

발 간 등 록 번 호

11-B552989-000514-01

[최종보고서]

폐플라스틱 업사이클을 위한 지속가능한
철도 침목 기술개발

UNIST **DUC** **대원대학교**
DREWON UNIVERSITY COLLEGE

JJU

최종보고서(일반과제용)										보안등급		
										일반[✓], 보안[]		
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업				
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				사업명	내역사업명		국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)				
공고번호	공고-제2호				연구개발과제번호		21CTAP-C152046-03					
국가과학기술 표준분류	EI0602	50%	EH0702		40%	EC0303		10%				
연구주제	(대분류) 걱정없는 안심사회				(중분류) 생활안전, 재난재해, 에너지, 주거, 교통		(소분류) 에너지 빈곤					
연구개발과제명	국문	폐플라스틱 업사이클을 위한 지속가능한 철도 침목 기술개발										
	영문	Development of sustainable railway sleepers for upcycling of waste plastics										
주관연구개발기관	기관명	울산과학기술원				사업자등록번호	620-82-06236					
	주소	(44919)울산시 울주군 언양읍 유니스트길 50				법인등록번호	230171-0011595					
주관연구책임자	성명	표 석 훈				직위	조교수					
	연락처	직장전화					휴대전화					
		전자우편					국가연구자번호					
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 8.4개월)										
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(0년 8.4개월)										
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년 개월)										
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년 개월)										
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금	
				자립자단체 기타()								
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계		
	총계	600,000	20,150	180,850	-	-	-	-	620,150	180,850		801,000
	1년차	134,000	4,550	40,950	-	-	-	-	138,550	40,950		179,500
2년차	135,000	4,500	40,500	-	-	-	-	139,500	40,500	180,000		
3년차	331,000	11,100	99,400	-	-	-	-	342,100	99,400	441,500		
공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고				
								역할		기관유형		
공동연구개발기관	대원대학교	성덕룡	부교수	()				공동		대학		
	(주)지주	이현상	대표이사	()				공동		중소기업		
연구개발담당자 실무담당자	성명	주수환				직위	석박통합과정					
	연락처	직장전화					휴대전화					
		전자우편					국가연구자번호					

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

2022년 3월 18일

연구책임자 :

표 석 훈

주관연구개발기관의 장 :

울산과학기술원

공동연구개발기관의 장 :

대원대학교 산학협력단

공동연구개발기관의 장 :

(주)지주



이동훈 (직인)

백종무 (직인)

이현상 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

사업명		국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		21CTAP-C152046-03		
내역사업명		국토교통기술혁신연구						
국가과학기술표준분류		EI0602	50%	EH0702		40%	EC0303	10%
연구주제		(대분류) 걱정없는 안심사회		(중분류) 생활안전,재난재해,에너지,주거,교통		(소분류) 에너지 빈곤		
연구개발과제명		폐플라스틱 업사이클을 위한 지속가능한 철도 침목 기술개발						
전체 연구개발기간		2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 8.4개월)						
총 연구개발비		총 801,000천원 (정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 201,000천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(3) 종료시점 목표(8)		
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [☒]						
연구개발과제 특성		사회이슈 해결						
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		폐플라스틱 업사이클을 위한 지속가능한 철도 침목 기술 개발					
	전체 내용		1. 폐플라스틱 활용 지속가능한 플라스틱 침목 제조 기술 개발 2. 플라스틱 침목 표준화 기술 개발					
	1년차	목표	1. 폐플라스틱 활용 침목 재료의 실내시험 및 피드백 2. 폐플라스틱 활용 침목 최적화 설계 및 해석 3. 지속가능한 플라스틱 침목용 재료 배합 및 제조공정 개선					
		내용	1.1 침목 재료의 실내시험 관련 국내외 관련 자료 조사 1.2 성능요구조건 분석 및 목표치 설정 1.3 소재 실내시험 및 피드백 2.1 플라스틱 침목 설계 관련 국내외 관련 자료 조사 2.2 침목형상 최적화 설계 2.3 차량/궤도 상호작용 해석 3.1 플라스틱 침목 제조공정 관련 국내외 관련 자료 조사 3.2 폐플라스틱 재활용 제조공정 개선 3.3 침목용 소재 배합 및 공인시험성적서 발급					
	2년차	목표	1. 폐플라스틱 활용 침목 시제품 실내시험 및 성능평가 시험방법(안) 수립 2. 지속가능한 플라스틱 침목 현장적용성 사전 평가 3. 지속가능한 플라스틱 침목 제조공정 구축 및 시제품 제작					
		내용	1.1 플라스틱 침목 시제품 실내시험 및 피드백 1.2 플라스틱 침목 성능평가 시험방법(안) 제시 2.1 플라스틱 침목 시제품 구조해석 2.2 Testbed 예정지 현장조사 및 선정 3.1 지속가능한 플라스틱 침목 제조공정 구축 3.2 지속가능한 플라스틱 침목 시제품 제작					
	3년차	목표	1. 폐플라스틱 활용 침목 표준화 2. 지속가능한 플라스틱 침목 현장계측 및 평가 3. 지속가능한 플라스틱 침목 Testbed 구축 및 성능인증 추진					
		내용	1.1 한국철도표준규격(KRS) 제정 추진 1.2 공단표준규격(KRSA) 제정 추진 1.3 철도용품 형식승인 요청 및 지원 2.1 Testbed 조건을 고려한 구조해석 2.2 Testbed 공사시방서 작성 2.3 Testbed 현장계측 및 평가 3.1 시제품 제작 및 Testbed 구축 3.2 공단 철도시설성능검증 추진 3.3 공인시험성적서 발급					

연구개발성과	1. 폐플라스틱 재활용 기술 및 지속가능한 플라스틱 침목 생산 기술 확보 ○ 국내외 관련자료 조사 검토 및 개발 목표치 설정 ○ 플라스틱 재활용 제조공정 개선을 통한 플라스틱 침목 생산 기술 확보 ○ 소재 배합 및 실내시험을 통한 플라스틱 침목 배합 도출 ○ 플라스틱 침목의 경제성 분석을 통한 사업화를 위한 개발 방향 도출 ○ 철도 침목들의 환경성 검토를 통한 폐플라스틱 침목의 환경 편익 분석 ○ Testbed 조건을 고려한 구조해석을 통한 친환경 플라스틱 침목 최적화 설계 도출 ○ 도출된 플라스틱 침목 최적화 설계에 따른 FE 구조해석 수행 완료 ○ 플라스틱 침목 구조계산서 도출-설계조건에 따라 자동계산되는 합성침목 구조계산서 (excel기반) 개발 완료 ○ 폐플라스틱 활용 합성침목 제조공정 구축 및 Testbed용 침목 생산 완료 ○ 합성침목 시제품에 대한 성능 검증 및 공인시험성적서 발급 완료 2. 지속가능한 플라스틱 침목 표준화 기술 확보 ○ 친환경 플라스틱 침목 성능평가 시험방법(안) 도출 및 관련 근거 제시 완료 ○ 국내 도시철도 표준(잠정)규격서(안) 및 개정의견서 제시 ○ 한국철도표준규격(안) 제시 3. 친환경 플라스틱 침목의 Testbed 적용 ○ 친환경 플라스틱 합성침목 공사시방서 및 자재사양서 작성 완료 ○ 서울교통공사 장암역-도봉산역 본선구간 Testbed 부설 및 현장계측 완료 ○ Testbed 현장계측 결과에 대한 평가: 실열차하중에 대한 주행안정성 및 궤도구조 안정성 확보하고 있는 것으로 분석됨 [정량적 성과] • 특허출원 및 등록 : 출원 2건, 등록 1건 • 국내표준화 : 2건 • 인력양성 : 공학석사 1명 • 현장적용 : 1건 • 시제품 : 3건 • 국내외 논문 게재 : 국외SCI 7편 • 일자리 창출 : 1명 • 홍보실적 : 4건											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ 에너지 빈곤, 환경오염 문제를 해결하기 위한 폐플라스틱 재활용(물질재활용, 에너지재활용) 기술 확보 ⇒ 철도 침목 이외 다양한 제품 생산 가능 ○ 국가적 차원의 온실가스 저감을 통한 파리기후협약 실천에 기여 ○ 친환경 녹색교통의 철도 이미지 부각 ○ 철도 선로특성(요구 강도 및 강성 등)을 고려한 다양한 성능의 제품생산 가능 ○ 철도표준규격 제정, 철도용품 형식승인 등을 통한 플라스틱 침목 적용 기반 구축 ○ 국내 철도 신설구간 및 궤도유지보수 시 기존 목침목 및 PC침목 대체 ○ 북한철도 궤도 개량 시 활용 ⇒ 친환경 침목 부설로 인한 상징적 의미 부각											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	7	2		1								
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
	(주)지주	CJWA75-4 4D	트윈스크류 압출기	1	21.11.12.	52,000	슈레코 (031-296-8700)	(주)지주 음성공장	NFEC-2020-11-265823			
국문핵심어 (5개 이내)	자원 재활용		폐플라스틱		지속가능한 침목		제조공정		표준화			
영문핵심어 (5개 이내)	Resource Recycling		Waste Plastics		Sustainable Sleeper		Manufacturing process		Standardization			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	3
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	17
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	85
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	85
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	86
7. 참고 문헌	87

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 폐플라스틱 업사이클을 위한 지속가능한 철도 침목 기술 개발
 - 폐플라스틱 활용 지속가능한 플라스틱 침목 제조기술 개발
 - 플라스틱 침목 표준화 기술 개발

2) 연구개발과제의 년차별 목표

- 1차년도 개발 목표 및 연구내용

폐플라스틱 활용 침목 재료 실내시험 및 피드백 [주관-UNIST]	1) 국내외 관련 자료 조사 2) 성능요구조건 분석을 통한 개발 목표치 설정 3) 폐플라스틱 활용 침목용 소재 실내시험 및 피드백
폐플라스틱 활용 침목 최적화 설계 및 해석 [공동1-DUC]	1) 국내외 관련 자료 조사 2) 궤도구조를 고려한 침목 형상 최적화 설계 3) 차량/궤도 상호작용에 의한 침목 구조해석
지속가능한 플라스틱 침목용 재료 배합 및 제조공정 개선 [공동2-(주)지주]	1) 국내외 관련 자료 조사 2) 폐플라스틱 재활용 제조공정 개선 3) 폐플라스틱 활용 침목용 재료 배합 및 공인시험성적서 발급

- 1차년도 개발 범위
 - 주관연구기관(울산과학기술원): 철도 침목에 요구되는 재료단위의 폐플라스틱 소재 특성(힘강도, 휨탄성 계수, 종압축강도, 전단강도, 접착전단강도, 비중, 흡수량, 대못인발강도, 나사못인발강도, 전기저항 특성 등) 도출, 재료단위 시험 및 분석을 통한 도출된 소재 특성에 부합하는 폐플라스틱 소재(안) 확정
 - 공동연구기관(대원대학교): 침목 최적화 설계(하중조건 산정, 발생응력 검토, 최적단면설계 등), 차량/궤도 상호작용을 고려한 침목의 구조적 안정성 평가
 - 공동연구기관((주)지주): 폐플라스틱 재활용 제조공정(폐플라스틱 원료의 분쇄와 폐플라스틱 조각의 건조 기술, 벤딩 홀과 세절 커더 기능을 가진 압출기 제작 기술) 개선 및 친환경 플라스틱 소재(폐플라스틱 및 무기질 첨가제) 배합 기술, 배합된 시험편 제공 및 피드백된 시험편에 대한 공인시험성적서 발급

- 2차년도 개발 목표 및 연구내용

폐플라스틱 활용 침목 시제품 실내시험 및 성능평가 시험방법(안) 수립 [주관-UNIST]	1) 플라스틱 침목 시제품 실내시험 및 피드백 2) 플라스틱 침목 성능평가 시험방법(안) 제시
지속가능한 플라스틱 침목 현장적용성 사전 평가 [공동1-DUC]	1) Testbed 예정지 현장조사(업무협약) 및 선정 2) Testbed 조건을 고려한 구조해석 3) Testbed 공사시방서 작성
지속가능한 플라스틱 침목 제조공정 구축 및 시제품 제작 [공동2-(주)지주]	1) 지속가능한 플라스틱 침목 제조공정 구축 2) 지속가능한 플라스틱 침목 시제품 제작 및 공인시험성적서 발급

○ 2차년도 개발 범위

- 주관연구기관(울산과학기술원): 철도용품 성능인증절차 기반 플라스틱 침목 시제품 실내 시험/분석을 통한 구조성능 검토 및 침목 설계(안)/ 제조공정(안) 확정, 효과적인 구조 성능시험을 위한 플라스틱 침목 성능평가 시험방법(안) 제시
- 공동연구기관(대원대학교): 3차년도 Testbed 구축을 위한 예정지 현장조사 및 업무협약, 선정된 Testbed 조건을 고려한 구조해석, Testbed 구축 시 발생될 수 있는 문제점 최소화를 위한 공사시방서 작성
- 공동연구기관((주)지주): 친환경 플라스틱 침목 제조공정(성형방법 최적화-보조 압출기 제작 및 압출 기 간의 호환성 분석, 성형품 냉각 및 취출 기술) 구축 및 시제품 제작, 피드백된 시제품에 대한 공인시험 성적서 발급

○ 3차년도 개발 목표 및 연구내용

폐플라스틱 활용 침목 표준화 [주관-UNIST]	1) 한국철도표준규격(KRS) 제정 추진 2) 한국철도시설공단 표준규격(KRSA) 제정 추진 3) 철도용품 형식승인 요청 및 지원 4) 자원재활용에 따른 경제성 분석
지속가능한 플라스틱 침목 현장계측 및 평가 [공동1-DUC]	1) Testbed 현장계측 방법 수립 2) Testbed 현장계측 및 평가
지속가능한 플라스틱 침목 Testbed 구축 및 성능인증 추진 [공동2-(주)지주]	1) 시제품 제작 및 Testbed 구축 2) 한국철도시설공단 철도시설성능검증 추진 3) 공인시험성적서 발급

○ 3차년도 개발 범위

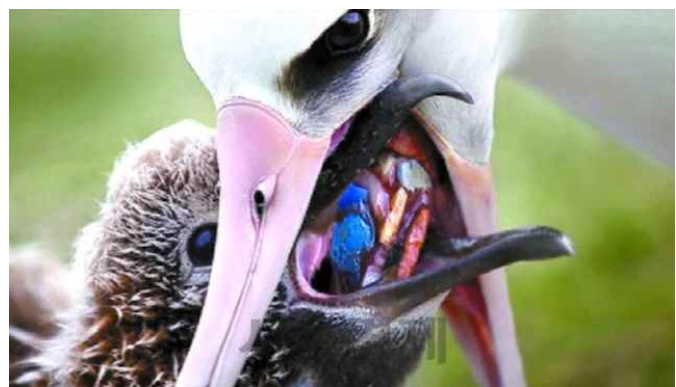
- 주관연구기관(울산과학기술원): ISO 12856-1:2014 및 ISO 12856-2:2014 시험규격기반 폐플라스틱 침목의 적용성 및 내구성이 확보될 수 있는 친환경 플라스틱 침목 성능평가방법 표준화(KRS, KRSA) 및 철도(시설)용품 형식승인 추진, 자원재활용에 따른 경제성 분석
- 공동연구기관(대원대학교): 친환경 플라스틱 침목 성능평가를 위한 Testbed 현장계측 방법 수립, 현장계측 및 평가를 통해 한국철도시설공단 철도시설성능검증을 지원
- 공동연구기관((주)지주): Testbed 구축을 위한 시제품 제작, Testbed 공사 및 공인시험성적서 발급, 한국 철도시설공단 철도시설성능검증 추진

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	성능요구조건 분석 을 통한 개발 목표 치 설정	인장강도(MPa)	15	15	네덜란드/ Lankhorst	25
		휨탄성계수(MPa)	1,400	1,400	미국/ Rutgers University	25
		휨강도(MPa)	20.7	20	미국/ Axion	25
		단위중량(kg/m ³)	849-897	850	미국/ Axion	25
2년차 (2020)	지속가능한 플라스 틱 침목 제조공정 구축	인장강도(MPa)	15	24	네덜란드/ Lankhorst	25
		휨탄성계수(MPa)	1,400	1,700	미국/ Rutgers University	25
		휨강도(MPa)	20.7	24	미국/ Axion	25
		단위중량(kg/m ³)	849-897	850	미국/ Axion	25
3년차 (2021)	폐플라스틱 활용 침목 배합 도출 및 시제품 생산	압축강도(MPa)	15	24	네덜란드/ Lankhorst	25
		휨탄성계수(MPa)	1,400	2,400	미국/ Rutgers University	25
		휨강도(MPa)	20.7	24	미국/ Axion	25
		단위중량(kg/m ³)	849-897	850	미국/ Axion	25

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

[부록 1-1. 국내외 관련자료 조사 및 개발 목표치 설정] 참조

- 국내외 관련 자료 조사(폐플라스틱의 환경적 문제와 재활용의 필요성)
 - 폐플라스틱의 환경적 문제



< 플라스틱 쓰레기로 인한 동물의 영향 >

*출처 : <https://www.nwf.org>, <https://www.sedaily.com/>

-> 폐플라스틱 환경적 문제 분석

- 미생물에 분해되는 생분해성 플라스틱으로 대체하기 위한 노력이 일고 있으나, 아직까지는 강도가 기존 플라스틱에 미치지 못하여 아직 대체율은 낮은 상황임

- 폐플라스틱의 재활용 필요성

- 폐플라스틱의 소각방법은 열에너지를 회수하는 장점이 있으나 소각 과정에서 다이옥신 같은 독성 물질과 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 배출하는 문제

-> 폐플라스틱의 재활용 필요성 분석

- 우리나라의 경우 재활용시장에서 단일재질(PE, PP, PS, PET)에 한해 재활용이 잘 이루어지고 있어, 플라스틱 재활용시장은 재활용에 크게 기여하고 있는 것으로 평가됨. 이들 품목에 대하여 재활용 시장은 순 이윤을 얻을 수 있을 정도로 성장하고 있는 상황임

- 플라스틱 침묵현상의 최적화 설계 [부록 1-1 5~10쪽 사례 참고]

-> 플라스틱 침묵현상의 최적화 설계 사례 분석 완료

- 플라스틱 침묵 기술 동향 [부록 1-1 10~15쪽 사례 참고]

-> 플라스틱 침묵 기술 동향 분석

- 플라스틱침묵에서 발생하는 균열을 예방하기 위한 제작과정상 품질관리, 설계단계에서의 열차하중을 포함하는 외부하중조건에 대한 검토가 면밀히 이루어져야 함

○ 폐플라스틱 재활용 기술 동향 [부록 1-1 16~21쪽 내용 참고]

- 폐플라스틱의 재활용 공정

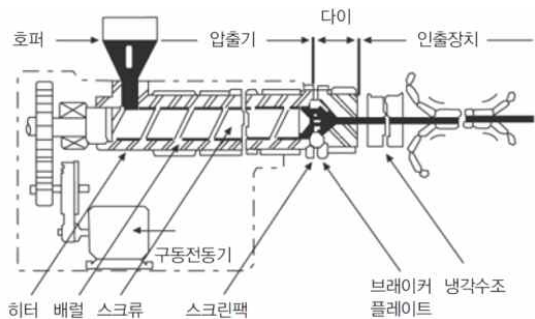


< 폐플라스틱(용기) 재활용 공정 >

*출처 : 민달기 (2014), 선진국의 플라스틱 자원화 정책과 기술동향

○ 플라스틱 재료 배합 및 제조 공정 기술 조사

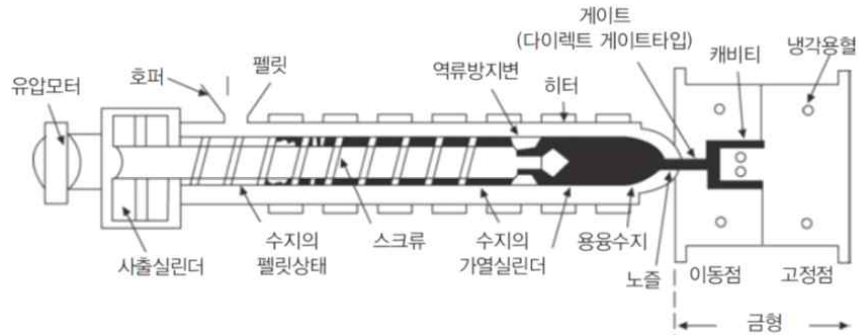
- 플라스틱 압출 성형



< 압출성형기의 예 >

*출처 : (사)한국플라스틱포장용기협회, 플라스틱의 용도와 성형방법

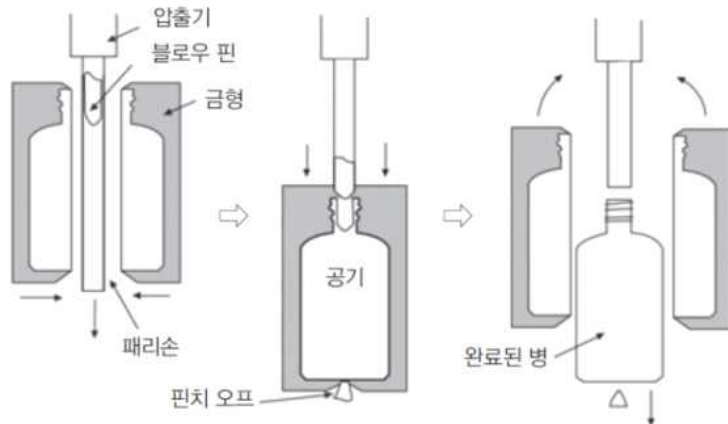
- 플라스틱 사출 성형



< 사출성형기의 예 >

*출처 : (사)한국플라스틱포장용기협회, 플라스틱의 용도와 성형방법

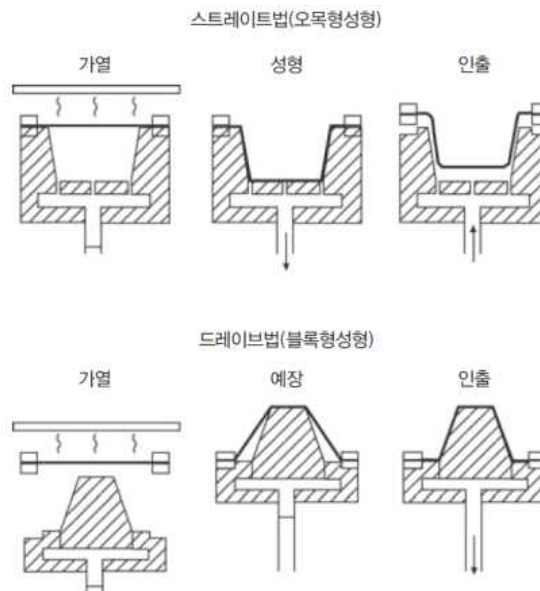
- 플라스틱 중공성형



< 압출식 블로우성형 개략도 >

*출처 : (사)한국플라스틱포장용기협회, 플라스틱의 용도와 성형방법

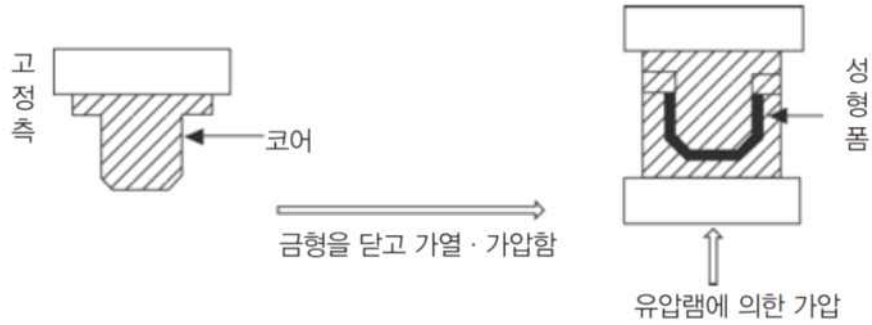
- 플라스틱 진공성형



< 진공성형의 예 >

*출처 : (사)한국플라스틱포장용기협회, 플라스틱의 용도와 성형방법

- 플라스틱 압축성형



< 압축성형법 개략도 >

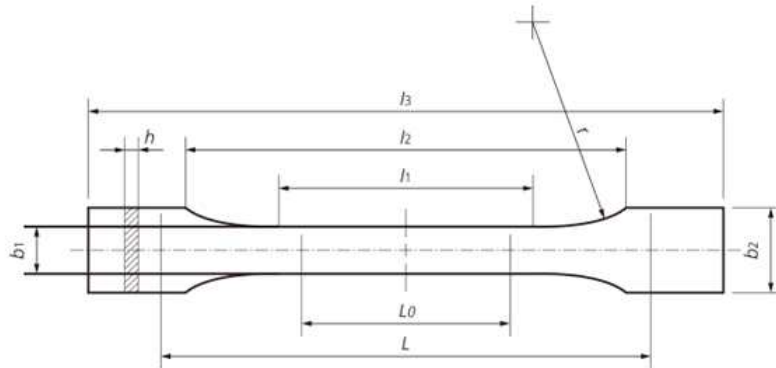
*출처 : (사)한국플라스틱포장용기협회, 플라스틱의 용도와 성형방법

○ 성능요구조건 분석을 통한 개발 목표치 설정

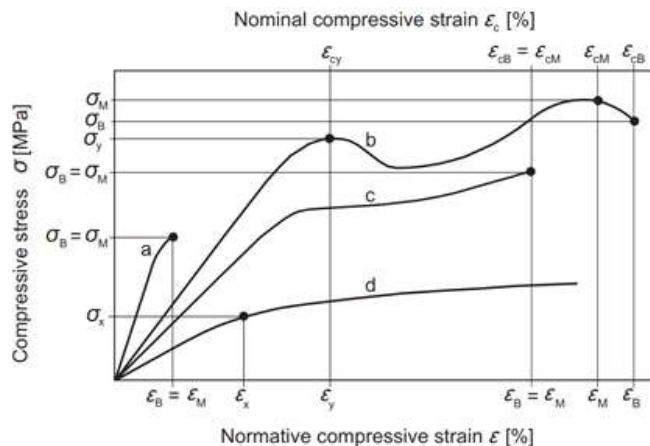
- 재료 측면에서 플라스틱 침목의 요구조건
- 재료 측면에서 플라스틱 침목의 목표치
- 구조적 측면에서 요구조건
- 플라스틱 침목 관련 주요 시험항목 (prEN 17318-2 기반 분석)

○ 플라스틱 침목용 재료의 시험을 위한 시험법 정리

- 플라스틱 인장시험 (ISO 527-2:2012)

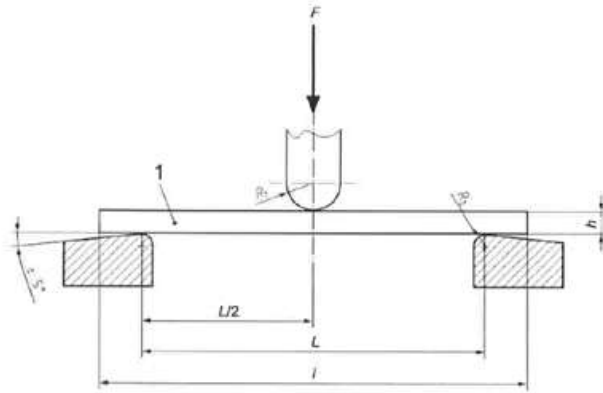


- 플라스틱 압축시험 (ISO 604:2002)

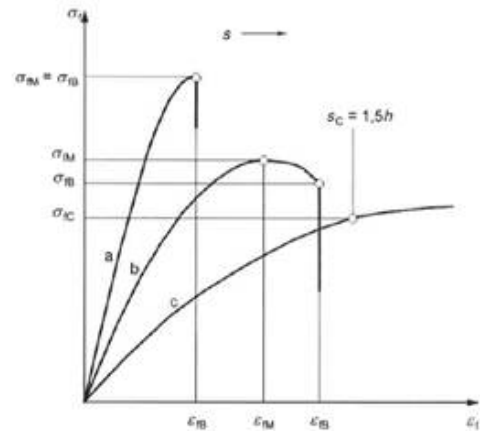


< 일반적인 플라스틱의 압축 응력-변형률 관계 >

- 플라스틱 굽힘시험 (KS M ISO 178:2010)



- | | |
|-------|----------|
| l | 시험편 |
| F | 하중 |
| h | 시험편의 두께 |
| l | 시험편의 길이 |
| R_1 | 가압봉의 반지름 |
| R_2 | 지지대의 반지름 |
| L | 지점 간 거리 |



곡선 a: 항복점 전에 파괴한 시험편
곡선 b: 최대점이 있고 규정된 변형 ϵ_c 전에 파괴한 시험편
곡선 c: 항복점이 없고 규정된 변형 ϵ_c 전에 파괴되지 않는 시험편

< 플라스틱의 굴곡 시험편 형상 >

< 일반적인 플라스틱의 굴곡 응력-변형 관계 >

- 플라스틱 침목용 소재 시험 기준 (ISO 12856-1)

- 굽힘시험
- 압축시험
- 인장시험
- 선팡창 시험
- 기타 : 전단시험, 접착전단시험, 통전시험, 물흡수도, 밀도, 내화성 시험, 내후성시험

○ 플라스틱 재활용 제조공정 개선

- 플라스틱 재활용 제조 공정 주요 개선 사항

개선 단계	개선 전	개선 후
1 단계	• 설비 - Ext Type : Single Screw - Air Vent : N/A • 시편형상  - 문제점 : • Mixing상태 불량 • 생활계 플라스틱을 고온으로 사용시 화학 반응에 의한 기포(Gas bubbles)발생 • 발생된 기포가 외부로 빠져나오지 못하고 성형 • 냉각단계에서 기포발생 Zone에 수축현상으로 변형발생	• 설비 - Ext Type : Twin Screw - Air Vent : 2ea(vacuum) • 시편형상  - 개선사항 : • Mixing상태 양호 • 화학반응에 의한 기포(Gas bubbles)가 Air Vent를 통해 상당수 배출 • 냉각단계 변형감소
2 단계	- 문제점 : • 기포발생 억제를 위한 장치 필요 • 수분함량 측정 필요 • 생활계 플라스틱만을 사용할 경우 품질의 산포발생 • 생활계 플라스틱 소재 내에 철분 다수 함유	- 개선사항 : • 기포발생 원인중 하나인 수분함량을 줄이기 위해 재료로 사용되는 폐플라스틱의 수분함량을 건조기를 이용하여 제거 • 수분함량측정결과 1.0에서 0.05%이하로 떨어뜨림 • 품질의 산포를 줄이기 위해 PE의 함량이 95%이상의 순도를 가진 PE(polyethylene)을 일정비율 섞어 사용 • 생활계 폐플라스틱 소재 철성분 자석설치 거름
3 단계	- 문제점 : • 냉각시 스크류잔류응력(Screw Residual stress)으로 인한 변경가능성존재 • Air vent로 기포가 줄어 들었으나 Mixing 중 기포발생문제 완전해결 안됨	- 개선사항 : • 압출기(Ext)에서 금형으로 수지의 인입전 단계에서 수지내 포함되어있는 잔류기포 및 응력을 해결하기 위한 장치 설계 설치

- 플라스틱 재활용 제조 공정 주요 개선 사항(1차년도)



< 개선 전 >



< 개선 후 >

○ 소재 배합 및 실내시험

- 폐플라스틱의 재활용 과정

- 아파트단지 등에서 분리 배출되는 생활계 플라스틱류만 수거하여 압축
- 압축된 폐플라스틱류 중 일부 분류되지 않는 PET류, 금속류나 비철금속(캔, 뚜껑 등)을 재분류
- 분류된 폐플라스틱 분쇄기를 통한 분쇄
- 분쇄된 조각을 대형 Twin Extruder를 활용하여 덩어리 형태로 구성
- 덩어리 형태의 폐플라스틱을 자연냉각
- 냉각이 완료된 덩어리를 다시 분쇄기를 통해 작은 입자로 분쇄



< 폐플라스틱의 재활용 과정 >

- 폐플라스틱을 활용한 침목 제작성능 시험

1차 : 리사이클 100%	2차 : 리사이클 80% + P301E BL 20%	3차 : 리사이클 70% + P301E BL 30%	4차 : RT-180 50% + 리사이클 50%
			
5차 : RT-180 100%	6차 : RT-400 100%	7차 : RT-400 70% + 리사이클 30%	8차 : RT-400 50% + 리사이클 50%
			

9차 : RT-180 50% + CALFET 50%	10차 : RT-180 60% + CALFET 40%	11차 : RT-180 50% + 리싸이클 30% + CALFET 20%	12차 : RT-180 40% + 리싸이클 40% + CALFET 20%
			
13차 : RT-180 30% + 리싸이클 40% + CALFET 30%	14차 : RT-180 30% + 리싸이클 40% + CALFET 30%	15차 : RT-180 30% + 리싸이클 40% + CALFET 30%	16차 : RT-180 30% + 리싸이클 40% + CALFET 30%
			

- 적용된 플라스틱 원재료 및 필러(채움재) 재료의 물성분석

• 물성 분석에 적용된 플라스틱 원재료

- ◇ 폐플라스틱 침묵 개발을 위해 적용된 원재료들의 물리/화학적 기본 특성 분석을 통하여, 효과적인 배합비율 선정에 적용하고자 함
- ◇ 다양한 배합비율을 통해 제작된 시편들의 기계적 특성을 분석할 때 원재료들의 물성 특성을 활용하고자 함



< Calpet >



< 대전방지제 >



< EPR >



< Recycle Plastic >

• 플라스틱 원재료 및 필러(채움재)의 밀도 분석

< 원재료의 밀도 정보 >

Type	EPR	Calpet	Recycle Plastic	대전방지제	Pond Ash(J)	Pond Ash(D)	Pond Ash(F)	슬래그골재
밀도(g/cm ³)	1.416	2.487	1.081	1.233	3.411	2.0-2.2	2.0-2.2	3.4

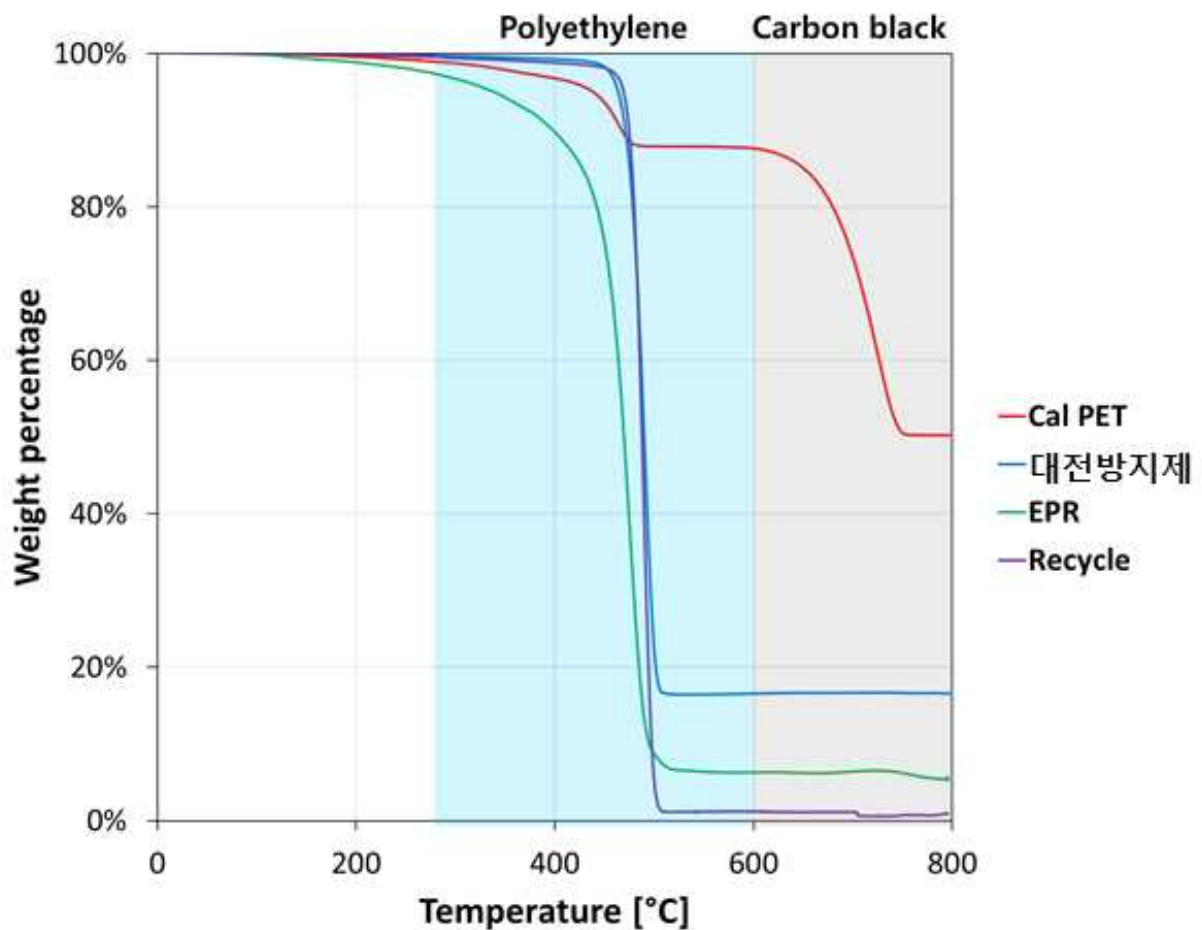
• 열중량분석기(TGA)를 이용한 플라스틱 시료 성분분석

- ◇ 열중량분석기(Thermogravimetric analysis, TGA)는 온도 변화에 따른 시료의 무게 변화를 측정하는 분석방법으로 온도-무게 변화량의 곡선으로부터 시료의 성분들에 대한 정성 및 정량 분석이 가능하다. 플라스틱은 일반적으로 폴리에틸렌(Polyethylene)을 구성하는 C₂H₄가 무수히 길게 연결된 고분자를 지칭하며, 열중량분석 시 약 300-600° C 범위에서 상변화가 발생하는 것이 일반적이다. 또한 일부 플라스틱 제작 시 충전첨가제로 사용되는 카본블랙(Carbon black)은 약 600-800° C 범위에서 상변화가 일어난다. 따라서 이러한 플라스틱 원료 특성을 고려하여 본 연구에서는 열중량 분석기를 이용해 30-800° C의 온도범위에서 플라스틱 시료의 중량변화를 분석하였다. 열중량분석을 위해 약 10 g의 시료를 사용하였으며, 10° C/min의 일정한 승온속도로 질소(30-600° C)와 산소(600-800° C)를 가열해 분석을 진행하였다.
- ◇ 아래 표와 그림은 초기질량대비 온도 변화에 따른 시료의 무게변화를 나타낸 것으로, 폴리머와 카본블랙 함량에 따라서 플라스틱 시료의 무게가 변화하는 것을 확인할 수 있다. CalPET를 제외한 3종 플라스틱 시료(Antistatic, EPR, Recycle)의 폴리머 함량은 83.4-98.8%로 매우 높았으며, CalPET 시료의 폴리머 함량은 12.4%로 상대적으로 매우 적은 결과를 보였다. 카본블랙은 CalPET 샘플에 약 37.4%로 매우 많이 포함되어 있었으나, 나머지 3종 플라스틱 시료에서는 1.0% 미만으로

적은 양을 포함하고 있다. 가열 후 남은 ash의 양은 CalPET이 50.2%로 가장 높았으며, Antistatic(16.6%), EPR(5.3%), Recycle(1.0%)의 결과를 보였다. 일반적으로 카본블랙은 플라스틱 성형 시 높은 점도, 매끄러운 붓기로 플라스틱 제품 제작에 유리하지만, 다량 사용할 경우 물성 조절이 어려운 문제가 있다. 또한 입자오염 문제로 그 사용이 제한되고 있는 추세이므로, 이를 고려하여 철도침목 제작에 적합한 플라스틱 시료를 선정해야 한다.

< 플라스틱 원재료의 TGA 성분분석 결과 온도별 질량 변화 >

	Calpet	대전방지제	EPR	Recycle
Polymer (30-600° C)	12.4%	83.4%	93.7%	98.8%
Carbon black (600-800° C)	37.4%	0%	1.0%	0.2%
Ash (Residue at 800° C)	50.2%	16.6%	5.3%	1.0%



< 플라스틱 원재료의 TGA 성분분석 결과 >

• XRF분석을 이용한 플라스틱 원재료의 화학 성분분석

◇ XRF (X-ray Fluorescence Spectrometry, 엑스선형광분석법)는 primary X-ray beam으로 시료를 여기시켜 여기된 시료로부터 발생한 Secondary fluorescent X-rays로 시료 속에 존재하는 구성 원소를 분석하는 방법임. 시료 내 존재하는 원소마다 고유의 X-ray wavelengths(energy)를 갖고 있으므로 미지시료의 정성분석(Qualitative analysis)을 할 수 있고, Fluorescent X-rays intensity는 시료 내 존재하는 원소 양(농도)에 의존하므로 정량분석(Quantitative analysis)이 가능함

< 플라스틱 원재료의 XRF 성분분석 결과 >

	CaO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Cl	Br	ZnO	PbO	CuO
Calpet	98.60%								
대전방지제	25.10%	67.70%	7.20%						
EPR	17.00%	0%	16.40%	50.20%	13.40%				
Recycle	26.10%	3.10%	6.00%	45.40%	0%	10.70%	4.70%	2.40%	1.60%

• 플라스틱 원재료의 분자량(GPC) 분석

- ◇ 고분자의 특성상 분자량이 높으며 분자량 분포(저분자량~고분자량)를 가지고 있으므로, 수평균분자량과 중량평균분자량이라고 하는 통계개념이 필요함. 분자량과 분포특성이 고분자의 최종물성과 품질유지에 많은 영향을 미치기 때문에, 고분자의 분자량분석은 가장 기본적이면서 중요한 분석임
- ◇ Mn은 고분자의 수평균분자량, Mw는 중량평균분자량이며, Mw/Mn을 계산하여 고분자의 분산도(PDI, Polydispersity)를 평가할 수 있습니다.

< 플라스틱 원재료의 분자량 분석 결과 >

	Calpet	대전방지제	EPR	Recycle
Mn	1291	14577	14960	20573
Mw	27050	386512	301070	373710
Mw/Mn	20.95	26.52	20.13	18.17

• 필러(채움재) 분석

- ◇ 플라스틱 침목의 제작성을 높이고, 열팽창계수를 낮추고, stiffness 증대 시키며, 침목의 탄성계수를 저감시키고, 전체 제작비용을 낮출 수 있으며, 추후 적용을 예상하는 보강근과의 접합력을 높이기 위하여 필러를 적용하고자 함
- ◇ Vossloh 사의 플라스틱 침목의 경우 0.1~1.0 mm 입도를 갖는 모래를 활용하고 있으며, 최대 전체 체적의 60%를 모래를 활용하여 배합하고 있음
- ◇ 본 연구에서는 국내에서 환경 문제를 야기하고 있는 산업부산물을 대상으로 폐플라스틱 침목의 필러로 적용 가능성을 확인하고자 함
- ◇ 필러들의 경우 플라스틱 원재료들과 화학적으로 반응을 촉진하는 재료가 아니므로, 화학조성 보다는 입도분포 및 필러의 형상이 중요하다고 할 수 있음. 다만, Pond Ash (J)의 경우 다른 필러들에 비하여 철 성분이 낮은 점이 특징이라 할 수 있으며, 이는 플라스틱 배합과정에서 유리한 효과를 준다고 알려져 있다.



< Pond Ash (D) >



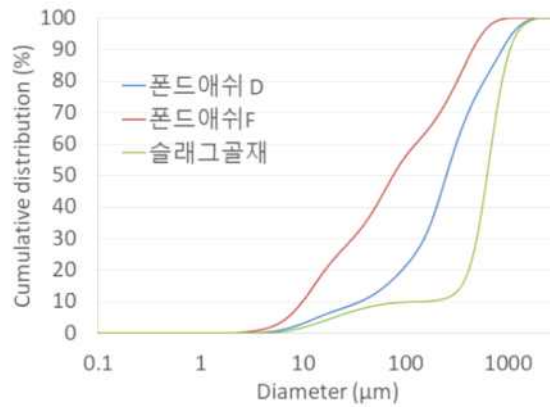
< Pond Ash (F) >



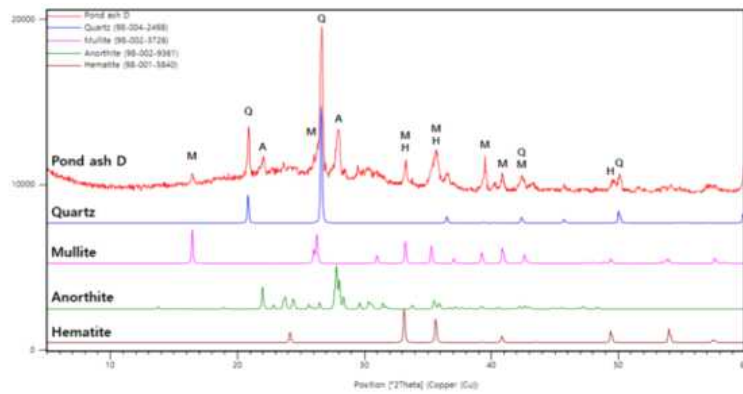
< 슬래그 골재 >

< 필러의 화학 조성 >

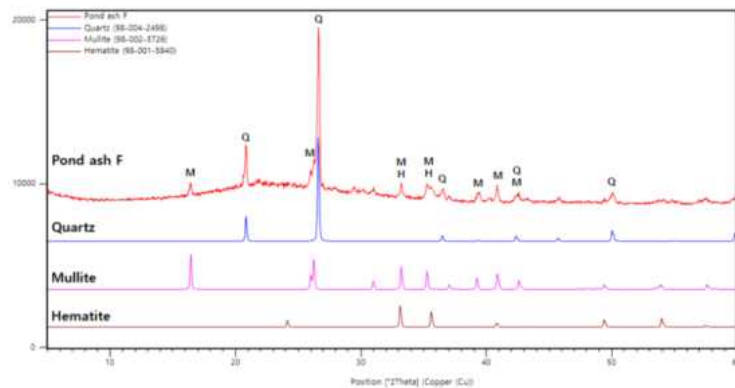
Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O
Pond Ash (J)	49.3%	26.8%	6.36%	6.44%	2.37%	1.43%	1.58%	2.12%
Pond Ash (D)	49.3%	19.4%	15.9%	8.43%	1.85%	1.49%	1.33%	0.77%
Pond Ash (F)	53.7%	21.4%	12.3%	4.91%	2.37%	1.73%	1.22%	1.32%
슬래그골재	14.4%	2.02%	26.0%	44.3%	6.76%	0.13%	0.54%	0.07%



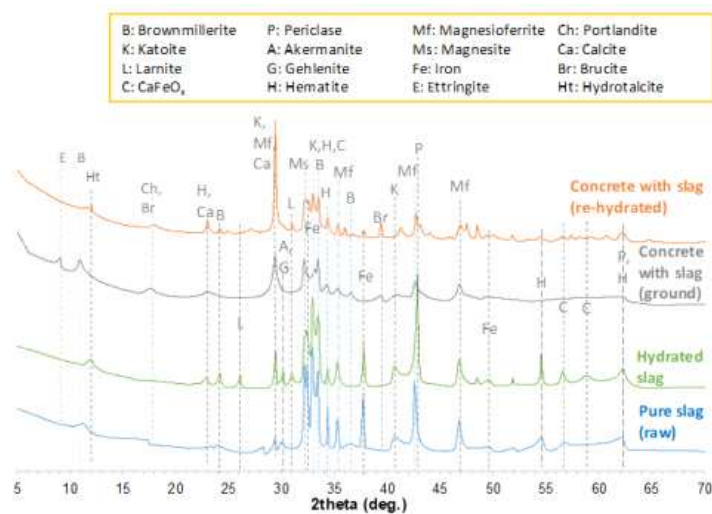
< 필러의 입도분포 >



< XRD 분석결과 (Pond Ash D) >



< XRD 분석결과 (Pond Ash F) >



< XRD 분석결과 (슬래그골재) >

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

1.1 소재배합에 따른 실내시험 결과 및 분석

○ 소재 시험을 위한 배합표

시편번호	원재료	함량(%)	시편번호	원재료	함량(%)
1	EPR	30	6	Recycle Plastic	60
	Calpet	30		EPR	20
	Recycle Plastic	40		Pond Ash (J)	15
2	Recycle Plastic	66.7		대전방지제	5
	Pond Ash (J)	33.3	7	Recycle Plastic	40
3	Recycle Plastic	40		EPR	20
	EPR	30		Pond Ash (J)	40
	Pond Ash (J)	30	3-A	Recycle Plastic	40
4	Recycle Plastic	60		EPR	30
	EPR	30		Pond Ash (F)	30
	Pond Ash (J)	10	3-B	Recycle Plastic	40
5	Recycle Plastic	60		EPR	30
	EPR	35		Slag aggregates	30
	Pond Ash (J)	5	3-C	Recycle Plastic	40
				EPR	30
				Pond Ash (D)	30

○ 시편 시험

- 앞부분 “플라스틱 침목용 재료의 시험을 위한 시험법 정리” 에서 정리하였던 시험방법에 의거하여 제작된 시편들의 소재시험들을 진행하였음



< 인장 시험 과정 >



< 굴곡 시험 과정 >

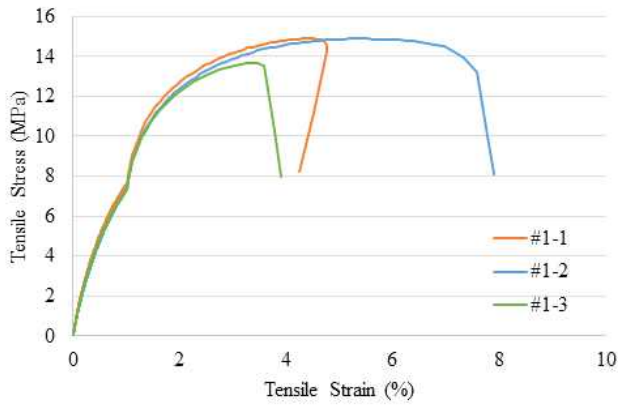
○ 인장 시험 결과

- 강도 시험 결과 : 배합 비율의 특성에 따른 강도의 변화를 검토한 결과, 100% 폐기물로 제작된 2번 배합 (페플라스틱 66.7%, 매립회 33.3%) 이 가장 우수한 결과를 보여줌. 동등 배합을 기준으로 필러들의 영향을 분석하기 위하여, 3번 배합과 3-A, 3-B, 3-C 들을 비교한 결과 Pond Ash (J)를 활용한 배합이 다른 필러들의 배합보다 우수한 결과를 보여줌.

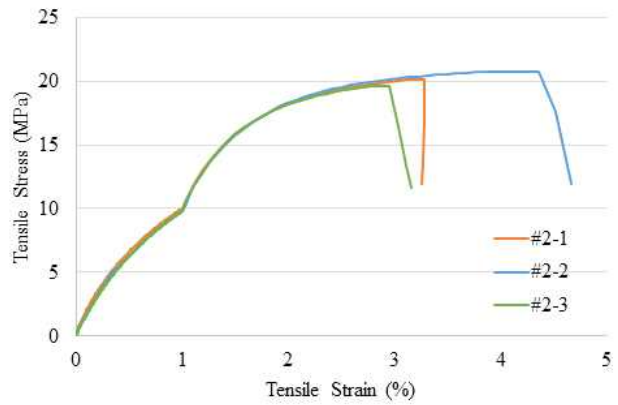
시편번호	Tensile Stress at Max. Load (MPa)	Strain at Break (%)	Modulus (MPa)
1-1	14.9	4.77	1131
1-2	14.9	7.59	1069
1-3	13.7	3.59	1104
1 평균	14.5	5.31	1098

2-1	20.1	3.28	1447
2-2	20.8	4.46	1450
2-3	19.6	2.95	1332
2 평균	20.2	3.53	1410
3-1	18.2	6.37	1113
3-2	19.3	7.42	1036
3-3	19.2	7.07	1020
3 평균	18.9	6.95	1056
4-1	16.6	5.55	877
4-2	15.4	6.98	735
4-3	14.8	4.06	767
4 평균	15.6	5.53	793
5-1	17.3	4.21	890
5-2	16.1	4.02	873
5-3	15.8	4.10	931
5 평균	16.4	4.11	898
6-1	17.8	5.10	
6-2	17.2	4.63	
6-3	18.5	5.98	
6 평균	17.8	5.24	
7-1	15.4	2.45	1207
7-2	15.2	2.39	-
7-3	14.3	1.87	1292
7 평균	14.9	2.23	1250
3-A-1	15.2		
3-A-2	16.4		
3-A-3	16.4		
3-A-4	15.9		
3-A-5	15.7		
3-A 평균	15.9		
3-B-1	11.0		
3-B-2	14.1		
3-B-3	13.0		
3-B-4	11.0		
3-B-5	12.9		
3-B 평균	12.4		
3-C-1	8.12		
3-C-2	7.48		
3-C-3	9.0		
3-C-4	11.0		
3-C-5	9.73		
3-C 평균	9.07		

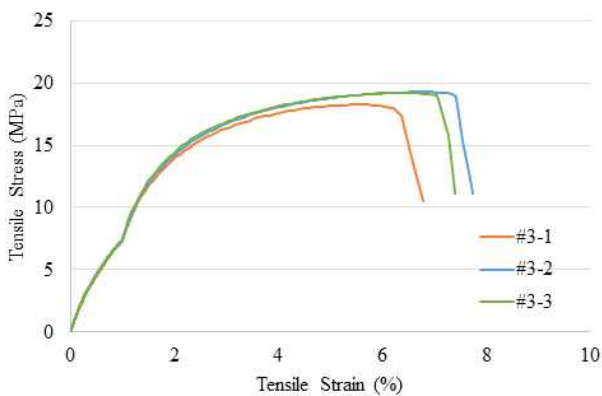
• 인장 시험의 응력-변형률 결과 : 인장시편들의 시험 결과



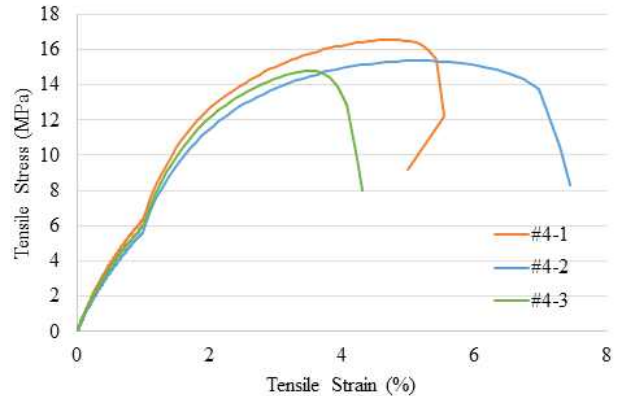
< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #1 >



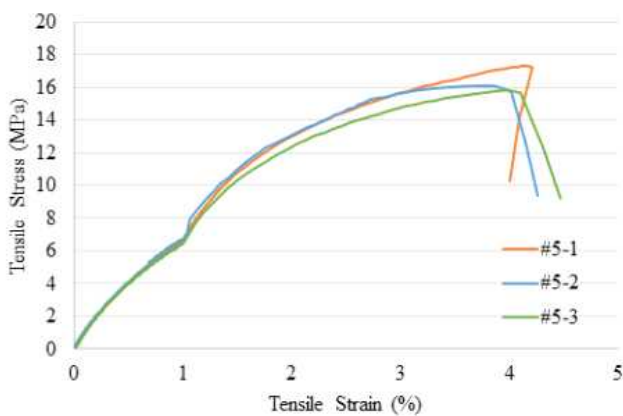
< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #2 >



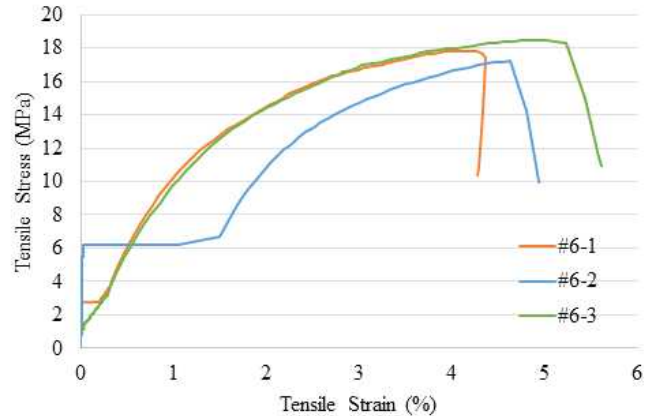
< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #3 >



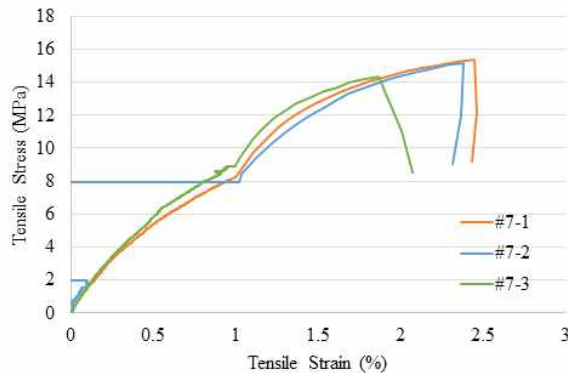
< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #4 >



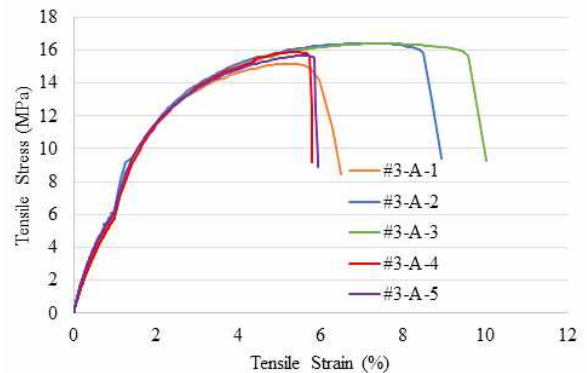
< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #5 >



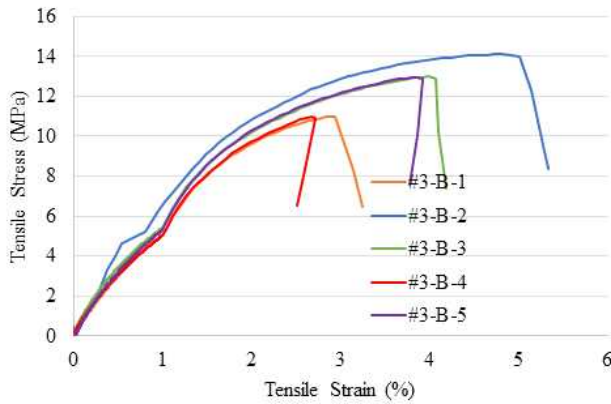
< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #6 >



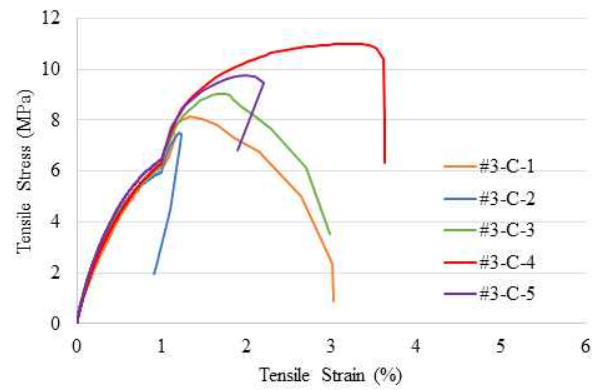
< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #7 >



< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #3-A >



< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #3-B >



< 인장 시험의 응력-변형률 관계 #3-C >

○ 압축 시험 결과

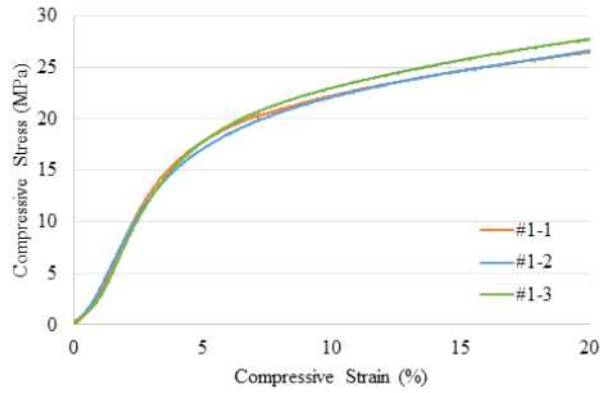
- 강도 시험 결과 : 소재단위 압축시험의 경우 해당 재료특성(파괴되지 않는 연성 플라스틱)에 따라 명확한 파괴강도를 보여주지 않아, 관련 문헌*을 참고하여 대푯값을 압축강도로 표현. 인장강도 시험 결과들과 유사한 경향을 나타냄

- 100% 폐기물로 제작된 2번 배합 (페플라스틱 66.7%, 매립회 33.3%) 이 가장 우수한 결과를 나타냄
- 동등 배합을 기준으로 필러들의 영향을 분석하기 위하여, 3번 배합과 3-A, 3-B, 3-C 들을 비교한 결과 Pond Ash (J)를 활용한 배합이 다른 필러들의 배합보다 우수한 결과를 나타냄

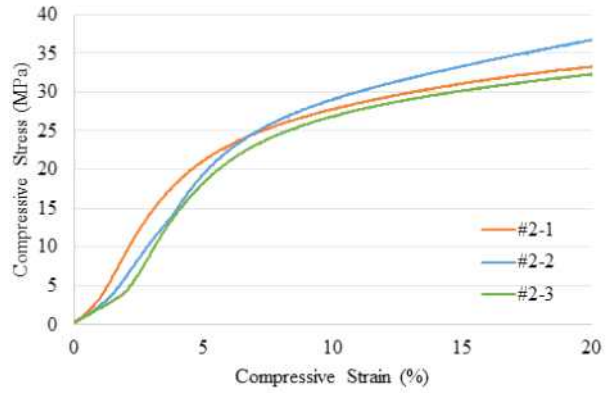
*출처 : Bierögel and Grellmann (2014), Polymer Solids and Polymer Melts-Mechanical and Thermomechanical Properties of Polymers: 4.2 Compression Loading

시편번호	Compressive Strength (MPa)	시편번호	Compressive Strength (MPa)
1-1	18.05	6-1	18.68
1-2	17.68	6-2	17.64
1-3	17.99	6-3	18.03
1 평균	17.91	6 평균	18.12
2-1	23.73	7-1	21.58
2-2	25.74	7-2	21.99
2-3	23.44	7-3	20.94
2 평균	24.30	7 평균	21.50
3-1	17.32	3-A-1	14.56
3-2	17.53	3-A-2	15.81
3-3	18.29	3-A-3	15.52
3 평균	17.71	3-A 평균	15.30
4-1	17.29	3-B-1	15.04
4-2	17.33	3-B-2	15.09
4-3	16.44	3-B-3	15.35
4 평균	17.02	3-B 평균	15.16
5-1	17.87	3-C-1	16.79
5-2	16.96	3-C-2	17.12
5-3	16.46	3-C-3	17.52
5 평균	17.10	3-C 평균	17.14

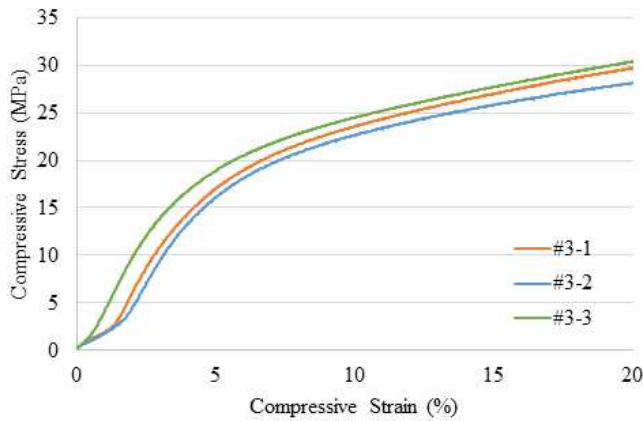
- 압축 시험의 응력-변형률 관계 결과 : 압축시험들의 시험 결과 그래프



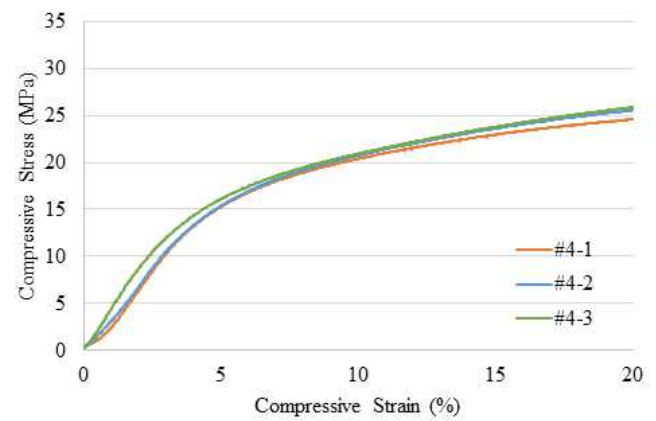
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #1 >



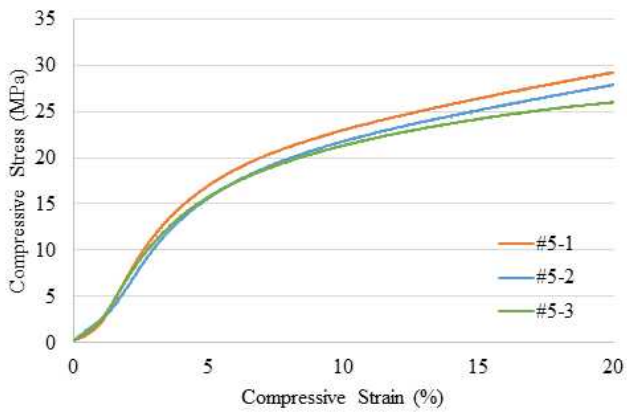
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #2 >



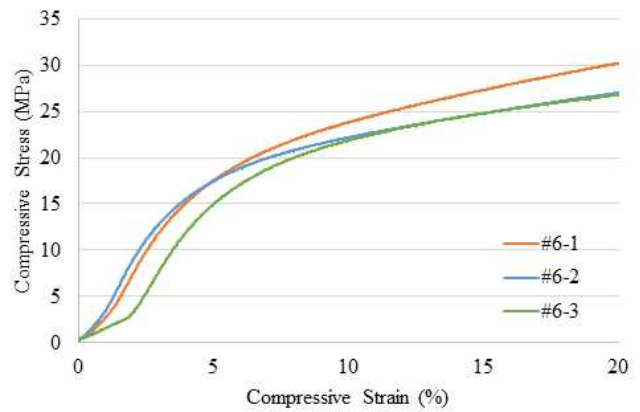
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #3 >



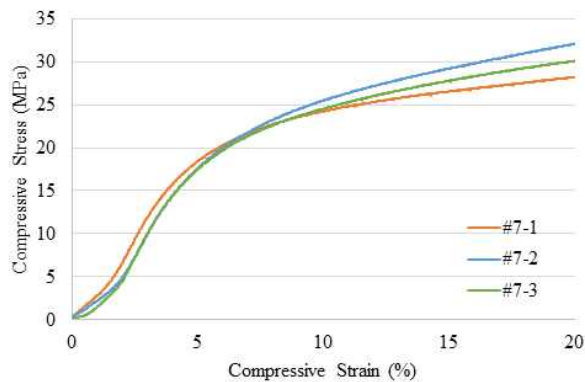
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #4 >



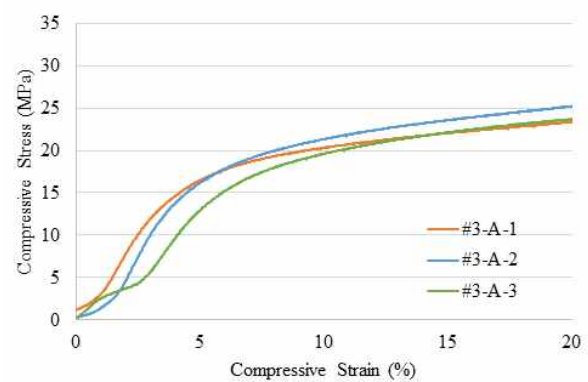
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #5 >



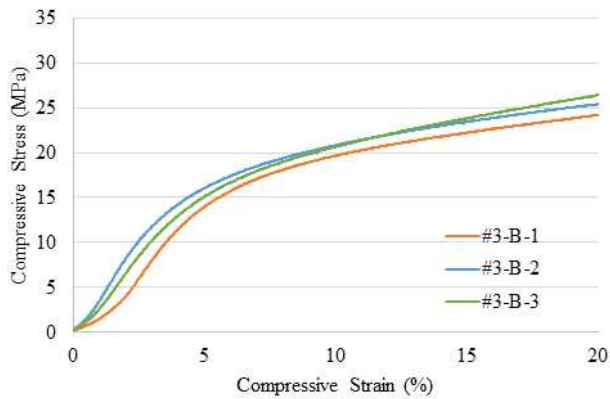
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #6 >



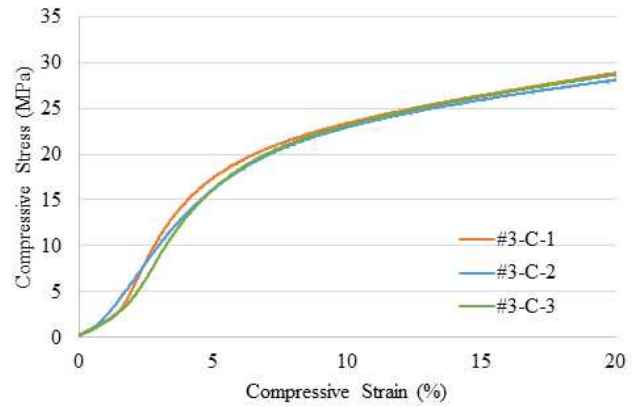
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #7 >



< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #3-A >



< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #3-B >



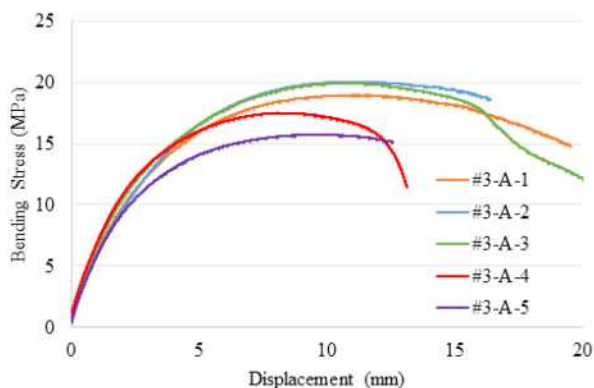
< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #3-C >

○ 굴곡 시험 결과

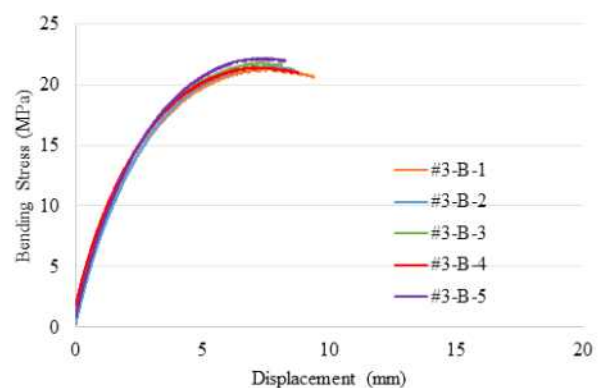
- 강도 시험 결과 : 필러의 영향을 분석하기 위하여, 3-A, 3-B, 3-C 들을 비교하였다. 시험결과 필러의 영향은 큰 차이를 보여주고 있지는 않지만, 해당 시편들 중에서는 Pond Ash (D)를 활용한 3-C 시편이 가장 우수한 결과를 보여주었음. 또한, 시편들간의 편차가 크지 않음을 확인함으로써 시편 제작의 안정성을 확인하였음.

시편번호	Max. Load (N)	Max. Load (MPa)	Modulus (MPa)
3-A-1	40.26	18.98	1121
3-A-2	44.42	20.06	1081
3-A-3	42.66	19.95	1112
3-A-4	38.82	17.51	1173
3-A-5	34.49	15.73	1063
3-A 평균	40.13	18.45	1110
3-B-1	39.76	21.25	797.1
3-B-2	38.47	21.49	834.0
3-B-3	40.54	21.76	804.0
3-B-4	39.06	21.41	815.4
3-B-5	40.18	22.15	819.5
3-B 평균	39.60	21.61	814.0
3-C-1	45.94	21.92	1026
3-C-2	41.80	20.79	1168
3-C-3	43.74	21.56	1200
3-C-4	45.96	22.69	1114
3-C-5	44.22	21.79	979.6
3-C 평균	44.33	21.75	1098

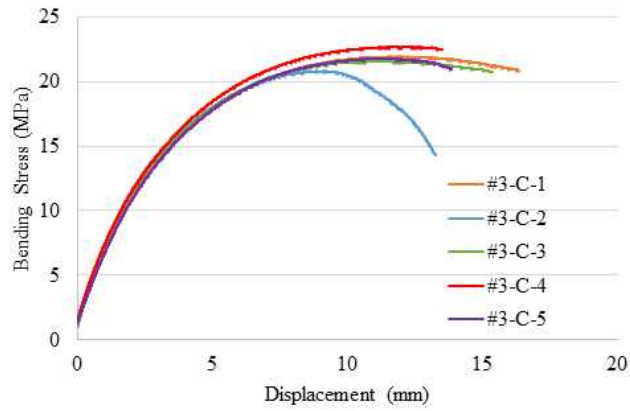
- 굴곡 시험의 응력-변위 관계 결과 : 굴곡 시편들의 시험 결과 그래프



< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #3-A >



< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #3-B >



< 압축 시험의 응력-변형률 관계 #3-C >

- 시편 파괴 형상 : 인장시편들의 시험 후 파괴형상을 살펴보면, 모두 gage length에서 파괴를 보여주고 있음. 이 형상을 통해 시편제작의 적정성을 확인할 수 있었음. 압축시편의 경우 파괴되지 않는 연성 플라스틱의 전형적인 최종 변형 형상을 확인할 수 있었음



< 인장 시험 후 시편의 파괴 형상 >

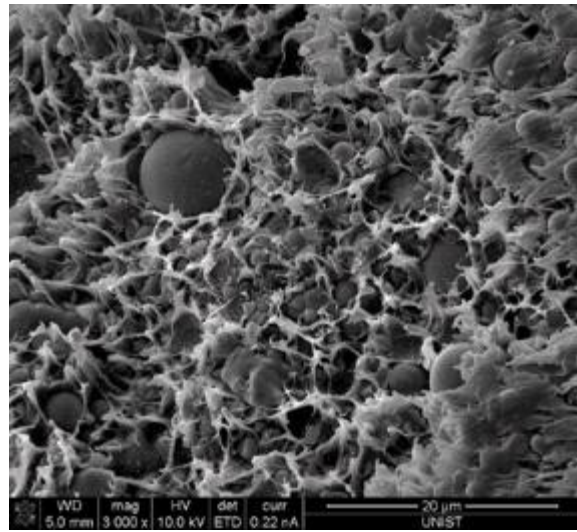
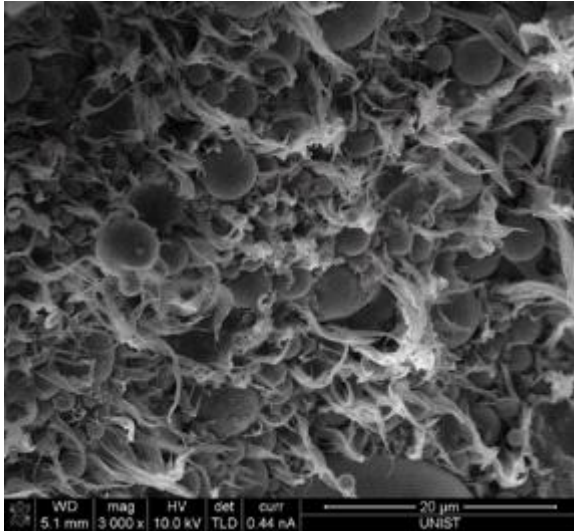


< 압축 시험 후 시편의 파괴 형상 >



< 굴곡 시험 후 시편의 파괴 형상 >

• 인장 시험편 파단면 현미경 촬영 결과



< 시편 1 (좌), 시편 2 (우) >

• 공인시험 성적서 발행

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL (02)2164-0011 FAX (02)2634-1008
 성적서번호 : TAK-2020-148640
 대 표 자 : 이영훈
 업 체 명 : 울산과학기술원
 주 소 : 울산광역시 울주군 언양읍 유나스트길 50
 시 료 명 : 페블라스틱 침묵 소재

접 수 일 자 : 2020년 10월 06일
 시험완료일자 : 2020년 10월 20일

시험결과				
시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도(**)	MPa	-	19.4	KS M ISO 527-2 : 2012
굴곡탄성률(***)	GPa	-	3.68	KS M ISO 178 : 2012 준용
굴곡강도(***)	MPa	-	31.7	KS M ISO 178 : 2012 준용
밀도(23 °C)(A법)	g/cm³	-	1.784	KS M ISO 1183-1 : 2012

** 시험편 : 18형, 시험속도 : 5 mm/min
 *** 시험속도 : 1.6 mm/min, 지지대거리 : 70 mm, 시험편 : 의뢰자제공(n=5)
 ~ 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시험명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
 2. 이 성적서는 총보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)의 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 효력이 상실됩니다.

Back, Young Min
 작성자 : 백영민
 Tel : 02-2092-3706

You Seok
 기술책임자 : 유석
 Tel : 1577-0091(ARS 01-40)

2020년 10월 20일

KTR 한국화학융합시험연구원

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-OP-P08-F01-02(00) AM210 X 291

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL (02)2164-0011 FAX (02)2634-1008
 성적서번호 : TBK-2019-008150
 대 표 자 : 장우영
 업 체 명 : 울산과학기술원
 주 소 : 울산광역시 울주군 언양읍 유나스트길 50
 시 료 명 : 침묵용 페블라스틱 소재_지주

접 수 일 자 : 2019년 11월 25일
 시험완료일자 : 2019년 12월 02일

시험결과				
시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도	MPa	1번	14.5	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장강도	MPa	2번	20.2	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장강도	MPa	3번	18.9	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장강도	MPa	4번	15.6	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장강도	MPa	5번	16.4	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장강도	MPa	6번	17.6	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장강도	MPa	7번	14.9	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
신장율	%	1번	5	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
신장율	%	2번	4	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
신장율	%	3번	7	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
신장율	%	4번	6	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
신장율	%	5번	4	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
신장율	%	6번	5	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
신장율	%	7번	2	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장 모듈러스	GPa	1번	1.10	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장 모듈러스	GPa	2번	1.41	KS M ISO 527-2 : 2013(*)
인장 모듈러스	GPa	3번	1.06	KS M ISO 527-2 : 2013(*)

- 다음 페이지 -

Park Joo-ick
 작성자 : 박주익
 Tel : 02-2092-3701

You Seok
 기술책임자 : 유석
 Tel : 1577-0091(ARS 01-40)

2019년 12월 02일

KTR 한국화학융합시험연구원

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 3

전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다. 전자문서본(Electronic Copy)

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-OP-P08-F01-02(00) AM210 X 291

○ 단위중량 시험 결과

- 시험방법 : 수중치환법 (배합 3 기준)
- 결과 : $A = 0.1182, B = 0.8945, C = 0.8888 \Rightarrow 953.9 \text{ kg/m}^3 [A/(A+B-C)]$

1.2 친환경 플라스틱 침목 성능평가 시험방법(안) 도출

○ 침목 중앙부 부모멘트 휨시험

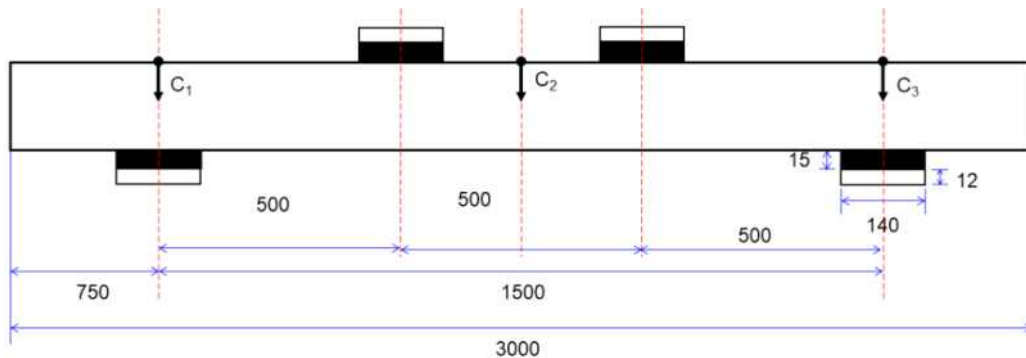
- 휨 하중 재하 방식: 3점 휨 시험 또는 4점 휨 시험

※ 3점 휨 시험(부모멘트): 토공, 터널과 같은 전면지지 조건에서 실시

- 4점 휨 시험(부모멘트): 교량용 침목

- 시험편 개수: 3점

- 근거 1: 공단 잠정표준규격서 - 제품 1000개 또는 그 단수를 로트로 하여 로트당 3개를 임의 추출하여 시험
- 근거 2: 서울교통공사 잠정표준규격서 - 제품 500개 또는 그 단수를 1로트로 하여 로트당 3개를 임의 추출하여 검사 및 시험
- 근거 3: 국내에서 개발 사례가 전무한 제품으로 안정적인 제품의 품질 검증 필요
- 단면이 symmetric 한 경우 중앙부의 정모멘트와 부모멘트의 결과는 동일함
- LVDT 설치 위치: C1, C2, C3 모두 침목 상면에 위치 - 급작스러운 파괴에서 LVDT 보호 가능



○ 정적 강성 시험

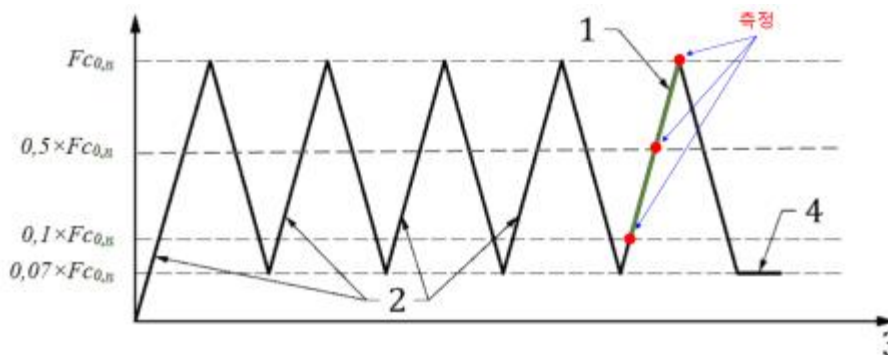
- 하중 재하 속도: 적정 60 kN/min
- 하중 재하 속도: 최대 120 kN/min
- 4회차까지는 pre-loading 단계이며, 5회차 하중 상승 단계에서의 하중 및 변위가 정적 강성 산정의 데이터로 활용
- 계산식:

$$k_{cn,stat1} = \frac{0.4 \cdot Fc_{0,n}}{\Delta d_1} \quad (1)$$

$$k_{cn,stat2} = \frac{0.9 \cdot Fc_{0,n}}{\Delta d_2} \quad (2)$$

여기서, Δd_1 : $0.1 \cdot Fc_{0,n}$ 과 $0.5 \cdot Fc_{0,n}$ 하중 구간에서 침목의 변위 차이

Δd_2 : $0.1 \cdot Fc_{0,n}$ 과 $Fc_{0,n}$ 하중 구간에서 침목의 변위 차이

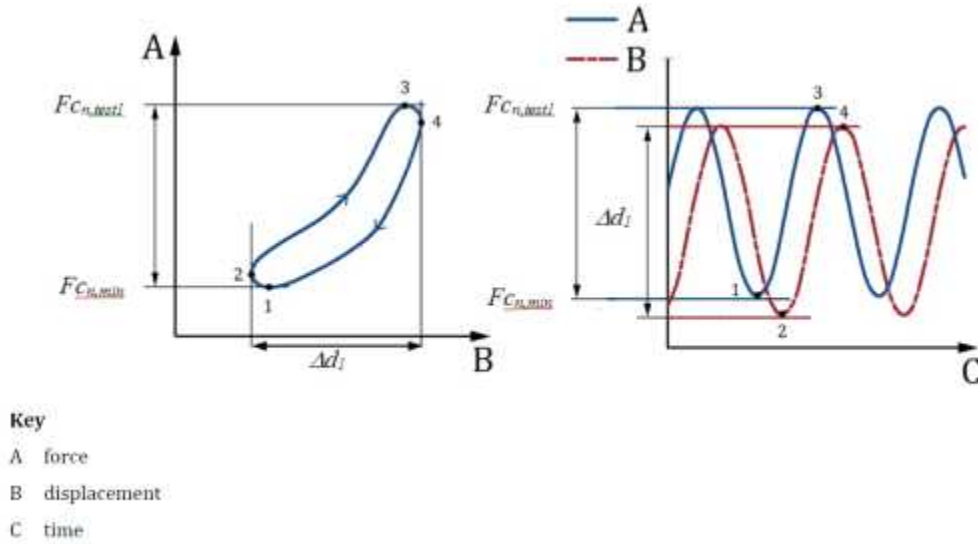


<강성 측정 구간>

- 동적 강성 시험을 이어서 할 경우 4번 구간에서 $0.07Fc_{0,n}$ 유지해야함

○ 동적 강성 시험

- 동적 강성 1 (침목 중앙부): 동적 강성 시험 시 하중은 두 단계로 나누어 재하되는데, 먼저 $0.1Fc_{0,n}$ 에서 $0.5Fc_{0,n}$ 까지의 하중을 sine 파형 및 (5 ± 1) Hz의 주파수로 1000회 가한다. 이 중 마지막 100회 하중 재하 주기 동안 10회에 걸친 하중-처짐을 기록



<동적 강성시험 하중 재하 및 측정 구간>

- 계산식:

$$k_{cn,dyn1} = \frac{1}{10} \cdot \sum_{10} \frac{Fc_{n,test1} - Fc_{n,min}}{\Delta d_1} \quad (3)$$

여기서, Δd_1 : $Fc_{n,min}$ 과 $Fc_{n,test1}$ 하중 구간에서 침목의 변위 차이

- 동적 강성 2 (침목 중앙부): 동적 강성 1차 시험 완료 후 $0.1Fc_{0,n}$ 에서 $Fc_{0,n}$ 까지의 하중을 sine 파형 및 (5 ± 1) Hz의 주파수로 1000회 가한다. 이 중 마지막 100회 하중재하 주기 동안 10회에 걸친 하중-처짐을 기록

- ※ 계산식:

$$k_{cn,dyn2} = \frac{1}{10} \cdot \sum_{10} \frac{Fc_{n,test2} - Fc_{n,min}}{\Delta d_2} \quad (4)$$

여기서, Δd_2 : $Fc_{n,min}$ 과 $Fc_{n,test2}$ 하중 구간에서 침목의 변위 차이

- 시험 순서

- (2정) 정적 강성 시험 → 동적 강성 시험 1 → 동적강성시험 2 → 정적 강도시험
- (1정) 정적 강성 시험 → 동적 강성 시험 1 → 동적강성시험 2 → 피로시험 → 정적 강성 시험 → 동적 강성 시험 1 → 동적강성시험 2 → 정적 강도시험

○ 침목 중앙부 피로시험

- 시험편 개수: 1정
- 시험 방법

- 1) 피로 시험을 위한 플라스틱침목 시험체의 설치는 정적 강성 시험체 설치 방법과 동일하다. 피로 시험 전 정적 강성 시험 및 동적 강성시험을 수행한다.
- 2) 시험체 및 변위 측정 장치의 설치가 끝나면, $F_{cn,min}(=0.1Fc_{0,n})$ 에서 $F_{cfat,n}(=Fc_{0,n})$ 까지의 하중을 sine 파형 및 5 Hz의 주파수로 200만회 가한다. 피로 시험이 진행되는 동안 침목의 온도가 최대 40 °C를 초과하지 않도록 조치해야 한다.

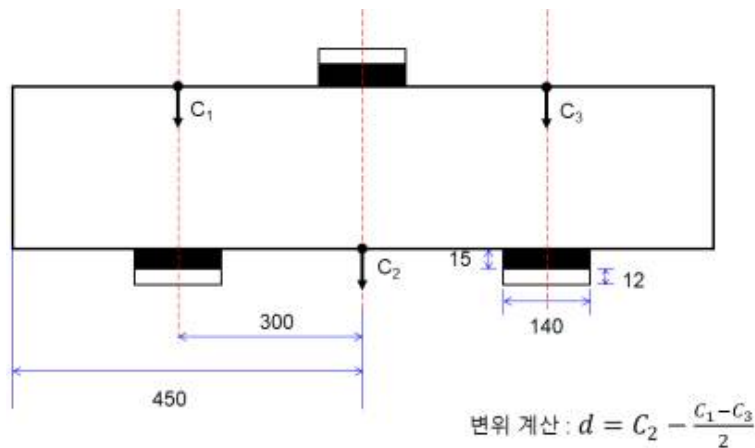
- ※ 피로시험 하중 설정 근거: ISO 12856-2에서 $F_{cfat,n}$ 는 $Fc_{0,n}$ 보다 작거나 같아야 한다고 추천함. 조금

더 극한 상황을 설정하고자 선정

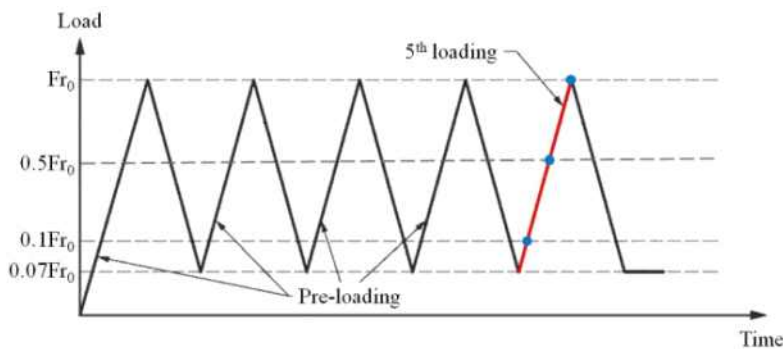
- 2-1) 결과 보고: 최초 1000회 하중재하가 진행되는 동안 하중과 변형관계를 측정하고, 누적 하중재하 횟수 기준 50만회, 100만회, 150만회 및 200만회 시에 변위를 측정하였어야 한다
- 3) 피로 시험 후, 정적 강성 시험 및 동적 강성시험을 추가 수행. 모든 시험이 종료되면, 침목 중앙부 상면, 측면 및 저부에 균열 및 파손 발생여부 확인을 위해 육안검사를 실시
- 4) 피로 시험 및 강성 시험이 종료되면, 피로 시험 종료 시험체를 이용하여 정적 휨 강도 시험을 실시. 정적 하중은 파괴 시까지 가하거나 침목 중앙부 최대 처짐이 20 mm에 도달할 때까지 시험을 실시한다. 피로 시험 후 정적 휨 강도 시험 시 하중재하 속도는 60 kN/min을 적용한다.
- ※ 시험 방법 근거: ISO 12856-2에서는 정적 강도시험의 속도를 최대 하중 속도만 120 kN/min로 제시. 따라서 정적 강성시험과 동일하게 60 kN/min 속도로 시험하는 것이 적절하다고 판단됨

○ 레일 좌면부 휨시험

- 침목을 절단해서 시험해도 되고, 절단하지 않고 시험하는 것도 가능
- 시험편 개수: 3점 (근거: 중앙부 시험과 동일)
- LVDT 설치 위치: C1과 C3는 침목 상면에 위치, C2는 침목 하부에 위치



- 정적 강성 시험 방법: 침목 중앙부 휨시험과 동일(기준하중은 다름)



<강성 측정 구간>

- ※ 동적 강성 시험을 이어서 할 경우 4번 구간에서 $0.07F_{C0,n}$ 유지해야함

- 동적 강성 시험 방법: 침목 중앙부 휨시험과 동일(기준하중은 다름)

- 시험 순서

- (2정) 정적 강성 시험 → 동적 강성 시험 1 → 동적강성시험 2 → 정적 강도시험
- (1정) 정적 강성 시험 → 동적 강성 시험 1 → 동적강성시험 2 → 피로시험 → 정적 강성 시험 → 동적 강성 시험 1 → 동적강성시험 2 → 정적 강도시험

- 침목 좌면부 피로시험(200만회): 침목 중앙부 휨시험과 동일(기준하중은 다름)

- 재료단위 열팽창 계수시험(ISO 12856-1): 1개
 - 시편크기: 10 mm × 10 mm × 120 mm
 - 온도 조건: -30° C ~ 60° C, 1시간 간격
 - 계수계산 방법:

$$\alpha = \frac{l}{L(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

여기서, α : 선팽창계수

l : 늘어난 길이(mm)

L : 가열전 시편의 길이늘어난 길이(mm)

t_2 : 최종 가열한 온도 (예: 60° C) (° C)

t_1 : 가열전 온도 (예: -30° C) (° C)

- 침목단위 열팽창 시험: 1정

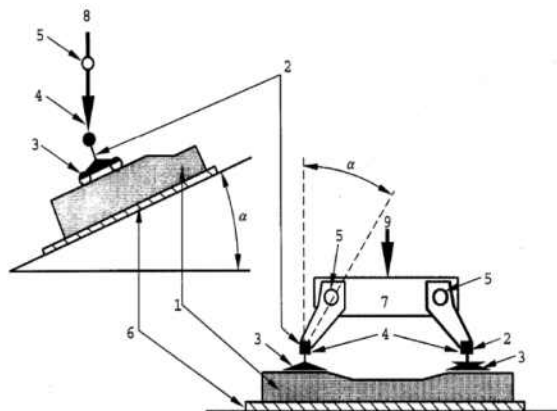
- 요구 시편크기(in prEN17318-2 & ISO 12856-2): 전체단면 & 길이 = 1.0 m (국내 시험기관 시험 능력 고려)
- 온도 조건: 23° C(± 3° C) ~ 43° C(± 3° C)
- 측정지점: 양쪽 레일좌면부 윗면 + 아랫면
- 시험방법(in prEN17318-2)(총 4회 측정): i) 챔버 온도 23° C(± 5° C) 24시간 보관 & 길이 측정, ii) 챔버 온도 20° C 상승 후 24시간 보관 & 길이 측정, iii) 챔버 온도 23° C(± 5° C) 24시간 보관, iv) 챔버 온도 20° C 상승 후 24시간 보관

- 온도에 따른 체결장치 영구 변형

- 시험 방법: EN 13146-10을 준용 필요
 - ※ 플라스틱 침목에서 레일체결장치 인터페이스적 측면에서 매우 중요한 시험 항목임
 - ※ 다만, 국내 시험기관 장비 여건상 쉬운 시험은 아니며, 볼트 머리부의 미소 변위를 정밀하게측할 수 있는 센싱 인프라가 필요함
 - ※ 볼트 머리부에 소형 앵글을 부착하고 그 앵글에 변위계가 단게 하여(이때 변위계는 특정 고정점을 통해 움직임이 없다는 전제가 있어야 함) 일정한 하중이 볼트 머리에 작용할 때의 볼트 미소 변위 측정

○ 체결장치와의 인터페이스 시험: 레일 체결장치 피로 시험

- 시험편 개수: 1정



<레일 체결장치 피로 시험 개념도>

- 열차 곡선부 주행 시 레일에 가해지는 수직/수평하중이 모사된 경사 반복하중이 레일체결장치+플라스틱 침목 조합체에 가해질 때 체결장치, 침목 본체 및 이들 간의 인터페이스에 대한 하중지지 능력 및 내구성 평가, 300만회 피로시험

- 시험체 경사 각도는 고속철도, 일반철도, 도시철도 적용 여부에 따라 달라짐
- 시험순서: ㉠ 동적 강성시험(하중재하 각도 결정) → ㉡ 300만회 피로시험

○ 체결장치와의 인터페이스 시험: 전기저항 시험

- 시험편 개수: 1정
- 시험편이 3 개인 경우 시험 시간 단축 가능, 1개일 경우 건조 후 시험 과정 반복해야 함

○ 체결장치와의 인터페이스 시험: 인발저항 시험

- 시험편 개수: 3개
- 매립전 방식이 아닌, 후설치 스크류볼트 설치 방식일 경우 전기저항 시험용 시험체를 분절(3등분)하여 인발저항 시험용 시험체 3개 제작 가능
- ※ 참고 1. 유럽의 경우, 설계 승인 시험은 EN 13481-3, EN 13481-7 또는 EN 13481-5에 따라 구매자가 정의할 수 있다. 일본의 경우, 설계승인시험은 “Design Standards for Railway Structures and Commentary (Track)”에 따라 구입자가 정의할 수 있다. 중국의 경우, "General requirements of fastening systems for mixed traffic railways" 또는 "Fastening systems for high-speed railway - Part 1: General requirement"에 따라 구매자가 설계 승인 시험을 정의할 수 있다.
- ※ 참고 2. EN 13146-4에 따른 체결구 시스템 피로 시험을 완료한 후 고정 시스템을 둘러싼 침목 자재가 손상 징후를 보여서는 안 된다(레일 시트 섹션의 심각한 균열, 변형 또는 영구적인 처짐 없음). 또한 레일 게이지가 2mm 이상 변화하지 않아야 한다.

○ 화재저항 시험

- 관련근거 1: prEN17318-2 기준은 시험 방법을 침목 구매자가 제시하도록 규정함
- 관련근거 2: ISO 12856-2에서는 침목 구매자가 제시하도록 규정하고, ISO 시험규격들의 개념을 사용할 수 있다고 명시함(ISO 11925-2, ISO 5659-2, ISO 21367)
- 관련근거 3: prEN17318-1 기준(소재단위)에서는 IEC 60695-11-20:2003, 8.3. 시험 방법을 제시함.
- 관련근거 4: Korail에서는 UL 94 기준을 따라 시험함. IEC 기준과 UL 94기준은 상호 부합하는 기준임

1.3 표준규격제정

[부록 1-2. 국내 도시철도 표준(잠정)규격서(안)] 참조

○ 표준(잠정)규격제정 - 국내 도시철도

1. 적용범위 및 분류	1
1.1. 적용 범위	1
1.2. 분류	1
2. 필요조건	2
2.1. 재료	3
2.2. 형상 및 치수	4
2.3. 구조적 성능 요구조건	5
2.4. 제조	9
3. 검사 및 시험	11
3.1. 검사	11
4.2. 시험	11
4.3. 합격품질수준	11
4. 포장 및 표시	12
4.1. 포장	12
4.2. 표시	12
5. 보증기간 및 법적분쟁	12
5.1. 보증기간	12
5.2 법적분쟁	13

[부록 1-3. 표준(잠정)규격제정에 대한 개정의견서] 참조

1. 규격서 명칭 변경	1
2. 적용범위 내용 추가	1
3. 합성침목의 분류 추가	2
4. 적용자료 추가 및 업데이트	3
5. '2.2 사용조건 및 재료의 정의' 삭제	4
6. '2. 필요조건' 내 '2.1 재료' 에 구체적인 설명 추가	4
7. 재료적 성능요구조건 수정	5
8. '2.2 형상 및 치수' 구체화	8
9. '2.3 구조적 성능 요구조건' 추가	10
10. '2.4 제조' 수정	22
11. '3. 검사 및 시험' 수정	24
12. '4. 포장 및 표시' 수정	26
13. '5. 보증기간 및 법적분쟁' 수정	27

1. 적용범위 및 분류	1
1.1. 적용 범위	1
1.2. 분류	1
2. 필요조건	2
2.1. 재료	2
2.2. 형태	2
2.3. 제조 및 가공	3
2.4. 성능 및 외관	3
3. 검사	4
3.1. 검사	4
3.2. 합격품질수준	5
4. 포장 및 표시	7
4.1. 포장	7
4.2. 표시	7
5. 시험	8
5.1. 재료단위 기계적 특성 시험	10
5.2. 재료단위 전기적 특성 시험	15
5.3. 재료단위 수분흡수 시험	18
5.4. 재료단위 밀도 시험	18
5.5. 재료단위 선팡창계수 시험	19
5.6. 재료단위 화재저항 시험	20
5.7. 침목단위 정적/동적 휨 강성 및 정적 휨 강도 시험	20
5.8. 침목단위 피로시험	28
5.9. 침목단위 부모멘트 영구변형 시험	29
5.10. 침목단위 열팽창시험	30
5.11. 온도변화에 따른 체결장치 연구변형	31
5.12. 교량침목 휨 변위 제한시험	33

○ 침목 비용 비교

- | 구 분 | 규 격 | 가격 (견적가) | 비고 |
|---------------------------|----------------------|-----------|----|
| 목침목
(수입품) | 교 량용(230*230*3000mm) | 25~35만원 | |
| 합성수지침목 A
(수입품) | 교 량용(230*230*3000mm) | 110~120만원 | |
| 합성수지침목 B
(수입품) | 교 량용(230*230*3000mm) | 100~110만원 | |
| 합성수지침목
(국산품) | 교 량용(230*230*3000mm) | 55~65만원 | |
| 플라스틱 합성침목
(본 연구개발 성과품) | 교 량용(230*230*3000mm) | 35~45만원 | |

- 침묵 견적 예시

- [illegible]

위 치 도



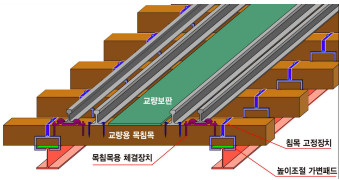
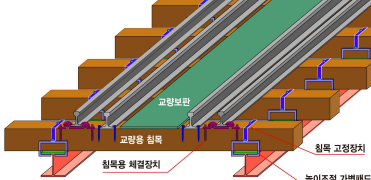
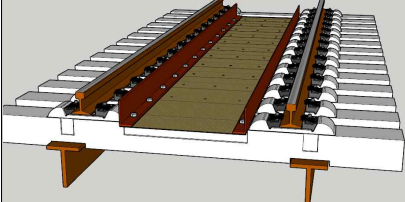
- 적용 사례 설계기준(「서울 지하철 2, 3, 4호선 건설지」 발췌 자료)

항 목		기 준	비 고
설계속도		• 80km/h	
차량한계(폭×고)		• 3,200×4,750mm	
건축한계(폭×고)		• 3,600×5,150mm (지하) • 3,600×5,500mm (지상)	
최소곡선 반 경	본선 분기에 부대하는 경우 승강장에 연하는 경우 측선	• 180m • 150m • 400m • 120m	• 부득이한 경우 140m 까지
완화곡선장 (R=800m 이하)		• $L = 600 \cdot C$	• 측선은 이에 준하지 않음
반대방향의 완화곡선간의 거리		• 200m 이상	• 부득이한 경우 양측 완화곡선을 직접 연결 • 분기에 부대하는 곡선은 이에 준하지 않음
캐 트		• $C = 11.3 \frac{V^2}{R} - C'$ • $C' = 40\text{mm}$, 최대 160mm	
최대구배	본 선	• 35%	
	정차장	• 3% • 8%	• 차량을 해결할 경우 • 부득이한 경우는 10%까지
	측 선	• 45%	
최소구배		• 2%	• 승강장에 연한 부분 및 유치선 은 이에 준하지 않음
종곡선 최소반경		• 3,000m	• 인접구배의 변화가 5%이하일 경우는 종곡선을 두지 않아도 좋다.
곡선부에 있어서 건축한계의 확대		• $W = \frac{24,000}{R}$	

항 목		기 준	비 고
궤도면과 도상면간의 거리		• 600mm 이상	• 자갈도상
		• 500mm	• 콘크리트 도상
최소궤도 중심간격	지 상	• 4,000mm	• 3선의 경우 1선의 간격은 4.3m 이상
	지 하	• 4,000mm+b	• 3선의 경우 1선의 간격은 4.6m 이상
슬 랙(Slack)		• $S = \frac{2,250}{R}$ 최대 25mm	
레 일		• 본선구간 • 기지내 측선	• 기지본선 포함 50kgN • 50kgN
침 목		• PC 침목 • 목단침목 • 목침목	• 자갈 도상 구간 • 콘크리트 도상 구간 • 분기부, 차량기지측선, 신축이음매부 (한강교량상 제외, 곡선반경 600m 미만 복선)
도 상		• 자갈도상	• 지하부 : 700mm (R.L까지) • 지상부 : 600mm(R.L까지) • 고가부 : 600mm (R.L까지)
		• 콘크리트 도상	• 고가역 : 700mm • 지하역 : 600mm
체 결 구		• 본선구간 • 기타측선	• 팬드롤 체결구 (이음매부 스파이크) • 타이플레이트 스파이크
분 기 기		• 50kg NS형 (일반형)	• 철도청 규격 참조
장대레일		• 20m/Rail 용접	• R=600m이상
가드레일		• 안전레일 • 급곡선부 • 교량부	• 탈선방지 및 확대 방지 • R=180m 미만 • 전구간

항 목	설계기준	비 고
설계속도	• 80km/h	
궤도형식	• 무도상교량 궤도구조	
레 일	• 60kgKR(L=20m)	• 동호철교 50kgN, 동작철교 60kgKR 레일부설 • 교량 궤도시설물 개량시 레일중량화를 고려하여 60kgKR 레일로 통일
침 목	• 교량침목(3000×230×230mm)	• 보통침목, 합성수지침목, 플라스틱침목 등
높이조절용패드	• 가변패드(주머니+주입제) • 침목패드	
체결장치	• 교량침목용 레일체결장치 • 교량침목고정장치 • 교상가드레일 체결장치	
인도용보판	• 스틸플레이트 또는 와이어매쉬	
장대레일	• 1차용접 - 가스압접(100m 장척화) • 2차용접 - 테르밋트용접(장대화)	• 곡선반경 R=600m 이상
레일신축이음매	• 60kg 일단 또는 양단	

• 적용 사례 궤도개량방안 대안별 검토(1)

구분	[1안] 궤도재료(동일 규격품) 교체	[2안] 궤도재료(개량 규격품) 교체	[3안] 신형식 궤도구조(재료) 개량
형상			
개요	- 기존 무도상 철도교량의 궤도구조 형식은 그대로 유지하면서 궤도재료를 신제품으로 교체하는 방안 - 궤도재료는 기존과 동일한 규격품 적용	- 기존 무도상 철도교량의 궤도구조 형식은 그대로 유지하면서 궤도재료를 개량된 신제품으로 교체하는 방안 - 궤도재료는 개량 규격품 적용 (교량용 합성침목, 교량-침목 고정장치에 함) - 재료 선정시 기존선과의 연계성 및 유지보수성, 시공성, 현장여건 등을 반영한 종합검토 필요	- 기존 무도상 철도교량을 생력화할 수 있는 궤도구조 개선 방안 - 궤도재료는 개량 규격품 적용
장점	- 기존 침목과 동일한 규격의 침목을 사용하므로 교환작업이 수월 - 높이 조절용 가변패드 사용으로 침목의 변형과 시공오차로 인한 레일 고저를 미세하게 조정할 수 있음 - 기존에 원형 강제링에서 사각강제링 사용시 할렬이 23% 낮게 나타남	- 개량된 규격품(합성침목, 교량-침목 고정장치) 사용으로 내구성, 시공성 및 유지보수성 우수 - 재료별 침목을 비교사용함에 따라 필요한 재료를 선정해서 사용이 가능함 - 공장 제품으로 연속생산이 가능하고 치수 안정도가 높음	- 개량된 규격품(합성침목, 교량-침목 고정장치) 사용으로 내구성, 시공성 및 유지보수성 우수 - 공장 제품으로 연속생산이 가능하고 치수 안정도가 높음 - 국내 생산 합성침목(Fiber계열, Polymer계열) 적용 가능 - 구조용 가드레일 및 보판을 이용하여 침목과 고정함으로써 종·횡방향 저항력 확보 - 레일 중량화 및 장대화 가능 (REJ 최소화) - 높이조절용 패드 및 Shim패드 사용으로 정밀시공 가능 - 전기 절연성 및 우수한 내구성 확보 - 다양한 종류의 레일체결장치 및 교량-침목 고정장치 적용 가능
단점	- 목침목 사용으로 내구연한이 다른 침목에 비해 짧음 - 열차하중에 의한 궤도구성품의 기계적 손상을 받기 쉬움 - 화재로 인한 목침목 손상 우려가 있음 - 목침목에 방부제 사용으로 환경 문제 대두 - 레일 중량화 및 장대화 어려움 (다수의 REJ 설치 필요)	- 침목 선정시 재료별 단점 존재 - 기존 목침목과 다른 합성침목 사용으로 시공성이 떨어짐 - 레일 중량화 및 장대화 어려움 (다수의 REJ 설치 필요) - 레일체결장치 홀 천공 시 유해한 분진 발생 - 직결식 레일체결장치만을 사용 - 고가의 높이조절용 가변패드 사용 - 재활용 시 별도의 설비구축 또는 기술보유국(사)에 송환해야 함	- 국내 Polymer계열 합성침목 성능요구기준 (서울교통공사 잠정규격서) 개정 필요 - 국내 개발된 Polymer계열 합성침목의 성능시험 필요 (2021년 완료 예정)
적용 사례	국내 다수 적용 사례 있음 (경의선 도라산역 교량침목 개량공사 등)	- 합성침목 : 네덜란드, 미국, 독일, 일본 등 - 교량-침목 고정장치 : 국내 시험시공 예정(2021년)	- 합성침목 : 네덜란드, 미국 등 - 국내 시공사례 없음
재료수급 및 제작의 용이성	- 자연재료를 사용하여 제작 과정에서 변형이 많이 일어남 - 기 국내 사용중인 궤도재료로 수급 용이	대부분의 합성침목은 수입 제품으로 수급이 어려움 (사전주문제작 필요)	국내 공장제작으로 재료수급이 용이하고, 치수 안정도가 높음

• 적용 사례 궤도개량방안 대안별 검토(2)

구 분		[1안] 궤도재료(동일 규격품) 교체	[2안] 궤도재료(개량 규격품) 교체	[3안] 신형식 궤도구조(재료) 개량
재료성	난연성	• 화상 및 소상의 우려가 있음	• Fiber계열 합성수지침목 : 불연성 소재 • Polymer계열 합성침목 : 첨가재를 이용한 난연성 확보 • 철 침목 : 불연성 소재	• Polymer계열 합성침목 : 첨가재를 이용한 난연성 확보
	절연성	• 전기 절연도 높음	• Fiber계열 합성수지침목 : 절연성 확보 • Polymer계열 합성침목 : 절연성 확보 • 철 침목 : 소재가 도체로 체결장치에서 절연구현 필요	• Fiber계열 합성수지침목 : 절연성 확보 • Polymer계열 합성침목 : 절연성 확보
	부식성	• 자연부식으로 인해 내구연한이 짧음	• Fiber계열 합성수지침목 : 부패·부식이 없어 전식방지 유리 • Polymer계열 합성침목 : 부패·부식이 없어 전식방지 유리 • 철 침목 : 부식 지연을 위해 S.S.T 상향조정 가능	• Fiber계열 합성수지침목 : 부패·부식이 없어 전식방지 유리 • Polymer계열 합성침목 : 부패·부식이 없어 전식방지 유리
	내구성(내구연한)	• 약 10 ~ 20년	• Fiber계열 합성수지침목 : 약 50년 • Polymer계열 합성침목 : 약 50년 • 철 침목 : 약 50년	• Fiber계열 합성수지침목 : 약 50년 • Polymer계열 합성침목 : 약 50년
	물리적 특성	• 재료 특성상 물리적 특성이 불규칙하게 나타남	• 휨강도, 전단강도, 내피로성 우수	• 휨강도, 전단강도, 내피로성 우수 • Polymer계열 합성침목 : 철근 삽입으로 강성 보강
환경성		• 목침목의 경우 방부제 사용으로 환경문제 대두	• 방부제를 쓰지 않아 환경오염이 적은 친환경 재료임 • Fiber계열 합성수지침목 : 나사스파이크 시공 시 유해 분진 발생 • 내구연한 이후 재활용 가능하나 별도의 설비구축 또는 기술보유국(社)에 송환해야 함	• Polymer계열 합성침목(국산품) : - 방부제를 쓰지 않기 때문에 환경오염 문제 없음 - 재활용 플라스틱 및 산업폐기물(정제회)을 이용한 합성침목으로 이산화탄소 배출량 감소, 폐기물 처리비용 감소 등 정부의 그린뉴딜 정책에 부합 • 내구연한 이후 재활용 가능(국산품)
시공성		• 기존 침목과 동일한 재료의 침목을 교체함에 따라 시공이 편리함 (시공경험 다수 보유) • 공사기간 중 열차서행 운전	• 기존 구조물과 다른 재료 사용으로 공사기간이 클 수 있음 • 시공경험 부족 • 공사기간 중 열차서행 운전	• 이동식 전용 크레인 등을 이용함에 따라 급속시공 가능 • 시공경험 부족으로 인한 시행착오 발생 우려 • 공사기간 중 열차서행 운전
유지보수성		• 내구성이 낮아 유지보수비용이 많이 들어감 • 레일체결장치 나사스파이크 이완 및 이탈 • 인도용 보판, 침목 고정장치 등 부식 발생 우려 큼	• 내구성이 우수한 개량 제품 사용으로 유지보수비용 감소 • 인도용 보판, 교량-침목고정장치 등 부식 및 파손 발생 우려 적음	• 내구성이 우수한 개량 제품 사용 및 REJ 최소화로 유지보수비용 감소 • 인도용 보판, 교량-침목고정장치 등 부식 및 파손 발생 우려 적음 • 작업자 통행 시 안전확보 가능
경제성(㎡당 공사비)		• 보통침목 : 300만원 (직접공사비)	• 일반 합성수지침목(국산) : 391만원 (직접공사비) • 일반 합성수지침목(수입) : 492만원 (직접공사비) • 경량 합성수지침목(수입) : 478만원 (직접공사비)	• 플라스틱침목 패널 : 510만원(직접공사비) • 침목 1정당 가격 800,000원 적용

- 설계 사례 적용시 경제성 비교: 대안별 공사비 검토

• [1안] 보통침목 적용시

공 종 명	규 격	수 량	단위	단 가	금 액
① 기존궤도철거					176,995,895
교량침목고정장치 철거	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 철거	야간(3시간차단)	0.96	km	20,845,816	20,011,982
교상발판 철거	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
레일절단	50kg, 야간(3시간차단)	400	개소	23,048	9,219,200
철거재료 상.하차	야간(3시간차단)	839.021	ton	28,729	24,104,233
② 신설궤도부설					148,305,472
교량침목고정장치 설치	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 설치	야간(3시간차단)	0.96	km	25,671,868	24,644,992
교상발판 설치	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
③ 레일 및 침목교환					706,555,920
레일교환(기계, 교량)	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	30,317,711	29,105,001
교량침목 교환(인력)	야간(3시간차단)	2400	정	276,748	664,195,200
장대레일설정	레일인장법, 야간(3시간차단)	1.16	km	11,427,345	13,255,719
④ 용접공사					46,245,255
가스압접기 설치 및 철거		1	회	2,138,735	2,138,735
가스압접	60kg	112	개소	254,983	28,558,096
테르밋용접	60kg, 야간(3시간차단)	24	개소	647,851	15,548,424
⑤ 운 반					31,982,071
레일운송 및 하화	60kg	96	개	2,806	7,580,448
레일현장운반	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	546	4,200,823
침목현장운반 및 배열	WT, 야간(3시간차단)	2400	정	4,021	20,200,800
⑥ 사급자재					1,767,798,720
레 일	60kgK, L=20m	96	개	1,845,280	177,146,880
교량침목	보통침목, 3000×230×230mm	2400	정	285,000	684,000,000
가변패드	A제, B제	4800	kg	33,000	158,400,000
가변패드주머니	220×270mm	4800	장	12,200	58,560,000
교량침목고정장치	좌굴방지체결장치	4800	개	80,910	388,368,000
베이스플레이트	WT, 60kg레일용	4800	개	31,637	151,857,600
나사스파이크	이중와샤 Set	19200	개	4,819	92,524,800
레일패드	60kg, EVA	4800	개	1,400	6,720,000
코일스프링클립	e2001	9600	개	2,562	24,595,200
개 못	Ø16×160	9600	개	1,636	15,705,600
안전발판(P.S.P대용)	400×1000×50mm	960	매	10,334	9,920,640
∴ 직접공사비 합계					2,877,883,333
∴ M당 단위공사비					2,997,795

• [2-1안] 일반 합성수지침목(국산)

공 종 명	규 격	수 량	단위	단 가	금 액
① 기존궤도철거					176,995,895
교량침목고정장치 철거	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 철거	야간(3시간차단)	0.96	km	20,845,816	20,011,982
교상발판 철거	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
레일절단	50kg, 야간(3시간차단)	400	개소	23,048	9,219,200
철거재료 상.하차	야간(3시간차단)	839.021	ton	28,729	24,104,233
② 신설궤도부설					148,305,472
교량침목고정장치 설치	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 설치	야간(3시간차단)	0.96	km	25,671,868	24,644,992
교상발판 설치	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
③ 레일 및 침목교환					706,555,920
레일교환(기계,교량)	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	30,317,711	29,105,001
교량침목 교환(인력)	야간(3시간차단)	2400	정	276,748	664,195,200
장대레일설정	레일인장법, 야간(3시간차단)	1.16	km	11,427,345	13,255,719
④ 용접공사					46,245,255
가스압접기 설치 및 철거		1	회	2,138,735	2,138,735
가스압접	60kg	112	개소	254,983	28,558,096
테르밋용접	60kg, 야간(3시간차단)	24	개소	647,851	15,548,424
⑤ 운 반					31,982,071
레일운송 및 하화	60kg	96	개	2,806	7,580,448
레일현장운반	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	546	4,200,823
침목현장운반 및 배열	WT, 야간(3시간차단)	2400	정	4,021	20,200,800
⑥ 사급자재					2,643,798,720
레 일	60kgK, L=20m	96	개	1,845,280	177,146,880
교량침목	합성수지침목(A) 3000×230×230mm	2400	정	650,000	1,560,000,000
가변패드	A제, B제	4800	kg	33,000	158,400,000
가변패드주머니	220×270mm	4800	장	12,200	58,560,000
교량침목고정장치	좌굴방지체결장치	4800	개	80,910	388,368,000
베이스플레이트	WT, 60kg레일용	4800	개	31,637	151,857,600
나사스파이크	이중와샤 Set	19200	개	4,819	92,524,800
레일패드	60kg, EVA	4800	개	1,400	6,720,000
코일스프링클립	e2001	9600	개	2,562	24,595,200
개 못	Ø16×160	9600	개	1,636	15,705,600
안전발판(P.S.P대용)	400×1000×50mm	960	매	10,334	9,920,640
∴ 직접공사비 합계					3,753,883,333
∴ M당 단위공사비					3,910,295

• [2-2안] 일반 합성수지침목(수입)

공 종 명	규 격	수 량	단위	단 가	금 액
① 기존궤도철거					176,995,895
교량침목고정장치 철거	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 철거	야간(3시간차단)	0.96	km	20,845,816	20,011,982
교상발판 철거	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
레일절단	50kg, 야간(3시간차단)	400	개소	23,048	9,219,200
철거재료 상.하차	야간(3시간차단)	839.021	ton	28,729	24,104,233
② 신설궤도부설					148,305,472
교량침목고정장치 설치	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 설치	야간(3시간차단)	0.96	km	25,671,868	24,644,992
교상발판 설치	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
③ 레일 및 침목교환					706,555,920
레일교환(기계,교량)	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	30,317,711	29,105,001
교량침목 교환(인력)	야간(3시간차단)	2400	정	276,748	664,195,200
장대레일설정	레일인장법, 야간(3시간차단)	1.16	km	11,427,345	13,255,719
④ 용접공사					46,245,255
가스압접기지 설치 및 철거		1	회	2,138,735	2,138,735
가스압접	60kg	112	개소	254,983	28,558,096
테르미트용접	60kg, 야간(3시간차단)	24	개소	647,851	15,548,424
⑤ 운 반					31,982,071
레일운송 및 하화	60kg	96	개	2,806	7,580,448
레일현장운반	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	546	4,200,823
침목현장운반 및 배열	WT, 야간(3시간차단)	2400	정	4,021	20,200,800
⑥ 사급자재					3,615,798,720
레 일	60kgK, L=20m	96	개	1,845,280	177,146,880
교량침목	합성수지침목(B) 3000×230×230mm	2400	정	1,055,000	2,532,000,000
가변패드	A제, B제	4800	kg	33,000	158,400,000
가변패드주머니	220×270mm	4800	장	12,200	58,560,000
교량침목고정장치	좌굴방지체결장치	4800	개	80,910	388,368,000
베이스플레이트	WT, 60kg레일용	4800	개	31,637	151,857,600
나사스파이크	이중와샤 Set	19200	개	4,819	92,524,800
레일패드	60kg, EVA	4800	개	1,400	6,720,000
코일스프링클립	e2001	9600	개	2,562	24,595,200
개 못	Ø16×160	9600	개	1,636	15,705,600
안전발판(P.S.P대용)	400×1000×50mm	960	매	10,334	9,920,640
∴ 직접공사비 합계					4,725,883,333
∴ M당 단위공사비					4,922,795

• [2-3안] 경량 합성수지침목(수입)

공 종 명	규 격	수 량	단위	단 가	금 액
① 기존궤도철거					176,995,895
교량침목고정장치 철거	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 철거	야간(3시간차단)	0.96	km	20,845,816	20,011,982
교상발판 철거	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
레일절단	50kg, 야간(3시간차단)	400	개소	23,048	9,219,200
철거재료 상.하차	야간(3시간차단)	839.021	ton	28,729	24,104,233
② 신설궤도부설					148,305,472
교량침목고정장치 설치	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 설치	야간(3시간차단)	0.96	km	25,671,868	24,644,992
교상발판 설치	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
③ 레일 및 침목교환					706,555,920
레일교환(기계,교량)	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	30,317,711	29,105,001
교량침목 교환(인력)	야간(3시간차단)	2400	정	276,748	664,195,200
장대레일설정	레일인장법, 야간(3시간차단)	1.16	km	11,427,345	13,255,719
④ 용접공사					46,245,255
가스압접기지 설치 및 철거		1	회	2,138,735	2,138,735
가스압접	60kg	112	개소	254,983	28,558,096
테르밋트용접	60kg, 야간(3시간차단)	24	개소	647,851	15,548,424
⑤ 운 반					31,982,071
레일운송 및 하화	60kg	96	개	2,806	7,580,448
레일현장운반	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	546	4,200,823
침목현장운반 및 배열	WT, 야간(3시간차단)	2400	정	4,021	20,200,800
⑥ 사급자재					3,476,598,720
레 일	60kgK, L=20m	96	개	1,845,280	177,146,880
교량침목	경량 합성수지침목 3000×230×230mm	2400	정	997,000	2,392,800,000
가변패드	A제, B제	4800	kg	33,000	158,400,000
가변패드주머니	220×270mm	4800	장	12,200	58,560,000
교량침목고정장치	좌굴방지체결장치	4800	개	80,910	388,368,000
베이스플레이트	WT, 60kg레일용	4800	개	31,637	151,857,600
나사스파이크	이중와샤 Set	19200	개	4,819	92,524,800
레일패드	60kg, EVA	4800	개	1,400	6,720,000
코일스프링클립	e2001	9600	개	2,562	24,595,200
개 못	Ø16×160	9600	개	1,636	15,705,600
안전발판(P.S.P대용)	400×1000×50mm	960	매	10,334	9,920,640
∴ 직접공사비 합계					4,586,683,333
∴ M당 단위공사비					4,777,795

• [3안] 플라스틱침목(1정당 단가 800,000원 적용)

공 종 명	규 격	수 량	단위	단 가	금 액
① 기존궤도철거					380,881,506
교량침목고정장치 철거	야간(3시간차단)	4800	개	16,551	79,444,800
교상가드레일 철거	야간(3시간차단)	0.96	km	20,845,816	20,011,982
가이드앵글 철거	야간(3시간차단)	57.216	ton	2,917,033	166,900,959
교상발판 철거	야간(3시간차단)	960	m	46,058	44,215,680
궤광철거(교량)	50kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	38,525,680	36,984,652
레일절단	50kg, 야간(3시간차단)	400	개소	23,048	9,219,200
철거재료 상.하차	야간(3시간차단)	839.021	ton	28,729	24,104,233
② 플라스틱침목 패널시공					867,444,407
P.P.S 패널제작장 설치 및 철거		1	회	39,952,007	39,952,007
P.P.S 패널제작		200	개	1,150,307	230,061,400
P.P.S 패널상차		200	개	8,922	1,784,400
P.P.S 패널운반	야간(3시간차단)	200	개	49,406	9,881,200
P.P.S 패널설치	야간(3시간차단)	200	개	2,116,555	423,311,000
P.P.S 패널정정	야간(3시간차단)	200	개	812,272	162,454,400
③ 레일교환 및 재설정					42,360,720
레일교환(기계,교량)	60kg, 야간(3시간차단)	0.96	km	30,317,711	29,105,001
장대레일설정	레일인장법, 야간(3시간차단)	1.16	km	11,427,345	13,255,719
④ 용접공사					46,245,255
가스압접기지 설치 및 철거		1	회	2,138,735	2,138,735
가스압접	60kg	112	개소	254,983	28,558,096
테르밋트용접	60kg, 야간(3시간차단)	24	개소	647,851	15,548,424
⑤ 운 반					7,580,448
레일운송 및 하화	60kg	96	개	78,963	7,580,448
⑥ 사급자재					3,555,863,080
레 일	60kgK, L=20m	96	개	1,845,280	177,146,880
P.P.S 패널	L=4.8m	200	개	16,893,581	3,378,716,200
∴ 직접공사비 합계					4,900,375,416
∴ M당 단위공사비					5,104,558

- 설계 사례 적용시 경제성 비교: 소결

- 플라스틱 침목의 1정당 단가를 국내 개발 합성수지침목(1정당 650,000원) 이하로 적용하는 경우 “2-1안” 수준의 공사비로 적용 가능 (M당 단위공사비 4,000,000원 이하)
- 따라서, 개발 플라스틱 침목을 교량용 침목규격으로 제작시 침목 1정당 600,000원 수준의 제작이 가능하고 침목의 기술적 요구조건을 충족시킨다면 향후 플라스틱 침목의 적용성 확대를 기대할 수 있을 것으로 판단됨.

1.5 환경성 평가

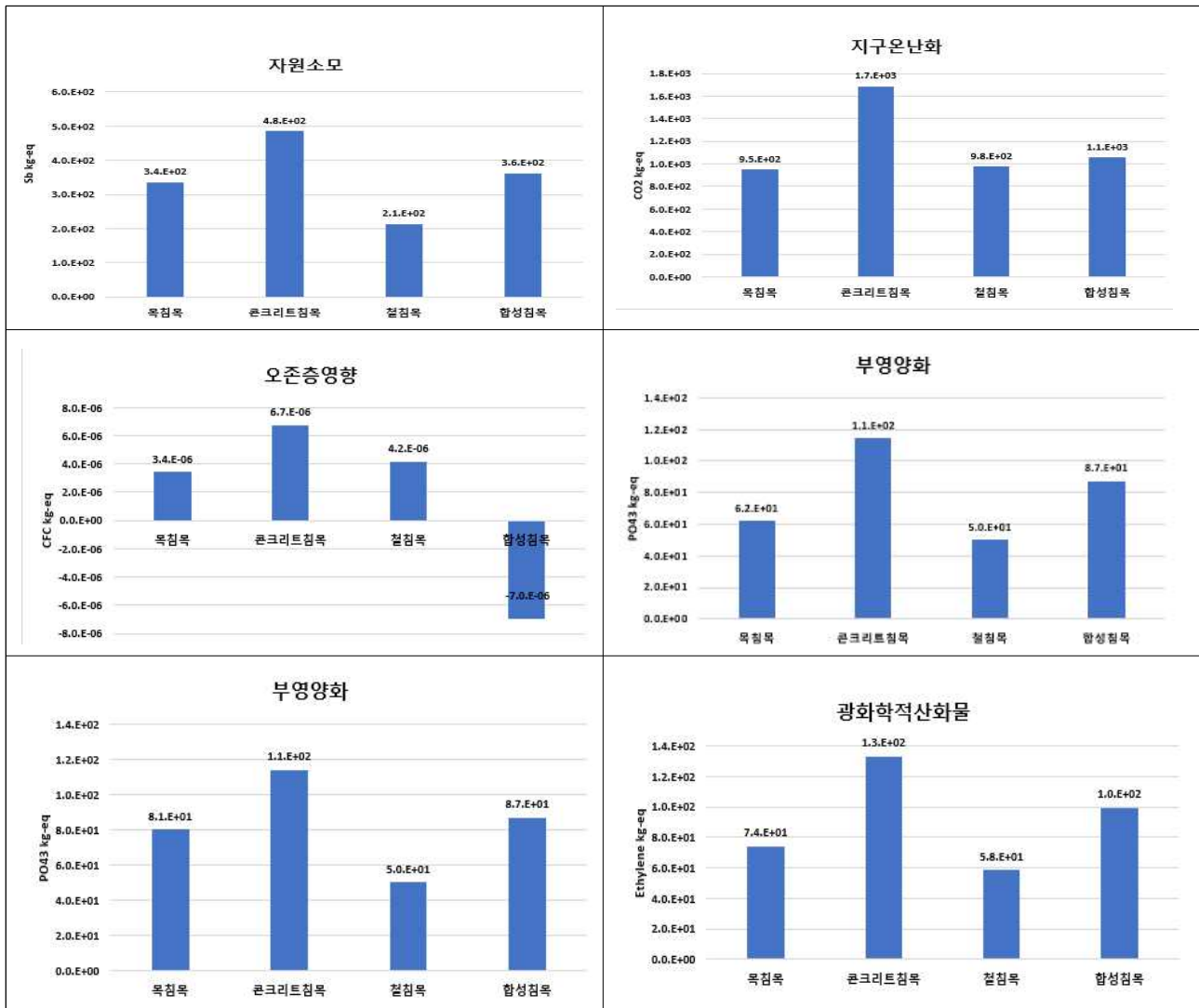
[부록 1-5. 플라스틱 침목의 환경성 검토] 참조

- 환경성 연구 목적: 합성침목이 환경성 측면에서 종래의 침목을 대체하는 것에 대한 타당성과 재활용성을 검토함
 - (환경적 타당성) 합성침목을 사용하는 것이 목침목 및 콘크리트 침목에 비해 얼마나 친환경적인지를 검토
 - (재활용성) 석탄재를 합성침목으로 재활용이 가능한지 여부 및 유해물질 함유 여부 등
- 연구내용 및 방법: 본 연구의 목적을 달성하기 위한 연구내용으로 재활용 플라스틱 침목의 재활용 효과를 분석하고, 법적 분야에서 재활용 환경성평가 관련 내용을 검토함
 - 재활용 플라스틱 침목의 재활용 효과분석
 - 침목의 특성 및 문제점 분석
 - 국내 폐플라스틱 및 석탄회의 발생특성 및 처리현황
 - 재활용 침목의 환경적 효과분석
 - 재활용 환경성평가 관련 내용 검토
 - 재활용 환경성평가제도 검토
 - 재활용 대상 폐기물의 종류 및 재활용 가능 유형검토
 - 재활용 기대효과 및 유해물질 함량 분석결과
 - 연구내용별로 수행방법으로는 문헌조사, LCA 분석, 법률검토, 시험분석 등을 시행하였으며, 내용별 구체적인 수행방법은 아래 그림과 같이 나타내었음



- LCA를 통한 합성침목의 장점
 - LCA평가는 제품의 환경영향을 평가하는 기법으로 해당 제품이 환경에 어떤 영향을 미치는지는 정보로 제공
 - LCA분석을 위한 침목별 대상제품 시스템 및 시스템 경계는 다음과 같이 설정
 - (시스템경계) 물질 및 부품제조, 가공공정, 수송, 사용, 폐기 단계로 수행
 - (물질 및 부품제조) 대상제품의 제조에 사용되는 물질 및 부품을 제조하는 단계로 이송과정은 포함되지 않음
 - (물질 및 부품제조) 대상제품의 제조에 사용되는 물질 및 부품을 제조하는 단계

• 제품 1장 생산 후, 1km 이송 당 전과정평가 결과



- 환경부하별 가중치로 1을 적용하고, 침목별 상대적 환경부하(환경부하/환경부하의 총계)를 검토한 결과, 합성침목의 환경부 중 지구온난화에 대한 영향 49.3%로 타 침목에 비해 지구온난화에 대한 영향은 낮은 것으로 나타남

• 침목별 상대적 환경부하(%)

환경부하	상대적 환경부하(%)			
	목침목	콘크리트침목	철침목	합성침목
자원소모 Antimony(Sb)	15.2	15.5	13.2	16.9
지구온난화 Carbon dioxide(CO ₂)	54.9	53.9	60.6	49.3
오존층영향 CFC-11	0.0	0.0	0.0	(0.0)
산성화 Sulfurdioxide(SO ₂)	22.2	22.7	19.4	25.1
부영양화 Phosphate(PO ₄ ³⁻)	3.6	3.7	3.1	4.1
광화학적 산화물 (Ethylene)	4.2	4.3	3.6	4.6

○ 제품 1장당 연간 환경부하 (kg-eq/년)

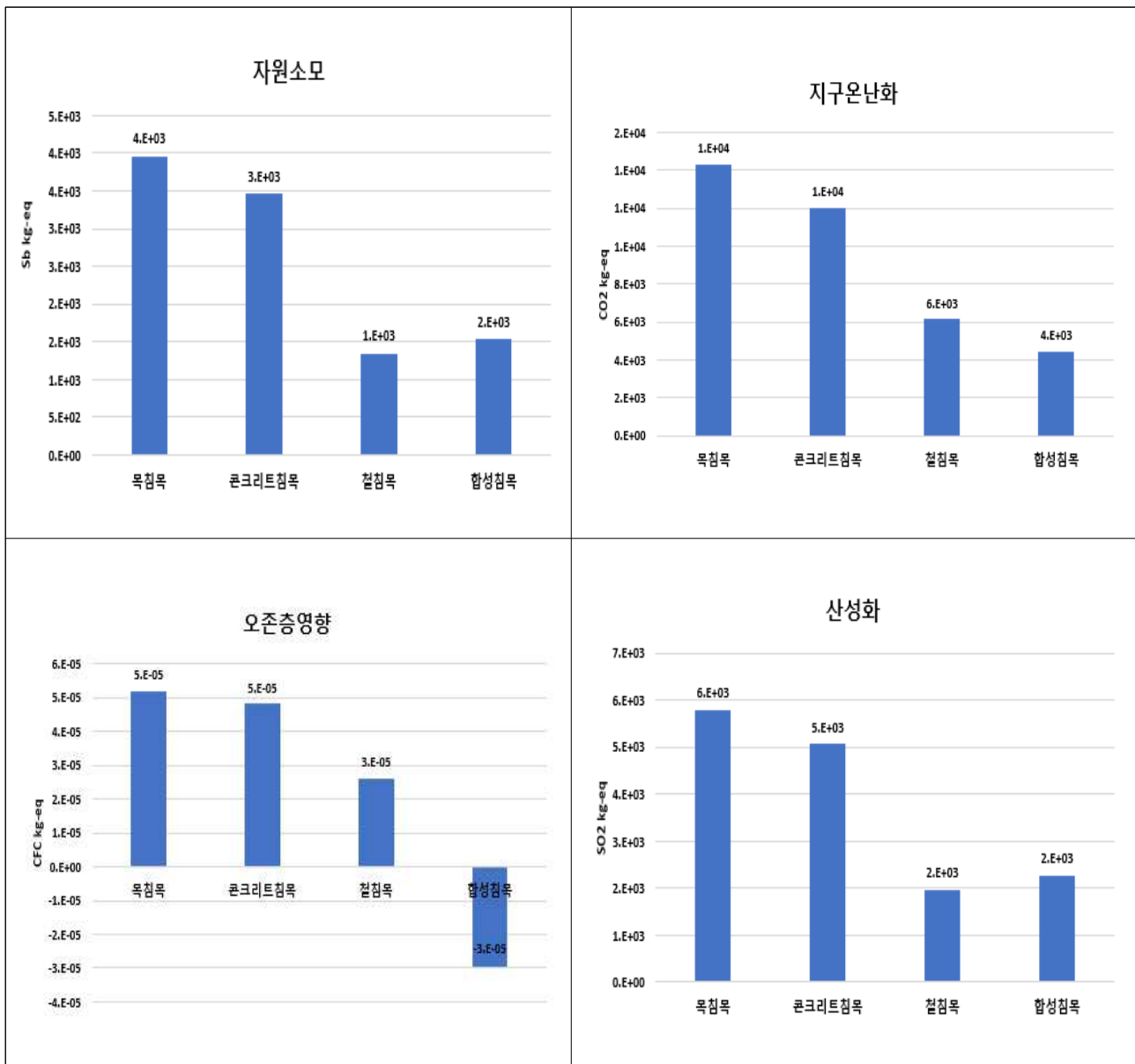
- 자원소모와 산성화, 부영양화, 광화학적 산화물은 목침목>콘크리트침목>합성침목>철침목 순으로 나타났으며, 주로 수송단계에 의한 환경부하에 의해 높게 나타남

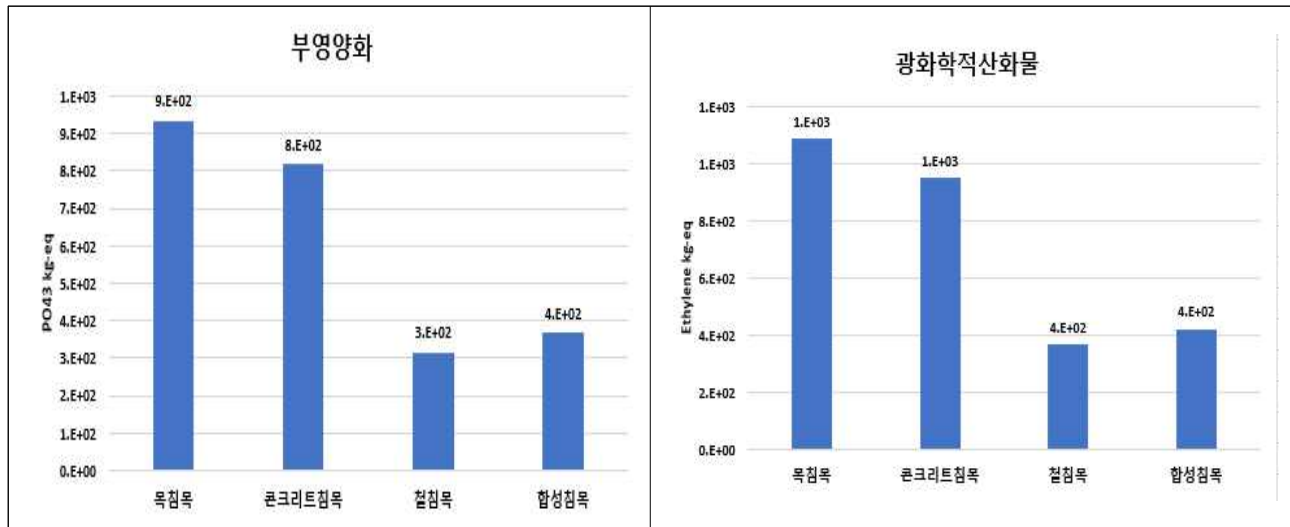
- 지구온난화, 오존층영향은 목침목>콘크리트침목>철침목>합성침목 순으로 나타났는데, 소각에 의한 처리로 목침목의 온실가스 배출량이 높게 나타난 것으로 사료됨

• 제품 1장당 연간

지표	목침목	콘크리트침목	철침목	합성침목
자원소모 Antimony(Sb)	4.E+03	3.E+03	1.E+03	2.E+03
지구온난화 Carbon dioxide(CO ₂)	1.E+04	1.E+04	6.E+03	4.E+03
오존층영향 CFC-11	5.E-05	5.E-05	3.E-05	-3.E-05
산성화 Sulfurdioxide(SO ₂)	6.E+03	5.E+03	2.E+03	2.E+03
부영양화 Phosphate(PO ₄ ³⁻)	9.E+02	8.E+02	3.E+02	4.E+02
광화학적 산화물 (Ethylene)	1.E+03	1.E+03	4.E+02	4.E+02

• 제품 1장당 연간 환경부하(kg-eq/년)





- 목칩목 1정을 합성칩목으로 대체할 경우, 자원소모 61.4%, 지구온난화 68.8%, 오존층영향 156.8%, 산성화 60.7%, 부영양화 60.6%, 광화학적 산화물을 61.3% 저감하는 효과가 있는 것으로 나타남
- 콘크리트칩목 1장을 합성칩목으로 대체할 경우, 자원소모 55.9%, 지구온난화 62.9%, 오존층영향 161.2%, 산성화 55.1%, 부영양화 54.9%, 광화학적 산화물을 55.7%를 저감하는 효과가 있는 것으로 나타남
- 특히, 지구온난화와 오존층 영향의 저감효과가 큰 것으로 봤을 때, 기후변화에 대응하는 차원에서 합성칩목의 활용을 고려해볼 필요성이 있는 것으로 판단됨
- 목칩목 및 콘크리트칩목을 합성칩목으로 대체하는 경우 제품 1장당 연간 환경부하 감량율(%) 비교표

환경부하	목칩목	콘크리트칩목
자원소모 Antimony(Sb)	61.4	55.9
지구온난화 Carbon dioxide(CO ₂)	68.8	62.9
오존층영향 CFC-11	156.8	161.2
산성화 Sulfurdioxide(SO ₂)	60.7	55.1
부영양화 Phosphate (PO ₄ ³⁻)	60.6	54.9
광화학적 산화물 (Ethylene)	61.3	55.7

○ 합성칩목의 재활용 환경성평가 관련 내용 검토

폐기물 재활용의 원칙과 준수사항에서 규정하고 있지 않은 새로운 유형의 재활용이나 양, 지하수, 지표수 등 자연매체와 직접적으로 접촉하는 일정규모 이상 재활용의 경우 사람의 건강이나 환경에 미치는 영향을 조사·예측하고 예방·제거 방안, 재활용 기술의 적합성 등을 평가하여 재활용을 허용하는 제도

- 재활용 기대효과

- 폐플라스틱은 재활용이 될 수 있으나, 석탄재는 사업장폐기물로 매립처리되나, (주)지주에서 평가를 요청한 방법으로 재활용 시 재활용제품으로 생산이 가능
- 재활용 합성침목 1톤을 생산하는데 사용되는 폐기물의 처리비용으로 약 318,420원의 절감효과가 있으며, 재활용사업자인 (주)지주는 폐기물을 통해 판매수익과 환경편익을 창출할 수 있음
- 재활용을 통해 PP 재생원료 600kg를 생산하는데 사용되는 폐기물은 약 686kg이며, 이를 소각한다고 가정할 경우, 약 178,360원이 배출자에게 부과됨
- 석탄재는 400kg 사용되며, 이를 매립한다고 가정할 경우, 약 54,000원이 배출자에게 부과됨
- 무도상교량에 사용되는 침목의 개수는 93,282개이므로 약 279억원의 수익을 창출할 수 있는 효과가 있음

• 대상폐기물 배출사업자의 폐기물 처리비용 절감액

구분	처리량(kg) ¹⁾	처리단가(원/kg)	처리비용(원)
폐 플라스틱	686 ²⁾	260 ³⁾	178,360
석탄재	400	135 ⁴⁾	54,000
합계			232,360

주1) 재활용 합성침목 1톤 생산에 사용되는 폐기물량

2) PP 재생원료 600kg를 생산하기 위해서 소요되는 폐PP의 양(수율 87.5% 적용)

3) 생활폐기물 소각처분부담금 10원/kg+ 폐합성수지 일반폐기물 소각 단가 250,000원/톤(한국자원순환에너지 공제조합)

4) 사업장폐기물 불연성 매립처분부담금 10원/kg+매립대상 사업장일반폐기물 125원/kg(수도권매립지 반입수수료, 광재등 17종 적용)

• 재활용제품 판매금액 산출내역(추정)

구분	소요량(장)	단가(원/장)	판매금액(원)
침목	93,282 ¹⁾	300,000	27,984,600,000

주 1) `19년 기준 무도상교량은 439개, 판형교 430개(31,454m), 트러스교 9개(5,859m)이며, 침목간격 0.4m를 적용

- 기존의 침목을 합성침목으로 교체할 경우, 탄소저감 편익 측면에서 침목을 교체할 경우 얻는 편익은 목침목이 344,321원, 콘크리트침목은 265,063원으로 나타남

• 온실가스 절감에 의한 환경 편익

구분	목침목	콘크리트침목	합성침목
온실가스 배출량(kg-eq CO ₂) (연간, 1장당)	1.E+04	1.E+04	4.E+03
탄소배출권으로 환산시 온실가스배출비용	500,391	421,133	156,070
합성침목을 사용함으로써 얻는 탄소저감편익	344,321	265,063	-

주) 온실가스 배출량*35,000원/톤

- 유해물질 분석결과

- 재활용제품의 용출시험결과 「폐기물관리법 시행규칙」 [별표 1] 지정폐기물에 함유된 유해물질 중 7개

항목이 기준 이하로 나타남

- 기본적으로 특정시설에서 발생하는 폐합성수지가 아니므로 지정폐기물은 아니지만, 유해물질을 함유하고 있는지 확인하기 위해 비소, 납, 카드뮴, 구리, 6가크롬, 수은, 시안, 기름성분을 측정해야 함
- 기름성분은 본 기관에서 측정을 불가하나, 기름이 사용되지 않기 때문에 없는 것으로 가정하였으며, 원료, 제품 파쇄물, 제품의 경우 유해물질 함량이 모두 지정폐기물 기준보다 낮은 것으로 나타나 재활용 합성침목의 원료 및 제품 모두 지정폐기물은 아닌 것으로 판단됨

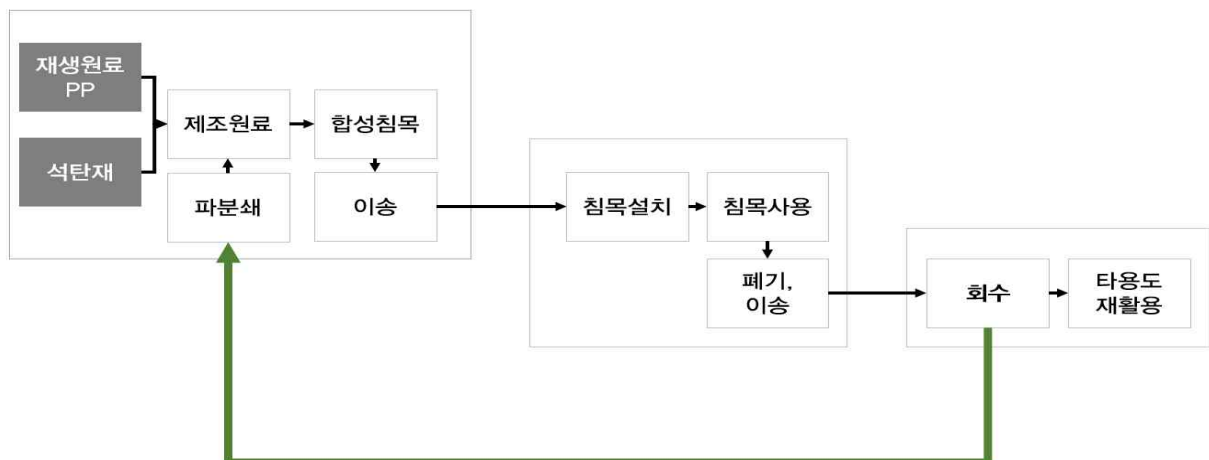
• 원료 및 제품의 유해물질 시험 결과

구분	항목	단위	기준 ¹⁾	원료	제품파쇄	제품
1	비소(As)	mg/L	1.5	0.00130	0.01803	0.00043
2	납(Pb)		3	0.00000	0.00080	0.00015
3	카드뮴(Cd)		0.3	0.00003	0.00059	0.00006
4	구리(Cu)		3	0.00000	0.01289	0.00366
5	6r가크롬(Cr6+)		1.5	0.00000	0.00207	0.00002
6	수은(Hg)		0.005	0.00004	0.00009	0.00007
7	시안(CN)		1.0	0.00000	0.00253	0.00002
8	기름성분	%	-	-	-	-

주 1) 지정폐기물 유해물질 함량 기준(폐기물관리법 시행규칙 별표1)

- 재활용 모델

- 합성침목의 재활용 모델은 사용처가 명확하므로 유상 회수하고, 이를 파분쇄하여 제조원료로 제조하는 순환형 체계 구축이 가능함
- 발생원이 한정되어 있어, 회수가 용이할뿐더러, 유상회수로 회수율을 높이고, 재활용도 용이하므로 순환체계 구축이 유리함
- 다만, 합성침목의 수명이 길기 때문에, 침목외에도 유사 제품군으로 활용할 수 있는 방안을 강구해야 하며, 이는 무도상 교량용 외 일반 철도침목으로 활용하거나, 판재용 침목 등 다양한 재활용 방안이 고려될 필요는 있음
- 그러나, 향후 석탄재의 발생량이 줄어들고, PP의 가격이 높아짐에 따라 원료 비용 수급의 어려움이 있을 수 있으므로 다양한 경로에서의 원료 확보방안이 필요할 것임



• 합성침목의 재활용 모델

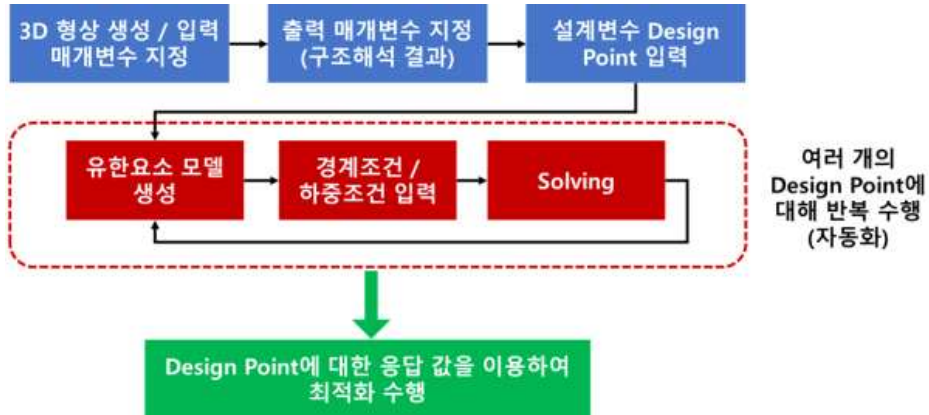
2.1 Testbed 조건을 고려한 구조해석

○ 친환경 플라스틱 합성침목 구조해석 및 매개변수 연구 - 1. 내부 보강재 최적화

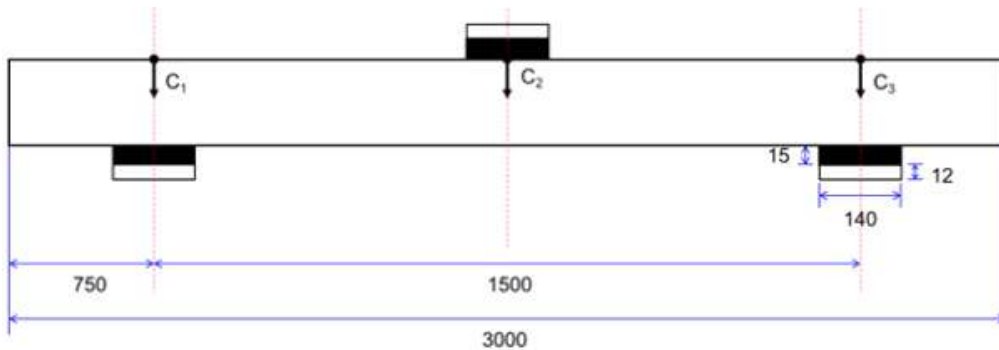
[부록 2-1. Testbed 조건을 고려한 구조해석-친환경 플라스틱 합성침목 최적화 설계] 참조

- 플라스틱 합성침목 설계(내부 보강재)를 위한 FE구조해석 수행

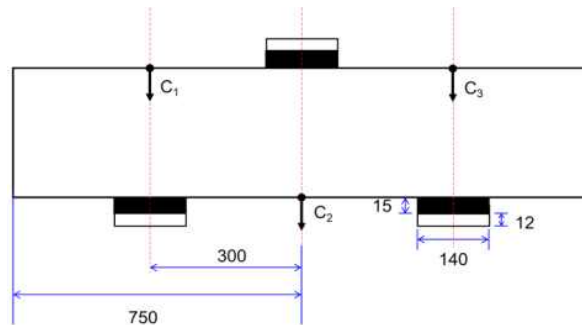
- ISO 12856-2에 제시된 3점 굽힘 정모멘트 시험과 레일좌면부 시험조건을 지점 및 하중조건으로 적용



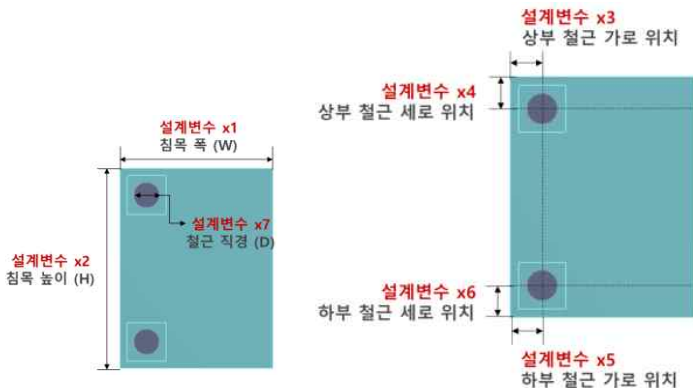
< 플라스틱 침목 휨 강도 구조해석/최적설계 진행 순서 >



< 3점 굽힘 정모멘트 시험조건 형상 치수 정보 >



< 레일 좌면부 휨 시험조건 형상 치수 정보>

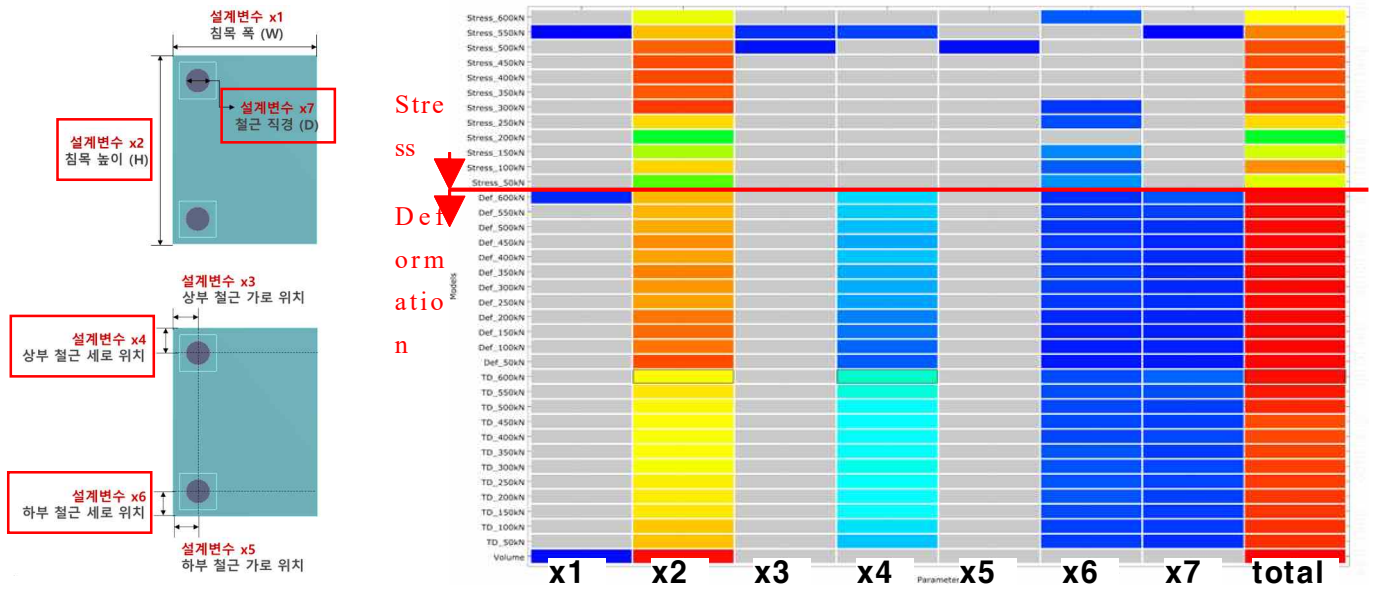


설계변수	설계변수 설명	단위	Level 1	Level 2	Level 3
x1	침목 폭 (W)	mm	230	-	240
x2	침목 높이 (H)	mm	150	200	230
x3	상부 철근 가로 위치	mm	20	30	40
x4	상부 철근 세로 위치	mm	20	42.5	65
x5	하부 철근 가로 위치	mm	20	57.5	95
x6	하부 철근 세로 위치	mm	20	35	50
x7	철근 직경	mm	19	22	25

< 플라스틱 침목의 최적화를 위한 설계변수 지정 >

• 설계 민감도 해석 수행

- ◇ 상부/하부 보강재 가로위치(x3, x5)는 합성침목의 응력 및 변형에 거의 영향이 없음
- ◇ 침목높이(x2)는 단면2차 모멘트와 관련되어 합성침목 응력 및 변형에 모두 영향을 미침
- ◇ 상부/하부 보강재 세로위치(x4, x6)와 보강재 직경(x7)은 합성침목 변형에 주로 영향을 미침

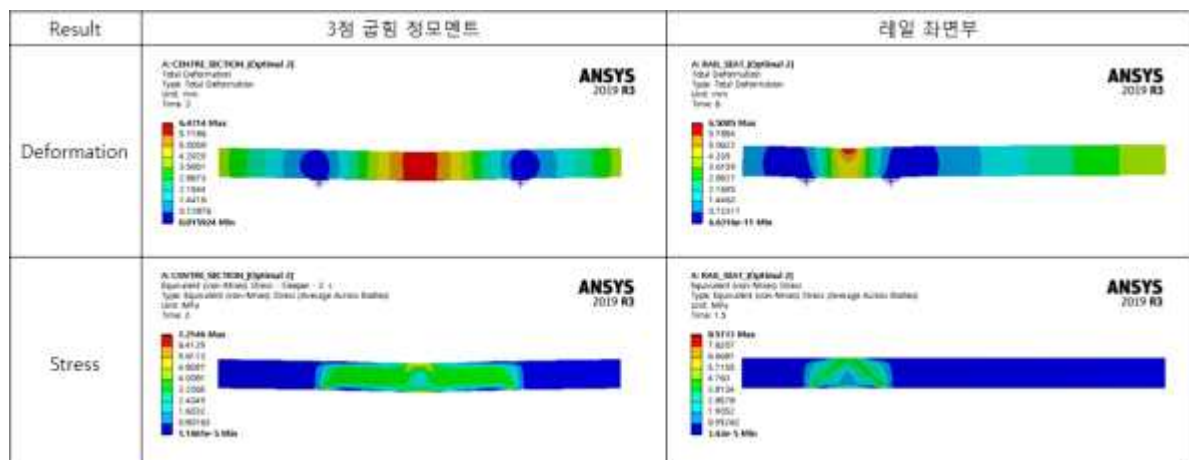


< 다항식 기반 메타모델을 이용한 설계민감도 >

Result Set	DOE No 12	DOE No 6
	$x_i = [230, 230, 30, 42.5, 20, 20, 25]$	$x_i = [235, 230, 40, 20, 20, 35, 22]$
형상		
3점 굽힘 정모멘트 시험 조건	1. 38199244.4 mm ³ 2. 6.680 mm 3. -6.541 mm 4. 7.6 MPa	1. 39394595.6 mm ³ 2. 6.934 mm 3. -6.804 mm 4. 8.3 MPa
레일 좌면부 시험 조건	1. 79348269.0 mm ³ 2. 6.913 mm 3. -3.857 mm 4. 10.7 MPa (16.5 MPa)	1. 81073330.4 mm ³ 2. 6.624 mm 3. -3.778 mm 4. 8.9 MPa (15.6 MPa)

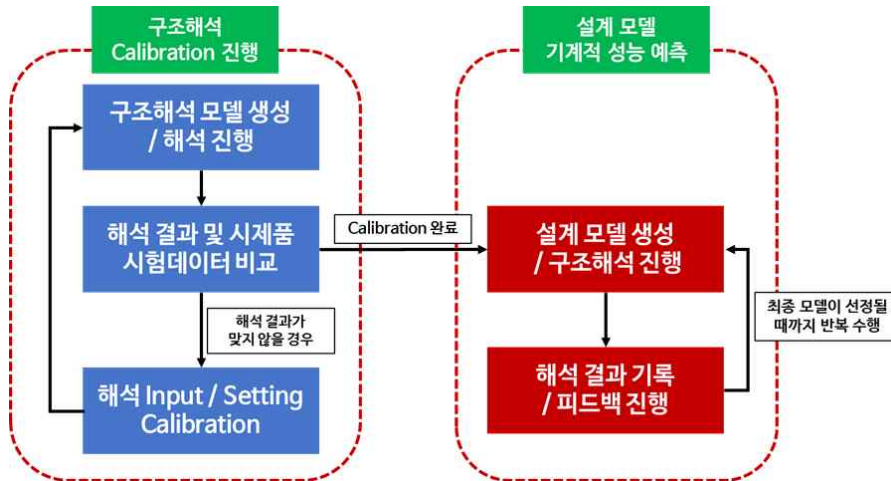
1. Volume, 2. Total Deformation, 3. Deflection, 4. Stress

< 두 시험조건에 대한 Best Solution >

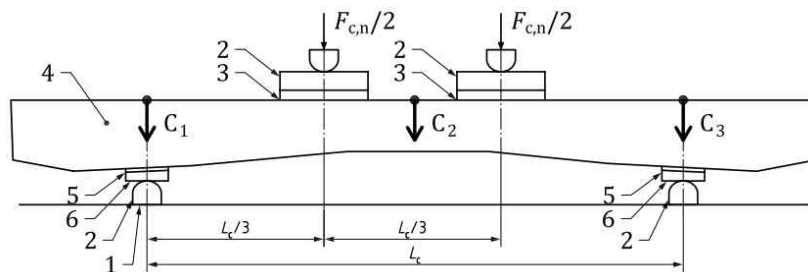


< 두 시험조건에 대한 재해석 결과 >

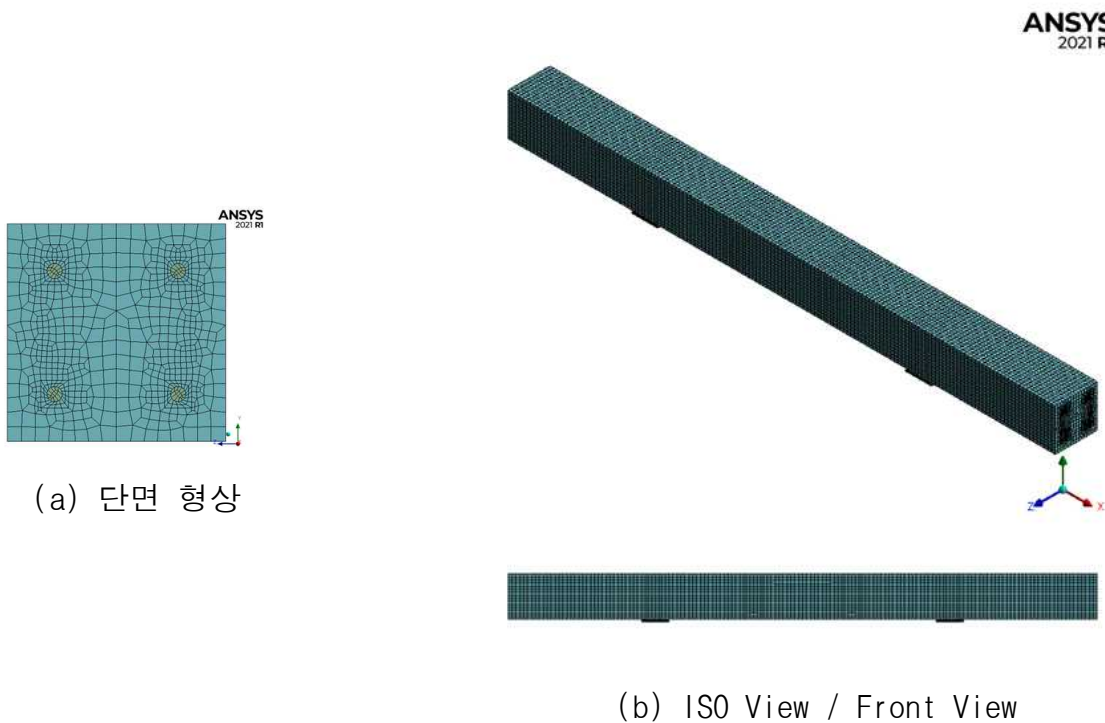
- 친환경 플라스틱 합성침목 구조해석 및 매개변수 연구 - 2. FE 해석모델 검정 및 강성/강도 산정
 [부록 2-2. Testbed 조건을 고려한 구조해석-친환경 플라스틱 합성침목 FE해석] 참조
- 플라스틱 합성침목 설계를 위한 FE 구조해석 수행
- ISO 12856-2에 제시된 4점 굽힘 부모멘트 시험조건을 지점 및 하중조건으로 적용



< 플라스틱 합성침목 시제품 구조해석 및 성능 검증 프로세스 >

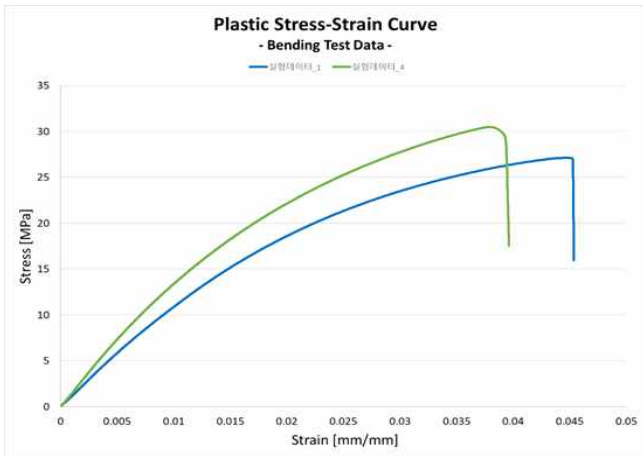


< 4점 굽힘 부모멘트 시험조건 모식도 >

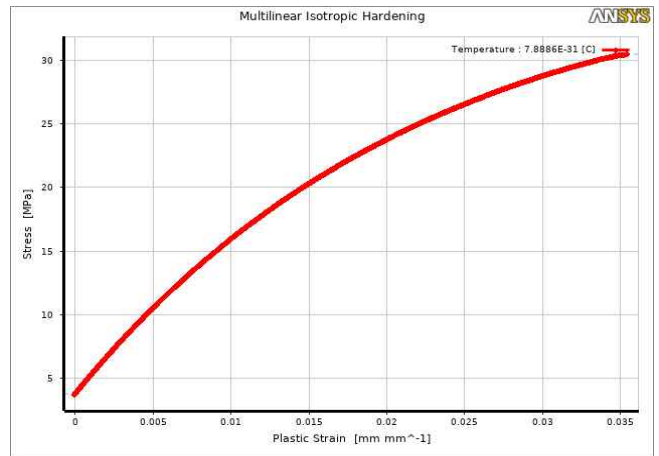


< 플라스틱 합성침목 구조해석 유한요소 모델 >

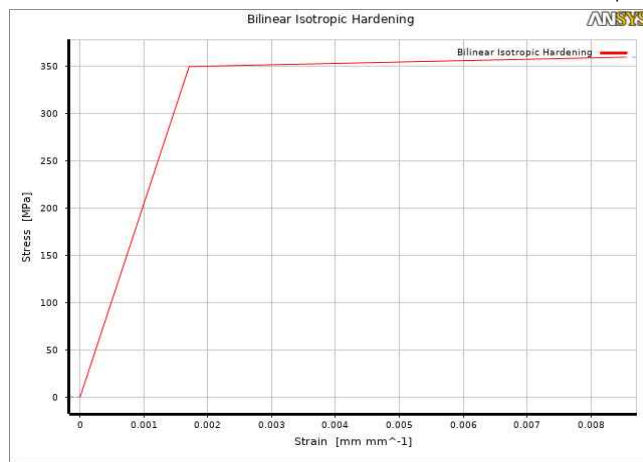
- 실내시험을 통한 재료적 물성치를 이상화하여 FE해석모델에 적용



<플라스틱 합성침목 재료 시험데이터>



<Multilinear Isotropic Hardening 적용 - Plastic>

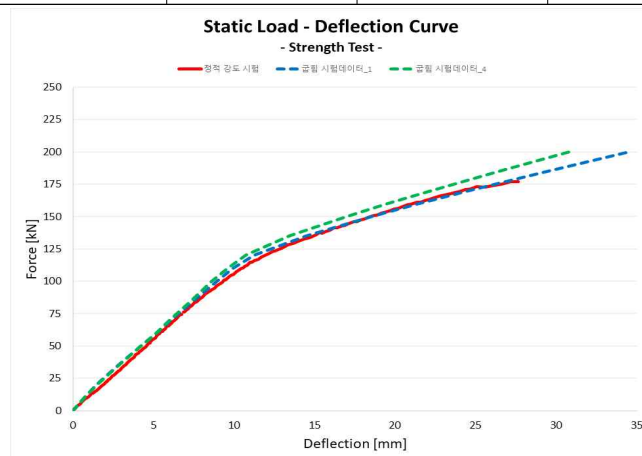


<Bilinear Isotropic Hardening 적용 - 철근>

- 플라스틱 합성침목 FE해석모델 Calibration

< Calibration 해석 결과 - 정적 강성 >

Model	$K_{cn,stat1}$ [kN/mm]	$K_{cn,stat2}$ [kN/mm]	K_{avg} [kN/mm]	Error
정적 강성 휨 시험	12.2	11.3	11.75	-
굽힘 시험데이터_1 적용	12.2	11.2	11.72	-0.2%
굽힘 시험데이터_4 적용	11.86	11.41	11.64	-0.94%



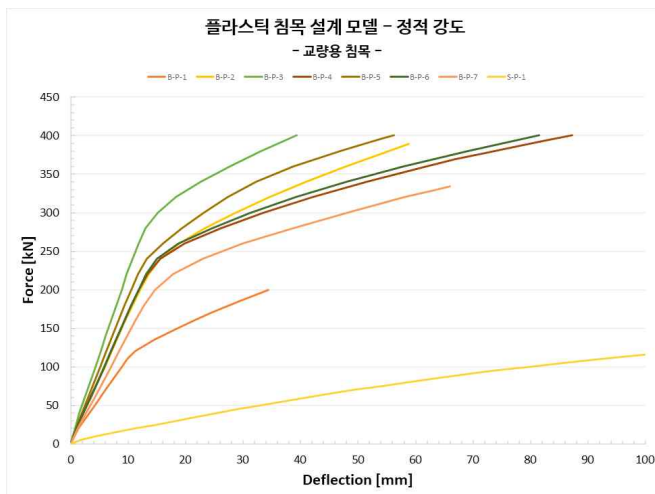
< Calibration 해석 결과 - 정적 강도>

- 플라스틱 합성침목 FE해석결과

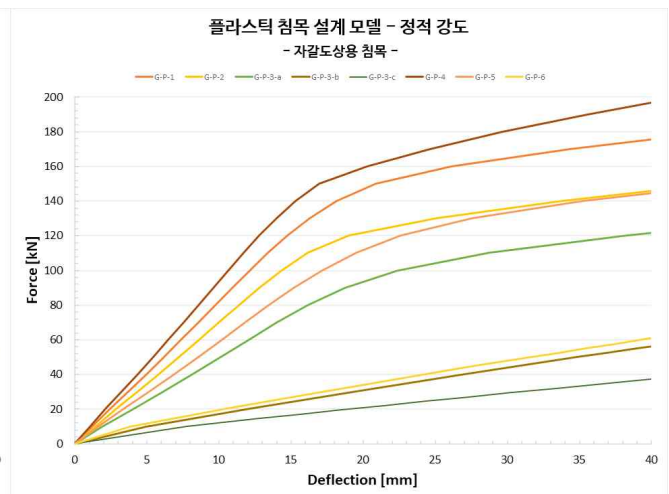
◇ 침목 폭/높이/길이, 보강재 유무/직경/수량에 따른 정적 강성값, 변위량, 파괴계수(MOR) 예측

< 플라스틱 합성침목 구조해석 결과 (종합) >

모델 구분	침목 Size			철근 삽입			정적 강성			처짐 하중	파괴 계수 (MOR)
	폭 (b)	높이 (h)	길이 (L)	직경 [mm]	개수	피복 두께	$K_{cn,stat1}$ [kN/mm]	$K_{cn,stat2}$ [kN/mm]	K_{avg} [kN/mm]	20mm 기준 F_{cn} [kN]	σ_f [MPa]
교량용 침목											
B-P-1	230	230	3000	16	4	50	12.2	11.3	11.7	155	19.1
B-P-2	230	230	3000	25	4	50	18.7	17.1	17.9	265	32.7
B-P-3	230	230	3000	25	4	30	26.4	23.7	25.1	327	40.3
B-P-4	250	200	2800	25	4	30	18.8	17.5	18.2	260.5	39.1
B-P-5	250	200	2800	25	5	30	21.3	19.7	20.5	284	42.6
B-P-6	250	200	2800	25	6	30	18.7	17.4	18	264	39.6
B-P-7	250	200	2800	25	4	40	15.3	14.5	14.9	227	34.05
S-P-1	250	150	2800	22	2	40	1.44	1.32	1.38	33	8.8
자갈도상용 침목											
G-P-1	240	150	2500	25	4	30	8.3	8.2	8.26	146.5	40.7
G-P-2	240	150	2500	22	4	30	7.02	7.06	7.04	122	33.9
G-P-3-a	240	150	2500	22	4	40	4.91	5.02	4.97	93.5	26
G-P-3-b	240	150	2500	22	2	40	1.41	1.3	1.37	30.1	8.36
G-P-3-c	240	150	2500	-	-	-	0.88	0.81	0.85	20.5	5.69
G-P-4	240	150	2500	25	5	30	9.46	9.37	9.41	159	44.2
G-P-5	240	150	2500	25	4	40	5.85	5.95	5.9	111.5	30.9
G-P-6	230	180	2500	-	-	-	1.56	1.45	1.51	33.5	6.74



<합성침목 설계모델의 정적강도 - 교량용>



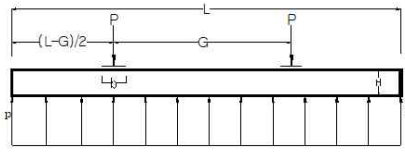
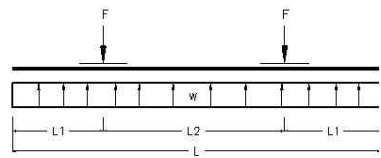
<합성침목 설계모델의 정적강도 - 자갈도상용>

○ 친환경 플라스틱 합성침목 구조적 안전성 검토

[부록 2-3. Testbed 조건을 고려한 구조해석-친환경 플라스틱 합성침목 구조계산서] 참조

- 설계조건에 따라 자동계산되는 합성침목 구조계산서(excel기반) 개발 완료

- Testbed 예정지가 도시철도, 자갈도상 임을 고려하여 합성침목에 대한 구조계산을 수행

I. 도상반력조건 선정				II. 최대휨모멘트 산정			
1. 설계조건				1. 기본조건			
철도유형	도시철도	합성침목	(보통침목)	철도유형	도시철도	합성침목	
침목유형				침목유형			
레일 규격		60	kg/m	레일 규격		60	kg/m
설계속도(V)		120	km/h	설계속도(V)		120	km/h
축중(A _{nom})		180	kN	축중(A _{nom})		180	kN
윤중(Q _{nom})	Q _{nom} =A _{nom} /2	90.0	kN	윤중(Q _{nom})		90.0	kN
설계윤중(P ₁)	P ₁ =A _{nom} /2*(1+k _p *k _u)*k _d *k _r	80.5	kN	설계윤중	P ₁ =A _{nom} /2*(1+k _p *k _u)*k _d *k _r	80.5	kN
동적활중계수(k _u)	0≤V≤60 km/h ; 60<V<200 km/h ; V ≥ 200 km/h ;	k _u = 0.25 0.46 0.75		* ISO 12865-3:2020 참조			
하중분산 계수(k _d)	레일≥46kg /m, 침목간격≤ 65cm 일때,	k _d = 0.25 0.46 0.75		동적활중계수(k _u)	0≤V≤60 km/h ; 60<V<200 km/h ; V ≥ 200 km/h ;	k _u = 0.25 0.46 0.75	
자갈지지고려계수(k _z)	저감식 패드(<15%) :	k _z = 1.35 0.70 0.68 0.66		하중분산계수(k _d)	레일≥46kg /m, 침목간격≤ 65cm 일때,	k _d = 0.25 0.46 0.75	
레일패드감쇠계수(k _p)	중감식 패드(15~30%) :	k _p = 1.35 0.70 0.68 0.66		자갈지지고려계수(k _z)	저감식 패드(<15%) :	k _z = 1.35 0.70 0.68 0.66	
	고감식 패드(>30%) :	k _p = 1.35 0.70 0.68 0.66		레일패드감쇠계수(k _p)	중감식 패드(15~30%) :	k _p = 1.35 0.70 0.68 0.66	
레일 중심간 거리 (G)		1,500	mm	레일 중심간 거리 (G)		1,500	mm
레일 저면 (타이플레이트 저면) 폭 (b)		250	mm	레일 저면 (타이플레이트 저면) 폭 (b)		250	mm
침목 폭 (B)		240	mm	레일 저면(타이플레이트 저면) 길이 (l)		400	mm
침목 높이 (H)		160	mm	침목 폭 (B)		240	mm
침목 길이 (L)		2,500	mm	침목 높이 (H)		160	mm
				침목 길이 (L)		2,500	mm
2. 도상반력 조건 선정				2. 침목 위치별 발생 휨모멘트 계산			
(1) Case 1: 도상반력이 침목 전장에 대해 균등하게 분포하는 경우							
$Ma = (L-G)/2 * p * (L-G)/4 = P(L-G)^2/(4*L) = 8.05 \text{ kN.m}$							
$p = 2P/L = 64.40 \text{ kN/m}$				$w = 2*F/L = 64.40 \text{ kN/m}$			
(2) Case 2: 도상반력이 레일 직하부분이 양단의 3배 침목 중앙은 양단과 동일하게							
III. 궤도구조계산							
1. 하중조건				침목 중앙부 단면이 유지되는 저부 길이			
철도유형	도시철도			도상반력 분포가 감소되는 부분의 길이	f	25.0	cm
열차속도	V	120	km/h	레일좌면부 중심과 침목 저부 단부간 길이	L _p	50	cm
축중	P	180	kN	레일좌면부 단면 상면에서 도상까지의 거리	y ₁	8	cm
윤중	Q	90	kN	도상두께	d	30	cm
자륜반경	r	430	mm	1/2 침목의 유효면적	A	2,850	cm ²
				도상의 허용응력(도상의 허용점속압력)		0.5	N/mm ² *참고 : 0.3~0.5
				노반의 허용압력	az	0.089	N/mm ² *참고 : 0.011~0.133
2. 궤도조건				3. 궤도구조해석결과			
레일 규격	KS60 rail			(1) 궤도중합강성 및 동적효과 산정			
레일의 탄성계수	E	210	kN/mm ²	레일패드의 강성	c _p	400	kN/mm
레일의 y축 단면2차 MOMENT	I	3,090	cm ⁴	침목의 강성	c _s	10.0	kN/mm
레일의 y축 단면계수	W _y	397	cm ³	도상자갈의 강성	c _b	200	kN/mm
레일의 단면적	A _{ra}	77.50	cm ²	노반의 지지력	k ₃₀	89	N/cm ³
레일강의 인장강도	σ _t	800	N/mm ²	노반반력계수	K _s =2 × K ₃₀ /2.2	80.9	N/cm ³
레일의 인장강도 = 레일강의 인장강도 * 레일의 단면적		6,200	kN	평균노반압력분포면적 (1/2레도)	A ₁₀ = [b+(d-15) × 2] × [t+(d-15) × 2]/2	7,560	cm ²
레일강의 허용 휨응력	σ _{af}	200	N/mm ²	노반의 강성(도상침하계수)	c _s = K _s × A ₁₀	61.2	kN/m
레일강의 허용 인장응력 (인장강도의 50%)		400	N/mm ²	궤도의 종합 스프링계수	C _{tot} = 1/(1/c _p + 1/c _s + 1/c _b + 1/c _z)	8.1	kN/m
레일강의 허용 전단응력 (인장강도의 30%)	0.3 × σ _a	240	N/mm ²	도상계수	C = c / A	0.0	N/m ²
레일당 체결력	F ₀	15	kN	궤도계수	k = c/a	1.3	kN/cm
유도레일지지면적 (베이스플레이트 면적 or 레일패드면적)	A _{ra}	720	cm ²	하중분배계수	D _f = a(k / EI) ^{1/4} / √8	0.26	
레일저부 폭	b _r	14.5	cm	특성길이	L = (4EI a / c) ^{1/4} = (8EIw _{max} / Q) ^{1/3}	119.1	cm
침목유형	a	62.5	cm	확률지수	t	3	
침목간격	b	24.0	cm	궤도품질지수	φ	0.3	
침목폭	L	250	cm	동적활중계수 (for rails, fastenings, supports, sleepers)	DAF = 1 + t × φ × [1 + (V-60)/80]	2.286	
레일좌면부 중심간 거리	L _c	150.0	cm	동적활중계수 (for contact stress, subgrade)	DAF = 1 + t × φ × [1 + (V-60)/80]	1.429	
침목중앙부 단면에서 저부 폭	b ₁	21.8	cm				
침목 단부 단면에서 저부 확폭부 폭	b ₂	1.1	cm				
침목 단부 단면에서 저부 확폭부 길이	h	35.0	cm				
침목 저부 단면에서 변단면 길이	g	90.0	cm				

<합성침목 구조계산서 예시>

- Testbed 설계조건(도시철도, 축중 180kN, 열차속도 120km/h, 자갈도상, 60kg/m레일, e-clip레일체결장치)에 대한 구조 검토 수행 - 친환경 플라스틱 합성침목(자갈도상용)은 설계기준을 모두 만족함

○ 레일/침목/도상/노반 압력 계산

레일저부중심의 최대 동적
휨응력

$$\sigma_{max} = \sigma_{mean} \times DAF \quad 154 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K.$$

레일저부중심의 평균 휨응력

$$\sigma_{mean} = QL / (4 \times Wyf) \quad 67 \text{ N/mm}^2$$

레일두부의 최대 접촉압력

$$P_{max} = c \times W_{max} \quad 23.6 \text{ kN}$$

레일두부의 평균 접촉응력

$$q_{mean} = 1374 \times (Q/r)^{1/2} \quad 629 \text{ N/mm}^2$$

(단, $u=0.3$, $b=6\text{mm}$)

레일두부의 최대 전단응력

$$\tau_{max} = 412 \times (Q/r)^{1/2} \quad 188 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K.$$

허용 반복윤중

$$Q_{max} = 4.9 \times 10^{-7} r \sigma_t^2 \quad 135 \text{ kN} \quad 0.K.$$

허용 우발윤중

$$Q_{max} = 8.3 \times 10^{-7} r \sigma_t^2 \quad 228 \text{ kN}$$

침목의 허용압력

$$\sigma_{rs} \quad 1.5 \text{ N/mm}^2$$

침목에 작용하는 최대압력

$$F_{max} = DAF \times F_{mean} \quad 54.0 \text{ kN}$$

침목에 작용하는 평균압력

$$F_{mean} = Qa/2L \quad 23.6 \text{ kN}$$

침목상면의 최대압축응력

$$\sigma_{rs} = (F_0 + F_{max}) / A_{rs} \quad 1.0 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K.$$

직선궤도에서 도상 상면의
최대압축응력

$$S_{max} = S_{mean} \times DAF \quad 0.19 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

직선궤도에서 도상 상면의
평균압축응력

$$S_{mean} = Qa / (2LA) \quad 0.08 \text{ N/mm}^2$$

곡선궤도에서 도상 상면의
최대압축응력

$$S_{maxc} = S_{max} \times 1.2 \quad 0.23 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

침목의 허용압축응력 σ_{rs}	
연질목 침목	1.0 - 1.5 N/mm ²
경질목 침목	1.5 - 2.5 N/mm ²
콘크리트 침목	4 N/mm ²

○ 레일 검토결과

레일의 휨응력

$$\sigma(x) = M(x0) / Wyf \quad 6.75 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{부응력} \quad -1.40 \text{ kN/cm}^2$$

레일의 침하량

$$W(x) = Q L^3 / (8EI) \eta(X) \quad 2.962 \text{ mm}$$

$$W(x) = Q / (2KL) \eta(X) \quad 2.926 \text{ mm} \quad \text{up lift} \quad -0.126 \text{ mm}$$

○ 침목 검토결과

레일좌면부 설계하중

$$P_d = Q_0 / (2(1 + k_v * k_p) k_d * k_r) \quad 158 \text{ kN}$$

참고: $k_v = DAF$, $k_p = 0.7$,
 $k_d = 0.5$, $k_r = 1.35$
(ISO 12856-3:2020)

레일좌면부 설계 (정)모멘트

$$M_{k,r,pos} = k_{i,r} * Mr_{,pos} \quad 12.9 \text{ kN.m}$$

참고: $k_{i,r} = 1.6$
(ISO 12856-3:2020)

침목중앙부 설계 (부)모멘트

$$M_{k,c,neg} = k_{i,c,neg} * Mc_{,neg} \quad 21.1 \text{ kN.m}$$

참고: $k_{i,c,neg} = 2.1$
(ISO 12856-3:2020)

레일좌면부 침목하면 휨응력
(정모멘트 시)

$$\sigma_{r,bot,pos} \quad 3.4 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

레일좌면부 침목상면 압축응
력(정모멘트 시)

$$\sigma_{r,top,pos} \quad 5.8 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

침목중앙부 침목하면 휨응력
(부모멘트 시)

$$\sigma_{c,bot,neg} \quad 5.5 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

침목중앙부 침목상면 압축응
력(부모멘트 시)

$$\sigma_{c,top,neg} \quad 9.6 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

허용 휨압축응력

$$f_{ca} = 0.40 * f_{ck,} = \quad 10.1 \text{ N/mm}^2$$

허용 휨인장응력

$$f_{ta} = 0.40 * f_{ck,b} = \quad 12.1 \text{ N/mm}^2$$

○ 노반 검토결과

노반의 변형계수

$$EV_2 \quad 80 \text{ N/mm}^2$$

하중 사이클 반복수

$$n \quad 2,000,000 \text{ 회}$$

노반의 허용압축응력

$$\sigma_z = \{0.006 EV_2\} / \{1 + 0.7 \log n\} \quad 0.089 \text{ N/mm}^2$$

노반에 작용하는 평균수직응력

$$\sigma_{mean} = Q_a / (2L_{Asg}) \quad 0.031 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

노반에 작용하는 최대수직응력

$$\sigma_{max} = \sigma_{mean} \times DAF \quad 0.045 \text{ N/mm}^2 \quad 0.K$$

$$\sigma(x) = \sigma_{max} \eta(x)$$

궤도안정성 해석

○ 차량 및 선로조건

열차속도(1)	V	120 km/h
열차속도(2)	v	33.3 m/s
곡선반경	R	1,000 m
중력가속도	g	9.8 m/s ²
차량무게중심고	hc	1,800 mm
레일중심간거리	s	1,500 mm
적용캔트	h	60 mm

○ 곡선부에서의 궤도에 작용하는 힘

외측레일의 반력	$Q_e = 1/2P + P(h_c h_d / s^2)$	122.1 kN
횡압	$H = Y_e + Y_i = P(h_d / s)$	13.2 kN
균형캔트	$h_0 = (sv^2 / gR)$	170 mm
부족캔트	$h_d = h_0 - h$	110 mm

○ 한계 횡력 (Prud'Homme의 한계)

궤도의 필요 최소 횡저항력	$H_{tr} = (10 + P/3)$	70.0 kN
차량의 허용 차륜횡압	$H_{rs} = 0.85(10 + P/3)$	59.5 kN
횡압 한계	$DAF \times H \leq H_{rs}$	30.2 kN O.K. 허용횡압 판정기준

○ 임계 횡가속도(승차감)

비보정 횡가속도	$a_d = g/s \times h_d$	0.72 m/s ² O.K. 허용 횡가속도와 비교판정
허용 횡가속도(승차감 기준)	a_{dmax}	0.80 m/s ²
횡 jerk (완화곡선구간)	$da/dt = v/L_{tc} \times a_d$	0.15 m/s ³ O.K. jerk 한계와 비교판정
jerk 한계	$(da/dt)_{max}$	0.30 m/s ³
완화곡선길이	L_{tc}	160 m

○ 횡가속도에서 틸팅 차체의 효과

차체 기울음에 따른 비보정 횡가속도	$a_{dt} = g/s(h_d - h_{tilt})$	0.07 m/s ² O.K. 허용 횡가속도와 비교판정
차체 기울기 효과	h_{tilt}	100 mm

○ 친환경 플라스틱 합성침목의 적정 강성 범위 검토

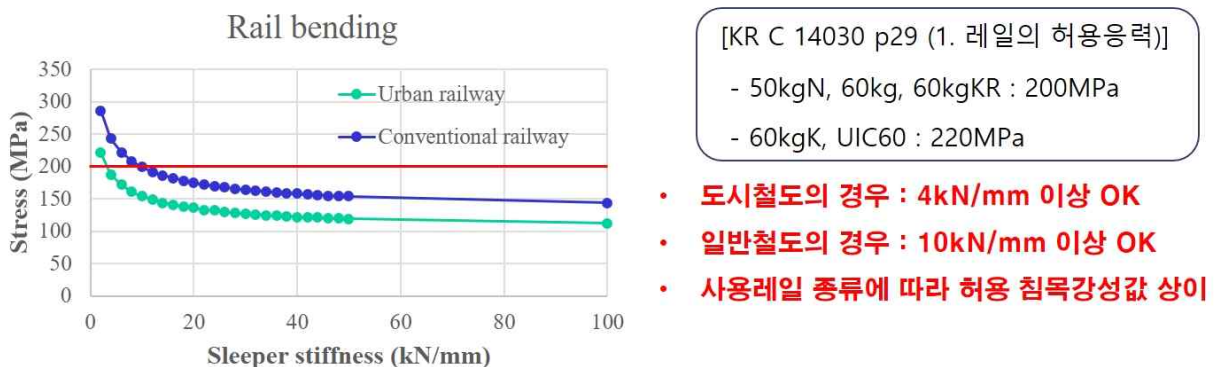
- ISO 12856-3:2021에서는 다음과 같이 실내시험(정/부모멘트 휨시험)에 대한 결과값(강성값)을 구매자가 제시하도록 기술하고 있음

7.2.2.1 Tests at the centre section for the negative bending moments 7.2.2.1.1 Stiffness in the centre section The stiffness test at the centre section for design approval test is to apply a load with measurement of the deformation of the sleeper. The test method is according to Subclause 4.2.3.1 of ISO 12856-2. Design approval tests: The test method shall be applied on polymeric composite sleepers, bearers or transoms tested for fatigue test at the centre section. The purchaser shall define the acceptance criteria: — minimum value $\leq k_{cn,dyn1} \leq$ maximum value. The test report shall include the test results for $k_{cn,stat1}$, $k_{cn,stat2}$, $k_{cn,dyn1}$ and $k_{cn,dyn2}$. The supplier shall provide a reference value of stiffness for routine test, in the range of purchaser acceptance values.	7.2.2.1.2 Fatigue test and ultimate load at the centre section for negative bending moments Settlement of ballast due to repeated loading may lead to sleepers riding on the ballast at the sleeper centre. This test is intended to prove satisfactory fatigue strength for this loading scenario. The purpose of the fatigue test is to confirm the strength and the variations of the stiffness against the repeated load of the sleeper. When carrying out the test with the sleepers alone, it is not affected by the other factors (ballast, elastic supports...). The test method is according to Subclause 4.2.3.2 of ISO 12856-2. Design approval tests: The test method shall be applied on one polymeric composite sleeper, bearer or transom. The purchaser shall define the acceptance criteria: — minimum value $\leq k_{cn,dyn1} \leq$ maximum value; — Visual inspection shall be according to the purchaser's criteria. The test report shall include the test results for $k_{cn,stat1}$, $k_{cn,stat2}$, $k_{cn,dyn1}$, $k_{cn,dyn2}$, $\Delta k_{cn,stat1}$, $\Delta k_{cn,stat2}$, $\Delta k_{cn,dyn1}$, $\Delta k_{cn,dyn2}$ and minimum load to failure.
7.2.9 System test This test is intended to validate the behaviour of the sleepers, the bearers or the transoms in the ballast under cyclic loads representing the normal service load. The test method is according to Subclause 4.7 ISO 12856-2. Design approval tests: The test method shall be applied on one polymeric composite sleeper, bearer or transom. The purchaser shall define the acceptance criteria: — minimum value $\leq k_{cn,dyn1} \leq$ maximum value; — $\Delta k_{cn,dyn1} \leq$ maximum percentage; — $\Delta m \leq$ maximum percentage; — Visual inspection shall be according to the purchaser's criteria. The test report shall include the test results for $k_{cn,stat1}$, $k_{cn,stat2}$, $k_{cn,dyn1}$ and $k_{cn,dyn2}$.	

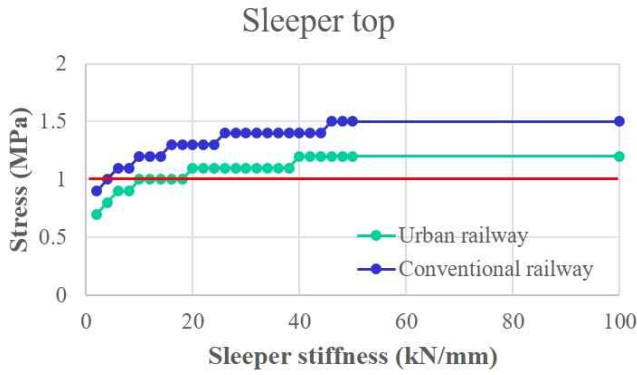
- 이에 따라 국내 일반 및 도시철도 운영조건을 고려한 적정 강성값을 검토함

철도유형		도시철도	일반철도
열차속도	V	120 km/h	140 km/h
축중	P	180 kN	220 kN
윤중	Q	90 kN	110 kN
레일 규격		KS60 rail	60KR rail
레일당체결력	F_0	15 kN	15 kN
유효레일지지면적	A_{rs}	720 cm^2	720 cm^2
레일저부 폭	b_r	14.5 cm	14.5 cm
침목간격	a	62.5 cm	62.5 cm
침목유형		보통침목	보통침목
침목폭	b	24.0 cm	24.0 cm
침목 전체길이	L	250 cm	250 cm
레일좌면부중심간 거리	L_c	150.0 cm	150.0 cm
레일패드의 강성	c_p	400 kN/mm	400 kN/mm
침목의 강성	c_s	변수	변수
도상자갈의 강성	c_b	200 kN/mm	200 kN/mm
노반의 강성	$c_s = K_s \times A_{sg}$	61.2 kN/mm	61.2 kN/mm
궤도의 종합 지지강성	$c_{tot} = 1 / (1/c_p + 1/c_s + 1/c_b + 1/c_s)$	변수	변수
특성길이	$L = (4EI a / c)^{1/4} = (4EI / k)^{1/4}$	변수	변수
확률지수	t	3	3
궤도품질지수	ϕ	0.3 (불량)	0.3 (불량)
동적하중계수(for rails, fastenings, supports, sleepers)	$DAF = 1 + t \times \phi \times [1 + (V - 60) / 140]$	2.286	2.414
동적하중계수(for contact stress, subgrade)	$DAF = 1 + t \times \phi \times [1 + (V - 60) / 140]$	1.429	1.471
도상두께	d	30 cm	30 cm
1/2 침목의 유효면적	A	2,850 cm^2	2,850 cm^2

<적정 강성값 산정을 위한 도시/일반 철도 조건>



<침목강성에 따른 레일휨응력 검토결과>



[KR C 14030 p29 (2. 침목의 허용응력)]

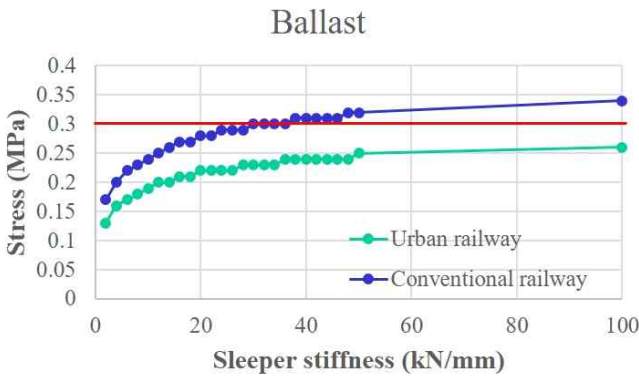
$f_{ca} = 0.25f_{ck}$

f_{ca} : 허용지압응력
 f_{ck} : 콘크리트 압축강도
 (재령 28일)

[Ref.] 허용압축응력 σ_{rs}	
연질목침목	1.0 - 1.5 N/mm ²
경질목침목	1.5 - 2.5 N/mm ²
콘크리트침목	4 N/mm ²

- 도시철도의 경우 : 10kN/mm 이상 OK
- 일반철도의 경우 : 4kN/mm 이상 OK
- 합성침목에 대한 허용압축응력 산정 필요

<침목강성에 따른 침목응력 검토결과>



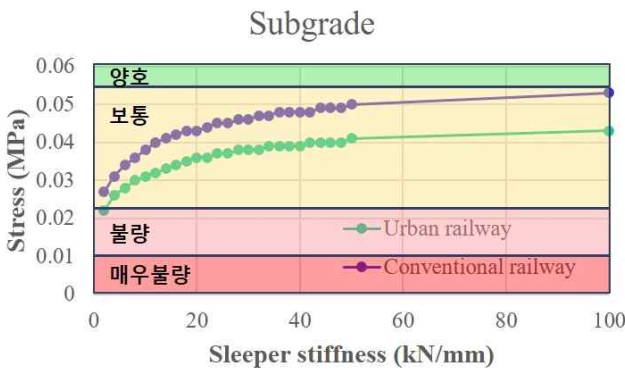
[KR C 14030 p29 (3. 도상자갈의 허용응력)]

- 여객열차 전용구간: 0.3MPa 이하
- 여객/화물열차 혼용구간: 0.5MPa 이하

- 도시철도의 경우 : 모두 만족
- 일반철도의 경우 : 30kN/mm 이상 NG
- 침목간격, 1/2 침목의 유효면적, 특성길이에 따라 상이

[KR C 14030 p30 (4. 노반의 허용응력)]

<침목강성에 따른 자갈도상 압력 검토결과>



노반 상태	E_{eq} (N/mm ²)	K_{30} (N/mm)	σ_d (N/mm ²) $n=2 \cdot 10^6$
매우 불량	10	0.011	0.011
불량	20	0.022	0.022
보통	50	0.055	0.055
양호	80	0.089	0.089
양호	100	0.111	0.111
매우 양호	120	0.133	0.133

- 도시/일반철도의 경우 : 노반상태 보통에 해당함
- 노반상태(Ev값)에 따라 허용범위 상이

<침목강성에 따른 노반 압력 검토결과>

친환경 합성침목(보통침목) 궤도구조해석 결과

- 자갈궤도 보통침목용 친환경 합성침목의 경우, 보강재 없이(무근) 도시철도 및 일반철도 적용 가능
- ISO기반 합성침목 표준규격서(안)에 제시된 합성침목 동적강성의 범위 산정결과 :
 - 도시/일반철도 : $4 \leq k_{dyn} \leq 30 \text{ kN/mm}$
- 합성침목 동적강성 범위는 궤도구조별 사용 구성품 및 조건에 따라 달라짐
- 따라서, 적용하고자 하는 궤도구조(구성품)를 고려한 궤도구조해석을 통해 산정되어야 함

2.2 Testbed 공사시방서 작성

[부록 2-4. 친환경 플라스틱 합성침목 공사시방서 및 자재사양서] 참조

○ 친환경 플라스틱 합성침목 공사시방서 작성 완료

제1장. 공사시방서	1
1. 일반사항	1
2. 시공계획	1
2.1 시공흐름도	1
2.2 시공의 확인 및 검사	2
2.3 시공 시 준수사항	2
2.4 합성침목 교환 공사	3
2.4.1 준비작업	3
2.4.2 침목 교환작업	3
2.4.3 궤도정정	4
2.4.4 면맞춤 작업	4
2.4.5 줄맞춤 작업	4
2.4.6 침목위치정정	4
2.4.7 공사자재 관리	5
2.5 안전·보건·환경관리	6
2.5.1 일반사항	6
2.5.2 주간 차량기지 공사 시	7
2.5.3 야간 공사 시	7

<친환경 플라스틱 합성침목 공사시방서 목차>

○ 친환경 플라스틱 합성침목 자재사양서 작성 완료

제 2장. 자재사양서	9
1. 적용범위 및 분류	9
1.1 적용범위	9
1.2 분류	9
2. 인용규격	10
3. 필요조건	10

3.1 재료.....	10
3.2 형상 및 치수.....	12
3.3 구조적 성능 요구조건.....	13
3.3.1 일반사항.....	13
3.3.2 구조적 성능 요구조건.....	13
3.3.3 섬유 강화 폴리머 복합체(FPC) 침목 계열.....	15
3.3.4 입자 강화 폴리머 복합체(PPC) 침목 또는 하이브리드 폴리머 복합체(EHPC) 침목 계열.....	16
4. 검사 및 시험.....	16
4.1 검사.....	16
4.2 재료단위 시험.....	16
4.2.1 휨강도 및 휨탄성계수.....	17
4.2.2 압축강도.....	17
4.2.3 전단강도 및 부착전단강도.....	18
4.2.4 수분흡수(흡수율).....	18
4.2.5 밀도.....	19
4.2.6 선팽창계수.....	19
4.2.7 절연저항.....	19
4.2.8 화재저항성(난연성 시험).....	21
4.3 침목단위 구조체에 대한 구조시험.....	21
4.3.1 침목단위 구조체 시험조건.....	21
4.3.2 기준 시험하중 산정.....	24
4.3.3 정적 강성시험.....	26
4.3.4 동적 강성시험.....	27
4.3.5 피로시험.....	29
4.3.6 휨강도 및 압축강도 시험.....	30
4.3.7 인발력 시험.....	31

2.3 Testbed 현장계측 및 평가

[부록 2-5. 친환경 플라스틱 합성침목 Testbed 구축 및 현장계측 결과보고서] 참조

○ Testbed 현장계측 대상구간

- 현장계측은 서울교통공사와 협의를 통해 「친환경 플라스틱 합성침목 Testbed 구축」 구간을 중심으로 기존 PC침목과 플라스틱 합성침목을 대상으로 현장계측 개소 선정
- 선정된 측정구간의 궤도현황은 아래 표와 같으며, 측정구간의 전경은 아래 그림과 같음
- 구축된 Testbed는 직선 자갈궤도이며, 합성침목은 8정 설치됨
 - 차량종류 : 도시철도 통근형 전동차(8량 1편성)
 - 열차속도 : 약 23.3 ~ 32.7km/h

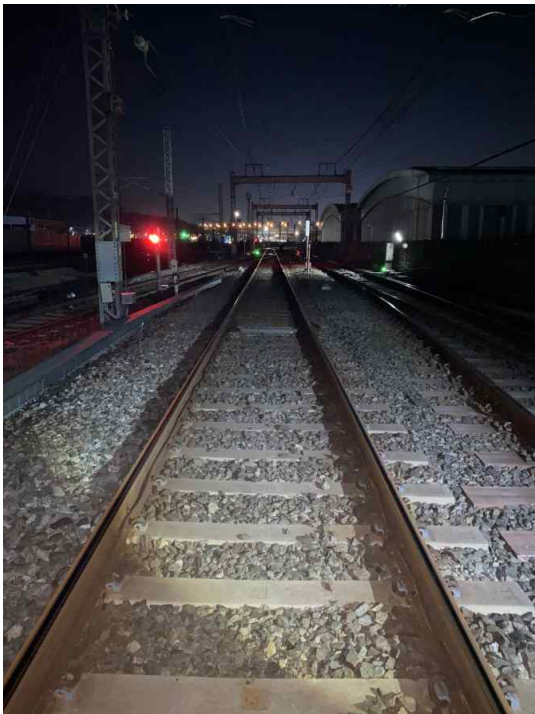
< 현장계측 대상구간 궤도현황 >

구간	KP(km)	상·하선	선 형		궤도구조	
			평면	종단	합성침목	PC침목
7호선 장암역→도봉산역 본선구간	2.300	하선	직선	-	60kg레일	60kg레일
					목침목용 e-clip 레일체결장치	PC침목용 e-clip 레일체결장치
					침목 8정	-
					자갈도상	자갈도상

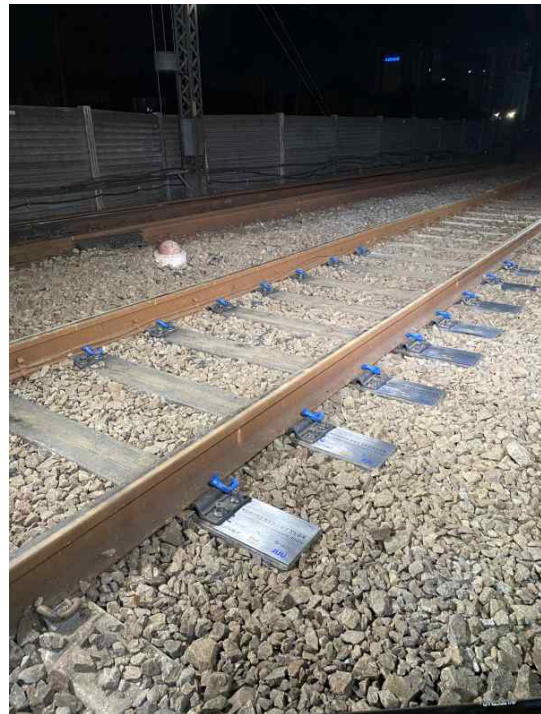
계측구간 위치도



도봉산역-장암역 내 Testbed 구축



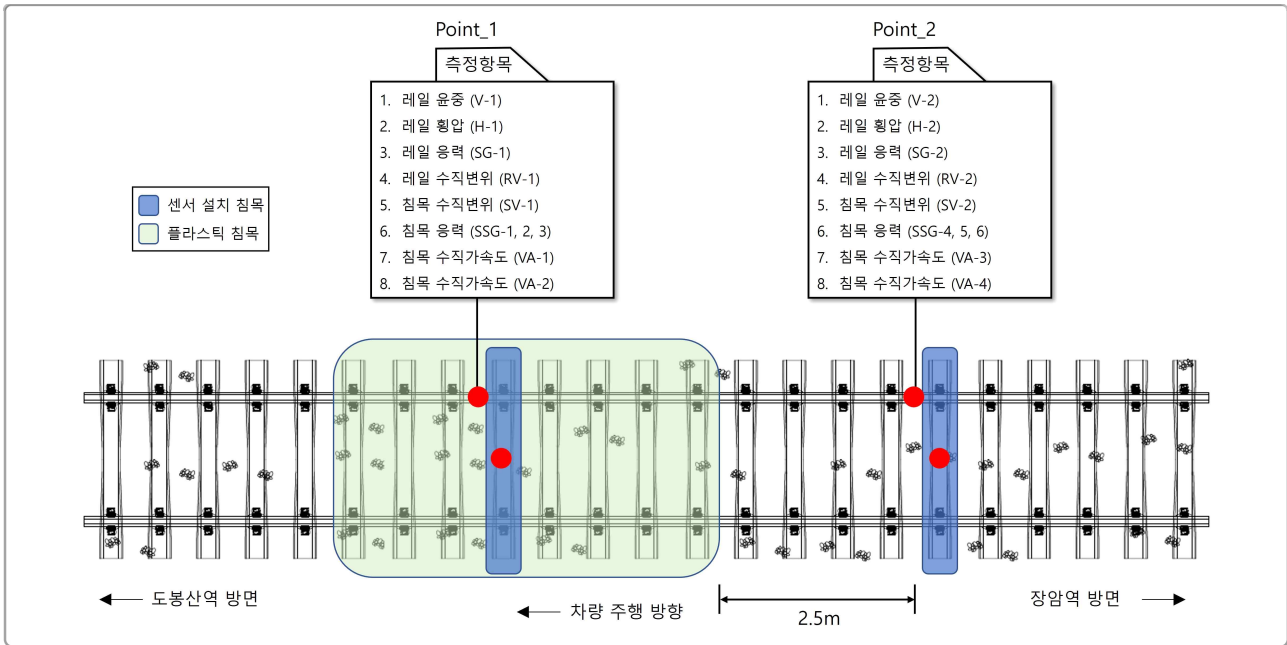
L:2500mm PC침목
구축 전



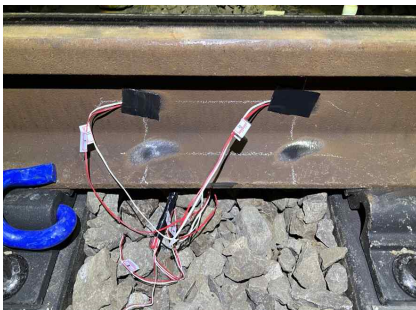
L:2500mm 플라스틱 합성침목(8정)
구축 후

○ 센서 설치 항목 및 위치

- 아래 그림은 시험부설된 친환경 플라스틱 합성침목(8정)구간과 상대비교를 위한 PC침목구간에 대한 현장 계측 항목 및 설치위치를 보여줌



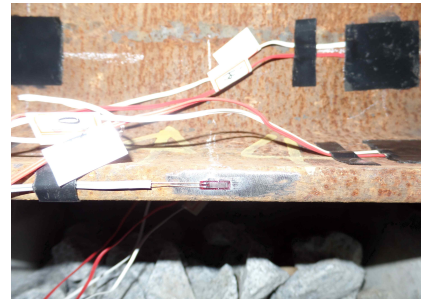
< 시험부설구간의 센서설치 항목 및 위치(2k300, 직선구간, 자갈궤도, 60kg/m레일) >



윤중



횡압



레일응력



레일수직변위



침목수직변위



침목상면 응력



진동가속도

< 시험부설구간에 설치된 센서종류>

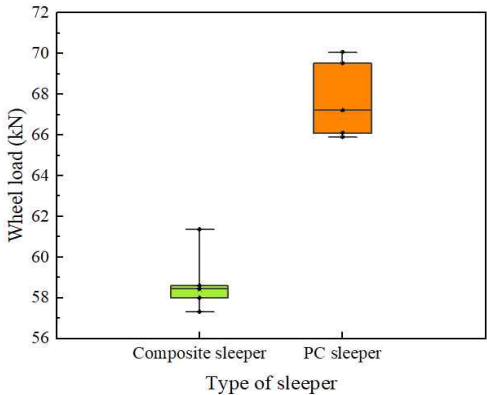
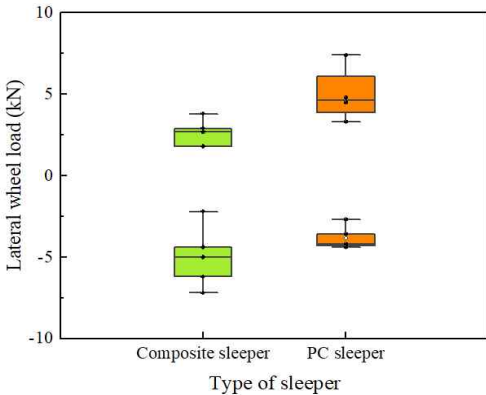
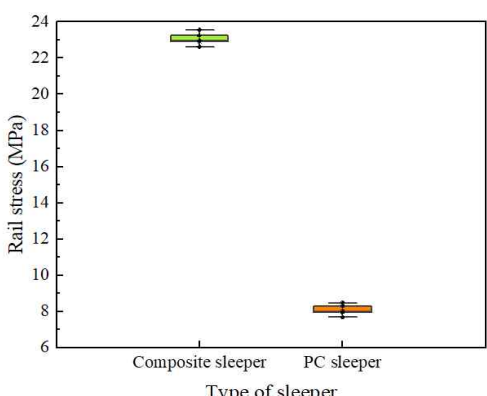
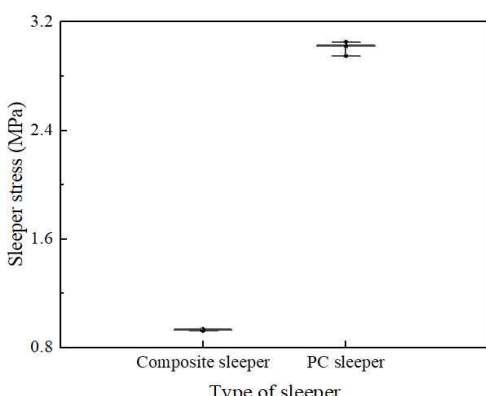
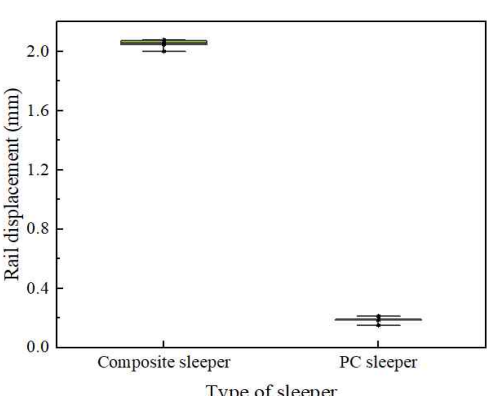
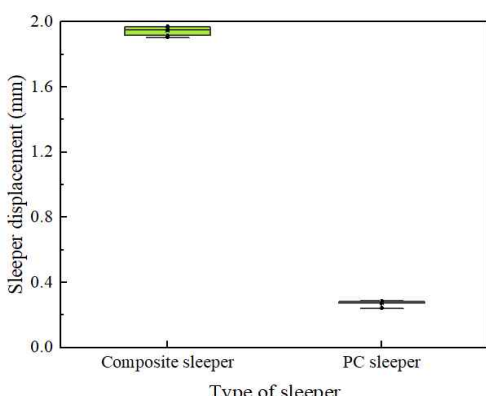
○ 현장계측 결과

- 시험부설된 친환경 플라스틱 합성침목 구간의 궤도성능을 평가하기 위해 실 주행열차에 대한 윤중, 횡압, 레일 및 침목 응력, 수직변위, 진동가속도 계측을 수행함. 그 결과를 요약·정리하면 다음과 같음

< 현장계측결과 요약 >

구분		윤중 ¹⁾ (kN)			횡압 ²⁾ (kN)		최대	최대
		평균	최대	최소	평균	최대	탈선계수 ³⁾	윤중감소율
Point 1 (플라스틱 합성침목)		48.3	61.4	31.6	2.2 -2.9	3.8 -7.2	0.09	0.46
Point 2 (PC침목)		54.3	70.1	38.2	2.8 -2.3	7.4 -4.4	0.11	0.40
구분		레일응력 ⁴⁾ (MPa)		레일수직변위 ⁵⁾ (mm)		침목수직변위 ⁶⁾ (mm)		
		평균	최대	평균	최대	평균	최대	
Point 1 (플라스틱 합성침목)		20.3	23.5	1.9	2.1	1.9	2.0	
Point 2 (PC침목)		6.2	8.5	0.1	0.2	0.2	0.3	
구분		침목응력 (MPa) Point_A ⁷⁾		침목응력 (MPa) Point_B ⁸⁾		침목응력 (MPa) Point_C ⁹⁾		
		평균	최대	평균	최대	평균	최대	
Point 1 (플라스틱 합성침목)		0.6	0.7	0.9	0.9	0.4	0.4	
Point 2 (PC침목)		1.1	1.2	2.8	3.1	1.8	2.2	
구분		최대 가속도	All Pass	Narrow Band(최대값)		1/3 Octave Band(최대값)		
		(g)	(dB)	Hz	dB	Hz	dB	
플 라 스 틱 합성침목	수직 방향	0.74	112.85	65.67	89.29	80.00	107.45	
	수평 방향	0.10	98.30	16.90	73.93	160.00	92.17	
PC침목	수직 방향	0.55	111.06	117.90	84.42	125.00	105.91	
	수평 방향	0.14	98.08	138.60	70.39	125.00	92.09	

- 주) 1. 윤중 : 상향 -, 하향 +
 2. 횡압 : 궤도 외측 +, 궤도 내측 -
 3. 탈선계수 : 궤도 외측 횡압(+)/윤중(+)
 4. 레일응력 : 인장 +, 압축 -
 5. 레일수직변위 : 상향 -, 하향 +
 6. 침목수직변위 : 상향 -, 하향 +
 7. Point_A : 열차주행방향 기준 침목 우상면
 8. Point_B : 열차주행방향 기준 침목 중앙상면
 9. Point_C : 열차주행방향 기준 침목 좌상면

 Wheel load (kN) Composite sleeper PC sleeper Type of sleeper	 Lateral wheel load (kN) Composite sleeper PC sleeper Type of sleeper
차 중 하중	횡 압
 Rail stress (MPa) Composite sleeper PC sleeper Type of sleeper	 Sleeper stress (MPa) Composite sleeper PC sleeper Type of sleeper
레일 응력	침목 응력 (Point B_침목상면 중앙부)
 Rail displacement (mm) Composite sleeper PC sleeper Type of sleeper	 Sleeper displacement (mm) Composite sleeper PC sleeper Type of sleeper
레일 수직 변위	침목 수직 변위

< 현장계측항목에 따른 침목종류별 최대값 비교 >

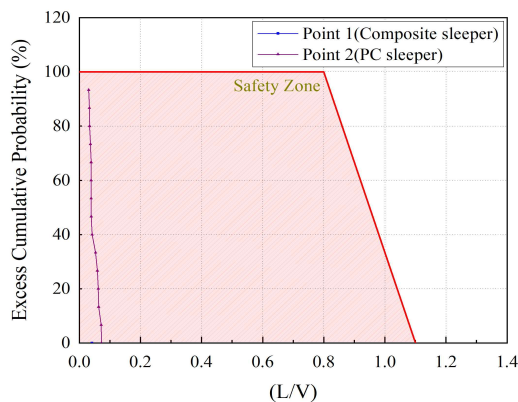
○ 현장계측 결과에 대한 평가

- 현장계측 대상구간에 대한 성능평가결과, 주행안전성 및 궤도구조 안전성 모두 평가기준을 만족함
- 종합된 결과를 바탕으로 개발된 친환경 플라스틱 합성침목은 실열차하중에 대한 주행안전성 및 궤도구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 분석됨

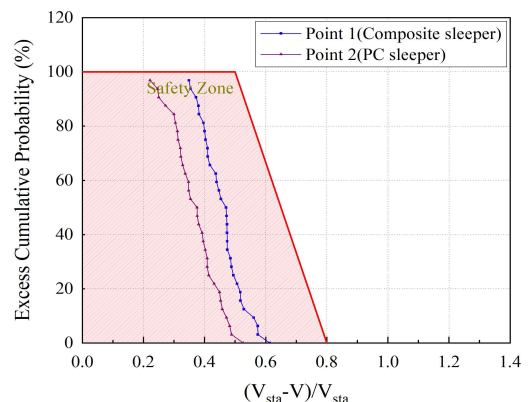
< 현장계측결과와 평가 >

측 정 횟 수		5회	주행속도	23.3 ~ 32.7 km/h	
주 행 방 향		상 선 () 하 선 (○)			
측 정 구 간		장암역→도봉산역, 2K300지점, 직선구간, 자갈궤도			
평 가 항 목		판 정 기 준	현장계측결과		판정
			합성침목	PC침목	
주행 안전성	탈선 계수	산정식: $\frac{L}{V}$ - L : 횡압, V : 윤중 - 최대값 : 1.2 - 빈도누적초과확률 · 100.% : ≤ 0.8 · 0.10% : ≤ 1.1	0.09	0.11	OK
	윤중 감소율	산정식: $\frac{V_{sta} - V}{V_{sta}}$ - V_{sta} = 90kN : 정적윤중(EL-18 활하중 적용) - 빈도누적초과확률 · 100.% : ≤ 0.5 · 0.10% : ≤ 0.8	0.46	0.40	OK
	축당 횡압	$\leq X=(P_{sta}/3+10) \alpha=40\text{kN}$ - P_{sta} =90kN : 정적윤중(EL-18 활하중 적용) - α =1 : 동력차, 객차	3.8 kN	7.4 kN	OK
레일응력		$\leq 200\text{MPa}$ 또는 $\leq 92\text{MPa}$ (장대레일)	23.5 MPa	8.5 MPa	OK
레일수직변위		자갈궤도 : $\leq 4 \text{ mm}$	2.1 mm	0.2 mm	OK
침목수직변위		자갈궤도 : $\leq 3 \text{ mm}$	2.0 mm	0.3 mm	OK

3차 (2021년 12월 28일 05시 38분, 도시철도 통근형 전동차, 32.03km/h)



(a) 탈선계수



(b) 윤중감소율

< 탈선계수 및 윤중감소율에 대한 빈도누적초과확률 분포도 분석결과 예시 >

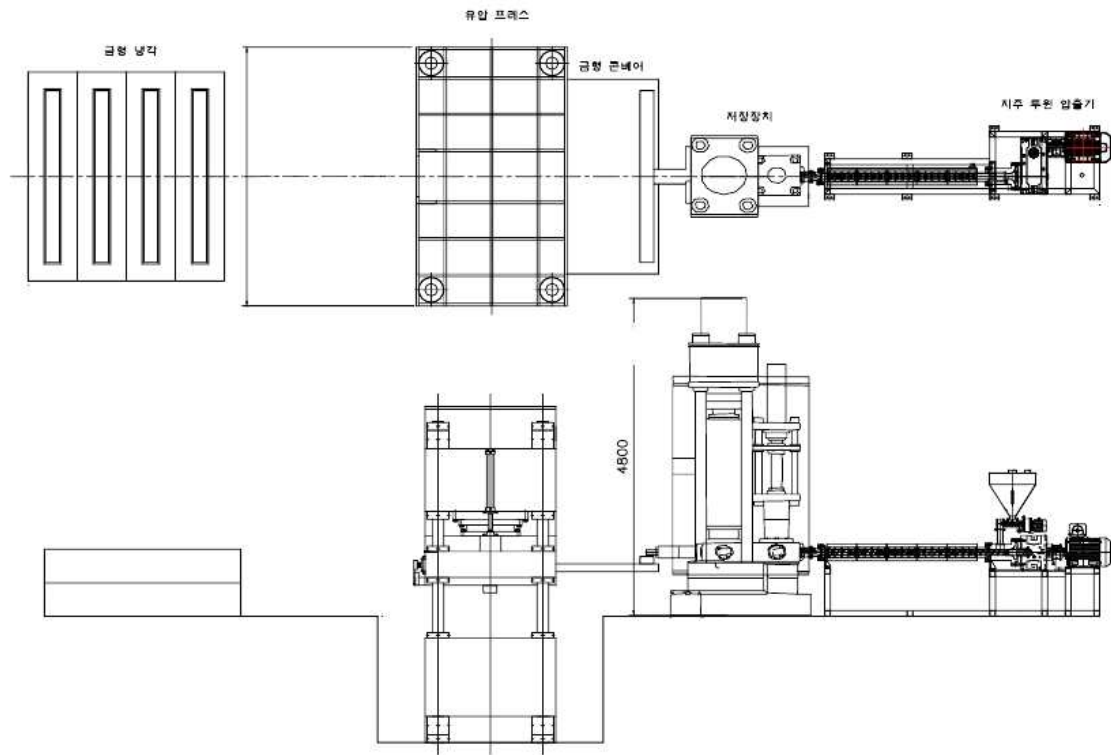
< 현장계측결과 종합(최대값) >

구분		현장계측결과(최대값)		판정	평가기준	비고
		합성침목	PC침목			
주행 안전성	탈선계수	0.09	0.11	OK	- 최대값 : 1.2 - 빈도누적초과 확률 · 100.% ≤ 0.8 · 0.10% ≤ 1.1	
	윤중 감소율	0.46	0.40	OK	- 빈도누적초과 확률 · 100.% ≤ 0.5 · 0.10% ≤ 0.8	
	축당횡압 (kN)	3.8	7.4	OK	최대값 : 40kN	
레일 응력 (MPa)		23.5	8.5	OK	≤ 200 or ≤ 92	
레일수직변위 (mm)		2.1	0.2	OK	자갈도상 ≤ 4	
침목수직변위 (mm)		2.0	0.3	OK	자갈도상 ≤ 3	
침목 응력 (MPa)	침목상면 우	0.7	1.2	-	-	
	침목상면 중앙	0.9	3.1	-	-	
	침목상면 좌	0.4	2.2	-	-	
진동 가속도 (수직방향)	g	0.74	0.55	-	-	1/3 Octave band
	dB	107.45	105.91	-	-	
	Hz	80.00	125.00	-	-	
진동 가속도 (수평방향)	g	0.10	0.14	-	-	1/3 Octave band
	dB	92.17	92.09	-	-	
	Hz	160.00	125.00	-	-	

3.1 시제품 제작 및 Testbed 구축

○ 친환경 플라스틱 합성침목 제조공정 개선 및 구축

- 침목 제조설비 전체공정



<침목 제조설비 전체 도면 사진>

- 침목 제조 공정 순서

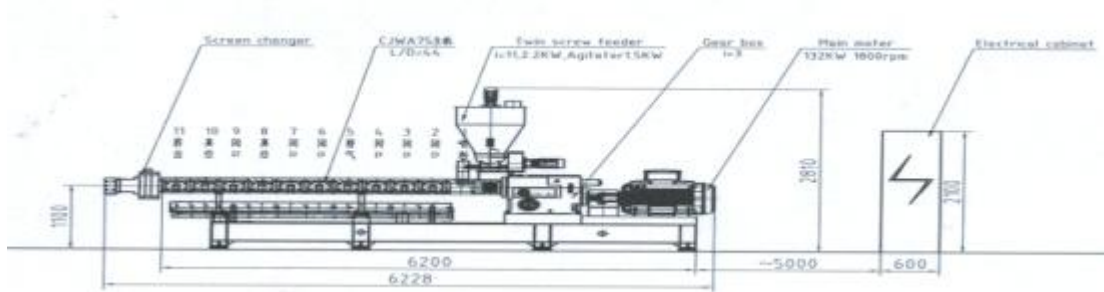
1) Pellet 건조



<Hopper drier>

- 침목 원재료를 압출기에 투입하기 전 발생 되는 가스를 감소시키기 위하여 Hopper drier를 사용하여 건조 공정진행
- 건조 진행 중 1시간 간격으로 수분측정을 진행하여 0.05% 이하의 수분함량이 될 때까지 건조 진행

2) 압출 성형공정



<압출 설비 도면>

- 건조공정을 거친 침목 원재료를 트윈 스크류(원재료의 원활한 혼합이 가능하고, 수분과 가스를 충분히 제거하여 고품질의 재료를 균일하게 원활하게 압출할 수 있도록 된 구조) 압출기로 투입
- 압출기를 사용하여 성형온도(180~210℃), 압출 속도(150~300 RPM)를 설정하여 수지 성형을 진행
- 수지가 트윈 스크류로 이동하며 내열로 인해 발생 되는 가스를 제거하기 위하여 별도로 Vent Zone 2 point를 압출기에 설치하여 균일한 품질로 수지가 압출될 수 있도록 제작

<플라스틱 침목 압출설비 제원>	
스크류 외경	Φ71mm
스크류 외경	Φ47mm
스크류 슬롯 깊이	12mm
드라이버 내외경비 (로터의 축방향길이와 최대 바깥지름의 비율)	1.55
기관 내경	Φ71.8mm
더블너트중심거리	60mm
스크류와 스크류의 간격	1mm
볼트 캐비닛 간격	0.4mm
기장 지름 비율	44
스크류 속도	Max 600rpm
스크류 토크 레벨	$T/A^3=6.0N.m/cm^3$
메인 모터 출력	132kw/160KW
히팅 출력	50KW

- 압출되는 수지는 유압실린더를 장착하여 단시간에 금형으로 용융된 수지를 투입하여 잔류응력(Stress) 및 화학반응에 의한 기포(Gas bubbles)를 최소화 할 수 있는 기술이 적용된 저장 탱크에 투입됨

3) 침목 금형 수지 투입



<변경 전 금형(압출성형 상판 오픈 방식)>



<변경 후 금형(Press성형 상판 오픈 방식)>

- 금형의 경우에는 기존 압출성형 상판 오픈 방식의 주형(Mold)에서 (압축) Compress 성형 상판 오픈 방식의 주형(Mold)으로 변경
- 유압실린더가 장착된 저장 탱크에서 용융된 수지를 밀어내 단시간에 투입하며 투입 직전 T-Die에 장착된 롤러를 통해 용융된 수지에 기포(Gas bubbles)를 2차로 제거하여 제품의 변형을 최소화 할 수 있도록 생산

4) 압축(Compress) 성형공정

- 수지 투입이 완료된 금형은 Conveyor를 타고 압축성형을 위해 1000ton Press 설비로 이동
- 압축(Compress)성형 시 3차로 잔류응력(Stress) 및 화학반응에 의한 기포(Gas bubbles)를 제거하기 위해 가스베기 작업을 약 15회 정도 진행 후 130 kgf/cm(750ton) ~ 140 kgf/cm(850ton)의 압력을 가하며 약 130℃ 가열(Heating) 30분, 약 20℃ 냉각(Cooling) 30분으로 압축성형 진행

4) 금형 냉각 및 추출



<이젝터(ejector)를 사용한 제품추출 사진>

- 약 1시간 정도의 압축성형이 완료된 금형은 다시 Conveyor를 타고 추출장소로 이동하고 금형에 장착된 이젝터(ejector)를 사용하여 제품을 금형 위쪽으로 들어올려 추출을 진행



<냉각 수조>

- 추출된 제품은 각각의 다른 온도(50℃, 40℃, 30℃, 상온)로 설정된 냉각 수조를 약 1시간 간격으로 어닐링(Annealing) 작업(제품의 잔류응력(Stress), 비틀림을 제거하기 위함)을 진행
- ※ Annealing : 재료를 적당히 가열함으로써 재료의 내부 구조 속에 남아있는 열 이력 및 가공에 의한 영향을 제거하는 것

5) 양생실 이동

- 제품추출 완료 후 별도의 양생 창고로 이동하여 50℃에서 24시간 2차 Annealing 작업이 진행

○ 친환경 플라스틱 합성 침목 시제품 제작

- 1차 플라스틱 침목 시제품 제작



<상판 오픈(Mold) 형식의 금형>



<1차 친환경 플라스틱 침목 시제품 사진>

- 플라스틱 침목 Twin screw 압출기에서 상판 오픈 주형(Mold) 형식의 금형으로 압출
- Size 230*230*3000의 무 철근으로 제작 진행
- 시제품에 대한 성능 검증 진행

※ 시험 기관 및 시험 완료 일자 : 2020.10.20. (한국화학융합시험원)

시험항목	단위	시험결과	시험방법
인장강도	MPa	19.4	KS M ISO 527-2 : 2012
굴곡탄성률	GPa	3.68	KS M ISO 178 : 2012 준용
굴곡강도	MPa	31.7	KS M ISO 178 : 2012 준용
밀도	g/cm ²	1.784	KS M ISO 1183-1 : 2012

- 2차 플라스틱 침목 시제품 제작

- 기존 압출 방식에서 압축(Compress)성형 방식으로 시제품 제작 방법 변경



<압축(Compress)성형 사진>



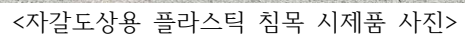
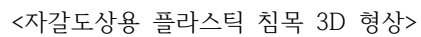
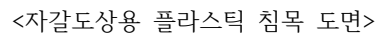
<2차 친환경 플라스틱 침목 시제품 사진>

- 제조공정 개선작업 진행 전 압축성형 방식의 적합성 평가를 위해 외부용역으로 제작 진행
- Size는 1차 시제품과 같으나 기존 무 철근에서 철근 인입 제품으로 변경
- 2차 시제품 제작 후 압축 성형방식의 적합성 결과를 바탕으로 제조공정 개선작업 진행
- 시제품에 대한 성능 검증 진행

※ 시험 기관 및 시험 완료 일자 : 2021.04.16. (한국화학융합시험원)

시험항목	단위	시험결과	시험방법
굴곡강도	MPa	30.2	ISO 12856-1 : 2014
굴곡탄성률	MPa	1,569	ISO 12856-1 : 2014
압축강도	MPa	25.3	ISO 12856-1 : 2014
전단강도	MPa	6.46	ISO 12856-1 : 2014
흡수율	%	0.14	ISO 12856-1 : 2014
밀도	g/cm ²	1.12	ISO 12856-1 : 2014
선열팽창계수	1/K	8.8×10^{-5}	ISO 12856-1 : 2014

- 2차 시제품 제작에서의 적합성 평가 및 시제품 결과를 바탕으로 개선된 제조공정에서 제작 진행
- 시험부설(Testbed)를 위하여 수요업체에서 요구한 형상으로 제품을 제작



3.2 공단 철도시설성능검증 추진

○ 친환경 플라스틱 합성 침목 성능평가

- 플라스틱 합성 침목 성능요구조건 및 평가

시험성적서[부록 2-6. 친환경 플라스틱 합성 침목 공인시험성적서] 참조

품 목	시험 항목	단위	품질 기준	시험성과	판정	시험 방법	시험일자 및 기관	비고
플라스틱 침목	굴곡강도 (휨 강도)	MPa	≥ 18	30.2	적합	ISO 12856-1 section 4.2	2021.04.16. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	굴곡탄성률 (휨탄성계수)	MPa	≥ 1170	1569	적합	ISO 12856-1 section 4.2	2021.04.16. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	압축강도 ^a	MPa	≥ 8	25.3	적합	ISO 12856-1 section 4.3, 4.4	2021.04.16. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	전단강도	MPa	≥ 4.5	6.46	적합	ISO 12856-1 section 4.5	2021.04.16. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	전기저항	kΩ	≥ 7	195	적합	KRS TR 0014-20(R)	2021.12.30. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	수분흡수율 ^b	%	≤ 2	0.14	적합	ISO 12856-1 section 4.9	2021.04.16. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	밀도, 비중	g/cm ³	≥ 0.8	1.12	적합	ISO 12856-1 section 4.10	2021.04.16. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	선열팽창계수	1/K	$\leq 1.35 \times 10^{-4}$	8.8×10^{-5}	적합	ISO 12856-1 section 4.11	2021.04.16. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	인발저항	kN	≥ 30 (4-bolt)	30kN	적합	KRS TR 0014-20(R)	2021.12.06. 한국화학융합시험연구원(KTR)	
	난연성 시험	-	HB	HB	적합	UL 94	2021.08.23. 한국건설생활환경시험연구원(KCL)	

a : 종/횡방향 결정조합이 서로 다른 FPC의 경우에는 종방향, 횡방향 압축강도 각각 수행
종/횡방향 결정조합이 동일할 경우에는 종방향 압축강도 수행

b : 백분율은 질량분율로 표시

• 시제품에 대한 성능 검증 진행

※ 시험 기관 및 시험 완료 일자 : 2021.12.06. (한국화학융합시험원)

시험항목	단위	시험결과	시험방법
인발강도	kN	30kN(이상없음)	KRS TR 0014-20R

3.3 공인시험성적서 발급

[부록 2-6. 친환경 플라스틱 합성 침목 공인시험성적서] 참조

KTR TEST REPORT

후 1380A 경가도 과한시 교육원로 (해운항로) TEL: 02(2944-0011) FAX: 02(2934-1008

성적서번호: TSK-2019-00850

대 표 자: 장영희

발 행: 2019년 11월 25일

주 소: 울산광역시 울주군 언양읍 유나스트길 50

시 료 명: 합성목재 제품(합성목재 수목_구주)

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도	MPa	1번	14.5	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장강도	MPa	2번	20.2	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장강도	MPa	3번	18.5	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장강도	MPa	4번	15.5	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장강도	MPa	5번	16.4	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장강도	MPa	6번	17.8	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장강도	MPa	7번	14.5	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장률	%	1번	5	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장률	%	2번	4	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장률	%	3번	7	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장률	%	4번	6	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장률	%	5번	4	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장률	%	6번	5	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장률	%	7번	2	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장 모듈러스	GPa	1번	1.15	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장 모듈러스	GPa	2번	1.41	KS M ISO 527-2: 2013(*)
인장 모듈러스	GPa	3번	1.06	KS M ISO 527-2: 2013(*)

~ 다음 페이지 ~

Test Report

작성: 박영희
Tel: 02-2934-0011

2019년 12월 12일

KTR 한국화학융합시험연구원

위변조 확인용 QR code

Page: 1 of 3

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTION KTR-CQ-1908-F01-0000

KTR TEST REPORT

후 1380A 경가도 과한시 교육원로 (해운항로) TEL: 02(2944-0011) FAX: 02(2934-1008

성적서번호: TSK-2020-14640

대 표 자: 장영희

발 행: 2020년 10월 20일

주 소: 울산광역시 울주군 언양읍 유나스트길 50

시 료 명: 합성목재 침목 소재

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도(MPa)	MPa	-	19.4	KS M ISO 527-2: 2013
굴곡강도(MPa)	MPa	-	3.68	KS M ISO 178: 2013 중용
굴곡강도(MPa)	MPa	-	31.7	KS M ISO 178: 2013 중용
인장강도(MPa)	MPa	-	1.784	KS M ISO 1155-1: 2012

~ 시험편: 인장: 시험길이: 5 mm / mm
~ 시험편: 굴곡: 시험길이: 3.6 mm, 시험편: 인장: 시험길이: 5 mm

비고: 1. 이 성적서는 화학적 처리된 시료 및 시료명으로 시험한 결과에 대해 적용할 수 없습니다. 2. 이 성적서는 화학적 처리된 시료 및 시료명으로 시험한 결과에 대해 적용할 수 없습니다. 3. 이 성적서는 화학적 처리된 시료 및 시료명으로 시험한 결과에 대해 적용할 수 없습니다.

~ 다음 페이지 ~

Test Report

작성: 박영희
Tel: 02-2934-0011

2020년 10월 20일

KTR 한국화학융합시험연구원

위변조 확인용 QR code

Page: 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTION KTR-CQ-1908-F01-0000

KTR TEST REPORT

후 1380A 경가도 과한시 교육원로 (해운항로) TEL: 02(2944-0011) FAX: 02(2934-1008

성적서번호: TSK-2021-04710

대 표 자: 장영희

발 행: 2021년 04월 26일

주 소: 울산광역시 울주군 언양읍 유나스트길 50

시 료 명: 합성목재 침목 소재

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인장강도(MPa)	MPa	-	30.7	ISO 10966-1: 2014
굴곡강도(MPa)	MPa	-	1.969	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	25.3	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	6.46	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	19.8	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	21.3	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	9.7	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	19.8	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	5.86	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	47.4	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	2.489	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	25.8	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	9.67	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	6.14	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	1.12	ISO 10966-1: 2014
인장강도(MPa)	MPa	-	8.8 X 10 ⁻³	ISO 10966-1: 2014

~ 다음 페이지 ~

Test Report

작성: 박영희
Tel: 02-2934-0011

2021년 04월 26일

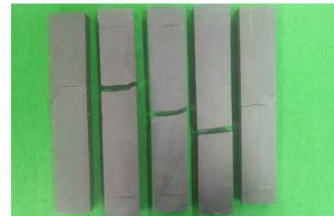
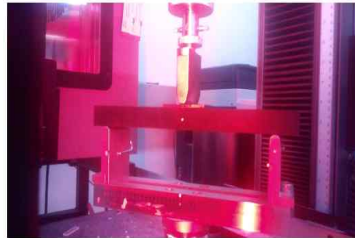
KTR 한국화학융합시험연구원

위변조 확인용 QR code

Page: 1 of 2

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTION KTR-CQ-1908-F01-0000

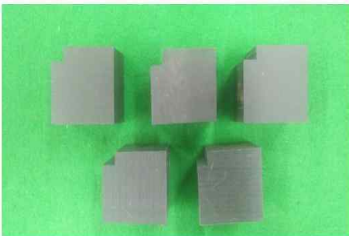
<굴곡강도(휨강도)>



<굴곡탄성률(휨탄성계수)>



<전단강도>

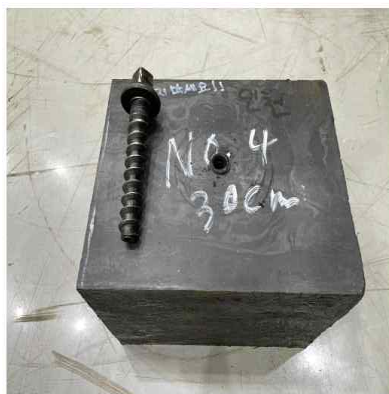


[illegible][illegible][illegible]

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동)
 성적서번호 : TAK-2021-162421
 대 표 자 : 이용훈
 업 체 명 : 울산과학기술원
 주 소 : 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 시 료 명 : Polymer계열 합성침묵(플라스틱)

접 수 일 자 : 2021년 11월 15일
시험완료일자 : 2021년 12월 06일

시험 시료 사진



(2) 정량적 연구개발성과

평가 항목 (주요성능 Spec ¹⁾)	단위	전체 항목 에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계최고 수준 (보유국/ 보유기업)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치						평가 방법 ³⁾
			성능수준	성능수준	1차년도 (2019년)		2차년도 (2020년)		3차년도 (2021년)		
					목표	성과	목표	성과	목표	성과	
인장 강도	MPa	25	15 (네덜란드/ Lankhorst)	-	15	20.2	20	19.4	20	25.3 (압축강 도)	공인시험기관 성적서
휨탄성계수	MPa	25	1,400 (미국/Rutgers University)	-	1,400	1,110	1,400	3,680	1,400	1,569	공인시험기관 성적서
휨강도	MPa	25	20.7 (USA/Axion)	-	20	21.8	22	31.7	22	30.2	공인시험기관 성적서
단위중량	kg/m ³	25	849-897 (USA/Axion)	-	850	954	850	1,784	850	1,120	공인시험기관 성적서
전단강도	MPa		≥4.5 (ISO12856-1)	-	-	-	-	-	≥4.5	6.46	공인시험기관 성적서
흡수율	%		≤2 (ISO12856-1)	-	-	-	-	-	≤2	0.14	공인시험기관 성적서
선팅창계수	1/K		≤1.35×10 ⁻⁴ (ISO12856-1)	-	-	-	-	-	≤1.35 ×10 ⁻⁴	8.8×10 ⁻⁵	공인시험기관 성적서
화재 저항 시험	-		- (UL 94)	-	-	-	-	-	-	HB	공인시험기관 성적서
전기저항시험	kΩ		≥5(일반구간) , ≥3(분기기) (KRS TR 0014)	-	-	-	-	-	≥5	195	공인시험기관 성적서
나사스파이 크 인발력 시험	kN		≥30 (4-bolt) (KRS TR 0014)	-	-	-	-	-	≥30 (4-bolt)	≥30 (4-bolt)	공인시험기관 성적서

주1) 주요 성능(Specification)은 정밀도, 화수율, 열효율, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단 기준이 되는 것을 의미하며 분야별 개발내용에 적절하게 항목에 따라 구체적으로 수치화하여 반드시 제시하여야 함

주2) 비중은 각 구성성능(Specification)의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말함

주3) 평가 방법은 공인 규격상의 시험 검사 방법을 기재하여야 하며(예:KS···, JIS···) 공공 인증기관의 성적서 첨부를 원칙으로 하되 불가능한 경우 평가 받을 수 있는 방법(수요기업 Field Test 등)을 기재함.

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Ultra high performance concrete (UHPC) sleeper: Structural design and performance	Engineering Structures	배영훈, 표석훈	210	영국	Elsevier	SCI	2020.5.	0141-0296	90
2	Mechanical properties of coal ash particle-reinforced recycled plastic-based composites for sustainable railway sleepers	Polymers	주수환, 성덕룡, 표석훈	12	스위스	MDPI	SCI	2020.10.	2073-4360	100
3	Effect of steel fiber content on structural and electrical properties of ultra high performance concrete (UHPC) sleepers	Engineering Structures	배영훈, 표석훈	222	영국	Elsevier	SCI	2020.11.	0141-0296	90
4	Effect of additional anti-vibration sleeper track considering sleeper spacing and track support stiffness on reducing low-frequency vibrations	Construction and Building Materials	성덕룡, 장성규	263	네덜란드	Elsevier	SCI	2020.11.	0950-0618	100
5	Propagation and Attenuation Characteristics of an Ultrasonic Beam in Dissimilar-Metal Welds	Sensors	황영인 성덕룡	20	스위스	MDPI	SCI	2020.11.	1424-8220	100
6	A numerical study on structural performance of railway sleepers using ultra high-performance concrete (UHPC)	Materials	신무철, 배영훈, 표석훈	14	스위스	MDPI	SCI	2021.5.	1996-1944	90
7	Effects of vertical stiffness of rail fastening system on the behavior of the end regions of railway bridges with slab tracks	Steel & Composite structures	성덕룡, 표석훈	41	대한민국	Techno Press	SCI	2021.10.	1229-9367	50

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	Railway Engineering 2019	Experimental investigation of the effects of sleeper shape on ballasted track settlement	Deokyoung Sung	2019.07.04.	Radisson Blu Hotel, Edinburgh	영국
2	한국철도학회 2020년 춘계학술대회	지속 가능한 플라스틱침목 개발을 위한 재활용 플라스틱의 기계적 특성	표석훈	2020.7.7.	온라인	대한민국
3	한국철도학회 2020년 추계학술대회	산업부산물 활용 친환경 플라스틱 침목의 개발과정 및 성능	표석훈	2020.11.13.	제주	대한민국
4	한국철도학회 2021년 춘계학술대회	친환경 플라스틱 침목의 역학 성능 분석	표석훈	2021.6.18.	부산	대한민국
5	2021 한국방재학회 학술발표대회	친환경 플라스틱 합성침목의 성능요구조건 분석	성덕룡	2021.9.10.	제주	대한민국

□ 기술 요약 정보

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

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	페플라스틱을 이용한 철도 침목의 제조방법 및 장치	대한민국	지주	2018. 10.11.	10-2018-0121056	지주	2019.6.4.	10-1987629	100	활용
2	특허	페플라스틱을 이용한 철도 침목	대한민국	지주, 울산과학기술원, 대원대학교 산학협력단	2019. 12.03.	10-2019-0158377	지주, 울산과학기술원, 대원대학교 산학협력단	2020.9.7.	10-2155019	100	활용
3	특허	심재를 구비한 철도 침목 및 그 침목 제조장치	대한민국	지주, 울산과학기술원, 대원대학교 산학협력단	2020. 11.19.	10-2020-0155447				100	

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1	√								√		
2	√								√		
3										√	

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

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

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	Polymer계열의 합성침목(플라스틱)	2020-11-13	(주)지주	-	공인시험을 위한 시제품 제작	-	한국화학융합 시험원	2020-10-20
2	Polymer계열의 합성침목(플라스틱)	2021-03-22	(주)지주	-	공인시험을 위한 시제품 제작	-	한국화학융합 시험원	2021-04-16
3	Polymer계열의 합성침목(플라스틱)	2021-11-19	(주)지주	-	공인시험을 위한 시제품 제작	-	한국화학융합 시험원	2021-12-06

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	Polymer계열의 합성 침목(플라스틱)	2021-12-21	서울교통공사	(주)지주	7호선 장암역→도봉산역 본선구간

□ 기술 실시(이전)

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

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)
1	2021	제조설비 구축		850,000	1,300	851,300

□ 사업화 현황

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

□ 매출 실적(누적)

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

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			친환경 플라스틱 합성침목		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		2		
	소요예산(천원)		약 1,000,000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			0	2,000,000	5,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	0	약 30	약 70
		국외	0	약 2	약 5
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		분기기용 합성침목, 교량용 합성침목, 관광철도용 합성침목, 건설용 토류판 등			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			약 5,000,000	약 30,000,000	약 100,000,000
	수 출		0	약 10,000,000	약 50,000,000

☐ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

☐ 고용 효과

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

☐ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

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

☐ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

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

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

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

□ 정책활용 내용

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

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

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

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	㈜지주	2020-08-01	2020-08-01 ~	1	1

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
1	공학석사	2022	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
				1			1				1		

□ 산업 기술 인력 양성

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

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	언론보도	국토매일	[기획-그린뉴딜 앞장 선 철도] 환경오염 유발 木침목 OUT, '친환경 플라스틱 침목' 개발 눈길	2020.11.2.
2	학회지홍보	한국건설순환자원학회지	생활 플라스틱 폐기물과 화력발전소 부산물을 활용한 플라스틱 철도 침목 개발 과정	2021.3.
3	행사개최	2021 한국철도학회 추계학술대회 특별세션	폐플라스틱을 활용한 친환경 합성침목 기술개발 연구성과 발표	2021.11.11.
4	언론보도	철도경제신문	철도경제신문-폐플라스틱·석탄회 재활용한 합성침목 개발 '철도 궤도기술 탄소중립 성공'	2021.12.6.
5	언론보도	한경BUSINESS	한국 최초 폐플라스틱 재활용 철도 침목 개발했죠	2022.2.7.

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	학술대회 우수논문발표상	2020년 춘계학술대회 우수논문발표상	지속 가능한 플라스틱침목 개발을 위한 재활용 플라스틱의 기계적 특성	주수환, 성덕룡, 이현상, 정태호, 고재철, 김보영, 표석훈	2020.7.10.	한국철도학회
2	학술대회 우수논문발표상	2020년 추계학술대회 우수논문발표상	산업부산물 활용 친환경 플라스틱 침목의 개발과정 및 성능	성덕룡, 이현상, 정태호, 고재철, 김보영, 홍은성, 표석훈	2020.11.20.	한국철도학회

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
1	㈜지 주	CJWA75-44D	트윈스크류 압출기	×	등록	NFEC-2020-11-2 65823	21.11.12.	52,000	㈜지주 음성공장

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

- 국내 도시철도 표준규격서(안) 제시(합성침목)
- 한국철도표준규격(안) 제시(합성침목)
- 친환경 플라스틱 합성침목 공사시방서 및 자재사양서 제시

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

- 친환경 재활용 플라스틱 침목의 환경영향성 평가를 추가로 진행함
 - 재활용 효과를 분석하고, 법적 분야에서 재활용 환경성평가 관련 내용을 검토함
 - 분석결과 친환경 플라스틱 침목은 목침목을 활용할 때 보다 68.8%, 콘크리트 침목을 활용할 때 보다 62.9%의 온실가스 배출을 저감할 수 있음
 - 기존의 침목을 합성침목으로 교체할 경우, 탄소저감 편익 측면에서 침목을 교체할 경우 얻는 편익은 목침목이 344,321원, 콘크리트침목은 265,063원으로 매우 높음

<참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

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

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

2) 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
○ 지속가능한 플라스틱 침목용 재료 배합 도출 및 제조공정 구축 - 폐플라스틱 활용 침목용 재료 배합 및 소재 실내시험을 통한 배합 도출 - 플라스틱 침목 제조공정 구축 및 시제품 생산 ○ 플라스틱 침목 Testbed 구축 및 현장계측/평가 - Testbed 선정 - Testbed 공사시방서 작성 - Testbed 구축 및 현장계측/평가 ○ 폐플라스틱 활용 침목 표준화 - 한국철도표준규격(KRS) 제정 추진 - 자원재활용에 따른 경제성 분석	○ 폐플라스틱 재활용 기술 및 지속가능한 플라스틱 침목 생산 기술 확보 - 국내외 관련자료 조사 검토 및 개발 목표치 설정 - 플라스틱 재활용 제조공정 개선을 통한 플라스틱 침목 생산 기술 확보 - 소재 배합 및 실내시험을 통한 플라스틱 침목 배합 도출 - 폐플라스틱 활용 합성침목 제조공정 구축 및 Testbed 용 침목 생산 완료 ○ 친환경 플라스틱 침목의 Testbed 적용 - Testbed 조건을 고려한 구조해석을 통한 친환경 플라스틱 침목 최적화 설계 도출 - 친환경 플라스틱 합성침목 공사시방서 및 자재사양서 작성 완료 - 서울교통공사 장암역-도봉산역 본선구간 Testbed 부설 및 현장계측 완료 - Testbed 현장계측 결과에 대한 평가: 실열차하중에 대한 주행안정성 및 궤도구조 안정성 확보하고 있는 것으로 분석됨 - 합성침목 시제품에 대한 성능 검증 및 공인시험성적서 발급 완료 ○ 합성침목 표준화 기술 확보 - 친환경 플라스틱 침목 성능평가 시험방법(안) 도출 및 관련 근거 제시 완료 - 국내 도시철도 표준(잠정)규격서(안) 및 개정의견서 제시	100

	- 한국철도표준규격(안) 제시 - 공사시방서 및 자재사양서 제시 - 플라스틱 침목의 경제성 분석을 통한 사업화를 위한 개발 방향 도출 - 철도 침목들의 환경성 검토를 통한 폐플라스틱 침목의 환경 편익 분석	
--	---	--

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○
-

○
-

2) 자체 보완활동

○
-

○
-

3) 연구개발 과정의 성실성

○
-

○
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 국내외에서 심각한 사회문제로 대두되고 있는 폐플라스틱 및 석탄화력발전소 산업부산물인 매립회를 단순 재활용이 아닌 새로운 가치를 창출

○ 폐플라스틱 및 산업부산물을 대량으로 처리할 수 있는 기술개발을 통해 주요 사회이슈 해결방안 제시

○ 플라스틱 침목에 적합한 생활폐기물 및 산업부산물을 주재료로 활용한 배합 도출 완료

○ 국내 독자 기술 확보를 통한 국외기술 의존도 탈피 및 기술 자립

○ 특허 출원 및 국제 저명 논문 출판을 통해 기술의 진보성 검증

○ Testbed 구축을 통한 친환경 침목의 현장적용 가능성 검증 완료

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

- 본 연구를 통해 개발된 침목의 시험성적서 발급 후 기술이전 추진 및 국가철도공단 성능인증 추진
- KRS 및 KRSA 제정, 철도용품 형식인증 완료 후 국내 철도용품 전문회사와 협약 및 계약을 통해 철도분야 영업 및 판매 예정
- Testbed 적용된 친환경 플라스틱 침목의 장기 모니터링을 통해 내구 성능 검증 예정
- 국토교통과학기술진흥원 이어달리기 사업 등의 추가 연구를 통해 사업화 추진 예정
- 표준화 및 실용화 전략
 - 플라스틱 합성침목은 국내 최초로 진행되고 있으며, 현재 국외 제품(Lankhorst사, Axion사 등)의 물리적, 기계적, 전기적 특성 요구값 이상을 만족하고 있음
 - 플라스틱 합성침목에 대한 국내 한국철도표준규격(KRS) 제정을 요청하고자 하며, 2019-2021년 연구를 통해 도출된 표준기고서(안)을 2022년 제시할 예정임
 - KRS 제정과정에서 요구되는 다양한 의견들에 대하여 추가적인 수정보완을 하고자 함
 - 또한, 국가철도공단 철도시설성능검증 절차를 통해 본 연구개발품에 대한 성능인증을 진행하고자 함
 - 추가적인 실용화 전략으로는 국내외 합성수지침목에 비해 가격경쟁력을 확보할 계획이며, 국외 플라스틱 합성침목에 대해서는 수요자 맞춤형 성능 및 형상 구현이 가능하고, 국내 최초 KR인증 및 녹색인증 제품, 신제품인증 제품, 조달청 등록 제품 등을 추진하고자 함



<한국철도표준규격(KRS)>



<KR성능인증>



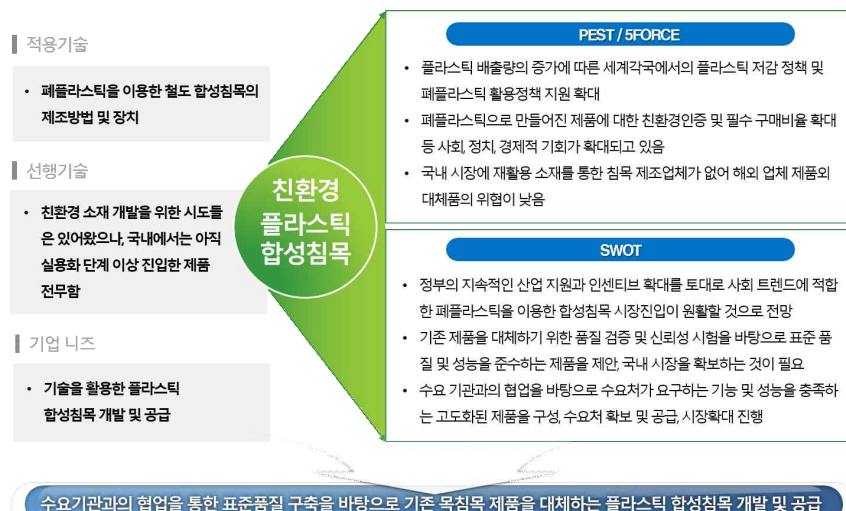
<녹색인증>



<신제품인증(NEP)>

○ 사업화 전략

- 페플라스틱 소재를 이용한 합성침목 제조의 경우, 최근의 철도시설 노후화에 따른 인프라 교체 수요 증가, 플라스틱 배출량 증가에 따른 친환경 트렌드 조성, 페플라스틱 제품 활용 정책 등에 따라 페플라스틱을 이용한 합성침목 제조 및 현장 적용에 대한 관심이 높아지고 있음
- 국내 철도 건설 및 운영기관의 관심 및 수요 창출을 위해 국가철도공단, 서울교통공사, 공항철도(주) 등 주요 침목 수요기관과의 협업을 바탕으로 납품을 위한 표준 품질 구축 및 검증을 바탕으로 기존 침목제품들을 대체하는 플라스틱 합성침목 개발 및 공급 수행
- 해외업체의 제품과 비교하여 경쟁력 확보를 위한 지속적인 연구개발과 수요처 수요들을 도출하여 제공 환경에 적합한 성능, 품질, 가격 경쟁력을 확보함으로써 국내 시장 우위 확보 및 향후 해외로의 적용 시장 확대 추진



*출처: 사업타당성 분석 보고서, 특허법인 다나, 2022

<사업화 전략 분석 종합>

○ 사업화 로드맵 구상

- 철도침목 시장진입을 위한 폐플라스틱 합성침목 제조기술에 대한 R&D 및 기술고도화를 바탕으로 기술 성능인증 및 신뢰성 평가를 통해 KRS(한국철도표준규격), 녹색인증 및 친환경 인증 등 제품공급 시 유리한 경쟁력을 가질 수 있는 인증 획득을 추진
- KRS인증 취득 기간이 장기화 될 수 있기 때문에 인증대상이 아닌 수요처(도시철도, 민간철도)의 자체 규격서에 맞춰 국내 시장 초기 진입을 수행하고, 각 도시철도 및 민자철도 수요처와의 협업을 통한 수요 기능 도출과 더불어 적용 환경(무도상 교량용 등)에 맞춰진 설계 및 플라스틱 합성침목 제품 생산 및 공급을 진행
- 규격 인증 취득 및 품질 적용/검증 사례들을 바탕으로 국내 시장 적용 분야 확대와 더불어 해외의 환경조건, 표준규격 관련 연구 및 기술 고도화 수행으로 진출시장 확대 추진
- 국내 철도건설, 운영기관의 해당 기술에 대한 관심유도 및 이를 통한 수요창출
- 국내 진입한 해외기술과의 성능/가격 및 엔지니어링 서비스 경쟁
- 해당기술 및 제품에 대한 성능 및 품질에 대한 신뢰성 확보
- 지속적 연구개발을 통한 성능, 품질, 가격경쟁력 확보
- 제품 서비스의 차별화 및 해당국의 Needs와 기술수준, 역사 및 문화, 국민성 등에 대한 이해를 바탕으로 한 외교적 영업전략 등



7. 참고 문헌

- ISO 12856-1:2014, Plastics – Plastic railway sleepers for railway applications (railroad ties) – Part 1: Material characteristics
- ISO 12856-2:2020 Railway applications – Polymeric composite sleepers, bearers and transoms – Part 2: Product testing
- ISO 12856-3:2022 Railway applications – Polymeric composite sleepers, bearers and transoms – Part 3: General requirements
- ISO 604:2002 Plastics – Determination of compressive properties
- ISO 11925-2:2020 Reaction to fire tests – Ignitability of products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test
- ISO 5659-2:2017 Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test

- ISO 21367:2007 Plastics – Reaction to fire – Test method for flame spread and combustion product release from vertically oriented specimens
- prEN17318-1 Railway applications – Infrastructure – Plastic sleepers and bearers. Part 1: General requirements.
- prEN 17318-2 Railway applications – Infrastructure – Plastic sleepers and bearers. Part 2: Product testing
- prEN 17318-3 Railway applications – Infrastructure – Plastic sleepers and bearers – Part 3: Material characteristics
- EN 13481-3:2012 Railway applications. Track. Performance requirements for fastening systems Fastening systems for wood sleepers
- EN 13481-7:2012 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 7: Special fastening systems for switches and crossings and check rails
- EN 13146-4 Railway applications – Track – Test methods for fastening systems – Part 4: Effect of repeated loading
- EN 13481-5 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 5: Fastening systems for slab track with rail on the surface or rail embedded in a channel
- IEC 60695-11-20:2015 Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test method
- KS M ISO 178:2010 플라스틱 – 굴곡성의 측정
- KRS TR 0014-20R 레일체결장치
- 민달기 (2014), 선진국의 플라스틱 자원화 정책과 기술동향
- (사)한국플라스틱포장용기협회, 플라스틱의 용도와 성형방법
- Bierögel and Grellmann (2014), Polymer Solids and Polymer Melts-Mechanical and Thermomechanical Properties of Polymers: 4.2 Compression Loading
- <https://www.nwf.org>
- <https://www.sedaily.com>

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

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

부록 1-1. 국내외 관련자료 조사 및 개발 목표치 설정

부록 1-2. 국내 도시철도 표준(잠정)규격서(안)

부록 1-3. 표준(잠정)규격서에 대한 개정의견서

부록 1-4. 한국철도표준규격(안)

부록 1-5. 플라스틱 침목의 환경성 검토

부록 2-1. Testbed 조건을 고려한 구조해석 - 친환경 플라스틱 합성침목 최적화 설계

부록 2-2. Testbed 조건을 고려한 구조해석 - 친환경 플라스틱 합성침목 FE해석

부록 2-3. Testbed 조건을 고려한 구조해석 - 친환경 플라스틱 합성침목 구조계산서

부록 2-4. 친환경 플라스틱 합성침목 공사시방서 및 자재사양서

부록 2-5. 친환경 플라스틱 합성침목 Testbed 구축 및 현장계측 결과보고서

부록 2-6. 친환경 플라스틱 합성 침목 시험성적서

부록 3. 성과증빙

주 의

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

ISBN: 979-11-968315-7-8