

19SCIP
-C1207
91-04

현장
적용성
개선 및
활용을
위한
에폭시
피복철근
개발

최
종
보
고
서
2019

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

보안 과제(), 일반 과제(●) / 공개(●), 비공개()발간등록번호()

건설기술연구사업 제4차 연도 최종 보고서

R&D / 19SCIP-C120791-04

현장적용성 개선 및 활용을 위한 에폭시 피복철근 개발

최종 보고서

2019 . 9. 28.

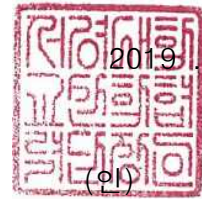
주관연구기관 / 서경대학교
공동연구기관 / (주)에코바
공동연구기관 / (주)평화엔지니어링
위탁연구기관 / (사)한국콘크리트학회

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘현장적용성 개선 및 활용을 위한 에폭시 피복 철근 개발’ (연구개발 기간 : 2016.09.29 ~ 2019.09.28) 과제의 최종보고서를 제출합니다.



2019. 09 . 28 .

주관연구기관명	: 서 경 대 학 교	이 석 형	(인)
공동연구기관명	: (주) 에 코 바	김 성 현	(인)
공동연구기관명	: (주) 평화엔지니어링	권 재 원	(인)
위탁연구기관명	: (사) 한국콘크리트학회	이 재 훈	(인)

주관연구기관책임자 : 김 지 상
공동연구기관책임자 : 심 성 표
공동연구기관책임자 : 정 찬 구
위탁연구기관책임자 : 최 정 욱

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘현장적용성 개선 및 활용을 위한 에폭시 피복 철근 개발’ (연구개발 기간 : 2016.09.29 ~ 2019.09.28) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019 . 09 . 28 .

주관연구기관명 : 서 경 대 학 교	이 석 형	(인)
공동연구기관명 : (주) 에 코 바	김 성 현	(인)
공동연구기관명 : (주) 평화엔지니어링	권 재 원	(인)
위탁연구기관명 : (사) 한국콘크리트학회	이 재 훈	(인)



주관연구기관책임자 : 김 지 상
공동연구기관책임자 : 심 성 표
공동연구기관책임자 : 정 찬 구
위탁연구기관책임자 : 최 정 욱

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘현장적용성 개선 및 활용을 위한 에폭시 피복 철근 개발’ (연구개발 기간 : 2016.09.29 ~ 2019.09.28) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019 . 09 . 28 .

주관연구기관명	: 서 경 대 학 교	이 석 형
공동연구기관명	: (주) 에 코 바	김 성 현
공동연구기관명	: (주) 평화엔지니어링	권 재 원
위탁연구기관명	: (사) 한국콘크리트학회	이 재 훈

(인)



주관연구기관책임자 : 김 지 상
공동연구기관책임자 : 심 성 표
공동연구기관책임자 : 정 찬 구
위탁연구기관책임자 : 최 정 욱

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

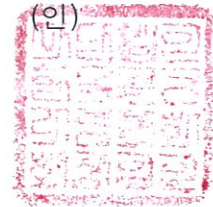
제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘현장적용성 개선 및 활용을 위한 에폭시 피복 철근 개발’ (연구개발 기간 : 2016.09.29 ~ 2019.09.28) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019 . 09 . 28 .

주관연구기관명	: 서 경 대 학 교	이 석 형	(인)
공동연구기관명	: (주) 에 코 바	김 성 현	(인)
공동연구기관명	: (주) 평화엔지니어링	권 재 원	(인)
위탁연구기관명	: (사) 한국콘크리트학회	이 재 훈	(인)



주관연구기관책임자 : 김 지 상
공동연구기관책임자 : 심 성 표
공동연구기관책임자 : 정 찬 구
위탁연구기관책임자 : 최 정 욱

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19SCIP-C120 791-04	해당 단계 연구 기간	2019.01.31.~ 2019.09.28	단계구분	4/4
연구사업명	중사업명	건설기술연구사업			
	세부사업명	건설기술연구사업			
연구과제명	과제명	현장적용성 개선 및 활용을 위한 예폭시 피복철근 개발			
연구책임자	김 지 상	해당단계 참여연구원 수	총 : 14명 내부 : 6명 외부 : 8명	해당단계 연구비	정부 : 184,000천원 민간 : 64,500천원 정부외 : 천원 상대국 : 천원 계 : 248,500천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총 : 29명 내부 : 12명 외부 : 17명	총 연구비	정부 : 850,000천원 민간 : 290,000천원 정부외 : 천원 상대국 : 천원 계 : 1,140,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	주관연구기관 : 서경대학교 산학협력단 공동연구기관 : (주)에코바 공동연구기관 : (주)평화엔지니어링			참여기업명 악조노벨분체도료 (주)	
위탁연구	연구기관명: (사)한국콘크리트학회			연구책임자: 최 정 욱	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유					

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	화 합 물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	ISSN 2888-3320 Vol.7, NO.3, 2019	[출원] 10-2017-0000928 10-2017-0059200 10-2019-0077326 [등록] 10-1864392 10-1885345	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	ISSN 2888-3320 Vol.6, NO.3, 2018										
	ISSN 2888-3320 Vol.6, NO.1, 2018										
	ISSN 1662-9507 Vol.382, 2018										
	ISSN 2888-3320 Vol.5, NO.3, 2017										

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

보고서 면수

요약문

연구개발 목표	현장적용성 향상 및 활용을 위한 에폭시 피복철근 개발 - 15초 이내 180° 절곡이 가능하고, 일반철근 대비 90% 이상 부착력을 갖는 에폭시 피복철근 개발, 역학적 특성 검증, 실용화 연구, 제조·설계·시공 지침 작성
연구개발 내용	□ 구조성능 및 현장적용성능이 확보된 에폭시 피복철근 개발 - 철근 피복용 친환경 에폭시 분체도료 선별 - 에폭시 도료 피복 장치 개발 및 에폭시 피복 철근 제조공법 개발 - 에폭시 피복철근 제조방법의 경제성 강화 방안 검토 □ 에폭시 피복철근의 역학적 특성 검증 - 일반철근 대비 기존 에폭시 피복철근의 성능 평가 - 기존 에폭시 피복철근 대비 개발 에폭시 피복철근의 구조성능(부착력) 검증 - 기존 에폭시 피복철근 대비 개발 에폭시 피복철근의 현장 적용성능(절단, 충격, 굽힘 등) 검증 - 개발 에폭시 피복 철근을 적용한 RC 휨 부재의 구조성능 검증 - 반복응력에 대한 에폭시 피복철근의 내구성능 검증 □ 에폭시 피복철근 현장적용 및 활용기술 개발 - 에폭시 피복철근의 적용 사례분석 및 유지관리비 집행실적 분석 - 현장 적용 활용방안 제시 - 에폭시 피복철근 적용에 대한 경제성 분석 □ 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 작성 - 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공에 관한 기준 및 규격 분석 - 에폭시 피복철근의 설계적용성 연구 - 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 작성 - 콘크리트 건설기준(KDS 14 20 00 및 KCS 14 20 00) 개정안 작성
연구개발성과	□ 에폭시 피복철근 제조기술 - 친환경 에폭시 분체 도료 및 에폭시 수지 피복 장치 - 에폭시 피복철근 대량 생산기술(시제품) - 국가기술표준원 신기술(NET) 인증 □ 에폭시 피복철근 현장적용기술 - 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 - 경제성 분석 및 활용방안 보고서

활용계획 및 기대효과	□ 활용계획 - 과제를 통하여 개발될 에폭시 피복철근은 염해(제설제 염해 포함), 중성화, 동결융해 및 화학적 침식 등에 의해 열화되는 콘크리트 구조물에 포괄적으로 활용 · 해상교량, 항만 RC구조물, 해안인접 공항 RC시설물 · 연속철근콘크리트포장(CRCP) · 하천 횡단 각종 RC시설물 · 동결방지제를 살포하는 한냉지 도로교의 콘크리트 상판과 난간 등 □ 기대효과 - 피복철근의 성능을 증진시켜 피복철근 활용에 대한 신뢰성 개선 ⇨ 구조물의 장수명화 및 고내구성화에 기여 - 설계단계부터 예방적 유지관리를 실시하여 구조물의 장수명화 유도 ⇨ 건설비용 중복투자 방지, 보수·보강 비용 절감, 생애주기 비용 최소화, CO2 절감 ⇨ 미래의 경제적 부담 완화, 국가재원의 투자효율 증대 - SOC 시설물의 빈번한 보수·보강 및 교체 공사로 인한 교통 체증(및 사고)을 감소시킴 ⇨ 국민 삶의 질 향상 - 내구수명 증가 ⇨ 시설물의 노후화로 인한 사회적 불안감 해소				
핵심어(5개 이내)	에폭시 피복철근	역학적 특성	설계 적용성	활용 기술	지침

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	5
가. 구조성능 및 현장적용성능이 확보된 에폭시 피복철근 개발	5
나. 에폭시 피복철근의 역학적 특성 검증	40
다. 에폭시 피복철근 현장적용 및 활용기술 개발	64
라. 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 작성	87
3. 목표 달성도	106

<별첨>

1. 성과점검기준표
2. 연구개발성과활용계획서
3. 주관기간자체평가의견서

〈 표 목 차 〉

표 1.1 SSPC-SP10, SIS B.C.D sa2 1/2 표면처리 규격	21
표 1.2 도막두께, 부착력, 굽힘성의 KS규격 및 ASTM, ISO규격	23
표 1.3 에폭시 코팅철근 가공관련 AASHTO, ASTM 규격	39
표 2.1 실험체제원	42
표 2.2 KS D 3629 시험 결과 (D19) $f_C = 30Mpa$	44
표 2.3 개발 에폭시 피복 철근의 강도별 부착성능 비교	45
표 2.4 기존 및 개발 에폭시 피복 철근 부착성능 비교 (30MPa)	46
표 2.5 굽힘성 시험 비교	48
표 2.6 내충격성 시험 비교	49
표 2.7 내화학적 시험 비교	49
표 2.8 음극도막박리 시험	50
표 2.9 염수분무 시험	50
표 2.10 조도 측정 결과	51
표 2.11 마디 면적비 측정 결과	52
표 2.12 실험체제원	55
표 2.13 패칭제 보수 후 내충격성 시험 비교	62
표 2.14 패칭제 보수 후 굽힘성 시험 비교	62
표 2.15 패칭제 보수 후 내화학적 시험 비교	63
표 2.16 패칭제 보수 후 염수분무 시험	63
표 3.1 유지보수현황	64
표 3.2 사례교량 초기공사비	76
표 3.3 사례교량 LCC분석 결과	77
표 3.4 교량 1개소 기준 초기공사비	80
표 3.5 교각 기준 초기공사비	80
표 3.6 교량 상부구조성요소별 유지관리비용	81
표 3.7 하부구조(교각) 유지관리비용(교각 기준)	82
표 4.1 굽힘시험 요구사항	88
표 4.2 Bending Test Requirements	88

표 4.3 종류 및 기호	94
표 4.4 표면처리와 피복사이의 최대시간	95
표 4.5 노출 범주 및 등급	98
표 4.6 노출등급에 따른 내구성 허용기준	98
표 4.7 보정계수	99

〈 그림 목 차 〉

그림 1.1	홀딩롤러 장치 개선, 45° 사선 고압분사 Shot Blast 투시도	16
그림 1.2	개선된 쇼트 공정 상세도 (분사각도45°)	17
그림 1.3	개선 전, 후 SHOT후 철근의 조도 현상	17
그림 1.4	개선된 IGBT 디지털형 고주파(유도가열장치)상세도	17
그림 1.5	기존 SCR예열방식과 에코바사 IGBT예열방식의 차이점	18
그림 1.6	분체 2중 코팅 제조기술	18
그림 1.7	AIR COOLING SYSTEM	19
그림 1.8	개선된 에폭시 피복철근 loading(운반)	19
그림 1.9	개발 에폭시 피복철근 표면조도 및 굽힘성 시험(D29)	24
그림 1.10	기존 에폭시 피복철근 표면조도 및 굽힘성 시험(D29)	24
그림 1.11	개발 기술 생산 10Line Shot Blast M/C 내부도면, 내부측면도	26
그림 1.12	개발 기술 생산 20Line Shot Blast M/C 내부도면, 내부측면도	27
그림 1.13	분체도료의 유해물질 시험 결과	37
그림 1.14	분체도료 열특성(피복경화)시험 분석 결과	38
그림 2.1	실험체 제작 원리	41
그림 2.2	콘크리트 타설	43
그림 2.3	실험체 UTM 배치도	43
그림 2.4	콘크리트 강도별 개발 에폭시 피복 철근의 부착성능	45
그림 2.5	콘크리트 강도별 에폭시 피복철근의 부착성능	45
그림 2.6	기존 및 개발 에폭시 피복 철근 부착성능 비교	46
그림 2.7	철근 제작	47
그림 2.8	겉모양	47
그림 2.9	피복 두께 측정	48
그림 2.10	습식 핀홀 측정	48
그림 2.11	굽힘성 시험	48
그림 2.12	내충격성 시험	48
그림 2.13	내화학성 시험	48
그림 2.14	염수분무 시험	48

그림 2.15 음극박리 시험	48
그림 2.16 굽힘성 실험	48
그림 2.17 내화학적 시험	49
그림 2.18 음극도막박리 시험	50
그림 2.19 염수분무 시험	50
그림 2.20 표면 조도 측정	51
그림 2.21 철근별 표면조도 비교	51
그림 2.22 에폭시 피복의 벗겨짐 현상	53
그림 2.23 실험체 형태 3차년도 4차년도	54
그림 2.24 거푸집 제작	55
그림 2.25 철근 커플러 제작	56
그림 2.26 실험체 UTM 배치도	56
그림 2.27 미끌림측정기 배치도	56
그림 2.28 균열폭 게이지 배치도	56
그림 2.29 파괴형상	57
그림 2.30 D13 하중-처짐 그래프	58
그림 2.31 D19 하중-처짐 그래프	58
그림 2.32 D25 하중-처짐 그래프	58
그림 2.33 D13 부착응력-미끌림 그래프	59
그림 2.34 D19 부착응력-미끌림 그래프	59
그림 2.35 D25 부착응력-미끌림 그래프	59
그림 2.36 이음길이별 최대균열폭	60
그림 2.37 구조물의 단면	60
그림 2.38 구조물의 배합비	61
그림 2.39 피복두께에 따른 내구수명(Life-365)	61
그림 2.40 피복두께에 따른 내구수명(CRSI)	61
그림 2.41 패칭제 보수 후 내충격성 시험	62
그림 2.42 패칭제 보수 후 굽힘성 시험	62
그림 2.43 패칭제 보수 후 내화학적 시험	63
그림 2.44 패칭제 보수 후 염수분무 시험	63

그림 3.1 철근 절단 및 절곡	67
그림 3.2 상차 및 현장보관	67
그림 3.3 손상부 에폭시 보수	67
그림 3.4 철근배근 및 결속	68
그림 3.5 콘크리트타설 및 양생	68
그림 3.6 결모양식별	70
그림 3.7 피복두께측정	70
그림 3.8 핀홀측정	70
그림 3.9 굽힘성시험	70
그림 3.10 운반, 보관 및 취급	70
그림 3.11 부속재료 사용	71
그림 3.12 철근절단 및 절단면 보수상태	71
그림 3.13 간포교 상부슬래브 철근배근 전경	72
그림 3.14 가공 후 보관 상태	72
그림 3.15 철근 배근 후 절단 작업 및 배근 철근 위 도보 전경	73
그림 3.16 철근 가공용 철근밴딩기 및 가공 작업 모습	73
그림 3.17 손상부 에폭시 보수	74
그림 3.18 사례교량 D교 유지보수현황	75
그림 3.19 사례교량 S교 유지보수현황	76
그림 3.20 원안 및 대안 분석 비교도	79
그림 3.21 분석기간 변화에 따른 유지관리비 비교	83
그림 3.22 할인율 변화에 따른 유지관리비 비교	84

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 개요

○ 연구개발과제의 설명

① 에폭시 피복철근 개발

- 친환경 피복 분체도료를 사용한 에폭시 피복철근 개발 (기존에는 친환경 분체도료에 대한 규정이 없음)
- 콘크리트와의 부착력이 90% 이상 확보되는 에폭시 피복철근 개발 (기존 KS 표준은 콘크리트와의 부착력이 80% 이상)
- 철근 피복용 에폭시 도료 선별 및 철근 피복 기술개발
- 에폭시 피복철근 가공 시 성능 확보를 위한 제조공법 개발
- 15초 이내 180° 굽힘에 대해서 피복이 벗겨지거나 갈라짐이 없는 에폭시 피복철근 개발 (기존 KS 표준은 90초 이내 120° 굽힘에 대해서 피복 손상 여부 시험)
- 에폭시 피복철근 제조매뉴얼 작성

② 에폭시 피복철근의 구조성능 및 현장적용성능 검증

- 콘크리트와의 부착력이 90% 이상 확보되는지에 대한 구조성능 검증
- 15초 이내 180° 굽힘에 대해서 피복이 벗겨지거나 갈라짐이 없는지에 대한 현장적용성능 검증
- 에폭시 피복 철근의 휨부재 적용 구조성능 평가
- 에폭시 피복철근 설계가이드 작성

③ 에폭시 피복철근의 실용화 연구

- 에폭시 피복철근을 활용한 구조물의 내구수명별 생애주기비용 분석
- 에폭시 피복철근의 현장적용성 모니터링 및 평가
- 에폭시 피복철근 시공 특기사항 도출

○ 연구개발 단계

① 친환경 에폭시 피복철근 개발

- 에폭시 피복철근을 개발하는 공동연구기관 (주)에코바는 지금까지
 - 콘크리트와의 부착력 증대
 - 에폭시 피복철근의 굽힘시 피복 손상 방지를 위한 기술에 대한 자체 연구(이 연구의 70%-80% 수준)를 수행하였고 이에 대한 상당한 기술을 확보하고 있음.
 - 1차년도에는 기존 자체 연구를 검토하고 현행 규격에서 요구하는 수준 이상의 성능 보유 여부를 공인시험기관의 시험을 통하여 확인하고 필요한 경우 이에 대한 보완 연구를 수행
 - 2차년도에는 에폭시 피복철근의 시작품을 생산하고 개발된 기술을 반영하여 에폭시 피복철근을 대량 생산하기 위한 시설 및 장비에 대한 검토
 - 3-4차년도에는 실용화에 중점을 두고 에폭시 피복철근 개선을 위한 연구를 수행할 계획임.
- 또한, 개발 기술의 신뢰성 및 사업성을 확보할 수 있도록 국가기술표준원 신제품(NEP) 또는 국토교통부 신기술 (NET)을 취득하기 위하여 인증 진행 중. 에폭시 피복철근 개발에 대한 연구단계는 TRL 5 - TRL 7단계에 해당함.

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	■	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	■	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	■	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

② 에폭시 피복철근의 역학적 특성 검증

- 에폭시 피복철근의 역학적 성능을 검증하는 주관연구기관 서경대학교는 1차년도에 주로 에폭시 피복이 없는 일반 철근 및 기존 에폭시 피복철근을 대상으로 현장적용성능(절단, 충격, 굽힘) 그리고 콘크리트와의 부착성능에 관한 연구를 수행하였음.
- 2차년도는 단조하중에 대한 현장적용성능(절단, 충격 및 굽힘성능)과 에폭시 피복철근-콘크리트 요소의 부착성능(요소실험) 검증 실험 수행
- 3,4차년도는 피복철근-콘크리트 휨부재의 부착성능(부재실험)을 검증하였음. 에폭시 피복철근의 역학적 성능 검증에 대한 연구단계는 TRL 5 - TRL 6단계에 해당함.
- patching제로 보수된 에폭시 피복 철근의 성능확인
- ASTM C 775의 방법으로 보수된 에폭시 피복 철근의 품질시험 추가 시행

	ASTM C 775
Impact test	Weight: 1.8kg Result: There should be no cracking or peeling of the coating at 500mm.
Bending test	Method: For D13 and D19 reinforcing bars using a flexural tester Within 180 seconds 180 ° ,D29 reinforcing bars, within 180 seconds 180 ° Result: The film should be free of cracks and peeling.
Chemical resistance test	Result: No blistering, cracks or rust on the film.
Salt spray test	Method: Put in a salt spray tester for 1080 hours.

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	■	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	■	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

③ 에폭시 피복철근의 실용화 연구

- 에폭시 피복철근을 활용하기 위한 경제성 분석은 내구성 증진에만 치중된 기존의 연구와는 달리, 염해환경에서의 구조물에 대한 생애주기 동안의 건설비용을 비교 분석하여, 일반철근 대비 에폭시 피복철근의 경제성을 비교·분석하는 것으로, 실제 환경 시작품 데모 단계인 TRL 7에 해당됨.
- 에폭시 피복철근의 현장적용(모니터링)은 에폭시 피복철근의 운반, 가공(조립), 취급, 보관, 시공 과정에서 에폭시 피복철근의 손상 발생원인 유형을 검토하고 이를 방지하기 위한 방안을 제시하는 것으로 제품 설치 및 성능시험 단계인 TRL 8에 해당함. 또한, 개발된 피복철근의 현장 적용성을 극대화하기 위하여 실무 기술자들이 사용할 수 있는 지침 및 가공 매뉴얼을 작성하고 실무기술자 및 관련 전문가의 자문을 거쳐 학회 등의 공인된 기관의 검증을 취득하였음.

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	■	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	■	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

나. 연구 목표

구 분	내 용		
최종 목표	○ 현장적용성 향상 및 활용을 위한 에폭시 피복철근 개발 - 15초 이내 180° 절곡이 가능하고, 일반철근 대비 90% 이상 부착력을 갖는 에폭시 피복철근 개발, 역학적 특성 검증, 실용화 연구, 제조·설계·시공 지침 작성		
세부 목표	주관/공동/위탁		최종목표
	공동((주)에코바) • 에폭시 피복철근 개발	최종 목표	• 구조성능 및 현장적용성능이 확보된 에폭시 피복철근 개발
		기술 성과 수준	• 에폭시 피복철근의 15초 이내 180°이상 절곡시 벗겨짐이나 갈라짐이 발생하지 않는 피복철근 장치 및 제조기술 개발 • 콘크리트 내에 에폭시 피복철근 부착력은 일반철근 대비 90% 이상 될 수 있는 피복철근 제조기술 개발 • 숏트 분사각도를 45도로 개선하여, 표면거칠기 조도(roughness)를 강화하고 철근-콘크리트 부착력을 90% 이상으로 확보 • 유도전열장치 (고주파 전열장치)의 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 도입 • 공냉식 냉각 도입 • D13~D32 중 3종 이상 에폭시피복철근 개발
	주관(서경대학교 산학협력단) • 에폭시 피복철근의 역학적 특성 검증	최종 목표	• 에폭시 피복철근의 역학적 특성 검증
		기술 성과 수준	• 개발 에폭시 피복철근의 현장적용성능(15초 이내 180°이상 절곡할 경우 에폭시 손상 여부) 검증 • 개발 에폭시 피복철근의 부착성능(일반철근 대비 90% 이상의 부착력) 검증
	공동((주)평화엔지니어링) • 에폭시 피복철근의 실용화	최종 목표	• 에폭시 피복철근 현장적용 및 활용기술 개발
		기술 성과 수준	• 에폭시 피복철근의 현장 사용(운반, 보관, 취급, 시공 등)에 대한 모니터링 및 활용 방안 제시 • 생애주기비용(Life Cycle Cost)기법에 의한 에폭시 피복철근 경제성 분석
	위탁((사)한국콘크리트학회) • 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 작성	최종 목표	• 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공지침 작성
		기술 성과 수준	• 에폭시 피복철근 관련 각국의 제조 규격, 설계 및 시공 기준 분석 • 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침작성 • 콘크리트 건설기준 (KDS 14 20 00 및 KCS 14 20 00) 개정안 작성

2. 연구 수행 내용 및 성과

가. 구조성능 및 현장적용성능이 확보된 에폭시 피복철근 개발

구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과	연구 결과 검증
1차 년도 (2016)	철근 피복용 친환경 에폭시 분체도료 선별	- 에폭시 피복용 분체도료의 친환경성 분석 - 친환경성, 경제성등을 고려하여 개발 에폭시 피복철근에 적합한 피복용 분체도료 선정 및 적용	- 국내·외 분체도료(K사, J사, A사)를 대상으로 친환경성 및 경제성을 비교 검토하여, 에폭시 피복 분체도료 선정 26종 유해성 검사 - 분체도료 사양 비교·분석 6대 중금속 시험 - KS/ASTM 규격 시험 - 개발 에폭시 피복철근의 품질 개선 - 에폭시 도막두께 변화 - 표면 온도변화에 따른 굽힘성능 시험 - 에폭시 피복철근의 내구성능 및 부착성능	26종 유해성검사 - 한국품질시험원/ (KQT) - 시험일자: 2016.12.30 6대 중금속 시험 - SGS Test Report No.F690101/LF-CTSAYAA16-66732 - 시험일자: 2016.12.14
2차 년도 (2017)	에폭시 도료 피복 장치 개발 및 에폭시 피복 철근 제조공법 개발	제조과정에서의 피복철근 변형방지를 위한 연구	- 쇼트 전처리 공정의 분사각도 조정, 홀딩롤러 보완, 예열공정에서 디지털형 고주파(유도가열장치)사용, 1차 공랭식 & 2차 수냉식 냉각으로 냉각속도 줄임. - 피복철근 표면처리 최적화 - Shot시 임펠라 각도를 직각(90°)방향에서 사선(약45°)방향으로 개선하여 연마제 투사압을 줄이고 이형철근 변형을 방지함. - 이형철근 이송롤러간격을 최소화하여 이형철근 변형방지 및 소형철근(16mm이하)이탈 방지함.	- 특허 등록 제10-1864392호 등록일/ 2018.05.29. - 운반 설비 및 이를 포함하는 피복 철 근 제조 설비
		에폭시 피복철근의 부착성능 향상 연구	- 에폭시피복철근 부착력, 굽힘성 향상 및 국제규격 강화. - 부착력, 굽힘성 향상을 위한 연구 과제 관련 출원한 특허(제10-1568183)기술 및 제조설비 시설의 국제화를 실행 - 숏 임펠라 투사각을 사선으로 개선하여 이형철근의 표면조도를 깊게 형성하고 단면적을 넓게 확보하여 피복부착력을 강화함. - 분체도장 후 1차수냉식 냉각에서 공랭식 냉각으로 개선하여 이형철근에 도료가 부착되는 시간을 늘려 피복철근의 부착력을 강화함	- 특허 등록 제10-1885345호 등록일/ 2018.07.30. - 냉각설비 및 이를 포함하는 피복 철 근 제조 설비
		에폭시 피복철근의 시작품 개발	- KS D3629, ASTM A775규격에 적합한 D13,D19,D29피복철근 개발함. 15초이내 180도 굽힘가능 제품개발 - 콘크리트에 대한 부착력 85%이상 가능 제품개발	- 공인기관의시험 / 한국건설생활환경 시험구원 (KCL) - 시험일자 -2017.08.30. -2017.11.08.

구분 (연도)	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과	연구 결과 검증	비고
3차 년도 (2018)	에폭시 피복철근 제조방법 의 경제성 강화 방안 검토	현장사용성이 용이한 보수, 보강패칭제 개 선(ASTM 및 국 제 규 격 에 부합)	소형규격(16mm이하철근)에폭시 철근을 대량으로 생산할 수 있는 자동화 라인을 구축(기존 100mm간격 롤러에서 50mm간 격 롤러로 개선)을 하여 생산 시 기존 생 산량의 2배로 증진가능	- 특허 출원 2019-0077326 출원일/ 2019.06.27. - 구조용 피복 철근의 I G B T (일 체 형) TWIN SYSTEM 제 조기술	
4차 년도 (2019)	에폭시 피 복철근 제 조 방법 의 경제성 강 화 방안 검토 (신기술 지정 신청)	- 다양한 규격의 에폭시 피복 철 근을 대량으로 생산할 수 있 는 자동화 라 인을 구축 - 부식환경에 노 출되는 RC구 조물 부재의 수지코팅 유연 성 및 콘크리 트에 대한 부 착력이 개선된 기술	- 부식환경(대기또는 수인성 염분)에 노출된 RC 구조물은 콘크리트의 열화 및 강재의 부 식에 의해 그 기능이 손상. 신청 신기술 은 강재의 부식을 방지하는 방법 중, 철근에 피복을 하여 산성 및 유해물질로 부터 철근 을 보호하고 부식 방지를 하므로써, 구조물 의 내구수명을 증대하는 에폭시 피복 철근의 제조 기술. - 개발기술은 친환경 도료를 사용하여, 에폭시 피복철근의 구조성능(부착력)과, 현장 적용 성능(절단,충격,굽힘 등)을 개선하기 위하여, 일반철근의 표면에 치상돌기(齒狀突起)나 앵 커패턴(ANCHOR PATTERN)을 최적화 하였 고, 열처리과정의 고주파 처리(Insulated Gate Bipolar Transistor)열전도를 제어속도 를 0.002초의 순간 처리로 향상하여, 부착 력과 현장적용성능(절단,충격,굽힘등)을 개선	- 공인기관의시험 / 한국건설생활환경 시험연구원(KCL) 시험일자 -2019.06.21. -2019.07.12. -2019.07.22. - 현장 시험시공 국도31호선 간포 교 교량 스라브 에폭시 피복처리 -시공기간: 2019.06부터 2019 07 까지 - 공인 원가계산/ 굽힘가공성 개선 에 따른 현장적용 시 기존 제품 대비 83.33%시공성향상	

(1) 연구개발 기술의 특허 등록 내용

(가) 특허 등록 내용

- 연구개발 에폭시 피복철근의 제조방법은 「XCS 14 20 11 : 2018 [고속도로공사 전문시방서](#)/철근공사 2.10.3제조방법, KS D 3629 - 2019 에폭시 피복철근 6. 제조방법」 시방 규정과 규격 기준이 마련되어 있음. 본 에폭시 피복철근의 제조 기술에 관한 연구는 국내 규격 및 규정 근거와 국제규격(ASTM A775, ISO)의 품질 기준에 적합하도록 개발되었으며, 연구개발된 기술의 특허등록 여부와 기존 국내·외 기술과의 비교·분석하여 차별성 및 진보성을 기술 함.

(나) 개발기술의 품질(제조방법) 관한 공사시방 규정 및 KS D 3629 규격

- 연구 개발된 에폭시 피복철근의 제조방법에 관한 관련규정 및 개발 기술의 특허등록 연계성을 기술하며, 특허로 등록된 기술에 관련하여 기존 유사 기술과의 차별성.

• 연구 개발 기술의 제조방법 규격 & 국내·외 기존기술과 차별성

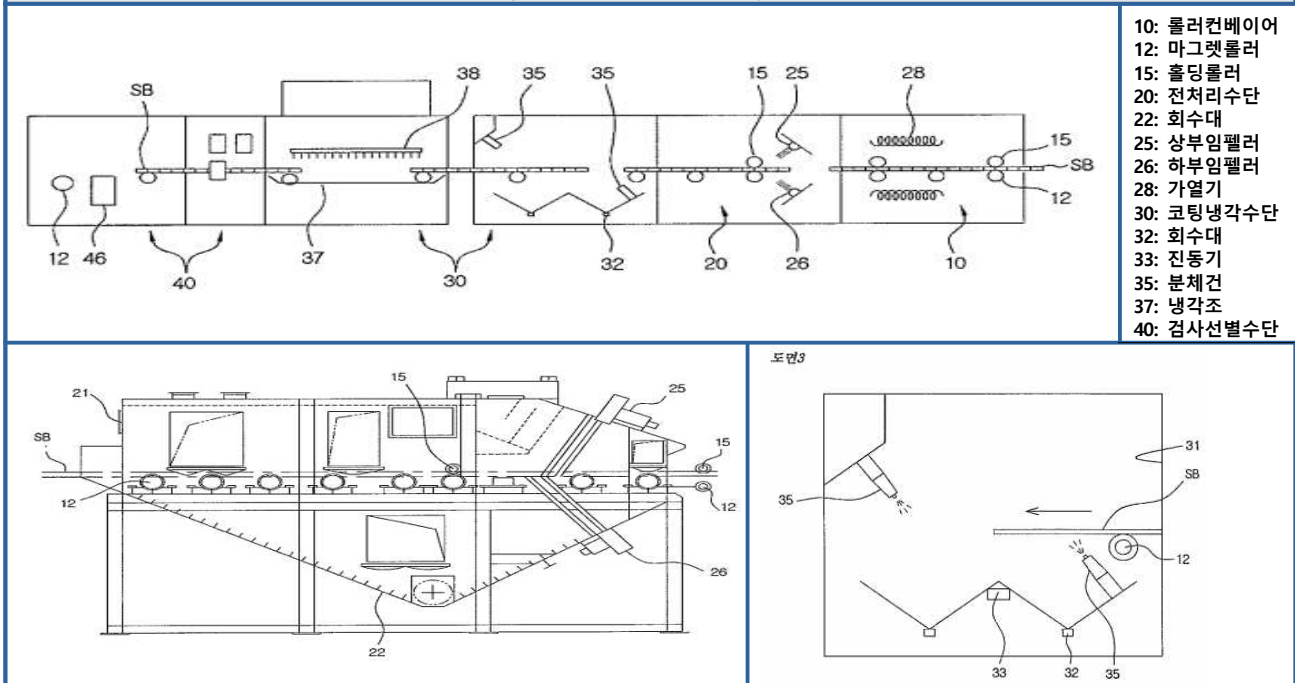
순번	공사시방 & KS D3629 규격		연구개발 기술 내용		비고
	공정	제조방법	기술도면	기존 기술과의 차별성	
1	전처리	전처리 1. 철근 외면에 부착되어 있는 밀 스케일, 녹, 기타 이물질은 숏 또는 그릿에 의해 $Sa2\frac{1}{2}$ 이상으로 처리되어야하며, 블라스팅에 압축공기를 사용할 때에는 압축 공기 중의 기름이나 수분 등을 처리해야 함. 2. 블라스트 후의 상태는 전반적으로 회백색의 금속 표면이 나타나야 하며, 피복이 충분한 접착력을 갖도록 앵커패턴을 0.05mm~0.10mm로 하여야 함.	❶ 구조용 철근의 수지코팅 장치 및 방법 -도면1 참조 -도면2 참조	□ 특허 제 10-1568183호 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 [0022] 본 발명의 세부 구성으로서, 철근에 대하여 경사진 방향으로 대향하는 상부임펠러(25)와 하부임펠러(26)로 숏트를 분사하는 것을 특징으로 함. 상부임펠러(25)와 하부임펠러(26)의 투사각도는 철근에 대하여 60~65°, -중략- 63°가 적절하지만 이에 한정되는 것은 아님. • 숏트를 일방향으로 타격하는 것은 직경 16mm 이하의 철근에서 마그넷롤러(12)를 이탈을 초래한다. 이에 도 2 처럼 상부임펠러(25)와 하부임펠러(26)를 상하 대칭적으로, 분사력의 수직분력이 상쇄되고 수평분력이 이송력을 부가함. 그리고 마그넷롤러(12)의 상측으로 홀딩롤러(15)를 설치하여 철근(SB)의 요동과 이탈을 구속함.	
			❷ 냉각설비 및 이를 포함하는 피복 철근 제조 설비 -도면1 참조 -도면2 참조	□ 특허 제 10-1885345호 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 [0017] - 중략- 코팅 대상 철근에 대해 45°의 분사 각도를 갖는 복수 개의 임펠러(21)들이 컷와 이어와 강구를 분사 할 수 있다. 45° 각도로 강구를 분사로함으로써, -중략- 철근 원형의 손상을 감소시킬 수 있음. [0019] 가압 롤러(25)가 철근(R)들이 이송롤러(11)에서 이탈되지 않고 일정한 위치를 유지·이송하여, 코팅 대상 철근의 표면을 균일하게 울록볼록한 상태(앵커 패턴)가 되어 수지가 부착되기 위한 최적의 상태가 될 수 있음.	
2	예열	예열 전처리된 철근은 인덕션히터에 의해 예열함. 이때의 예열온도는 피복면이 완전히 경화될 수 있는 온도이어야 하며, 과열에 의한 청록산화가 발생하지 않도록 함.	❸ 냉각설비 및 이를 포함하는 피복 철근 제조 설비 -도면1 참조	□ 특허 제 10-1885345호 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 [0020] 가열부(30)는 전처리부(20)에 의해 표면이 각인 코팅 대상 철근표면 온도를 증가. -중략- 180~210°를 유지하는 것이 바람직함. [0021] 가열부(30)에 의한 가열은 절연게이트 양극성 트랜지스티 (IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor)를 이용한 고주파 예열기(미도시)를 이용하여 수행할 수 있음.	

순번	공사시방 & KS D3629 규격		연구개발 기술 내용		비고
	공정	제조방법	기술도면	기존 기술과의 차별성	
	예열	기존 고주파 (INDUCTION SYSTEM)/개별 매입형 문제점 - 기존 개별 매입형은 열전도율은 우수하나 출력 과부하로 인한 화재 발생 및 생산성 차질이 발생함. - 대량 생산을 위한 확장성 부족	④ 구조용 피복철근의 IGBT(일체형) TWIN SYSTEM 제조기술	□ 특허 출원번호 : 2019-0077326 발명(고안)의 명칭: 구조용 피복철근의 LGBT(일체형) TWIN SYSTEM 제조기술 발명의 효과 - 본 발명에 의하면, IGBT TWIN SYSTEM은 1차 예열부, 2차 예열부를 통해 코팅 대상 철근 표면의 최적온도 (180-210°) 를 2차 예열부에서 복수로 균일하게 하여 전달할 수 있음. - IGBT 일체형 SYSTEM은 효율적으로 코팅 대상 철근의 피복온도를 대용량으로 전달할 수 있음.	
3	피복	피복 에폭시수지 분체도료를 정전스프레이 방법에 의해 예열된 철근에 피복해야 함.	③ 냉각설비 및 이를 포함하는 피복철근 제조설비 참조	□ 특허 제 10-1885345호 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 [0024] 방전 방식은 (+) 전극을 지나는 코팅 대상 철근에, 약 9만볼트의 (-) 전극을 지나는 수지를 분사하여 코팅하는 방식을 말함. [0025] 1차 코팅이 완료되면 2차 리프코팅 과정에 의해 수지를 2중으로 코팅할 수 있음. 2차 리프코팅에 의해 수지를 2중 코팅하면 철근의 콘크리트에 대한 부착력이 저하되지 않을 수 있음.	
4	냉각	□ 특허 제 10-1885345호 배경기술 [0004] -중략- 피복 철근 제조 설비에서 수지 코팅은 높은 온도를 가진 상태에서 수행되고, 따라서 수지 코팅된 철근을 냉각할 필요가 있음. [0005] - 수지 코팅 철근을 어떻게 냉각하느냐에 따라 최종적으로 코팅된 철근의 코팅 상태가 결정될 수 있음. 따라서 수지가 코팅된 철근을 효율적으로 냉각할 수 있는 냉각설비 및 이를 포함하는 피복 철근 제조설비가 요구되는 실정.	③ 냉각설비 및 이를 포함하는 피복철근 제조설비 -도면1참조 -도면2참조 -도면3참조 -도면4참조 -도면5참조 -도면6참조	□ 특허 제 10-1885345호 발명의 효과 [0008] 본 발명에 의하면, 수지가 코팅된 피복철근을 1차 공냉부, 2차 수냉부를 통해 냉각시킴으로써 피복부착력이 강화된 피복 철근을 제조할 수 있음. 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 [0027] 도 3,은 본 발명의 일 실시예에 따른 공랭부를 실시하는 사시도이다. 도 4, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 수냉부를 나타내는 사시도임. [0028] 먼저 공냉부에 대해 설명한다. 공냉부(51)은 도 3에 도시된 것과 같이 피복 철근(R)의 이송 경로를 따라 유동하는 냉각 공기를 이용하여 피복 철근(R)을 냉각 할 수 있음. [0034] 복수 개의 노즐(531)들은 피복 철근의 상측에 위치하고, 피복철근을 향해 물을 분사할 수 있음. 복수 개의 노즐(531)들은 철근의 길이 방향에 따라 배열되고 또한, 철근의 길이 방향을 가로지르는 방향을 따라 배열되어 이송되는 모든 피복 철근에 전체적으로 물을 분사할 수 있음. 피복 철근에 분사된 물은 피복 철근과 열교환하며 피복 철근을 냉각 시킬 수 있음.	

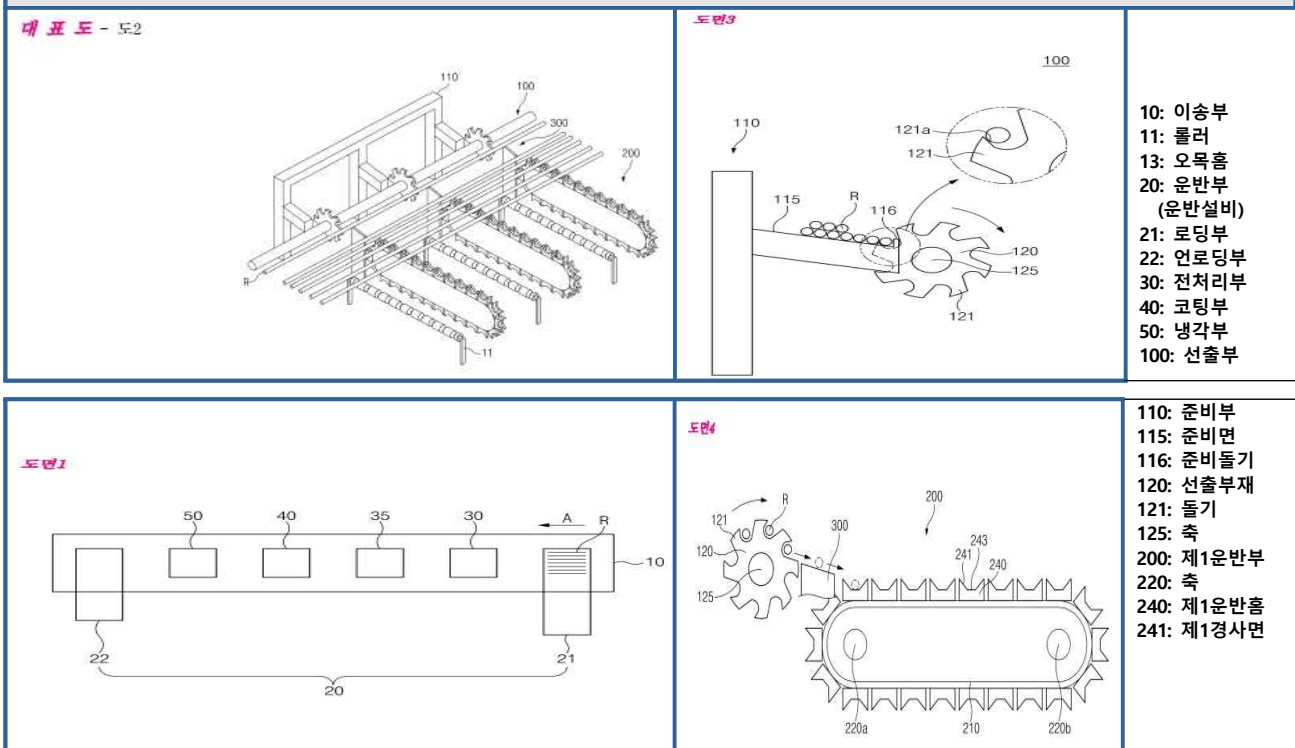
순번	공사시방 & KS D3629 규격		연구개발 기술 내용		비고
	공정	제조방법	기술도면	기존 기술과의 차별성	
5	운반	□ 특허 제 10-1864392호 발명의 설명 기술분야 [0001] 본 발명은 운반 및 설비 이를 포함하는 피복 철근 제조 설비에 관한 것. 배경기술 [0004] -중략- 다수의 철근을 철근 코팅 설비로 운반하여, 코팅 설비 위에 배열되도록 하기 위해 많은 시간과 인력이 소요됨. 예를 들어, 복수 개의 철근을 철근 코팅 설비에 소정 간격으로 배열하여 이송하기 위해, 작업자 또는 크레인 이 철근을 한 개씩 코팅 설비로 운반하는 것은 효율적이지 못함. [0005] 따라서, 다수의 철근을 효율적으로 철근 코팅 설비로 운반하는 운반 설비 및 피복 철근 제조 설비가 요구되는 실정.	② 운반 설비 및 이를 포함하는 피복 철근 제조 설비 -도면1 참조 -도면2 참조 -도면3 참조 -도면4 참조	□ 특허 제 10-1864392호 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 [0036] 도,3을 참조하면,선출부(100)는 외주에 복수개의 돌기(121)가형성된 톱니바퀴 형상으로 형성된 선출부재(120)를 포함할 수 있다. 선출부재는 철근의 길이 방향에 따라 복수개 나열. 돌기(121)의 개수는 특별히 한정되지 않음. 또한,나열되는 선출부재(120)의 개수도 특별히 한정되지 않고, 철근의 길이에 따라 변경될 수 있음. [0037] 선출부재(120)는 철근군과 이송 설비 사이에 위치하고, 철근의 길이 방향에 평행한 축(125)을 중심으로, 로딩 방향으로 회전할 수 있음. 로딩 방향이란 이송설비를 향해 철근을 운반하는 방향.(도 3, 도 4, 참조) [0038] 선출부재가 회전하면, 철근은 한 개씩 돌기(121)에 의해 지지되며 이송 설비를 향해 운반될 수 있음. 도 3에 도시된 것과 같이, 선출부재가 로딩방향으로 회전하면서 돌기(121)가 지나가는 위치에 위치한 철근을 돌기에 의해 지지되며 들어 올려지고, 계속해서 선출부재(120)가 회전하면 돌기와 돌기 사이에 위치한 상태로 선출부재에 의해 운반될 수 있음. [0039] 이때 선출부는 준비부(110)를 더 포함할 수 있음. 준비부(110)는 철근이 선출부재(120)에 의해 선출되는 위치인 선출 위치에, 철근군중의 철근이 한개씩 위치하도록 준비시킬 수 있음. [0043] 작업자가 크레인등을 이용하여 철근군을 준비면(115)의 상측에 떨어뜨리면, 철근군은 준비면(115)을 따라 선출위치를 향해 중력에 의해 이동 할 수 있음. 이동하던 철근들은 준비돌기(116)에 의해 더 이상의 이동이 저지되는데, 철근군이 준비면을 따라 하측으로 이동하면서 발생하는 진동에 의해 철근군에서 철근이 한 개씩 분리되면서 준비면(115)에 나열될 수 있음. 따라서, 철근들이 선출 위치까지 이동하면 선출위치에는 한개의 철근만 위치할 수 있음. [0044] 선출 위치에 한 개의 철근만 위치하면, 돌기(121)는 선출부재(120)의 회전에 의해 선출 위치를 지나가며 한 개의 철근을 운반할 수 있음. 돌기는 선출 위치에 위치했을때, 철근에서 선출부재(120)를 향해 하측으로 경사진 안내면(121a)을 포함 할 수 있음. [0045] 따라서, 작업자 또는 크레인이 크레인이 철근군을 준비면(110)의 상측으로 한꺼번에 떨어뜨리면, 선출부가 철근을 한 개씩 선출하여 제 1 운반부(200)로 운반하므로, 매우 편리하고 신속하게 철근을 운반할 수 있음.	

• 연구개발된 기술 관련 특허등록된 도면 상세도

① 구조용 철근의 수지코팅 장치 및 방법 (특허 제 10-1568183호)

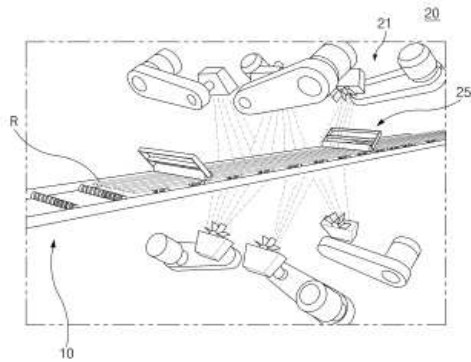


② 윤반 설비 및 이를 포함하는 피복 철근 제조 설비 (특허 제 10-1864392호)

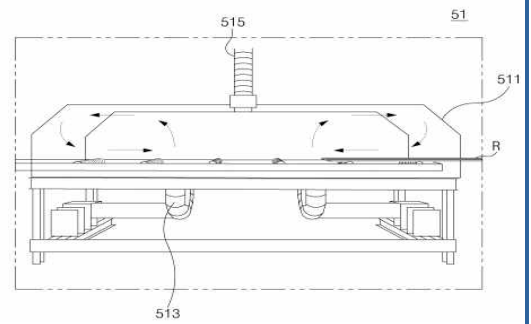


③ 냉각설비 및 이를 포함하는 피복 철근 제조 설비(특허 제 10-1885345호)

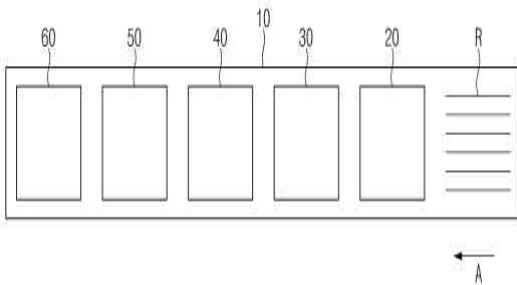
대표도 - 도2



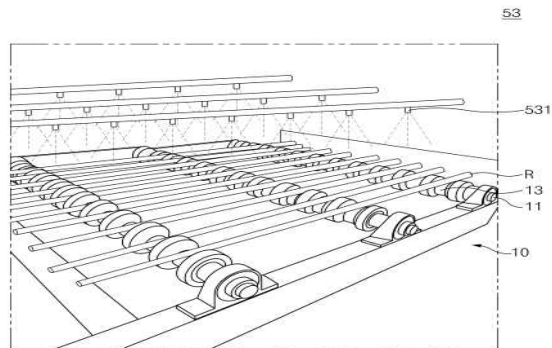
도면3



도면1

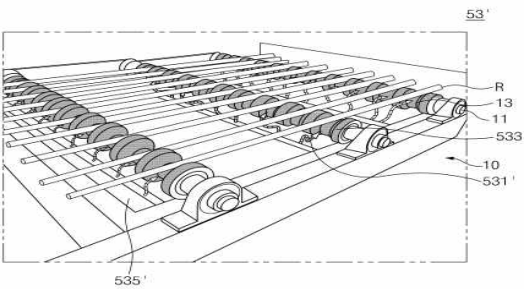


도면4

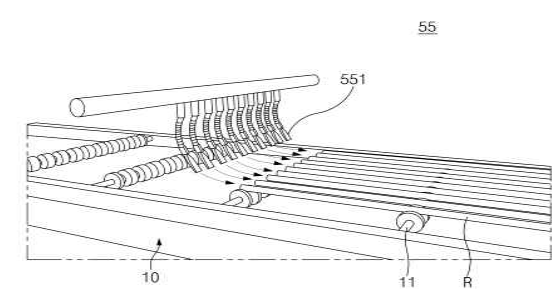


- 10: 이송부
- 11: 이송롤러
- 13: 오목홈
- 20: 전처리부
- 21: 임펠라
- 25: 이송롤러
- 30: 가열부
- 40: 코팅부
- 50: 냉각부
- 51: 공냉부
- 511: 외부 케이스
- 513: 내부 케이스
- 53: 수냉부
- 531: 노즐
- 533: 표면부재
- 55: 건조부
- 551: 공기분사노즐

도면5



도면6



④ 구조용 피복철근의 IGBT(일체형) TWIN SYSTEM 제조기술 (특허 출원번호 : 2019-0077326)



(2) 연구개발의 정성적 성과

- 기존 에폭시 피복철근의 굽힘성(코팅의 유연성)은 (KS 기준 90초 이내 120°굽힘) 성능 부족과 콘크리트에 대한 부착력 (KS 부착력 규격/ 80% 이상)은 구조성능의 저하 등, 현장적용성 부족으로 현장 사용이 전무한 상태임.
- 기존의 에폭시 피복 철근의 제조생산 설비 시설을 살펴보면, 1990년 경의 미국 또는 일본의 에폭시 피복철근 제조 기술을 COPY 한 수준에 불과함.
- 조도처리 규격(전처리 중 표면처리 규격)의 원천기술
 - 현재 국내 에폭시 피복철근에 관한 KS D 3629 는 스웨덴 규격에 준한 Sa 2 1/2 규격과 동일한 미국 SSPC - SP10 규격을 따르고 있음. 표면처리 규격 원천 기술은 철판등 쇼트 분사 유효면적이 100% 가까이 유용되는 기술(자동차, 전자제품등)을 피복 철근의 전처리 규격을 그대로 에폭시 피복철근 제조방법에 적용.
- **에폭시 제조 기술 중, 개선된 중요 기술**
 - 개선내용 I
 - 기존 생산설비 시설 라인을 보면, 철근과 철근 사이 간극이 크고, 쇼트 분사 유효면적은 상대적으로 감소되어 작업 손실이 저감되고 피복 부착력이 부족한 원인을 제공하며, 샷트설비의 감가상각비가 감소 되는 구조.
 - 따라서 철근 표면의 블라스트(Blast)시, 유효한 Shot가 이루어 질 수 있도록 기술을 개발하여, 앵커패턴(Anchor Pattern)의 깊이와 폭(부착면적)을 크게 하여 증가시키며 부착력이 강화. 는 것이 본 연구 개발의 '전처리' 공정의 핵심 기술.
 - 개선내용 II
 - 에폭시 피복의 원천기술은 철판등에 사용되도록 개발되었으며, 열처리 공정시, 철판과 같이 유효면적이 넓고 고정된 상태의 열전도를 작업과 비교하여, 에폭시 피복철근의 열처리 작업은 10-12M의 약 100M 정도의 이동식 생산 시스템의 처리방식이 불가피한 구조이며, 10-12M 철근을 이동하는 구조에서 순간 열전도율을 높이는 것이 본 연구 개발의 '열처리' 공정의 핵심 기술.
- **연구 개발된 에폭시 피복철근 기술의 정량적 내용**
 - 에폭시 피복 철근의 생산 설비시스템(기존 6Line ➡ 연구 개발 10 Line) 의 대량 생산설비 시설로 생산된 에폭시 피복철근에 관한 품질 성능을 공인 시험인증 기관으로부터 확인.
- **추가 연구 개발된 에폭시 피복철근 기술 및 특허 내용**
 - 최종적으로 생산 설비 시스템의 대량 생산 체제 (연구 개발 생산설비 시스템 10 Line ➡ 2019년 최종 연구 개발 생산설비 20 Line)의 연구 개발하여 2019.06. 27. 자로 특허 「구조용 피복철근의 IGBT (일체형) TWIN SYSTEM 제조기술 (특허 출원번호 : 2019-0077326)」를 출원.

(3). 연구개발의 핵심 기술(부착력 및 굽힘성 향상을 위한 피복처리) 및 정량적 성과

- 에폭시 피복철근 제조방법에 대하여 국내 KS D3629 & 미국 ASTM A775/775M은 1) 전처리, 2) 예열, 3) 피복, 4) 손상된 도막의 보수의 방법을 규정하고 있고, 구체적인 제조 기술의 품질에 관한 보증은 하지 않음.
- 이는 제조 기술의 유출을 방지하기 위한 보완이 목적이고, 신청 기술은 국내 KS D3629 & 미국 ASTM A775/775M 이 제시한 제조 규격 및 방법의 국내·외 기준을 분석·준수하여 국제 품질로 규격화하였고, 전처리, 예열, 피복, 제조 기술을 독창적으로 모방 없이 자립으로 기술을 개선.

(가) 개발기술의 품질(제조방법) 내용과 공사 시방 규정 및 KS D 3629 규격

• 외국·타기술에 의존없는 자립성의 우수 내용

구 분		기술의 독창성 및 자립성		비 고
공 종	KS D 3629 제조방법	기 존 기 술	개 발 기 술	
(1) 전처리	제조방법/ 전처리 1. 철근 외면에 부착되어 있는 밀 스케일, 녹, 기타 이물질은 슛 또는 그릿에 의해 준나금속 브라스팅 세정 (Sa)2½이상으로 처리되어야 하며, 브라스팅에 압축공기를 사용할때는 압축공기 중의 기름이나 수분 등을 처리하여야 함. 2. 브라스팅 후의 상태는 전반적으로 회백색의 금속표면이 나타나야 하며, 피복이 충분한 접착력을 갖도록 앵커패턴을 0.05 ~ 0.10mm로 하여야 함. (주2) 앵커패턴이란 피복의 접착력을 갖도록 표면에 요철을 주는 것을 말함. 3. 전처리된 철근을 육안으로 식별되는 표면산화가 일어나기 전에 피복하여야 하며, 8시간 이상 지난뒤에 피복 작업을 해서는 안됨. 비고 SSPC SP10(NEAR WHITE)과 Sa 2 1/2(NEAR WHITE)는 동급의 처리 상태를 말함.	기술의 개발원인 - 전처리 기술은 철근표면에 슛트를 분사하여 앵커패턴을 처리하는 구조. - 전처리 KS D 규격 및 처리 기준은 철판(자동차, 가전제품등)등 쇼트분사유효면적이 100% 가까이 이용되는 기술을 철근의 브라스팅에 그대로 적용. - 따라서 기존 전처리 기술에 적용된 슛트의 분사각도는 90°분사각을 형성. - 자동차 또는 가전제품등에 사용된 분체도장의 부착력은 인장력 또는 압축력에 대한 많은 저항을 받지 않는 구조.	기술의 개발배경 - 기존 기술의 전처리는 철근과 철근 간격이 150mm 이상 간격(6라인)으로 설치되어 상,하에서 90°로 분사되는 구조. 즉 철근 표면에 분사되야할 강구 80% - 85%가 회수대 및 마그네틱롤러에 분사되는 불합리한 구조. - 분사 강구의 분력에 의해 16mm 이하 소형철근은 이송라인을 이탈 또는 철근 원형을 훼손하고 균일한 앵커패턴 형성이 부족하여 부착력이 저하되는 구조. 신청 기술의 독창성 및 자립성 - 신청 기술의 전처리 과정에서 철근과 철근 간격을 50mm - 100mm 간격(10라인 - 20라인)으로 설치하고, 임펠라의 분사각도를 45° 경사지게 분사될 수 있게 하여,철근표면에분사강구가 90%-95% 유효 분사할 수 있는 구조. - 분사력에 의한 철근의 이탈을 방지할 목적으로 상,하 홀딩롤러를 설치하여 균일한 앵커패턴의 형성 및 철근 원형 훼손을 방지할 수 있는 구조.	① 개선된 개발 기술상세도/ 전처리 공정 중 Shot 분사각도 개선 -그림 1.1 참조 -그림 1.2 참조 -그림 1.3 참조

구 분		기술의 독창성 및 자립성		비 고
공 종	KS D 3629 제조방법	기 존 기 술	연구 개발 기술	
(2) 예열	예열 전처리된 철근은 인덕션 히터에 의해 예열. 이 때의 예열온도는 피복면이 완전히 경화될 수 있는 온도이어야 하며, 과열에 의한 청록산화가 발생하지 않도록 함.	기술의 개발원인 기존 기술 문제점 - SCR (Silicon Controlled Rectifier:아날로그형 고주파 유도 가열장치)은 제어속도 0.2초로서 피도물(피복철근)열전도율이 부족하여 피복철근 부착력 약화의 원인제공 - 철근표면에 균일한 온도전달이 용이하지 않아 생산성 및 제품 품질 저하 - 저역율로 인한 전력손실이 많이 발생하여 비경제적인 기술	신청 기술의 독창성 및 자립성 ◦ 예열공정시스템의 디지털화 - IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)디지털형 고주파(유도 가열장치)로 대체 - 제어속도 0.002초, 열전도율이 높은 제어방식으로 피복철근 부착력강화 & 생산성 향상시키고 고역율로 인한 전력손실 최소화 로 경제성을 향상. ◦ IGBT 디지털형 고주파를 사용한 고주파열기(180°-230°)는 분체 도포할 철근의 표면 부분만 가열하는 공법으로 철근 본래 강도를 유지할 수 있는 구조. ◦ IGBT 기술은 외부영향에 반응하지 않고 제어속도(0.002초)가 SCR형보다 빠르게 작동하여 철근 표면온도를 균일하게 가열하여 피복철근 부착력을 강화함.	② 개선된 개발 기술상세도/예열 -그림 1.4 참조
(3) 피복	피복 에폭시 수지 분체 도료를 정전 스프레이 방법에 의해 예열된 철근에 피복하여야 함.		1). 기존기술과의 차별성 의 ④ . 동종분야 기존 유사기술과 비교분석 3. 피복, 내용과 동일함	③ 개선된 개발 기술상세도/피복
(4) 보수	손상된 도막의 보수 (1) 손상된 도막의 보수포장은 철근 0.3M당 최대표면적 1%를 초과해서는 안됨. (2) 제작과 취급시의 손상된 모든 도막부위는 보수도료를 이용 도장. (3) 도막의 부착성 결함이 있을 경우 떨어진 도막을 제거하고 깨끗이 처리한후, 보수 재료로 도장. 다만, 가는 갈 라짐만 있으면, 보수할 필요가 없음. (4) 철근의 절단 부위에도 보수도료를 사용 도장하여야 함. (5) 손상된 부위의 보수도장은 보수도료 제조업체의 추천에 따라 사용하여야 함.		  ◦현장사용성이 용이한 보수,보강 패칭제 개선(astm 및 국제규격에 부합) ◦ 후도막, 높은 고형분을 가진 도료로 혹독한 부식환경이나 기계적 손상을 입을 수 있는 철구조물에 사용 가능한 패칭도료는 액체형 type이며, 주제, 경화제를 2:1비율로 섞어서 사용가능함.	

구 분		기술의 독창성 및 자립성		비 고
공 종	KS D 3629 제조방법	기 존 기 술	신 청 기 술	
(5) 냉각	-규격기준 없음-	-해당없음-	- AIR COOLING SYSTEM을 추가 개선하여 급랭(기존의 Water Cooling)으로 발생하는 스트레스와 부착력의 저하 & 핀 홀(Pin Hole)의 발생을 방지하으로서, 에폭시 철근의 부착력을 강화 되도록 최적화된 냉각 시스템 구축. - AIR COOLING SYSTEM을 에폭시 피복철근에 1, 2차: SHOWER COOLING SYSTEM을 추가 개선하여 피복 철근에 부착된 에폭시 수지 도료가 최적의 안정화로 유지되도록 냉각시스템을 구축함.	④ 개발 기술 상세도/ 냉각
(6) 운반	-규격기준없음-	-해당없음-	1). 기존기술과의 차별성 의 ④ . 동종분야 기존 유사기술과 비교분석 3. 피복, 내용과 동일함	⑤ 개발 기술 상세도/ 운반

• 전처리 공정 중 Shot 분사각도 개선

- SSPC-SP10/미국철강구조물 도장협회, SIS B.C.D sa2 1/2 / 스웨덴 규격협회 및 국내적용 표면처리 규격/ Near-white Blast Cleaning(나금속에 가까운 상태까지 처리하는 탈청 방법) / "모래, 그리트 및 쇼트를 사용하여 휠 또는 노들에 의한 블라스트 세정, 모든 녹, 흑피, 도막 및 기타 이물질을 표면적의 95% 이상까지 눈에 띄는 모든 잔유물로 완전나금속 세정에 가까이 블라스트 세정."
- 현재 국내 에폭시 피복철근에 관한 KS D 3629 는 스웨덴 규격에 준한 SSPC - SP10 규격을 따르고 있음. 표면처리 규격 원천 기술은 철판등 쇼트 분사 유효면적이 100% 가까이 유용되는 기술(자종차, 전자 제품도장 등)을 피복 철근의 전처리 규격에 그대로 적용.
- 개선의 필요성: 철근과 철근 사이 간극이 크고, 쇼트 분사 유효면적은 상대적으로 감소되어 작업 손실이 저감되고 슛트설비의 감가상각비가 감소 되는 구조.
- 표면의 블라스트(Blast)는, 앵커패턴(Anchor Pattern)의 깊이와 폭을 크게 하여 피복두께를 증가시키므로서, 피복철근에 부착력의 강화가 요구됨.

- 전처리 중, ‘표면처리’ 규격

표 1. SSPC-SP10, SIS B.C.D sa2 1/2 표면처리 규격

SSPC 규격	SIS 05 5900 규격	방 법	처 리
SSPC-SP-1	-	solvent cleaning (용제세척)	용제, 증기 알칼리, 에멀전 및 수증기에 의한 세정으로 유분, 먼지, 흙 염과 오염물을 제거한다.
SSPC-SP-2	B.C.D st2	hand tool cleaning (수공구로 제거하는 탈청방법)	수공구, 치퍼, 디스케일러, 연마지, 와이어 브러쉬와 그라인더를 사용하여 지시된 수준으로 들뜬 녹, 들뜬 흑피와 들뜬 도막을 제거한다.
SSPC-SP-3	B.C.D st3	power tool cleaning (동력공구로 처리하는 탈청방법)	동력공구, 치퍼, 디스케일러, 연마지, 와이어 브러쉬와 그라인더를 사용하여 지시된 수준으로 들뜬 녹, 들뜬 흑피와 들뜬 도막을 제거한다.
SSPC-SP-10	B.C.D sa 1/2	Near-white blast cleaning (나금속에 가까운 상태까지 처리하는 탈청방법)	모래, 그리트 및 쇼트를 사용하여 휠 또는 노들에 의한 블라스트 세정, 건식 혹은 습식으로 눈에 띄는 모든 녹, 흑피, 도막 및 기타 이물질들 표면적의 95% 이상까지 눈에 띄는 모든 잔유물로 완전나금속 세정에 가까이 블라스트 세정한다.(높은 습도, 화학적인 환경, 해상 및 기타의 부식 환경에 놓여지는 피도물에 대하여)

- 개선된 쇼트 공정(홀딩롤러 장치개선, 고압분사 90° ⇨ 45° 개선)상세도

- 기존 Shot시 임펠라각도를 직각(90°)방향으로 강철볼을 고압 분사하여 원형철근 손상 및 앵커패턴(요철상태)이 좁게 형성함으로써 피복부착력 저하 발생
 - 기존 Shot시 임펠라 각도를 직각(90°)방향에서 사선(약45°)방향으로 강철볼을 고압 분사하여 철근 원형 손상을 방지하고 앵커패턴(요철상태)을 넓게 형성하여 철근의 피복 부착력을 강화함.

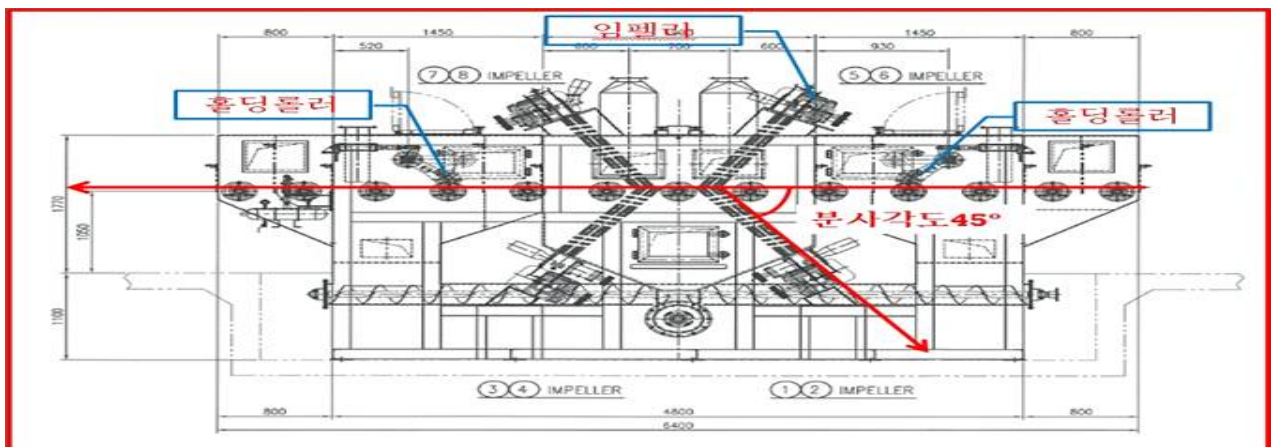


그림 1.1 홀딩롤러 장치 개선, 45° 사선 고압분사 Shot Blast 투시도

• 개선된 쇼트 공정 상세도(분사각도45°)



그림 1.2 개선된 쇼트 공정 상세도 (분사각도45°)



그림 1.3 개선 전, 후 SHOT후 철근의 조도 현상

- 16mm 이하 제품 쇼트 전처리 시 임펠라에서 분사되는 강철볼의 강력한 분출력에 의한 생산 라인 이탈로 철근 변형 및 피복부착력 저하 & 생산원가 추가 원인 발생

– 위 문제점 (1.1 쇼트 전처리 공정의 분사각도 개선)을 개선하여 피복 전 철근의 조도를 일정하게 확보한 다음 균일한 에폭시 피복을 확보할 목적으로, 쇼트 시 홀딩롤러를 500mm 간격으로 장착하여 분사 압으로 인한 철근 휨 및 원형철근 변형방지와 16mm이하 에폭시 피복철근의 문제점(부착력저하, 생산성향상)을 90%이상 개선하였음.

• 개선된 개발 기술 상세도/ 예열



IGBT(Insulated gate bipolar transistor)



IGBT(Insulated gate bipolar transistor)

그림 1.4 개선된 IGBT 디지털형 고주파(유도가열장치)상세도

- 기존 기술 문제점 - SCR(Silicon Controlle Rectifier: 아날로그형 고주파 유도가열장치)는 제어속도 0.2초로서 피도물(피복철근)열전도율이 부족하여 피복철근 부착력약화의 원인제공
- 철근표면에 균일한 온도전달이 용이하지 않아 생산성 및 제품 품질 저하
- 저역율로 인한 전력손실이 많이 발생하여 비경제적인 기술

- 예열공정시스템의 디지털화 - IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)디지털형 고주파(유도가열장치)로 대체
 - 제어속도 0.002초, 열전도율이 높은 제어방식으로 피복철근 부착력강화 & 생산성 향상
 - 고역율로 인한 전력손실 최소화로 경제성을 향상
- IGBT 디지털형 고주파(유도가열장치)를 사용한 고주파열기(180°-230°)는 분체 도포를 할 철근의 표면 부분만 가열하는 공법으로 철근 본래의 강도의 최적화 유지 시스템
- IGBT 디지털형은 외부영향에 반응하지 않고 제어속도(0.002초)가 SCR형보다 빠르게 작동하여 철근 표면온도를 균일하게 가열함으로써 피복철근 부착력을 강화함.

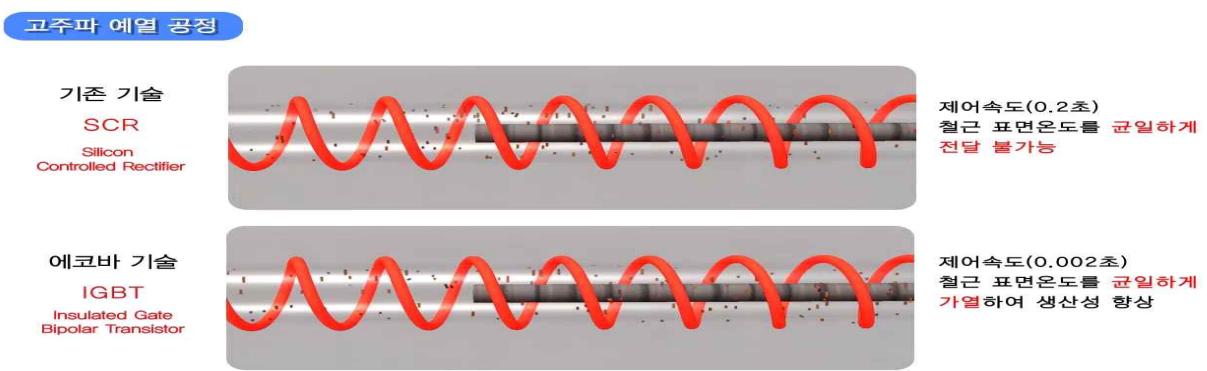


그림 1.5 기존 SCR예열방식과 에코바사 IGBT예열방식의 차이점

- 개선된 개발 기술 상세도/ 피복
- 분체공정(CORANA방전방식)
 - (+) 전극 : 예열 된 철근(현재까지 연구된 최적온도 : 210°)에서 발생.
 - (-) 전극 : 분체건(노즐)에서 9만 볼트 순간 분체 발사 시 발생.
 - (+) 전극과 (-)전극에서 발생하는 와류(소용돌이)를 이용하여 210°로 예열처리 된 철근의 표면에 에폭시분체도료가 철근과 일치를 이루면서 피복되는 시스템



그림 1.6 분체 2중 코팅 제조기술

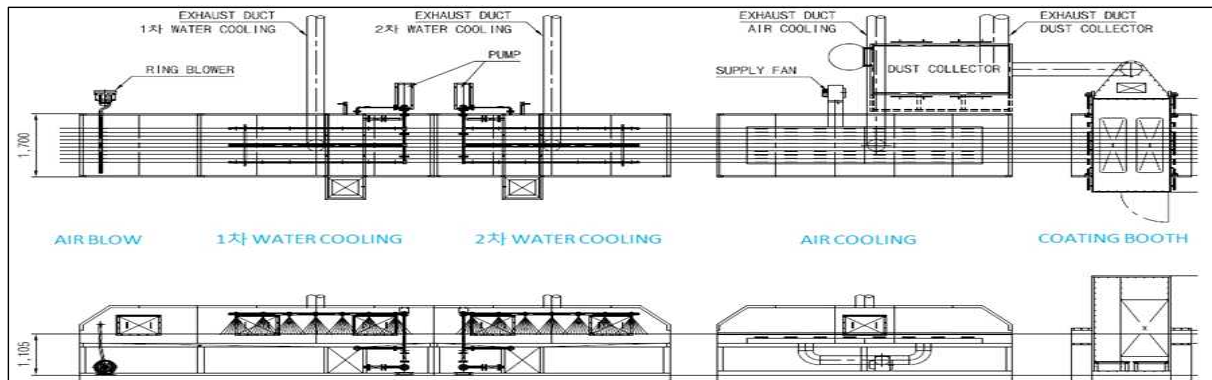


그림 1.7 AIR COOLING SYSTEM

• 개선된 개발 기술 상세도/ 냉각

- AIR COOLING SYSTEM 도입하여 피복 철근의 급랭(기존의 Water Cooling)으로 발생하는 스트레스와 부착력의 저하 및 핀 홀 (Pin Hole)의 발생을 방지하여, 에폭시 철근의 부착력을 강화할 수 있도록 최적의 냉각 시스템을 개발.
- 1차 AIR COOLING SYSTEM 으로 안전화 된 피복철근에 2차 : SHOWER COOLING, 3차 : FULL WATER COOLING SYSTEM 설비를 구축하여 최상의 에폭시 철근의 부착력이 생성 되도록 냉각시스템을 구축.

• 개선된 개발 기술 상세도/ 운반



그림 1.8 개선된 에폭시 피복철근 loading(운반)

(4) 에폭시 피복철근의 부착성능 향상에 관한 상세 연구 내용

• 에폭시 피복철근 표면 처리 규격(국내 및 국제규격)

- 표면처리 목적 도료가 금속표면과 화학적인 접촉 및 물리적인 결합작용을 충분히 수행할 수 있도록 표면을 깨끗이 세정하고 최적의 조면상태를 형성
- 에폭시 피복철근과 관련한 국내 표면처리는 국제규격 중 SSPC -SP10(미국 철강구조물 도장협회) 또는 SIS B.C.D sa2 1/2(스웨덴 규격협회)의 규격을 따르고 있다.(표 1. SSPC-SP10, SIS B.C.D sa2 1/2 표면처리 규격 참조)

– 금속의 표면처리 국제 규격

- SSPC(Steel Structures Painting Council);미국 철강구조물 도장협회
- SIS(Swedish Standards Institution); 스웨덴 규격협회
- BS(British Standards Institution); 영국 규격협회
- NACE (National Association of Corrosion Engineers); 국제부식기사협회

– SSPC-SP10, SIS B.C.D sa2 1/2 및 국내적용 표면처리 규격

- Near-white Blast Cleaning(나금속에 가까운 상태까지 처리하는 탈청 방법)
- 모래, 그리트 및 쇼트를 사용하여 휠 또는 노들에 의한 블라스트 세정, 건식 혹은 습식으로 눈에 띄는 모든 녹, 흑피, 도막 및 기타 이물질들 표면적의 95% 이상까지 눈에 띄는 모든 잔유물로 완전나금속 세정에 가까이 블라스트 세정한다.(높은 습도, 화학적인 환경, 해상 및 기타의부식 환경에 놓여지는 피도물에 대하여 표1. SSPC-SP10, SIS B.C.D sa2 1/2 표면처리 규격 인용)

– 도막두께와 앵커패턴(ANCHOR PATTERN)의 상대성(相對性)

- 조면화란 표면에 치상돌기(齒狀突起)나 앵커패턴(ANCHOR PATTERN)을 형성으로 부착 단면이 확대됨으로써 콘크리트에 대한 피복철근의 부착력이 증가 되는 것이며 앵커패턴의 깊이는 도막두께의 약 30% (37.5~62.5 μ m)를 확보되는 것이 가장 최적으로 분석.
- 즉 피도물의 도막두께가 두꺼워 져야 한다면 앵커패턴의 깊이 또한 도막두께의 약 30%에 상당하는 깊이로 두껍게 조면(roughness)화해야 하고 피도물에 도막두께를 얇게 처리해야 한다면 앵커패턴의 깊이 또한 도막두께의 약 30%에 상당하는 깊이로 얇게 조면화 되어야 함.

표 1.1 SSPC-SP10, SIS B.C.D sa2 1/2 표면처리 규격

SSPC 규격	SIS 05 5900 규격	방 법	처 리
SSPC-SP-1	-	solvent cleaning (용제세척)	용제, 증기 알칼리, 에멀전 및 수증기에 의한 세정으로 유분, 먼지, 흙 염과 오염물을 제거.
SSPC-SP-2	B.C.D st2	hand tool cleaning (수공구로 제거하는 탈청방법)	수공구, 치퍼, 디스케일러, 연마지, 와이어 브러쉬와 그라인더를 사용하여 지시된 수준으로 들뜬 녹, 들뜬 흑피와 들뜬 도막을 제거.
SSPC-SP-3	B.C.D st3	power tool cleaning (동력공구로 처리하는 탈청방법)	동력공구, 치퍼, 디스케일러, 연마지, 와이어 브러쉬와 그라인더를 사용하여 지시된 수준으로 들뜬 녹, 들뜬 흑피와 들뜬 도막을 제거.
SSPC-SP-4	-	Flame cleaning of new steel(새철재의 화염처리 하는 방법)	화염을 사용하여 녹, 들뜬 흑피와 약간의 단단한 흑피를 제거한 후 와이어 브러쉬로 마무리.
SSPC-SP-5	A.B.C.D sa3	Whitemetal blast cleaning (완전나금속 블라스트로 처리하는 탈청방법)	모래, 그리트 및 쇼트를 사용하여 흰 또는 노졸에 의한 블라스트 세정. 건식 혹은 습식으로 눈에 띄는 모든 녹, 흑피, 도막 및 기타 이물질을 모두 제거.
SSPC-SP-6	B.C.D sa2	Commercial blast cleaning (경제적-실용적으로 탈청하는 방법)	모래, 그리트 및 쇼트를 사용하여 흰 또는 노졸에 의한 블라스트 세정. 건식 혹은 습식으로 눈에 띄는 모든 녹, 흑피, 도막 및 기타 이물질을 표면적의 2/3 이상까지 눈에 띄는 모든 잔유물을 블라스트로 세정.
SSPC-SP-7	B.C.D sa1	Brush-off blast cleaning	금속표면 전체에 수많은 얼룩을 노출한 채, 단단히 부착된 흑피, 녹 및 도막을 제외한 모든 것을 블라스트로 세정.
SSPC-SP-8	-	Picking (산세정)	산처리, 이중 산처리 및 전해 산처리로 녹과 흑피를 완전히 제거.
SSPC-SP-9	-	자연방치 후 블라스트 세정	흑피의 일부 혹은 전부를 제거하기 위하여 자연 방치 후 위의 규격 중 하나로 블라스트 세정.
SSPC-SP-10	B.C.D sa 1/2	Near-white blast cleaning (나금속에 가까운 상태까지 처리하는 탈청방법)	모래, 그리트 및 쇼트를 사용하여 흰 또는 노졸에 의한 블라스트 세정. 건식 혹은 습식으로 눈에 띄는 모든 녹, 흑피, 도막 및 기타 이물질을 표면적의 95% 이상까지 눈에 띄는 모든 잔유물로 완전나금속 세정에 가까이 블라스트 세정.

• 피복철근 표면처리 최적화가 콘크리트 구조물에 미치는 영향

– 철근과 도료의 부착력 증가

• 피복되는 도료와 철근의 부착력

- 철근 표면 단면적 증가(치상돌기 및 ANCHOR PATTERN의 증가)에 따라 부착력이 증가됨.
- 철근 표면을 규칙적으로 깨갓이 세정함으로써 핀홀 발생을 최소화 하고 부착력을 증가함.

- 최적화된 철근 표면처리(조면)는 철근과 도료의 부착력을 강화하고 굽힘성을 향상시킬뿐더러 현장 피복철근 가공, 조립을 원활히 적용되도록 함.

– 피복철근과 콘크리트의 부착력 증가

- 에폭시 피복철근 표면 단면적 증가(치상돌기 및 ANCHOR PATTERN의 증가)는 콘크리트 타설시 피복철근과 콘크리트 간에 부착면적 및 밀도(DENSITY)가 증가되므로 에폭시 피복철근과 콘크리트의 부착력이 증가.
- 일반적으로 피복 철근의 매끄러움 표면이 마찰계수 저하를 유발하여 부착력을 저해하는 요인으로 추정하나, 규칙적으로 잘 정돈된 피복 단면은 콘크리트 타설시 부동태 피막(Passivity Layer)의 결합 과정에서 발생하는 기포를 최소화하여 오히려 부착력 증가의 요인이 됨. 수평철근보다 수직철근으로 형성된 구조물이 부착력이 더 높은 것도 같은 맥락으로 정리.

– 표면처리와 철근의 부식 감소

- 일반적으로 콘크리트 타설시 철근표면에 부동태 피막을 형성하여 철근 부식을 방지하는 1차 역할이 수행 되고 철근 표면에 피복된 도막이 2차적으로 부식 방지 역할을 수행.
- 일반 철근의 부식은 콘크리트 타설시 부동태 피막을 형성되는 과정에서 불규칙한 철근 표면과 모르타르에 발생한 기포 속에 산화물로 생성된 철염이 오랜 시간 염해침투등 양극과 음극반응을 통하여 부피 팽창을 일으킴.
- 그러나 위 기재한 바와 같이 부동태 피막이 형성되는 과정에서 규칙적으로 잘 정돈된 피복철근의 표면 (핀홀이 생기지 않도록 표면처리 된 조면화)은 모르타르에서 발생하는 기포를 최소화 되고 치상돌기 및 ANCHOR PATTERN의 증가는 밀도 높은 부동태 피막이 형성되므로 철근 부식을 최소화 할 수 있음.

• 지름이(10,13mm) 작은 에폭시 피복철근 성능 향상을 위한 표면처리

– 피복철근 성능 향상을 위해 기 개선된 제조방법

- Shot시 임펠라 각도를 직각(90°)방향에서 사선(약45°)방향
- 철근원형 손상발생을 개선하기 위하여 롤러 간격을 최소화
- 홀딩롤러를 장착한 후 고압분사로 인한 철근이탈 및 철근원형 변형을 방지하고 특허기술 및 제조방법을 개선.
- 피복 단면적이 좁은 10,13mm 철근은 1개별 쇼트 작업 시 단면적이 좁으므로 표면처리 효능이 저하할 수밖에 없다 그러나 10mm 철근 3개를 한 다발로 정돈되면 30mm 철근 단면적의 효과를 기대.
- 즉 단면적 30mm 이상 철근과 동등한 표면처리 조면화가 가능하고 에폭시 피복철근 성능 또한 개선 할 수 있음.

– 대량 생산 시 일정한 품질 관리 필요

- 도료 및 분체공정 습도 85%이하 유지.
- 도막 두께는 매 2시간에 각 철근 종류에 대하여 최소 2개 철근의 도막두께 측정

• 예열(고주파)처리

- 에폭시 피복철근의 제조방법 중 열처리에 관한 국내·외 기준은 ‘정전스프레이’ 방법을 규정하고 있다. 철근의 피복처리는 선박, 자동차, 냉장고 등 과 같은 고정된 피도물에 피복 기술과는 상이한 움직이는 피도물에 열전도 가 요구되기 때문에, 순간 열도율이 높이는 것이 핵심 기술

- 기존 예열(고주파)처리 문제점(Silicon Controlled Rectifier)
- 아날로그형 고주파(유도가열장치)는 제어속도 0.2초로, 열전도율이 취약하며, 철금표면에 균일한 온도전달이 용이하지 않은 아날로그형 예열시스템으로 생산성 및 제품성 확보의 문제.
- 연구개발 계획 예열(고주파)처리(Insulated Gate Bipolar Transistor)
- 디지털형 고주파(유도가열장치)는 제어속도 0.002초로 열전도율로 높은 예열방식으로 부착력과 생산성 등 품질 관리가 용이한 시스템.

• 분체공정

분체공정(CORANA방전방식)

- (+) 전극 : 예열 된 철근(현재까지 연구된 최적온도 : 210°)에서 발생.
- (-) 전극 : 분체건(노즐)에서 9만 볼트 순간 분체 발사 시 발생.
- (+) 전극과 (-)전극에서 발생하는 와류(소용돌이)를 이용하여 210°로 예열처리 된 철근의 표면에 에폭시분체도료가 철근과 일치를 이루면서 피복되는 시스템.

• 연구 개발 에폭시피복철근 부착력, 굽힘성 시험결과 및 국제규격

- 에폭시피복철근 부착력, 굽힘성 국제규격 변경과 도막두께규격의 변경

- ASTM & ISO는 에폭시 피복철근 품질 기준을 상향(부착력/ 80% ⇒ 85%)
도막두께를 최소 45 μ m ~ 최대 70~170 μ m 까지 증가
- ASTM은 에폭시 피복철근의 굽힘성 품질 기준을 상향(90초이내 120°굽힘 ⇒15초이내 180°)

표 1.2 도막두께, 부착력, 굽힘성의 KS규격 및 ASTM, ISO규격

구 분	도막두께		부착력		굽힘성	
	당초	변경	당초	변경	당초	변경
KS D3629	130~230 μ m	없음	80%	없음	90초이내 120° 굽힘	없음
ASTM A775 -07b(2017 재승인)	130~230 μ m	No.10~16: 175~300 μ m No.19~57: 175~400 μ m	80%	85%	90초이내 120° 굽힘	No.10~16: 15초이내 180° No.19~36: 45초이내 180°
ISO14654_1999(British Standard)	130~230 μ m	170~300 μ m	규정없음		No.10~36: 23.5초이내 180° No.43~57: 11.8초 이내 90°	없음
연구 개발 제품	147 μ m		90%		15초 이내 180° 굽힘	

- 개발 피복철근의 표면 조도 및 굽힘성 비교시험

- 콘크리트와 피복철근이 정착하는 과정에서 작용하는 부착력을 향상하는 기술을 개발하는 것이 본 연구의 핵심 기술임.
- 부착력은, 피복철근과 콘크리트 간에 점착력, 마찰력, 지압력, 그리고 휨 부착과 비례함. 즉, 콘크리트와 피복철근간의 접하는 단면적이 클수록 마찰력이 커지고, 최적의 앵커패턴은 지압력을 높게하여 부착력이 향상됨. 100배 확대된 현미경으로 기존 피복철근과 개발 피복철근의 표면 단면 형상을 비교할 수 있고, 부착력의 향상된 효과와 굽힘성의 결과를 분석.



(5) 연구개발의 핵심 기술(부착력 및 굽힘성 향상을 위한 피복처리)의 대량 생산 시스템

• 국내 에폭시피복 철근 품질에 관한 규정 및 규격기준

『에폭시피복철근 규격 KS D3629 및 일반국도공사시방서 및 고속도로공사 전문시방서』는 1995년

- 굽힘성 : 90초 이내 120° 굽힘
- 부착력 : 일반철근 대비 80 % 로 규정하고 있고, 2019 년 현재 기존의 에폭시 피복철근 제조 기술 및 품질은 관련 규정에 준하는 수준.

• 국외(미국/AASHTO 등) 에폭시피복 철근 품질에 관한 규정 및 규격

- 미국은 1973년 부터 (약 45년 전), 유럽은 약 80년 전부터 에폭시피복철근 사용에 관한 설계기준 및 시방서·규정하여, 구조물의 공용 비용 감소를 보여줌. 미국 정부 자료를 보면, 에폭시 피복철근 품질 (ASTM A775/775M)에 관한 규격을 2014년 개정.

	당 초(KS D 3629)	개발 기술	국제 규격
굽힘성 (코팅유연성)	90초 이내 120° 굽힘	15초이내 180° 굽힘	15초이내 180° 굽힘
부착력	일반철근 대비 80 %	일반철근 대비 90 %	일반철근 대비 85 %

○ 개발 기술 제품의 국내 및 국제 품질 규격화

- 개발 기술은, 국내 에폭시피복 철근 사용에 관한 규격에도 불구하고, 기존 에폭시피복 철근 품질이 국외 선진국 제품 수준 및 규격에 미달되어 현장 적용이 원활하지 못한 점을 개선, 국내 KS D3629 규격을 상회하고, 2014년 개정된 미국의 ASTM A775/775M 에폭시 피복철근의 품질 규격보다 상회하는 ‘현장 적용성 개선 및 활용을 위한 에폭시 피복철근 제품의 개발을 목표로 하였으며, 현장적용을 위한 중요 품질규격(굽힘성, 부착력)의 품질 규격을 상회하는 제품을 개발.

	ASTM A775/775M (2014년 개정)		개발 기술	비고
굽힘성 (코팅유연성)	15초이내 180° 굽힘	≤	15초이내 180° 굽힘	ASTM A775 품질규격과 같거나 상회
부착력	일반철근 대비 85 %	<	일반철근 대비 90 %	ASTM A775 품질규격과 같거나 상회

－ 대량 생산시설 설비/ 1차개발 : 10 LINE 생산시스템

- 기존 에폭시 피복철근의 생산 시설 기술은 6 Line 규모이다. 연구 개발된 기술은, 1차로 10 Line 에폭시 피복철근 생산
- 개발 기술은 위 기술한 에폭시 피복철근 제품의 생산 설비 시설 「2.1 연구개발의 핵심 기술(부착력 및 굽힘성 향상을 위한 피복처리)」 을 기존의 유사제품 설비 시설(1회 6Line 생산 규모)에서 1회 10 Line으로 생산 가능한 제품의 생산 시설을 개발하였고, 상용화.
- 기존 유사제품 생산 설비 6 LINE



- 개발 기술 생산설비 / 에폭시 피복철근 10LINE 생산설비

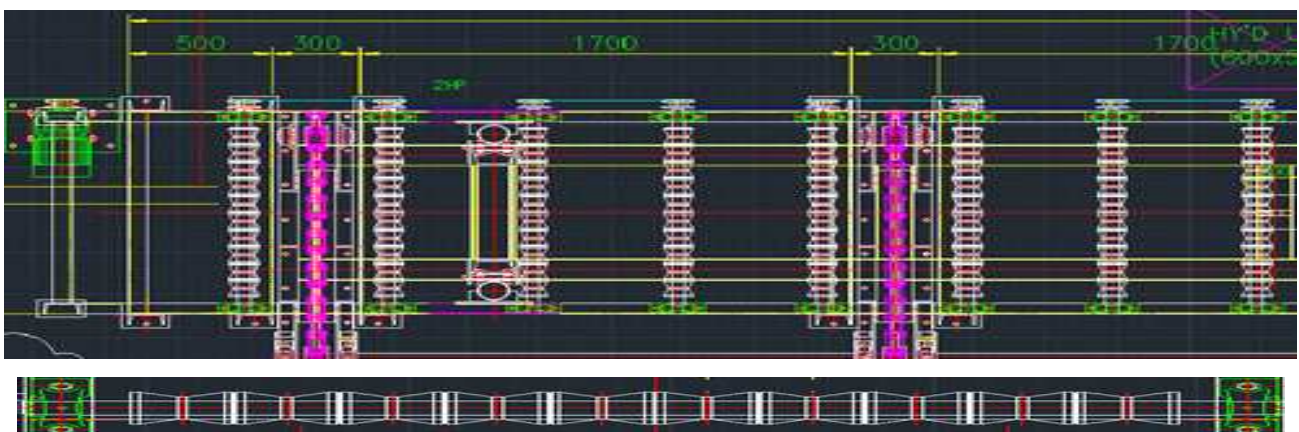


그림 1.11 개발 기술 생산 10Line Shot Blast M/C 내부도면, 내부측면도

- Figure 1 is a schematic diagram of a roller conveyor system. The diagram shows a side view of the conveyor with rollers (12) mounted on a frame (11). A motor (13) is shown driving the rollers. A dashed line (D1) indicates the direction of movement. A label '10' points to the overall system.

-
- The technical drawing consists of two parts. The top part is a cross-section of the bridge deck, showing a central rectangular box girder with a width of 1700 mm and a height of 1700 mm. It is flanked by two side girders, each with a width of 500 mm and a height of 1700 mm. The total width of the deck is 2700 mm. The bottom part is a longitudinal view of the bridge deck, showing a series of 20 girders spaced at 50 mm intervals, with a total length of 1000 mm. The drawing is labeled with dimensions and a scale of 1:100.

- 27 -

- 대량 생산 (1차 개발: 10 Line, 2차 개발: 20 Line) 관련 정량적 효과
- 대량 생산량 (1차 개발: 10 Line, 2차 개발: 20 Line) 의 정량적 비교 분석
- 기존 에폭시 피복 철근의 생산량 대비 대량 생산 시설의 생산량

구 분	철근 중량(단위:kg)		생산량 (단위:Ton)/ 1일			비고
	단위중량/M 당	1본 중량/8M	기존 시설 (6 Line)	1차 개발 (10 Line)	2차 개발 (20 Line)	
D 10mm	0.56	4.48	3.2/1일	5.3/1일	10.7/1일	
D 13mm	0.995	7.96	5.6/1일	9.5/1일	19.1/1일	
D 16mm	1.56	12.48	8.9/1일	14.9/1일	29.9/1일	
D 19mm	2.25	18	12.9/1일	21.6/1일	43.2/1일	
- 1 Line 당/1일 생산 사이클: 60분*8시간*0.8(효율)/3.2분(1사이클 당 생산 소요 시간)= 120회 예제) 10 Line 일일 생산량 산출(D19mm)/ 120회*10Line*1Line(8M의 1본 중량)=21.6Ton						

- 기존 에폭시 피복 철근 생산 원가 대비 대량 생산 시설의 원가 절감 비율

구 분	생산량 (단위:Ton)/ 1일			기존생산 대비 원가절감 비율(%) / Ton			비고
	기존 시설 (6 Line)	1차 개발 (10 Line)	2차 개발 (20 Line)	기존 시설 (6 Line)	1차 개발 (10 Line)	2차 개발 (20 Line)	
D 10mm	3.2/1일	5.3/1일	10.7/1일	0	5.9%	10.5%	
D 13mm	5.6/1일	9.5/1일	19.1/1일	0	6.1%	10.6%	
D 16mm	8.9/1일	14.9/1일	29.9/1일	0	6.0%	10.5%	
D 19mm	12.9/1일	21.6/1일	43.2/1일	0	6.0%	10.5%	

(6) 연구개발기술 사용에 관한 설계기준·시방 및 품질 규격 검증

(가) 연구개발 기술(에폭시피복철근) 사용 관련 기준 및 규격

• 에폭시 피복철근 사용에 관한 설계기준

구분	기준명		에폭시 피복철근 사용 관련 설계기준	관리기관
	기준 CODE	기준명		
설계 기준	KDS 24 10 11 : 2016	교량 설계기준	교량설계일반사항(한계상태설계법) / 2.5 설계목적 2.5.2 사용성 2.5.2.1 내구성 (1) 재료 2) 대기 또는 수인성염분에 노출될 가능성이 있는 철근과 프리스트레싱 강선은 에폭시 -중략- 조합으로 보호해야 함.	국토교통부
	KDS 24 10 10 : 2016	교량 설계기준	교량설계일반사항(일반설계법)/ 4.설계 4.1 사용성 및 내구성 4.1.5 내구성 설계 (3) 콘크리트 구조물의 내구성설계 ③ 내구성 평가 가. 일반사항 라) 콘크리트 구조물의 목표 내구수명은 구조물이 특별한 유지관리 없이 일상적이 유지관리 하에서 -중략- 기간으로 정함. -중략- 구조물의 내구등급은 표4.1-10에 따라 결정.	국토교통부
	KDS 24 14 21 : 2019	설계기준	콘크리트교 설계기준(한계상태설계법)/ 4.4.4 콘크리트 피복두께 4.4.4.2 최소피복두께 5) 염화물 또는 해수에 노출되는 고부식성 환경에 대한 -중략- 타당한 근거를 제시할 경우 작은값을 적용할 수 있음.	국토교통부
	KDS 14 20 40 : 2016	구조 설계기준	콘크리트구조 내구성설계기준 4. 설계 4.1 내구성 설계 4.1.2 내구성 설계기준 4.1.3 노출 범주및등급 (1) 책임구조기술사는 구조 콘크리트부재에 대해 노출정도를 고려하여 표4.1-1에 따라 노출 등급을 정하여야 함.	국토교통부
	KDS 14 20 40 : 2016	구조 설계기준	콘크리트구조 내구성설계기준 부록. 콘크리트의 내구성 평가 3.2 염해에 관한 내구성 평가 3.2.2 철근부식 임계염소이온 농도 설정 (1) 철근부식을 일으키는 임계 염소이온농도 C_{lim} 는 식 (3.2-1)을 사용하여 구할 수 있다 $C_{lim} = 0.004 C_{bind}$ 3.2.3 콘크리트 구조물의 염해내구성 평가 (2) 염해에 대한 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 염소이온 농도는 -중략-픽크(Fick)의 제2법칙을 유한요소법 또는 -중략- (3.2-3)을 사용하여 구할 수 있음.	국토교통부

• 에폭시 피복철근 사용 관련 기준 및 품질 기준·규격

구분	기준명		에폭시 피복철근의 품질기준·규격	관리기관
	기준 CODE	기준명		
시방 규정	KCS 14 20 44 : 2016	표준시방서	해양콘크리트 1. 일반사항 1.1 적용범위 -중략- (3) 해안선으로부터 250m 이내의 육상 지역은 -중략- 내구성 향상 대책을 수립 하여야 함. (4) 해상부는 해중, 간만대, 물보라 지역, 해상대기 중으로 구분하여 내구성 대책을 수립하여야 함.	국 토 교 통부

			1.2 해양 콘크리트 일반 (2) 해양콘크리트 구조물은 -중략- 열화및강재의 부식에 의해 그기능이 손상되지 않도록 하여야 함..-중략- 강재의 부식을 방지할 수 있는 추가적인 조치를 취하여야 함.	
	KCS 14 20 10 : 2016	표준시방서	일반콘크리트 제2장 일반콘크리트 1.9 콘크리트의 내구성 및 강도 1.9.1 염화물 함유량 (2) 굳지 않은 콘크리트 중의 전 염소이온량은 원칙적으로 0.30 kg/m³ 이하로 하여야 함. 4) -중략- 염소이온량이 적은 재료의 입수가 매우 곤란한 경우에는 방청에 유효한 조치를 취한후 책임기술자의 승인을 얻어 -중략- 염소이온량의 허용상한 값을 0.60 kg/m³로 할 수 있음.	국 토 교 통부
	KCS 41 30 06 : 2018	표준시방서	원자력발전소 콘크리트공사2. 자재 2.4 철근 2.4.1 철근 (7) 에폭시 도막 철근은 공사시방서를 따라야 함.	국 토 교 통부
	KCS 61 50 05 : 2017	표준시방서	펌프장건축공사 5.콘크리트공사 5.1 콘크리트 공사일반 5.1.1일반사항 (2)콘크리트의 종류 및 품질 ⑥ 내구성을 확보하기 위한 재료 및 배합에 관한 규정 가. 콘크리트에 포함된 염화물량은 염소이온량으로서 0.30 kg/m³ 이하로 함. 부득이 이것을 초과할 경우에는 철근방청상 유효한 대책을 강구하도록 하고, 그 방법은 공사시방서에 따름. 다만, 이 경우에도 염화물량은 염소이온량으로서 0.60kg/m³를 넘어서는 안 됨. ⑦ 각종 성능저하 요인에 대한 내구성 가. 해수의 작용을 받는 위치 및 바닷바람에 포함된 해염입자의 영향을 받을 우려가 있는 위치에 있어서 콘크리트의 품질 및 철근의 방청조치는 “건축공사표준시방서 05080”에 따름.	환경부
전문시 방서	EXCS 14 20 11 : 2018	고속도로 전문시방서	2.10.2 품질기준 (4) 굽힘성 ① 피복철근의 굽힘성은 KS D3629 6.3의 시험을 하여 구부러진 철근의 바깥면에 피복의 갈라짐이나 벗겨짐이 없어야 함. 2.10.5 검사 (1) 겉모양, 피복두께, 핀홀, 굽힘성 열특성(피복경화) 및 KS D 3629의 부속서상의 콘크리트에 대한 부착력이 KS D 3629의 3. 및 부속서 1의규정에 적합하여야 함.	국 토 교 통부
품질 규격	KS D 3629 : 1995 (2018재 확 인) 에폭시 피복 철근	한국표준협 회 KS	6. 시험 6.3 굽힘성 시험 피복철근의 굽힘성은 표 2에 규정된 축을 사용하고 이형철근의 리브를 상·하 방향으로 하여 축 주위로 <u>120°이내 구부러</u> <u>서 시험한다. 다만, SD50 - FRE 경우는 90°초로 함.</u> 시험 온도 조건은 20±2°C 이며 속도는 일정하게 유지하고 <u>시험</u> <u>을 시작하여 완료하는데 90초 까지 걸릴 수 있음.</u> 부속서 1 에폭시 수지 분체도로 품질 콘크리트에 대한 부착력/ 피복되지 않은 철근의 80% 이상	산업통상 자원부 국가기술 표준원

(나) 연구개발 기술의 품질검증

- 공인기관의 시험성적서/ 한국건설생활환경시험연구원

• 시험일자: 2017.08.30., 2017.11.08

순번	단위	시험· 검사 종목/방법	규격기준		시험 규격	시험결과
			KS D3629	ASTM A775		
1	-	겉모양	구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없어야 한다.	구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없어야 한다.	피복면은 경화 후 균일하여야 하며 육안으로 식별되는 구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없어야 한다.	구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없음
2	개/m	핀홀	5	3	핀홀 빈도는 미터(M)당 5개 이하여야 한다.	0(핀홀없음)
3	μm	피복두께	130~230	• No D 10-16 mm: 175-300 μm • No D 19-57 mm: 175-400 μm	피복두께는 경화 후 180 $\pm$ 50 μm 이어야 한다.	147 μm
4	-	굽힘성	120°굽힘 90초 이내		120°굽힘 90초 이내	이상없음
		굽힘유연성 (굽힘성)		180°굽힘 15초 이내	180°굽힘 15초 이내	이상없음
5	%	콘크리트에 대한 부착력	80	85	85% 이상	99.67%
6	mm	음극박리 시험후 평균 지름	규격 없음	4	에폭시피복철근에 지름 3 mm의 구멍을 만든 후, 3 % NaCl용액 속에 서, 티타늄전도체를 음극에 두고, 칼로멜 표준 전극을 양극에 두어 1.5V를 발생시킨 후, 약 168시간동안 실험을 진행하며, 박리량이 4mm를 초과하지 않아야 함	3.5
				4		3.3
				4		3.2
				4		3.2
				4		3.2
				4		3.5

• 시험일자: 2019.06.21.

순번	단위	시험· 검사 종목/방법	규격기준		시험 규격	시험결과
			KS D3629	ASTM A775		
1	-	겉모양	구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없어야 한다.	구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없어야 한다.	피복면은 경화 후 균일하여야 하며 육안으로 식별되는 구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없어야 한다.	구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없음
2	개/m	핀홀	5	3	핀홀 빈도는 미터(M)당 5개 이하여야 한다.	0(핀홀없음)
3	μm	피복두께	130~230 μm	• No D 10-16 mm: 175-300 μm • No D 19-57 mm: 175-400 μm	피복두께는 경화 후 180 $\pm$ 50 μm 이어야 한다.	152 μm
4	-	굽힘성	120°굽힘 90초 이내		구부러져 시험하고 구부러진 철근의 바깥면에 갈라짐이나, 벗겨짐이 없어야 함	이상없음

- 시험일자: 2019.07.12.

순번	단위	시험· 검사 종목/방법	규격기준		시험 규격	시험결과
			KS D3629	ASTM A775		
1	%	콘크리트에 대한 부착력	80%	85%	피복철근의 부착력은 피복되 지않은 철근의 85%	102% ASTM규격적용

- 시험일자: 2019.07.22.

순번	단위	시험· 검사 종목/방법	규격기준		시험 규격	시험결과
			KS D3629	ASTM A775		
1	-	굽힘유연성 (굽힘성)/D19mm		180°굽힘 15초 이내	180°굽힘 15초 이내	이상없음 ASTM규격적용
2	-	굽힘유연성 (굽힘성)/D29mm		180°굽힘 15초 이내	180°굽힘 15초 이내	이상없음 ASTM규격적용

- 품질 검증 현장 적용/ 국도 31호선 간포교 슬라브 철근 에폭시 피복처리 공사

공사사진대지 (1)	
	
사진설명(1)/ 에폭시 피복철근 굽힘 가공	사진설명(2)/ 에폭시 피복철근 지지대 설치

공사사진대지 (2)	
	
사진설명(3)/ 에폭시 피복철근 조립	사진설명(4)/ 조립 후 아연도금 결속

공사사진대지(3)



사진설명(5)에폭시 피복철근 조립 및 아연도금 결속선 결속



사진설명(6)/ 에폭시 피복철근 가공시 절단부 및 훼손부 보수

공사사진대지(4)



사진설명(7)/ 타설전 현장 정리



사진설명(8)/ 콘크리트 타설

- 품질검증 현장적용/ 신청기술의 미군·해군기지 건설공사 성능 검증
- 에폭시 피복철근을 미국령 SAIPAN의 해군기지 건설공사(2019. 06.13.), 미국령 GUAM의 해군기지 건설공사(2019. 07.31)에 품질 검증 후 납품.

• 수출내역(SAIPAN)

규격	수량(PCS)	금액(\$)
#4(D13)	288	3,416
계	288	3,416

• 수출내역(GUAM)

규격	수량(PCS)	금액(\$)
#4(D13)	160	1,008
#5(D16)	105	966
계	265	1,974

(7) 연구개발 기술의 현장 적용시 효과(경제성) & 공사기간 단축 및 공사비 절감 내역

• 개발기술의 에폭시 피복철근 ‘굽힘 가공성’ 및 ‘공사시간 단축’ 효과

• 연구개발 기술의 에폭시 피복철근 품질 성능 시험결과

– ASTM A775 규격 기준을 상회하는 부착력 90% 이상(ASTM 부착력 규격 기준: 85% 이상)을 확보하였고, 굽힘성능은, ASTM 굽힘성 규격 기준: 15초 이내/180° 굽힘 성능이 확보되었으며, 기존 에폭시피복철근 굽힘가공 시간 대비 1/6 수준(83.33%)으로 굽힘 가공 작업시간이 단축.

• 개발 기술의 에폭시 피복철근 ‘굽힘 가공’ 시간 단축에 따른 ‘공사비 절감’ 효과

• 개발 에폭시 피복철근의 ‘굽힘성능’ 개선으로 현장적용(복잡가공 기준)시 기존 549,529원/Ton에서 533,623원/Ton 으로 2.98%의 공사비 원가를 절감하는 효과가 발생.

• 개선된 신청 개발 에폭시 피복철근의 ‘굽힘성능’ 개선 및 품질성능은 국제 에폭시 피복철근의 규격 기준을 상회하는 시험 결과를 공인시험기관으로부터 확인하였으며, 현장적용성 개선 및 해외 경쟁력 확보 & 해외 수출 효과를 기대 할 수 있음.

(가) 공사(굽힘가공) 시간 단축 및 공사비 절감 내역

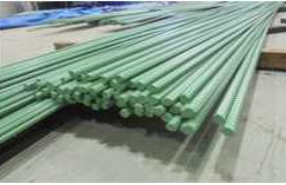
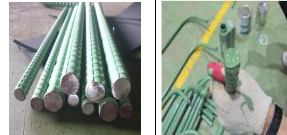
공사비 절감 내역		기존 에폭시 피복철근 (90초 이내/120° 굽힘)	개발 에폭시 피복철근 (15초 이내/180° 굽힘)	절 감
공사시간 단축 (1일 8 시간 기준 굽힘작업량)		224회	1,344 회	(-) 83.33%
공사비 원가 (굽힘가공비)	간단	474,193원/Ton	462,994/Ton	(-) 2.42%
	보통	519,621원/Ton	506,371/Ton	(-) 2.62%
	복잡	549,529원/Ton	533,623/Ton	(-) 2.98%
	매우복잡	606,808원/Ton	588,851/Ton	(-) 3.05%

(나) 공사(굽힘가공) 시간 단축 관련 국내·외 규격 및 개발기술의 제조과정

○ 굽힘가공 작업시간 비교(기존 기술대비)

구 분	기존 에폭시피복철근	신청개발 에폭시피복철근	비 고
1회 굽힘가공 시간	120° 굽힘 90초이내	180° 굽힘 15초이내	1일 8시간 기준 (작업효율 70% 적용)
1일 굽힘가공 작업량	1인/ 224회 굽힘 가공	1인/ 1,344회 굽힘가공	

○ 제조과정 및 시공순서

			
① 일반철근 운반 후 쏘트	② 에폭시 피복	③ 일반철근(피복 후) 절단부보수	④ 현장 운반
			
⑤ 피복철근 절단 및 굽힘 가공	⑥ 피복철근 굽힘가공 절단부 보수 및 조립	⑦ 피복철근 조립 및 웨슨부 보수	⑧ 콘크리트 타설

(다) 연구 개발 에폭시 피복철근의 사용 분체도로 특성 및 현장 적용에 관한 안정성

- 연구 개발 에폭시 피복철근의 사용 분체도로 특성 중 친환경성 검토

- 6대 중금속 검출 시험 (EU) 및 유해성 검출 시험(26종 검사/ 친환경성)
- 인체에 독성을 갖는 중금속은 그대로 자연계로 방출될 경우, 환경오염을 유발하고 자연계에서 정화되지 않아 큰 문제가 발생할 수 있음.
- 환경 규제가 엄격한 유럽연합(EU)에서는 독성이 문제가 되는 중금속을 선별하여 6대 유해물질로 규정하고 이를 수입 품목에서 제한.
- EU 지정 6대 중금속/ 납[Pb], 카드뮴[Cd], 6가크롬[Cr+6], 수은[Hg], PBB·PBDE(브롬화 난연제)
- 친환경 도료를 연구 개발(에폭시 피복)에 사용하기 위하여, EU 지정 6대 중금속 검출시험(시험기관: SGS) 및 26종의 유해성 시험(시험기관: KQT) 한 결과, 6대 중금속 검출 및 26종 유해성에 대한, N/D 판정 검증으로 연구 개발에 사용 분체도로의 친환경성을 확인하였다.(그림 5.1 참조)



Test Report No. F690101/LF-CTSAYAA16-66732

Issued Date : 2016. 12. 14

Page 2 of 6

Sample No. : AYAA16-66732.001
Sample Description : HKFZAK
Item No./Part No. : N/A
Materials : Powder

Heavy Metals				
Test Items	Unit	Test Method	MDL	Results
Cadmium (Cd)	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2013 (Determination of Cadmium by ICP-OES)	0.5	N.D.
Lead (Pb)	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2013 (Determination of Lead by ICP-OES)	5	N.D.
Mercury (Hg)	mg/kg	With reference to IEC 62321-4:2013 (Determination of Mercury by ICP-OES)	2	N.D.
Hexavalent Chromium (Cr VI)	mg/kg	With reference to IEC 62321:2008 (Determination of Hexavalent Chromium by spot test/Colorimetric Method using UV-Vis)	1	N.D.

Flame Retardants-PBBs/PBDEs				
Test Items	Unit	Test Method	MDL	Results
Monobromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Dibromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Tribromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Tetrabromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Pentabromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Hexabromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Heptabromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Octabromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Nonabromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Decabromobiphenyl	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Monobromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Dibromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Tribromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at <http://www.sgs.com/sgs/terms-and-conditions.aspx> and, for electronic format documents, subject to Terms and Conditions for Electronic Documents at <http://www.sgs.com/sgs/e-document.htm>. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained herein reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not constitute parties to a transaction from assuming all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s).

F401 Version3

SGS Korea Co., Ltd. 322, The O Valley, 76, L.S.-st, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea 14117
T +82 (0)11 4938 0001 F +82 (0)11 4938 0770 sgs.korea@sgs.com

Member of the SGS Group (Société Générale de Surveillance)



Test Report No. F690101/LF-CTSAYAA16-66732

Issued Date : 2016. 12. 14

Page 3 of 6

Sample No. : AYAA16-66732.001
Sample Description : HKFZAK
Item No./Part No. : N/A
Materials : Powder

Flame Retardants-PBBs/PBDEs				
Test Items	Unit	Test Method	MDL	Results
Tetrabromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Pentabromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Hexabromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Heptabromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Octabromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Nonabromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.
Decabromodiphenyl ether	mg/kg	With reference to IEC 62321-6:2015 (Determination of PBBs and PBDEs by GC-MS)	5	N.D.

NOTE: (1) N.D. = Not detected (<MDL)
(2) mg/kg = ppm
(3) MDL = Method Detection Limit
(4) - = No regulation
(5) Negative = Undetectable / Positive = Detectable
(6) * = Qualitative analysis (No Unit)
(7) * = a. The sample is positive for CrVI if the CrVI concentration is greater than 0.13 ug/cm2. The sample coating is considered to contain CrVI.
b. The sample is negative for CrVI if CrVI is n.d. (concentration less than 0.10 ug/cm2). The coating is considered a non-CrVI based coating.
c. The result between 0.10 ug/cm2 and 0.13 ug/cm2 is considered to be inconclusive - unavoidable coating variations may influence the determination.

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at <http://www.sgs.com/sgs/terms-and-conditions.aspx> and, for electronic format documents, subject to Terms and Conditions for Electronic Documents at <http://www.sgs.com/sgs/e-document.htm>. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained herein reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not constitute parties to a transaction from assuming all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s).

F401 Version3

SGS Korea Co., Ltd. 322, The O Valley, 76, L.S.-st, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea 14117
T +82 (0)11 4938 0001 F +82 (0)11 4938 0770 sgs.korea@sgs.com

Member of the SGS Group (Société Générale de Surveillance)

그림 1.13 분체도료의 유해물질 시험 결과

– 연구 개발 에폭시 피복철근의 사용 분체도료 열특성(피복경화) 시험

- 분체도료의 경화 반응시간은 분체도료의 경화가 시작되는 시간이고 경화 시간은 경화가 종료되는 시간을 의미함. 도료가 철근표면에 용착되는 시간이 길어질수록 도막의 균질성과 부착성이 좋아지므로 경화 반응시간은 느릴수록 좋고 경화 시간은 생산성을 고려해 빠를수록 좋음. 3개사의 도료를 선정하여 열특성 검증 시험한 결과, 연구 개발에 사용된 분체도료의 최적화된 도료의 특성이 확인됨.

– 시료의 준비

- 10±1mg의 에폭시 코팅의 시료를 미리 무게를 잰 알루미늄 팬 위에 올려놓고, 캡슐 프레스로 덮개를 닫은 후 무게를 측정. 시료의 무게를 0.1mg의 정확도로 측정.
- 시료와 참조물을 DSC 셀에 넣어 건조하고, 비반응성의 가스로 불순물을 제거.

– 시험방법: 시차주사 열량측정법 [differential scanning calorimetry, DSC]

- 시료를 분당 20°C의 비율로 25±5°C~285±10°C로 가열한 후, 즉시 25±5°C로 냉각.
- 같은 시료를 분당 20°C의 비율로 25±5°C~150±10°C로 가열.

– 시험결과

- 낮은 온도의 끝에 외삽된 기준선과 굴절 지점에서의 곡선에 대한 접선의 교차점에서 반응 대표(Onset, Mid, End)값 중 Mid 값을 확인.
- 대표(Onset, Mid, End)값 중 Mid 값이 70°C 이내에서 반응하면 미경화 상태로 도막의 변형이 생길 수 있으며 대표(Onset, Mid, End)값 중 Mid 값이 100°C 이상이면 완전경화를 의미.
- 열특성(피복경화) 시험 결과, 연구 개발 분체도료는 완전경화 됨을 알 수 있음. (그림 5.2 참조)

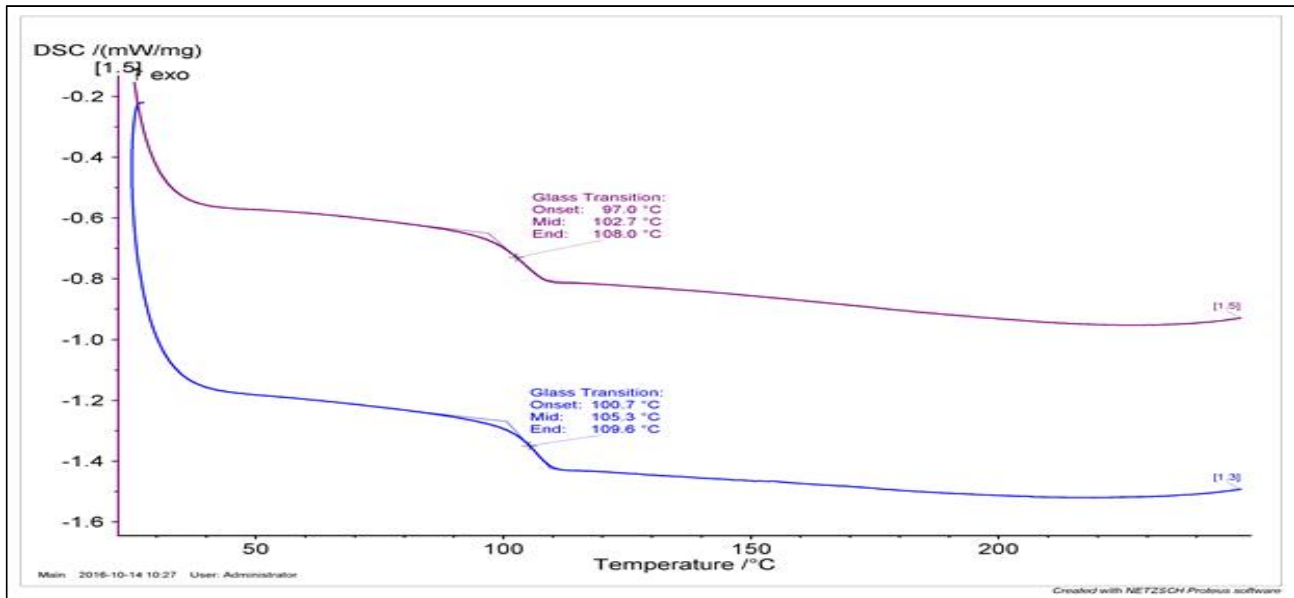


그림 1.14 분체도료 열특성(피복경화)시험 분석 결과

- 연구개발된 에폭시 피복철근의 현장 적용시 안전성 개선

– 굽힘 가공시 피복철근 손상에 관한 안전성 개선

- 피복철근 절곡시 충격을 최소화할 목적으로 기존의 굽힘 가공기의 굴대에 완충재(우레탄을 부착)를 개선 하였으며, 국제규격 「에폭시 코팅철근 가공관련 AASHTO, ASTM 규격」 에 관한 안전성을 충족함.

– 미국 CRSI & ASTM / 굽힘가공 Manual

- 철근은 에폭시 또는 플라스틱 철근 받침대와 같은 비전도성 재료로 피복된 받침대 위에 설치되어야 하며, 이는 CRSI 표준실무 매뉴얼(CRSI Manual of Standard Practics)에 명시된대로 등급 1A(Class 1A)를 충족해야 함.

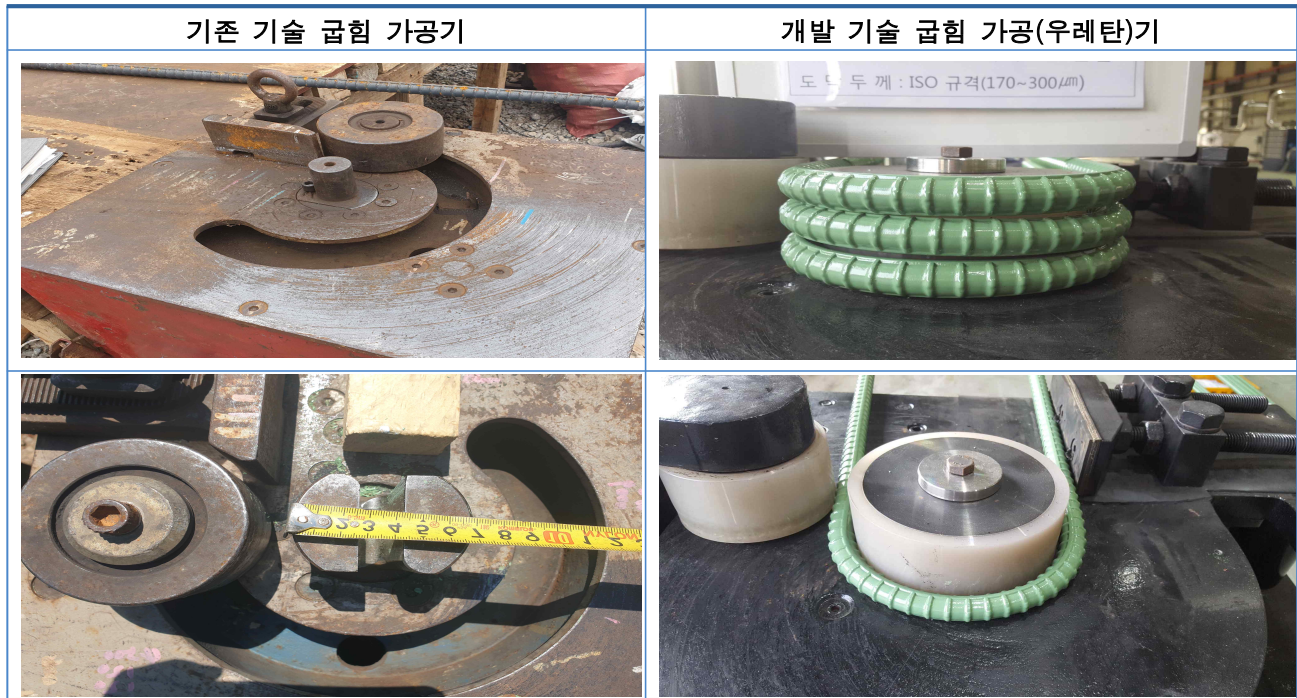


표 1.3 에폭시 코팅철근 가공관련 AASHTO, ASTM 규격

항목	AASHTO M284-97 (코팅 적용, 제조 및 현장)	ASTM A775-97 (가공 전에 코팅 적용)	ASTM A934-97 (제작 후 코팅 적용)
철근인증	• 코팅 철근의 동일성 유지	• 코팅 철근의 동일성 유지 (가열 및 공장시험 포함)	• 코팅 철근의 동일성 유지 (가열 및 공장시험 포함)
구부림	• 벤더(구부리는기구)의 백업 배열(축)은 보호커버가 있어야 한다.	• 벤더(구부리는기구)의 백업 배열(축)은 보호커버가 있어야 한다.	• 벤더(구부리는 기구)의 백업 배열(축)은 분쇄 및 전복을 최소화 할 수 있도록 적절한 덮개로 보호되어야 한다.
전단가공	• 구동 롤은 적절한 덮개로 보호되어야 한다	• 구동 롤은 적절한 덮개로 보호되어야 한다	• 전단 베드상의 구동롤은 파쇄 및 전복을 최소화 할 수 있도록 적절한 덮개로 보호되어야 한다.

에폭시 피복철근을 사용한 RC 교각의 내구성 평가' 제품은, 연구개발 과정에서 내충격성, 내굴곡성, 내화학적성, 염수분무시험, 음극박리시험, 굽힘성, 부착력등에서 ASTM 기준을 충족하였다.

둘째: 에폭시 피복철근의 현장 적용(사용)에 관한 관련법 검토

해당 구조물에 대하여 사용자의 내구등급(1등급:100년 이상, 2등급: 65년이상, 3등급: 30년 이상)이 결정이 우선된 다음, 사용자가 요구하는 구조물의 내구성 등급에 지역적 특성이 고려된 에폭시 피복철근 사용시 경제성 검토를 관련법(설계기준·시방규정)에 근거·분석한다.

나. 에폭시 피복철근의 역학적 특성 검증

□ 주요 연구내용

- (1차년도) 일반 철근대비 기존에폭시 피복철근성능
- (2차년도) 개발에폭시 피복철근 구조성능 및 현장적용성능
- (3차년도) 휨 부재 구조성능평가 (처짐 검토 및 부착-미끄러짐비교)
- (4차년도) 휨 부재 구조성능평가 (균열 및 균열간격 평가)

(1) 개요

- 콘크리트 교량의 안전성 및 내구성에 심각한 영향을 미치고 있는 철근 부식 문제에 대한 선제적이고 적극적인 대책으로, 에폭시 피복 철근 현장 적용성을 개선하고 활용도를 높이기 위한 연구가 요구됨에 따라 새롭게 개발된 에폭시 피복 철근의 부착성능 평가 실험을 진행하였으며, 일반 철근 대비 에폭시 피복 철근의 부착성능 90% 달성 여부 및 균열 저항성능을 평가하고, 부착 및 정착 성능을 검증을 진행.
- 국내 KS D 3629와 미국의 ASTM A775기준에 따라 정립된 시험규격 및 평가항목에 따라 개발 에폭시 피복 철근과 기존 에폭시 피복 철근의 품질 성능 실험을 수행하여, 현장에서의 절단, 충격, 굽힘 등에 대한 현장 적용성능에 대하여 평가를 진행.
- 일반 철근과 기존 및 개발 에폭시 피복 철근의 표면조도를 측정하여, 콘크리트와 철근의 부착에 영향에 대하여 검토 및 분석하고, 부착 성능 개선 원인에 대하여 분석하여 추가적인 개발 에폭시 피복 철근의 개선 요구 성능 도출함.
- 에폭시 피복철근은 일반철근에 비하여 피복으로 인한 부착강도가 저하되는 것으로 알려져 있어 에폭시 피복철근이 실제 현장적용이 되기 위해선 철근의 최소 부착력이 확보되어야 함. 본 연구에서는 새로 개발된 에폭시 피복 철근의 부착성능이 일반철근 대비하여 어느정도까지 확보할 수 있는 것에 대하여 연구진행.
- 휨 부재에 인장부 철근에 이음길이를 산정하여 배근한 후 하중을 재하하여 휨 거동을 파악하고 균열폭 및 균열간격을 평가하는 연구진행.
- 구조물의 내구수명과 생애주기비용을 예측해주는 Life 365 소프트웨어를 통해 가정한 교각의 내구수명을 해석하고 생애주기비용을 산정하여 에폭시피복철근구조물과 일반철근구조물의 경제성을 비교하여 분석함.

(2) 개발 에폭시 피복철근 부착 성능 평가 실험

(가) 부착 성능의 실험개요

① 실험 목적

- 일반철근 대비 기존 에폭시 피복철근의 부착성능 평가
- 에폭시 피복철근의 정착길이 평가
- 에폭시 피복철근의 부착-슬립 관계식 구명
- 균열 저항 능력 평가

② 실험 변수

- 콘크리트 압축강도(MPa), 철근의 지름(d_b), 피복두께에 대한 철근지름의 비(c/d_b), 모든 시험체는 단면적과 철근비를 일정하게 유지.

③ 부착 실험시험체

- (RILEM Recommendation RC6 Bond test for reinforcement steel)

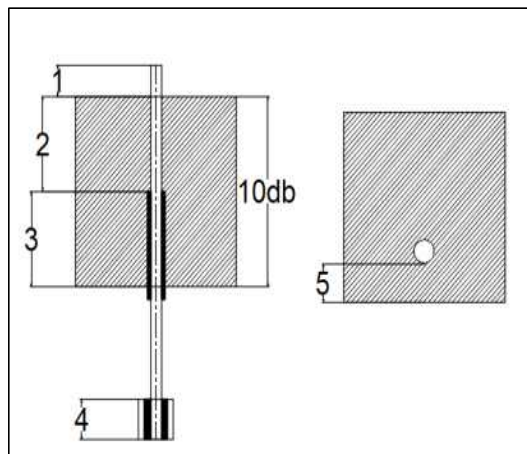


그림 2.1 실험체 제작 원리

1. 철근의 변위 계측을 위한 고정부
2. 부착 길이
3. 비부착 길이
4. 인장력 적용 부분
5. 콘크리트 피복

④ 실험체 제원

- 콘크리트 강도: 30, 50, 80MPa
- 철근의 지름(d_b): D13, D19, D29
- 피복두께에 대한 철근지름의 비(c/d_b): 1.5, 3, 4.5
- 부착길이(l_d): $2d_b$, $5d_b$ (30MPa에서만 적용)KS D 3629, 총 228개 시편제작

(나) 실험체 제작

① 거푸집 제작

표 2.1 실험체제원

콘크리트강도	철근지름	피복두께	부착길이	철근의종류	시험편 수	
30MPa	D13	1.5d	$2d_b, 5d_b$	에폭시	3	
		3d				
		4.5d				
	D19	1.5d		일반		
		3d				
		4.5d				
	D29	1.5d	75mm	에폭시	3	
		3d				
		4.5d				
	KSD3629	1.5d		일반		
		3d				
		4.5d				
50MPa	D13	1.5d	$2d_b$	에폭시	3	
		3d				
		4.5				
	D19	1.5d		일반		
		3d				
		4.5				
	D29	1.5d		일반		
		3d				
		4.5d				
80MPa	D13	1.5d	$2d_b$	에폭시	3	
		3d				
		4.5				
	D19	1.5d		일반		
		3d				
		4.5d				
	D29	1.5d		일반		
		3d				
		4.5d				

- 거푸집 제작은 각 실험체의 크기별로 나무 합판으로 제작하였고, 철근의 지름에 맞게 구멍을 뚫어 철근을 조립, 콘크리트와 철근의 부착구간과 비부착구간을 분리함.

② 콘크리트 타설 및 실험 방법

- 콘크리트 타설은 강도별로 총 3번의 타설을 실시하였다. 첫 번째 타설은 콘크리트 강도 30MPa로 타설을 진행하였으며, 그 후에 50MPa, 80MPa 콘크리트 타설을 실시함.
- 그림 2.3와 같이 제작된 시편을 UTM에 배치시킨후 철근과 콘크리트에 LVDT를 설치하여 상대변위를 측정하고 데이터 로거를 통해 재하 하중과 변위량 측정.



그림 2.2 콘크리트 타설



그림 2.3 실험체 UTM 배치도

(다) 실험 결과

- 파괴양상
- KS D 3629의 시험편의 경우 모든 시험편에서 뿔힘파괴 발생.
- 콘크리트 강도가 30MPa이면서 부착길이가 $2d_b$ 의 경우 3종의 철근지름에서 에폭시 피복 철근과 일반 철근 모두 콘크리트 피복두께가 $1.5c/d_b$ 에서 경우에는 전 시험편이 쪼갬균열이 발생하였으며, 3, $4.5c/d_b$ 의 시험체에서는 콘크리트와 부착면의 부착파괴에 의해 콘크리트 속에 매립된 철근이 뽑혀 나오는 뿔힘파괴가 발생하였음.
- 피복두께가 $5d_b$ 의 경우 콘크리트 피복두께가 $3c/d_b$ 의 경우에도 쪼갬파괴가 나타남.
- 콘크리트 강도가 50MPa인 3종의 철근의 경우에도 콘크리트 피복두께 $1.5c/d_b$ 를 제외한 경우에는 뿔힘파괴가 발생하였음.
- 80MPa의 콘크리트 시험체에서는 피복두께가 $3c/d_b$ 임에도 불구하고 쪼갬균열이 발생함. 이는 시험체가 균형이 잘맞지 않아 편심이 작용되서 발생한 것으로 판단됨.

(라) 결과 분석

① 부착응력 산정

- 실험을 통해 얻은 파괴하중 값으로부터 식 2.1을 사용하여 부착응력을 산정.

$$U = \frac{1}{l_d \pi} \frac{F_a}{d_b} \quad (2.1)$$

여기서, U = 부착응력
 F_a = 부착강도
 d_b = 철근지름
 l_d = 부착길이

- KS D 3629 실험 시편의 평균최대 부착응력은 표 2.2와 같음.

표 2.2 KS D 3629 시험 결과 (D19) $f_c = 30 \text{ Mpa}$

시험·검사 종목	단위	시험검사결과						$\frac{\tau_{epo}}{\tau_{nor}}$	KS D 3629	ASTM 775
		No.	τ_{max}	τ_{nor}	No.	τ_{max}	τ_{epo}			
부착 성능 시험	Mpa	1	16.72	17.09	1	18.42	18.33	107%	만족	만족
		2	16.82		2	18.43				
		3	15.75		3	20.03				
		4	17.44		4	16.86				
		5	16.68		5	17.92				
		6	19.09			-				

* τ_{max} 최대 부착 강도

τ_{nor} 일반 철근 평균 부착강도

τ_{epo} 에폭시 피복 철근 평균 부착강도

$\frac{\tau_{epo}}{\tau_{nor}}$ 일반 대비 에폭시 부착강도 성능

② 개발 피복 철근의 콘크리트 압축강도별 부착성능 실험결과 분석

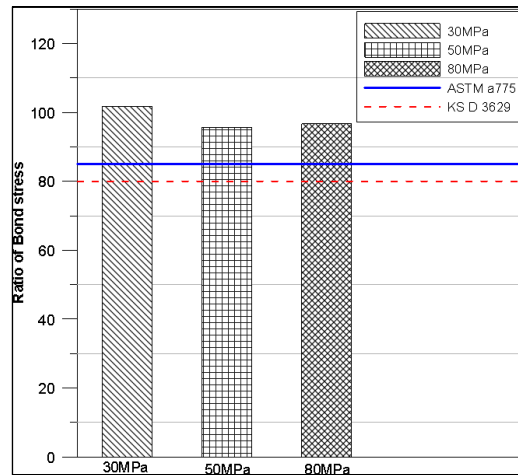


그림 2.4 콘크리트 강도별 개발 에폭시 피복 철근의 부착성능

표 2.3 개발 에폭시 피복 철근의 강도별 부착성능 비교

시험·검사 종목	콘크리트 강도 (MPa)	시험검사결과	KS D 3629	ASTM 775
		$\frac{\tau_{epo}}{\tau_{nor}}$ (renewal)		
부착 성능 시험	30MPa	101.83%	만족	만족
	50MPa	95.71%	만족	만족
	80MPa	96.70%	만족	만족

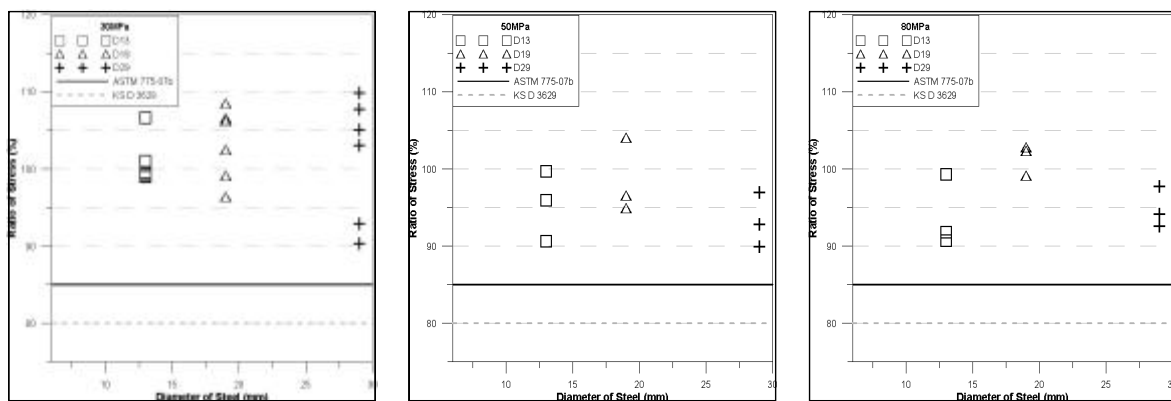


그림 2.5 콘크리트 강도별 에폭시 피복철근의 부착성능

- 콘크리트 강도별 에폭시 피복 철근의 부착성능은 그림 2.4, 2.5와 같으며, 콘크리트 30MPa에서 50MPa로 증가하였을 때 에폭시 부착성능이 저하되나, 50MPa에서 80MPa 증가시에는 큰 차이가 발생하지 않음.
- 에폭시 피복과 철근의 부착성이 원인인 것으로 생각되나 추후 연구의 필요를 요함.

(마) 기존 피복철근 대비 개발 피복 철근의 부착성능 실험결과 분석

- 콘크리트 강도 30MPa 지름별 부착 성능과 기준 비교 결과는 아래 표3.1과 그림3.1과 같다.

표 2.4 기존 및 개발 에폭시 피복 철근 부착성능 비교 (30MPa)

시험 종목	철근 지름	시험검사결과	KS D 3629	ASTM 775	연구 목표	시험결과	KS D 3629	ASTM 775	연구 목표
		$\frac{\tau_{epo}}{\tau_{nor}}$ (ordinary)				$\frac{\tau_{epo}}{\tau_{nor}}$ (renewal)			
부착 시험	KSD3629	93.1%	만족	만족	만족	107%	만족	만족	만족
	D10,D13	85.6%	만족	만족	불만족	100%	만족	만족	만족
	D19	88.7%	만족	만족	불만족	103%	만족	만족	만족
	D29	101%	만족	만족	만족	103%	만족	만족	만족

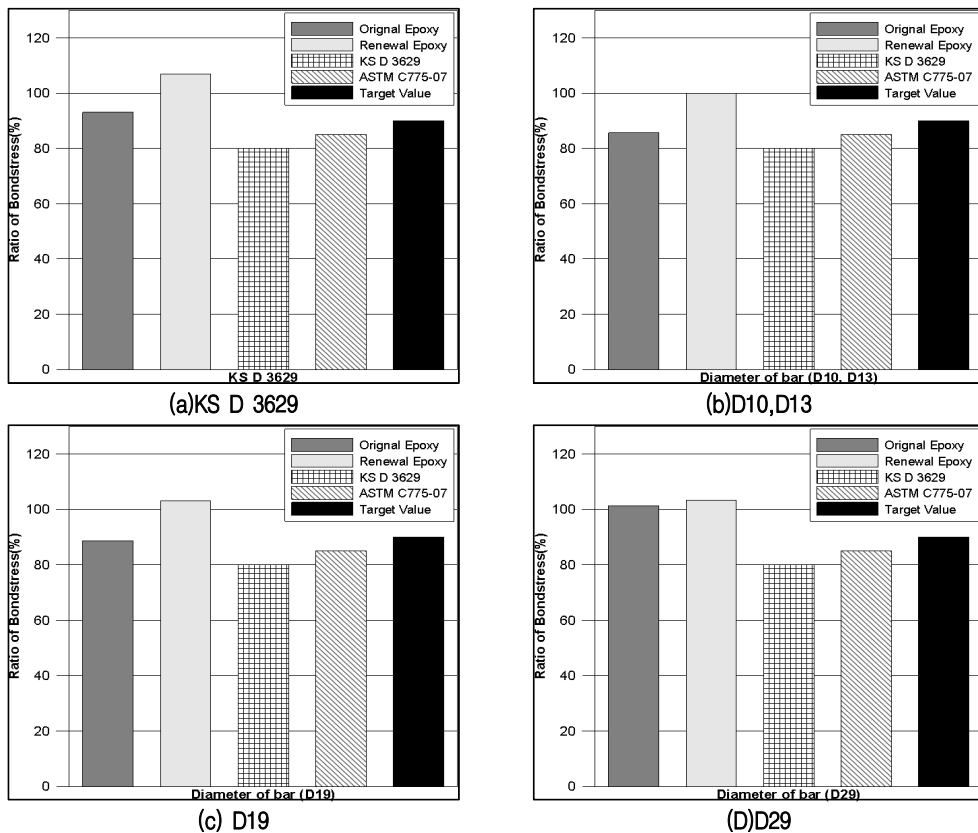


그림 2.6 기존 및 개발 에폭시 피복 철근 부착성능 비교

- 개발 에폭시와 기존 에폭시 피복 철근 비교 결과는 표2.4, 그림2.6과 같으며, 개발 에폭시 피복 철근과 일반 철근의 부착 응력을 비교 결과 모든 지름에서 현재 에폭시 피복 철근의 최소 기준인 KS기준과 ASTM기준의 80, 85%를 뛰어넘는 것으로 판단됨.
- 개발 에폭시 피복 철근이 기존 에폭시 피복 철근의 부착 성능보다 뚜렷하게 향상되었음.
- 개발 에폭시 피복 철근의 경우 모든 지름에서 파괴 형태와 상관없이 2차년도 연구목표인 일반 철근 대비 90%가 넘는 성능 확보한 것으로 보여짐.

(3) 개발 에폭시 철근의 KS D 3629 및 ASTM A775에 의한 성능 실험 및 평가

(가) 개발 에폭시 피복 철근 성능평가 실험

① 시료 제작



그림 2.7 철근 제작



그림 2.8 겉모양



- 개발 에폭시 철근의 겉모양, 피복 두께, 핀홀, 굽힘성 대한 결과를 얻기 위하여, 각 지름에서 길이 1m의 시료를 D13철근 5개, D19철근 5개, D29철근 5개를 제작. (그림 2.7 및 그림 2.8 참조)

② 실험 규격

- 겉모양: 피복면은 경화 후 균일하여야 하며 육안으로 식별되는 구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없어야 함.
- 피복두께: 피복두께시험은 비금속 피복용에 사용하는 비파괴 두께 측정기를 사용하고 측정위치는 피복 철근의 마디, 리브를 제외한 마디와 마디 사이, 리브와 리브 중앙의 평면 부분을 철근축 방향으로 양단 20cm를 제외하고 일정한 간격(약 50cm 간격)으로 15회 이상 측정. (그림 2.9 참조)
- 핀홀: 시험은 DC 핀 홀 탐지기를 사용하여 67.5V전압을 걸어 시험하며 피복철근의 핀홀 빈도는 미터(M)당 5개 이하여야 함. (그림 2.10 참조)
- 굽힘성: 피복철근의 굽힘성은 이형철근의 리브를 상·하 방향으로 하여 축주위로 120도 구부러서 시험하고 구부러진 철근의 바깥면에 갈라짐이나 벗겨짐이 없어야 함. (그림 2.16 참조)
- 내충격성: 추의 질량을 (1.8kg) 충격용 압흔기의 지름은 16mm로 한다. 충격의 크기는 9Nm 발생한 후 충격 부위를 제외한 주변 부분의도 막의 손상여부를 판단하며, 도막의 갈라짐, 벗겨짐이 없어야 함. (그림 2.12 참조)
- 내화학적 시험: 에폭시 철근들을 6L의 물과 3mol/L의 염화칼슘, 수산화 나트륨, 수산화 칼슘포화 용액이 들어가있는 통에 45일간 침지시킨 후 꺼내어 도막의 상태를 조사하며, 실험결과는 도막의 부품, 갈라짐, 녹슨 부분이 없어야 함. (그림 2.13 참조)
- 염수분무 시험 : 지름 3mm로 구멍을 만들어놓은 25cm길이의 3개의 에폭시 피복 철근을 준비한 후, 5% 염화나트륨용액을 분무하며, 박리량이 3mm를 초과하지 않아야 함. (그림 2.14 참조)
- 음극도막박리시험 : 에폭시 피복 철근에 지름3mm의 구멍을 만든 후, 3% NaCl용액 속에서, 티타늄전도체를 음극에 두고, 칼로멜 표준전극을 양극에 두어 1.5V를 발생시킨 후, 약 168시간 동안 실험을 진행하며, 박리량이 4mm를 초과하지 않아야 함. (그림 2.15 참조)



그림 2.9 피복 두께 측정



그림 2.10 습식 팽출 측정



그림 2.11 굽힘성 시험



그림 2.12 내충격성 시험



그림 2.13 내화학성 시험



그림 2.14 염수분무 시험

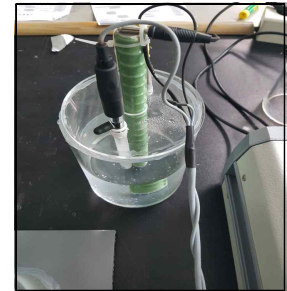


그림 2.15 음극박리 시험

(나) 실험 결과

① 개발 에폭시 피복 철근의 품질 성능

(1) 개발 에폭시 피복 철근의 지름별 품질 성능

- 실험은 KS D 3629-1995와 ASTM A775/775M-2014 기준에 따라 진행.
- 굽힘성 : 시험결과 기존 에폭시 피복 철근의 경우 결함이 발생하였으며, 개발 에폭시 피복 철근의 경우는 결함이 발생하지 않았음에 따라 현장에서의 시공성을 확보할 수 있다고 판단됨.

표 2.5 굽힘성 시험 비교

철근직경	기존 에폭시 피복 철근	개발 에폭시 피복 철근
D13	이상없음	이상없음
D19	3개중 1개 결함	이상없음
D29	3개중 1개 결함	이상없음



(a)기존 에폭시 피복 철근



(b)개발 에폭시 피복 철근

그림 2.16 굽힘성 실험

- 내충격성 : 에폭시 도막 철근의 운반, 가공을 포함 시공성을 조사하기 위하여 성능을 시험한 결과, 규격에서 요구하는 기계적 성능을 만족함에 따라 충격에 대한 저항성을 확보되었다고 판단됨.

표 2.6 내충격성 시험 비교

철근직경	기존 에폭시 피복 철근	개발 에폭시 피복 철근
D13	이상없음	이상없음
D19	이상없음	이상없음
D29	이상없음	이상없음

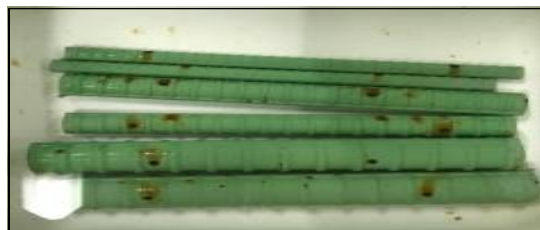
- 내화학적성 : 시험결과는 양호하다고 판단됨. 중성의 환경에서 일반철근은 전면에 부식이 되었으며, 에폭시 피복철근은 흠이 있는 부위에만 부식이 일어남. 알칼리성의 환경에서는 피막에 상관없이 부식이 일어나지 않았고, 방동제인 $CaCl_2$ 용액에서는 일반철근은 전면에 부식이 되었으나 에폭시 피복 철근은 피막이 없는 흠이 있는 부분에서 부식이 일어남.

표 2.7 내화학적성 시험 비교

철근종류	철근 직경	H_2O	$Ca(OH)_2$	$NaOH$	$CaCl_2$
일반철근	D13	부식발생	이상없음	이상없음	부식발생
	D19	부식발생	이상없음	이상없음	부식발생
	D29	부식발생	이상없음	이상없음	부식발생
기존 에폭시 피복 철근	D13	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
	D19	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
	D29	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
개발 에폭시 피복 철근	D13	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
	D19	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
	D29	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음



(a)기존 에폭시 피복 철근



(b)개발 에폭시 피복 철근

그림 2.17 내화학적성 시험

- 음극도막박리시험 : 개발 에폭시 피복 철근과 기존 에폭시 피복 철근의 지름 D19 철근 시험편에 대해서만 실험이 진행되었으며, KCL의 공인 시험 결과 개발 에폭시 피복 철근의 경우 구멍의 박리량이 평균 4mm 미만으로 ASTM 규격을 만족하였으나, 기존 에폭시 피복 철근의 경우 그림 2.18과 같이 박리량이 기준에 벗어남. 개발 에폭시 피복과 철근 사이의 부착성이 확보되었음이 판단됨.

표 2.8 음극도막박리 시험

철근직경	기존 에폭시 피복 철근			개발 에폭시 피복 철근		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
D19	만족	만족	만족	불만족	만족	불만족



(a)기존 에폭시 피복철근 S1



(a)기존 에폭시 피복철근 S3

그림 2.18 음극도막박리 시험

- 염수분무시험 : 에폭시 피복 철근에 부분적으로 녹이 발생함. 이러한 부식부위는 도막중 육안 감식구멍 (holiday)에서 주로 발생됨. 특히 결함이 있던 부분에서 크게 부식이 발생하였으며 이들 결함은 철근 표면의 일부 돌출부위로 추정됨. 구멍 주위의 박리는 거의 발생하지 않았으며, 두 철근 모두ASTM기준을 만족. 염수에 대한 저항성이 확보 되었음이 판단됨.

표 2.9 염수분무 시험

철근직경	기존 에폭시 피복 철근	개발 에폭시 피복 철근
D13	이상없음	이상없음
D19	이상없음	이상없음
D29	이상없음	이상없음



그림 2.19 염수분무 시험

(4) 철근과 에폭시, 에폭시와 콘크리트 계면부위에 부착성능에 대한 조도계수(roughness) 결정 및 콘크리트 부위의 마찰계수 등 측정결과에 대한 검토

(가) 개발 에폭시 피복 철근의 조도 측정

① 실험 규격



그림 2.20 표면 조도 측정

- JIS 1994에 따라 실험을 진행하였으며, 총 지름당 15번씩 각기 다른 마디의 조도를 측정함.
- Ra 산술평균조도(μm), Ry 최대높이(μm), Rz 10점 평균조도(μm)로 결과가 산출.

② 측정 결과

- Ra 산술평균조도(μm), Ry 최대높이(μm), Rz 10점 평균조도(μm)의 결과는 표~같으며, 일반철근, 개발 에폭시 피복 철근, 기존 에폭시 철근 순으로 철근 표면의 조도를 가지고 있음.

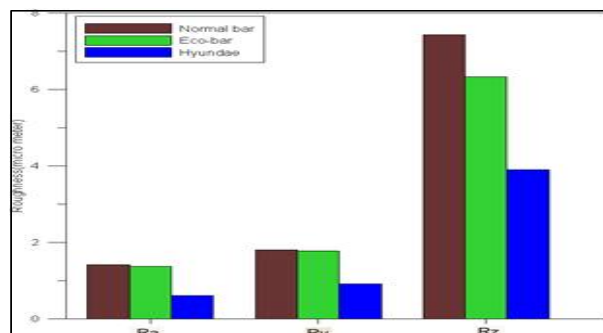


그림 2.21 철근별 표면조도 비교

표 2.10 조도 측정 결과

철근종류	Ra(μm)	Ry(μm)	Rz(μm)
일반 철근	1.415	1.806	7.425
기존 에폭시 피복철근	0.612	0.917	3.906
개발 에폭시 피복철근	1.380	1.777	6.333

③ 결과 분석

- 기존 에폭시 피복 철근의 부착 성능보다 개발 에폭시 피복 철근은 훨씬 뛰어난 표면 조도를 가지고 있음.
- 일반 철근과 개발 에폭시 피복 철근의 표면조도에 대한 차이가 기존 에폭시 피복과의 차이보다 적음.
- 개발 에폭시 피복 철근의 부착 성능의 향상은 에폭시 피복 철근의 전처리과정에서의 표면 조도의 증가에 대한 영향이 있을 것이라 판단됨.

(나) 성능개선 결과 분석

① 마디 면적비

- 마디 면적비(f_R)은 철근의 부착성능에 영향을 미치는 요인으로 리브 높이(h), 리브 간격(s_R), 철근 지름(d_b)에 따른 이형리브의 면적비가 있음 (그림 2.21 참조)
- 마디 면적비(f_R)가 증가할수록 철근의 부착응력은 증가되어진다.

$$f_R = \frac{A_R(\text{Bearing area})}{\pi \cdot d_b \cdot s_R(\text{Shearing area})} \approx \frac{\pi \cdot d_b \cdot h}{\pi \cdot d_b \cdot s_R}$$

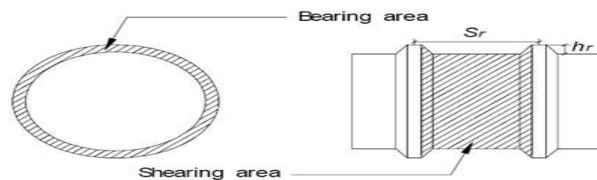


그림 2.21 마디면적비

- 철근의 마디간격(s_R)이 같을 시에는 리브의 높이(h)에 따른 지압면적비(Bearing area)에 따라 영향.

② 측정 결과

표 2.11 마디 면적비 측정 결과

철근종류	리브 높이(h)	리브 간격(s_R),mm	마디 면적비(f_R)
일반 철근	1.66	12.23	0.136
기존 에폭시 피복철근	1.76	12.23	0.144
개발 에폭시 피복철근	1.77	12.23	0.145

- 에폭시 피복 철근의 경우 2종의 철근 모두 리브쪽에서 $100\mu\text{m}$ 정도 두꺼움.
- 에폭시 피복의 두께에 따라 이형 리브에 따른 지압면적(Bearing area)이 기존 에폭시 피복철근의 경우 일반 철근 대비 106%, 개발 에폭시 피복철근의 경우 107% 높아지게 됨.

③ 결과 분석

- 마디 면적비(f_R)의 증가에 따라 에폭시 피복 철근의 이형 마디의 켜기작용에 의한 콘크리트의 저항력이 증가.
- 기존 에폭시 피복 철근의 경우 에폭시 피복과 철근의 부착성이 상대적으로 낮아, 표면의 벗겨짐이 쉽게 발생하여 에폭시 피복에 따른 마디철근비 향상의 효과를 받지 못하는 것으로 판단됨.(참고 그림4.4)
- 에폭시 피복과 철근의 부착성의 경우 음극 도막박리 시험과 굽힘성 시험결과를 통해 개발 에폭시 피복의 철근과의 부착성능이 높음을 확인할 수 있었음.



그림 2.22 에폭시 피복의 벗겨짐 현상

(5) 개발 에폭시 피복철근 구조 성능 평가 실험

(가) 실험개요

① 실험 목적

- 에폭시 피복철근의 겹침이음길이 평가
- 휨하중을 받는 경우 에폭시 피복철근의 부착-미끄러짐 관계식 구명
- 처짐 검토 : 휨 응력을 받는 경우 에폭시 피복철근의 부착성능 파악
- 에폭시 피복철근의 사용성능 (균열폭 및 균열간격) 검증

② 실험 변수

- 콘크리트 강도: 35 MPa
- 철근의 지름(d_b): D13, D19, D25
- 피복두께에 대한 철근지름의 비(c/d_b): 3
- 겹침이음길이 : $l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_b A_{s,reg} / A_{s,prov}$ 도로교설계기준 한계상태설계법(2016)
- 총 36개 시편제작
- 주요변수 : 철근의 지름(d_b), 겹침이음길이
 - 3차년도에 제작한 시험체는 철근비가 0.006으로 일정
 - 4차년도에 제작한 시험체는 철근비가 0.01로 일정

③ 겹침이음길이 실험시험체

- 실험체는 각가 철근의 지름에 대하여 겹침이음 길이를 일정하게 변화시키면서 이에 따른 거동을 평가하였으며, 그림 2.23 은 실험체 단면을 나타낸 것임.

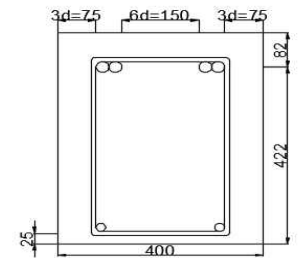
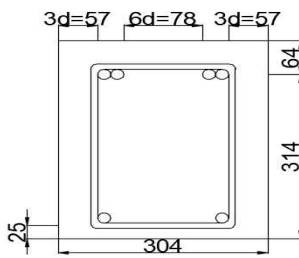
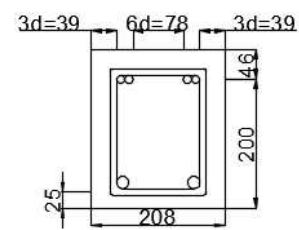
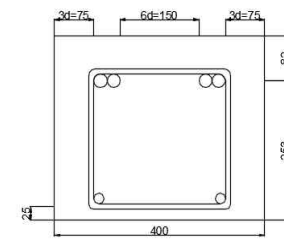
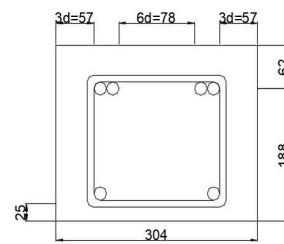
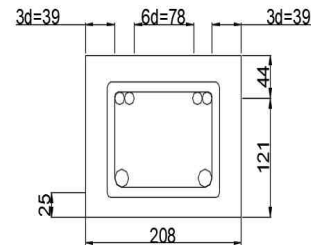


그림 2.23 실험체 형태 (3차년도)



실험체 형태 (4차년도)

(나) 실험체 제작

① 거푸집 설계

- 철근비에 따라 단면의 크기에 차이가 있지만 겹침 이음길이의 차이는 이전 연구와 동일하게 진행.
- 실험체는 현행 기준에 제시되어있는 에폭시 피복철근의 부착 길이 증가 규정을 고려하며, 겹침 이음길이에 차이를 두어 제작.
- 피복두께는 $3d_b$ 로 고정하고 일반철근과 에폭시 피복철근의 이음길이의 영향을 평가할 수 있도록 함.
(표 2.12 참조)



그림 2.24 거푸집 제작

표 2.12 실험체제원

콘크리트강도	철근지름	겹이음길이 l_0 (mm)	피복두께	철근의종류	시험편 수
30MPa	D13	$l_1=260$	$3d_b$	에폭시, 일반	각 1개
		$l_2=410$		에폭시, 일반	
		$l_3=560$		에폭시, 일반	
		$1.2l_1=310$		에폭시	각 2개
		$1.2l_2=490$		에폭시	
		$1.2l_3=670$		에폭시	
	D19	$l_1=380$		에폭시, 일반	각 1개
		$l_2=530$		에폭시, 일반	
		$l_3=680$		에폭시, 일반	
		$1.2l_1=460$		에폭시	각 2개
		$1.2l_2=640$		에폭시	
		$1.2l_3=810$		에폭시	
	D25	$l_1=470$		에폭시, 일반	각 1개
		$l_2=620$		에폭시, 일반	
		$l_3=770$		에폭시, 일반	
		$1.2l_1=560$		에폭시	각 2개
		$1.2l_2=740$		에폭시	
		$1.2l_3=920$		에폭시	

- 거푸집 제작은 각 실험체의 크기별로 철판으로 제작하였고, 철근의 지름에 맞게 구멍을 뚫어 철근을 조립, 일반철근과 에폭시피복철근의 이음길이 차이를 150mm 씩 주어 제작함. (그림 2.24 참조)
- 1.2배의 이음길이를 에폭시 피복철근에만 대입하여 이음길이를 산정, 각 2개씩 시험체를 제작함.
- 전단균열 및 전단파괴를 방지하기 위해 D10 이형철근으로 전단보강철근 배근.

② 콘크리트 타설 및 실험 방법

- 한 번의 타설을 진행하여 콘크리트 강도에 대한 변수도 제거.
- 철근의 응력을 확인하기 위해서 콘크리트 타설전 철근 게이지 부착.
- 게이지에 탈락 및 끊어짐을 예비하고자 방수테이프 부착.
- 균열 예상지점인 이음부 좌측부분, 우측부분 콘크리트에 균열 폭 게이지 부착. (그림 2.28 참조)
- 3차년도 실험에서 철근에 나사선을 내어 철근을 잡아주는 형태의 실험을 진행한 결과 나사선이 끊어져 버리는 현상이 발생. 하중 재하에 대한 문제점이 발생함에 따라 철근의 변형 없이 철근을 잡아주는 커플러를 제작하여 사용. (그림 2.25 참조)



그림 2.25 철근 커플러 제작

- 그림 2.26와 같이 지그에 배치된 시험체 철근부분에 미끌림 측정기를 설치하여 철근의 미끌림을 데이터 로거를 통해 측정.
- 그림 2.27와 같이 제작된 시편을 UTM에 배치 시킨 후 콘크리트에 LVDT를 설치하여 상대변위를 측정하고 균열 폭 게이지를 부착하여 균열 폭 값을 데이터 로거를 통해 재하 하중과 변위량 측정.



그림 2.26 실험체 UTM 배치도

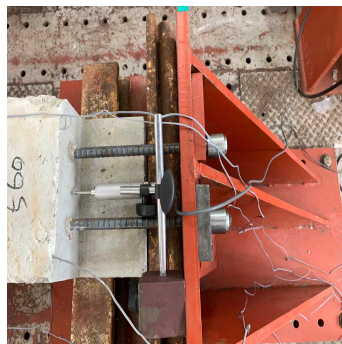


그림 2.27 미끌림측정기 배치도



그림 2.28 균열폭 게이지 배치도

(다) 실험 결과

① 파괴양상



(a) D13 Epoxy Bar



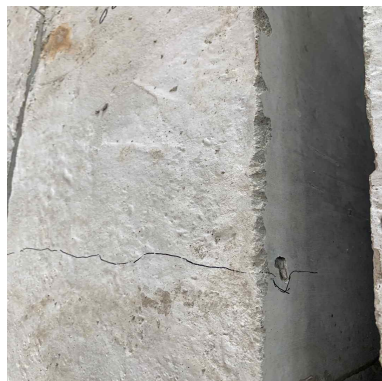
(b) D13 Normal Bar



(c) D19 Epoxy Bar



(d) D19 Normal Bar



(e) D25 Epoxy Bar



(f) D25 Normal Bar

그림 2.29 파괴형상

- 하중을 더 이상 받을 수 없을 때까지 진행.
- 파괴양상은 최소피복두께인 $3d_b$ 로 설정하였기 때문에 쏘갸 파괴가 발생하지 않고 부착 파괴 발생.
- 휨 강도를 초과하는 응력이 발생하여 콘크리트에 균열이 발생하였고 극한강도에 도달함.
- 일반철근과 이음길이가 같은 에폭시 피복철근에서 쏘갸균열이 발생함.

② 철근 지름 및 이음길이의 영향

- 하중-처짐 그래프

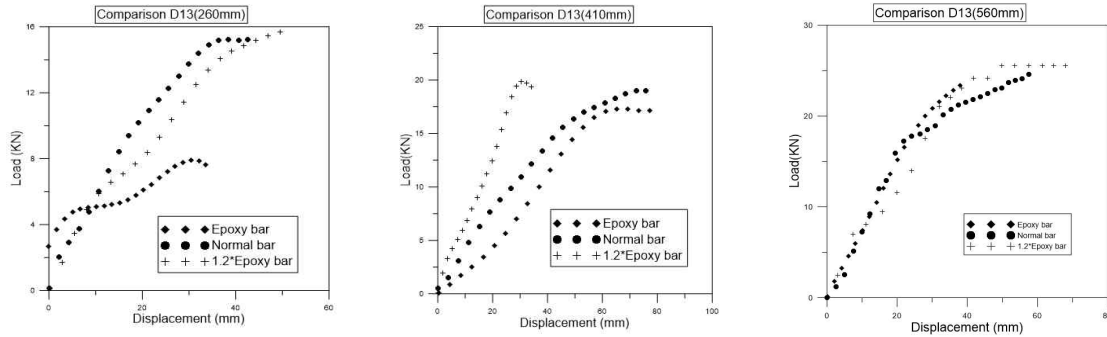


그림 2.30 D13 하중-처짐 그래프

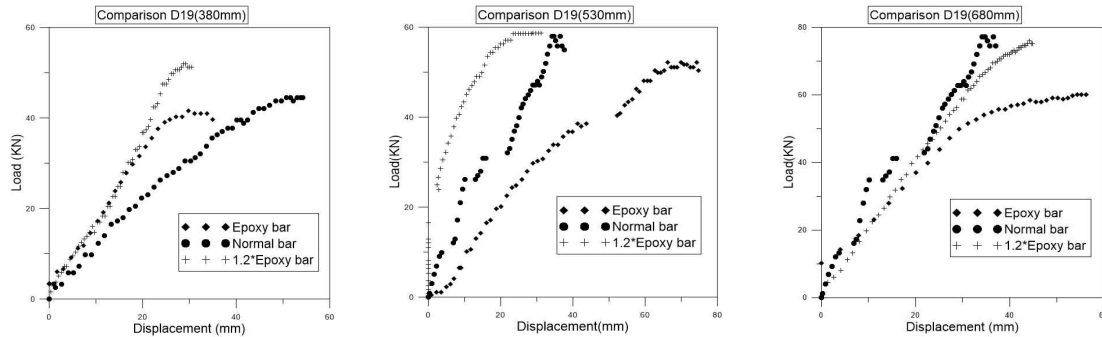


그림 2.31 D19 하중-처짐 그래프

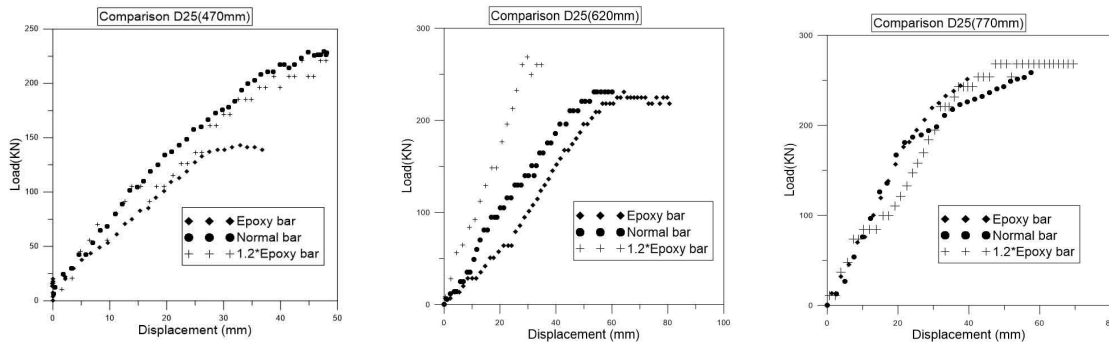


그림 2.32 D25 하중-처짐 그래프

- 철근의 지름과 상관없이 이음길이가 길어질수록 에폭시 피복철근과 일반철근, 1.2배의 이음길이를 갖는 철근의 변위가 유사하게 나타남.
- 일반 철근과 보정계수 1.2배를 적용한 에폭시 피복 철근은 공칭강도를 모두 넘었고 일반철근과 이음이 동일한 에폭시 피복철근은 공칭강도를 넘지 못함.
- 이음길이의 부족으로 인해 부착파괴가 보다 빠르게 발생하여 하중이 더 이상 오르지 않아서 발생한 것이라 판단함.
- 이음길이가 길어질수록 모든 시험체의 거동이 유사하게 나타났고 이는 설계기준의 이음길이를 모두 상회하였기 때문이라 판단함.

(6) 휨 부재의 성능평가

(가) 부착응력-미끌림 관계

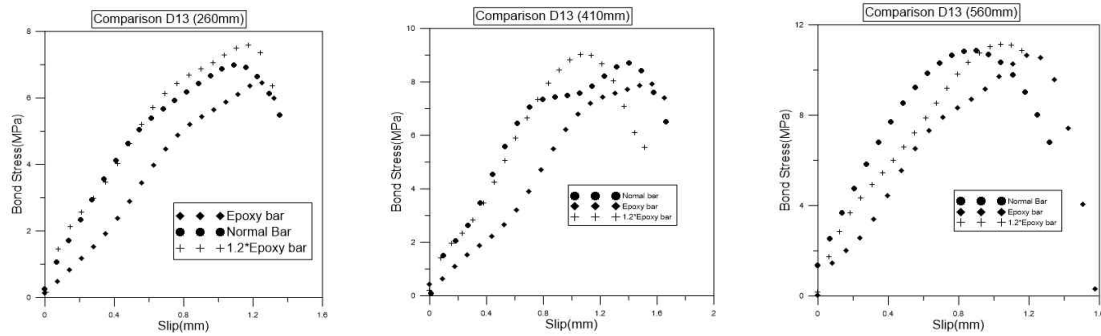


그림 2.33 D13 부착응력-미끌림 그래프

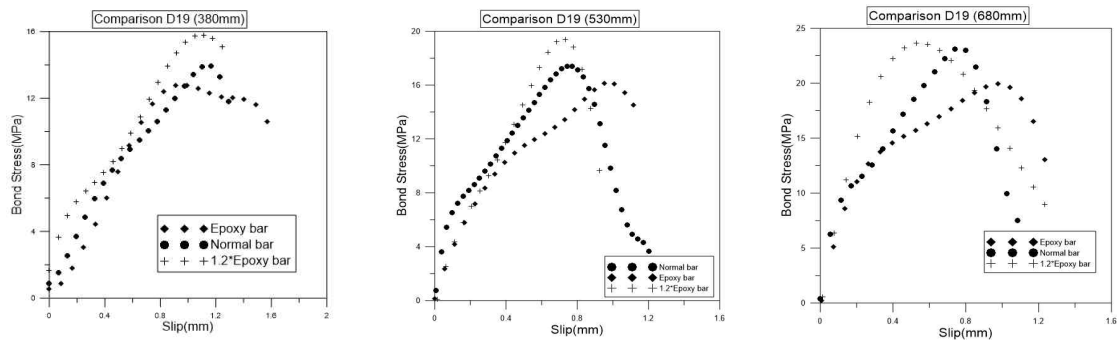


그림 2.34 D19 부착응력-미끌림 그래프

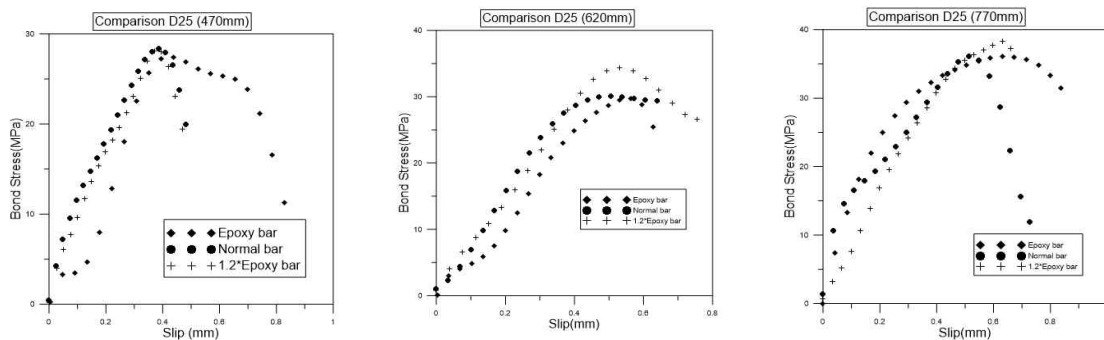


그림 2.35 D25 부착응력-미끌림 그래프

- 일반철근의 이음길리와 동일하게 이음한 에폭시 피복철근의 시험체는 철근의 지름과 상관없이 일반철근의 부착강도보다 낮게 나왔고 미끌림양도 많게 측정됨.
- 이는 에폭시 피복으로 인해 콘크리트와의 부착이 약해졌기 때문에 나타나는 현상으로 판단함.
- 이음길리를 1.2배를 해준 에폭시 피복 철근의 경우는 일반철근과 유사한 형태를 나타냈고 이는 현 설계기준에 부합한 결과로 나타남.
- 전체적으로 시험체에서 계획된 미끌림량은 매우 작았으므로 휨 하중에 대한 부착성능 유지의 문제가 없는 것으로 판단함.
- 이음길리가 길어질수록 일반철근과 이음을 동일하게 적용한 에폭시 철근과의 거동이 유사하나 과도한 이음길리로 인해 경제성에 대한 문제를 발생할 것으로 판단.

(나) 이음길이별 최대균열폭

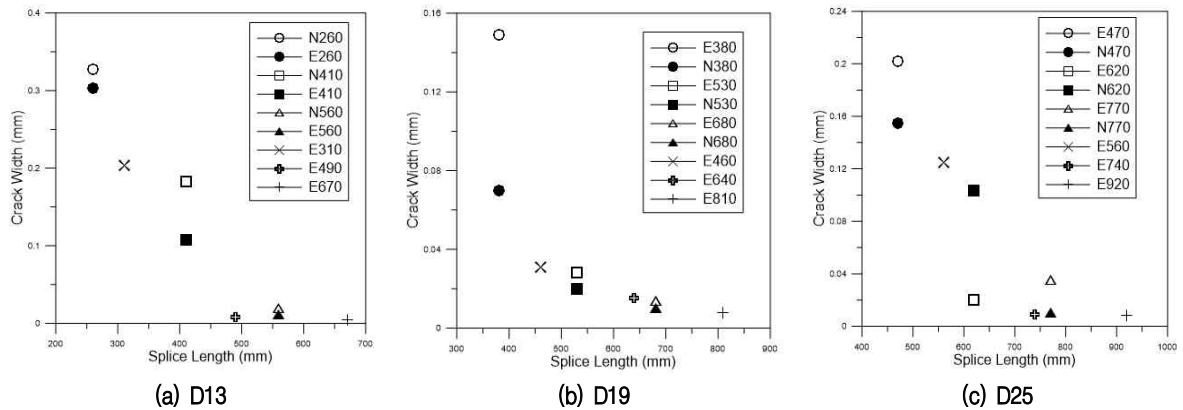


그림 2.36 이음길이별 최대균열폭

- 철근의 지름과 상관없이 일반철근과 이음길이가 같은 시험체의 균열폭이 가장 크게 나타남.
- 철근의 지름이 작을수록 균열폭은 크게 나타남.

(7) Life-365를 통한 RC 교각의 내구성 평가

(가) 연구 개요 및 목적

- 철근은 뛰어난 인장강도에 비하여 부식 발생 위험성 증가로 인한 내구성 저하가 지적됨
- Life-365 소프트웨어를 통해 일반 철근 구조물과 에폭시 피복 철근 구조물의 내구성을 평가
- 부재의 유효깊이는 일정하게 한 뒤 피복두께를 증가시켜 내구성 분석 실시
- 이를 통해 구조물에 적용된 에폭시 피복 철근의 내구성에 대한 우수함을 증명

(나) 구조물의 제원

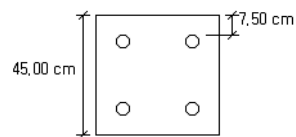


그림 2.37 구조물의 단면

① 구조물의 단면

- 기본구조물의 종류는 정사각형 기둥/보의 2D해석으로 진행
- 기본 구조물은 폭 450mm, 길이 1m, 피복두께 75mm로 설정
- 철근비 0.6%를 기준으로 적용

② 배합비 설정

Mixture		Rebar		Barriers
w/cm	0.40	Rebar steel type	Black Steel	<none>
Class F fly ash (%)	15.00%	Rebar % vol. concrete	0.60%	
Slag (%)	25.00%	Inhibitor	<none>	
Silica fume (%)	0.00%			

그림 2.38 구조물의 배합비

- 물-시멘트비 40.1%, 플라이애쉬 치환율 15%, 고로슬래그 치환율 25%
- 추가적으로 혼화제는 사용하지 않았고 표면도장도 실시하지 않았음.

③ 내구성 해석 설정

- 동해안 비말대 기준으로 최대 표면염소이온농도는 $13\text{kg}/\text{m}^3$ 를 적용
- 최대 표면염소이온농도에 도달하는 시간은 7년으로 가정
- 온도 또한 동해안 강릉기준(기상청, 1981년~2010년) 월별평년값으로 적용

(다) 내구성 해석

- Life-365 소프트웨어의 경우 동일한 환경에서 에폭시 피복 철근이 일반 철근에 비해 14년만큼 더 저항하는 것으로 제시되어있음.
- CRSI(2012)의 연구결과에 따르면 Life-365 소프트웨어에서 제시된 것 보다 일반 철근의 경우 3년, 에폭시 피복 철근의 경우 25.1년만큼 더 저항된다고 보고됨.

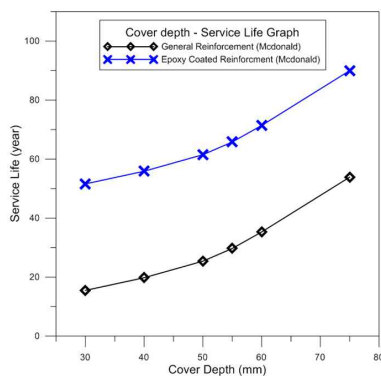


그림 2.39 피복두께에 따른 내구수명(Life-365)

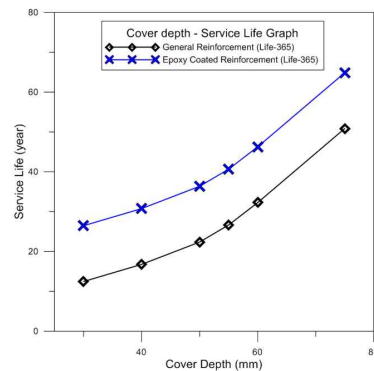


그림 2.40 피복두께에 따른 내구수명(CRSI)

- Life-365의 내구성해석 결과와 CRSI(2012)의 연구결과를 참고하여 구조물의 유효깊이를 일정하게 두고 피복두께만을 늘려가며 내구성 해석을 진행

(라) 결론

- Life-365의 설정으로 구조물의 내구성을 분석하였을 때 일반철근에 비해 에폭시 피복 철근을 사용했을 경우 피복두께를 약 25mm 줄일 수 있었음.
- CRSI(2012)의 연구결과를 참고하여 내구성 분석하였을 때 일반철근에 비해 에폭시 피복 철근을 사용했을 경우 피복두께를 약 45mm 줄일 수 있었음.
- 연구를 통하여 구조물에 적용된 에폭시 피복 철근의 우수성을 확인하였음.

(8) 패칭제에 의해 보수된 피복철근에 대한 성능확인

- ASTM C 775의 시험법으로 패칭제에 의해 보수된 피복철근 품질 시험

	ASTM C 775
Impact test	Weight: 1.8kg Result: There should be no cracking or peeling of the coating at 500mm.
Bending test	Method: For D13 and D19 reinforcing bars using a flexural tester Within 180 seconds 180 ° ,D29 reinforcing bars, within 180 seconds 180 ° Result: The film should be free of cracks and peeling.
Chemical resistance test	Result: No blistering, cracks or rust on the film.
Salt spray test	Method: Put in a salt spray tester for 1080 hours.

• 내충격성 시험

표 2.13 패칭제 보수 후 내충격성 시험 비교

철근직경	패칭제 보수 후 에폭시피복철근
D13	이상없음
D19	이상없음
D25	이상없음

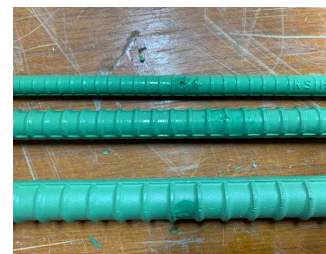


그림 2.41 패칭제 보수 후 내충격성 시험

- 시험결과 규격에서 요구하는 기계적 성능을 만족함에 따라 패칭 후 충격에 대한 저항성을 확보되었다고 판단됨.

• 굽힘성 시험

표 2.14 패칭제 보수 후 굽힘성 시험 비교

철근직경	패칭제 보수 후 에폭시피복철근
D13	이상없음
D19	이상없음
D25	이상없음



그림 2.42 패칭제 보수 후 굽힘성 시험

- 보수된 에폭시 피복철근의 굽힘성 결과 결함이 발생하지 않았음.

- 내화학적 시험

표 2.15 패칭제 보수 후 내화학적 시험 비교

철근종류	철근 직경	H_2O	$Ca(OH)_2$	$NaOH$	$CaCl_2$
패칭제 보수 후 에폭시피복철근	D13	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
	D19	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
	D25	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음

- 시험결과는 양호하다고 판단됨. 패칭제를 사용한 부분에 부식은 발생하지 않았음.



(a) H_2O



(b) $Ca(OH)_2$



(c) $NaOH$



(d) $CaCl_2$

그림 2.43 패칭제 보수 후 내화학적 시험

- 염수분무 시험

표 2.16 패칭제 보수 후 염수분무 시험

철근직경	패칭제 보수 후 에폭시 피복 철근
D13	이상없음
D19	이상없음
D25	이상없음

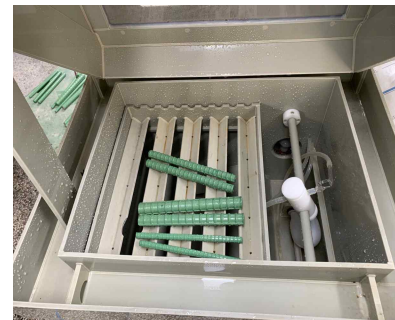


그림 2.44 패칭제 보수 후 염수분무 시험

- 시험결과 부분적으로 녹이 발생하였으나 패칭제를 사용한 부분에서의 결함은 나타나지 않아 염수에 대한 저항성이 확보되었다고 판단됨.

다. 에폭시 피복철근 현장적용 및 활용기술 개발

□ 주요 연구내용

- (1차년도) 에폭시 피복철근의 적용 사례분석 및 유지관리비 집행실적 분석
- (2차년도) 현장적용 활용방안 제시
- (3차년도) 에폭시 피복철근 적용에 대한 경제성 분석
- (4차년도) 개발 에폭시 피복철근의 경제적 효과 분석

(1) 에폭시 피복철근 적용 사례분석 및 유지관리비 집행실적 분석

(가) 광안대교 사례분석

① 광안대교 염해대책 현황

- 2003년 2월에 준공되었으며 총 길이가 7.42km인 국내 최초의 2층 해상 교량으로 건설되었음.
- 교각 확대기초의 철근량은 1기당 344톤이 소요되었으며 해수에 접하는 구조물이기 때문에 염분에 의한 부식 피해를 방지하기 위하여 전량 에폭시 피복철근을 사용하였음.
- 광안대교는 해상교각(39기)에 대하여 수중부의 강관파일(452본)은 전기방식인 희생양극방식 (2066EA)이 적용되었으며, 비말대부는 페트로레이텀방식(452본)이 적용되었음.
- 특히 확대기초 및 기둥부의 일정높이(약 H=3.7m)까지는 전량 에폭시 피복철근을 사용하였으며 콘크리트 타설을 위해 PC-House(t=230mm)를 사용·존치하여 해수와 접하는 피복을 확대 시공함.

② 광안대교 유지관리비 집행현황

- 에폭시 피복철근이 사용되지 않은 교각 기둥부 및 코핑부에 대하여는 준공 후 10년 경과한 시점에서 실시한 정밀안전진단 결과, 염해환경 노출로 염해방지대책이 필요하다고 판단되어 4차년에 걸쳐 확대기초부를 제외한 기둥부, 코핑부에 실시하였으며 염해도장방식 보수비용으로 아래와 같이 집행 완료 되었으나 에폭시 피복철근이 사용된 확대기초부는 유지보수비용 발생이 없는 것으로 조사되었음.

표 3.1 유지보수현황

구분	총 유지보수비용	2015년까지 소요비용	2016년 소요비용
사업비	4,896백만원	3,659백만원	1,237백만원

- 염해도장방식의 경우 도장내구수명을 약 20년 정도로 판단할 때, 재 도장에 따른 주기적인 유지보수비용이 발생되고 또한 해상이라는 환경조건으로 인하여 공사기간 등 작업조건에 불리한 영향을 미치고 작업비계설치 및 선박이용 등 부대비용이 과다하게 발생하는 것으로 분석되었음.

(나) 남항대교 사례분석

① 남항대교 염해대책 현황

- 남항대교 건설공사(1,2공구)는 공사기간이 1997년 10월 ~ 2006년 12월인 총연장 1,925m의 해상교량으로 건설되었음.
- 1, 2공구 기초 중 1공구 교각 8기에 2,078톤, 2공구 교각 4기에 1,189톤이 사용되어 총 3,267톤의 에폭시 피복철근이 남항대교 기초공사에 사용.

② 남항대교 유지관리비 집행현황

- 남항대교는 1997년에 설계되어 최종 감리준공이 2008년인 해상교량임. 2008년 이후 공용된 교량으로 정밀안전진단 시행 이전이었으며 자세한 보수현황을 알 수 없는 상황이며, 다만 염해도장을 시행한 것으로 조사는 되었으나 그 면적에 대한 정보를 알 수 없었음. 에폭시 피복철근이 적용된 기초부에서 아직까지 염해에 의한 열화가 발생하지 않은 것으로 조사되었고, 차년도 연구에서 지속적인 자료 수집을 통해 LCC분석에 활용.

(다) 서해대교 사례분석

① 서해대교 염해대책 및 염해현황

- 서해대교는 2000년 12월에 준공된 국내 최대 규모의 사장교로 총 길이 7.31km의 교량임.
- 광안대교와 건설시기가 비슷하지만 서해대교는 교각 구조물에 일반 철근을 사용하여 시공하였으며 현장 타설말뚝 내부 철근에 에폭시 피복철근을 사용한 것으로 조사되었다. 총 공사비는 약 6,777억원이 소요되었음.
- 서해대교는 개통 5년 만에 전체 교각 67개 중 약 30%인 15개소 교각, 8~11년에 14개소 교각, 총 29개 교각에서 염분 침투로 인한 철근 부식 현상이 나타났다. 그로 인해 염해대책 강화를 위해 전기방식 시설을 설치하여 유지관리를 실시하고 있는 것으로 조사되었으며, 부식에 따른 기대수명 변동 또는 당초계획을 앞당겨 부식관련 보강작업을 시행함.
- 2014년 이후 2016년 11월 현재 10개 교각에 대해 추가로 전기방식을 실시한 것으로 조사되었다. 2015년에는 2013년도에 발견된 4개 교각(P56, P94, P97, P99)에 실시하였으며 2016년에는 교각 6개(P62, P63, P64, P66, P67, P68)를 추가로 보수한 것으로 조사되었고, 특히 2016년에 보수한 6개의 교각은 2005년에 1차 보수가 실시됐던 교각부위에 추가로 3.5m를 보수한 것으로 조사되었음.

② 서해대교 유지관리비 집행현황

- 서해대교는 시공 후 생긴 부식문제로 공용 중 추가적인 유지관리 비용이 지속적으로 소요되는 것으로 조사되었고, 준공 후 약 16년이 경과한 현재까지 교각 29개소의 비말대 및 간만대 구간에 철근방식대책으로 전기방식방법 및 내염도장 보수 공사를 실시하고 있음.
- 교각 1기당 전기방식 공사비(높이 $h=2.0m$)는 약 1.1억원/기당(약350만원/㎡)이 소요되었으며 도입시기와 비용은 2005년 이후 2014년까지 32개 교각 2,029백만원이 소요되었음.
- 서해대교는 2005년부터 2014년까지 총 2,246백만원이 교각 보수비용으로 사용되었으며, 2016년까지 추가 실시한 10개 교각의 보수비용을 추가한다면 더 많은 비용이 소요된 것으로 판단됨.

(라) 소록대교 사례분석

- 총연장 3,468m의 왕복 2차선으로 이루어진 자정 모노케이블 현수교로서 공사규모는 교량 3개소, 교차로 2개소이며 그 중 해상교량인 1,600m의 소록연륙교가 포함되어 있음. 1단계 실시 설계보고서와 설계도면 일부만을 입수하였으며 일부 설계도면 확인 결과 교각 기초부에 에폭시 피복철근을 국부적으로 사용한 것을 확인하였음.
- 접속 1교 교각 6개소(P1~P6), 현수교 단부교각 2개소(P7~P8), 접속 2교 교각 1개소(P9)에 에폭시 피복철근을 적용한 것을 설계도면을 통해 확인하였음.
- 접속 1교 교각 P1의 배근도를 통해 교각 기초와 일부 기둥철근에 에폭시 피복철근이 적용된 것을 확인할 수 있었으며 교각배근도 P2~P6까지의 도면을 통해 기둥부 일부분까지 에폭시 피복철근이 올라온 것을 확인하였음.
- 철근길이 확인 결과, 기둥부는 교각 기초에서 1개당 12m인 철근을 세워 올린 지점까지로 계획되었으며 이는 교각 기초 상면에서 기둥부 8.32m까지 배근된 것임을 확인하였고, 이후 기둥부는 일반철근과 겹이음 처리하여 배근한 것으로 조사되었음.

(마) 적용 사례 유지관리 현황분석 결론

- 본 연구에서는 염해환경에서의 교량 건설 시 일반 철근과 에폭시 피복철근의 경제적 차이를 확연히 알 수 있었고, 에폭시 코팅 철근을 사용해 교량을 건설한 광안대교가 일반 철근을 사용해 교량을 건설한 서해대교에 비해 유지관리비 측면에서 경제적으로 우위에 있음을 확인함.
- 해양환경 피해사례를 살펴보면, 주로 비말대 및 간말대에서 습윤과 건조, 동결융해작용, 철근의 부식 등에 의해 균열과 박리 등의 피해가 발생하는 것으로 나타나고 있으며, 특히 내염도장도장은 콘크리트 열화를 억제하는 효과는 있으나 염화물의 침투를 차단하지는 못하는 것을 사례조사를 통해 확인함.
- 한국도로공사 전기방식 적용현황을 살펴보면, 총 12개 교량 중 5개 교량은 준공년도에, 서해대교는 준공 후 5년에 처음 적용이후 8~13년 사이에 추가로 설치되었으며 나머지 교량은 준공 후 9~19년 이내에 전기방식 시설물을 설치하였음. 이는 해양환경에 건설된 교량의 경우 철근부식의 발생이 불가피하며 이를 방지하기 위하여 공용중 전기방식을 도입하는 대응적 유지관리의 문제점을 단적으로 보여주는 것으로 판단됨.
- 사례교량의 유지관리 현황에서 알 수 있듯이, 건설 후 대응적 유지관리는 비용이 많이 들고 보수 후에도 재열화 되는 문제점이 있어 유지관리비용이나 유지관리 편의성 측면에서 매우 불리한 것으로 나타남. 따라서 염해 환경에 노출되는 구조물은 설계단계에서 예방적 차원의 철근방식을 적용하여 생애주기 비용 절감을 도모할 필요가 있음.

(2) 현장적용 활용방안 제시

(가) 시험시공(Mockup Test)을 통한 모니터링

- 시험시공(Mockup Test)의 목적은 에폭시 피복철근이 사용되는 현장과 비슷한 환경에서 실제 시공을 통해 「에폭시 피복철근 공장가공⇒운반⇒현장철근가공⇒철근조립⇒손상부 보수⇒콘크리트타설 및 양생」까지의 전 공정을 모니터링 하여 현장적용성 증대를 위한 개선사항을 도출함.
- 시험시공은 90°, 120°, 180°등 철근가공 시 다양한 절곡의 형태를 가지고 있는 교량의 교각 기초를 대상으로 하였음.

① 철근절단 및 절곡과정의 모니터링

- 시공시공 설계도면의 철근형상을 기준으로 절곡하였으며 철근가공은 철근밴딩기 회전알에 우레탄을 부착한 밴딩기를 사용하여 피복의 손상을 방지하는 방법으로 철근을 절곡하였으며 미국 CRSI & ASTM 기준인 15초 이내에 180°로 절곡함.

② 공장에서 포장 후 공장 상차⇒운반⇒현장 하차 과정의 모니터링

- 생산된 에폭시 피복 철근은 규격별로 포장 후 꼬리표(제조공장, 철근 등급 등)를 붙임.
- 철근의 처짐에 의한 피복의 손상의 방지키 위해 버팀목을 설치 후 들어 올림.
- 현장 하치는 현장 이동을 최소화하기 위하여 시험시공 구조물(교량 기초 Mockup Test) 위치에 최대한 가까이에 하역하되 직접 땅에 닿지 않도록 적절한 보관 시설에 보관.

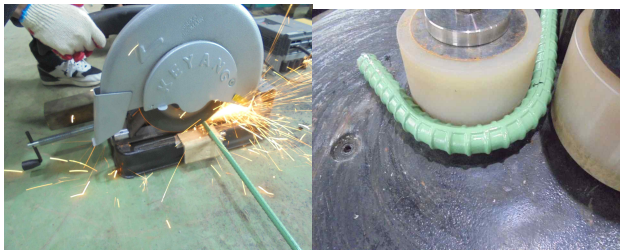


그림 3.1 철근 절단 및 절곡



그림 3.2 상차 및 현장보관

③ 에폭시 피복 손상부 보수 모니터링

- 철근 가공 후 절단면을 포함한 모든 손상부는 현장에서 패치도료로 보수.
- 손상부 보수 순서 : 붓을 이용하여 손상부위 녹 및 오염물질 제거(손상부 청소)→제조업체의 지침에 의한 패치도료의 혼합(보수 재료 준비)→붓을 이용하여 손상부위 보수 및 복구(손상부 보수)→8시간 이상 경화시간 확보(8시간 경화시간)→보수 완료 등의 과정으로 실시.



그림 3.3 손상부 에폭시 보수

④ 에폭시 피복 철근의 배근 모니터링

- 거푸집은 형상 및 위치의 정확도, 면의 깨끗한 정도 및 박리제 도포 등을 확인하였으며, 철근의 부대품(철근 고임대, 간격재 및 결속선)은 에폭시 또는 플라스틱 제품을 사용함.



그림 3.4 철근배근 및 결속

⑤ 콘크리트 타설 전 및 타설 시, 타설 후 양생 등의 모니터링

- 거푸집은 형상 및 위치의 정확도, 면의 깨끗한 정도 및 박리제 도포 등을 확인함.
- 철근 간격, 이음장, 철근 덮개, 철근 지지대 및 손상부 보수 상태 등을 확인함.
- 양생은 습윤 양생을 하였고 28일 경과 후 거푸집 철거 후 시험시공을 완료함.



그림 3.5 콘크리트타설 및 양생

(나) 개발 에폭시 피복철근의 건설 중 현장 적용 모니터링

① 현장 시험시공 개요

1) 공사현장 개요

- 공 사 명 : 국도31호 간포교 교량 개축공사(L=0.32km, B=11.25m)
- 공사위치 : 강원도 영월군
- 공사개요 :
 - 토공 : 흙깎기 1,111m³, 흙쌓기 2,455m³, 사토 183m³
 - 배수공 : U형측구 189m, 우수관로 286m, 집수정 7개소, 맨홀 개소
 - 구조물공 : 교량 L=64.4m, B=12.25m
 - 포장공 : 아스팔트콘크리트포장 2,362m²
 - 부대공 : 1식
- 공사기간 : 2017.06.22.~2019.06.11
- 시 행 청 : 정선국토관리사무소(구조물과)

2) 개발 에폭시 피복철근 적용 개요

- 적용범위 : 교량 상부슬래브
- 철근 시공량

구분	단위	수량	비고
H13	ton	2.456	직접공사비
H16	ton	33.979	직접공사비
H19	ton	0.299	직접공사비
H25	ton	0.559	직접공사비
합계	ton	37.293	직접공사비

② 현장 시험시공 모니터링 검사항목

- 본 연구에서는 KS D 3629와 ASTM A 775/775M-07b “Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars”에 근거하여 에폭시 피복철근의 겉모양, 피복두께, 핀홀, 굽힘성 등의 외관상태 및 현장 작업(철근 밴딩, 철근 조립 및 배근)과정 모니터링을 통해 건설현장에서의 적용성을 검증하고 개선방안을 검토함.
- 에폭시 피복철근의 제조과정 및 가공 후 시험항목 등은 검사결과서나 시험성적서로 성능기준 만족여부를 판단하는 것으로 하고 육안식별이 가능한 항목 기준으로 검사함.
 - 품질 : 겉모양, 피복두께, 핀홀, 굽힘성은 시험, 육안식별, 두께 측정 등으로 확인
 - 운반, 보관, 취급관련 항목 : 운반시 피복손상 여부, 현장 보관방법 등
 - 부속재료 : 결속선, 부대품(철근 고임대, 간격재, 결속선 등)
 - 조립 : 가공, 절단, 굽힘, 철근 손상부 보수 등 적합 여부 확인
 - 현장 품질관리, 철근지지물, 조립, 이음, 결속 등 확인
 - 철근설치장소 적합성이나 시공오차, 이음의 위치 등 시공기준에 관련된 항목은 시공사 재량으로 제외함.

③ 현장 시험시공 모니터링 현황

- 현장 시험시공을 실시한 현장은 실제 건설공사 중인 관계로 시공 과정 모니터링 수행에 제약이 있어 여건이 허락하는 환경에서 모니터링을 수행함.

㉠ 품질(겉모양, 피복두께, 핀홀, 굽힘성) 모니터링

- 겉모양은 육안으로 식별하였으며 구멍, 기포, 갈라짐, 미피복면이 없는지 검사하였으며 기준에 만족함.(그림 3.6)
- 피복두께는 비금속 피복용에 사용하는 비파괴 두께 측정기를 이용하여 피복철근의 마디, 리브를 제외한 마디와 마디 사이, 리브와 리브 중앙의 평면 부분을 철근측 방향으로 양단 20cm를 제외하고 일정한 간격(약 50cm 간격)으로 15회 이상 측정하였으며 기준에 만족함.(그림 3.7)



그림 3.6 겉모양식별



그림 3.7 피복두께측정



그림 3.8 핀홀측정



그림 3.9 굽힘성시험

- 핀홀은 1m당 5개 이하의 빈도여야 하며 기준에 만족함.(그림 3.8)
- 피복철근은 굽힘시 15초내 180°로 굽힘시 피막 갈라짐, 녹순 부분이 없는가를 육안으로 확인하였으며 굽힌 철근의 바깥쪽으로 에폭시 피복의 갈라짐이나 벗겨짐이 없는 것을 확인함.(그림 3.9)

㉡ 운반, 보관, 취급 모니터링

- 운반시 덧대진 밧줄 사용하여 에폭시 피복의 손상을 방지함.
- 철근을 규격별로 구분하여 묶은 후 기준에 맞춰 표시함.
- 운반 후 지면에 각목을 대고 지면으로부터 띄워서 적재하고 불투명한 덮개로 덮어 보관함.(그림 3.10)



그림 3.10 운반, 보관 및 취급

㉔ 부속재료 모니터링

- 에폭시 피복철근에 사용되는 부대품인 철근 고임대(우마철근), 간격재, 결속선은 피복의 손상을 방지하여야 하며 KS M 6979에 적합한 에폭시 또는 플라스틱 제품을 사용토록하고 있으며 모니터링 결과 적합한 재료를 사용하여 에폭시 피복철근을 배근함.(그림 3.11)

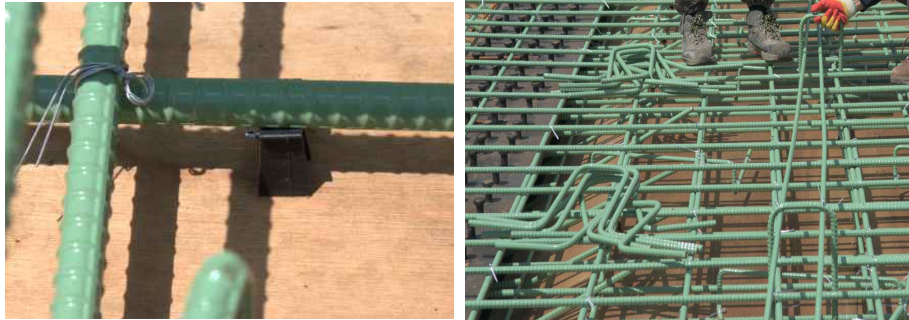


그림 3.11 부속재료 사용

㉕ 조립(가공, 절단 및 굽힘) 모니터링

- 철근은 상온에서 가공하였으며 한번 구부린 철근은 다시 펴거나 구부리지 않았음.
- 절단과 굽힘작업은 사용에 적합하고 설비를 갖춘 장소에서 실시하여야 함. 따라서 실제 공사 진행중인 작업장에서 수행하였으므로 적합한 것으로 판단됨.
- 철근 절단기로 절단하였으며 절단면은 에폭시에 의해 보수하였음.(그림 3.12)



그림 3.12 철근절단 및 절단면 보수상태

- 철근 조립전 1ft(30.38cm)의 보수단면적이 1%미만인가, 철근 조립 후 1ft(30.38cm)의 보수단면적이 5%미만인가를 현장에서 육안으로 확인하였으며 그 외 운반, 조작, 절단 및 굽힘과정에서의 손상부위를 확인함.
- 손상부 보수는 2액형 무용제 에폭시 도료(패칭제)를 사용하여 보수함.

㉖ 시공과정 모니터링

- 시공조건 확인, 시공기준, 시공허용오차, 현장 품질관리에 대한 부분은 공사시방서와의 적합여부를 검사하고 시공사에서 직접 확인하고 시공함.

㉞ 현장 시험시공 전경



그림 3.13 간포교 상부슬래브 철근배근 전경

④ 현장 시험시공 문제점 및 개선방향 제시

- 현장 시험시공 모니터링 과정을 통해 파악한 시공과정에서의 에폭시 피복철근 사용에 따른 문제점을 도출하고 그에 따른 개선방안을 제시함으로써 에폭시 피복철근의 현장 적용성을 증대하고자 함.

㉞ 운반, 보관 및 취급과정 모니터링 결과 분석

구분	운반, 보관 및 취급
문 제 점	- 에폭시 피복철근의 절단이나 굽힘 작업 후 에폭시 피복철근을 취급함에 있어 부주의한 것으로 판단됨. - 철근 가공 후 완충재 없이 지면위에 바로 철근을 쌓아둠. - 필요한 철근을 빼낸 후 철근을 덮고 있던 시트의 관리가 소홀함.  
개선방향	절단이나 굽힘 작업 후 철근의 보관방법, 철근사용 후 적재된 나머지 철근의 보관 방법에 대한 품질관리가 필요한 것으로 판단되므로 각국의 산업규격의 기준을 참고하여 도막이 손상되지 않도록 개선안을 제시해야 함.

㉔ 가공과정 모니터링 결과 분석

구분	조립
문 제 점	- 조립한 철근의 절단면이나 조립과정에서 발생한 손상면은 보수도로로 보수를 수행하였으나 철근 조립 후 철근손상에 대한 자세한 손상면적 확인이 곤란할 것으로 판단됨. - 배근 작업을 위해 이미 배근이 완료된 철근의 위를 걷는 모습이 계속 관찰되어 도막의 손상에 노출될 우려가 있음.   그림 3.15 철근 배근 후 절단 작업 및 배근 철근 위 도보 전경
개선방안	- 조립과정에서 발생한 손상면적에 대한 체크 방법 마련 필요함. - 철근밴딩기 부속품에 대한 품질관리대책 마련이 필요하며 배근작업 후 도장철근 위를 걷지 않거나 필요시 배근된 철근 위를 이동할 경우 철근손상 방지에 대한 품질관리 대책을 마련해야 함.

㉕ 조립과정 모니터링 결과 분석

구분	가공
문 제 점	철근 굽힘 시 일반적인 철근밴딩기 회전알/고정알을 사용하여 에폭시 피복손상의 우려가 있을 것으로 판단됨.   그림 3.16 철근 가공용 철근밴딩기 및 가공 작업 모습
개선방안	- 철근 굽힘 작업시 철근밴딩기 회전알에 우레탄을 부착하여 도막의 벗겨짐을 방지할 수 있도록 철근밴딩기 부속품에 대한 품질관리대책 마련이 필요함. - ASTM A775-07에서는 현장 가공을 추천하지 않고 있으므로 현장에서의 가공을 최소화 할 수 방안이 모색되어야 함.

㉔ 보수과정 모니터링 결과 분석

구분	보수
문 제 점	- 손상보수 후 8시간 경과시킨 후 철근을 취급하였는지의 여부 확인 불가함. - 절단부위 에폭시 패칭제 사용 후 보수 두께 확인 곤란함. - 손상된 보수면적을 모두 확인하는데 애로가 있을 것으로 판단됨.  그림 3.17 손상부 에폭시 보수
개선방안	- 각국의 산업규격의 기준에서는 보수도막 두께에 대한 기준을 제시하고 있으나 공장에서 가공하지 않고 현장 현장에서 가공하고 조립하고 있으므로 보수단면에 대한 품질관리 대책이 필요함. - 또한 콘크리트 타설 전 손상된 보수면을 체크하는 방법 마련이 필요함. - 또한 패칭제 사용시 주제와 경화제의 사용에 대한 품질관리방안도 필요함.

⑤ 현장 시험시공 모니터링 분석 결과

- 실제 건설현장을 대상으로 시험시공을 수행한 결과 공장에서 기준에 만족하는 에폭시 피복철근을 생산하였다 하더라도 현장 작업 수행 중 성능저하의 소지가 있어 현장품질관리 대책 마련이 절실히 필요한 것으로 판단됨.
- 모니터링 분석에서 정리한 문제점을 토대로 철근 가공이후 철근의 보관이나 취급에 대한 품질관리대책이 필요하며 조립과정에서 발생하는 손상된 도막이나 배근이 된 이후 에폭시 피복철근에 대한 현장 품질관리 대책 마련이 필요하므로 각국의 산업규격을 참고로 국내 현실에 맞는 개선방안이 필요함.
- 국내의 현장 품질관리에 개선을 통해 에폭시 피복철근의 성능을 시공 중에도 유지할 수 있다면 국내 구조물의 내구수명을 연장하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨.

(3) 에폭시 피복철근 적용에 대한 경제성 분석

- LCC분석을 위한 기준을 설정하고 유지관리비용 산출을 위해 기존 사례교량의 분석을 통해 개발철근의 경제성 분석시 기초로 활용함.

(가) LCC분석기간

- 분석기간은 미래에 지급될 비용을 평가하는 시간한계이므로 LCC분석 대안의 장기간 비용차이를 반영할 만큼 충분한 범위가 되도록 결정함.
- 본 연구에서는 구조물의 설계 공용수명 및 관련 연구문헌 검토 및 최신 한국도로공사 기준을 반영하여 50년으로 설정하였으며 민감도 분석을 통해 분석기간 변화에 따른 비용을 비교함.

(나) 할인율

- 미래발생비용을 현재가치화하기 최근 자료를 기준으로 한 평균 실질할인율 산출하였으며 평균할인율은 1.3%임.

(다) 사례교량 LCC분석

- 일반철근과 에폭시 피복철근이 염해 환경에서 갖는 경제성을 비교 분석하기 위해 해상에 건설된 준공시기가 비슷한 2개 교량을 사례로 이들의 유지관리비를 분석하였음. 이를 토대로 4차년도 개발 철근의 LCC분석시 유지관리비 기초로 활용함
- D교는 1994년 8월에 착공하여 2002년 12월에 개통한 국내 최초의 2층 해상 교량으로써 총 길이는 7.42km임. 염해로 인한 손상을 방지하기 위해 교각 기초 및 기둥 일부분까지를 에폭시 피복철근을 배근하여 예방적 유지관리차원의 철근부식대책을 수립하였음.

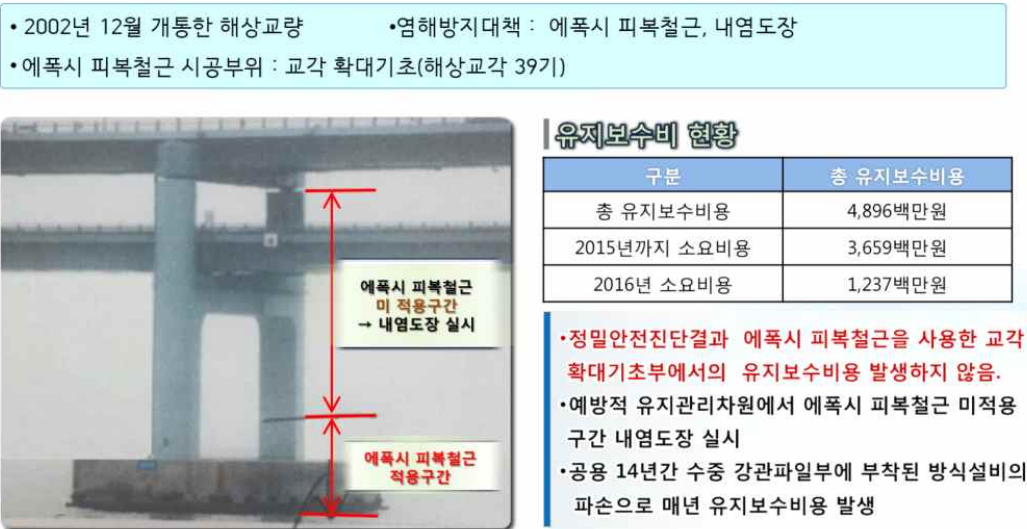


그림 3.18 사례교량 D교 유지보수현황

- 특히 확대기초 및 기둥부의 일정높이(약 $H=3.7\text{m}$)까지는 전량 에폭시 피복철근을 사용하였으며, 콘크리트타설을 위해 PC-House($t=230\text{mm}$)를 사용·존치하여 해수와 접하는 피복을 확대하여 시공함.
- D교의 경우 에폭시 피복철근이 사용되지 않은 교각 기둥부 및 코핑부에 대하여는 준공 후 10년 경과한 시점에서 실시한 정밀안전진단 결과, 염해환경 노출로 염해방지대책이 필요하다고 판단되어 4차년에 걸쳐 확대기초부를 제외한 기둥부, 코핑부에 실시하였으며 염해도장방식 보수비용으로 아래와 같이 집행 완료 되었으나 에폭시 피복철근이 사용된 확대기초부는 유지보수비용 발생이 없는 것으로 조사되었음.
- S교는 개통 5년 만에 전체 교각 67개 중 약 30%인 15개소 교각, 8~11년에 14개소 교각, 총 29개 교각에서 염분 침투로 인한 철근 부식 현상이 나타났으며 그로 인해 염해대책 강화를 위해 전기방식 시설을 설치하여 유지관리를 실시하고 있는 것으로 조사됨.

사례교량 S교(일반철근 사용 교량)

- 공용 5년 이후부터 철근, 콘크리트에 부식 발생
- '05년부터 지속적으로 부식 정도에 따른 보수보강 실시
- '16년 3월 기준, 교각 6개소(P62~P64, P66~P68)는 '05년 실시한 보수부위(H=1.5m)에 추가 보수(H=3.5m) 실시
→ 지속적으로 보수구간이 발생하고 있는 실정

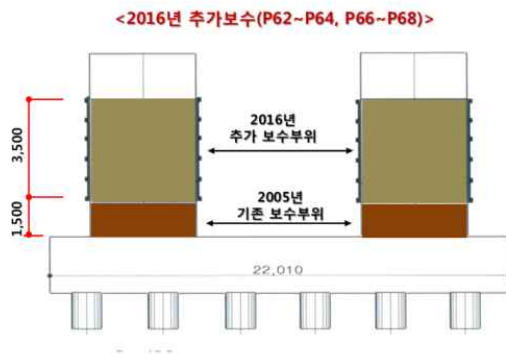


그림 3.19 사례교량 S교 유지보수현황

교각 위치	시공년도	시공방법	일반철근 사용			부식도량	보수구간	비고
			형태	높이(m)	면적			
P61			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P62			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P63			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P64			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P65			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P66			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P67			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P68			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P69			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P70			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P71			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P72			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P73			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P74			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P75			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P76			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P77			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P78			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P79			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P80			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P81			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P82			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P83			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P84			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P85			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P86			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P87			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P88			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P89			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P90			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P91			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P92			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P93			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P94			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P95			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P96			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P97			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P98			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	
P99			평면	2.0	4.0	1.0	2.0	

- 사례교량인 S교는 완공 후 5년이 경과한 시점에서 실시한 해상교각에 대한 염해손상 점검 결과 일부 교각에서 들뜸, 균열, 녹물발생과 같은 손상이 발견되었음. S교의 유지관리기관에서는 2013년 점검당시 철근 부식을 방지할 경우 사례 S대교의 잔여수명을 15년으로 분석함에 따라 철근에 전류를 흘려보내 부식을 억제하는 전기방식을 적용하였음. 이 방식을 적용할 경우 향후 예측수명은 40년으로 2005년에 부식이 발생한 교각을 기준으로 할 때 사례 S대교의 수명은 향후 30년 후인 약 2045년이 될 것으로 예측됨.

① 사례교량 초기공사비 산출

- 사례교량 D교의 예폭시 피복철근 사용 부위를 참고하여 S교의 교각을 대상으로 철근수량을 산출하였으며 설계예산서를 기초로 산출한 초기공사비는 표 3.2와 같음.

표 3.2 사례교량 초기공사비

구분		단위물량(TON)	수량	총 물량(TON)	단위공사비(원)	초기공사비(원)
철근수량 (교각부)	S교량	187.513	67개	12,563.371	238,813	3,000,296,319
	D교량	344.000	39개	13,416.000	341,900	4,586,930,400

- S교의 경우 현장타설말뚝 내부 철근망에만 예폭시 피복철근을 사용하고 콘크리트 구조물에는 일반철근을 사용한 것으로 조사되었음.
- D교의 교각 확대기초 철근량은 1기당 344톤이 소요되었으며 해수에 접하는 구조물이기 때문에 염분에 의한 부식 피해를 방지하기 위하여 해상교각(39기)에 대하여 전량 예폭시 피복철근을 사용함.

② 사례교량 유지관리비 산출

- 에폭시 피복철근을 적용한 교각을 대상으로 한 유지보수비용을 기준으로 산출함.
- 사례교량 D교의 경우 2002년 12월 교량 개통 후 10년 경과한 후 실시한 정밀안전진단 결과, 에폭시 피복철근을 사용하여 시공한 해상교각 확대기초부에서는 염해로 인한 손상이 발생하지 않은 것으로 진단되었으나 그 외 에폭시 피복철근을 사용하지 않은 부위에 대해서는 염해환경 노출로 인한 대책이 필요하다고 관리기관에서 자체 판단하여 4차년에 걸쳐 염해도장방식을 적용하여 보수하였음. 이를 근거로 에폭시 피복철근을 사용한 교량의 유지관리비는 염해도장에 소요된 비용을 기초하였으며 유지관리 보수 주기는 도장내구수명을 20년으로 가정하여 산출함.
- 사례교량 S교의 경우 1차년도 연구에서 분석한 바와 같이 개통 5년 만에 전체 교각 67개 중 약 30%인 15개소 교각, 8~11년에 14개소 교각, 총 29개 교각에서 염분 침투로 인한 철근 부식 현상이 나타났으며 염해대책 강화를 위해 전기방식 시설을 설치하여 유지관리를 실시함. 교각 1기당 전기방식 공사비 (높이 $h=2.0\text{m}$) 약 1.1억원/기당(약 350만원/㎡)이 소요되었으며 도입시기와 비용은 2005년 이후 2014년까지 32개 교각 2,029백만원이 소요되었음. 이를 근거로 공용 중 유지관리비를 산출하였음.

③ 사례교량 LCC분석 결론

- LCC분석 결과 S교의 유지관리비는 초기공사비 대비 1.87배가 소요되는 것으로 분석되었고 D교의 경우는 초기공사비의 1.02배가 소요되는 것으로 분석됨.

표 3.3 사례교량 LCC분석 결과

구분	초기공사비	보수공사비	LCC
사례교량 S교	3,000,296,319원	5,606,994,097원	8,607,290,416원
사례교량 D교	4,586,930,400원	4,676,452,402원	9,263,382,802원

- 사례교량 S교를 D교의 규모로 환산하여 분석한 결과 D교에 비해 S교의 유지관리비가 1.42배 더 소요되는 것을 확인하였음.
- S교의 경우 2014년까지는 전기방식공법에 의한 보수비용과 내염도장에 소요된 비용을 모두 적용하여 산출하였으며 이후 2100년까지는 전기방식공법에 의한 보수비용만을 고려하여 유지관리비를 산출하였음. 만약 내염도장에 대한 유지관리비를 반영하여 산출하였을 경우 경제적으로 더 큰 차이가 발생하였을 것으로 예측되는 상황임.

(4) 개발 에폭시 피복철근의 경제적 효과 분석

(가) 개발 에폭시 피복철근의 LCC분석

- 개발 에폭시 피복철근의 경제적 효과를 분석하기 위해 일반철근 적용시(원안)와 개발철근 적용시(대안)의 LCC를 산출함.

① 초기공사비 산출

㉠ 분석대상교량 ○○1교 개요

- 상부구조형식 : PSC BEAM
- 기초형식 : 교대 Pile 기초, 교각 MASS기초
- 내진등급 : 1등급
- 경간구성 : 2@25=50.0m
- 설계방법 : 한계상태설계법

㉡ 철근 이음길이 산출

- 한계상태설계법을 기준에 의거하여 철근의 이음 및 정착장을 산출하였으며 구조물 부위별(슬래브, 교대, 교각)로 설계응력, 콘크리트 피복, 철근간격 등을 고려하여 이음길이를 산출하였음.(첨부. 철근의 이음 및 정착장 산출 참고)

㉢ 수량 산출 기준

- 에폭시 피복철근 적용범위는 염해피해를 받은 교량의 손상부위 및 에폭시 피복철근을 사용하여 시공한 사례를 참고하였으며 교각 일부(비말대, 간만대, 확대기초부) 구간에 적용했을 경우, 교각 전체에 적용했을 경우, 교량전체에 에폭시를 적용했을 경우로 구분하여 산출하였음.
- 분석대상교량 ○○1교의 에폭시 피복철근 적용범위는 확대기초 저면부터 H.W.L까지를 기준하였으며 약 6m로 선정하였으며 그에 따른 철근수량(할증수량)을 산출함.
- LCC분석시 에폭시 철근을 적용 범위를 교량전체, 교각일부, 교각전체로 구분하고 그에 따른 철근수량을 산출하여 분석함.
 - 교량 총공사비를 대상으로 분석을 한 경우 : 원안(1), 대안(a), (b), (c)
 - 교각 공사비를 대상으로 분석을 한 경우 : 원안(2), 대안(d), (e)

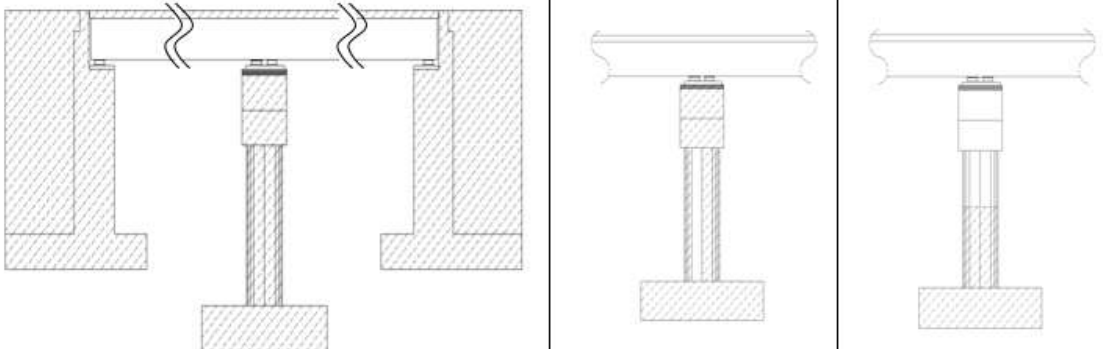
구분	교량공사비를 대상으로 경제성 비교			
	원안(1)	대안(a)	대안(b)	대안(c)
개요도				
개요	상부 및 하부구조 모두 적용		교각에만 적용	교각 일부에만 적용

그림 3.20 원안 및 대안 분석 비교도

- 내염도장 적용범위는 비말대, 간만대 구간을 제외한 해상대기부를 기준으로 산출함.
- 에폭시 피복철근의 가공비는 개발업체에서 제공하는 원가계산을 근거로 적용함.
- 기존 해상교량의 설계현황을 기준하여 본 연구에서는 원안의 초기공사비 산출시 교각부위의 내염도장을 적용하여 산출함.

㉔ 초기공사비 산출 및 분석

- 교량 1개소 기준 초기공사비
 - (a)의 경우는 분석대상교량 전체에 대해 에폭시 피복철근을 적용한 것으로서 원안대비 7.31% 증가함.
 - (b)는 교각부위만을 에폭시 피복철근으로 설계했을 경우로써 원안대비 2.36% 감소함. 이는 교각 전체 에폭시 피복철근 적용에 따른 내염도장 미적용으로 인해 교각 일부적용시보다 더 경제적인 것으로 나타남.
 - (c)는 간만대, 비말대구간의 교각일부에만 에폭시 피복철근을 적용하고 해상대기부 구간에는 내염도장을 한 경우로써 원안대비 1.08% 감소함.

표 3.4 교량 1개소 기준 초기공사비

구분	원안공사비	대안공사비		
	원안(1)	대안(a)	대안(b)	대안(c)
구 조 물 공	1,054,008,563원	1,054,713,047원	1,054,713,047원	1,054,634,194원
철 근 자 재 비	218,641,236원	219,868,474원	218,848,991원	219,726,435원
에 폭 시 가 공 비	0원	147,362,386원	20,360,967원	8,210,997원
내 염 도 장	52,480,579원	0원	0원	28,306,672원
직 접 공 사 비 계	1,325,130,378원	1,421,943,907원	1,293,923,006원	1,310,878,298원
상대지수	1.0000	1.0731	0.97645	0.9892
상대지수 (원안 내염도장제외시)	1.0000	1.1173	1.0167	1.0300

- 또한 일반적으로 콘크리트구조물에 대한 내구성설계는 구조설계의 일부분으로 보고 콘크리트 품질 확보를 위해 콘크리트 품질, 시멘트 종류, 단위 시멘트 량, 물·시멘트비, 피복두께 등을 제한하는 정성적인 방법을 사용하고 있으므로 원안에 적용한 내염도장을 제외한 후 공사비도 비교하였으며 이 경우 원안 대비 대안(a)는 11.73% 증가, 대안(b)는 1.67% 증가, 대안(c)는 3.0%의 증가하는 것으로 분석됨.

• 교각 기준 초기공사비

- (d)는 교각일부에만 에폭시 피복철근을 적용하고 해상대기부인 구간에는 내염도장을 한 경우로써 원안대비 12.34%의 공사비가 감소함.
- (e)는 교각일부에만 에폭시 피복철근을 적용하고 해상대기부 구간에는 내염도장을 한 경우로써 원안대비 6.17% 감소함.
- 표 3.5는 원안의 내염도장을 제외한 공사비로써 대안(d)는 원안대비 10.10%, 대안(e)는 17.85% 증가하는 것으로 분석됨.

표 3.5 교각 기준 초기공사비

구분	원안공사비	대안공사비	
	원안(2)	대안(d)	대안(e)
구 조 물 공	170,809,612원	170,943,945원	170,794,887원
철 근 자 재 비	34,166,500원	34,375,522원	34,253,276원
에 폭 시 가 공 비	0원	20,360,967원	8,210,997원
내 염 도 장	52,480,579원	0원	28,306,672원
직 접 공 사 비 계	257,456,691원	225,680,434원	241,565,832원
상대지수	1.0000	0.8766	0.9383
상대지수 (원안 내염도장제외시)	1.0000	1.1010	1.1785

㉮ 초기공사비 분석 결론

- 에폭시 피복철근을 교각일부에 적용하고 해상대기부 구간에 내염도장을 병행한 경우보다 교각 전체에 에폭시 피복철근을 적용하는 것이 더 경제적인 것으로 분석됨. 이는 에폭시 피복철근 수량 증가로 인한 자재비나 가공비보다 일반철근 사용시 내염도장비용이 더 과다하게 소요되는 것에 기인한 것임.
- 또한 현행 내구성설계방법을 감안하여 일반철근 적용시에 내염도장을 제외하더라도 에폭시 피복철근 적용에 따른 공사비의 증가폭이 크지 않은 것으로 나타남. 기존 해상교량의 시공사례에서와 같이 교각 일부에만 적용했을 경우만을 비교한다면 3%의 증가되는 것으로 분석됨.
- 종합적으로 분석해 본 결과 교각구조물 전체에 에폭시 피복철근을 적용하는 것이 경제적으로 가장 유리한 것으로 판단됨.

② LCC분석

㉮ 상부구조 유지관리비 산출

- 분석대상교량 ○○1교의 상부구조 구성요소별 물량을 산출하여 원안 및 대안의 유지관리비용을 산출하였음.
- 에폭시 피복철근을 적용하더라도 원안대비 상부구조의 형식에는 변화가 없으므로 관련 유지관리비는 원안 및 대안 모두 동일하게 산출되었으며 결과는 표 3.6과 같음.

표 3.6 교량 상부구조구성요소별 유지관리비용

대분류	중분류	소분류	투입물량		비용 (백만원/NPV)
			단위	물량	
교 면 포 장	아 스 팔 트	팻칭, 표면처리, 덧씌우기	m²	1,163.9	62.4
		재포장	m²		615.6
주 형	P S C B E A M	균열, 퍼티	m²	2,383.5	7.3
바 닥 판		균열, 퍼티	m²	321.0	3.7
교 량 받 침	보 수	고무재, 균열, 도장, 받침 콘크리트	ea	40.0	7.3
	교 체	탄성, 포트 등	ea	40.0	124.5
신 축 이 음	보 수	고무재, 균열, 후타 콘크리트	m	53.7	73.2
	교 체	모노셀	m	53.7	152.2
하부유지관리비 합계					1,046.2

㉮ 하부구조 유지관리비 산출

- 기존의 열화단계별 보수공법을 참고하여 내염도장(표면처리)의 보수는 10년 주기, 전기방식은 내구수명을 40년으로 하여 유지관리비용을 산출함. 전기방식의 경우 유지관리에 대한 가용 정보 수준이 낮아 가능한 범위 내에서 비용을 산출함.
- 전기방식비용은 섬진강교 콘크리트 전기방식 시공현황(한국도로공사, 2014년도 실용화소과제 보고서)을 근거로 산출하였음.
- 대안의 경우 에폭시 피복철근을 교각 전체에 시공시 LCC 분석기간 동안 유지관리비용이 발생하지 않는 것으로 하였으며 교각 일부구간 시공시에는 에폭시 피복철근 제외 구간 면적에 대해서 내염도장의 유지관리비용을 산출하였음.

표 3.7 하부구조(교각) 유지관리비용(교각 기준)

구 분		원안	대안		비고
		교각전체 (1),(2)	교각전체 적용시(a),(b)	교각일부 적용시(c),(e)	
보수/보강(교대.교각)		32.9	32.9	32.9	금액단위 : 백만원/NPV
교각 부식	표면처리	380.8	0	114.0	
	전기방식 설치	461.0	0	0	
	양극수선 및 설치	207.3	0	0	
	전기료 및 유지관리	295.4	0	0	
	소계	1344.5	0	114.0	
유지관리비		1,236.7	32.9	146.9	

㉔ LCC분석 결과

- 분석결과 교각구조물만에 에폭시 피복철근을 적용한 경우가 LCC 절감 효과가 높은 것으로 산출되었으며 대안(b)는 35.1%, 대안(d)는 78.9%로 나타남.
- 대안(a),(c),(d),(e)의 경우도 비슷한 수준의 절감 효과가 있는 것으로 산출됨.

교량 총공사비 기준 LCC 결과

(금액단위 : 백만원/NPV)

구 분	원안(1)	대안(a)	대안(b)	대안(c)
초기건설비용	1,325.1	1,421.9	1,293.9	1,310.9
유지관리비 상부	1,046.3	1,046.3	1,046.3	1,046.3
유지관리비 하부	1,236.7	32.9	32.9	146.9
해체폐기비용	175.4	175.4	175.4	175.4
LCC	3,924.2	2,676.5	2,548.5	2,679.5
상대LCC	1.0000	0.6820	0.6494	0.6828
경제성 순위	4	2	1	3

교각 공사비 기준 LCC 결과

(금액단위 : 백만원/NPV)

구 분	원안(2)	대안(d)	대안(e)
초기건설비용	257.5	225.7	241.6
유지관리비 하부	1,377.4	32.9	146.9
LCC	1226.6	258.6	388.5
상대LCC	1.0000	0.2108	0.3167
경제성 순위	3	1	2

주) 해체폐기비용은 상부 바닥판면적 기준으로 산출하므로 제외하였음.

③ 민감도 분석

- 본 연구에서 적용한 LCC 분석방법은 유지보수 주거나 비용 등 LCC 분석시 기초자료의 변동성이나 불확실성을 고려하지 않고 특정한 값을 확정하여 적용하는 확정적 분석방법으로써 적용이 간편하고 분석결과를 직관적으로 인식하기 용이하다는 장점이 있는 반면, 기초자료를 특정함에 따라 불확실성을 처리하지 못한다는 단점이 있음.
- 이에 확정적 분석의 단점을 보완하기 위하여 할인율과 분석기간을 변화시키면 LCC 분석결과의 차이를 분석하였으며 민감도 분석을 통해 개발 에폭시 피복철근의 경제성 절감효과에 대한 신뢰성을 확보하였음.

㉠ 분석기간 민감도 분석

- 분석기간을 100년까지 변화시켜 분석해보았으며 공용수명의 증가시 개발 에폭시 피복철근을 적용하는 것이 유지관리비 측면에서 더욱 유리한 것으로 분석됨.

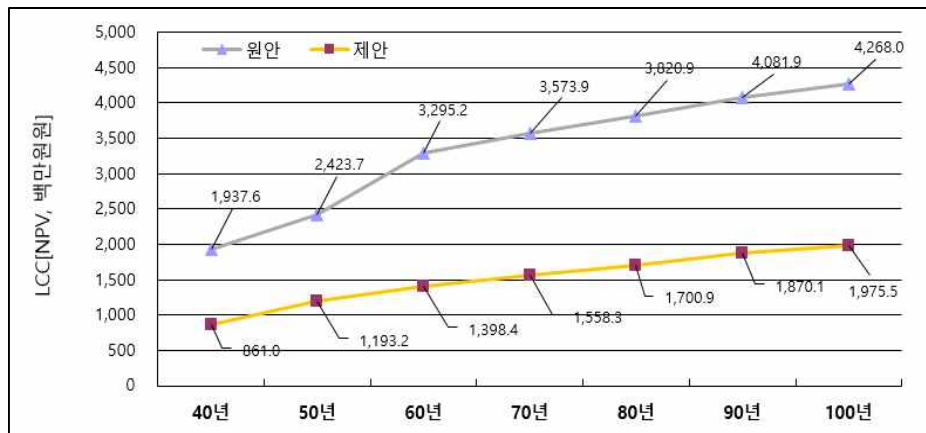


그림 3.21 분석기간 변화에 따른 유지관리비 비교

㉡ 할인율 민감도 분석

- 할인율이 높아질수록 원안과 대안의 유지관리비 차이가 감소하는 것으로 분석되었으나 저금리 등 국내외 적으로 사회적할인율이 낮아지고 있는 추세이므로 높은 할인율로 인해 원안이 대안보다 유리한 경우는 발생하지 않을 것으로 판단됨.

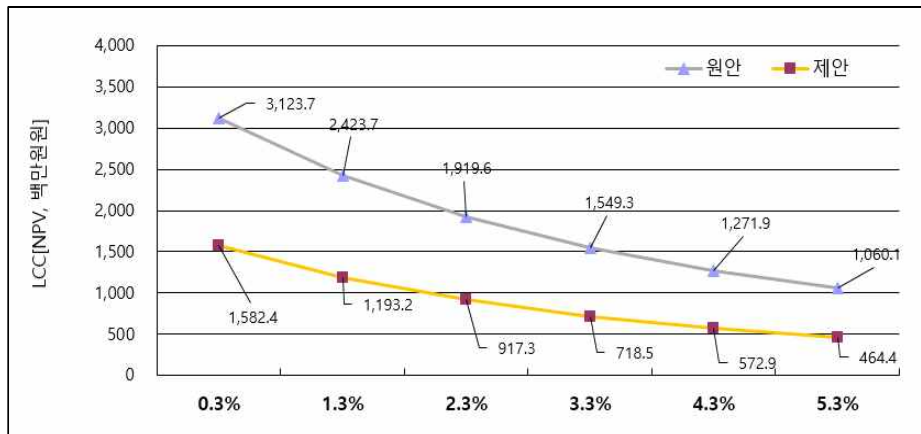


그림 3.22 할인율 변화에 따른 유지관리비 비교

④ LCC분석 결론

- 다양한 경우를 고려하여 개발 에폭시 피복철근의 경제성을 분석한 결과 하부구조물 전체에 적용했을 경우가 가장 경제적으로 우수하였으며 상부구조까지 적용한 경우와 하부구조물 일부에 적용한 경우도 비슷한 수준의 LCC절감 효과를 나타내는 것으로 분석됨.
- 기존 공용중인 해상구조물에서의 유지보수방법인 전기방식(외부전원방식)의 경우 전기적인 방법으로 제어 및 감시가 가능하고 넓은 지역의 방식이 가능하나 정기적인 유지관리로 인해 매년 지속적인 비용이 소요되며 양극에 연결되는 전선의 부식으로 인해 추가적인 보수비용의 발생 소지가 높으며 시공이 까다롭고 시공비가 많이 드는 등 경제적으로 에폭시 피복철근 적용보다 효율적이지 못하며 까다로운 유지관리를 요구하고 있는 것으로 조사되고 있음.
- 향후 SOC구조물의 유지관리에 있어 대응적인 유지관리를 지양하고 설계단계에서부터 에폭시 피복철근을 적극 활용하는 선제적 대응방법을 통해 국가예산절감을 도모해야함.

(나) 개발 에폭시 피복철근 생산에 따른 CO2 산출량 분석

- 개발된 에폭시 피복철근의 제조공정에서 발생하는 탄소배출량 및 유지관리단계에서의 탄소배출량을 산출하여 일반철근 대비 생애주기측면에서의 활용성을 분석해보기로 함.

① 적용 탄소배출계수

- 탄소배출계수는 국가 LCI DB인 탄소배출계수를 적용하였음.(시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인(국토해양부, 2011))

㉞ 원료 및 에너지 생산분야 탄소배출계수

원료물질	명칭	기능단위	배출계수(kgCO ₂ /unit)
기초화학물질	에폭시수지	kg	2.53
휘발유	제조업 및 건설	L	2.13
경유	제조업 및 건설	L	2.60

주) 국가 LCI DB 중 일부 발췌

㉞ 자재 탄소배출계수

자재명	기능 단위	탄소배출량(CO ₂ /unit)				탄소배출량 (kgCO ₂ /unit)
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
고장력이형철근	kg	3.96.E-04	1.15.E-05	3.91.E-07	4.08.E-04	0.41
프라이머	ton	1.83.E-05	5.44.E-07	2.85.E-08	1.89.E-05	0.02

주) 국가 LCI DB 중 일부 발체

② 분석대상교량(○○1교)의 탄소배출량 산출 결과

- 분석대상교량에 투입되는 자재 또는 장비 중 에폭시 피복철근 적용에 따라 차이가 나는 부분을 대상으로 가용 가능한 정보 수준에서 산출함.

㉠ 시공단계 탄소배출량

구분	원안	대안	비고
고장력이형철근(tCO ₂)	140.73	141.43	
에폭시도료(tCO ₂)	—	6.58	
프라이머(tCO ₂)	8.33.E-05	4.49.E-05	
장비	3,286.07	1,772.42	

* 내염도장시 투입되는 장비(모터펌프, 믹서, 발전기, 공기압축기, 트럭탑재형 크레인)를 기준함.

㉡ 운용단계 탄소배출량

구분	원안	대안	비고
프라이머(tCO ₂)	4.17.E-04	2.25.E-05	
장비	16,430.36	8,862.11	

㉢ LCCO₂(Life Cycle CO₂)

구분	원안	대안	비고
시공단계	3,426.81	1,920.44	0.5604(44.0% 감소)
운용단계	16,430.36	8,862.11	0.5394(46.1% 감소)
합계(LCCO ₂)	19,857.17	10,782.55	0.5430(45.7% 감소)

③ 탄소배출에 따른 경제적 · 환경적 가치 분석결론

- 분석대상교량 ○○1교를 일반철근으로 설계했을 경우(원안)와 에폭시 피복철근으로 설계했을 경우(대안)로 구분하고 각각의 경우에 대하여 시공단계 및 운용단계에서 발생하는 탄소배출량을 산출하였으며 결과는 다음과 같음.

(단위:tCO₂)

구분	원안	대안	상대지수
시공단계	3,426.81	1,920.44	0.5604(44.0% 감소)
운용단계	16,430.36	8,862.11	0.5394(46.1% 감소)
합계(LCCO ₂)	19,857.17	10,782.55	0.5430(45.7% 감소)

- 대안이 원안에 비해 LCCO₂(Life Cycle CO₂, 전 생애주기 환경부하(이산화탄소 배출량))가 45.7% 감소하는 것으로 분석됨.
- 원안으로 내구성 설계시 초기에 내염도장을 적용하지 않을 경우에도 34.9%의 탄소배출량이 감소하는 것으로 분석됨.
- 이는 운용단계에서의 대안 표면보수 면적이 원안 대비 53.9% 수준이기 때문임.
- 산출된 탄소배출량을 바탕으로 경제적·환경적 가치로 환산함.

구분	원안	대안	비고
경제적 효과	543,450,941원	295,096,776원	KRX 배출권시장('18.8 ~'19.8) 평균가격 적용
식재 효과	142,177그루	77,203그루	주요 산림수종의 표준 탄소흡수량(국립산림과학원. 2013.11) 소나무(평균) 그루 수 적용

- 위의 산출결과에는 전기방식설치에 대한 탄소배출량 산출이 제외된 것으로써 외부전원에 의해 방식전류를 흘려주는 전기방식은 공용 중 지속적인 에너지소비가 발생하므로 전기방식설치 및 운용시의 탄소배출량을 고려한다면 원안이 환경적으로 매우 불리한 것으로 판단됨.
- 따라서 구조물의 생애주기적인 측면에서 에폭시 피복철근을 사용하는 것이 환경적으로 효과적이라 할 수 있음.

라. 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 작성

(1) 에폭시 피복철근에 관한 제조·설계·시공 기준 비교·분석

(가) 각국의 산업규격 비교·분석 (제조 및 품질)

구 분		• KS D3629-1995 (2005 확인)	ASTM A775-07b (2014 재승인)	ISO 14654-1999 / British Standard	비 고
종류	항목	에폭시 피복 철근 (Fusion bonded epoxy coated reinforcing steel bars)	Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars	Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete	
품질 & 시험 & 검사	겉모양	• 도막 면이 균일하여야 하고 육안으로 식별되는 구멍, 기포, 갈라짐, 미 도막 면이 없어야 함.	-	-	
	피복 두께	• 도막두께는 180±50μm • 손상된 피복의 수리 부위는 도막두께의 한계를 적용하지 않음. • 도막두께시험은 비금속 피복용 비파괴 두께 측정기 사용 • 도막두께는 피복철근의 마디와 마디 사이, 리브와 리브 중앙의 평면 부분을 철근 축 방향으로 양단 20cm를 제외하고 일정한 간격(약 50cm 간격)으로 15회 이상 측정	• 도막두께는 175~300μm (Nos. 10~16), 175~400μm (Nos. 19~57) • 손상된 피복의 수리 부위는 도막두께의 한계를 적용하지 않음. • 도막두께시험은 SSPC-PA 2에 의함. • 하나의 도막두께 측정값 (measurement)은 3개의 게이지 값 (reading)의 평균치 임. 피복철근마다 최소 5점 (최소 10개소) 측정값 을 얻어야 함. • 측정값의 평균 은 도막두께의 최소치~최대치 여야 함. 하나의 도막두께 측정값은 최소치의 80% 보다 작거나 최대치의 120% 보다 커서는 안 됨. • 도막두께는 매 2시간 에 각 철근 종류에 대하여 최소 2개의 철근을 시험하여야 함	• 도막두께는 170~300μm • 도막두께시험은 Method No.6 ISO 2808 :1997에 의함. • 하나의 도막두께 측정값 (measurement)은 3개의 게이지 값 (reading)의 평균치 임. 피복철근마다 최소 5점 (최소 10개소) 측정값 을 얻어야 함. • 모든 측정값의 95% 이상이 도막두께 범위에 있어야 함. 도막두께가 130μm 이하일 경우 거절 사유가 됨. • 도막두께시험은 매 시간 철근 종류에 대해 최소 2개의 철근 을 수행하여야 함.	• 도막두께에 따른 구조성능 및 내구성능 차이 분석 • ASTM과 ISO 규격 유사 • ASTM과 ISO 규격 동일
	핀홀 (피복 연속성)	• 핀홀의 빈도는 미터(m)당 5개 이하 여야 함. (~5개) • 핀홀시험은 DC 핀 홀 탐지기를 사용하여 67.5V 전압을 걸어 핀홀 검사	• 핀홀(holiday)은 미터(m)당 3개 를 초과해서는 안됨. (~3개) • 핀홀시험은 67.5V, 80,000 Ω , 습식 스폰지 타입 직류 핀홀 검출기 또는 자동화된 핀홀 카운팅 시스템 방식으로 핀홀 검사 • 피복연속성은 랜덤하게 시험	• 핀홀(holiday)은 미터(m)당 4개 를 초과해서는 안됨. (~4개) • 핀홀시험은 67.5V, 80,000 Ω , 습식 스폰지 타입 직류 핀홀 검출기 또는 자동화된 핀홀 카운팅 시스템 방식으로 핀홀 검사	• ASTM과 ISO가 KS보다 더욱 엄격 • 핀홀은 시험기로 감지되는 작은 구멍

구 분		• KS D3629-1995 (2005 확 인)	ASTM A775-07b (2014 재승 인)	ISO 14654-1999 / British Standard	비 고																																																																																		
종류	항목	에폭시 피복 철근 (Fusion bonded epoxy coated reinforcing steel bars)	Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars	Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete																																																																																			
품질 & 시험 & 검사	굽힘성 (가공 성)	• 피복철근의 굽힘성은 구부러진 철근의 바깥면에 갈라짐이나 벗겨짐이 없어야 함. • 피복철근의 굽힘성은 표 4.1에 규정된 축을 사용하고 이형 철근의 리브를 상·하 방향으로 하여 90초 이내에 120도 (SD50-FBE는 90도) 구부러서 시험 표 4.1 굽힘시험 요구사항 <table><tr><th>호칭 지름</th><th>축지름 mm</th><th>호칭지 름</th><th>축지름 mm</th></tr><tr><td>D6</td><td>100</td><td>D29</td><td>230</td></tr><tr><td>D10</td><td>100</td><td>D32</td><td>250</td></tr><tr><td>D13</td><td>125</td><td>D35</td><td>280</td></tr><tr><td>D16</td><td>130</td><td>D38</td><td>350</td></tr><tr><td>D19</td><td>150</td><td>D41</td><td>400</td></tr><tr><td>D22</td><td>170</td><td>D51</td><td>580</td></tr><tr><td>D25</td><td>200</td><td></td><td></td></tr></table>	호칭 지름	축지름 mm	호칭지 름	축지름 mm	D6	100	D29	230	D10	100	D32	250	D13	125	D35	280	D16	130	D38	350	D19	150	D41	400	D22	170	D51	580	D25	200			• 굽힘 시험에서 피복철근은 균열이나 박리가 발생하지 않아야 함. • 피복철근의 굽힘성은 표 4.2에 의거하여 실험하고 굽혀진 부위를 검사. 이때 리브는 굴대반경의 수직으로 배치 • 실험체 온도는 20도~30도로 시험 표 4.2 Bending Test Requirements <table><tr><th colspan="2">A615M, A706M or A996M</th><th rowspan="2">Bend Angle (After Rebound, degrees)</th><th rowspan="2">Time to Completi on max, s</th></tr><tr><th>Bar No.</th><th>Mandrel Diameter, mm[†]</th></tr><tr><td>10</td><td>75</td><td>180</td><td>15</td></tr><tr><td>13</td><td>100</td><td>180</td><td>15</td></tr><tr><td>16</td><td>125</td><td>180</td><td>15</td></tr><tr><td>19</td><td>150</td><td>180</td><td>15</td></tr><tr><td>22</td><td>175</td><td>180</td><td>45</td></tr><tr><td>25</td><td>200</td><td>180</td><td>45</td></tr><tr><td>29</td><td>230</td><td>180</td><td>45</td></tr><tr><td>32</td><td>250</td><td>180</td><td>45</td></tr><tr><td>36</td><td>280</td><td>180</td><td>45</td></tr><tr><td>43</td><td>430</td><td>90</td><td>45</td></tr><tr><td>57</td><td>580</td><td>90</td><td>45</td></tr></table> • Table 1은 현장상황에 적합하지 않음. 현장에서는 Table 1보다 더 작은 직경의 굴대를 사용함. 그래서 실균열(hair cracking)이 발생하는지를 면밀히 검사하여야 함. 만약 균열이 발생할 경우 패칭재(patching material)로 보수하여야 함.	A615M, A706M or A996M		Bend Angle (After Rebound, degrees)	Time to Completi on max, s	Bar No.	Mandrel Diameter, mm [†]	10	75	180	15	13	100	180	15	16	125	180	15	19	150	180	15	22	175	180	45	25	200	180	45	29	230	180	45	32	250	180	45	36	280	180	45	43	430	90	45	57	580	90	45	• 구부러진 철근의 바깥 면에 균열이 발생하지 않아야 함. • 36mm 이하 직경에 대해서는 180도 굽힘 그리고 36mm 초과 직경에 대해서는 90도 굽힘 • 20mm 이하 직경에 대해서는 4d 직경의 굴대 (Mandrel) 그리고 20mm 초과 직경에 대해서는 6d 직경의 굴대 사용 • 굽힘성 시험의 속도는 일정하여야 하고 최소 8rad/min ($\pi rad/23.5sec, \frac{\pi}{2} rad/11.8sec$) • 리브는 굴대반경의 수직으로 배치 • 시험체의 온도는 23도±5도	• 굽힘각도에 대하여, ISO와 ASTM 규격 동일하고 KS 보다 엄격 • 굴대의 직경은 ISO가 가장 엄격
	호칭 지름	축지름 mm	호칭지 름	축지름 mm																																																																																			
D6	100	D29	230																																																																																				
D10	100	D32	250																																																																																				
D13	125	D35	280																																																																																				
D16	130	D38	350																																																																																				
D19	150	D41	400																																																																																				
D22	170	D51	580																																																																																				
D25	200																																																																																						
A615M, A706M or A996M		Bend Angle (After Rebound, degrees)	Time to Completi on max, s																																																																																				
Bar No.	Mandrel Diameter, mm [†]																																																																																						
10	75	180	15																																																																																				
13	100	180	15																																																																																				
16	125	180	15																																																																																				
19	150	180	15																																																																																				
22	175	180	45																																																																																				
25	200	180	45																																																																																				
29	230	180	45																																																																																				
32	250	180	45																																																																																				
36	280	180	45																																																																																				
43	430	90	45																																																																																				
57	580	90	45																																																																																				
	재검사 (피복 두께 및 굽 힘성)	• 피복두께 검사 및 굽힘성 검사에서 합격하지 못한 피복 철근은 다시 2개를 샘플링하여 검사하고 2개가 모두 합격하였을 때는 그 로트를 합격으로 함	• 코팅두께 또는 굽힘성에 대한 요구조건을 충족하지 못할 경우, 각각 실패한 시험에 대해 임의의 샘플로 2번 재시험하여야 함. 만약 2번의 재시험이 모두 요구조건을 충족할 경우 그 피복철근은 승인된 것으로 간주함	• 코팅두께 또는 굽힘성에 대한 요구조건을 충족하지 못할 경우, 각각 실패한 시험에 대해 임의의 샘플로 2번 재시험하여야 함. 만약 2번의 재시험이 모두 요구조건을 충족할 경우 그 피복철근은 승인된 것으로 간주함	• KS, ASTM, ISO 모두 동일																																																																																		

구 분		•KS D3629-1995(2005 확 인)	ASTM A775-07b(2014 재승 인)	ISO 14654-1999 / British Standard	비 고										
종류	항목	에폭시 피복 철근 (Fusion bonded epoxy coated reinforcing steel bars)	Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars	Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete											
제조 방법	예열 및 피복	• 전처리 이후 8시간이 지난 뒤에 피복 작업을 해서는 안됨. • 인덕션 히터에 의해 예열. 예열온도는 피복면이 완전히 경화될 수 있는 온도 • 과열에 의한 청록산화 발생 방지 • 에폭시 수지 분체 도료를 정전 스프레이 방법에 의해 예열된 철근에 피복	• 전처리된 철근은 표면산화가 일어나기 전 피복하여야 함. 전처리 이후 3시간이 지난 뒤에 피복 작업을 해서는 안됨. • 에폭시 피복은 철근의 온도범위 및 냉각에 대하여 제조자의 서면을 따라야 함. 피복 바로 직전 철근 온도는 적외선 건 (gun) 또는/그리고 온도측정 크레용 (crayons)을 이용해 30분당 최소 한번 측정 • 분체코팅은 전기 스프레이 또는 다른 적절한 방법을 적용하여야 함.	• 전처리 철근은 표면처리가 완료된 후 가능한 바로 피복하여야 함. 상대적인 습도에 따라 다음의 시간이 지난 뒤에 피복 작업을 해서는 안됨. <table><tr><th>Relative Humidity (RH)</th><th>Maximum time (min)</th></tr><tr><td>RH≤ 55%</td><td>180</td></tr><tr><td>55% < RH ≤ 65%</td><td>90</td></tr><tr><td>65% < RH ≤ 75%</td><td>60</td></tr><tr><td>75% < RH ≤85%</td><td>30</td></tr></table> • 상대습도가 85% 를 초과할 경우 표면처리, 가열 그리고 코팅작업이 지속적으로 진행되는 경우를 제외하고는 중단하여야 함 • 피복 바로 직전 철근 온도는 적외선 건 (gun) 또는 온도측정 크레용 (crayons)을 이용해 30분당 최소 한번 측정	Relative Humidity (RH)	Maximum time (min)	RH≤ 55%	180	55% < RH ≤ 65%	90	65% < RH ≤ 75%	60	75% < RH ≤85%	30	• 엄격도: ISO > ASTM > KS
	Relative Humidity (RH)	Maximum time (min)													
RH≤ 55%	180														
55% < RH ≤ 65%	90														
65% < RH ≤ 75%	60														
75% < RH ≤85%	30														
손상된 도막의 보수	• 철근 0.3m당 최대 표면적 1%를 초과하면 안됨. • 손상된 도막 및 절단 부위는 보수도료를 이용 도장 • 도막의 부착성 결함이 있을 경우 떨어진 도막을 제거하고 깨끗이 처리한 후 보수재료로 도장 다만, 가는 갈라짐만 있으면 보수할 필요가 없음.	• 파손된 코팅의 수리는 각각 0.3m의 철근의 전체 넓이의 1%를 초과하지 않아야 함 • 제작간 또는 수송간 발생한 훼손들은 Annex A2에 준하여 코팅패칭재(보수에폭시코팅재)로 수리 • 수리부위의 최소 코팅두께는 175 μm • 제작과정에서 피복철근을 자를 경우, 자른 부위는 패칭재 (patching material)로 보수. 피복철근은 화염절단 (flame cut)하여서는 안됨.	• 코팅의 손상은 밀봉재 (sealing material)에 의해 보수되어야 함. 녹이 있을 경우 이를 제거한 후 보수하여야 함 • 손상된 도막 및 절단 부위는 보수도료를 이용 도장 • 피복철근은 1미터 길이 당 손상된 표면의 면적이 0.5%를 초과해서는 안됨. 제작과정에서 피복철근을 절단할 경우 보수하여야 하고 보수된 부분의 코팅두께는 180μm 이상이어야 함.	• ASTM의 코팅패칭재 규격이 KS에 비해 엄격											

(나) 구조설계를 위한 규격 및 기준 비교·분석 (설계)

① 에폭시 피복철근-콘크리트 부착력에 관한 산업규격

구 분	• KS D3629-1995 (2005 확인)	ASTM A775-07b (2014 재승인)	비 고
	에폭시 피복 철근 (Fusion bonded epoxy coated reinforcing steel bars)	Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars	
콘크리트에 대한 부착력	• D19 일반철근과 D19 에폭시 피복철근 • 콘크리트 28일 압축강도는 $300 \pm 30 \text{ kgf/cm}^2$ • KSD3629의 부속서 1에 따라 시험 • 피복철근의 부착력은 피복되지 않은 철근의 80%이상	• 각각 3-6개의 D19 일반철근과 D19 에폭시 피복철근 • Test Method A944에 의하여 시험 • 피복철근의 부착력은 피복되지 않은 철근의 85%이상	• 부착강도 • ASTM에서는 에폭시도막철근 부착력을 85%로 정의

② 에폭시 피복철근 관련 설계기준

구 분	KCI 2012 / ACI 2012	비 고
인장이형철근의 정착	• 도막되지 않은 철근의 도막계수는 1.0 • 피복두께가 $3d_b$ 미만 또는 순간격이 $6d_b$ 미만인 에폭시 도막철근의 도막계수는 1.5 • 이외의 기타 에폭시 도막철근의 도막계수는 1.2 • 에폭시 도막철근이 상부철근인 경우에 상부철근의 위치계수(1.3)와 철근 도막계수(1.2 or 1.5)의 곱이 1.7보다 클 필요가 없음	• 도막계수 1.5는 부착력 67% 수준, 도막계수 1.2는 부착력 83% 수준
압축부재의 횡철근 (나선철근)	• 이형 나선철근의 이음은 $48d_b$ 이상과 최소 300mm의 겹침이음 • 에폭시 도막 이형철근의 이음은 $72d_b$ 이상과 최소 300mm의 겹침이음	• 에폭시 도막철근의 겹침이음은 일반철근에 비해 1.5배 ($72/48$)

③ 각국의 산업규격 비교·분석 (시공)

(2) 에폭시 피복철근의 제조공정, 설계가이드, 시공 특이사항 개선방안 검토

(가) 제조규격 개선방안

① 에폭시 피복철근의 도막두께

- 규격현황: 에폭시 피복철근의 도막두께에 대하여, KS는 $130 \sim 230 \mu\text{m}$, ASTM은 $175 \sim 300 \mu\text{m}$ ($10 \sim 16 \text{ mm}$)과 $175 \sim 400 \mu\text{m}$ ($19 \sim 57 \text{ mm}$), ISO는 $170 \sim 300 \mu\text{m}$ 로 규정. 현행 KS 규정은 개정전 ASTM 규정과 동일함.
- 연구고찰: 도막두께가 증가할수록 내구성과 내충격성이 증가하고 부착강도는 감소함.
- 개선방안:
 - ㉠ 염수분무시험, 음극도막박리시험, 내충격성시험을 통하여 도막두께가 작을수록 부식 발생률이 높고 충격에 약하다는 연구 결과를 반영하여, KS의 도막두께 규격을 상향 조정할 필요가 있음.
 - ㉡ 도막이 너무 얇거나 두꺼울 경우, 휨가공시 균열 발생 가능성이 높다는 연구 결과를 반영하여, KS의 도막두께 규격을 ISO의 규격과 동일하게 $170 \sim 300 \mu\text{m}$ 로 조정할 것을 제안.

구 분	한국콘크리트학회 1994	일본토목학회 2003	ASTM A775-07b(2014 재승인)	ISO 14654-1999 / British Standard
	에폭시도막 철근콘크리트의 설계 및 시공지침	에폭시수지 도장철근을 이용하는 철근콘크리트의 설계 시공지침	Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars	Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete
운반 및 저장	• 에폭시 철근의 마찰 손상이 없도록 완충재를 이용 • 운반시 에폭시 철근의 변형이 발생하지 않도록 2군데 또는 3군데를 메달고 와이어로프가 직접 에폭시 피복철근에 닿는 것을 방지하기 위해 손상을 입히지 않는 재료 (나일론 줄 등) 사용 • 옥외보관시 시트를 덮고 쌓는 단수가 5단 이하가 되도록 함.		• 철근의 접촉부에는 완충재를 부착 • 도장철근간의 마찰을 방지하기 위해서 처짐이 발생하지 않는 방법으로 묶고 철근 또는 결속물을 떨어뜨리거나 끌어서는 안됨. • 2개월 이상 옥외 보관할 경우는 반투명 폴리에스테르 시트로 덮고 포장한 철근의 주위는 공기가 잘 통하도록 함. • 철근 또는 철근 묶음은 지면으로부터 띄워서 적재	
가공	• 커터 절단 충격이 철근에 전달되지 않도록 완충재를 이용. • 절단 단면은 보수재료로 보수 • 5℃이상에서 가공.		• 현장에서 가공은 추천하지 않음(ISO) • 피복철근은 가스 절단하지 않음(ASTM) • 절단 단면은 보수재료로 보수 • 5℃이상에서 가공.	
조립	• 철근은 던지거나, 끌지 말 것 • 철근 상호 마찰이 없도록 비닐코팅철선을 이용하여 조립하는 것이 바람직하고 조립한 철근은 사다리 대신 사용할 경우 손상을 입을 수 있음. • 조립 검사 하고, 손상부는 보수도로로 보수 • 조립후 3개월 이상 직사광선에 노출되었을 경우 도막의 황가공성 저하될 수 있음.		• 조립에 있어서 생기는 손상은 모두 보수도로로 보수하여야 함. • 지지강재, 스페이서, 결속선은 에폭시 도장한 것을 사용 • 배근 후 도장철근 위는 걷지 않아야 함 • 배근 위를 이동하는 작업은 철근에 손상이 가지 않도록 계획하여야 함 • 콘크리트 타설 전에 도막의 손상을 검사하여야 함	
보수	• 운반, 가공, 조립에 따라 생기는 모든 도막의 손상은 보수도로를 이용하여 보수하여야 함. • 보수도막 두께는 200μm~300μm 정도		• 운반, 가공, 조립에 따라 생기는 모든 도막의 손상은 보수도로를 이용하여 보수하여야 함. • 보수도막 두께는 175μm 이상 (ASTM), 180μm 이상 (ISO)	
콘크리트 다짐	• 밀실한 콘크리트가 되도록 내부 진동기를 사용하는 것이 바람직 • 내부진동기의 재질은 우레탄 등의 에폭시 피복철근에 손상을 주지 않는 것으로 제작하는 것이 바람직		• 진동기의 재질은 고무 또는 비금속 헤드를 장착한 것을 사용하여야 함.	

② 에폭시 피복철근의 굽힘성능

- 규격현황: KS는 90초 이내에 120도 굽힘 시험으로, ASTM과 ISO에 비하여 너무 완화된 규격임. ISO가 대체적으로 굽힘각도, 굽힘속도, 굴대직경 등에 있어 가장 엄격함. ISO 규격에서, 굽힘 각도 및 속도는 36mm 이하 피복철근에 대하여 180도/23.5초 그리고 36mm 초과 피복철근에 대하여 90도/11.8초이고 시험굴대(Mandrel)의 직경은 20mm 이하 피복철근에 대하여 4d 그리고 20mm 초과 피복철근에 대해서는 6d 굴대를 사용함.
- 개선방안:
 - ㉠ 피복철근의 굽힘 시험은 가급적 현장상황에 적합하게 실시되어야 함. 이런 관점에서 KS의 굽힘각도, 굽힘속도, 시험굴대직경은 현장상황과 너무 동떨어져 있고 ASTM과 ISO에 비하여 너무 완화된 규격임.
 - ㉡ ISO가 현장상황에 가장 부합되는 규격이라 판단되고 가장 엄격한 규격으로서, KS의 굽힘 시험 규격을 ISO 규격과 동일하게 조정할 것을 제안 함.

③ 핀홀(피복의 연속성)

- 규격현황: 핀홀(holiday)은 육안으로 식별할 수 없고 시험기로만 감지되는 작은 결점으로, 각 규격은 미터(m)당 핀홀 최대 개수를 5개(KS), 3개(ASTM), 4개(ISO)로 제한하고 있음.
- 연구고찰: 아주 미세한 도막의 결점은 에폭시 피복철근의 내구성능에 크게 영향을 미치지 않음.
- 개선방안:
 - ① 미터당 핀홀에 대한 규격에서 엄격성이 ASTM > ISO > KS 순임.
 - ② KS 규격의 현행 유지 또는 ISO 규격과 동일하게 조정할 것을 제안 함.

④ 도막두께 및 굽힘성의 시험 빈도

- 규격현황: KS는 시험 빈도에 대한 규격이 별도로 없음. 건설공사 품질관리 업무지침 (2015)에 제품 규격별 50톤마다 피복두께와 굽힘성 등의 시험을 수행하도록 함. ISO와 ASTM은 시간당 철근 개수로 규정하고 있는데 ISO의 시험빈도가 ASTM에 비하여 더욱 엄격 함.
- 개선방안: 에폭시 피복철근의 품질관리를 위하여 KS에 도막두께 및 굽힘성에 관한 시험 빈도를 명확히 기술하여 함.

⑤ 에폭시 피복철근의 전처리공정

- 규격현황: 전처리공정에서 앵커패턴은 콘크리트와의 부착력을 증진시키기 위한 피복철근의 요철임. 앵커패턴에 있어 KS는 0.05-0.10mm, ASTM은 0.04-0.10mm, ISO는 0.05-0.07mm로 규정. 이외에 ASTM과 ISO는 전처리공정에서 샌드블라스팅(Sand Blasting) 공정을 보완하여 숏트 처리 후 철근의 부착된 잔여물질을 제거하여 에폭시의 부착력을 강화시킴.
- 개선방안: 피복철근의 앵커패턴의 효과를 추가로 분석하고 샌드블라스팅 공정을 전처리 공정에 포함시켜 KS를 보완할 필요가 있음.

⑥ 에폭시 피복철근 피복공정

- 규격현황: 전처리된 철근은 표면산화가 일어나기 전에 피복하여야 함. 전처리 이후 피복까지의 시간을 KS는 8시간, ASTM은 3시간, ISO는 상대습도에 따라 0.5-3시간으로 제한하고 있음.
- 개선방안: 전처리에서 피복까지의 시간을 8시간으로 제한하는 KS는 ASTM과 ISO에 비하여 너무 완화된 규격임. ASTM 또는 ISO를 참고하여 개정할 필요가 있음.

(나) 설계기준 개선방안

① 에폭시 피복철근과 콘크리트의 부착력

- 기준현황: KS는 피복철근의 부착력을 피복되지 않은 철근의 80% 이상으로 규정한 반면 ASTM과 JSCE는 85%로 규정하고 있음.
- 개선방안:
 - ① KCI와 ACI 설계기준에서 에폭시 피복철근은 1.5(피복두께 $3d_b$, 순간격 $6d_b$ 미만) 또는 1.2(피복두께 $3d_b$, 순간격 $6d_b$ 이상)의 도막계수를 적용 함.
 - ② 이것은 에폭시 피복철근의 부착력을 일반 철근의 부착력의 각각 67%(도막계수 1.5 적용시), 83%(도막계수 1.2 적용시) 정도로 평가하는 것임.
 - ③ KCI 설계기준에서 규정하는 83%는 KS 규격에서 규정하는 80%를 상회하는 수치임. 실제 산업규격에서 검증하는 성능 이상을 설계기준에서 적용하는 것은 구조물의 안전성에 문제를 야기할 수 있음. 에폭시 피복철근 활용에 대한 신뢰성 확보를 위하여, 80% 부착력 규격(KS)을 85% 부착력 규격 (ASTM, JSCE) 수준으로 상향시킬 필요가 있음.

(다) 시공기준 개선방안

① 에폭시 피복철근의 시공

- 기준현황: 에폭시 피복철근의 시공에 관한 KCI 지침, JSCE 지침, ASTM 규격, ISO 규격의 내용은 매우 유사함. 이들 지침과 규격에서는 모두 에폭시 피복철근의 운반, 저장, 가공, 조립, 콘크리트 다짐에서 에폭시 도막의 손상을 최소화하기 위한 것임.
- 연구고찰:
 - ① 철근 하나의 손상 면적이 동일하더라도 각각의 손상부위 크기에 따라 피복철근의 부식정도가 현저히 다름.
 - ② 이러한 손상은 주로 운반과정에서의 부주위로 발생
 - ③ 용접에 의한 손상은 거의 전 면적에 걸쳐 부식을 야기함.
- 개선방안: 현행 KCI 지침은 JSCE 지침을 주로 참고하여 작성한 것임. 여기에 ASTM과 ISO 규격을 참고할 필요가 있음.

(3) 에폭시 피복철근의 제조공정 검토 및 분석

(가) 에폭시 피복철근의 제조공정규격 분석

- KS D 3629-1995
- ASTM A775-17
- ISO 14654-1999 / British Standard
- JSCE-2005

(나) 에폭시 피복철근의 제조규격 제시

① 적용 범위

- ㉓ 이 지침은 철근 콘크리트 보강용 이형 철근을 정전 스프레이 방법에 의해 피복한 에폭시 피복 철근에 대하여 규정한 것임.
- ㉔ 이 지침이 KS D 3629와 상충될 경우 KS D 3629의 규정을 우선 적용하여야 함.

② 표준 참조

- KS D 3629 에폭시 피복 철근
- KS D 3504 철근 콘크리트용 봉강
- KS M 6070 분체 도료
- ISO 14654 Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete
- ASEM A775 Standard specification for epoxy-coated steel reinforcing bars
- JSCE Standard specifications for concrete structures

③ 용어 및 정의

- 피복철근(coated bar) 에폭시를 응착에 의한 방법으로 피복 (fusion-bonded epoxy coating)한 철근
- 배치(batch) 에폭시 분체의 생산 단위
- 보수재(sealing material or patching material) 에폭시 피복의 손상과 절단면의 보수를 위하여 사용하는 에폭시 피복재료
- 밀스케일(mill scale) 강재를 열간 압연할 때 표면에 생기는 산화물 층
- 앵커패턴(anchor patten) 에폭시 피복이 접착력을 갖도록 철근 표면에 주는 요철
- 프로필 미터(profilometer) 평면의 굴곡이나 평평한 정도를 측정하는 계측기
- 핀홀(holiday) 육안으로 식별할 수 없고 핀홀 시험기로 측정되는 작은 구멍

(다) 종류 및 기호

에폭시 피복 철근의 종류 및 기호는 표 4.3에 따르도록 함.

표 4.3 종류 및 기호

종류	기호
에폭시 피복 철근	SD30A - FBE
	SD30B - FBE
	SD35 - FBE
	SD40 - FBE
	SD50 - FBE

- 비고: 기호 FBE는 KS D 3504의 이형 철근 기호 뒤에 FBE(Fusion bonded epoxy)의 뜻.

(라) 재료

① 철근

- ㉠ 피복 철근에 사용하는 철근은 KS D 3504의 이형 철근에 따른다. 다만, 그 이외의 철근을 필요로 할 때는 인수·인도 당사자 사이의 협정에 따름.
- ㉡ 피복 철근에 사용하는 철근은 오일, 유분, 페인트 등의 불순물을 함유하지 않아야하고 마디 및 리브의 날카로운 모서리, 파쇄 조각 등의 결함이 없어야 함.

나) 에폭시 분체

- ㉠ 피복 철근에 사용하는 에폭시 분체의 품질은 KS D 3629에 따름.
- ㉡ 제조자는 구매자에게 제공된 에폭시 분체가 주문한 에폭시 분체와 동일하고 에폭시 분체의 품질 규정에 적합한 것임을 확인하는 증명서를 제공.
- ㉢ 구매자가 요청할 경우, 제조자는 각 배치에서 0.2kg의 에폭시 분체 샘플을 기밀용기에 포장하여 구매자에게 제공.
- ㉣ 에폭시 분체는 유통기한 전에 사용하여야 하고 사용 전까지 제조자가 명시한 환경조건에서 저장.

다) 보수 재료

- ㉠ 에폭시 피복 보수 재료는 재조, 조립, 시공 현장에서 손상된 피복을 보수하는데 적합하여야 함.

3.5) 제조 방법

가) 전처리

- ㉠ 철근 외면에 부착되어 있는 밀스케일, 녹, 기타 이물질은 슷 또는 그릿에 의해 제거되어야 함.
- ㉡ 철근의 표면은 깨끗해야 하고 변색부 등의 이상부위 면적이 총 표면적의 5% 이내여야 한다. 만약 5%를 초과할 경우 생산라인을 점검하고 재시험하여야 함.
- ㉢ 블라스트 후의 상태는 전반적으로 회백색의 금속표면이 나타나야 하고, 피복이 충분한 접착력을 갖도록 앵커패턴을 0.05~0.10mm로 하여야 함.

나) 예열

- ㉠ 전처리된 철근을 인덕션 히터에 의해 예열한다. 이때 예열온도는 피복면이 완전히 경화될 수 있는 온도이어야 하며, 과열에 의한 청록산화가 발생하지 않도록 함.
- ㉡ 에폭시 피복 바로 직전 철근의 온도는 최소 30분당 1회 측정하여야 함.

다) 피복

- ㉠ 에폭시 분체 도료를 정전 스프레이 방법에 의해 예열된 철근에 피복 함.
- ㉡ 전처리된 철근은 표면산화가 일어나기 전에 에폭시 피복을 하여야 한다. 전처리에서 피복까지의 최대시간은 상대습도에 따라 다름.

표 4.4 표면처리와 피복사이의 최대시간

상대습도(RH)	최대시간(min)
$RH \leq 55\%$	180
$55\% < RH \leq 65\%$	90
$65\% < RH \leq 75\%$	60
$75\% < RH \leq 85\%$	30

- ㉠ 상대습도가 85%를 초과할 경우, 표면 전처리, 예열, 에폭시 피복작업이 진행 중인 경우를 제외하고는 에폭시 피복을 중지하여야 함.
- ㉡ 에폭시 피복은 완전 경화되어야 하고 완전 경화 이후 냉각시켜야 함.

(바) 품질

① 피복 두께

- ㉠ 에폭시 피복두께는 경화 후 170-300 μ m이어야 함.
- ㉡ 에폭시 피복 두께 측정값의 95% 이상이 피복두께 허용 범위에 있어야 한다. 피복두께가 130 μ m 이하일 경우 주문자는 이 제품을 거절할 수 있다.
- ㉢ 피복두께 시험은 부속서 1에 따른다.
- ㉣ 피복두께 시험은 각 철근 종류에 대해 매 시간 최소 2개의 피복 철근을 시험하여야 한다.
- ㉤ 피복두께 검사에서 합격하지 못한 피복 철근은 다시 2개를 샘플링하여 검사하고 2개가 모두 합격하였을 때는 이를 합격으로 판정한다.

② 피복 연속성

- ㉠ 피복 철근의 핀홀 빈도는 미터(M)당 4개 이하여야 한다.
- ㉡ 300mm 미만 길이를 갖는 에폭시 피복 철근의 핀홀 빈도는 최대 1개여야 한다.
- ㉢ 피복 연속성 시험은 부속서 1에 따른다.
- ㉣ 피복 연속성 시험은 각 철근 종류에 대해 매 시간 최소 2개의 피복 철근을 시험하여야 한다.

③ 굽힘성

- ㉠ 피복 철근의 굽힘성은 구부러진 철근의 바깥면에 피복의 갈라짐이나 벗겨짐이 없어야 한다.
- ㉡ 굽힘성 시험은 부속서 1의 따른다.
- ㉢ 굽힘성 시험은 각 철근 종류에 대하여 매 시간 최소 1개의 피복 철근을 시험하여야 한다.
- ㉣ 굽힘성 검사에서 합격하지 못한 피복 철근은 다시 2개를 샘플링하여 검사하고 2개가 모두 합격하였을 때는 이를 합격으로 판정한다.

④ 피복 경화성

- ㉠ 피복 철근의 경화 특성은 ΔT_g 값이 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 이내이어야 한다.
- ㉡ 피복 경화성 시험은 부속서 1에 따른다.

⑤ 콘크리트에 대한 부착력

- ㉠ 에폭시 피복철근의 콘크리트와의 부착력은 피복되지 않은 철근 부착강도의 85% 이상이어야 한다.
- ㉡ 콘크리트에 대한 부착력 시험은 부속서 1에 따른다.

(사) 에폭시 피복의 손상 및 보수

- ㉠ 보수 전, 에폭시 피복의 손상면적은 에폭시 피복 철근의 1M 당 최대 표면적의 0.5%를 초과해서는 안됨. 여기서, 절단면은 손상면적에 포함되지 않음.
- ㉡ 에폭시 피복의 손상면적이 에폭시 피복 철근의 1M 당 최대 표면적의 0.5%를 초과할 경우, 피복 철근의 손상부위를 일부 잘라서 폐기하여야 함.
- ㉢ 육안으로 알아볼 수 있는 피복의 손상은 보수도로 제조업체의 설명서에 의거하여 보수하여야 함. 손상 부위의 녹은 보수 전에 적절한 방법으로 모두 제거하여 함.
- ㉣ 철근의 절단면은 보수도로를 사용하여 도장하여야 함.
- ㉤ 보수 과정에서 온전한 피복 부위에 너무 과도한 양의 보수재료를 사용하지 않도록 주위가 필요.
- ㉥ 보수 부위의 피복두께는 최소 180 μ m이어야 함.

(아) 품질 보증서

- 품질보증자료로서 에폭시 피복 철근의 출하시에 다음과 같은 증명서를 제출하여야 함.
 - ㉠ 에폭시 피복 철근용 도료의 품질시험결과표
 - ㉡ 에폭시 피복 철근 보수용 도료의 품질시험결과표
 - ㉢ 에폭시 피복 철근용 봉강의 품질시험결과표
 - ㉣ 에폭시 피복 철근의 검사성적서

(4) 에폭시 피복철근 활용시 고려해야할 설계변수 고찰 및 시공특기사항 검토

(가) 에폭시 피복철근의 설계 및 시공 기준 분석

- 설계기준
 - KDS 14 20 00 (2016)
 - ACI 318 (2014)
 - AASHTO LRFD BRIDGE (2012)
- 시공기준
 - JSCE 2003
 - AASHTO LRFD BRIDGE (2012)
 - ASTM A775-07b
 - ISO 14654-1999 / British Standard

(나) 에폭시 피복철근의 설계기준 제시

① 적용 범위

- ㉠ 이 지침은 에폭시 피복 철근의 설계에 관한 것으로, 이 지침에 언급되지 않은 사항은 KDS 14 20 00에 따름.
- ㉡ 이 지침이 KDS 14 20 00과 상충될 경우 KDS 14 20 00의 규정을 우선 적용하여야 한다.

② 내구성

㉢ 노출 범주 및 등급

- 책임구조기술자는 구조용 콘크리트 부재에 대해 예측되는 노출 정도를 고려하여 표 4.5에 따라 노출등급을 정하여야 한다.

표 4.5 노출 범주 및 등급

범주	등급		조 건	
F (동결응해)	무시	F0	동결응해의 반복작용에 노출되지 않는 콘크리트	
	보통	F1	간혹 수분과 접촉하고 동결응해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	
	심함	F2	지속적으로 수분과 접촉하고 동결응해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	
	매우심함	F3	제빙화학제에 노출되며 지속적으로 수분과 접촉하고 동결응해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	
S (황산염)			토양 내의 수용성 황산염(SO ₄)의 질량비(%)	물속에 용해된 황산염(SO ₄) (ppm)
	무시	S0	SO ₄ <0.10	SO ₄ <150
	보통	S1	0.10≤SO ₄ <0.20	150≤SO ₄ <1,500, 해수
	심함	S2	0.20≤SO ₄ <2.00	1,500≤SO ₄ ≤10,000
	매우심함	S3	SO ₄ >2.00	SO ₄ >10,000
P (낮은 투수성 요구)	무시	P0	낮은 투수성이 요구되지 않고 수분과 접촉되는 경우	
	적용	P1	낮은 투수성이 요구되고 수분과 접촉되는 경우	
C (철근 방식)	무시	C0	건조하거나 또는 수분으로부터 보호되는 콘크리트	
	보통	C1	수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트	
	심함	C2	제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트	

㉠ 내구성 허용기준

- 표 4.5에 따라 노출등급이 결정된 경우의 콘크리트 배합은 표 4.6에 규정된 가장 엄격한 요구 조건을 따라야 함.
- 노출등급 C2의 경우 표 2.2의 최대 물-결합재비 및 콘크리트의 최소 설계기준압축강도 조건과 KDS 14 20 50(4.3)의 최소 콘크리트 피복조건을 만족하여야 함. 다만, 염화물의 침투를 방지할 수 있는 재료로 철근을 도막 처리한 경우, 표 2.2 노출등급 C의 최대 물-결합재비와 최소 설계기준 압축강도에 대한 허용 기준을 적용하지 않아도 됨.

표 4.6 노출등급에 따른 내구성 허용기준

노출등급	최대 물-결합재비	최소 설계기준압축강도 f_{ck} (MPa)	추가적인 최소 요구 사항	
			공기량	결합재 사용제한
F0	-	21	없음	없음
F1	0.45	30	KDS 14 20 40 (표 4.1.3)	없음
F2	0.45	30	KDS 14 20 40 (표 4.1.3)	없음
F3	0.45	30	KDS 14 20 40 (표 4.1.3)	KDS 14 20 40 (표 4.1.4)
			시멘트의 종류	염화칼슘 혼화제 사용 유무
S0	-	21	제한 없음	제한 없음
S1	0.5	27	보통포틀랜드시멘트(1종)+포졸란 혹은 슬래그 ¹⁾ 플라이애쉬시멘트(KS L 5211) 중용열포틀랜드시멘트(2종)(KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)	제한 없음
S2	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)+플라이애쉬	허용 안 됨
S3	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)+포졸란 혹은 슬래그 ²⁾	허용 안 됨
P0	-	21	해당사항 없음	
P1	0.50	27	해당사항 없음	

노출등급	최대 물-결합재 비	최소 설계기준압축강 도 f_{ck} (MPa)	추가적인 최소 요구 사항		
			콘크리트 내 최대 수용성 염소 이온(Cl-)량 (시멘트 질량에 대한 %)		관련 규정
			철근 콘크리트	프리스트레스트 콘크리트	
C0	-	21	1.00	0.06	없음
C1	-	21	0.30	0.06	
C2	0.40	35	0.15	0.06	KDS 14 20 50 (4.3)

- 1) 1종시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란 또는 슬래그.
 2) 5종시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란 또는 슬래그.

③ 정착 길이

㉞ 인장 이형철근 및 이형철선의 정착

- 인장 이형철근 및 이형철선의 정착길이 l_d 는 다음 ②와 같이 기본정착길이 l_{db} 에 보정계수를 고려하는 방법으로 적용할 수 있음. 다만, 이렇게 구한 정착길이 l_d 는 항상 300 mm 이상이어야 함.
- 인장 이형철근 및 이형철선의 기본정착길이 l_{db} 는 다음 식 (4.1)에 의해 구하여야 함. 그리고 배근 위치, 철근표면 도막 혹은 도금 여부 및 콘크리트의 종류에 따른 보정계수는 표 3.1에 의해 구하여야 함.

$$l_{db} = \frac{0.6d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \quad (4.1)$$

표 4.7 보정계수

조건	철근지름	D19 이하의 철근과 이형철선	D22 이상의 철근
정착되거나 이어지는 철근의 순간격이 d_b 이상이고, 피복 두께도 d_b 이상이면서 l_d 전 구간에 이 구조기준에서 규정된 최소 철근량 이상의 스테럽 또는 띠철근을 배치한 경우, 또는 정착되거나 이어지는 철근의 순간격이 $2d_b$ 이상이고 피복 두께가 d_b 이상인 경우		$0.8\alpha\beta$	$\alpha\beta$
기타		$1.2\alpha\beta$	$1.5\alpha\beta$

그리고 표 3.1에 수록된 α , β , λ 는 다음과 같이 구함.

- α = 철근배치 위치계수
 - 상부철근(정착길이 또는 겹침이음부 아래 300 mm를 초과되게 굳지 않은 콘크리트를 친 수평철근) 1.3
 - 기타 철근 1.0

- β = 철근 도막계수
 - 피복 두께가 $3d_b$ 미만 또는 순간격이 $6d_b$ 미만인 에폭시 도막철근 또는 철선

	1.5
- 기타 에폭시 도막철근 또는 철선	1.2
- 아연도금 철근	1.0
- 도막되지 않은 철근	1.0
- 에폭시 도막철근이 상부철근인 경우에 상부철근의 위치계수 α 와 철근 도막계수 β 의 곱, $\alpha\beta$ 가 1.7보다 클 필요는 없음.
- λ 는 KDS 14 20 10(4.4)에 따름.

㉠ 표준갈고리를 갖는 인장 이형철근의 정착

- 단부에 표준갈고리가 있는 인장 이형철근의 정착길이 l_{dh} 는 다음 ②의 기본정착길이 l_{hb} 에 적용 가능한 모든 보정계수를 곱하여 구하여야 한다. 다만, 이렇게 구한 정착길이 l_{dh} 는 항상 $8d_b$ 이상, 또한 150mm 이상이어야 함.
- 기본정착길이 l_{hb} 는 다음 식 (4.2)에 의해 구할 수 있다. 여기서, 도막계수 β 는 에폭시 또는 아연 도막 철근의 경우 1.2, 도막 되지 않은 철근의 경우 1.0이며, λ 는 KDS 14 20 10(4.4)에 따름.

$$l_{hb} = \frac{0.24\beta d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \quad (4.2)$$

㉡ 확대머리 이형철근의 정착

- 확대머리 이형철근의 인장에 대한 정착길이는 다음과 같이 구할 수 있음.

$$l_{dt} = 0.19 \frac{\beta f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (4.3)$$

여기서, 도막계수 β 는 에폭시 또는 아연 도막 철근의 경우 1.2, 도막 되지 않은 철근의 경우 1.0이며, 정착 길이는 $8d_b$, 또한 150 mm 이상이어야 함.

(다) 에폭시 피복철근의 시공기준 제시

① 적용 범위

- 이 지침은 에폭시 피복 철근의 시공에 관한 것으로, 이 지침에 언급되지 않은 사항은 KCS 14 20 11 (철근공사)에 따름.
- 심한 부식 환경 지역에 설치되는 주요 구조물에 철근의 부식 문제가 예상되는 경우에는 책임기술자의 승인을 받아 에폭시수지 등으로 피복한 철근을 사용할 수 있음.

② 재료

㉠ 에폭시 피복 철근

- 에폭시를 피복할 철근은 이 지침의 품질을 만족하여야 한다. 이 지침이 KS D 3629와 상충될 경우 KS D 3629의 규정을 우선 적용하여야 함.
- 에폭시 피복 철근을 받아 들일 때에는 소정의 품질을 지니고 있는지 확인하여야 함.

㉡ 고임재 및 간격재

- 에폭시 피복 철근의 고임재 및 간격재는 에폭시 피복에 손상을 주지 않는 재료를 사용하여야 함.

㉢ 운반 및 저장

- 에폭시 피복 철근은 에폭시 피복이 손상되지 않도록 하여야 한다. 특히, 철근-철근 또는 묶음-묶음 간의

충돌과 와이어로프 또는 받침대 등의 접촉으로 인한 에폭시 피복 손상에 주의하여야 함.

- 에폭시 피복 철근을 인양할 때는 철근 마디끼리 긁히지 않도록 하여야 함.
- 에폭시 피복 철근은 재 취급을 최소화하기 위하여 피복 철근이 위치해야 할 곳에 최대한 가까이 하역하여야 함.
- 에폭시 피복 철근은 떨어뜨리거나 끌지 않도록 하여야 함.
- 에폭시 피복 철근은 에폭시 피복이 손상되지 않는 받침대에 올려서 운반 및 저장하고 철근 묶음을 쌓아 올릴 경우 묶음 사이에 나무 및 고무 등의 완충재를 두어야 함.
- 에폭시 피복 철근을 실외에 2개월 이상 저장한다면, 태양광, 염분, 기후 노출로부터 재료의 보호를 위해, 보호 저장 대책을 수립하여야 함.
- 에폭시 피복 철근은 불투명 폴리에틸렌 시트 또는 다른 적절한 보호재로 덮어야 하고 묶음을 쌓아 올릴 경우, 쌓아올린 무더기의 경계 주위를 잘 덮어야 하고, 덮개 내부에 물방울이 생기지 않도록 에폭시 피복 철근 주위에 공기가 잘 순환되도록 하여야 함.
- 만약, 에폭시 피복 철근을 보호 덮개 없이 실외에 저장할 경우, 피복 철근이 실외에 놓인 날짜를 피복 철근 묶음 태그에 기록하여야 함.

③ 시공

㉠ 가공

- 에폭시 피복 철근은 설계도에 나타난 형상과 사이즈에 정확히 일치하도록 하고 철근 피복이 손상되지 않도록 가공하여야 함.
- 에폭시 피복 철근의 현장가공은 바람직하지 않다. 만약 현장가공이 꼭 필요하다면 피복 철근 가공시 매우 엄격한 취급이 필요.
- 에폭시 피복 철근의 휨 가공은 50C 이상에서 작업하고 에폭시 피복에 손상을 주지 않아야 함.
- 에폭시 피복 철근은 가스 절단을 하지 않아야 한다. 커터 절단할 경우 가급적 절단 충격이 철근에 전달되지 않도록 하고 절단면은 보수재를 사용하여 보수하여야 함.

㉡ 조립

- 에폭시 피복 철근의 조립시 충격을 주어서는 안되고 철근 상호간의 충돌에 의한 손상을 방지하여야 함.
- 에폭시 피복 철근의 결속은 피복에 손상을 주지 않는 결속재료를 사용하여야 함.

㉢ 손상된 에폭시 피복 보수

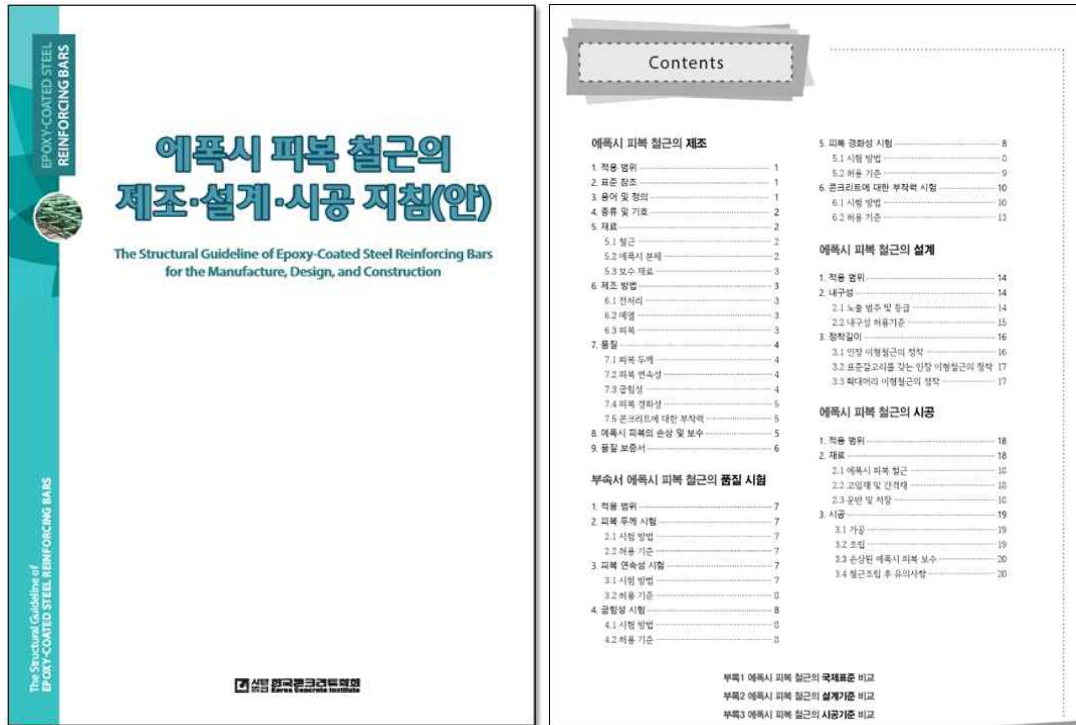
- 에폭시 피복 철근은 피복 손상이 1m 길이 당 표면적의 1%를 초과하는 경우 폐기하여야 하고, 표면적의 1%를 초과하지 않는 경우 육안으로 식별할 수 있는 모든 손상을 보수하여야 함.
- 손상된 에폭시 피복 철근은 보수재 제조사에서 제공하는 지시서에 의거하여 보수하여야 함.
- 피복 손상부위의 녹은 보수 이전에 적절한 방법으로 제거 한 후 보수용 재료를 사용하여 보수하여야 함.
- 손상된 에폭시 피복을 보수한 재료는 콘크리트 타설 이전에 경화되도록 하여야 함.

㉣ 철근조립 후 유의사항

- 에폭시 피복 철근의 조립이 끝난 후 에폭시 피복 손상에 대한 검사를 하여야 함.
- 에폭시 피복 철근 배치 후, 피복 철근 위에 걷는 것을 최소화하고 가동 장비는 피복 철근에 손상을 피할 수 있도록 배치.
- 콘크리트 밀실화를 위해 사용되는 내부 진동기는 에폭시 피복 철근의 손상을 방지하기 위해, 비금속 헤드를 장착.

(5) 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 작성

(가) 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 작성



(나) 제조·설계·시공 지침의 주요내용

제조	설계	시공
에폭시 피복 철근의 제조 1. 적용 범위 (1) 이 지침은 에폭시 피복 철근의 제조를 위한 것으로, 이 지침에 언급되지 않은 사항은 KS 34 20 11에 준한다. (2) 이 지침이 KS D 3020에 준할 경우 KS D 3020의 규정을 우선 적용하여야 한다. 2. 표준 용어 (1) 이 지침에 필요한 표준용어는 다음과 같다. - KS D 3020 에폭시 피복 철근 - KS D 3020 철근 콘크리트용 용인 - KS M 6070 콘크리트 용인 - ISO 14644 Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete - ASRM A770 Standard specification for epoxy-coated steel reinforcing bars - ENCE Standard specifications for concrete structure 3. 용어 및 정의 (1) 이 지침에 용어 및 정의는 다음과 같다. - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제 - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제 - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제	에폭시 피복 철근의 설계 1. 적용 범위 (1) 이 지침은 에폭시 피복 철근의 설계에 관한 것으로, 이 지침에 언급되지 않은 사항은 KS 34 20 11에 준한다. (2) 이 지침이 KS D 3020에 준할 경우 KS D 3020의 규정을 우선 적용하여야 한다. 2. 표준 용어 (1) 이 지침에 필요한 표준용어는 다음과 같다. - KS D 3020 에폭시 피복 철근 - KS D 3020 철근 콘크리트용 용인 - KS M 6070 콘크리트 용인 - ISO 14644 Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete - ASRM A770 Standard specification for epoxy-coated steel reinforcing bars - ENCE Standard specifications for concrete structure 3. 용어 및 정의 (1) 이 지침에 용어 및 정의는 다음과 같다. - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제 - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제 - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제	에폭시 피복 철근의 시공 1. 적용 범위 (1) 이 지침은 에폭시 피복 철근의 시공에 관한 것으로, 이 지침에 언급되지 않은 사항은 KS 34 20 11에 준한다. (2) 이 지침이 KS D 3020에 준할 경우 KS D 3020의 규정을 우선 적용하여야 한다. 2. 표준 용어 (1) 이 지침에 필요한 표준용어는 다음과 같다. - KS D 3020 에폭시 피복 철근 - KS D 3020 철근 콘크리트용 용인 - KS M 6070 콘크리트 용인 - ISO 14644 Epoxy-coated steel for the reinforcement of concrete - ASRM A770 Standard specification for epoxy-coated steel reinforcing bars - ENCE Standard specifications for concrete structure 3. 용어 및 정의 (1) 이 지침에 용어 및 정의는 다음과 같다. - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제 - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제 - 에폭시(epoxy resin) 에폭시 수지 및 경화제

에폭시 피복철근의 제조

에폭시 피복철근의 설계

에폭시 피복철근의 시공

※ 상세한 지침 내용은 에폭시 피복철근의 제조·설계·시공 지침 참조

(6) 콘크리트 건설기준 개정(안) 작성

(가) KDS 14 20 40 콘크리트구조 내구성 설계기준 개정(안) 신규대비표

항목	현행	개정(안)
4. 4.1 4.1.4	4. 설계 4.1 내구성 설계 4.1.4 내구성 허용기준 (1) 표 4.1-1에 따라 노출등급이 결정된 경우의 콘크리트 배합은 표 4.1-2에 규정된 가장 엄격한 요구 조건을 따라야 한다. 표 4.1-2 노출등급에 따른 내구성 허용기준 (중략)	4. 설계 4.1 내구성 설계 4.1.4 내구성 확보를 위한 요구조건 (1) 콘크리트 설계기준압축강도는 4.1-1의 노출등급에 따라 표 4.1-3에서에서 규정하는 값 이상이어야 한다. 다만, 별도의 내구성 설계를 통해 입증된 경우나 성능이 확인된 별도의 보호조치를 취하는 경우에는 표 4.1-3에서 규정하는 값보다 낮은 강도를 적용할 수 있다. 표 4.1-3 노출등급에 따른 최소 설계기준압축강도 (중략)

(나) KDS 14 20 52 콘크리트구조 정착 및 이음 설계기준 개정(안) 신규대비표

항목	현행	개정(안)
4. 4.1 4.1.2	4. 설계 4.1 철근의 정착 4.1.2 인장 이형철근 및 이형철선의 정착 (중략) ② β = 철근 도막계수 가. 피복 두께가 3 d_b 미만 또는 순간격이 6 d_b 미만인 에폭시 도막철근 또는 철선 나. 기타 에폭시 도막철근 또는 철선 다. 아연도금 혹은 철근 라. 도막되지 않은 철근 (중략)	4. 설계 4.1 철근의 정착 4.1.2 인장 이형철근 및 이형철선의 정착 (중략) ② β = 도막계수 가. 피복 두께가 3 d_b 미만 또는 순간격이 6 d_b 미만인 에폭시 도막 혹은 아연-에폭시 이중 도막 철근 또는 철선 나. 기타 에폭시 도막 혹은 아연-에폭시 이중 도막 철근 또는 철선 다. 아연도금 혹은 도막되지 않은 철근 또는 철선 (중략)
4.1.5	4.1.5 표준갈고리를 갖는 인장 이형철근의 정착 (2) 기본정착길이 l_{hb} 는 다음 식 (4.1-4)에 의해 구할 수 있다. β 와 λ 는 4.1.2(2)에 따라 구한다.	4.1.5 표준갈고리를 갖는 인장 이형철근의 정착 (2) 기본정착길이 l_{hb} 는 다음 식 (4.1-4)에 의해 구할 수 있다. β 는 에폭시 도막 혹은 아연-에폭시 이중 도막 철근의 경우 1.2, 아연도금 또는 도막되지 않은 철근의 경우 1.0이며, λ 는 KDS 14 20 10(4.4)에 따라 구한다.

(다) KCS 14 20 11 철근공사 개정(안) 신규대비표

항목	현행	개정(안)
1. 1.1	1. 일반사항 1.1 적용범위 (중략) (2) 이 기준은 D51 이하의 이형철근, 지름 18 mm 이하의 용접철망에 적용하여야 한다.	1. 일반사항 1.1 적용범위 (중략) (2) 이 기준은 D51 이하의 이형철근, 에폭시 피복 철근 , 지름 18 mm 이하의 용접철망에 적용하여야 한다.
2. 2.2	2. 자재 2.2 철근 고임재 및 간격재 (중략)	2. 자재 2.2 철근 고임재 및 간격재 (중략) (4) 에폭시 피복철근의 고임재 및 간격재는 에폭시 피복에 손상을 주지 않는 재료를 사용하여야 한다.
2.4		2.4 에폭시 피복철근의 저장 (1) 에폭시 피복 철근은 운반 및 저장시 에폭시 피복이 손상되지 않도록 취급하여야 한다. 특히, 철근-철근 또는 묶음-묶음 간의 충돌과 와이어로프 또는 받침대 등의 접촉으로 인한 에폭시 피복 손상에 주의하여야 한다. (2) 에폭시 피복 철근은 이동을 최소화하기 위하여 피복 철근이 위치해야할 곳에 최대한 가까이 하역하여야 한다. (3) 에폭시 피복 철근은 떨어뜨리거나 끌지 않도록 하여야 한다. (4) 에폭시 피복 철근은 에폭시 피복이 손상되지 않는 받침대에 올려서 운반 및 저장하고 철근 묶음을 쌓아 올릴 경우 묶음 사이에 나무 및 고무 등의 완충재를 두어야 한다. (5) 에폭시 피복 철근을 실외에 저장한다면 불투명 폴리에틸렌 시트 또는 다른 적절한 보호재로 덮어야 한다. 묶음을 쌓아 올릴 경우, 쌓아올린 무더기의 경계를 잘 덮어야 하고, 보호덮개 내부에 물방울이 생기지 않도록 에폭시 피복철근 주위에 공기가 잘 순환되도록 하여야 한다.
3. 3.2 3.2.1	3. 시공 3.2 용접철망	3. 시공 3.2 에폭시 피복철근 3.2.1 에폭시 피복철근의 가공 (1) 에폭시 피복철근은 에폭시 피복이 손상되지 않도록 가공하여야 하며 에폭시 피복철근의 휨 가공은 50C 이상에서 작업하여야 한다. (2) 에폭시 피복철근은 가급적 현장 가공하지 않는다. 만약 현장 가공이 꼭 필요하다면 에폭시 피복철근 가공시 매우 엄격한 관리가 요구된다. (3) 에폭시 피복철근은 가스 절단을 하지 않아야 한다. 에폭시 피복철근을 커터 절단할 경우 가급적 절단 충격이 피복철근에 전달되지 않도록 한다.

3.2.2		3.2.2 에폭시 피복철근의 조립 (1) <u>에폭시 피복철근은 조립시 충격을 주지 않아야 하며 철근 상호간의 충돌 및 접촉에 의한 손상을 방지하여야 한다.</u> (2) <u>에폭시 피복철근의 결속재료는 에폭시 피복에 손상을 주지 않는 재료를 사용하여야 한다.</u>
3.2.3		3.2.3 손상된 에폭시 피복 보수 (1) <u>손상된 에폭시 피복철근은 콘크리트 타설 전 모두 보수하여야 한다.</u> (2) <u>에폭시 피복이 손상된 경우, 300 mm 길이 당 보수해야 할 표면적이 2 %를 넘지 않아야 한다.</u> (3) <u>300 mm 길이 당 보수해야 할 표면적이 2 %를 초과하는 에폭시 피복철근은 허용될 수 있는 철근으로 교체하여야 한다.</u> (4) <u>손상된 에폭시 피복에 덧댄 보수재의 면적은 300 mm 길이 당 5 %를 넘지 않아야 한다.</u> (5) <u>손상된 에폭시 피복의 보수는 보수재 제조사가 권장하는 방법으로 수행되어야 한다.</u>
3.2.4		3.2.4 에폭시 피복철근 조립 후 유의사항 (1) <u>에폭시 피복철근은 조립이 끝난 후 에폭시 피복 손상에 대하여 검사하여야 한다.</u> (2) <u>에폭시 피복철근 배치 후, 피복 철근 위에 걷는 것을 최소화하고 가동 장비는 피복철근에 손상이 가지 않도록 배치하여야 한다.</u> (3) <u>콘크리트의 밀실화를 위해 사용되는 내부 진동기는 에폭시 피복철근의 손상을 방지하기 위해 비금속 헤드를 장착하여야 한다.</u>

3. 목표의 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

[1차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준				
					질적 성과지표		목표치	달성치	달성치(%)
주관 / 공동1	1	에폭시 피복철근 개발	1-1	친환경 에폭시 분 체 도료 선정	①	친환경성	유해성검사 26종	합격	100
			1-2	일반철근 대비 기 존 에폭시 피복철 근 성능	①	부착성능	부착성능 3종이상 실험	기준성능 설정	100
공동2 / 위탁	2	에폭시 피복철근 제조·설계·시공 지침 작성	2-1	적용사례 및 유지 관리비 집행실적 조사	①	사례/실적 조사	사례/실적 조사	사례/실적 조사	100
			2-2	에폭시 피복철근 기준 및 규격 검토	①	관련 기준 분석	관련 기준 분석	관련 기준 분석	100

[2차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							
					질적 성과지표	목표치	달성치	달성도 (%)	양적성과지표 목표치	양적성과지표 달성치	달성도 (%)	
주관 / 공동1	1	에폭시 피복철근 개발	1-3	에폭시 수지 피복철근 장치 개발	①	시제품	D13-D32 중 3종이상	부착력90% 및 180° 굽힘성능	100	시제품 : 3건 특허 출원 : 2건 (특허등록 1건이상)	시제품 : 3건 특허 출원 : 2건 (특허등록 1건이상)	100
			1-4	개발 에폭시 피복철근 구조성능 및 현장적용성능	①	부착성능 현장적용 성능	철근종류 3종이상 실험	부착력90% 및 180° 굽힘성능	100	논문 : 1건 (국내 일반학술지 1건)	논문 : 2건 (국내 일반학술지 2건)	200
공동2 / 위탁	2	에폭시 피복철근 제조·설계·시공 지침 작성	2-3	현장 적용 모니터링	①	현장 모니터링	현장 모니터링 (전과정)	현장 모니터링 (전과정)	100	논문 : 1건 (국내 일반학술지 1건)	-	0
			2-4	제조·설계·시공 지침 초안	①	지침 초안	제조·설계·시공 지침 초안	제조·설계·시공 지침 초안	100	지침(초안) : 1건	지침(초안) : 1건	100

[3차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							
					질적 성과지표	목표치	달성치	달성도 (%)	양적성과지표 목표치	양적성과지표 달성치	달성도 (%)	
주관 / 공동1	1	에폭시 피복철근 개발	1-5	피복철근 대량 생산 기술 개발	①	대량생산 기술	대량생산 장비 구축	대량생산 기술적용	100	특허 출원 : 1건	시제품 : 2건	0
			1-6	힘 부재 구조성 능 평가	①	구조성능	시험체 3개 이상	구조성능 및 내구성능 적합	100	논문 : 2건 (국내 일반학술지 1건) (국외 일반학술지 1건)	논문 : 2건 (국내 일반학술지 1건) (국외 일반학술지 1건)	100
공동2 / 위탁	2	에폭시 피복철근 제조·설계·시 공 지침 작성	2-5	에폭시철근의 LCC 분석	①	LCC 분석	LCC 분석	LCC 분석	100	-	논문 : 1건 (국내 일반학술지 1건)	100
			2-6	제조·설계·시 공 지침 수정안 작성	①	지침 수정안	지침 수정안	지침 수정안	100	지침수정안 : 1건	지침(초안) : 1건	100

[4차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							
					질적 성과지표	목표치	달성치	달성도 (%)	양적성과지표 목표치	양적성과지표 달성치	달성도 (%)	
주관 / 공동1	1	에폭시 피복철근 개발	1-7	피복철근 대량 생산 기술 개발	①	대량생산 기술	대량생산 장비100% 구축	대량생산 기술적용	100	NEP 인증 : 1건 특허 출원 : 2건	특허 출원 : 1건	33.3
			1-8	힘 부재 사용성 능 평가	①	에폭시 피복철근 사용성능	시험체 3개 이상	개발 에폭시 피복철근 사용성능	100	논문 : 2건 (국내 일반학술지 1건)	논문 : 1건 (국내 일반학술지 1건)	50
공동2 / 위탁	2	에폭시 피복철근 제조·설계·시 공 지침 작성	2-7	개발 에폭시 피 복철근의 경제 적 효과 분석	①	CO ₂ 배출량 산정 및 경제성 비교	CO ₂ 및 경제적 효과 분석	경제적 효과 분석	100	LCC 및 CO ₂ 분석 보고서	LCC 및 CO ₂ 분석 보고서	100
			2-8	제조·설계·시 공 지침 완성	①	지침	지침	지침	100	지침 : 1건	지침 : 1건	100

붙임. 참고문헌

- AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATION, SEVENTH EDITIONS, 2014
- ACI 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI318-14).
- ACI 408R-03(2003). Bond and development of straight reinforcing bars in tension, ACI Committee 408, pp.6-8.
- ASTM A775/A775M. (2014). Standard Specification For Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars ASTM international.
- ASTM Designation : A775/A775M-07b(Reapproved 2014)
- British standard(ISO 14654:1999(E))
- CEB-FIP. (2000) Bond of Reinforcement in Concrete, fib, Bulletin 10, Switzerland.
- CEB-FIP, "CEB-FIP model code 1990," Comite Euro International Du Beton, Paris, 1991, pp.87-109.
- EIG(EPOXY INTEREST GROUP)자료
- EXCS 14 20 11 : 2018 고속도로공사 전문시방서/철근공사
- KDS 24 10 11 : 2016 교량설계기준/교량설계일반사항(한계상태설계법)
- KDS 24 10 10 : 2016 교량설계기준/교량설계일반사항(일반설계법)
- KDS 24 14 21 : 2019 설계기준/콘크리트교 설계기준(한계상태설계법)
- KDS 14 20 40 : 2016 구조설계기준/콘크리트구조 내구성설계기준
- KCI 2012 : 콘크리트 구조 기준
- KCS 14 20 44 : 2016 표준시방서/해양콘크리트
- KCS 14 20 10 : 2016 표준시방서/일반콘크리트
- KCS 61 50 05 : 2017 표준시방서/펌프장건축공사
- KCS 41 30 06 : 2018 표준시방서/원자력발전소 콘크리트공사
- RILEM (1970). Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials: RC 6, Bond Test for Reinforcement Steel. 2. Pull-out Test.
- SMCS 14 20 90 10 : 2018 서울특별시전문시방서/콘크리트구조물의 내구성평가
- 국토해양부 (2011.8), 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인 -도로시설물-
- 국토해양부 (2012.12), 건설분야 탄소배출량 산정 및 관리방안 연구
- 국토해양부(2008.12), 기술안전정책관, 생애주기비용 분석 및 평가요령
- 대한토목학회, 교량설계핵심기술연구단(2008), 도로교설계기준 해설
- 서태석, 하상수, 이문성 (2009) 철근콘크리트 휨 부재의 균열 안정화 상태에서의 부착특성에 관한 연구, 대한 건축학회 논문집-구조계 **25(5)** 113-120
- 이문성, 서태석, 노영숙 (2011) 고강도 콘크리트 휨 부재의 균열안정화 상태에서의 부착특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집-구조계 **27(9)** 37-44
- 일본토목학회 2003
- 오병환, 엄주용, 권지훈 (1992) 에폭시 도포철근의 내 부식성능에 관한 실험적 연구, 콘크리트 학회 논문집 **4(4)** 161-170
- 장흥균, 김성환, 홍창우 외 1명 (2003) 시험방법에 따른 신·구 콘크리트의 부착강도 특성, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집 597-600
- 최완철, (1990). 에폭시 피막된 철근의 부착에 관한 최근연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계 **10(2)** 539-542
- 최완철, 김채훈, 신영수, (1994) 에폭시 도막 철근의 기계적 성능에 관한 실험적 연구, 콘크리트 학회 논문집 **6(3)** 173-179
- 한국건설기술연구원 비래염분 특성 및 해사사용 콘크리트의 내구특성 장기조사(2008.12)
- 한국도로공사 도로교통연구원, 2013년도 실용화소과제 보고서, 해상교량 염해 내구성 평가 및 내염성능 향상 방안 연구
- 한국도로공사, 2014년도 실용화소과제 보고서, 섬진강교의 손상된 염해방지시설의 보수대책 검토

한국도로공사 도로연구소(1999.12), 강관파일 전기방식 효과 및 개선방안 연구

한국도로공사, 고속도로 교량형식별 생애주기비용(LCC) 분석 연구

한국콘크리트학회 염해 및 탄산화에 대한 철근 콘크리트 구조물의 내구성 설계/시공/유지관리 지침(2003)

한국콘크리트학회 특수환경콘크리트위원회 콘크리트 실무 매뉴얼 KCI PM203.1-10 ‘해양 콘크리트의 염해 내구성 및 설계’

한국콘크리트학회 특수환경콘크리트위원회 콘크리트 실무지침 KCI PM203.2-14‘콘크리트구조물의 철근부식 진단과 방지대책

한국표준협회 KS D3629 (에폭시 피복철근)

주 의

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