

최종보고서										보안등급	
										일반[○], 보안[]	
중앙행정기관명		국토교통부		사업명		사업명		국토교통연구기획사업			
전문기관명(해당 시 작성)		국토교통과학기술진흥원		내역사업명 (해당 시 작성)							
공고번호		재공고-제34호		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)							
				연구개발과제번호		21RDPP-C164794-01					
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EI0608	50%	EH0702		30%	EH0701		20%		
	부처기술분류 (해당 시 작성)	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명		%	3순위 소분류 코드명		%		
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문		탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 기획							
		영문		Planning for eco-friendly railway vehicle manufacture and recycling technology development for carbon offsets							
주관연구개발기관		기관명		한국철도기술연구원		사업자등록번호		138-82-02013			
		주소		(16105) 경기도 의왕시 철도박물관로 176		법인등록번호		135221-0000076			
연구책임자		성명		이철규		직위		실원			
		연락처		직장전화		031-460-5372		휴대전화			
				전자우편				국가연구자번호			
연구개발기간		전체		2021. 06. 07 - 2022. 04. 06(0년 10개월)							
		단계		1단계		2021. 06. 07 - 2022. 04. 06(0년 10개월)					
		(해당 시 작성)		n단계							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원		기관부담		그 외 기관 등의 지원금		합계		연구개발비 외 지원금	
		연구개발비		연구개발비		지방자치단체 기타()					
		현금		현금 현물		현금 현물 현금 현물		현금 현물 합계			
총계		150,000						150,000		150,000	
1단계		1년차		150,000				150,000		150,000	
		n년차									
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편	
		한국철도공사		임형석		책임연구원				비고	
		태형물산(주)		하민철		연구소장				역할 기관유형	
										공동 대기업	
										공동 중소기업	
위탁연구개발기관											
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자		성명		이재영		직위		실원			
실무담당자		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					

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

2022년 6월 10일

연구책임자: 이 철 규

(인)

주관연구개발기관의 장 : 한국철도기술연구원 원장 한 석 윤 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 한국철도공사 사장 나 회 승 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 태형물산(주) 대표이사 김 태 형 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		국토교통연구기획사업				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)						연구개발과제번호		21RDPP-C164794-01	
기술 분 류	국가과학기술 표준분류	EI0608	50%	EH0702	30%	EH0701	20%		
	부처기술분류 (해당 시 작성)	1순위 소분류 코드명	%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%		
총괄연구개발명 (해당 시 작성)									
연구개발과제명		탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 기획							
전체 연구개발기간		2021. 06. 07 - 2022. 04. 06(0년 10개월)							
총 연구개발비		총 150,000천원 (정부지원연구개발비: 150,000천원, 기관부담연구개발비 : 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)							
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[○]			기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)		해당없음							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)		해당없음							
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		○ 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 과제기획 - ISO21106 등에 적합하도록 설계단계에서 자원순환을 고려한 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기반 구축을 통한 철도차 량분야 탄소상쇄기술 기획					
		전체 내용		○ 탄소상쇄형 친환경 철도차량에 대한 재활용률 정의 및 연구 개발 범위설정 - 철도차량 재활용률 현황 및 관련 기술 조사(해외, 국내)를 통한 연구개발 방향 수립 - 탄소상쇄형 친환경 철도차량에 대한 재활용률 정의 및 목표 제시 (기존 차량 포함) - 철도차량 재활용에 따른 탄소상쇄 정량적 효과/목표 제시 - 연구 목표 달성을 위한 연구개발 범위설정 및 제시 ○ 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 - 탄소상쇄형 친환경 철도차량 설계·제작·인증을 위한 핵심 기술 항목 도출 - 철도차량(신규, 기존) 친환경 해체·회수 방안 및 up-cycling 기술 등 주요 기술개발 항목 도출 - 재활용/친환경 소재의 철도차량 적용방안 도출을 위한 주요 기 술개발 항목 제시 - 철도차량 재활용률 관련 환경성능인증 관련 법/제도 개선을 위한 기술적 접근방안 제시 - 도출 기술의 세부 항목별 연구방안 제시 ○ 사업 전략 - 과학기술 상위계획과 국토교통 정부 정책과의 관련성 및 연 계성을 분석하고, 미래 이슈 및 니즈, 정부 정책과의 부합 성 등을 토대로 이슈 해결을 위한 사업 추진 방향 및 기술 대안의 타당성 제시					
		1단계 (해당 시 작성)	목표	○ 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 과제기획 - ISO21106 등에 적합하도록 설계단계에서 자원순환을 고려한 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기반 구축을 통한 철도차 량분야 탄소상쇄기술 기획					

		내용	○ 탄소상쇄형 친환경 철도차량에 대한 재활용률 정의 및 연구개발 범위설정 - 철도차량 재활용률 현황 및 관련 기술 조사(해외, 국내)를 통한 연구개발 방향 수립 - 탄소상쇄형 친환경 철도차량에 대한 재활용률 정의 및 목표 제시 (기존 차량 포함) - 철도차량 재활용에 따른 탄소상쇄 정량적 효과/목표 제시 - 연구 목표 달성을 위한 연구개발 범위설정 및 제시 ○ 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 - 탄소상쇄형 친환경 철도차량 설계·제작·인증을 위한 핵심 기술 항목 도출 - 철도차량(신규, 기존) 친환경 해체·회수 방안 및 up-cycling 기술 등 주요 기술개발 항목 도출 - 재활용/친환경 소재의 철도차량 적용방안 도출을 위한 주요 기술개발 항목 제시 - 철도차량 재활용률 관련 환경성능인증 관련 법/제도 개선을 위한 기술적 접근방안 제시 - 도출 기술의 세부 항목별 연구방안 제시 ○ 사업 전략 - 과학기술 상위계획과 국토교통 정부 정책과의 관련성 및 연계성을 분석하고, 미래 이슈 및 니즈, 정부 정책과의 부합성 등을 토대로 이슈 해결을 위한 사업 추진 방향 및 기술 대안의 타당성 제시
	n단계 (해당 시 작성)	목표	해당없음
		내용	해당없음

연구개발성과	○ 사업 목표(ISO21106 기준 95% 이상 재활용 가능률) 및 사업 세부내용 도출 :글로벌 탈탄소 사회로의 전환 요구로 강화된 환경규제 대응에 적합한 설계단계에서 자원순환(ISO 21106 기준 95% 재활용 가능률)을 고려한 지속 가능한 친환경 차량 기술 - 폐기단계 95% 이상 자원회수로 탄소상쇄가 가능한 철도차량 재활용 표준시스템 구축 및 환경성 인증/제도 개선 ○ 중점분야별 기술개발 항목 도출 - 자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 설계기술 개발 - 철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발 - 저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발 ○ 중점분야간 연계성 및 기술개발 로드맵 작성 ○ 사업의 타당성 평가 ○ 기술개발에 따른 탄소상쇄 효과 정량적 산출 결과 제시 ○ RFP(안) 제시
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	○ 글로벌 철도시장에서 요구하는 전 과정 환경성능 향상 및 정량적인 환경성 제시로 환경 수출경쟁력 강화 등 지속가능한 철도 기술 확보 ○ 국내 최초 철도차량의 친환경 해체 및 자원회수 관련 기술개발을 선도하고, 향후 재활용률이 우수한 친환경 철도차량 제작 유도 ○ 철도차량 주요 소재 및 부품의 재활용 기술개발을 통해 재활용 가능한 소재 및 부품이 폐기물로 처리되는 현장에서 자원순환 시스템으로 전환을 달성하고, 이로 인해 폐기물 발생 저감 및 직간접적으로 국가 탄소중립 목표에 기여 ○ 국내 철도차량의 폐기단계에서 재활용률 97% 달성 시, 매년 지속적으로 발생하는 폐철도차량(1,000량/년)으로 인한 폐기물 7,600톤 감소 및 철도산업의 탄소상쇄 195,000톤 달성 ○ 폐철도차량의 친환경 해체 기술 도입을 통해 기존 해체과정에서의 2차 환경오염(유해물질 비산, 냉매 대기 배출, 토양오염 등)을 차단, 국민생활 환경 안전에 기여
연구개발성과의 비공개 여부 및 사유	공개

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합 물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정 보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설· 장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호	
국문핵심어 (5개 이내)	탄소상쇄			재활용		자원순환		폐철도차량		친환경 설계		
영문핵심어 (5개 이내)	Carbon offset			Recycling		Resource circulation		End-of-life railcar		Ecodesign		

< 목 차 >

요약문	i
목차	iv
표 차례	vi
그림 차례	viii
1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구기획 목표 및 범위	1
나. 연구개발 배경 및 필요성	1
2. 대내외 환경분석	4
가. 정책환경 분석	4
나. 시장환경 분석	29
다. 기술환경 분석	33
3. 연구개발과제 구성 및 추진전략	60
가. SWOT 분석 및 추진방향 설정	60
나. 중점 추진과제 도출	63
다. 연구개발과제 목표 및 중점분야 도출	71
라. 연구개발과제 세부 구성	72
마. 중점분야별 연구내용	77
바. 연구개발과제 추진방안	81
사. 활용방안	83
아. 기대효과	84
4. 사전 타당성 분석	86
가. 사업논리모형	86
나. 정책적 타당성	91
다. 기술적 타당성	93
라. 경제적 타당성	96
5. 인력투입 계획 및 소요예산 산정	105

가. 인력투입 계획	105
나. 소요예산 산정	105
6. 과제 제안요구서 및 평가기준 설정	107
가. 과제 제안요구서(RFP)	107
나. 평가기준 설정	112
참고문헌	113

〈 표 차례 〉

표 1. EU의 탄소중립 목표추이	4
표 2. EU 탄소중립 주축 분야	5
표 3. EU 그린딜 주요 실행정책	5
표 4. EU 그린딜 추진정책 내용	6
표 5. EU 산업전략 7대 중점과제	7
표 6. 유럽 그린딜 추진일정: 기존 일정 및 변경된 일정	8
표 7. 바이든 대통령 공약 추진 상황	9
표 8. 바이든 행정부의 청정에너지 연구개발 분야	9
표 9. 바이든 행정부의 친환경 교통 정책 방향	10
표 10. 최근 중국의 탄소배출 목표 변화	10
표 11. 중국 정부의 친환경차 육성 방향	11
표 12. 중국의 신에너지차 산업 발전을 위한 추진과제	11
표 13. 일본 그린성장전략 14대 분야 주요 내용	13
표 14. 유럽 철도차량 신규입찰 기술사양서	17
표 15. 주요국 탄소중립 및 2030 감축목표 법제화 현황	19
표 16. 이행점검 방안	20
표 17. 국내 자원순환법 주요 내용	24
표 18. 교통수단별 재활용 관련 규제 비교	28
표 19. 연도별 폐기물 종류별 발생 추이	31
표 20. 분석 대상 기술의 기술분류체계 및 기술 분류 기준	47
표 21. 검색식	48
표 22. 유효 특허 선별 결과	49
표 23. 주요 논문 내용 요약	58
표 24. 탈탄소 철도분야 분야 SWOT	60
표 25. 탈탄소 철도분야의 추진전략 도출	61
표 26. 환경분석 결과와 주요 이슈와의 연계성	61
표 27. 4대 이슈와 연구개발 니즈와의 연계성	62
표 28. 연구개발 니즈와 중점목표와의 맵핑	62
표 29. 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술 분야 주요 제안과제 요약	68
표 30. 국토교통분야 미래기술 예측조사 항목	69
표 31. 기술예측조사 전문가 의견 요약	70
표 32. 연구개발사업의 쟁점사항 도출을 위한 논리모형	88

표 33. 본 과제의 논리모형	89
표 34. 사회적 할인율 적용 근거	96
표 35. 국내 물가상승률 변화	97
표 36. 국내 최저임금 변화	98
표 37. 국내 탄소배출권 가격상승률 변화	98
표 38. 원자재 가격상승률(철강) 변화	99
표 39. 원자재 가격상승률(비철금속) 변화	100
표 40. 경제적 타당성 분석 결과 요약	102
표 41. 할인율 변동을 반영한 민감도 분석 결과	103
표 42. 편익과 비용의 변동을 반영한 민감도 분석 결과	103

〈 그림 차례 〉

그림 1. UN IPCC 탄소중립 목표	2
그림 2. 2050 국가 NDC 목표	2
그림 3. 탄소중립 사회 전환 확대	3
그림 4. EU 그린딜 재정지원 체계	4
그림 5. 일본 온실가스 배출량 추이	12
그림 6. 2050년 탄소제로 실현을 위한 그린성장전략	14
그림 7. UIC Leaflet 345의 세부 환경 사양	15
그림 8. ISO 21106	15
그림 9. ISO 21106 철도차량 폐기단계 정의	16
그림 10. 철도차량 ISO 14025 인증보고서	16
그림 11. 폐기단계 재활용률 성능	16
그림 12. 유럽 철도차량 신규 차량의 환경성적표지 및 재활용률 정보 예	17
그림 13. 탄소중립 추진전략	18
그림 14. 탄소중립·녹색성장기본법안 체계	20
그림 15. 국내 2050 탄소중립 부문별 과제 및 미래상 I	21
그림 16. 국내 2050 탄소중립 부문별 과제 및 미래상 II	21
그림 17. 윤석열 정부 110대 국정과제	22
그림 18. 국토교통 탄소중립 로드맵	23
그림 19. 자동차관리법 및 자원순환법의 자동차 재활용 규정 주요 내용	25
그림 20. 한국철도공사 폐차 및 매각 절차	25
그림 21. 노후 철도차량 자체 안전진단 및 평가 절차	26
그림 22. 한국철도공사 폐차처리 기준 내규	27
그림 23. 철도차량의 종류별 기대수명의 기준	27
그림 24. 글로벌 폐기물 재활용 시장 규모	29
그림 25. 글로벌 폐기물 재활용 시장의 종류별 시장 점유율	29
그림 26. 좌) 글로벌 폐기물 재활용 시장 지역별 시장 점유율, 우) 글로벌 폐기물 재활용 시장 종류별 시장 점유율	30
그림 27. 전 세계의 배출권 시장(2020)	30
그림 28. 세계 각국의 배출권 가격(2021)	31
그림 29. 폐기물 종류별 발생 추이	31
그림 30. 국내 폐기물 시장 규모 전망	32
그림 31. 국내 탄소배출권 가격 추이	32

그림 32. 철도차량 친환경 설계 가이드라인	33
그림 33. 유럽 철도차량 환경성 개선 관련 프로젝트 예	34
그림 34. Bombardier 철도차량 친환경설계 가이드	34
그림 35. 철도차량 재활용률 계산 템플릿	35
그림 36. 프랑스 Veolia 폐철도차량 재활용 과정 및 관련 모습	36
그림 37. 프랑스 ALSTOM 친환경설계 개념도	37
그림 38. IEC 62430 친환경설계 프로세스	37
그림 39. ISO 14009 친환경설계 프로세스	38
그림 40. 프랑스 SNCF 폐철도차량 처리 모습	38
그림 41. 프랑스 SME 해체 작업장 모습	39
그림 42. 영국 CF Booth 업체 홈페이지 및 해체 작업장	39
그림 43. 네덜란드 기업 DDM 폐철도차량 해체작업 모습	40
그림 44. 영국 Hanson & Hall 회사 폐철도차량 재활용 서비스	41
그림 45. 이탈리아 Vico 회사 폐열차 해체 사례	42
그림 46. 도쿄 메트로 차체 재활용을 고려한 설계기술 변화 모습	42
그림 47. 일본 폐철도차량 친환경 처리 및 자원회수 시설 운영현황	43
그림 48. 화천열차펜션 모습	43
그림 49. 인공어초 활용 모습	44
그림 50. 폐철도차량 해체작업 모습	44
그림 51. 폐철도차량 해체 공정도	45
그림 52. 철도차량 폐차 처리 과정에서 발생하는 주요 폐기물 예	45
그림 53. 폐전동차 무단 해체에 따른 이슈 사례	46
그림 54. 철도차량 폐차 처리 과정에서 환경오염 유발 모습	46
그림 55. 철도차량 해체 시 재활용이 가능하나 폐기되는 부품 예	47
그림 56. 주요 출원국 연도별 특허동향	49
그림 57. 주요 출원국 연도별 특허동향	50
그림 58. 세부 출원국 연도별 특허동향	51
그림 59. 연도별 기술분류별 점유율 동향	51
그림 60. 기술분류별 주요 출원국 특허 동향	52
그림 61. 세부기술별 IP 출원국	53
그림 62. 주요 출원인의 특허 출원 동향	53
그림 63. 주요 출원인의 출원국별 특허 출원 동향	54
그림 64. 주요 출원인의 기술분야별 특허 출원 동향	54
그림 65. 국가별 수명주기	55

그림 66. 철도 전 과정 환경성 유지관리 및 자원재활용 기술 비전	63
그림 67. 기술수요조사 포스터	64
그림 68. 기술 분야별 응답율	67
그림 69. 개발소요 기간에 대한 응답율	67
그림 70. 연구개발과제 목표 및 중점분야 도출	71
그림 71. 과제구성 및 세부기술 내용	72
그림 72. 철도차량 친환경 설계기술	73
그림 73. 폐철도차량 해체 설비 구축(안)	73
그림 74. 국가정책 측면에서 정부 부처 역할(안)	74
그림 75. 중점분야별 연관성	75
그림 76. 연차별 기술개발 로드맵	76
그림 77. 사업추진절차	83
그림 78. 연구개발성과 활용방안	84
그림 79. 논리모형 유형별 사례	87
그림 80. 기획과제 전문가 자문회의 모습	93
그림 81. 국내 물가상승률 변화	97
그림 82. 국내 최저임금 변화	98
그림 83. 국내 탄소배출권 가격상승률 변화	99
그림 84. 원자재 가격상승률(철강) 변화	99
그림 85. 원자재 가격상승률(비철금속) 변화	100
그림 86. 가치사슬 분석 결과	104

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구기획 목표 및 범위

- (연구기획 목표) 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 과제기획
 - ISO 21106 등에 적합하도록 설계단계에서 자원순환을 고려한 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기반 구축을 통한 철도차량분야 탄소상쇄기술 기획
- 탄소상쇄형 친환경 철도차량에 대한 재활용률 정의 및 연구개발 범위설정
 - 철도차량의 재활용률 현황 및 관련 기술 조사(해외, 국내)를 통한 연구개발 방향 수립
 - 탄소상쇄형 친환경 철도차량에 대한 재활용률 정의 및 목표 제시(기존 차량 포함)
 - 철도차량 재활용에 따른 탄소상쇄 정량적 효과/목표 제시
 - 연구목표 달성을 위한 연구개발 범위설정 및 제시
- 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발
 - 탄소상쇄형 친환경 철도차량 설계·제작·인증을 위한 핵심 기술 항목 도출
 - 철도차량(신규, 기존) 친환경 해체·회수 방안 및 up-cycling 기술 등 주요 기술개발 항목 도출
 - 재활용/친환경 소재의 철도차량 적용방안 도출을 위한 주요 기술개발 항목 제시
 - 철도차량 재활용률 관련 환경성능인증 관련 법/제도 개선을 위한 기술적 접근방안 제시
 - 도출 기술의 세부 항목별 연구방안 제시
- 사업 전략
 - 과학기술 상위계획과 국토교통 정부 정책과의 관련성 및 연계성을 분석하고, 미래 이슈 및 니즈, 정부 정책과의 부합성 등을 토대로 이슈 해결을 위한 사업 추진 방향 및 기술 대안의 타당성 제시

나. 연구개발 배경 및 필요성

- (국제사회 탄소중립 정책 강화) 2015년 파리협약을 통해 선진국뿐만 아니라 개발도상국까지 NDC(Nationally Determined Contribution, 온실가스 감축목표) 이행 요구가 확대됨.
 - UN IPCC는 파리협약의 목표인 1.5℃를 제안하였으며 2030년 CO₂ 순배출량을 2010년 기준 대비 45% 감축, 2050년 CO₂ 배출 중립(넷제로, Net Zero)을 제안함.
 - 유럽은 2050 온실가스 배출 제로를 선언하고 입법화를 진행 중이며, 미국은 2035년 전력 부문 배출 제로, 2050년 이전 온실가스 배출 제로를 선언함.



그림 1. UN IPCC 탄소중립 목표

- (탄소중립 이행 의무화) 국내에서는 2020년 12월 대통령의 『2050 탄소중립』 선언과 더불어 2021년 8월 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’의 통과로 사회 전반에 걸쳐 탄소중립 및 녹색성장 이행 확산을 가속화하고 있음.
- (2050 탄소중립) 2050년 ‘순배출량 0(Net Zero)’을 달성하기 위한 2050 탄소중립 시나리오 확정 및 2030년 NDC를 2018년 대비 40% 감축으로 상향한 후 부문별 로드맵을 수립함.

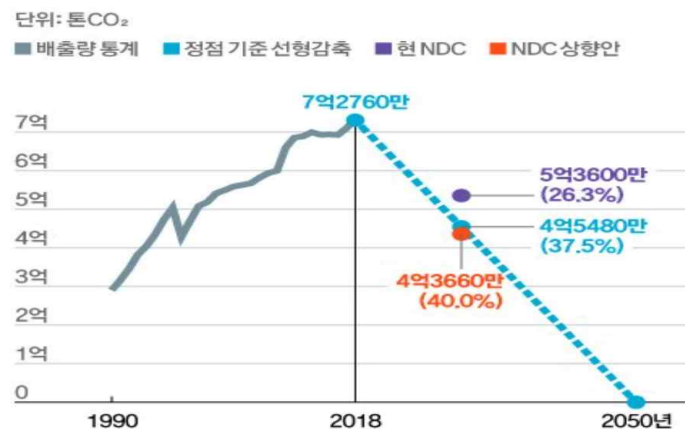


그림 2. 2050 국가 NDC 목표

- (순환 경제) 탄소중립을 위한 산업별 탄소 배출량 관리체계를 제품의 운영단계에서 사용되는 에너지소비 중심에서 생산단계부터 폐기단계까지 전 과정에 걸친 고려로 확대함.
- 2050 탄소중립을 위한 10대 과제 중 ‘순환 경제 활성화’는 폐기물 처리 문제를 해결하고, 지속 가능한 생산 및 소비를 위한 순환 경제 전환을 위해 제조공정의 원료·연료 순환성 강화, 지속 가능한 제품 사용기반 구축 및 이용 확대, 선별·재활용 시스템의 선진화 및 재제조 산업 활성화 등을 추진함.



그림 3. 탄소중립 사회 전환 확대

- (국내 탄소중립 투자 확대) 철도차량은 자동차에 비해 다양한 부품 및 소재로 구성되어 있음에도 불구하고, 국내 철도 운영기관에서는 기대수명(구, 사용내구연한) 경과 이후 폐기단계에서 단순 고철매각만을 진행하고 있어 무분별한 폐기로 인한 환경문제가 대두됨에도 제작용체에서 철도차량의 재활용률에 대한 고려가 없으며, 해당 국가 R&D 사업이 전무한 실정임.
- 유럽은 철도차량의 재활용률 평가 및 향상을 위한 기술개발에 대한 투자를 2000년대 이후 꾸준히 지속적으로 확대하고 있으며, 국내에서도 탄소중립, 자원순환 등의 환경 이슈가 국민 체감형 주제로 철도차량의 재활용률 확보에 관한 연구가 시급히 추진해야 이른 시일 안에 선진국 기술 수준에 도달하여 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단됨.
- 철도는 사회기반시설로 중요한 대중교통수단이며, 국민의 삶과 밀접한 연관성을 가지고 있음에 환경성 측면에서 민간의 투자를 장려하고, 국제 수준에 부합하여 수출 시장 개척 및 재활용 관련 산업 일자리 창출을 위해서는 국가가 주도하고 민간이 참여하는 방식으로 추진하는 것이 초기 기술 장벽 극복 및 저변 확대를 위해 타당하다고 판단됨.

2. 대내외 환경분석

가. 정책환경 분석

(1) 국외 정책 동향

(가) 유럽연합(EU)

- 2050년 탄소중립(net-zero)을 선언하고 이를 실현하기 위해 2030년 온실가스 배출을 1990년 대비 55% 감축하는 목표를 설정함.
- 2014년 「2030 EU 기후·에너지 패키지」를 통해 2030년 온실가스 감축목표를 1990년 대비 40%로, 재생에너지 보급과 에너지효율 목표를 27%로 제시
- 2018년 2050년 탄소중립 선언 후, 2020년 12월 EU 정상회의에서 2030년 온실가스 감축목표를 55%로, 재생에너지 보급 목표를 33.7%로 상향

표 1. EU의 탄소중립 목표추이

일시	정책	목표(1990년 대비)
2007년 3월	「2020 EU 기후·에너지 패키지」	2020년 온실가스 20% 감축
2014년 10월	「2030 EU 기후·에너지 프레임워크」	2030년 온실가스 40% 감축
2018년 11월	「A Clean Planet for All」	2050년 탄소중립
2020년 12월	EU 정상회의	2030년 온실가스 55% 감축

- 기후변화 대응과 탄소중립 경제 실현을 위해 2019년 12월 그린딜(European Green Deal)을 채택함. 그린딜은 기후변화 도전을 기회로 전환시켜 지속가능한 EU 경제 구축을 위한 로드맵이자, 모든 경제 분야를 포괄하는 新성장전략임.
- EU 집행위는 정책 이행을 위해 1조 유로 이상의 유럽 그린딜 투자 계획을 수립
- 2050년 탄소중립을 최상위 목표로 설정하고, 에너지, 산업, 건물, 수송, 농식품, 생물 다양성 등 6개 주축 분야에서 정책 방향과 실행계획을 제시

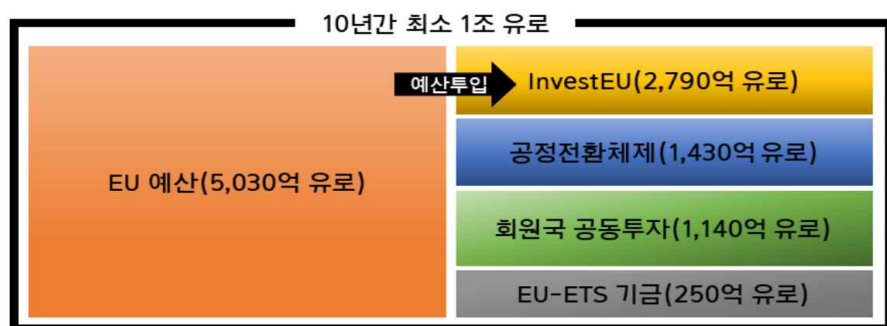


그림 4. EU 그린딜 재정지원 체계

표 2. EU 탄소중립 주축 분야

분야	주요 내용
에너지	■ 재생에너지 사용 확대 ■ 에너지효율 제고를 위한 에너지법 개정('21.6월까지) ■ 에너지 및 기후변화 계획 개선('23년까지)
산업	■ 순환 경제로 전환 ■ 재활용 시장 확대 ■ 탄소배출 정보 제공
건물	■ 건물 리노베이션을 통한 에너지효율 개선
수송	■ 스마트 수송전략(저탄소 차량 전환 및 충전시설 확대) ■ 해양·항공의 탄소배출권거래제 편입
농식품	■ '농장에서 식탁'까지 전략 ■ 친환경 기술·생산·소비 도입 및 촉진 ■ 식품 분야 환경위험 평가 및 친환경 농식품 소비 촉진
생물다양성	■ 생물다양성 전략 및 실행계획 제안('21년) ■ 삼림 및 어업 분야에서 자연훼손 방지책 마련 ■ 삼림 조성 및 복원

- 그린딜('19. 12) 발표 이후 13개의 실행정책을 발표, 탄소중립을 위해 필요한 기금을 조성하고, 법적 제도적 기반을 확립하며, 에너지, 교통, 화학, 건설 등 산업 분야별 미래 전략을 제안·채택

표 3. EU 그린딜 주요 실행정책

일시	분야	주요 내용
'20.1월	투자	• 유럽 그린딜 투자계획(Green Deal Investment Plan) • 공정 전환 메커니즘(Just Transition Mechanism) 발표
'20.3월	에너지	• 유럽기후법(Climate Law) 법안 의회 제출
'20.3월	산업	• 유럽산업전략(Industrial Strategy) 채택
'20.3월	산업	• 순환경제 행동계획(Circular Economy Action Plan) 제안
'20.5월	농식품	• 농장에서 식탁까지 전략(Farm to Fork Strategy) 발표
'20.5월	생태계	• 2030 생물다양성 전략(Biodiversity Strategy for 2030) 발표
'20.7월	에너지 교통	• 에너지 시스템 통합 및 수소 전략(EU Strategies for Energy System Integration and Hydrogen) 채택
'20.9월	에너지	• 2030 기후 목표 계획(2030 Climate Target Plan) 발표
'20.10월	화학	• 화학 전략(Chemicals Strategy for Sustainability) 발표
'20.10월	에너지	• 메탄 전략(Methane Strategy) 발표
'20.10월	건설	• 건물 리노베이션 전략(Renovation Wave) 발표
'20.11월	에너지	• 연안 재생에너지 전략(Offshore Renewable Energy) 발표
'20.12월	시민운동	• 유럽기후서약(European Climate Pact) 운동 개시

- 유럽기후법을 통해 탄소중립 목표를 법제화하고, 순환경제 구축을 위한 투자와 전환 지원을 확대하며, 다양한 분야에서 지속가능한 전략을 마련 중, 에너지(재생에너지, 시스템통합), 수송(전기·수소차), 건물(에너지효율), 농식품(친환경) 등을 중점 추진 분야로 설정하고 지원과 역량 강화를 병행

표 4. EU 그린딜 추진정책 내용

정책	주요 내용
유럽 그린딜 투자 계획	• 향후 10년간 최소 1조유로(약 1,400조원)의 기금 조성
공정 전환 메커니즘	• 피해 지역·산업·근로자에 1,500억유로 지원('21~'27년)
유럽기후법(안)	• 2050년 탄소중립 달성 목표 법제화(법적 구속력 부여)
EU 신산업 패키지	• 산업전략: 디지털 단일시장, 기후중립 지원 등 7대 중점과제 • 중소기업전략: 디지털 전환 지원과 역량 강화(최소 3억 유로 지원) • 단일시장: 회원국 행정·규제 조화로 소비자 편의 제고
순환경제 행동계획	• 제품별 환경영향 인증과 디지털 추적시스템 도입 - 전자: 충전표준, 폐전자제품 수거·재판매 - 배터리: 수집, 재사용 및 재활용 - 포장: 포장재 재활용 및 친환경성 강화 - 플라스틱: 미세 플라스틱 사용 제한, 생분해가능용 장려
'농장(farm)에서 식탁(table)까지' 전략	• 농약 사용 50% 감축 • 비료 사용 20% 감축 • 동·수산물 항생제 판매 50% 감축 • 유기농업 실시(농경지 25%)
2030 생물다양성 전략	• '범유럽 자연 네트워크' 구축 - 육지·바다의 30%를 보호구역으로 지정 • 생태계 복원목표 : 강물 25,000km, 30억 그루 식목
에너지시스템 통합 전략	• 에너지 효율 중심의 순환 에너지시스템 구축 • 재생에너지 기반 전기화 촉진 - '25년 전기차 충전시설 100만 개 확충 • 친환경 원료(그린수소, 바이오연료) 사용 촉진
수소 전략	• 수소경제 육성('20년 20억 유로→'30년 1,400억 유로) - 수전해수소 설비('24년 6GW→'30년 40GW)
2030 기후 목표 계획	• 2030년까지 온실가스를 1990년 대비 최소 55% 감축
지속가능 화학 전략	• 유해 화학물 제거 • 우려물질 최소화·대체 등
메탄 전략	• 에너지, 농업, 폐기물 분야에서의 메탄 배출 축소 - 메탄 배출의 측정·보고·검증 의무화
건물 리노베이션 전략	• 향후 10년간 에너지 리노베이션 비율을 2배로 상향 - 온실가스 배출 감소, 16만 개 일자리 창출
연안 재생에너지 전략	• 해양에너지 확대 및 투자(8천억유로) 장려 - 연안 해상풍력 : 現 12GW→'30년 60GW→'50년 300GW - 태양광 등 기타 : 現 13MW→'50년 40GW

○ 新산업전략에서는 ▲기후중립 지원 ▲적극적 순환경제 ▲산업전환 투자 및 금융 등 7대 중점과제를 통해, 내부적으로는 친환경·신산업을 육성하고, 외부적으로는 탄소국경세 등 공정경쟁을 위한 정책 수단 도입을 검토

- (내부) 저탄소 산업 체재를 위한 산업간 통합과 산업구조 전환을 지원하고, 자립가능한 산업 경쟁력 확보를 위한 노력을 강화, 배터리 등 핵심 산업에 대한 EU 차원의 투자협력을 강화하고, 순환경제를 통해 중요 원자재와 소재에 대한 대외의존도를 줄이며, 수소환원제철법 등 산업별 친환경 제조전략을 마련
- (외부) 탄소국경조정제도를 통해 외국 제품과 공정경쟁을 보장하고, 안보 등 유럽의 공공이익에 부합하지 않는 외국인 투자를 막는다는 입장, 탄소 감축 노력으로 부담하게 되는 비용만큼 수입품에도 탄소세를 매기고, 에너지세 지침 개정을 통해 해운 연료세 및 항공세를 부과한다는 방침

표 5. EU 산업전략 7대 중점과제

분야	실행계획
디지털 단일시장 심화	• 단일시장 이행계획 수립 • 디지털 유럽을 위한 중소기업전략 채택 • 지재권 보호 강화 • 데이터 경제 개발을 위한 데이터 전략 이행 가속화 • 디지털 서비스법 개선 등
글로벌 공정경쟁	• 제3국 정부보조금에 대한 백서 발간 • 제3국 산업보조금에 대한 WTO 차원의 글로벌 규제 강화 • 국제 공공조달 규정의 신속 채택 등
기후중립 지원	• 스마트 산업통합 전략 △공동 유럽 에너지데이터 활용 • 사업구조 전환 자원 • EU 철강(수소환원제철) 및 화학전략 수립 • 연안 재생에너지, 스마트 운송, 건물 에너지 효율전략 • 탄소국경조정제도
적극적 순환경제	• 순환경제 실행계획 채택 • 지속가능한 배터리 규정 마련 • EU 섬유전략 • 전자제품 순환 이니셔티브
산업혁신 내재화	• 미래 연구혁신과 단일연구지대(Europe Research Area) 정책 마련 • Horizon Europe 분야 민간협력파트너십(PPP) 추진
기술 및 재교육	• 직업훈련 아젠다 개정 • 기술 인력 유럽협약 도입 • 단일 교육지대(Europe Education Area) 수립 • 디지털 교육 시행계획
산업전환 투자 및 금융	• 장기예산 확보 • (배터리 및 에너지 분야)핵심 프로젝트 투자 협력 • 지속가능한 금융전략 개정 • 자본시장연합 실행계획 수립

○ COVID-19의 확산으로 기후중립에 치우쳐 있던 그린딜의 중심추를 성장전략으로 옮

기면서 COVID-19의 녹색회복을 위한 녹색회복동맹(Green Recovery Alliance)을 창설하고, 일부 일정을 조정함.

- (리노베이션 웨이브) 건설부문에서 온실가스 배출을 저감하고 에너지효율을 개선하기 위한 건물 리모델링 프로젝트는 COVID-19 회복을 위한 주요 수단으로 강조됨.
- (2030년 기후목표 상향조정) 2030년 온실가스 배출저감 목표를 기존의 40%에서 50~55%로 상향 조정하는 방안을 검토함.

표 6. 유럽 그린딜 추진일정: 기존 일정 및 변경된 일정(European Commission, 2020)

정책명	기존	변경
스마트통합전략 Strategy for smart sector integration	'20.2Q	동일
리노베이션 웨이브 Renovation wave	'20.3Q	
2030 기후목표 상향조정 검토 2030 Climate Target Plan	'20.3Q	
지속가능하고 스마트한 이동수단전략 Strategy for sustainable and smart mobility	'20.4Q	
지속가능한 연료(항공유 및 선박유) 정책 ReFuelEU Aviation & FuelEU maritime	'20.4Q	
해상풍력전략 Offshore renewable energy	'20.4Q	
8차 환경행동 프로그램 8 th Environmental Action Programme	'20.2Q	'20.4Q
지속가능한 화학물질전략 Chemicals strategy for sustainability	'20.3Q	'20.4Q
유럽 기후협정 The European Climate Pact	'20.3Q	'20.4Q
신지속가능금융전략 Renewed Sustainable Finance Strategy	'20.3Q	'20.4Q
신기후변화적응전략 New EU Strategy on Adaptation to Climate Change	'20.4Q	'21.1Q
신삼림전략 New EU Forest Strategy	'20.4Q	'21.1Q
녹색전환을 위한 소비자 권리 부여 Empowering the consumer for the green transition	'20.4Q	'21.2Q
비금융정보지침 재검토 Review of the Non-Financial Reporting Directive	'20.4Q	'21.1Q

- 2020년 3월 기후법(안)이 규정(Regulation)으로 발의되었으며, 이는 기후중립 목표를 법제화하고, 목표 달성을 위한 제도 확립 방안을 제시하는 것임. 규정은 발효되는 순간, 모든 회원국에 대해 직접 적용되며, 법적 구속력을 가짐.

(나) 미국

- 바이든 행정부 출범으로 2050년 탄소중립을 목표로 공격적인 친환경 정책을 추진, 대선 공약으로 파리기후협약 복귀와 탄소중립 달성을 주요 목표로 제시한 만큼 미국의 저탄소 경제 추진이 더욱 가속화될 전망, 2050년 탄소중립, 2035년 100% 청정에너지 달성 등을 강조

표 7. 바이든 대통령 공약 추진 상황

공약	추진 상황
파리기후협약 복귀	취임 첫 일 행정명령 서명을 통해 파리기후협약 복귀
탄소중립	2050년 탄소중립 달성 선언
화석연료 규제	신규 원유·가스 시추 중단(60일)
탄소국경세 도입	탄소국경세 제도 검토 공식화
기후변화 대응 투자	청정에너지에 10년간 1조 7,000억 달러 지원 구체화
전기차 충전소 보급	2030년까지 50만 개 이상 공공 충전소 보급
에너지효율 제고	에너지 효율 관련 규정 재검토

- 新행정부의 친환경 정책은 ①교통 ②에너지 ③탄소조정세에 중점을 두고, 청정에너지·저탄소를 포함 인프라에 2조달러(한화 약 2,200조원)를 지원할 계획
 - (청정에너지) 화석연료 보조금 철폐와 화석연료 관련 공유지 임대 불허와 더불어, 향후 4년간 청정에너지 연구개발에 3,000억 달러를 지원할 계획
 - 범부처 고등연구 전담기관인 ARPA-C(Advanced Research Project Agency focused on Climate)를 출범시켜 아래 8개 분야 연구를 집중

표 8. 바이든 행정부의 청정에너지 연구개발 분야

구분	주요 내용
배터리	기존 리튬이온 대비 1/10 비용의 그리드 규모 배터리 저장 기술
첨단 원자로	기존 대비 1/2 비용의 안전하고 효율적인 소형 모듈형 원자로 기술
냉장·냉동·냉방	지구온난화를 유발하지 않는 냉매를 사용하는 냉장·냉동·냉방 기술
건물	소재·가전·시스템 관리 혁신을 통한 건물의 제로넷 에너지 달성 기술
수소	경제성 있는 재생에너지 기반 그린수소 관련 기술
건축소재	건축자재(철·시멘트·화학 등)의 탈(脫) 탄소화 생산 기술
식품·농업	식품·농업분야의 탈(脫)탄소화 기술
탄소포집	이산화탄소의 포획과 지층 영구격리 관련 기술

- (교통) 자동차 탄소배출 규제강화, 친환경 자동차 판매 촉진, 친환경 승용차·픽업트럭 생산 확대, 충전소 등 관련 인프라 확충을 계획 중

표 9. 바이든 행정부의 친환경 교통 정책 방향

구분	주요 내용
탄소배출 규제 강화	캘리포니아주 자동차 탄소배출 규제를 전국으로 확대 <캘리포니아 친환경 자동차 의무 판매 비율(%)> - ('24) 5~9, ('30) 30~50, ('45) 100%
친환경 자동차 판매 촉진	공공기관 차량 약 300만대를 친환경 자동차로 교체 전기차 구매 장려를 위해 세금 공제 등 인센티브 제공
인프라 확충	2030년까지 전기차 충전소 50만개 이상 설치

(다) 중국

- 시진핑 주석은 지난 2020.9월 75차 유엔총회 화상회의에서 2060년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 발표, 최근 2015년의 다소 모호했던 탄소배출 목표를 구체화 및 상향 조정하는 등 글로벌 기후변화 논의에 적극적인 모습을 보이고 있음
 - 2060년 탄소중립 달성을 위해서 2030년을 정점을 목표로 탄소배출량을 2025년부터 105억 톤 이내로 낮춰 나간다는 입장
 - 이를 위해 2030년까지 탄소배출 정점 행동 지침을 조속히 제정하고, 여건이 허락되는 市와 省을 중심으로 목표치를 달성해나갈 계획('20.12월 중앙경제공작회의에서 탄소배출 감축을 2021년 8대 핵심사업에 포함)

표 10. 최근 중국의 탄소배출 목표 변화(UNFCCC, 화진증권연구소)

CO ₂ 배출	2015년 유엔기후변화협약회의	2020년 파리기후변화협약 정상회의
총량 기준	2030년경 정점 도달	2030년 CO ₂ 배출량 정점 도달 2025년부터 105억 톤 이내로 통제
GDP 단위당	2030년 2005년 대비 60%~65% 감축	2030년 2005년 대비 65% 감축

- 중국 정부의 친환경 정책은 교통(친환경차), 에너지(신재생에너지) 및 탄소배출권 거래제의 전국적 시행으로 요약
 - (교통) 신차 판매에서 신에너지차(New Energy Vehicle, 전기·플러그하이브리드·수소차) 비중을 2025년까지 20%, '35년에는 50%로 확대하는 정책 목표를 설정

- 신에너지차 비중이 확대되고 하이브리드가 내연기관차 시장을 잠식하면서, 100% 내연기관차는 2035년 이후 시장에서 퇴출될 전망(2035년까지 모든 공공차의 전동화 추진)
- 수소차를 2030년 100만대로 확대하고, 이 중 높은 출력이 필요한 트럭, 버스 등 상용차는 100% 수소차로 전환할 계획
- 2025년 평균 연비를 100km 당 12KWh로 설정하고, 2035년 수소차의 상업화 및 자율주행 실현 목표를 명시하여 민간의 기술혁신을 유도
- 신에너지차와 더불어 에너지, 교통, 정보통신산업간 융합발전을 추진하고, 충전·배터리 교체, 스마트 교통 네트워크 통합을 추진해 나갈 계획
- 신에너지차와 핵심 부품(배터리, 구동모터)과 커넥티드 및 스마트화에 대한 연구개발 강화

표 11. 중국 정부의 친환경차 육성 방향

구분		2025년	2030년	2035년
판매대수	신에너지차 (NEV)	• 신차 판매량 20% 이상 (약 515만대)	• 신차 판매량 40% 이상(약 1,031만대)	• 신차 판매량 50% 이상(약 1,289만대)
	수소차	• 총 보유량 10만 대	• 총 보유량 100만 대(상용차 100% 수소차 전환)	
	하이브리드차 (HEV)	• 내연차 판매량의 50% 이상	• 내연기관차 판매량의 75% 이상	• 내연기관차 판매량의 100% 달성
기술혁신		• 평균연비 8.3km/KWh (12KWh/100km) • 제한지역 내 자율주행		• 공공차 전동화 • 수소차 상업화 • 자율주행 지역 확대

표 12. 중국의 신에너지차 산업 발전을 위한 추진과제

구분	주요 내용
기술혁신	(3종) 신에너지 자동차(전기차, 플러그인하이브리드, 수소차)
	(3형) 배터리·관리시스템(BMS), 구동모터·시스템, 커넥티드화·스마트화
신산업생태계	핵심기업 육성 핵심 시스템 혁신 및 활용 스마트 제조 능력 향상
산업융합발전	신에너지차와 에너지·교통·정보통신 산업의 융합발전추진 산업 표준 연계 및 데이터 공유 강화
인프라	충전·배터리 교체 네트워크 구축 스마트 교통 네트워크 통합 수소공급(충전) 시스템 건설

- (에너지) 기후변화 대응 및 에너지 안보 강화를 목표로 신재생에너지 확대 등 에너지 자급률을 확대할 계획, 비화석 에너지 비중을 2020년 15.8%에서 2030년까지 25%로 확대
- 태양광과 풍력에너지 발전 용량을 2020년 4.6억KW에서 2030년 12억 KW으로 확대
- (탄소배출권 거래) 생태환경부는 전국 단위의 탄소배출권 거래를 규범화하기 위해 탄소배출권거래관리방법을 2020.12월 통과시키고 2021.2월 시행, 연간 2.6만톤 이상의 이산화탄소를 배출하는 업체를 대상으로 하며, 총 2,225개의 전력분야 업체가 참여하도록 하여 감축 책임을 기업에 부과, 향후 탄소배출권 거래 가능 분야를 확대하고 거래 품목과 거래 방법을 다양화하는 등 탄소배출 시장의 안정적 발전을 추진할 계획(탄소배출권 거래제는 2011년부터 베이징, 상하이 등 7개 성시에서 시범사업이 개시되어 총 3,000여개 기업이 거래에 참여, CO₂ 거래량 4.3억톤, 거래액 한화 1.7조원)

(라) 일본

- 일본은 2020년 10월 스가 총리가 2050년 탄소중립을 선언, 온실효과가스 총배출량을 2030년까지 2013년도 대비 26% 감축하고, 2050년까지 80% 감축한다는 목표(기준년도 없음)를 수립
- 2019년 일본 온실가스 총배출량은 12억 1,300만톤으로 2013년 대비 14.0% 감소, 2014년도 이후 6년 연속 감소세 기록(1990년도 이후 최저)

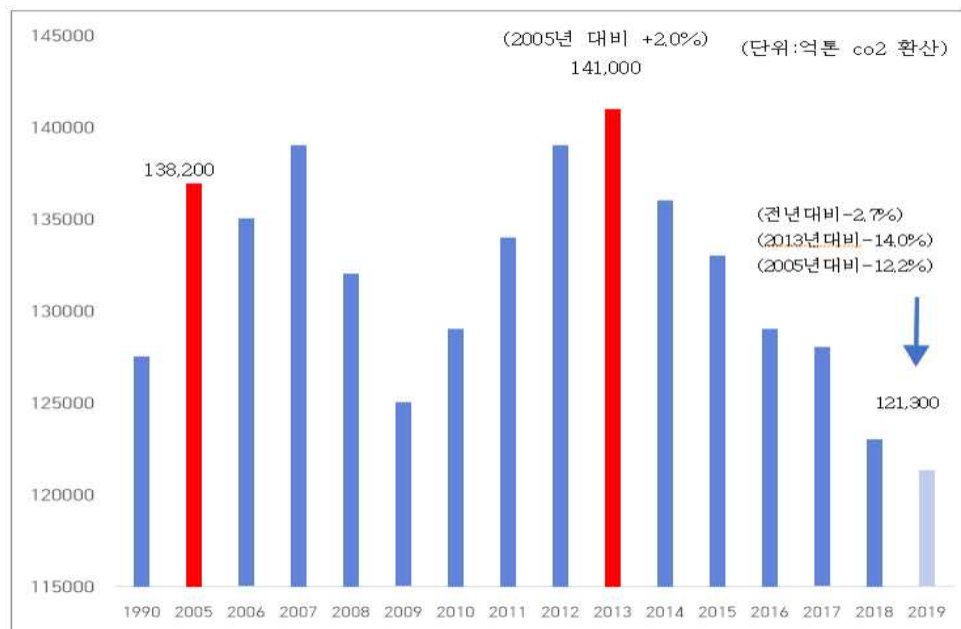


그림 5. 일본 온실가스 배출량 추이

- 일본은 스가 총리의 탄소중립 선언 이후 2개월이 지난 2020년 12월 2050년 온실가스

배출량 실질 제로를 위한 ‘그린성장전략’을 발표, 그린성장전략은 해상풍력, 수소, 자동차 등 14개의 중요분야 목표와 실행계획을 포괄

- (전력·에너지) 2050년 예상 발전량의 50~60%를 신재생에너지로 전환하고, 화력발전에 암모니아 연료 비중을 20%로 확대하며, 수소를 발전·제철·자동차 연료로 활용해 수소 소비량을 50년까지 2,000만톤으로 확대
- (수송·제조) 2035년까지 모든 판매용 승용차를 전동화하고, 이차전지 공급망을 구축하며, 디지털화를 통한 에너지 수요의 고효율화 및 데이터센터 에너지 감축 등으로 2040년까지 정보통신산업의 탄소중립을 실현
- (가정·오피스) 2030년까지 신축 주택의 이산화탄소 배출량을 평균 제로로 낮추고, 바이오매스의 활용을 확대하는 등 방안을 제시

표 13. 일본 그린성장전략 14대 분야 주요 내용

구분	분야	주요 내용
전력 · 에너지	해상풍력	'40년까지 생산능력 4,500만KW(원전 45기분)로 확대 - 기술 심사 기간 단축 및 효율적 송전방식 도입
	암모니아	'30년까지 암모니아 화력발전을 20%로 확대
	수소	'50년까지 수소 소비량을 2,000만 톤으로 확대
	원자력	신형 원자로 기술개발 및 국제협력 강화
수송 · 제조	자동차	'35년까지 모든 신차의 전동화 - '30년까지 이차전지를 KWh당 1만엔 이하로 인하
	반도체	30년까지 파워반도체 소비전력 50% 감축
	선박	'50년까지 수소 등 대체연료 전환
	물류	항만 등의 탈탄소화 추진
	농림수산	'50년까지 농림수산업 이산화탄소 배출제로
	항공	전동화 및 대체 연료 기술개발
	카본 재활용	효율성 증대 및 비용 절감
가정 · 오피스	주택	'30년까지 신축 주택 CO ₂ 배출량 평균 제로
	자원순환	바이오매스(사탕수수, 팜, 해조류 등의 연료화) 활용 확대
	라이프사이클	지역별 탈탄소 비즈니스 추진

○ 일본 정부는 그린성장 프로젝트에 금융이 원활하게 공급될 수 있도록 예산, 세제, 금융 등 제도를 정비 중

- (예산) 중요 프로젝트의 전주기(기술개발~시범사업) 지원을 위해 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)가 2조엔의 그린혁신기금을 조성하고, 이를 기반으로 15조엔

의 민간 투자를 유발할 계획

- (금융) ‘기후혁신금융 2020’을 기반으로 저탄소 체제로의 이행을 평가할 수 있는 기본지침과 로드맵을 만들고, 펀드(일본정책투자은행 그린투자촉진펀드, 국제협력은행 포스트코로나성장기금)를 조성
- (세제) 탈탄소 제품의 생산설비를 도입할 경우, 3년간 최대 10%의 세액공제 또는 50%의 특별 상각할 수 있는 세제 조치를 신설

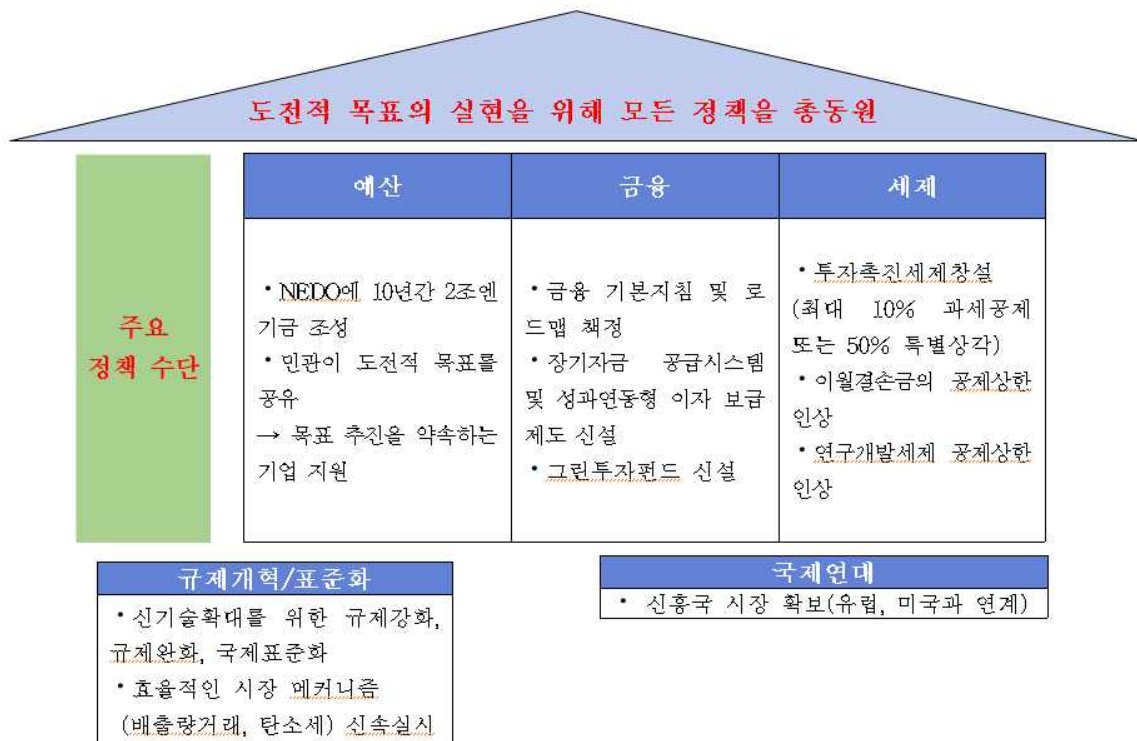
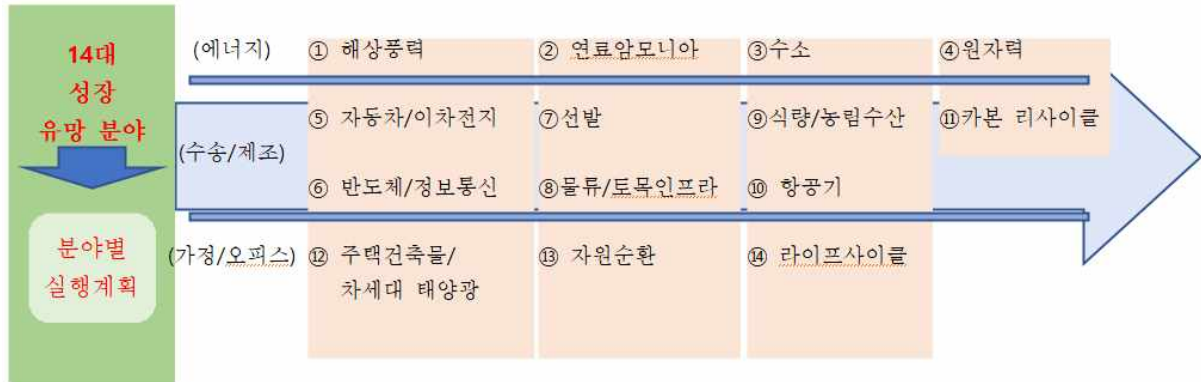


그림 6. 2050년 탄소제로 실현을 위한 그린성장전략

(마) 철도차량 재활용 관련 규격

- UIC Leaflet 345(Environmental specifications for new rolling stock)는 철도차량 환경 성적지표를 소음, 에너지효율, 디젤배출오염, 재료/재활용 및 폐기물로 4가지를 제안함.

구분	제작/설계 (design) 단계 관련 환경사항		운영 단계 (operation) 관련 환경사항	
	Key area	Specification	Key area	Specification
Legally mandatory specifications	Noise	- passing-by noise - stationary noise - starting noise	Not applicable	not applicable
	Diesel exhaust emissions	- diesel exhaust emissions		
	Materials	- legally restricted materials		
	Others	- electromagnetic fields		
Voluntary specifications	Energy	- specific mass	Energy	- traction energy consumption - on-board energy consumption - energy recovery/ regeneration - energy management for parked vehicles - energy metering devices
	Materials	- unwanted and controlled materials - hazardous waste - recycling rate - renewable materials		
	Others	- emissions from brake friction material - spillage/ leakages	Diesel exhaust emissions	- diesel exhaust emissions-specific load conditions - diesel exhaust emissions at longer standstills

그림 7. UIC Leaflet 345의 세부 환경 사양

- (철도차량 재활용률 국제표준 제정) 2019년 11월 국내 철도연 연구진 주도로 철도차량 재활용률 산정방법(Railway applications – Recyclability and recoverability calculation method for rolling stock)에 대한 국제표준 ISO 21106이 제정되었음.

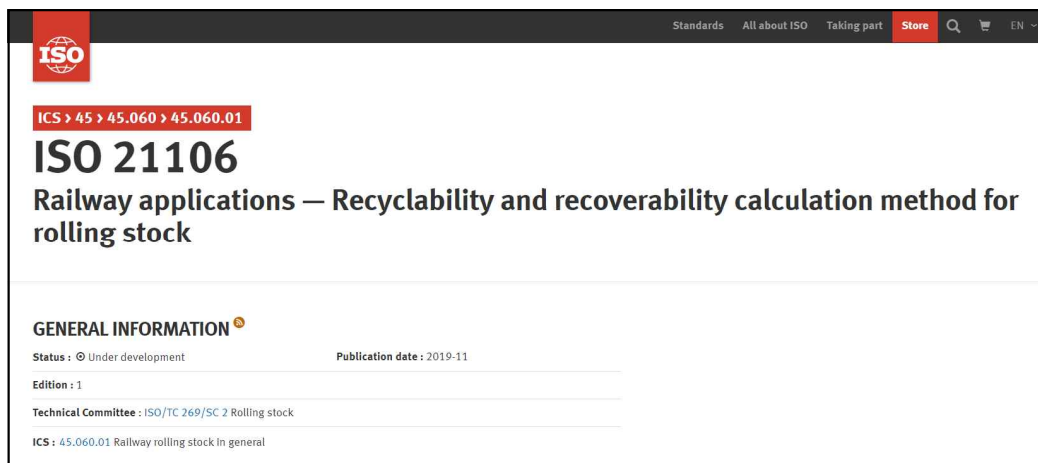


그림 8. ISO 21106

- ISO 21106은 국외 철도차량 제작업체(Bombardier, Alstom, Siemens 등) 및 연구기관이 주도적으로 참여하여 완성하였으며, 철도차량의 설계단계에서부터 재활용률에 대한 산정방법을 국제 표준화함에 유럽을 중심으로 철도차량 입찰단계 등에서 활용이 확대되고 있음.

- 유럽의 철도시장에서 철도차량의 재활용률 산정 시 적용되었던 자동차 재활용률 산정방법인 ISO 22628과 비교하여 철도차량에 사용되는 소재별 물질 및 에너지 효율 (MRF, ERF)이 고려되어 실제 현장에서의 재활용률에 보다 근접한 방법을 제시함.

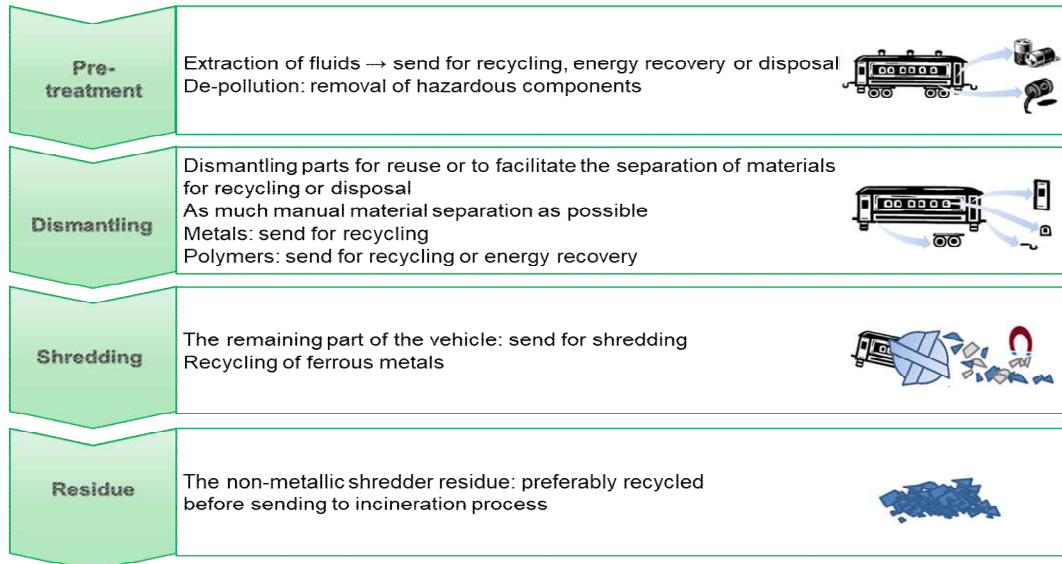


그림 9. ISO 21106 철도차량 폐기단계 정의

- 유럽 철도운영사는 철도차량 구매 시 신규 철도차량의 친환경 성능에 관한 내용을 UIC leaflet 345(Environmental specifications for new rolling stock) 규정에 따라 ISO 14044 기준의 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 수행하고, 그 결과를 ISO 14025 환경성적표지 기준에 따라 제3자 인증을 거쳐 Environmental Product Declaration(EPD) 보고서를 제출하는 것을 의무화함.
- 철도차량의 전과정 환경성 개선기술을 개발하고 설계단계에서부터 적용하고 있으며, 전과정평가 기법 적용을 기본으로 친환경 설계를 통하여 전과정 환경영향을 정량적으로 제시하고 입찰단계에서 가점을 받는 상황임.

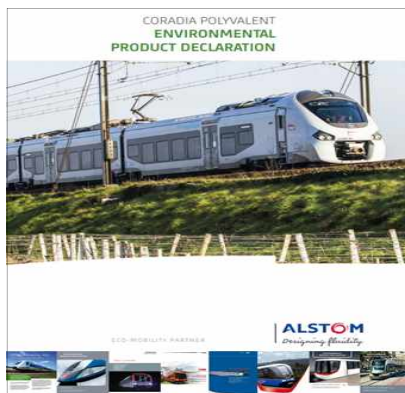


그림 10. 철도차량 ISO 14025 인증보고서

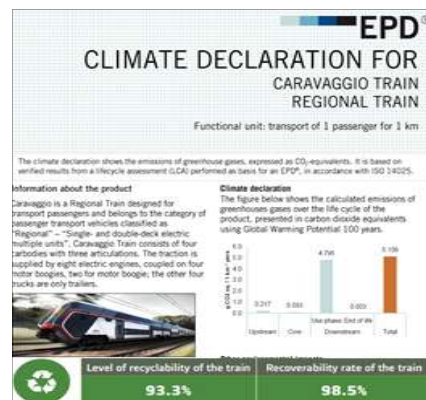
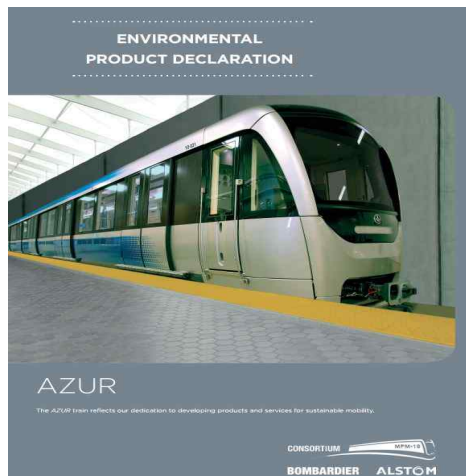
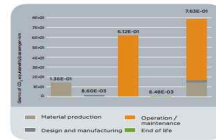


그림 11. 폐기단계 재활용률 성능



Carbon Footprint

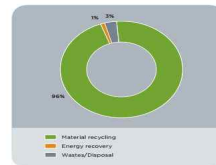
Greenhouse gas (GHG) emissions throughout the AZUR train life cycle are 0.8 g of CO₂ equivalents per passenger travelling one kilometer.



GHG emissions in g CO₂ equivalents/passenger km

Recyclability and Recoverability

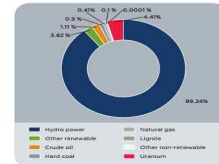
Using materials featuring high recyclability and considering disassembly early in the design phase maximise the overall recoverability of the AZUR train. Material recycling and energy recovery aggregate to a 97% recoverability rate.



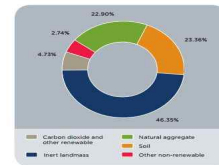
Projected recoverability at the end of the phase of the AZUR train, following ISO 22828 methodology.

Energy and Material Resource Use

Renewable and non-renewable energy and material resource use throughout the rail vehicle life cycle is detailed in the following charts as a percentage of the total for the entire life cycle of the vehicle. The distinction between renewable and non-renewable energy and material resources is shown with green/blue shades representing renewable resources and grey/brown/orange/red shades representing non-renewable resources.



Energy resource use throughout the AZUR train life cycle shown as a percentage of the total carbon value.



Material resource use throughout the AZUR train life cycle shown as a percentage of the total material resource mass.

그림 12. 유럽 철도차량 신규 차량의 환경성적표지 및 재활용률 정보 예

표 14. 유럽 철도차량 신규입찰 기술사양서

문서명	항 목	요구사항
Key Train Requirements Rail Delivery Group National Rail KTR v6 Key Train Requirements Version 6	2.3 Sustainability	[전과정평가 적용의무] An environmental impact assessment for the rolling stocks entire life, in accordance with 'ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework', shall be undertaken (E). Rail is an environmentally sustainable means of transport, and has a major role to play in encouraging modal shift from less sustainable modes. However, it does have environmental impacts which need to be considered at the design stage for the entire life of the rolling stock [재활용율 산정의무] End of life recyclability and recovery targets, based on the terms defined in 'BS ISO 21106: Railway applications – Recyclability and recoverability calculation method for rolling stock', shall be provided (E). [환경성적표지 제출의무] An Environmental Product Declaration in line with UNIFE 495 Product Category Rules for Rail Vehicles' or other externally verified certification shall be provided (E).
Train Technical Specification HS2 Train Technical Specification Document no. TSD-002-001-001-000001	7.20 Environmental impact	[재활용율 요구사항] The recyclability of the Unit, calculated using UNIFE Recyclability and Recoverability Calculation Method Railway Rolling Stock[113], shall be: - Preferred 1: The recyclability shall be at least 95%. - Preferred 2: The recyclability shall be at least 90% [회수율 요구사항] The recoverability of the Unit, calculated using UNIFE Recyclability and Recoverability

		Calculation Method Railway Rolling Stock[113] shall be: - Preferred 1: The recoverability shall be at least 97%. - Preferred 2: The recoverability shall be at least 95% [온실가스 단위배출량 기술 사양] The total life-cycle(upstream, core and downstream) global warming potential impact of the Unit, measured in kg CO₂ equivalent per passenger km, calculated in accordance with EN ISO 14025[74], the Product Category Rules for Rolling Stock[112] and Appendix J, shall be: - Preferred 1: The life-cycle global warming impact shall be no more than 0.00186 kg CO₂ eq / passenger km. - Preferred 2: The life-cycle global warming impact shall be no more than 0.00220 kg CO₂ eq / passenger km.
--	--	---

- 예를 들면, 폴란드의 경우, 제작업체의 철도차량 운행 및 유지보수 매뉴얼에 재활용 지침을 의무적으로 포함해야함을 법적으로 명시하고 있으며, 프랑스 SNCF의 경우에는 철도차량 입찰단계에서 제작업체에 철도차량의 재활용률에 대한 정보를 제출하도록 요구하고 있음.

(2) 국내 정책 동향

- (탄소중립선언) 미국이 바이든 행정부 출범과 동시에 파리협정에 복귀하면서 국제사회의 탄소중립 정책이 본격화됨에 정부에서도 2020년 12월 대통령이 『2050 탄소중립』 선언과 더불어 한국판 뉴딜 정책의 한 축인 그린 뉴딜을 통해 73.4조를 투자하여 온실가스 1,229만 톤 감축을 목표로 함.



그림 13. 탄소중립 추진전략(20.12.07)

- (기후 위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법 시행, 22.3) 우리나라는 2050 탄소중립 비전 및 이행체계를 법제화한 14번째 국가이며, 중간목표인 2030년 온실가스 감축목표를 2018년 대비 35% 이상 범위를 설정함.

표 15. 주요국 탄소중립 및 2030 감축목표 법제화 현황

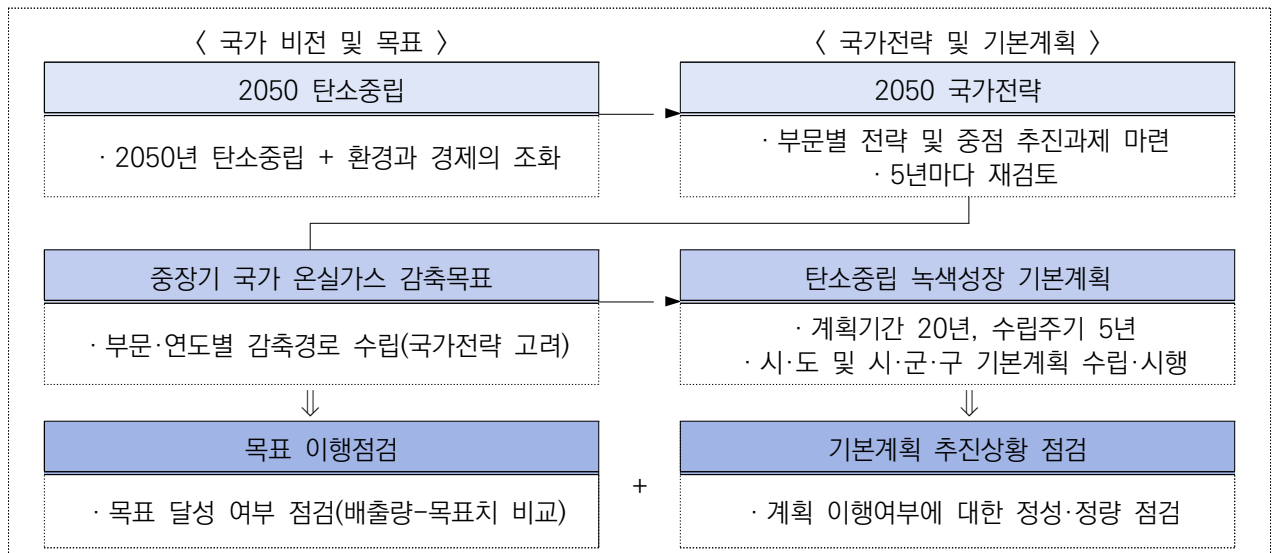
국 가	법제화 여부		
	탄소중립 목표	2030 감축목표	비고
EU	○ (2050)	○ (1990 대비 55%)	유럽기후법
독일	○ (2045)	○ (1990 대비 65%)	연방기후보호법
프랑스	○ (2050)	○ (1990 대비 40%)	녹색성장을 위한 에너지전환법
스페인	○ (2050)	○ (1990 대비 23%)	기후변화 및 에너지전환에 관한 법률
덴마크	○ (2050)	○ (1990 대비 70%)	기후법
헝가리	○ (2050)	○ (1990 대비 40%)	기후보호법
스웨덴	○ (2045)	○ (1990 대비 63%)	기후정책프레임워크 (2017.6월)
룩셈부르크	○ (2050)	○ (2005 대비 55%)	국가기후법
아일랜드	○ (2050)	○ (2018 대비 51%)	기후행동 및 저탄소개발법
일본	○ (2050)	× (기후정상회의 선언, 2013 대비 46%)	지구온난화대책의 추진에 관한 법률
영국	○ (2050)	× (NDC, 1990 대비 68%)	기후변화법
캐나다	○ (2050)	× (NDC, 2005 대비 최소 40~45%)	넷제로배출 책임에 관한 법률
뉴질랜드	○ (2050)	× (NDC, 2005 대비 30%)	기후변화대응법
노르웨이	×	○ (1990 대비 50~55%)	기후변화법
네덜란드	×	○ (1990 대비 49%)	기후법
미국	×	×	2050 탄소중립목표 : 국내외 기후위기 대응에 관한 행정명령 (2021.1월) 2030 감축목표 : NDC
중국	×	×	14차 5개년 계획 (2021.3월)
러시아	×	×	2050 탄소중립목표 : 제시하지 않음 2030 감축목표 : NDC

- 기후 위기 대응이라는 목표 아래 비전, 목표, 이행체계 및 시책(온실가스 감축, 기후 위기 적응, 정의로운 전환, 녹색성장)을 규정하고 있음.

총괄	비 전 2050 탄소중립 + 환경·경제 조화 전략·목표 국가전략 + 중장기 온실가스 감축목표 이행 체계 탄소중립 녹색성장 기본계획(국가·시도·시군구)			
분야별 시책	온실가스 감축 · 기후변화영향평가 · 탄소인지예산제도 · 배출권·목표관리 · 탄소중립 도시 · 지역 에너지 전환 · 녹색건축·교통 · 흡수원·CCUS · 국제 감축사업 · 종합정보관리	기후위기 적응 · 감시·예측 · 기후위기 적응대책 (국가, 지방, 공공기관) · 지역 기후위기대응 · 물 관리 · 녹색국토 · 농림수산 전환 · 적응센터	정의로운 전환 · 사회안전망 · 특별지구 · 사업전환 · 자산손실 최소화 · 국민참여 · 협동조합 활성화 · 지원센터	녹색성장 · 녹색경제 · 녹색산업 · 녹색경영 · 녹색기술 · 조세제도 · 녹색금융 · 정보통신 · 순환경제
기반	탄소중립·녹색성장 이행 확산(지자체, 생산·소비, 녹색생활, 탄소중립 지원센터 등) 기후대응 기금			

그림 14. 탄소중립·녹색성장기본법안 체계

표 16. 이행점검 방안



- 국가 주요계획 및 개발사업 대상 기후변화영향평가 실시, 국가예산 및 기금에 탄소중립을 반영하기 위한 온실가스 감축인지 예산제 시행, 국제감축사업, CCUS(탄소포집, 이용, 저장기술), 흡수원 확충 증진 등 추진
- 기업 감축 활동, 산업구조 전환 등의 재원 마련을 위한 기후대응기금 신설, 화석연료·내연기관 산업전환과 일자리 창출 지원 등 정의로운 전환 추진, 기후 위기·예측 취약성 평가를 통해 적응대책을 수립하고 취약지역 지원

○ (2023년 국가연구개발 투자방향 및 기준투자) 그린뉴딜 분야에서 2050년 탄소중립 이행과 관련하여 투자 확대 및 기술혁신을 위한 범부처 R&D 사업 지원을 강화함.

- (자원수급 다각화) 폐자원의 고부가가치형 재자원화(재활용, 재제조 등)를 통해 지속 가능형 자원 순환경제 활성화

- (순환경제 활성화) 자원의 효율적 이용과 재활용 촉진을 통해 폐기물의 발생 저감을 최우선의 목표로 하는 자원순환 이행 체계 구축

	현재 모습	미래 모습	핵심 과제
	727.6(백만톤) 배출('18)	넷-제로('50, NET-ZERO)	
에너지	☑ 화석연료 기반에너지 생산 (269.6, 37%) - 석탄+LNG 66%('19) - 재생에너지 4.8%('19)	☑ 온실가스 배출 제로 에너지 생산 - ① 재생E+② 수소+③ CCUS 가스발전	- 脱석탄 발전 - 재생에너지 설비 확충, 그리드 체계 개편 - CCUS-그린수소 상용화
산업	☑ 탄소 집약적 산업구조 (264, 36%) - 탄소 다배출 업종(%), (韓)8.4, (EU)5.0, (美)3.7	☑ 온실가스 무배출산업구조 - 무배출 공정 기술+굴뚝 배출 CCUS	- 미래 신기술 적용 (수소 환원 제철, 바이오 매스 등) - 에너지효율 개선+산업 공정 F-gas 저감
수송	☑ 내연기관 중심수송체계 (98.1, 14%) - 친환경차 비중 2.87%('20.6, 등국 대수 기준)	☑ 탈내연기관 무공해차 보급 대폭 확대 - 교통수요 최적화+탈탄소 물류체계	- 내연 기관차 판매 중지 - 지능형 교통시스템(ITS) - 물류체계 전환
건물	☑ 에너지 다소비 건물 (47.5, 7%) - '15년 이상 노후 건축물 비중 74%('19)	☑ 에너지 자급형 그린빌딩 - 재생에너지 자급 - 제로에너지 빌딩화	- 건물 에너지효율 개선 (그린 리모델링 등) - 재생에너지 설치 - 스마트 에너지관리

그림 15. 국내 2050 탄소중립 부문별 과제 및 미래상 I

	현재 모습	미래 모습	핵심 과제
	727.6(백만톤) 배출('18)	넷-제로('50, NET-ZERO)	
농·축·수산	☑ 화학비료·농약집약형 관행농업(21.2, 3%) - 공장형 축산과 육식 위주 식생활	☑ 화학비료·농약없는 친환경농업 - 친환경 축산과 채식 중심 식생활	- 식생활 개선 (채식+로컬 푸드) - 비료·농약사용 저감, 친환경농업 확대 - '기축분뇨' 처리 개선
흡수원	☑ 산림 노령화로 흡수량 감소 (-41.3, -6%) - '50년 기준 6영급 72.1% 차지, 흡수량 30%감소	☑ 산림 및 다양한흡수원 확대 - 순환 산림 체계 조성 - 재조림/훼손지 복원	- 산림 경영으로 산림 흡수원 확대 (산규조림/재조림) - 추가 흡수원 발굴 (연안습지 등 블루 카본)
폐기물	☑ 발생량 증가, 잔재물 매립·소각(17.1, 2%) - 플라스틱 재활용률 54%('20) - 매립·소각 비율 14%('17)	☑ 쓰레기제로 순환경제 - 탈플라스틱+순환경제 - 매립 제로+CCUS 소각	- 폐기물 원천감량 - 플라스틱 재활용 증가, 잔재물 제로화 - 바이오 플라스틱 대체

그림 16. 국내 2050 탄소중립 부문별 과제 및 미래상 II

- (탈원전 정책 폐기, 원자력 생태계 강화) 에너지 안보 및 탄소중립 수단으로 원전을 적극 활용하여 2030년 NDC (국가 온실가스 감축 목표) 달성에 기여
- (에너지 안보 확립과 에너지 新산업·新시장 진출) 원전, 재생에너지 조화 등을 고려, 에너지 믹스를 합리적으로 조정하고 에너지·산업·수송부문 NDC 달성 방안 수정, 자원 안보의 범위를 수소, 핵심 광물 등으로 확대하고 비축 확대, 수입국 다변화, 재자원화로 수급 안정성 제고, 태양광, 풍력 산업을 고도화하고 고효율·저소비형 에너지 수요관리 혁신, 4차산업 기술과 연계한 신산업 육성 추진
- (빠르고 편리한 교통 혁신) GTX A·B·C 및 서부권 광역급행철도를 차질 없이 추진하고, 신규 노선 확대 방안도 검토, 메가시티 중심-주변을 연결하는 광역철도 선도

사업(권역별 5개), 도로망 구축 등을 통해 메가시티 1시간 생활권 조성, 기존 철도 구간의 고속화

- (과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환) 2030 국가 온실가스감축목표(NDC)는 준수하되, 부문별로 현실적 감축 수단을 마련하여 법정 국가계획에 반영(~'23.3월), 배출권거래제 유상할당 확대안을 검토하고, 늘어난 수입은 기업의 감축 활동을 지원하는 선순환체계 구축, EU 사례를 참고하여 녹색 분류체계에 원전을 포함하고, '23년부터 본격 현장 적용하여 녹색 투자 분야 자금 유치·지원
- (재활용을 통한 순환경제 완성) 생산부터 폐기까지 전 과정에서 자원 낭비 및 폐기물 발생 감축, 품질 좋은 플라스틱은 재생 원료로 의무 사용하고, 복합재질 등 재활용이 어려운 플라스틱은 열분해하여 원료로 활용, 폐페트 등 플라스틱 재생 원료 사용 의무화(페트 1만톤/년 이상 생산자 등), 폐플라스틱을 열분해하여 석유·화학원료, 수소연료로 재활용 허용, 공공 열분해 시설 10개소 확충 추진

- (국토교통 탄소중립 로드맵, 2021.12) 국토교통의 핵심 탄소중립 방안으로는 건물의 성능 데이터를 기반으로 신축 건물의 제로 에너지화, 기축 건물의 그린 리모델링 등 건물 탄소중립 기술 및 제도를 확산하고, 대중교통 활성화, 수요관리를 병행하여 내연차 총 주행거리를 감축하는 것임.



그림 18. 국토교통 탄소중립 로드맵

- (철도 중심의 교통체계 강화) 선로 전철화율을 확대(2019: 72.9% → 2030: 78.3%)하고, 全 디젤여객열차를 동력분산식(EMU, KTX-이음)으로 교체(∼2029), 중형 기관차급 수소열차(1.2MW, ∼2022), 무궁화호급 수소기관차(3MW, 2023∼) 등 친환경 수소열차 개발·실증
 - 친환경 철도의 수송 분담률 확대(2019: 11.5% → 2030: 17.0%)하기 위한 철도망 확대(2019: 4,276km → 2030: 5,341km), 특히, 친환경 철도 물류 경쟁력 강화를 위한 인프라 확충, 민간투자 활성화, 전환교통(육상→철도 물류) 지원 사업 확대 포함
- (자동차) 국내 자원순환법은 EU ELV Directive와 기본적으로 매우 유사한 구조로 이루어져 있으며 재활용률 목표도 동일하게 설정되어있으며, 해당 제품 최초 출고 6개월 경과 후 재활용업체 요청 시 1개월 이내에 해체 매뉴얼을 제공해야 하며, 6개월 이내에 IDIS(International Dismantling Information System, 해체정보 시스템)에 정보를 제공할 시에는 제외함.
- 환경부는 현대, 기아차의 폐자동차로부터 자원 확보 및 온실가스 저감을 위해 ‘폐자동차 자원순환체계 선진화 시범사업’(2013.4 협약)을 추진하고 있으며 2015년 95% 재활용률 목표 달성을 위해 제조사와 폐자동차 재활용 사업자간의 협력 체계 구축 및 기술 등을 지원하고 있음.

표 17. 국내 자원순환법 주요 내용

구분	주요 내용
법안명칭	전기, 전자제품 및 자동차와 자원순환 관련 법률
목적	유해물질 제거, 폐자동차 회수, 재활용 촉진
적용 대상	M1 9인승 이하 승용차 N1 차량 총 중량 3.5톤 이하 화물차, 예비부품, 교체부품 포함
재활용 책임	폐자동차 재활용 업체
시행시기	2008년 1월 1일
주요내용	- 4대 유해 물질을 법규 허용치 이내에서만 허용(납, 카드뮴, 수은, 6가 크롬) - 목표 재활용률 2015년 95%(에너지 회수율 10% 이내) - 폐자동차 회수책임 · 제조사 폐자동차 가격 < 재활용 비용 · 회수자 폐자동차 가격 > 재활용 비용 - 출고 6개월 후 재활용업체 요청 시 1개월 이내 해체 매뉴얼 제공 - 한국환경공단에서 Eco-AS 시스템을 통한 운영관리

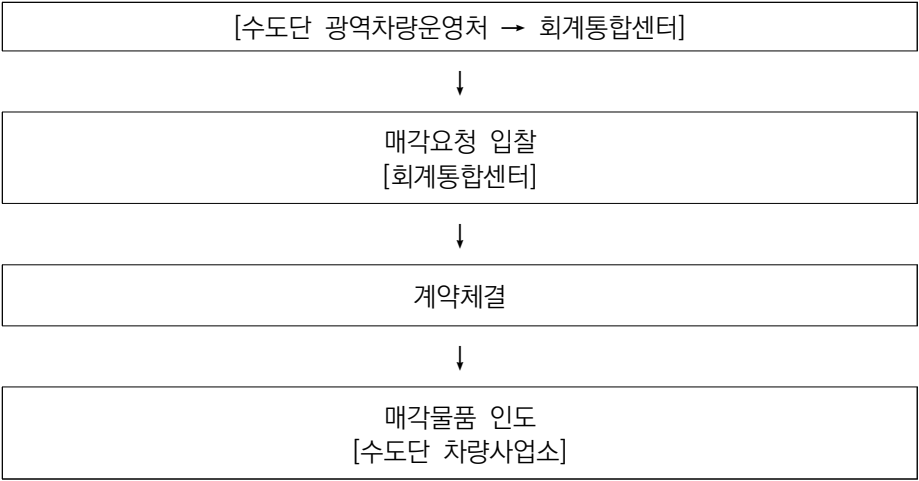
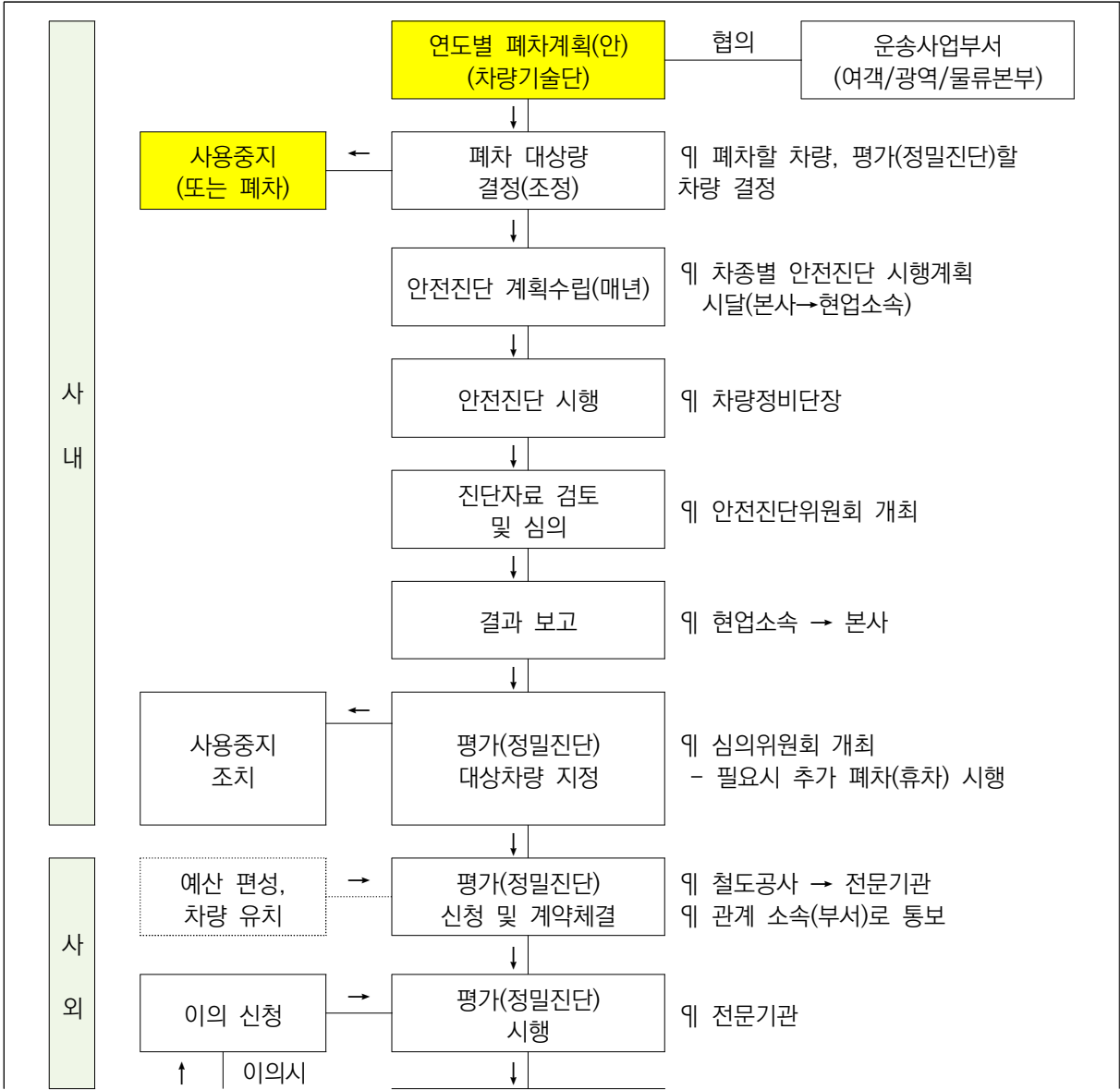


그림 20. 한국철도공사 폐차 및 매각 절차



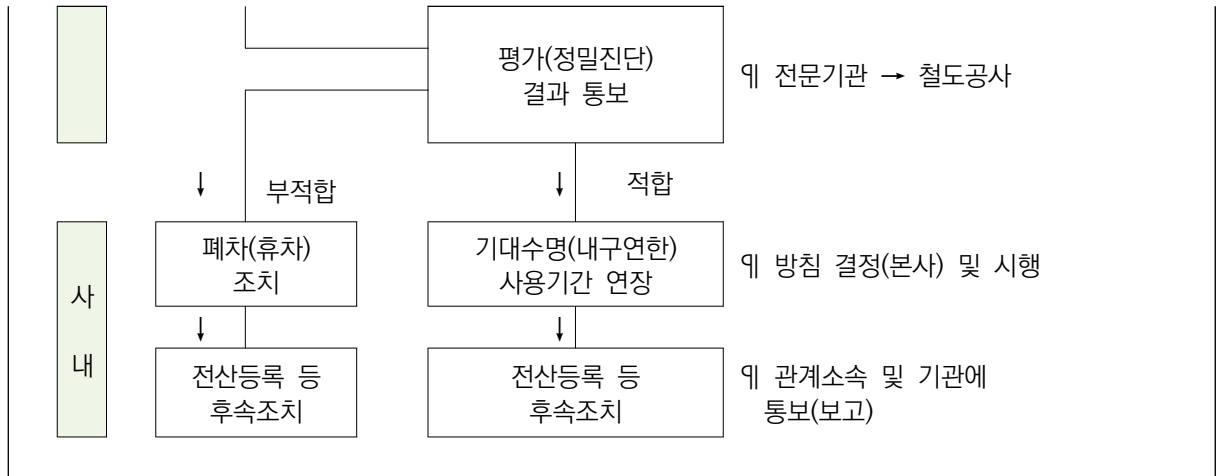


그림 21. 노후 철도차량 자체 안전진단 및 평가 절차(제7조제2항 관련)

- 반면, 한국철도공사는 내규 제13호 철도차량 폐차에 관한 기준에 따라 기대수명이 경과한 차량 또는 경과하지 아니하였지만 손상이 심각하여 영업 운행이 불가능한 차량 등에 대해 폐차로 정의하고 정해진 절차에 따라 처리하고 있음.

구분	담당 부서	비고
내규 제13호	차량계획처(기획관리부)	

철도차량 폐차에 관한 기준

제정 2014.03.28. 내규 제13호.
개정 2020.12.14. 제2020-16호

제1조(목적) 이 기준은 철도차량 폐차와 그 처리 절차에 관한 기준을 정함을 목적으로 한다.

제2조(적용범위) 한국철도공사 차적에 편입된 철도차량(이하 '차량'이라 한다)의 폐차 적용기준 및 절차는 별도로 정하는 것을 제외하고는 이 기준에 따른다.

제3조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. '폐차'란 기대수명(구, 사용내구연한)이 경과한 차량과 경회차지 않았지만 손상이 심각하여 영업운행이 불가능하다고 판정된 차량 등 차량관리에서 제각된 차량을 말한다.
2. '정밀안전진단'이란 전문기관이 차량의 계속 사용 가능여부를 확인하기 위하여 실시하는 상태평가·안전성평가 및 성능평가를 말한다.

그림 22. 한국철도공사 폐차처리 기준 내규

종류별	사용내구연한
1. 고속철도차량	30년
2. 일반철도차량	
가. 디젤기관차	25년
나. 전기기관차	30년
다. 디젤동차	20년
라. 전기동차	25년
마. 객차	25년
바. 하차	30년 (황산 및 프로필렌 등의 화합물을 수송하는 조차는 25년)
사. 특수차	철도차량 제작당시 정한 기준

그림 23. 철도차량의 종류별 기대수명의 기준

(3) 요약

표 18. 교통수단별 재활용 관련 규제 비교

항목	자동차	선박	항공	철도
배경	유해물질 사용으로 인한 환경문제 발생	선박 해체국가에서 해체 시 안전관리 인식 및 관련 시설 부족으로 유해 물질에 의한 환경오염 및 인명사고 발생	세계적으로 연간 400~450대 폐기 및 해체, 항공기 부품/재료의 회수 및 재활용 중요(고비용의 부품)	철도차량의 무분별한 폐기로 자원 낭비 및 안전사고, 유해 물질 배출 등의 우려 발생
국외	2000년 EU의 ELV 규제부터 시작(열회수를 포함 95% 이상 재활용, 단 열회수는 10%만 인정)	2009년 선박재활용협약 채택	항공기재활용협회(AFRA: Aircraft Fleet Recycling)에 의해 해체	포괄적인 자원재활용 및 유해 물질 사용 제한 등의 법규에 따라 적용, UNIFE의 철도차량 재활용 가이드라인 지침 활용, 규제 충족 여부에 대한 인증서(EPD)를 제작업체에서 운영처로 제출(입찰단계)
국내	■ 자원순환기본법 - 자원순환 활성화를 위해 주요 제품별 순환이용성 평가 및 개선(2020년 자동차 부품 적용) ■ 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 - 자동차 플라스틱 부품(범퍼 등) 재활용을 위한 업계-정부간 자발적 협약 운영 중(2011년~) ■ 전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 - 자동차 내 유해물질 사용 제한(2008년~), 폐자동차 95% 재활용률 의무화(2015년~) 등	■ 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 - 폐기물부담금 부과대상에 선박 포함		■ 2015년 국토부에서 '철도안전 혁신대책'으로 정부 차원에서 철도차량의 제작에서부터 폐차까지의 관리체계를 추진하였으나 폐차에 대한 구체적인 방안은 전무한 실정임. ■ 무분별한 폐차로 환경오염 등에 대한 우려로 민원 발생 증가

나. 시장환경 분석

(1) 국외 시장 동향

- 전 세계 폐기물 재활용 시장은 폐기물 종류에 따라 도시 폐기물, 산업용(무해)폐기물, 전기·전자 제품 폐기물 건축 및 철거 폐기물, 플라스틱 폐기물로 분류되며, 글로벌 폐기물 재활용 시장은 2017년 3,007억 1,000만 달러에서 2018년에는 3,196억 1,000만 달러에 이를 것으로 전망됨.



그림 24. 글로벌 폐기물 재활용 시장 규모

(출처 : Frost & Sullivan, Global Waste Recycling Market Outlook, 2018)

- 산업용(무해) 폐기물은 2018년을 기준으로 38.8%의 점유율을 차지하고 있으며, 그 뒤를 도시 폐기물이 37.5%, 플라스틱 폐기물이 11.8%, 건축 및 철거 폐기물이 10.8% 전기·전자 제품 폐기물이 1.1%로 뒤따르고 있음.

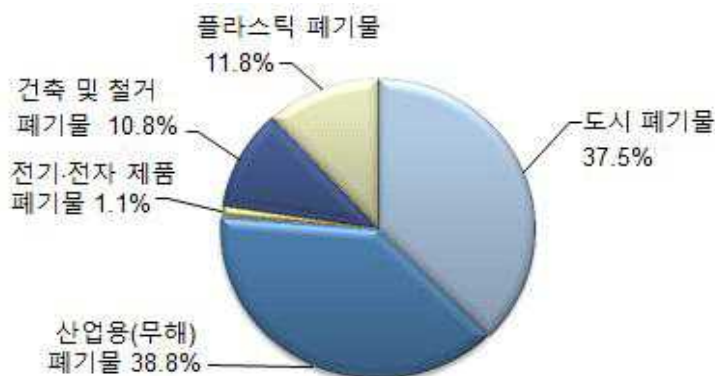


그림 25. 글로벌 폐기물 재활용 시장의 종류별 시장 점유율

(출처 : Frost & Sullivan, Global Waste Recycling Market Outlook, 2018)

- (수익 기준) 전 세계 폐기물 재활용 시장을 지역별로 살펴보면, 유럽 지역이 2018년을 기준으로 44.7%의 점유율을 차지하고 있으며, 아시아-태평양 지역이 29.2%, 미국

지역이 22.7% 중동-아프리카 지역이 3.3%를 차지하고 있음.

- 전 세계 폐기물 재활용 시장을 폐기물 양에 따라 지역별로 살펴보면, 아시아-태평양 지역이 2018년을 기준으로 45.1%의 점유율을 차지하고 있으며, 유럽 지역이 32.5%, 미국 지역이 16.5%, 중동-아프리카 지역이 5.9%를 차지하고 있음.

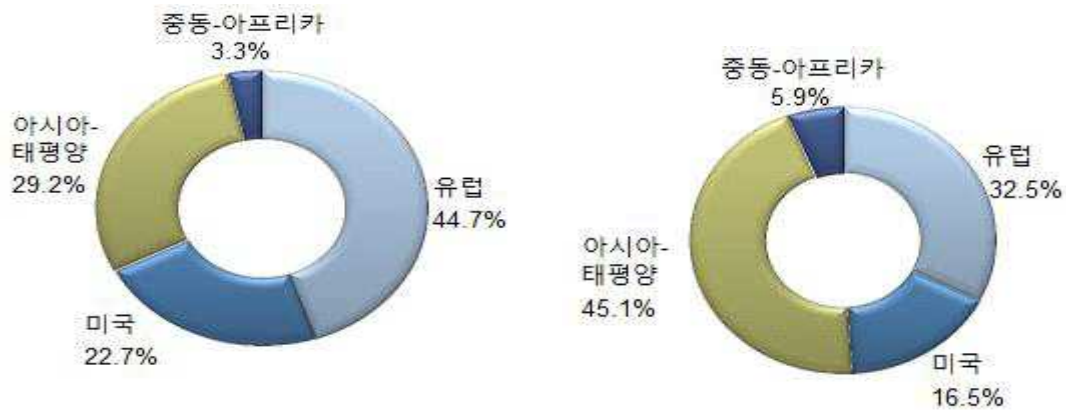


그림 26. 좌) 글로벌 폐기물 재활용 시장 지역별 시장 점유율, 우) 글로벌 폐기물 재활용 시장 종류별 시장 점유율
(출처 : Frost & Sullivan, Global Waste Recycling Market Outlook, 2018)

- 현재 전 세계적으로 28개의 배출권 시장이 운영 중이다. 이 중 가장 규모가 큰 배출권 시장은 EU-배출권시장(EU-ETS)으로 EU 회원국 28개국과 노르웨이 등 30여 개국이 참여하는 국제시장임.
- 미국과 중국, 캐나다, 일본 등은 지방정부 단위에서 다양한 배출권 시장을 운영 중이며, 우리나라, 뉴질랜드, 스위스 등에서는 전국 단위 배출권거래제를 시행하고 있음.
- 배출권 시장을 통해 규제되고 있는 온실가스 배출량은 총 50억 톤에 달함.

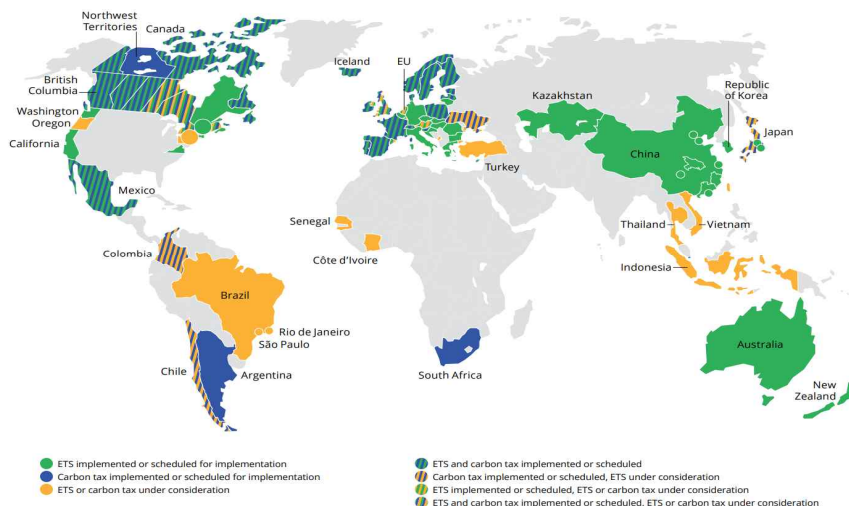


그림 27. 전 세계의 배출권 시장(2020)
(출처 : World Bank, State and trends of carbon pricing)



그림 28. 세계 각국의 배출권 가격(2021)

(출처 : World Bank, State and trends of carbon pricing)

(2) 국내 시장 동향

- 국내 연도별 폐기물 종류별 발생 추이에 따르면 '19년도 총 폐기물 발생량은 497,238 톤/일, 전년(446,102톤/일) 대비 약 11.5% 증가하며, '19년도 폐기물 종류별 구성비는 건설폐기물 44.5%, 사업장배출시설계폐기물 40.7%, 생활계폐기물 11.7%, 지정폐기물 3.1% 순으로 나타남.



그림 29. 폐기물 종류별 발생 추이

표 19. 연도별 폐기물 종류별 발생 추이

구분		2014	2015	2016	2017	2018	2019
총계	발생량	401,658	418,214	429,128	429,531	446,102	497,238
	전년대비 증감률	2.2	4.1	2.6	0.1	3.9	11.5
생활계 폐기물	발생량	49,915	51,247	53,772	53,490	56,035	57,961
	전년대비 증감률	2.4	2.7	4.9	-0.5	4.8	3.4
사업장 배출시설계 폐기물	발생량	153,189	155,305	162,129	164,874	167,727	202,619
	전년대비 증감률	3.2	1.4	4.4	1.7	1.7	20.8
건설 폐기물	발생량	185,382	198,260	199,444	195,262	206,951	221,102
	전년대비 증감률	1.0	6.9	0.6	-1.6	5.4	6.8
지정 폐기물	발생량	13,172	13,402	13,783	14,905	15,389	15,556
	전년대비 증감률	6.2	1.7	2.8	8.1	3.2	1.1

- 국내 폐기물 시장규모는 2025년 23조 7000억에 이르며, 2015년부터 연평균 7.5%의 성장을 보일 것으로 예상됨.



그림 30. 국내 폐기물 시장 규모 전망

- 국내 탄소배출권 시장은 거래금액 측면에서는 매우 작은 시장이나 시가총액(연간 기준) 규모에서는 EU-ETS에 버금가는 규모를 가지고 있으나, 배출권 유상할당을 통한 정부 세수 규모는 매우 적음. 이는 EU-ETS에 비해 2%에도 못 미치는 수준인데,
 - 국내 탄소배출권 거래제에서는 총규모의 90%에 달하는 배출권을 무상으로 기업들에 할당하고 있으나, 이는 배출권거래제 도입 초기에 산업계의 부담을 완화하기 위해 많은 배출권을 무상으로 할당하였음.
 - 온실가스 배출권거래제 제3차 계획기간(2021~2025)부터 점진적으로 무상할당 규모를 축소할 예정임.

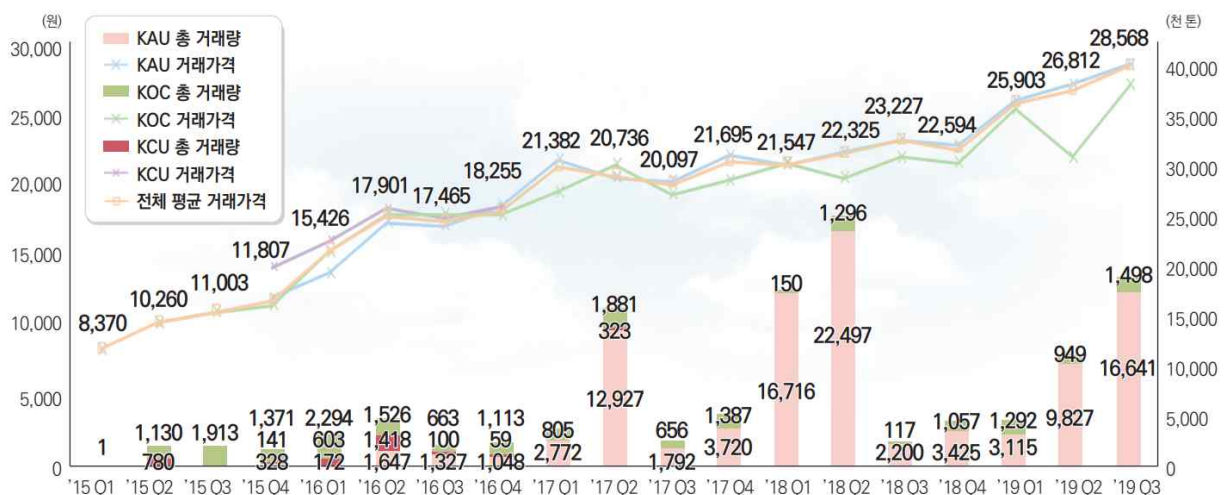


그림 31. 국내 탄소배출권 가격 추이

다. 기술환경 분석

(1) 국내외 기술 동향

(가) 국외 기술 동향

- (UNIFE 친환경 설계 기술) 유럽연합 및 차량 제작사는 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment, 폐기 전기전자제품 처리지침), ELV(End-of-life Vehicles Directive, 폐자동차 처리지침) 및 RoHS(Restriction of Hazardous Substances Directive, 유해물질 제한지침) 등의 국제환경규제 대응을 위하여 친환경 해체 및 제조기술을 철도 차량 기술에 접목, 철도차량의 재활용률을 개선하였으며, 사용규제물질을 설계단계에서 차단할 수 있는 시스템을 구축하여 운영하고 있음.

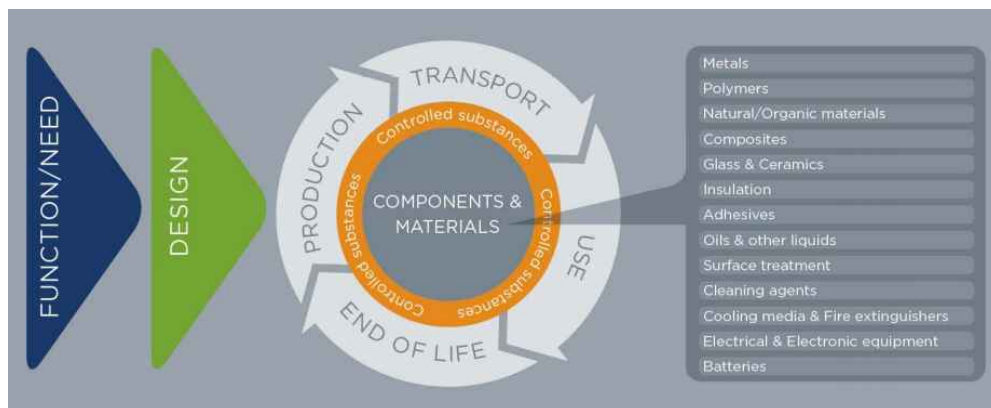


그림 32. 철도차량 친환경 설계 가이드라인(봄바르디에르, 스웨덴)

- 유럽의 경우, 강화된 환경규제에 대응하기 위한 환경기술력을 확보하고 있으며 철도 차량의 환경성을 전반적(재료별, 제작공정별, 운행단계 에너지 소요량 및 재활용 현황 등)으로 분석하여 환경개선을 위한 대형 프로젝트(RAVEL, REPID, PROSPER 등)가 추진되었음.
- RAVEL(RAil VEHicLe eco-efficient design, 1998~2002): 철도차량의 전 과정 환경 경제성을 고려한 환경성능평가지표 (Environment Performance Index, EPI) 산출에 대한 연구
- REPID(Rail sector framework and tools for standardizing and improving usability of Environmental Performance Indicators and Data formats, 2002~2005): RAVEL 프로젝트 결과물인 EPI를 유럽철도 관련 기관이 활용할 수 있는 데이터포맷 표준화와 법률적으로 프레임 워크를 구성. EPI와 데이터포맷의 사용성을 위한 도구 개발

- PROSPER(Procedure for Rolling Stock Procurement with Environmental Requirements, 2003~2005): 신규 철도차량 구매 및 제작을 위한 환경성능 평가항목 및 가이드 개발

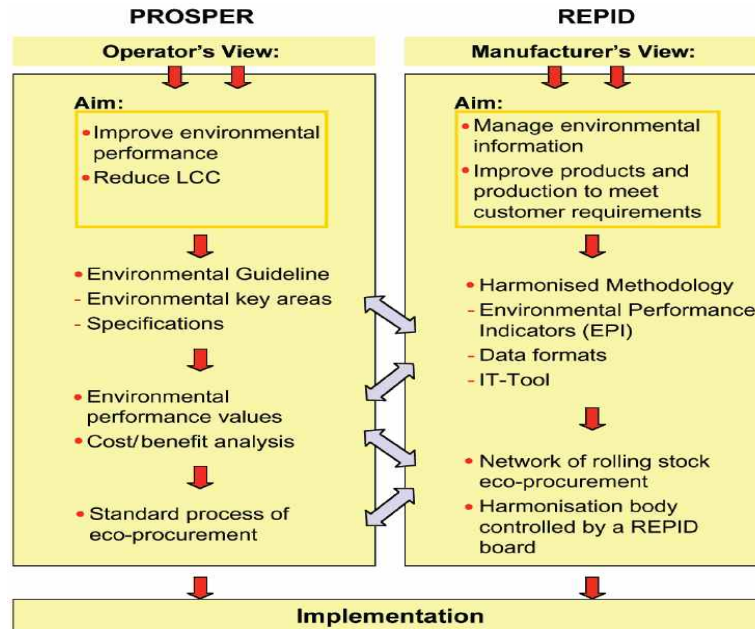


그림 33. 유럽 철도차량 환경성 개선 관련 프로젝트 예

- 유럽 철도차량 제작사(지멘스, 봄바르디에르 및 알스톰 등)는 철도차량의 전 과정 환경성 평가를 통하여 차량 재료별 환경성 정보를 데이터베이스화하여 설계단계에서 전과정 환경성을 고려한 친환경 철도차량 제작 인프라를 구축, 활용하고 있음.

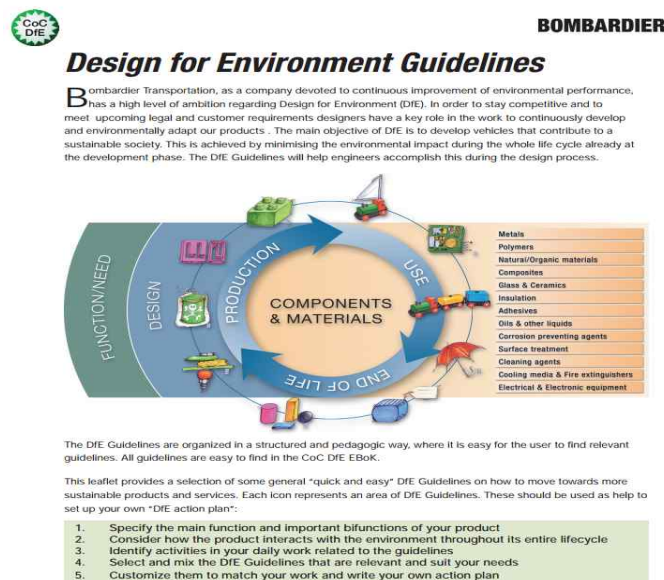


그림 34. Bombardier 철도차량 친환경설계 가이드

- 2013년 UNIFE에서 발표한 “Recyclability and Recoverability Calculation Method Railway Rolling Stock”에서는 ISO 22628 표준을 기반으로 폐철도차량 재활용률 및 회수율 산정방법을 제시하였으며, ISO 21106 제정 후 해당 표준을 반영함.


unife
THE EUROPEAN RAIL INDUSTRY

Railway product recycling rate Calculation

Document version: 2012-02-03

Project name:		Project no.:		Project version:	
Total Product Mass, MV [kg]:	0	Mass REUSED [kg]	-	Mass processed [kg]	0
Mass RECYCLED [kg]	0	Mass RECOVERED as Energy [kg]	-	Mass for DISPOSAL [kg]	-
Mass material recovered (REUSE+RECYC)	0	Industrial Batteries	-	Mass DISMANTLED (%)	100%
Reusability	0.0%	Recyclability Rate	100.0%	Recovery rate	100.0%

Material classified by Categories	Metals		Elastomers		Polymers (excluding elastomers)					Glass		Fluids		MONM		Others	
	FE metals	Non FE metals	Elastomers (unfilled)	Thermoplastics (unfilled)	Thermoplastics (glass filled)	Thermosets (unfilled)	Thermosets (glass filled)	Carbon or natural fiber reinforced polymers	Glass	Safety Glass (shatterproof glass)	Oil, grease or similar	Acids and Cooling agents or similar	MONM (leather, wood, cotton fleece...)	Electric / Electronic	Ceramics	Mineral wool	
Treated	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recycled	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Energy Converted	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

m _p -Pretreatment (the Modules/ Systems or Goups to be pretreated must be described in sheet pre-treatment)	total mass extracted at pre-treatment		Material reused	Material treated	Material recycled	Material recovered as energy	Total Material recovered	Material not recovered
			mp(reu)		mp(rm)	mp(re)	mp(reu) + mp(rm) + mp(re)	mp(dis)
	TOTAL		0	0	0	0	0	0
	Fluids	Oil, grease or similar	0	0	0	0	0	0
	Others	Acids and Cooling agents or similar	0	0	0	0	0	0

m _d -Dismantling (the Modules/ Systems or Goups to be dismantled must be described in sheet dismantling)	total mass extracted at dismantling		Material reused	Material treated	Material recycled	Material recovered as energy	Total Material recovered	Material not recovered
			md(reu)		md(rm)	md(re)	md(reu) + md(rm) + md(re)	md(dis)
	TOTAL		0	0	0	0	0	0
	Metals	FE metals	0	0	0	0	0	0
		Non FE metals	0	0	0	0	0	0
	Elastomers	Elastomers (unfilled)	0	0	0	0	0	0
		Thermoplastics (unfilled)	0	0	0	0	0	0
	Polymers (excluding elastomers)	Thermoplastics (glass filled)	0	0	0	0	0	0
		Thermosets (unfilled)	0	0	0	0	0	0
		Thermosets (glass filled)	0	0	0	0	0	0
		Carbon or natural fiber reinforced polymers	0	0	0	0	0	0
	Glass	Glass	0	0	0	0	0	0
		Safety Glass (shatterproof glass)	0	0	0	0	0	0
	Fluids	Oil, grease or similar	0	0	0	0	0	0
	MONM	MONM (leather, wood, cotton fleece...)	0	0	0	0	0	0
Others	Electric / Electronic	0	0	0	0	0	0	
	Ceramics	0	0	0	0	0	0	
	Mineral wool	0	0	0	0	0	0	

m _{shf} -Shredding (shredder heavy fraction SHF)	total mass Shredded		Material reused	Material treated	Material recycled	Material recovered as energy	Total Material recovered	Material not recovered
					mp(rm)	mp(re)	mp(rm) + mp(re)	mp(dis)
TOTAL		0	0	0	0	0	0	0
Metals	FE metals	0	0	0	0	0	0	0
	Non FE metals	0	0	0	0	0	0	0
m _{slf} -Shredding (shredder light fraction SLF)	Non-metals		0	0	0	0	0	0

그림 35. 철도차량 재활용률 계산 템플릿(UNIFE, 2013)

- (프랑스 Alstom) 알스툼은 철도차량의 설계 선택에 따라 재활용 가능한 재료를 적용하고 있으며, 철도차량은 평균적으로 92% 이상 재활용 가능(recyclability)하고, 97% 이상 재회수가 가능(recoverability)함(에너지 형태의 재회수 포함).
- 재활용 재질은 금속, 구리, 플라스틱, 목재, 유리 및 석면 등으로 예를 들면, Ramery의 자회사인 Ramery Environment에서 석면 제거를 담당하고 있으며, LME(Lamodes Marchands Europeens)-Trith 제철소에서 회수된 금속들이 사용되고 있음.

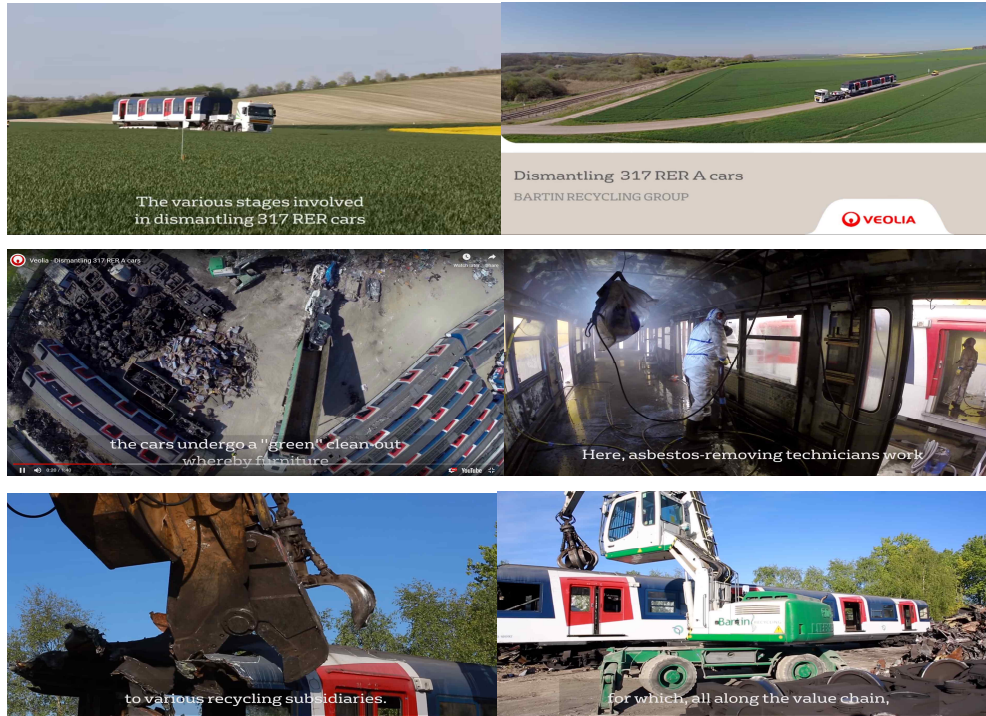


그림 36. 프랑스 Veolia 폐철도차량 재활용 과정 및 관련 모습

- 철도차량의 수명연장 솔루션: 철도차량 및 시스템 수명연장을 제공하며 편안함과 서비스를 업그레이드할 수 있는 기능을 제공함.
 - 성능 향상: 예를 들어 Urbalis FluenceTM는 최적화된 설계로 트랙 사이드 장비 수를 20% 줄인 신호 솔루션임.
 - 재활용 또는 재활용 가능한 부품의 사용 증가: 자체적으로 재활용된 재료가 약 20%가 포함되고, 유기 섬유 절연시스템은 40%에서 100% 재활용된 재질이 포함됨.
 - 구성 요소 재사용: 시트와 등받이를 수리해서 폼과 패브릭을 간단하게 교체할 수 있는 솔루션을 제공하여 금속 프레임 재사용 할 수 있음.
- (프랑스 Alstom) 철도차량의 친환경설계는 제품 전 과정의 모든 단계에서 환경영향 최소화를 고려하고 있으며, 친환경설계 프로세스는 IEC 62430을 적용하고, 모든 제품 설계자를 대상으로 교육·훈련을 진행하고 있음.
- 친환경설계는 제품 전과정(LCA) 접근방법을 적용하고 있으며, 원료물질 및 제조(부품의 천연자원 사용 저감), 제품 운영(이산화탄소 감축, 환경적 리스크 제한, 에너지 효율 제고 등), 폐기(제품의 재활용 가능성) 등을 포함하고 있음. 제품의 환경 성과

평가를 위해 전과정평가 도구인 EIME 소프트웨어를 적용하고 있음.

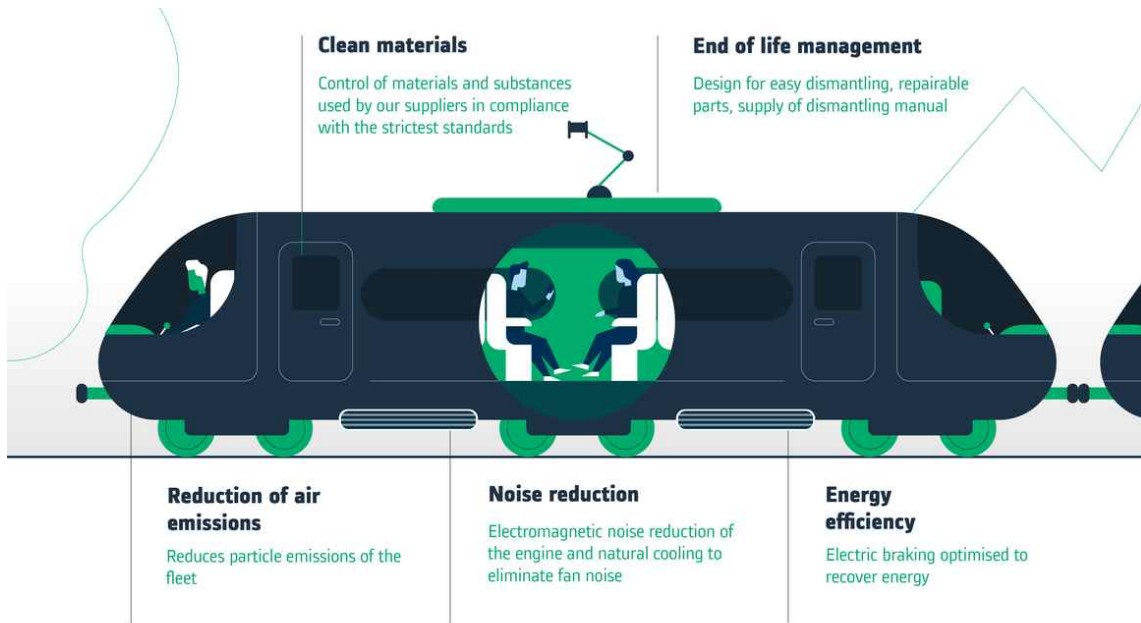


그림 37. 프랑스 ALSTOM 친환경설계 개념도

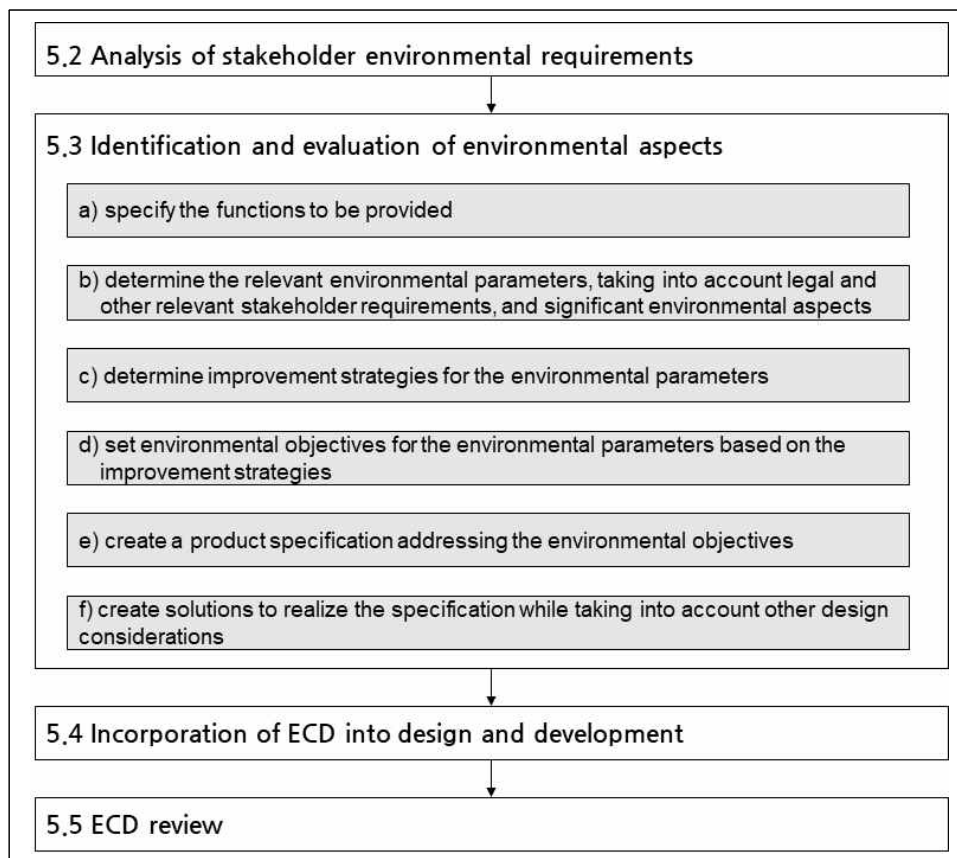


그림 38. IEC 62430 친환경설계 프로세스

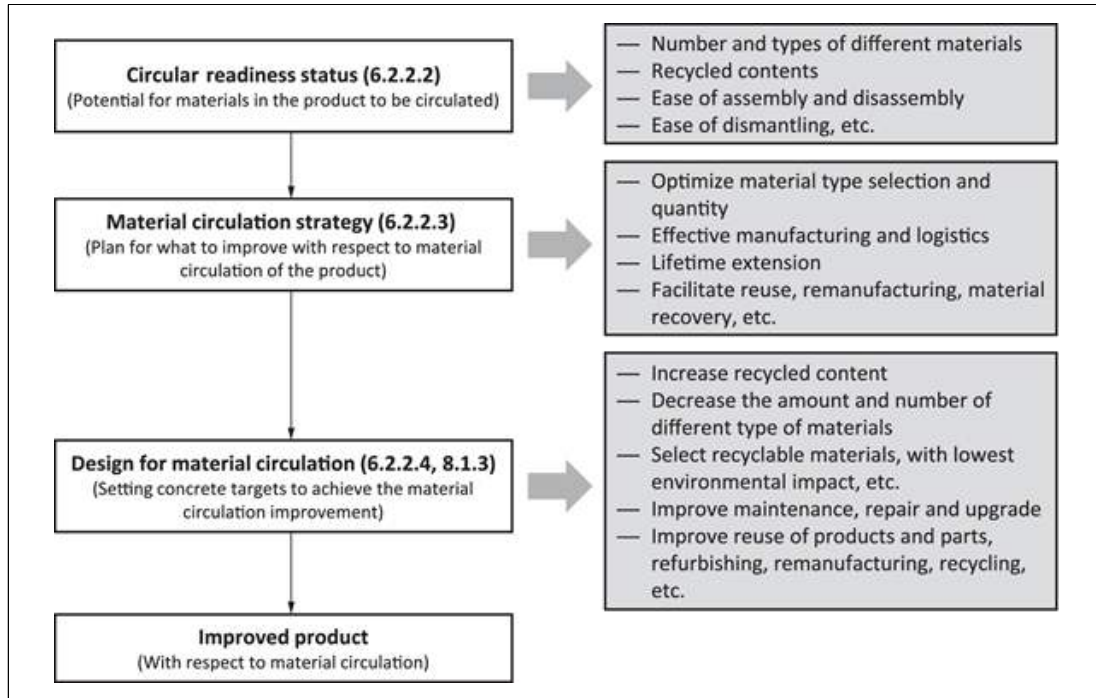


그림 39. ISO 14009 친환경설계 프로세스

- (프랑스 SNCF) 프랑스 국영철도운영사인 SNCF는 일부 기술센터에서 수명이 다한 철도차량을 해체하고 있으며, 이를 통하여 중고 부품 판매 등의 수익을 창출함.

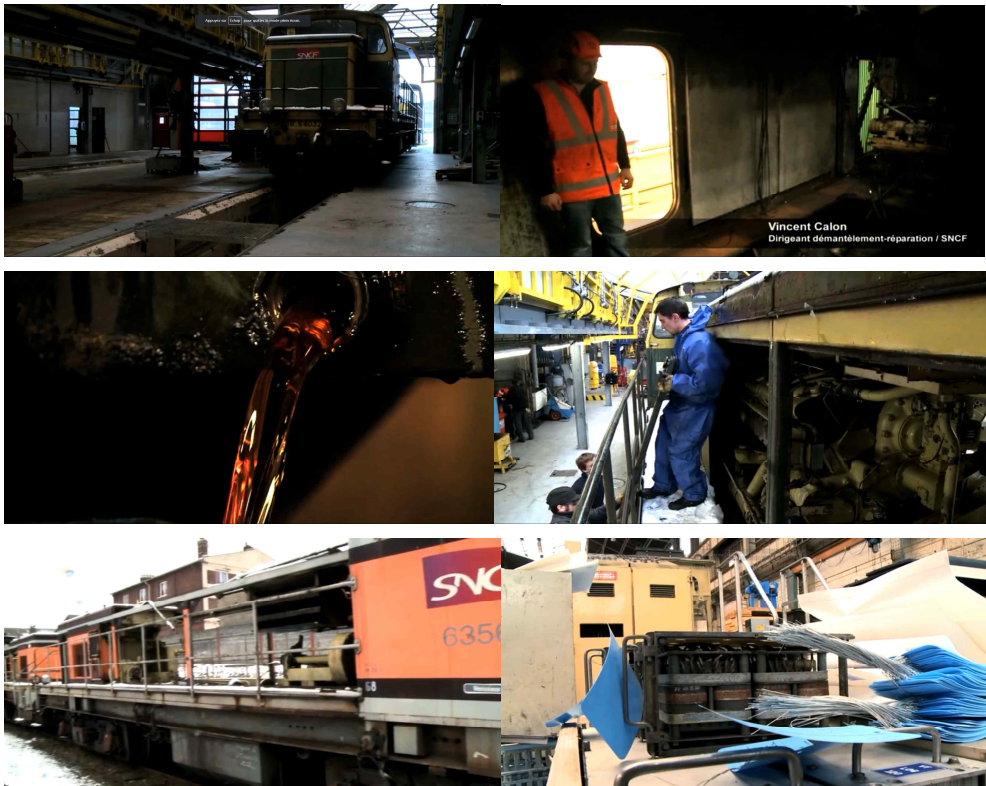


그림 40. 프랑스 SNCF 폐철도차량 처리 모습

- 석면 제거 전문회사 작업으로 석면 제거 및 장비를 청소하고 분해한 뒤, 엔진, 컴프레서, 라디오, 전자카드 등 사용된 많은 부품이 네트워크 공급을 위해서 회수되어지며, 차량의 외부는 금속 재활용산업으로 보내져 처리되어지는 구조임.
 - 약 25톤의 금속의 판매만으로도 분해를 위한 인건비 등을 충당할 수 있으며 회수된 부품의 판매로 추가적인 이익이 발생하며, 이는 수십만 유로 이상의 수준임.
- (프랑스 SME) 철도차량의 해체 재활용 과정에서 환경오염(비산, 누유 등)을 최소화하는 방안이 의무화되어 있으며, 열차 선로, 철도차량 해체 전용 실내 작업공간(비산 방지 및 모니터링 시스템, 내부 구성품 회수) 등이 갖추어져 있음.



그림 41. 프랑스 SME 해체 작업장 모습

- (영국 CF Booth사) 1960년부터 디젤 및 전기기관차의 해체와 관련된 사업을 시작으로 현재 영국에서 가장 큰 철도 재활용업체 중에 하나로 여러 주요 철도 운영 회사들과 협력을 하고 있음.



그림 42. 영국 CF Booth 업체 홈페이지 및 해체 작업장

- 영국의 CF Booth 철도차량 사업부는 상당한 양의 철도차량을 허용하는 1,500m의 레일 사이딩을 보유하고 있으며, 수명이 다한 철도차량에서 석면을 제거 및 폐기는 이 업체 그룹의 Demex LTD에서 지원하고 있음.
 - Demex Ltd는 모든 유형의 석면을 안전하게 제거할 수 있도록 HSE(Health and Safety Executive) 라이선스를 받았으며 많이 훈련되고 공인된 작업자들이 최신 장비와 기술을 사용하여 석면을 안전하게 제거하고 폐기하고 있음.
- (네덜란드 DDM 업체) 암스테르담 항구지역 부근에서 네덜란드 기업인 DDM(Demolition, Dismantling, Relocation; 해체 및 분해, 파쇄, 석면 제거 등의 작업을 수행하는 업체)에서는 복층 열차를 96% 재활용 목표를 가지고 분해 및 재활용 작업을 수행하였으며, 해당 작업은 2018년부터 3년 계약으로 총 80-100개의 여러 모델의 폐철도차량을 처리하는 프로젝트의 일환으로 수행되었음.

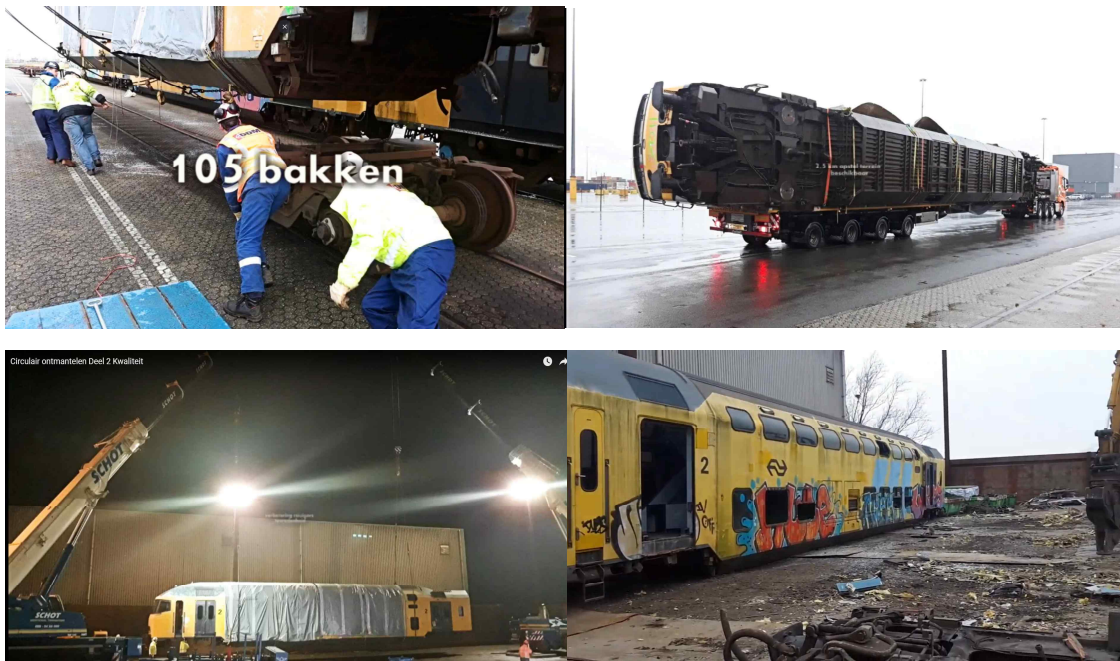


그림 43. 네덜란드 기업 DDM 폐철도차량 해체작업 모습

- 회수 현장의 트랙에서 폐기된 폐열차에서 가능한 모든 구성 요소와 유체를 제거하며 운송을 점검하고 필요한 경우 추가 조치함.
- 측면에 놓고 10km 떨어진 해체 장소로 공용도로를 통한 특수 운송장치를 이용하여 이동하고, 최종 해체 후에는 플라스틱, 철, 고무 및 유리 이외에 남겨진 것은 없음.

- (영국 Hanson & Hall 사) 수명이 종료된 철도차량을 99% 이상 재활용하고 있으며, 회수되는 부품에 대한 보관 및 물류, 대체 방법을 위한 차량 재사용을 추진, 응급 서비스 훈련시설, 자선단체, 호텔 숙박시설로 재사용하기 위해 수명이 다한 철도차량을 제공한 사례도 있음.

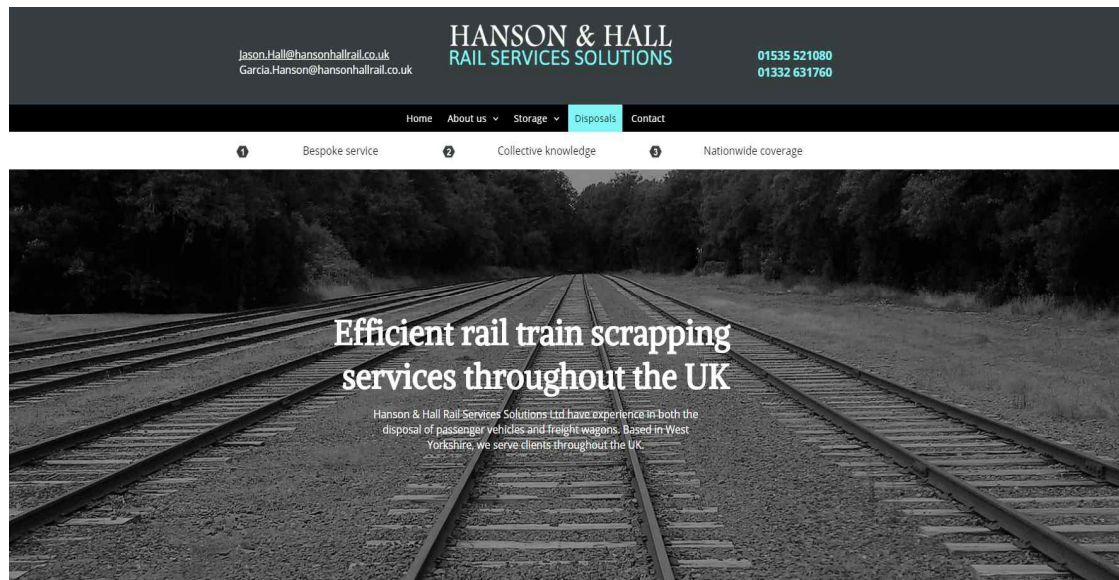


그림 44. 영국 Hanson & Hall 회사 폐철도차량 재활용 서비스

- (이탈리아 VICO 사) Alstom Grid S.P.A에서 단열된 석면 함유 물질의 분해 및 재생을 위하여 현장에서 제거 및 회수하여 Vico 회사 소유의 카이로 몬테노테에 위치한 Area 51에서 회수, 처리한 사례가 있음.
 - 이동이 불가능한 폐 열차 수거, 처분 및 해체를 2018년도에 수행하였으며 모든 철도 차량은 해체된 차량 CER 160104로 표기되어 유해폐기물로 처리되었으며 카이로 몬테노테 (SV)에서 허가된 회수 및 처분장소로 운송되어 처리되었음.
 - 2018년 Terralba(제노아)의 저장구역 근처 터미널 트랙에서 충돌사고가 있었던 철도 차량을 이동 및 회수처리 한 경험이 있으며 이때 사고난 차량을 들어 올리기 위한 적절한 허가된 크레인을 사용하였으며 예비 점검 후 안전하고 해당 규정에 따라 안전장치를 설치하고 카이로 몬테노테테테 사이트로 옮겨서 처리작업을 시행하였음.



그림 45. 이탈리아 Vico 회사 폐열차 해체 사례

- (일본) 철도차량의 전 과정을 고려하여 설계단계에서는 재활용률을 향상시키기 위한 설계 기술을 개발·적용하거나, 폐기단계에서는 과정에서 발생하는 환경오염(석면, 온실가스 등) 및 자원 낭비로 인한 경제적 손실을 예방하기 위해 전처리-해체-슈레딩 단계로 구분하여 부품 및 소재별 재활용률 제고 및 환경친화적 처리를 진행하고 있음.
- 예를 들어, 도쿄 메트로의 차체 소재인 알루미늄 합금에 대해 재활용률을 고려하여 설계 기술을 개발·적용함으로써 재활용률이 1960년대에는 차체 1량당 80% 수준에서 2000년대에는 90% 이상으로 향상되었음.

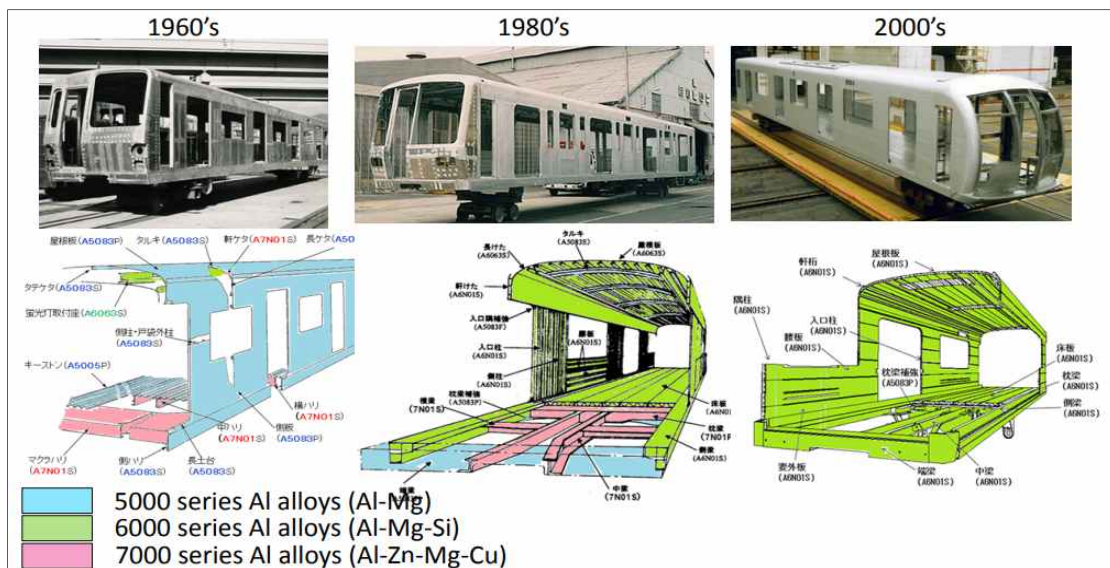


그림 46. 도쿄 메트로 차체 재활용을 고려한 설계기술 변화 모습(출처:일본 알루미늄협회)

- 철도차량뿐만 아니라 대형버스, 트럭, 선박, 컨테이너 등의 대용량 운송 수단에 대한 폐기단계에서의 해체 및 재판매가 가능한 설비를 확보하여 실제 월 100량 규모의 철도차량을 처리하고 있으며, 이를 통해 폐기단계에서 철도차량의 재활용률이 90% 이상을 확보하고 있음.

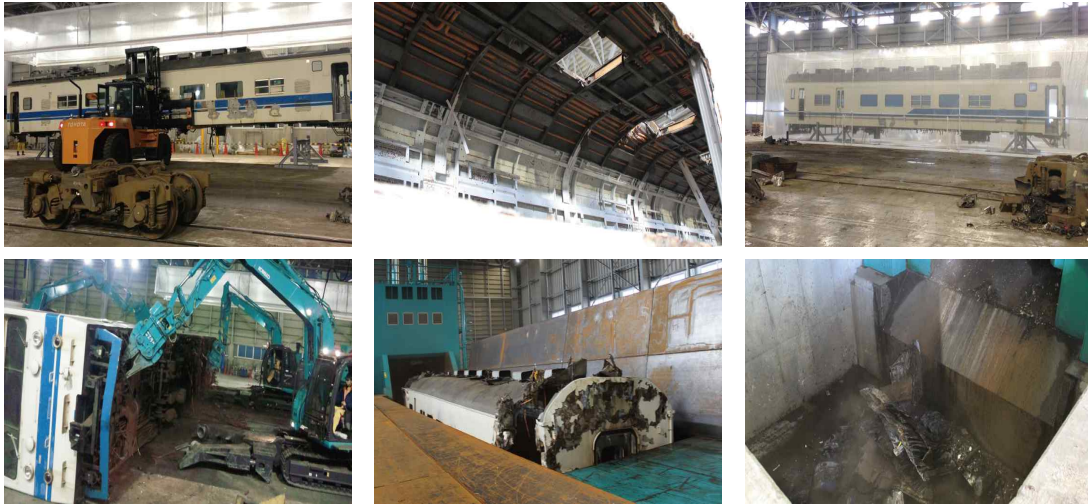


그림 47. 일본 폐철도차량 친환경 처리 및 자원회수 시설 운영현황(TOYAMA)

(나) 국내 기술 동향

- (열차펜션사업) 레일 위의 폐객차를 활용하여 숙박시설을 제조함으로써 관광 기반 시설을 제공하여 숙박시설과 관광지로 활용됨.
- 열차 펜션 사업의 예로, 화천열차펜션은 폐객차인 새마을호를 개조해 관리동, 특산물 판매장으로 이용될 기관차 1량과 객차 10량을 개조하여 21개의 객실로 구성됨.



그림 48. 화천열차펜션 모습

○ (철도차량 재활용 인공어초사업) 육상 화물수송에 사용되던 화차 중 내구연한이 경과한 철도차량을 자원 재활용하여 공공자산을 효율적으로 이용함으로써 경제성면에서 우수함.

- 일반 강재보다 내구성이 뛰어난 고탄소강으로 이루어진 레일은 내부의 복잡한 공간을 형성하며 와류형성 및 음영효과가 뛰어나 어류 위집에 효과적이고 내부의 사석은 새우, 게 등의 소형저서동물의 서식처 및 은신처 역할 뿐만 아니라 무게 중심을 하부에 두어 고중량, 저중심으로 파랑, 조류의 외력에 대한 전도, 이동에 대한 안정성이 높음.



그림 49. 인공어초 활용 모습

○ (원형매각 또는 고철매각) 국내에서는 철도차량의 폐차 시 원형매각 및 고철매각 공개 입찰을 통해 폐차 시행되며, 폐차된 차량은 종종 해체 처분됨.

- 해체는 주요 장치를 분리하여, 구체를 녹여 절단해 나가는 방법과 중장비 등으로 때려 부숴 해체하는 방법 등이 있음.

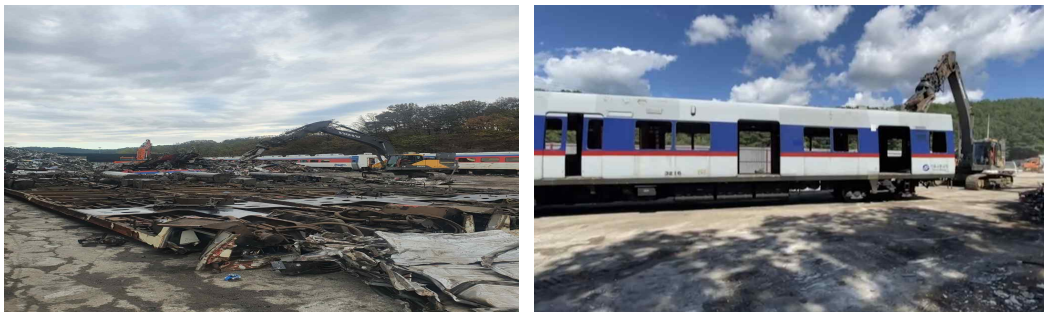


그림 50. 폐철도차량 해체 작업 모습

- (폐철도차량 해체 작업) 폐철도차량의 해체 작업은 크게 대차와 차체를 분류하여, 포크레인이나 산소절단 등으로 차체 절단 및 분해를 진행한 후 재질별 선별을 통해 재활용업체로 매각 처리하고 있음.



그림 51. 폐철도차량 해체 공정도

- 일반적으로 고철 및 비철 금속류만 재활용을 진행하고 있으며, 나머지 재질에 대해서는 폐기물로 처리를 진행하고 있음. 폐철도차량으로부터 해체된 고철 및 비철은 제철소 등에 입고, 제련 과정을 통해 재생되어 여러 분야의 소재로 사용됨.
- 현 수준의 해체 기술을 적용하여 철도차량을 폐기 처리한 결과, 전동차는 전체 중량의 약 8.2% 이상, 무궁화호는 약 20% 내외로 폐기물이 발생하였음.
- 전동차에서 발생하는 폐기물 중 차량 외부의 퍼티(도장면)가 약 3%로 비율이 가장 높았으며 고무, 유리, 유리섬유 순서로 약 1%, 타르, FRP, 목재는 0.2~0.6%를 차지하였음.
- 무궁화호에서 발생하는 폐기물은 목재(5.85%), 고무(3.95%), 스펀지(3.07%), 퍼티(2.74%), 유리(1.77%) 순이었으며, 그 외에도 플라스틱, FRP, 타르, 천, 형광등 등이 차지하였음.



그림 52. 철도차량 폐차 처리 과정에서 발생하는 주요 폐기물 예

- 철도차량의 무분별한 폐기로 2차 환경오염 문제(폐기물 무단투기, 비산 먼지, 냉매 배출 등)를 유발하여 사회적 문제로 대두됨.

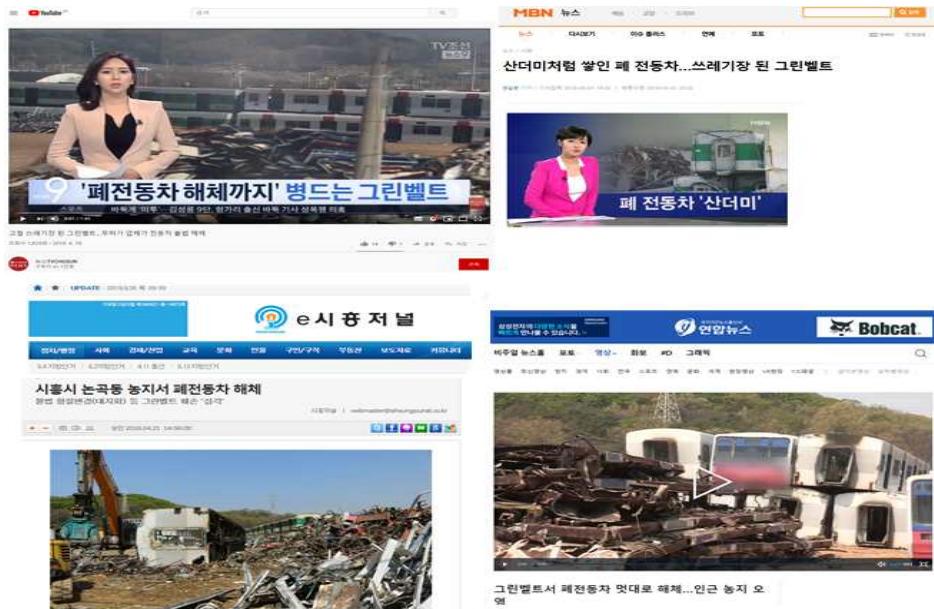


그림 53. 폐전동차 무단 해체에 따른 이슈 사례(2018)

- 철도차량 해체 작업으로 고철을 파쇄하거나 산소절단 시 다량의 먼지와 매연(대기 오염)이 발생하며, 해체 시 발생하는 기름에 의해 작업장 내 토양오염 유발 및 강수 시 침수로 인한 수질오염까지 우려됨.
- 일부 철도차량은 분쇄 시 차량 내부의 석면이 인체에 노출될 우려가 있으며, 이는 폐암, 악성중피종 등의 석면과 관련된 질병 발생률이 높아짐. 또한 철도차량 단열 및 내화재인 유리섬유 적출에 의한 분진과 이물질 등이 발생할 수 있음.



그림 54. 철도차량 폐차 처리 과정에서 환경오염 유발 모습

- (철도차량 해체 문제점 - 전동차) 차체의 단열 등을 위해 유리섬유와 타르를 사용하고 있는데 일반적으로 포크레인을 이용하여 차량의 해체 및 절단을 진행하므로, 차체

의 고철 등이 휘어지는 현상으로 인해 일부 폐기물(유리섬유, 고무, 목재 등)이 고철 사이에 끼임 현상이 발생하여 폐기물의 완전한 회수나 처리가 어려움.

- 차량의 폐기물의 완전한 선별을 위해 고철 사이의 모든 유리섬유를 수작업으로 제거하거나, 타르를 전동 드릴 등으로 긁어내는 작업을 진행할 시 상당한 작업시간이 소요되므로 해체 기술이나 대체 소재기술 개발이 필요함.

- (철도차량 해체 문제점 - 일반열차) 전동차와 유사하게 차량의 지붕과 바닥면에 단열을 위한 스펀지 재질이 포함되어 있으며, 이를 완전히 제거하기 위해서는 많은 시간이 소요되며, 객차에 배치된 다량의 의자는 고철, 스테인리스, 플라스틱, 스펀지, 천 등 다양한 재질로 구성되어 있음에 재활용 기술개발이 필요함.



그림 55. 철도차량 해체 시 재활용이 가능하나 폐기되는 부품 예

(2) 국내외 특허 동향

(가) 분석범위

- 본 분석에서는 탄소 상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술과 관련한 특허를 대상으로 동향 분석을 시행하였으며, 구체적인 기술분류체계 및 검색식은 다음과 같음.

표 20. 분석 대상 기술의 기술분류체계 및 기술 분류 기준

대분류	중분류	기술 분류 기준
탄소 상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술	유리 재활용 기술(AA)	- 철도차량의 제작 과정에서 재활용 유리를 활용하거나, 유리의 재활용을 용이하게 하는 기술 - 철도의 해체 시 유리를 재활용하기 위한 기술
	플라스틱 재활용 기술(AB)	- 철도차량의 제작 과정에서 폐플라스틱 재활용하거나, 플라스틱의 재활용을 용이하게 하는 기술 - 철도의 해체 시 플라스틱을 재활용하기 위한 기술
	기타 재활용 기(AC)	- 철도차량의 제작 과정에서 목재, 종이, 섬유 등을 재활용한 소재를 활용하거나, 소재의 재활용을 용이하게 하는 기술 - 철도의 해체 시 소재를 재활용하기 위한 기술

표 21. 검색식

Step	설명	검색식
S1	철도	(철도* 전차* 전철* 지하철* 기차* 열차* 전동차* 전기기관차* 모노레일* 기관차* 전동열차* (철도 adj 차량*) 트레인* 트레인* 서브웨이* 토레인* 모노레루* 덴샤* train* railroad* railway* locomotive* subway* monorail* mono-rail*)
S2	탄소상쇄 (재활용)	(탄소중립* (탄소 adj 중립*) 탄소상쇄* (탄소 adj 상쇄*) 자원순환* (자원* adj 순환*) 재활용* 재순환* 리사이클* 리사이클* 업사이클* 업사이클* 재생가능* 친환경* 환경친화* (환경 adj 친화*) 에코-프렌* (에코 adj 프렌*) 지속가능* (carbon adj neutral*) (carbon adj offset*) recycl* renew* reuse* upcycl* up-cycl* refreshable* eco-friendly* (eco adj friendly*) environment-friendly* (environment adj friendly*) sustainab*)
S3	주요 특허분류 (CPC)	● B61 : 철도 ● Y02P : 상품의 생산 또는 공정의 기후 변동 완화 기술 ● Y02W : 폐수처리 또는 폐기물 관리와 관련된 기후 변화 경감 기술 ● B29B : (플라스틱 가공) 성형되기 위한 재료의 제조 또는 전처리; 과립 또는 예비형성물 제조; 플라스틱을 포함하는 폐기물 재료의 다른 성분 또는 플라스틱의 회수

최종검색식

((철도* 전차* 전철* 지하철* 기차* 열차* 전동차* 전기기관차* 모노레일* 기관차* 전동열차* (철도 adj 차량*) 트레인* 트레인* 서브웨이* 토레인* 모노레루* 덴샤* train* railroad* railway* locomotive* subway* monorail* mono-rail*).key,cla. or (B61*).cpc.) and ((탄소중립* (탄소 adj 중립*) 탄소상쇄* (탄소 adj 상쇄*) 자원순환* (자원* adj 순환*) 재활용* 재순환* 리사이클* 리사이클* 업사이클* 업사이클* 재생가능* 친환경* 환경친화* (환경 adj 친화*) 에코-프렌* (에코 adj 프렌*) 지속가능* (carbon adj neutral*) (carbon adj offset*) recycl* renew* reuse* upcycl* up-cycl* refreshable* eco-friendly* (eco adj friendly*) environment-friendly* (environment adj friendly*) sustainab*).key,cla. or (Y02P* Y02W* B29B*).cpc.)

검색건수

한국	일본	미국	유럽	합계
3,365	7,799	21,542	6,187	38,893

(나) 유효 특허 선별 및 결과

- 탄소 상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술과 관련된 Raw Data에 재활용 소재를 활용하여 철도를 제작하는 기술, 철도를 제작할 시 소재의 재활용이 용이하도록 하는 기술 및 철도의 해체 시 소재를 재활용하는 기술에 대해 유효 건으로 선별하였으며, 본 분석과 무관한 기술은 노이즈로 제거하였음.

표 22. 유효 특허 선별 결과

기술카테고리		유효 특허 건수				
		한국	일본	미국	유럽	계
탄소 상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술	유리 재활용 기술 (AA)	27	40	41	32	140
	플라스틱 재활용 기술 (AB)	64	85	169	80	398
	기타 재활용 기술 (AC)	24	135	81	39	279
총 계		115	260	291	151	817

(다) 국가별 동향

- 연도별 출원 동향을 살펴보면, 1970년대부터 관련 출원이 이루어지고 있으며, 본격적으로 출원건수가 증가한 것은 2000년대 이후인 것으로 파악됨.

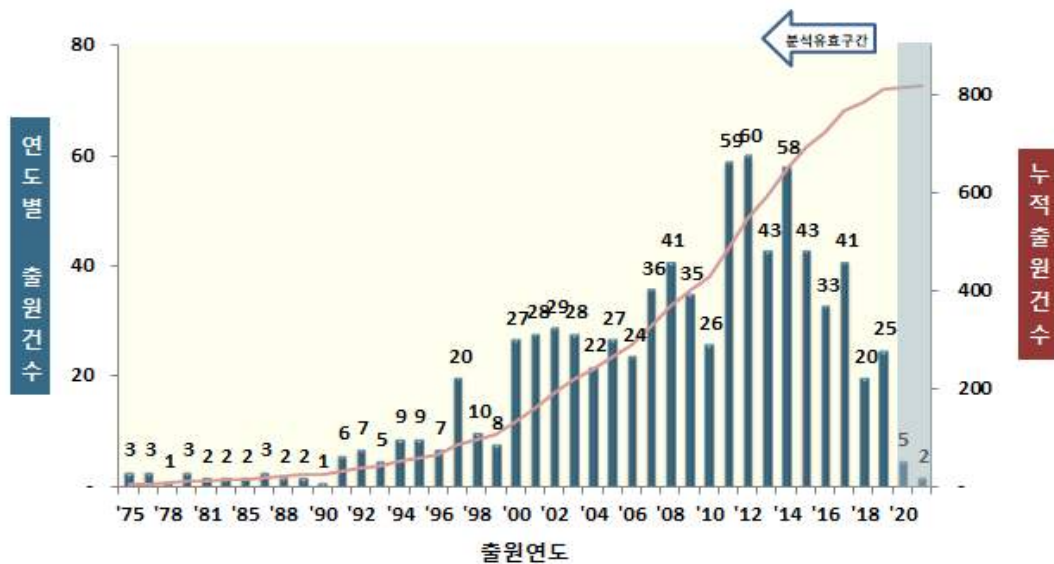


그림 56. 주요출원국 연도별 특허동향

- 전 지구적 기후 변화 및 환경 변화로 인해 주요 소재의 재활용에 대한 인식 변화가 출원건수에 영향을 미쳤을 것으로 추정됨.
- 2010년대 가장 많은 출원이 이루어진 후 다소 감소하는 추세인 것으로 파악되나, 최근 들어 미국 바이든 정부 및 유럽연합의 적극적인 탄소중립 관련 정책 등을 고려하면, 향후 관련 건수는 증가세로 전환될 가능성이 크다고 생각됨.

- 주요 시장국별 출원 점유율을 살펴보면, 미국이 291건(36%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 일본 260건(32%), 유럽 151건(18%)의 순인 것으로 나타남.

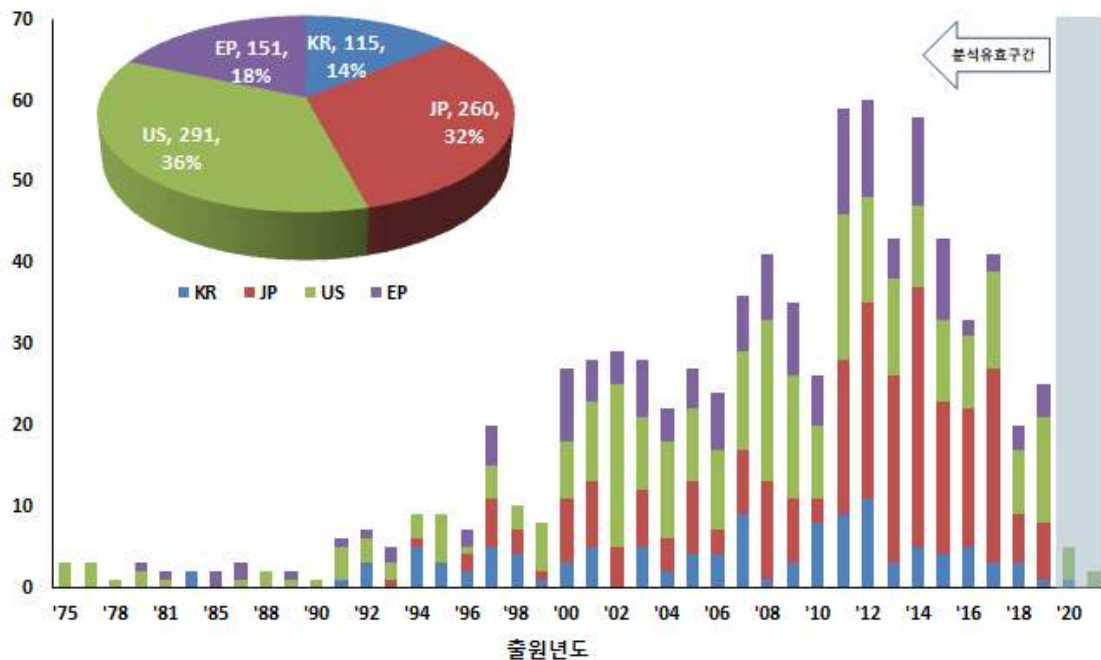


그림 57. 주요 출원국 연도별 특허동향

- 한국의 경우, 타 기술 분야와 달리 특허출원 주요국 중 가장 적은 출원 건수를 나타내고 있는바, 철도 분야에 있어 재활용 소재의 활용 및 사용하고 난 제품, 부품의 재활용 기술에 대하여도 적극적인 정책 및 연구개발이 필요한 상황이라고 판단됨.
- 세부 국가별 연도별 출원 동향을 살펴보면, 미국이 가장 일찍부터 연구개발을 수행한 것으로 판단되며, 연도별 경향이 전체 출원의 경향과 유사하므로 특허출원 경향을 선도하고 있는 국가인 것으로 파악되며, 일본의 경우 2010년 이후에 출원이 다수 집중되어 있어 최근 활발한 연구개발이 이루어지고 있다고 판단됨.
- 유럽의 경우는 타 기술 분야 대비 적극적인 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 분석되며, 한국은 분석구간 전반에 걸쳐 미흡한 출원이라 판단되나, 상대적으로 2000년대 중반 이후에는 다소 출원이 증가하고 있는 것으로 판단됨.

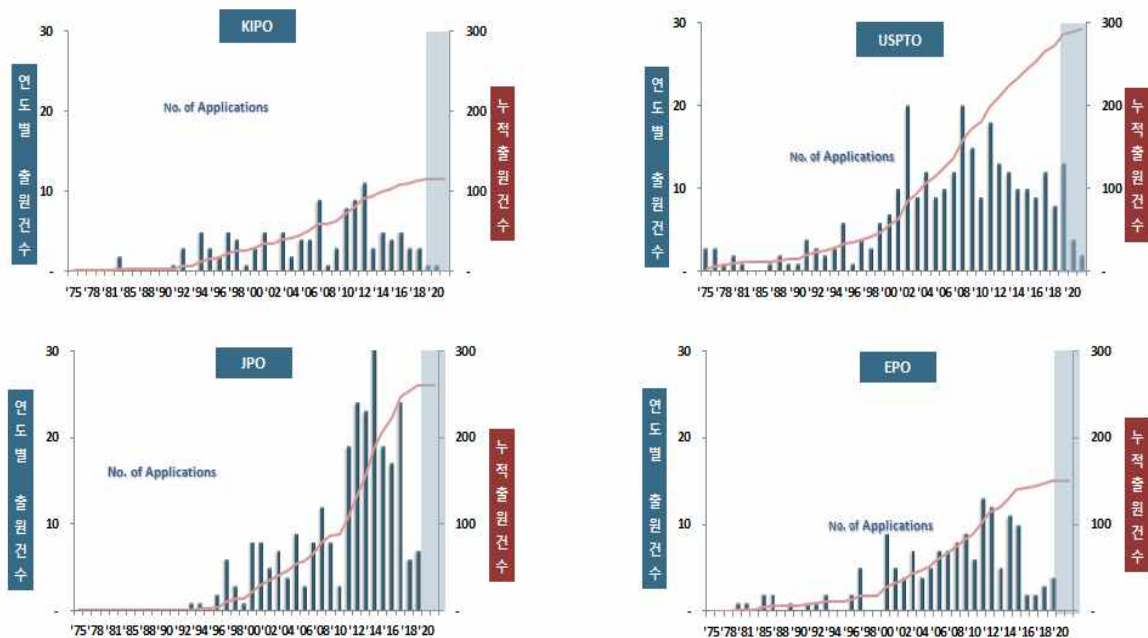


그림 58. 세부 출원국 연도별 특허동향

(라) 기술분류별 동향

- 기술분류별 출원 점유율을 살펴보면, 플라스틱, 고무 재활용 기술(AB)은 398건(49%)으로 가장 많은 점유율을 차지하고 있으며, 그 뒤로 기타 재활용 기술(AE) 279건(34%), 유리 재활용 기술(AB) 140건(17%)의 순으로 확인됨.

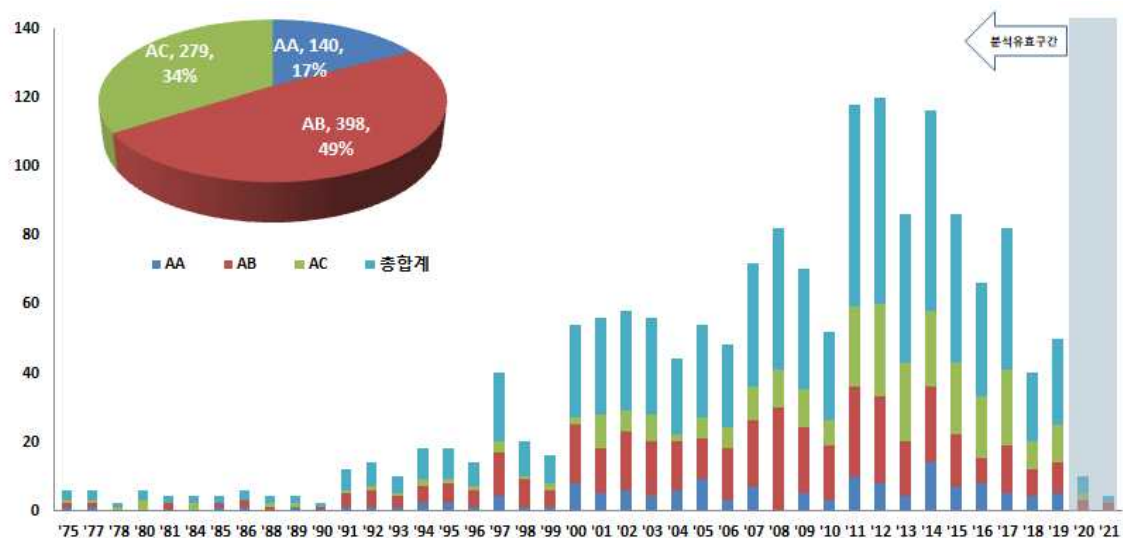


그림 59. 연도별 기술분류별 점유율 동향

(AA: 유리 재활용 기술, AB: 플라스틱, 고무 재활용 기술, AC: 기타 재활용 기술)

- 유리 재활용 기술(AA)의 주요출원국의 특허동향을 살펴보면, 미국이 41건(29%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 일본 40건(29%), 유럽 32건(23%), 한국 27

건(19%) 순으로 확인됨.

- 플라스틱, 고무 재활용 기술(AB)의 주요출원국의 특허동향을 살펴보면, 미국이 169건(43%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며 뒤를 이어, 일본이 85건(21%), 유럽 80건(20%), 한국 64건(16%)의 순으로 확인됨.
- 기타 재활용 기술(AC)의 주요출원국의 특허동향을 살펴보면, 일본이 135건(48%), 미국이 81건(29%)을 출원하였음.

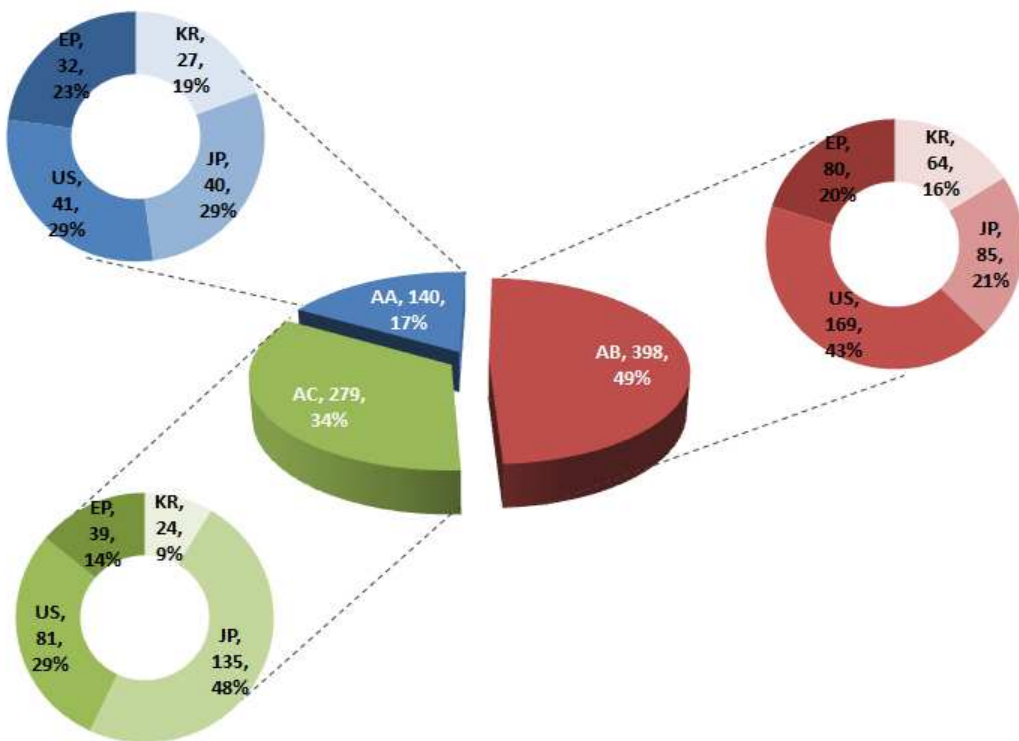


그림 60. 기술분류별 주요 출원국 특허 동향
(AA: 유리 재활용 기술, AB: 플라스틱, 고무 재활용 기술, AC: 기타 재활용 기술)

- 기술 분류별 IP 출원국을 살펴보면, 유리 재활용 기술(AA)의 경우, 미국 및 일본에서 활발하게 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 플라스틱, 고무 재활용 기술(AB)은 미국에서의 출원이 두각을 보이고 있고, 일본, 유럽은 유사한 수준이며, 기타 재활용 기술(AC)은 일본에서 집중하여 출원되고 있고, 미국도 활발한 연구개발이 이루어지는 것으로 분석됨.

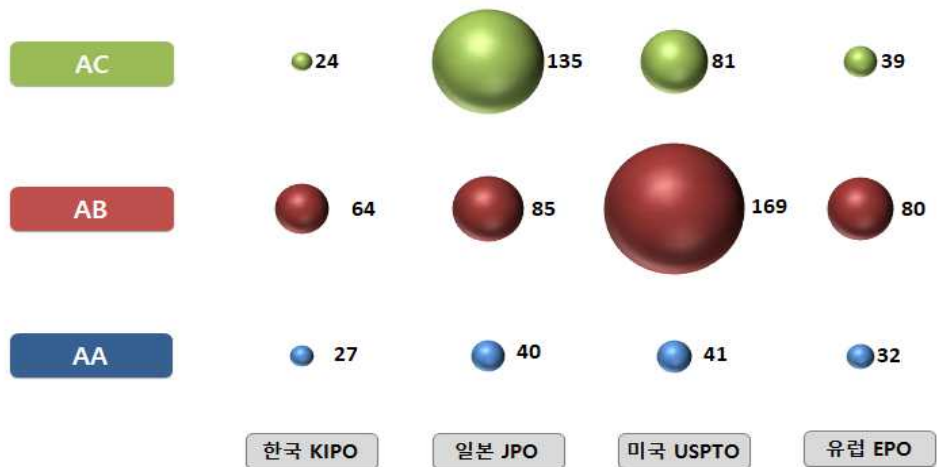


그림 61. 세부기술별 IP 출원국(버블의 크기: 출원 건수)
(AA: 유리 재활용 기술, AB: 플라스틱, 고무 재활용 기술, AC: 기타 재활용 기술)

(마) 출원인별 동향

- 주요 출원인별 특허 동향을 살펴보면, MURATA MFG가 51건으로 가장 많은 출원을 하고, 다음으로 ARKEMA FRANCE 32건, XYLECO 28건 순이었음.

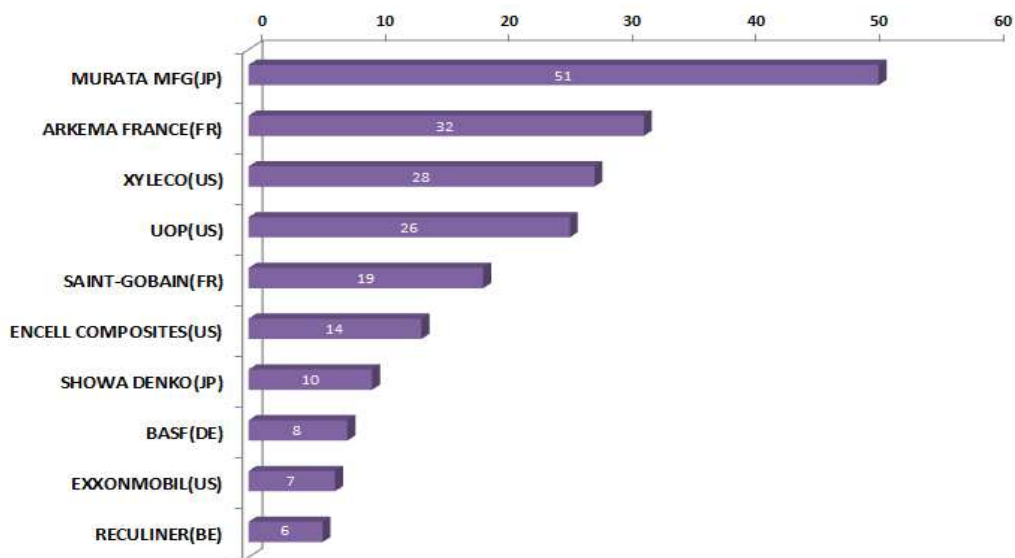


그림 62. 주요 출원인의 특허 출원 동향

- 주요 출원인 중 프랑스 SAINT-GOBAIN은 유리 재활용 관련 기술을 다수 출원하였고, 대부분은 플라스틱 재활용 기술과 관련된 출원인임.
- 주요 출원인 TOP10에는 미국 및 유럽 국적 출원인이 다수 포함되어 있어, 해당 국가 출원인의 연구개발이 활발한 것으로 추정됨.

- 주요출원인별 주요출원국 특허 동향을 살펴보면, 일본 국적의 출원인인 MURATA MFG은 자국 출원을 중심으로 하고 있으며, 다른 출원인들은 비교적 여러 국가에 권리를 시도하여 지역적 권리범위 확장에 힘을 쏟고 있는 것으로 판단됨.

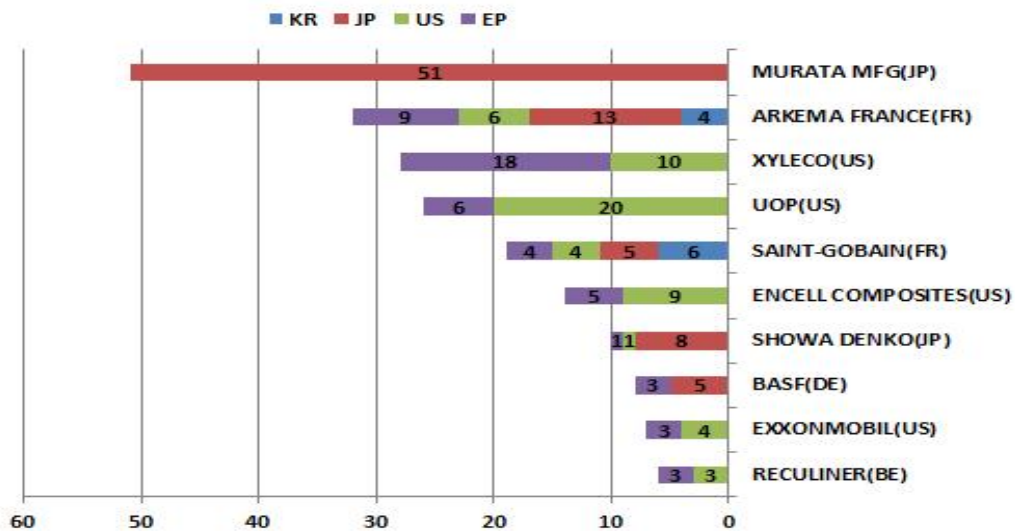


그림 63. 주요 출원인의 출원국별 특허 출원 동향

- 주요출원인별 기술분야별 특허 동향을 살펴보면, MURATA MFG의 경우 기타 분야, UOP는 플라스틱, 고무 재활용 분야, SAINT-GOBAIN은 유리 재활용 분야에 집중하고 있는 것으로 나타남.

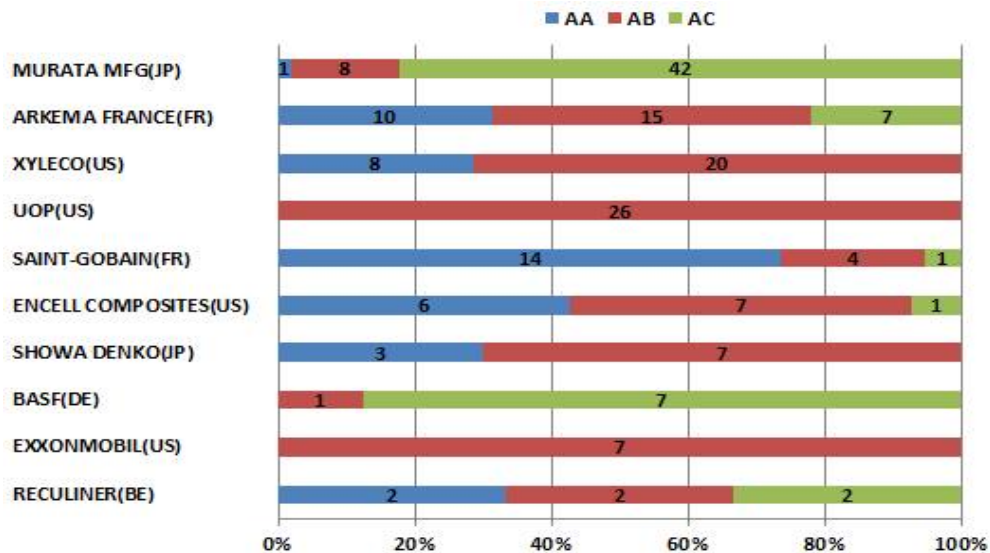


그림 64. 주요 출원인의 기술분야별 특허 출원 동향

(AA: 유리 재활용 기술, AB: 플라스틱, 고무 재활용 기술, AC: 기타 재활용 기술)

- 일본의 SHOWA DENKO는 플라스틱, 고무 재활용 분야, BASF는 기타 분야에 집중하고 있으며, 벨기에의 RECOLINER는 전 분야에 고르게 출원하고 있는 것으로 파악됨.

(바) 기술수명주기(TCT) 분석

- 기술수명주기(TCT, Technical Cycle Time)는 인용 정보에 기초하여 해당 기술 분야의 발전 속도나 특정 국가 또는 기업의 기술혁신 속도를 나타내는 지표이며, 특정 등록 특허의 기술 수명은 하기의 식에 의해 산출됨.

※ 등록특허의 기술수명 산출

$$\text{기술수명} = \text{해당 등록특허의 등록년도} - \text{인용특허 등록년도의 중간값}$$

(중간값이 복수인 경우 그 평균값)

- 등록특허에 대한 기술수명의 산출을 통해, 해당 기술분야의 기술의 진보가 얼마나 빠르게 진행되고 있는지 알 수 있으며, 낮은 기술수명주기는 기술혁신 활동의 기반이 최근의 연구성과에 기초한다는 것으로, 높은 기술수명주기는 기술혁신 활동의 기반이 상대적으로 원천기술에 기초한다는 것으로 해석될 수 있음.
- 주요 국가별 기술수명주기를 산출한 결과, 일본이 7.3년으로 가장 낮은 기술수명주기를 보였고, 한국은 7.8년, 유럽은 12.0년으로 나타나, 동 기술분야에서 일본의 기술혁신 활동이 활발한 것으로 나타났음.

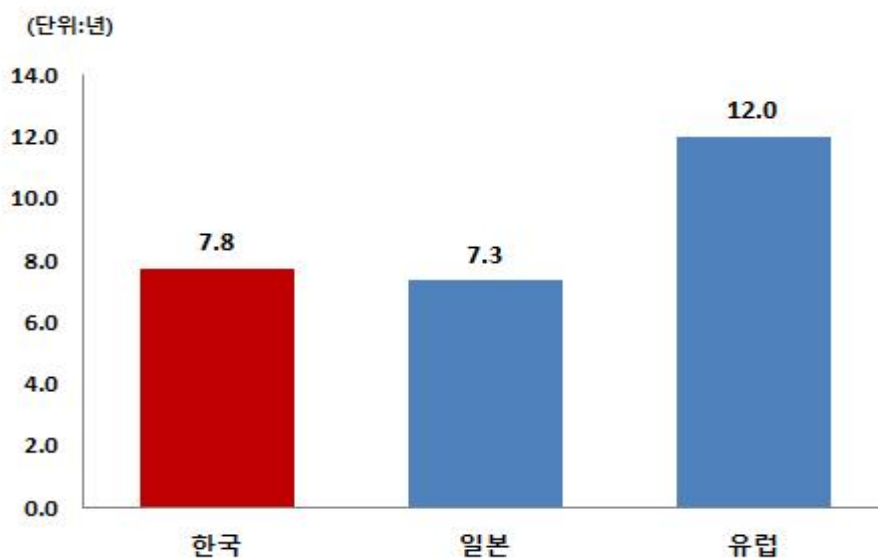


그림 65. 국가별 수명주기

- 한국의 경우, 7.8년으로 출원 건수가 적은 점에 대비하여 기술혁신 활동이 상대적으로 활발하다고 판단되나, 전 세계적인 친환경, 재활용 기술에 대한 적극적인 관심을 고려하면 현재의 기술의 수명 사이클은 점점 짧아질 것으로 예상되는바, 향후 정부 차원의 더 적극적인 연구개발 지원이 이루어져야 할 것으로 판단됨.
- 다만, 본 기술수명주기는 핵심 특허만을 대상으로 산정된 것으로 동 기술 분야 전체를 대상으로 산정된 기술수명과는 차이가 있을 수 있음.

(아) 핵심특허 분석결과

○ AA(유리 재활용 기술) 분야에서는,

- 열차 폐유리의 회수-재활용을 용이하게 하며, 안전사고를 방지할 수 있는 기술
- 수지제 필름이 코팅된 특수유리를 재활용하기 위한 필름-유리 회수 플랜트 관련 기술
- 폐유리의 재활용 용도를 제한하는 특정 성분(망목수식산화물)을 저비용, 효율적으로 제거하여, 재활용 유리의 활용 용도를 확장시키는 기술
- 유리재마다 ID에 대응하여 유리재의 품종 정보를 DB화하고, 폐기된 유리재에 장착된 IC 태그를 리더로 읽어 특정된 품종에 적합한 장치 또는 장소에서 리사이클링 될 수 있도록 하는 기술
- 피해체물로부터 산란이나 불순물 혼입없이 유리를 제거, 회수할 수 있는 스크랩 작업차 관련 기술
- 폐차의 해체 과정에 적합한 기계를 인접 배치하여 폐차 효율을 높이는 폐차 해체 시스템 기술
- 유리를 적재, 보관, 납품하기 위한 재활용 가능 용기 관련 기술 등이 분석되었음.

○ AB(플라스틱, 고무 재활용 기술) 분야에서는,

- 이종 플라스틱 폐기물을 블렌딩하여 새로운 플라스틱 물품(철도용 타이 등)을 제조하는 기술
- 폐고무 분말을 이용하면서도 품질이 균일하고 인장강도와 내마모성 및 가공성이 우수한 고무발포체 조성물로서, 철도 등의 단열재, 흡음재, 차음재, 구조재, 보조재 등으로 활용 가능한 고무발포체 조성물 기술
- 각각의 제조업체에 할당된 UV, IR 등 판독 가능한 잉크 컬러 및 형상으로 구현되는 타간트(taggant)를 제공하여, 소재의 제조원에 대해 빠르고 쉽게 식별할 수 있도록 하는 기술
- 폐플라스틱의 분쇄물을 세척, 건조하여 용융 압출한 후 발생하는 물성 저하를 보완하기 위하여, 상기 분쇄물에 아연-폴리머 나노복합체를 혼합하여 포함하는 재활용 방법 기술

- 자동차 내, 외장재로 사용될 수 있는 경량 고강성의 재활용 복합 폴리프로필렌 관련 기술
- 도어트림이 필요로 하는 물성인 난연성, 내열성, 내스크래치성을 만족하는 재생폴리프로필렌수지 조성물의 제조 방법 기술
- 폐플라스틱(폴리에틸렌 또는 폴리프로필렌 재질)을 이용하여 요구되는 물성을 충족시킬 수 있는 철판 침목 제조 방법 기술
- 목분과 폐플라스틱을 함유하는 복합재료로 이루어지며, 강도가 향상된 철판 침목에 관한 기술 등이 분석되었음.

○ AC(기타 재활용 기술) 분야에서는,

- 목재 베이스 아이템을 재활용하여 철판 타이 등으로 활용하기 위한 목재 혼합 물품 관련 기술
- 차량용 좌석에 이용되는 시트 패드를 보강하기 위한 발포 성형품 보강용 부착포에 관한 기술
- 차량 등에서 사용된 폐배터리의 내부에 저장된 폐충전액 중 일부를 수거하고 새로운 재생액을 주입하는 폐배터리 재생장치 관련 기술
- 오염된 목재 철판 크로스바의 리사이클링 프로세스 관련 기술
- 고지 해섬비용을 저감하고, 폐액을 발생시키지 않는 것이 가능한 고지섬유소재 이용 시스템 및 고지해섬장치 제공(철판용 침목 등 제조 가능) 기술 등이 분석되었음.

○ 결과적으로, AA 분야에서는 철판나 차량의 해체 시 폐유리의 회수 기술에 대한 특허가 다수 존재하였으며, 특히 유리 입자의 산란을 방지하거나 필름 등 타 소재와 결합된 경우의 분리회수 기술, 회수 장비에 관한 기술 등이 존재하였음.

○ AB 분야에서는 폐플라스틱을 재활용하는 소재의 물성 향상을 위한 기술, 재활용 소재를 이용한 차량용 내장재 제조 기술, 철판 침목의 성능개선을 위해 폐플라스틱을 활용하는 기술 등이 존재하였음.

○ AC 분야에서는 목재 재활용 기술, 발포 성형품 보강 관련 기술, 폐배터리 재생, 종이 재활용 기술 등이 연구되고 있었음.

(3) 국내외 논문 동향

○ 검색 키워드 및 사이트

- 구글

- 키워드 : 탄소중립, 재활용, 철도, 그린뉴딜, 경량화, 철도 객차
- 검색식 : [철도 객차 재활용 기술], [탄소중립 철도], [철도 그린뉴딜] 등

- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

- 키워드 : 철도, 재활용, 탄소중립
- 검색식 : [철도 재활용] [철도 탄소중립]

○ 핵심 논문

표 23. 주요 논문 내용 요약

기술 분야	주요 내용	적용방안
폐배터리	철도 폐배터리는 전기차량 배터리의 약 8배 용량의 큰 배터리를 보유하고 있으며, 철도의 정형화된 주행패턴, 일정한 충·방전, 적은 SOC 편차 특성 때문에 잔존 수명 예측이 용이하여 재사용 공정 적용이 편리한 장점을 가지고 있음. 자연선별 등과 함께 화학적 공정으로 리튬 코발트 등의 유가 금속을 추출하는 화학적 재활용 방법 및 용도에 맞는 최적의 ESS로 재구성하여 배터리를 팩단위로 재사용하는 재사용 방안이 적용 가능함. 이를 통해 재활용된 배터리는 수급·해체·분석·재처리를 통해 배터리 재구축 또는 가로등·양식장·농업시설 등에 재활용 가능함.	폐배터리 재활용
폐유리	폐유리(RG)는 색상, 특성 및 화학 성분으로 인해 재활용이 어려우나 최근 RG의 분쇄 입자와 유사한 지반 공학적 특성이 발견되어 구조적 및 비구조적 건설 분야에 재활용이 적용되고 있음. 실험에 따르면 RG+RCA의 혼합물은 다양한 하중 조건에서 높은 강성과 강도를 나타내고 있으며, 진동수에 따른 강성 변화와 재료의 안정성과 유사한 진동수 및 안정성을 나타내고 있어 철도 뒹개층 등의 소재로서 재활용 가능성이 존재함.	철도 뒹개층에 혼합
폐기물 관리방안	철도차량은 철 및 비철금속, 엘라스토머, 폴리머, 유리, 개질된 유기 천연재료, 화합물, 전자 및 전기를 포함한 많은 구성요소의 혼합으로 제작되기 때문에 귀중한 재활용 공급원임. 전처리, 해체, 파쇄, 비금속 잔류물 처리 등의 재활용 공정을 통해 약 90% 이상의 회수율(RRR)이 산정됨. 세부 분류로 판단할 경우 금속이 약 80% 이상으로 할당량 1 순위를 차지하고 있으며, 그 다음으로는 엘라스토머, 폴리머, 유리 순으로 확인되는바 자동차의 재활용 가능성 지수가 85%인 것을 감안했을 때 철도 차량은 매우 높은 재활용 가능성을 가지고 있는 자원임. 따라서 귀중한 자원을 효율적인 재활용 회수 프로세스 도입이 필요함.	철도 폐기물 회수 프로세스
페타이어	페타이어를 고무 조각의 형태로 분쇄시 간단하게 재사용이 가능하며, 고무의 기계적 특성 덕분에 동적 효과를 완충하는 재료로 변환이 가능함. 페타이어 조각을 철도 역청 및 콘크리트 혼합물에 첨가하여 4가지	철도 역청 및 콘크리트 혼합물

	표본 테스트를 진행한 결과(고무함량 : 1%, 2.5%, 5%, 10% 중량) 첨가된 고무의 함량에 따라 스펙트럼이 낮은 주파수로 이동하여 고무 주파수가 낮아짐을 확인함. 따라서 고무 조각(페타이어의 분쇄를 통해 얻어진 고무 조각)을 철도차량에 혼합물로서 도입하는 방안은 철도로부터 발생하는 진동 및 소음 감쇠와의 대응 관계가 존재함.	첨가제
	플라스틱 폐기물과 같은 비 생분해성 물질은 최근 전 세계적으로 환경 오염 분야에서 상당한 관심을 불러일으키고 있으며, 호주의 경우 약 250만 톤의 플라스틱이 매년 생산되고 있으나, 그 중 12%만 재활용되고 나머지는 전부 매립되고 있음. 이에 회수된 플라스틱의 분해 저항 및 에너지 흡수 특성에 관한 테스트를 실시한 결과 철거골재 등에 폐플라스틱을 혼합시킨 경우 블렌드의 분해 저항과 에너지 흡수 특성을 향상시키는 효과가 확인됨. 따라서 RCA 5%, CB 3%의 비율로 폐플라스틱을 골재에 혼합시키는 방안은 에너지 흡수 능력 측면에서 유의미한 효과가 존재함.	철거 골재
탄소 중립	탄소 섬유 강화플라스틱은 통상적으로 차체의 무게를 감소시키며, 일부 분석에 의하면 바퀴합성물질로 사용할 경우 약 50% 감소된 하중 지지로 인해 강도 유지보수 강화 측면에서 효과가 존재함. 한국식 틸팅 열차 차체에 CFRP(탄소 섬유 강화 플라스틱)를 적용시킬 경우 기존대비 약 60%까지 경량화가 가능하며, 이러한 경량화는 에너지 절약 측면에서도 유의미한 효과가 존재함.	틸팅 열차 차체 CFRP 도입
	철도차량의 주요 구성 요소는 강철 및 금속 87.5% 플라스틱 및 폴리머 5.9% 유리 2%로 분류됨. 이를 Rcuc 및 Rcov에 따라 분석한 결과 폐철도의 재활용을 통해 발생하는 수익률이 Rcyc에서 92.78% Rcov에서 93.7%로 다른 운송 수단에 비해 높은 비중을 차지하고 있는 귀중한 자원임.	철도 폐기물 재활용
	지속 가능성 및 순환 경제의 기본 개념은 수명 종료(EoL)에 도달한 제품의 복구가 중요하나, 철도차량은 다양한 구성 요소의 혼합으로 구성되어 있어 별도의 수학적 모델에 의해 식별화된 순환경제 방안이 필요함. 철도산업의 EoL 적용은 폐자재의 회수율은 최대 98% 향상시킬 수 있으며, 구성 요소의 남은 수명(RUL)과 기계적, 열적 특성을 고려할 수 있어 환경적 측면 또는 서비스 재개 측면에서도 유익한 효과가 존재함.	EoL 및 RUL 식별 프로세스

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

가. SWOT 분석 및 추진방향 설정

- 국내외적으로 운송 부문에서의 온실가스 배출을 저감하는 방안으로 도로교통에서의 탈석유화가 진행과 동시에 도로교통의 철도교통으로의 수송분담을 통한 운송전환 정책도 상당히 관심을 받고 있음.
- 철도는 운송 부문에서 가장 온실가스 배출이 낮은 부문은 철도로서 가장 친환경적인 교통수단이라는 평가를 받고 있음.
- 철도운송수단 자체적으로도 2050 탄소배출 제로화 노력이 진행되고 있으며 세계 각국은 철도 부문의 친환경성을 더욱 강화하기 위하여 정책 및 기술개발을 추진함.
- 운송단계에서의 에너지 사용에 의한 배출량 저감뿐만 아니라 재료 및 폐기에서의 전 과정에서 배출되는 온실가스 저감으로 확장되고 있음.
- 한국도 그린뉴딜 및 탄소중립법 발효로 장기적인 계획을 통해 온실가스 배출 감축이 법적인 의무사항이 된 상태임.
- 철도부문의 온실가스 저감을 추진하기 위해서 가장 중요한 분야가 운영 효율화 부문이며 재활용을 포함한 전과정 환경성 개선기술 개발 등을 통하여 이를 극대화 할 수 있는 국내 온실가스 저감정책 추진이 필요함.

표 24. 탈탄소 철도분야 분야 SWOT

구분	내용
강점 (Strengths)	- 도시철도차량 운행단계에서의 에너지 사용효율 증대효과(회생전력 활용) - 철도 폐기차량의 재활용을 통한 자원 효율화 가능 - 철도시설 저탄소 건설기술 개발에 따른 중장기적인 온실가스 저감효과 발생
약점 (Weaknesses)	- 철도폐차 물량의 불규칙성, 적은 수량에 따른 재활용 투자 대비 경제성 문제 - 철도산업 자체의 친환경성으로 탄소중립에 대한 법적인 의무 및 필요성 인식 약화
기회 (Opportunities)	- 온실가스 2050 탄소중립을 위한 글로벌 수준에서의 노력이 이루어지고 있어 국내 철도 부문에서의 기술개발 필요성에 대한 인식 제고 - 국내외 온실가스 거래 시장이 점차 확대되고 있어 온실 저감 효과와 함께 경제적 이윤 창출이 가능
위협 (Threats)	- 국내 철도정책 및 시장에서 글로벌시장 확대 의지 불확실 - 탄소배출권을 포함한 탄소시장의 근본적인 불확실성 존재

표 25. 탈탄소 철도분야의 추진전략 도출

구분	기회	위협
강점	SO 전략 - 철도 전 과정 중에서 에너지절감 효과 및 온실가스 저감 효과가 큰 분야에 활용 가능한 기술개발 우선 추진	ST 전략 - 탄소배출권을 통한 신규수익 창출보다는 전력 비용 절감 및 자원재활용 관점에서의 연구개발 추진
	WO 전략 - 철도차량 폐차 프로세스 및 작업 효율화를 달성할 수 있는 관련 기술개발 추진	WT 전략 - 도시철도 부문에서의 회생전력 활용을 극대화할 수 있는 기술적 대안 마련을 위한 연구 추진

○ STEEP 분석 결과를 바탕으로 도출한 주요 키워드는 다음과 같음

- 다양한 기술분야에서 개발된 연구성과물의 철도 적용 및 활용
- 신재생 에너지 및 친환경 기술개발의 확대
- 국내 철도분야의 기술경쟁력 강화
- 성장가능성이 높은 시장 진출을 통한 신성장동력 산업 육성
- 친환경 철도기술개발을 통한 지속가능한 성장
- 철도부문의 친환경성 강화
- 철도분야에 대한 정부 정책적 투자 확대
- 철도운영 강화를 기본계획 수립

○ 기술수요 및 예측조사를 바탕으로 도출한 키워드는 다음과 같음

- 녹색성장을 위한 신재생 에너지 활용
- 에너지 소비 효율 제고를 위한 철도 부품 개발
- 미활용 에너지 및 자원에 대한 재활용
- 친환경 철도 시스템 구축을 위한 노력

표 26. 환경분석 결과와 주요 이슈와의 연계성

구분		철도 안전	시스템 연계	산업 육성	친환경 강화
환경	온실가스 저감을 위한 국제적 노력 강화	○	●	◎	●
	철도분야의 친환경성 부각	○	●	◎	◎
정책	철도분야의 투자규모 확대	●	◎	●	●
	철도운영 측면에서의 국가 기본계획 강화	●	◎	●	●
사회	철도안전에 대한 국민 관심증가	●	●	◎	○
	사전예방 중심의 철도관리 필요성 증대	●	●	◎	○
기술	연구성과물 철도부문 적용확대	●	●	●	●
	철도안전, 에너지 효율화 및 친환경성 강화	●	●	◎	●
경제	수입대체 효과 및 신규수익창출	●	●	●	○
	국내외 관련 시장성장 가능성	◎	●	●	○

주) 연계성 높음(●) 보통(◎) 낮음(○)

표 27. 4대 이슈와 연구개발 니즈와의 연계성

구분	철도 안전	시스템 연계	산업 육성	친환경 강화
에너지 소비 효율성 향상	○	●	◎	●
고효율 에너지 부품 개발	○	●	●	●
미활용 에너지 재활용	○	●	◎	●
자원재활용 기술	○	◎	●	◎
친환경 철도시설물 건설/유지	○	◎	●	●

주) 연계성 높음(●) 보통(◎) 낮음(○)

- 자원재활용 기술, 친환경 철도시설물 건설/유지는 철도의 전 과정에서 발생할 수 있는 온실가스를 저감하는 노력의 일환으로 폐열차 자원의 재활용 및 철도시설물 건설에 사용되는 콘크리트의 친환경성 확보 등의 기술개발로 구체화함.

표 28. 연구개발 니즈와 중점목표와의 맵핑

구분	연구개발 니즈의 구체화	중점목표 도출
RE100	차량 운행전력 효율화를 위한 시스템 개발	철도부문 탄소 배출저감 및 운영최적화
에너지 소비 효율성 향상		
고효율 에너지 부품 개발		
미활용 에너지 재활용		
자원재활용 기술	철도차량의 자원순환 촉진 및 온실가스 저감을 위한 평가/설계/적용 기술개발	철도전과정 환경성 인증 및 자원재활용 효율향상
친환경 철도시설물 건설/유지		

- 이슈트리 작성을 통한 연구 중점목표 도출
 - 현재 국내외에서 다양한 방식 및 형태를 통해 추진되고 있는 온실가스 저감노력에 발맞추어 철도부문에서도 차량 및 시설 등의 전주기적 관리측면에서의 친환경성 강화가 요구되고 있음
 - 현재 국내외에서 다양한 방식 및 형태를 통해 추진되고 있는 온실가스 저감노력에 발맞추어 철도부문에서도 차량 및 시설 등의 전주기적 관리측면에서의 친환경성 강화가 요구되고 있음
 - 자원재활용 기술은 철도차량 폐기단계에서 발생하는 온실가스를 저감하는 한편, 산업적으로 재활용 가능한 자원을 최대한 많이 회수할 수 있도록 관련 기술을 개발함
 - 자원재활용 기술, 친환경 철도시설물 건설/유지는 철도의 전과정에서 발생할 수 있는 온실가스를 저감하는 노력의 일환으로 폐차자원의 재활용 및 철도시설물 건설에 사용되는 콘크리트의 친환경성 확보 등의 기술개발로 구체화

나. 중점 추진과제 도출

(1) 추진과제 도출 개요

(가) 기술의 정의

- 유럽 등 글로벌 철도산업은 2050 탈탄소 및 탄소중립 달성을 위한 추진전략 및 달성 방안으로 기존의 운행전력에만 한정되는 탄소저감 노력이 재료에서 폐기단계까지 전 과정에서의 제품 환경성 개선을 유도하는 방향으로 확장 전환되고 있음.
- 기존의 제품 사용단계만을 규제하던 패러다임이 전과정을 고려한 사전환경성 개선을 위한 규제로 변화된 것을 의미하며 탄소발생량 측면에서 환경은 온실가스와 에너지를 통합, 관리하는 추세임.
- 따라서, ‘탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발’ 기획은
 - 철도차량에서 신규 철도차량 제작단계에서부터 탄소배출 저감을 고려한 친환경 철도차량 설계 및 EU ESG 등의 규제 대응이 가능한 탄소공급망 구축을 위한 기술 체계 구축과
 - 폐기 차량을 대상으로 탄소 회수를 통한 탄소상쇄가 가능한 철도차량 해체 재활용 표준모델 기술개발로 전 과정 환경성 개선을 위한 최적의 기술을 도출하는 것임.
 - 이를 위하여 각 단계 즉, 재료부터 폐기까지의 단계별 환경성 개선 기술 및 기술별 환경성 개선 효과를 분석함으로써 궁극적으로 온실가스 저감 측면에서의 최적의 기술을 기획, 도출하고자 함.



그림 66. 철도 전 과정 환경성 유지관리 및 자원재활용 기술 비전

전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) : 제품 제조과정 및 서비스를 포함한 모든 산업 활동이 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법이다. 제품의 원료채취, 제조, 사용 및 폐기처리에 이르는 전 과정에 걸쳐 소모되고 배출되는 물질과 에너지의 양을 정량화하여, 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하고 환경개선을 모색하는 평가 방법이다.

(나) 기술수요조사

① 기술수요조사 추진

- 조사대상 : 산학연 전문가를 대상으로 기술수요조사를 실시
- 관련 학회 회원을 대상으로 온라인 조사 실시(한국철도학회, 도시철도학회, 전과정평가학회, 환경공학회 등)
- 분야별 전문가 그룹을 대상으로 메일 발송 및 독려 등을 통해 기술수요 발굴진행
- 조사내용 : 기술개발 과제 제안 배경, 제안 기술의 필요성, 기술개발 목표, 소요예산 및 기간 등에 대한 사항
- 조사기간 : 2021년
- 조사방식 : 온라인 웹설문

**탄소상쇄형
친환경 철도차량
제작 및 재활용 기술
수요조사**
2021. 10. 19 (화) - 2021. 11. 5 (금)

탄소상쇄란 불가피하게 발생하는 탄소 배출량의 전부 혹은 일부를 다른 온실가스 저감 활동으로 상쇄하는 것을 의미하며, 탄소상쇄형 친환경 철도차량은 ISO 21106 등에 적합하도록 설계단계에서부터 자원순환이 고려된 철도차량을 말합니다.

주요 수요조사 대상 기술분야

1. 친환경 철도차량 설계기술
2. 친환경 철도차량 제작기술
3. 철도차량 소재/부품 재활용기술
4. 철도차량 친환경 해체/회수 기술
5. 철도차량 적용 가능 친환경 소재 기술
6. 철도차량 재활용률 평가 및 인증 등 제도

실문조사 참여방법

1. 본 포스터에 제시된 "참여하기" 클릭
2. 모바일 URL 접속 또는 QR코드 접속 참여

문의처
한국철도기술연구원
(문의 : 031-460-5388, iyoung@krri.re.kr)

KRRI 한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

그림 67. 기술수요조사 포스터

『탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발』 - 기술수요조사 -

안녕하십니까? 한국철도기술연구원은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원 사업의 일환으로 「탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발」 기획연구를 수행하고 있습니다. 이에 본 사업 기획팀은 정책 추진방향, 현안 이슈 등을 고려해 향후 2022~2026년까지 국가 연구개발 추진을 위한 세부기술 도출을 목적으로 국내 산·학·연·관 전문가 대상 기술수요를 조사하고자 합니다.

응답자의 모든 의견과 정보는 통계법 제33조에 따라 비밀이 보장되며, 바쁘시더라도 본 설문에 성의껏 응답해 회신주시면 감사하겠습니다.

□ 탄소상쇄형 친환경 철도차량이란?

‘탄소상쇄’란 불가피하게 발생하는 탄소 배출량의 전부 혹은 일부를 다른 온실가스 저감 활동으로 상쇄하는 것을 의미하며, ‘탄소상쇄형 친환경 철도차량’은 ISO 21106 등에 적합하도록 설계단계에서부터 자원순환이 고려된 철도차량을 말합니다.

□ 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용기술 개발

글로벌 탈탄소 사회로의 전환요구로 강화된 환경규제 대응에 적합한 설계단계에서 재활용을 고려한 생애주기 탄소저감 및 상쇄가 가능한 친화적인 철도차량 설계/제작기술과 95% 이상 자원회수 및 재활용이 가능한 자원순환 기반구축 및 인증/제도 개선



I

제안자 인적사항 및 기관정보

이름		소속 기관명		직위	
연락처		(휴대전화)			
		(E-mail)			

II

기술수요 조사

①제안기술명	※ 본 사업의 취지를 고려한 연구과제 아이টে에 대해 제시해주시기 바라며, 본 명칭에는 개발기술의 기능, 목적 등이 드러날 수 있도록 가능한 상세히 작성 부탁드립니다.		
②기술분야	기술분야		해당분야 "O" 표시
	친환경 철도차량 설계기술		
	친환경 철도차량 제작기술		
	철도차량 소재/부품 재활용기술		
	철도차량 친환경 해체/회수 기술		
	철도차량 적용 가능 친환경 소재 기술		
	철도차량 재활용률 평가 및 인증 등 제도		
	기타(상기 해당 분야 없을 경우 제안 기술분야 작성)		
③총 개발기간 및 비용	총_____년	총 소요금액	총_____억원 (연평균_____억원)
④제안 배경 및 필요성	☐ 기술개발 시급성 ○ ☐ 과학·기술적 측면에서의 필요성 ○ ☐ 사회·경제적 측면에서의 필요성 ○ (지원 시급성·필요성, 관련 정부 정책(그린뉴딜, 탄소중립 정책 등), 기술, 동향 등)		
⑤시장현황	☐ 국내외 시장현황 ○ ☐ 선도기업, 국가, 시장 점유율 등 ○		
⑥기술개발 목표	☐ ○ (제안 기술 아이টে의 수준·성능 및 품질에 대한 달성목표를 가급적 정량적으로 제시)		

⑦기술개발 내용	☐ 주요 개발내용(확보 기술 등) ○ (개발 범위 및 세부 연구내용, 제안기술 최종결과물, 연차별 추진방법·전략 등)
⑧기대효과	☐ 과학·기술적 기대효과 ○ ☐ 사회·경제적 기대효과 ○ (해당 기술개발을 통해 기술, 사회, 경제, 환경, 사업, 안전 측면에서의 기대효과를 모두 작성- 최대한 정량적으로 제시)

② 수요조사 결과

- 수요조사 결과, 산학연 전문가들의 다양한 의견을 수렴하였으며 개발 및 상용화 관련 연구수요가 많은 것으로 나타남.
- 설문조사 결과, ‘철도차량 소재/부품 재활용기술’ 및 ‘친환경 철도차량 제작기술’에 대한 기술개발 수요가 비율이 높게 나타났으며, 기술개발 소요 기간은 3년에 대한 의견이 가장 높았음.



그림 68. 기술 분야별 응답률

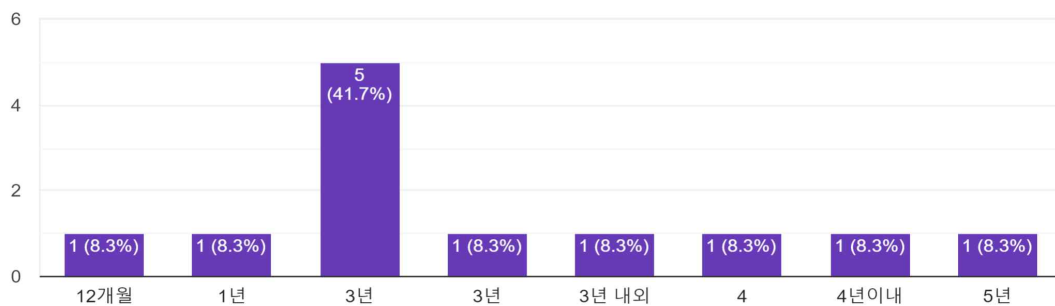


그림 69. 개발소요 기간에 대한 응답률

③ 주요 제안과제

- 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술 분야에서는 친환경 철도차량 제작 기술, 철도차량 소재 및 부품 재활용 기술, 철도차량 친환경 해체 및 회수 기술 분야 등과 관련하여 과제들이 제안되었음.

표 29. 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술 분야 주요 제안과제 요약

제안기술 과제명	해당 기술의 연구개발 단계	필요 연구기간 (년)	필요 연구비 규모(백만원)	주요내용
친환경 소재 기반 철도차량 소음진동 저감 기술	개발연구	3	3,000	철도분야에 다양한 소음 취약 영역에 적용 가능한 새로운 소음저감 패널에 대한 개념을 설계
친환경 철도차량 주요부품 재제조 기술 개발	개발연구	3	500	주요 철도부품 대상의 재제조 기술 개발 및 재제조 확산 방안 마련
CO ₂ 배출 저감형 철도차량 대차 프레임 제작 기술	개발연구	3	3,000	CO ₂ 배출 저감형 철도차량 대차 프레임 제작 기술 확보
탄소상쇄형 친환경 철도차량 부품소재 재활용 기술개발	개발연구	3	1,000	주요 철도차량의 외장재, 내장재, 궤도 및 동력 구동장치들의 내구성 향상 및 재질의 단일화 추진을 통해 재활용율 향상
철도차량의 세부 해체, 선별과 오염 방지 설비를 통한 폐기물 감소 및 친환경 철도차량 해체	개발연구	4	3,000	철도차량 해체로 발생하는 품목을 최대한 선별 및 최대한 많은 품목의 재활용 향상, 오염방지 설비나 집진 설비를 구축하여 해체작업을 진행하여 환경오염 문제도 해결
노후철도 차량 해체 시 발생하는 유가 금속 재사용 및 재활용 기술개발	개발연구	4	1,500	노후 철도차량 폐차 시 발생하는 유가 금속에 대한 재질별 분류 및 재사용 가능 품목은 품목번호로 관리, 재질별 분류된 금속은 제련소에서 직접 자원순환
패트병, 배터리 재활용 자판기 설치	개발연구	3	30	자판기 개발
자동 스캔 및 워터젯을 활용해 재활용 가능성을 높인 폐유리 탈거 장치 개발	개발연구	5	1,500	전동 리프트카 기반의 철도차량 전면창 자동 제거 장비
친환경 부품 개발	개발연구	3	3,000	친환경 철도 바닥 판넬 개발, FRP 대체 소재 개발
친환경 철도차량용 소재 기술개발	개발연구	3	3,000	현재 사용 소재 기준 재활용 불가능한 대표적 소재인 FRP, 합판, 단열재 등의 친환경 대체 소재 개발 및 입증

(2) 기술예측조사 및 결과

(가) 기술예측조사 방법

- 기술예측조사는 국토교통분야 기술수요 및 기술수준 조사를 참고하였으며, 추가적으로 기술분야별 전문가를 대상으로 해당 기술분야에서의 연구개발 필요성, 국내외 기술수준, 향후 연구 방향성, 연구의 기대효과 등을 조사하여 정리하였음
- 평가원의 조사는 20년간의 예측기간을 설정하고 국토, 교통분야의 전문가들을 대상으로 델파이법을 이용하여 시행되었으며 총 9개 항목에 대한 의견을 수렴하였음

표 30. 국토교통분야 미래기술 예측조사 항목

항목	내용
전문도	델파이 조사에 응하는 전문가의 해당 분야(기술)에 대한 기술적 전문도
중요도	해당 기술의 국내 저탄소 녹색성장 및 국토교통기술, 사회경제 등의 발전에 미치는 영향의 정도
국내 기술 수준	최고 기술 보유국 기술수준(100%) 대비 국내의 현재 기술수준의 정도
최고 기술 보유국	해당 예측 기술에 대한 현재 기술 수준이 가장 앞서있는 국가를 선택
기술성숙도	해당 기술의 기술성숙도를 태동, 성장, 핵심, 기반 4단계로 구분
기술 실현 예측 시기	해당 기술의 실현 예측 시기를 응답자가 직접 년도 선택
기대효과	해당 기술이 실현될 경우 기대되는 효과로 단기와 중기로 기여도를 구분
기술 획득 방식	기술을 획득하기 위한 추진방식을 선택
실현상의 장애요인	해당 기술을 실현하는데 장애가 되는 요인을 모두 선택

(나) 기술예측조사 결과

- 친환경 철도차량 등의 부문에서 조사된 기술예측 조사 결과 중 본 기획과제와 연관성이 높은 기술을 선별하여 전문도 지수, 중요도 지수, 국내 기술 수준, 기술성숙도, 기술실현시기, 최고기술 보유국, 기대효과 지수, 기술획득 방식, 실현상의 장애요인 등을 정리함.
- 국내 기술 수준은 전반적으로 최고기술 수준 대비 60%인 것으로 나타났으며, 특히 재활용 소재 및 부품 기술은 54.2%로 가장 낮은 것으로 조사되었음.
- 기술성숙도 측면에서는 대부분의 기술이 성장기에 있는 것으로 파악되었음.

- 기대효과 측면에서는 철도차량 재활용 기술개발을 통한 온실가스 저감으로 환경성 향상 등의 파급효과가 큰 것으로 조사되었음.
- 기술획득 방식에서는 대부분 민간 및 정부의 협력연구가 필요한 것으로 의견을 모았으며, 실현상의 장애요인으로는 연구비 부족과 같은 인프라 구축 미흡, 경제성 측면에서의 연구개발 추진 타당성 등이 주로 지적되고 있음.

표 31. 기술예측조사 전문가 의견 요약

분야	기술개발 필요성	국내외 기술 수준	향후 연구 방향성	기대효과
탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술	- 전 과정 기반의 친환경 철도시설 건설 달성가능한 평가기술 개발 필요 - 철도산업의 친환경성 확보를 위한 폐기 기술개발 필요	- 해외에서는 제작, 운행, 폐기단계별 친환경 기술을 개발/확보 - 국내에서는 철도차량 에너지효율 개선, 철도차량 리모델링 기술 보유	- 국제 공동연구 또는 기술이전을 통한 기술격차 해소 - 연구기관 및 학계 기초연구와 산업체 현장 적용 기술을 접목하여 상용화 기술개발 추진	- 자원순환 촉진을 통한 자원재활용 수익 창출, 온실가스 저감 효과

다. 연구개발과제 목표 및 중점분야 도출

○ 연구개발과제 목표

- 글로벌 탈탄소 사회로의 전환 요구로 강화된 환경규제 대응에 적합한 설계단계에서 자원순환(ISO 21106 기준 95% 재활용 가능율)을 고려한 지속가능한 친환경 차량 기술: 폐기단계 95% 이상 자원회수로 탄소상쇄가 가능한 철도차량 재활용 표준시스템 구축 및 환경성 인증/제도 개선

○ 연구개발과제 중점분야

- 설계단계에서 자원순환(ISO 21106 기준 95% 재활용 가능율)과 탄소 저감을 고려한 가능한 친환경 차량 제작 및 ESG 대응 기반 기술
- 폐기단계 95% 이상 자원회수로 탄소상쇄가 가능한 철도차량 재활용 표준시스템 구축
- 재활용을 고려 및 탄소저감 설계 적용 친환경 철도차량 평가 및 인증기반 기술개발



그림 70. 연구개발과제 목표 및 중점분야 도출

라. 연구개발과제 세부 구성

(1) 과제구성



- 1 설계단계 전과정기반 탄소배출량 예측도구 개발
2 차량 부품/소재 공급망에서 ISO 14040 & 국가 LCI DB 표준반영 탄소정보체계 설계 및 적용
3 유지보수 용이 및 해체 용이 설계를 적용한 친환경 부품 설계 및 시제품 제작
4 철도차량/차종별 전과정평가 적용을 위한 PCR 작성
5 철도차량/차종별 LCI DB 구축 (2와 연계)
6 소재별 재활용 효율정보 작성, 해체용이성 평가 및 재활용율 평가

그림 71. 과제구성 및 세부기술 내용

○ (중점분야 1) 자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 기술개발

- (목표) EU ESG(Environmental, Social and Governance) 및 택소노미(Taxonomy, 온실가스 감축에 기여하는 녹색경제활동 분류) 등 탄소규제 대응 기반 디지털 플랫폼 구축 및 95% 이상 재활용 가능성을 만족하는 자원순환형 철도차량 표준모델 설계기술 개발
- (개발기술) 자원순환형 철도차량 표준모델 설계 및 에코디자인 실증 차량(시제품 1량) 제작
- * 현재 국내 철도차량 재활용률은 약 80% 미만(실제 재활용 효율 고려 시 더 낮아짐) 수준으로 파악됨.

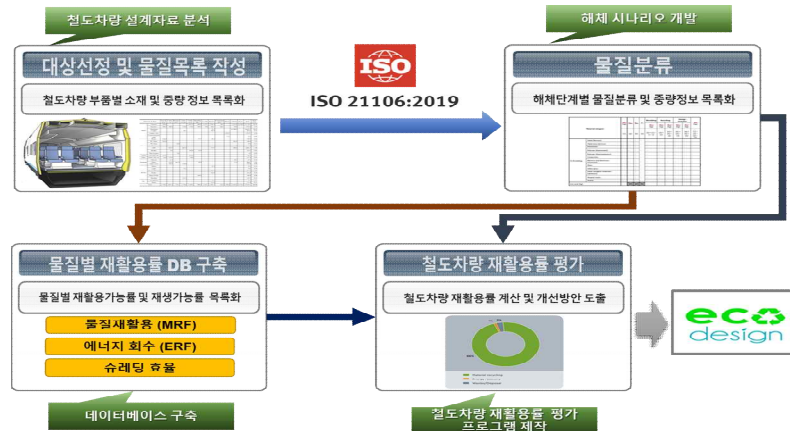


그림 72. 철도차량 친환경 설계기술

- (중점분야 2) 철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발
 - (목표) 폐철도차량 친환경 해체/재활용 시범 적용 및 탄소상쇄 관리
 - (개발기술) 철도차량 자원회수 및 폐기물 발생 저감을 위한 설비 개발 및 시설 구축, 재활용 취약 부품에 적용 가능한 친환경 소재기술, 주요 부품 및 구성품 재활용 DB 구축 등
 - * 철도차량 해체, 슈레딩 기술, 냉매 회수 기술 등
 - * Recycled/Renewable 재료, 재활용 친화적인 도료 등 소재 적용 및 제작 기술

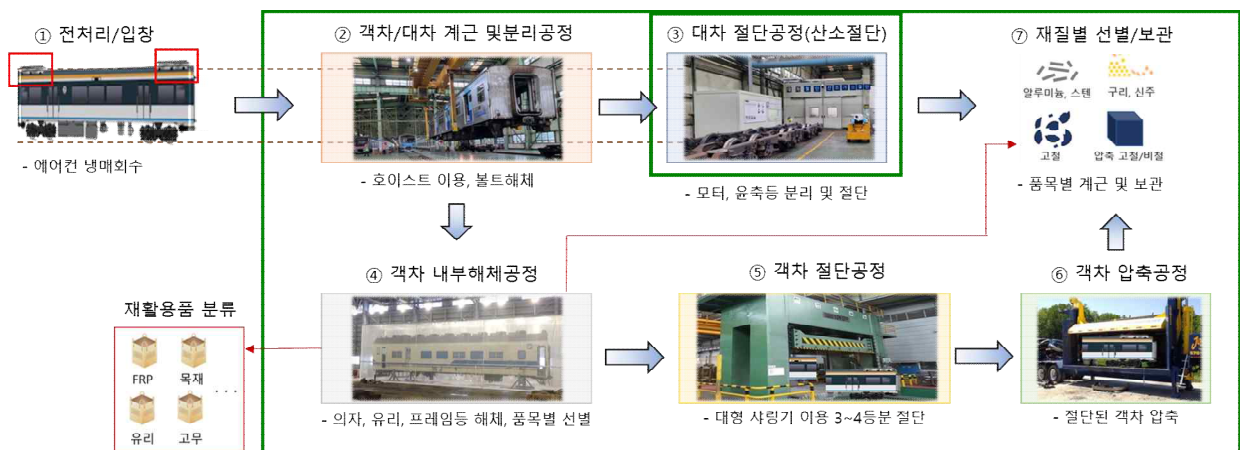


그림 73. 폐철도차량 해체 설비 구축(안)

- (중점분야 3) 저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발
 - (목표) 국제기준(ISO 등) 및 전 과정 재활용 관련 규정에 기반한 평가·검증기반 구축
 - (개발기술) 재활용률 평가 및 틀 개발, 제작된 에코디자인 실증차량 대상 재활용률 평가 및 인증, 입찰단계에서 환경성능인증 제출 의무화 또는 형식승인 등 관련 제도 마련 등

철도차량
재활용 기반
구축 시급

유럽 : ELV Directive 2018/849 amending Directives 2000/53/EC on end-of-life vehicles

국내 : 전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 (철차 포함 진행)

제4조: 국가는 자동차(End-of-life vehicle)의 유해물질의 사용을 억제하고 재활용이 쉽도록 제조하며 그 폐기물을 적정하게 재활용하기 위한 기술을 개발하여 보급하여야 한다.

* 유럽은 ELV 규제의 철도적용으로 아래의 절차를 따르고 있음 (KTR 2.3 Sustainability 참조 → 국내 환경 기반 마련 시급 & 중국시장 국내 진입 환경 장벽 구축)



그림 74. 국가정책 측면에서 정부 부처 역할(안)

(2) 중점분야별 연관성

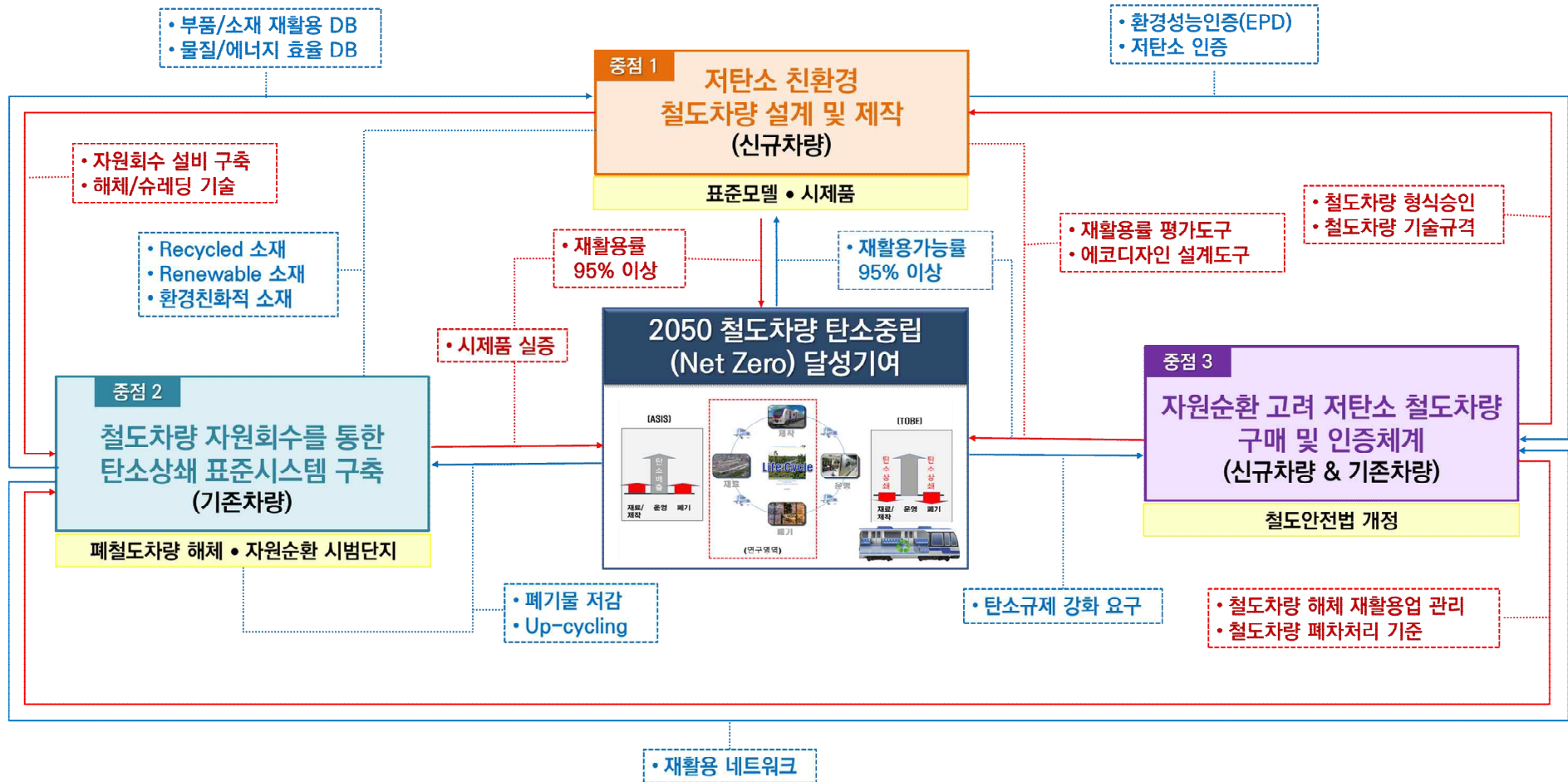


그림 75. 중점분야별 연관성

(3) 연차별 기술개발 로드맵



그림 76. 연차별 기술개발 로드맵

마. 중점분야별 연구내용

(1) 연구수행체계

총괄 과제		
과제명	탄소상쇄형 저탄소 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발	
(분야1) 자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 기술개발	(분야2) 철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발	(분야3) 저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발
EU ESG 및 탄소노미 등 탄소규제 대응 기반 구축 및 재활용률 95% 이상이 가능한 철도차량 표준모델 설계(에코디자인), 제작 기술 및 인증방안 등	폐철도차량 친환경 해체/재활용 표준모델 구축과 시범 적용 및 95% 회수를 위한 재활용 네트워크 구축을 통한 탄소상쇄 관리	전과정 기반 저탄소 철도차량 구매를 위한 환경성 인증제도 및 친환경 해체 재활용 정책(안) 제시

(2) 중점분야별 세부 연구내용

(가) (분야1) 자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 기술개발

○ 1차년도

- 탄소배출량 고려 친환경 차량 제작을 위한 설계단계 탄소배출량 예측도구 개발(안) 설계
- 철도차량별(도시철도/간선철도/고속철도 객차 대상) 구성부품 및 소재 분류체계 구축(I)
- 철도차량 공급망 탄소 정보 관리체계(안) 구축(안) 수립
- 친환경 철도차량 부품 제작을 위한 재활용 소재 및 대상 부품 선정 연구
- 유지보수 및 해체 재활용 용이 친환경설계 대상 부품 선정

○ 2차년도

- 탄소배출량 고려 친환경 차량 제작을 위한 설계단계 탄소배출량 예측도구 개발
- 철도차량 공급망 탄소 정보 관리체계(안) 구축 및 운영(안) 작성
- 철도차량별(도시철도/간선철도/고속철도 객차 대상) 구성부품 및 소재 분류체계 구축(II)
- 재활용 소재를 적용한 친환경 철도차량 부품/소재 개발(I)
- 유지보수 및 해체 재활용 용이 친환경설계 부품 설계

○ 3차년도

- 탄소배출량 고려 친환경 차량 제작을 위한 설계단계 탄소배출량 예측도구 시범운

영 및 보완(기존 차량 대상)

- 철도차량 공급망 탄소정보 관리체계(안) 시범운영 및 개선
- 재활용소재를 적용한 친환경 철도차량 부품/소재 개발(Ⅱ)
- 유지보수 및 해체재활용 용이 친환경설계 부품 설계/시제품 제작
- ISO 21106 표준차량 시제품 제작을 위한 대상차량 검토 및 선정
- ISO 21106 표준차량 시제품 제작을 위한 친환경설계(안) 적용 및 배출량 평가를 통한 저탄소 차량설계

○ 4차년도

- ISO 21106 표준차량 시제품 제작
- 철도차량 공급망 탄소 정보 공급망관리체계(안) 운영 확대 및 탄소배출량 예측모델(안) 제시
- 저탄소 친환경 철도차량 시제품 대상 환경성적보고서 인증 신청
- ISO 21106 표준차량 시제품 제작을 위한 탄소 정보 공급망 관리체계 운영
- 유지보수 및 해체 재활용 용이 친환경 설계 부품의 시제품 차량 적용 및 녹색인증 신청
- 재활용 소재를 적용한 친환경 철도차량 부품/소재 환경성 인증 신청

○ 5차년도

- ISO 21106 표준차량 시제품 95% 재활용 가능률 확보 실증
- 저탄소 친환경 철도차량 시제품 대상 환경성적보고서 인증 취득
- 재활용 소재 및 해체 용이성 친환경 설계 적용 제품의 환경성 인증 취득
- 재활용 소재 및 해체 재활용 용이 친환경 설계 확대 적용방안 제시

(나) (분야2) 철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발

○ 1차년도

- 철도차량 폐기단계 친환경 해체재활용 모델설계 및 대상부지 조사
- 철도차량 구성부품 및 소재별 친환경 회수공정 단계별 회수정보 전산화 방안 연구
- 유해물질 비산방지를 위한 독립공간 구축방안 연구 및 설계
- 철도차량 친환경 해체 및 소재/부품 회수를 위한 전용도구 설계

○ 2차년도

- 철도차량 폐기단계 친환경 해체재활용 모델 구축 대상 부지 선정 및 구축(Ⅰ)
- 철도차량 구성부품 및 소재별 친환경 회수공정 단계별 회수정보 전산화시스템 설계/제작(Ⅰ)

- 철도차량 친환경 해체 및 소재/부품 회수를 위한 전용도구 제작, 운영 및 개선(I)
- 전처리단계 액상/기상 물질 회수를 위한 전용 도구 설계 및 제작
- 유해물질 비산방지를 위한 독립공간 제작

○ 3차년도

- 철도차량 폐기단계 친환경 해체재활용 모델 구축(II)
- 철도차량 구성부품 및 소재별 친환경 회수공정 단계별 회수정보 전산화 시스템 설계/제작(II)
- 철도차량 친환경 해체 및 소재/부품 회수를 위한 전용도구 제작, 운영 및 개선(II)
- 철도차량 차체/대차 분리, 차체 회수 자동화 공정/설비 성능검증 및 보완
- 유해물질 비산방지를 위한 독립공간 구축 및 운영보완
- 폐기단계 철도차량 선정 및 해체 재활용 시범운행을 통한 회수재료별 특성분석 및 95 % 재활용 네트워크 구축 연구(I)
- 철도차량 해체재활용 최적 운영방안 연구

○ 4차년도

- 철도차량 폐기단계 친환경 해체 재활용 모델 시범운영 및 보완
- 철도차량 회수 부품별 전산이력관리시스템 시범운영 및 개선
- 폐기단계 철도차량 선정 및 해체재활용 시범운행을 통한 회수재료별 특성분석 및 95 % 재활용 네트워크 구축 연구(II)
- 유지보수 및 해체 재활용 용이 설계 적용 제품의 해체 용이성 평가(시범해체)
- 철도차량 해체 재활용 최적 운영방안 연구 및 관련(안) 작성

○ 5차년도

- 철도차량 폐기차량 선정 95 % 재활용 가능율 시범해체 및 관련소재별 재활용 네트워크 구축모델(안) 제시(II)
- 철도차량 친환경 해체 재활용 모델 최적 운영방안 (환경성 및 경제성, 운영사 및 해체재활용업체 고려)
- 철도차량 친환경 해체 재활용 표준모델의 활용 확대 방안 작성

(다) (분야3) 저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발

○ 1차년도

- 철도차종별 및 서비스별 전과정평가 적용을 위한 작성지침 작성 관련 국내외 자료 분석 및 지침(안) 작성(I)

- 폐기 단계 친환경 해체 재활용 공정 적용에 따른 탄소상쇄효과 평가 절차 작성(Ⅰ)
- 철도차량별 구성부품/소재 탄소정보관리 표준포맷 설계 및 정보관리체계 구축(안) 작성
- 철도차량 회수부품 재이용성 평가 및 Upcycling 제품화 방안 연구
- 열회수 소재의 회수율 산정 방법 및 회수효율 적용방안 연구

○ 2차년도

- 철도차종별 및 서비스별 전과정평가 적용을 위한 작성지침 작성(Ⅱ)
- 철도차량/차종별 전과정 기반 탄소배출량 정량화를 위한 LCI DB 구축(Ⅰ) - 소재별 재활용/회수율 효율 정보 포함
- 친환경 해체 재활용 공정 적용에 따른 탄소상쇄효과 평가절차 작성(Ⅱ)
- 철도차량 회수부품(HVAC, 출입문 등) Upcycling 제품화 기술개발(Ⅰ)
- 재활용 공정별 열회수 소재(ASR 포함)의 회수율 향상기술 개발(Ⅰ)

○ 3차년도

- ISO 21106 표준차량(선정차량) 전과정 기반 탄소배출량 정량화 및 환경성적보고서 작성지원(Ⅰ)
- 철도차량/차종별 전과정기반 탄소배출량 정량화를 위한 LCI DB 구축(Ⅱ) - 소재별 재활용/회수율 효율정보 포함
- 철도차량 회수부품(HVAC, 출입문 등) Upcycling 제품화 기술개발(Ⅱ)
- 철도차량 해체재활용 단계 탄소회수데이터베이스 작성(Ⅰ)
- 철도차량 친환경 해체재활용 기술기준(안) 작성

○ 4차년도

- ISO 21106 표준차량(선정차량) 전과정 기반 탄소배출량 정량화 및 환경성적보고서 작성지원(Ⅱ)
- 철도차량/차종별 전과정 기반 탄소배출량 정량화를 위한 LCI DB 구축(Ⅲ) - 소재별 재활용/회수율 효율 정보 포함
- 철도차량 회수부품(HVAC, 출입문 등) Upcycling 제품화 기술개발(Ⅲ)
- 철도차량 해체재활용 단계 탄소회수데이터베이스 작성(Ⅱ)
- 철도차량 저탄소 친환경 기술기준(안) 연구
- 철도차량 친환경 해체재활용 표준모델 및 관련정책(안) 연구

○ 5차년도

- ISO 21106 표준차량(선정 차량) 전과정 기반(제작-폐기) 탄소배출량 정량화 결과보

고서 제출

- 철도차량 친환경설계 및 친환경 해체 재활용 기술개발에 따른 탄소 저감 및 상쇄 효과 정량화 제시
- 철도차량 저탄소 친환경 기술기준(안) - 신규 차량 공청회 개최 및 고시
- 철도차량 친환경 해체 재활용 표준모델 및 관련정책(안) - 폐기 차량 공청회 개최 및 고시

(3) 중점분야별 성과목표 및 성과지표

성과목표	성과지표	목표치					측정방법
		2023	2024	2025	2026	2027	
저탄소 친환경 철도차량 설계 및 표준모델	철도차량 설계단계 재활용률 산정도구	산정모델	산정도구 제작	산정도구 제작	90%	100%	ISO21106 요구사항 반영 여부 및 정확도
	철도차량 부품 공급망 탄소정보 디지털 플랫폼	플랫폼 설계	플랫폼 제작	플랫폼 제작	85%	100%	철도차량/부품 탄소공급망 체계 디지털 플랫폼 구축 여부
	친환경 소재 적용 부품 기술 개발	대체 소재 개발	시작품 제작	시작품 제작	성능평가 및 보완	차량설계 적용	친환경 소재 적용부품 시작품 제시 및 설계 표준모델 적용 여부
	친환경 설계 적용 철도차량 표준모델	기본설계	상세설계	시제품 제작	재활용률 90%	재활용률 95% 이상	표준모델 대상 ISO21106 기준 재활용률 95% 이상 검증
철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템	철도차량 해체 및 회수 전용 설비	사양 도출 및 설계	상세설계 및 제작	시작품 제작 및 성능평가	표준시스템 적용	시험운영 및 성능검증	전용 설비 사양 충족 및 성능 목표 달성 여부
	철도차량 해체 재활용 표준시스템	시스템 설계	시스템 구축	시스템 구축	시스템 성능평가	시험운영 및 실증	해체 재활용 표준시스템 및 재활용률(95% 이상) 검증
자원순환 고려 저탄소 철도차량 평가 및 인증제도	철도차량 탄소평가 (재활용률) DB 구축	DB 설계	DB 구축	DB 구축	산정도구 연계	시험 적용	철도차량 부품 및 소재 탄소평가 DB 구축 여부
	환경성적보고서 반영 기술지침(안) 작성	20%	40%	60%	80%	100%	제도(안) 작성 진행률 및 최종 고시 여부
	친환경 해체 재활용 정책(안) 작성	20%	40%	60%	80%	100%	제도(안) 작성 진행률 및 최종 고시 여부

바. 연구개발과제 추진방안

(1) 연구추진조직

- “탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발” 과제는 실용화 기술, 관리정책의 다양한 성격의 연구를 총괄해야 하므로 산, 학, 관과 유연한 관계를 유지하고, 객관적 관리가 가능한 연구기관 및 총괄 연구책임자가 필요함.

- 재활용률을 고려한 친환경 철도시스템 구축 기술 등은 시스템 전반의 기술이 요구됨에 따라 연구실적 등의 기술 정립이 필요하므로 정부출연기관 및 대학교 등이 주도하도록 추진함.
- 실용화 기술은 현장 적용 가능 기술로 철도차량 제작업체, 철도차량 운영기관 등 기업에서 주도하도록 추진함.
- 전체 연구조직은 산, 학, 연이 연계되어 상호보완 및 지원이 이루어지도록 구성함.

(2) 추진체계

(가) 성과 위주의 연구추진체계

- 연구추진 시 주관 및 협동, 위탁기관 및 참여기업은 모두 성과물이 발생되고 이를 활용이 이루어지도록 연구추진체계를 구성함.
- 연구계획 시부터 달성이 가능한 성과 목표 및 성과지표를 제안·유도하고 연구 진행 중 성과 목표의 달성 및 관리방안을 정립하고, 주기적인 관리 시행함.
- 성과물의 실용화를 우선하여 기술실시 대상기업을 명확히 결정하고, 대상 기술이 실용화가 가능한 수준으로 성과물이 도출되도록 상시 관리체계를 수립함.
- 프로그램, 규제 등의 성과물은 연구종료 후 지속적인 관리체계를 유지하며, 국토교통부와의 협의를 통한 관리방안을 수립 및 유지함.

(나) 종합적인 과제관리체계

- 주관기관은 세부적인 기술개발을 진행하면서 각 중점분야 기술개발을 통합적으로 운영 및 성과물의 통합활용 등을 효과적으로 적용하는 역할수행 필요함.
- 추후 전체 예산 규모에 따라 과제별 성과를 고려한 예산배정 및 과제 진행 기간 조정을 통한 우수한 과제지원을 고려함
- 상호정보를 공유하고, 상호활용, 기술지원이 가능한 체계를 수립함.

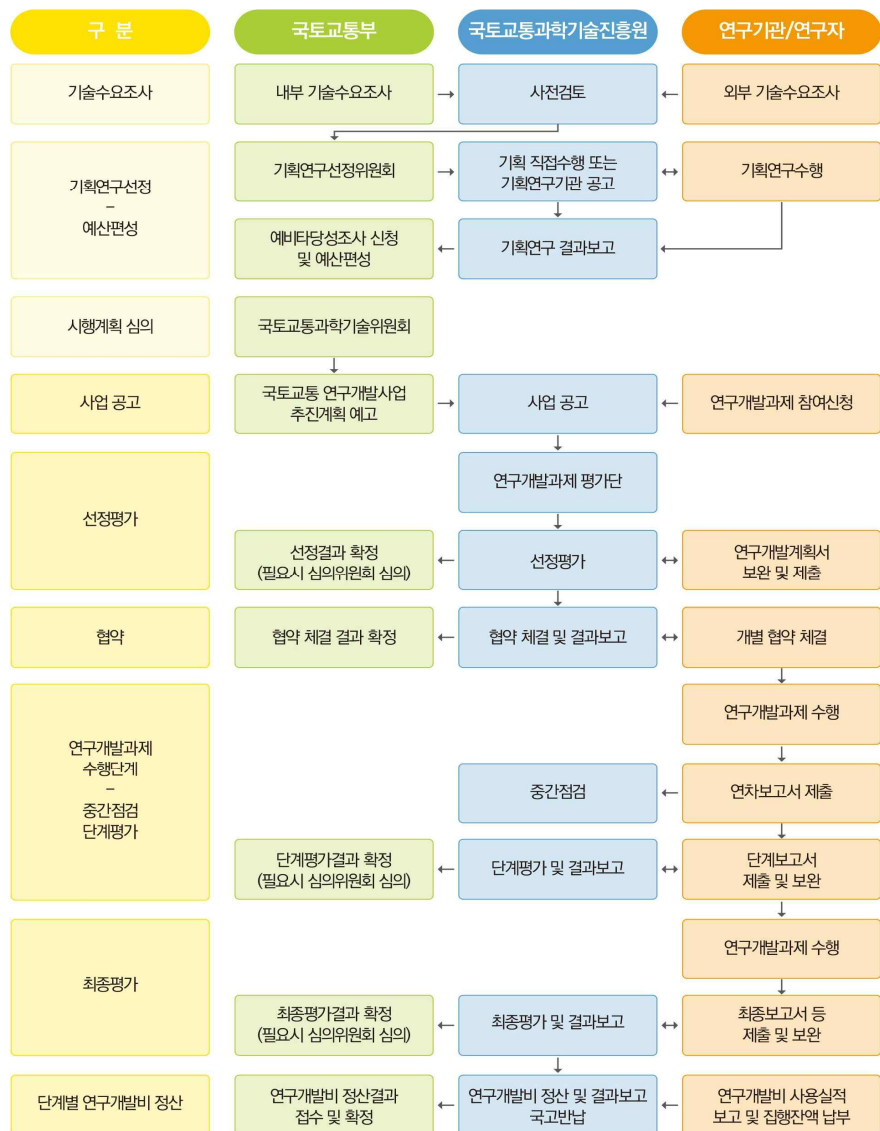


그림 77. 사업추진절차

사. 활용방안

- 수요처/활용처 : 한국철도공사 등 철도운영기관, 철도차량 및 부품 제작업체, 재활용 업체 등
- (철도운영기관) 철도차량의 입찰단계에서부터 재활용률 관리 및 폐기단계에서 표준시스템을 통한 자원회수로 부가이익 창출 및 2050 철도산업의 탄소중립 달성에 활용
- (철도차량 제작 및 부품업체) 국내외 시장에서 철도차량 친환경성 요구 대응 및 경쟁력 강화에 활용

- (재활용업체) 철도차량뿐만 아니라 대형수송수단으로 확대된 신규시장 창출 및 일자리 연계 등에 활용
- (정부부처) 철도차량 재활용률 인증 및 해체 처리와 관련한 제도마련 및 운영을 통해 철도의 순환경제 사회구현에 활용

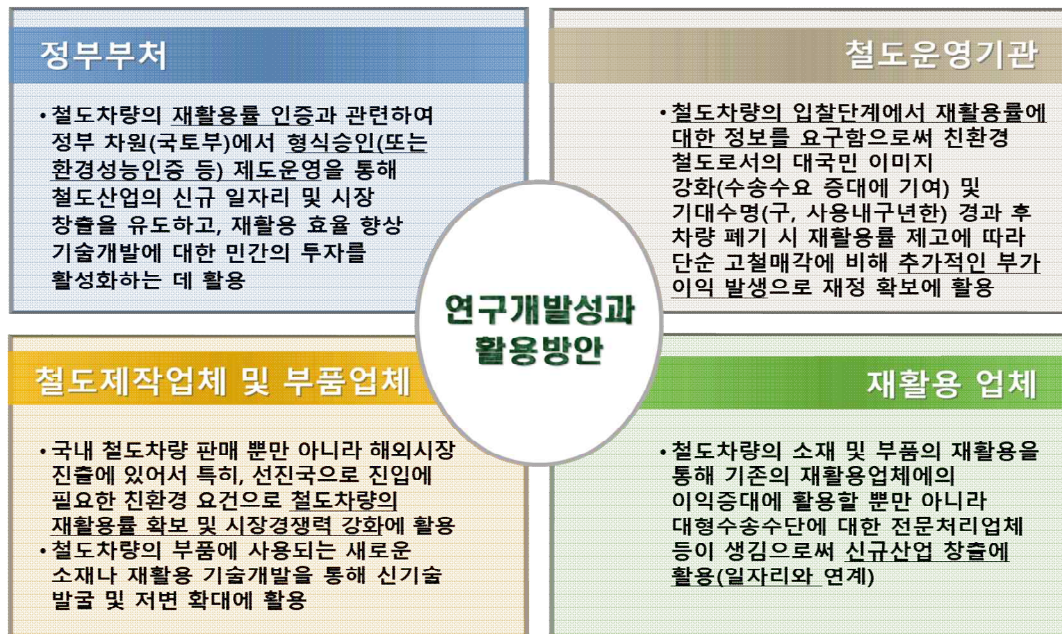


그림 78. 연구개발성과 활용방안

아. 기대효과

- 정책적 기대효과
 - 철도차량 주요 소재 및 부품의 재활용 기술개발을 통해 재활용 가능한 소재 및 부품이 폐기물로 처리되는 현장에서 자원순환 시스템으로 전환을 달성하고, 이로 인해 폐기물 발생 저감 및 직간접적으로 국가 탄소중립 목표에 기여
 - 국토교통부는 2021년 12월‘국토교통 탄소중립 로드맵’을 발표하여 수송분야의 탄소 배출량을 2030년까지 37.1백만톤 감축하는 목표를 제시하였으며, 2050년까지 2018년 대비 최대 97.1% 이상을 감축하여 탄소중립 달성 계획을 수립함에 철도차량의 자원순환을 통한 탄소상쇄 효과*는 철도의 저탄소 경쟁력을 강화하여 철도로의 교통체계 개편을 통한 수송 분야의 탄소배출 감축을 추진하는 정부 정책 지원
- 과학기술적 기대효과
 - 글로벌 철도시장에서 요구하는 전 과정 환경성능 향상 및 정량적인 환경성 제시로 환경 수출경쟁력 강화 등 지속가능한 철도 기술 확보

- 국내 최초 철도차량의 친환경 해체 및 자원회수 관련 기술개발을 선도하고, 향후 재활용률이 우수한 친환경 철도차량 제작 유도
- 경제적 기대효과
 - 국내 철도차량의 폐기단계에서 재활용률 97% 달성 시, 매년 지속적으로 발생하는 폐철도차량(1,000량/년)으로 인한 폐기물 7,600톤 감소 및 철도산업의 탄소상쇄 195,000톤 달성
- 사회적 기대효과
 - 폐철도차량의 친환경 해체기술 도입을 통해 기존 해체과정에서의 2차 환경오염(유해물질 비산, 냉매 대기 배출, 토양오염 등)을 차단, 국민생활 환경 안전에 기여

4. 사전 타당성 분석

가. 사업논리모형

(1) 논리모형 개발의 필요성

- 사업(Program)이란 특정한 배경하에서 특정 목표를 달성하기 위해 여러 가지 자원을 투입하고 관련된 활동을 수행하여 산출물과 성과를 생성하는 일련의 작업을 의미한다. 대규모 연구개발사업을 추진하기 위해서는 사전에 이슈/문제, 목표, 대상, 투입, 활동 및 전략, 운영·평가체계, 산출 및 성과 등이 포함된 사업계획을 수립해야 함.
- 사업계획은 사업이 기획된 대로 시행된다면 의도하는 결과가 달성될 것이라는 일종의 가설이므로 잘 수립된 사업계획은 왜 해당 사업을 추진하여야 하며, 사업이 무엇을 달성하고자 하고, 어떻게 달성할 것이고, 어떤 활동을 수행하여, 어느 정도의 성과를 창출하고, 그 성과를 어떻게 측정하고 평가할지 충분한 정보를 포함해야 함.
- 사업계획을 검토하는 평가자는 사업계획을 잘 이해할 수 있도록 사업의 가설을 분해하기 위해 논리모형을 사용할 수 있으며, 평가자는 해당 사업의 기획 주체가 생각하는 사업의 작동 메커니즘을 이해할 수 있음.

(2) 논리모형의 정의 및 구성

- 논리모형은 각종 사업의 기획, 관리, 평가에 적용되는 방법의 하나며, 어떻게 사업을 추진할 것인지를 나타낸 개념도로 정의할 수 있음.
- 논리모형은 사업의 작동과 관련된 항목 간의 논리적 연관성을 보여주는 모델로서, 사업 관련 활동과 결과가 최종목표에 어떻게 연계되는지를 보여줄 수 있으며, 궁극적으로 사업을 작동시키는 투입자원, 활동 그리고 달성할 변화나 결과 사이의 관계를 나타내고 관계자들의 이해도를 높이기 위한 체계적이고 시각적으로 보여줄 수 있음.
- 논리모형의 형태가 정형화된 것은 없으며, 정보의 종류와 수준에 따라 기본항목으로 구성된 모형부터 세부적으로 구체화한 논리모형까지 다양한 형태로 구성할 수 있음.

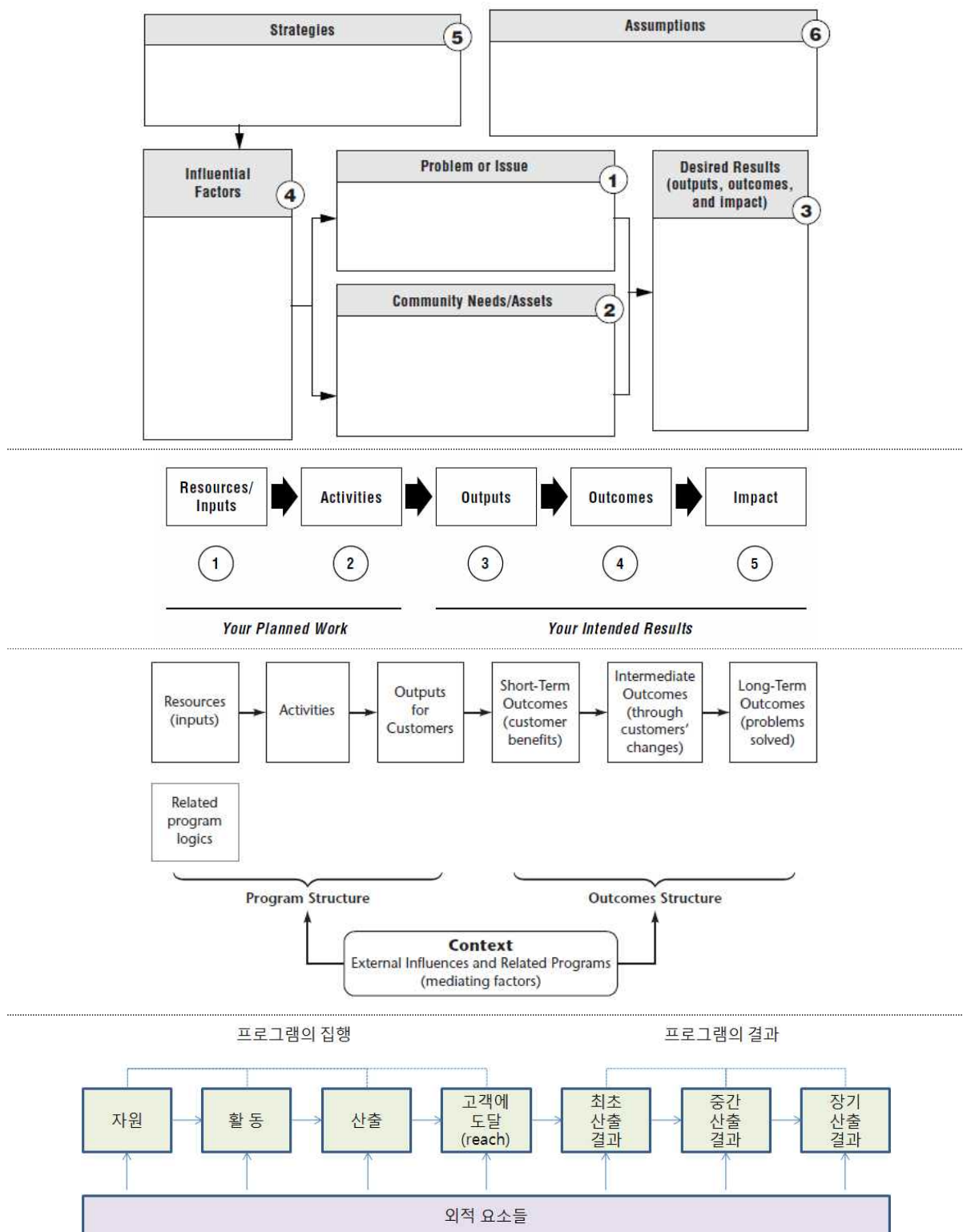


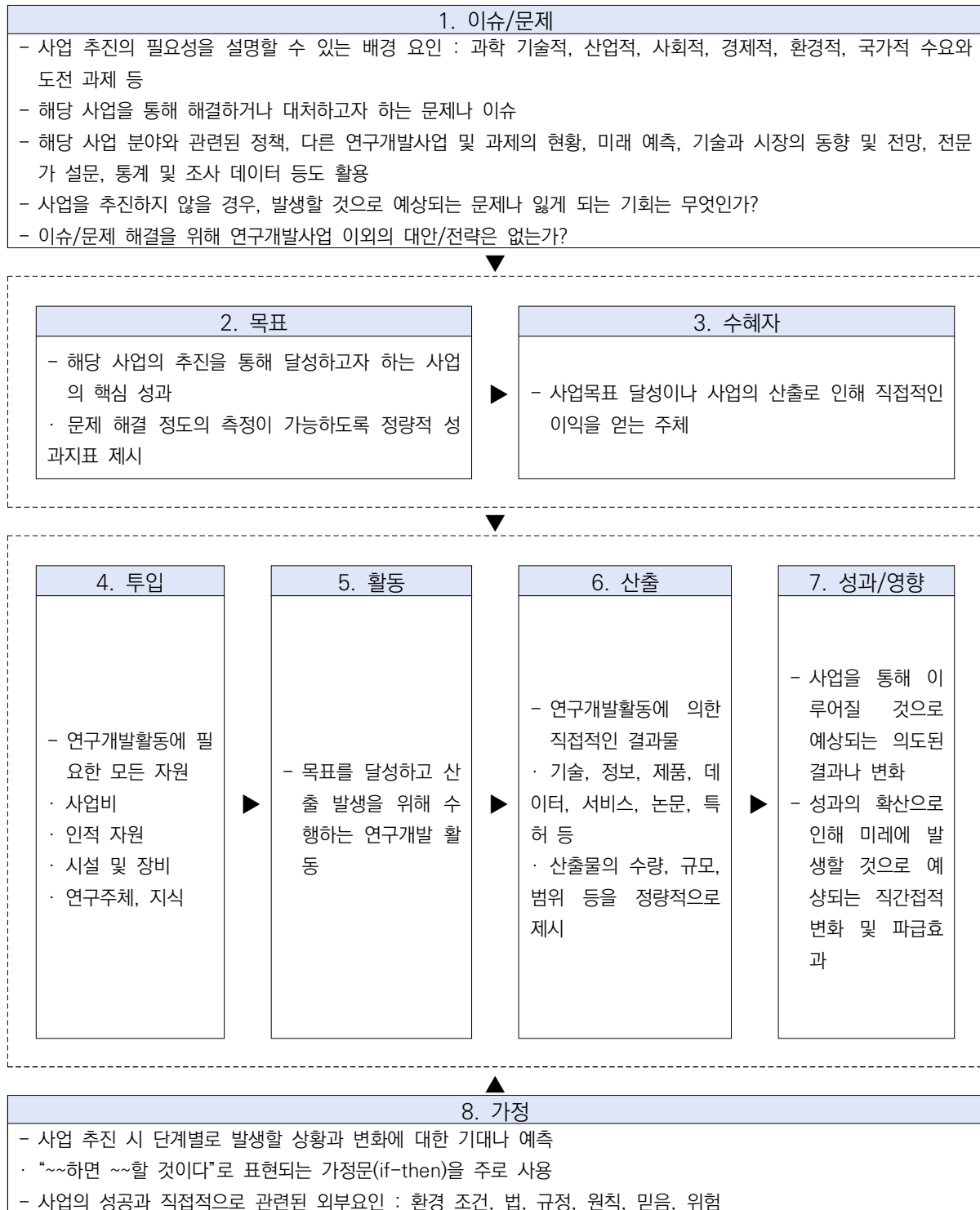
그림 79. 논리모형 유형별 사례

(3) 국가연구개발사업의 논리모형 구성

○ 국가연구개발사업의 사전평가(Ex-ante evaluation)인 연구개발부문 예비타당성조사에

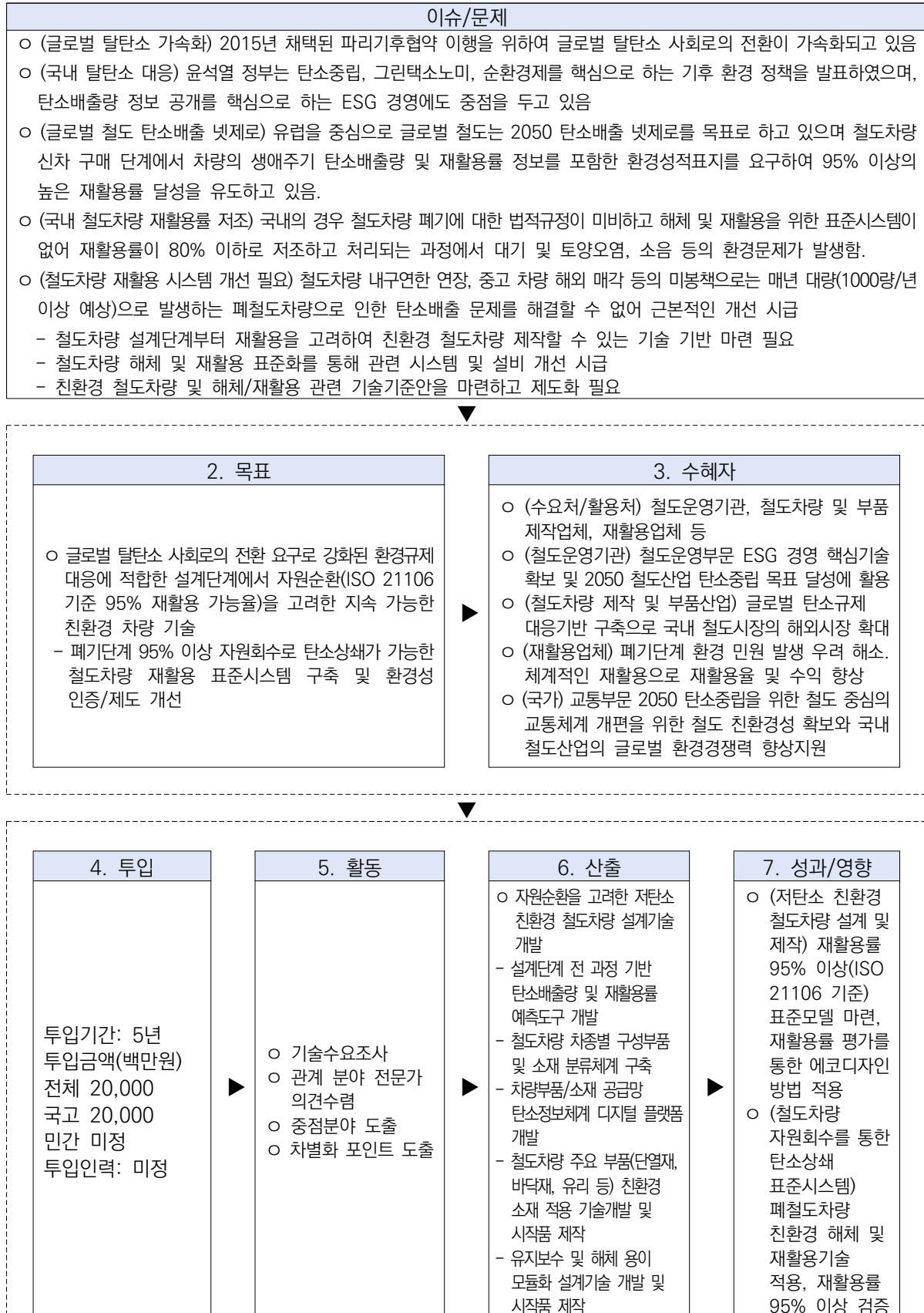
서는 사업계획의 쟁점사항 도출을 위한 핵심 도구로서 논리모형을 개발하여 활용하고 있다. 본 논리모형은 이론접근모형과 성과접근모형을 결합한 형태로서, 수직적(상하 방향)으로는 사업 추진에 대한 논리의 흐름, 수평적(좌우 방향)으로는 사업의 추진 과정을 나타내도록 하여 이해하기가 용이함.

표 32. 연구개발사업의 쟁점사항 도출을 위한 논리모형



(4) 본 과제의 논리모형

표 33. 본 과제의 논리모형



		- 95% 이상 재활용 가능률 철도차량 표준모델 설계 및 제시 ○ 철도차량 자원화수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발 - 폐철도차량 친환경 해체 및 재활용 표준시스템 설계 및 전용 설비 제작 - 폐철도차량 친환경 해체 및 재활용 표준시스템 구축 및 관리 - 폐철도차량 95% 이상 재활용 네트워크 구축 - 폐철도차량 친환경 해체 및 재활용 표준시스템 시범운영 및 실용화 ○ 저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발 - 철도차량 탄소평가(재활용률) 인증기준 및 절차(안) 작성 - 철도차량 탄소평가(재활용률) 부품/소재 DB 구축 - 철도차량 회수부품(HVAC, 출입문 등) Upcycling 제품화 기술개발 - 국외 철도차량 재활용 관련 규정 및 국내 자동차 재활용 관련 법령체계 검토 - 국내 철도차량 재활용 관련 법령 체계 개정(안) 마련 - 저탄소 친환경 철도차량 설계 관련 법령 개정(안) 및 기술기준(안) 제시 - 철도차량 친환경 해체/재활용 관련 법령 개정(안) 및 기술기준(안) 제시 - 저탄소 친환경 철도차량 설계 및 철도차량 친환경 해체/재활용 관련 법령 개정(안) 고시	○ (자원순환 고려 저탄소 철도차량 평가 및 인증제도) 국제기준에 부합하는 철도차량 재활용률 평가 및 인증제도 개발, 철도차량 요구성능 재활용률을 포함한 형식승인 등 제도 적용
--	--	---	--

8. 가정

정책적 제약사항 선행
 제작단계 생태계에 대한 이해 선행
 폐기물과 물질 및 에너지 회수가능률 지표
 제작 및 폐기 과정상 필연적으로 발생하는 사회적 비용 산출 방법 구축
 신규 접근 과정에서 변경되어야 하는 사항

나. 정책적 타당성

- 정책적 분석은 예비타당성조사에서 경제성 분석에 포함되지는 않지만, 사업의 타당성을 평가하는데 고려해야 할 평가를 포함하고 있는 분석이며, 예비타당성조사는 정책적 분석을 포함하여 경제성 분석, 과학 기술적 분석 등 입체적으로 분석하여 조사 대상 사업이 타당한지를 판단하여 종합적으로 평가함.
 - 정책적 타당성 분석은 기술적 타당성과는 달리 효과성에 초점을 맞추고 있으므로, 정책분석의 여러 접근 중에서 정책이 시행되기 이전에 관련 정보를 생산하고 분석하는 방법을 취하는 미래지향적 정책분석의 개념과 일치한다고 할 수 있음.
- (정부 투자전략) 탄소중립에 있어서 적응적 감축에서 능동적 대응으로 전환하기 위한 ‘한국판 뉴딜 2.0’확대 및 ‘2023년도 국가연구개발 투자 방향 및 기준투자’ 전략에 부합
 - (탄소중립 확대 개편) 그린뉴딜 분야에서 2050년 탄소중립 이행과 관련하여 투자 확대 및 기술혁신을 위한 범부처 R&D 사업 지원 강화
 - (자원 수급 다각화) 폐자원의 고부가가치형 재자원화(재활용, 재제조 등)를 통해 지속가능형 자원 순환경제 활성화
 - (순환경제 활성화) 자원의 효율적 이용과 재활용 촉진을 통해 폐기물의 발생 저감을 최우선의 목표로 하는 자원순환 이행체계 구축
- (국토교통부 정책방침) 「제3차 철도산업발전 기본계획(2016~2020), 국토부」 주요 추진과제인‘철도 제조업 육성 및 기술개발 촉진’및‘해외 철도시장 진출 확대’달성을 위해 선진국을 중심으로 확대되고 있는 재활용률 고려 철도차량 제작 및 인증 관련 국내 기반 구축 필요
 - 제4차 철도산업발전기본계획(2021~2025) 수립 연구용역 완료 예정(친환경 그린철도 확대, 기후변화대응 등의 정책 이슈 포함)
 - 국토교통 200대 미래기술(지구온난화 및 기후변화)‘철도차량 탄소 및 폐기물 제로형 지속가능 철도시스템’에 부합
- (국가 기본계획)

- 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 [과제 3-2] 친환경 생활공간 조성 기술 개발에 부합
- 제4차 과학기술 기본계획 [과제 19-3] 국민생활과 밀접한 문제에 대한 R&D 역할 강화에 부합
- 제1차 자원순환기본계획(2018~2027)을 통해 ‘생산-소비-관리-재생’전 과정에 걸친 관리로 2027년까지 폐기물 발생량 20% 감축목표 설정 및 2030년까지 미래산업 제품 재자원화율 92% 및 재제조율 10% 달성 등에 부합
- (윤석열 정부 정책) ‘국정목표 4. 자율과 창의로 만드는 담대한 미래, 약속 16. 탄소중립 실현으로 지속가능한 미래를 만들겠습니다’에 부합
 - (110대 국정과제 86. 과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환) 글로벌 탈탄소 대응을 위한 적극적인 탄소중립 정책 추진 및 녹색산업·기술 기반으로 녹색 투자와 소비 촉진
 - (110대 국정과제 89. 재활용을 통한 순환경제 완성) 생산·유통·소비·재활용 전 과정에서 폐기물 감량 및 고부가가치 재활용을 확대하는 순환경제로 전환
- (주요 전략과제와의 일치성) 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 전략의 범위에 포함됨. 10대 핵심 기술로 선정된 ‘철강시멘트 산업 저탄소 전환’, ‘산업공정 고도화’ 등은 본 사업의 기술적 해결 범위인 친환경 철도차량 제작 및 폐기의 순환 방법으로 이의 탄소배출 감소와 재활용 체계 구축을 통해 혁신이 가능함.
- 과학기술정보통신부가 발표한 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’과 환경부가 발표한 ‘2021년 탄소중립 이행계획’의 비전 그리고 세부 전략과제 등에 대한 검토 결과, ‘탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발’ 사업은 아래와 같은 이유로 정책적 측면에서 적절성 및 시의성을 확보했다고 판단됨.
 - 기존의 철도차량 생태계의 주기였던 ‘제작 - 운영 - 폐기’의 선형적 형태에서 벗어나, 재활용을 통하여 폐기물을 최소화하는 순환적 형태를 띄고 있어, 장기적으로 보았을 때, 전략적 탄소배출량을 저감할 수 있음.
 - 원자재 수입량을 절감시키고, 재활용 및 친환경 철도차량 제작 기술력을 기반으로 해외 수출을 도모하는 등 국가경제 측면에서 경쟁력을 향상시킬 수 있는 기회가 발생할 수 있음.

- 폐기 단계에서 발생하는 원자재를 재활용하여 타 산업과의 연결성을 확장시켜 본 철도차량 산업 이외의 산업에도 원자재 가격 변동에 따른 위험을 대비하는 등 긍정적인 영향을 미칠 수 있음.

다. 기술적 타당성

(1) 개요

- 검토대상 : 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술
- 검토위원 : 로템(철도차량 제작업체), 서울교통공사(철도운영기관), 폐차 처리업체, 대학교 등 관련 분야 전문가를 선정하여 타당성 검토
- 검토내용 : 기술개발의 기술적 타당성
- 검토기간 : 2022.04.01
- 검토방식 : 전문가 자문회의

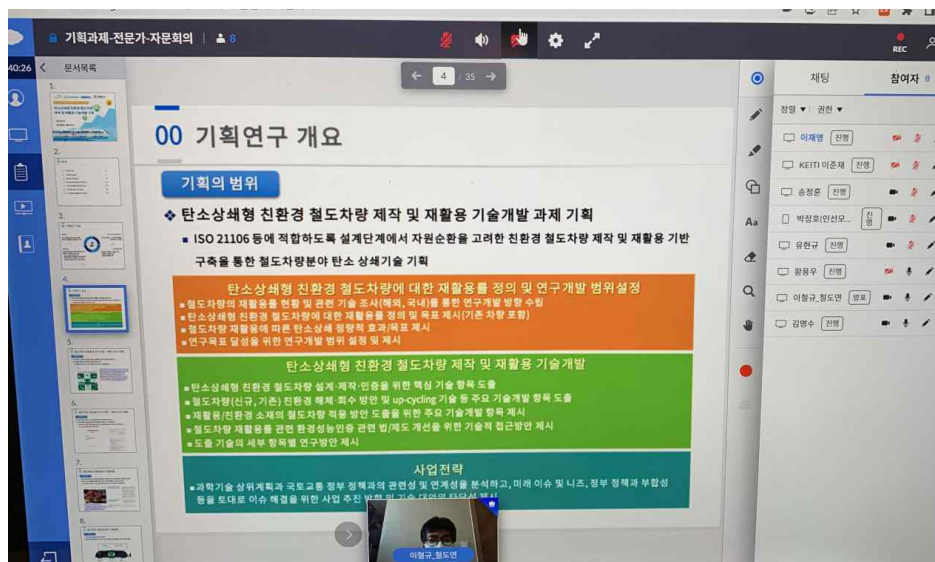


그림 80. 기획과제 전문가 자문회의 모습

(2) 기술적 타당성 검토 결과

(가) 사업의 창의성과 연계성

- 철도교통은 타 교통수단 대비 저탄소 교통수단이나, 철도차량의 운영단계에서 에너지

소비 효율화만으로는 탄소배출 저감에 한계가 있으므로 전 과정에 걸친 환경적 지속 가능성을 개선하기 위한 기술개발과 적용을 장려하기 위해 자원순환을 고려한 연구 사업의 수행이 필요함.

- 철도차량의 폐기단계에서 다량의 폐기물 발생은 자원 낭비뿐만 아니라 환경오염 문제의 원인으로 국민의 생활 건강에 악영향을 미칠 수 있으므로 버려지는 자원을 최소화하고 재활용할 수 있도록 저탄소 친환경 철도차량 설계기술 및 자원순환을 고려한 철도차량 처리 시스템이 필요함.
- 기존의 철도차량은 설계 시 각 부품 및 소재의 재활용률을 고려하지 않고 있으며, 폐기단계에서도 고철매각 위주로 금속류만 자원으로서 가치를 인정하고 있으므로 본 과제에서 제안한 95% 이상의 철도차량 재활용률 확보를 위한 중점분야는 차별화됨.
- 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술 연구는 유사 연구가 수행된 적이 없음에 중복성이 없는 것으로 판단됨.
- 철도차량의 자원순환을 기반으로 탄소배출 상쇄 효과를 확보할 수 있는 기술은 철도 분야뿐만 아니라 국가 2050 탄소중립 달성에 적합한 기술개발이라고 판단됨.

(나) 기술개발의 적절성

- 국외 철도시장에서는 철도차량의 입찰단계에서부터 제작사에 재활용률에 대한 정보를 요구하고 있으며, 내구년한이 경과한 철도차량의 재활용률을 제고하기 위해 체계적인 처리 과정을 거치고 있으며, 2019년 국내 연구진 주도로 ISO 21106 ‘철도차량 재활용 및 재생 가능률 산정방법’ 국제표준이 제정되어 유럽을 중심으로 국제적인 의무화 추세임.
- 국내 자동차 산업에서는 2010년 이후부터 대규모 국가 R&D 사업을 기반으로 자원순환에 대한 다양한 기술개발이 이루어지고 있으며, 자동차 부품의 부가가치 발생 및 폐기물 재활용 등 분야 신규 일자리 창출 등의 경제적 효과가 실질적으로 사회 전반에 나타나고 있음.
- 국내 철도차량의 폐기물량이 갈수록 늘어나고 있는 시점에서 단순 고철매각만으로는 환경오염 및 자원 낭비에 대한 근원적인 대책 수립이 불가능한 시점으로 재활용률 제고를 위한 기술개발이 필요함.

(다) 기술개발의 우수성

- 중점분야간 연계성이 있도록 구성하였으며, 철도차량의 설계에서부터 폐기까지 전 과정에 걸친 재활용률을 확보할 수 있는 기술개발을 추진함으로써 탄소상쇄뿐만 아니라 경제적 · 환경적 효과를 통해 철도차량 제작업체, 철도운영기관, 폐기업체 등의 이익 창출 기여도가 매우 클 것으로 판단됨
- 자원순환을 고려한 철도차량 시제품 제작 및 폐차 처리 표준시스템을 구축은 현장 적용성 및 실용화 가능성에 중점을 두어 추진하는 것이 적절한 것으로 생각되며, 각 중점분야의 성과물을 유기적으로 구성한 것으로 판단됨

(라) 기술수준 및 개발성공 가능성

- 철도차량은 자동차와 대비 다양한 부품과 소재로 이루어져 있어 실제 재활용 과정에서 기존 자동차에 적용된 기술만으로는 한계가 있으며, 철도차량의 재활용률을 향상시키기 위해서는 철도차량의 특성을 고려한 기술개발이 필수적임.
- 철도차량의 설계단계에서 재활용을 고려한 설계는 기존 철도차량 설계 기술의 보완이 필요하므로 개발 시 난도가 높은 기술이나, 이와 같은 기술개발은 폐기단계에서의 철도차량 재활용률 향상과 연계되기 때문에 더욱 필요한 기술이며, 상호 연계되어 개발되어야 함.
- 본 연구는 철도차량의 전 과정에 걸친 자원순환 시스템을 구축함으로써 철도 분야의 탄소배출 저감뿐만 아니라 폐기물의 재자원화를 기반으로 경제적 효과도 창출하기 위한 것으로 연구 결과는 다양한 철도 분야 탄소배출 저감 관련 대책사업 수행 시 필요성과 당위성을 제시할 수 있는 자료로 정부의 지원이 가장 우선시 되어야 하는 과제임.

라. 경제적 타당성

(1) 방법론

- 사회 편익 및 비용을 분석하고 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return), 비용편익분석(BCR, Benefit Cost Ratio)을 실시하여 본 프로젝트의 경제적 타당성을 점검하였음.
 - 순현재가치는 총 미래 현금 유입의 현재 가치로부터 총 미래 현금 유출의 현재가치를 차감하여 산출하였으며, 의사결정 기준은 산출된 값이 0보다 높을 시, 타당성이 있다고 판단하였음.
 - 내부수익률은 NPV 방식에서 적용 가능한 할인율을 결정하는데 어려움이 있을 때 사용됨. 내부수익률은 미래 현금 유입의 현재 가치와 미래 현금 유출의 현재 가치를 동일하게 만드는 할인율을 의미하며, 의사결정 기준은 내부수익률이 할인율보다 높으면(사회적 할인율 6.0%를 기준으로 함) 타당성이 있다고 판단할 수 있음.
 - 비용편익분석(BCR)은 투자 단위당 가치 크기(배수)를 의미함. NPV는 투자 규모를 직접적으로 나타낼 수가 없음에 따라 이를 보완하기 위한 방법으로 사용하였으며, BCR이 1보다 높을 시, 타당하다고 판단할 수 있음.
- 할인율, 운영비용 및 편익 등 주요 변수의 변화에 따라 발생할 수 있는 영향에 대한 민감도 분석을 병행하였음.
 - 선택적 민감도 분석(Selective Sensitive Analysis)이란 객관적인 검토과정을 거쳐 이루어지는 것으로 여러 가지 가능성 있는 변동 상황 가운데서 중요한 상황들을 선택하고 이들의 변화가 사업의 순현재가치와 내부수익률에 어떻게 영향을 미치는지 밝히는 방법을 말함.

(2) 가정

(가) 할인율

- 본 경제적 타당성 분석에서 사용된 할인율 4.5%는 기획재정부 타당성 심사과에서 권장하고 있는 할인율 4.5%에 의거하였음. (출처: 예비타당성조사 수행 총괄지침 제50조)

표 34. 사회적 할인율 적용 근거

제50조(사회적 할인율)

예비타당성조사에서 사회적 할인율은 4.5%를 적용한다. 다만, 분석 기간이 30년 이상인 철도와 수자원 사업은 운영 30년 동안은 4.5%를 적용하고 이후는 3.5%의 할인율을 적용한다.

사회적 할인율은 경제 및 사회 여건 변화 등을 고려하여 매 3년마다 조정을 검토한다. 단, 중대한 경제·사회적 상황 변화가 발생하거나 긴급한 국가 정책적 필요가 있는 경우에는 3년 이내에 사회적 할인율을 조정할 수 있다.

(나) 물가상승률

○ 산출된 물가상승률 1.03%는 Statista에서 제공하는 대한민국의 최근 물가상승률 변동을 토대로 산정함. 2016년을 기점으로 2% 이하 대의 물가상승률을 기록하고 있어, 2022년의 추정 물가상승률에 대한 평균값을 적용하였음.

○ 이에 따르면, 2022년의 추정 물가상승률에 대한 평균값은 1.1%에 해당하는 것으로 산출되었음.

표 35. 국내 물가상승률 변화

항목	2016	2017	2018	2019	2020(e)	2021(e)	2022(e)	CAGR
물가상승률	0.97%	1.94%	1.48%	0.38%	0.54%	2.19%	1.65%	9.3%



그림 81. 국내 물가상승률 변화

(다) 임금 상승률

- 산출된 임금 상승률 5.1%는 Trading Economics(tradingeconomics.com)에서 제공하는 최저임금에 대한 2012~2021년에 대한 데이터를 근거로 CAGR 값으로 계산됨

표 36. 국내 최저임금 변화

연도	2012	...	2018	2019	2020	2021	CAGR
최저임금 (원)	4,580	...	7,530	8,350	8,590	8,720	5.1%
최저임금 상승률(%)		...	16.4%	10.9%	2.9%	1.5%	-

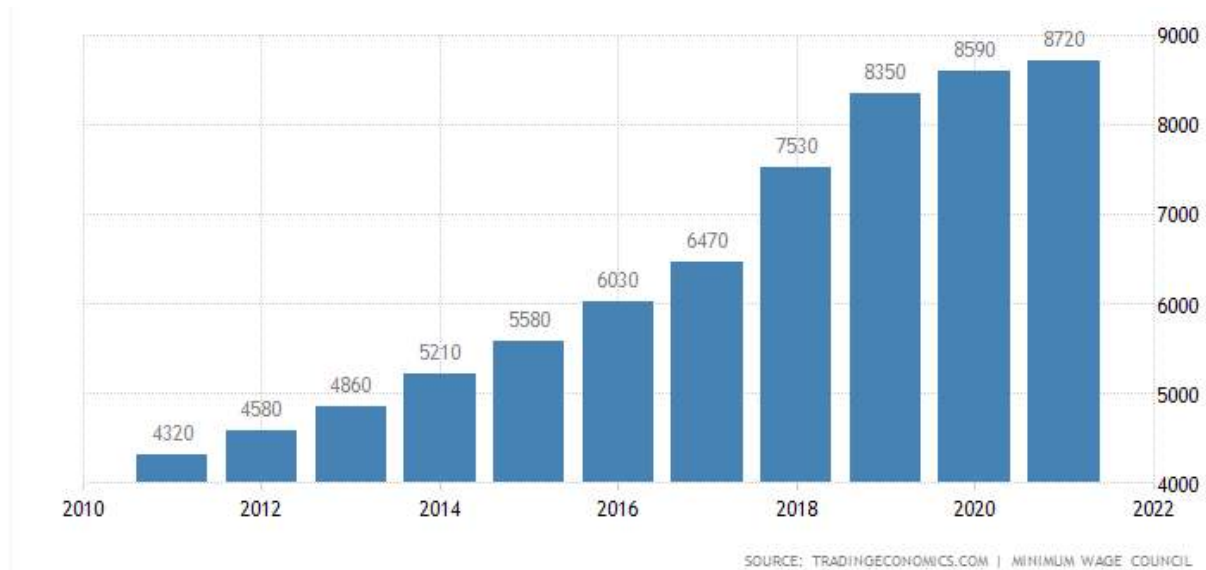


그림 82. 국내 최저임금 변화

(라) 탄소배출권 가격상승률

- 산출된 탄소배출권 가격상승률 13.9%는 한국거래소(KRX) 배출권 시장 정보 플랫폼에서 산정한 최근 KAU(할당배출권) 가격상승률 변동을 토대로 CAGR(2016~2020)값을 산정하였음.

표 37. 국내 탄소배출권 가격상승률 변화

항목	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR
할당배출권(KAU)	12,000	19,300	20,000	25,000	38,100	23,000	13.9%
탄소배출권 가격상승률	-	60.8%	3.6%	25.0%	52.0%	-39.6%	-

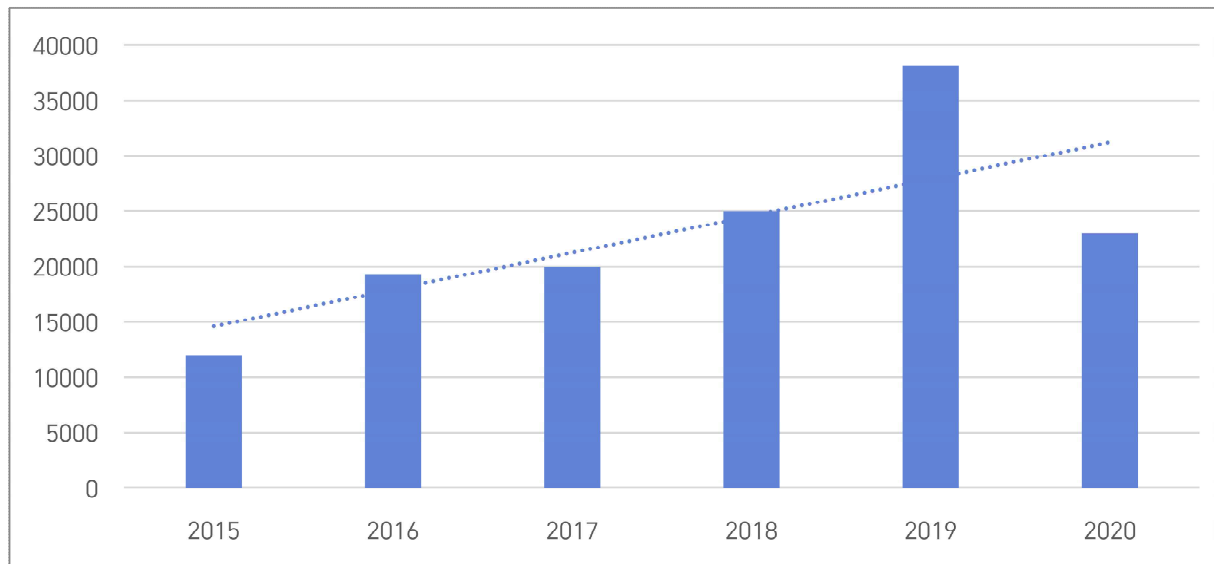


그림 83. 국내 탄소배출권 가격상승률 변화

(마) 원자재 가격상승률(철강)

- 산출된 원자재 가격상승률 10.95%는 국내 e-나라지표 국정 모니터링지표를 토대로 CAGR(2016~2021 상반기) 값을 산정하였음.

표 38. 원자재 가격상승률(철강) 변화

항목	2016		2017		2018		2019		2020		2021	평균 CAGR
	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	10.95%
철스크랩-수입 (달러/톤)	236	267	318	352	423	397	368	353	314	358	508	11.57%
철스크랩-국내 (천원/톤)	189	224	259	288	309	314	299	253	217	247	376	10.33%



그림 84. 원자재 가격상승률(철강) 변화

(바) 원자재 가격상승률(비철금속)

- 산출된 원자재 가격상승률 3.0%는 국내 e-나라지표 국정 모니터링지표를 토대로 CAGR(2016~2021 상반기) 값을 산정하였음.

표 39. 원자재 가격상승률(비철금속) 변화

항목	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR
비철금속 평균	6,457	6,342	7,311	7,845	7,486	3.00%

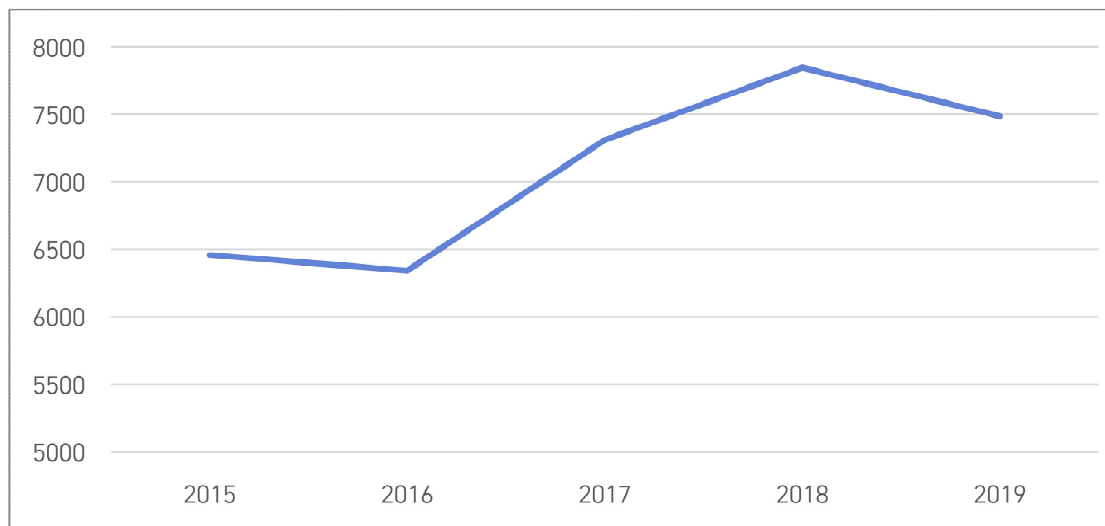


그림 85. 원자재 가격상승률(비철금속) 변화

(3) 비용평가 결과

(가) 탄소상쇄 효과

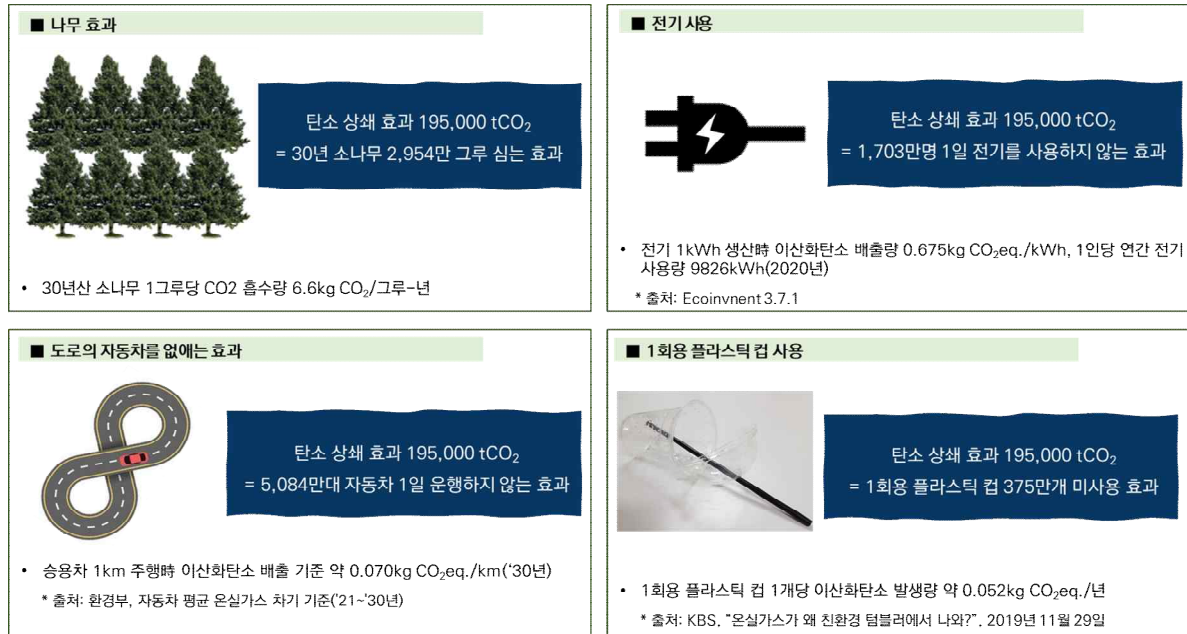
- 철도차량 재활용률 97% 달성 시 탄소상쇄 효과 : 연간 195,000 tCO₂ 저감
 $- 195 \text{ tCO}_2/\text{량} \times 1,000\text{량/년}$

구분		중량 (ton)	탄소상쇄효과 산출계수 (tCO ₂ /ton)	76% 재활용률 (2022)		97% 재활용률 (2027)		비고
				재활용량 (ton)	탄소상쇄량 (tCO ₂)	재활용량 (ton)	탄소상쇄량 (tCO ₂)	
금속	철	15.0	1.81	15.0	27.2	15.0	27.2	
	알루미늄	10.0	9.00	10.0	90.0	10.0	90.0	
비철금속		3.6	9.00	1.6	14.4	3.6	32.4	
기타	플라스틱	1.0	3.92	-	-	1.0	3.9	
	유리	2.0	0.112	-	-	2.0	0.2	
	시트	1.0	4.70	-	-	1.0	4.7	
	냉매	0.02	1,318	-	-	0.02	26.4	
	전기장치	1.5	6.93	-	-	1.5	10.4	
	폐기물	1.0	-	-	-	1.0	-	매립 등
합계		35.2		26.6	131.6	34.2	195.2	
최종 폐기물 발생량(ton)				8.6		1.0		

- 철도차량 재활용에 따른 탄소상쇄 효과 산출 근거

구분	탄소배출원단위 (tCO ₂ /ton)	산정내역	자료 출처
철 금속	1.81	포스코 생산 원단위(2.19tCO ₂ /t) - 전기로 생산 원단위(0.37tCO ₂ /t)	각 사 사업보고서
알루미늄	9.0	재활용 알루미늄의 에너지 요구량은 원광석(bauxite)의 5%	Recycling of Rolling Stocks (MDPI)
비철금속	9.0	알루미늄으로 간주	
플라스틱	3.92	재활용 플라스틱, 전기 5,774kWh에 상응 5,774 kWh × 0.679 kgCO ₂ /kWh(Ecoinvent 3.7.1)	Recycling of Rolling Stocks (MDPI)
		재활용 효과(4.7 tCO ₂ /ton) = 미재활용 처리(소각) 회피(2.38) + 신재대체(2.32)	Ecoinvent 3.7.1
유리	0.112	유리 생산 원단위(1.02) 10% 감축* + 미재활용 처리(매립) 회피(0.0104) *Recycling of Rolling Stocks(MDPI)	Ecoinvent 3.7.1
시트	4.7	미재활용 처리(소각) 회피(2.38) + 신재대체(2.32, HDPE)	Ecoinvent 3.7.1
냉매	1,318	냉매 대기 방출(1,300) + 신냉매 대체(18.14)	Ecoinvent 3.7.1
전기장치	3.96	미재활용 처리(소각) 회피(2.43, 지정폐기물) + 알루미늄 재활용 효과(9.0 × 0.5(재활용률))	Ecoinvent 3.7.1

○ 철도차량 재활용에 따른 탄소상쇄 효과 의미



(나) 경제성 분석

- 본 과제의 경제적 타당성을 검증하기 위한 NPV의 값은 '11.3억 원'로 나타나, 0보다 높음. 다만, 이 수치는 전반적인 편익 항목들의 값의 기준을 설정하는데 있어, 유사 분야를 근거로 제시한 보수적인 시나리오이므로, 타당성이 있으리라 예측됨.
- 본 과제의 경제적 타당성을 검증하기 위한 IRR의 값은 '6.1%'로 나타나, 타당성이 있음을 의미하는 값인 할인율 '4.5%'보다 높으며, BCR의 값은 '1.18'로 나타나, 타당성이 있음을 의미하는 1보다 높음.

표 40. 경제적 타당성 분석 결과 요약

평가 방법	산출 값	판단 기준	분석 결과
NPV(순현재가치)	11.3억 원	> 0	경제적으로 타당함
IRR(내부수익률)	6.1%	> 4.5%	경제적으로 타당함
BCR(비용편익분석)	1.18	> 1	경제적으로 타당함

- 할인율, 비용, 편익 등 변동에 따른 민감도를 분석하여 타당성 지표인 NPV, BCR, IRR 등의 값 변화를 산출함.

표 41. 할인율 변동을 반영한 민감도 분석 결과

할인율	NPV(억 원)	BCR
2.5%	102.4억 원	1.63
3.5%	48.7억 원	1.37
4.5%(기준점)	11.3억 원	1.18
5.5%	-24.3억 원	0.89
6.5%	-92.7억 원	0.74

표 42. 편익과 비용의 변동을 반영한 민감도 분석 결과

변수		NPV(억 원)	IRR	BCR
비용 변화 없음	편익 변화 없음	11.3억 원	6.1%	1.18
비용 증가(10%)	편익 변화 없음	6.2억 원	4.8%	1.04
비용 증가(20%)	편익 변화 없음	1.4억 원	2.4%	0.84
비용 감소(10%)	편익 변화 없음	72.0억 원	7.2%	1.27
비용 감소(20%)	편익 변화 없음	176.2억 원	9.8%	1.42
비용 변화 없음	편익 증가(10%)	68.8억 원	5.3%	1.25
비용 변화 없음	편익 증가(20%)	169.8억 원	7.1%	1.37
비용 변화 없음	편익 감소(10%)	4.4억 원	-2.1%	1.09
비용 변화 없음	편익 감소(20%)	-3.2억 원	-3.9%	0.78
비용 증가(10%)	편익 감소(10%)	-1.4억 원	-3.5%	0.79
비용 증가(20%)	편익 감소(20%)	-6.9억 원	-6.7%	0.65
비용 감소(10%)	편익 증가(10%)	132.1억 원	12.3%	1.48
비용 감소(20%)	편익 증가(20%)	238.8.억 원	17.6%	1.87

(다) 가치사슬

- **(가치사슬 개요)** 철도차량의 설계부터 폐차에 이르는 전 주기에 있어, 기존 일반 철도차량 제작 과정 가치사슬에 부가적 활동이 추가됨.
- **(보조 활동)** 친환경 소재 탄소 정보체계가 적극적으로 반영된 지원, 관리 체계로 변화됨.
 - 재활용성을 고려한 철도차량이 제작될 수 있도록, 최신화된 정보체계 제공
 - 기존 가치사슬 내 참여기업들을 대상으로 친환경 철도차량 제작에 대한 인식 확산

이 이루어질 수 있도록 관련 인적 자원 확충과 교육체계 추가

- (본원적 활동) 단계별로 표준모델에 기반한 자발적인 친환경성 평가와 친환경 부품 탄소 정보체계를 활용하도록 하여, 친환경 철도차량 설계 및 제작을 위한 안정적인 공급/수급 체계가 구축됨.
- 설계, 소재, 부품 단계에서 재활용성 평가가 추가되며, 탄소 정보체계 디지털 플랫폼에 정보를 등록, 검토하는 과정이 추가
- 소재, 부품, 운영, 폐차 과정에서 발생하는 탄소상쇄 효과를 데이터화하여, 탄소 정보체계 디지털 플랫폼 기반 친환경 철도차량 제작 고도화에 기여

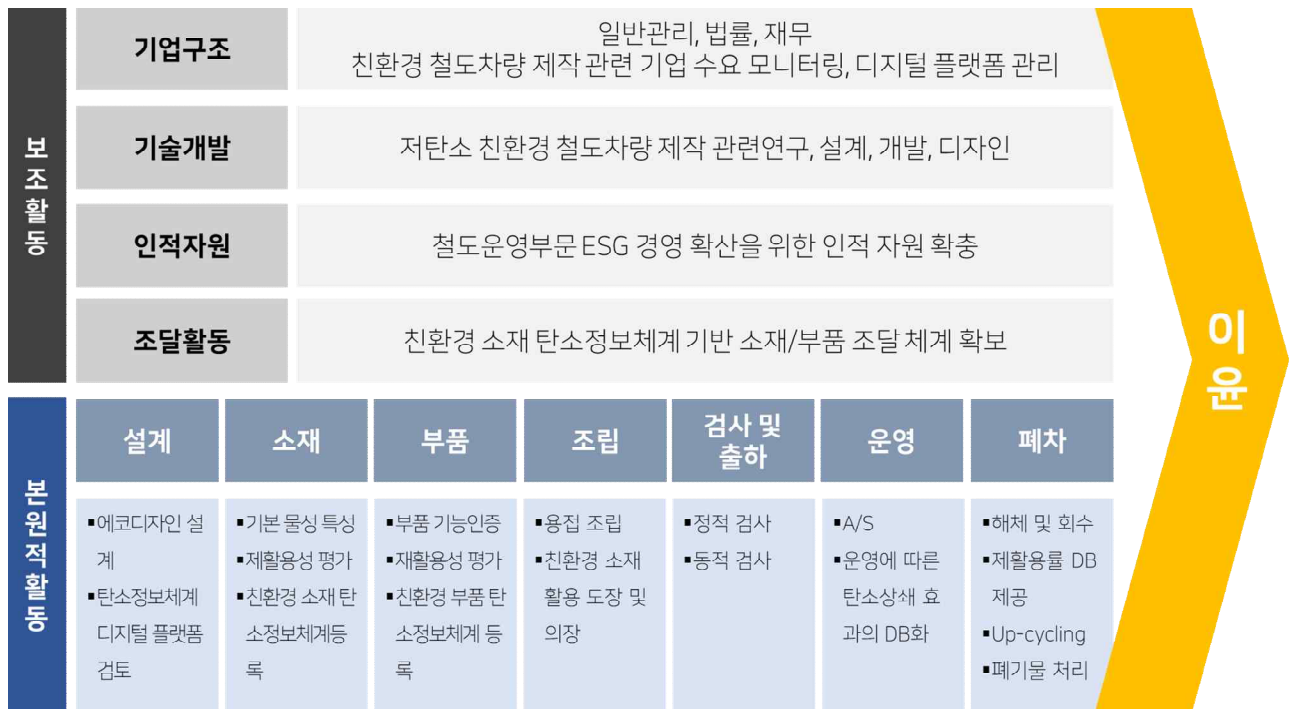


그림 86. 가치사슬 분석 결과

5. 인력투입 계획 및 소요예산 산정

가. 인력투입 계획

(단위: M/M)

세부과제	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합 계
자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 기술 개발	책임급	8	20	26	15	9	78
	선임급	8	27	25	14	11	85
	소 계	16	47	51	29	20	163
철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술 개발	책임급	16	33	48	22	17	136
	선임급	15	42	45	19	17	138
	소 계	31	75	93	41	34	274
저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발	책임급	13	20	24	13	11	81
	선임급	12	25	24	13	14	88
	소 계	25	45	48	26	25	169
합 계	책임급	36	72	96	48	36	288
	선임급	36	95	96	48	43	318
	합 계	72	167	192	96	79	606

* (M/M) 참여율 100% 기준의 인원×개월수

나. 소요예산 산정

○ 연차별 소요예산

(단위: 백만원)

세부과제	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합 계
자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 기술개발	인건비	100	320	350	200	140	1,110
	직접비	400	1,000	1,200	900	650	4,150
	간접비	70	180	220	150	110	730
	소 계	570	1,500	1,770	1,250	900	5,990
철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발	인건비	180	500	620	270	220	1,790
	직접비	580	1,620	2,000	1,480	1,000	6,680
	간접비	100	300	370	250	170	1,190
	소 계	860	2,420	2,990	2,000	1,390	9,660
저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발	인건비	150	300	340	180	179	1,149
	직접비	350	650	750	480	450	2,680
	간접비	70	130	150	90	81	521
	소 계	570	1,080	1,240	750	710	4,350
합 계	인건비	430	1,120	1,310	650	539	4,049
	직접비	1,330	3,270	3,950	2,860	2,100	13,510
	간접비	240	610	740	490	361	2,441
	합 계	2,000	5,000	6,000	4,000	3,000	20,000

○ 주요 직접비(장비, 재료, 시작품, T/B·실증 등) 산정 근거

(단위: 백만원)

세부과제	구분	내역	합계
자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 기술개발	장비·재료	· 철도차량 설계단계 재활용률(탄소배출량) 평가도구 1식 · 철도차량 공급망 탄소정립 관리체계 도구 1식 · 재활용 소재 적용 철도차량 부품 각 1식 · 해체 및 재활용 용이 설계 부품 각 1식	1,800
	시작품	· ISO 21106 95% 이상 재활용 가능률 철도차량 표준모델 시제품 1량	1,400
	T/B·실증	· 표준모델 시제품 재활용률(95% 이상) 실증	550
	소계		3,750
철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발	장비·재료	· 철도차량 해체 및 부품/소재회수 전용도구 각 1식 · 철도차량 부품 및 소재 회수정보 전산시스템 1식 · 유해물질 비산방지 독립공간 1식 · 차체/대차 분리 및 차체 회수 설비 1식	4,000
	시작품		
	T/B·실증	· 철도차량 자원순환 표준시스템 T/B 구축 및 시범운영	2,000
	소계		6,000
저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발	장비·재료	· 철도차량 재활용률/탄소평가 DB 각 1식	580
	시작품	· 철도차량 회수부품(출입문, HVAC 등) 업사이클링 기술 적용 시작품 각 1식	1,600
	T/B·실증		
	소계		2,180

6. 과제 제안요구서 및 평가기준 설정

가. 과제 제안요구서(RFP)

국가연구개발사업 과제제안요구서(RFP)			
중앙행정기관명	국토교통부	관리번호	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		
사업유형	기술개발/기반구축/인력양성/학술진흥 등	사업명	
선정방식	정책지정 / 과제공모 ※ 과제공모 : 지정, 품목, 분야 공모		

1. 제안요구내용

연구개발과제 (연구개발주제)명	탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발
개 요 (1000자 이내로 기술)	○ 유럽 철도는 EU 그린딜의 정책 및 탄소중립 목표달성을 위하여 철도교통 수요가 지속적으로 증가하고 있음에도 철도 탄소배출량 순배출량 제로화, 에너지 소비효율 개선 정책을 포함한 목표를 제시하고 있음 ○ 유럽은 그린딜을 통하여 탄소중립사회로의 전환을 가속화하고 있어 유럽 내 탄소 누출 리스크 최소화를 목적으로 다양한 환경규제를 도입하고 있으며 대표적으로 탄소국경세, 제품환경발자국 및 ESG 경영 강화임 - 소비자가 ‘그린워싱’의 위험을 줄이고 지속가능한 결정을 할 수 있도록 믿을 수 있고 비교 가능하며 검증가능한 정보를 제공하는 것이 중요 - 환경 주장(green claims)을 하는 기업들은 표준화된 방법에 따라 환경에 대한 영향을 입증해야 함 ○ 국내 또한 탄소중립사회로의 전환을 위하여 ‘21년 탄소중립법을 제정하였으며 여기서 국가 온실가스 배출량을 2030년까지 2018년의 국가 온실가스 배출량 대비 35퍼센트 이상의 범위에서 감축하도록 명시하고 있으며 이를 위하여 각 부문별 감축목표를 설정하고 있음 ○ ‘21년 12월 국토교통부는 2050 탄소중립 선언에 따라 교통부문 탄소배출 목표달성을 위하여 철도중심의 교통체계 전환 강화를 포함한 국토교통 탄소중립 로드맵을 발표하였음 ○ 수송부문은 2018년 배출량 대비 37.8%를 감축하도록 의무화하고 있으며 목표 달성을 위하여 대중교통 중심 교통체계(자동차 주행거리 감축), 무공해차 보급 확대(450만대), 바이오 디젤 혼합률 상향(3%→8%) 등을 제시하고 있음

	○ 아직까지 국내 철도 부문은 유럽과 달리 철도분야의 탄소배출 제로화 목표를 제시한 바는 없으나 유럽의 그린딜 내 탄소국경세, 제품환경발자국 등의 자국 산업의 보호를 목적으로 내걸고 있는 환경규제에 대응할 수 있는 탄소중립 기술 개발이 시급함 ○ 글로벌 탈탄소 사회로의 전환 요구로 강화된 글로벌 환경규제 등에 국내 철도산업의 대응 기반 구축을 통한 국내 철도산업의 글로벌 시장진출 확대를 지원하기 위하여 아래의 기반 기술개발이 시급함 - 설계단계에서 자원순환(ISO 21106* 기준 95% 재활용 가능율)과 탄소 저감을 고려한 가능한 친환경 차량 제작 및 ESG 대응 기반 기술 - 폐기단계 95% 이상 자원회수로 탄소상쇄가 가능한 철도차량 재활용 표준시스템 구축 - 재활용을 고려 및 탄소저감 설계적용 친환경 철도차량 평가 및 인증 기반 기술개발 * ISO 21106, Railway applications – Recyclability and recoverability calculation method for rolling stock
--	---

1) 배경 및 필요성

- 2015년 채택된 파리기후협약 이행을 위하여 **글로벌 탈탄소 사회로의 전환이 가속화되고 있으며 윤석열 정부도 탄소중립, 그린택소노미*, 순환경제를 핵심으로 기후 환경 정책을 발표하였음.**

* 그린택소노미 : 친환경 산업을 구분하여 녹색 투자 지원 여부를 결정하는 분류기준

* 조선일보 (4/29) - 인수위 환경 정책 발표... 키워드는 탄소중립 · 그린택소노미 · 순환경제

- **새정부 인수위는 글로벌 산업계의 핵심화두인 ESG 경영*에도 관심을 가지고 있으며 ESG 경영의 핵심은 탄소배출량 정보 공개를 통한 탄소중립 목표 달성임.**

* 연합뉴스 (4/29) - 안철수 "새정부, ESG에 관심 많아"...민간합동 컨트론타워 구축

* ESG 경영 : 친환경, 사회적 책임 경영, 지배구조 개선의 비재무적 기업 가치평가를 반영하여 지속 가능한 발전을 유도. 한 국가의 성패를 결정하는 키워드로 부상

- 유럽을 중심으로 **글로벌 철도는 2050 탄소배출 넷제로를 목표로 하고 있으며 달성방안으로 철도차량의 경우 신차 구매 단계에서 차량의 생애주기 탄소배출량 및 재활용률 정보를 포함한 환경성적표지*를 요구하고 있음.**

* 환경성적표지(Environmental Product Declaration, EPD) : ISO 14025 표준의 환경라벨링으로 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment) 기반의 생애주기 탄소배출량을 정량화한 보고서

- **철도차량은 폐기단계에서 단순 고철매각 이외 법적규정이 없어 폐기 처리과정에서로 대기 및 토양오염, 소음으로 다수의 민원*이 제기된 바 있으며 현정부의 순환경제 정책에 부합되는 친환경 기술개발이 요구됨.**

* MBN 뉴스 (2018) - 산더미처럼 쌓인 폐 전동차, 쓰레기장 된 그린벨트, 전철 폐차 법적 규제 전무 외

2) 제안요구 내용

(1) 사업 목표

- 글로벌 탈탄소 사회로의 전환 요구로 강화된 환경규제 대응에 적합한 설계단계에서 자원순환(ISO 21106 기준 95% 재활용 가능성)을 고려한 지속 가능한 친환경 차량 기술
 - 폐기단계 95% 이상 자원회수로 탄소상쇄가 가능한 철도차량 재활용 표준시스템 구축 및 환경성 인증/제도 개선

(2) 사업 세부내용

- 자원순환을 고려한 저탄소 친환경 철도차량 설계기술 개발
 - EU ESG(Environmental, Social and Governance) 및 택소노미(Taxonomy, 온실가스 감축에 기여하는 녹색경제활동 분류) 등 탄소규제 대응 기반 디지털 플랫폼 구축 및 95% 이상 재활용 가능성을 만족하는 자원순환형 철도차량 표준모델 설계기술 개발
 - * 현재 국내 철도차량 재활용률은 약 80% 미만(실제 재활용 효율 고려 시 더 낮아짐) 수준으로 파악됨

(주요 연구내용)

- 설계단계 전 과정 기반 탄소배출량 및 재활용률 예측도구 개발
- 철도차량 차종별 구성부품 및 소재 분류체계 구축
- 차량 부품/소재 공급망 탄소정보체계 디지털 플랫폼 개발
- 철도차량 주요 부품(단열재, 바닥재, 유리 등) 친환경 소재 적용 기술개발 및 시제품 제작
- 유지보수 및 해체 용이 모듈화 설계기술 개발 및 시제품 제작
- 95% 이상 재활용 가능률 철도차량 표준모델 설계 및 제시

○ 철도차량 자원회수를 통한 탄소상쇄 표준시스템 구축 기술개발

- 폐철도차량 친환경 해체/재활용 모델 시범 적용 및 탄소상쇄 관리

(주요 연구내용)

- 폐철도차량 친환경 해체 및 재활용 표준시스템 설계 및 전용 설비 제작
- 폐철도차량 친환경 해체 및 재활용 표준시스템 구축 및 관리
- 폐철도차량 95% 이상 재활용 네트워크 구축
- 폐철도차량 친환경 해체 및 재활용 표준시스템 시범운영 및 실용화

○ 저탄소 친환경 철도차량 평가 및 인증제도 개발

- 국제기준(ISO 등) 및 전 과정 재활용 관련 규정에 기반한 평가·검증 기반 구축

(주요 연구내용)

- 철도차량 탄소평가(재활용률) 인증기준 및 절차(안) 작성
- 철도차량 탄소평가(재활용률) 부품/소재 DB 구축
- 철도차량 회수부품(HVAC, 출입문 등) Upcycling 제품화 기술개발
- 국외 철도차량 재활용 관련 규정 및 국내 자동차 재활용 관련 법령체계 검토
- 국내 철도차량 재활용 관련 법령체계 개정(안) 마련
- 저탄소 친환경 철도차량 설계 관련 법령 개정(안) 및 기술기준(안) 제시
- 철도차량 친환경 해체/재활용 관련 법령 개정(안) 및 기술기준(안) 제시
- 저탄소 친환경 철도차량 설계 및 철도차량 친환경 해체/재활용 관련 법령 개정(안) 고시

3) 기타 지원조건

※ 과제 제안요구 내용 이외에 필요한 지원요건을 기술
(예를 들어 수혜기업 참여, 안전관리 및 개발위험 예측 및 극복방안 등)

2. 추진체계 및 예산/기간

주관연구개발기관 유형					필수참여 기관유형				중소기업 등 필요한 기관 유형 (해당 시 작성)			
예산규모(~ 이내)	• 1차 연도 : 20 억원 • 전 체 : 180억원				기술료 징수 여부 (사업화 대상)				징수 (), (징수)감면 () (징수)면제 () 비징수 ()			
연구개발비 (단위: 천원)	정부지 원 연구개 발비		기관부담 연구개 발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발 비 외 지원금
					지방자치단 체		기타 ()					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계		
총계		18,000,000										
1 단계	1년 차	2,000,000										
	2년 차	4,500,000										
	3년 차	5,000,000										
2 단계	4년 차	3,500,000										
	5년 차	3,000,000										
연구개발과제 특성·유형		☐ 기술준비단계 착수:(), 종료:() ☐ 과제구조 연구개발과제(○) 총괄연구개발과제() ☐ 보안과제 일반 (○), 보안 () ☐ 범부처 정책 ()										

나. 평가기준 설정

(1) 제안요청 과제의 목적과 제안과제의 연구목표의 일치도 : 배점 30점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
과제목적의 적합성	과제의 목적에 적합한 과제인가?	30	25	20	15	10
소계						

(2) 연구목표 달성을 위한 전문성 및 추진체계 : 배점 30점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
최종 목표	연구개발 최종목표의 적절성 및 부합성?	10	8	6	4	2
단계별 목표	단계별 목표의 적절성 및 부합성?	10	8	6	4	2
연구 추진체계	목표 달성을 위한 체계적인 연구추진체계를 갖추고 있는가?	10	8	6	4	2
소계						

(3) 자체설정 목표 달성 가능성 : 배점 40점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구성과	정량적 연구목표는 적절한가?	10	8	6	4	2
연구의 독창성	연구 결과의 독창성(국내외 최초 등)?	10	8	6	4	2
실용성	연구 결과의 실용성?	10	8	6	4	2
결과활용	기대성과 및 활용방안의 적절성?	10	8	6	4	2
소계						

참고문헌

EU (2022), Europe's rail joint undertaking multi-annual work programme

IEA (2021), Net zero by 2050 - A roadmap for the global energy sector

UIC (2021), Vision of rail 2030

UIC (2021), The future of rail - Opportunities for energy and the environment

Department of Transport (2021), Decarbonising transport - A better, greener Britain

JR East (2021), Zero carbon challenge 2050

SNCF (2021), Energy efficiency low carbon technologies

ITS, University of California (2019), An improvement on the end-of-life of high-speed rail rolling stocks considering CERP composite material replacement

Jacobs (2021), The U.K.'s network of the future

NetworkRail (2020), Traction decarbonisation network strategy

ISO 21106 (2019), Railway Application - Recyclability and recoverability calculation method for rolling stock

국토교통부 (2021), 국토교통 탄소중립 로드맵

KOTRA (2021), 해외 탄소시장 진출 가이드

한국철도기술연구원 (2021), 글로벌 탈탄소 규제 대응 철도산업 탄소평가 및
탄소중립기술 기획 최종보고서

에너지경제연구원 (2021), 유럽 그린딜의 동향과 시사점

과생상품시장본부, 2020년 배출권시장 운영리포트, 2021

관계부처 합동, 「2050 탄소중립」 추진전략, 2020

KISTEP, 국가연구개발사업의 기획과 사전평가를 위한 논리모형의 활용, 2016

Sullivan, J., Williams, R., Yester, S., Cobas-Flores, E., Chubbs, S., Hentges, S.,
Pomper, S. (1998) Life cycle inventory of a generic US. family sedan overview
of results USCAR AMP project, Total Life Cycle Conference Proceedings, pp.
1-14.

Lu Wang, Ming Chen (2013) Policies and perspective on end-of-life vehicles in
China, Journal of Cleaner Production, 44, pp. 168-176.

Miroux, A. (2014) Review of maritime transport, In United Nations United
Nations Conference on Trade and Development.

Merijn Hougee (2013) Shades of green in the ship recycling industry An
assessment of corporate end-of-life vessel policies and practices.

J.-K., Choi et al. (2016) Resources, Conservation and Recycling 107, pp. 82 -91.

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=51244

DIRECTIVE (2002) 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment(WEEE) European, European Official Journal of the European Union

이화조 외 (2009) 청정기술 제15권 제1호, 전기전자제품의 재활용 가능성을 표준산정방법에 관한 연구, pp. 23-30

Fujisaki, K. (2005) Case study of a recycling parameter calculation tool based on DFD, Environmentally conscious Design and Inverse Manufacturing, 4Th International Symposium of Eco-Design , 12-14, pp. 216-222

Japanese Government (2001) Law for Promotion of Effective Utilization of Resources, The Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan.

국제 전자위원회(INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION), IEC/TR 62635 기술 보고서

한국전자정보통신산업진흥회(Korea Electronics Association), 전자제품의 재활용 가능성을 산정을 위한 부품 및 재료의 재활용률 기준 관련 단체규격

Eylem Asmatulu, Michael Overcash, Janet Twomey, Recycling of Aircraft: State of the Art in 2011, Journal of Industrial Engineering vol 2013(2013)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업 탄소상쇄형 친환경 철도차량 제작 및 재활용 기술개발 기획 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통연구기획사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.