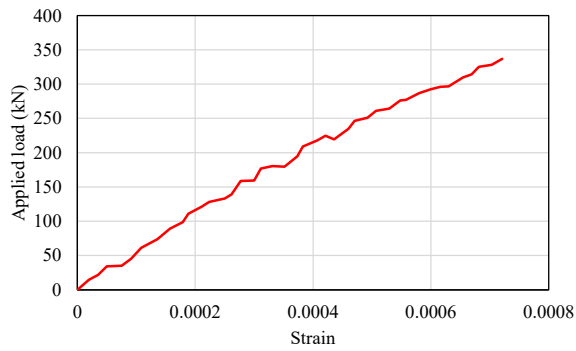
[전단마찰하중-전단변형률 관계]



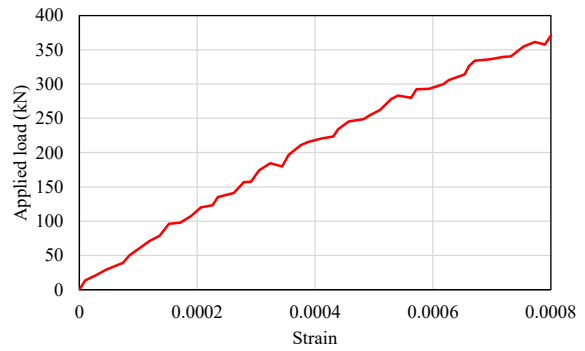
(e) S40-D-1



(f) S40-0-1

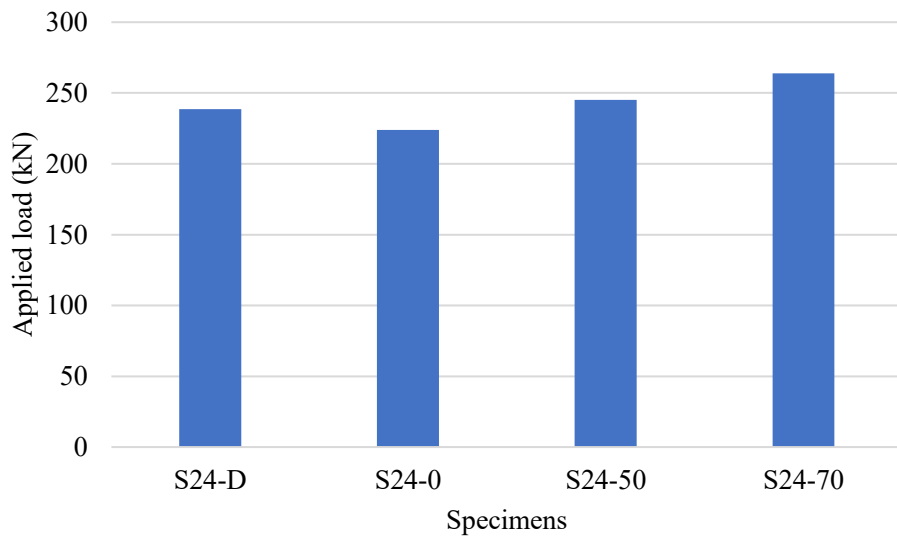


(g) S40-50-1



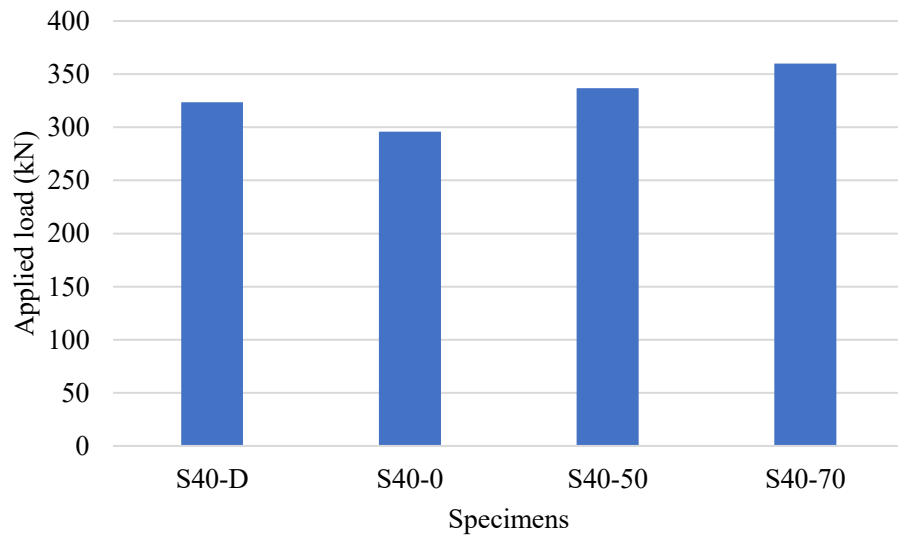
(h) S40-70-1

[전단하중-전단변형률 관계(계속)]



(a) 콘크리트 설계강도 24 MPa

[도입된 프리스트레스력 변화에 따른 SP 보강재의 전단마찰하중]



(b) 콘크리트 설계강도 40 MPa

[도입된 프리스트레스력 변화에 따른 SP 보강재의 전단마찰하중(계속)]

단위기술 3: 확공용 언더컷 드릴 비트 설계

- 사전 자료 조사 연구
 - 확공용 언더컷 드릴비트 개발 연구의 목표는 아래 그림과 같이 천공직경 20mm, 확공직경 30mm임



구분	핵심 성과물 (CIE)	단위 성과물	성과점검기준		
			질적 성과지표	목표치	검증 방법
주관	확공용 언더컷 드릴비트 개발	확공용 언더컷 드릴 비트	천공 직경	20mm 이상	제표준규격서
			확공 직경	30mm 이상	제표준규격서

[확공용 언더컷 드릴비트 기술 개발 목표]

- 확공용 언더컷 드릴비트 개발을 위해 현재 국내 코어 천공 기술의 문제점을 분석해 보았으며, 코어 천공에서 가장 많이 사용되는 공법은 습식 코어 천공 공법이며, 이 공법의 경우 드릴비트의 발생열을 냉각시키기 위해 물을 사용하기 때문에 물과 분진이 만나서 다량의 콘크리트 슬러지를 발생시키는 문제점이 있음.



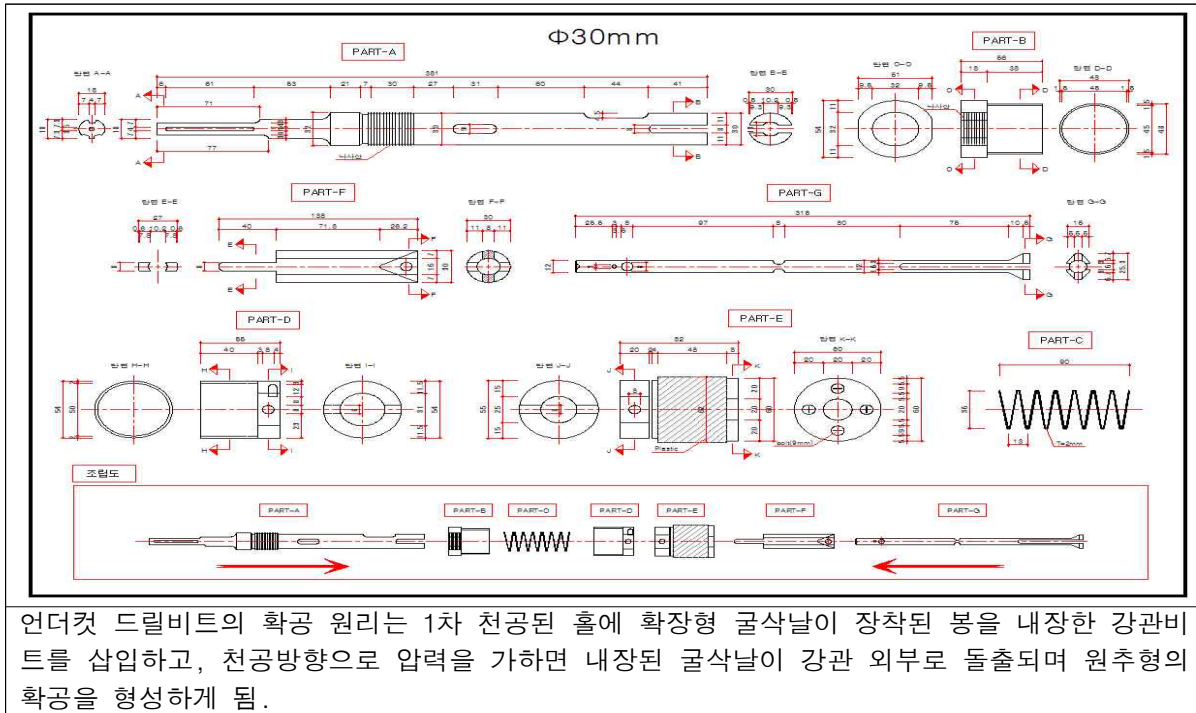
[기존 습식 코어 및 건식 코어 천공 기술 문제점]

- 이러한 습식 코어 천공 기술의 슬러지 문제를 해결하기 위해서 건식 코어 천공 공법이 개발되어 사용되고 있으며, 이 공법의 경우 슬러지 문제는 없지만 분진이 발생하는 문제가 있어서 기술 개발 과정에서 이에 대한 고려가 필요함.

구 분	기 술 내 용	특 징
Obelix System(미)		• 드릴비트에 다이아몬드 지립이 부착되어 있고 이 분 이 확장되면서 천공하므로 천공 효과 우수 • 기계적으로 복잡한 구조를 가지고 있어서 콘크리트를 지속적으로 코어링하기에는 내구성에 문제가 있음.
Self Drilling Hollow Bar Anchor system(스웨덴)		• 이 기술의 경우 일정 크기 의코어 천공이 되고 마지막 에 확공천공이 되어야 하는데 앵커의 끝 부분에 확공 드릴비트가 장착되어 있어서 정확한 확공 천공이 어려움. • 비교적 구조가 간단하여 콘 크리트를 지속적으로 코어 링을 해도 내구성에는 크게 문제가 없을 것으로 보임.

[해외 언더컷 기술 분석]

- 한편으로 확공용 언더컷 드릴비트 개발을 위해 사전 자료 조사연구를 수행하였으며, 해외의 경우 Obelix System(미)과 Self Drilling Hollow Bar Anchor system(스웨덴)이 있으며, 각각의 내용에 대해서는 아래 그림에 나타내었음.
- 상기 언급한 문제점을 해결한 새로운 확공용 언더컷 드릴비트 기술을 개발하였으며, 개발된 언더컷 드릴비트 기술은 다음과 같은 원리를 가짐.



언더컷 드릴비트의 확공 원리는 1차 천공된 홀에 확장형 굴삭날이 장착된 봉을 내장한 강관비트를 삽입하고, 천공방향으로 압력을 가하면 내장된 굴삭날이 강관 외부로 돌출되며 원추형의 확공을 형성하게 됨.

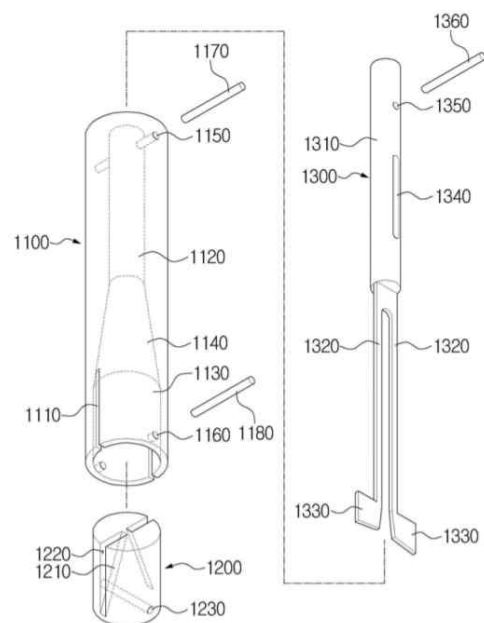
- 개발된 확공용 언더컷 드릴비트 기술과 관련하여 특허출원을 하였으며 아래 그림은 이에 대한 내용을 보여주고 있음.

【발명의 명칭】

콘기둥 형상 천공 언더컷 장치 및 이를 이용한 천공장치(Undercut Apparatus for Drilling the Bulb Section of Cone Pillar Shape and Drilling Apparatus using Its)

【기술분야】

【0001】 본 발명은 원통형 형상의 천공홀 단부를 간단하게 콘기둥 형상으로 드릴링하는 콘기둥 형상 천공 언더컷 장치 및 이를 이용한 천공장치에 관한 것으로 보다 상세하게는 콘크리트 구조물의 단면증설, 타부재와의 합성, 사면보강, 터널 암반보강 등에 사용하는 볼트, 네일링 및 다웰바 등의 단부에 지압마찰력을 증가시키기 위해 형성하는 원추기둥 벌브앵커를 삽입하기 위하여, 천공홀 단부를 벌브앵커 규격과 유사하게 원기둥 형상으로 드릴링하는 콘기둥 형상 천공 언더컷 장치 및 이를 이용한 천공장치에 관한 것이다.



단위기술 1: SP보강 구조체의 전단 특성 평가

• SP보강재의 직접전단 거동 평가

1) 실험 상세

- 개발된 SP보강재의 직접전단 거동을 평가하기 위해서 총 4개의 실험체가 제작되었음.
- 주요변수는 SP보강재의 프리스트레스력의 유·무임.
- 실험체는 SP보강재에 직접 전단이 전달 될 수 있도록 중앙에 사각 블록 1개와 양쪽 사각블록 2개가 단차가 있도록 제작되었음.
- 중앙 사각블록과 양쪽 사각블록의 단차는 150mm임. 각 사각블록의 높이는 700mm임.
- 중앙의 사각블록의 내부는 이형철근 직경 13mm를 이용하여 12개 배근하였으며, 양쪽 사각 블록의 내부는 이형철근 직경 13mm를 이용하여 10개 배근하였음.
- 사각블록의 전단파괴를 방지하기 위해서 이형 철근 19mm를 150mm 간격으로 배근하였음.
- 중앙 사각블록의 단면의 크기는 400mm × 300mm이며, 양 쪽 사각블록의 단면 크기는 400mm × 400mm임.
- SP보강재에 도입된 프리스트레스력은 120kN이며, B2-NP-X의 실험체는 프리스트레스력을 도입하지 않았음.

<표 2.1> SP 보강재의 직접전단 거동 평가를 위한 시험체 제작 변수

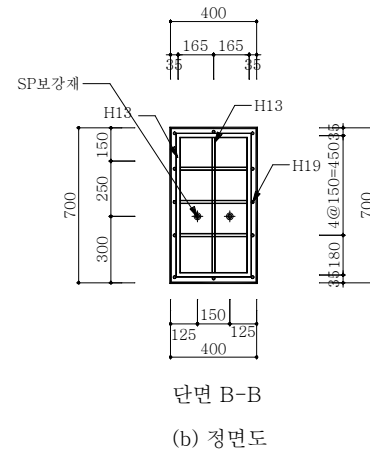
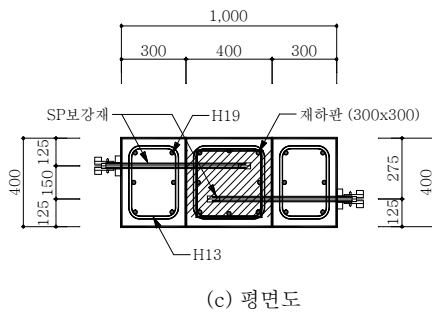
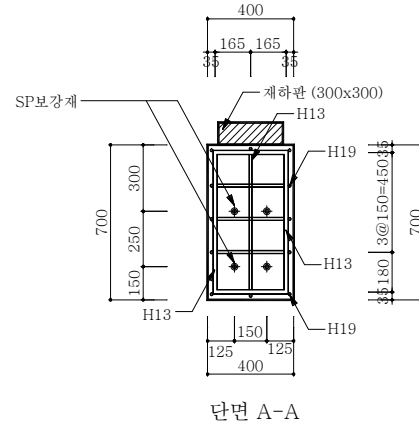
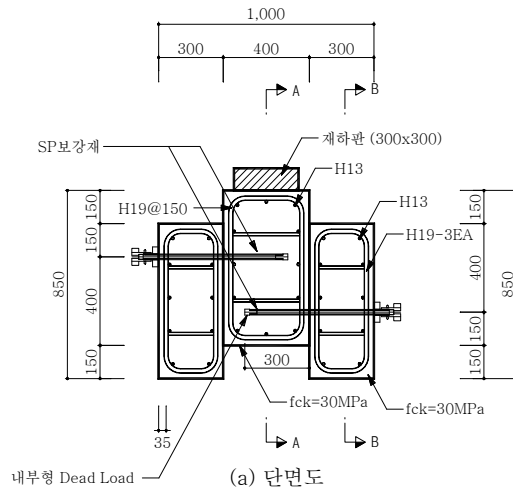
실험체명	지점조건		재하 방법	강봉			강관		
	Dead	Live		재질	직경	길이	재질	직경	길이
B1-SP-S-1	내부형	Screw	단기	SCM440	16	614.5	STG800	25.4× 3.6	641
B1-SP-S-2									
B2-NP-X-1	내부형	-	단기	-	-	-	STG800	25.4× 3.6	641
B2-NP-X-2									

2) 사용재료

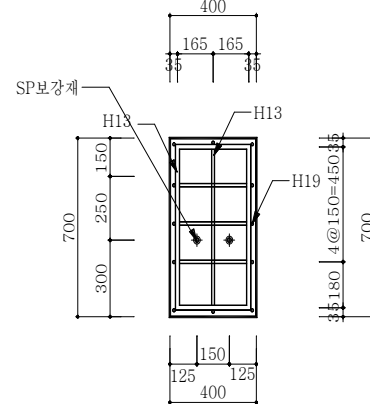
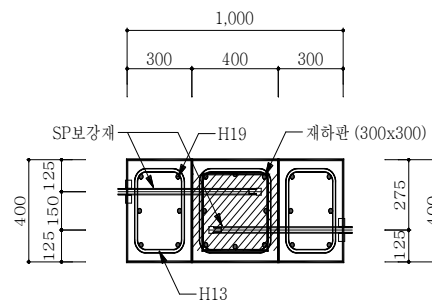
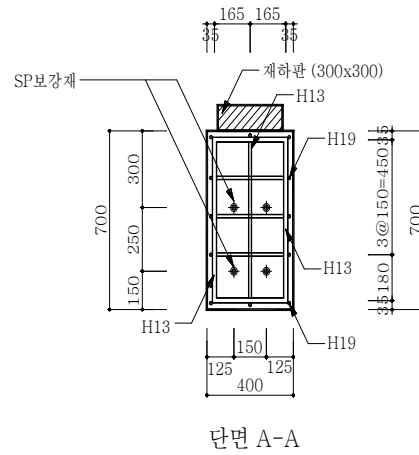
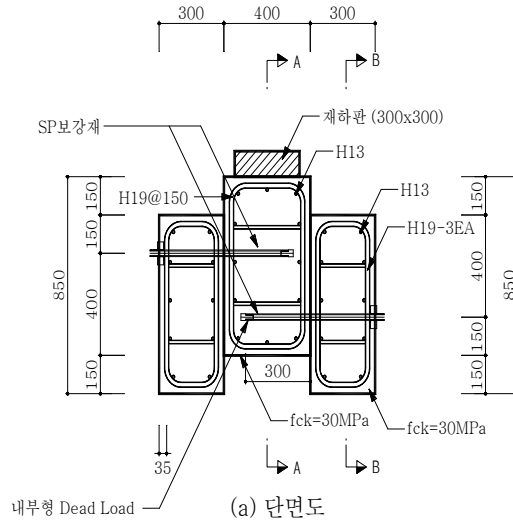
- 콘크리트의 설계 압축강도는 일반적으로 사용되는 24MPa로 결정하였음.
- SP보강재는 SCM 440(열처리)이며, 항복강도는 834MPa 및 인장강도는 942MPa임.
- 이형철근 13 mm 및 19 mm의 항복강도는 각각 422MPa 및 442MPa이며, 인장강도는 각각 537MPa 및 541MPa임. 이들의 탄성계수는 평균적으로 200,000MPa이었음.

3) 셋팅상세

- 모든 실험체들은 3,000kN 용량의 UTM을 이용하여 0.3mm/min의 속도로 변위제어하여 중앙부 사각블록에 재하였음.
- 수직 변위는 100mm 용량의 변위계를 이용하여 중앙의 사각블록과 양쪽의 사각블록의 변위를 측정하였음.



(A) B1-SP-S



(B) B2-NP-X

[그림 2.1] SP 보강재의 직접전단 거동 평가를 위한 시험체 제작 도면



[그림 2.2] 직접전단 거동 평가 시험체의 세팅 상세

4) 파괴모드

- 모든 실험체들은 균열들은 중앙 사각블록과 양쪽 사각블록의 경계면에서 집중되어 발생하였는데, 이 경향에 대한 SP보강재에 도입된 프리스트레스력에 대한 영향은 미미하였음.
- 이를 통하여 SP보강재에 직접전단이 잘 도입된 것으로 판단됨.



(A) B1-SP-S

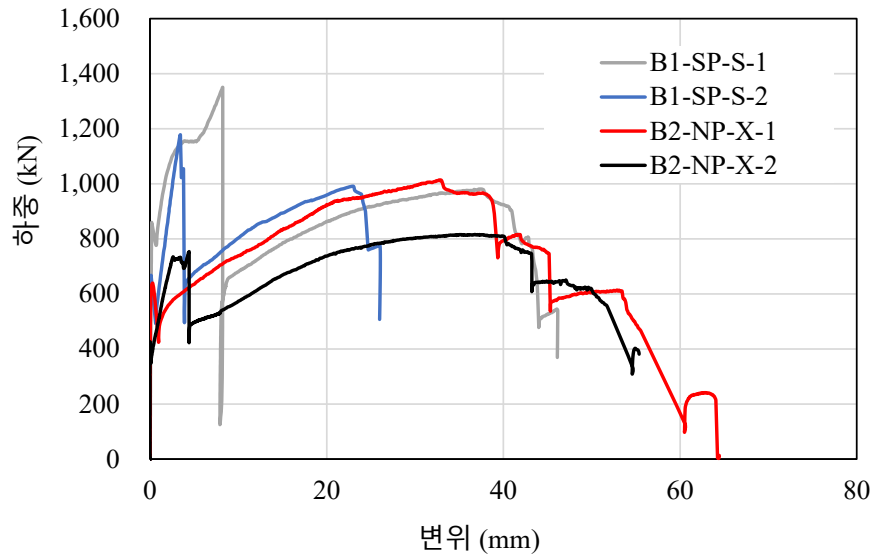


(B) B2-NP-X

[그림 2.3] 직접전단 거동 평가 시험체의 파괴 모드

5) 전단하중-수직변위관계

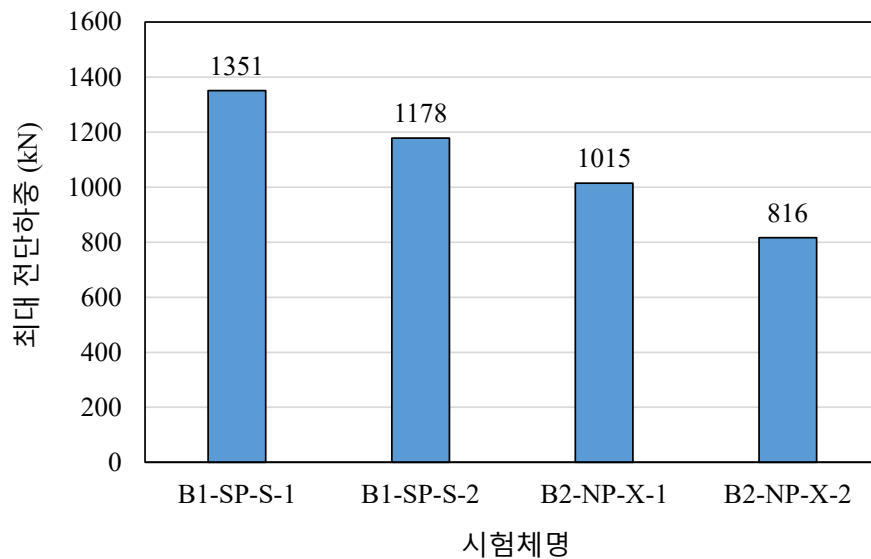
- 전단하중-수직변위 관계는 SP보강재에 도입된 프리스트레스력에 현저한 영향을 받았음.
- 전단하중-수직변위 관계에서 초기강성은 중앙 사각블록과 양쪽 사각블록의 경계면의 초기 균열이 발생하기 직전까지 비슷하였음.
- 반면 첫 균열 이후의 강성은 프리스트레스력이 도입된 실험체가 더 높았음. 최대시점에서의 변위는 프리스트레스력이 도입된 실험체에서 더 높았음.
- 최대하중 이후의 거동은 비슷한 강도저하를 보였으나, 최종 파단시점의 변위는 프리스트레스력이 도입된 실험체에서 더 높았음.
- 결과적으로 프리스트레스력은 직접전단에서 상승구간의 강성 및 최대하중 그리고 최대하중 이후의 거동의 변형을 증가시키는데 효과적임을 확인하였음.



[그림 2.4] 전단하중-수직변위 관계

6) 전단하중

- 초기 균열하중 및 최대전단하중은 SP보강재에 도입된 프리스트레스력에 현저한 영향을 받았음.
- 초기 균열하중 및 최대전단하중은 프리스트레스력이 도입된 실험체에서 각각 평균 1264kN으로 프리스트레스력이 도입되지 않은 실험체 보다 1.4 배 높았음.
- 결과적으로 프리스트레스력은 직접전단에서 전단하중을 증가시키는데 효과적임을 확인하였음.



[그림 2.5] 최대 전단 하중

• SP보강재로 보강된 브라켓의 전단 거동 평가

1) 실험 상세

- 개발된 SP보강재를 이용하여 보의 현치 부분의 전단거동을 평가하기 위해서 총 4개의 브라켓 실험체가 제작되었음.
- 주요변수는 브라켓 및 기존 보의 내부에 삽입된 SP보강재의 프리스트레스력의 유무임.
- 실험체는 보와 현치 부분으로 제작되었으며, 이들의 요소를 연결시키기 위해서 SP보강재를 삽입하였음.
- 보를 모사하는 부분은 단면의 크기가 1,000mm × 1,000mm이며, 현치 부분의 크기는 450mm × 1,000mm임.
- 보 및 현치 부분의 높이는 각각 1,500mm와 800mm임.
- 보에는 이형철근 13mm를 이용하여 12개 배근하였으며, 이형철근 19mm를 이용하여 250mm 간격으로 배근하였음.
- 현치에는 이형철근 13mm를 이용하여 8개 배근하였으며, 이형철근 19mm를 이용하여 250mm 간격으로 배근하였음.
- SP보강재에 도입된 프리스트레스력은 140kN이며, B2-NP-XN의 실험체는 프리스트레스력을 도입하지 않았음.

<표 2.2> SP 보강재가 적용된 브라켓의 전단 거동 평가를 위한 시험체 제작 변수

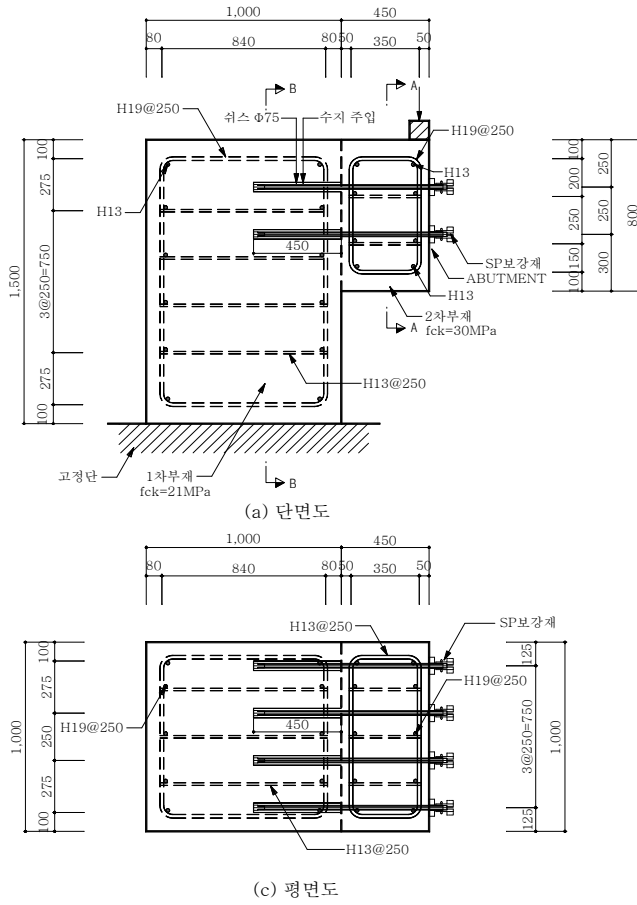
시험체명	SP보강재 타입		재하 방법	강봉			강관		
				재질	직경	길이	재질	직경	길이
B1-SP-SN	내부형	NUT	2점	SCM440	16	5,395.50	STG800	31.8×6.0	5,370
B2-NP-XN	내부형	-	2점	SCM440	16	5,395.50	STG800	31.8×6.0	5,370

2) 사용재료

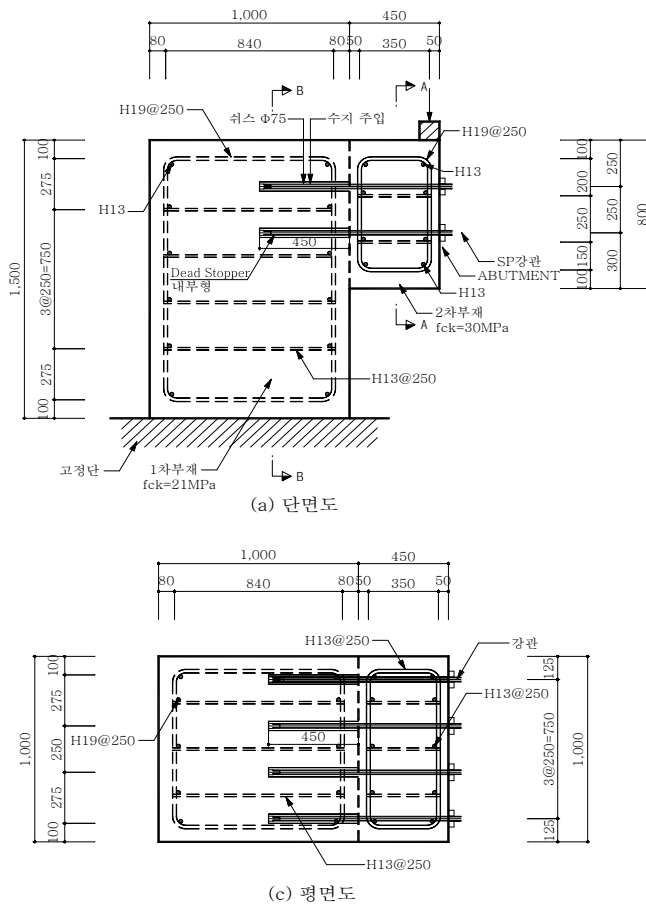
- 콘크리트의 설계 압축강도는 일반적으로 사용되는 24MPa로 결정하였음.
- SP보강재는 SCM 440(열처리)이며, 항복강도는 834MPa 및 인장강도는 942MPa임.
- 이형철근 13mm 및 19mm의 항복강도는 각각 422MPa 및 442MPa이며, 인장강도는 각각 537MPa 및 541MPa임. 이들의 탄성계수는 평균적으로 200,000MPa이었음.

3) 셋팅상세

- 실제 현치 부분에 도입되는 하중을 모사하기 위해서 모든 실험체는 보의 경계면으로부터 250mm 떨어진 위치에 하중점을 재하 하였는데, 이때 1,000kN 용량의 오일잭을 이용하여 가력하였음.
- 전단변위는 100mm 용량의 변위계를 이용하여 하중이 재하되는 선상에서 측정하였음.



(A) B1-SP-SN



(B) B2-NP-XN

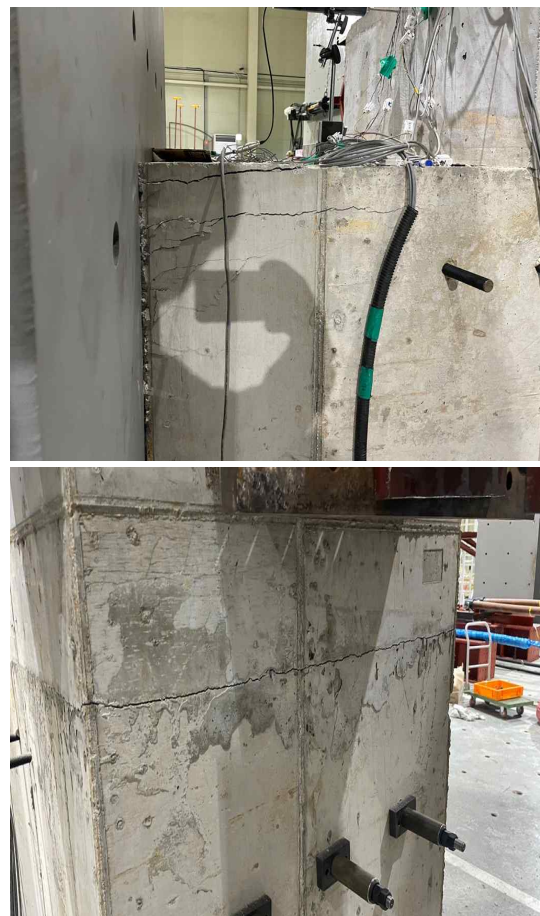
[그림 2.6] SP 보강재가 적용된 브라켓의 전단거동 평가를 위한 시험체 제작 도면



[그림 2.7] SP 보강재가 적용된 브라켓의 시험 셋팅 상세

4) 파괴모드

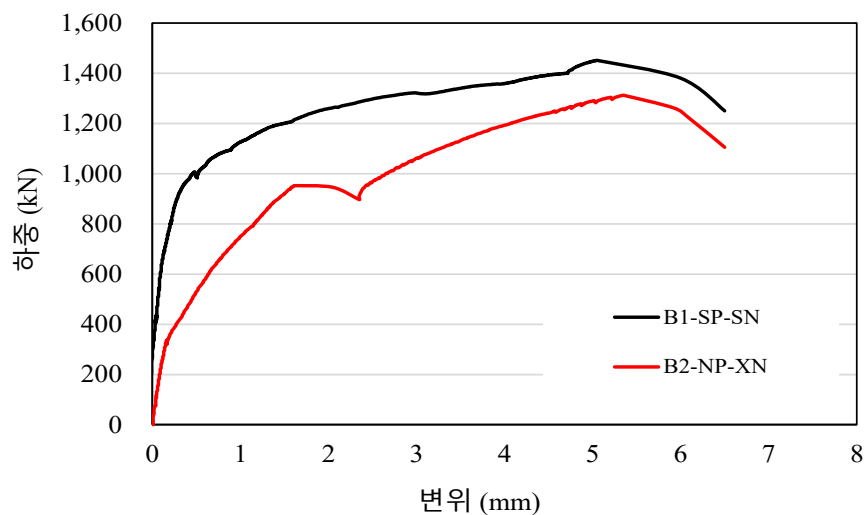
- 모든 실험체들은 균열들은 보와 헌치 경계면에서 집중되었는데, 대부분 사인장 균열로서 전단지배되었음.
- 이들 균열진전들에 대한 SP보강재에 도입된 프리스트레스력의 영향은 미미하였음.



[그림 2.8] SP 보강재가 적용된 브라켓의 파괴모드

5) 전단하중-처짐관계

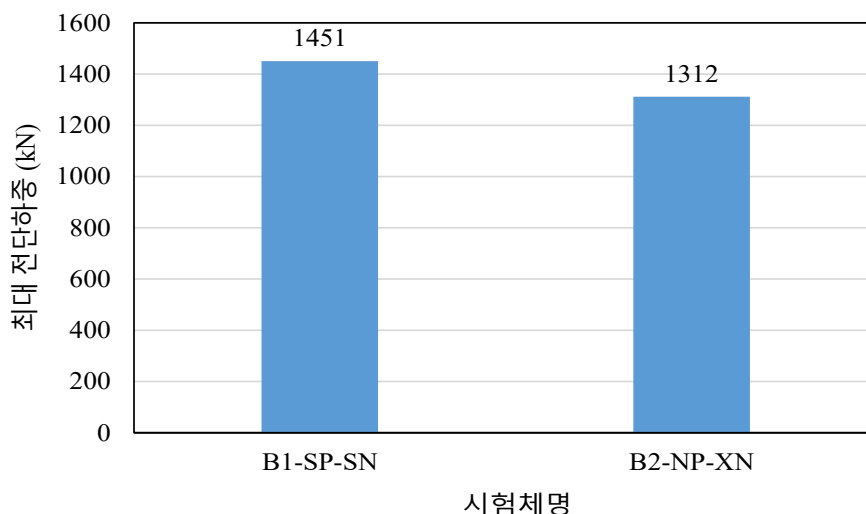
- 전단하중-처짐 관계는 SP보강재에 도입된 프리스트레스력에 현저한 영향을 받았음.
- 전단하중-처짐 관계에서 초기강성은 보의 경계면과 하중점이 재하되는 사이에서의 경계면의 사인장 균열이 발생하기 직전까지 비슷하였음.
- 반면 첫 사인장 균열 이후의 강성은 프리스트레스력이 도입된 실험체가 더 높았음. 최대시점에서의 변위는 프리스트레스력이 도입된 실험체에서 더 높았음.
- 최대하중 이후의 거동은 비슷한 강도저하를 보였으나, 최종 파단시점의 변위는 프리스트레스력이 도입된 실험체에서 더 높았음.
- 결과적으로 프리스트레스력은 전단거동에서 상승구간의 강성 및 최대하중 그리고 최대하중 이후의 거동의 변형을 증가시키는데 효과적임을 확인하였음.



[그림 2.9] SP 보강재가 적용된 브라켓의 하중-변위 관계

6) 전단하중

- 초기 사인장 균열하중 및 최대전단하중은 SP보강재에 도입된 프리스트레스력에 현저한 영향을 받았음.
- 초기 사인장 균열하중 및 최대전단하중은 프리스트레스력이 도입된 실험체에서 각각 984kN 및 1451kN으로 프리스트레스력이 도입되지 않은 실험체 보다 각각 3.1배 및 1.11배 높았음.
- 결과적으로 프리스트레스력은 전단하중을 증가시키는데 효과적임을 확인하였음.



[그림 2.10] SP 보강재가 적용된 브라켓의 최대 전단하중

단위기술 2: SP보강 구조체의 휨 거동 특성 평가

• SP보강재가 적용된 보의 휨 거동 평가

1) 실험 상세

- 개발된 SP보강재의 휨 거동 및 부착효과를 평가하기 위해서 총 4개의 단순보 실험체가 제작되었음.
- 주요변수는 SP보강재에서 프리스트레스력의 유무, 내부 강봉의 유무 및 커플러의 유무임.
- 모든 실험체의 폭 및 깊이는 각각 300mm 및 500mm임.
- 전체 길이 및 외부 지점들 사이의 길이는 각각 5,250mm 및 4,750mm임. 이로서 전단 경간비는 2.5임.
- 실험체의 상부는 압축철근으로서 13mm 직경의 이형철근을 이용하여 3개 배근하였음. 하부는 인장 철근으로서 19mm 직경의 이형철근과 SP보강재를 이용하여 각각 1개와 3개 배근하였음.
- 전단철근은 13mm 직경의 이형철근을 이용하여 200mm 간격으로 배근하였음.
- SP보강재에 도입된 스트레스력은 140kN이며, F3-NP-X-B의 실험체는 프리스트레스력을 도입하지 않았음.

<표 2.3> SP 보강재가 적용된 보의 휨 거동 평가를 위한 시험체 제작 변수

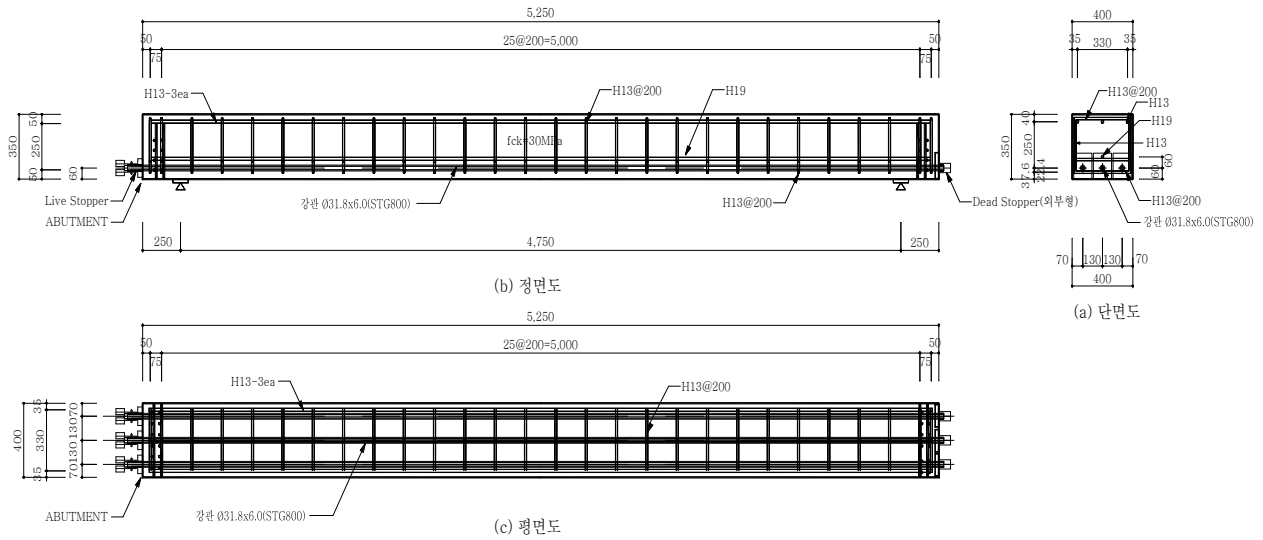
실험체명	SP보강재 타입		재하 방법	강봉			강관		
				재질	직경	길이	재질	직경	길이
F1-SP-S-B	외부형 (강봉제거)	NUT	2점	SCM440	19	5,395.50	STG800	31.8×6.0	5,370
F2-SP-S-BB	외부형 (강봉유지)	NUT	2점	SCM440	19	5,395.50	STG800	31.8×6.0	5,370
F3-NP-X-B	외부형	-	2점	-	-	-	STG800	31.8×6.0	5,370
F4-SP-C-B	외부형	커플러	2점	SCM440	19	5,395.50	STG800	31.8×6.0	5,370

2) 사용재료

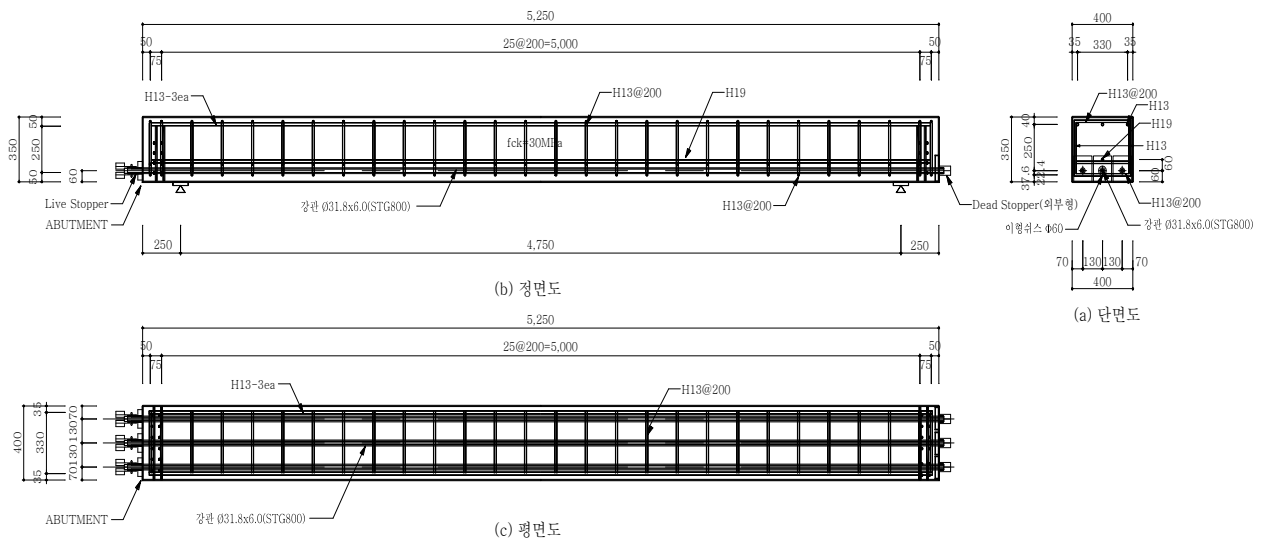
- 콘크리트의 설계 압축강도는 일반적으로 사용되는 24MPa로 결정하였음.
- SP보강재는 SCM 440(열처리)이며, 항복강도는 834MPa 및 인장강도는 942MPa임.
- 이형철근 13mm 및 19mm의 항복강도는 각각 422MPa 및 442MPa이며, 인장강도는 각각 537MPa 및 541MPa임. 이들의 탄성계수는 평균적으로 200,000MPa이었음.

3) 셋팅상세

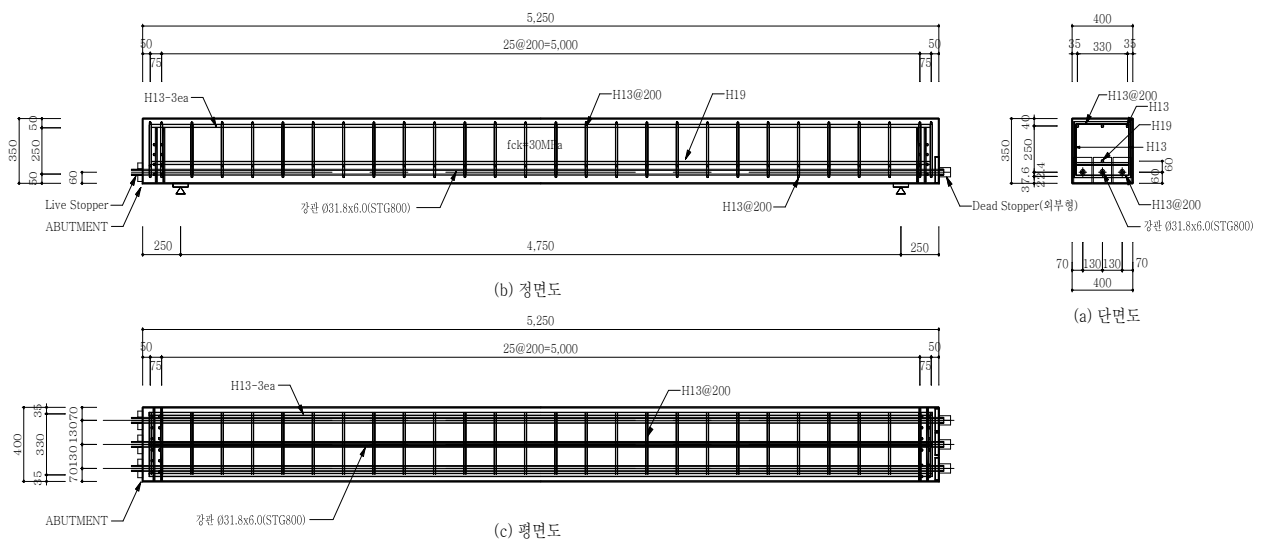
- 모든 실험체들은 각 스패에서 2점 하중으로 재하 되었음.
- 가력은 3,000kN 용량의 UTM을 이용하여 0.3mm/min의 속도로 변위제어 하였음.
- 양단부 지점은 단순지지로 시뮬레이션하기 위해 힌지를 설치하였음.
- 상부하중은 UTM에 연결된 로드셀로부터 측정되었으며, 처짐은 100mm 용량의 변위계를 이용하여 가력점 하부 및 중앙부에서 측정되었음.



(A) F1-SP-S-B

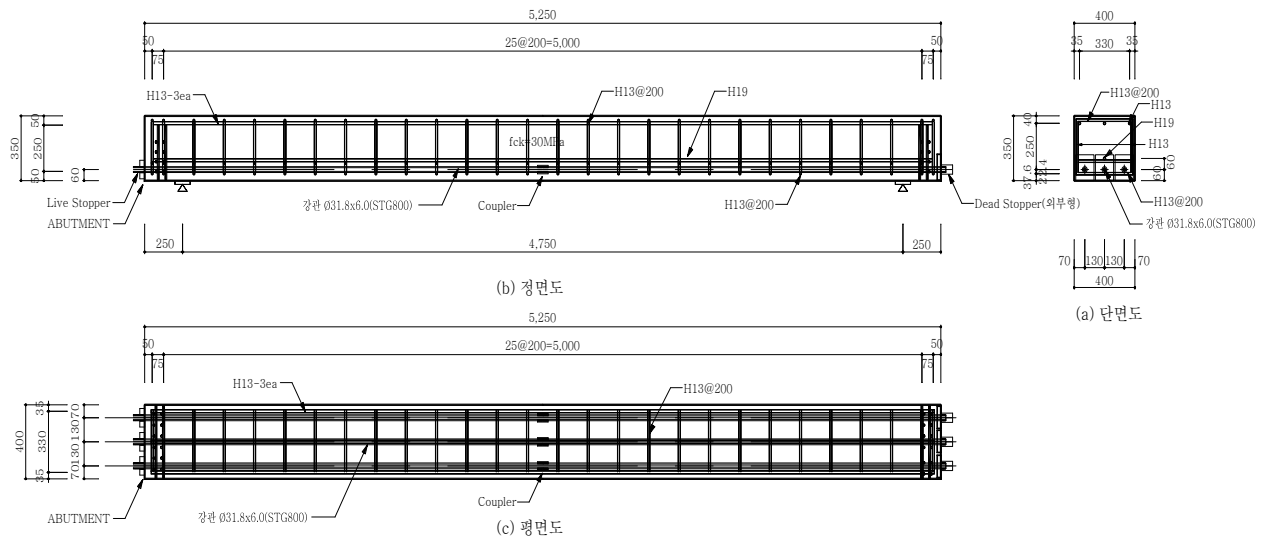


(B) F2-SP-S-BB



(C) F3-NP-X-B

[그림 2.11] SP 보강재가 적용된 보의 휨 거동 평가를 위한 시험체 제작 도면



(D) F4-SP-C-B

[그림 2.12] SP 보강재가 적용된 보의 휨 거동 평가를 위한 시험체 제작 도면(계속)

4) 파괴모드

- 모든 시험체의 휨 균열은 최대모멘트 구간에서 발생하였음.
- 이후 하중이 증가함에 따라 수직 균열들은 점차 상부의 압축영역으로 진전되었으며, 보 양단의 지점 방향으로 수직균열들이 추가 발생하였음.
- 이들의 균열진전은 SP보강재가 설치된 위치의 상세에 관계없이 일정하였음.

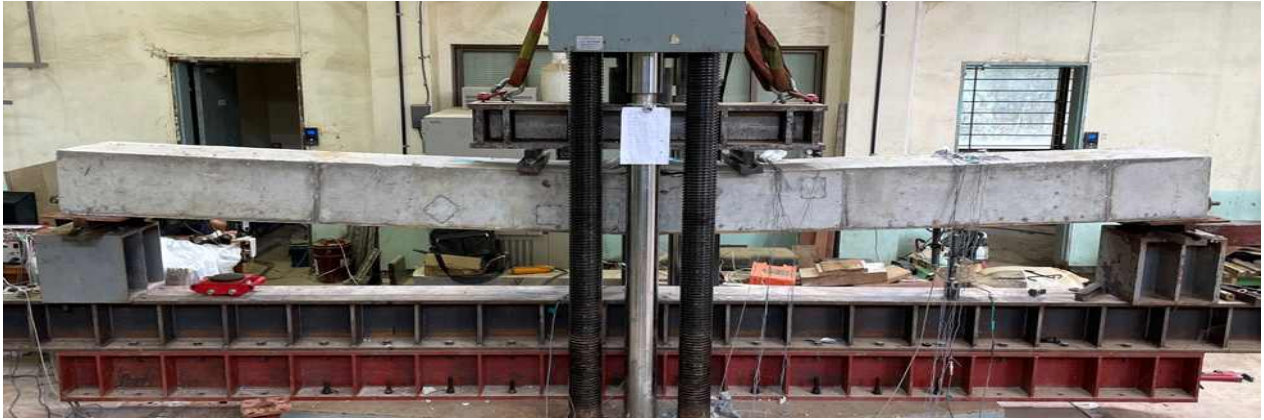


(A) F1-SP-S-B



(B) F2-SP-S-BB

[그림 2.13] SP 보강재가 적용된 보의 파괴모드



(C) F3-NP-X-B

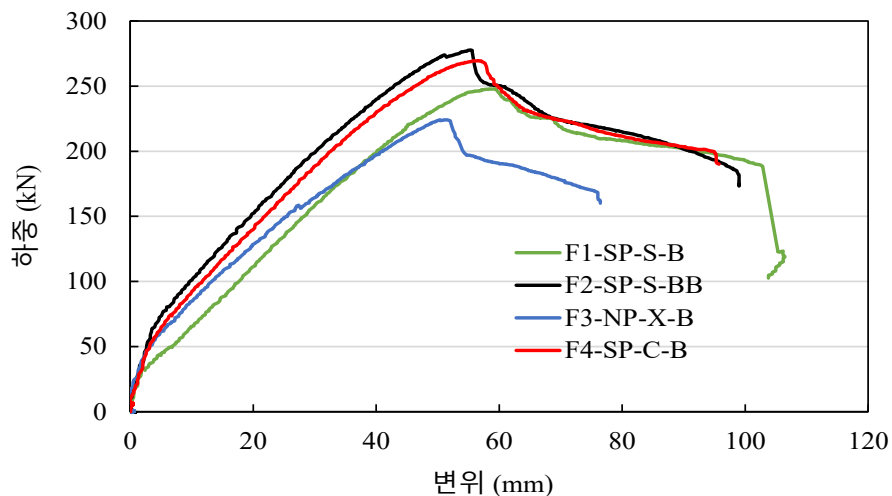


(D) F4-SP-C-B

[그림 2.14] SP 보강재가 적용된 보의 파괴모드(계속)

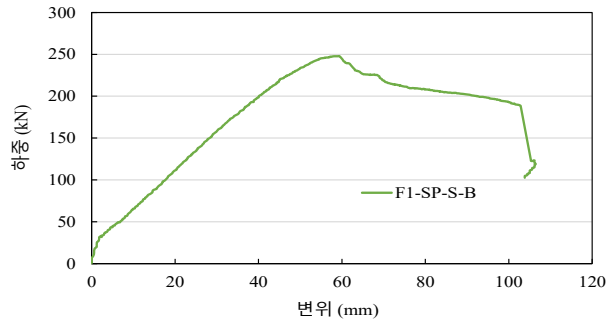
5) 하중-처짐 관계

- 모든 실험체의 하중-처짐 관계에서 초기 휨 균열발생 이전의 기울기에 대한 프리스트레스트력, 내부 강봉 및 커플러의 유무에 미치는 영향은 미미하였음.
- 반면 초기 휨 균열 발생 이후의 최대내력 시점까지의 기울기는 내부 강봉 및 커플러의 유무에 미치는 영향에 관계없이 프리스트레스트력이 증가할수록 다소 증가하였음.
- 또한 최대내력 이후의 거동에 대한 프리스트레스트력, 내부 강봉 및 커플러의 유무에 미치는 영향은 미미하였음.

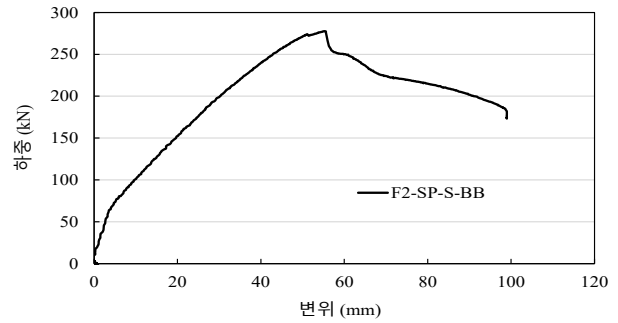


(A) 종합결과

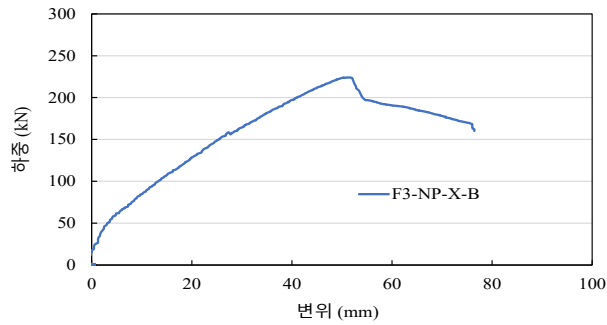
[그림 2.15] SP 보강재가 적용된 보의 하중-처짐 관계



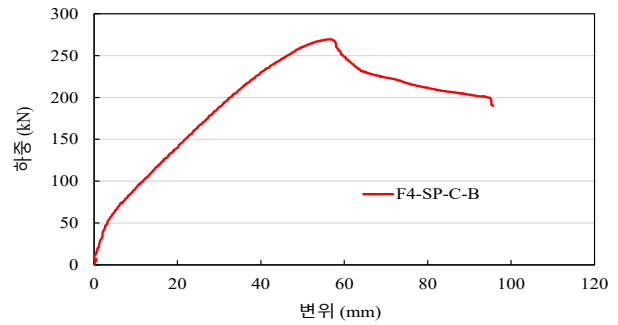
(B) F1-SP-S-B



(C) F2-SP-S-BB



(D) F3-NP-X-B

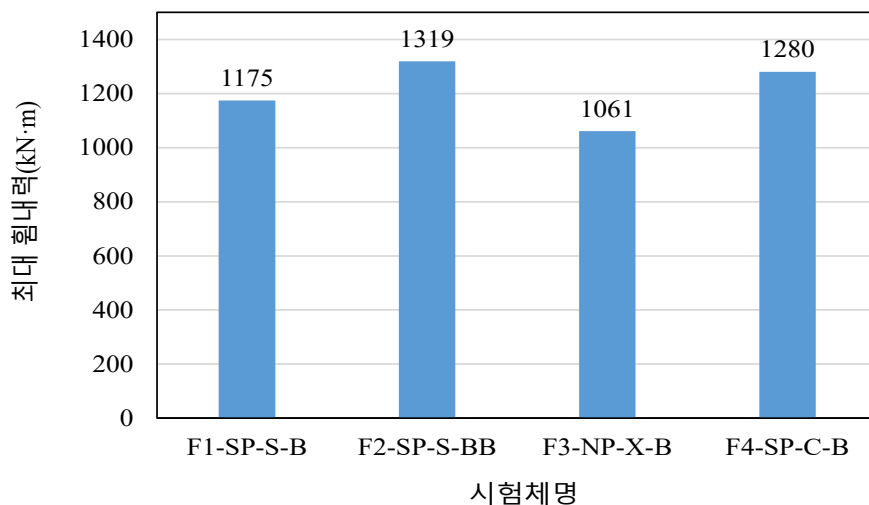


(F) F4-SP-C-B

[그림 2.16] SP 보강재가 적용된 보의 하중-처짐 관계(계속)

6) 휨 내력

- 초기 휨 균열 하중은 커플러의 유무에 미치는 영향에 관계없이 내부에 강봉이 없거나 프리스트레스력이 감소할수록 감소하였음.
- 내부에 강봉이 없는 실험체의 초기 휨 균열하중은 41.1kN이었는데, 강봉이 있는 실험체 보다 약 26% 낮았음.
- 프리스트레스력이 없는 실험체의 초기 휨 균열하중은 34.8kN이었는데, 다른 실험체들 보다 약 15~37% 낮은 수준이었음.
- 또한 최대내력도 초기 휨 균열하중과 비슷한 경향을 보였음. 결과적으로 내부에 강봉이 있거나 프리스트레스력이 높을수록 최대내력도 높았음.
- F2-SP-S-BB는 최대내력이 277.65kN으로 다른 실험체들 보다 가장 높았는데, 특히 프리스트레스력이 없는 실험체 보다 약 1.24배 높았음.
- 결과적으로 기존 RC 보의 휨 내력에 미치는 영향과 비슷하게 프리스트레스력의 증가가 내력 증가에 미치는 영향이 동일함을 확인하였음.



[그림 2.17] SP 보강재가 적용된 보의 최대 휨 내력

• SP보강재가 적용된 기둥의 휨 거동 평가

1) 실험 상세

- 개발된 SP보강재로 적용된 축력부재의 휨 거동을 평가하기 위해서 총 2개의 기둥 실험체가 제작되었음.
- 주요변수는 SP보강재에서 프리스트레스력의 유무임.
- 모든 실험체에서 구 콘크리트의 크기는 300mm × 300mm임. 또한 신 콘크리트가 결합된 상태의 크기는 450mm × 300mm임.
- 모든 실험체의 전체높이는 2,900mm이며, 실험구간의 높이는 1,700mm임.
- 기둥 상부 및 하부 스테르브의 크기는 600mm × 550mm × 1,050mm로 제작하였음.
- 상부 및 하부 스테르브는 압축력에 의한 국부파괴를 방지하기 위하여 횡보강근의 간격을 조밀하게 배근하였음.
- 구 콘크리트 실험체의 주철근은 직경 19mm인 이형철근을 16개 배근하였음.
- 구 콘크리트 실험체의 횡보강근은 직경 10mm의 이형철근을 사용하였으며 배근간격은 250mm이었음.
- 신 콘크리트 실험체의 주철근은 25.4mm 강관 6개를 배근하였음. 또한 횡보강근은 직경 10mm의 이형철근을 사용하였으며 배근간격은 120mm이었음.
- 특히 신 콘크리트의 횡보강근은 구 콘크리트내에 약 60mm로 정착하였음.

<표 2.4> SP 보강재가 적용된 기둥의 휨 거동 평가를 위한 시험체 제작 변수

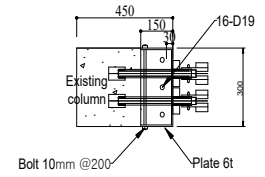
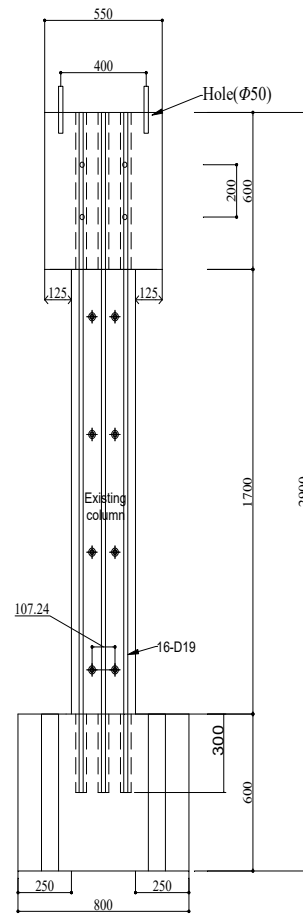
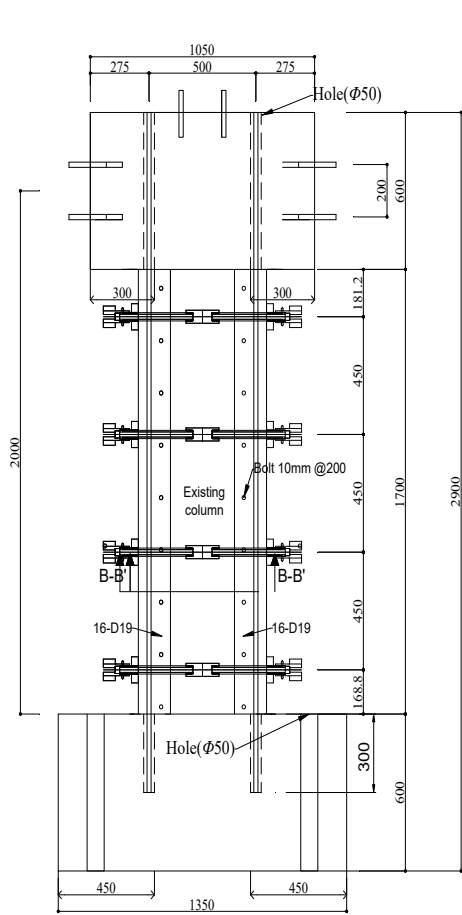
실험체명	지점조건		재하 방법	강봉			강관		
	Dead	Live		재질	직경	길이	재질	직경	길이
C1-SP-S	내부형	SCREW	PH	SCM440	19	2,200	STG800	25.4×3.6	2,150
C2-NP-X	내부형	SCREW	PH	-	-	-	STG800	25.4×3.6	2,150

2) 사용재료

- 콘크리트의 설계 압축강도는 일반적으로 사용되는 24MPa로 결정하였음.
- SP보강재는 SCM 440(열처리)이며, 항복강도는 834MPa 및 인장강도는 942MPa임.
- 이형철근 13mm 및 19mm의 항복강도는 각각 422MPa 및 442MPa이며, 인장강도는 각각 537MPa 및 541MPa임. 이들의 탄성계수는 평균적으로 200,000MPa이었음.

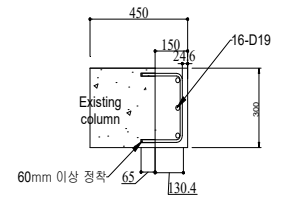
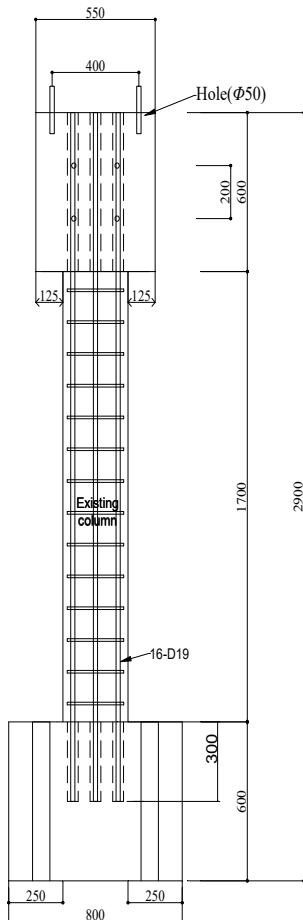
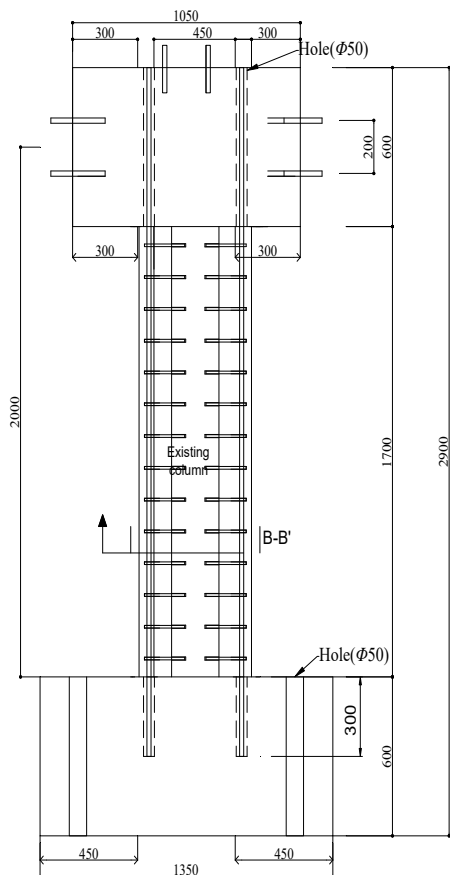
3) 셋팅상세

- 모든 실험체는 관통된 하부 스테르브와 락볼트를 이용하여 바닥의 반력판에 완전히 고정하였음.
- 횡력은 2,000kN 용량의 엑츄에이터를 이용하여 정 및 부방향으로 20mm/min의 일정한 속도로 도입하였음.
- 상부 스테르브의 양 측면에는 강재 블록을 설치하여 횡가력에 의한 지압파괴를 방지하였음. 모든 실험체는 FEMA 356(2000)에서 제시된 변위이력으로 가력 하였음.
- 횡방향의 변위는 상부 스테르브 중심의 하중작용선에 설치된 300mm 용량의 변위계(linear variable differential transducers, LVDT)를 이용하여 측정하였음.



< Section B-B' >

(A) C1-SP-S



< Section B-B' >

(B) C2-NP-X

[그림 2.18] SP 보강재가 적용된 기둥의 휨 거동 평가를 위한 시험체 제작 도면



[그림 2.19] SP 보강재가 적용된 기둥의 시험 세팅 상세

4) 파괴모드

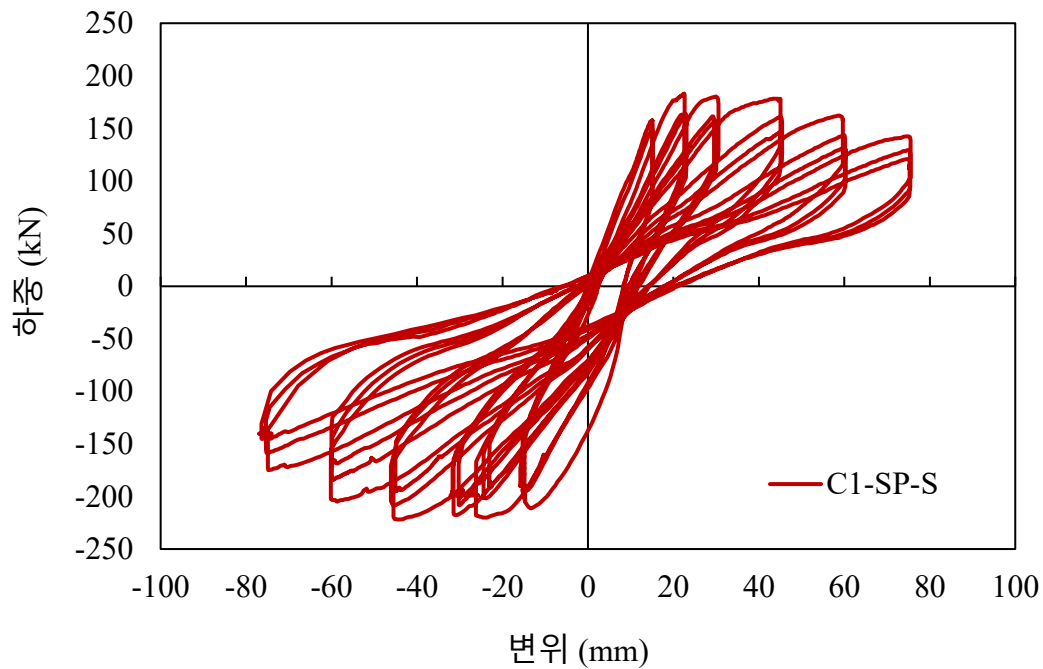
- 실험체의 초기 수평 휨 균열은 1 사이클에서 경계요소 콘크리트 인장 측에 발생하였음.
- 수평 휨 균열은 하중이 증가함에 따라 상부 스톱브 방향으로 진전하였음.
- 6 사이클에서 주철근의 항복과 함께 수직균열이 발생하였음.
- 9 사이클에서는 주철근의 좌굴과 동시에 피복 콘크리트의 박리가 발생하였으며, 15 사이클에서 주철근이 파단되었음.
- 위의 경향들은 프리스트레스력의 유무에 관계없이 비슷하였음.



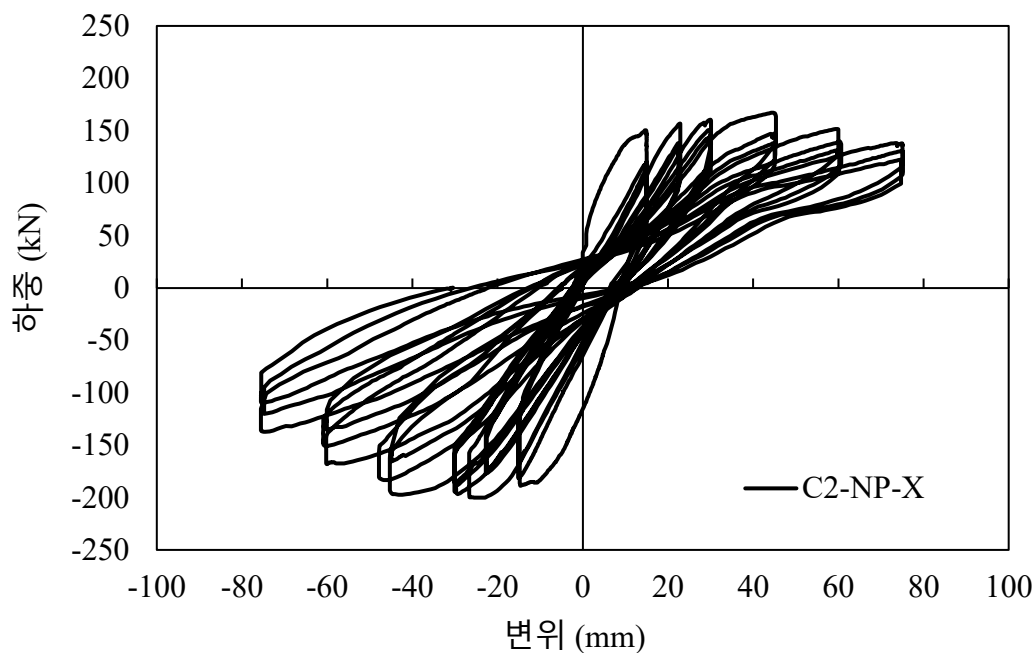
[그림 2.20] SP 보강재가 적용된 기둥의 파괴 모드

5) 횡하중-변위 관계

- 모든 실험체는 초기 휨 균열 발생이후 강성 저하와 함께 변위가 급격하게 증가하였음.
- 6 사이클에서는 항복시점에 도달하였으며, 항복 이후 하중이 완만하게 증가하였음. 12사이클에서는 최대하중에 도달하였으며, 18 사이클에서는 최대하중의 80%에 도달하였음.
- 횡하중-횡변위관계에서 상승구간의 강성은 프리스트레스력에 다소 영향을 받았음. 초기 휨 균열 이후 항복시점까지의 강성은 프리스트레스력이 도입된 실험체에서 프리스트레스력이 도입되지 않은 실험체 보다 높았음.
- 최대하중 이후의 거동에 대한 프리스트레스력의 유·무에 미치는 영향은 미미하였음.



(A) C1-SP-S

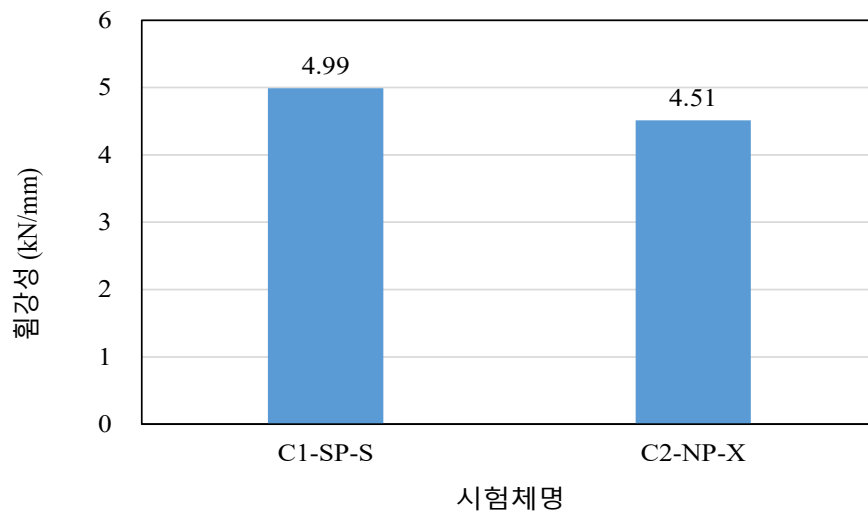


(B) C2-NP-X

[그림 2.21] SP 보강재가 적용된 기둥의 횡하중-변위 관계

6) 휨 강성

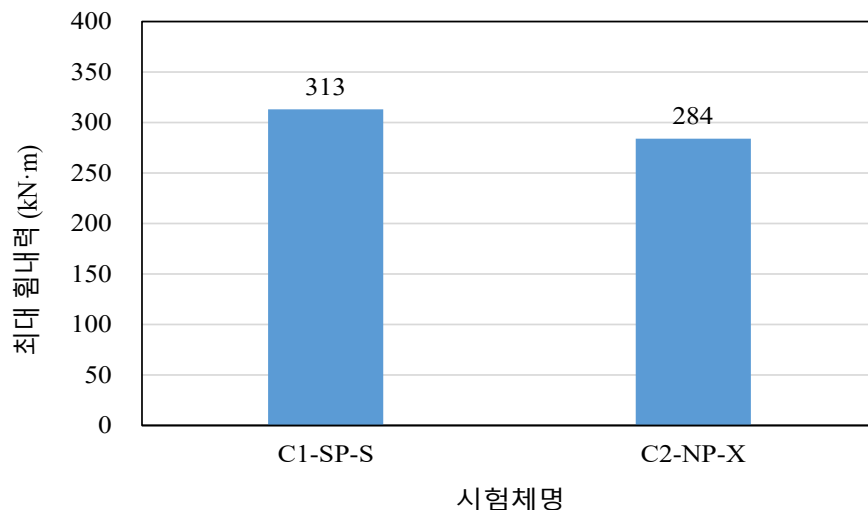
- 휨 강성은 횡하중-변위 관계에서 탄성구간에서 평가하였는데, 그 평가 시점을 항복점으로 결정하였음. 즉 항복시점에서 프리스트레스력이 도입된 실험체와 도입되지 않은 실험체의 강성을 비교하였음.
- 프리스트레스력이 도입된 C-SP-S의 실험체의 휨 강성은 4.99kN/mm이었는데, 프리스트레스력이 도입되지 않은 실험체 C-NP의 휨 내력 보다 약 1.1배 증가하였음.
- 결과적으로 SP 보강재의 프리스트레스력은 기둥의 휨 강성을 향상시키는데 효과적임을 확인하였음.



[그림 2.22] SP 보강재가 적용된 기둥의 휨 강성

7) 최대 휨내력

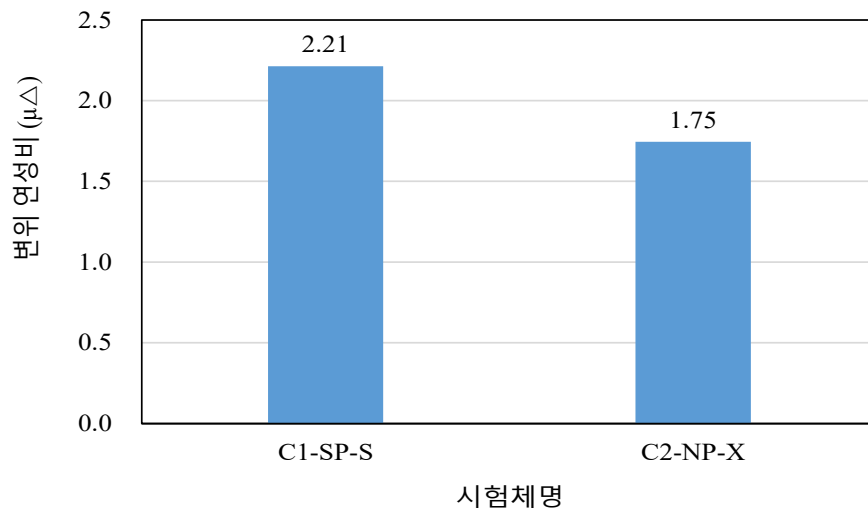
- 모든 실험체의 휨 내력은 프리스트레스력이 높을수록 다소 증가하였음.
- 프리스트레스력이 도입된 C-SP-S의 실험체의 휨 내력은 313kN·m이었는데, 프리스트레스력이 도입되지 않은 실험체 C-NP의 휨 내력 보다 약 1.1배 증가하였음.
- SP 보강재의 프리스트레스력이 기둥의 휨 내력의 증가에 큰 영향을 주지 않았지만, 만약 축력이 증가한다면 그 효과는 더 클 수 있을 것으로 판단됨.



[그림 2.23] SP 보강재가 적용된 기둥의 최대 휨내력

8) 변위 연성비

- 모든 실험체의 연성은 Park and Paulay가 제시한 변위연성비로 평가하였음.
- 변위연성비는 하강구간에서 최대내력의 80% 시점의 변위를 상승구간의 주철근이 항복되는 시점의 변위로 나누어 산정함.
- 프리스트레스트력이 도입된 C-SP-S의 실험체의 변위연성비는 2.21이었는데, 프리스트레스트력이 도입되지 않은 실험체 C-NP의 변위연성비 보다 약 1.26배 증가하였음.
- 이로서 SP 보강재의 프리스트레스트력은 기둥의 연성을 증가시키는 것을 확인하였으며, 이 효과는 인장지배영역으로 설계된 기둥에서 축력이 증가한다면 그 효과는 더 클 수 있을 것으로 판단됨.



[그림 2.24] SP 보강재가 적용된 기둥의 변위 연성비

단위기술 3: 언더컷 드릴비트 시작품 제작

• 직접인발 거동 평가

1) 실험 상세

- 개발된 언더컷 드릴비트로 시공된 SP보강재의 인발 거동을 평가하기 위해서 총 4개의 실험체가 제작되었음.
- 주요변수는 언더컷 드릴비트로 시공된 SP보강재의 프리스트레스트력의 유무임.
- 실험체는 인발실험체로 제작되었는데, 상부에는 삽입된 SP보강재가 도출되어 있으며, 하단에는 변위 측정을 위해 내부에 묻혀있는 부분과 연결된 원형강봉을 연결하여 하단부에 도출하였음.
- 인발실험체에서 콘크리트 부분의 크기는 350mm × 350mm × 300mm임. 내부에는 SP보강재가 인발에 의해 파괴되는 시점까지 콘크리트에서 파괴되지 않도록 과보강하였음.
- 콘크리트 부분에는 이형철근 직경 13mm를 이용하여 10개 배근하였으며, 횡철근으로서 이형철근 직경 13mm를 이용하여 4개 배근하였음.
- SP보강재에 도입된 프리스트레스트력은 120kN이며, P2-NP의 실험체는 프리스트레스트력을 도입하지 않았음.

<표 2.5> SP 보강재의 직접인발 거동 평가를 위한 시험체 제작 변수

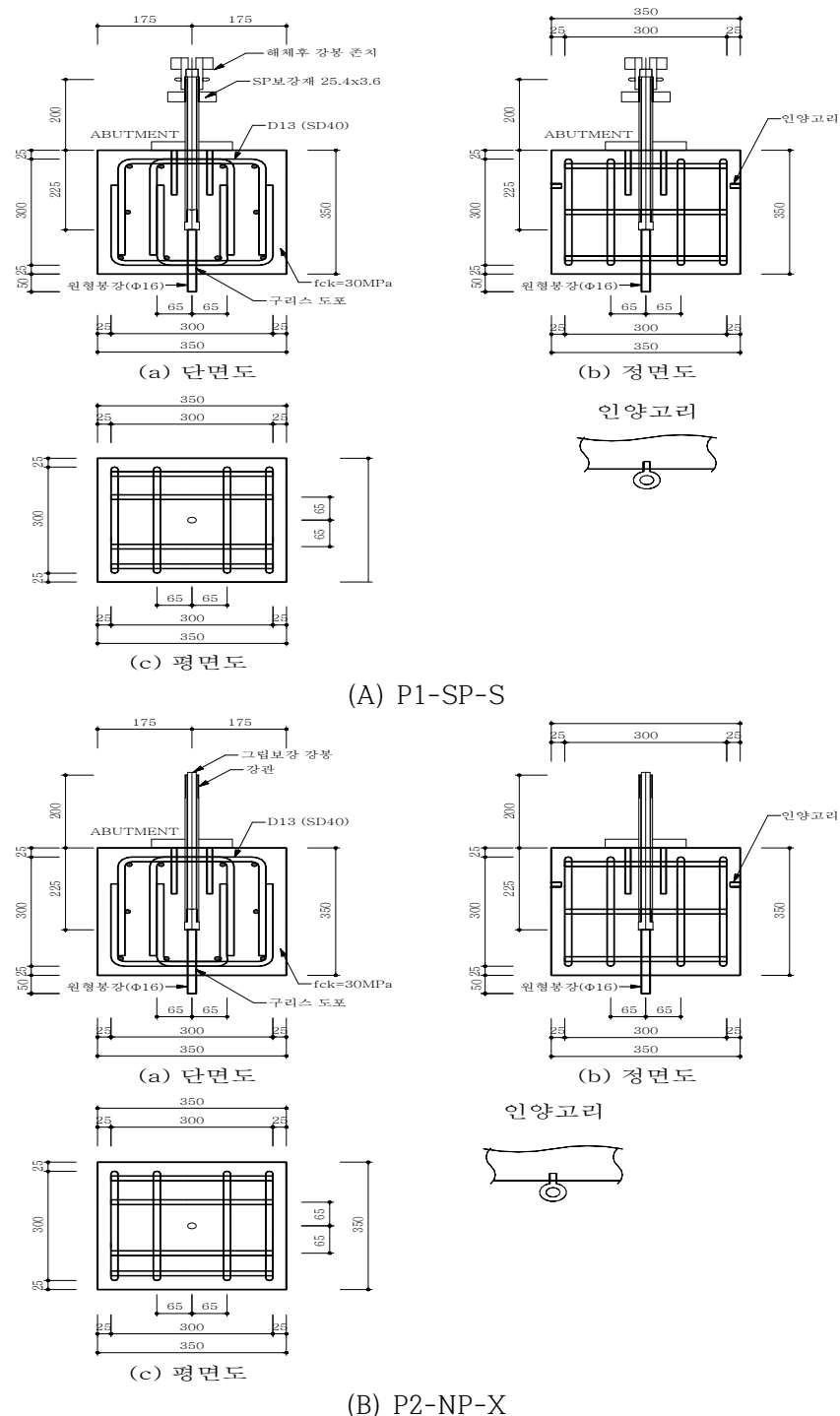
시험체명	지점조건		재하 방법	강봉			강관		
	Dead	Live		재질	직경	길이	재질	직경	길이
P1-SP-S	내부형	SCREW	단기	SCM440	16	375.5	STG800	25.4×3.6	403
P2-NP-X	내부형	SCREW	단기	-	-	-	STG800	25.4×3.6	403

2) 사용재료

- 콘크리트의 설계 압축강도는 일반적으로 사용되는 24MPa로 결정하였음.
- SP보강재는 SCM 440(열처리)이며, 항복강도는 834MPa 및 인장강도는 942MPa임.
- 이형철근 13 mm 및 19 mm의 항복강도는 각각 422MPa 및 442MPa이며, 인장강도는 각각 537MPa 및 541MPa임. 이들의 탄성계수는 평균적으로 200,000MPa이었음.

3) 셋팅상세

- 모든 실험체들은 1,000kN 용량의 오일잭을 이용하여 가력하였는데, 오일잭 상단에 로드셀을 설치하여 하중변화를 측정하였음.
- 인발변위는 100mm 용량의 변위계를 이용하여 하단부에 도출된 원형강봉이 상승하는 변위로 측정하였음.



[그림 2.25] SP 보강재의 직접인발 거동 평가를 위한 시험체 제작 도면



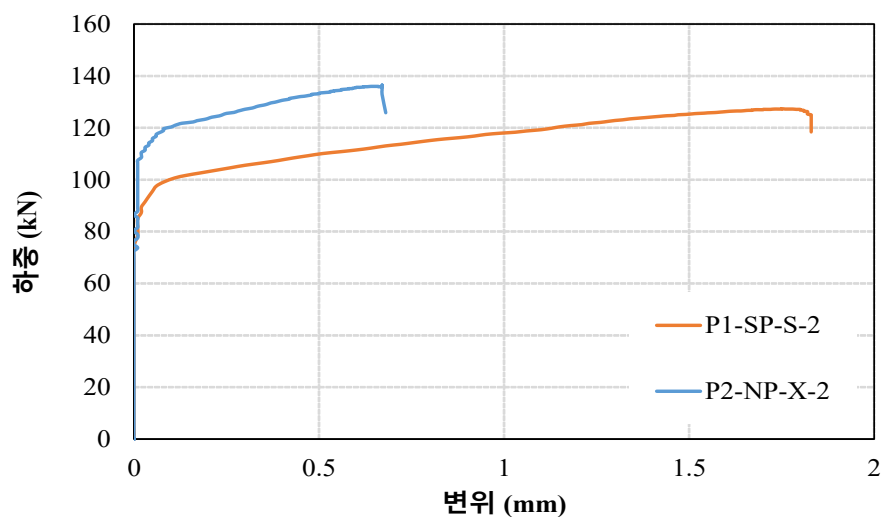
[그림 2.26] 직접인발 시험체 세팅 사세

4) 파괴모드

- 실험체들은 삽입된 SP보강재와 콘크리트 계면에서의 파괴로 실험이 종료되었음.
- 이는 언더컷 드릴비트로 인해 SP보강재와 콘크리트 계면파괴가 주를 이룬 것으로 판단됨.
- 이들 경향은 프리스트레스트력에 관계없이 일정하였음.

5) 인발하중-변위 관계

- 인발하중-변위관계에서 초기강성은 프리스트레스트력에 관계없이 초기 균열이 발생하기 시점까지 일정하였음.
- 초기 균열이 발생한 이후에는 최대내력 시점까지 변위가 급격히 증가하였음.
- 프리스트레스트력이 있는 실험체의 최대내력시점에서 변위는 약 0.67mm까지 증가한 반면, 프리스트레스트력이 없는 실험체의 최대내력시점에서 변위는 1.78mm로 프리스트레스트력이 있는 실험체 보다 약 2.2배 증가하였음.



[그림 2.27] 직접인발 시험체 세팅 사세

6) 최대인발하중

- 모든 실험체의 최대인발하중은 프리스트레스트력이 높을수록 높았음.
- 프리스트레스트력이 도입된 P1-SP-S의 실험체의 인발하중은 136.5kN이었는데, 프리스트레스트력이 도입되지 않은 실험체 P2-NP-X의 인발하중 보다 20% 높았음.

• 언더컷 드릴비트로 시공된 SP보강재의 손실을 평가

1) 실험 상세

- 개발된 언더컷 드릴비트로 시공된 SP보강재의 프리스트레스력 도입 하중에 대한 손실율(즉시손실 및 릴렉сей션 포함)을 평가하기 위해서 총 2개의 실험체가 제작되었음.
- 실험체는 구콘크리트와 신콘크리트와 구분되며, 구 콘크리트의 단면 크기는 1,000mm × 500mm × 500mm이며, 신콘크리트의 단면크기는 1,000mm × 500mm × 500mm임.
- 구콘크리트 부분에는 직경 이형철근 직경 13mm를 이용하여 8개 배근하였으며, 횡철근으로서 이형 철근 직경 13mm를 이용하여 250mm 간격으로 배근하였음.
- 신콘크리트 부분의 철근상세는 구콘크리트와 동일함.

<표 2.6> SP 보강재의 직접인발 거동 평가를 위한 시험체 제작 변수

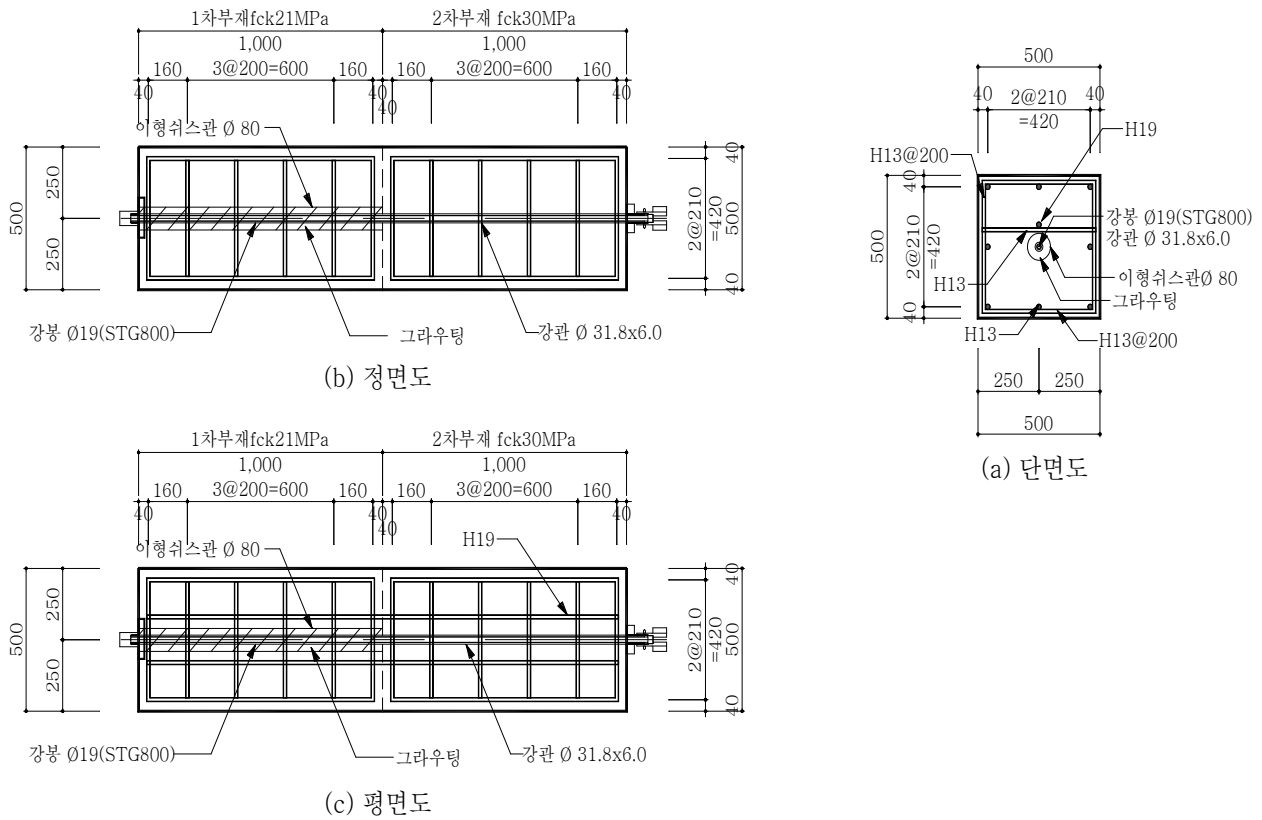
그룹	시험체명	프리스트레싱 도입방법	SP 보강재 타입	프리스트레스력 (%)
I	I -TS40	Tension	SCM 440	40
	I -TS60			60
	I -TS80			80
	I -TP40		P800	40
	I -TP60			60
	I -TP80			80
II	II-S30	Compression	SCM 440	40
	II-S50			60
	II-S80			80
	II-P30		P800	40
	II-P50			60
	II-P80			80

2) 사용재료

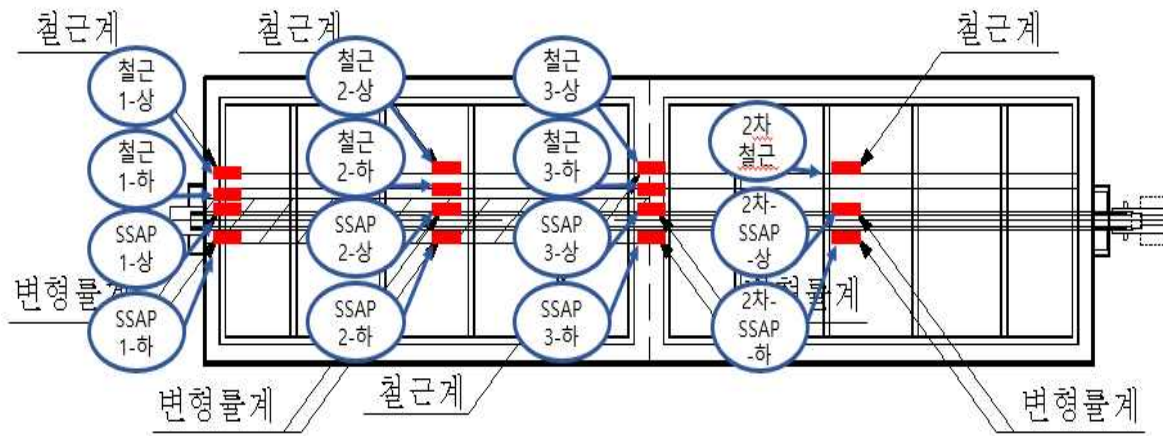
- 구콘크리트와 신콘크리트의 설계 압축강도는 각각 21MPa와 30MPa로 결정하였음.
- SP보강재는 SCM 440(열처리)이며, 항복강도는 834MPa 및 인장강도는 942MPa임.
- 이형철근 13mm 및 19mm의 항복강도는 각각 422MPa 및 442MPa이며, 인장강도는 각각 537MPa 및 541MPa임. 이들의 탄성계수는 평균적으로 200,000MPa이었음.

3) 셋팅상세

- 모든 실험체들의 프리스트레스력은 즉시 손실과 장기손실로 구분하였으며, 이를 내부에 매립된 변형률 게이지로부터 그 손실량을 측정하였음.
- 변형률 게이지는 구 콘크리트 및 신 콘크리트에 부착하여 신 콘크리트 및 구 콘크리트의 변형률의 일치성을 파악하였음.
- 내부에 매립된 변형률 게이지는 다음의 셋팅상세에 나타내었음.



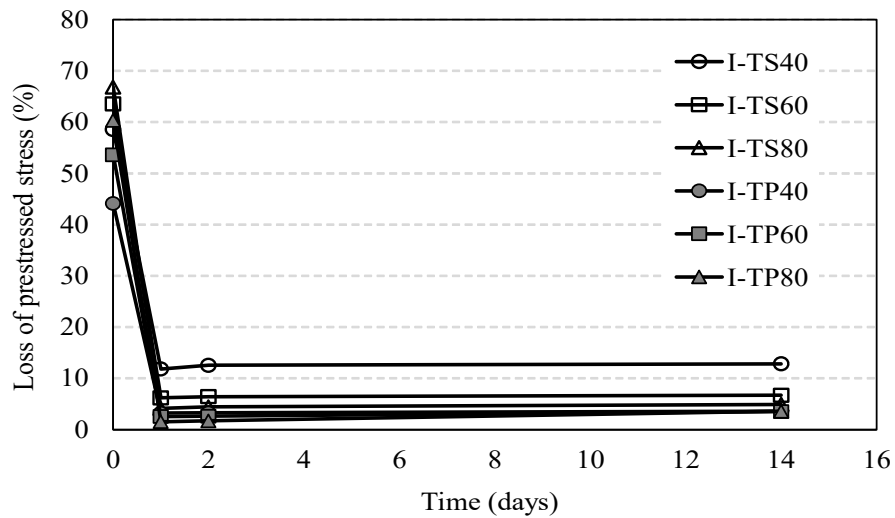
[그림 2.28] SP 보강재의 손실을 평가를 위한 시험체 제작 도면



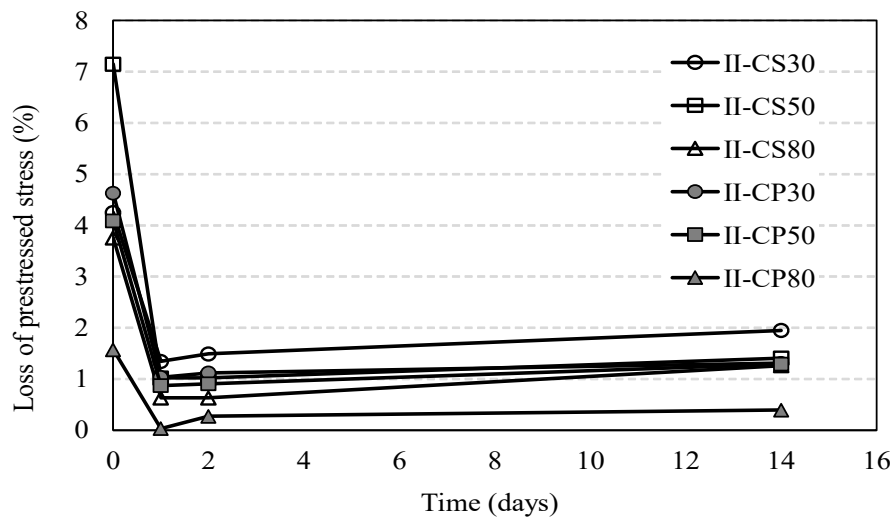
[그림 2.29] 변형률 게이지 셋팅 상세

4) 즉시손실

- 개발된 언더컷 드릴비트로 시공된 SP보강재는 프리스트레스력을 SP보강재 항복강도의 약 90%로 도입하였는데, 이때의 즉시 손실은 약 30%이었음.
- 이 손실량은 언더컷 드릴비트를 사용하지 않은 SP보강재의 손실량과 비슷한 수준이었음. 즉 개발된 언더컷 드릴비트를 사용하여 SP보강재의 손실량을 고려한 프리스트레스력의 도입이 가능함을 의미함.
- SP보강재에 부착된 변형률은 구 콘크리트 및 신 콘크리트 내부에 관계없이 일정하였으며, 변형률을 응력으로 환산한 결과 도입된 프리스트레스력과 비슷한 수준에 있었음.
- 결과적으로 언더컷 드릴비트로 시공된 SP보강재는 안정적인 프리스트레스력의 도입이 가능함.



(A) Group 1



(B) Group 2

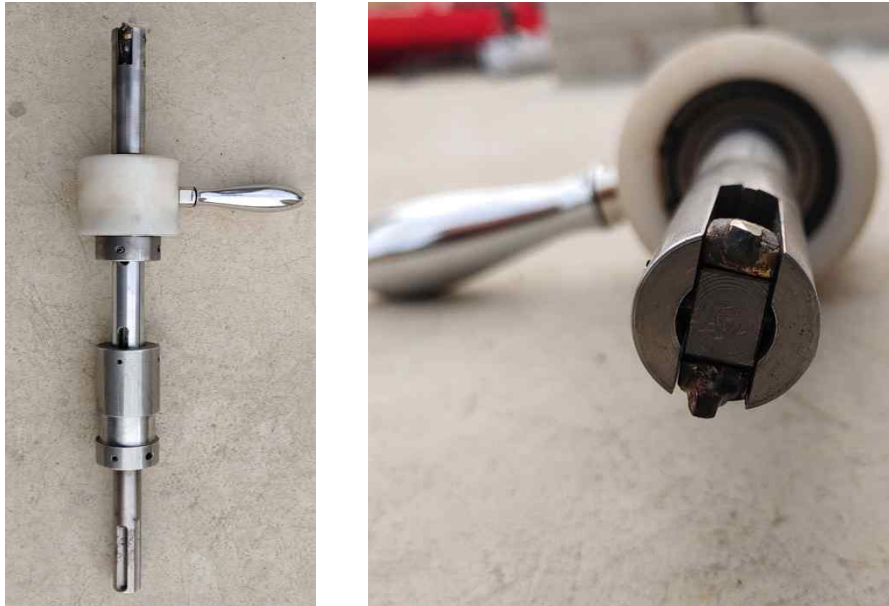
[그림 2.30] SP 보강재의 손실을 평가 결과

5) 릴렉세이션

- 개발된 언더컷 드릴비트로 시공된 SP보강재의 릴렉세이션을 평가하기 위해서 프리스트레스력을 도입한 후 시간에 따른 내부에 부착된 변형률의 변화를 확인하였음.
- 변형률은 구 콘크리트 및 신 콘크리트에 관계없이 일정한 값을 유지하였는데, 14일에는 약 4.9%로 변화가 거의 없었음.
- 즉 릴렉세이션은 약 0.4~1.9%로 평가됨.
- 결과적으로 즉시손실과 릴렉세이션을 고려한 SP보강재의 손실율은 약 4.6%로 평가될 수 있으며, 이 값은 언더컷 드릴비트를 사용하지 않은 SP보강재의 손실율과 비슷한 값이었음.
- 즉 개발된 언더컷 드릴비트를 사용하여 SP보강재의 즉시손실 및 릴렉세이션을 고려한 프리스트레스력의 도입이 가능함을 의미함.

- 언더컷 드릴 비트의 시작품 제작

- 언더컷 드릴비트의 시작품은 다음과 같음.



[그림 2.31] 드릴비트 거치대



[그림 2.32] 드릴 비트 천공날



[그림 2.33] 드릴 비트로 천공된 콘크리트 시편

• 설계상세

1) 인발강도

- SP보강재의 인발강도는 인장강도, 뿔힘강도, 측면파열강도 및 콘크리트 파괴강도에서 가장 낮은 값으로 결정됨.

- SP보강재의 인장강도:

$$N_{sa} = n \times A_{se,v} \times (f_y + f_{spi})$$

- 여기서, n 은 SP보강재의 개수, $A_{se,v}$ 는 SP보강재의 단면적, f_y 는 SP보강재의 항복강도, f_{spi} 는 SP보강재의 프리스트레스력에 의해 발휘된 응력을 의미함.

- 콘크리트의 뿔힘강도:

$$N_{pn} = \phi_{c,p} \times n \times A_{brg} \times (f_{ck} + f_{ci})$$

- 여기서, $\phi_{c,p}$ 는 사용하중 작용시 균열이 없는 경우 1.4, 균열이 있는 경우 1.0, n 은 SP보강재의 개수, A_{brg} 는 데드스토퍼의 단면적, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, f_{ci} 는 프리스트레스력에 의해 증가된 콘크리트의 압축응력을 의미함.

- 측면 파열강도:

$$N_{sb} = 13 \times C_{a1} \times \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f_{ck} + f_{ci}}$$

- 여기서, C_{a1} 는 SP 보강재로부터 콘크리트 단부까지의 거리, A_{brg} 는 데드스토퍼의 단면적, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, f_{ci} 는 프리스트레스력에 의해 증가된 콘크리트의 압축응력을 의미함.

- 콘크리트 파괴강도:

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \phi_{ed,N} \times \phi_{cN} \times \phi_{cp,N} \times N_b$$

$$N_b = k_c \times \sqrt{f_{ck} + f_{ci}} \times h_{ef}^{1.5}$$

- 여기서, A_{Nc} 는 단일 SP보강재 콘크리트 파괴면의 수평 투영면적, A_{Nco} 는 연단거리 $1.5h_{ef}$ 이상인 단일 SP보강재 콘크리트 파괴면의 투영면적, $\phi_{ed,N}$ 는 연단거리 영향에 대한 수정계수, ϕ_{cN} 는 사용하중에서 균열이 발생하지 않은 경우 수정계수(보조철근을 사용하고 선설치 앵커에 관련된 계수), $\phi_{cp,N}$ 는 쪼개짐을 제어하기 위한 보조철근을 허용하지 않은 비균열 콘크리트에 사용되는 후설치 앵커 수정계수, N_b 는 균열콘크리트에서 단일 SP보강재의 기본 콘크리트 파괴강도, k_c 는 선설치 앵커 계수를, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, f_{ci} 는 프리스트레스력에 의해 증가된 콘크리트의 압축응력을 의미함.

2) 전단마찰강도

- 콘크리트의 전단강도:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d$$

- 여기서, b_w 는 실험체의 폭, d 는 유효깊이, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도를 의미함.

- 전단철근의 전단강도:

$$V_s = A_v \times f_y \times n$$

- 여기서, A_v 는 전단철근의 단면적, f_y 는 전단철근의 항복강도, n 는 전단철근의 개수를 의미함.

- 복부 전단균열에 대한 전단강도:

$$V_{cweb} = 0.29 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d$$

- 여기서, b_w 는 실험체의 폭, d 는 유효깊이, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도를 의미함.

- SP보강재의 마찰강도:

$$V_d = \phi \times \mu \times A_{vf} \times f_y \leq 0.2 f_{ck} A_c \text{ or } 5.6 A_c$$

- 여기서, ϕ 는 전단에 대한 강도감소계수, μ 는 마찰계수, f_y 는 SP보강재의 항복강도, A_{vf} 는 SP 보강재의 단면적, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, A_c 는 전단전달을 위한 콘크리트 단면적을 의미함.

3) SP보강재로 보강된 보 설계

- 극한 휨강도:

$$\alpha = \frac{A_p f_{ps}}{0.85 f_{ck} b_w}$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\nu_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_{ck}} \right) \right\}$$

$$\nu_p = \frac{f_{py}}{f_{pu}}$$

$$\beta_1 = 0.85 - (f_{ck} - 28) \times 0.007$$

$$M_n = A_p f_{ps} \left(d_p - \frac{\alpha}{2} \right)$$

- 여기서, α 는 등가응력블록 깊이, A_p 는 SP보강재의 단면적, f_{ps} 는 극한상태에서의 SP보강재의 응력, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, β_1 는 등가응력블록 깊이 계수, d_p 는 SP보강재의 유효깊이, f_{py} 는 SP 보강재의 항복강도, f_{pu} 는 SP 보강재의 인장강도를 의미함.

- 콘크리트 하연의 프리스트레스트력에 의한 응력:

$$f_{pc} = \frac{P}{A} + \frac{M_p}{I} \times y_1$$

$$f_{cr} = f_{pc} - \frac{M_{cr}}{I} \times y_1$$

$$M_{cr} = \frac{(f_{pc} - f_{cr}) \times I}{y_1}$$

- 여기서, P 는 프리스트레스트력, A 는 콘크리트의 단면적, M_p 프리스트레스트력에 의한 모멘트, I 는 단면 2차 모멘트, y_1 는 도심거리, M_{cr} 는 균열 모멘트를 의미함.

- 압축축 콘크리트 허용응력:

$$f_{ca} = 0.35 f_{ck}$$

$$f_{ca} = f_{pe} + \frac{M_{ca}}{I_{cr}} \times y_1$$

$$M_{ca} = \frac{(f_{ca} - f_{pe}) \times I_{cr}}{c}$$

- 여기서, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, f_{pe} 는 프리스트레스트력에 의한 응력, I_{cr} 는 균열 단면 2차 모멘트, c 는 중립축 깊이를 의미함.

- 인장축 SP 보강재 허용응력:

$$f_s = \frac{n \times M_{sa}}{I_{cr}} \times (d - c) - f_p$$

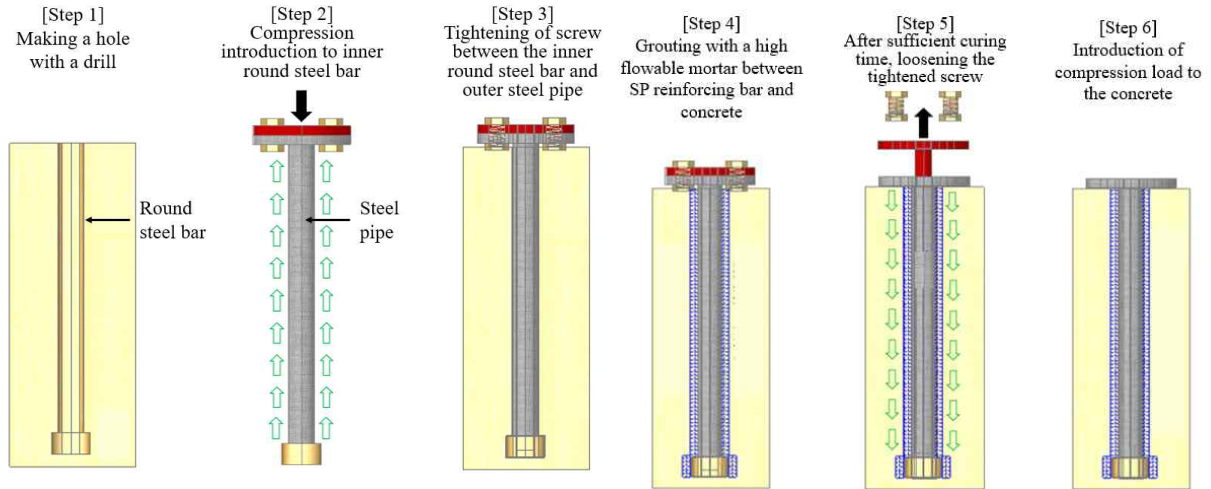
$$M_{sa} = \frac{f_{sa} + f_p}{15 \times (d - c)} \times I_{cr}$$

- 여기서, n 는 탄성계수비, I_{cr} 는 균열 단면 2차 모멘트, d 는 유효깊이, c 는 중립축 깊이를 의미함.

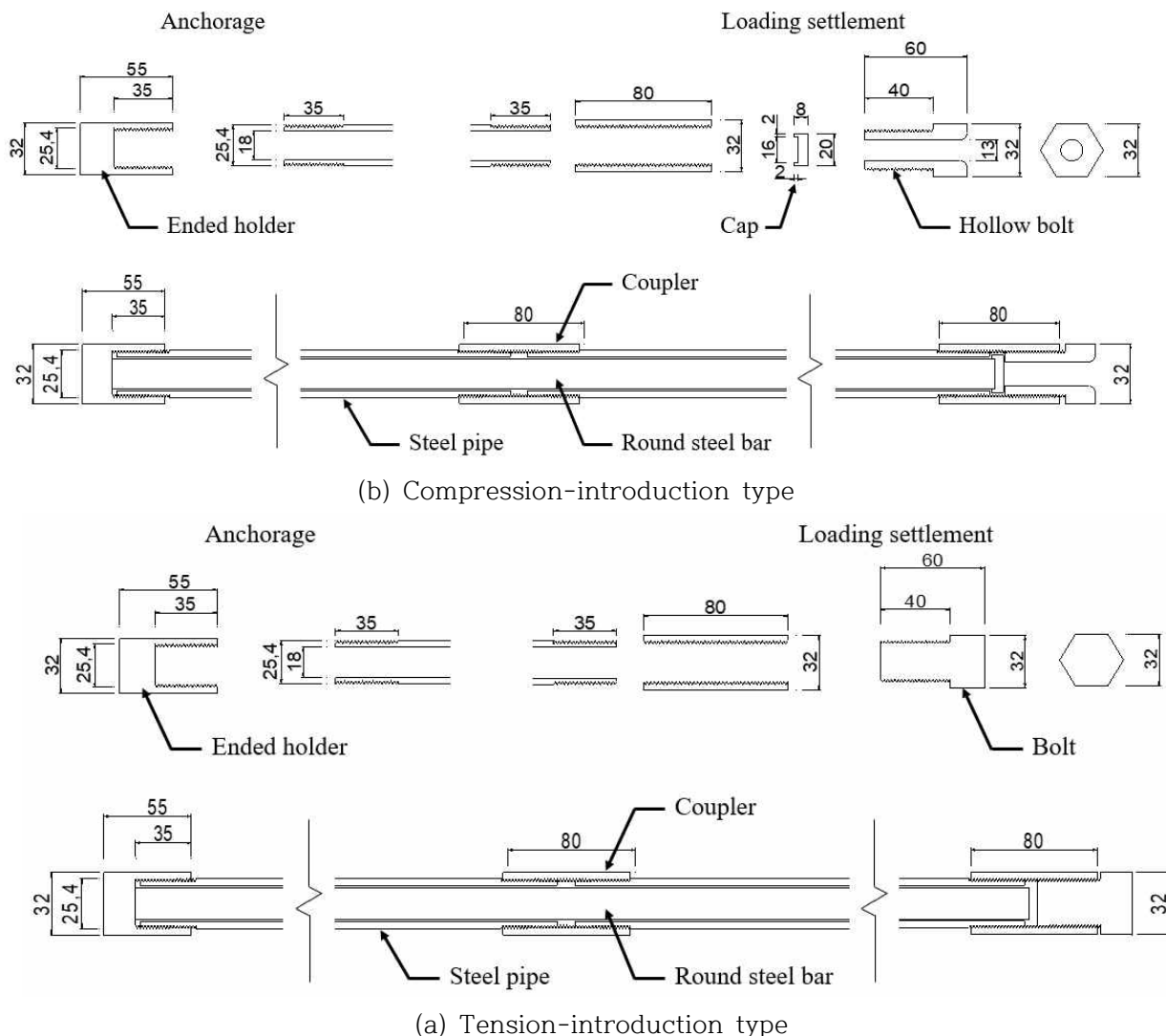
• **시공상세**

1) **보강방법**

- [그림 2.34]에는 강봉과 강관을 이용한 프리스트레싱(prestressings reinforcing units using steel bar and pipe, 이하 SP) 보강재를 나타내었음.
- SP 보강재는 강봉과 강관, 강봉과 강관을 결합하는 고정나사, 그리고 천공된 홀에 삽입하는 엔드홀더로 구성됨.
- [그림 2.35]에는 SP 보강재를 이용하여 콘크리트에 프리스트레스트력 도입하는 방법을 나타내었으며, 요약하면 다음과 같음.
 - ① 보강될 콘크리트 부재에 엔드홀 직경 보다 2mm 크게 천공함.
 - ② 강관 내부에는 강봉이 삽입되어 있는 상태에서 강봉에 직접 압축력을 도입하거나 강관에 인장력을 직접 도입함.
 - ③ 강봉에 압축력을 도입하는 방식을 압축도입형으로, 강관에 인장력을 도입하는 방식을 인장도입형으로 구분함.
 - ④ 압축도입형은 강관 내부에 삽입되어 있는 강봉에만 압축력을 도입하고 고정나사를 조임.
 - ⑤ 도입된 압축력은 강봉의 끝부분에 설치된 엔드홀더에 의해 강관에 인장력으로 변환되어 전달됨.
 - ⑥ 인장도입형은 강관에만 인장력을 도입하고 고정나사를 조임.
 - ⑦ 도입된 인장력도 내부에 설치된 강봉에 압축력으로 변환되어 전달됨.
 - ⑧ 결과적으로 강관은 압축 및 인장도입형에 관계없이 인장력이 도입됨.
 - ⑨ 콘크리트 부재에 천공된 홀에 SP 보강재를 삽입함.
 - ⑩ SP 보강재와 천공된 홀 사이에 주입재로 속채움함.
 - ⑪ 속채움된 주입재가 굳으면, 고정나사를 풀어 강봉의 압축력을 해방시킴.
 - ⑫ 강관에 도입된 인장력이 압축력으로 변환되어 최종적으로 콘크리트 부재에 압축력이 도입됨.



[그림 2.34] 강봉과 강관을 이용한 프리스트레싱



[그림 2.35] SP보강재를 이용하여 콘크리트에 프리스트레스력 도입하는 방법

2) 프리스트레스력 도입량

- 설계기준들(ASTM A416, 2018; JIS G3536, 2014; KS D 7002, 2019)은 프리스트레스력 도입 이후 보강재의 릴랙세이션을 2.5%이하로 제시하고 있음.
- SP 보강재의 재질과 프리스트레스력 도입방식 및 크기는 각각 P800, 압축도입형 및 항복강도의 80%로 추천됨.

- 압축도입형이면서 P800으로 제작된 SP보강재에서 시간에 따른 응력의 릴랙세이션을 고려한 초기 프리스트레스력(F_i)은 다음과 같이 정리할 수 있음.

$$F_i = \xi R F_y$$

- 여기서, R 는 프리스트레스력의 비율, F_y 는 SP 보강재의 항복강도, ξ 은 응력 손실율을 의미함.

- ξ 은 실험결과를 이용하여 다음과 같이 일반화할 수 있음.

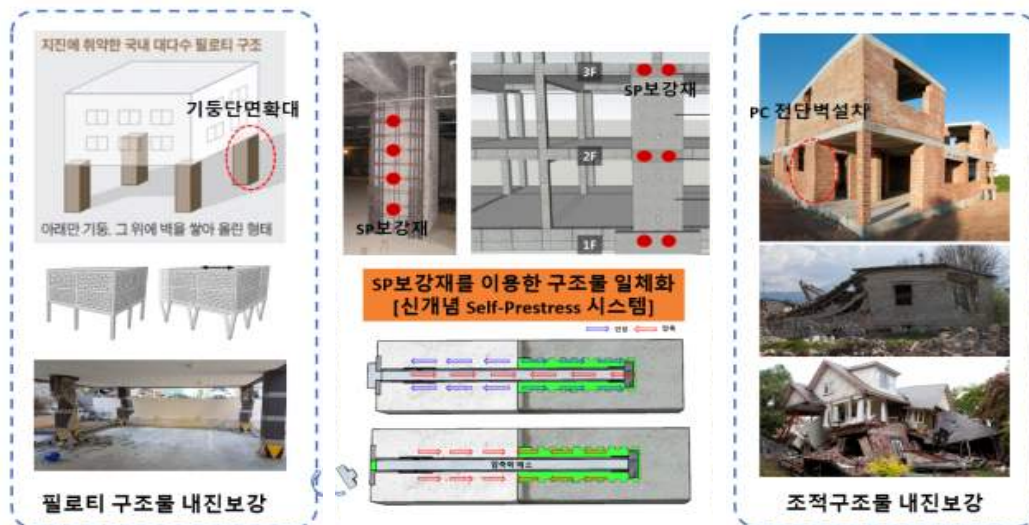
$$\xi = 9.9 \left[(1+d)^{0.03} / (1+R)^{0.65} \right] + 0.74$$

$$d \leq 14$$

- 여기서, d 는 프리스트레스력의 도입 이후의 경과된 일수를 의미하는데, 14일을 초과할 수 없음.
- 이는 SP 보강재 응력의 릴랙세이션이 14일 이전에 수렴한다는 실험결과를 반영한 것임.
- 결과적으로 압축도입형이면서 P800의 강종으로 제작된 SP보강재에서 시간에 따른 응력의 릴랙세이션을 고려한 초기 프리스트레스력을 산정할 수 있음.

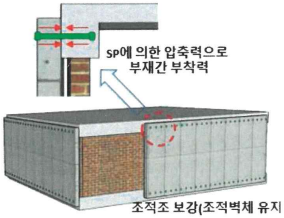
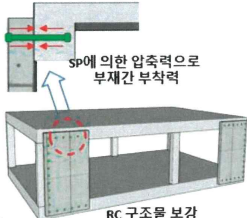
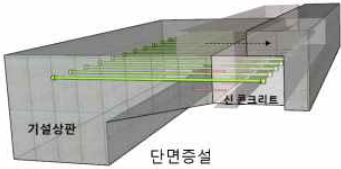
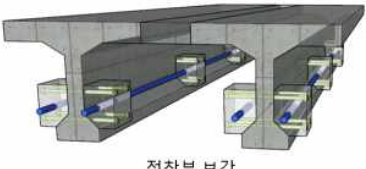
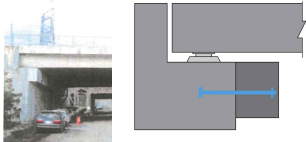
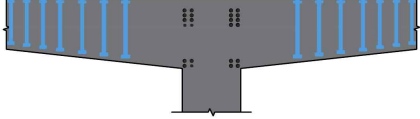
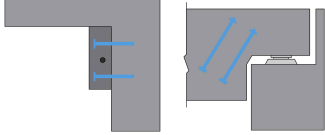
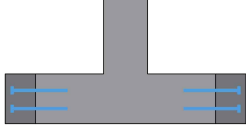
3) 적용처

- SP 보강재 시스템은 구조물의 주요부재의 단면확대, 신규 콘크리트의 결합력 향상 등과 같은 내진 성능을 향상시킬 수 있는 보강공법에 사용될 수 있음.



- 적용 시스템별 적용처는 다음과 같음.

- ① 기존구조물 프리스트레스 도입 : 콘크리트 강도, 내하력 및 내구성 증진, 구조물 장수명화
- ② 기존구조물에 프리스트레스 도입 : 구속효과·전단강도·연성능력 증진, 내진보강 활용
- ③ 신·구 구조물에 프리스트레스 도입 : 경계면에 일체성·수밀성·내구성 향상
- ④ 프리스트레스 도입 : 앵커간격 증가, 천공홀 깊이 감소, 철근 간섭 최소화
- ⑤ 단면증설, 지반보강, 사면보강, 부력방지, 큰 인발력 저항에 필요하는 공사에 활용

조적조 내진보강  조적조 보강(조적벽체 유지)	RC라멘조 내진보강  RC 구조물 보강
단면 증설  단면증설	정착부 보강  정착부 보강
연단 보강  연단 보강	전단 보강  전단 보강
균열 보강, 외케이블 정착부 보강  균열 보강, 외케이블 정착부 보강	기초단면 보강  기초단면 보강

제1장 설계일반

가이드라인

해설

1.1 목적

이 설계 가이드라인은 SP 보강재를 이용한 보강공법의 제작 및 시공방법 그리고 SP 보강재가 적용된 구조부재의 단면설계에 대한 기술적 사항을 기술함으로써 개발된 SP 보강재 공법의 안전한 적용성의 확보를 그 목적으로 한다.

1.2 적용범위

(1) 이 가이드라인은 건축 또는 토목 구조부재의 안전성을 확보하기 위한 프리스트레스력 도입방법, SP 보강재로 보강된 구조부재의 휨 및 전단 설계방법 그리고 SP 보강재의 제조공정 및 현장에서의 시공방법에 필요한 모든 사항을 제시한 것이다.

(2) 이 가이드라인에서 제시하지 않은 내용은 KBC 2019 및 콘크리트 표준시방서를 적용하는 것을 원칙으로 한다.

(3) 이 가이드라인에서 사용되는 용어 및 기호 중에서 별도로 정의되지 않은 것들은 콘크리트 시방서에서 제시하는 용어 및 기호의 정의를 따른다.

1.2 적용범위

(1) 이 가이드라인에서는 SP 보강재를 이용한 구조부재의 내진보강을 위한 재료적, 설계적 그리고 시공적 측면에서 필요한 모든 사항에 대하여 제시하고 있다. 또한 이 가이드라인에서 제시하지 않는 사항은 기본적으로 콘크리트 표준시방서와 KBC 2019을 따르며, 이 시방서 및 설계코드에서도 제시되지 않은 사항에 대해서는 적용 가능한 이론, 실험결과 및 경험 등에 의해 책임구조기술자가 판단하여 설계할 수 있다.

이 가이드라인은 제시된 SP보강재의 즉시손실 및 릴렉세이션, 인발실험, 전단마찰실험, 브라켓 실험, SP보강재가 적용된 보 및 기둥의 휨 거동실험에 근거하여 제시되었으므로 사용되는 SP 보강재의 재질과 단면상세가 변경될 경우에 적절한 실험적·해석적 검증을 수행하여야 한다.

제2장 SP 보강재의 제조

가이드라인

2.1 일반사항

2.1.1 적용범위

SP 보강재의 제조에 관련된 재질선택은 이장의 가이드라인을 따라야 한다.

2.2 재 질

(1) SP 보강재로 사용된 강종은 SCM 440과 P800을 사용한다.

(2) SP 보강재의 역학적 특성은 다음을 만족하여야 한다.

보강재 타입	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
SCM 440	550이상	700이상	200,000
P 800	700이상	900이상	200,000

2.3 SP 보강재의 구성



2.3.1 강봉과 강관

(1) 강관의 외경은 25.4mm, 강관의 두께는 3.6mm 이어야 한다.

(2) 내부 강봉의 지름은 16 mm이어야 한다.

2.3.2 엔드홀더 및 커플러

(1) 엔드홀더 및 커플러의 외경은 32mm 이어야 한다.

해 설

2.1 일반사항

2.1.1 적용범위

이 장은 SP 보강재의 재질에 따른 항복강도, 인장강도 및 릴렉세이션을 고려한 SP 보강재의 제작에 관련된 규격과 주요성능(역학적 특성)에 관한 주요 사항만을 규정한 것이다.

2.2 재 료

(1) SP 보강재로 사용된 강종은 공장현장에서의 제작이 용이한 SCM 440과 P800을 사용하여야 한다.

(2) SP 보강재의 역학적 특성은 프리스트레스력 도입시 구조부재의 내력 및 연성에 현저한 영향을 미치는 중요한 요소이다. 따라서 일정한 강도 이상의 역학적 특성을 확보하여야 한다.

2.3 SP 보강재의 구성

2.3.1 강봉과 강관

(1) 프리스트레스력이 직접 도입되는 재료로서 즉 시손실 및 릴렉세이션을 최소화하기 위한 일정한 크기 및 두께이상이 요구된다.

2.3.2 엔드홀더 및 커플러

(1) 엔드홀더는 강관 단부의 폐쇄구조를 위해 설치되는 장치로서 강봉 및 강관에 도입된 프리스트레스력을 내부의 강봉에 전달시킬 수 있도록 한다. 커플러는 중공형 볼트와 볼트 및 강관의 길이 조

2.3.3 중공형 볼트

(1) 중공형 볼트의 내경은 13mm이어야 한다.

2.3 성능검증

2.3.1 응력-변형률 관계

(1) 응력-변형률 관계는 KS D 3503의 기준을 따른다.

2.3.2 항복강도 및 인장강도

(1) 2.3.1의 응력-변형률 관계로부터 항복강도와 인장강도를 산정한다.

(2) SCM 440과 P 800 재질은 뚜렷한 항복점이 없으므로 0.2% 오프셋 방법으로 항복점을 결정하여야 한다.

2.3.2 탄성계수

(1) 0.2% 오프셋 방법으로 산정한 항복점에서의 탄성계수는 195,000 ~ 230,000MPa 사이에 있는지 확인하여야 한다.

절을 위한 것으로서 일정한 크기가 요구된다.

2.3.3 중공형 볼트

(1) 중공형 볼트는 볼트를 관통하여 강봉에 압축력을 전달할 수 있도록 한다.

2.6 성능검증

2.3.1 응력-변형률 관계

(1) 응력-변형률 관계는 KS D 3503의 기준을 따르며, 실험구간내에서 LVDT 등과 같은 변위계를 이용하여 하중증가에 따른 변위를 측정하여야 한다.

2.3.2 항복강도 및 인장강도

(2) SCM 440과 P 800 재질은 냉간압연으로서 뚜렷한 항복점이 형성될 수 없다. 따라서 항복강도에 대한 일률적인 품질관리를 위해서 0.2% 오프셋 방법을 적용하여야 한다.

제3장 SP 보강재의 프리스트레스 시스템

가이드라인

3.1 일반사항

3.1.1 적용범위

SP 보강재의 긴장력 도입은 이장의 가이드라인을 따라야 한다.

3.2 긴장력 도입 절차

(1) SP 보강재를 사용한 긴장력 도입 절차는 다음과 같다.

- ① 보강될 콘크리트 부재에 엔드홀 직경 보다 2mm 크게 천공한다.
- ② 강관 내부에는 강봉이 삽입되어 있는 상태에서 강봉에 직접 압축력을 도입하거나 강관에 인장력을 직접 도입한다.
- ③ 강봉에 압축력을 도입하는 방식을 압축도입형으로, 강관에 인장력을 도입하는 방식을 인장도입형으로 구분한다.
- ④ 압축도입형은 강관 내부에 삽입되어 있는 강봉에만 압축력을 도입하고 고정나사를 조인다.
- ⑤ 도입된 압축력은 강봉의 끝부분에 설치된 엔드홀더에 의해 강관에 인장력으로 변환되어 전달된다.
- ⑥ 인장도입형은 강관에만 인장력을 도입하고 고정나사를 조인다.
- ⑦ 도입된 인장력도 내부에 설치된 강봉에 압축력으로 변환되어 전달된다.
- ⑧ 결과적으로 강관은 압축 및 인장도입형에 관계없이 인장력이 도입된다.
- ⑨ 콘크리트 부재에 천공된 홀에 SP 보강재를 삽입한다.
- ⑩ SP 보강재와 천공된 홀 사이에 주입재로 속채운다.
- ⑪ 속채워진 주입재가 굳으면, 고정나사를 풀어 강봉의 압축력을 해방시킨다.
- ⑫ 강관에 도입된 인장력이 압축력으로 변환되어 최종적으로 콘크리트 부재에 압축력이 도입된다.

3.3 긴장력 도입 시스템

(1) 인장도입형은 다음과 같다.

- ① 중공형 오일잭 및 하중계에 SP 보강재를 삽입한다.
- ② 커플러 사이 또는 커플러와 엔드홀더 사이에 지

해설

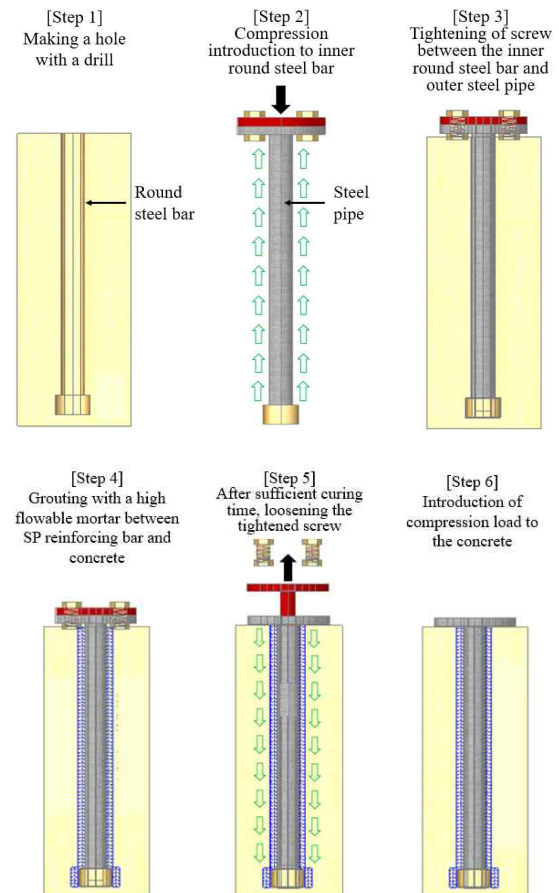
3.1 일반사항

3.1.1 적용범위

이 장은 즉시손실 및 릴렉세이션을 고려한 SP 보강재의 긴장력 도입방법에 관한 주요사항만을 규정한 것이다.

3.2 긴장력 도입 절차

(1) SP 보강재를 사용한 긴장력 도입 절차는 다음과 같다.

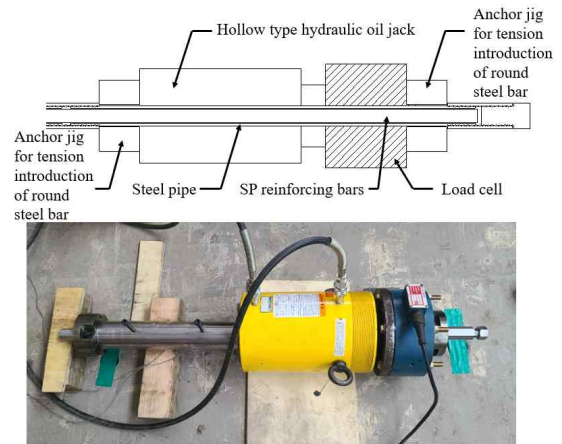


3.3 긴장력 도입 시스템

(1) 인장도입을 위한 긴장력 도입 시스템은 다음과 같다.

그를 체결한다.

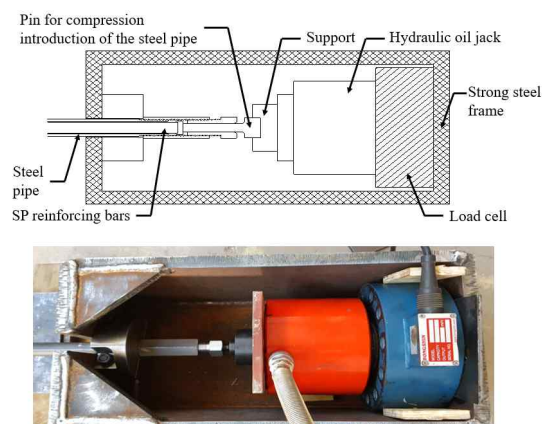
- ③ 중공형 오일잭을 이용하여 강관을 긴장시킨다.
- ④ 강봉을 삽입하고 볼트를 체결한다.



(2) 압축도입을 위한 긴장력 도입 시스템은 다음과 같다.

(2) 압축도입형은 다음과 같다.

- ① 강관내부에 캡이 부착된 강봉을 삽입한 후 중공 볼트로 가체결한다.
- ② SP 보강재 상부 커플러 하단에 정착 지그를 체결한다.
- ③ 지그가 체결된 SP 보강재를 하중계와 오일잭이 설치된 압축 프레임에 셋팅한다.
- ④ 중공볼트를 관통하여 강봉에 압축력을 전달할 직경 22mm의 T형 압축판을 삽입한다.
- ⑤ 오일잭을 이용하여 강봉에 압축력을 도입한다; 6) 볼트를 체결한다.
- ⑥ 압축도입형은 내부강관에 압축력을 도입하여야 하므로 오일잭 지지를 위한 별도의 고강도 프레임이 사용 되어야 한다.



3.3 손실율을 고려한 긴장력 도입량

3.3.1 즉시손실

- (1) 압축도입형으로 프리스트레스력이 도입된 SP 보강재의 즉시손실율은 최대 7.1%이므로 이를 고려하여 압축력을 도입하여야 한다.

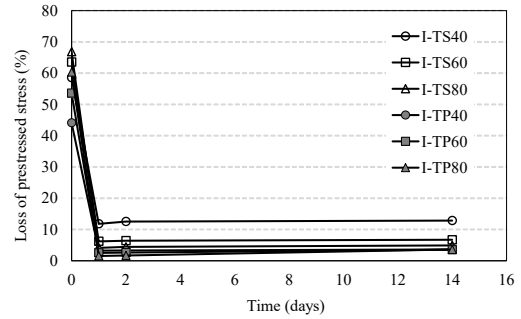
- (2) 즉시손실을 고려할 때에 긴장력 도입 시스템은 압축도입형을 추천한다.

3.3 손실율을 고려한 긴장력 도입량

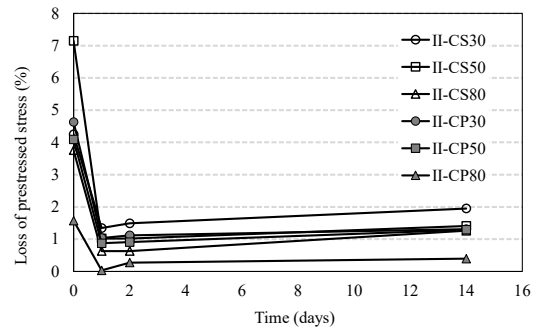
3.3.1 즉시손실

- (1) 인장도입형으로 프리스트레스력이 도입된 SP 보강재의 즉시손실율은 44.1% ~ 66.8%로서 높은 수준에 있지만, 압축도입형으로 프리스트레스력이 도입된 SP 보강재의 즉시손실율은 7.1% 이하로 낮은 수준에 있다. 따라서 인장도입형 보다는 압축도입형을 사용할 것을 권장한다.

- (2) 설계기준들(ASTM A416, 2018; JIS G3536, 2014; KS D 7002, 2019)은 프리스트레스력 도입 이후 보강재의 릴랙세이션을 2.5%이하로 제시하고 있으므로 즉시손실을 고려할 때에 긴장력 도입 시스템은 압축도입형을 추천한다.



(a) 인장도입형



(b) 압축도입형

[프리스트레스력 손실]

3.3.2 릴랙세이션을 고려한 프리스트레스력

(1) SP 보강재의 릴랙세이션은 1.3% ~ 1.9%로 평가될 수 있으므로 최대 2%를 감안하여 프리스트레스력을 도입하여야 한다.

(2) SP 보강재의 프리스트레스력은 응력손실을 감안할 때에 압축도입형에서 항복강도의 30 ~ 80%의 범위내에서 프리스트레스력을 도입하여야 한다.

(3) 압축도입형으로 프리스트레스력이 도입된 SP보강재에서 시간에 따른 응력의 릴랙세이션을 고려한 초기 프리스트레스력(F_i)은 다음과 같다.

$$F_i = \xi R F_y \quad (3.1)$$

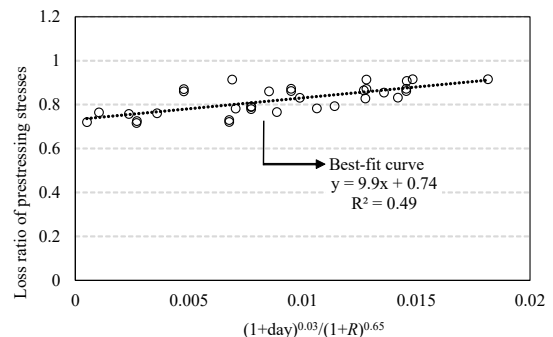
여기서, R 는 프리스트레스력의 비율을, F_y 는 SP

보강재의 항복강도를, ξ 는 응력 손실율을 의미한다.

3.3.2 릴랙세이션을 고려한 프리스트레스력

(1) 압축도입형 실험체의 응력손실은 프리스트레스력이 항복강도의 30%, 50% 및 80%에서 평균적으로 각각 4.3%, 4.1% 및 3.8%이었다. 또한 시간에 따른 이들 응력손실의 변화는 거의 없었다. 결과적으로 압축도입형에서 SP 보강재의 릴랙세이션은 1.3%~1.9%로 평가될 수 있었다.

(3) 압축도입형으로 프리스트레스력이 도입된 SP보강재에서 시간에 따른 응력의 릴랙세이션을 고려하여 다음의 함수로 일반화 할 수 있었다. 반드시 릴랙세이션을 고려한 프리스트레스력이 도입되어야 한다.



[초기 프리스트레스력의 모델링]

제4장 SP 보강재를 이용한 내진설계

가이드라인

해설

4.1 일반사항

4.1.1 적용범위

SP 보강재를 이용한 구조부재의 단면설계를 위한 전단력, 전단마찰력, 인발력 및 휨 모멘트의 결정은 이 장의 가이드라인을 따른다.

4.2 인발강도

(1) SP보강재의 인발강도는 인장강도, 뿔힘강도, 측면파열강도 및 콘크리트 파괴강도에서 가장 낮은 값으로 결정된다.

(2) SP보강재의 인장강도는 다음과 같다.

$$N_{sa} = n \times A_{se,v} \times (f_y + f_{spi}) \quad (4.1)$$

여기서, n 은 SP보강재의 개수, $A_{se,v}$ 는 SP보강재의 단면적, f_y 는 SP보강재의 항복강도, f_{spi} 는 SP보강재의 프리스트레스력에 의해 발휘된 응력을 의미한다.

(3) 콘크리트의 뿔힘강도는 다음과 같다.

$$N_{pi} = \phi_{c,p} \times n \times A_{brg} \times (f_{ck} + f_{ci})' \quad (4.2)$$

여기서, $\phi_{c,p}$ 는 사용하중 작용시 균열이 없는 경우 1.4, 균열이 있는 경우 1.0, n 은 SP보강재의 개수, A_{brg} 는 데드스토퍼의 단면적, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, f_{ci} 는 프리스트레스력에 의해 증가된 콘크리트의 압축응력을 의미한다.

(4) 측면 파열강도는 다음과 같다.

$$N_{sb} = 13 \times C_{a1} \times \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f_{ck} + f_{ci}} \quad (4.3)$$

여기서, C_{a1} 는 SP 보강재로부터 콘크리트 단부까지의 거리, A_{brg} 는 데드스토퍼의 단면적, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, f_{ci} 는 프리스트레스력에 의해 증가된 콘크리트의 압축응력을 의미한다.

(5) 콘크리트 파괴강도는 다음과 같다.

$$N_{db} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \phi_{ed,N} \times \phi_{cN} \times \phi_{cp,N} \times N_b \quad (4.4)$$

$$N_b = k_c \times \sqrt{f_{ck} + f_{ci}} \times h_{ef}^{1.5} \quad (4.5)$$

여기서, A_{Nc} 는 단일 SP보강재 콘크리트 파괴면의 수평 투영면적, A_{Nco} 는 연단거리 $1.5h_{ef}$ 이상인 단일

4.1 일반사항

4.1.1 적용범위

이 장에서는 휨 및 전단에 의한 구조부재의 단면설계에 대한 주요사항을 정리하였다. SP 보강재를 이용한 구조부재는 신규 콘크리트에서의 전단력, 인발력 및 휨 모멘트에 대한 구조적 안전성을 확보하여야 한다. 따라서 극한내력에서 인발강도, 전단마찰강도, 극한 휨강도의 산정이 필요하다. 이장에서 정의되지 않은 사항들은 KBC 2019을 따른다.

4.2 인발강도

SP보강재 콘크리트 파괴면의 투영면적, $\phi_{ed,N}$ 는 연단 거리 영향에 대한 수정계수, ϕ_{eN} 는 사용하중에서 균열이 발생하지 않은 경우 수정계수(보조철근을 사용하고 선설치 앵커에 관련된 계수), $\phi_{cp,N}$ 는 쪼개짐을 제어하기 위한 보조철근을 허용하지 않은 비균열 콘크리트에 사용되는 후설치 앵커 수정계수, N_b 는 균열콘크리트에서 단일 SP보강재의 기본 콘크리트 파괴강도, k_c 는 선설치 앵커계수를, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, f_{ct} 는 프리스트레스력에 의해 증가된 콘크리트의 압축응력을 의미한다.

4.3 전단마찰강도

(1) 콘크리트의 전단강도는 다음과 같다.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d \quad (4.6)$$

여기서, b_w 는 실험체의 폭, d 는 유효깊이, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도를 의미한다.

(2) 전단철근의 전단강도는 다음과 같다.

$$V_s = A_v \times f_y \times n \quad (4.7)$$

여기서, A_v 는 전단철근의 단면적, f_y 는 전단철근의 항복강도, n 는 전단철근의 개수를 의미한다.

(3) 복부 전단균열에 대한 전단강도는 다음과 같다.

$$V_{cweb} = 0.29 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d \quad (4.8)$$

여기서, b_w 는 실험체의 폭, d 는 유효깊이, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도를 의미한다.

(4) SP보강재의 마찰강도는 다음과 같다.

$$V_d = \phi \times \mu \times A_{vf} \times f_y \leq 0.2 f_{ck} A_c \text{ or } 5.6 A_c \quad (4.9)$$

여기서, ϕ 는 전단에 대한 강도감소계수, μ 는 마찰계수, f_y 는 SP보강재의 항복강도, A_{vf} 는 SP 보강재의 단면적, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, A_c 는 전단전달을 위한 콘크리트 단면적을 의미한다.

4.4 SP보강재로 보강된 횡부재의 설계

(1) 극한 횡강도는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{A_p f_{ps}}{0.85 f_{ck} b_w} \quad (4.10)$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\nu_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f_{ck}} \right) \right\} \quad (4.11)$$

$$\nu_p = \frac{f_{py}}{f_{pu}} \quad (4.12)$$

$$\beta_1 = 0.85 - (f_{ck} - 28) \times 0.007 \quad (4.13)$$

$$M_n = A_p f_{ps} \left(d_p - \frac{\alpha}{2} \right) \quad (4.14)$$

여기서, α 는 등가응력블록 깊이, A_p 는 SP보강재의 단면적, f_{ps} 는 극한상태에서의 SP보강재의 응력, f_{ck} 는 콘크리트 압축강도, β_1 는 등가응력블록 깊이 계수, d_p 는 SP보강재의 유효깊이, f_{py} 는 SP 보강재의

4.3 전단마찰강도

4.4 SP보강재로 보강된 횡부재의 설계

(2) 정량적 연구개발성과

○ 논문 게재

- 발행기관 및 학술지명 : 한국구조물진단유지관리공학회, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집
- 논문명 : 강봉 및 강관을 이용한 프리스트레싱 유닛의 긴장 응력 손실 평가

○ 특허 출원 및 등록

- 특허 등록 : 콘기둥 형상 천공 언더컷 장치 및 이를 이용한 천공장치/10-2196558/2020.12.22.
- 특허 출원 : 자가 프리스트레싱 보강재 및 이의 프리스트레스 도입 방법/10-2020-0141983/2020.10.29.

○ 시제품 제작

- 확공용언더컷 드릴비트
- 엔드홀드 타입 SP 보강재
- 커플러 타입 SP 보강재

○ 고용창출

- 2020~2021년 2명 신규채용

○ 추후 보완 연구 필요사항

- 장기적인 환경에서 내진보강의 보유성능 평가
 - 내구성에 대한 모니터링
 - 자재비 인건비 등의 시공조건을 고려한 경제성 분석
- : 향후 현장적용을 통해 본 기술의 보완을 통한 최종기술이 완성된 후의 시점에서 경제성 분석 진행 예정
-

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여 율
1	강봉 및 강관을 이용한 프리스트레싱 유닛의 긴장 응력 손실 평가	한국구조물 진단유지관리 공학회 논문집	심재일	Vol. 25, No.4	대한 민국	한국구조물 진단유지관리 공학회		2021.08	2234-6937	100%

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명

☐ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

☐ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	등록	콘기동 형상 천공 언더컷 장치 및 이를 이용한 천공장치	대한 민국	뉴콘텍 이앤씨	2020. 10.16	10-2020-0128211	뉴콘텍 이앤씨	2020. 12.22	10-2196558	100%	
2	출원	자가 프리스트레싱 보강재 및 이의 프리스트레스 도입 방법	대한 민국	(주)한국방재 안전기술	2020. 10.29	10-2020-0141983				100%	

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	확공용언더컷 드릴비트	2020.09.12	뉴콘텍이앤씨	뉴콘텍이앤씨	보수·보강/내진성능 향상/내진보강 분야			
2	엔드홀드 타입 SP 보강재	2020.09.12	뉴콘텍이앤씨	뉴콘텍이앤씨	보수·보강/내진성능 향상/내진보강 분야			
3	커플러 타입 SP 보강재	2020.08.10.	한국방재 안전기술	한국방재 안전기술	보수·보강/내진성능 향상/내진보강 분야			

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

☐ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2021년	
1	국토교통기술촉진연구사업	(주)한국방재안전기술	1		1
2	국토교통기술촉진연구사업	뉴콘텍이앤씨(주)		1	1
합계			1	1	2

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

☐ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○

-

○

-

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○
-
○
-

<참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기를 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	지식재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등

<참고 2> 「국가연구개발혁신법」 시행령 제33조 제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설 · 장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상(부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동 활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
기탁	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보(소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함)
	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 엔드홀더 및 커플러 타입의 SP 보강재 개발	○ 엔드 홀더 및 커플러 타입의 SP 보강재 개발을 완료 하였으며, 응력 손실률은 15% 이하를 만족함. -	100%
○ 교량 구조물의 스마트 내진보강 시스템 개발	○ SP 보강재의 스마트 내진보강 시스템의 개발과 설계·시공 가이드라인을 제시하였으며, SP 보강재가 적용된 부재의 전단내력은 기존 무보강 공법에 비해 110% 증가함.	100%
○ 소규모 건축물의 스마트 내진보강 시스템 개발	○ SP 보강재를 이용한 소규모 건축물의 스마트 내진보강 시스템의 개발과 설계·시공 가이드라인을 제시하였으며, SP 보강재가 적용된 기둥 부재에서의 휨내력 및 휨강성은 기존 무보강 공법에 비해 110% 증가함.	100%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

☐ 해당없음

2) 자체 보완활동

☐ 해당없음

3) 연구개발 과정의 성실성

☐ 해당없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

1) 기술적 측면

- 프리스트레스도입은 경계면에서 부재의 일체성이 향상됨에 따라 내진보강에 따른 보강 효과 및 신뢰성 향상.
- 구조물의 구속효과 및 전단강도의 향상을 통해 안전성 및 내진성능 향상.
- 기존구조물과 신설구조물의 경계면에 수밀성을 향상시켜 수중 및 지중에서 조건에서 신·구 구조물의 일체성 및 내구성 저하 극복.
- 기존 구조물의 천공 후 정착부의 지압 뺀기효과로 선매립 앵커 방식과 동일한 효과 기대.
- PS힘 도입에 필요한 긴장장치 설치 장비가 필요 없으며, 좁은 장소에서도 시공이 가능하여 적용 장소제한 최소화.
- 긴장 및 정착용 정착단부가 작으며, 구조체의 철근간섭의 최소화.
- 기존 구조물의 보수·보강 시 성능을 향상시킬 수 원천기술 확보 및 국제기술 선도.
- 구조물의 안전성확보에 대한 사회적 문제에 대응하면서 기존 구조물의 성능을 향상시켜 사회적 비용을 절감할 수 있는 국가 공공복지 기술.
- 기존 보수·보강 재료 및 기술의 문제점 해결 및 한계를 극복한 고기능성 기술의 선도.
- 건설 신재료·신기술 등 국가 건설기술 브랜드 창출에 기여.

2) 경제적·산업적 측면

- 국내 시설물의 고령화는 급속하게 진행중이며 현재가 시설물의 재건축의 적기임.
- 시설물의 보수·보강을 통한 장수명화 시 신설에 투입되는 막대한 경제적 비용의 절감효과를 기대할 수 있음.
- 긴장 및 정착단부의 최소화, 강재수 감소, 작은 천공직경 및 깊이 등으로 초기 공사비는 기존공법 대비 약 5% 이상 절감효과가 기대됨.
- 지반보강, 사면보강 및 부력방지 등의 현장적용 범위가 확대되면 생산원가의 절감이 기대됨.
- 보수·보강 성능 향상을 통해 국민의 안전·안심을 확보하고 중장기 적인 유지관리·갱신 등에 대한 전체 비용의 축소와 예산의 평준화를 기대할 수 있음.
- 신개념 보수·보강 기술은 기존 구조물의 보수·보강 분야에서 신성장 동력 창출에 기여할 것으로 기대.
- 국내 원천기술의 수출 및 전문인력 파견을 통한 경제적 산업적 효과를 기대 할 수 있음.

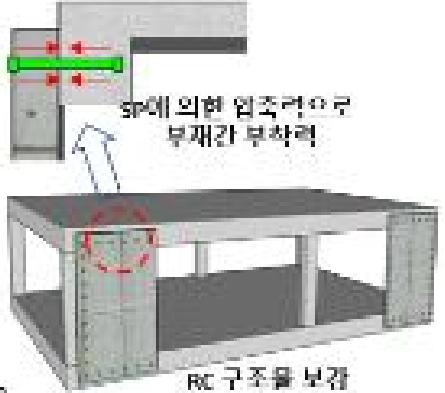
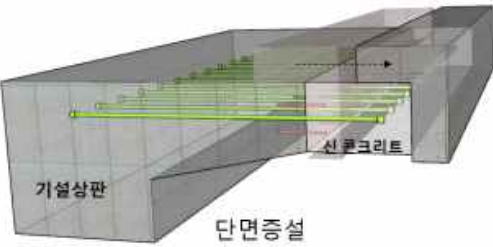
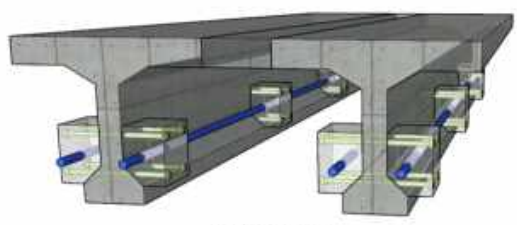
3) 사회적 측면

- 기존 구조물의 내진성능 및 사용성을 향상시키므로 재난에 대한 불안감을 해소하고 안전에 대한 사회적 요구에 적극적으로 대응하여 사회적 비용의 절감 효과를 기대할 수 있음.
 - 보수·보강 성능의 향상으로 구조물의 장수명화를 통해 SOC 사업에 소요되는 비용절감 기대됨(유지관리 LCC 측면에서 약 20% 절감효과가 기대).
 - 신개념 토목·건축 기술 및 보수·보강 성능향상 기술에 대한 전문 인력 양성효과
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

1) 최종성과물의 활용방안

- 기존 구조물에 프리스트레스를 도입하는 기술의 연구의 최종성과물은 아래 그림에서 보는 바와 같이 기존구조물과 신설구조물과의 일체성을 향상시킬 수 있으므로, 소규모 건축물의 내진보강 및 교량 등의 단면증설 공법에 폭넓게 활용될 수 있음.
- 기존구조물에 프리스트레스를 도입하여 기존구조물에 3축 응력이 작용하게 함으로서, 콘크리트 강도의 증진과 더불어 내하력 및 내구성 향상을 도모할 있음. 이에 따라 구조물의 장수명화를 기대 할 수 있으며, 기존구조물이 중성화 등의 내구성 저하로 인해 강도가 저하된 상태에서도 보수·보강에 폭넓게 활용될 수 있음.
- 기존구조물에 프리스트레스를 도입함으로서, 구속효과 및 전단강도 향상과 더불어 연성능력 증가를 통해, 내진보강이 필요로 하는 구조물에 폭넓게 활용될 수 있음.
- 기존 구조물과 신설 구조물에 프리스트레스를 도입하는 기술의 최종성과물을 통해, 신·구 부재의 경계면에 수밀성을 향상시킬 수 있으므로, 내구성 확보를 필요로 하는 공사에 폭넓게 활용될 수 있음.
- 프리스트레스 도입으로 앵커간격을 증가시켜 사용되는 앵커의 수와 천공홀 깊이의 감소로 인해 경제성이 우수하고 철근의 간섭을 최소화할 수 있어 시공성이 우수함.
- 지반보강, 사면보강, 부력방지, 중요시설 및 큰 인발력을 필요로 하는 증·개축 공사 등에 폭 넓게 활용이 가능하며, 정부와 관련기관, 지방자치단체 및 민간사업 등의 다양한 수요처에서 활용이 가능함.

조적조 내진보강	RC라멘조 내진보강
 sp에 의한 압축력으로 부재간 부착력 조적조 보강(조적벽체 유지)	 sp에 의한 압축력으로 부재간 부착력 RC 구조물 보강
교량 단면 증설	교량 정착부 보강
 기설상판 신 콘크리트 단면증설	 정착부 보강

[최종성과물의 활용방안]

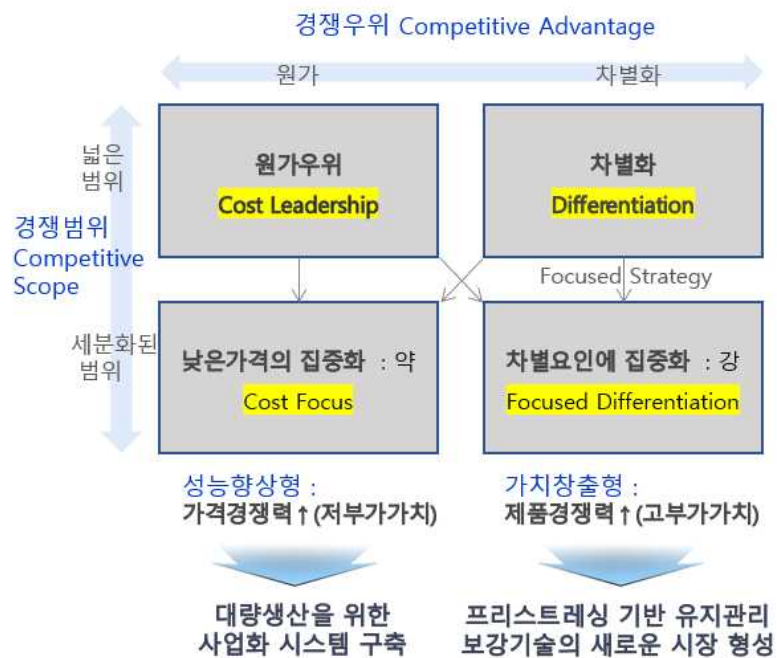
2) 기술수요처 및 관련시장의 규모

- 제안 기술은 기존 구조물의 내력 및 내진성능을 향상시킬 수 있는 보강재료 이며, 기술의 수요처는 토목 및 건축 구조물의 내진보강 및 사용성 개선 분야에 적용 가능한 기술임.
- 국내 내진보강 시장의 규모는 약 6,000 억원 수준으로 현재 국내·외 지진에 대한 관심도를 고려하였을 때, 시장의 규모는 더욱 성장할 것으로 예상됨.

- 70~80년대 경제성장과 함께 집중적으로 구축된 인프라시설은 30년 이상 경과하였으며, 10년 이후에는 노후 구조물이 급격히 증가할 것으로 예상됨.
- 기존 노후화 된 구조물의 지속적인 사용을 위해 성능을 향상 시킬 수 있는 보강재료 및 기술에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이러한 보강재료 및 기술들은 그 성능의 향상 및 기술의 진보성에 대한 수요를 충족시킬 수 있어야 하므로 본 제안기술은 이러한 니즈에 대응할 수 있는 적절한 기술로 판단됨.
- 특히 지진피해에 대한 사회적 관심 및 불안감 증가에 따라 기존 구조물의 보수·보강에 대한 법규의 강화 및 수요가 증가하고 있는 추세임.
- 현재 국내 시설물 유지·보수 시장의 규모는 약 40조원 이상이며, 정부는 노후화된 사회간접자본(SOC) 시설을 유지보수하기 위해 2020년부터 4년간 총 32조원을 투입할 예정임.

3) 기술의 포지셔닝 분석

- 제안 기술의 경쟁우위는 보강기술에 대한 프리스트레싱 시스템 도입이라는 차별성과 시공의 편리성 및 신뢰성 확장을 통한 경쟁력 강화임.
- 차별성 측면에서는 단순한 수준의 보강기술이 아닌 프리스트레싱 도입을 통해 보강부분에 대한 성능을 극대화 가 가능한 보수·보강 시스템 기술임.
- 혁신성 측면에서는 편리성과 성능향상을 동시에 만족시킬수 있는 새로운 개념의 보수·보강기술임.
- 대량생산 시스템을 갖추어 경제성을 확보한다면 기존 보수·보강 기술 시장에 쉽게 접근할 수 있으며, 수출의 기대효과도 큼.



[기술의 포지셔닝 분석]

4) 실용화 및 제품화 방안

- 연구초기 단계에서부터 제품성능 및 가격경쟁력의 차별화를 고려하여 본 기술의 시장점유율 확대를 위한 사업화 전략을 구축하는 기틀 마련.
- 시장진입 리스크 분석 및 기존기술 대비 경쟁우위의 확보.
- 국제 지적재산권 확보 및 국제 건설박람회 참여를 통하여 해외시장 진출을 위한 인프라 구축.

7. 참고 문헌

1. ASTM A416 (2018), Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete. ASTM International, PA, USA.
2. Collins, M. P. (1991), Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, New Jersey.
3. JIS G3536 (2014), Steel Wires and Strands for Prestressed Concrete. Japanese Standards Association, Tokyo, Japan.
4. Kim, J. K., and Yang, J. M. (2019), Ultra-High Strength Steel Strand and Prestressed Concrete Using the Strand, Magazine of the Korea Concrete Institute, 31(4), 21-17. (in Korean)
5. Kim, W. H., Ra, J. K., Kim, T. H., and Shin, H. M. (2003), Analytical Study on the Prestress Losses of Prestressed Concrete Bridges, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 7(1), 131-138. (in Korean, with English abstract)
6. KS D 7002 (2019), Uncoated Stress-Relieved Steel Wires and Strands for Prestressed Concrete. Korea Agency for Technology and Standards, Seoul, Korea.
7. Lee, J. H. (2009), Time-Dependant Analysis of Precas Prestressed Concrete Bridge considering Long-Time Prestress Loss, Master's thesis, Daegu, Kyungpool University, Department of Civil Engineering.
8. Lim, Y. J., and Kim, H. S. (2020), Effect of Outrigger Wall Reinforced with Post Tension on Reducing Differential Column Shortening, Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, 33(4), 237-244. (in Korean, with English abstract)
9. Nam, Y. S., Cho, C. G., and Park, M. H. (2006), Time-Dependent Behavior Analysis of Pre-Tensioned Members Using High-Performance Concrete (HPC), Journal of the Korea Concrete Institute, 18(4), 479-487. (in Korean, with English abstract)
10. Architectural Institute of Korea (2016), Korean Building Code, Architectural Institute of Korea, Korea, Seoul.
11. Magura, D. D., Sozen, M. A., and Siess, C. P. (1964) A Study of Stress Relaxation in Prestressing Reinforcement, PCI Journal, 9(2), 13-57.
12. Zienkiewicz, O. C., The Finite Element Method, 3rd ed., McGraw-Hill Book Company, 1972.
13. Saiidi, M. S., Shields, J., O'Connor, D., and Hutchens, E. (1996) Variation of Prestress Force in a Prestressed Concrete Bridge During the First 30 Months, PCI Journal, 41(5), 66-72.
14. Sharif, A., Taher, S. E. F., and Basu, P. K. (1993) Time-Dependent Losses in Prestressed Continuous Composite Beams, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119(11), 3151-3168.
15. Kim, T. H., Choi, J. H., Lee, K. M., and Shin, H. M. (2000) Development of a Computer Program for User-Oriented Analysis and Design of Prestressed Concrete Bridges, An International Journal of the Korea Concrete Institute, 12(2), 3-10.

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.