국토교통연구기획사업

철도 안전 확보 및 운용률 향상을 위한 동절기 피해예방 기술개발 기획 최종보고서

2016. 9.

주관연구기관 / 한국철도공사
공동연구기관 / 한국교통대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Land , Infrastructure and Transport R&D Report

철도 안전 확보 및 운용률 향상을 위한 동절기 피해예방 기술개발 기획

국토교통과학기술진흥원
국 토 교 통 부

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 **"철도 안전 확보 및 운용률 향상을 위한 동절기 피해예방 기술개발 기획"** 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 9.

주관연구기관명 : 한국철도공사
주관연구책임자 : 정형일 과장
연 구 원 : 양정무 차장
연 구 원 : 이병곤 차장
연 구 원 : 최재식 차장
연 구 원 : 권세곤 과장
연 구 원 : 김영철 과장
연 구 원 : 김주원 대리
안전본부 : 김대식 차장
운전기술단 : 임정운 차장
차량기술단 : 소진섭 차장
시설기술단 : 강태구 단장
시설기술단 : 전영식 차장
시설기술단 : 전일식 차장
전기기술단 : 신영인 차장
전기기술단 : 김상진 차장
영주차량사업소 : 김용한 소장

공동연구기관명 : 한국교통대학교
연구책임자 : 권혁빈 교수
교통대 : 방명석 교수
교통대 : 김영매 학생

보고서 요약서

과제고유번호	15RDPP-C102423-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2015-08-27 ~ 2016-04-26 (8 개월)	단 계 구 분	해당없음
연 구 사 업 명	중 사 업 명				
	세부 사업명	2015년 국토교통연구기획사업			
연 구 과 제 명	대 과 제 명				
	세부 과제명	철도 안전 확보 및 운용률 향상을 위한 동절기 피해예방 기술개발 기획			
연 구 책 임 자	정형일(주관) 권혁빈(공동)	해당단계 참 여 연구원 수	총: 19명 내부: 19명 외부: 0명	해당단계 연 구 비	정부:50,000천원 민간:50,000천원 계:100,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 19명 내부: 19명 외부: 0명	총 연구비	정부:50,000천원 민간:50,000천원 계:100,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국철도공사 연구원(주관) 한국교통대학교 교통시스템공학과(공동)			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위 탁 연 구	연구기관명:			연구책임자:	
● 동절기 피해예방 기술의 정의 및 필요성 ● 동절기 피해예방 기술개발동향 분석 ● 동절기 피해예방 요소기술 도출 ● 기술개발전략 수립 및 과제별 상세 기획				보고서 면수 : 196P	

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	동 절 기 피 해 , 자 갈 비 산 , 설 빙 , 철 도 , 안 전
	영 어	Winter Problem, Ballast flying, Snow and Ice, Railway, Safety

요약문

제1장 기술의 정의 및 필요성

- 겨울철 철도 운영선구에서는 눈, 얼음, 빙점 이하의 저온으로 인하여 철도차량, 시설물 및 열차 운영상의 손해가 발생하고 있음
- 특히, 2004년 고속철도 개통 이래로 지속적으로 발생하고 있는 고속차량 설빙에 의한 자갈 비산 피해는 KTX-산천 운행 및 호남고속선 개통에 따라 증가 추세에 있음
- 동절기 철도피해는 비단 국내만의 문제가 아니라 일본, 미국, 유럽 등 국외에서도 지속적으로 발생하고 있으므로 동절기 피해를 예방할 수 있는 기술에 대한 관심도 증가하고 있음
- 국내에서는 국가 정책적으로도 자연재해에 따른 피해 최소화를 장려하며, 특히 국토교통부에서는 겨울철 폭설·결빙에 대비하여 철도안전관리를 시행하고 있지만 실효성이 부족한 실정임
- 또한 철도운영기관에서는 자체적으로 동절기 피해예방 및 대응을 위하여 운영 및 유지보수 관점에서의 대책을 수립하여 대응하고 있지만 한계점을 가지고 있음
- 그러므로 동절기 피해를 예방하고 체계적인 동절기 관리기술 개발을 통한 철도 운영 효율화를 도모하고 국가 기간교통망인 철도교통의 안전 확보 및 국민 편익 향상을 위하여 기술개발이 필요함
- 또한 향후 남북철도 연결 등 운영환경 변화와 고속철도 수출 다변화를 위한 선제적 기술개발 및 확보 필요
- 이러한 동절기 철도피해를 예방하기 위한 대책들은 대체로 아래의 범주 중 하나에 속해 있음

  ① 동절기에 한하여 특별히 시행되는 유지보수 대책

  ② 동절기 차량 또는 시설물 장애에 대비한 비상 운영 대책

  ③ 동절기 문제의 근원적 방지 또는 저감을 위한 예방기술

- 본 기획연구에서는 동절기 피해 예방기술 중에서 철도운영자가 통상적으로 실시하고 있는 유지보수 대책이나 비상운영 대책을 제외하고 동절기 문제를 근원적으로 방지하거나 저감할 수 있는 기술을 연구범위로 하여, 동절기 피해 예방기술을 ‘눈, 얼음, 빙점 이하의 저온으로 인하여 발생하는 철도차량, 시설물 및 열차 운영상의 손해를 근원적으로 방지하거나 저감할 수 있는 기술’로 정의함

제2장 국내외 동향 및 환경분석

- 대부분의 국가에서 교통수단 간 균형을 통한 지속가능한 발전, 기후변화협약 대응의 일환 등으로 철도투자 증대 추세
- 또한 다수의 국가에서 동절기 피해에 관하여 국가적으로 대응하기 위하여 노력하고 있고 특히, 일본 및 유럽은 국가 정책적으로 동절기 피해 대응을 정책적으로 지원하고 있음
- 이러한 추세에 발맞추어 국내에서도 철도교통의 안전성 향상 및 기능 유지를 목표로 하여 동절기 피해 대응에 대해 정책적으로 장려하고 있음
- 항공 및 도로 동결방지(De-icing/Anti-icing)분야는 글로벌 시장이 형성되어 있으며, 연간 5% 내외 지속적인 성장을 보이고 있음
- 철도분야에서는 북유럽, 북미를 중심으로 4~5개 기업이 활동하는 등 부분적으로 시장이 형성되어 있음
- 관련분야 특허는 1990년 이후로 총 200건의 관련 유효특허가 출원되었고 특허 출원이 점점 증가함에 따라 이 분야에 대한 관심이 증가하고 있으므로 한국도 향후 관련 분야 기술 확보가 시급함
- 관련 논문은 1990년 이후로 총 12건의 유효 논문이 검색되었고, 대부분의 논문이 현장 적용 위주의 연구가 이루어지고 있음
- 연구개발 환경은 선진국 대비하여 전문인력과 산학연 공동연구기반은 동등 수준인 것으로 판단되나 관련 산업, 연구기자재는 다소 부족한 것으로 나타남

제3장 동절기 피해예방 요소기술 도출

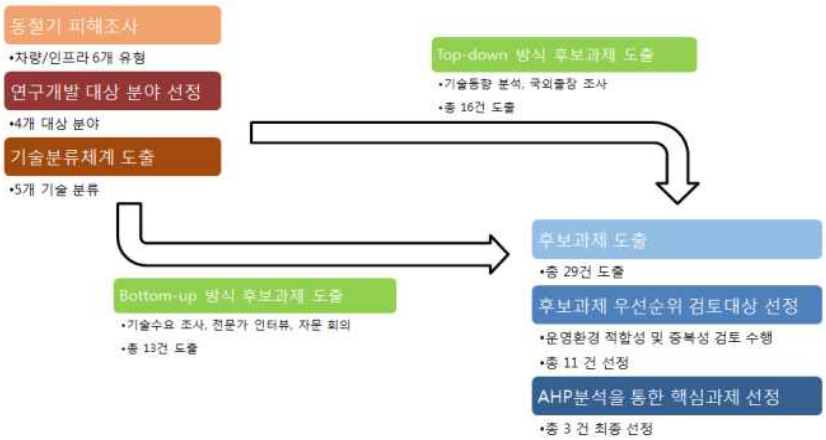
- 철도분야 동절기 피해의 효과적인 예방과 저감을 위하여 주요 피해유형에 대응하여 기술분류체계(안)을 구성하고 이에 필요한 요소기술을 내외부 전문가 자문, 브레인스토밍, 국내외 기술조사, 국외 출장 등을 통하여 도출하였음

< 기술분류체계(안) >

- 철도차량에 눈이 부착되게 되면 고속선 설빙피해, 차량부품 동결 등의 철도차량의 동절기 문제를 야기하므로 철도차량 설빙 방지 기술(Snow and ice protection technology)을 통하여 효과적인 착설, 결빙의 방지(Anti-icing)와 눈, 얼음의 제거(De-icing)가 필요함
- 철도차량 설빙방지 기술에는 공기역학적 형상설계를 통한 제빙/방빙 기술, 부착력이 낮은 재료를 사용하여 착설/착빙을 예방하는 기술, 항공기 제빙부츠와 같이 기계적인 힘을 가하여 제빙하는 기술, 온수/열풍 등의 열을 이용하여 제빙하는 기술 및 프로필렌 글리콜 등의 제빙액 사용을 통한 화학적 제빙법이 있으며, 일반적으로 사용되는 온수나 열풍을 이용하는 방법에 비해 화학적 방법이 단시간 제빙 가능하고 에너지 소모가 적은 것으로 알려져 있음
- 철도선로가 눈에 덮이게 되면 열차 운행에 지장을 주며, 적설량이 많지 않은 경우에도 열차풍에 의해 각종 설빙피해를 유발하기 때문에 철도 선로에 눈을 쌓이지 않게 하거나, 쌓인 눈을 효율적으로 제설할 수 있는 기술이 필요함
- 철도 선로 눈 방지를 위하여 선로상의 눈 제거 및 날림 방지를 위한 스프링클러, 고가교의 효율적인 제설을 위한 배설식 고가교 등의 제설설비를 이용한 방법, 제설 차량을 이용한 선로 제설방법 및 눈 침입과 쌓임으로부터 선로를 보호 할 수 있는 방설벽을 이용한 방법이 있음
- 선로전환기는 노반에 놓여있기 때문에 눈과 얼음이 틈새에 쌓이기 쉬워 이로 인한 장애가 빈번하게 발생하고 있고 히팅장치를 이용하여 선로전환기 주요 동작부를 제설하고 있지만 일정 이상의 적설 시 여전히 장애가 발생하고 있으므로 이를 대체할 효율적이고 신뢰성 있는 기술이 필요함
- 북유럽에서는 선로전환기 커버나 방설 브러쉬 등을 이용하여 눈 침입에 의한 피해를 예방하고 열 확산을 방지하고 있고, 일본에서는 궤도의 배수시스템이 구축된 일부 구간에 고압 온수 분사를 이용하여 눈을 제거하고 있으며, 철도차량과 마찬가지로 프로필렌 글리콜 등의 화학 제빙액을 이용하는 방법, 브러쉬 타입의 제빙기를 이용하여 기계적으로 제빙하는 방법 등이 있음
- 전차선은 동절기에 민감한 철도시스템 중에 하나이며, 전차선 착빙, 터널 내 고드름 접촉 등에 의해 전차선 단전 장애가 발생하여 겨울 전 고드름 제거 용역 등의 유지보수 대책을 시행하고 있지만 근본적인 대책은 되지 않고 있음
- 전차선 장애예방 기술에는 전차선로의 절연저항 특성을 이용하여 가열하는 전차선 히팅하는 기술, 화학적 제빙액을 이용하여 전차선 착빙을 방지하는 기술 등이 있음
- 지반의 동결은 열차의 주행 동특성에 영향을 미치는 선로 불균형을 유발시킬 수 있으며, 선로동상 저감을 위한 효과적인 유지보수를 위하여 동상 팽창압을 흡수할 수 있는 궤도틀림 보정공법, 비동상재료를 이용하여 치환다짐하는 방법, 배수관을 설치하여 잔존 수분의 배수 성능을 향상시키는 공법 및 도상자갈궤도 고결화를 시행하여 선로 동상을 예방하는 방법 등이 있음

제4장 기술개발전략 수립

- 동절기 피해를 효과적으로 예방 할 수 있는 연구과제 도출을 위하여 동절기 피해조사를 통하여 고속선 설빙피해, 선로전환기 동결 등 연구개발 대상 분야를 정립하고 이에 따라 기술분류체계(안)를 도출하였음
- 기술분류체계(안)을 토대로 하여 국내외 사례조사, 기술수요조사, 운영부서 및 현장 전문가 인터뷰, 관련분야 전문가 자문 등을 통하여 총 29건의 후보과제를 도출하였음
- 후보과제에 대한 운영환경 적합성 및 과제간 중복성 검토를 통하여 핵심과제 선정을 위한 대상과제 11건을 선정하여 기술개발 우선순위 선정을 위한 평가지표를 선정하고 철도분야 전문가를 대상으로 AHP(Analytic Hierarchy Process)설문조사를 시행하여 핵심과제 3건을 최종 선정하였음

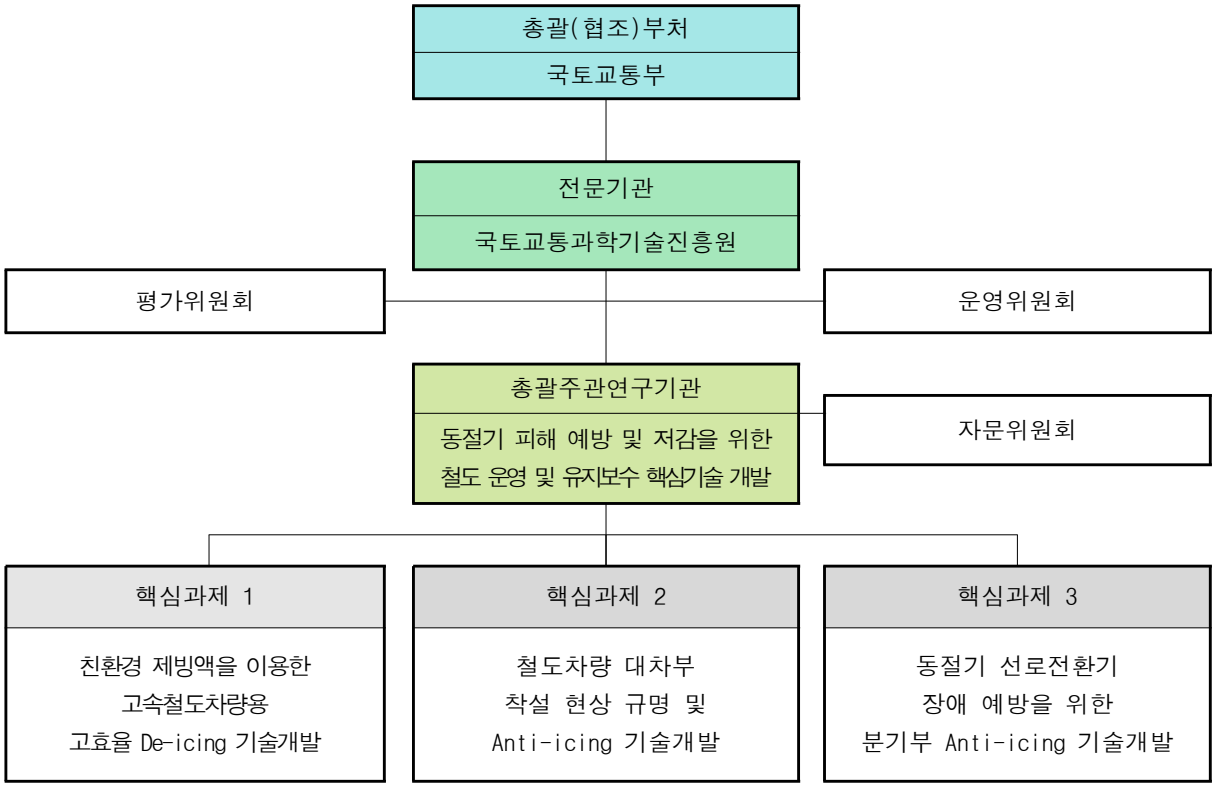


< 연구과제 도출절차 >

- 선정된 핵심과제를 토대로 동절기 피해예방 기술개발에 관한 내부역량 및 외부환경을 분석하여 기술개발 전략 방향을 설정하고 국토교통부 등 상위 계획과의 정책 일관성을 감안하여 비전 및 목표를 수립

그림 7 비전 및 목표

- 동절기 피해예방 기술개발 과제는 3개의 핵심과제로 구성하며, 총괄부처는 국토교통부, 전문연구기관으로 국토교통과학기술진흥원, 그리고 과제의 지원을 위해 자문위원회를 구성하여 운영



< 동절기 피해예방 기술개발 과제 구성체계 >

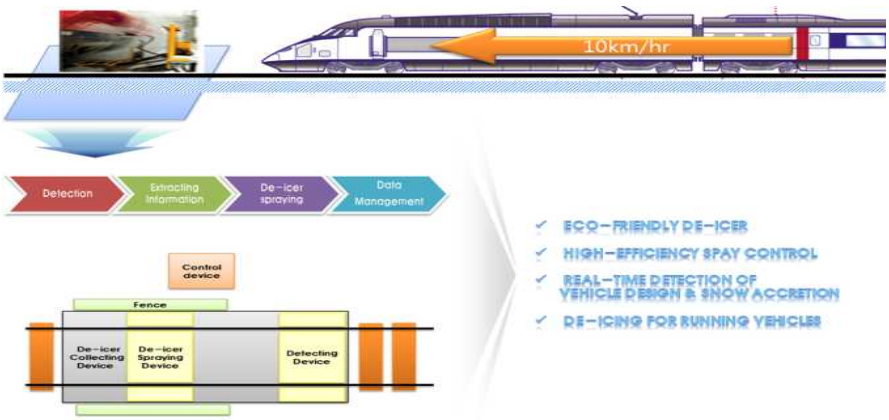
- 각 핵심과제는 다음과 같이 3건으로 구성

- 핵심과제 1 : 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발
- 핵심과제 2 : 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발
- 핵심과제 3 : 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

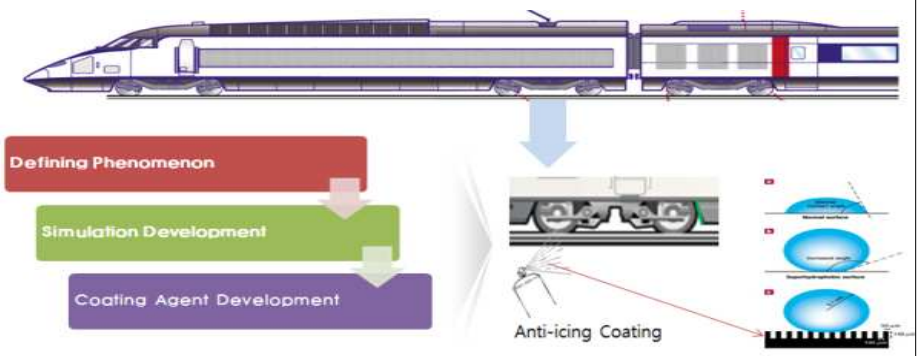
< 핵심과제 개념도 >

제5장 연구과제 상세기획

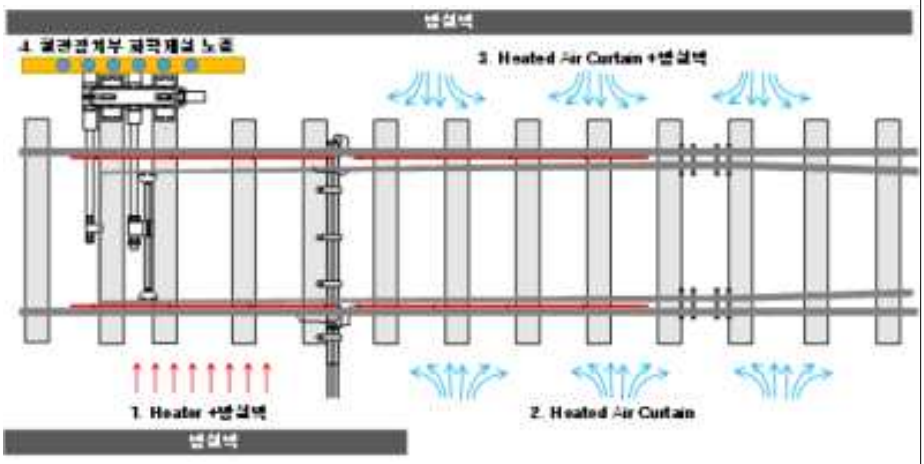
1. 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발

개발목표	◦ 고속철도차량 대차부 착설의 실시간 검지를 통하여 지능형으로 제빙할 수 있는 고효율 De-icing 시스템 및 친환경 제빙액(De-icing Fluid) 최적화 기술 개발
기술개발방향성	◦ 10km/h 이하 속도 주행 중 제빙 가능한 De-icing 시스템 ◦ 철도 운영환경에 영향을 미치지 않는 친환경 고효율 제빙액(어는점 : -20℃) ◦ 고속차량 착설 검지 및 제빙의 자동화
연구기간 및 연구비	◦ 5년 / 50억원(정부출연금)
추진체계	
주요 연구내용	◦ 고속철도차량 하부 주요 착설부 검지 및 분사제어 자동화 기술개발 ◦ Biodegradable 고효율 De-icing Fluid 최적화 및 성능검증 기술개발 ◦ 고속철도차량용 De-icing 시스템 고효율 분사 기술개발 ◦ 운영환경에 적합한 고속철도차량용 De-icing 시스템 제작 및 성능검증 기술개발
핵심성과물	◦ 고속철도차량용 De-icing 시스템 ◦ 고속철도차량용 친환경 De-icing Fluid
개념도	

2. 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

개발목표	◦ 철도차량 대차부 착설현상 규명하여 차량 설계에 반영할 수 있는 시뮬레이션 기술 및 고내구성 착설방지 재료 개발
기술개발방향성	◦ 철도차량 대차부 착설현상 시뮬레이션(최대 착설위치 오차범위 : 15cm) ◦ 지속성을 가지는 철도차량용 착설방지 코팅제(최소 성능유지기간 : 3month)
연구기간 및 연구비	◦ 5년 / 30억원(정부출연금)
추진체계	
주요 연구내용	◦ 동절기 고속선 설빙피해의 원인이 되는 철도차량 대차부 착설 모델링 ◦ 착설 해석 시뮬레이션 기술 개발 및 성능 검증 ◦ 착설 방지 재료 개발 및 성능 검증 ◦ 개발된 설빙 시뮬레이션 기술을 통한 착설 방지 형상 설계
핵심성과물	◦ 철도차량 착설 시뮬레이션 소프트웨어 ◦ 철도차량 착설 및 설빙 방지를 위한 형상설계(안) ◦ 철도차량 착설방지 코팅제
개념도	

3. 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

개발목표	◦ 동절기 강설, 결빙에 피해가 없는 고신뢰성, 고효율 분기부 장애예방 기술 개발
기술개발방향성	◦ 동절기 선로전환기 동작부 결빙 방지(레일 표면온도 -25℃) ◦ 기존 융설장치 대비 융설성능 향상(적설량 30cm/day) ◦ 사용 에너지 효율성 향상
연구기간 및 연구비	◦ 5년 / 40억원(정부출연금)
추진체계	
주요 연구내용	◦ 동절기 분기부 장애 원인 분석 및 해석기술 비교·검토 ◦ Anti-icing 선로전환기 시스템 개념 정립 및 요소기술(열유동 & 화학적 제빙 Hybrid) 개발 ◦ 분기부 Anti-icing 시스템 제작 및 성능검증 기술 ◦ 분기부 Anti-icing 시스템 운영환경 적합성 검증
핵심성과물	◦ 고속철도 분기부용 Anti-icing 시스템 ◦ 분기기용 친환경 De-icing Fluid
개념도	

목 차

제1장 기술의 정의 및 필요성 ····· **1**
1절 동절기 문제와 피해 ····· 1
2절 동절기 피해예방 기술의 정의 및 구성 ····· 15
3절 기술개발의 필요성 ····· 17

제2장 국내외 동향 및 환경분석 ····· **20**
1절 정책동향 ····· 20
2절 시장동향 ····· 23
3절 특허 및 논문동향 ····· 33
4절 기술수준조사 ····· 58
5절 연구개발 인프라 분석 ····· 61

제3장 동절기 피해예방 요소기술 도출 ····· **66**
1절 철도차량 설빙 방지 기술 ····· 67
2절 철도 선로 눈 방지 기술 ····· 75
3절 선로전환기 장애예방 기술 ····· 81
4절 전차선 장애예방 기술 ····· 84
5절 선로동상 예방 유지보수 공법 ····· 86

제4장 기술개발전략 수립 ····· **88**
1절 연구과제 도출 ····· 88
2절 기술개발전략 수립 ····· 109
3절 연구개발과제 구성 및 정의 ····· 111

제5장 연구과제 상세기획 ····· **116**
1절 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발 ····· 116
2절 철도차량 대차부 착설현상 규명 및 Anti-icing 기술개발 ····· 130
3절 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발 ····· 159

제6장 과제제안요구서 ····· **174**
1절 과제제안요구서 ····· 174
2절 평가기준 설정 ····· 191

[붙임] 참고문헌 ····· 194

표 목 차

표 1 일본 철도의 자연재해 사고 비율[1] ····· 2
표 2 일본 철도의 빙설 피해와 운송 장애 ····· 3
표 3 미국 철도의 기상 관련사고 발생률[2] ····· 4
표 4 레일 표면결함 현황(2011~2014) ····· 10
표 5 적설량에 따른 운전규제기준 ····· 11
표 6 감속운행에 따른 열차지연시간 예시(서울~동대구) ····· 11
표 7 선로동상 예방대책 및 사후대책 ····· 13
표 8 동절기 피해유형 ····· 14
표 9 전문가 정성적 위험도 판단결과 ····· 14
표 10 동절기 피해예방 기술분류체계(안) ····· 16
표 11 RTR Technologies社의 철도 동결방지 기술 ····· 23
표 12 Aviation/Aircraft De-Icing & Anti-Icing Fluids ····· 27
표 13 항공용 코팅분야 지역별 연구 동향 ····· 30
표 14 특허분석 기준 ····· 33
표 15 특허 검색 조합식 ····· 33
표 16 주요 특허 현황(피인용도 순) ····· 42
표 17 주요 핵심특허 현황1 ····· 45
표 18 주요 핵심특허 현황2 ····· 46
표 19 주요 핵심특허 현황3 ····· 47
표 20 논문 분석 기준 ····· 51
표 21 특허 검색 조합식 ····· 51
표 22 유효 논문 현황 ····· 53
표 23 최근 논문 현황 (3년 內 발표논문) ····· 54
표 24 최근 논문 심층분석1 ····· 55
표 25 최근 논문 심층분석2 ····· 56
표 26 최근 논문 심층분석3 ····· 57
표 27 기술력 평가의 방법 및 내용 ····· 58
표 28 선도국가 대비 특허 수 ····· 60
표 29 관련기업 현황 ····· 61
표 30 연구기관 현황 ····· 62
표 31 관련 대학 현황 ····· 63
표 32 착설해석기술 관련 대학 ····· 63
표 33 연구기자재 현황 ····· 64
표 34 국외 기후풍동시험기 조사 ····· 65
표 35 연구개발 인프라 수준 ····· 65
표 36 동절기 피해예방 요소기술 목록(안) ····· 66

표 37 일본 신칸센의 선로 눈 대책[13] ····· 75
표 38 횡단구조물 동결현상 ····· 86
표 39 동절기 피해유형 ····· 89
표 40 연구개발 대상분야 ····· 89
표 41 Top-down 방식 도출과제명 및 주요내용 ····· 90
표 42 Bottom-up 방식 도출과제명 및 주요내용 ····· 92
표 43 과제목록 ····· 93
표 44 운영환경 적합성 및 중복성 검토 결과 ····· 94
표 45 검토대상 과제목록 ····· 96
표 46 한국건설기술연구원 예시1 ····· 98
표 47 한국건설기술연구원 예시2 ····· 98
표 48 사업간 우선순위 도출과 관련된 AHP 평가항목 ····· 99
표 49 항목간 비교표 ····· 100
표 50 사업간 우선순위 도출과 관련된 AHP 평가항목 ····· 101
표 51 설문조사 개요 ····· 102
표 52 평가대상 과제 리스트 ····· 105
표 53 설문조사 기초 결과 ····· 106
표 54 AHP 분석 결과(최종) ····· 106
표 55 과제별 최종 우선순위 결과 ····· 107
표 56 전문가 기타 의견 ····· 108
표 57 구성기술별 주요 수행내용 ····· 120
표 58 착설과 착빙의 구분 ····· 134
표 59 물체 표면 경계 조건 ····· 139
표 60 액적의 궤적 계산 - 입자의 운동 ····· 139
표 61 -5℃에서 철과 눈 사이의 전단 실험을 통한 접착강도 측정 결과 ····· 141
표 62 눈과 얼음의 밀도 비교 ····· 141
표 63 착설현상 규명 및 수치적 모델 개발 분야 주요 수행내용 ····· 143
표 64 착설 해석 시뮬레이션 분야 주요 수행내용 ····· 146
표 65 착설방지 재료 및 코팅제 개발 분야 주요 수행내용 ····· 147
표 66 구성기술별 주요 수행내용 ····· 164

그 림 목 차

그림 1 월별 발생 건수 및 원인 유형[2] 5
그림 2 2009/2010 겨울의 독일 철도[3] 6
그림 3 차량의 피해 원인[4] 6
그림 4 시설물의 피해 원인[4] 7
그림 5 고속선 설빙피해 발생 메카니즘 8
그림 6 일반유리창 타격흔적(좌) 및 비상유리창 파손(우) 9
그림 7 한국 고속열차 창유리 파손 현황 9
그림 8 차축 보호재(테로텍스) 파손 9
그림 9 차륜답면 손상 10
그림 10 출입문 동결, 제동장치 동결, 전기장치 결빙 10
그림 11 신호설비 파손(좌 : 궤도회로 설비, 중 : 보호덮개, 우 : 밀착검지기) 11
그림 12 착설 시 운영절차 11
그림 13 장애가 발생한 고속철도 선로전환기 12
그림 14 터널내 고드름(좌) 및 조가선 소손 현황(우) 13
그림 15 동절기 피해에 따른 기술분류체계 도출 16
그림 16 2009/2010 겨울 독일 철도 17
그림 17 국내외 관련 특허 추세 17
그림 18 SWITZERLAND Rotary Snow Blowers 25
그림 19 Fully-automated sprays the entire underside of the train with warm water 26
그림 20 SAN Railway System 26
그림 21 Global Calcium Chloride Market Volume Share, by Application, 2014 and 2023 28
그림 22 항공용 코팅 마켓 동향 28
그림 23 2014년 공개특허 추이 29
그림 24 2014년 공개특허 주요 출원인 29
그림 25 지역별 항공용 코팅 분야 동향 29
그림 26 주요 지역별 코팅시장 전망 30
그림 27 항공분야 코팅 시장 점유율 30
그림 28 항공용 코팅분야 기술 로드맵 31
그림 29 코팅 기술 신흥시장 예측 31
그림 30 특허기술 연계 기술발전 추이 32
그림 31 출원년도 및 국가별 출원추이 34
그림 32 기술분류별 출원추이 35
그림 33 주요 출원인 동향 36
그림 34 연도별 주요 출원인 동향 36
그림 35 주요출원인별 역점기술 37
그림 36 국가별 기술분포 (방사형) 38
그림 37 기술별/국가별 기술분포 (버블형) 38

그림 38 국가별 특허 점유현황 ····· 39
그림 39 국가별 출원특허 대비 우선권특허 현황 ····· 39
그림 40 국가별 출원건수 및 시장확보지수 ····· 40
그림 41 국가별 인용도지수 ····· 40
그림 42 국가별 영향력지수 및 기술력지수 ····· 41
그림 43 특허 등고선 맵 ····· 42
그림 44 TDA Cross-Correlation Map ····· 48
그림 45 TDA cross-correlation matrix ····· 49
그림 46 TDA Co-occurrence matrix (DWPI MANUAL CODES vs. TOP Assignee 비교) ····· 50
그림 47 연도별 논문 발표 추이 ····· 52
그림 48 기술별 논문 발표 추이 ····· 52
그림 49 국가별 논문 발표 추이 ····· 52
그림 50 출원년도 및 국가별 출원추이 ····· 59
그림 51 기술별/국가별 기술분포 (버블형) ····· 60
그림 52 착설방지 틈새 형상[5] ····· 67
그림 53 대차 전방에 설치된 스노우 디플렉터[6] ····· 68
그림 54 대차커버형상의 변경(좌:전체커버, 우: 부분커버)[9] ····· 68
그림 55 동력차 운전실의 스노우 디플렉터[7] ····· 68
그림 56 문 주변의 스노우 디플렉터[7] ····· 69
그림 57 코팅 적용(좌)과 미적용 시 얼음 부착 ····· 70
그림 58 항공기 날개에 부착된 얼음 ····· 70
그림 59 제빙 부츠(De-icing boots) ····· 70
그림 60 히터를 이용한 제빙[7] ····· 71
그림 61 열풍을 이용한 제빙[13] ····· 72
그림 62 스웨덴 철도의 화학적 제빙 장치[7] ····· 73
그림 63 제설액의 도포와 재사용[7] ····· 73
그림 64 Matena사의 화학적 설빙방지 설비[12] ····· 74
그림 65 도호쿠 신칸센의 스프링클러 시스템[14] ····· 76
그림 66 배설식 고가교[1] ····· 77
그림 67 미국의 러셀식 제설차[15] ····· 77
그림 68 캐나다의 로터리식 제설차[12] ····· 78
그림 69 Snow Blower ····· 78
그림 70 Slush-mixture pumping system[1] ····· 78
그림 71 일본의 설해 대책 시설물[1] ····· 79
그림 72 노르웨이 방설터널 ····· 79
그림 73 방설벽 사용 시 눈 쌓임[12] ····· 79
그림 74 방설벽의 권장 길이[15] ····· 80
그림 75 선로전환기 커버[7] ····· 81
그림 76 선로전환기 방설 브러쉬[7] ····· 82

그림 77 고압 온수 눈 제거 장치[14] 83
그림 78 미국 화학재 분사 83
그림 79 small tractor with broom 83
그림 80 Tractor with bloom 83
그림 81 경부고속선 해빙시스템 회로도[17] 84
그림 82 화학적 제빙액 분사를 위한 판토그래프 더미[5] 85
그림 83 폐타이어칩 혼합재료 공법[16] 87
그림 84 비동상재료 치환다짐법[16] 87
그림 85 횡배수관 설치 87
그림 86 CAM을 활용한 도상자갈 고결화 87
그림 87 연구과제 도출절차 88
그림 88 동절기 피해에 따른 기술분류체계 도출 90
그림 89 대상분야별 과제수(Top-down) 91
그림 90 기술수요조사 시행문서 91
그림 91 대상분야별 과제수(Bottom-up) 92
그림 92 대상분야별 과제현황 94
그림 93 설문조사 수행방법 97
그림 94 투자우선순위 평가항목 선정 101
그림 95 AHP 분석단계 104
그림 96 AHP 분석 결과(최종) 106
그림 97 과제별 최종 우선순위 결과 107
그림 98 SWOT 분석 109
그림 99 비전 및 목표 110
그림 100 기술개발 로드맵 110
그림 101 동절기 피해예방 기술개발 과제 구성체계 111
그림 102 개념도 112
그림 103 중복성 검토절차 114
그림 104 유사과제 검색결과(핵심과제1) 114
그림 105 유사과제 검색결과(핵심과제2) 115
그림 106 유사과제 검색결과(핵심과제3) 115
그림 107 시스템 개념도 116
그림 108 고속선 설빙피해 발생 메커니즘 117
그림 109 2004~2014년 고속차량 창유리 파손현황 117
그림 110 2009/2010 겨울 독일 철도 117
그림 111 국내외 관련 특허 추세 117
그림 112 나무봉 이용 제빙 119
그림 113 스크레퍼 이용 제빙 119
그림 114 이동식 열풍기(국내) 119
그림 115 차량기지 난방덕트(프랑스) 119

그림 116 차량기지 난방덕트(노르웨이) ····· 119
그림 117 고압온수설비(일본) ····· 119
그림 118 온수설비(노르웨이) ····· 119
그림 119 글리콜 제빙(항공) ····· 120
그림 120 철도차량 글리콜 제빙(스웨덴) ····· 120
그림 121 연구과제 추진체계(안) ····· 122
그림 122 시스템 개념도 ····· 130
그림 123 고속선 설빙피해 발생 메커니즘 ····· 131
그림 124 2004~2014년 고속차량 창유리 파손현황 ····· 131
그림 125 2009/2010 겨울 독일 철도 ····· 131
그림 126 국내외 관련 특허 추세 ····· 131
그림 127 Austrian Research Center의 실험과 해석결과 비교 ····· 133
그림 128 온도와 구름수에 눈의 형상 ····· 135
그림 129 영국의 MIRA Climatic Wind Tunnel(CWT) ····· 136
그림 130 NASA Glenn Research Center의 Icing Wind Tunnel ····· 136
그림 131 열차 하부 착설 해석 결과 ····· 137
그림 132 착빙 해석자의 구조 ····· 138
그림 133 우리나라 눈의 여러 가지 형상 비율 ····· 140
그림 134 눈의 접착성 비교 ····· 140
그림 135 착설 모델링 실험 개요도 ····· 142
그림 136 표면 상태에 따른 Saltation 현상의 관계 ····· 144
그림 137 표면 형상 변화 해석을 위한 검사 체적 ····· 145
그림 138 철도차량 대차부 착설방지기술 개요도 ····· 145
그림 139 연구과제 추진체계 개요도 ····· 148
그림 140 실험진행 개요도 ····· 149
그림 141 시스템 개념도 ····· 159
그림 142 선로전환기 장애 발생 시 적설 및 동결 상황 ····· 160
그림 143 선로전환기 융설장치 개요 ····· 160
그림 144 경부고속선과 수서발고속선 분기점인 남산 IEC ····· 161
그림 145 선로전환기 포인트부 ····· 162
그림 146 선로전환기 크로싱부 ····· 162
그림 147 기본레일과 첨단레일사이의 결빙 해석 ····· 163
그림 148 선로전환기 커버 ····· 163
그림 149 선로전환기 방설브러쉬 ····· 163
그림 150 스프링클러 융설장치 ····· 163
그림 151 고압온수분사장치 ····· 163
그림 152 연구성과물 실용화를 위한 추진전략 ····· 165
그림 153 연구과제 추진체계 개요도 ····· 166

제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 동절기 문제와 피해

- 동절기 피해 예방기술의 정의에 앞서 동절기에 발생하는 철도 피해에 대한 정확한 이해를 돕기 위하여 동절기 피해에 대한 개념 정의와 국내외 피해 현황을 검토하고자 함
- 일단 선로에 일정량 이상의 눈이 쌓이면 제설 작업이 완료되지 않는 한 열차는 주행할 수 없으며 무리하면 차량이 탈선할 수도 있고 노반 내의 수분이 얼게 되면 레일의 좌굴이 발생하여 운행에 큰 지장을 줄 수도 있음
- 특히, 고속철도의 탄생 이후 새롭게 대두된 설빙과 이로 인한 자갈비산의 문제는 일본 신칸센의 개통 이후 열차속도의 증가를 오랫동안 지체시킨 요인 중의 하나이며, 한국의 고속철도에서도 발생 중인 문제일 뿐만 아니라 이후 유럽 고속철도의 상호운행 시험 중에도 발생하여 이는 차량과 선로 간의 복합적인 문제임을 드러내기도 했음
- 이처럼 모든 철도교통은 그 종류를 막론하고 동절기만의 고유한 문제점을 갖고 있으며, 이는 철도의 안전한 운행을 방해하는 것은 물론 철도 운영자에게 많은 비용과 인력을 부담하게 해 왔음
- 국제철도연맹(UIC)에서는 이러한 동절기에 발생하는 철도시스템의 문제를 ‘주로 11월과 3월 사이에 발생하는 운영상의 문제’로 정의하고 있음
- 이러한 UIC의 정의는 운영자의 입장에서 문제를 정의하기에는 적절하나 기술적인 관점에서는 다소 모호하고 광범위하기 때문에 문제의 실체를 정의하고 현상을 파악하며 나아가서 해결책을 제시하기 위한 본 기획연구의 목적과는 맞지 않는 것으로 보임
- 따라서, 본 기획연구에서는 동절기의 철도시스템의 문제들이 눈, 얼음 그리고 낮은 온도와 같은 자연 환경과의 상호작용에 의해 발생한다는 사실에 근거하여 ‘동절기 피해’를 ‘눈, 얼음, 빙점 이하의 저온으로 인하여 발생하는 철도차량, 시설물 및 열차 운영상의 손해’으로 정의하며, 이에 대해 좀 더 자세히 알아보고자 함

1. 일본

- 일본에서는 기상 조건으로 인해 철도 운행이 저해된 피해는 ‘운전 저해 사고’라는 이름으로 통계에 기록됨
- JR이 발족된 이후인 1989년도부터 1998년도 사이의 운전 저해 사고의 자연 재해별 발생 상황을 살펴보면, 해당 기간 기상 조건으로 인해 발생한 신칸센을 포함한 운전 저해 사고의 총수는 6,058건에 이르며 연평균 약 600건에 달함

- 운전 저해 사고는 다시 비에 의한 수해(水害), 바람에 의한 풍해(風害), 눈과 얼음에 의한 설해(雪害), 지진에 의한 진해(震海), 천둥과 번개에 의한 뇌해(雷海), 낙석(落石) 및 기타로 구성되어 있는데, 기타 항목은 주로 냉해(冷害)나 이상고온 등을 포함하고 있다. 각 항목의 비율을 살펴보면, 수해가 33%로 가장 많고, 풍해가 22%로 그 다음을 차지하고 있으며, 설해는 17%로 세 번째로 많이 발생한 것으로 나타났음

- 그밖에 진해는 3%, 뇌해는 8%, 기타가 17%이다. 신칸센에 국한하면 운전 저해 사고 건수는 연평균 20여건이며 그 중 80%정도가 수해(27%), 풍해(26%), 설해(21%)가 차지하고 있음

표 1 일본 철도의 자연재해 사고 비율[1]

재해 종류	사고 발생 비율
수해(水害)	33%
풍해(風害)	22%
설해(雪害)	17%
진해(震海)	3%
뇌해(雷海)	8%
낙석(落石)	(1% 이하)
기타	17%
합계	100%

- 일본은 지진대에 위치하고 있고 해양성 기후의 영향을 받기 때문에 지진, 태풍 등의 자연재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 대비한 방재시스템도 가장 발달한 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 일본 철도시스템에 있어 자연재해의 상당부분이 동절기와 관련되어 있는 것을 알 수 있음

- 일본의 철도는 북위 31도에서 북위 45도에 걸쳐 전 일본 열도를 남북으로 종단하듯이 부설되어 있고, 특히 전국을 망라하고 있는 JR의 총 연장 약 20,00km중 약 40%에 해당하는 8,000km가 호설 지대(1962년 법률 제73호로 지정되었으며, 면적이 약 195,000㎢ 로서 일본 국토 총면적의 52%에 해당)에 부설되어 있음

- 그러므로 세계적으로 유명한 호설 지대에 부설된 일본 철도는 그 지역에 거주하는 수많은 사람들의 주요 교통 기관으로서 겨울철의 혹독한 자연 환경에서도 안전하며 안정적인 수송이 요구되는 반면 동절기 철도운영의 어려움이 세계적으로 유래 볼 수 없을 만큼 두드러지게 나타나고 있다고 할 수 있음

- 일본 철도에서 눈과 추위에 의한 철도 피해는 매우 다양하지만 대략 아래와 같은 유형들로 정리될 수 있음

① 장기간 및 광역적인 폭설로 선로가 눈에 파묻히거나 또는 분기기가 작동하지 않아서 열차의 주행이 불가능해지거나 폭설 강도가 큰 눈이나 눈보라에 의해 시야가 좁아져 신호기의 확인이 곤란하며 정시 운행이 불가능한 것
② 눈사태, 적설, 고드름 등 특정 지점에서 빙설 현상이 일어나는 것에 기인하는 것
③ 눈이 날려 차량의 기기가 손상되거나 브레이크 기구에 눈이 끼어 제동력이 상실되는 등 차량에 기인하는 것
④ 차량에 달라붙은 눈이 주행 중에 떨어져서 발생하는 것. 고속 열차에 특히 유해한 빙설 피해(이런 종류의 빙설 피해는 특히 일본 신칸센에 많이 발생)
⑤ 철도의 건축물, 구조물에 쌓인 눈의 하중에 의해 이들이 파손되는 것
⑥ 정전, 타 교통 기관의 불통, 인력 부족, 지역 활동의 기능 저하에 기인하는 것
⑦ 건널목 사고, 연선의 사유지 내 수목에 쌓인 눈이 선로 안으로 떨어지는 등 외부가 재해의 원인이 되는 것

- 이와 같이 일본 철도에서의 빙설 피해를 빙설 현상과 수송 장해와의 관계로 정리하면 표 2와 같음

표 2 일본 철도의 빙설 피해와 운송 장애

현상	운송 장애의 예
강설	분기기 비전환, 중도 정지, 지연, 시야 장해, 건조물 파괴
강설(젖은 눈)	제설 곤란, 쓰러진 나무
눈보라	시야 불량, 지연
적설	분기기 비전환, 지연, 중도 정지, 제설 불능
착설	전선 절단, 판토그래프 강하, 차량 파손(관설 낙하)
눈사태	전복, 탈선, 건조물 파괴
동결(동상)	궤도 이상, 건조물 파괴, 분기기 비전환, 건축 한계 지장 (터널 내 고드름, 측빙)
싸리눈	지연(신칸센 등의 고속 열차), 낙설 피해

- 일본은 동절기의 환경이 매우 혹독한 편이고 특히 적설량이 많기 때문에 이와 관련된 눈사태라든지 눈의 하중에 의한 시설물 파손 같은 피해 유형은 일본 철도의 특징적인 현상으로 볼 수 있고, 이외에도 일본에서 나타나는 다양한 빙설 피해와 운송 장애는 철도시스템에서 발생할 수 있는 동절기 문제의 거의 모두를 포함한다고 볼 수 있음

2. 미국

- 미국의 경우에도 기상 조건은 철도 교통에 있어 운영 효율, 시설물의 건전성 및 화물과 여객의 안전한 운송에 큰 영향을 미치고 있음

- 특히 미국의 총 철도연장 224,000 km는 대부분 화물용으로 사용되고 있으며, 미국 전체의 화물 운송 중 철도는 트럭 운송에 이어 두 번째로 많은 28%를 차지하고 있다. 따라서 미국에서 발생하는 동절기 철도 피해의 대부분은 비교적 저속으로 운영되는 화물열차와 관련되어 있다고 볼 수 있음

- Rossetti는 미연방철도국(FRA)의 철도사고데이터베이스(RAIRS)를 토대로 1995년부터 2005년 사이에 기간에 대하여 기상·기후 조건에 따른 철도사고 통계를 분석하였으며, 이를 표 3에 나타내었음

- 아래 표 3에 따르면, 조사 기간 중 발생한 861건의 사고 중 가장 많은 사고 건수와 182,849,035달러(한화 약2000억원)의 총 피해액 중 가장 많은 피해액을 발생시킨 원인은 극한 기온으로서 주로 고온에서의 선로의 좌굴이나 전차선의 피해에 해당하였음

- 동절기의 철도 피해에 해당하는 사례로서는 강설과 미끄러짐 및 하중 불균형을 들 수 있는데, 이 중 강설에 의한 사고의 건수의 비율은 18.5%로 전체 기상 조건 유형 중 네 번째로 많은 사고 건수를 차지하고 있으나 피해액의 비율은 총 피해액의 7.9%로서 강설은 상대적으로 심각도가 덜한 사고로 이어짐을 보여줌

- 미끄러짐은 눈, 진흙, 바위 등 다양한 요인에 대한 차륜과 레일 사이의 미끄러짐을 모두 합한 경우로서 5%의 사고 건수 비율과 4.3%의 피해액 비율을 나타내고 있음

- 동결 하중(Frozen Load)은 주로 동절기에 발생하는 적재 화물의 불균형한 하중을 의미하는데 적은 사고건수와 경미한 사고를 유발하는데 그치는 것으로 보임

- 이외에 번개로 인한 피해는 거의 발생하지 않으며, 기타 요인은 2.1%의 사고 건수와 1.1%의 피해액을 각각 차지하였음

표 3 미국 철도의 기상 관련사고 발생률[2]

기상 조건	사고 건수	피해액
액체 강수(비로 인한 노반 손실 등)	23.1%	26.2%
고체 강수(눈으로 인한 탈선 등)	18.5%	7.9%
강풍	20.9%	17.5%
극한 기온(고온)	26.2%	38.0%
안개	2.6%	4.3%
미끄러짐(눈, 진흙, 바위)	5.0%	4.7%
동결 하중(화물의 하중 불균형)	1.2%	0.2%
번개	0.5%	0.1%
기타	2,1%	1.1%
합계	100%	100%

- 그림 1에는 조사 기간 중 발생한 월별 사고 건수와 가장 빈번한 원인 유형을 나타내며, 기상조건에 의한 사고는 1월과 7월에 가장 많이 발생하고 있고, 1월의 가장 빈번한 사고 유형은 눈과 얼음이며, 7월의 가장 빈번한 사고 유형은 고온임을 알 수 있음
- 눈과 얼음은 12월에서 3월까지 발생하는 사고 중 가장 빈번한 원인 유형으로도 파악되는 것을 알 수 있음

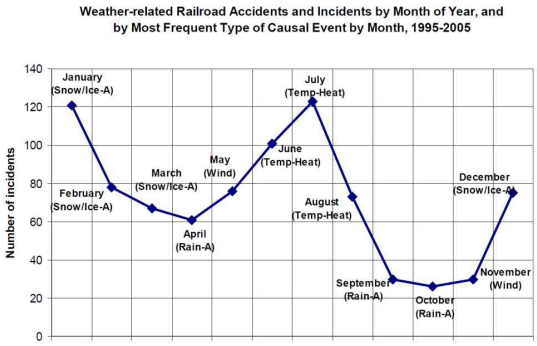


그림 1 월별 발생 건수 및 원인 유형[2]

- 미국의 동부 해안과 산간지대 및 북부 지방에는 겨울철의 폭풍으로 인하여 때때로 전체 교통 시스템이 마비되는 경우도 종종 발생함
- 이러한 상황에서 철도운영은 낮은 가시성, 결빙, 바람에 날려 쌓인 눈더미 그리고 낮은 온도로 인한 전차선 결빙 등으로 방해를 받음
- 또한 눈과 얼음은 선로전환기, 제동장치, 레일 플랜지, 건널목 등에 쌓여 열차의 제어를 어렵게 하고 탈선을 비롯한 사고의 위험성을 높임
- 동절기의 폭풍 역시 철도 운영을 방해하는 간접적인 요인임
- 폭풍 시에는 열차로의 화물 선적이 힘들 뿐만 아니라 역으로의 화물 운송을 방해함으로서 열차의 운행을 지연시키는 결과를 낳게 되고, 이는 화물운송의 효율을 저하시킴
- 또한, 동절기의 폭풍은 발생 또는 그 예고만으로도 열차 계획의 문제를 발생시키고, 운송경로의 변경 또는 수 시간 동안의 서비스의 중지를 야기함
- 폭풍 시 승무원은 역에 닿을 수 없게 고립되고, 시설물은 얼음에 의한 파손, 전차선의 불능 또는 신호시스템의 파손에 의해 사용이 불가능한 상태가 될 수 있음
- 앞서 밝혔듯이 미국의 철도는 화물운송에 주로 이용되고 있으며, 따라서 설빙과 자갈비산 등 고속철도에서 주로 발생하는 문제들은 발생하지 않는 반면, 북미 대륙의 기후적 특성에 따른 동절기의 강한 폭풍은 화물운송에 미치는 영향을 고려하여 중요하게 취급됨을 알 수 있음

3. 유럽

- 유럽은 철도의 발명이 이루어진 곳으로 철도교통이 일찍부터 발달하였고, 세계 고속철도차량 시장의 절반가량을 점유하는 등 세계 철도산업의 중심적인 위치에 있으며, 유럽 통합 이후 선진적인 안전관리체계의 도입과 체계적인 표준 및 인증시스템의 구축을 통하여 세계 철도기술을 선도하고 있음

- 이 때문에 동절기의 철도 운영과 관련하여 유럽은 스칸디나비아 반도를 포함하는 북유럽 지역을 제외하고는 그리 큰 어려움을 겪지 않았음

- 그러나, 2009년과 2010년 사이의 겨울에 유례없이 혹독한 추위가 찾아왔으며, 특히 유럽은 20여 년 만에 발생한 기록적인 한파와 폭설로 인해 여러 가지 사건과 사고가 발생하였고 철도 역시 시설과 차량에 많은 피해를 입었으며, 철도교통은 장시간 마비 상태에 빠져 있었음

그림 2 2009/2010 겨울의 독일 철도[3]

- 국제철도연맹(UIC)에서는 당시의 기록적인 운행 장애 사태를 겪은 후 동절기에 발생하는 철도의 문제점과 대책 등에 관하여 연구를 시작하였으며, 유럽 각국으로부터 정보를 수집하여 그 결과들을 2010년과 2011년 사이에 발표하였음

- 먼저, 장애의 원인들이 차량과 시설물에 대하여 각각 집계되었는데, 먼저 차량의 장애 원인을 분석한 결과가 그림 3에 나타나 있음

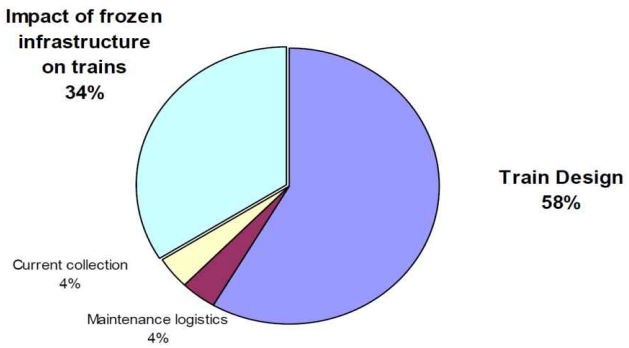


그림 3 차량의 피해 원인[4]

- 가장 큰 원인으로는 차량설계와 관련된 것으로서 전체 장애 요인의 58%를 차지했으며, 주로 추진 소프트웨어, 혼, 연결기, 직류 인덕터, 보조 컨버터, 직류 견인전동기, 제동장치 저항, 슬라이딩 도어, 전기 커넥터 등에서 발생하였음
- 두 번째 요인은 동결된 시설물들에 의해 차에 가해지는 충격으로 전체의 34%로 나타났으며, 팬터그래프 기능 저하, 통과 열차의 하부, 차량 하부 장치를 파손시키는 자갈비산, 열차로부터 탈락된 얼음, 객차 유리창의 파손, 철도 구조물의 고드름 등이 이에 해당함
- 이외 집전 장애의 문제와 물류 운송 장애가 각각 4% 씩의 비중을 차지하고 있음
- 시설물의 경우 각종 설비의 제설 성능과 관련된 원인들이 전체의 29%로 최다를 차지했는데, 설비의 제설 성능 저하와 유지보수의 문제가 주로 지목되었음
- 다음으로 제설과 히팅장치의 성능에 따른 선로전환기의 문제가 27%로 나타났고 이후로 레일과 용접부의 문제, 가선의 문제가 각각 11%와 9%를 차지하였으며, 신호가 원인이 된 문제는 3%를 차지하였음

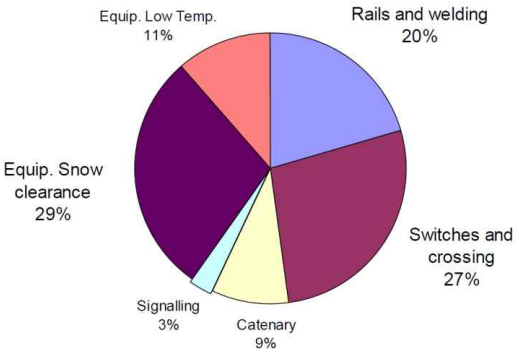


그림 4 시설물의 피해 원인[4]

- 이후 유럽표준위원회(CEN)의 철도 부문 기술위원회(CEN/TC 265)는 환경 조건에 따른 철도차량의 설계 지침(prEN 16251) 초안을 2011년 제출하였으며, 현재 최종 승인을 기다리고 있는 중임
- 이 초안에는 차량의 얼음, 눈과 관련된 사항 및 착설/결빙 방지(Anti-icing)와 제빙/제설(De-icing)에 관한 사항을 담고 있으며, 제설기(Snow plough) 등 동절기와 관련된 주요 서브시스템에 대한 지침도 포함하고 있음

4. 북유럽

- 1990년 스웨덴 최초의 고속열차인 X2000이 운영을 시작한 이래 가혹한 겨울의 기후는 종종 고속열차의 지연을 불러왔지만, 이를 해결하려는 노력은 부족했음

- 대부분의 열차 제작사들은 수요가 많지 않은 북유럽의 기후조건을 충분히 고려하지 않고 열차를 생산하기 때문에 동절기의 운행에 어려움을 겪을 수밖에 없었고, 이런 문제가 반복되자 승객들은 동절기의 열차의 지연이나 취소를 불가항력적인 것으로 받아들이는 경향이 있었음

- 동절기 고속철도 운영의 문제점을 파악하고 해결하기 위하여 스웨덴 국영철도청(Swedish National Rail Administration)은 Green train이라는 연구사업의 일환으로 스칸디나비아 지역 고속철도 현장 직원들을 대상으로 한 인터뷰를 통하여 동절기 고속철도 운영 시 나타나는 문제점들을 조사한 바 있음

- 또한 이 연구는 고속철도와 일반철도의 동절기 운영의 차이점과 속도의 증가로 인해 더 악화되는 문제점들을 살펴보고, 동절기 문제 해결을 위한 대책의 성공과 실패의 사례들을 조사하였으며, 향후 지속적인 연구가 필요한 분야들을 도출하여 제시하였음

- 조사 결과, 많은 유형의 문제는 열차의 속도에 의존하지 않지만 상당수는 열차의 속도가 증가함에 따라 문제가 커지는 것으로 파악되었으며, 이 중 200km/h 이상의 속도에서 나타나거나 더 심해지는 문제들로서 주행 동역학, 디스크 브레이크, 동물과의 충돌, 팬터그래프, 플랫폼 선로, 자갈 비산을 제시하였고, 선로전환기, 제동장치 및 자갈비산의 문제는 여전히 해결되지 않은 문제라고 밝히고 있음

- 북유럽에서 조사된 동절기 철도 피해와 원인들은 동물과의 충돌 이외 대부분은 일반적인 고속열차의 동절기 문제와 다를 바 없으며, 문제점들의 특성과 향후 연구 필요성을 언급한 부분에 유의하여야할 것임

5. 한국

- 앞서 밝혔듯이 한국은 2002년 고속철도의 시험운행 시에 설빙에 의한 차량 및 시설의 피해를 경험하였으며, 개통 이후에도 설빙에 의한 피해는 지속되는 실정임

그림 5 고속선 설빙피해 발생 메카니즘

- 고속철도의 개통 이후 2014년까지 고속열차의 총 창유리 파손 건수는 1408건으로 이 중 61%에 해당하는 865건은 동절기에 해당하는 12월에서 2월 사이에 발생하였음

그림 6 일반유리창 타격흔적(좌) 및 비상유리창 파손(우)

- 그림 5에는 2004년부터 2014년까지 국내 고속열차의 창유리 파손 건수를 연별로 나타낸 것이며, 2010년 호남고속선의 개통으로 열차 운행 건수가 늘어남을 감안하더라도 유리창 파손이 적어도 줄어들지는 않는 것으로 보이며, 이는 설빙 문제가 여전히 우리나라 고속철도의 운영효율성을 저해하는 요인임을 알 수 있음

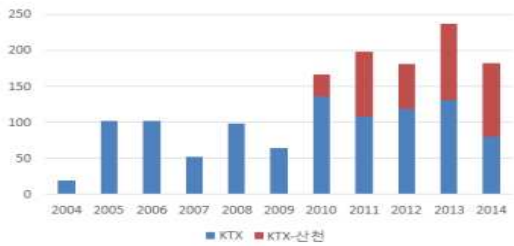


그림 7 한국 고속열차 창유리 파손 현황

- 유리창 파손에 이어 설빙에 의한 열차 주요 피해로는 차축보호재의 파손을 들 수 있음
- 국내 고속차량의 차축은 차량 중량을 감안하여 중공차축을 적용하고 있고 외부의 충격으로부터 차축 표면을 보호하기 위하여 테로텍스 재질의 보호재를 차축표면에 코팅하고 있음
- 그런데, 동절기에는 자갈비산에 따른 차축보호제의 파손이 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인한 유지보수 비용도 매년 상당한 것으로 알려져 있음

그림 8 차축 보호재(테로텍스) 파손

- 이외에 차량하부의 차축감속기, 견인전동기 통풍구 등 차량하부 장치의 손상이 지속적으로 발생하고 있으며, 특히 비산 자갈로 인한 차륜 답면부의 손상은 열차의 안전운행을 저해하는 요인이 되고 있음

그림 9 차륜답면 손상

- 고속선 설빙에 의한 자갈비산 피해 이외에도 철도차량에서는 출입문 동결, 제동장치 잔류수분 동결, 차량 노출부 전기장치 결빙 등의 차량 동결에 의해 열차 지연의 주요 요인이 되고 있음

그림 10 출입문 동결, 제동장치 동결, 전기장치 결빙

- 동절기에 발생하는 철도 시설물의 파손 역시 설빙의 낙하로 인한 도상 자갈의 비산이 주된 원인으로 파악되어 짐

- 비산된 자갈은 레일 표면의 결함을 야기하거나 토우 인슐레이터, 침목 숄더 등 궤도재료의 파손을 일으키며, 방음벽은 열차와의 충돌로 인해 고속으로 날아든 자갈이 박히는 피해를 입기도 함

표 4 레일 표면결함 현황(2011~2014)

년도별	발생 현황		비고
	개소	연장(km)	
2011년도	9	30.3	
2012년도	1	0.85	
2013년도	7	17.926	
2014년도	28	45.601	
합계	**45**	**94.677**	

- 신호설비 또한 밀착검지기, 보호덮개 등이 비산 자갈의 충격에 의한 파손을 겪기도 함

그림 11 신호설비 파손(좌 : 궤도회로 설비, 중 : 보호덮개, 우 : 밀착검지기)

- 겨울철 고속선 강설 시 기상검지장치 등에서 수집된 기상정보를 이용하여 적설량에 의한 열차 운전속도를 규제하고 있으며, 자갈 비산에 따른 이상징후 발견 시 속도제한을 요청토록 되어 있음

표 5 적설량에 따른 운전규제기준

적설량	5~14cm	14~21cm	21cm이상	레일 미확인
운행속도	230km/h	170km/h	130km/h	30km/h

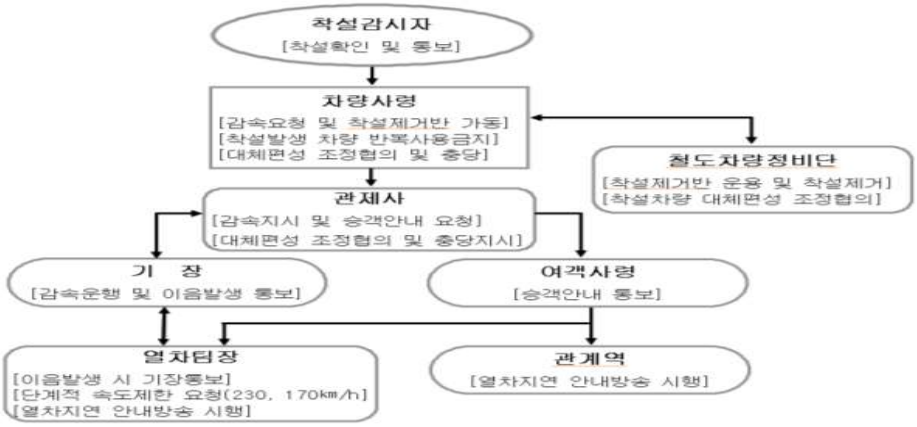


그림 12 착설 시 운영절차

- 이러한 설빙피해에 대한 대응은 동절기 열차 지연요인에 하나로 작용함

표 6 감속운행에 따른 열차지연시간 예시(서울~동대구)

정상운행(300㎞/h)	270㎞/h	230㎞/h	200㎞/h	170㎞/h
1:48분	1:54분	2:01분	2:12분	2:23분
추가소요시분	6분	13분	24분	35분

- 동절기의 철도시설물은 설빙에 의한 피해뿐만 아니라 다른 형태의 동절기 문제를 겪기도 한다. 선로전환기는 분기부 사이의 적설이나 동결 현상에 의하여 밀착불량을 일으켜 열차의 운행 장애로 이어지기도 하는데, 이는 고속철도, 일반철도, 도시철도 구간 모두에서 발생하고 있음

- 2001년 2월 발생한 전국적인 폭설 이후 선로전환기에는 제설 및 결빙 방지를 위한 히팅 장치가 설치되어 있지만 장애는 지속적으로 발생하고 있고, 이는 선로전환기용 융설장치가 일정 수준 이상의 강설에는 제 역할을 하지 못한다는 것을 보여주고 있으며, 이에 일정 수준 이상의 폭설 시에는 인력 제설을 별도로 실시함

- 특히 고속선에서는 열차 운영 시간대에 선로전환기가 동결되었을 경우, 유지보수자의 안전문제로 유지보수가 어렵기 때문에 폭설이 예상 시 선로전환기를 고정하여 사용하고 있는 실정임

그림 13 장애가 발생한 고속철도 선로전환기

- 선로하부 동상에 의한 노반융기도 동절기 시설물에서 발생하는 문제 중의 하나인데, 특히 배수불량 구간이나 횡단구조물 구간에서 빈번히 발생하고 있으며, 이를 방지하기 위한 유지보수 작업의 지속적인 시행에 따른 부담이 증대하고 있는 실정임

- 특히, 공항철도 고속화구간에서는 횡단구조물 상부 얕은 토피고로 계획된 구간에서 선로동상이 발생하여 운행속도를 제한하고 있는 실정임

- 선로동상의 예방을 위하여 도상자갈치기, 배수로 정비, 염화칼슘 살포 보호덮개 설치 등의 예방대책과 레일패드 삽입, 인력 도상다짐 등의 사후대책이 적용되고 있지만, 매년 동절기 동상에 대한 주기적인 보수로 인해 열차 고속화에 따른 유지관리비의 증가가 예상되고 있음

표 7 선로동상 예방대책 및 사후대책

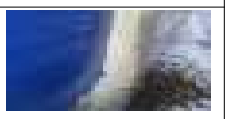
구 분		공법개요	공법별 현황사진	
예방 대책	도상자갈치기	열화된 도상제거(분니)		
	배수로 정비	배수불량구간 시설 개선		
	염화칼슘 살포	침목과 침목사이 소정깊이까지 굴착 염화칼슘 살포	염화칼슘 살포	보호덮개 설치
	보호덮개 설치	수분침투 및 보온효과 고려 자갈도상 및 횡단박스에 보호덮개 설치		
사후 대책	레일패드 삽입	레일과 침목사이 패드 추가삽입		
	인력 도상다짐	레일&침목을 동시에 양로기로 10mm 올려 침목하부 인력도상다짐	인력도상다짐 (양로기)	횡단구조물 보호덮개설치

- 전차선 장애의 가장 대표적인 유형인 전차선의 동결 현상은 우리나라에서는 큰 문제가 되고 있지 않으나, 터널 내 고드름 성장에 따른 전차선로 접촉으로 전차선로 장애가 지속적으로 발생함에 따라, 전차선로 단전 예방을 위하여 고드름 제거 용역 작업을 시행하고 있어 이에 따른 유지보수 비용이 매년 발생하고 있는 실정임

그림 14 터널내 고드름(좌) 및 조가선 소손 현황(우)

- 국내에서 발생하는 동절기 문제 및 피해를 정리해보면, 크게 철도차량과 인프라로 구분하여 철도차량에서는 고속선 설빙피해, 차량부품 동결, 전기장치 수분유입에 의한 피해가 발생하고 인프라에서는 선로전환기 동결, 선로동상, 집전장애에 의한 피해가 발생하고 있음

표 8 동절기 피해유형

분류	동절기 피해	개요	사진
차량	고속선 설빙피해	고속철도차량 하부에 부착된 눈이 동결되어 고속 중행 중 탈락하여 도상자갈을 비산시켜 발생하는 피해	
	차량부품 동결	승강문, 판토그래프, 제동장치 등의 차량 부품이 동결 및 결빙에 의해 발생하는 피해	
	전기장치 수분유입	전기장치에 수분(눈)이 유입되어 발생하는 장애로 인한 피해	
인프라	선로전환기 동결	강설, 동작부 동결 등에 의해 발생하는 선로전환기 장애로 인한 피해	
	선로 동상	철도 노반의 수분 동결로 발생하는 궤도 틀림에 의한 피해	
	전차선 집전장애	전차선 결빙이나 터널 내 고드름 접촉에 의해 발생하는 피해	

- 이러한 피해유형 중 차량부품 동결이나 전기장치 수분 유입의 주요 발생원인은 차량 제작 시의 결함이나 유지보수 오류에 의한 것이 대부분이고 관련분야 전문가들의 의견을 수렴하여 본 기획연구에서는 고속선 설빙피해, 선로전환기 동결, 선로동상 및 전차선 집전장애로 연구개발 방향을 정립하였음

표 9 전문가 정성적 위험도 판단결과

구분		심각도				
		5	4	3	2	1
발생빈도	5			고속선 설빙피해	전차선 집전장애	
	4	선로전환기 동결			차량부품 동결	
	3		선로동상		전기장치 수분유입	
	2					
	1					

2절 동절기 피해예방 기술의 정의 및 구성

1. 기술의 정의

- 동절기 철도운영의 문제와 피해에 대하여 각국의 운영자들은 철도운행의 안전성, 정시성 확보를 위해 여러 가지 대책을 마련하여 적용하고 있음
- 전차선과 선로 전환기의 해빙 시스템은 비교적 오래 전부터 사용되어 왔고, 고속철도에는 보편적으로 보급되어 있는 실정임
- 눈이 많은 지역에서는 제설을 위한 장비나 제설차량이 운영되고 있으며, 분기부에서의 제설 작업이나 터널 등의 고드름 제거 작업들은 겨울철 유지보수에 있어 필수적인 사항이 되고 있음
- 철도차량의 경우에는 착설이나 결빙 방지를 위해 열선을 설치하거나 눈과 얼음의 제거를 위한 설비들이 일부 운용되고 있지만, 에너지의 과다한 소모나 작업 시간이 항상 문제가 되고 있음
- 다양한 동절기 철도피해 예방 대책들은 대체로 아래의 범주 중 하나에 속해 있음

① 동절기에 한하여 특별히 시행되는 유지보수 대책
② 동절기 차량 또는 시설물 장애에 대비한 비상 운영 대책
③ 동절기 문제의 근원적 방지 또는 저감을 위한 예방기술

- 위에서 ①과 ②유형의 기술은 철도운영자가 스스로 계획을 세우고 실행하는 대책으로서 ①의 유지보수 대책은 동절기의 문제의 발생을 완화하는 효과는 있으나 대체로 낮은 비용효율성을 갖고 있으며, ②의 비상 운영 대책은 동절기 문제의 발생에는 영향을 미치지 못하며 지연시간의 단축을 통한 승객 불편의 최소화라는 측면에서만 유효함
- 반면, ③유형의 예방기술은 동절기 문제의 원인에 근원적으로 접근함으로써 보다 효율적인 문제 해결을 기대할 수 있으며, 개별 철도 운영자의 상황에 독립적인 성격을 갖고 있으므로 기술 개발의 파급 효과가 클 것으로 기대함
- 따라서, 본 기획연구에서는 동절기 피해 예방기술 중에서 철도운영자가 통상적으로 실시하고 있는 유지보수 기술이나 비상운영 기술을 제외하고 동절기 문제를 근원적으로 방지하거나 저감할 수 있는 기술을 연구범위로 하여, 동절기 피해 예방기술을 '눈, 얼음, 빙점 이하의 저온으로 인하여 발생하는 철도차량, 시설물 및 열차 운영상의 손해를 근원적으로 방지하거나 저감할 수 있는 기술'로 정의함

2. 기술의 구성

- 본 기획연구에서는 철도시스템을 1차적으로 차량과 시설물로 구분하여 각각에 대응하는 예방기술을 구성하였고, 이러한 접근법은 철도시스템에 대한 가장 일반적이며, 유럽에서 시도된 동절기 철도 피해에 대한 연구에 있어서도 이 같은 방법을 취한 바 있음

- 차량의 경우 착설 및 결빙 방지와 눈/얼음 제거가 가장 중요하면서도 공통적인 이슈이므로 철도차량의 설빙 방지를 위한 기술과 이를 구현하기 위한 기술적 접근 방식들에 따른 세부 기술로 구분하였음

- 시설물의 경우에는 선로의 제설 및 동상, 선로전환기 및 전차선 장애 등의 문제를 감안하여 선로, 선로전환기, 전차선 및 노반의 동상 등에 대한 예방기술로 나눌 수 있음

그림 15 동절기 피해에 따른 기술분류체계 도출

표 10 동절기 피해예방 기술분류체계(안)

대분류(영문)	중분류(영문)
동절기 철도 피해 예방 기술 (Winter Technologies for railway system)	A. 철도차량 설빙 방지 기술 (Rolling stock snow and ice protection technology)
	B. 철도 선로 눈 방지 기술 (Railway track snow protection technology)
	C. 선로전환기 장애예방 기술 (Railway switch winter technology)
	D. 전차선 장애예방 기술 (Railway contact wire winter technology)
	E. 선로동상 저감 유지보수 공법 (Maintenance measure for reducing Track frost)

3절 기술개발의 필요성

- 겨울철 눈과 얼음, 빙점 이하의 저온으로 인한 동절기 피해가 지속적으로 발생
  - 피해유형 : 고속선 설빙피해, 선로전환기 장애, 선로동상 등
- 일본, 유럽, 미국 등 해외에서도 동절기 피해가 지속적으로 발생하며, 이에 대응하는 기술에 대한 관심도 증가 추세에 있음

그림 16 2009/2010 겨울 독일 철도

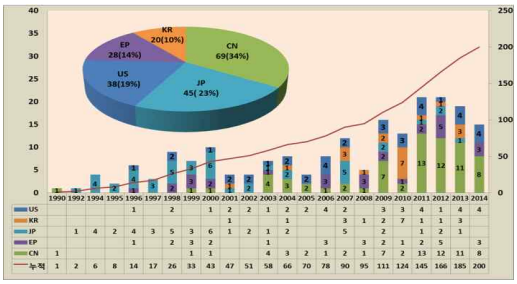


그림 17 국내외 관련 특허 추세

- 국가 정책적으로도 자연재해에 따른 피해 최소화를 장려하며, 특히 국토교통부에서는 겨울철 폭설·결빙에 대비하여 철도안전관리를 시행하고 있지만 실효성이 부족한 실정임
  - 제3차 과학기술기본계획(2013~2017) 19개 분야 중 걱정 없는 안전사회 구축을 위한 '선제적 자연재해 대응과 피해 최소화' 분야의 자연재해 대응 기술
  - 국토교통부 보도자료(2015.11.17.) : 겨울철 철도안전관리 강화 본격 시동
- 또한 철도운영기관에서는 자체적으로 동절기 피해예방 및 대응을 위하여 운영 및 유지보수 관점에서의 대책을 수립하여 대응하고 있지만 한계점을 가지고 있음
  - 겨울철 대비 사전 유지보수 : 제설기 분산배치, 선로동상 예방 유지보수, 선로전환기 히팅장치 점검 등
- 그러므로 동절기 피해를 예방하고 체계적인 동절기 관리기술 개발을 통한 철도 운영 효율화를 위하여 기술개발이 필요함
  - 고속선 설빙에 의한 피해비용 : 연간 32.4억원(재료비, 인건비 등)
    - * 피해대상 : 고속차량 유리창, 차축보호재, 궤도구성품, 궤도회로장치 등
  - 동절기 열차운행 지연 : 약 326시간/년
    - * 지연유형 : 선로전환기 밀착불량, 고속선 설빙에 의한 지연운행 등

- 또한 국가 기간교통망인 철도교통의 안전을 확보하고 국민의 편익을 향상시키기 위하여 필요

  - 차축 손상은 열차 주행 안전성 향상에 심각한 위험요인

    * 차축 보호재 파손현황 : 334건(2012년 기준)

  - 인프라(선로전환기 등) 기능장애는 대량 운송마비 사태 촉진

    * 하루 동안(2010.10.04.)의 폭설로 152개 열차 지연운행

  - 유리창 파손 시 승객의 불안감 호소 및 클레임 증가

    * KBS뉴스광장(2013.12.05.) : 'KTX열차 유리창, 강추위 속에 깨진 채 운행' 등

  - 철도차량 및 시설의 안전성 향상을 통한 선제적 안전관리 체계 도입의 필요성 대두

    * 철도 안전 종합계획(2011~2015) : 철도시설의 안전성 향상, 철도차량의 안전성 향상

- 향후 남북철도 연결 등 운영환경 변화와 고속철도 수출 다변화를 위한 선제적 기술개발 및 확보 필요

  - 남북철도 및 대륙철도 연결 실현 시 국가적으로 대비할 수 있는 기술력 필요

    * 국토교통부 남북철도 연결사업 관련기사(2015.08.04.) : '경원선 남측구간 철도 복원으로 유라시아 이니셔티브 구현한다.'

  - 철도 수출의 다변화를 위해 철도 피해 예방기술의 선제적 개발과 확보를 통해 한국 철도기술의 국제적 경쟁력을 확보하는 것이 필요

    * 제2차 철도산업 발전 기본계획(2011~2015) : 미래성장 동력 확충, 해외철도 진출기반 강화

제2장 국내외 동향 및 환경분석

1절 정책동향

1. 국외 정책동향

가. 국외 철도분야 정책동향

- 대부분의 국가에서 교통수단 간 균형을 통한 지속가능한 발전, 기후변화협약 대응의 일환 등으로 철도투자 증대 추세
- 해외 철도교통시장에서 기술력을 기반한 주요 선진국의 시장 장악이 공고한 가운데 중국이 새로운 강자로 대두되는 등 경쟁이 심화
- 해외철도 시장 진출확대를 위해 시장 수요에 적합한 기술개발이 지속 추진 필요
- 미 연방철도청(FRA)철도 인프라 구축 및 복구, 안전성 향상, 경제회복을 위한 교통수단 투자 프로그램을 진행 중
  - 철도 재건 및 수리(재난 지원) 프로그램(Railroad Rehabilitation & Repair (Disaster Assistance))을 통해 자연재해로 손상된 철도 인프라 복구 및 복원을 지원
  - 국가 환경법과 정책의 실행을 위하여 기후변화, 소음 등의 환경적 이슈에 대하여 연구개발을 통하여 적극적으로 대응함
  - 또한 극한, 폭설 등의 겨울철 날씨관련 비상사태 발생 시의 대응계획(Emergency Relief Docket)을 수립하고 적극적으로 대응하고 있음
- 유럽의 경우, 상호운영성에 관한 지침(the technical specifications for interoperability) 상 각 국가별 기후차이를 감안하여 철도차량 및 인프라의 설계 시 고려해야할 눈, 얼음, 한파에 대한 조건을 제시해주고 있음
- 국제철도연맹(UIC)에서는 동절기 발생하는 철도시스템의 문제를 '주로 11월과 3월 사이에 발생하는 운영상의 문제' 로 정의하고 이에 대응하는 연구 조직(RSF)을 만들어 유럽 전역에서 발생하는 관련 문제들을 조사하여 보고서를 제출
  - 스웨덴 국영철도청(Swedish National Rail Administration)은 Green train이라는 연구사업의 일환으로 스칸디나비아 지역 고속철도 현장 직원들을 대상으로 한 인터뷰를 통하여 동절기 고속철도 운영 시 나타나는 문제점들을 조사하였음
- 일본은 지리적 여건 상 재해가 많이 발생하기 때문에 동절기 피해에 대하여 국토교통성 방재 업무계획의 설해 대책편에 반영하여 관리하고 있음

- 광역적인 교통기능을 유지하고 사회, 경제활동의 안정을 도모하기 위하여 거점 간 제설사업을 중점적으로 추진하고 노후 설한 대책 시설의 계획적인 유지보수를 도모함

- 또한 제설기계 등의 안전한 주행을 지원하는 기술개발을 적극적으로 추진함

- 또한 전국토의 약 40%를 법으로 '호설지대'로 정하여 특별히 관리하고 있으며, 세계적으로 유명한 이 호설 지대에 부설된 일본 철도는 그 지역에 거주하는 수많은 사람들의 주요 교통 기관으로서 겨울철의 혹독한 자연 환경에서도 안전하며 안정적인 수송이 가능하도록 정책적으로 지원하고 있음

  ※ 출처 : 국토교통과학기술진흥원, 2015 국토교통 R&D 동향조사 등

2. 국내 정책동향

가. 제3차 과학기술기본계획(2013~2017)

- 경제부흥과 국민행복을 위한 하이 파이브(High Five)전략으로 5개 전략분야를 고도화 하고 19개 분야 78개 과제 추진

- 과학기술기본계획 내 걱정 없는 안전사회 구축을 위한 '선제적 자연재해 대응과 피해 최소화' 분야의 자연재해 대응 기술에 부합

- 과학기술기본계획 내 걱정 없는 안전사회 구축을 위한 '사회적 재난 대응체계 확보' 분야의 기반시설 기능유지 및 복구·복원 기술에 부합

- 제3차 과학기술기본계획은 전 지구의 기후변화에 선제적으로 대응하여 과학기술 개발의 필요성을 피력하고 있으므로 폭설, 한파 등의 이상기후 대응을 위하여 연구과제 필요

나. 국토교통 R&D 중장기 전략

- 국토교통 기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치 창조를 위한 4대 전략 및 10대 중점 프로젝트 추진

- '스마트 철도교통시스템' 구축을 위한 정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도시스템이 생활교통수단으로써 보다 안전하고, 경제적이며 효율적으로 구축·운영될 수 있도록 제반 기술 확보라는 추진목표에 부합

- 세부 프로젝트 내 유지보수 기술개발을 통한 안전사고 예방과 철도운영 효율성 향

상의 기술개발 방향과 부합

- 철도기술 경쟁력의 선진국 동등 수준 확보 및 세계시장 점유율 4% 달성을 위한 독자적인 핵심기술 개발에 부합

다. 제2차 철도산업 발전 기본계획(2011~2015)

- 세계 최고수준 철도안전 확보를 위한 안전시설 개량, 차량 유지보수 강화의 노력에 부합함
  - 재해예방을 위한 철도시설물 개량 및 철도안전 시설물의 유지보수 체계화
  - 유지 · 보수성이 향상된 철도차량 개발 및 스마트 차량 유지 · 보수 기술 적극 개발
- 해외 철도시장 진출 확대를 위한 선진국 수준의 철도기술 개발 및 상용화 촉진기반 구축에 부합함
  - 철도 제조업 육성을 위해 핵심부품 개발을 지원하고 시장 활성화 및 제품 사용화 촉진 기반을 마련
- 또한 KTX 고속철도 중심의 국가철도망 구축을 위하여 시설개량 지속 추진 및 유지 · 보수 효율화에 부합
  - 승차감 향상 및 안전성 확보를 위해 시설개량 사업 지속 추진
  - 철도시설의 기능을 정상적으로 유지하고 안전성을 확보하기 위해 비용 효율적인 유지보수체계를 구축 · 운영
- 철도 인프라 기술수준 제고를 위한 철도 유지보수비 저감기술에 부합

라. 철도 안전 종합계획(2011~2015)

- 선진 철도운영국가(EU 상위 15개국) 수준의 철도안전성 달성을 위한 사고율 10% 감축을 목표로 '철도시설의 안전성 향상', '철도차량의 안전성 향상'에 부합
  - 재해 예방을 위한 철도시설물 개량 및 장애률 감소를 통한 운행안전성 확보를 위한 차량 검수시설 및 장비의 현대화
- 철도안전에 대한 기술의 연구개발 확대를 위한 철도 안전성 향상 연구에 부합
  - 중대사고 예방 및 피해저감기술 현장적용

2절 시장동향

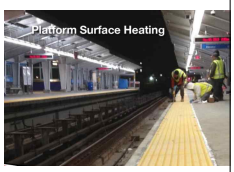
1. 해외 철도 제빙/방빙 시장현황

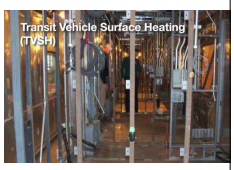
- 미국의 RTR Technologies社는 철도 동결방지(De-icing/Anti-icing)을 위한 다양한 기술을 개발하고 있고 아래와 같은 관련 제품을 생산하고 있음

※ 출처 : http://www.rtrtechnologies.com/products/, RTR Technologies INC.

표 11 RTR Technologies社의 철도 동결방지 기술

제품명	제품내용	제품성능	사진
CAT Heat (OCS)	▪ 전차선에 효율적이고 빠른 열전달을 위해 안정적인 열전 시스(thermal transfer sheath) 적용 ▪ 경량 삼각 히터 프로파일을 적용하여 설치가 빠르고 용이함 ▪ ·Phos-청동 클립 탑재되어 안전하고 안정되게 전차선에 열을 전달함 ▪ 장착된 Phos-청동 클립 재료는 우수한 스프링 장력, 부식 제거 및 긴 제품수명이 특징임 ▪ 전압: 600, 750, 1500, 3000 VDC ▪ 회로길이: 250~3,000 피트 (75~900 미터) ▪ 하드 와이어 또는 RF 컨트롤러는 저비용으로 안정적이고 효율적인 운영을 제공	▪ 아이스 커터(Ice cutters) 불필요 ▪ 열(Heat)이 최대한 짧은 시간 내에 전차선(contact wire)에 신속하게 전달 및 간편한 설치 ▪ 철도차량 운행을 방해하지 않음 ▪ 저비용 고효율 제어 ▪ 빠른 투자 수익(ROI)	
Contact Rail Heaters	▪ 전력 제한(Power-limiting)은 30,000시간 예상 수명을 가짐 – 전압: 480 VAC, 600, 650, 750 VDC – 전원 출력: 30, 40, 50 watts/ft ▪ 자기 조절(Self-regulating) 15,000시간 예상 수명을 가짐 – 전압: 600, 650, 750 VDC – 전원 출력: 32ºF에서 27~35 watts/ft ▪ 회로길이: 5'-550'	▪ 레일 유형에 대한 최적화된 에너지 효율적인 설계 및 운영 조건 설정 ▪ 전력 제한 및 자기 조절 시스템 사용 ▪ 서비스에서 입증된 견고한 기계 디자인을 통해 서비스 손상 가능성을 줄임 ▪ 독점 스프링 클립 및 유리섬유(fiberglass) 채널 장착을 통한 디자인으로 쉽고 빠른 설치 신뢰성 제공	
Switch Heating	▪ 견고한 디자인 = 영속성 ▪ 평면 히터 엘레먼트 프로파일 = 최대 열전 ▪ 스테인레스 스틸 또는 모넬 시스(sheath) ▪ 열팽창 전무함 ▪ 전원 연결부 사용 가능 ▪ 1/4 회전 커넥터 ▪ 전압: 120-600 AC, 600 및	▪ 설치가 신속하고 브레이스(braces)를 제거하거나 완화 불필요 ▪ 충격과 진동 저항 ▪ 레일에 효율적인 열 전달 ▪ 40%의 최소 전력 감소 ▪ 표준 또는 높은 습도/부식 환경에 이상적임 ▪ 전력 부하에서 최소 확장	

제품명	제품내용	제품성능	사진
	750 DC ▪ 전원출력: 75w/ft~300w/ft ▪ 활성 가열 길이 : 24ft. ▪ 평면, 완전 밀폐식 팬 타입	– 20'의 1" 미만 ▪ 배선, 케이블 액세서리 및 배선함 등 50 % 이하임 ▪ 빠르고 쉬운 연결 및 연결 해제 ▪ 분기기 유지보수시 어떤 요구 사항도 없음 ▪ 낮은 운영 온도로 궤도 화재 감소	
Heated Thresholds	▪ 동절기 조건에서 스무드 도어(smooth door) 운영으로 신속하게 눈 및 얼음 제거 ▪ Safety-yellow graphics은 승객 및 운전자의 높은 안전성 부여 ▪ 영구 미끄럼 방지 표면 ▪ 스테인리스강 구조 ▪ 알루미늄 주조 및 압출	▪ 동절기에도 작업 가능한 지속적인 스무드 도어(smooth door) 운영 ▪ 내구성 구축으로 낮은 수명 주기 비용 ▪ 승객 및 운전자에 대한 높은 안전성 부여 ▪ 슬립 및 낙하 사고를 줄임	
Platform Surface Heating	▪ 얼음 및 눈 쌓임 방지 ▪ 폭 넓은 전압 호환성 ▪ 단일 또는 삼상 전원 ▪ 온도 조절 ▪ 히터 두께: 1/8” 이하 ▪ Thermistor sensor는 패널 온도를 모니터하고 전력 조절 ▪ 새로운 또는 기존 플랫폼에 설치 가능 ▪ ASHRAE 가이드 라인과 표준에 대한 전원 출력	▪ 온도 및 강수량 센서는 최적화된 시스템 성능 제공 ▪ 모든 날씨 조건에서 ADA 기준 준수 ▪ 플랫폼 가장자리부분 겨울 유지보수 없앰 ▪ 낮은 운영 비용 ▪ 투자수익율(ROI) 입증	
Auxiliary Freeze Protection Systems	▪ 도어 포켓 히터 ▪ 도어 서라운드 히터 ▪ 화장실 배수 및 흡입 라인 히터 ▪ 탱크 히터 ▪ 필 및 드레인 라인 히터 ▪ 팬터그래프 및 팬 헤드 히터 ▪ 공압 시스템 히터 ▪ 유압 시스템 히터 ▪ 램프 및 스탭 히터	–	

제품명	제품내용	제품성능	사진
Transit Vehicle Surface Heating (TVSH)	▪ 가볍고 강한 복합 구조 ▪ 효율적이면서도 편안하고 건강한 에너지 효율적인 공간 절약 열원(heat source) ▪ 지속적인 열 성능	▪ 장기 운영 비용 절감 ▪ 승객, 장애인, 자전거 등 넓은 공간 활용 ▪ 패널은 철도차량의 수명을 지속 ▪ 고온 및 저온 영역을 제거하여 균등한 열 분포를 제공 ▪ 철도차량 내 열손실이 쉬운 고저 영역(high and low loss areas) 대상 가열 패턴 ▪ 경량화로 낮은 운전 비용 ▪ 낮은 총 소유 비용 (TCO; total cost of ownership)	

- 스위스의 경우 모든 분기기에는 전기적 히팅을 통해서 제빙을 하고, 궤도의 경우 300kw파워급(400HP) 로터리 제설차량(Rotary Snow Blowers)을 사용하여 10km/h의 속도로 궤도 제빙을 하고 있고 특히, 저고도에서 운영되고 있는 SWISS RAIL(SBB)와 달리 높은 고도에서 운영되는 MGB(Matterhorn-Gotthard Bahn)의 경우 전차선 동결방지를 위해 자동차용 부동액인 글리콜(glycol)을 뿌리고 글리세린(glycerine)을 추가함

※ 출처 : DE-ICING SWITZERLAND, EURAILmag Business & Technology, ISSUE 24

그림 18 SWITZERLAND Rotary Snow Blowers

- 스웨덴의 STOCKHOLM Traffic Management(TF)는 Stockholm Local Transport(SL) 도심 열차를 운행하는데 있어서 기존에 German Rail(DB)에 동결방지 모듈러 시스템을 제공한 네덜란드의 Ballast Nedam社와 적설량에 따라 철도차량 윤축(wheelset)에 더운물을 분사하는 방식의 제빙기술을 적용하고 있음

※ 출처 : Ballast Nedam supplies train de-icing system to Trafikfarvaltningen Stockholm, European railway Review, September 2013.

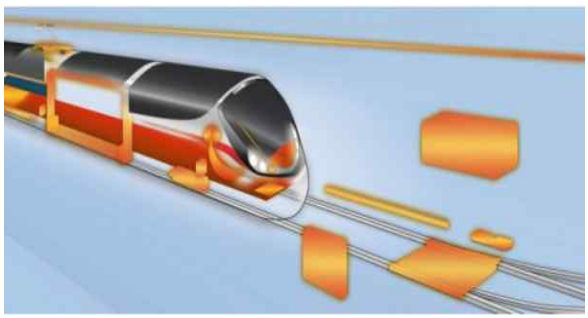
그림 19 Fully-automated sprays the entire underside of the train with warm water

- 덴마크 NIBE Railway社의 SAN - Railway System은 어떤 겨울날씨 상황에도 불구하고 Switch Point Heating, Overhead Wire de-icing 및 Third rail de-icing 기술적용으로 최적의 안전한 열차 운영 서비스를 제공함

  - SAN - Railway System은 효율적으로 시스템 에너지 소비를 감소시키고, 총 소유비용(TCO; total cost of ownership)을 감소시킴

  - 지능형 서버 컴퓨터 기반 컨트롤러를 통해 가열 요소들을 전력 변압기, 기상 관측소, 등 필요한 모든 설비들을 프로그램으로 모니터링 할 수 있고, Rolling stock comfort heating, door step de-icing, heating of hydraulic systems, toilet/waste water systems 기술을 제공함

※ 출처 : CAT HEATING overhead contact system de-icing; system blue wire, SAN Railway System, NIBE Railway Components



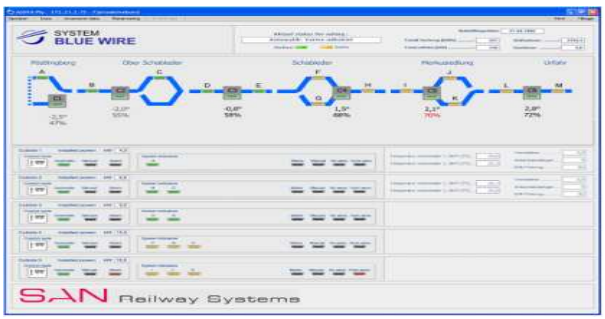


그림 20 SAN Railway System

2. 해외 제빙/방빙관련 타 산업 현황

- 글로벌 항공기 동결방지(De-icing) 산업시장 규모는 2020년 1.3조 달러(약 1,527조원)로 년평균복합성장률(CAGR) 5.18% 성장할 것으로 예상됨

※ 출처 : Aircraft De-Icing Market by Application (Commercial & Military), by Equipment (De-Icing Trucks, Sweepers, & Others), by Fluid Type (Type I, Type II, Type III, & Type IV), by Geography (North America, Europe & APAC) - Global Forecasts & Analysis to 2020, MarketsandMarkets, April 2015

- 항공기 제빙기술로는 액체타입·용도·장비별로 Infrared Aircraft De-Icing Technology, Hot Water Aircraft De-Icing, Pre-Deicing and Other De-Icing Procedures, Tempered Steam Technology, Forced Air Deicing System, Electro-Expulsive Separation System, Electro-Mechanical Expulsion Deicing System, Ultra Sound Technology, Shape Memory Alloys 등 기술이 있음

- 글로벌 항공기 동결방지(De-icing)산업관련 주요 기업으로는 B/E Aerospace, LyondellBasell, UTC Aerospace Systems, JBT Corporation, Clariant AG, The Dow Chemical Company, Cryotech, Kiittokori OY, Kilfrost, BASF Corporation, Vestergaard, Contego De-icing Solutions, SDI Aviation, Weihai Guangtai Airport Equipment Co. Ltd. 및 Global Ground Support LLC. 등이 있음

- 항공기의 제빙/방빙 용액 타입(Type)은 AMS 1424/ISO 11075 표준규격에 따라 제조되고, 일반적으로 Type II or Type IV 용액이 추가 동결방지를 위해 사용되는 반면에 Type I 용액이 2단계 절차에 따라 주로 많이 사용됨

※ 출처 : Aviation/Aircraft De-Icing & Anti-Icing Fluids, http://www.airport-suppliers.com/

표 12 Aviation/Aircraft De-Icing & Anti-Icing Fluids

구분	활용 공정
Type II, Type IV 용액	- AMS 1428 / ISO 11078 표준규격에 따라 제조되며 Type I 과 달리 다양한 방법으로 활용됨 • 무가열(Unheated), 원액(undiluted) 또는 희석(diluted) • 1 단계 프로세스를 통한 가열 및 희석 • 1 단계 프로세스를 통한 물과 희석 및 가열 • 2단계 공정을 통한 물과 희석 및 가열

- 제빙/방빙을 위해 사용되는 글로벌 염화칼슘(Calcium Chloride) 산업은 De-icing & dust control application 시장 대부분을 차지하고 있으며, 시장 규모는 2014년을 기준으로 838.7억 달러(약 98조원)에서 2023년 1,205.6억 달러(약 141조원)로 년평균복합성장률(CAGR) 4.2% 성장할 것으로 예상됨

  - 2014년 기준으로 북미시장은 염화칼슘 전세계 시장 점유율 40%이상을 차지하며 가장 큰 시장 점유율을 보이고 있으며, 주요 기업인 Tetra Chemicals(Tetra Technologies, Inc.), Zirax Ltd, Keg River Chemical, Occidental Petroleum Corporation (OxyChem), BJ Services Company 및 Qingdao Huadong Calcium Producing Company. Ltd. 등이 시장점유율 60%이상을 차지하고 있음.

※ 출처 : Calcium Chloride Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2015 - 2023, Transparency Market Research, July 2015

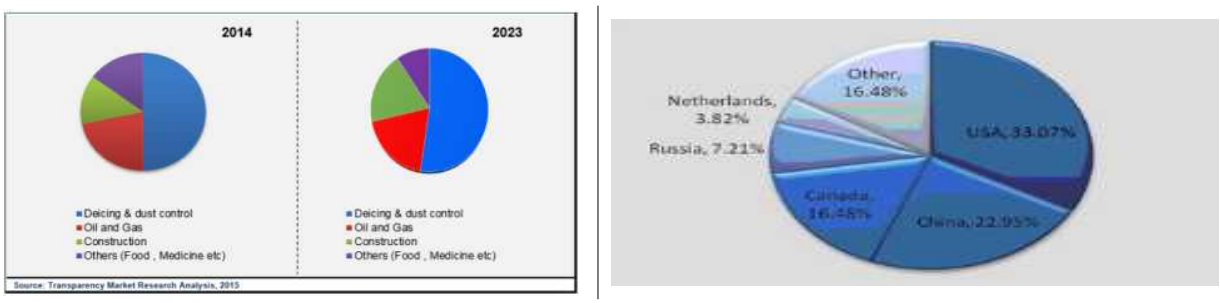


그림 21 Global Calcium Chloride Market Volume Share, by Application, 2014 and 2023

- 항공용 코팅 시장은 2014년 18.2억 달러(약 2조원)로서, 2019년까지 연평균 7.8% 성장을 기대하여 30억 달러(약 3.4조원)에 이를 것으로 전망하고 있으며, 승객 증가에 따라 상업용 항공 분야에서의 개발이 최대일 것으로 전망됨

※ 출처 : Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June

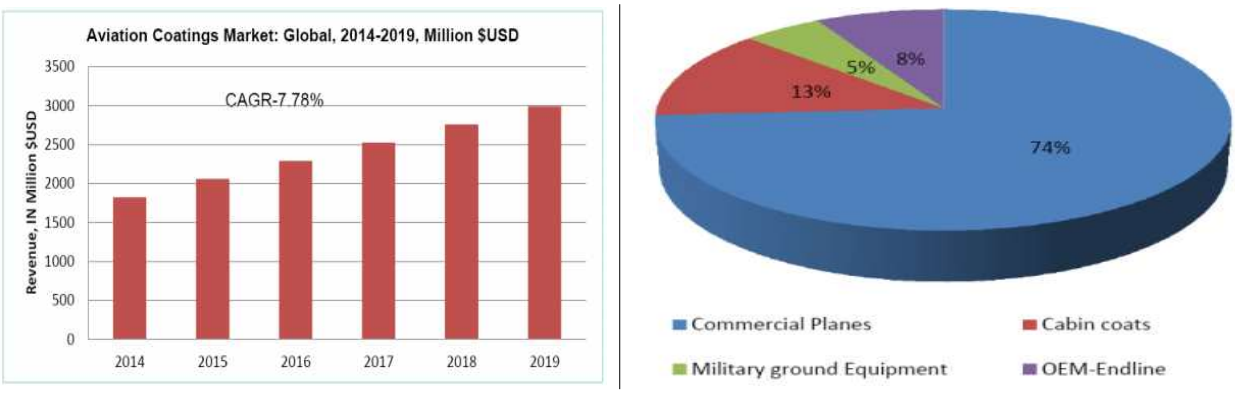


그림 22 항공용 코팅 마켓 동향

- 2014년 공개된 항공기 코팅 분야에 대한 특허는 1377건으로 2004년부터 증가세를 보이고 있음. 이 분야의 주요 출원인으로 Stats Chippac Ltd가 가장 많은 특허를 출원한 것으로 조사되었음

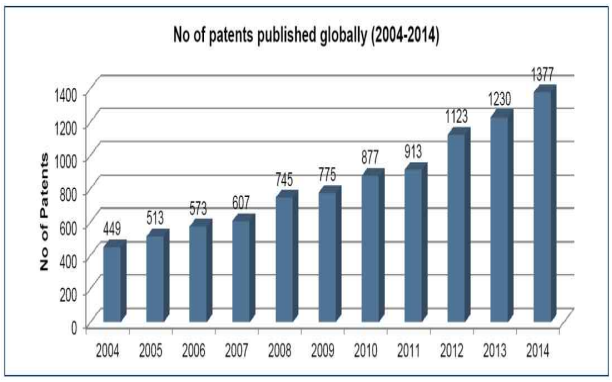


그림 23 2014년 공개특허 추이

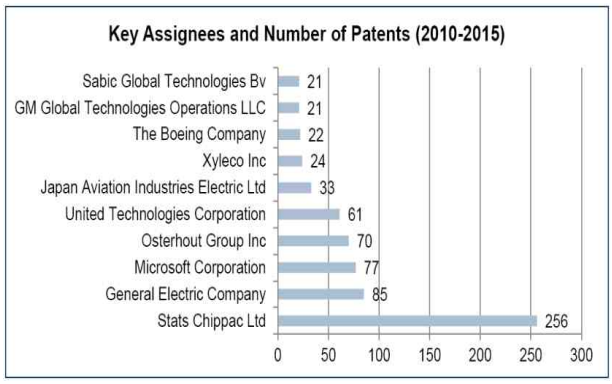


그림 24 2014년 공개특허 주요 출원인

※ 출처 : Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June

- Frost & Sullivan의 Functionality/Type에 따른 항공용 코팅 분야 현황(Adoption of Aviation Coatings)을 보면, 방열코팅(Thermal barrier coatings) 부문은 북아메리카, 해빙(De-icing) 분야는 아시아태평양 지역에서 높게 나타나고 있음

※ 출처 : Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June

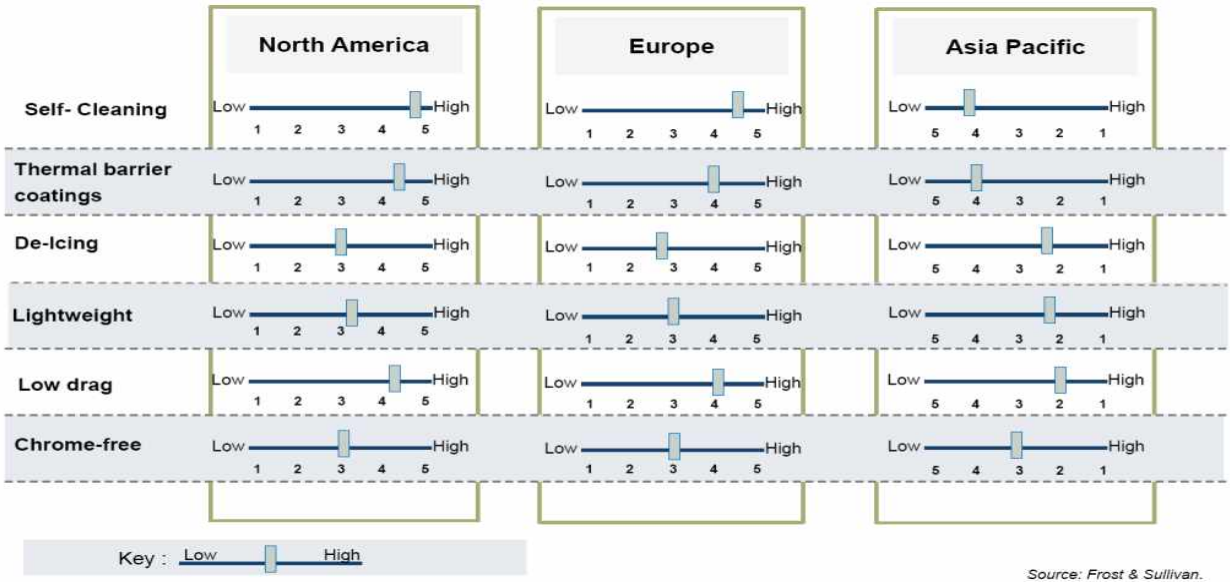
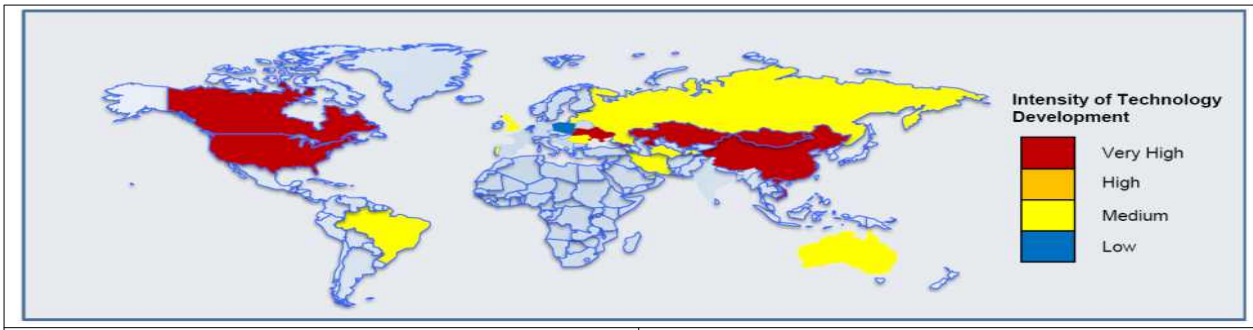
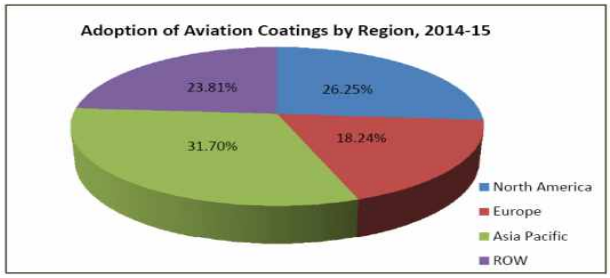


그림 25 지역별 항공용 코팅 분야 동향





- 북미 항공 코팅 시장에서 주요 기업은 Akzonobel, PPG, Sherwin Williams, Deft임
- 항공 코팅 시장에 대한 유럽의 주요 국가는 러시아, 프랑스, 독일임.
- 아시아 태평양 시장은 향후 5년 동안 7.9%의 CAGR로 상승할 것으로 기대됨

※ 출처 : Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June

그림 26 주요 지역별 코팅시장 전망

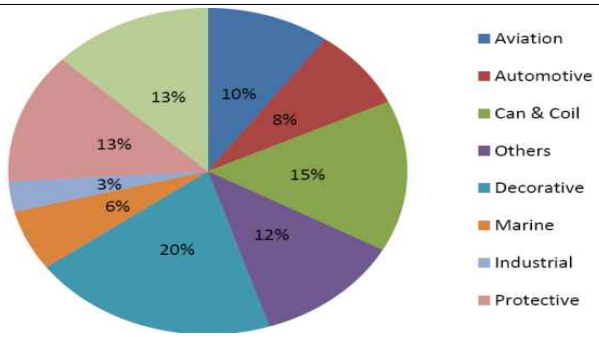


그림 27 항공분야 코팅 시장 점유율

- 현재 항공분야 코팅은 전체 코팅 시장의 약 10%를 점유하고 있음. 이는 향후 5년간 4%에서 5% 증가할 것으로 예상하고 있음

※ 출처 : Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June

표 13 항공용 코팅분야 지역별 연구 동향

지역	주요기업	연구 초점 영역	트렌드
북미	PPG Industries, AkzoNobel, SHERWIN-WILLIAMS.	Chrome-free coating cadmium-free 친환경	self-cleaning
유럽	zircotec heat management, oerlikon, MANKIEWICZ	방위산업 항공기용 클리어코트(Clearcoats)	lesser drag projects color mixing concept
아시아태평양	nittoku, LORD, JAXA	Primers and basecoat	Clearcoats (항공기 바디 외측용)

※ 출처 : Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June

- 미래 항공 코팅분야에서 환경 보호 능력이 미래 핵심 요소가 될 수 있음. 특히 비용-효율적인 대체 코팅 물질, 중량의 감소, 코팅의 신뢰성 향상을 위해 합성재료가 채택될 수 있음. 또한, 새로운 복합 제품, 친환경 코팅재료와 더불어 나노재료, 낙뢰 저항재, 셀프 클리닝 재료 등은 성능적 과제를 해결하고 시장적 측면에서 유익할 것으로 기대되고 있음

※ 출처 : Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June

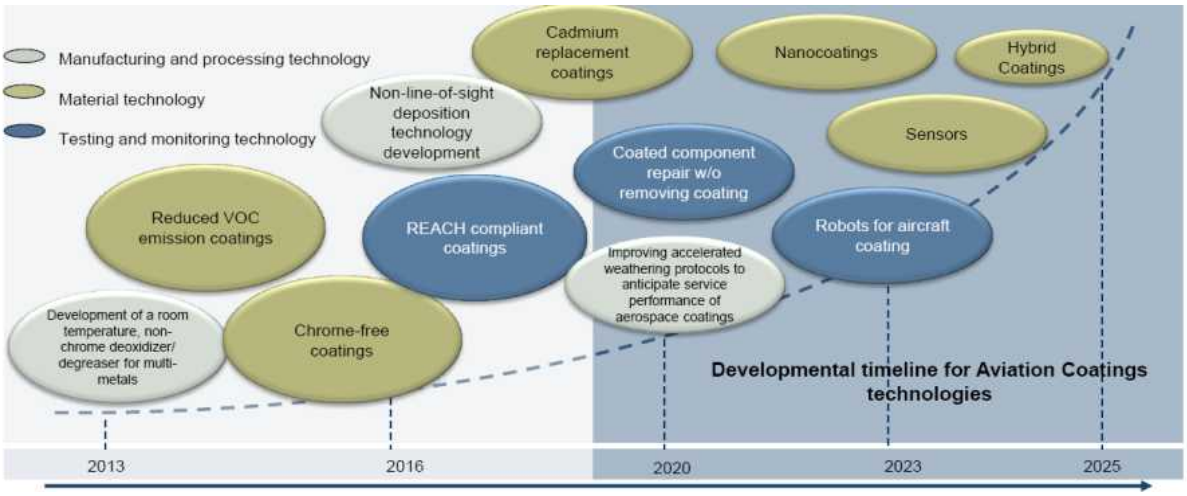


그림 28 항공용 코팅분야 기술 로드맵

- 카드뮴 및 크롬이 없는 코팅이 매우 중요한 트렌드가 될 것이며, 정전기 방지(anti-static) 및 설빙 방지(de-icing) 코팅은 향후 몇 년간 중점 개발될 것으로 전망. 또한 경량화 및 반사방지 코팅 등도 향후 5년간 중점 개발될 것임

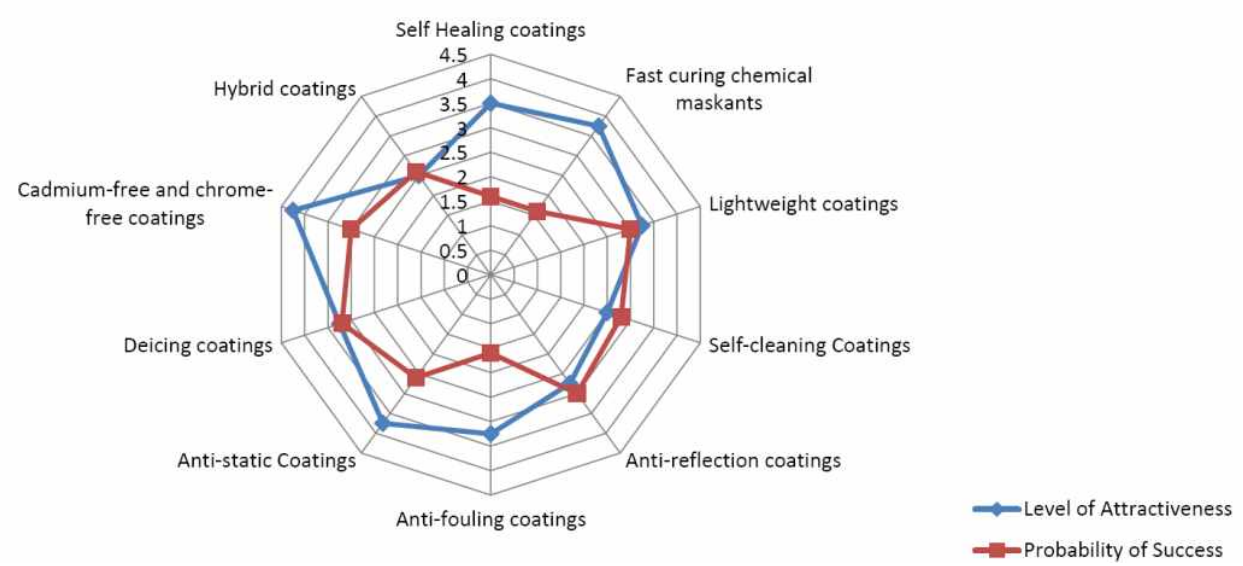


그림 29 코팅 기술 신흥시장 예측

2. 시장 발전단계

- 철도 동절기 피해예방 기술개발 분야의 특허 출원/공개 추이를 통해 시장 발전단계 위치를 추정해 보면, 현재 성장기에 있는 기술 분야로 판단할 수 있음

  - 연도별 다소 등락을 보이기는 하지만, 1990년대 이후 전반적으로 특허건수가 증가하고 있는 것으로 볼 수 있음

  - 특허 출원/공개 추이를 보면 2011년 이후 출원대비 공개기술이 더 많이 나타나는 것을 볼 때 최근 시장에서 중요한 기술로 부각되고 있는 분야임을 알 수 있음

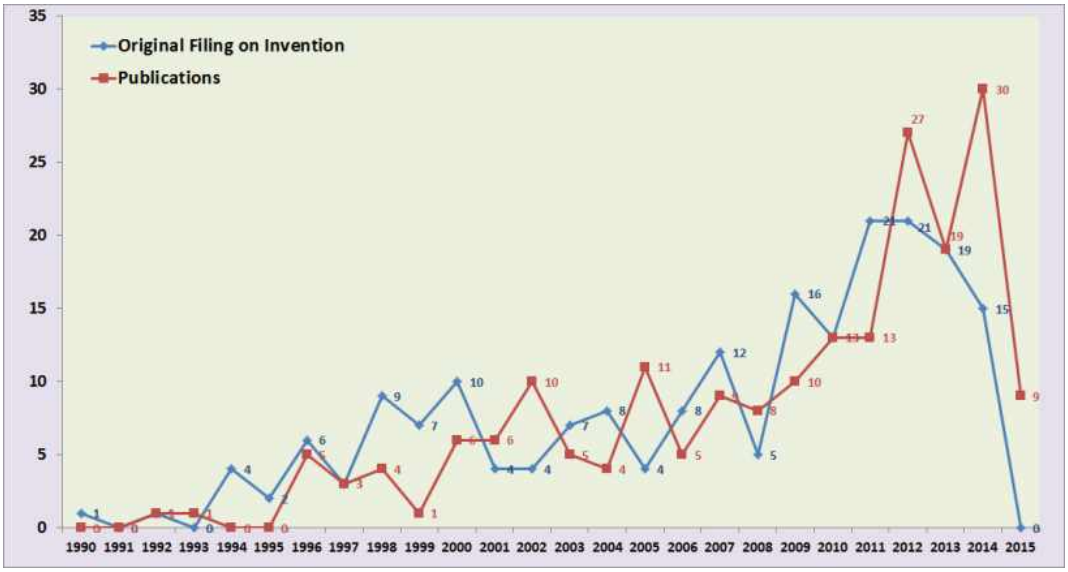


그림 30 특허기술 연계 기술발전 추이

3절 특허 및 논문동향

1. 관련 특허동향

가. 특허 분석 범위

표 14 특허분석 기준

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원	
분석구간	1990.01.01.~2015.09.24				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

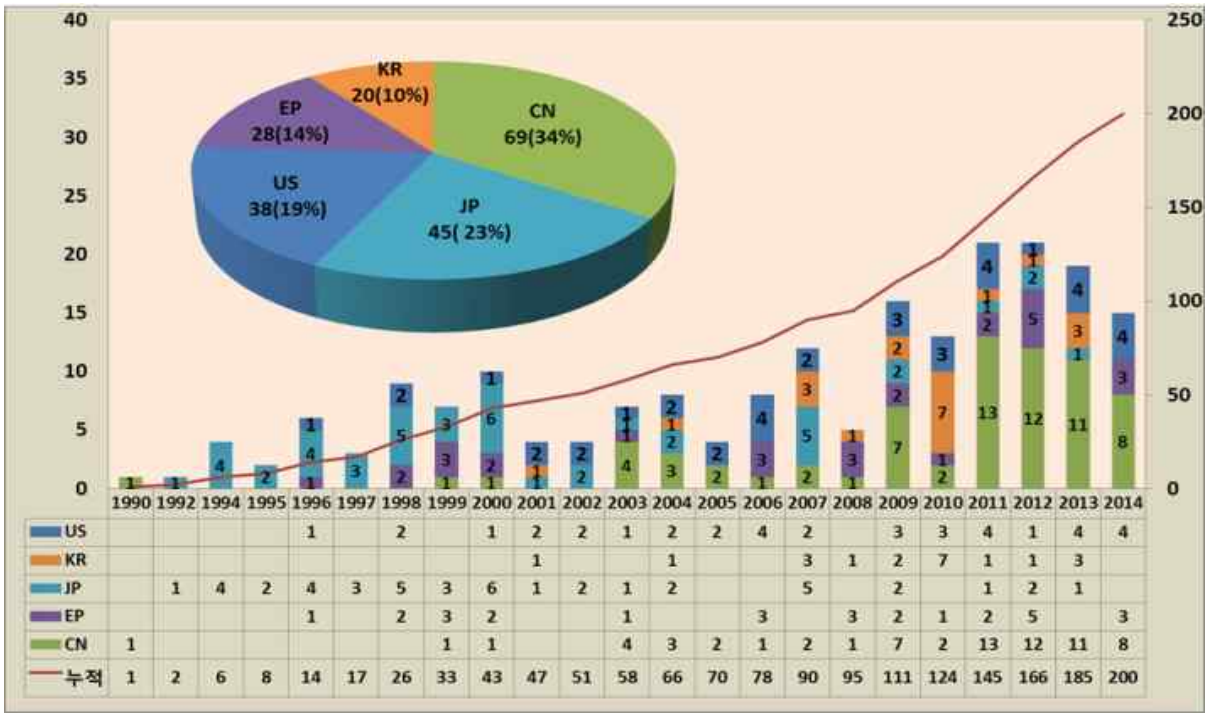
나. 기술검색 조합식

표 15 특허 검색 조합식

기술구분		검색 조합식	검색특허	관련특허
A기술		차량기술		
		CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icing or de*freez*) and (locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock))) and AD>=(19900101);	452	94
B기술				
		CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icjng or de*freez*) and (rail or track or (track adj bad) or (road adj bad))) and AD>=(19900101);	278	23
C기술				
		CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icing or de*freez*) and (switch or turnout)) and AD>=(19900101);	254	33
D기술				
		CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icing or de*freez*) and (catenary or (contact or trolly) near2 (wire))) and AD>=(19900101);	14	24
E기술				
		CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or transit or tram or (rolling adj stock)) and ((rail or track or (track adj bad) or (road adj bad)) near4 (drain* or (heat* adj insulat*)))) and AD>=(19900101);	127	26

다. 특허기술 동향

1) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향



	1990	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
US					1		2		1	2	2	1	2	2	4	2		3	3	4	1	4	4
KR										1			1			3	1	2	7	1	1	3	
JP		1	4	2	4	3	5	3	6	1	2	1	2			5		2		1	2	1	
EP					1		2	3	2			1			3		3	2	1	2	5		3
CN	1							1	1			4	3	2	1	2	1	7	2	13	12	11	8
누적	1	2	6	8	14	17	26	33	43	47	51	58	66	70	78	90	95	111	124	145	166	185	200

그림 31 출원년도 및 국가별 출원추이

- 철도 동절기 피해예방 기술개발분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 200건의 관련 유효특허가 출원되었음. 1990년도 이후 관련특허의 출원이 점점 증가하는 우상향 곡선이 나타나고 있어 최근 이 기술분야에 대한 관심이 증가하는 것으로 판단됨

- 국가별 점유율 분포를 살펴보면, 중국이 34%(69건)로 최다이며, 일본(45건), 미국(38건), 유럽(28건), 한국(20건) 순으로 나타남.

- 일본의 특허출원활동은 2000년대 이전에 주로 출원하여 기술을 선도하였으나, 2000년대 이후에는 간헐적인 출원만 유지되는 감소추세로 보여짐. 반면, 중국은 주로 2000년대 이후에 특허를 출원하였고, 특히 2010년도 이후에 출원이 급증한 것으로 나타나 시장 점유를 위한 관심이 확대된 것으로 판단할 수 있음

- 한국은 2000년대 이후 이 기술분야에 대한 특허를 출원하였으나 타 국가 출원활동에 비해 저조한 편임

2) 세부기술별 특허출원 동향

- 세부기술(중분류)별 특허출원 동향을 보면, 철도차량 설빙방지(A기술)에 대해 94건(47%)으로 상대적으로 많은 특허가 출원되고 있음. A기술은 1990년대 중반 이후 5건 내외의 특허가 꾸준하게 출원되었음.

- 전차선 장애예방(D기술)은 주로 2010년 이후에 나타나고 있어 최근 기술개발 및 연구가 활발한 것으로 판단됨

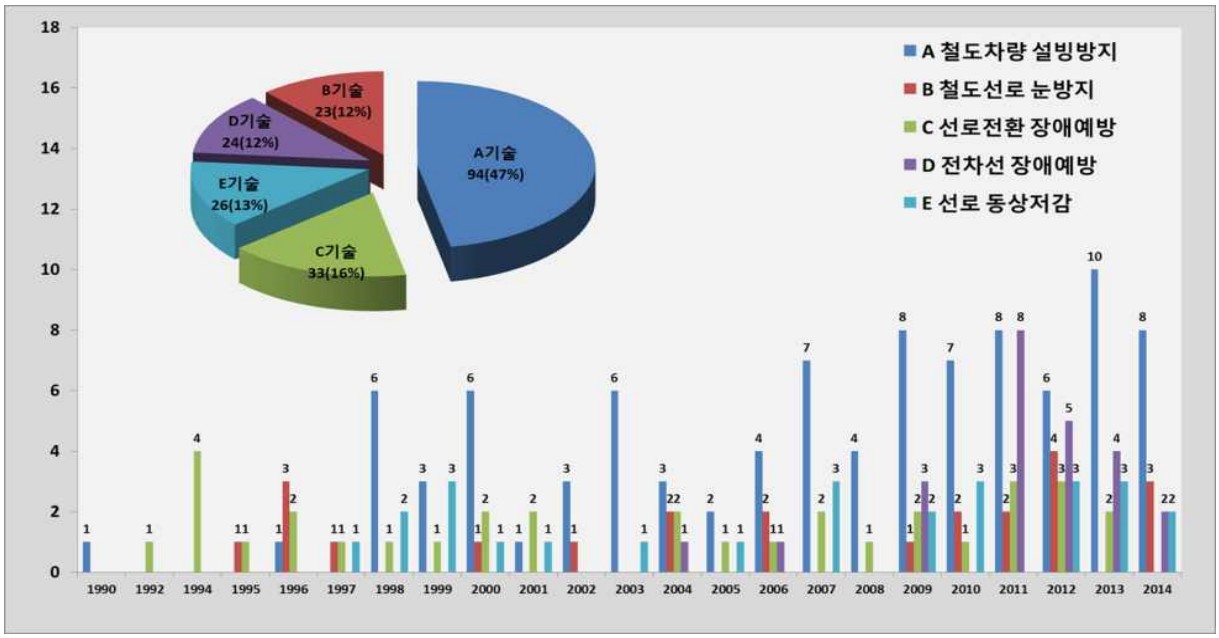


그림 32 기술분류별 출원추이

3) 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(Top 10 Assignee)을 살펴보면, 미국의 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE가 19건으로 최다 출원인이며, 일본의 EAST JAPAN RAILWAY와 HITACHI PLANT ENG, 중국의 China Railway Engineering, Zhuzhou National Engineering Research Center, China Railway First Survey and Design, UNIV SOUTHWEST JIAOTONG 스웨덴의 Nordic Ground Support Equipment 등으로 나타났으며, 한국의 주요 출원인으로는 현대로템이 포함됨

- 미국의 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE와 스웨덴의 Nordic Ground Support Equipment은 해외 출원에 비중을 두고 있는 반면에 일본, 한국, 중국의 주요 출원인은 자국 위주로 출원한 것으로 나타남

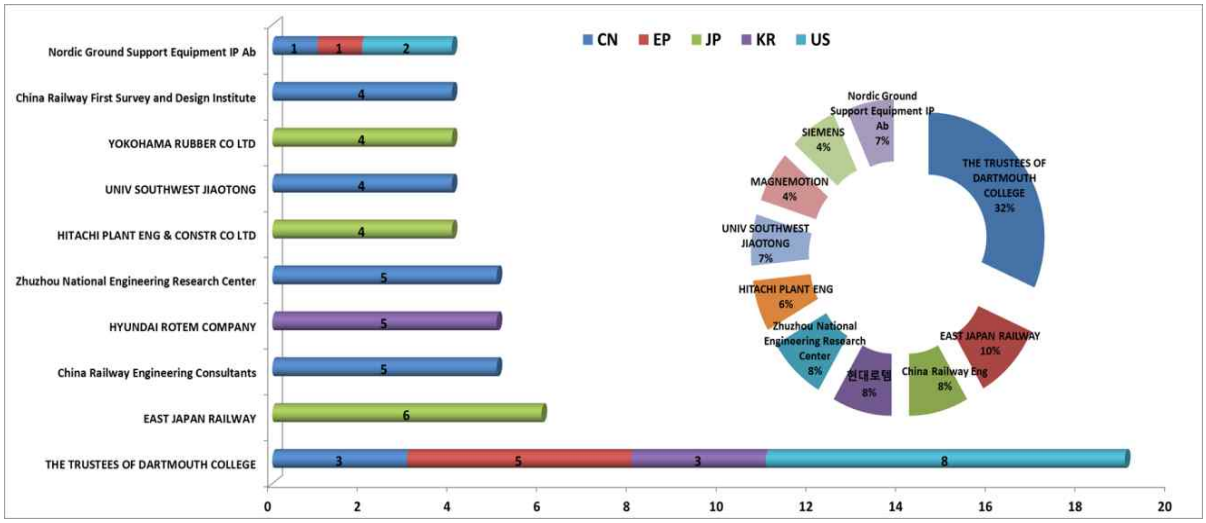


그림 33 주요 출원인 동향

- 최다 출원인인 미국의 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE는 1999년부터 매년 꾸준한 특허출원을 보였으나 2011년 이후의 출원은 나타나지 않음
- 중국의 주요 출원인들은 모두 2000년대 후반 이후 출원이 나타났고, 한국의 현대로템 또한 2010년 이후에 특허출원 하였음
- 일본의 HITACHI PLANT ENG는 2000년에 4건, YOKOHAMA RUBBER는 2007년에 4건 출원하였으나 그 이후의 출원은 나타나지 않음

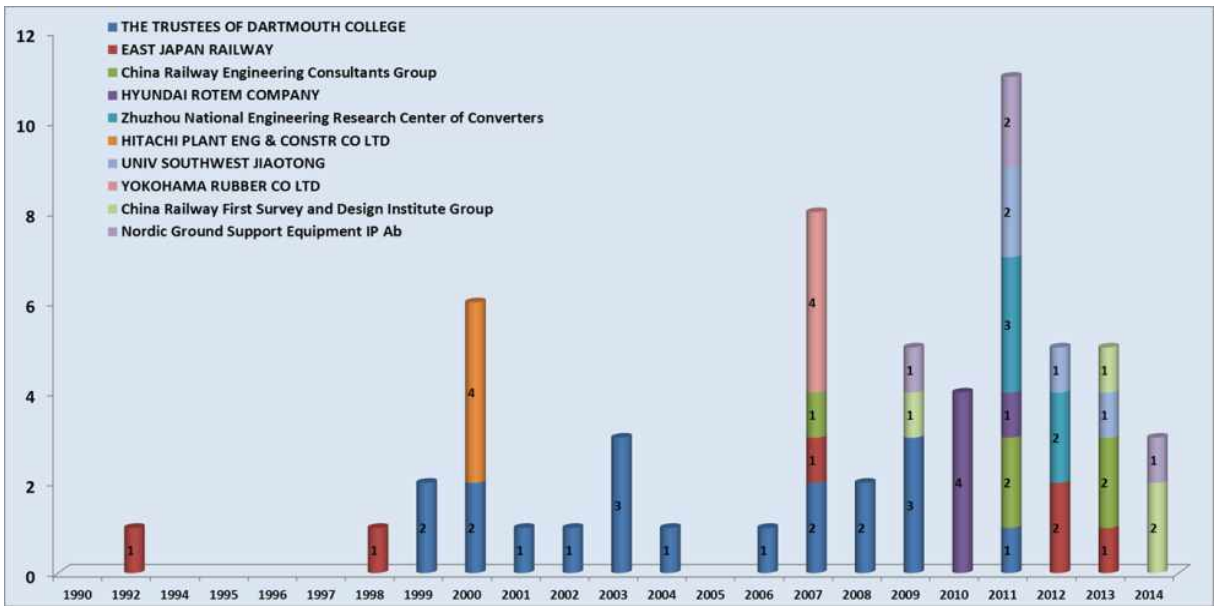


그림 34 연도별 주요 출원인 동향

- 미국의 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE는 열을 이용한 제빙 위주의 연구가 활발하며, 착빙/설빙 방지 재료과 전차선 해빙에 특허출원함
- 한국의 현대로템은 제빙/방빙 형상 설계분야의 연구가 활발하며, 열을 이용한 제빙에 특허출원 하였음
- 일본의 EAST JAPAN RAILWAY는 열을 이용한 제빙과, 선로전환기 얼음방지과, 선로전환기 착설 방지과, 선로동상 저감용 배수에 대하여 출원하였고, HITACHI PLANT ENG는 열을 이용한 제빙과 화학적 제빙/방빙분야에 특허출원 하였음
- 중국의 China Railway Engineering은 착빙/설빙 방지 재료, 선로전환기 착설 방지, 전차선 해빙, 선로동상 저감용 단열기술에 대하여 출원하였고, Zhuzhou National Engineering Research Center는 열을 이용한 제빙과 화학적 제빙/방빙 분야에 특허출원 하였음

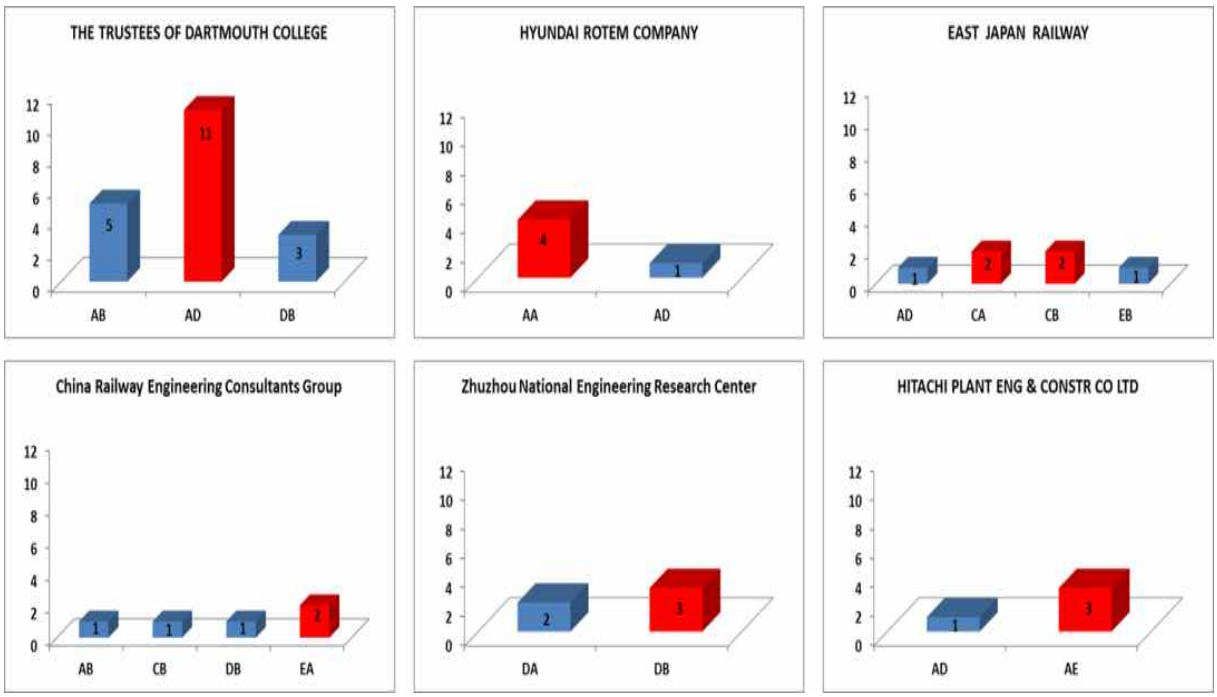


그림 35 주요출원인별 역점기술

4) 국가별 기술분포

- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 중국에서는 철도차량 설빙방지(A기술) 분야 특허가 많이 나타나고 있는 반면, 선로 동상저감(E기술) 분야는 공백기술로 나타남.

- 유럽에서는 철도차량 설빙방지(A기술) 분야 특허가 많이 나타나고 있는 반면, 철도선로 눈방지(B기술) 분야의 연구는 저조함
- 일본에서는 선로전환 장애예방(C기술)에 집중하고 있고, 전차선 장애예방(D기술) 분야는 공백기술로 나타남
- 한국에서는 철도차량 설빙방지(A기술)과 선로전환 장애예방(C기술)에 특허출원하였으나 그 정도가 높지 않음
- 미국에서는 선로전환 장애예방(C기술)에 집중하고 있고, 전차선 장애예방(D기술) 분야에 대한 연구 및 개발은 활발하지 않음

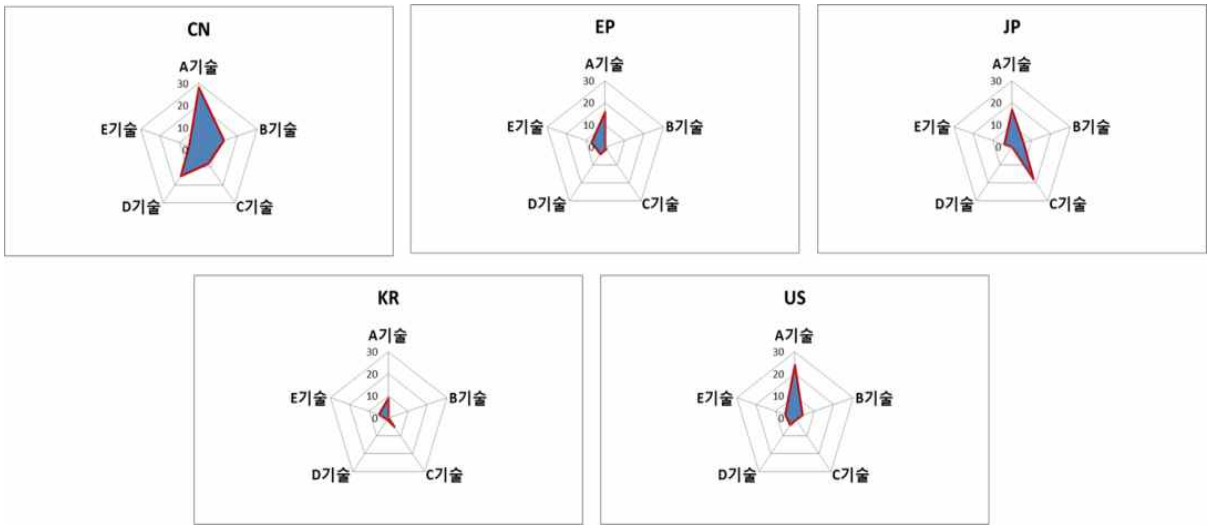


그림 36 국가별 기술분포 (방사형)

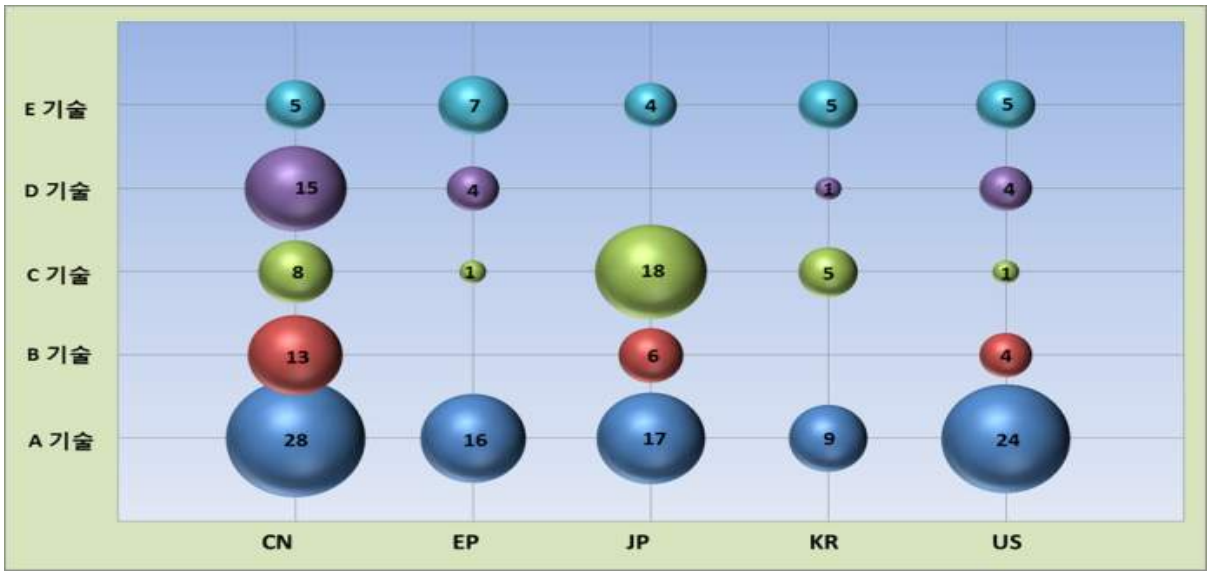


그림 37 기술별/국가별 기술분포 (버블형)

5) 국가별 특허현황

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있음.
- 일본, 중국, 한국은 자국에 편중된 특허활동을 보이고 있어, 기술폐쇄성 및 자국의 존도가 높음을 확인할 수 있음.
- 50% 이상의 외국기관의 특허출원이 나타나고 있는 유럽은 기술 개방성이 높은 것으로 판단됨.

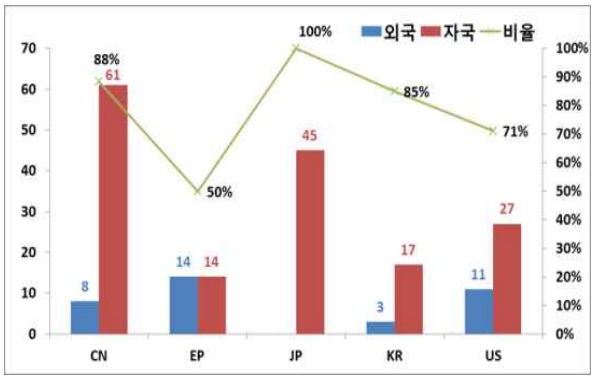


그림 38 국가별 특허 점유현황

- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있음
- 유럽, 일본, 미국은 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정됨. 반면, 한국, 중국에서는 자국에 출원된 특허건수가 우선권 보유건수를 상회하고 있어, 해외 진출에 대한 노력이 상대적으로 낮은 것으로 나타남

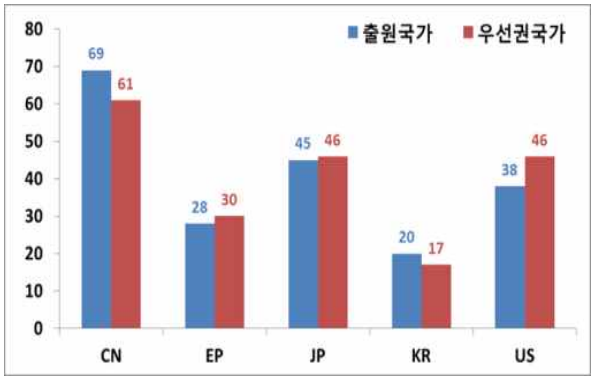


그림 39 국가별 출원특허 대비 우선권특허 현황

6) 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

가) 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

- (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

- (계산식) 국가별 시장확보지수(PFS) = (Σ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수

- (분석결과)
  - 미국의 시장확보지수(PFS)가 8.28로 가장 높고, 다음으로는 유럽이 높게 나타남
  - 이는 미국, 유럽 기관들이 해외진출을 위한 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문으로 판단됨
  - 중국과 일본은 특허건수에 비해 시장확보력이 상대적으로 낮게 나타나고 있음

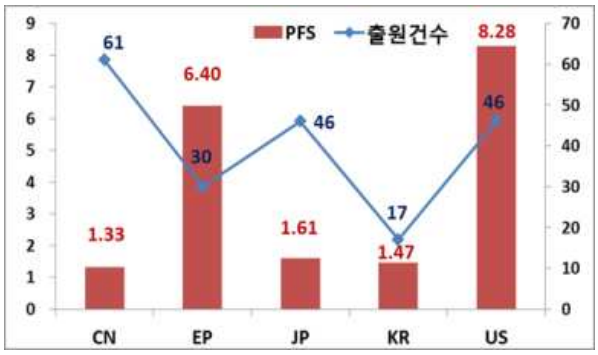


그림 40 국가별 출원건수 및 시장확보지수

나) 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

- (지표 설명) 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함

- (계산식) 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수

- (분석결과)
  - 미국의 인용도지수(CPP)가 3.67로 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
  - 이에 반해, 한국은 특허건수 뿐만 아니라 인용도 지수(CPP)도 매우 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음

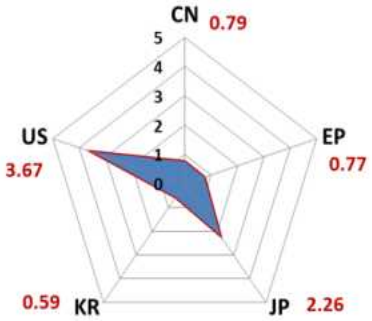


그림 41 국가별 인용도지수

다) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

- (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄

- (계산식)

- 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수

- 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

(분석결과)

- 미국의 영향력지수(PII)가 2.08로 나타나 질적 수준에서 우수하고, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 95.48로 우수함
- 한국은 영향력 지수와 기술력지수 모두 최저로 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음

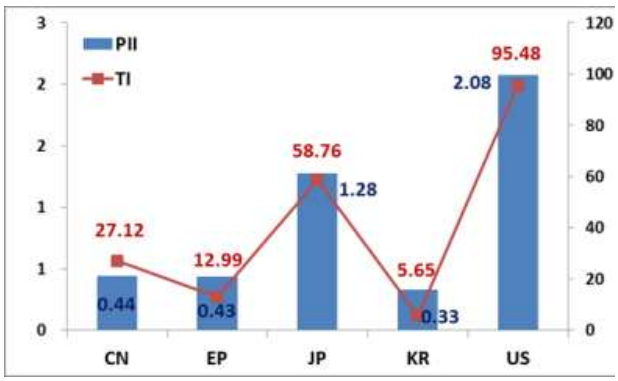


그림 42 국가별 영향력지수 및 기술력지수

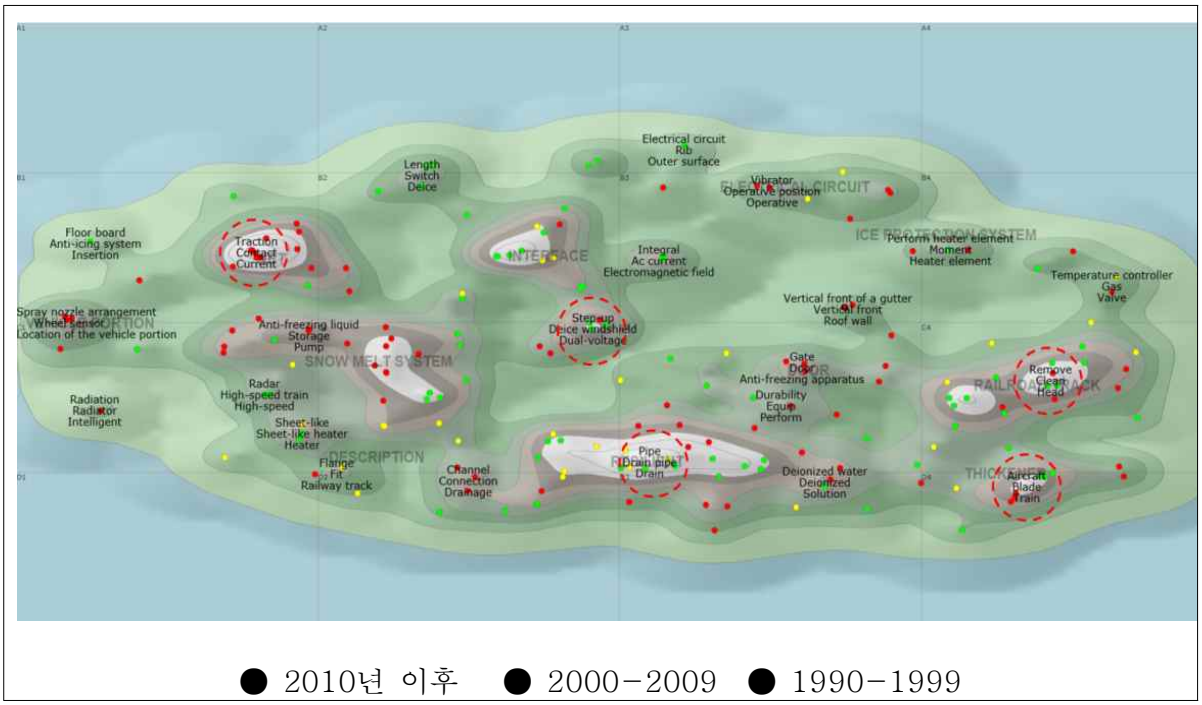
7) Text mining을 통한 기술분야 특허 분포도

- 철도 동절기 피해예방 기술개발 분야 관련 검색결과 결과 최종 141건의 유효 특허 기술이 분포함

- 이 분야의 특허기술에 대한 영역은 전반적으로, RESILIENT, RAILROAD TRACK, THICKENER, NET, INTERFACE, SNOW MELT SYSTEM 등과 관련된 기술들이 많이 포함되어 있음

- 등고선 꼭짓점이 높은 Remove/Clean/Head, Aircraft/Blade/Train, Pipe/Drain pipe/Drain, Traction/Contact/Current, Modify/Interface/Adhesion, Air/Supply/Valve 등의 Text에 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단 할 수 있음

- 특히, 2010년 이후에 출원된 최신 특허들을 보면 RAIL VEHICLE COMPRISING A FROST-PROTECTED WATER OUTLET PIPE, Pantograph for railway vehicle comprising deicing means and method for deicing a pantograph과 같이 철도차량의 설빙방지에 대한 특허가 나타나고 있어 관련 기술이 최근 추세임을 알 수 있음



● 2010년 이후 ● 2000-2009 ● 1990-1999

그림 43 특허 등고선 맵

8) 주요 특허 현황

- 철도 동절기 피해예방 기술개발에 관한 유효특허 중, 착설/착빙 방지 재료와 관련된 미국 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE의 미국공개특허(US6870139B2)의 피인용 건수가 57건으로 가장 많음. 피인용 수가 많은 등록특허와, 선정된 주요 특허를 핵심특허로 하여 권리분석을 할 수 있음

표 16 주요 특허 현황(피인용도 순)

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US6870139B2	Systems and methods for modifying an ice-to-object interface	THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE	57
US6653598B2	Methods and systems for removing ice from surfaces	THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE	18
JP10203360A	TRAVEL DEVICE FOR ON-AND-OFF-TRACK TYPE WORKING VEHICLE	NIPPON DENSETSU KOGYO CO LTD	13

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
CN101640400A	De-icing method and de-icing system for electrified railway contact net	China Railway First Survey and Design Institute Group	11
US7629558B2	Systems and methods for modifying an ice-to-object interface	THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE	9
JP2004169358A	The window-glass apparatus for vehicles	MSK CORP	9
US5642673A	Snow and ice melting device	LUCKY SR	9
US7087876B2	High-frequency melting of interfacial ice	THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE	8
US20080223842A1	Systems And Methods For Windshield Deicing	THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE	8
JP2009018616A	DEVICE AND METHOD FOR MELTING ICE AND SNOW ACCRETED ON RAILROAD VEHICLE	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	8
US7883609B2	Ice modification removal and prevention	THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE	8
US20030098438A1	Environmentally friendly compositions having antiicing, deicing or graffiti prevention properties	HASLIM L A	7
JP2001214404A	The branching device snow melting pit of a railway line, and its installation method	HOKKAIDO RAILWAY	7
US20130032671A1	METHOD AND APPARATUS FOR INHIBITING FORMATION OF AND/OR REMOVING ICE FROM AIRCRAFT COMPONENTS	General Atomics	6
US6092765A	Infrared deicing system for aircraft	WHITE R P	6
CN101153475A	Filling the roadbed of the high speed railway with red mud rock and its construction method	China Railway Engineering Consultants Group	6
US20050252985A1	Rail sleeper and ballast-free track structure	HIGHFLYER INVESTMENTS &	6

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
		TRADING 6 PTY LT	
EP932540B1	DEICING DEVICE	BOMBARDIER TRANSP GMBH	5
JP2009023501A	The ice and snow adhesion prevention apparatus for rail vehicles	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	5
JP2009029242A	The ice and snow removal method of the ice and snow removal apparatus for rail vehicles, and a rail vehicle	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	5

* 음영 처리된 특허는 현재 등록 유지되는 특허임

9) 주요 특허 심층 분석

표 17 주요 핵심특허 현황1

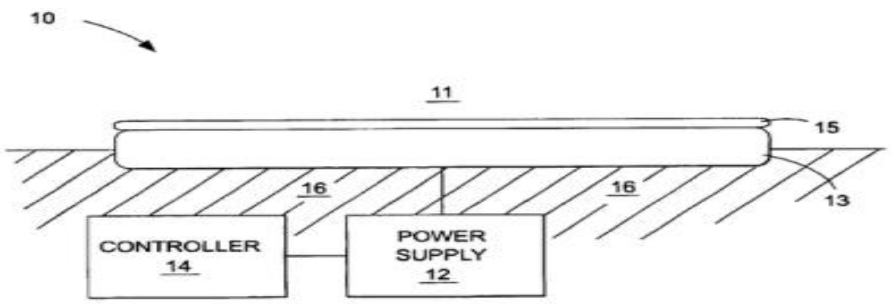
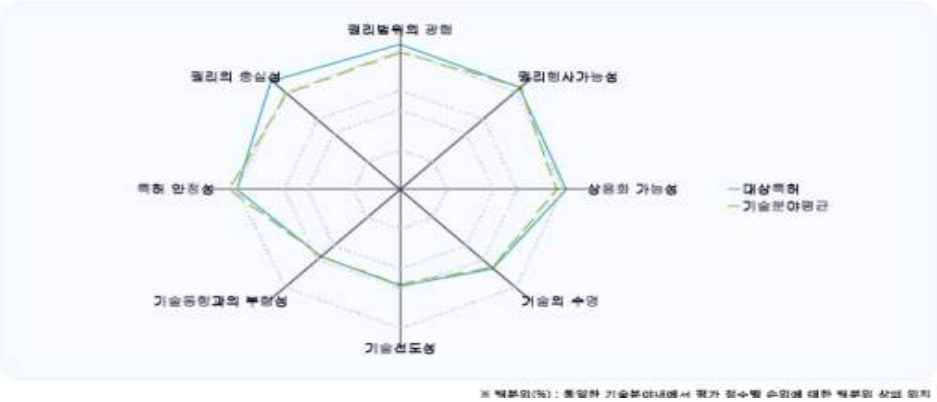
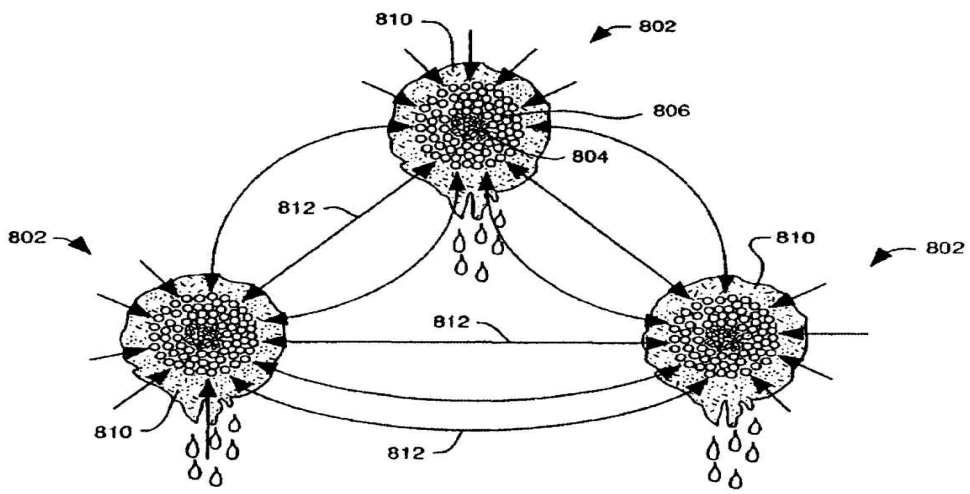
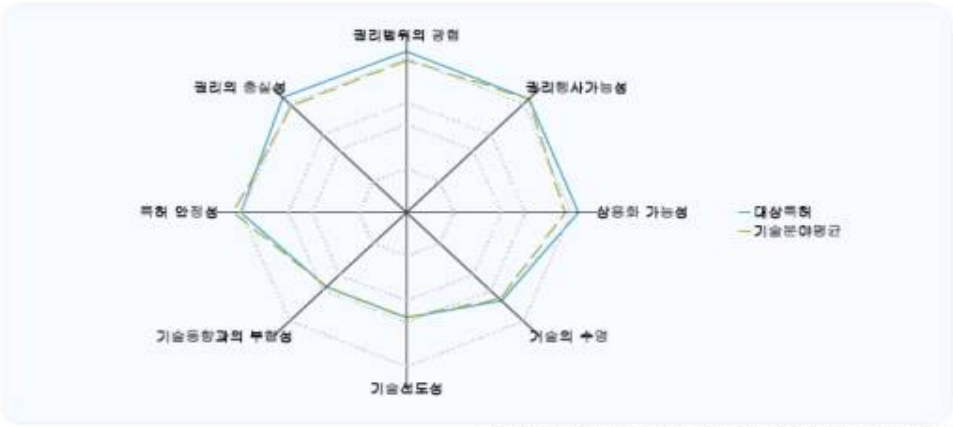
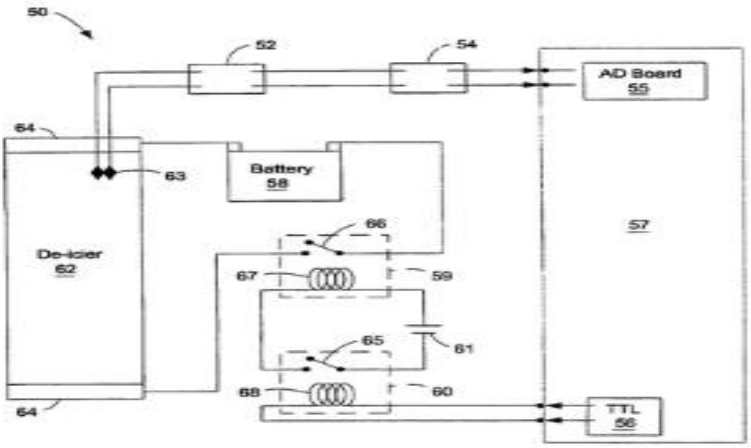
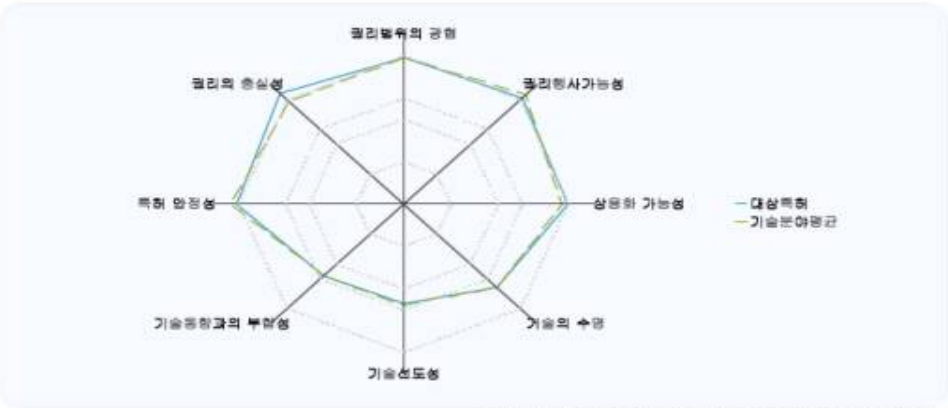
<table>
<tr><td>1</td><td>기술분류</td><td>착설/착빙 방지 재료</td><td>특허번호
(출원번호)</td><td>10364438</td><td>특허번호
(공개번호)</td><td>06870139</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>The Trustees of Dartmouth College</td><td>출원일</td><td>2003.02.1</td><td>공개일</td><td>2005.03.2</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">systems and methods for modifying an ice-to-object interface</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">열적으로 얼음과 물체 간의 인터페이스를 변화하기 위하여 전자력 발생기를 구성하여 얼음의 계면을 융해함</td></tr>
<tr><td colspan="2">SMART 특허분석평가</td><td colspan="5">
<table>
<tr><th colspan="12">전체 평가 분석</th></tr>
<tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">중분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">소분류(전기기계/에너지)</th></tr>
<tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr>
<tr><td>권리성 (40점)</td><td>30.6</td><td>AAA</td><td>1.2</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>1.2</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>0.6</td><td>25.1</td><td>2.4</td></tr>
<tr><td>기술성 (20점)</td><td>16.5</td><td>A</td><td>13.1</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>13.2</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>10.8</td><td>15.3</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>활용성 (40점)</td><td>32.1</td><td>AAA</td><td>2.1</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>2.1</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>1.7</td><td>28.4</td><td>1.6</td></tr>
<tr><td>총점 (100점)</td><td>79.3</td><td>AAA</td><td>1.0</td><td>68.7</td><td>3.9</td><td>1.0</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>0.6</td><td>67.5</td><td>3.7</td></tr>
</table>

</td></tr>
<tr><td colspan="2">법적상태
(회피전략)</td><td colspan="5">- 본 특허는 2003년 2월 미국에서 출원되어 현재 등록 유지되는 특허임.
- 종합평가점수에 의하면 상위 1%의 AAA등급에 속하는 특허로, 권리성과 활용성이 AAA등급으로 매우 높게 평가되어 있고, 기술성 또한 A등급으로 높게 평가되어 있음
- 청구항의 개수가 35개로 다양한 기술적 관점을 권리화하고 있음</td></tr>
</table>

표 18 주요 핵심특허 현황2

<table>
<tr><td>2</td><td>기술분류</td><td>열을 이용한 제빙</td><td>특허번호
(출원번호)</td><td>09914817</td><td>특허번호
(공개번호)</td><td>06653598</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>The Trustees of Dartmouth College</td><td>출원일</td><td>2002.04.23</td><td>공개일</td><td>2003.11.25</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">methods and systems for removing ice from surfaces</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">강유전성 또는 강자성 물질을 포함하는 도포재의 배치를 통해 전자기장 필드를 생성하여 눈과 얼음을 융해함</td></tr>
<tr><td colspan="2">SMART 특허분석평가</td><td colspan="5">
<table>
<tr><th colspan="12">전체 평가 분석</th></tr>
<tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">중분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">소분류(전기기계/에너지)</th></tr>
<tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr>
<tr><td>권리성 (40점)</td><td>28.6</td><td>AA</td><td>5.9</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>5.9</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>2.9</td><td>25.1</td><td>2.4</td></tr>
<tr><td>기술성 (20점)</td><td>16.4</td><td>A</td><td>14.5</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>14.5</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>12.0</td><td>15.3</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>활용성 (40점)</td><td>33</td><td>AAA</td><td>1.4</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>1.4</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>1.1</td><td>28.4</td><td>1.6</td></tr>
<tr><td>총점 (100점)</td><td>78</td><td>AAA</td><td>1.5</td><td>68.7</td><td>3.9</td><td>1.5</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>0.9</td><td>67.5</td><td>3.7</td></tr>
</table>


※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치</td></tr>
<tr><td colspan="2">법적상태
(회피전략)</td><td colspan="5">– 본 특허는 2002년 8월 미국에서 출원되어 현재 등록 유지되는 특허임.
– 종합평가점수 상위 1.5%의 AAA등급에 속하는 특허로, 활용성이 AAA등급, 권리성이 AA등급, 기술성이 A등급으로 높게 평가되었음
–전자기장을 이용하여 융해하는 방식의 기술 이용시 침해에 유의할 필요성 있음</td></tr>
</table>

표 19 주요 핵심특허 현황3

<table>
<tr><td>3</td><td>기술분류</td><td>착설/착빙 방지 재료</td><td>특허번호
(출원번호)</td><td>11409914</td><td>특허번호
(공개번호)</td><td>07629558</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>The Trustees of Dartmouth College</td><td>출원일</td><td>2006.04.24</td><td>공개일</td><td>2009.12.08</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">systems and methods for modifying an ice-to-object interface</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">물체와 얼음 사이에 마찰 계수를 방제하기 위한 방법으로 얼음 계면층의 융해와 전력펄스 발생을 포함</td></tr>
<tr><td colspan="2">SMART 특허분석평가</td><td colspan="5">
<table>
<tr><th colspan="12">전체 평가 분석</th></tr>
<tr><th rowspan="2">평가지표</th><th rowspan="2">점수</th><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">대분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">중분류(전기/전자/IT)</th><th colspan="3">소분류(전기기계/에너지)</th></tr>
<tr><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th><th>백분위(%)</th><th>평균</th><th>표준편차</th></tr>
<tr><td>권리성 (40점)</td><td>27.1</td><td>A</td><td>21.9</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>22.0</td><td>25.1</td><td>2.5</td><td>11.6</td><td>25.1</td><td>2.4</td></tr>
<tr><td>기술성 (20점)</td><td>15.5</td><td>BBB</td><td>37.9</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>38.0</td><td>15.3</td><td>1.0</td><td>33.7</td><td>15.3</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>활용성 (40점)</td><td>30.3</td><td>AA</td><td>8.4</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>8.4</td><td>28.4</td><td>1.7</td><td>7.7</td><td>28.4</td><td>1.6</td></tr>
<tr><td>총점 (100점)</td><td>72.9</td><td>A</td><td>12.0</td><td>68.7</td><td>3.9</td><td>12.0</td><td>68.7</td><td>3.8</td><td>6.9</td><td>67.5</td><td>3.7</td></tr>
</table>


※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치
</td></tr>
<tr><td colspan="2">법적상태
(회피전략)</td><td colspan="5">- 본 특허는 1997년 2월 미국에서 출원되어 현재 등록 유지되는 특허임. 특허 권리 만료일인 2017년 2월 이후 권리 침해 없이 기술 적용(사용)이 가능함
- 종합평가점수 상위 26.5%의 BBB등급에 속하는 특허로, 기술성이 A등급, 권리성이 BBB등급으로 높게 평가되었음. 청구항이 22개로 다양한 기술적 관점을 권리화 하고 있음</td></tr>
</table>

10) 주요 출원인 심층 분석

가) 주요 출원인 기술영역 분석을 통한 유사 경쟁기업 관계도(TDA Cross-Correlation Map)

< 분석 지표 설명 >

- TDA Cross-Correlation Map은 최다 출원인(dartmouth college)이 출원한 특허와 기술영역(DWPI MANUAL CODE*)이 유사한 특허를 출원한 기관을 상호 연결한 Map으로, 최다 출원인과 연구영역이 유사한 경쟁기업을 파악할 수 있음

※ DWPI MANUAL CODE(Derwent World Patents Index) : Thomson Innovation의 고유 특허 지표로서, IPC(국제 특허 분류)의 단점을 보완한 기술 분류 코드

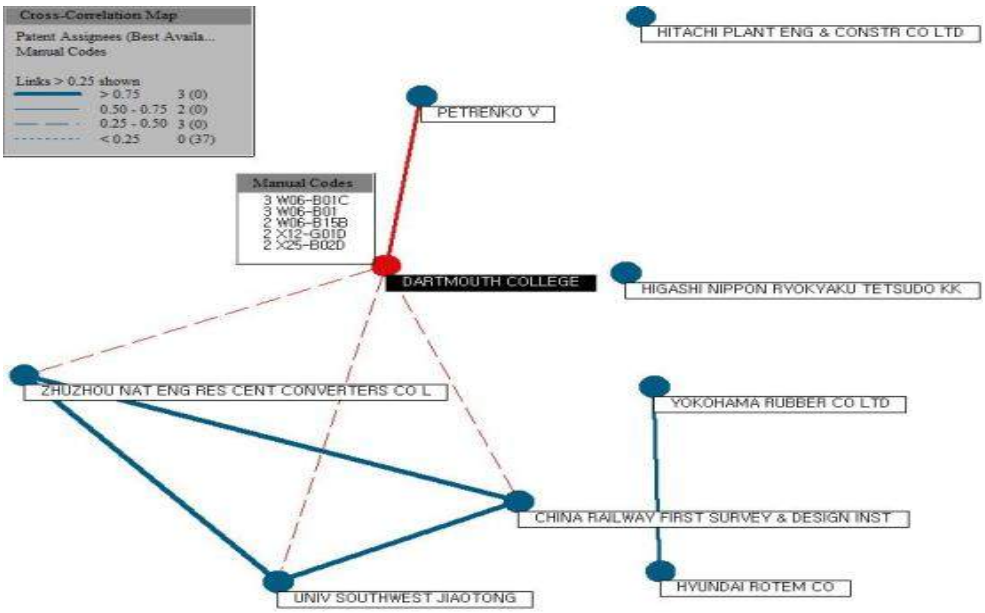


그림 44 TDA Cross-Correlation Map

- TDA(Thomson Data Analyzer) Cross-Correlation Map을 통한 주요 출원인의 기술별 특허 출원 유사성을 살펴보면, 최다 출원인인 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE는 W06-B01C (Electrical equipment (incl. de-icing, lighting)), W06-B01(Aircraft), W06-B15B (Helicopter; Rotorcraft), X12-G01D (Cable or line installation and maintenance), X25-B02D (Electric-magnetic-or electromagnetic- field heating; Dielectric heating) 5개 기술 분야에 주로 특허를 출원하고 있음

  - 이 기술과 유사 연구를 하는 경쟁기업으로는, China Railway Engineering Consultants, Zhuzhou National Engineering Research Center, UNIV SOUTHWEST JIAOTONG 등이 있음

11) 특허 출원 동향을 통한 집중/공백분야 등 전망

가) 특허 출원인별 연계성 분석

< 분석 지표 설명 >

TDA cross-correlation matrix는 특허 다출원인(TOP 20 ASSIGNEE) 間 상관관계를 Matrix* 형태로 나타낸 것으로, 출원건수가 많은 출원인 특허를 중심으로 상호 연계하여 개발되는 기술영역의 핵심기업을 제시하는 분석이 가능함

※ Matrix 분석 : x축과 y축에 특허 다출원인(TOP 20 ASSIGNEE)을 두고, 각 기술영역별 피어슨 상관계수 기재 (-1에 가까울수록 반비례, 1에 가까울수록 정비례 관계, 0은 상호 무관)

Reset		Patent Assignees (Best Available):de	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		# Records	9	8	5	5	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
nt Assignees (Best Available):deicing to	# Records	Show Values >= 0.00 and <= 1.00 Cross-Correlation Crossed With: Patent Assignees (Best Available):deicing top20 # of Records Pearson's r	DARTMOUTH COLLEGE	HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO	HYUNDAI ROTEM CO	ZHUZHOU NAT ENG RES CENT CONVE	CHINA RAILWAY FIRST SURVEY & DES	PETRENKO V	UNIV SOUTHWEST JIAOTONG	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	HITACHI PLANT ENG & CONSTR CO LT	UNIV TAIYUAN TECHNOLOGY	YANG Y	CENTURY GROUP LLC	CSR QISHUYAN LOCOMOTIVE CO LTD	GUO H	KOREA RAILROAD CORP	MATSUSHITA DENKI SANGYO KK	NIPPON KIDO KOGYO KK	NORDIC GROUND SUPPORT EQUIP IP
1	9	DARTMOUTH COLLEGE	1.000	-0.100	-0.081	-0.081	-0.081	0.927	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.118	-0.081
2	8	HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO K	-0.100	1.000	-0.065	-0.065	-0.065	-0.105	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	0.845	-0.065
3	5	HYUNDAI ROTEM CO	-0.081	-0.065	1.000	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
4	5	ZHUZHOU NAT ENG RES CENT CONVERT	-0.081	-0.065	-0.053	1.000	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
5	4	CHINA RAILWAY FIRST SURVEY & DESIG	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	1.000	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
6	4	PETRENKO V	0.927	-0.105	-0.086	-0.086	-0.086	1.000	-0.086	-0.086	-0.086	-0.086	-0.086	-0.086	-0.086	-0.086	-0.086	-0.086	-0.125	-0.086
7	4	UNIV SOUTHWEST JIAOTONG	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	1.000	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
8	4	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	1.000	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
9	3	HITACHI PLANT ENG & CONSTR CO LTD	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	1.000	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
10	3	UNIV TAIYUAN TECHNOLOGY	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	1.000	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
11	3	YANG Y	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	1.000	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
12	2	CENTURY GROUP LLC	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	1.000	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
13	2	CSR QISHUYAN LOCOMOTIVE CO LTD	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	1.000	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
14	2	GUO H	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	1.000	-0.053	-0.053	-0.076	-0.053
15	2	KOREA RAILROAD CORP	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	1.000	-0.053	-0.076	-0.053
16	2	MATSUSHITA DENKI SANGYO KK	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	1.000	-0.076	-0.053
17	2	NIPPON KIDO KOGYO KK	-0.118	0.845	-0.076	-0.076	-0.076	-0.125	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	-0.076	1.000	-0.076
18	2	NORDIC GROUND SUPPORT EQUIP IP AB	-0.081	-0.065	-0.053	-0.053	-0.053	-0.086	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.076	1.000

그림 45 TDA cross-correlation matrix

- TDA(Thomson Data Analyzer) cross-correlation matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, 특허출원 건수(Records)가 많은 상위 주요 출원인 中, 상관관계가 0.5 이상으로 높은 기업은 상호 연계하여 핵심적으로 해당기술을 선도하는 기업영역으로 볼 수 있음

  - 미국 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE 와 PETRENKO VICTOR는 서로 상관관계가 0.927로 나타나 관심연구 및 기술에 대한 유사도가 높은 것으로 분석되며, 또한 일본의 HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO와 NIPPON KIDO KOGYO의 상관관계가 0.845로 나타나 기업 간의 기술경쟁관계가 밀접하게 연계됨을 판단할 수 있음.

- 향후 상호 연계성이 높은 분야를 고려하여, 핵심기업의 경쟁기술 관계를 파악할 필요가 있음

나) 특허 출원인/기술분류별 연계성 분석

< 분석 지표 설명 >

- TDA Co-occurence matrix는 모든 특허(200건)의 기술영역(DWPI MANUAL CODE)을 Matrix* 형태로 분석한 것으로, 특허 출원이 많은 기술영역(집중기술)과 적은 기술영역(공백기술)의 분석이 가능함
  ※ Matrix 분석 : x축과 y축에 기술영역(DWPI MANUAL CODE) 및 출원인을 두고, 상호 연관된 특허건수를 도출함으로써, 출원이 많은 영역과 적은 영역의 분석이 가능

Reset		Manual Codes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		# Records	9	8	5	5	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
nt Assignees (Best Available);deleing tc	# Records	Show Values >= 1 and <= 5 Cooccurrence # of Records	DARTMOUTH COLLEGE	HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO	HYUNDAI ROTEM CO	ZHUZHOU NAT ENG RES CENT CONVE	CHINA RAILWAY FIRST SURVEY & DES	PETRENKO V	UNIV SOUTHWEST JIAOTONG	YOKOHAMA RUBBER CO LTD	HITACHI PLANT ENG & CONSTR CO LT	UNIV TAIYUAN TECHNOLOGY	YANG Y	CENTURY GROUP LLC	CSR QISHUYAN LOCOMOTIVE CO LTD	KOREA RAILROAD CORP	MATSUSHITA DENKI SANGYO KK	NIPPON KIDO KOGYO KK	NORDIC GROUND SUPPORT EQUIP IP	PETRENKO V F	QINGDAO HIGH-TECH PATENT TECHN
1	18	X23-A09	1	1		4	2		4						1		1	1			
2	17	X23-A03A	2			4	2		4						1						
3	16	X12-G01D	2			4	2	1	4						1						
4	14	X12-G05	1			4	2	1	4						1						
5	10	Q21-J09		1	4					3											
6	10	T01-J07D1	1				1		2												
7	9	G04-B05											3								
8	9	Q21-A01					1									2					
9	8	W06-B01	3					1													
10	5	A12-E10	1					1													
11	5	A12-T												1					1		
12	5	X22-J02A	1																	1	
13	5	X23-B03															1				
14	5	X25-B01C1C	2																		
15	5	X25-B04	1					1													
16	5	X25-U05	2	1				1												1	
17	4	A12-T04D	1		1																

그림 46 TDA Co-occurrence matrix (DWPI MANUAL CODES vs. TOP Assignee 비교)

- TDA(Thomson Data Analyzer) Co-occurrence matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, 특허가 많이 나타나는 곳(적색 박스 등)을 기술개발이 활발하게 이루어지는 집중기술 영역으로 볼 수 있으며, 빈칸으로 표시되는 곳을 공백기술 부분으로 판단할 수 있음

  - 주요출원인 THE TRUSTEES OF DARTMOUTH COLLEGE는 Aviation, marine and radar systems/Aviation and aerospace systems/Aircraft (W06-b01)분야에 상대적으로 연구가 집중되는 것으로 볼 수 있음

  - 주요출원인 Zhuzhou National Engineering Research Center와 UNIV SOUTHWEST JIAOTONG는 Electric railways and signaling/Eletrc railways/Other railways systems details(X23-A09), Electric railways and signaling/Eletrc railways/Power supply lines (X23-A03A), Power distribution /Components/Converters/Cable or line installation and maintenance /Methods and equipment (X12-G01D), Power distribution/Components/ Converters/ Cable or line installation and maintenance/Overhead installations (X12-G05)분야가 집중 연구분야로 파악됨

2. 관련 논문 동향

가. 논문분석 범위

표 20 논문 분석 기준

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2015.09.01
검색범위	Title, Abstract

나. 기술분류별 검색 조합식

표 21 특허 검색 조합식

기술구분		검색 조합식	검색논문	관련논문
A기술				
		ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icing or de*freez*) and (locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock)));	128	12
B기술				
		ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icing or de*freez*) and (rail or track or (track adj bad) or (road adj bad)));		
C기술				
		ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icing or de*freez*) and (switch or turnout));		
D기술				
		ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or automotive or aerospace or aviation or aircraft or airplane) and (((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 ice*) or ((anti* or protect* or remov* or melt*) near2 freez*) or de*icing or de*freez*) and (catenary or (contact or trolly) near2 (wire)));		
E기술				
		ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or transit or tram or (rolling adj stock)) and ((rail or track or (track adj bad) or (road adj bad)) near4 (drain* or (heat* adjinsulat*))));		

다. 논문기술 동향

1) 연도별 논문 발표 추이 및 동향

- 철도 동절기 피해예방 기술개발 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 12건의 유효한 관련 논문이 발표되었음. 하지만 논문 발표 건수가 많지 않아 총괄적인 기술동향의 분석이 적절하지 않으므로 의미 있는 것으로 판단되는 부분적 동향을 언급하고 유효논문 리스트를 제시하기로 함.
- 유효 논문은 모두 1995년 이후 발표되었으며 12건 중, 9건이 2005년 이후에 발표된 것으로 나타나 이 기술분야가 최근 관심이 증대되는 것으로 볼 수 있음
- 이 기술분야의 논문을 발표한 기관의 국가별 현황은 미국 4건, 영국 3건, 중국 2건, 일본과 캐나다와, 오스트리아가 각 1건 순으로 나타남
- 주요 국가에서 철도차량 설빙방지(A기술) 분야는 과반수 이상(67%)로 나타나 연구가 가장 활발한 분야로 볼 수 있으며, 선로전환 장애예방(C기술)에 대한 유효논문은 나타나지 않아 공백 연구분야로 볼 수 있음

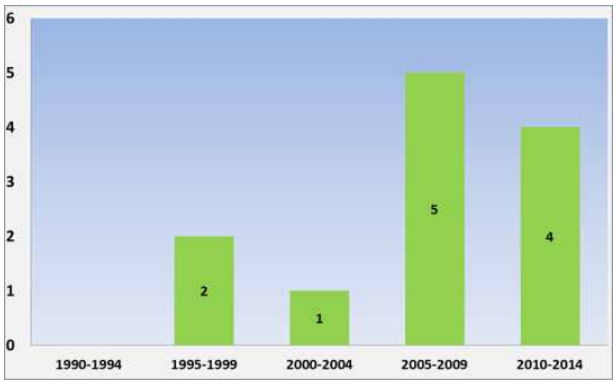


그림 47 연도별 논문 발표 추이

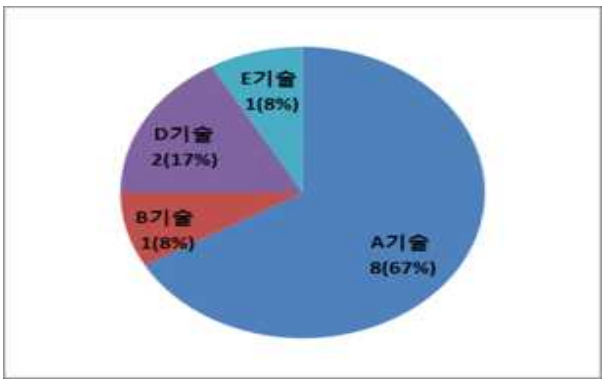


그림 48 기술별 논문 발표 추이

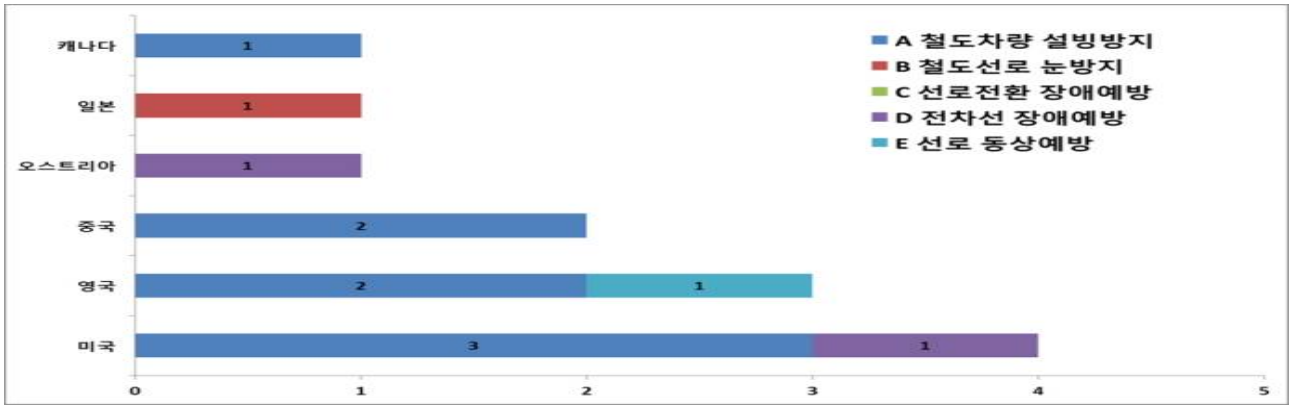


그림 49 국가별 논문 발표 추이

2) 주요 논문현황

가) 유효 논문 리스트

표 22 유효 논문 현황

번호	논문제목	발표기관	저 널 명	발표연도
1	Kalman filter and neural network-based icing a identification applied to A340 aircraft dynamics	Turkish Airlines	AIRCRAFT ENGINEERING AND AEROSPACE TECHNOLOGY	2005
2	Investigation of the certification and operational procedures for turboprop aircraft in icing	Univ Loughborough	AERONAUTICAL JOURNAL	1999
3	Aircraft ice accretion prediction based on neural networks	West Virginia University	JOURNAL OF AIRCRAFT	2006
4	Analysis on aerodynamic performance of anti-ice/snow dome of high speed motor train unit bogie	CSR	Computer Aided Engineering	2013
5	Anti-Icing Superhydrophobic Coatings	Univ.Pittsburgh	langmuir	2009
6	Anti-icing and De-icing Techniques for Overhead Lines	Univ.Quebec	Atmospheric Icing of Power Networks	2008
7	Icephobic-Anti-Icing Properties of Micro-Nanostructured Surfaces	Univ.Beihang	ADVANCED MATERIALS	2012
8	Aircraftanti-icingandde-icingtechniquesandmodeling	US Air Force Wright Lab	JOURNAL OF AIRCRAFT	1996
9	Study of road snow melting using exhausted heat of vehicle	Univ.Nagaoka Technol	Automotive Engineers of Japan	2001
10	Deicing of The Contact Lines of the High-Speed Electric Railways: Deicing Configurations. Experimental Test Results	Univ Aquila	IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY 4	2014
11	Possible Concepts for Waterproofing of Norwegian TBM Railway Tunnels	Norwegian Univ Sci & Technol	ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING	2014
12	Understanding and modelling drainage of railway ballast	Univ Birmingham	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS-TRANSPORT	2009

- 최근 3년 內 발표 논문 또는 피인용수가 높은 최근 논문(Hot Paper)을 보면 피인용이 높은 논문과 마찬가지로 De-icing에 관한 연구내용이 주로 발표되고 있어 관련 분야 연구가 최근 주목받고 있는 분야임을 알 수 있음

표 23 최근 논문 현황 (3년 內 발표논문)

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	Deicing of The Contact Lines of the High-Speed Electric Railways: Deicing Configurations. Experimental Test Results	IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY 4	2014	-
2	Possible Concepts for Waterproofing of Norwegian TBM Railway Tunnels	ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING	2014	-
3	Analysis on aerodynamic performance of anti-ice/snow dome of high speed motor train unit bogie	Computer Aided Engineering	2013	-

나) 최근 논문 심층분석 (사례)

표 24 최근 논문 심층분석1

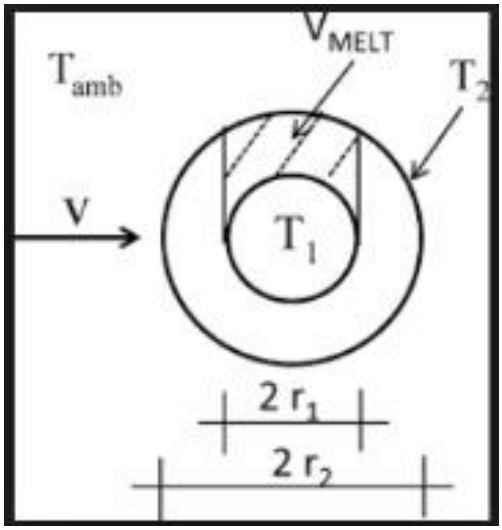
1	명칭	Deicing of The Contact Lines of the High-Speed Electric Railways: Deicing Configurations. Experimental Test Results					
저자		Cinieri, E (Cinieri, Enrico) Fumi, A (Fumi, Alvaro)[	발표기관	Univ Aquila (italy)			
저널		IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY		발표연도	2014	피인용수	-
대표도면							
주요 내용		철도의 접촉되는 라인에 얼음이 증가하여 발생하는 트래픽을 해소하기 위한 철도의 접촉라인에 제빙을 위한 직류전원을 공급하기 위한 시스템적 구조와 회로배열을 특징화함					
논문요약		Ice accretion on the overhead contact lines of the electric railways may cause severe inconveniences to train traffic. In order to avoid such problems, methods are presently applied that are characterized by high cost and/or some risks as described in this paper. This paper presents new simple techniques for the deicing of the overhead contact lines in the ac and in the dc electric railways that avoid any inconvenience. They consist in rearranging the system scheme in special configurations and inject a proper current into the circuits obtained. Under these configurations, the line continues to be protected against the faults. Experimental results have proved the viability of these techniques. The limits of applications of these techniques are discussed in this paper.					

표 25 최근 논문 심층분석2

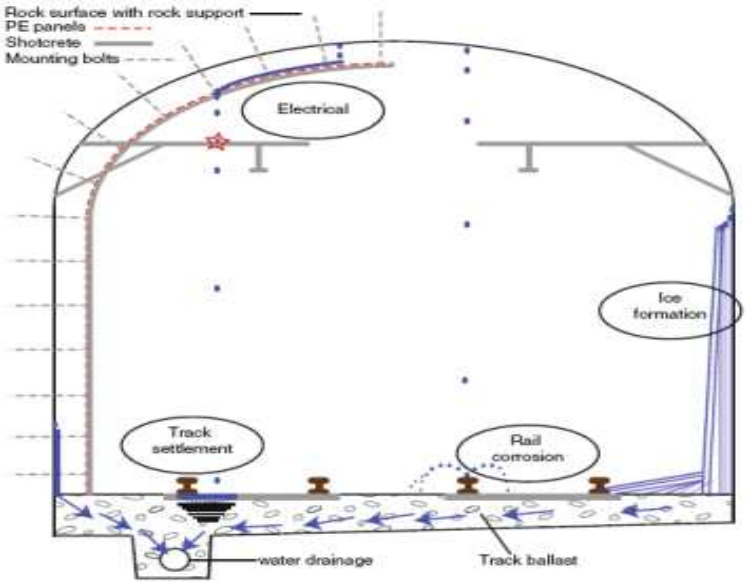
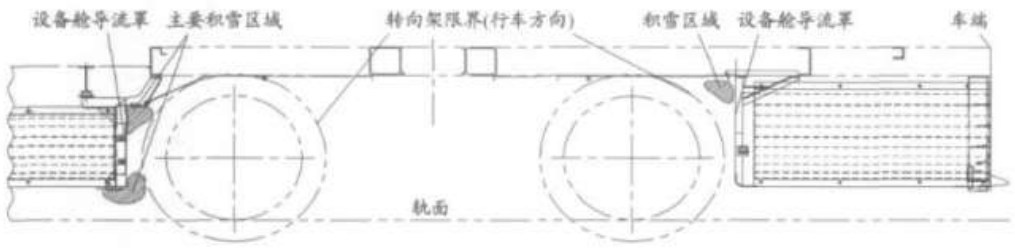
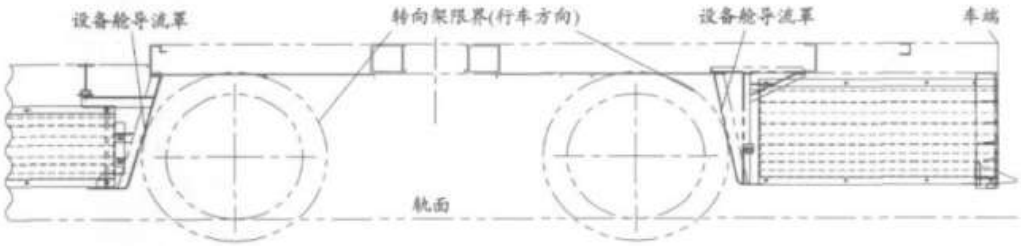
2	명칭	Possible Concepts for Waterproofing of Norwegian TBM Railway Tunnels				
저자		Dammyr, Oyvind 외 3	발표기관	Norwegian Univ Sci & Technol		
저널		ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING	발표연도	2014	피인용수	–
대표도면						
주요 내용		철도 터널의 보링 머신과 관련한 방수기술로, 더블 쉘 및 단일 쉘 방식의 배수 시스템으로 효율성 및 신뢰성을 확인함				
논문요약		The aim of this paper is to evaluate and compare the durability, life expectancy and maintenance needs of traditional Norwegian waterproofing concepts to the generally more rigid waterproofing concepts seen in other European countries. The focus will be on solutions for future Norwegian tunnel boring machine railway tunnels. Experiences from operation of newer and older tunnels with different waterproofing concepts have been gathered and analyzed. In the light of functional requirements for Norwegian rail tunnels, some preliminary conclusions about suitable concepts are drawn. Norwegian concepts such as polyethylene panels and lightweight concrete segments with membrane are ruled out. European concepts involving double shell draining systems (inner shell of cast concrete with membrane) and single shell undrained systems (waterproof concrete segments) are generally evaluated as favorable. Sprayable membranes and waterproof/insulating shotcrete are welcomed innovations, but more research is needed to verify their reliability and cost effectiveness compared to the typical European concepts. Increasing traffic and reliance on public transport systems in Norway result in high demand for durable and cost effective solutions.				

표 26 최근 논문 심층분석3

3	명칭	Analysis on aerodynamic performance of anti-ice/snow dome of high speed motor train unit bogie					
저자		LI Junming, SHAN Yonglin, LIN Peng	발표기관	CSR Qingdao Sifang Locomotive and Rolling Stock			
저널		Computer Aided Engineering		발표연도	2013	피인용수	-
대표도면		 图 1 导流罩现车结构 Fig. 1 Current structure model of dome  图 2 导流罩改进结构 Fig. 2 Improved structure model of dome					
주요 내용		모터 트레인 대차의 캐빈 돔에 눈과 얼음이 축적되는 문제와 관련하여 개선된 모형적 구조를 제안하는 것으로, STAR-CCM에 의해 계산되어 대차 영역에서 공기의 흐름과 압력을 반영할 수 있는 모델임					
논문요약		As to the problem that the ice and snow accumulation occurs on equipment cabin domes of some motor train unit bogies in winter,an improved structure project of dome is proposed for the model of a high-speed motor train unit.The flow field of improved structure model and current structure model are calculated by STAR-CCM +,and then the air flow in the bogie area and the surface pressure distribution on dome are compared.The comparison results indicate that the air fluidity of the improved anti-ice/snow dome is improved effectively,and the ice and snow accumulation in the area can be alleviated					

4절 기술수준조사

1. 기술수준 평가방법 검토

- 철도기술수준을 평가하는 방법은 일반적으로 '전문가 의견조사', '연구개발 기반 분석', '연구개발 성과분석' 및 '과학기술동향 분석' 등이 사용될 수 있음
- 전문가 의견 조사는 설문조사나 인터뷰를 통해 이루어지고, 연구개발 기반 분석과 연구개발 성과 분석은 통계자료와 논문 등록, 특허 등의 데이터베이스가 활용됨
- 기존의 철도기술 수준을 측정한 연구들을 보면 아래와 같음

표 27 기술력 평가의 방법 및 내용

방법론	평가내용	방법	주요특징
전문가 의견조사	기술수준(%) 기술격차(년)	설문조사 인터뷰조사 위원회	ㅇ 아이디어, 성과, 인프라 등을 포괄한 종합적인 의견조사 가능 ㅇ 객관적 근거 제시가 어려움
연구개발 기반분석	투자, 인력 등	통계 데이터	ㅇ 객관적 자료에 근거하나, 연구분야의 분류방식, 인력의 전문성 등이 국가별로 다르기 때문에 일률적인 비교와 평가곤란
연구개발 성과분석	논문, 특허 등	데이터 베이스	ㅇ 논문 및 특허 DB의 분류기준을 기술분야와 연계 또는 Keyword 분석을 통해 국가별 비교 가능함 ㅇ 일관적인 기준 적용으로 연도별 비교 분석 용이
과학기술 동향분석	과학기술 동향	문헌조사 연구실 방문	ㅇ 상대적으로 짧은 시간에 넓은 범위의 관련 지식 조사 가능 ㅇ 전문적이고 상세한 의견조사 가능

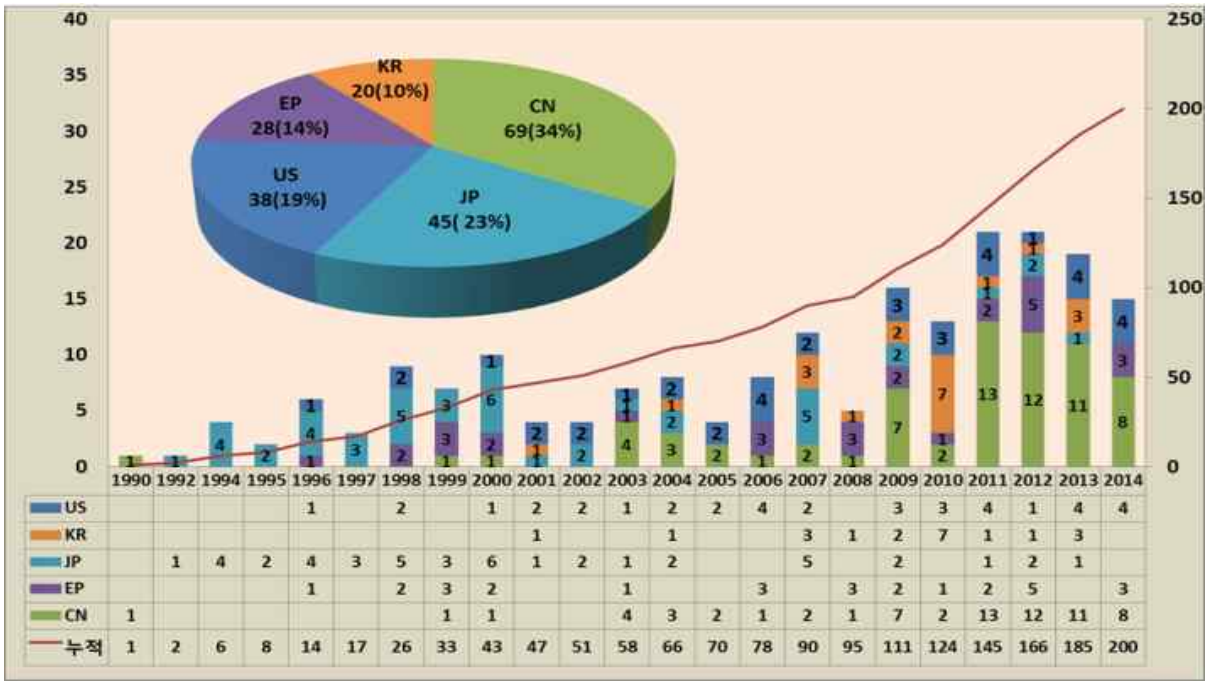
2. 특허 분석을 통한 국가별 기술수준 조사

- 특허동향을 살펴보면 1990년부터 2014년까지 총 200건의 관련 유효특허가 출원되었고, 국가별 점유율을 살펴보면 중국이 34%(69건)로 최다이며, 일본(45건), 미국(38건), 유럽(28건), 한국(20건) 순으로 나타남

- 일본의 특허출원활동은 2000년대 이전에 주로 출원하여 기술을 선도하였으나, 2000년대 이후에는 간헐적인 출원만 유지되는 감소추세로 보여짐

- 반면, 중국은 주로 2000년대 이후에 특허를 출원하였고, 특히 2010년도 이후에 출원이 급증한 것으로 나타나 시장 점유를 위한 관심이 확대된 것으로 판단할 수 있음

- 한국은 2000년대 이후 이 기술분야에 대한 특허를 출원하였으나 타 국가 출원활동에 비해 저조한 편임



	1990	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
US					1		2		1	2	2	1	2	2	4	2		3	3	4	1	4	4
KR										1			1			3	1	2	7	1	1	3	
JP		1	4	2	4	3	5	3	6	1	2	1	2			5		2		1	2	1	
EP					1		2	3	2			1			3		3	2	1	2	5		3
CN	1							1	1			4	3	2	1	2	1	7	2	13	12	11	8
누적	1	2	6	8	14	17	26	33	43	47	51	58	66	70	78	90	95	111	124	145	166	185	200

그림 50 출원년도 및 국가별 출원추이

- 철도차량 설빙방지(A기술) 분야는 중국이 28건으로 특허출원을 선도하고 있으며, 한국은 9건으로 최고 선도국가 대비 32.1%의 특허출원율을 보이고 있음

- 철도선로 눈방지(B기술) 분야 역시 중국이 13건으로 특허출원을 선도하고 있으며, 그 뒤를 일본, 미국이 뒤 따르고 있음

- 선로전환기 장애예방(C기술) 분야는 일본이 18건으로 특허출원을 선도하고 있으며, 한국은 최고 선도국가 대비 27.8%의 특허출원율을 보이고 있음

- 전차선 장애예방(D기술) 분야는 중국이 15건으로 특허출원을 선도하고 있으며, 한국은 최고 선도국가 대비 6.7%의 특허출원율을 보이고 있음
- 선로동상 저감(E기술) 분야는 유럽이 7건으로 특허출원을 선도하고 있으며, 한국은 최고 선도국가 대비 71.4%의 특허출원율을 보이고 있음

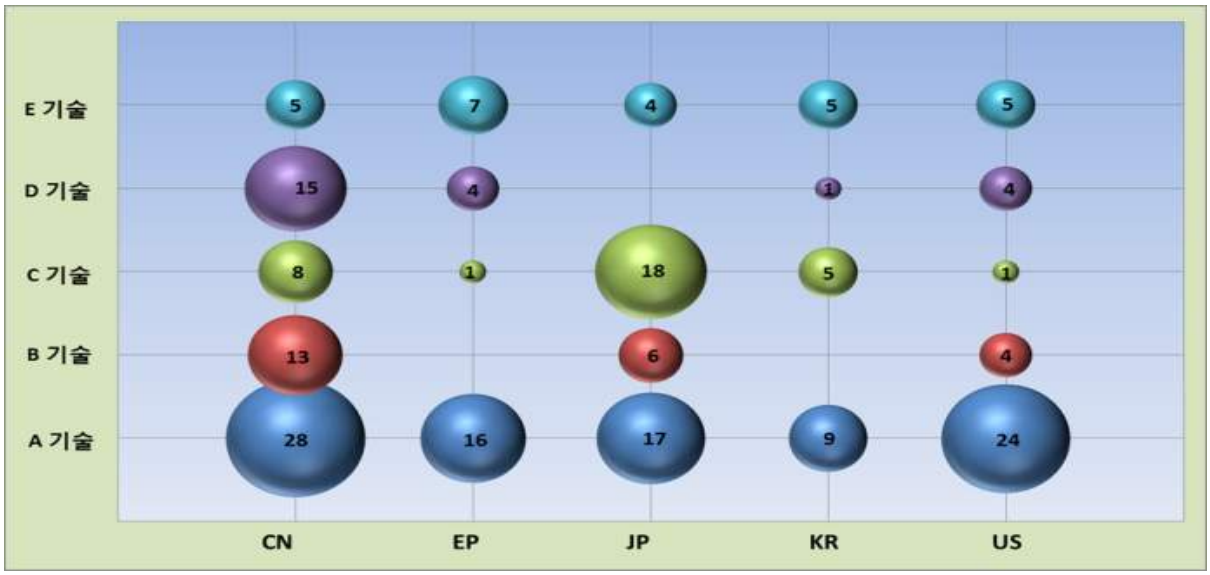


그림 51 기술별/국가별 기술분포 (버블형)

표 28 선도국가 대비 특허 수

분류	중국	유럽	일본	한국	미국
A. 철도차량 설빙 방지 기술	28	16	17	9	24
B. 철도 선로 눈 방지 기술	13	0	6	0	4
C. 선로전환기 장애예방 기술	8	1	18	5	1
D. 전차선 장애예방 기술	15	4	0	1	4
E. 선로동상 저감 유지보수 공법	5	7	4	5	5

5절 연구개발 인프라 분석

1. 기업 현황

- 본 과제의 철도차량 De-icing 시스템, 분기부 Anti-icing 시스템에 관련된 기업은 34개 기업으로 파악되었지만, 대차부 착설현상 규명과 직접적인 관련이 있는 업체는 국내에 없는 것으로 파악됨

  - 철도차량용 De-icing 시스템의 개발이 가능한 기업은 21개로 세척기 등 철도차량용 유지보수 장비 개발 및 납품 실적이 있는 기업들임

  - 고속철도용 분기부 시스템의 개발이 가능한 기업은 2개로 세척기 등 삼표 ENC 및 BWG이며, 국내 고속철도용 히팅장치 전문제작 업체는 1개로 ㈜ 대신 T&S 임

  - 도로분야 융설시스템 제작업체는 국내에 SRD Korea 등 약 4개 업체가 있음

  - 화학적 제설액 개발이 가능한 기업은 6개로 자동차 또는 항공 분야에서 부동액 등을 개발 납품하고 있는 화학 관련 기업들임

표 29 관련기업 현황

업체명	업체별 능력	분야
대호엔지니어링(주)	세척기 등 철도차량용 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
(주)브이씨텍	철도차량용전장품,전동지게차용제어장치등	철도차량 De-icing 시스템
(주)삼영기계	철도건설장비,하이브리드car의전기motor개발 등	철도차량 De-icing 시스템
갑을오토텍(주)	차량과 중장비등의 공조와 동력계통 냉각장치 등	철도차량 De-icing 시스템
대아정공	철도차량부품제작,각종철구조물및산업기기제작	철도차량 De-icing 시스템
샬롬엔지니어링	시험기 등 철도차량용 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
㈜대신상역ENG	각종 공구류 등 철도차량용 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
㈜금촌씨스템	시험기, 세척기 등 철도차량용 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
수성eng	철도차량 유지보수 장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
고구려엔지니어링(주)	철도차량 방송, 통화, 화재감시 관련 부품 제작	철도차량 De-icing 시스템
TUV라인란드 코리아	시험,진단서비스	철도차량 De-icing 시스템
㈜한터기술	철도차량장비개발,IT장비개발및제조	철도차량 De-icing 시스템
㈜성주엠아이	철도차량,플랜트,산업기계,건설기계부품및부분품	철도차량 De-icing 시스템
(주)아원	차량용 및 중앙집중식 윤활장치 제조	철도차량 De-icing 시스템
(주)유진정공	철도차량부품의 설계 및 제조 등	철도차량 De-icing 시스템
㈜에코마이스터	차륜선반 등 철도차량 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템

업체명	업체별 능력	분야
우진산전(주)	시험기 등 철도차량용 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
㈜아이씨엠 테크윈	시험기 등 철도차량용 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
기현기계(주)	세척기 등 철도차량용 유지보수 기계장비 제작	철도차량 De-icing 시스템
(주)한성테크	지하철 및 철도의 신호용품과 철도차량내장재부품	철도차량 De-icing 시스템
(주)한영넉스	자동온도제어계측기기,타이머,카운터,근접센서등	철도차량 De-icing 시스템
삼표 ENC ㈜	고속철도용 분기부 시스템 및 히팅장치 제작	분기부 융설장치
BWG	고속철도용 분기부 시스템 및 히팅장치 제작	분기부 융설장치
㈜ 대신 T&S	고속철도 분기부용 히팅장치 제작	분기부 융설장치
㈜ SRD Korea	도로용 제설장치 제작	화학제설재 분사장치
두리시스템	도로용 제설장치 및 결빙방지장치 제작	결빙방지장치
㈜ 한진엔지니어링	도로용 융설시스템 제작	융설시스템
㈜ 오딘	도로용 융설시스템 제작	융설시스템
극동제연	공항용 제설제, 자동차용 부동액 제조	De-icing Fluid
유니캠	자동차용 워셔액, 브레이크액, 부동액 등 제조	De-icing Fluid
삼양화학(주)	자동차용 부동액 제조	De-icing Fluid
동아특수화학	자동차용 브레이크액, 부동액 등 제조	De-icing Fluid
SKC	프로필렌 글리콜 등 석유화학 전문업체	De-icing Fluid
지코스	자동차용 윤활유, 금속가공유, 절삭유, 방전가공유 등 제조	De-icing Fluid

2. 연구기관 현황

- 본 과제와 관련된 연구기관은 국내에 총 5개로 파악됨

  – 철도전문 연구기관인 한국철도기술연구원을 비롯하여 한국기계연구원은 기계장치 개발 및 열유동 제어, 한국전자통신연구원은 착설검지·자동화, 한국화학연구원은 De-icing 용액 개발, 한국항공우주연구원은 항공 분야 Anti-icing 기술 응용 및 열유동 제어와 관련됨

표 30 연구기관 현황

연구기관	인력현황	연구기관 주요기능	연구 분야
한국철도 기술 연구원	연구직 226 기술직 9 행정직 33	· 철도 운영 및 유지보수에 관한 전문 연구기관 · 고속철도, 일반철도, 도시철도 및 경량전철 시스템 기술 개발 · 차세대 대중교통 시스템 연구개발 · 철도 핵심 원천 기술개발	철도기술 및 정책
한국기계 연구원	연구직 245 기술직 30 행정직 35	· 첨단생산장비, 극한기계부품, 나노융합기계 연구환경, 에너지 기계, 기계시스템 연구	기계분야 기술

연구기관	인력현황	연구기관 주요기능	연구 분야
한국전자통신연구원	책임급 993 선임급 796 원급 105	· 방송 · 통신,미디어분야, SW · 콘텐츠분야 연구개발 · IT기반 융 · 복합분야, IT부품 · 소재분야 연구개발 · IT분야 정보보호 및 표준화 연구 · IT분야 기술사업화 및 중소기업 기술지원	전자통신 기술
한국화학연구원	책임급170 선임급114 원급18	· 화학공정기술 개발 · 화학소재 원천기술 개발 · 정밀화학 및 바이오매스기반 소재 실용화 기술개발 · 화학인프라 전문기술 확보 및 종합솔루션 지원	화학 및 융복합 기술
한국항공우주연구원	책임급 269 선임급 427 원급 51	· 항공기/인공위성우주발사체 시스템 및 핵심기술 연구개발 · 국가항공우주개발 정책수립 지원 · 관련 산업계 협력/지원 및 기술사업화	항공분야 기술

3. 대학 현황

- 철도 관련 대학은 국내에 총 4개로 파악되나 착설 실험, 시뮬레이션 기술 개발, 착설 방지 코팅제 개발 등의 관련 연구는 부족한 실정임

  – 철도분야 학부 및 대학원을 운영하는 한국교통대학교를 비롯하여 철도학부 또는 대학원을 운영하고 있는 우송대학교, 서울과학기술대학교, 동양대학교 등이 철도분야 교육 및 연구에 특화되어 있음

표 31 관련 대학 현황

대학	인력현황	철도관련 운영학과	연구 분야
한국교통대학교	전임 308 조교 78	· 철도공학부(경영, 운수, 기계, 전기, 시설), 교통대학원 운영	철도기술 각 분야
우송대학교	전임 298 조교 76	· 철도물류대학(경영, 건설, 운송, 차량, 전기) 운영	철도기술 각 분야
서울과학기술대학교	전임 295 조교 71	· 철도전문대학원(경영, 건설, 차량, 전기, 시스템) 운영	철도기술 각 분야
동양대학교	–	· 철도학부(경영, 운수, 기계, 전기, 시설) 운영	철도기술 각 분야

- 착설 해석 기술 또는 유사 해석 기술을 보유한 대학은 국내 2개로 파악

표 32 착설해석기술 관련 대학

대학	인력현황	착설 해석 및 실험 관련 운영학과	연구 분야
서울대학교	전임 46 비전임 8	· 기계항공공학부	유동 해석 철도/항공 착빙 착설 해석 착설 방지 코팅제 개발
경상대학교	전임 10	· 항공우주시스템공학과	항공 착빙 해석

4. 연구기자재 현황

- 본 과제와 관련된 연구기자재는 제빙기, 내한성 시험기 등 10개 관련 기자재에 대한 모델 및 보유기관 파악

표 33 연구기자재 현황

기자재	모델명	보유기관
제빙기(Ice maker)	· VS-625 · BF-80ICE · VS-625N · 제작품	· ㈜ 에이앤알티 · 아주대학교 · 을지대학교 · 대구테크노파크(한방)
내한성 시험기 (Low tem. chamber)	· 개발장비(철도차량용) · WL1900L · PL-4J · C1000/40 · EBE-12H30W6PT2L-22	· 한국철도기술연구원 · 한국신발피혁연구원 · 삼화전기(주) · 한국산업기술대학교 · 한국산업기술시험원
어는점 측정기	· Ap-60 · DSC 131 EVO	· 한국과학영재학교 · ㈜ 제이씨
결빙해석프로그램	· In-house 프로그램 · FENSAP-SLD	· 서울대학교 · 한국항공우주산업(주)
결빙/강우 시험기	· 개발장비	· 한국기계연구원
열유동해석프로그램	· Ansys Fluent	· 한국철도기술연구원 · 한국기계연구원 · 한국항공우주연구원
인공눈 제조기	· 개발장비(Snowstar Magic)	· ㈜ 스노우테크
고압살수 시험기	· SJTM-092-HW · 모델명 없음	· 자동차부품연구원 · ㈜ 만도
풍동	· 서울대 AD-OWT240 · 서울대 Low speed wind tunnel · 전북대 대형풍동실험센터 · FormObject2 · 충남대 아음속 풍동 · 카이스트 아음속 풍동 · 국방과학연구소 삼중음속 풍동	· 서울대학교 · 서울대학교 · 전북대학교 · 한국항공우주연구원 · 충남대학교 · 카이스트 · 국방과학연구소
화학 성분 분석기	· 고분해능 질량 분석기(JMS-700) · 유기 휘발성분 분석장치(GC) · 분광분석기(Varian 400 GCMS) · 분광분석기(AAnalyst 700)	· 한국화학연구원 · 한국화학연구원 · 한국철도기술연구원 · 경북대학교

5. 국외 기후풍동시험기 조사

- 본 과제의 설빙관련 실험이 가능한 기후풍동시험기은 총 5개로 기관에서 보유하고 있는 것으로 파악됨

표 34 국외 기후풍동시험기 조사

국가명	해외협력기관	주요활동내용
오스트리아	Rail Tec Arsenal	· 열차 및 차량에 대한 환경 실험 수행 · 다양한 속도 및 환경모사가 가능한 풍동 두기 보유 · 착빙형상이 측정이 가능한 풍동 개별 보유
덴마크	Force Technology	· 다양한 속도 및 환경모사가 가능한 풍동시험기 보유 · 착빙형상이 측정이 가능한 풍동 개별 보유
영국	MIRA Horiba	· 차량에 대한 다양한 기술 실증 실험 수행 · 차량에 대한 다양한 속도 및 환경에서의 실험 · 대형차량에 대한 환경모사 실험 수행
미국	NASA Icing Research Tunnel(IRT)	· 실물 크기의 항공기 부품에 발생하는 착빙연구 수행 · 민간 및 군용 고정익 및 회전익 항공기의 Ice protection system(IPS)의 인증을 위한 실험 · 지상에서의 제빙/방빙 위한 분무액 연구
이탈리아	CIRA Icing Wind Tunnel(IWT)	· 실물 크기의 항공기 부품에 발생하는 착빙연구 수행 · 주요 항공기 제조사들의 IPS 인증 실험

6. 연구개발 인프라 수준

- 이상을 종합한 국내 연구 인프라 수준은 전문인력과 산학연 공동연구기반은 동등 수준인 것으로 판단되나 관련 산업, 연구기자재는 다소 부족한 것으로 나타남

표 35 연구개발 인프라 수준

인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
	부족	다소부족	동등	우월	보다우월
산업현황		○			
전문인력			○		
기자재		○			
산학연 공동연구기반			○		

제3장 동절기 피해예방 요소기술 도출

- 철도분야 동절기 피해의 효과적인 예방 및 저감을 위하여 이에 필요한 요소기술을 Top-down 방식과 Bottom-up방식을 병행하여 도출하였음
- 우선 Top-down 방식으로 철도운영사의 동절기 피해조사를 통하여 철도운영 및 유지보수 과정에서 가장 문제가 되고 있는 피해들을 대상으로 기술분류체계(안)을 구성하였음
- 또한 내외부 전문가 자문 및 운영사 내부 직원들의 브레인 스토밍, 국내외 피해예방 기술조사, 국외출장 등을 통하여 Bottom-up방식으로 요소기술을 도출하였음

표 36 동절기 피해예방 요소기술 목록(안)

대분류(영문)	중분류(영문)	요소기술(영문)
동절기 철도 피해예방 기술 (Winter Technologies for railway system)	A. 철도차량 설빙 방지 기술 (Rolling stock snow and ice protection technology)	AA. 제빙/방빙 형상 설계 (Anti-icing and de-icing shape design)
		AB. 착설/착빙 방지 재료 (Anti-icing material)
		AC. 기계적 제빙 (Mechancal De-icing)
		AD. 열을 이용한 제빙 (Thermal de-icing)
		AE. 화학적 제빙/방빙 (Chemical de-icing /anti-icing)
	B. 철도 선로 눈 방지 기술 (Railway track snow protection technology)	BA. 제설 설비 (Snow removing Equipments)
		BB. 제설 차량 (Snow removing Vehicle)
		BC. 방설벽 (Snow Fence)
	C. 선로전환기 장애예방 기술 (Railway switch winter technology)	CA 방설 설계 (Anti-snow design)
		CB 열을 이용한 제빙 (Thermal de-icing)
		CC. 화학적 제빙/방빙 (Chemical de-icing /anti-icing)
		CD. 기계적 제빙 (Mechancal De-icing)
	D. 전차선 장애예방 기술 (Railway contact wire winter technology)	DA. 전차선 히팅 (Railway contact wire heating)
		DB. 화학적 제빙/방빙 (Chemical de-icing /anti-icing)
	E. 선로동상 저감 유지보수 공법 (Maintenance measure for reducing Track frost)	EA. 궤도틀림 보정 (Adjustment of Track Irregularity)
		EB. 비동상재료 치환다짐 (Replacement into Anti-frost material)
		EC. 배수성능 향상 (Enhancement of Drainage performance)
		ED. 자갈궤도 고결화 (Cementation of Ballasted track)

1절 철도차량 설빙 방지 기술

- 철도차량이 동절기에 겪게 되는 문제는 다양하지만, 상당수는 차량의 각종 장치나 부품의 설계 시 동절기의 기후 조건을 고려하지 않아서 발생하는 문제들이라고 볼 수 있음
- 예를 들어 국내의 일부 도시철도 차량에서는 강설 시 슬라이딩 도어 틈으로 눈이 유입되는 문제가 발생하기도 하는데, 이런 경우 도어의 설계요건과 시험규격에 이러한 눈의 유입을 반영하는 것으로 해결이 가능할 것임
- 이처럼 장치나 부품 수준의 문제가 아닌 철도차량의 동절기 문제는 대부분 착설, 결빙의 방지(Anti-icing)와 눈, 얼음의 제거(De-icing)에 관련되며, 이를 설빙 방지 기술(Snow and ice protection technology)로 통칭하고 기술 구현의 원리에 따라 세부적으로 살펴보기로 함

1. 형상 설계(Shape design)

- 물체의 형상은 강도나 공기역학적 특성을 크게 좌우하며 이는 많은 공학적인 설계에 이용되고 있음
- 예를 들어, 돔이나 아치구조는 사각 구조에 비해 훨씬 많은 구조적 하중을 견딜 수 있으며, 낙하하는 물방울의 형상은 공기저항을 더 적게 받는 형상임
- 따라서, 이러한 원리를 철도차량의 설계에 적용하게 되면 차량에 달라붙는 얼음을 크게 줄일 수 있으며, 이러한 적절한 형상의 설계는 별도의 에너지나 제작비용의 큰 증가 없이 적용할 수 있는 매우 효율적인 기술임
- 예를 들어 건조하고 미세한 입자의 눈은 차량 곳곳에 위치한 틈새의 표면에 부착되어 얼음이 되기 쉬움
- 그림 7에서 보이는 바와 같이 틈새 사이에 날카로운 에지가 있을 경우, 틈새에 형성된 얼음은 에지에 의해 부서지므로 얼음의 부착을 방지할 수 있다. 또한 곡면의 형상은 평면에 비하여 얼음이 덜 달라붙는 구조이므로 착설 및 얼음의 형성을 방지하는 효과적인 철도차량의 설계로 이어질 수 있음

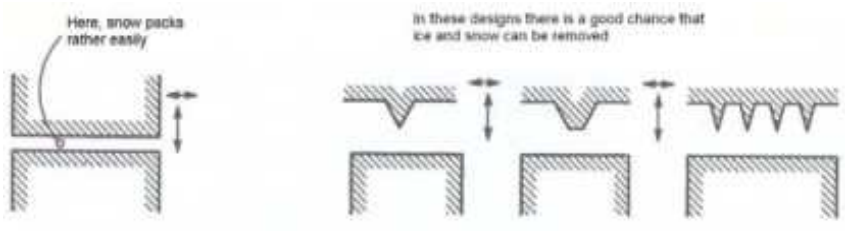


그림 52 착설방지 틈새 형상[5]

- 디플렉터는 유동의 방향을 바꾸는 장치를 일반적으로 일컫는 말로서 철도차량의 경우에는 전두부 아래에 설치되어 하부에 유입되는 공기의 흐름을 바꾸어 공기저항을 줄이는 에어 디플렉터(air deflector)가 대표적인 적용 사례임
- 동일한 원리로 대차 앞에 이러한 디플렉터를 설치할 경우(그림 8) 공기의 흐름을 바꾸어 눈이 대차에 달라붙는 것을 막는 것도 가능할 것임

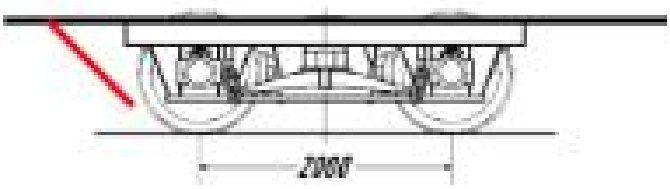


그림 53 대차 전방에 설치된 스노우 디플렉터[6]

- 또한 일본에서는 대차부 눈 유입 방지 등을 위하여 대차커버를 설치하기도 하지만 커버 내부 고착되는 눈을 막지는 못하므로 대차커버의 형상을 변경하는 시도도 하였음

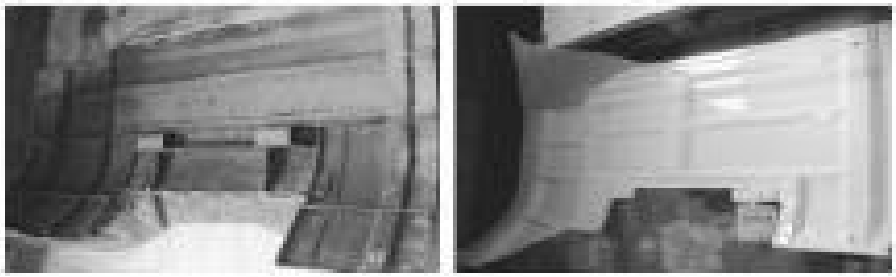


그림 54 대차커버형상의 변경(좌:전체커버, 우: 부분커버)[9]

- 착설 방지 뿐 아니라 흩날리는 눈에 대한 시계확보를 위하여 운전실 전면 유리창 아래에 스노우 디플렉터를 설치한 경우(그림 9)도 있으며, 캐나다의 Via Rail에서는 문에 대한 접근이 방해받지 않도록 스노우 디플렉터를 시험한 바 있음(그림 10).

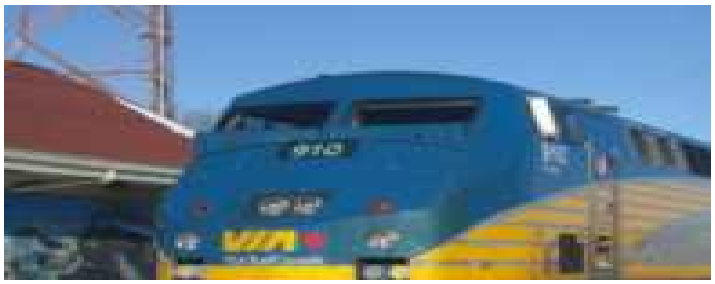


그림 55 동력차 운전실의 스노우 디플렉터[7]

그림 56 문 주변의 스노우 디플렉터[7]

- 디플렉터는 의도한 대로 공기 흐름을 바꾸기 위해 자연스러운 공기 흐름을 방해하는 것이므로 대부분 공기저항을 증가시키는 역할을 함
- 앞서 예를 든 에어 디플렉터의 경우 에어 디플렉터로 인한 유입 유동의 차단 효과로 인하여 대차부에 미치는 저항이 줄어들지만 이와 동시에 에어 디플렉터 자체의 저항이 발생하고 이외 유동 구조의 변화로 인한 다른 부분에서의 저항 증가가 발생하기 때문에 저항의 감소 효과가 미미하거나 어떤 경우에는 전체 저항이 더 증가하기도 함[8].

2. 재료(Material)

- 얼음의 부착력은 재료마다 다르게 나타나며, 예를 들어, 목재는 다공성을 띄므로 금속에 비해 얼음이 더 강하게 부착되며, 금속 중에서도 알루미늄에 대한 부착력이 강철에 대한 부착력보다 더 큰 것으로 알려져 있음[10]
- 화학제를 도포함으로써 이러한 부착 특성을 바꾸어 얼음의 부착력을 약화시킬 수 있는데, 이러한 화학적 코팅 방법은 빙점을 낮추거나 부착력을 약화시키는 두 가지 상반된 원리로 나누어짐
- 전자의 빙점을 낮추는 방법은 결과가 불균일하고 도포량의 최적화가 어려운 것으로 알려져 있으며, 후자의 부착력을 낮추는 방법은 널리 사용되고 있으며, 많은 연구가 이루어지고 있다[10]
- 얼음의 부착력을 약화시키는 원리는 한쪽 면의 부착력을 매우 강하게 하는 반면, 다른 면의 부착력을 약하게 하여 내구성을 갖는 비점착 물질을 만들어낼 수 있음
- 그러나, 저부착력의 물질이라 하더라도 형성된 얼음을 떨어뜨리지는 못하므로 기계적인 또는 열적인 방법이 여전히 필요하다고 할 수 있음
- 얼음의 부착방지를 위해 가장 널리 쓰이는 물질은 내구성을 가지면서 비점착성의 표면을 갖는 테프론(Teflon)임

- 이외에 시험된 실리콘, 고무, 네오프렌 등의 물질은 모두 테프론보다 높은 부착성을 갖는 것으로 나타났으며, 테프론에 비해 부착성이 낮은 것으로 나타난 폴리실록산(polysiloxanes)의 경우에는 철도차량에 도포 시 코팅의 내구성이 떨어지며, 심지어 제동 장치 등에는 코팅이 되지 않는 것으로 나타났음[11]
- 최근에는 초소수성(superhydrophobic) 코팅 기술을 이용하여 얼음의 부착과 성장을 막는 연구도 활발히 진행되고 있음[11]

그림 57 코팅 적용(좌)과 미적용 시 얼음 부착

3. 기계적(Mechanical) 방법

- 기계적인 방법은 얼음에 힘을 가하여 부수어 떨어뜨리는 방법임
- 이 방법은 수작업을 이용하거나 자동화된 장치를 이용하여 구현 가능하지만, 수작업의 경우에는 운행 중에는 실시가 불가능하고 열차가 주차하고 있는 경우에만 실시할 수 있으므로 산업적으로 활용되기에는 한계가 있음
- 항공기의 경우, 날개 표면에 얼음이 형성되어 날개 형상의 변화가 생길 경우 양력의 저하로 인한 치명적인 사고의 위험이 있으므로 이에 대한 각별한 주의가 필요하며, 대표적인 대책으로서 제빙 부츠(de-icing boots)를 들 수 있음

그림 58 항공기 날개에 부착된 얼음

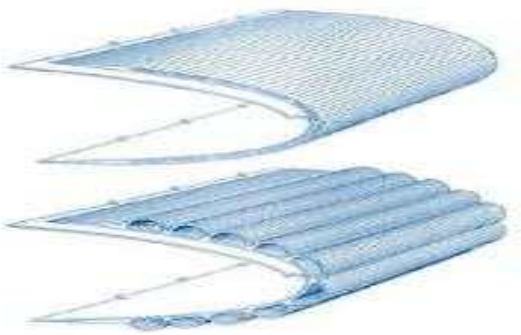


그림 59 제빙 부츠(De-icing boots)

- 1920년대에 발명된 제빙 부츠는 얼음이 축적되기 쉬운 부분(주로 날개 앞전)에 설치된 두꺼운 고무막으로서 공압시스템에 의해 형상이 부풀어 오르는 장치임
- 날개에 얼음이 일정 정도 이상 형성되면 압축공기를 이용하여 고무막을 부풀려 얼음을 때내고 이후 압력을 낮추어 비행에 최적화된 원래의 형상으로 되돌아 감
- 제빙 부츠는 100년 가까운 역사를 갖고 있지만 여전히 항공산업에서 널리 쓰이는 제빙 기술임[7].
- 내구성과 제빙 용량의 한계가 있다는 문제점에도 불구하고 제빙 부츠는 항공기에서는 안전에 필수적인 장비인 반면, 철도차량의 경우에는 운영의 지연을 막는 역할로 활용될 수 있음
- 제빙 부츠 시스템을 철도차량에 적용할 경우 차체에 적용하는 것이 효율적일 것으로 생각되나, 차체는 대차나 제동장치에 비해 제빙의 필요성이 크지 않음
- 반면, 대차나 제동장치에 제빙 부츠를 적용하는 것은 이들 시스템의 매우 복잡한 형상으로 설치가 힘들다는 문제점이 있음

4. 열적 방법(Thermal de-icing)

- 열을 이용하여 열차의 착설을 방지하고 얼음을 제거하는 기술은 가장 쉽게 착안할 수 있고 가장 오래전부터 철도차량에 적용되었던 기술임
- 화염을 직접적으로 얼음에 가하거나 고압의 온수를 이용하여 열차 하부에 달라붙은 눈을 제거하는 사례도 있으나 이들 방법은 열차의 하부에 손상을 입힐 수 있다는 결정적 단점이 있음
- 얼음을 녹이는 측면에서는 히터는 지금까지 좋은 시험 결과를 보여 왔음
- 그러나 이 방법에는 두 가지 문제점이 있는데, 하나는 에너지 소모가 크다는 점이고, 다른 하나는 히터로 녹인 물의 통제가 어렵다는 점임
- 히터에 소모되는 에너지는 운영비용을 증가시키고, 얼음이 녹은 물은 바람을 타고 다른 곳으로 이동하여 얼게 되면서 더 심각한 손상을 줄 수 있음

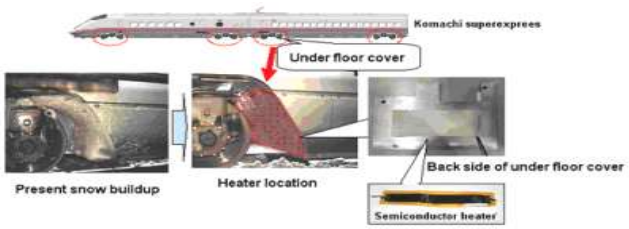


그림 60 히터를 이용한 제빙[7]

- 한편, 스코틀랜드의 철도운영사인 ScotRail은 차량 하부를 스커트로 감싼 후 열풍을 주입하여 얼음을 제거하는 혁신적인 방법을 제시하였다(그림 15)
- 이 기술은 2010년에 철도에서 최초로 시도되었는데, 당시 영하의 기온에서 해빙을 위한 충분한 수의 차고가 확보되지 않은 상황에서 스커트를 부착하는 시간이 30분 걸렸고, 이후 열풍을 주입한 지 4시간만에 제빙 작업이 완료되었다고 함
- 이 기술은 겨울이 짧고 혹독하지 않은 나라에서는 사용될 수 있으나, 노르웨이처럼 길고 추운 겨울의 환경에서는 비용이 많이 들고 비효율적인 방법일 수 있음

그림 61 열풍을 이용한 제빙[13]

5. 화학적 방법

- 지금까지 철도산업 분야에서는 화학적 방법의 사용이 많은 주목을 받지는 못했으나 이 방법은 눈과 얼음을 녹이는 데 가장 흥미로운 방법이 될 수 있음
- 특히 프로필렌 글리콜(Propylene Glycol)을 이용한 융해법은 항공산업에서 많이 사용되고 있는데, 주로 항공기가 비행중이 아닐 때 달라붙은 눈을 제거하는데 사용됨
- 프로필렌 글리콜은 물이나 공기보다 에너지를 더 잘 전달하기 때문에 열을 이용하여 10시간이 걸리는 제빙작업을 단지 몇 분만에 완료할 수 있음[7]
- 화학적 방법의 경우에는 환경 오염의 측면에서 우려가 있을 수 있으나 프로필렌 글리콜은 자동차 부동액으로 쓰이는 에틸렌 글리콜(ethylene glycol)에 비해 독성이 적은 것으로 알려져 있음
- 다만 프로필렌 글리콜은 분해를 위해 높은 생물학적 산소 요구량을 갖기 때문에 수중 생물에 해를 끼치며, 악취를 유발할 수 있으므로 프로필렌 글리콜을 이용할 때에는 폐기물의 통제가 가장 중요함
- 스웨덴 철도에 의해 운영 중인 화학적 제빙장치가 아래 그림 16과 17에 나타나 있

으며, 이 설비는 트럭을 통해 운반이 가능하고 하루만에 설치가 가능하며 최대 에너지 소모가 100kW에 불과하며, 도포된 약품은 회수되고 필터를 거쳐 다시 사용됨

그림 62 스웨덴 철도의 화학적 제빙 장치[7]

그림 63 제설액의 도포와 재사용[7]

- 이 기술의 장점은 다음과 같다[7].

– 얼음의 성장을 막는다.
– 제빙에 소모되는 에너지를 크게 줄임으로써 환경친화적이다.
– 빠르고 효율적이며 자동화가 가능하다.
– 액체를 정화하여 재사용할 수 있다.
– 다양한 열차 형상에 맞춤이 가능하다.
– 기존의 인프라 또는 새로운 인프라 모두에 설치가 가능하다.
– 야외에 설치가 가능하므로 값비싼 건물을 지을 필요가 없다.
– 모니터링과 통제를 위한 최신 소프트웨어와 사용자 편의성

- 핀란드의 여객철도 운영을 담당하는 VR사는 2011년 1월 4일부터 고속열차를 포함한 중장거리 열차의 제설에 화학적 제빙 시스템을 사용하기 시작하였음

- 도입 이후 VR의 열차들은 전년에 비해 정시율이 높아졌으며, 이전에 온수나 열풍을 이용하는 방법에 비해 에너지 소모가 크게 줄었다고 조사되었음

- 또한, 노르웨이 철도운영사인 NSB의 유지보수를 담당하는 Mantena사는 이 시스템을 도입하여 차량 착설을 방지하기 위한 착설방지 코팅제 도포 작업을 동절기 동안 매주 시행하였다. 이 시스템의 도입으로 인한 효과는 다음과 같음

– 일반적으로 눈으로 인한 문제들이 절반으로 줄었음
– 일반 열차에 달라붙는 얼음의 양이 50-60%로 줄어들었음
– 눈이 많이 달라붙는 열차의 눈은 60-70% 줄었음
– 얼음의 제거가 쉬워졌다; 30분 이하의 시간이 소모됨
– 제빙의 필요성이 급격히 감소했다: 60% 적은 열차만이 제빙을 필요로 함

- 제빙의 시간이 짧아졌음: 얼음 방지 처리로 인하여 제빙 시간이 30분 이하로 줄어들었음

그림 64 Matena사의 화학적 설빙방지 설비[12]

- 동절기 철도차량의 얼음 제거 및 눈 부착 방지를 위한 화학적 방법은 가장 최근에 개발된 방법으로서 혹독한 겨울기후의 북유럽에서 성공적인 적용 사례를 보여준다는 점에서 시사하는 바가 크다고 할 수 있음

2절 철도 선로 눈 방지 기술

- 철도선로가 눈에 덮이게 되면 여러 모로 열차의 운행에 지장을 주며, 적설량이 많지 않은 경우에도 열차가 유발하는 열차풍에 의해 눈은 차량에 달라붙어 각종 설빙피해를 유발하게 됨
- 일정 높이 이상 궤도에 눈이 쌓이게 되면 차륜 플렌지에 의해 눈이 압착되게 되며, 매우 낮은 기온에서는 압착된 눈이 단단해져 열차의 탈선을 유발하기도 함
- 열차 바닥보다 더 높이 눈이 쌓일 경우 눈은 열차의 진행을 방해하는 힘으로 작용하고 궁극적으로 열차의 운행이 불가능하게 됨
- 따라서, 많은 나라에서는 선로 상에 쌓인 눈의 높이에 따라 운전규제를 실시하고 있으며, 우리나라의 경우에는 적설량에 따라 감속 운행을 하고 레일이 보이지 않을 정도로 눈이 쌓인 경우에는 열차의 운행속도를 제한하고 있음

1. 제설설비

가. 스프링클러

- 평년 최고 강설량이 93~110mm인 한국과 달리 눈이 많은 일본 신칸센은 살수 및 저설식 고가를 기본대책으로 하며, 아래 표 4에는 일본 신칸센의 노선 별 선로 눈 대책을 나타내고 있음

표 37 일본 신칸센의 선로 눈 대책[13]

항목	도카이도 신칸센	도호쿠 신칸센	조에츠 신칸센
평년 최고 강설량	350mm	150~340mm	280~910mm
선로구조	토노반	콘크리트 노반	콘크리트 노반
궤도구조	자갈궤도	슬라브궤도	슬라브궤도
기본대책	살수	저설식 고가 (일부 살수)	살수
차량	–	차체 부착 제설기	차체 부착 제설기
차체하부 눈 제거	역	차량기지	–
야간 제설	모터카, 러셀식 제설차	모터카, 러셀식 제설차	–

- 일본은 다양한 선로 눈 대책을 적용하고 있으며, 그 중 스프링클러를 이용한 눈 제거 기술은 일본에서 특히 발전되어 왔고 조에츠 신칸센과 같이 평년 최고 강설량이 280 ~ 910mm에 달할 정도로 눈이 많이 내리는 경우에는 선로 상의 눈을 제거하기 위하여 스프링클러가 사용됨

- 도호쿠 신칸센의 일부 구간에서도 이러한 방식의 기술이 적용되고 있는데 그림 19에는 도호쿠 신칸센의 하치노헤-신아오모리 구간에 적용된 스프링클러 시스템을 나타내고 있음

그림 65 도호쿠 신칸센의 스프링클러 시스템[14]

- 선로 상에 쌓인 눈을 녹이는 방식의 스프링클러 사용은 기본적으로 많은 양의 물을 이용하게 되므로 자갈궤도에는 노반의 동결 문제로 적용이 힘들며 콘크리트 궤도에 적용할 경우에도 배수설비 및 수집된 물을 다시 가열하여 이용하는 장치 등이 필요함

- 이처럼 살수를 통해 눈을 제거하는 방법 이외에도, 소량의 살수(4mm)로 눈 표면의 성질을 변화시켜 눈날림 및 차량 착설을 방지하는 기술도 일본 철도총합연구소(RTRI)에 의해 시험된 바 있음[1]

- 이 방법은 스프링클러를 통해 눈을 완전히 녹여 없애는 방법이 아니라 소량의 물을 뿌려 눈의 표면을 젖은 상태로 만듦으로써 눈의 날림에 의한 차량 착설을 방지하는 방안으로서 적절한 운전속도 규제와 병행하여 사용함으로써 적설 시의 열차 운행 지연을 최소화할 수 있음

- 200km/h 까지의 속도에서 눈의 비산 시험을 한 결과를 통하여 운전 규제 속도와 살수량의 관계를 계산하였는데, 예를 들어 170km/h의 주행을 가능하게 하기 위해서는 4mm의 살수량이 필요한 것으로 나타났음

- 또한, 선로에 쌓인 눈을 스프링클러로 녹일 경우 살수 강도의 면적 비율을 향상시키기 위해 소규모 스프링클러 사용 조건 변경에 따른 살수 강도에 대한 분포를 도출하였으며, 일례로 스프링클러의 배치 간격을 기존의 반인 10m로 하면, 살수 강도 4mm/h를 초과하는 면적 점유 백분율이 크게 향상된다는 점을 밝혔음

나. 배설식 고가교

- 고가교에서의 효율적인 제설을 위하여 제안된 방식으로 배설식 고가교를 들 수 있음[1]
- Fujii에 의해 제안된 이 개념은 로터리 차에 의해 흡입된 눈을 방음벽과 배설가이드 벽 사이로 방출하여 고가교 하단의 일정한 구역에 쌓이도록 하는 방법으로서 흡입된 눈의 적재를 위한 별도의 공간이 필요 없어 고가교 건설 비용을 절감할 수 있는 장점이 있음

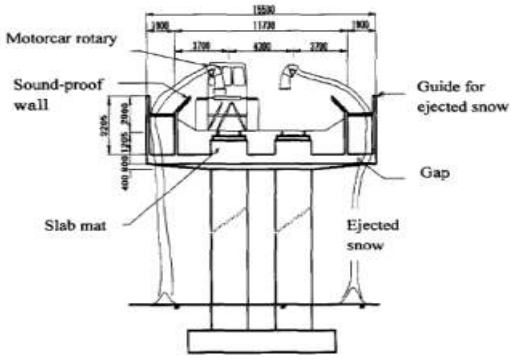


그림 66 배설식 고가교[1]

2. 제설차량

- 스프링클러를 이용한 눈 제거 기술은 가장 신속하고 신뢰성 있는 방법이나 설비의 설치 및 운영비용이 매우 큰 단점이 있는 반면에, 제설차량을 이용한 눈의 제거는 이보다 먼저 고안되어 사용되고 있으며, 상대적으로 저렴하다는 장점이 있음
- 가장 보편적인 제설 차량은 러셀식 제설차(Russell snow plow)로서 앞쪽에 쇄기 형태의 제설판을 달고 기관차로 추진하여 적설을 좌우로 배제하는 제설차를 말하며(그림 20), 전용의 제설차량 대신 선두차의 전두부 또는 대차 앞에 배장기를 겸한 소형의 러셀식 제설기를 설치하기도 함

그림 67 미국의 러셀식 제설차[15]

- 로터리 제설차량(rotary snow plow train)은 열차 전방에 회전하는 날개를 달아 전방의 눈을 제거하는 차량이며 러셀차량에 비하여 레일 상면 아래의 눈까지 제거할 수 있기 때문에 보다 큰 적설량에 대응할 수 있는 방식임(그림 21)

그림 68 캐나다의 로터리식 제설차[12]

- 또한 선로의 눈을 브러쉬나 날개를 이용하여 눈을 빨아들여 선로변으로 불어날려 주는 차량도 있으며, 최근에는 흡입한 눈을 녹여 배수하는 방식도 사용됨

그림 69 Snow Blower

- 상기의 방식 모두 선로 상의 눈을 노변으로 이동시키는 방식으로 눈을 쌓을 수 있는 노변의 공간을 필요로 하는 반면에, 이러한 공간이 없을 경우에는 눈을 슬러시 상태로 만든 다음 온수로 녹이는 펌핑시스템이 개발되기도 하였음(그림 22)

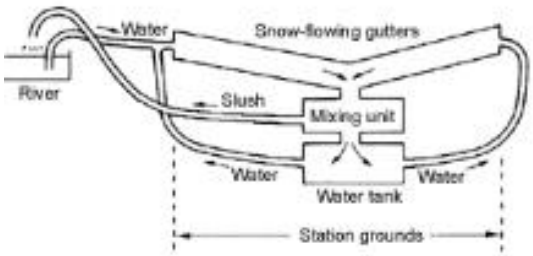


그림 70 Slush-mixture pumping system[1]

3. 방설벽(Snow fence)

- 방설벽은 눈으로부터 선로를 보호하는 울타리 모양의 구조물을 통칭하지만 그 원리와 용도에 있어 상이한 두 가지 형태의 방설벽이 존재함
- 첫 번째는 주로 눈이 많은 산악 지역 등에서 눈사태 발생 시 눈의 침입으로부터 선로를 보호하는 방설벽으로서 일본의 눈이 많은 지역에 부설된 노선에서 주로 사용됨
- 그림 24에는 눈으로부터 선로의 보호를 위해 일본에서 적용하고 있는 대책 설비들을 나타내고 있는데, 눈사태를 경감하거나 눈사태 시 선로에 대한 눈의 침입을 방지하기 위한 각종 대책 중에서도 방설벽이 활발하게 적용되고 있음을 보여주고 있음

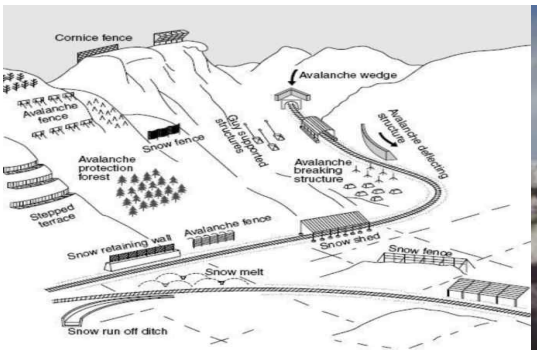


그림 71 일본의 설해 대책 시설물[1]

그림 72 노르웨이 방설터널

- 사실 방설의 목적을 달성하기 위하여 가장 좋은 방안은 숲을 조성하여 자연적인 방설벽을 만드는 것이며, 인공적인 구조물을 이용한 방설벽은 숲을 가꾸기 힘들 경우에 차선책으로 고려될 수 있는 방안이라고 볼 수 있음
- 두 번째는 바람에 의한 눈 쌓임으로부터 선로를 보호하기 위한 방설벽이며, 강한 바람을 동반하면서 눈이 내릴 경우 방설벽은 바람의 속도를 낮추어 눈이 지상에 쌓이도록 유도함
- 이 때 선로로부터 일정 거리 앞에 방설벽을 설치할 경우 눈은 방설벽 뒤편의 일정 거리 내에 쌓이게 되어 선로 상의 눈의 날림과 쌓임을 저감하면서 눈을 열차 운행에 지장이 없는 구역에 쌓이도록 하기 때문에 눈을 제거하고 쌓아두는 비용을 절감할 수 있음(그림 25)

그림 73 방설벽 사용 시 눈 쌓임[12]

- 변화하는 바람의 방향에 대하여 선로의 보호를 보다 확실히 하기 위하여 방설벽의 전후를 보호구역 끝단에서 30° 정도의 각도까지 연장하는 것이 필요하며, 이 형태의 방설벽은 완전히 막힌 벽체가 아니라 일정한 투과율(40%~50%)의 투과율(Porosity)을 갖는 것이 좋다고 알려져 있음

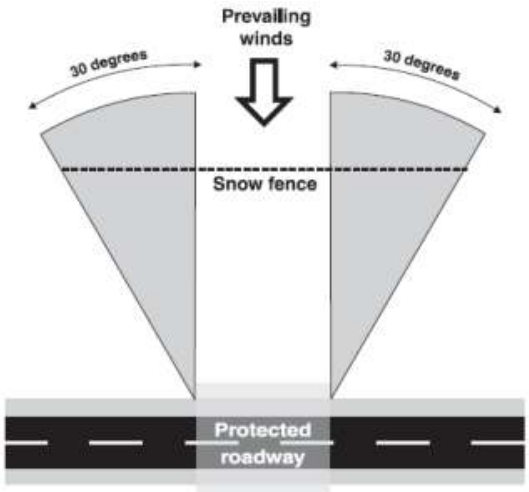


그림 74 방설벽의 권장 길이[15]

- 노르웨이의 오슬로-베르겐선은 북극과 인접하여 바람에 의한 눈 쌓임이 특히 심한 지역으로서 이러한 형태의 방설벽이 많이 사용되고 있음[7]

3절 선로전환기 장애예방 기술

- 선로전환기는 동절기에 가장 관심을 기울여야 할 철도 시설물 중 하나이며, 선로전환기는 노반에 놓여있기 때문에 눈과 얼음이 틈새에 쌓이기 쉬워 이로 인한 장애가 빈번하게 발생함
- 히팅 장치(Heating system)는 이를 해결하기 위한 가장 오래되고 보편적인 기술이지만, 에너지 소모가 크고 많은 양의 눈과 낮은 온도에서는 효과가 제한적임
- 선로전환기가 소모하는 에너지는 대략 20,000 kWh로서 한 가정의 에너지 소모와 맞먹으며, 유럽의 선로전환기 히팅장치가 150,000개에 달한다는 점을 생각한다면 지난 60여 년 간 큰 기술적인 발전이 이루어지지 않은 히팅장치를 대신할 효율적이고 신뢰성 있는 기술의 개발이 필요하다고 할 수 있음[7]

1. 방설설계 기술

가. 커버(Cover)

- 선로 전환기에 커버를 적용하는 것은 두 가지 목적을 가지며, 첫 번째는 가열된 레일 주위에 단열층을 만들어 히팅 장치의 효율을 높이는 것이고, 다른 하나는 물리적 차단을 통해 눈의 유입을 막는 것임
- 아래 그림 27에는 세 가지 종류의 커버가 적용된 선로전환기를 보여주고 있는데, 레일을 따라 종방향으로 놓인 플라스틱과 나무 커버는 열의 확산을 막는 역할을 하며, 횡방향으로 놓인 커버는 열차 통과시의 바람에 의한 눈의 유입을 막는 역할을 함

그림 75 선로전환기 커버[7]

나. 브러쉬(Brush)

- 가는 섬유 다발의 브러쉬를 이용하여 선로 전환기의 동절기 작동 신뢰성을 높이려는 시도는 비교적 최근에 북유럽을 중심으로 이루어져 왔으며, Osborn International AB사는 브러쉬를 이용한 새로운 기술을 개발하여 스웨덴의 Bothnia 선에 성공적으로 적용한 바 있음(그림 28)

- 브러쉬는 레일 바깥쪽에 아래와 위 두 방향으로 설치가 되며, 열차의 통과 시 기류를 유발하여 레일 사이의 눈을 제거하는 작용을 하며, 또한, 측면에서 불어오는 바람에 의한 눈 쌓임을 방지하는 효과도 있으며, 히팅장치의 열을 가둬두는 역할도 함

그림 76 선로전환기 방설 브러쉬[7]

- 브러쉬는 수명이 길고 저렴하며 작업시간이 2시간에 불과하여 매우 경제적인 예방기술이며, 유연한 재질로서 열차의 운행 안전에 큰 지장을 주지 않는다는 점도 장점으로 꼽을 수 있음

2. 고압 온수 분사를 통한 열적 제빙

- 앞서 살펴본 바와 같이 일본은 콘크리트 궤도인 도호쿠 신칸센이나 조에츠 신칸센의 대하여 스프링클러를 이용한 선로 눈 제거 기술을 적용하고 있으며, 이들 선로에서는 살수를 위해 이미 궤도의 배수시스템 구축된 상태이므로 고압 온수 분사를 이용하여 선로전환기의 눈을 제거하는 것이 가능함
- 그림 29에는 도호쿠 신칸센의 하치노헤-신아오모리 구간에 적용된 분기기 고압 온수 분사 장치를 나타내고 있음

3. 화학적 제빙/방빙

- 또한 철도차량의 제빙과 마찬가지로 화학재의 분사를 통한 제빙법을 적용할 수 있으며, 프로필렌 글리콜(Propylene Glycol) 등의 제빙액을 통해 물이나 공기보다 에너지를 더 잘 전달하기 때문에 열을 이용하여 제빙시간을 단축함을 물론 다소의 방빙효과를 가지고 있음
- 하지만 프로필렌 글리콜은 분해를 위해 높은 생물학적 산소 요구량을 갖기 때문에 수중 생물에 해를 끼치며, 악취를 유발할 수 있으므로 프로필렌 글리콜을 이용할 때에는 폐기물의 통제가 가장 중요함

그림 77 고압 온수 눈 제거 장치[14]

그림 78 미국 화학재 분사

4. 기계적 제빙

- 브러쉬 형식의 블럼(Bloom) 장착한 보선장비을 이용하여 선로전환기를 제설하는 방법 또한 최근 노르웨이에서 선호되고 있는 방법임
- 이 방법은 선로전환기 및 주요 동작부가 동결되었을 경우 효과적인 방법으로 판단되지만 장비의 수와 배치 등의 문제가 동반됨

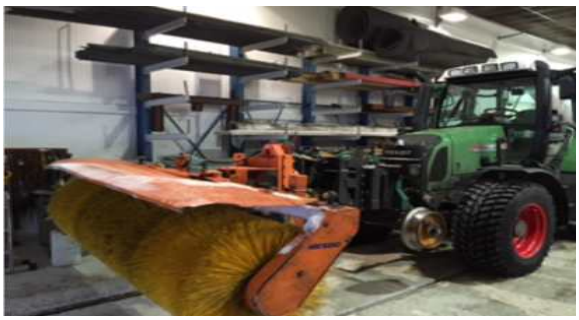


그림 79 small tractor with broom

그림 80 Tractor with bloom

4절 전차선 장예예방 기술

- 전차선는 민감한 철도시스템 중에 하나이고 동절기 조건은 이를 더 악화시킬 수 있으며, 특히 겨울철 전차선의 단전이 더 잘 일어나는 경향이 있음
- 전차선 단전은 나무에 쌓인 눈이 전차선에 떨어져 발생하기도 하고 전차선 착빙 등에 의해 아크를 발생시켜 판토그래프에 손상을 입히고 전차선이 단전되기도 함
- 특히, 터널 도입부 또는 내부 누수로 인해 발생하는 고드름이 성장하여 전차선로에 접하게 될 때 단전이 발생하며, 이는 겨울철 철도 운영선에서 일반적으로 발생함
- 이러한 터널 내 고드름에 의한 장애 예방를 위하여 겨울이 되기 전 고드름 제거 용역을 시행하고 있지만, 단기적인 유지보수 대책에 불가하므로 기술 개발이 필요함

1. 전차선 히팅

- 전차선에 흐르는 전류에 의해 생성된 열만으로 어떤 경우에는 충분할 경우도 있지만 겨울철 기후조건이 가혹한 지역에서는 전차선로에 착빙 및 서리를 예방하기 위하여 절연저항 특성을 이용하여 가열하는 방법이 필요함
- 이러한 방법은 프랑스의 알스톰과 일본의 히타치에 의해 개발되었고 일본, 프랑스, 한국, 영국 등의 국가에 적용되어 운영되고 있음
- 국내 고속선 해빙시스템은 경부고속철도 건설시 프랑스 기술에 의해 도입되었고 서리 감지센서가 설치되어 서리 발생이 감지되면, 차량 운행이 시작하기 전에 임의로 폐회로를 구성하고 전차선에 전류를 흘려보내 Joule열에 의해 서리 또는 결빙을 녹이는 원리임[17]
- 또한 0℃ 부근에서 발생한 서리를 녹이기 위해 전차선 온도를 10℃로 상승시키기 위해 대략 15분간 운전하고 있으며 해빙전류는 1000A 이내로 제한됨

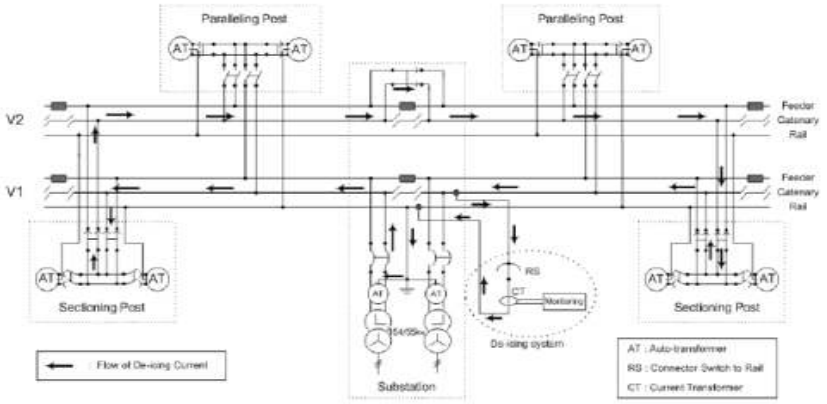


그림 81 경부고속선 해빙시스템 회로도[17]

2. 화학적 제빙/방빙

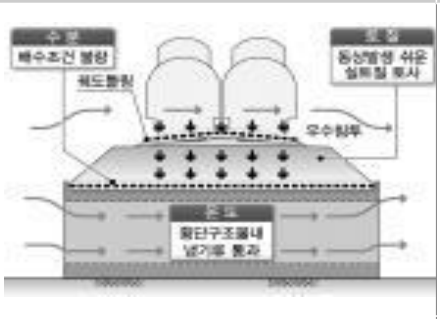
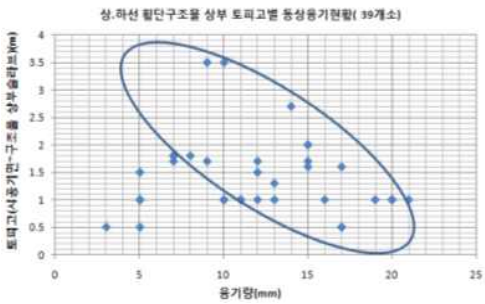
- 이 방법은 전차선의 착빙을 예방하기 위하여 수분의 어는점을 낮춰줄 수 있는 화학적 화학적 제빙액을 사용하는 방법임
- 가장 일반적으로 사용되는 제빙액은 Glycerol이며, 독일에서는 브레멘의 트램과 스톡홀름 북부 Roslagsbanan 철도시스템에 사용되었음[5]
- 화학적 제빙액은 전차선의 착빙과 서리를 감소하여 아크 발생을 저감시킴으로서 판토그래프의 카본스트립의 손상을 줄여주는 역할을 수행함

그림 82 화학적 제빙액 분사를 위한 판토그래프 더미[5]

5절 선로동상 예방 유지보수 공법

- 지반의 동결은 열차의 주행 동특성에 영향을 미칠 수 있는 선로의 움직임이나 다른 지리적인 선로불균형을 유발할 수 있지만 주요 간선의 지반동결로 인한 탈선은 매우 일반적이지 않음
- 이것은 아마도 선로 불균형을 유발하는 지반동결 과정은 매우 천천히 일어나므로 극단적인 상황이 발생하기 전에 문제가 발견될 수 있기 때문으로 예상됨
- 유럽의 고속선은 일반적으로 지반의 배수성이 더 좋도록 인프라를 갖추고 있으므로 지반 동결의 문제는 드물지만, 열차가 고속으로 주행 시에는 작은 선로 선형결함에도 큰 문제를 유발 시킬 수 있음
- 주행 특성은 속도에 영향을 받으며, 일반적으로 속도가 증가함에 따라 악화된다. 선로의 움직임은 승차감을 저하시킬 수 있고 선로에 미치는 힘을 증가시킬 수 있으며, 최악의 경우 탈선을 유발 시킬 수도 있음
- 특히, 국내 선로동상의 경우, 횡단구조물의 상부 노반층의 토피고가 낮은 부분에 집중되어 나타나므로 이에 대한 유지보수 공법을 서술하고자 함

표 38 횡단구조물 동결현상

동상구간	횡단구조물 동결현황 (인천지역 동결심도 80cm)	토피고별 동상융기량
■ 횡단구조물 상부노반층이 동상 발생됨 ■ 횡단구조물 토피고 대부분 0.5~2.0m	 ■ 냉기류 통과로 노반의 상하부가 동결발생	 ■ 토피고가 낮아질 수록 동상에 의한 융기량이 증가됨.

1. 궤도틀림 보정공법

- 침목과 침목사이에 일정간격으로 동결심도까지 홀(hole)을 천공하고 천공부위에 폐타이어 칩을 채우는 공법임
- 폐타이어 칩이 동상 팽창압을 흡수하여 동상량 저감효과를 고려되지만 폐타이어칩 혼합비율이 많을수록 노반 지지력이 저하됨

2. 비동상재료 치환다짐법

- 선로동상을 유발하는 횡단구조물 상부 노반을 비동상재료로 치환다짐하는 방법으로 동상방지 효과가 양호하다고 알려져 있음
- 하지만 유지보수 조건 상 단시간(약 3시간)안에 시공해야 하므로 중규모 이상의 BOX구간 시공성이 제한됨

3. 배수성능 향상공법

- 동상유발 상부노반에 횡배수관을 설치하여 배수성능을 향상시키는 공법으로 주로 배수불량 개소에 적용되며 동상방지 효과가 양호하고 비교적 공사비용이 저렴하고 알려져 있음
- 특히, 비동상재료 치환다짐법과 병행 사용하여 강우 시 횡단구조물 상부 노반의 간극수압의 분포를 낮춰줌

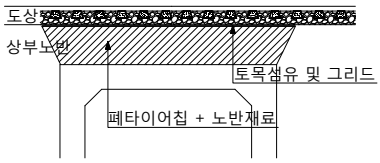


그림 83 폐타이어칩 혼합재료 공법[16]

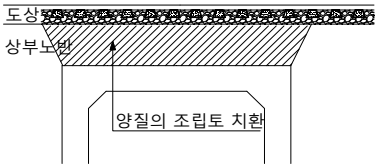


그림 84 비동상재료 치환다짐법[16]

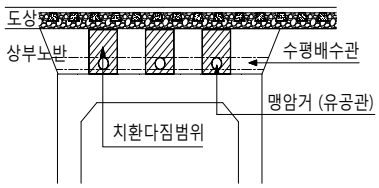


그림 85 횡배수관 설치

4. 자갈궤도 고결화 기술

- 또한 최근 일본에서는 시멘트 그라우트 또는 CAM을 개발하여 도상자갈궤도 고결화를 시행하여 선로동상 및 자갈비산을 예방하고 있음

그림 86 CAM을 활용한 도상자갈 고결화

제4장 기술개발전략 수립

1절 연구과제 도출

1. 연구과제 도출 절차 및 대상분야 정립

가. 연구과제 도출 절차

- 동절기 피해예방 기술개발 기획은 한국철도공사와 한국교통대학교에서 공동으로 추진
- 한국철도공사에서 동절기 피해조사를 통한 연구개발 대상분야 정립, 기술수요조사를 통한 후보과제 도출을 수행하였고, 한국교통대학교에서 국내외 기술사례 조사를 통해 후보과제 도출하여 한국철도공사와 한국교통대학교 및 자문그룹이 후보과제를 검토하였음
- 후보과제 도출방법은 Top-down방식과 Bottom-up방식을 병행하였으며, Top-down 방식으로 국내외 사례 조사를 수행하여 국내외 적용된 기술의 타당성 검토를 통하여 개발과제를 도출하였고, Bottom-up방식으로 기술수요조사, 운영부서 및 현장 전문가 인터뷰, 관련분야 전문가 자문 등을 통하여 후보과제를 도출한 뒤, 후보과제에 대한 검토를 통해 연구과제를 도출하였음

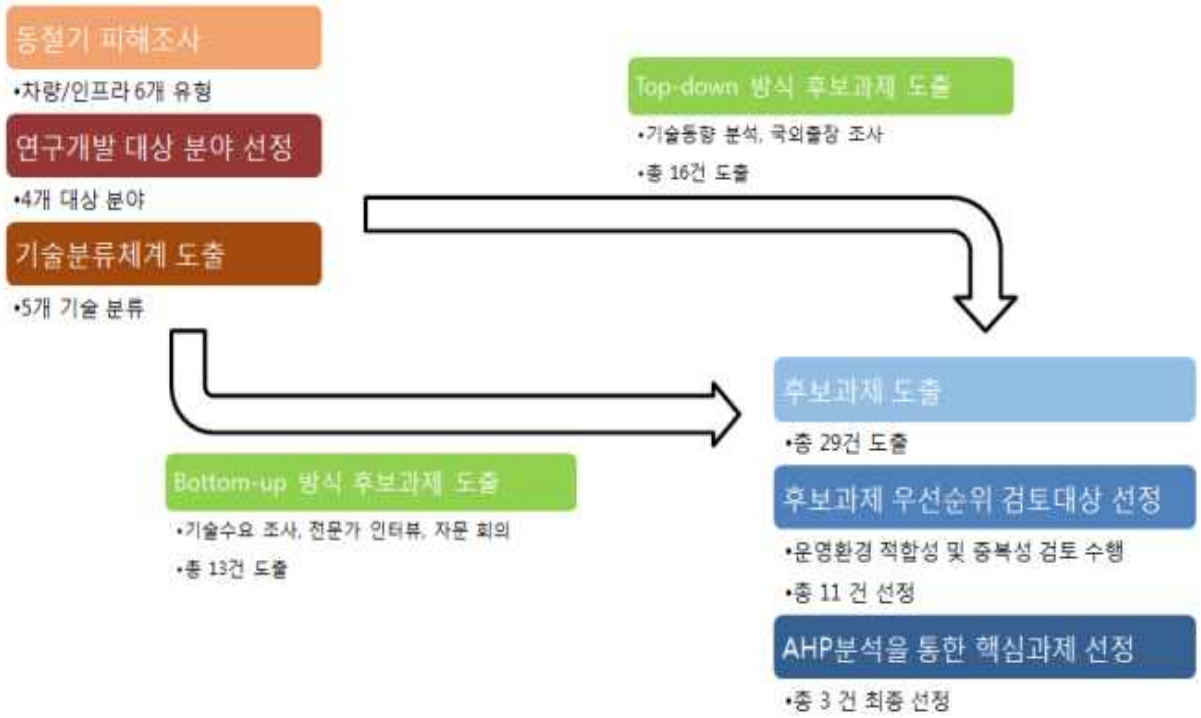


그림 87 연구과제 도출절차

나. 연구개발 대상분야 정립

- 동절기 피해조사를 통하여 겨울철 철도 운영 및 유지보수 과정에서 발생하는 피해는 크게 철도차량과 인프라의 피해로 나눌 수 있고, 철도차량에서는 고속선 설빙피해, 차량부품 동결, 전기장치 수분유입에 의한 피해가 발생하고 인프라에서는 선로전환기 동결, 선로동상, 집전장애에 의한 피해가 발생하고 있음

표 39 동절기 피해유형

구분	동절기 피해유형
차량	고속선 설빙피해
	차량부품 동결
	전기장치 수분유입
인프라	선로전환기 동결
	선로 동상
	전차선 집전장애

- 이러한 피해유형 중 차량부품 동결이나 전기장치 수분 유입의 주요 발생원인은 차량 제작 시의 결함이나 유지보수 오류에 의한 것이 대부분이라 본 기획연구에서는 기술개발을 통하여 효과를 극대화 할 수 있도록 고속선 설빙피해, 선로전환기 동결, 선로동상 및 전차선 집전장애로 연구개발 대상분야를 정립하여 기술분류체계를 작성하였음

표 40 연구개발 대상분야

연구개발 대상분야	개요	사진
고속선 설빙피해	고속철도차량 하부에 부착된 눈이 동결되어 고속 중행 중 탈락하여 도상자갈을 비산시켜 발생하는 피해	
선로전환기 장애	강설, 동작부 동결 등에 의해 발생하는 선로전환기 장애로 인한 피해	
전차선 집전장애	전차선 결빙이나 터널 내 고드름 접촉에 의해 발생하는 피해	
선로동상	철도 노반의 수분 동결로 발생하는 궤도 틀림에 의한 피해	

그림 88 동절기 피해에 따른 기술분류체계 도출

2. 연구과제 도출

- Top-down방식의 국내외 사례조사를 위하여 국내외에서 기 적용되었거나 연구되고 있는 사례자료를 On, Off-line 문헌조사 및 국외 출장을 통하여 수집하고 국내 운영 환경과의 적합성 검토를 통하여 연구개발 대상분야별 과제 16건 도출

표 41 Top-down 방식 도출과제명 및 주요내용

연번	과 제 명	주요내용
1	철도차량 착설 저감을 위한 형상변경 기술개발	철도차량 설빙방지 기술
2	나노기술을 이용한 철도차량용 저점착 재료 기술개발	철도차량 설빙방지 기술
3	진동장치를 이용한 철도차량용 De-icing장치 개발	철도차량 설빙방지 기술
4	열풍을 이용한 철도차량용 De-icing시스템 개발	철도차량 설빙방지 기술
5	친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발	철도차량 설빙방지 기술
6	고압온수를 이용한 철도차량용 De-icing시스템 개발	철도차량 설빙방지 기술
7	선로 눈 날림 방지를 위한 스프링클러 시스템 개발	철도 선로 눈 방지 기술
8	국내 동절기 기후조건을 고려한 제설차량 개발	철도 선로 눈 방지 기술
9	Snow drift 예방을 위한 방설벽 설계기술 개발	철도 선로 눈 방지 기술
10	전차선 착빙 및 서리 예방을 위한 전차선로 해빙시스템 국산화 기술개발	전차선 장애예방 기술
11	화학적 제빙액을 이용한 전차선Anti-icing 기술개발	전차선 장애예방 기술
12	선로전환기 장애 예방을 위한 방설설계 기술개발	선로전환기 장애예방 기술
13	고압온수를 이용한 선로전환기용 De-icing시스템 개발	선로전환기 장애예방 기술
14	친환경 제빙액을 이용한 선로전환기용 Anti-icing 시스템 개발	선로전환기 장애예방 기술
15	선로동상 저감을 위한 궤도틀림 보정공법 개발	선로동상 저감 유지보수 공법
16	선로동상 저감을 위한 비동상재료 치환다짐 공법 개발	선로동상 저감 유지보수 공법

- 분야별로 살펴보면 철도차량 설빙방지 기술분야에서 6건으로 가장 많은 기술이 도출되었고 철도 선로 눈 방지 기술과 선로전환기 장애예방 기술분야가 각각 3건씩 도출되었으며, 선로동상 저감 유지보수 공법 및 전차선 장애예방 기술분야에서 2건씩 도출되었음

그림 89 대상분야별 과제수(Top-down)

- Bottom-up방식으로 2차례의 기술수요조사를 비롯하여 운영 및 현장부서 담당자 인터뷰, 관련분야 전문가 자문 등을 통하여 연구개발 대상 분야별 과제를 13건 도출하였음

  - 조사기간 : 2015. 12. ~ 2016. 2.

  - 조사방법 : 기술수요조사서 배부 및 회수

  - 조사대상 : 철도운영기관 / 출연연 / 대학 / 관련기업

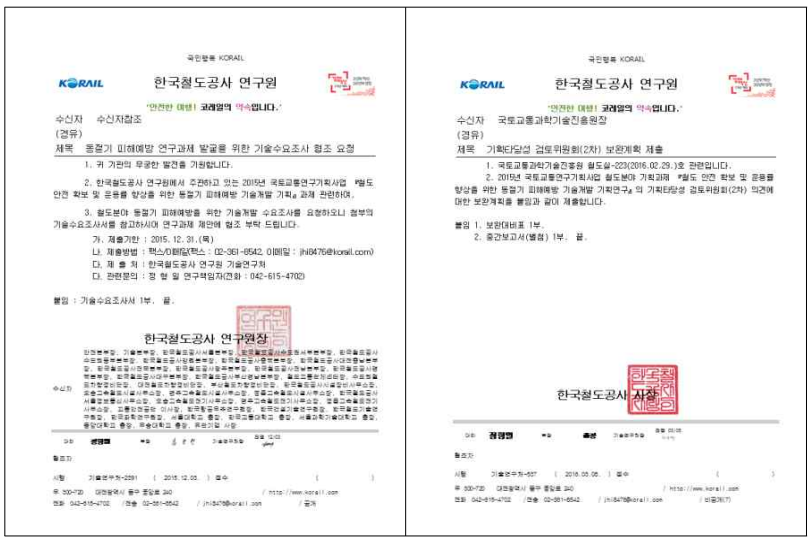


그림 90 기술수요조사 시행문서

표 42 Bottom-up 방식 도출과제명 및 주요내용

연번	과 제 명	대상분야
1	철도차량 결빙 제거장치 개발	철도차량 설빙방지 기술
2	동절기 기온 급강하에 대비한 열을 이용한 제빙기술 개발	철도차량 설빙방지 기술
3	동절기 철도차량 대차부 착설방지기술 개발	철도차량 설빙방지 기술
4	지능형 철도차량용 융설제어 핵심기술 및 융설설비 개발	철도차량 설빙방지 기술
5	인공지능 선로전환기 융설시스템 개발	선로전환기 장애예방 기술
6	열유동을 이용한 동절기 철도 선로전환기 장애예방 기술 개발	선로전환기 장애예방 기술
7	궤도노반 동상 저감용 배수설계 및 시공 기술 개발	선로동상 저감 유지보수 공법
8	선로동상 저감용 궤도노반 동상 진단 및 처리 기술 개발	선로동상 저감 유지보수 공법
9	매스틱 혼합물을 이용한 무다짐 아스팔트 재료 및 시공기술 개발	선로동상 저감 유지보수 공법
10	선로동상 예방을 위한 자갈궤도 고결화 기술개발	선로동상 저감 유지보수 공법
11	동절기 설빙에 따른 자갈비산 방지 기술 개발	기타 피해저감 기술
12	고속선 설빙피해 예방을 위한 고속철도차량용 창유리 유니트 성능향상 기술개발	기타 피해저감 기술
13	반응경화형 철도차량 차축보호재료의 국산화 연구	기타 피해저감 기술

- 분야별로 살펴보면 철도차량 설빙방지 기술 및 선로동상 저감 유지보수 공법분야에서 각각 4건으로 가장 많은 과제가 도출되었고, 기타 피해저감 기술분야에서 3건, 선로전환기 장애예방 기술분야에서 2건의 과제가 도출되었고 철도 선로 눈 방지 기술 및 전차선 장애예방 기술분야에서는 과제가 도출되지 않았음

그림 91 대상분야별 과제수(Bottom-up)

3. 대상과제 검토 및 우선순위 분석

가. 대상과제 검토

- Top-down과 Bottom-up 방식으로 대상분야별로 연구과제 총 29건을 도출하였고 과제내용을 분석하여 기술 분류를 시행하고 주요내용을 검토하였음

표 43 과제목록

연번	도출경로	과 제 명	분류	주요내용
1	Top-down	철도차량 착설 저감을 위한 형상변경 기술개발	철도차량 설빙방지 기술	Anti-icing 설계
2	Top-down	나노기술을 이용한 철도차량용 저점착 재료 기술개발	철도차량 설빙방지 기술	Anti-icing 재료
3	Top-down	진동장치를 이용한 철도차량용 De-icing장치 개발	철도차량 설빙방지 기술	진동De-icing
4	Top-down	열풍을 이용한 철도차량용 De-icing시스템 개발	철도차량 설빙방지 기술	열풍De-icing
5	Top-down	친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발	철도차량 설빙방지 기술	제빙액De-icing
6	Top-down	고압온수를 이용한 철도차량용 De-icing시스템 개발	철도차량 설빙방지 기술	고압온수De-icing
7	Bottom-up	철도차량 결빙 제거장치 개발	철도차량 설빙방지 기술	전기De-icing
8	Bottom-up	동절기 기온 급강하에 대비한 열을 이용한 제빙기술 개발	철도차량 설빙방지 기술	전기De-icing
9	Bottom-up	동절기 철도차량 대차부 착설방지기술 개발	철도차량 설빙방지 기술	착설현상 규명
10	Bottom-up	지능형 철도차량용 융설제어 핵심기술 및 융설설비 개발	철도차량 설빙방지 기술	De-icing 시스템
11	Top-down	선로 눈 날림 방지를 위한 스프링클러 시스템 개발	철도 선로 눈 방지 기술	제설설비 설계
12	Top-down	국내 동절기 기후조건을 고려한 제설차량 개발	철도 선로 눈 방지 기술	제설차량 개발
13	Top-down	Snow drift 예방을 위한 방설벽 설계기술 개발	철도 선로 눈 방지 기술	방설벽설계
14	Top-down	전차선 착빙 및 서리 예방을 위한 전차선로 해빙시스템 국산화 기술개발	전차선 장애예방 기술	전기De-icing
15	Top-down	화학적 제빙액을 이용한 전차선 Anti-icing기술 개발	전차선 장애예방 기술	제빙액Anti-icing
16	Top-down	선로전환기 장애 예방을 위한 방설설계 기술개발	선로전환기 장애예방 기술	방설장치 설계
17	Top-down	고압온수를 이용한 선로전환기용 De-icing시스템 개발	선로전환기 장애예방 기술	고압온수De-icing
18	Top-down	친환경 제빙액을 이용한 선로전환기용 Anti-icing 시스템 개발	선로전환기 장애예방 기술	제빙액De-icing
19	Bottom-up	인공지능 선로전환기 융설시스템 개발	선로전환기 장애예방 기술	De-icing 시스템
20	Bottom-up	열유동을 이용한 동절기 철도 선로전환기 장애예방 기술 개발	선로전환기 장애예방 기술	열풍De-icing
21	Top-down	선로동상 저감을 위한 궤도틀림 보정공법 개발	선로동상 저감 유지보수 공법	궤도틀림 보정
22	Top-down	선로동상 저감을 위한 비동상재료 치환다짐 공법 개발	선로동상 저감 유지보수 공법	단열재 시공
23	Bottom-up	궤도노반 동상 저감용 배수설계 및 시공 기술 개발	선로동상 저감 유지보수 공법	배수설계
24	Bottom-up	선로동상 저감용 궤도노반 동상 진단 및 처리 기술 개발	선로동상 저감 유지보수 공법	동상진단/처리
25	Bottom-up	매스틱 혼합물을 이용한 무다짐 아스팔트 재료 및 시공기술 개발	선로동상 저감 유지보수 공법	자갈궤도고결화(Masticasphalt)

연번	도출경로	과 제 명	분류	주요내용
26	Bottom-up	선로동상 예방을 위한 자갈궤도 고결화 기술개발	선로동상 저감 유지보수 공법	자갈궤도고결화(CAM)
27	Bottom-up	동절기 설빙에 따른 자갈비산 방지 기술 개발	기타 피해저감 기술	자갈비산방지 네트
28	Bottom-up	고속선 설빙피해 예방을 위한 고속철도차량용 창유리 유니트 성능향상 기술개발	기타 피해저감 기술	창유리 유니트
29	Bottom-up	반응경화형 철도차량 차축보호재료의 국산화 연구	기타 피해저감 기술	차축보호 코팅재

- 분야별로 살펴보면 철도차량 설빙방지 기술분야에서 10건으로 가장 많은 과제가 도출되었고, 선로동상 저감분야에서 6건, 선로전환기 장애예방 기술분야에서 5건 도출되었으며, 특히, 기타 피해저감 기술 분야는 동절기 눈과 얼음에 의한 직접적인 피해는 아니지만 설빙에 의해 발생하는 자갈비산 피해 저감을 위하여 피해부품 성능향상 개발과제, 자갈비산 방지 개발과제 등이 기술수요부서에서의 Needs로 조사되었음

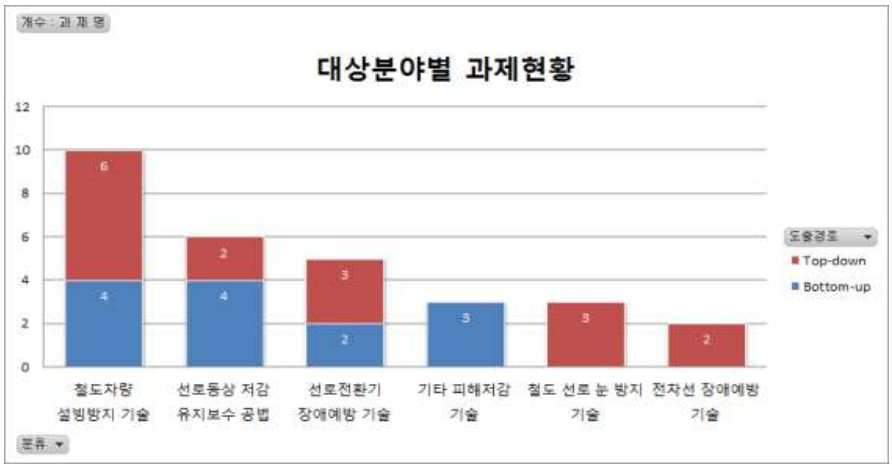


그림 92 대상분야별 과제현황

- 1차적으로 연구개발 내용을 수요부서 전문가 및 참여연구원들의 브레인 스토밍을 통하여 운영환경 적합성 및 도출과제간 중복성을 검토하였음

표 44 운영환경 적합성 및 중복성 검토 결과

연번	과 제 명	운영환경 적합성 및 중복성 검토(수요부서 전문가)
1	철도차량 착설 저감을 위한 형상 변경 기술개발	착설현상 규명 및 시뮬레이션 기술이 요구되어지므로 9번 과제와 연계 필요
2	나노기술을 이용한 철도차량용 저 점착 재료 기술개발	주요 착설부 규명을 위하여 9번 과제와 연계 필요
3	진동장치를 이용한 철도차량용 De-icing 장치 개발	JR동일본에서 신칸센 고속시험차량 FASTECH360를 사용하여 진동장치 설치를 시험하였으나 실효성 미흡하였고 진동이 차체 다른 기기장치에 영향을 미칠 우려가 있음

연번	과 제 명	운영환경 적합성 및 중복성 검토(수요부서 전문가)
4	열풍을 이용한 철도차량용 De-icing시스템 개발	단시간 제빙 가능하도록 열 유동 설계가 필요하며, 사용되는 공기는 전기장치에 유입될 것을 대비하여 완전히 건조되어야 하므로 제빙시간 및 건조시간 발생 시 운영환경에 적합하지 않을 것으로 판단됨
5	친환경 제빙액을 이용한 고속철도 차량용 고효율 De-icing 기술개발	화학적제빙액을이용하는방법은수분의분자사이를침투하여어는점을낮춰주는역할과열에너지의전환과정을 병행할 수 있으므로 물과 공기를 이용한 방법보다 효율적임
6	고압온수를 이용한 철도차량용 De-icing시스템 개발	고압온수를 이용한 방법은 잔존 수분 존재 시 얼음으로 변하여 눈의 축적을 야기하므로 완전 건조에 따른 시간이 소요되므로 국내 운영환경에 적합하지 않음
7	철도차량 결빙 제거장치 개발	9번 과제의 전기선이 없는 자체 발열 히팅바와 연계 가능
8	동절기 기온 급강하에 대비한 열을 이용한 제빙기술 개발	전기적 히팅기술을 이용한 기술은 철도차량의 급수장치, 제동장치, 승강문 등에 기 적용된 기술로서 자체발열 가능하도록 기술개발 시 효율적으로 제빙 가능할 것으로 판단됨
9	동절기 철도차량 대차부 착설방지 기술 개발	1, 2번 과제와 연계하여 개발기술의 효과를 극대화 가능할 것으로 판단됨
10	지능형 철도차량용 융설제어 핵심기술 및 융설설비 개발	5번 과제에 적용 시 기술개발 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 판단됨
11	선로 눈 날림 방지를 위한 스프링클러 시스템 개발	눈 날림 방지 효과를 위해 전 선로에 스프링클러 시스템을 설치할 경우 막대한 비용이 발생하므로 기술 실용화가 어려울 것으로 판단됨
12	국내 동절기 기후조건을 고려한 제설차량 개발	국내 운영환경 상 기관차용 제설 Plough 배치로 충분한 제설성능을 보유하고 있어 수요부서 Needs가 크지 않음
13	Snow drift 예방을 위한 방설벽 설계기술 개발	기술개발의 성격보다는 필요에 의한 적용의 문제로 판단됨
14	전차선 착빙 및 서리 예방을 위한 전차선로 해빙시스템 국산화 기술 개발	동절기 전차선 장애는 착빙 서리에 의한 장애보다 터널 내 고드름 성장에 의한 장애가 주요 피해로 나타나고 있는 실정이므로 수요부서 Needs가 크지 않음
15	화학적 제빙액을 이용한 전차선 Anti-icing기술개발	동절기 전차선 장애는 착빙 서리에 의한 장애보다 터널 내 고드름 성장에 의한 장애가 주요 피해로 나타나고 있는 실정이므로 수요부서 Needs가 크지 않음
16	선로전환기 장애 예방을 위한 방설설계 기술개발	선로전환기 부로 Snow drift 방지를 위한 설계기술은 겨울철 측풍이 심한 지역 등에 필요한 기술임
17	고압온수를 이용한 선로전환기용 De-icing시스템 개발	고압온수를 이용한 방법은 자갈도상 구간 적용 시 선로동상 등의 병발 문제를 유발 시킬 수 있고 국외에서도 콘크리트 도상의 배수설계가 되어 있는 구간에 적용하고 있는 실정이므로 국내 환경에 적용이 어려움
18	친환경 제빙액을 이용한 선로전환기용 Anti-icing 시스템 개발	화학적제빙액을이용하는방법은수분의분자사이를침투하여어는점을낮춰주는역할과열에너지의전환과정을 병행할 수 있으므로 물과 공기를 이용한 방법보다 효율적임
19	인공지능 선로전환기 융설시스템 개발	선로환경을 고려한 지능형 융설시스템은 기온, 적설 등의 검지를 통하여 자동으로 제어함으로써 유지보수 비용 저감에 효과가 클 것으로 판단되므로 타 De-icing 요소기술과의 연계 추진 필요
20	열유동을 이용한 동절기 철도 선로전환기 장애예방 기술 개발	열풍을 이용하는 방법은 텅레일과 기본레일간 설빙 개입 시 대응 가능할 것으로 판단됨
21	선로동상 저감을 위한 궤도틀림 보정공법 개발	동상 팽창압 흡수를 통한 궤도틀림 보정은 양호하지만 보정재의 혼합비율이 클수록 노반 지지력이 저하되므로 문제의 근본적인 해결이 어려움
22	선로동상 저감을 위한 비동상재료 치환다짐공법 개발	노반을 비동상 재료로 치환다짐함으로써 동상 저감효과는 양호한 것으로 알려져 있지만 단시간 시공이 어려우므로 국내 운영환경에 적합하지 않음
23	궤도노반 동상 저감용 배수설계 및 시공 기술 개발	강우 시 노반의 간극수압 저하에 효과적일 것으로 판단되나 분니 발생 시 배수불량 재발 가능하므로 여기에 대한 해결책 제시 필요

연번	과 제 명	운영환경 적합성 및 중복성 검토(수요부서 전문가)
24	선로동상 저감용 궤도노반 동상 진단 및 처리 기술 개발	선로동상이 발생하는 전 구간을 진단하기에는 막대한 비용이 발생하므로 기술 실용화가 어려울 것으로 판단됨
25	매스틱 혼합물을 이용한 무다짐 아스팔트 재료 및 시공기술 개발	자갈궤도 고결화는 노반 및 도상 내 수분 침투를 원천적으로 봉쇄함은 물론 유지보수비용 또한 저감 시킬 수 있을 것으로 판단되므로 고결재료의 효과성 판단을 포함하여 연계 필요
26	선로동상 예방을 위한 자갈궤도 고결화 기술개발	자갈궤도 고결화는 노반 및 도상 내 수분 침투를 원천적으로 봉쇄함은 물론 유지보수비용 또한 저감 시킬 수 있을 것으로 판단됨
27	동절기 설빙에 따른 자갈비산 방지 기술 개발	현재 적용중인 자갈비산방지네트의 현장적용성 향상을 위해 필요
28	고속선 설빙피해 예방을 위한 고속철도차량용 창유리 유니트 성능향상 기술개발	고속선 설빙피해 중 가장 빈번하고 대중에 불안감을 줄 수 있는 피해로서 기술개발이 시급히 필요함
29	반응경화형철도차량차축보호재료의 국산화연구	철도차량 차축 보호재는 수요부서에서 기술개발을 자체적으로 완료하여 유지보수 하고 있음

- 상기 검토결과를 토대로 과제 11건을 후보과제 우선순위 검토대상으로 선정하였음

표 45 검토대상 과제목록

연번	과 제 명
1	친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발
2	동절기 기온 급강하에 대비한 열을 이용한 제빙기술 개발
3	동절기 철도차량 대차부 착설방지기술 개발
4	선로전환기 장애 예방을 위한 방설설계 기술개발
5	친환경 제빙액을 이용한 선로전환기용 Anti-icing 시스템 개발
6	열유동을 이용한 동절기 철도 선로전환기 장애예방 기술 개발
7	궤도노반 동상 저감용 배수설계 및 시공 기술 개발
8	매스틱 혼합물을 이용한 무다짐 아스팔트 재료 및 시공기술 개발
9	선로동상 예방을 위한 자갈궤도 고결화 기술개발
10	동절기 설빙에 따른 자갈비산 방지 기술 개발
11	고속선 설빙피해 예방을 위한 고속철도차량용 창유리 유니트 성능향상 기술개발

나. 연구개발 우선순위 분석

1) 분석개요

- 동절기 피해예방 기술개발 기획과제의 우선순위 대상과제 11건에 대한 우선순위를 선정하기 위해 평가항목 선정 및 평가항목별 가중치를 산정함

- AHP 및 항목별 평가점수 산정을 토대로 설문조사지를 작성하여 전문가 15명에게 설문조사를 실시함

  – 설문조사는 항목별 가중치 산정을 위한 AHP설문과 과제에 대한 항목별 평가점수 산정조사를 병행하여 실시함

- 철도분야 전문가 설문조사를 통해 도출된 자료를 토대로 과제별 최종 점수를 도출하여 우선순위를 제시함

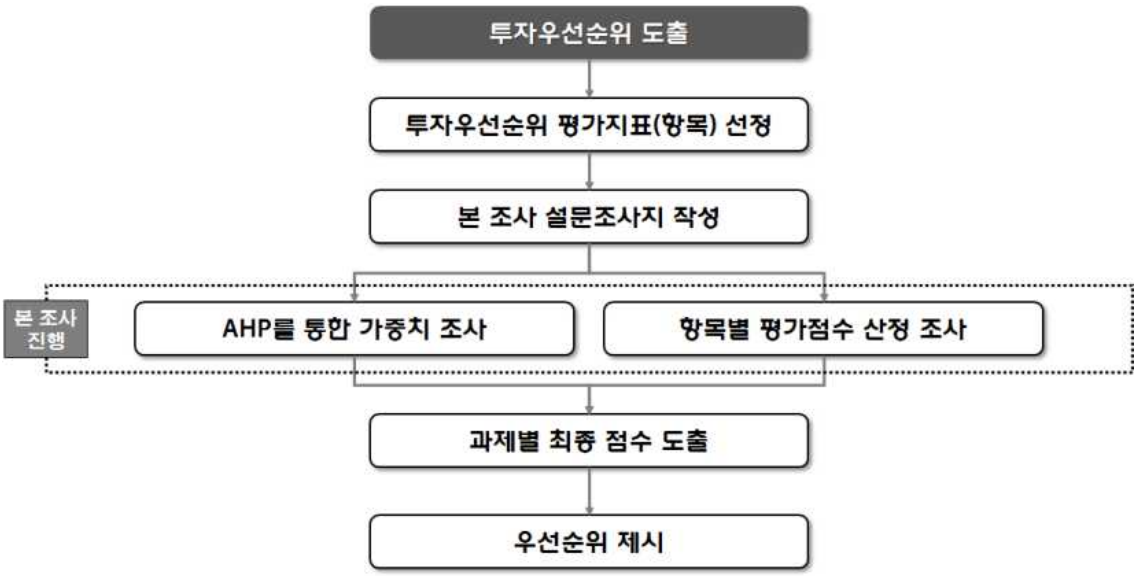


그림 93 설문조사 수행방법

2) 우선순위 평가항목 개발

가) 우선순위 평가항목 검토

- 『철도 안전 확보 및 운용률 향상을 위한 동절기 피해예방 기술개발 기획』과제의 우선순위를 평가하기 위해서는 우선 평가항목을 선정해야함

- 본 연구의 성격을 반영한 평가항목은 한국건설기술연구원에서 제시한 『도로기술 투자 우선순위[1)]』평가항목과 『국가 R&D 투자우선순위 설정 방법론 연구[2)]』에 제시된 투자우선순위 평가항목을 비교·분석 한 뒤, 제시하고자 함

- 한국건설연구원에서 제시한 『도로기술 투자 우선순위』 평가항목은 아래의 표와 같음
  - 예시 1의 경우 1계층으로 경제적, 사회적, 기술적 척도로 구성하고, 6개 하위 지표로 구성됨
  - 예시 2의 경우 경제성, 사업화 가능성, 정부정책 부합성, 기술개발 시급성, 해외진출 가능성 등 총 5개 항목으로 구성됨

표 46 한국건설기술연구원 예시1

제 1계층(항목)	제 2계층(지표)
경제적 척도	수익성
	성장성
사회적 척도	사회적 필요성
	시급성
기술적 척도	핵심기술 여부
	파급효과

표 47 한국건설기술연구원 예시2

제 1계층(항목)
경제성
사업화 가능성
정부정책 부합성
기술개발 시급성
해외진출 가능성

1) 『도로기술 투자 우선순위, 건설기술연구원, 2015』
2) 『국가 R&D 투자 우선순위 설정 방법론 연구, 한국과학기술기획평가원, 2011』

- 국가 R&D의 투자우선순위 설정 방법의 경우 『국가 R&D 투자우선순위 설정 방법론 연구』에 제시되어 있으며 항목은 아래의 표와 같음

  - 제 1계층으로 4가지 항목, 제 2계층으로 11가지 지표를 제시하고 있음

표 48 사업간 우선순위 도출과 관련된 AHP 평가항목

제 1계층 (항목)	제 2계층 (지표)	내 용
사업 추진 근거 및 원동력	주요 중장기 계획과의 정합성	· 국가수준, 부처수준에서 범부처적, 중장기적으로 수립한 계획
	추진 부처의 의지	· 예산요구 시 부처에서 제시한 투자우선순위
	의무추진사업 여부	· 정부가 일정기간에 총사업비를 확정한 총액계상사업 · 관련법에 의거하여 의무적으로 추진하여야 하는 법정의무 추진사업 등
사업내용의 타당성	사업목표의 명확성 및 달성가능성	· 사업 성과목표의 구체성 · 성과목표의 측정 가능성 · 성과목표의 달성 가능성
	예산규모의 적절성	· 기술내용/과제내용 대비 예산요구 규모의 적절성
	사업 내용의 적절성	· 기술적 타당성, 기술적 내용의 도전성, 사업목표와 하위사업 구성 간의 정합성
사업의 성과 및 파급효과	그간의 연구성과	· 전년도 목표달성도 및 그간의 관련 연구 성과 · 성과평가결과의 반영 등
	과학기술적 파급효과	· 전반적 지식의 증진 · 논문·특허 등 과학기술적 성과 확보 · 타 연구개발에 대한 파급효과 등
	경제·사회적 파급효과	· 사업화에 따른 경제성 확보 가능성 · 공공·복지 증진을 위한 사회적 파급효과 등
사업간 중복·연계 가능성	중복성	· 중복 우려가 있는 타 사업의 존재 여부
	연계가능성	· R&D 시너지 효과 창출을 위한 관련 사업과의 연계 가능성

- 한국건설기술연구원에서 제시한 『도로기술 투자 우선순위』 평가항목과 『국가 R&D 투자우선순위 설정방법론 연구』에 제시된 투자우선순위 평가항목을 비교하여 『철도 안전 확보 및 운용률 향상을 위한 동절기 피해예방 기술개발』 연구과제 우선순위 도출을 위한 평가항목을 제시하고자 함

- 선행연구와 한국건설기술연구원 제시 안에 대한 검토결과 본 사업에 적절한 평가항목을 제시함 대표적으로 기술에 대한 필요성과 타당성, 경제성, 공공성으로 구분 가능함

표 49 항목간 비교표

건설기술연구원 예시 1		건설기술연구원 예시 2	국가연구사업 우선순위 판단 평가항목	
제 1계층 (항목)	제 2계층 (지표)	제 1계층 (항목)	제 1계층 (항목)	제 2계층 (지표)
경제적 척도	수익성	경제성	사업 추진 근거 및 원동력	주요 중장기 계획과의 정합성
				추진 부처의 의지
	성장성	사업화 가능성		의무추진사업 여부
사회적 척도	사회적 필요성		사업 내용의 타당성	사업목표의 명확성 및 달성가능성
		정부정책 부합성		예산규모의 적절성
	시급성			사업 내용의 적절성
기술적 척도	핵심기술 여부	기술개발 시급성	사업의 성과 및 파급효과	그간의 연구성과
				과학기술적 파급효과
				경제·사회적 파급효과
	파급효과	해외진출 가능성	사업간 중복·연계 가능성	중복성
				연계가능성

나) 우선순위 평가항목 선정

- 『국가 R&D 투자우선순위 설정 방법론 연구』에 제시된 투자우선순위 항목 및 한국건설기술연구원에서 제시한 『도로기술 투자 우선순위』평가항목을 토대로 최종 평가항목을 선정함.

- 평가항목은 기술의 필요성, 기술의 타당성, 기술의 경제성, 기술의 공공성 등 총 4가지 항목으로 구성됨

그림 94 투자우선순위 평가항목 선정

표 50 사업간 우선순위 도출과 관련된 AHP 평가항목

구 분		작 성 내 용
1계층	2계층	
기술의 필요성	사회적 필요성	· 해당 개발기술의 사회적 요구와의 부합성 및 적절성
	정책 부합성	· 국가수준, 부처수준에서 범부처적, 중장기적으로 수립한 계획과의 정합성 · 기관의 전략 추진계획과의 부합성
기술의 타당성	기술목표의 명확성 및 개발 가능성	· 사업 성과목표의 구체성과 기술개발 가능성
	핵심기술 보유여부	· 보유기술 및 달성하고자 하는 기술과의 연계성
기술의 경제성	과학·기술적 파급효과	· 지식의 증진, 논문 · 특허 등 과학기술적 성과, 타 연구개발에 대한 파급효과 등
	사회·경제적 파급효과	· 사업화에 따른 경제성 , 공공 · 복지 증진을 위한 사회적 파급효과 등
	상용화 및 사업화 가능성	· 개발기술의 상용화 및 사업화 가능성 등
기술의 공공성		· 공공자본투입의 적합성 – 본 사업이 민간이 아닌 공공에서 투자하고 개발해야하는 필요성 등

3) 우선순위 설문조사

가) 설문조사 개요

- 본 설문조사는 크게 AHP조사와 과제·항목별 평가점수 산정조사로 나뉘며, 두 설문이 동시에 이루어짐
- 조사기간은 2016년 3월 중 10일 소요
- 조사대상은 철도분야 전문가 15명을 대상으로 설문조사 진행
- 전문가들의 E-mail을 통해 설문조사지 배포 후 필요시 유선 상담 진행
- 조사 분석기간은 약 1주일 소요
  - AHP 조사 분석은 Expert Choice 프로그램 활용
  - 과제·항목별 평가점수 산정조사 분석은 Excel 활용

표 51 설문조사 개요

구 분	AHP 조사	항목별 평가점수 산정 조사
조사기간	2016년 3월 (10일간)	
조사대상	철도분야에 종사하는 분야별 전문가 15명 (한국철도공사(5), 연구계/학계(5), 산업계(5))	
조사방법	E-mail 배포 및 회수 (필요시 유선 상담)	
분석도구	Expert Choice 활용	Excel 활용
분석기간	약 1주일 소요	

나) 분석 방법

- 본 설문조사는 크게 항목간 가중치 설정을 위한 AHP 조사와 과제·항목별 평가점수 산정 조사로 나뉨
- AHP(Analytic Hierarchy Process)는 의사결정의 목표, 또는 평가기준이 다수이며 복합적인 경우 상호 배반적인 대안들의 체계적인 평가를 지원하는 의사결정지원기법의 하나임

- 1970년대 초 Pennsylvania 대학의 Thomas Saaty 교수가 미 국무부의 무기통제 및 군비축소국에서 세계적 경제학자, 게임이론 전문가들과 협력 작업을 하는 과정에서 의사결정과정의 비능률을 개선하기 위한 대안의 일환으로 개발함

- AHP의 특징으로는 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인들로 분해하고, 이러한 요인들에 대한 쌍대비교(雙對比較: Pairwise Comparison)를 통해 중요도를 도출하는데 있음

- AHP를 통한 의사결정은 일반적으로 6단계를 거치게 되며, AHP 분석단계를 요약하면 아래 그림과 같음

- 첫 번째 단계는 목표의 설정 및 의사결정요소를 도출해야함

  - 브레인스토밍, 문헌조사, 전문가 의견수렴 등을 통하여 판단의 목표(Goal)를 정의하고, 판단의 대상이 되는 대안(Alternatives)들을 도출한 후, 각 대안들을 판단하기 위한 적합한 판단기준(Criteria)들을 도출함

- 두 번째 단계는 의사결정모델을 설정해야 함

  - 목표, 판단기준, 하위판단기준, 대안 등 의사결정요소 모두를 포함하는 계층구조의 형태로 의사결정 모델(Decision Hierarchy)을 구축하며, 다양한 다른 요소(행위자, 시나리오 등)등을 포함시킬 수도 있음

  - 이 때 동일한 판단기준에 대하여 비교될 대상이 9개를 넘지 않도록 권고하고 있음

  - 예를 들어, 목표에 대하여 비교될 최상위 판단기준의 수가 9개를 넘지 않도록 하거나, 특정 최상위 판단기준에 대하여 비교될 하위 판단기준의 수가 9개를 넘지 않도록 함

- 세 번째 단계는 쌍대비교를 통해 요소들을 판단하여야 함

  - 각 의사결정 요소들이 상위요소에 대하여 얼마나 중요한지 또는 선호되는지 등을 1:1 쌍대비교를 통하여 판단함

  - 즉 목표에 대하여 상위 판단기준을, 상위 판단기준에 대하여 하위 판단기준을 하위 판단기준에 대하여 대안들을 판단하며, 가능한 한 많은 사실적 자료를 활용하고 지식, 경험, 직관 등을 활용하여 문제의 정성적 부분까지도 판단함.

  - 이때 1점에서 9점까지의 척도를 사용하며, 그 다음에 고유치 벡터법을 이용해 요소들의 가중치를 구함

  - 마지막으로 각 레벨에서 구한 요소들의 가중치를 상위레벨에서 하위레벨로 곱하여 의사결정 대안에 대한 최종 가중치를 산출하게됨

- 네 번째 단계는 논리적 일관성을 검증해야함.

- 분석적 사고의 다음단계는 의사결정 참여자(또는 설문응답자)들의 판단이 얼마나 논리적 일관성을 유지하는가를 판단하는 것으로 쌍대비교를 통한 요소들에 대한 판단 결과에 대하여 비일관성비율을 확인함으로써 논리적 일관성을 개선함.

- 실험과 검증 결과, 비일관성지수가 0.1을 넘는 경우에는 판단의 비일관성이 수용할 수 있는 수준을 넘는 것으로 판단함.

- 따라서 비일관성지수가 0.1보다 높은 경우에는 쌍대비교 결과를 재검토, 비논리적 부분의 판단을 수정 또는 삭제하는 것이 필요함.

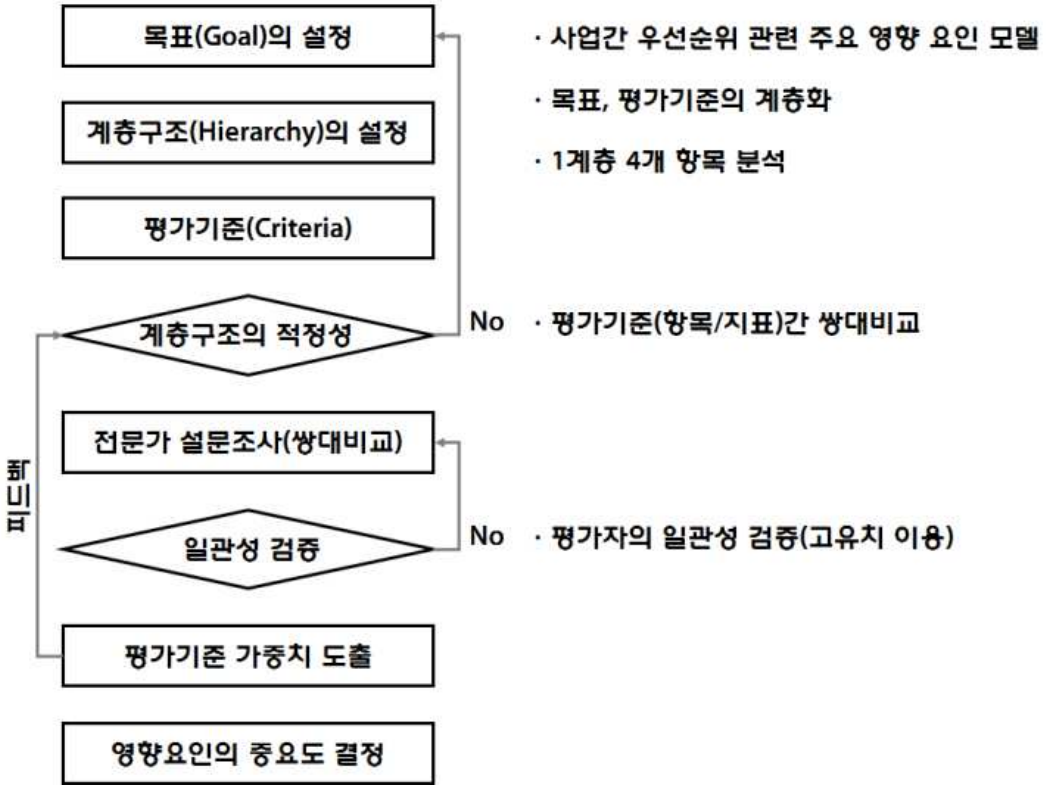


그림 95 AHP 분석단계

- 아래 표와 같이 11개의 조사대상 과제에 대해 7점 척도를 이용하여 각 항목별 점수를 산정함

표 52 평가대상 과제 리스트

구 분	과제내용
1	· 친환경 제빙액을 이용한 고속철도 차량용 고효율 De-icing 기술개발 - 고속철도차량 대차부 착설의 실시간 검지를 통하여 지능형으로 제빙할 수 있는 교효율 De-Icing 시스템 및 친환경 제빙액(De-Icing Fluid) 제조기술 개발
2	· 동절기 기온 급강하에 대비한 열을 이용한 제빙기술 개발 - 철도차량에 부착된 착설로 인한 결빙을 제거하기 위한 자체 발열장치 개발
3	· 철도차량 대차부 착설방지기술 개발 - 동절기 철도 설빙피해의 원인이 되는 철도차량 대차부 착설 현상을 규명하고, 이를 방지 완화할 수 있는 기술의 개발
4	· 선로전환기 장애 예방을 위한 방설설계 기술개발 - Snow Drift에 의한 선로전환기 장애 예방을 위한 방설 Spoiler 설계 및 제작기술 개발
5	· 친환경 제빙액을 이용한 선로전환기용 Anti-icing 시스템 개발 - 설비환경에 따라 제어되는 인공지능 선로전환기 융설시스템 개발 및 친환경 제빙액을 적용하여 기존 선로전환기 히팅장치 대비 전기사용량 50% 이하 절감
6	· 열유동을 이용한 동절기 선로전환기 장애예방 기술개발 - 동절기 강설, 결빙에 의한 피해가 없는 고신뢰성, 고효율 분기부 장애예방 기술 개발
7	· 궤도노반 동상 저감용 배수설계 및 시공 기술 개발 - 동상 저감용 궤도하부 배수층 설계법 및 시공지침 개발
8	· 매스틱 혼합물을 이용한 무다짐 아스팔트 재료 및 시공기술 개발 - 동상방지층 설치를 위한 매스틱 아스팔트 혼합물 재료 및 시공법 개발 ☞ 무다짐 고유동성 매스틱 아스팔트 혼합물 개발 ☞ 운행시간 내 설치를 위한 쾌속 시공법 개발
9	· 선로동상 예방을 위한 자갈궤도 고결화 기술개발 - 동절기 선로동상 저항성 확보 및 유지보수 최소화를 위한 기존 자갈도상궤도 고결화용 시멘트 유화아스팔트 모르타르(Cement Asphalt Mortar(CAM)) 재료 및 시공기술 개발
10	· 동절기 설빙에 따른 자갈비산 방지 기술개발 - 동절기 고속차량 운행 중 착설 및 빙설 낙하로 인해 비산되는 자갈로 인한 차량 파손 및 피해를 막기 위해, 개선된 신형 스크린매트(PS-SM)를 적용
11	· 고속선 설빙피해 예방을 위한 고속철도 차량용 유니트 성능향상 기술개발 - 동절기 고속차량 착설에 의한 자갈비산 피해 저감을 위하여 내충격성 및 유지보수성을 감안한 고속차량용 유리창 유니트 개발

다) 분석 결과

- 설문조사 기초 통계 분석 결과 총 15명의 대상자중 15명 전원이 응답하여 100.0%의 응답률로 나타남

  – 한국철도공사, 연구계/학계, 산업계로 나누었을 때 응답률은 각각 100%로 전원 응답한 것으로 나타남

표 53 설문조사 기초 결과

구분	한국철도공사	연구계/학계	산업계	계
대상자 수 (명)	5	5	5	15
응답자 수 (명)	5	5	5	15
응답률 (%)	100.0	100.0	100.0	100.0

- 각 항목별 가중치 산정을 위한 AHP 설문조사 분석을 실시함.
- 비일관성지수[3]가 0.1이 넘는 응답자는 논리적 일관성을 유지하지 못한다고 판단하여 제외함

  – 그 결과 비일관성지수는 0.070으로 나타났으며, 본 설문결과는 논리적 일관성을 유지함

- 기술의 필요성이 33.0%로 가중치가 가장 높게 나타났으며, 기술의 타당성·기술의 경제성, 기술의 공공성 순으로 분석됨

표 54 AHP 분석 결과(최종)

구 분	기술의 필요성	기술의 타당성	기술의 경제성	기술의 공공성	비일관성지수
평균 (Average)	33.0%	25.0%	25.0%	17.0%	0.070

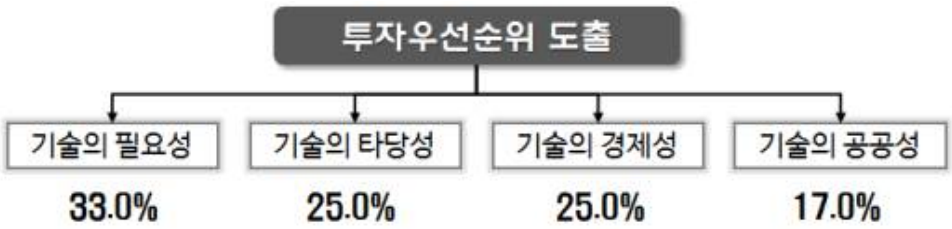


그림 96 AHP 분석 결과(최종)

3) 비일관성지수가 0.1이 넘을 경우에는 판단의 비일관성이 수용할 수 있는 수준을 넘은 것으로 판단함.

- AHP 설문조사를 통해 도출된 항목별 가중치를 토대로 과제별 점수를 산정함
- 최종점수 산정은 항목별 점수와 가중치를 곱하여 합산하였으며, 각 전문가 별로 산정된 과제별 점수의 평균값을 100점 만점으로 환산하여 분석함
- 그 결과 1번 과제의 점수가 가장 높은 것으로 분석되었으며, 3번, 6번, 5번 순으로 평가점수가 높은 것으로 나타남

표 55 과제별 최종 우선순위 결과

순 위	과제내용	점 수
1	친환경 제빙액을 이용한 고속철도 차량용 고효율 De-icing 기술개발	75.05
2	동절기 기온 급강하에 대비한 열을 이용한 제빙기술 개발	56.11
3	철도차량 대차부 착설방지기술 개발	71.98
4	선로전환기 장애 예방을 위한 방설설계 기술개발	64.82
5	친환경 제빙액을 이용한 선로전환기용 Anti-icing 시스템 개발	66.60
6	열유동을 이용한 동절기 선로전환기 장애예방 기술개발	70.06
7	궤도노반 동상 저감용 배수설계 및 시공 기술 개발	54.43
8	매스틱 혼합물을 이용한 무다짐 아스팔트 재료 및 시공기술 개발	45.34
9	선로동상 예방을 위한 자갈궤도 고결화 기술개발	49.92
10	동절기 설빙에 따른 자갈비산 방지 기술개발	56.97
11	고속선 설빙피해 예방을 위한 고속철도 차량용 유니트 성능향상 기술개발	53.44

평 균	60.43	표준편차	9.75

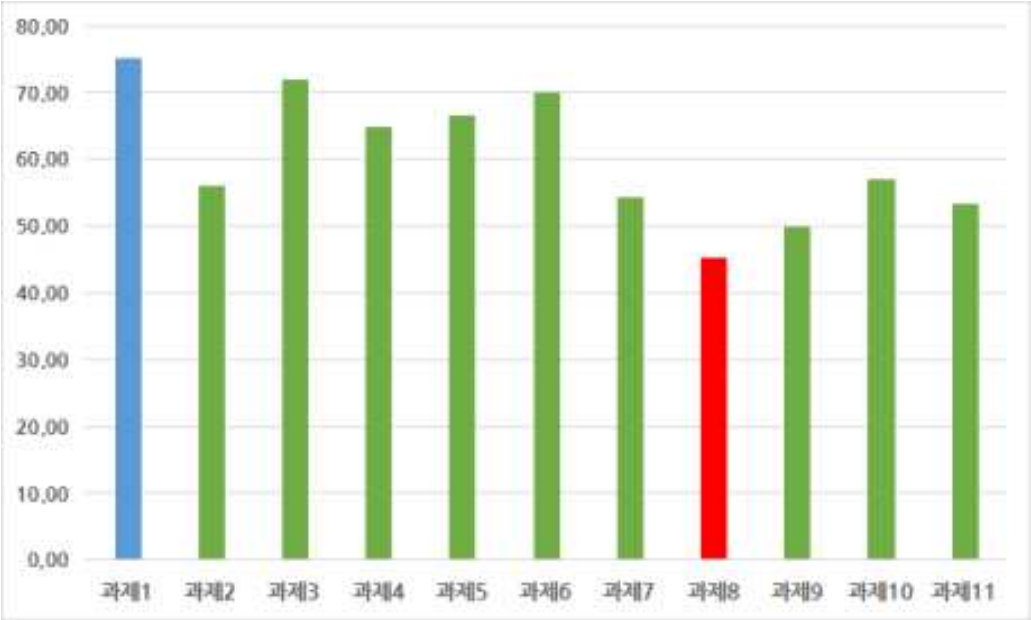


그림 97 과제별 최종 우선순위 결과

- 그 밖의 기타의견으로 몇몇 분들께서 『철도 안전 확보 및 운용률 향상을 위한 동절기 피해예방 기술개발』 연구과제 투자우선순위에 대한 의견을 작성하였으며, 내용은 아래 표와 같음

  - 전문가 의견 검토 결과 열차 안전운행 및 시설물 파손 예방에 큰 비중을 두어 생각하는 것으로 판단됨

  - 본 연구의 결과 및 전문가 의견을 반영하여 향후 연구추진이 필요함

표 56 전문가 기타 의견

전문가	내 용
한국철도공사2	· 향후 파급효과보다는 현재 열차 안전운행 및 시설물 파손 예방에 우선순위를 두어야 함.
한국철도공사3	· 분야(차량·시설·전기)별로 3-4개 세부과제가 선정되었지만 상당부분 중요한 과제라 판단됨. · 예산부족으로 몇 개의 과제를 선정할 시는 분야(차량·시설·전기)에서 가장 중요한 과제가 고루 선정되어야 함. · 그 중에서도 현재 공사에서 운영 및 유지관리에 가장 어려움이 많은 부분을 해결할 수 있는 과제가 최종 선정되기를 바람.
한국철도공사4	· 안전한 열차 운행을 위한 선로변 시설물에 대한 운행 안정성 향상 기술연구 필요 - 선로전환기 등 동결대책 · 철도차량 운행특성을 고려한 정비기지 및 주박지에 대한 설빙대책 기술연구 필요 - 착설된 설빙제거 설비 등 · 열차 운영환경을 고려한 열차피해 최소화 기술연구 필요 - 결빙 및 폭설구간 사전예고 방안, 고객편의성을 고려한 열차감속운행 타당성 검증 연구 등 · 철도차량 부품에 대한 동절기 기후변화에 적용 가능한 대체품 기술개발 연구 - 착설방지를 고려한 개선부품 등)·
연구계/학계1	· 동절기의 눈, 혹한 등 자연현상의 이해와 극복을 가능하게 하기 위한 원천, 핵심기술 투자 필요

2절 기술개발전략 수립

1. 비전 및 목표 설정

가. SWOT분석

- 철도분야 동절기 피해예방기술의 개발을 위하여 관련된 내·외부 환경을 분석하고 강점(Strength), 약점(Weakness), 기회(Opportunity), 위협(Threat) 요인을 규정하며 이를 토대로 SO전략, ST전략, WO전략, WT전략 분석을 동시에 시행하여 기술개발 전략의 방향을 설정

- 내부역량의 강점으로서 세계5번째의 고속철도 운영경험, 세계 최고 수준의 정시성 및 안정성(UIC 통계 기준) 및 동절기 철도시설 기능유지 및 안전관리에 대한 국내의 정책적인 관심이 증대되는 추세를 들 수 있음

- 내부역량의 약점으로서 철도산업 전반의 기술수준이 선진국 대비 저조한 점, 동절기 피해의 한시적인 특성으로 인하여 인력 위주의 동절기 피해예방은 경영 효율화에 약영향을 미침

- 외부환경의 기회로는 외국에서도 지속적으로 동절기 피해가 발생하고 있고, 특히 동절기 기후조건이 가혹한 북유럽, 중국 러시아 등의 국가는 아직 고속철도 운영경험이 부족하며, 북극진동 현상에 의한 북반구의 이상기후 현상이 빈번해지고 있으며, 세계적으로도 기후변화 협약 대응의 일환으로 철도투자가 증대 추세에 있는 점 등을 들 수 있음

- 외부환경의 위협으로는 동절기 피해 발생에 따라 세계 주요 국가에서 기술개발 관심이 증대되고 있고 특히, 중국의 해당분야 기술력이 급성장하고 있으며, 세계적으로 미래 기술개발은 환경보호가 기본적인 요구사항임

그림 98 SWOT 분석

나. 비전 및 목표

- SWOT 분석 결과를 토대로 동절기 철도 안전 확보, 동절기 철도시스템 기능 유지, 동절기 피해 저감 등을 주된 키워드로 하여 비전과 목표 설정
- 실제 운영환경에서 발생하고 있는 동절기 피해의 효율적인 예방과 국가R&D 과제화 등 실행가능성 증진을 위해 고속선 설빙피해, 선로전환기 장애 등 동절기 피해를 기반으로 과제를 도출하고 국토교통부 등 상위 계획과의 정책 일관성 유지할 수 있도록 목표 설정

그림 99 비전 및 목표

2. 기술개발 로드맵

- 현실문제 해결을 위하여 실용화 중심의 기술개발 방향을 설정하여 5년간의 기술개발을 통하여 단기적으로 국내에서 발생하고 있는 동절기 피해를 저감시키고 나아가 향후 남북철도 연결 정책 재개 시 개발기술의 적용으로 기술개발 효과의 증대는 물론, 북유럽, 중국, 러시아 등 동절기 극한 기후를 가지고 있지만 고속철도 운영경험이 부족한 나라에 기술 수출을 추진할 수 있도록 기술개발 로드맵 작성

그림 100 기술개발 로드맵

3절 연구개발과제 구성 및 정의

1. 연구개발과제 구성

- 동절기 피해예방 기술개발 과제는 3개의 핵심과제로 구성하며, 총괄부처는 국토교통부, 전문연구기관으로 국토교통과학기술진흥원, 그리고 과제의 지원을 위해 자문위원회를 구성하여 운영
- 각 핵심과제는 다음과 같이 3건으로 구성.

– 핵심과제 1 : 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발

– 핵심과제 2 : 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

– 핵심과제 3 : 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

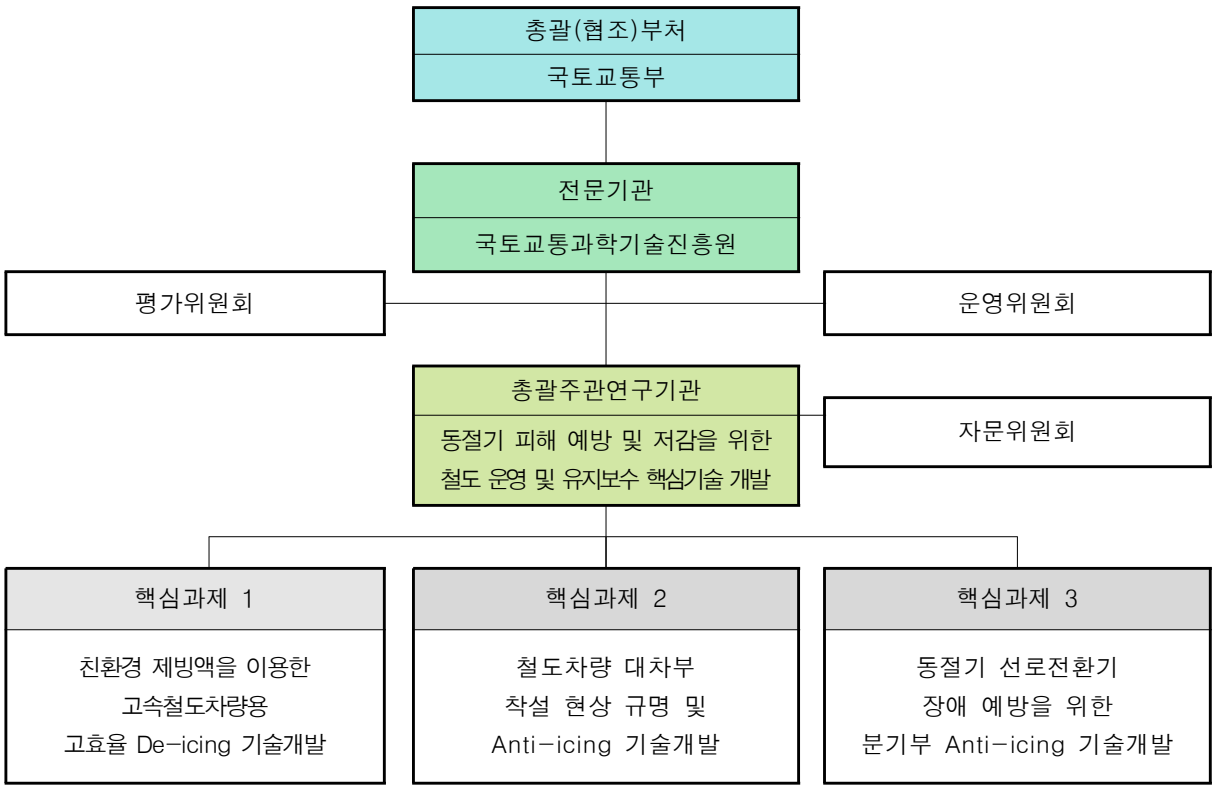


그림 101 동절기 피해예방 기술개발 과제 구성체계

2. 연구개발과제 정의

가. 연구개발 과제명

- 동절기 철도교통 안전 확보 및 기능 유지를 위한 핵심기술 개발

나. 연구개발 주요내용

- 고속선 설빙피해 저감을 위한 고속철도차량용 De-icing 시스템, 착설방지용 코팅제 개발 및 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 시스템 개발

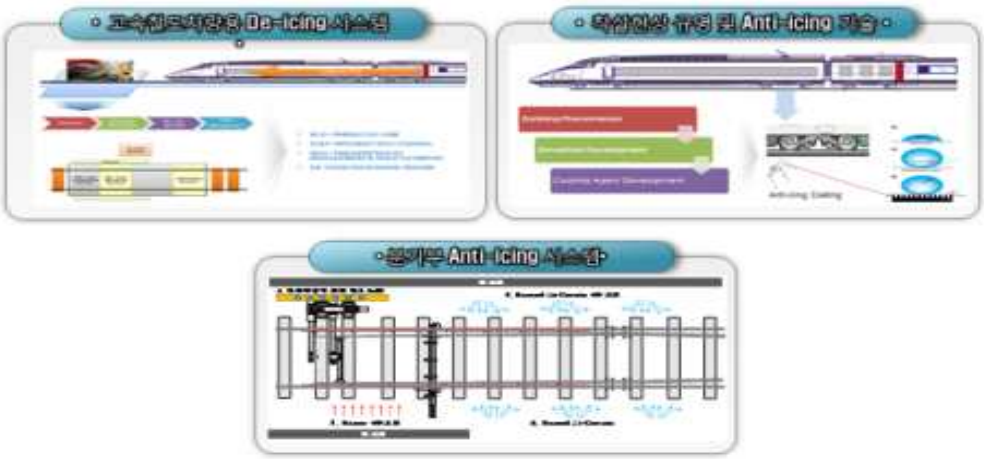
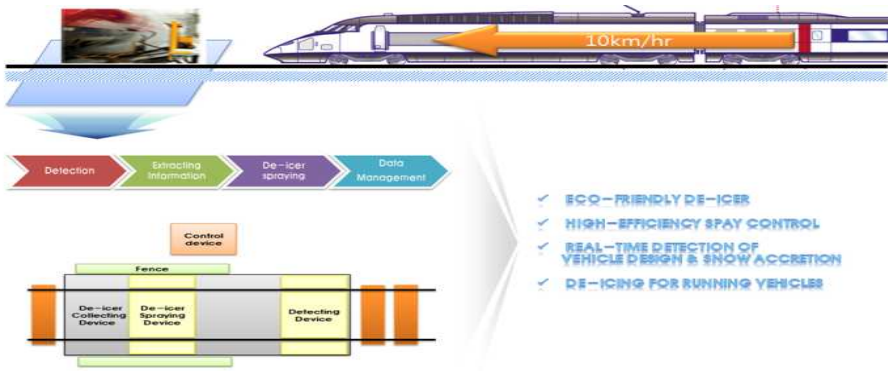


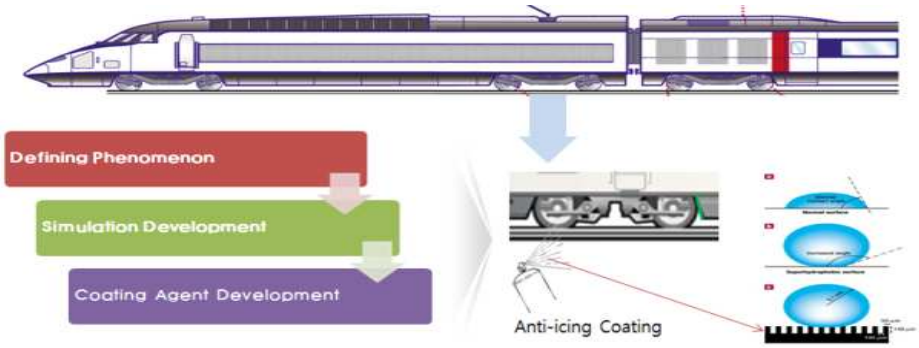
그림 102 개념도

다. 과제별 주요내용

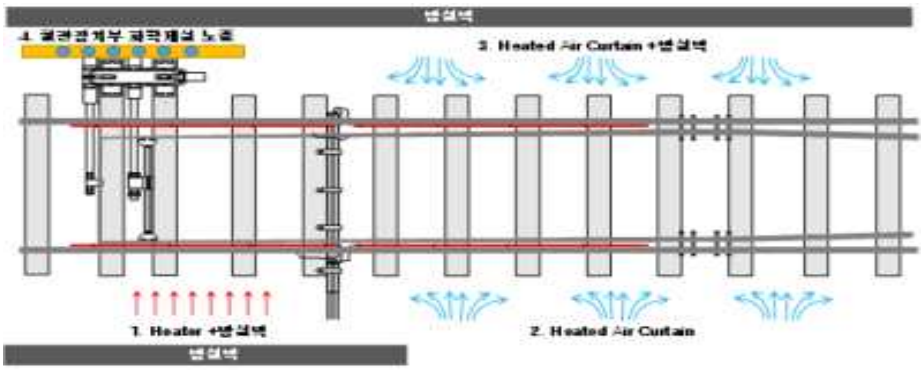
- 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발

개발목표	○ 고속철도차량 대차부 착설의 실시간 검지를 통하여 지능형으로 제빙할 수 있는 고효율 De-icing 시스템 및 친환경 제빙액(De-icing Fluid) 최적화 기술 개발
주요 연구내용	○ 고속철도차량 하부 주요 착설부 검지 및 분사제어 자동화 기술개발 ○ Biodegradable 고효율 De-icing Fluid 최적화 및 성능검증 기술개발 ○ 고속철도차량용 De-icing 시스템 고효율 분사 기술개발 ○ 운영환경에 적합한 고속철도차량용 De-icing 시스템 제작 및 성능검증 기술개발
기술개발방향성	○ 10km/h 이하 속도 주행 중 제빙 가능한 De-icing 시스템 ○ 철도 운영환경에 영향을 미치지 않는 친환경 고효율 제빙액(어는점 : -20℃) ○ 고속차량 착설 검지 및 제빙의 자동화
개념도	

철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

개발목표	○ 철도차량 대차부 착설현상 규명하여 차량 설계에 반영할 수 있는 시뮬레이션 기술 및 고내구성 착설방지 재료 개발
주요 연구내용	○ 동절기 고속선 설빙피해의 원인이 되는 철도차량 대차부 착설 모델링 ○ 착설 해석 시뮬레이션 기술 개발 및 성능 검증 ○ 착설 방지 재료 개발 및 성능 검증 ○ 개발된 설빙 시뮬레이션 기술을 통한 착설 방지 형상 설계
기술개발방향성	○ 철도차량 대차부 착설현상 시뮬레이션(최대 착설위치 오차범위 : 15cm) ○ 지속성을 가지는 철도차량용 착설방지 코팅제(최소 성능유지기간 : 3month)
개념도	

동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

개발목표	○ 동절기 강설, 결빙에 피해가 없는 고신뢰성, 고효율 분기부 장애예방 기술 개발
주요 연구내용	○ 동절기 분기부 장애 원인 분석 및 해석기술 비교·검토 ○ Anti-icing 선로전환기 시스템 개념 정립 및 요소기술(열유동 & 화학적 제빙 Hybrid) 개발 ○ 분기부 Anti-icing 시스템 제작 및 성능검증 기술 ○ 분기부 Anti-icing 시스템 운영환경 적합성 검증
기술개발방향성	○ 동절기 선로전환기 동작부 결빙 방지(레일 표면온도 -25℃) ○ 기존 융설장치 대비 융설성능 향상(적설량 30cm/day) ○ 사용 에너지 효율성 향상
개념도	

3. 연구개발과제 중복성 검토

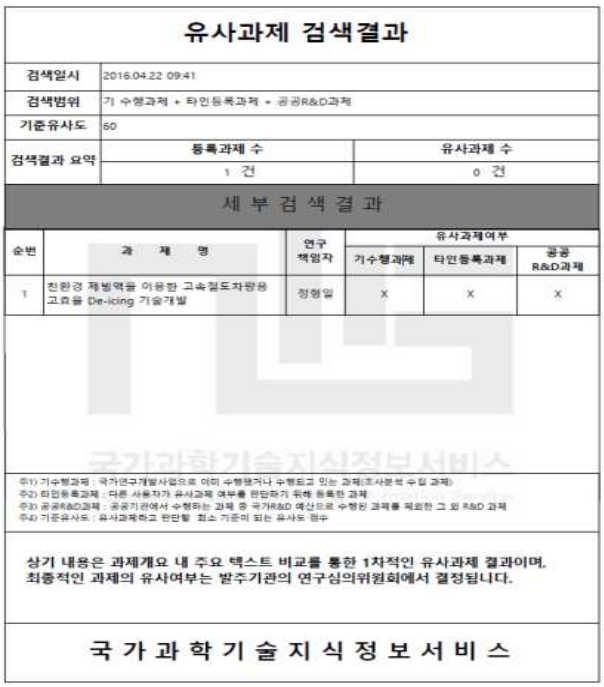
- 국토교통연구개발사업 관리지침에 의거하여 정부출연 연구과제의 과제 중복성 검토를 위하여 도출된 3개 과제를 대상으로 국가과학기술지식정보서비스(National Science & Technology Information Service)의 유사과제 검토과정을 수행

- 개별과제별 연구명, 연구목표, 연구내용, 기대효과, 키워드(한/영) 등을 입력하여 기수행과제, 타인등록과제, 공공R&D과제와의 비교, 검토를 통하여 유사과제 여부 판단

그림 103 중복성 검토절차

가. 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발

- 핵심과제 1에 대한 유사과제 검색을 완료한 결과, 기수행과제, 타인등록과제, 공공R&D과제 중 유사한 과제가 검색되지 않았음



유사과제 검색결과

검색일시	2016.04.22 09:41
검색범위	기 수행과제 + 타인등록과제 + 공공R&D과제
기준유사도	60

검색결과 요약	등록과제 수	유사과제 수
	1 건	0 건

세 부 검 색 결 과

순번	과 제 명	연구책임자	유사과제여부		
			기수행과제	타인등록과제	공공 R&D과제
1	친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발	정형일	X	X	X

주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행됐거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제)
주2) 타인등록과제 : 다른 사용자가 유사과제 여부를 판단하기 위해 등록한 과제
주3) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제
주4) 기준유사도 : 유사과제라고 판단할 최소 기준이 되는 유사도 점수

상기 내용은 과제개요 내 주요 텍스트 비교를 통한 1차적인 유사과제 결과이며, 최종적인 과제의 유사여부는 발주기관의 연구심의위원회에서 결정됩니다.

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

그림 104 유사과제 검색결과(핵심과제1)

나. 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

- 핵심과제 2에 대한 유사과제 검색을 완료한 결과, 기수행과제, 타인등록과제, 공공 R&D과제 중 유사한 과제가 검색되지 않았음

유사과제 검색결과

검색일시	2016.04.22 09:52
검색범위	기 수행과제 + 타인등록과제 + 공공R&D과제
기준유사도	60
검색결과 요약	등록과제 수: 1 건 / 유사과제 수: 0 건

세 부 검 색 결 과

순번	과 제 명	연구책임자	유사과제여부		
			기수행과제	타인등록과제	공공 R&D과제
1	철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발	정형일	X	X	X

주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행했거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제)
주2) 타인등록과제 : 타본 사용자가 유사과제 여부를 판단하기 위해 등록한 과제
주3) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제
주4) 기준유사도 : 유사과제라고 판단할 최소 기준이 되는 유사도 점수

상기 내용은 과제개요 내 주요 텍스트 비교를 통한 1차적인 유사과제 결과이며, 최종적인 과제의 유사여부는 발주기관의 연구심의위원회에서 결정됩니다.

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

그림 105 유사과제 검색결과(핵심과제2)

다. 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

- 핵심과제 3에 대한 유사과제 검색을 완료한 결과, 기수행과제, 타인등록과제, 공공 R&D과제 중 유사한 과제가 검색되지 않았음

유사과제 검색결과

검색일시	2016.04.22 09:57
검색범위	기 수행과제 + 타인등록과제 + 공공R&D과제
기준유사도	60
검색결과 요약	등록과제 수: 1 건 / 유사과제 수: 0 건

세 부 검 색 결 과

순번	과 제 명	연구책임자	유사과제여부		
			기수행과제	타인등록과제	공공 R&D과제
1	동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발	정형일	X	X	X

주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행했거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제)
주2) 타인등록과제 : 타본 사용자가 유사과제 여부를 판단하기 위해 등록한 과제
주3) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제
주4) 기준유사도 : 유사과제라고 판단할 최소 기준이 되는 유사도 점수

상기 내용은 과제개요 내 주요 텍스트 비교를 통한 1차적인 유사과제 결과이며, 최종적인 과제의 유사여부는 발주기관의 연구심의위원회에서 결정됩니다.

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

그림 106 유사과제 검색결과(핵심과제3)

제5장 연구과제 상세기획

1절 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발

1. 과제 개요

- 연구개발 목표

  - 고속철도차량 대차부 착설의 실시간 검지를 통하여 지능형으로 제빙할 수 있는 고효율 De-icing 시스템 및 친환경 제빙액(De-icing Fluid) 최적화 기술 개발

- 기술개발 방향성

  - 10km/h 이하 속도로 운행 중 제빙 가능한 De-icing 시스템
  - 철도 운영환경에 영향을 미치지 않는 친환경 고효율 제빙액(어느점 : -20℃)

    * 설정근거 : AMS1424H De-icing/Anti-icing Fluid Aircraft SAE Type I

  - 고속차량 착설 검지 및 제빙의 자동화

- 연구개발 기간 및 연구비

  - 연구개발 기간 : 5년
  - 연구비 : 50억원(정부출연금)

- 최종 성과물(TRL : 7)

  - 고속철도차량용 De-icing 시스템
  - 고속철도차량용 친환경 De-icing Fluid

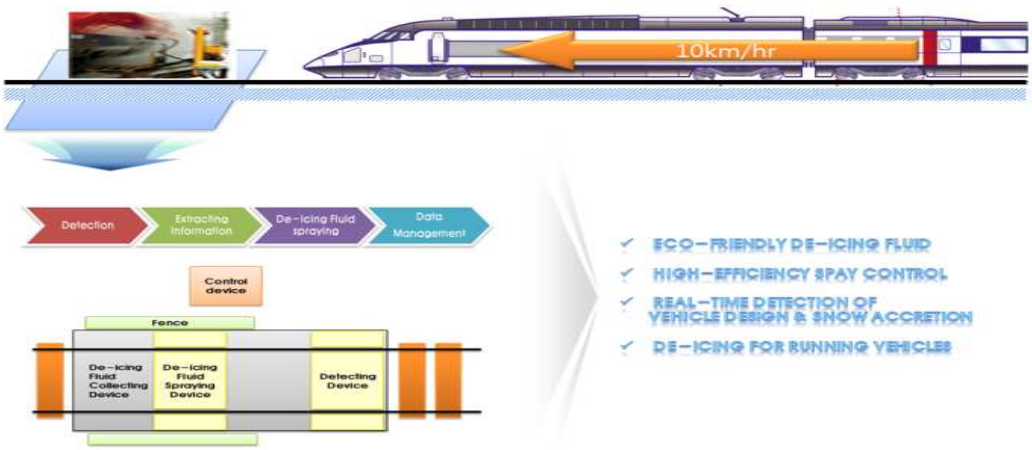


그림 107 시스템 개념도

2. 추진배경 및 필요성

- 겨울철 고속차량 하부에 부착된 설빙(얼음화된 눈)이 고속에서 낙하하여 도상자갈을 비산시킴으로서 철도차량 및 시설물의 피해가 발생

  – 주요 피해부품 : 고속차량 유리창, 주행장치 구성품, 궤도 구성품, 신호보안장치 등

그림 108 고속선 설빙피해 발생 메커니즘

- 이러한 피해는 고속철도 개통 이후 지속되고 있는 실정이며, KTX-산천 도입 이후로 증가 추세에 있음

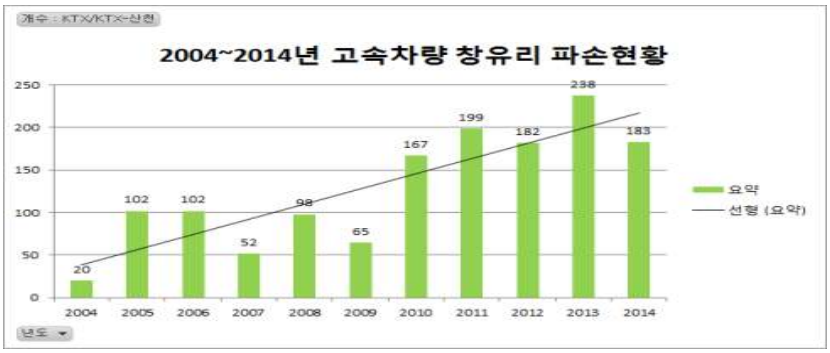


그림 109 2004~2014년 고속차량 창유리 파손현황

- 또한 일본, 유럽, 미국 등 해외에서도 동절기 피해가 지속적으로 발생하며, 이에 대응하는 기술에 대한 관심도 증가 추세에 있음

  – 특히, 스웨덴은 X2000(최고운영속도200km/h) 도입 후 설빙에 의한 자갈 비산 피해 발생

그림 110 2009/2010 겨울 독일 철도

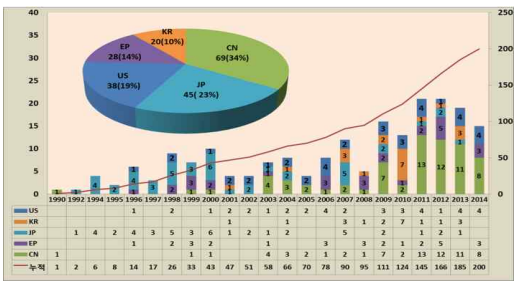


그림 111 국내외 관련 특허 추세

- 또한 철도운영기관에서는 자체적으로 고속선 설빙피해 예방 및 대응을 위하여 운영 및 유지보수 관점에서의 대책을 수립하여 대응하고 있지만 한계점을 가지고 있음

  - 고속선 설빙피해 대책 : 자갈비산방지 네트, 감속운행, 인력에 의한 차량 제빙 등

- 그러므로 동절기 피해를 예방하고 철도 운영 효율화를 위하여 기술개발이 필요함

  - 고속선 설빙에 의한 피해비용 : 연간 36.4억원(재료비, 인건비 등)

    * 피해대상 : 고속차량 유리창, 차축보호재, 궤도구성품, 궤도회로장치 등

  - 동절기 열차운행 지연 : 약 326시간/년

    * 지연유형 : 고속선 설빙에 의한 지연운행, 선로전환기 밀착불량 등

- 또한 국가 기간교통망인 철도교통의 안전을 확보하고 국민의 편익을 향상시키기 위하여 필요

  - 고속선 설빙피해로 발생하는 차축 손상은 열차 주행 안전성 향상에 심각한 위험요인

    * 차축 보호재 파손현황 : 334건(2012년 기준)

  - 유리창 파손 시 승객의 불안감 호소 및 클레임 증가

    * KBS뉴스광장(2013.12.05.) : ‘KTX열차 유리창, 강추위 속에 깨진 채 운행’ 등

  - 철도차량 및 시설의 안전성 향상을 통한 선제적 안전관리 체계 도입의 필요성 대두

    * 철도 안전 종합계획(2011~2015) : 철도시설의 안전성 향상, 철도차량의 안전성 향상

- 향후 남북철도 연결 등 운영환경 변화와 고속철도 수출 다변화를 위한 선제적 기술개발 및 확보 필요

  - 남북철도 및 대륙철도 연결 실현 시 국가적으로 대비할 수 있는 기술력 필요

  - 철도 수출의 다변화를 위해 철도 피해 예방기술의 선제적 개발과 확보를 통해 한국 철도기술의 국제적 경쟁력을 확보하는 것이 필요

    * 제2차 철도산업 발전 기본계획(2011~2015) : 미래성장 동력 확충, 해외철도 진출기반 강화

3. 기술개발 동향

- 국내 고속철도차량의 경우 겨울철 차량 하부 설빙 성장 시 수작업에 의한 제빙작업을 수행하고 있고 이는 겨울 한시적으로 인력이 과다 소요되고, 제빙작업의 효율이 떨어져 시간이 오래 걸리고 있는 실정임

그림 112 나무봉 이용 제빙

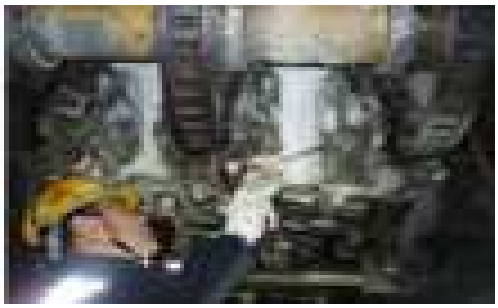


그림 113 스크레퍼 이용 제빙

- 인력에 의한 제빙작업의 효율성 향상을 위하여 국내 및 국외 유수의 국가에서는 열풍에 의한 제빙방안을 적용하였지만 제빙작업에 소요되는 시간이 오래 걸리고(북유럽 8시간/열차) 사용되는 공기가 완전히 건조되지 않을 경우 전기장치 및 전기모터에 영향을 미칠 수 있음

그림 114 이동식 열풍기(국내)

그림 115 차량기지 난방덕트(프랑스)

그림 116 차량기지 난방덕트(노르웨이)

- 또한 일본 및 북유럽 국가의 경우, 온수 분사에 의한 제빙방법도 사용하고 있고 이는 열풍에 의한 제빙보다 시간은 적게 소요되지만 잔존 수분의 동결, 전기장치로의 수분유입 등 추가적인 문제가 발생할 수 있는 것으로 알려져 있음

그림 117 고압온수설비(일본)

그림 118 온수설비(노르웨이)

- 항공산업에서의 착빙현상은 항공기의 추락까지 야기시킬 수 있고 이를 예방하기 위하여 글리콜을 이용하여 제빙작업을 수행하고 있으며, 이는 글리콜계의 열전달 효율성 때문에 시간이 적게 소요되고 에너지 소모도 적으며 다소 방빙(Anti-icing) 효과를 가지는 반면에, 사용 후의 글리콜에 대한 관리가 필요한 것으로 알려져 있음

- 항공산업에서의 제빙기술에 착안하여 스웨덴 등의 북유럽 국가에서는 글리콜을 이용한 제빙기술의 철도차량으로의 적용에 관하여 연구개발 중에 있고 착빙된 철도차량의 제빙효율성 향상과 방빙액의 지속성 향상에 대하여 주안점을 두고 연구하고 있음

그림 119 글리콜 제빙(항공)

그림 120 철도차량 글리콜 제빙(스웨덴)

4. 연구과제 주요내용

- 친환경 제빙액을 이용하여 고속철도차량 대차부 착설의 효율적 제빙을 위하여 De-icing 시스템 자동화 기술, De-icing Fluid 제조 및 성능검증 기술, De-icing 시스템 설계 및 제작 기술, De-icing 시스템 운영 및 성능검증 기술로 구성

  - (De-icing 시스템 자동화 기술) 차량의 인식, 대차부 착설의 검지, 관련 정보의 처리 및 제빙액 분사 등의 일련의 과정이 자동화 할 수 있는 소프트웨어 및 장치 개발

  - (De-icing Fluid 제조 및 성능검증 기술) 철도차량 하부 착설의 효과적인 제빙과 지속성을 가지는 방빙을 위하여 철도차량 및 운영환경에 영향을 미치지 않도록 제빙액을 제조 및 최적화하고 성능검증 할 수 있는 기술 개발

  - (De-icing 시스템 기술개발) 운영환경을 감안하여 주요 착설부를 효과적으로 제빙 가능하도록 시스템을 설계하고, 착설검지, 분사, 수집, 저장장치 등 각각의 구성품을 개발하여 장치간 인터페이스를 감안하여 시스템을 제작하며, 시스템의 성능검증 및 실용화 가능하도록 안정화 하는 기술개발

표 57 구성기술별 주요 수행내용

구성기술	주요 수행내용
▪ De-icing 자동화 기술개발	▪ De-icing 자동화 설계 및 착설검지 기술 개발
	▪ De-icing 자동화 소프트웨어 및 구성품 개발
	▪ De-icing 자동화 모듈 시제품 제작 및 신뢰성 검증
▪ De-icing Fluid 기술개발	▪ 철도차량용 De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가
	▪ 철도차량용 De-icing Fluid 제조기술 개발 및 시제품 생산
	▪ 철도차량용 De-icing Fluid 성능 검증
▪ De-icing 시스템 기술개발	▪ 고속철도차량용 De-icing 시스템 설계
	▪ De-icing 시스템 구성품 개발
	▪ 고속철도차량용 De-icing 시스템 시제품 제작 및 성능검증
	▪ 고속철도차량용 De-icing 시스템 안정화 및 실용화

5. 연구과제 추진방안

가. 추진전략

- 수요처(사용자)와의 유기적 협조체계 구축
  - 연구개발 성과물의 실용화를 위해 연구기관에 수요기관(사용자) 참여
  - 연구개발 성과물의 실용화를 위해 수요기관에서 제시되는 현장 애로사항 및 의견을 개발에 반영
- 연구성과물 실용화를 위한 추진전략 마련
  - 기술개발품 실용화를 목표로 연구개발 추진
  - 기술개발 성과물의 원활한 상용화를 위한 성능검증, 공인인증, 제품인증을 기술개발 내용에 포함
  - Test-bed 구축계획을 조기에 수립하고, 성과물 성능 및 신뢰성 검증방안을 제시
- 관련분야 전문가 자문
  - 국내외 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사
  - 실효성 있는 결과물 도출을 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 적극 수렴
- 제품 개발 시 국내외의 특허를 검색하여 유사한 특허정보 확보, 회피전략 및 해외 진출 전략 수립
- 기존에 수행되었거나 수행중인 관련과제와 연계 및 성과물을 활용하여 연구개발 효율성 극대화

나. 추진체계

- 본 공모과제는 융복합 기술을 기반으로 하는 실용화 연구로 관련 기술을 확보한 대학/연구기관, 기업 및 성과물을 활용할 수 있는 운영기관이 참여
- 참여기업은 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 가능
- 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문
- 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모
- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고

그림 121 연구과제 추진체계(안)

다. Test-Bed 구축전략(안)

- 개발품의 Test-bed는 해당 개발품의 유지관리를 감안하여 운영선 또는 주박지 보다는 고속철도차량기지에 배치함으로써 시작품의 신뢰성을 향상시킴으로서 운영선 또는 주박지로의 추가 설치가 필요할 것으로 보임
- 국내 기후조건 및 차량 운영조건을 감안하였을 때 고속철도차량기지 중에는 경기도 고양시에 위치한 수도권철도차량정비단에 배치하는 것이 개발품의 사용성을 가장 높일 수 있을 것으로 판단됨
- 수도권철도차량정비단의 구내 배선과 차량 운영조건을 감안하였을 때 차량기지 인출고선의 차륜검사고가 배치된 선로 또는 자동세척고가 배치선 선로 주변으로 설치함으로써 불필요한 입환작업을 줄이고 De-icing 소요시간을 단축시킬 수 있을 것으로 사료됨

6. 추진일정(안)

핵심 후보과제명 : 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발																							
구성기술	연구내용	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도				비고
		1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	
De-icing 자동화 기술개발	De-icing 자동화 설계 및 착설검지 기술 개발	■	■	■	■																	
	De-icing 자동화 소프트웨어 및 구성품 개발					■	■	■	■													
	De-icing 자동화 모듈 시제품 제작 및 신뢰성 검증									■	■	■	■									
De-icing Fluid 기술개발	철도차량용 De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가	■	■	■	■																	
	철도차량용 De-icing Fluid 제조기술 개발 및 시제품 생산			■	■	■	■															
	철도차량용 De-icing Fluid 성능 검증					■	■	■	■													
De-icing 시스템 기술개발	고속철도차량용 De-icing 시스템 설계					■	■	■	■													
	De-icing 시스템 구성품 개발									■	■	■	■									
	고속철도차량용 De-icing 시스템 시제품 제작 및 성능검증													■	■	■	■					
	고속철도차량용 De-icing 시스템 안정화 및 실용화																	■	■	■	■	

7. 인력투입계획 및 소요예산 산정

가. 세부 연구과업에 따른 인력투입계획

수행년차	연구내용	세부연구내용	참여인원수(명)	인력구분	인건비단가(천원/월)	참여율	참여기간(개월)	인건비
1차년도	De-icing 자동화 설계 및 착설검지 기술개발	차량인식, 분사제어 알고리즘 설계 및 하드웨어 검토	2	선임급	5,990	30%	12	43,128
		철도차량 대차부 착설검지(UWB,차영상분석) 기술개발	1	수석급	7,950	30%	12	28,620
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
		De-icing 자동화 S/W 및 구성품 설계(안) 수립	2	선임급	5,990	30%	12	43,128
	철도차량용 De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가	De-icing Fluid 관련자료 조사	1	주임급	4,790	30%	12	17,244
		De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가	1	책임급	6,760	30%	12	24,336
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
	철도차량용 De-icing Fluid 기술개발 및 시제품 생산	철도차량 De-icing Fluid 기술개발	1	수석급	7,950	30%	6	14,310
			1	원급	3,890	100%	6	23,340
1차년도 합계			10	-	-	-	-	287,466
2차년도	De-icing 자동화 소프트웨어 및 구성품 개발	De-icing 자동화 S/W 개발	1	책임급	6,760	30%	12	24,336
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
		De-icing 자동화 구성품 개발	1	책임급	6,760	30%	12	24,336
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
	철도차량용 De-icing Fluid 기술개발 및 시제품 생산	철도차량 De-icing Fluid 재사용 기술개발	1	수석급	7,950	30%	6	14,310
			1	원급	3,890	100%	6	23,340
		철도차량 De-icing Fluid 시제품 생산	2	선임급	5,990	30%	6	21,564

	철도차량용 De-icing Fluid 성능검증	De-icing Fluid 성능검증 및 성분 최적화	1	수석급	7,950	30%	12	28,620
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
	고속철도차량용 De-icing 시스템 설계	수요기관 요구사항 검토 및 협의	1	선임급	5,990	30%	12	21,564
		De-icing 시스템 설계(안) 수립	1	수석급	7,950	30%	12	28,620
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
2차년도 합계			12					373,410
3차년도	De-icing 자동화 모듈 시제품 제작 및 신뢰성 검증	De-icing 자동화 모듈 시제품 제작	1	선임급	5,990	30%	12	21,564
		De-icing 자동화 모듈 착설검지 신뢰성 검증	1	수석급	7,950	30%	12	28,620
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
	De-icing 시스템 구성품 개발	De-icing Fluid 분사 및 회수 장치 제작	1	선임급	5,990	30%	12	21,564
		De-icing Fluid 저장 및 필터링 장치 제작	1	선임급	5,990	30%	12	21,564
3차년도 합계			5	-	-	-	-	139,992
4차년도	고속철도차량용 De-icing 시스템 시제품 제작 및 성능검증	고속철도차량용 De-icing시스템 시제품 제작	2	선임급	5,990	30%	12	43,128
		고속철도차량용 De-icing시스템 성능검증	1	수석급	7,950	30%	12	28,620
			1	원급	3,890	100%	12	46,680
4차년도 합계			3	-	-	-	-	118,428
5차년도	고속철도차량용 De-icing시스템 안정화 및 실용화	고속철도차량용 De-icing시스템 운영환경 검증 및 성능개선	1	수석급	7,950	30%	12	28,620
			1	선임급	5,990	30%	12	21,564
		고속철도차량용 De-icing시스템 안정화 및 실용화 기반 구축	1	수석급	7,950	30%	12	28,620
			1	선임급	5,990	30%	12	21,564
5차년도 합계			4	-	-	-	-	100,368
총계			30	-	-	-	-	1,019,664

나. 소요예산산정

수행년차	연구내용	세부연구내용	직접비(천원)				
			인건비	연구장비 및 재료비	연구활동비	연구과제추진비	계
1차년도	De-icing 자동화 설계 및 착설검지 기술개발	차량인식, 분사제어 알고리즘 설계 및 하드웨어 검토	43,128	0	22,100	8,640	73,868
		철도차량 대차부 착설검지(UWB,차영상분석) 기술개발	75,300	128,000	2,100	8,640	214,040
		De-icing 자동화 S/W 및 구성품 설계(안) 수립	43,128	0	2,100	8,640	53,868
	철도차량용 De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가	De-icing Fluid 관련 자료조사	17,244	0	31,500	8,640	57,384
		De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가	71,016	84,000	12,000	8,640	175,656
	철도차량용 De-icing Fluid 기술개발 및 시제품 생산	철도차량 De-icing Fluid 기술개발	37,650	146,000	40,500	4,320	228,470
1차년도 합계			287,466	358,000	110,300	47,520	803,286
2차년도	De-icing 자동화 소프트웨어 및 구성품 개발	De-icing 자동화 S/W 개발	71,016	1,000,000	1,200	8,640	1,080,856
		De-icing 자동화 구성품 개발	71,016	790,000	1,200	8,640	870,856
	철도차량용 De-icing Fluid 기술개발 및 시제품 생산	철도차량 De-icing Fluid 재사용 기술개발	37,650	138,000	45,500	4,320	225,470
		철도차량 De-icing Fluid 시제품 생산	21,564	60,000	0	4,320	85,884
	철도차량용 De-icing Fluid 성능검증	De-icing Fluid 성능검증 및 성분 최적화	75,300	162,000	70,500	8,640	316,440
	고속철도차량용	수요기관 요구사항 검토 및 협의	21,564	0	100	8,640	30,304

	De-icing시스템 설계	De-icing 시스템 설계(안) 수립	75,300	0	100	8,640	84,040
2차년도 합계			373,410	2,150,000	118,600	51,840	2,693,850
3차년도	De-icing 자동화 모듈 시제품 제작 및 신뢰성 검증	De-icing 자동화 모듈 시제품 제작	21,564	160,000	1,100	8,640	191,304
		De-icing자동화 모듈 착설검지 신뢰성 검증	75,300	55,000	1,200	8,640	140,140
	De-icing시스템 구성품 개발	De-icing Fluid 분사 및 회수 장치 제작	21,564	150,000	12,300	8,640	192,504
		De-icing Fluid 저장 및 필터링 장치 제작	21,564	120,000	2,300	8,640	152,504
3차년도 합계			139,992	485,000	16,900	34,560	676,452
4차년도	고속철도차량용 De-icing시스템 시제품 제작 및 성능검증	고속철도차량용 De-icing시스템 시제품 제작	43,128	100,000	1,200	8,640	152,968
		고속철도차량용 De-icing시스템 성능검증	75,300	160,000	1,200	8,640	245,140
4차년도 합계			118,428	260,000	2,400	17,280	398,108
5차년도	고속철도차량용 De-icing시스템 안정화 및 실용화	고속철도차량용 De-icing시스템 운영환경 검증 및 성능개선	50,184	95,000	60,236	8,640	214,060
		고속철도차량용 De-icing시스템 안정화 및 실용화 기반구축	50,184	90,000	65,540	8,640	214,364
5차년도 합계			100,368	185,000	125,776	17,280	428,424
총계			1,019,664	3,438,000	373,976	168,480	5,000,120

8. 실용화/사업화 방안

- 실용화 방안

  - 기술수요자의 Needs에 의한 기술개발로 개발 완료 시 국내 실용화 가능성이 높으며, De-icing 시스템은 고속철도 차량기지에 시작품을 설치함으로써 개발기술의 성능 및 신뢰성 입증 시 실용화 가능하고 타 차량기지 및 주박역에 확대 설치 추진 가능

  - De-icing Fluid는 고속철도 차량기지에 설치 예정인 De-icing 시스템에 적용 가능하며, De-icing Fluid의 방빙효과의 지속성에 대한 성능 충족 시 주박역에 확대 적용하여 실용화 할 수 있음

- 사업화 방안

  - 국내 인력에 의한 제빙작업을 대체함으로써 고속철도차량은 물론 일반차량으로의 적용확대 시 국내 사업화가 가능할 것으로 판단됨

  - 현재 철도차량의 이동 중에 제빙할 수 있는 기술은 국외에서도 아직 상용화된 기술이 존재하지 않으므로 철도차량 이동 중 제빙효율이 입증된 기술개발 시 국외 시장도 충분히 개척 가능할 것으로 보임

  - 또한 북유럽, 중국, 러시아 등 일부 극한기후 국가에서는 아직 고속철도 운영 및 유지보수 경험이 부족하기 때문에 선제적인 기술 확보로 해당국가 니즈에 따라 수출 가능

- 연계사업 활용방안

  - 유라시아 이니셔티브, 남북철도 연결 등의 정책 재개 시 기후조건이 더욱 가혹한 지역으로의 철도 운영이 예상되어지므로 선제적 기술 확보 필요

9. 기대효과 및 파급효과

가. 정량적 효과

- 동절기 피해비용 저감

  - 고속철도차량의 효율적 De-icing 기술 적용을 통하여 고속선 설빙피해 저감 가능

    * 고속선 설빙피해 복구 및 유지보수 비용(약 36.4억원/년) 중 30% 저감 가정 : 약 10.9억원/년

  - 자동화된 De-icing 기술 적용을 통하여 고속차량 설빙제거 비용 저감 가능

    * 수작업에 의한 고속차량 설빙제거 비용 : 약 1.3억원/년

- 열차 지연 및 유지보수 시간 감소를 통한 열차 운용률 향상

  - 동절기 자연재해에 의한 열차 지연 감소

    * 고속선 겨울철(12~1월) 강설, 동결 등에 의한 열차 지연 시간(약 186.2시간/년) 중 30% 저감 가정 : 약 56시간/년

  - 철도차량 제빙, 피해복구 등 유지보수 시간 감소

    * 고속선 설빙피해 시 유지보수 시간 : 약 4~5일(기지입고→검사→유지보수→출고)

- 외산품 자체 개발 및 피해 저감을 통한 외화 절감

  - De-icing 시스템 자체 개발을 통한 외화 절감

    * De-icing 시스템 : 약 95억원/Unit

  - 고속선 설빙에 의한 외산 부품(차축 코팅제, 창유리) 피해 저감

    * 차축 코팅제, 창유리 파손 50% 저감 시 연간 약 9.2억원 외화절약 가능

나. 정성적 효과

- 동절기 철도 안전운행 확보를 통한 국민 안전 증대

  - 레일 표면결함 및 차륜답면 손상 예방을 통한 열차 주행안정성 향상

  - 창유리 및 차축손상 예방을 통한 대국민 안전 도모 및 불안감 해소

- 향후 철도 고속화 및 남북철도 연결 대비 핵심기술 확보

  - 고속선 설빙피해, 선로전환기 장애 등 동절기 피해는 고속철도 노선 확충 및 일반철도 고속화에 따라 피해규모 증가 및 대형화에 대비하며,

  - 경원선, 경의선 등 남북철도 연결 시 북쪽 지역 극한기후에 대응하여 선제적으로 기술 대응함으로써 기술개발 효과 극대화 가능

- 극한기후 국가에 기술 수출 기대

  - 북유럽, 중국, 러시아 등 일부 극한기후 국가에서는 아직 고속철도 운영 및 유지보수 경험이 부족하기 때문에 선제적인 기술 확보로 해당국가 니즈에 따라 수출 가능함

2절 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

1. 과제 개요

- 연구개발 목표
  - 철도차량 대차부 착설현상 규명하여 차량 설계에 반영할 수 있는 시뮬레이션 기술 및 착설방지 재료 개발
- 기술개발 방향성
  - 철도차량 대차부 착설현상 시뮬레이션(최대 착설위치 오차범위 : 15cm)
  - 지속성을 가지는 철도차량용 착설방지 코팅제(최소 성능유지기간 : 3month)

    * 설정근거 : 국내 동절기 기간 및 철도 운영환경을 감안
- 연구개발 기간 및 연구비
  - 연구개발 기간 : 5년
  - 연구비 : 30억원(정부출연금)
- 최종 성과물(TRL : 5)
  - 고속철도차량 착설 시뮬레이션 소프트웨어
  - 철도차량 착설 및 설빙 방지를 위한 형상설계안
  - 철도차량 착설 및 설빙 방지 재료/코팅제

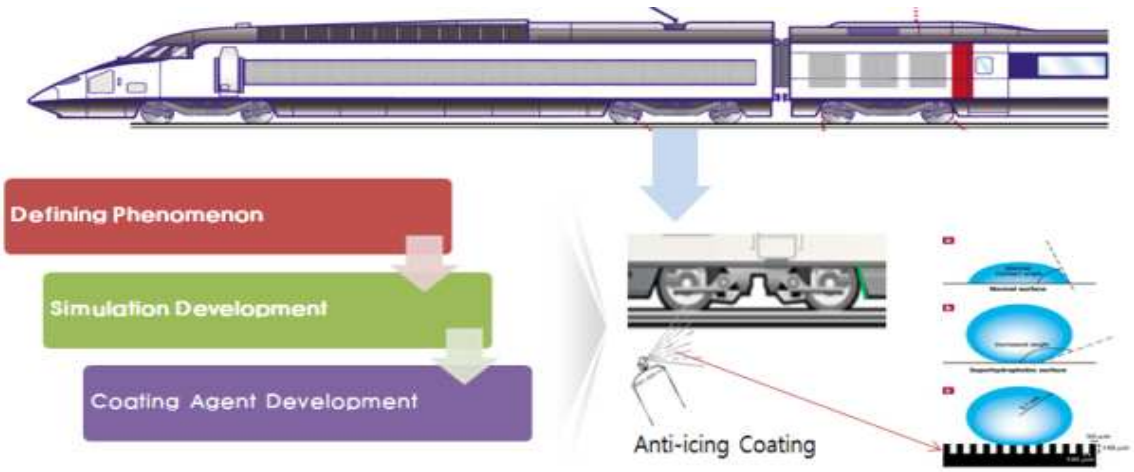


그림 122 시스템 개념도

2. 추진배경 및 필요성

- 겨울철 고속차량 하부에 부착된 설빙(얼음화된 눈)이 고속에서 낙하하여 도상자갈을 비산시킴으로서 철도차량 및 시설물의 피해가 발생

  – 주요 피해부품 : 고속차량 유리창, 주행장치 구성품, 궤도 구성품, 신호보안장치 등

그림 123 고속선 설빙피해 발생 메커니즘

- 이러한 피해는 고속철도 개통 이후 지속되고 있는 실정이며, KTX-산천 도입 이후로 증가 추세에 있음

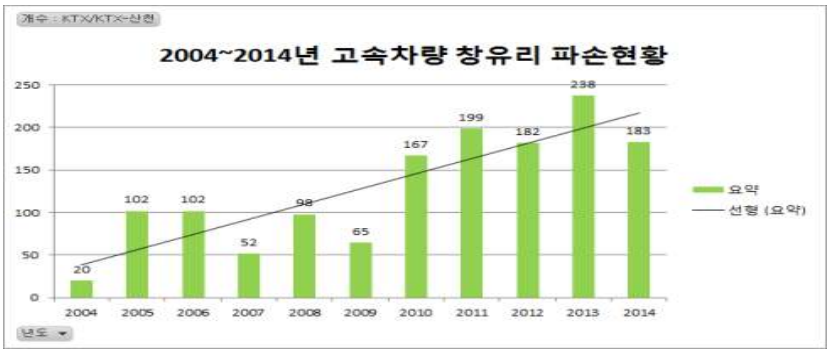


그림 124 2004~2014년 고속차량 창유리 파손현황

- 또한 일본, 유럽, 미국 등 해외에서도 동절기 피해가 지속적으로 발생하며, 이에 대응하는 기술에 대한 관심도 증가 추세에 있음

  – 특히, 스웨덴은 X2000(최고운영속도200km/h) 도입 후 설빙에 의한 자갈 비산 피해 발생

그림 125 2009/2010 겨울 독일 철도

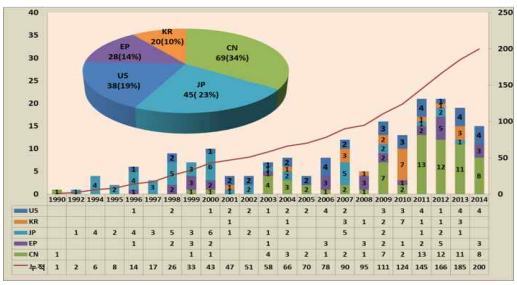


그림 126 국내외 관련 특허 추세

- 또한 철도운영기관에서는 자체적으로 고속선 설빙피해 예방 및 대응을 위하여 운영 및 유지보수 관점에서의 대책을 수립하여 대응하고 있지만 한계점을 가지고 있음
  - 고속선 설빙피해 대책 : 자갈비산방지 네트, 감속운행, 인력에 의한 차량 제빙 등
- 그러므로 동절기 피해를 예방하고 철도 운영 효율화를 위하여 기술개발이 필요함
  - 고속선 설빙에 의한 피해비용 : 연간 36.4억원(재료비, 인건비 등)
    * 피해대상 : 고속차량 유리창, 차축보호재, 궤도구성품, 궤도회로장치 등
  - 동절기 열차운행 지연 : 약 326시간/년
    * 지연유형 : 고속선 설빙에 의한 지연운행, 선로전환기 밀착불량 등
- 또한 국가 기간교통망인 철도교통의 안전을 확보하고 국민의 편익을 향상시키기 위하여 필요
  - 고속선 설빙피해로 발생하는 차축 손상은 열차 주행 안전성 향상에 심각한 위험요인
    * 차축 보호재 파손현황 : 334건(2012년 기준)
  - 유리창 파손 시 승객의 불안감 호소 및 클레임 증가
    * KBS뉴스광장(2013.12.05.) : ‘KTX열차 유리창, 강추위 속에 깨진 채 운행’ 등
  - 철도차량 및 시설의 안전성 향상을 통한 선제적 안전관리 체계 도입의 필요성 대두
    * 철도 안전 종합계획(2011~2015) : 철도시설의 안전성 향상, 철도차량의 안전성 향상
- 향후 남북철도 연결 등 운영환경 변화와 고속철도 수출 다변화를 위한 선제적 기술개발 및 확보 필요
  - 남북철도 및 대륙철도 연결 실현 시 국가적으로 대비할 수 있는 기술력 필요
  - 철도 수출의 다변화를 위해 철도 피해 예방기술의 선제적 개발과 확보를 통해 한국 철도기술의 국제적 경쟁력을 확보하는 것이 필요
    * 제2차 철도산업 발전 기본계획(2011~2015) : 미래성장 동력 확충, 해외철도 진출기반 강화
- 착설 메커니즘을 규명하기 위해서는 눈의 특성에 대한 연구와 착설에 대한 실험적, 수치적 연구가 진행되어야 하며 이에 대한 연구가 국내외에서 진행 중에 있음
- 오스트리아의 Austrian Research Center에서는 해당 연구소에서 보유하고 있는 Vienna Climatic Wind Tunnel 실험 결과와 비교하여 개발한 해석 시뮬레이션을 검증하는 연구를 진행했지만 여러 조건이 불충분한 상황임

그림 127 Austrian Research Center의 실험과 해석결과 비교

- 위에서 언급한 바와 같이 기존 검증 자료들은 고속선에서의 여러 변수들인 강설조건, saltation 효과 등등을 모두 고려하지 않아 고속선의 형상설계안까지는 모두 부족한 실정임

- 눈의 특성에 대한 연구와 착설의 실험적 수치적 연구들을 통해서 정밀도 있는 착설 메커니즘에 대한 모델링이 필요하며 이를 반영하여 개발된 시뮬레이션이 착설에 대한 정밀도 있는 예측을 가능하게 하여야 설빙피해에 대한 적극적 대응을 가능하게 할 것임

- 실험적 연구의 경우 개발을 위한 착설 및 설빙 모델링을 위해서 필요하며 해외의 여러 풍동에서 동절기 열차운행 조건을 모사하여 연구를 진행 중에 있으나 극소수의 연구만 존재하는 실정

- 수치적 연구의 경우 실험 등을 통한 모델링을 바탕으로 대차부의 설빙 증식을 예측할 수 있는 시뮬레이션 기법을 개발하는 연구들이 수행되고 있음

- 해당연구는 항공기 착빙 현상을 해석하기 위한 해석기법을 적용하여 고속으로 운행하는 열차가 눈이 덮여 있는 지면 위를 통과할 때 열차하부에서 발생하는 착설과 전면 buffer에 발생하는 착설을 구분하여 시뮬레이션을 통해 해석함

- 눈의 특성에 대한 연구와 실험적 연구들을 통해서 정밀도 있는 착설 메커니즘에 대한 모델링이 필요하며 이를 반영하여 개발된 시뮬레이션이 착설에 대한 정밀도 있는 예측을 가능하게 하여야 설빙피해에 대한 적극적 대응을 가능하게 할 것임

3. 기술개발 동향

가. 착설과 눈 특성

- 착설은 수분, 습기가 많은 눈이 전선 등에 달라붙는 것을 말함
- 착빙은 부분적으로 녹은 눈이 눌리어 단단해지거나 다시 얼어서 생김
- 일반적으로 착설은 건형 착설과 습형 착설로 나눌 수 있음
- 건형 착설은 수분 함유량이 적은 눈이 착설하는 것으로 미풍이나 기타 진동에 의해 쉽게 탈락하며 크게 발달하지 않음

표 58 착설과 착빙의 구분

구분	착설		착빙
	건형	습형	
발생지역	바람이 차폐 되는 곳에서 주로 발달	북해도 등 태평양 연안	습한공기가 상승하는 응결고도 이상 지역 (동계 계절풍 노출 지역)
부착물질	비교적 함수량이 적음	함수량이 크고 진눈깨비에 가까움	과냉각 물방울, 눈 조각에 눈 입자 부착
부착현상	물의 모세관 현상 작용/눈 조각의 결합		얼면서 발달
발달시 일기패턴	동계 계절풍에 저기압전선 등이 중첩	습한 저기압의 북측 영역, 한랭전선 통과 시	주로 동계 계절풍
발달시 기온	−2 ~ +2℃	0 ~ +1.5℃	0℃ 이하
발달시 풍속	$5m/s$	$20m/s$이하	강풍일수록 급속발달
최초 부착방향	상부, 사풍형상	바람 부는 방향, 사풍 형상	바람방향, 수평
밀도	0.5 g/cm^3이하	0.1 ~ 0.9 g/cm^3 이하	
회전	눈만 회전	최초 눈만 회전, 후에 전선도 회전	전선 회전
바람에 의한 탈락	$8m/s$ 이하에 탈락, 일제 탈락	강풍 하에서도 잔존, 일제탈락 드뭄	
갤로핑	발생희박	발생원인이 됨	

※갤로핑: 착빙설에 의한 공기역학적 불안정성과 강풍에 의한 자연진동

- 위의 표는 한국전력공사에서 제시한 착설과 착빙의 구분

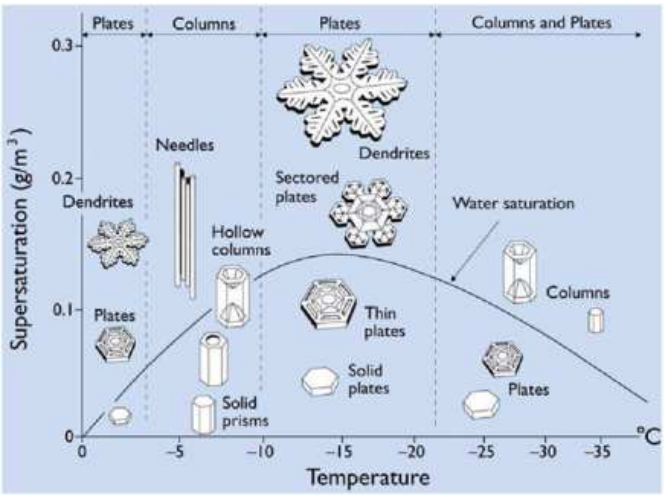


그림 128 온도와 구름수에 눈의 형상

- France UIC의 학술지를 참조하면 온도가 같아도 구름수에 따라 눈의 결정 모양이 다르다는 것을 알 수 있음
- 위 그래프를 보면 온도가 같아도 구름수에 따라 눈의 결정 모양이 다르다는 것을 알 수 있음
- 물의 과포화선을 중심으로 위쪽의 형상은 아래 형상보다 끝에 나뭇가지 결정 모양이 더욱 성장함을 알 수 있음
- 비슷한 예로, 우리나라 연구 결과에서도 -13~-14도에서 구름수가 높으면 눈 결정은 별(Stellar) 모양에서 나뭇가지(Dendrite)모양으로 변함 이 때, 나뭇가지 모양의 가지 성장이 더욱 활발해지게 됨
- 현재 착설에 De-icing, Anti-icing에 대한 자료는 국내외에 거의 조사된 바가 없음
- 착설 메커니즘을 정밀도 있게 규명하려면 기본 표면 경계조건, 눈의 열역학적 특성, 부착성 등등의 연구 결과가 필요한데 현재 이러한 기술들이 국내외에 거의 전무한 상태
- 따라서 이러한 조건들과 특성들에 대한 자료가 없으므로 여러 실험과 시뮬레이션이 필수적임

나. 풍동시험 기술

- 기상조건을 해석할 수 있는 풍동의 종류는 두 가지, Climatic Wind Tunnel(CWT)와 Icing Wind Tunnel(IWT)로 구분

그림 129 영국의 MIRA Climatic Wind Tunnel(CWT)

- 위치: 영국 (Watling Street, Nuneaton, Warwickshire, UK.)
- 보유 기관: MIRA-Horiba
- 차량에 대한 종합적인 실험을 위해 설립된 영국의 MIRA technology park에 위치한 풍동
- 실제 크기의 차량에 대해서 다양한 기후조건 하 실험
- 차량 크기에 따른 실크기 실험이 가능한 풍동 보유(CWTone, CWTtwo)

그림 130 NASA Glenn Research Center의 Icing Wind Tunnel

주요 실험 분야
- FAR part 25, appendix C에 나타난 항공기 착빙 규정 인증을 위한 실험
- 실제 크기의 항공기 부품과, 전기체의 모형에 대한 실험 수행
- NASA 자체 연구를 포함하여, 미 정부, 세계적 주요 항공기 제조사가 주로 활용 中

다. 착설 해석 시뮬레이션

- 최근 수치해석 기법의 발달로 운행 중인 열차의 대차부 설빙 증식을 해석할 수 있는 시뮬레이션 기법을 개발 중 - Vienna Climatic Wind Tunnel을 보유하고 있는 오스트리아의 Austrian Research Center에서 해석 시뮬레이션 코드를 개발하고, 이를 Vienna Climatic Wind Tunnel 실험 결과와 비교함

1) 해석자 구성

가) 유동장 해석 : Reynolds Averaged Navier-Stokes equations

- 열차 및 지표면 주위의 유동장을 해석은 Reynolds Averaged Navier-Stokes equations 통해 수행함

나) 눈 결정 궤적 : Lagrangian approach

- 수렴된 유동장 해석 결과를 기반으로 눈 액적 궤적 계산 수행
- 눈과 공기간의 부피비가 1000이하의 경우, 눈이 유동장에 미치는 영향을 무시하고, 수렴된 유동장 내에서 눈 입자를 따라가며 궤적을 계산(Lagrangian approach)

다) 지면 경계 조건 : Saltation 경계 조건

- 기차가 지나가며 일으킨 후류에 의해 지면 쌓인 눈이 지상으로 떠오르는 현상(saltation)을 모델링

라) 표면 경계 조건 : 점착과 반발 경계 조건

- 표면에 충돌하는 눈이 특정 속도(local friction velocity ≧21m/s) 이상에서 점착이 발생하며, 운동량의 수직 방향의 1%, 수평 방향의 20%가 반발되는 단순 경계조건 적용

2) 해석 조건

가) 눈이 덮여 있는 지면 위를 지나는 열차 하부에 단위 시간당 표면에 부착하는 눈의 질량 해석

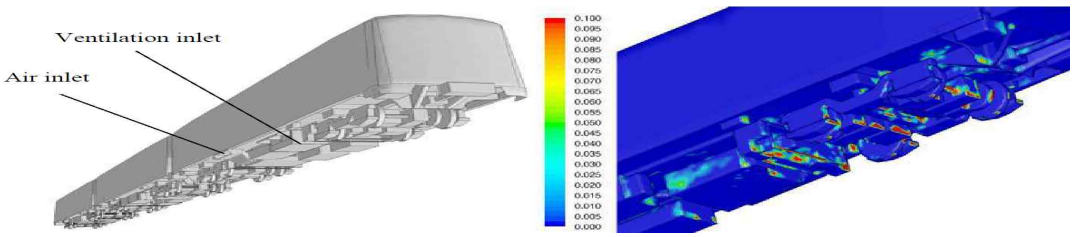


그림 131 열차 하부 착설 해석 결과

- 엔진 과열 및 고장을 일으키는 착설이 주로 엔진 냉각을 위한 air inlet과 ventilation inlet의 전면부에 발생하는 것을 수치적으로 확인

라. 유사 해석 시뮬레이션

– 항공 분야에서는 착빙 현상이 발생하고 이를 해석하기 위하여 오랜 기간에 걸쳐 다양한 시뮬레이션 기법이 개발되어 왔음 – 착설을 해석하기 위한 선행연구는 항공기 착빙 해석 기술을 적용 – 항공기 착빙 : 대기 중 과냉각 물방울(Super cooled liquid droplet)이 운항중인 항공기 표면에 충돌 후 항공기 표면에 얼어붙는 현상

1) 해석 기법 개요

- 착빙 해석자는 4개의 모델로 구성되어 있으며 각 모델의 해석 정확도에 차이에 따라 크게 1세대와 2세대로 구분

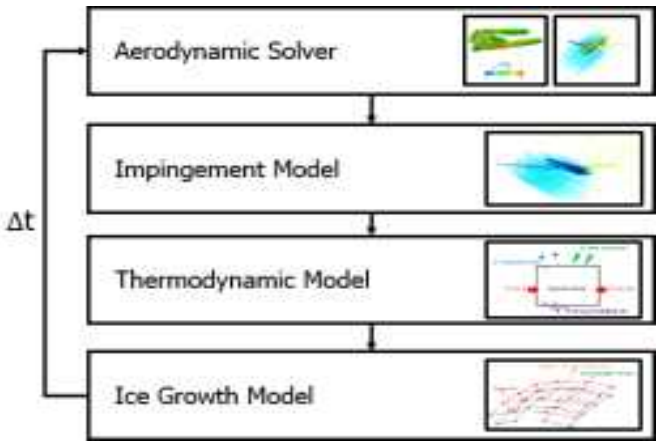


그림 132 착빙 해석자의 구조

- ①유동장 해석, ②액적장 해석, ③열역학 모델, ④격자 재생성 모델로 구성
  - · 준정상 상태로 가정하여 이전 모델에서 수렴된 정보가 다음 모델로 전달
- 각각의 모델에서 사용하고 있는 기법의 차이에 따라 1세대와 2세대 해석자로 구분
  - · 1세대 : (1)Panel method 또는 Euler equation, (2)Lagrangian approach, (3)2D Messinger model
  - · 대표적 1세대 착빙 해석자 : NASA, CIRA, ONERA등의 정부 출연 연구소 보유
  - · 2세대 : (1)Navier-Stokes equation, (2)Eulerian approach, (3)Extended 2D Messinger or 3D water film mode
  - · 대표적 2세대 착빙 해석자 : CIRA, McGill Univ., 서울대학교 보유

2) 기술적 접근 방법의 차이점

- 물체 표면 경계 조건

표 59 물체 표면 경계 조건

착빙 현상	설빙 현상
– 액적이 모두 부착	– 눈 특성, 표면 재질에 따른 점착성 차이 · 고온 다습한 조건에서 부착성 상승 · 목재의 다공성은 눈 부착성을 높임 · 알루미늄이 강철에 비해 높은 눈 부착성

- 액적의 궤적 계산 – 입자의 운동

표 60 액적의 궤적 계산 – 입자의 운동

착빙 현상	설빙 현상
– 액적은 항상 구형으로 항력과 부력 계산이 용이함, 병진 운동 고려	– 기상 조건에 따라 알갱이, 깃털 형태 등 다양한 형상 – 기상 조건에 따른 눈 형상 모델링 – 회전, 병진 운동을 고려한 궤적 계산

- 지표면 경계 조건 : 도약운동(Saltation)과 표면 형상 변화(Erosion)

· 지표면 위를 지나는 기차가 발생시킨 후류에 의해 지표면을 덮고 있는 눈이 부상하는 현상이 발생

– 도약 운동 : 눈 입자가 개별적으로 길게 뛰는 운동을 의미

→ 최초 부상된 입자가 중력에 의해 지면에 다시 충돌하게 되는데, 지면의 다른 눈 입자에 운동 에너지를 전달하여 재도약 운동이 연쇄적으로 발생

→ 도약 운동은 표면의 상태(Frozen show와 soft snow)에 따라 다른 특성을 가지므로, 이를 고려한 표면 경계 조건을 모델링 필요

– 표면 형상 변화(Erosion)

→ 공기의 전단력에 의해 눈 표면의 형상 변화가 발생하고, 이에 따라 표면의 경계층 특성 변화가 발생함

→ 표면에서의 수평과 수직 성분으로 구분하여 질량 보존을 적용

→ Saltation layer내부에서는 눈 입자의 수평적 이동을, Saltation layer내부에서는 수직적 이동을 고려하여 최종 Snow surface 두께 고려

→ 눈 표면 형상 변화에 의한 경계층 특성 변화는 주로 열차 후미에서 발생할 것으로 예상됨

눈의 특성 분석

– 기상 조건 및 열차 운용 조건을 고려한 모델링 기법이 부재한 상태로 눈의 특성을 파악하는 기초적 연구 수행 필요 – 착설 해석을 위해 모델링이 필요한 대표적 눈 특성은 형상, 응집성, 부착성, 밀도 등

→ 형상

· (궤적 계산) 눈이 갖는 특성에 의해 발생하는 물리적 현상을 모델링하기 위한 실험적 연구 기법, 국내 기상을 고려한 눈 형상 파악 수행

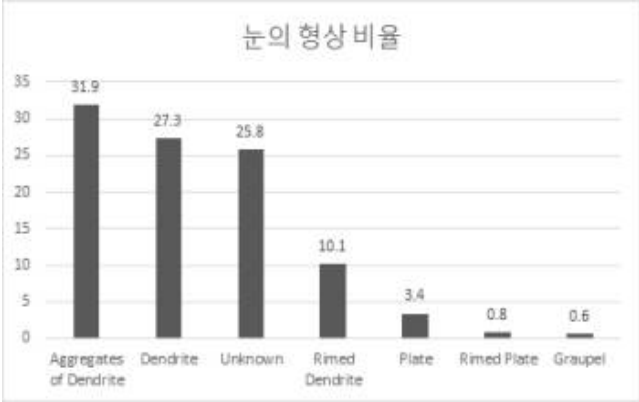


그림 133 우리나라 눈의 여러 가지 형상 비율

– 국내 눈 형상은 Aggregates of Dendrite와 Dendrite 형상 다수 관측

– 표준적인 눈 분류 지표인 A모형(Aggregates of Dendrite)이나 C모형(Dendrite)으로 취급

→ 응집성

· (눈–눈 결속력) 눈 입자 직경의 크기에 따른 눈 결속력 차이

· 눈 입자 직경은 기상에 영향을 받으므로, 기상학적 조건 고려 필수

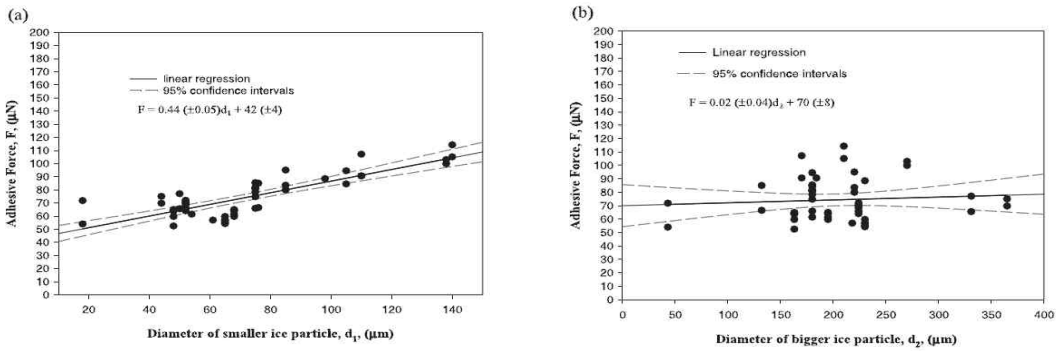


그림 134 눈의 접착성 비교

→ 부착성

표 61 -5℃에서 철과 눈 사이의 전단 실험을 통한 접착강도 측정 결과(눈의 두께층은 0.2 to 0.4 cm)

접촉부 (cm^2)	접착 강도(kg/cm^2)			하중 적용 시간 (s)
	평균	표준편차	평균의 표준오차	
1.54	5.44	± 0.40	± 0.12	41
3.14	5.50	± 0.72	± 0.19	23
4.91	5.32	± 1.14	± 0.32	28
6.61	5.41	± 0.49	± 0.15	41

· (눈 – 표면 결속력) 표면의 거칠기, 표면 재질에 따른 차이, 눈의 습도 및 결정 구조에 따른 결속력 변화 발생

→ 밀도

표 62 눈과 얼음의 밀도 비교

물, 얼음	눈
– 분자가 결집된 구조로 밀도는 온도의 함수– 0 ˚C를 기준으로 얼음의 밀도는 1.0905kg/m3, 물의 밀도는 1.0kg/m3	– 다공성 물질로 밀도가 동일한 온도의 물과 얼음에 비해 작음 – 통상 330 kg/m3 로 고려하고 있으나 기상 조건에 따라 밀도차 발생 – 밀도를 고려할 수 있는 모델링 기법 개발 필요

마. 착설방지재료 및 코팅제

- 표면 코팅 재료로는 산화망간 폴리스티렌 나노 복합체, 산화 아연 폴리스티렌 나노 복합체, 탄산칼슘, 탄소 나노 튜브 구조체, 실리카 나노 코팅이 많이 쓰임
- 실리카 코팅은 스프레이이나 젤로 물체에 침투하게 만들어 굉장히 적용이 간단하여 매우 효율적인 방법임
- 다른 방법인 산화 폴리스티렌이나 탄소 나노튜브는 매우 비싸서 현재까지 실리카 코팅이 매우 효율적으로 알려져 있음
- 국내외에 초소수성을 이용한 옷, 차량 표면, 스프레이에 관한 연구가 진행중
- 그러나 초소수성에 관련된 Anti-icing 현상을 연구한 자료와 눈이 날리는 자연 현상으로 인한 착설 생성 메커니즘이 영향을 받는 지에 대한 자료가 거의 없는 실정이며 항력 저감에 관련된 결과들은 이제 시작하려는 경향을 보이고 있음

4. 연구과제 주요내용

가. 착설 모델링 실험

- 동절기 철도 설빙피해의 주요 원인이 되는 착설 현상의 규명 및 시뮬레이션 개발을 위한 수치적 모델 개발

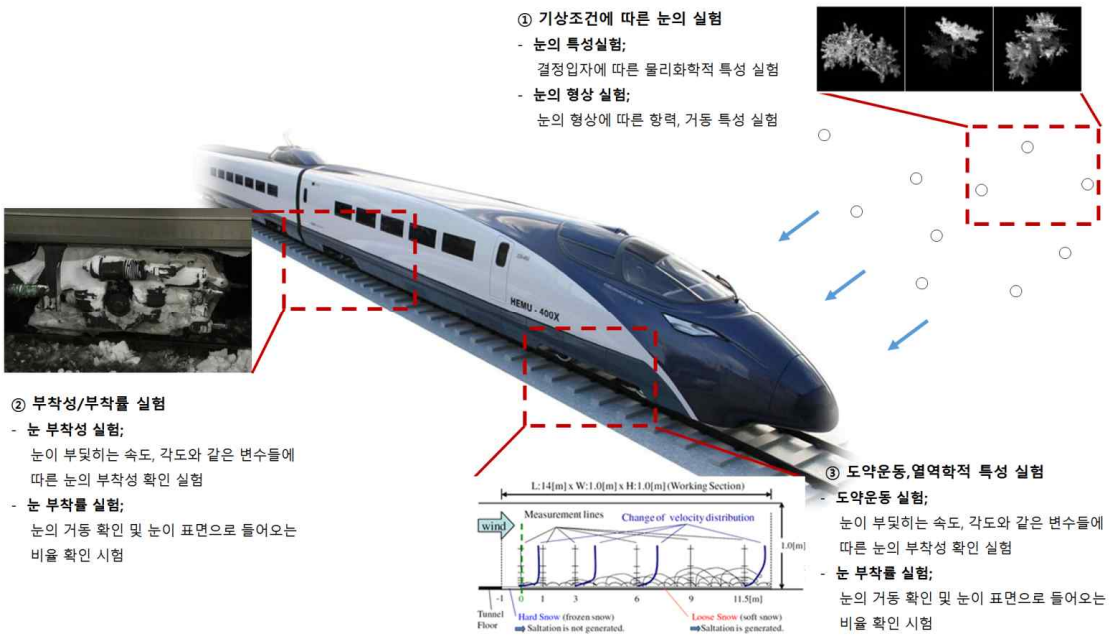


그림 135 착설 모델링 실험 개요도

- (기상조건에 따른 눈의 실험) 국내의 기상 여건에 따른 눈의 물리화학적 특성 및 형태에 관한 실험

  ① 눈 특성 실험; 온도, 습도와 같은 대기조건에 따라서 달라지는 눈의 결정 입자와 그에 따른 특성 변화를 확인 및 parametric study 수행

  ② 눈의 형상 실험; 눈의 형상은 눈 궤적을 예측하는데 있어, 눈의 형상은 항력 및 거동에 영향을 주는 주요한 요인이므로 기상 조건에 따른 눈의 형상을 확인하기 위한 실험 진행 및 수치적 모델 개발

- (부착성/부착률 실험) 착설 형상 예측에 주요한 요소인 부착성/부착률을 확인하는 실험 및 시뮬레이션에서 필요한 모델링 개발

  ① 눈 부착성 실험; 열차가 달리는 속도, 눈 결정이 열차 표면에 부딪히는 각도, 표면의 상태, 눈의 질에 따라 눈의 부착성이 영향을 받으므로, 해당 변수들에 따른 부착성 확인을 위한 실험 진행 및 수치적 모델 개발

② 눈 부착률 실험; 눈의 형상에 따른 거동을 확인하고 그에 따라 눈이 표면으로 들어오는 비율을 확인하는 실험. 이는 설빙의 양을 결정하는 주요 변수로 고려되며 따라서 차후 시뮬레이션 개발 시 검증에서 사용.

- (열역학적 특성/도약운동 실험) 착설이 진행된 이후 바뀐 표면 상태에 대한 열역학적 특성 실험 및 도약운동의 개요 확인 실험

① 열역학적 특성 실험; 부착된 눈이 설빙을 형성하기 위해서는 표면에서의 물/얼음 비중과 그에 따른 표면 상태에 지배적인 영향을 받음. 따라서 온도에 따른 표면의 상태에 대한 실험을 필요로 하며 그에 따른 표면 상태의 모델링을 수행

② 도약운동 특성 실험; 열차의 착설현상의 주요한 특징인 도약운동은 기차의 운행에 따른 현상으로 착설 과정에 반드시 고려되어야 할 사항으로 해당 운동에 대한 실험과 수치적 모델 개발

- (검증 실험 수행) 실제 크기의 모형에 대한 검증 실험 수행

① 해석자 검증 실험; 개발된 해석 시뮬레이션의 예측된 착설 형상을 실물 크기의 모델의 환경 풍동실험에서 나타난 결과와의 비교를 통한 검증 수행

② 개발된 코팅제 검증 실험; 개발된 방빙/제빙 코팅제에 대해서 실물 크기의 모델에 대한 착설현상 방지 효과 검증 실험 수행

③ 설계된 착설완화 장치 검증 실험; 시뮬레이션 결과를 바탕으로 개념 설계 및 최적화된 착설완화 장치에 대한 실증 실험 수행

표 63 착설현상 규명 및 수치적 모델 개발 분야 주요 수행내용

구성기술	주요 수행내용
■ 눈 특성 실험	■ 대기조건에 따른 눈의 결정 입자, 특성 확인 실험
■ 눈 부착성 실험	■ 다양한 변수들에 따른 부착성 확인 실험
■ 기상 조건에 따른 눈의 형상 실험	■ 눈의 형상의 항력 및 거동에 대한 영향력 실험
■ 부착률 실험	■ 결정된 거동 모델과의 부착률 관계 확인 실험
■ 열역학적 특성 실험	■ 열역학적 특성 및 표면 상태에 대한 모델링
■ 도약운동 특성 실험	■ 도약운동에 대한 모델링 및 실험 통한 검증

나. 시뮬레이션 기술

- 동절기 철도 설빙피해의 예방을 위해 실제 운행 전 설빙이 생성되는 과정을 예측할 수 있는 착설 해석 시뮬레이션 기술 개발

  - (눈의 궤적 및 부착률 해석 코드 개발) 기 개발된 항공기 착빙 관련 해석 시뮬레이션을 참고하여 눈의 궤적 및 부착률 해석이 가능한 코드 개발

    ① 착빙 시뮬레이션 확장; 설빙 해석을 위하여, 열차 대차부 주변의 유동 해석 모델 개발 및 설 입자의 결정 모델을 개발. 다상 유동 해석자와 Discrete Phase Model(DPM)이 적용된 코드 개발

    ② 액적 궤적 계산; 기존의 착빙 해석자가 지름 40μm 이하의 구형 액적을 가정하고 궤적을 예측하는 것과 달리, 눈 결정은 기상조건에 따라 다양한 모양과 크기를 가지므로 궤적 정확도를 높이기 위해 눈 결정 형태를 반영한 항력을 예측하는 궤적 계산 코드 개발

    ③ 표면 재생성 기술 및 경계조건 처리 기술 적용; 설빙 현상은 표면에 충돌한 입자가 부착되어 바깥 방향으로 얼음이 증식하는 현상으로, 부착된 눈의 양에 따라 새로운 표면 형상을 생성하는 기술 적용. 또한 기존의 해석코드와 달리 대기 환경에 따라 변화하는 눈의 습도, 점착성, 반발 현상을 포함하는 경계조건 처리 기술 개발

  - (도약운동 해석 및 새로운 열역학 모델을 적용한 설빙 해석 코드 개발) 지표면 위를 지나는 기차가 발생시키는 후류에 의해 지표면의 눈이 부상하여 나타나는 도약운동(Saltation)에 관한 해석과 그에 따른 표면 형상 변화(Erosion)를 포함하는 새로운 열역학 모델이 적용된 설빙 해석 코드 개발

    ① 도약운동(Saltation) 해석 코드 개발; 열차가 지나가며 발생된 후류에 의해 눈 입자가 길게 뛰는 도약운동이 발생하며, 부상된 입자는 중력에 의해 지면에 충돌 후, 지면의 다른 눈 입자의 재도약 운동이 연쇄적으로 발생시킴. 표면의 상태(Frozen show와 soft snow)에 따라 다양하게 나타날 수 있는 도약운동을 해석할 수 있는 코드 개발 및 적용

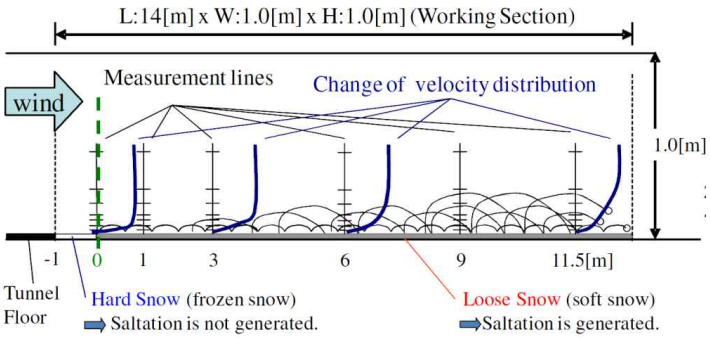


그림 136 표면 상태에 따른 Saltation 현상의 관계

② 표면 형상 변화(Erosion)을 포함하는 새로운 열역학 모델 적용; 공기의 전단력, 도약운동 등에 의해 발생하는 눈 표면 형상과 경계층 특성 변화를 포함하는 새로운 열역학 모델 개발 및 적용

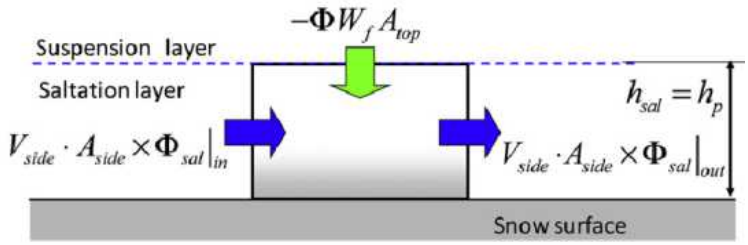


그림 137 표면 형상 변화 해석을 위한 검사 체적

- 설빙 완화를 위한 새로운 개념의 장치 설계

– 개발 및 검증이 완료된 시뮬레이션 기술을 이용하여 최근까지 알려진 착설 완화 장치의 물리적 특성을 파악하고, 이를 바탕으로 착설 완화를 위한 새로운 개념의 장치 개발

① 기존 착설완화 설계/개발 및 최적화; 열차의 착설을 발생시키는 주요 원인 중 하나인 도약운동을 억제할 수 있는 디플렉터, 커버 등의 기 개발된 장치에 대한 형상 개선 및 최적화 설계

② 유동 blowing을 이용한 착설완화 장치 설계; 개발된 착설 시뮬레이션을 이용하여 유동 blowing 적용 시의 대차부 착설 감소량 예측 및 해당 결과를 이용한 blowing을 이용한 착설완화 장치 개념 설계

③ 전두부 splitter 설계; 개발된 착설 시뮬레이션을 이용하여 지면에 쌓인 눈의 floating 효과 억제력 예측 및 해당 결과를 토대로 전두부 splitter의 형상 및 개념설계

– (방빙/제빙장치 제안 및 해석 코드 수정/개선) 실험 결과를 반영한 기존 해석 코드 수정 및 개선, 새로운 개념의 방빙/제빙장치 제안

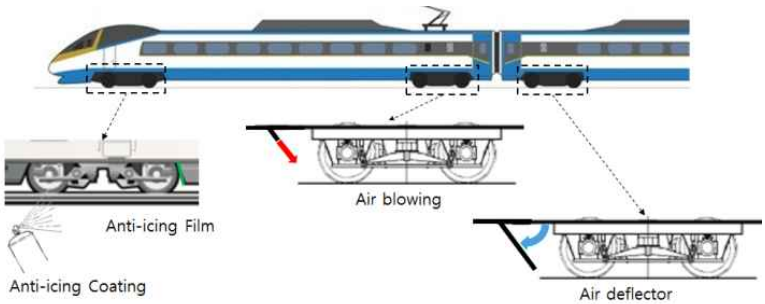


그림 138 철도차량 대차부 착설방지기술 개요도

표 64 착설 해석 시뮬레이션 분야 주요 수행내용

구성기술	주요 수행내용
■ 눈의 궤적 및 부착률 해석 코드 개발	■ 착빙 시뮬레이션 확장
	■ 액적 궤적 계산 : 입자의 운동 예측
	■ 표면 재생성 기술 및 경계조건 처리 기술 적용
■ 도약운동 해석 및 새로운 열역학 모델을 적용한 설빙 해석 코드 개발	■ 도약운동(Saltation) 해석 코드 개발
	■ 표면 형상 변화(Erosion)을 포함하는 새로운 열역학 모델 적용
■ 해석자 검증 및 설빙 완화를 위한 장치 설계	■ 탈부착 가능 착설완화 장치 최적화
	■ 유동 blowing을 이용한 착설완화 장치 최적화
	■ 전두부 splitter 개념 설계 및 최적화
■ 방빙/제빙장치 제안 및 해석 코드 수정/개선	■ 실험결과를 반영한 코드 수정 및 새로운 방빙/제빙장치 개념 제안

다. 착설방지 재료 및 코팅제 기술

- 유지 보수 편의성을 고려한 착설방지 재료 및 코팅제 개발

  – (눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발 및 물리화학적 특성 연구) 소수성을 가지는 실리카 나노파티클(또는 나노파우더) 스프레이를 이용한 눈/얼음 부착을 최소화 할 수 있는 스프레이 코팅제 개발

    ① 다양한 모양 및 사이즈를 갖는 나노파티클을 다양한 소수성 코팅 및 용매와 혼합하여, 가장 좋은 성질을 보이는 스프레이 코팅제 개발

    ② 스프레이 코팅 농도 및 스프레이 속도, 시편과의 거리, drying condition등을 조절함으로 다양한 surface pattern을 갖는 코팅 연구

  – (착설방지 코팅제 물리화학적 특성 연구) 1차년도에 개발된 코팅제들에 대한 물리화학적 특성을 실험적으로 측정

    ① Scanning electron microscopy를 이용한 표면의 morphology 확인

    ② 코팅제들에 대한, 내구성(e.g. Abrasion and Wear) 및 소수성(e.g. Contact angle, Contact angle hysteresis), 시편과의 접착력, 극한 환경(온도 및 습도 등)에서의 안정성 등등의 물리화학적 성질들 분석

  – (착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험) 물리화학적으로 분석 된 코팅제들을 작은 금속 시편(e.g. 알루미늄 혹은 스테인레스 스틸과 같은 실 기관차에 사용되는 금속 재료

등)에 실제로 적용하여 소형 icing wind tunnel을 이용하여 실험 진행. anti-icing, de-icing 성질들을 실험적으로 분석하고 proof-of concept 과정

- (착설방지 코팅제 검증 실험 및 생산 연구) 대형 고속 냉동풍동을 이용한 실크기 모델에 대한 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험 수행 및 착설방지 코팅제의 대량생산화 기술 연구

  1) 실제 기관차 차량 및 부품 혹은 이에 준하는 크기의 시편에 개발된 코팅제를 입히고 대형 고속 냉동풍동을 이용한 실제와 비슷한 환경에서 방빙 및 제빙 효과도 실험

  2) 1,2차년도에서 검증된 코팅제의 유효성 및 서울대에서 행해진 수치해석을 기반으로 실제 크기에 적용하기 위한 코팅제의 최적화 및 high-throughout & low-cost industrial spray gun system을 개발

표 65 착설방지 재료 및 코팅제 개발 분야 주요 수행내용

구성기술	주요 수행내용
■ 눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발	■ 다양한 물질에 대해 실험 및 코팅제 개발
	■ Spray 분사에 따른 Surface pattern을 갖는 코팅 연구
■ 개발된 코팅제 물리화학적 특성 연구	■ 코팅제들에 의한 표면의 변형성 확인
	■ 코팅제들에 대한 다양한 물리화학적 특성 연구
■ 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험	■ 작은 금속 시편에 대한 proof-of concept 단계
■ 착설방지 코팅제 검증 실험 및 대량생산화 기술 연구	■ 실크기의 모델에 대한 방빙/제빙 실험 진행
	■ 개발된 코팅의 상용화 및 대량생산화 가능성 검증

5. 연구과제 추진방안

가. 추진전략

- 운영주체와의 유기적 협조체계 구축

  - 실제 대차부 착설 형태 자료 공유를 위한 운영주체의 참여

  - 운영주체에서 제기하는 현장 애로사항 및 의견 반영한 착설방지 재료 및 대차형상 설계

- 착설/설빙 관련분야 전문가 자문

  - 국내·외 각종 유사 타분야 선행연구 및 적용 사례에 대한 조사

- 실효성 있는 결과물 도출을 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 적극 수렴

- 착설방지 재료 개발 및 형상 설계 시 국내·외의 특허를 검색하여 유사한 특허정보 확보, 회피 전략 및 해외 진출 전략 수립

나. 추진체계

- 본 공모과제는 융복합 기술을 기반으로 하는 실용화 연구로 관련 기술을 확보한 대학/연구기관 및 성과물을 활용할 수 있는 운영기관이 참여
- 참여기업은 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 가능
- 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문
- 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모
- 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고

그림 139 연구과제 추진체계 개요도

다. 기술 확보 방안

- 착설현상 규명 및 수치적 모델 개발

  - 국내 보유 환경 챔버를 활용, 해석자 검증 및 모델링을 위한 실험 수행

  - 국내 철도 관련 기관의 협조를 통해 국내 기상 조건과 철도 운용 여건을 고려

  - 시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 물리적 모델링을 고려한 실험

  - 대상 구성 기술 : 눈 특성 실험, 눈 부착성 실험, 기상 조건에 따른 눈의 형상 실험, 부착률 실험, 열역학적 특성 실험, 도약운동 특성 실험

- 착설 해석 시뮬레이션 개발

  - 실험을 통해 개발된 모델링 기법 적용

  - 다수의 개발자가 참여하는 대규모 시뮬레이션 프로그램

  - 중앙 관리자를 통한 해석 코드 관리

  - 중앙의 서버를 구성하고 일정 기간 별 해석 코드 정보 업로드 및 공유

  - 객체 지향 기반의 해석 코드 활용 : 코드 정보화, 캡슐화, 상속성과 다형성, 연관성을 갖는 시뮬레이션 프로그램 개발

  - 대상 구성 기술 : 적용한 설빙 해석 코드 개발, 해석자 검증 및 설빙 완화를 위한 장치 설계, 방빙/제빙장치 제안 및 해석 코드 수정/개선

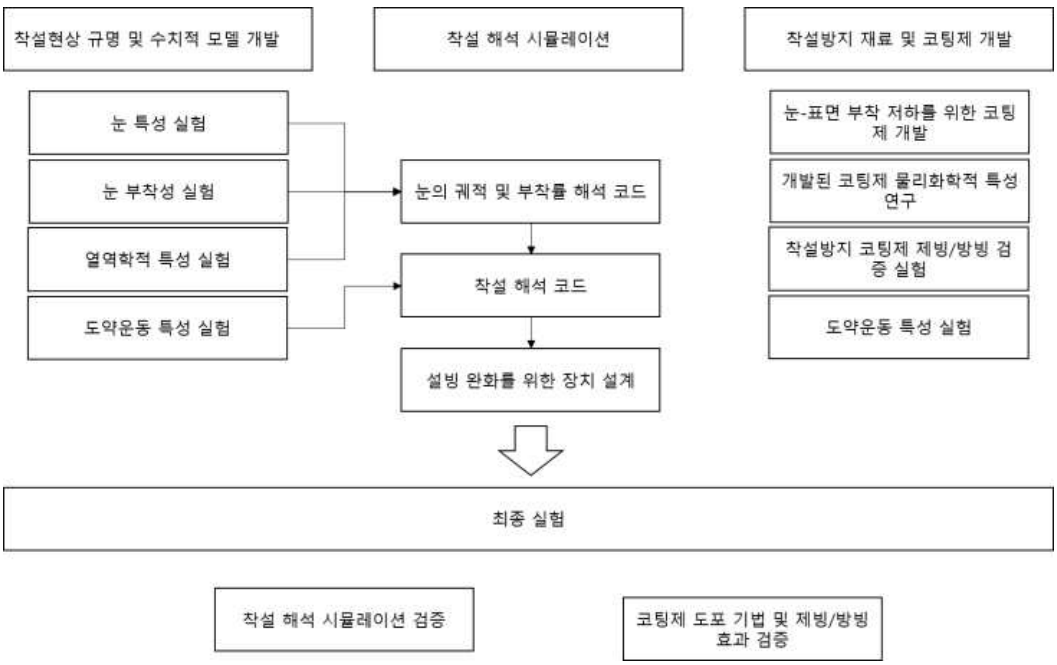


그림 140 실험진행 개요도

- 착설방지 재료 및 코팅제 개발

  - 소수성을 갖는 소재와 다양한 기상 조건에 대해 실험을 통한 착설 방지 재료 및 코팅제 개발

  - ‘착설현상 규명을 위한 실험’과 실험 장치 및 실험 특성의 차이가 있으므로 별도의 실험 시설 및 장비 활용

  - 코팅제 성능, 도포 기술을 확인하기 위한 실험은 복잡한 대차부 형상을 대상으로 하므로, ‘착설현상 규명을 위한 실험’과 공동 실험 수행

  - 대상 구성 기술 : 눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발 및 코팅제 물리화학적 특성 연구, 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험, 착설방지 코팅제 대량생산화 기술 연구, 착설방지 코팅제 검증 실험

- 최종 실험

  - 해외 착설 해석이 가능한 RTA(奧)의 풍동(안)을 활용

  - 해석 프로그램 검증 수행 : 개발된 착설 해석 프로그램

  - 코팅제 도포 기법 및 제빙/방빙 효과 검증

  - 새로운 형태의 착설 완화장치, 방빙/제빙 장치의 효과 검증

  - 대상 모델 : 실제 운용중인 KTX를 대상으로 형상 및 표면 재질 고려

6. 추진일정(안)

핵심 후보과제명 : 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

구성기술	주요 수행내용	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기
착설 현상의 규명 및 수치적 모델 개발	눈 특성 및 형상, 부착성, 부착률(거동) 실험	■	■	■	■																
	기상 조건에 따른 눈의 형상 실험(두께 및 이심률 측정) 부착률 실험(거동 분석)					■	■	■	■												
	열역학적 특성 실험(온도에 따른 물/얼음 비중) Saltation(눈의 도약) 특성 실험									■	■	■	■								
	해석자 검증을 위한 실모델 실험수행(착설현상)													■	■	■	■				
	수치적으로 설계한 착설 예방을 위한 장치의 착설 실험 수행 개발된 코팅제 검증을 위한 착설 실험 수행																	■	■	■	■
착설 해설 시뮬레이션 개발	눈 부착성 모델링	■	■	■	■																
	눈의 궤적(거동성) 및 표면 부착률 해석 코드 개발					■	■	■	■												
	열역학적 특성 모델링 Saltation 특성 모델링									■	■	■	■								
	해석자 검증 및 보완 설빙 완화를 위한 형상 설계 제시													■	■	■	■				
	De/Anti-icing 장치 제안 해석 코드 수정 및 개선																	■	■	■	■
착설방지 재료 및 코팅제 개발	눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발	■	■	■	■																
	착설방지 코팅제 물리화학적 특성 연구					■	■	■	■												
	착설방지 코팅제 대량생산화 기술 연구									■	■	■	■								
	고속 냉동풍동을 이용한 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험													■	■	■	■				
	착설방지 코팅제 현장 운영 적합성 검증																	■	■	■	■

7. 인력투입계획 및 소요예산 산정

가. 연구일정에 따른 인력투입계획

수행년차	연구내용	세부연구내용	참여인원수 (명)	인력구분	인건비단가 (천원/월)	참여율	참여기간 (개월)	인건비
1차년도	눈특성실험	눈 부착성 실험	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		온도 습도에 따른 눈의 특성 연구	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설 모델링	눈 부착성 모델링	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		눈 부착성 모델링	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설방지 코팅제 개발	눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발	1	포스트닥	4,000	100%	12	48,000
		눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발	2	박사과정	3,000	100%	12	72,000
1차년도 합계				-	-	-	-	274,416
2차년도	눈특성실험	기상 조건에 따른 눈의 형상 실험 (두께 및 이심률 측정)	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		부착률 실험(거동 분석)	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설 모델링	눈의 궤적(거동성) 및 표면 부착률 해석 코드 개발	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		눈의 궤적(거동성) 및 표면 부착률 해석 코드 개발	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설방지 코팅제 개발	착설방지 코팅제 물리화학적 특성 연구	1	포스트닥	4,000	100%	12	48,000
		착설방지 코팅제 물리화학적 특성 연구	2	박사과정	3,000	100%	12	72,000

2차년도 합계				-	-	-	-	274,416
3차년도	눈특성실험	열역학적 특성 실험 (온도에 따른 물/얼음 비중)	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		Saltation(눈의 도약) 특성 실험	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설 모델링	열역학적 특성 모델링	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		Saltation 특성 모델링	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설방지 코팅제 개발	착설방지 코팅제 대량생산화 기술 연구	1	포스트닥	4,000	100%	12	48,000
		착설방지 코팅제 대량생산화 기술 연구	2	박사과정	3,000	100%	12	72,000
3차년도 합계								274,416
4차년도	눈특성실험	해석자 검증을 위한 실모델 실험수행(착설현상)	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		해석자 검증을 위한 실모델 실험수행(착설현상)	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설 모델링	해석자 검증 및 보완	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		설빙 완화를 위한 형상 설계 제시	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설방지 코팅제 개발	고속 냉동풍동을 이용한 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험	1	포스트닥	4,000	100%	12	48,000
		고속 냉동풍동을 이용한 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험	2	박사과정	3,000	100%	12	72,000
4차년도 합계				-	-	-	-	274,416
5차년도	눈특성실험	수치적으로 설계한 착설 예방을 위한 장치의 착설 실험 수행	1	수석급	7,950	32%	12	30,528
		개발된 코팅제 검증을 위한 착설 실험 수행	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설 모델링	De/Anti-icing 장치 제안	1	수석급	7,950	32%	12	30,528

		해석 코드 수정 및 개선	2	원급	3,890	50%	12	46,680
	착설방지 코팅제 개발	착설방지 코팅제 현장 운영 적합성 검증	1	포스트닥	4,000	100%	12	48,000
		착설방지 코팅제 현장 운영 적합성 검증	2	박사과정	3,000	100%	12	72,000
5차년도 합계				–	–	–	–	274,416
총계				–	–	–	–	1,372,080

나. 소요예산산정

- ‘철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발’ 과제에 소요되는 연구비는 총 30억원으로 착설현상 규명과 해석 시뮬레이션 검증을 위한 외부 출장 실험이 다수 있으며 설빙 시뮬레이션 기술 개발의 전산해석 연구인원이 많이 필요하여 인건비 비율이 가장 높음

수행년차	연구내용	세부연구내용	직접비(천원)				
			인건비	연구장비 및 재료비	연구활동비	연구과제추진비	계
1차년도	눈특성실험	– 눈 부착성 실험 – 온도 습도에 따른 눈의 특성 연구	77,208	133,000	31,450	8,280	249,938
	착설 모델링	– 눈 부착성 모델링	77,208	55,000	11,450	8,280	151,938
	착설방지 코팅제 개발	– 눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발	120,000	23,000	12,000	5,510	160,510
1차년도 합계			274,416	211,000	54,900	22,070	562,386
2차년도	눈특성실험	– 기상 조건에 따른 눈의 형상 실험(두께 및 이심률 측정) – 부착률 실험(거동 분석)	77,208	80,000	31,300	7,120	195,628
	착설 모델링	– 눈의 궤적(거동성) 및 표면 부착률 해석 코드 개발	77,208	55,000	11,300	7,120	150,628
	착설방지 코팅제 개발	– 착설방지 코팅제 물리화학적 특성 연구	120,000	61,750	12,000	4,360	198,110
2차년도 합계			274,416	196,750	54,600	18,600	544,366
3차년도	눈특성실험	– 열역학적 특성 실험(온도에 따른 물/얼음 비중) – Saltation(눈의도약)특성실험	77,208	130,000	45,900	7,120	260,228
	착설 모델링	– 열역학적 특성 모델링 – Saltation 특성 모델링	77,208	100,000	15,900	7,120	200,228

	착설방지 코팅제 개발	- 착설방지 코팅제 대량생산화 기술 연구	120,000	16,000	16,600	4,360	156,960
3차년도 합계			274,416	246,000	78,400	18,600	617,416
4차년도	눈특성실험	- 해석자 검증을 위한 실모델 실험수행(착설현상)	77,208	30,000	180,900	7,120	295,228
	착설 모델링	- 해석자 검증 및 보완 - 설빙 완화를 위한 형상 설계 제시	77,208	50,000	15,900	7,120	150,228
	착설방지 코팅제 개발	- 고속 냉동풍동을 이용한 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험	120,000	26,000	16,600	4,360	166,960
4차년도 합계			274,416	106,000	213,400	18,600	612,416
5차년도	눈특성실험	- 수치적으로 설계한 착설 예방을 위한 장치의 착설 실험 수행 - 개발된 코팅제 검증을 위한 착설 실험 수행	77,208	20,000	255,900	7,120	360,228
	착설 모델링	- De/Anti-icing 장치 제안 - 해석 코드 수정 및 개선	77,208	40,000	15,900	7,120	140,228
	착설방지 코팅제 개발	- 착설방지 코팅제 현장 운영 적합성 검증	120,000	22,000	16,600	4,360	162,960
5차년도 합계			274,416	82,000	288,400	18,600	663,416
총계			1,372,080	841,750	689,700	96,470	3,000,000

8. 실용화/사업화 방안

- 실용화 방안

  - 개발된 예측 시뮬레이션은 실제 현재 운용중이 열차에 시험하여 실증가능하며 열차 개발 단계에서 형상에 따른 설빙 현상을 예측하여 설계에 활용가능하며 대차부의 부착물이나 형상변경 시에도 설계단계에서 예측이 가능하여 실용화 가능함

  - 개발된 착설 방지 코팅제는 실제 현재 운용중이 열차에서 동절기에 시험하여 실증가능하며 현재 운행 중인 고속철도차량의 대차부에 동절기에 적용하여 실용화 가능함

- 사업화 방안

  - 국내의 동절기 설빙피해는 적극적으로 대처할 수 있어 고속철도차량은 물론 일반차량으로의 적용확대 시 국내 사업화가 가능할 것으로 판단됨

  - 착설/설빙의 시뮬레이션을 통한 예측은 현재 항공기 착빙 해석 코드를 적용한 수준에서는 존재하지만 착설을 실질적으로 예측할 수 있는 수준의 해석 기법은 존재하지 않으므로 국내외 시장을 개척할 수 있을 것으로 보임

  - 차세대 열차 개발 사업 시에 개념설계 단계에서 동절기 설빙 방지가 가능한 형상설계가 가능하여 국내외 열차 개발에 활용될 가능성이 높아 보임

  - 또한 북유럽, 러시아 등의 설빙 피해가 큰 극한기후의 국가의 니즈에 따라 수출 가능

- 연계사업 활용방안

  - 동절기 폭설에 의한 설빙 피해가 클 것으로 보이는 원주강릉선이나 동서고속화철도 등의 운용 시에 사전에 피해를 예측하고 이에 적극적으로 대응하는 기술 확보 필요

9. 기대효과 및 파급효과

가. 정량적 효과

- 동절기 피해비용 저감
  - 고속철도차량의 효율적 De-icing 기술 적용을 통하여 고속선 설빙피해 저감 가능
    - * 고속선 설빙피해 복구 및 유지보수 비용(약 36.4억원/년) 중 30% 저감 가정 : 약 10.9억원/년
  - 자동화된 De-icing 기술 적용을 통하여 고속차량 설빙제거 비용 저감 가능
    - * 수작업에 의한 고속차량 설빙제거 비용 : 약 1.3억원/년
- 열차 지연 및 유지보수 시간 감소를 통한 열차 운용률 향상
  - 동절기 자연재해에 의한 열차 지연 감소
    - * 고속선 겨울철(12~1월) 강설, 동결 등에 의한 열차 지연 시간(약 186.2시간/년) 중 30% 저감 가정 : 약 56시간/년
  - 철도차량 제빙, 피해복구 등 유지보수 시간 감소
    - * 고속선 설빙피해 시 유지보수 시간 : 약 4~5일(기지입고→검사→유지보수→출고)
- 외산부품 피해 저감을 통한 외화 절감
  - 고속선 설빙에 의한 외산 부품(차축 코팅제, 창유리) 피해 저감
    - * 차축 코팅제, 창유리 파손 50% 저감 시 연간 약 9.2억원 외화절약 가능

나. 정성적 효과

- 동절기 철도 안전운행 확보를 통한 국민 안전 증대
  - 대차부 및 차륜 피해를 예방하여 고속열차의 주행안정성 향상
  - 창유리 및 차축손상 예방을 통한 대국민 안전 도모 및 불안감 해소
- 향후 국내 고속철도 사업 대비 핵심기술 확보
  - 원주강릉선이나 동서고속화철도와 같은 동절기 강설량이 많은 강원지역의 고속철도나 남북철도 연결 시 북쪽 지역 극한기후에 대응하여 선제적으로 기술 대응
  - 고속철도의 고속화, 대형화에 따라 설빙피해는 증가될 것으로 판단되므로 고속철도 노선 확장 시에나 새로운 고속열차 개발 시에 대비할 수 있는 기술 확보
- 해외 기술 수출 기대
  - 북유럽, 중국, 러시아 등 극한 기후 국가에서는 동절기 설빙에 고속열차 피해발생이 높으므로 개념설계단계에서 설빙예측이 가능한 시뮬레이션 기술이나 착설을 방지하는 코팅제에 대한 수출을 기대할 수 있음
- 타 산업 파급 효과
  - 동절기 착설에 의해 피해가 발생하는 풍력 터빈이나 고압전선 등의 타 산업에 개발된 해석 시뮬레이션 기술 도입가능

3절 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

1. 과제 개요

- 연구개발 목표
  - 동절기 강설, 결빙에 의한 피해가 없는 고신뢰성, 고효율 분기부 장애예방기술 개발
- 기술개발 방향성
  - 동절기 선로전환기 동작부 결빙 방지(레일 표면온도 -25℃)
  - 기존 융설장치 대비 융설성능 향상(적설량 30cm/day)
    * 설정근거 : 대설경보 발령기준(20cm/day)에 근거하여 설정
  - 사용 에너지 효율성 향상
- 연구개발 기간 및 연구비
  - 연구개발 기간 : 5년
  - 연구비 : 40억원(정부출연금)
- 최종 성과물(TRL : 7)
  - 고속철도 분기부용 Anti-icing 시스템 시제품 및 관련도면

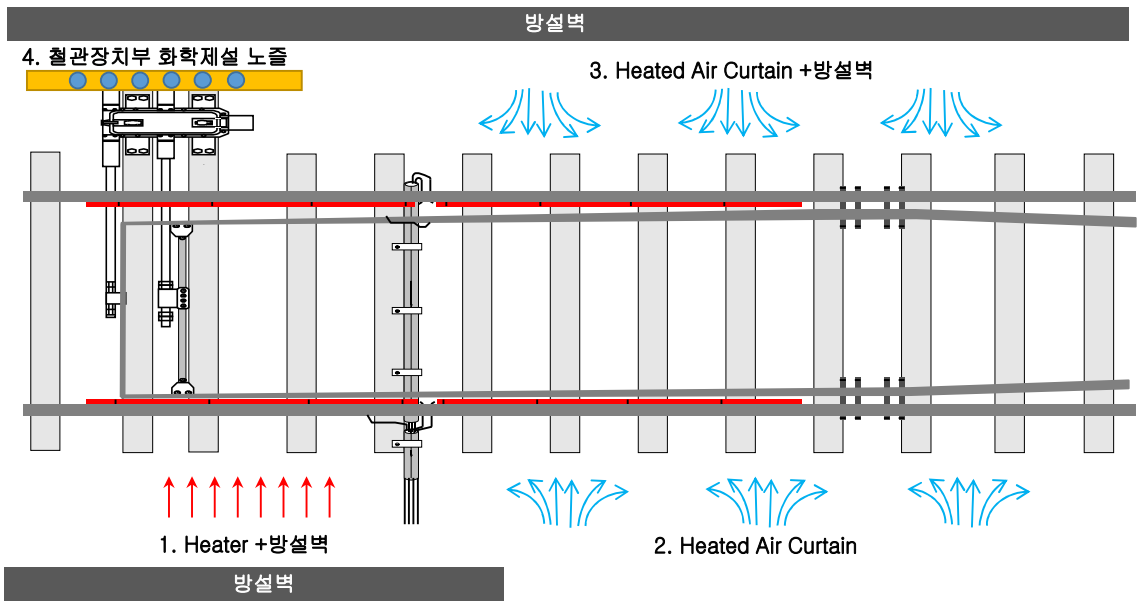


그림 141 시스템 개념도

2. 추진배경 및 필요성

- 동절기 선로 전환기 적설 및 결빙으로 인하여 선로 전환기 밀착 불량 및 전환 실패가 빈번히 발생

  - 2011년 ~ 2013년 동절기 분기부 적설 및 동결에 의한 선로전환기 밀착불량에 따른 열차운행 장애(지연운행, 부본선 운행 등)는 41건에 달함

그림 142 선로전환기 장애 발생 시 적설 및 동결 상황

- 선로전환기용 융설장치가 미설치된 선로전환기(31건, 75.6%)에서 뿐만 아니라 융설장치가 설치된 선로전환기(10건, 24.4%)에서도 발생하고 있는 실정이며, 많은 경우 인력제설에 의존하여 안전비용 및 유지보수 비용의 증가가 발생하고 있음

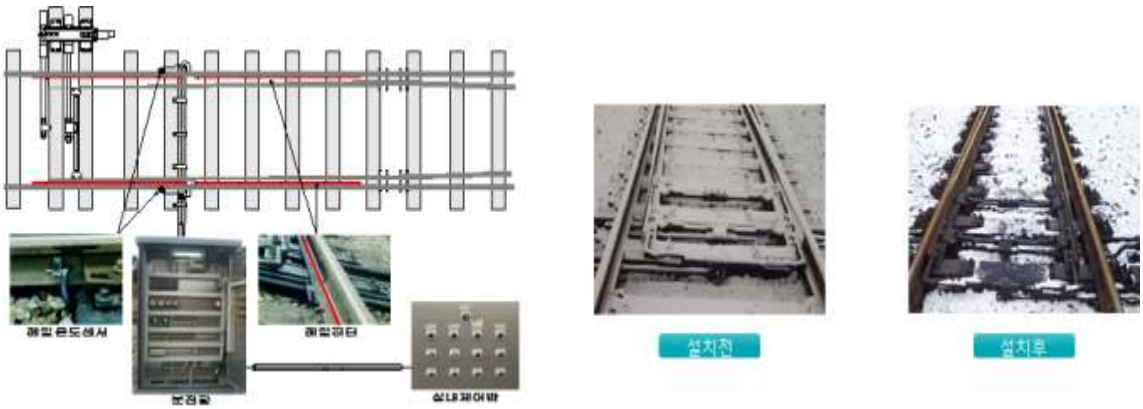


그림 143 선로전환기 융설장치 개요

- 이는 선로전환기용 융설장치가 일정 수준 이상의 강설 시 대응하지 못하고 포인트부만 융설 가능하도록 설계되어 있어 열차 지연 및 유지보수 부담을 증가 시키고 있는 실정이므로, 분기부 부위별 열전달 특성 및 선로 운영상황을 고려한 분기부 시스템의 융설 설계가 필요한 상황임

- 히팅장치를 이용한 기존의 분기부 결빙방지장치는 그 신뢰성에 문제가 있어서 철도시설공단은 고속선 분기부에 결빙방지를 위한 터널형 결빙방지시설의 시공을 검

토하고 있음

- 경부고속선과 수서발고속선이 분기되는 남산 IEC의 경우 선로전환기 결빙이 우려되어 분기부 주변 약 80m에 터널 시공을 검토 중이며 건설비용이 60억 ~ 80억 정도로 추정되고 있음 (당초 철도공사는 127m 터널길이 제안)

그림 144 경부고속선과 수서발고속선 분기점인 남산 IEC

- 또한 철도운영기관에서는 자체적으로 고속선 분기부 동절기 장애 예방 및 대응을 위하여 운영 및 유지보수 관점에서의 대책을 수립하여 대응하고 있지만 한계점을 가지고 있음

  - 고속선 분기부 장애예방 대책 : 선로전환기 히팅장치 점검, 필요 시 인력제설 등

- 그러므로 동절기 피해를 예방하고 철도 운영 효율화를 위하여 기술개발이 필요함

  - 동절기 열차운행 지연 : 약 326시간/년

    * 지연유형 : 고속선 설빙에 의한 지연운행, 선로전환기 밀착불량 등

- 또한 국가 기간교통망인 철도교통의 안전을 확보하고 국민의 편익을 향상시키기 위하여 필요

  - 선로전환기 장애에 따른 서행 운행으로 승객 여행시간 증가 및 운행 지연 발생

    * 경부고속선 2단계구간 분기부 구간(신경주역, 울산역)에서 동절기 피해는 아니나 선로전환기 자체의 문제로 인하여 개통 이후 약 5년간 부본선 통과 혹은 본선 170km/h 서행 운행 발생

  - 철도차량 및 시설의 안전성 향상을 통한 선제적 안전관리 체계 도입의 필요성 대두

    * 철도 안전 종합계획(2011~2015) : 철도시설의 안전성 향상, 철도차량의 안전성 향상

- 향후 남북철도 연결 등 운영환경 변화와 고속철도 수출 다변화를 위한 선제적 기술

개발 및 확보 필요

- 남북철도 및 대륙철도 연결 실현 시 대규모 강설환경에 대하여 국가적으로 대비할 수 있는 기술력 필요

  * 평창올림픽 개최 전 개통예정인 원주강릉고속철도(원강선)의 경우 혹한 및 대규모 강설이 예측되어 이에 대비한 선제적 기술연구 필요

- 철도 수출의 다변화를 위해 철도 피해 예방기술의 선제적 개발과 확보를 통해 한국 철도기술의 국제적 경쟁력을 확보하는 것이 필요

  * 제2차 철도산업 발전 기본계획(2011~2015) : 미래성장 동력 확충, 해외철도 진출기반 강화

3. 기술개발 동향

- 국내의 경우 선로전환기 장애를 해결하기 위하여 선로전환기 융설장치에 대한 연구가 중점적으로 수행되었으며, 주로 유지보수성 향상, 친환경에너지 사용을 목적으로 연구를 진행되었으나 일정이상의 폭설 시에는 동작의 신뢰성이 보장되지 못하여 인력 제설에 의존하고 있음

- 저전력 및 설비간략화를 위한 선로전환기용 융설장치 설계(2013, 한국철도공사)

그림 145 선로전환기 포인트부

그림 146 선로전환기 크로싱부

- 학계, 연구계에서는 강설에 의한 분기부 결빙 메커니즘 규명 및 효율적인 융설을 위해 컴퓨터 수치해석을 수행한바 있으나 현장시험 및 실용화에 접목되지 못함

- 분기기 히터장치를 위한 정전력 AC/DC 컨버터 개발(2013, 한국교통대학교)

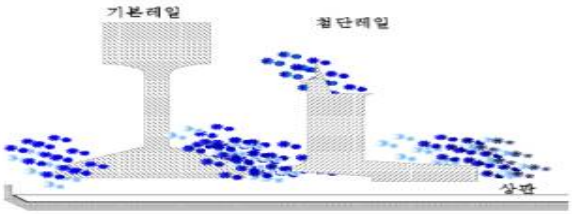


그림 147 기본레일과 첨단레일사이의 결빙 해석

- 북유럽에서는 강설시 분기부 결빙을 방지하기 위하여 선로전환기 커버를 이용하거나 방설 브러쉬에 발열요소(heating element)를 적용하는 등의 연구가 진행되고 있으나 폭설이 내리지 않는 프랑스/독일 등 고속철도 선진국에서의 분기부 결빙방지장치에 대한 연구는 활발하지 않은 편임

그림 148 선로전환기 커버

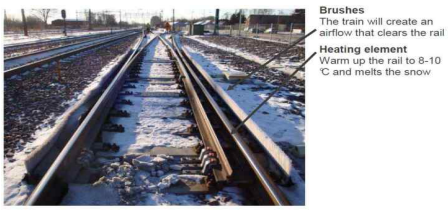


그림 149 선로전환기 방설브러쉬

- 일본에서는 지역(북해도 등)에 따라 강설이 매우 심한편이어서, 기후 특성에 맞게 분기기 결빙 장애 방지를 위한 고압온수분사 장치 혹은 스프링클러 등이 적용된 바 있음
  - 고압온수분사 방법은 일본에서도 배수설계가 되어 있는 콘크리트 궤도에 주로 적용하는 것으로 알려져 있으며, 일반 자갈궤도에서 과도한 수분이 유입되고 영하의 기온이 지속되면 ice lens 가 형성되면서 선로동상으로 이한 궤도 틀어짐이 발생할 수도 있음

그림 150 스프링클러 융설장치

그림 151 고압온수분사장치

4. 연구과제 주요내용

- 동절기 분기부 장애원인 분석 및 분기부 위치별 운영환경을 고려하여 분기부 장애원인 분석 및 해석기술, 분기부 Anti-icing 시스템 설계 및 핵심 요소 기술, 분기부 Anti-icing 시스템 제작 및 성능검증 기술, 분기부 Anti-icing 시스템 운영환경 성능검증 기술로 구성

  - (분기부 장애원인 분석 및 해석 기술) 동절기 분기부 장애원인 분석 및 분기부 주변 열유동 특성, 상변화(눈→물)를 고려한 열전달 해석 등 각 원인별 대안을 제시하고 설계변수 최적화를 수행할 수 있는 분기부 열유동 해석기술 개발

  - (분기부 Anti-icing 시스템 설계 및 핵심 요소 기술) 분기부의 핵심 구성부인 포인트부, 크로싱부, 철관장치 및 신호부 별 Anti-icing 시스템 설계(안) 수립 및 Anti-icing 실현을 위한 핵심 요소기술(열유동 제어 기술, 차륜 점착성능을 고려한 최적 화학제설재 합성 및 도포 기술) 개발

  - (분기부 Anti-icing 시스템 제작 및 성능검증 기술) 분기부 Anti-icing 시스템 설계기술과 핵심 요소기술의 실제 시스템 구현기술 및 Anti-icing 성능을 검증할 수 있는 다양한 적설/환경 조건에서의 시현방법 개발 및 성능검증 시험기술 개발

  - (분기부 Anti-icing 시스템 운영환경 성능검증 기술) 분기부 Anti-icing 시스템의 실용화 기반 구축을 위하여 실제 운영환경에서 성능을 검증하고 안정화 시험을 통한 개선사항 도출 및 시스템 신뢰성 확보

표 66 구성기술별 주요 수행내용

구성기술	주요 수행내용
■ 분기부 장애원인 분석 및 해석기술	■ 동절기 분기부 장애원인 분석
	■ 동절기 분기부 열유동 해석기술 개발
	■ 열유동 방법과 화학적 방법의 적절성 비교검토
■ 분기부 Anti-icing 시스템 설계 및 핵심 요소 기술	■ 분기부 Anti-icing 시스템 설계(안) 수립
	■ Anti-icing 실현을 위한 열유동 제어기술 개발
	■ 점착성능 고려 최적 화학제설재 합성기술 개발
■ 분기부 Anti-icing 시스템 제작 및 성능검증 기술	■ 분기부 융설성능 검증방법 개발
	■ 분기부 Anti-icing 시스템 시제품 제작
	■ 분기부 Anti-icing 시스템 성능 검증
■분기부 Anti-icing 시스템 운영환경 성능검증 기술	■ 분기부 Anti-icing 운영환경 성능 검증
	■ 분기부 Anti-icing 안정화 및 실용화 기반구축

5. 연구과제 추진방안

가. 추진전략

- 수요처(사용자)와의 유기적 협조체계 구축
  - 연구개발 성과물의 실용화를 위해 연구기관에 수요기관(사용자) 참여
  - 연구개발 성과물의 실용화를 위해 수요기관에서 제시되는 현장 애로사항 및 의견을 개발에 반영
- 연구성과물 실용화를 위한 추진전략 마련
  - 명확한 문제 원인 분석 및 핵심 요소기술 개발
  - 기술개발품 실용화를 목표로 연구개발 추진
  - 기술개발 성과물의 원활한 상용화를 위한 성능검증, 공인인증, 제품인증을 기술개발 내용에 포함
  - Test-bed 구축계획을 조기에 수립하고, 성과물 성능 및 신뢰성 검증방안을 제시

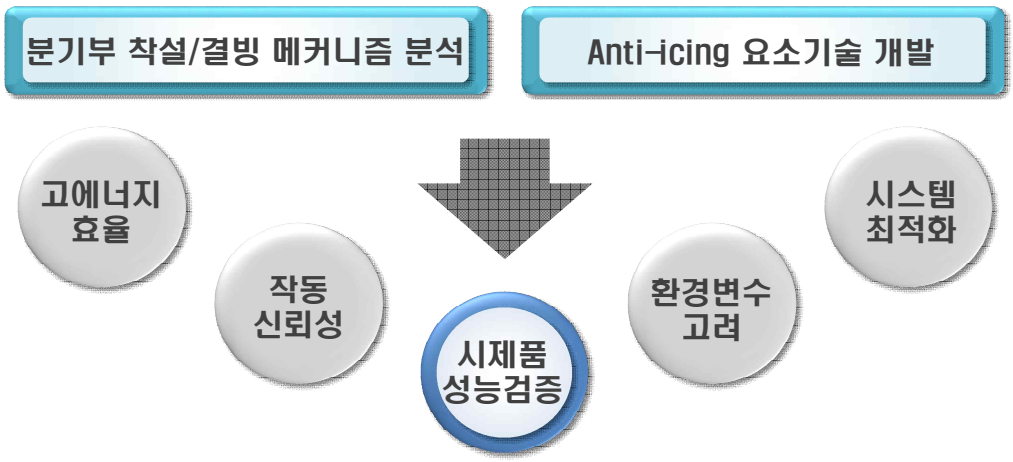


그림 152 연구성과물 실용화를 위한 추진전략

- 관련분야 전문가 자문
  - 국내외 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사
  - 실효성 있는 결과물 도출을 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 적극 수렴
- 제품 개발 시 국내외의 특허를 검색하여 유사한 특허정보 확보, 회피전략 및 해외 진출 전략 수립
- 명확한 문제원인 분석 및 핵심 요소기술 확보를 통한 개발기술 실용화에 초점

나. 추진체계

- 본 과제는 선로전환기 장애 예방을 위한 융복합 기술을 기반으로 하는 실용화 연구로 관련 기술을 확보한 연구기관, 기업 및 성과물을 활용할 수 있는 철도 운영기관이 참여
- 참여기업은 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업으로 구성
- 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 가능
- 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문
- 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모
- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고

그림 153 연구과제 추진체계 개요도

다. Test-Bed 구축전략(안)

- 개발시제품의 다양한 적설/온도 조건에서 시험하기 위하여 실험실 내 환경챔버를 활용하여 분기부 Anti-icing 의 성능 검증을 수행
- 또한 분기부 시스템은 실제로는 야외에서 운영되기 때문에, 실제 운영환경에서 테스트베드를 구축하는 것이 바람직하나 선로분기기 장애 시 열차탈선 등 큰 인명사고가 날 수 있기 때문에 유휴선로를 활용한 운영환경 시스템 성능검증이 바람직하다고 판단 됨
- 테스트베드로 활용 가능한 고속선 유휴선로는 현재 신규 연결선 건설로 인하여 운행되고 있지 않는 경북고속선 대전남 연결선 구간(대전역-옥천역)과 대구북 연결선(신동역-지천역) 구간 중 보다 혹설조건인 대전남 연결선 구간이 유리하다고 사료됨

6. 추진일정(안)

핵심 후보과제명 : 동절기 선로전환기 장애예방기술 개발

구성 기술	주요 수행내용	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
		1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기	1분기	2분기	3분기	4분기
분기부 장애원인 분석 및 해석기술	동절기 분기부 장애원인 분석	■	■																		
	동절기 분기부 열유동 해석기술 개발	■	■	■	■																
	열유동 방법과 화학적 방법의 적절성 비교검토			■	■																
분기부 Anti-icing 시스템 설계 및 핵심 요소기술	분기부 Anti-icing 시스템 설계(안) 수립					■	■	■	■												
	Anti-icing 실현을 위한 열유동 제어기술 개발					■	■	■	■												
	점착성능 고려 최적 화학제설재 합성기술 개발					■	■	■	■												
분기부 Anti-icing 시스템 제작 및 성능검증	분기부 융설성능 검증방법 기술개발					■	■	■	■												
	분기부 Anti-icing 시스템 시제품 제작								■	■	■										
	분기부 Anti-icing 시스템 성능검증										■	■	■								
분기부 Anti-icing 시스템 운영환경 성능검증 기술	분기부 Anti-icing 운영환경 성능검증													■			■	■			■
	분기부 Anti-icing 안정화 및 실용화 기반구축													■	■	■	■	■	■	■	■

7. 인력투입계획 및 소요예산 산정

가. 연구일정에 따른 인력투입계획

수행년차	연구내용	세부연구내용	참여인원수 (명)	인력구분	인건비단가 (천원/월)	참여율	참여기간 (개월)	인건비
1차년도	동절기 분기부 장애원인 분석	동절기 분기부 장애원인 분석	2	선임급	5900	0.35	12	49560
		동절기 분기부 열유동 해석 기술개발 및 대응방안 수립	1	수석급	7950	0.35	12	33390
			1	주임급	3890	1	12	46680
	열유동 방법과 화학적 방법의 적절성 비교검토	열유동 방안 에너지 효율성 분석을 통한 적절성 검토	1	책임급	6760	0.4	12	32448
		화학적 제설재 성분 분석 및 실험을 통한 고속선 적용 가능성 검토	1	선임급	5990	0.4	12	28752
1차년도 합계			6	–	–	–	–	190830
2차년도	분기부 Anti-icing 시스템 설계(안) 수립	포인트부 anti-icing 시스템 설계(안) 수립	1	선임급	5990	0.35	12	25158
		크로싱부 anti-icing 시스템 설계(안) 수립	1	책입급	6760	0.35	12	28392
		철관장치 및 신호부 anti-icing 시스템 설계(안) 수립	1	책임급	6760	0.35	12	28392
	분기부 Anti-icing 실현을 위한 핵심기술 개발	설계시스템구현을위한열유동제어기술도출및개발	1	수석급	7950	0.5	12	47700
			1	주임급	3890	1	12	46680
		최적 화학 제설재 성분 도출 및 합성기술 개발	1	선임급	5990	0.35	12	25158
		화학 제설재 최적 도포기술 개발	1	주임급	3890	1	12	46680
	분기부 융설기술 검증방법 개발 및 최적화	다양한 적설/환경 조건 시험방법 구현	2	선임급	5990	0.7	12	100632

2차년도 합계			9	–	–	–	–	348792
3차년도	분기부 Anti-icing 시스템 시제품 제작	시제품 도면 작성, 시제품 제작 및 오류수정	3	선임급	5990	0.7	6	75474
	분기부 Anti-icing 성능 검증	성능시험 절차서 작성 및 검토/보완	1	수석급	7950	0.35	12	33390
			1	선임급	5990	0.35	12	25158
		Anti-icing 설계변수 최적화 및 성능검증 시험	2	책임급	6760	0.7	12	113568
			2	주임급	3890	1	12	93360
3차년도 합계			9	–	–	–	–	340950
4차년도	분기부 Anti-icing 운영환경 검증	시제품 유휴선로 설치 및 운영	2	책임급	6760	0.35	4	18928
		융설성능 측정을 통한 운영환경 성능검증	1	선임급	5990	0.35	4	8386
	분기부 Anti-icing 안정화 및 실용화 기반구축	실험실 내 안정화시험을 통한 시스템 신뢰성 확보	1	선임급	5990	0.35	12	25158
			1	주임급	3890	1	12	46680
		안정화시험을 통한 개선사항 도출 및 반영	1	수석급	7950	0.35	12	33390
4차년도 합계			6	–	–	–	–	132542
5차년도	분기부 Anti-icing 운영환경 검증	시제품 유휴선로 운영 및 개선사항 도출	2	책임급	6760	0.35	4	18928
		실환경 운영 개선사항 반영 및 신뢰성 확보	1	선임급	5990	0.35	12	25158
	분기부 Anti-icing 안정화 및 실용화 기반구축	실험실 내 안정화시험 수행 지속 및 신뢰성 확인	1	선임급	5990	0.35	12	25158
			1	주임급	3890	1	12	46680
		실용화 사양서 및 신뢰성 보고서 작성	1	수석급	7950	0.35	12	33390
5차년도 합계			6	–	–	–	–	149314
총계			36	–	–	–	–	1162428

나. 소요예산산정

- 본 기술개발과제에 소요되는 연구 직접비는 약 40억원으로 분기부 Anti-icing 시스템 개발 및 성능검증이 주요 과업이므로 이에 소요되는 연구장비 및 재료비의 비율이 가장 높음 (간접비는 고려하지 않음)

수행년차	연구내용	세부연구내용	직접비(천원)				
			인건비	연구장비 및 재료비	연구활동비	연구과제 추진비	계
1차년도	동절기 분기부 장애원인 분석	동절기 분기부 장애원인 분석	49560	21000	10000	5380	85940
		동절기 분기부 열유동 해석 기술개발 및 대응방안 수립	80070	150000	50000	2500	282570
	열유동 방법과 화학적 방법의 적절성 비교검토	열유동 방안 에너지 효율성 분석을 통한 적절성 검토	32448	70000	6500	1750	110698
		화학적 제설재 성분 분석 및 실험을 통한 고속선 적용 가능성 검토	28752	500	80000	4150	113402
1차년도 합계			190830	241500	146500	13780	592610
2차년도	분기부 Anti-icing 시스템 설계(안) 수립	포인트부 anti-icing 시스템 설계(안) 수립	25158	60000	4000	2500	91658
		크로싱부 anti-icing 시스템 설계(안) 수립	28392	60000	4000	1750	94142
		철관장치 및 신호부 anti-icing 시스템 설계(안) 수립	28392	60000	4000	2500	94892
	분기부 Anti-icing 실현을 위한 핵심기술 개발	설계시스템 구현을 위한 열유동 제어기술 도출 및 개발	94380	200000	50000	2500	346880
		최적 화학 제설재 성분 도출 및 합성기술 개발	25158	100000	80000	1750	206908
		화학 제설제 최적 도포기술 개발	46680	50000	4000	1750	102430
	분기부 융설기술 검증방법 개발 및 최적화	다양한 적설/환경 조건 시험방법 구현	100632	150000	16500	9220	276352
2차년도 합계			348792	680000	162500	21970	1213262

3차년도	분기부 Anti-icing 시스템 시제품 제작	시제품 도면 작성, 시제품 제작 및 오류수정	75474	470000	4000	5000	554474
	분기부 Anti-icing 성능 검증	성능시험 절차서 작성 및 검토/보완	58548	0	5000	5000	68548
		Anti-icing 설계변수 최적화 및 성능검증 시험	206928	350000	136500	13220	706648
3차년도 합계			340950	820000	145500	23220	1329670
4차년도	분기부 Anti-icing 운영환경 검증	시제품 유휴선로 설치 및 운영	18928	112000	12000	2000	144928
		융설성능 측정을 통한 운영환경 성능검증	8386	150000	12000	2000	172386
	분기부 Anti-icing 안정화 및 실용화 기반구축	실험실 내 안정화시험을 통한 시스템 신뢰성 확보	71838	1200	16500	2500	92038
		안정화시험을 통한 개선사항 도출 및 반영	33390	100000	0	7780	141170
4차년도 합계			132542	363200	40500	14280	550522
5차년도	분기부 Anti-icing 운영환경 검증	시제품 유휴선로 운영 및 개선사항 도출	18928	10000	24000	2000	54928
		실환경 운영 개선사항 반영 및 신뢰성 확보	25158	100000	0	2000	127158
	분기부 Anti-icing 안정화 및 실용화 기반구축	실험실 내 안정화시험 수행 지속 및 신뢰성 확인	71838	1000	4000	2500	79338
		실용화 사양서 및 신뢰성 보고서 작성	33390	1250	10000	7780	52420
5차년도			149314	112250	38000	14280	313844
총계			1162428	2216950	533000	87530	3999908

8. 실용화/사업화 방안

- 실용화 방안

  - 기술수요자의 Needs에 의한 기술개발로 개발 완료 시 국내 실용화 가능성이 높으며, 분기부 Anti-icing 시스템은 고속선 유휴선로에 시제품을 설치 및 다양한 적설/온도 조건하에서 안정화 시험을 수행하여 개발기술의 성능 및 신뢰성을 입증할 예정이며, 성능 및 신뢰성이 확보되면 국내 고속선의 분기부 및 신규 건설되는 고속선로(원강선 등)에 확대 적용하여 동절기 분기부 장애에 의한 인적/물적 손실 저감 가능

- 사업화 방안

  - 기존 분기부 히팅장치를 대체함으로써 제설에 투입되는 인건비 절감 및 고속선은 물론 일반선으로의 적용확대 시 국내 사업화가 가능할 것으로 판단됨

  - 열유동 방법과 화학적 방법이 융합된 Hybrid 분기부 Anti-icing 시스템은 아직 국외에서도 적용된 바가 없기 때문에 성능 및 신뢰성이 입증된 기술개발 시 국외 시장도 충분히 개척 가능할 것으로 보임

  - 또한 북유럽, 중국, 러시아 등 일부 극한기후 국가에서는 아직 고속철도 운영 및 유지보수 경험이 부족하기 때문에 선제적인 기술 확보로 해당국가 니즈에 따라 수출 가능

- 연계사업 활용방안

  - 유라시아 이니셔티브, 남북철도 연결 등의 정책 재개 시 기후조건이 더욱 가혹한 지역으로의 철도 운영이 예상되어지므로 선제적 기술 확보 필요

9. 기대효과 및 파급효과

가. 정량적 효과

- 동절기 피해비용 저감

  - 고속선 동절기 분기부 인력 제설 비용 절감

    * 고속선 분기부 장애로 인한 연간 인력 제설 투입비용 약 6억원
      (일 평균인건비x연평균 강설일수x장애우려 개소 수x투입인원)

- 열차 지연 감소를 통한 열차 운용률 향상 및 지연비용 절감

  - 동절기 자연재해에 의한 열차 지연 감소

    * 겨울철(12~1월) 강설, 동결 등에 의한 열차 지연 시간(약 326.4시간/년) 중 30% 저감 가정 : 약 98시간/년

  - 분기부 제설 및 선로전환기 밀착불량 장애 복구 시간 감소

나. 정성적 효과

- 동절기 철도 안전운행 확보를 통한 국민 안전 증대

  - 분기부 장애에 따른 차량 탈선 등을 근본적으로 예방

  - 차량 운행 중 분기기 제설작업을 위한 인력투입 최소화로 작업인원 안전 확보

- 향후 철도 고속화 및 남북철도 연결 대비 핵심기술 확보

  - 선로전환기 장애 등 동절기 피해는 고속철도 노선 확충 및 일반철도 고속화에 따라 피해규모 증가 및 대형화에 대비하며,

  - 경원선, 경의선 등 남북철도 연결 시 북쪽 지역 극한기후에 대응하여 선제적으로 기술 대응함으로써 기술개발 효과 극대화 가능

- 극한기후 국가에 기술 수출 기대

  - 북유럽, 중국, 러시아 등 일부 극한기후 국가에서는 아직 고속철도 운영 및 유지보수 경험이 부족하기 때문에 선제적인 기술 확보로 해당국가 니즈에 따라 수출 가능함

제6장 과제제안요구서

1절 과제제안요구서

1. 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발

연구과제	친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 고속철도차량 대차부 착설의 실시간 검지를 통하여 지능형으로 제빙할 수 있는 고효율 De-icing 시스템 개발 및 친환경 철도차량용 제빙액(De-icing Fluid) 최적화 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 겨울철 고속차량 하부에 부착된 설빙(얼음화된 눈)이 고속에서 낙하하여 도상자갈을 비산시킴으로서 철도차량 및 시설물의 피해가 발생 – 주요 피해부품 : 고속차량 유리창, 주행장치 구성품, 궤도 구성품, 신호보안장치 등 ○ 이러한 피해는 고속철도 개통 이후 지속되고 있는 실정이며, KTX-산천 도입 이후로 증가 추세에 있음 ○ 또한 일본, 유럽, 미국 등 해외에서도 동절기 피해가 지속적으로 발생하며, 이에 대응하는 기술에 대한 관심도 증가 추세에 있음 – 특히, 스웨덴은 X2000(최고운영속도200km/h) 도입 후 설빙에 의한 자갈 비산 피해 발생 ○ 철도운영기관에서는 자체적으로 고속선 설빙피해 예방 및 대응을 위하여 운영 및 유지보수 관점에서의 대책을 수립하여 대응하고 있지만 한계점을 가지고 있음 – 고속선 설빙피해 대책 : 자갈비산방지 네트, 감속운행, 인력에 의한 차량 제빙 등 ○ 그러므로 동절기 피해를 예방하고 철도 운영 효율화를 위하여 기술개발이 필요함 ○ 또한 국가 기간교통망인 철도교통의 안전을 확보하고 국민의 편익을

향상시키기 위하여 필요

- 고속선 설빙피해로 발생하는 차축 손상은 열차 주행 안전성 향상에 심각한 위험요인
- 유리창 파손 시 승객의 불안감 호소 및 클레임 증가
- 철도차량 및 시설의 안전성 향상을 통한 선제적 안전관리 체계 도입의 필요성 대두

○ 향후 남북철도 연결 등 운영환경 변화와 고속철도 수출 다변화를 위한 선제적 기술개발 및 확보 필요

- 남북철도 및 대륙철도 연결 실현 시 국가적으로 대비할 수 있도록 기술력 확보 필요
- 철도 수출의 다변화를 위해 동절기 피해예방 기술의 선제적 개발과 확보를 통해 한국 철도기술의 국제적 경쟁력을 확보하는 것이 필요

□ 기술동향

○ (수작업에 의한 제빙) 국내 수작업에 의한 제빙은 인력이 과다 소요되고 제빙 시간이 오래 걸림

나무봉 이용

스크레퍼 이용

○ (열풍제빙) 열풍에 의한 제빙은 시간이 오래 걸리고(북유럽 8시간/열차) 사용되는 공기가 완전히 건조되지 않을 경우 전기장치 및 전기모터에 영향을 미칠 수 있음

이동식 열풍기(국내)

차량기지 난방덕트(프랑스)

차량기지 난방덕트(노르웨이)

○ (온수제빙) 열풍에 의한 제빙보다 시간은 적게 소요되지만 온수에 의한 설비는 잔존 수분의 동결, 전기장치로의 수분유입 등 추가적인 문제가 발생할 수 있음

고압온수설비(일본)

온수설비(노르웨이)

○ (화학적 제빙) 화학제의 열전달 효율성 때문에 시간이 적게 소요되고 에너지 소모도 적으며 제빙효과와 함께 방빙(Anti-icing)도 가지고 있음

화학적 제빙(항공)

화학적 제빙(노르웨이)

3. 연구개발내용

○ De-icing 자동화 기술개발

- De-icing 자동화 설계 및 착설검지 기술 개발
- De-icing 자동화 소프트웨어 및 구성품 개발
- De-icing 자동화 모듈 시제품 제작 및 신뢰성 검증

○ De-icing Fluid 기술개발

- 철도차량용 De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가
- 철도차량용 De-icing Fluid 제조기술 개발 및 시제품 생산
- 철도차량용 De-icing Fluid 성능 검증

○ De-icing 시스템 기술개발

- 고속철도차량용 De-icing 시스템 설계
- De-icing 시스템 구성품 개발
- 고속철도차량용 De-icing 시스템 시제품 제작 및 성능검증
- 고속철도차량용 De-icing 시스템 안정화 및 실용화

4. 연구개발 추진방법
□ 추진전략 ○ 수요처(사용자)와의 유기적 협조체계 구축 – 연구개발 성과물의 실용화를 위해 연구기관에 수요기관(사용자) 참여 – 연구개발 성과물의 실용화를 위해 수요기관에서 제시되는 현장 애로사항 및 의견을 개발에 반영 ○ 연구성과물 실용화를 위한 추진전략 마련 – 기술개발품 실용화를 목표로 연구개발 추진 – 기술개발 성과물의 원활한 상용화를 위한 성능검증, 공인인증, 제품인증을 기술개발 내용에 포함 – Test-bed 구축계획을 조기에 수립하고, 성과물 성능 및 신뢰성 검증방안을 제시 ○ 관련분야 전문가 자문 – 국내외 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사 – 실효성 있는 결과물 도출을 위한 자문회의 등 내 · 외부 전문가 의견 적극 수렴 ○ 제품 개발 시 국내외의 특허를 검색하여 유사한 특허정보 확보, 회피전략 및 해외 진출 전략 수립 ○ 기존에 수행되었거나 수행중인 관련과제와 연계 및 성과물을 활용하여 연구개발 효율성 극대화
□ 추진체계 ○ 본 공모과제는 융복합 기술을 기반으로 하는 실용화 연구로 관련 기술을 확보한 대학, 연구기관, 기업과 성과물을 활용할 수 있는 운영기관이 참여 ○ 참여기업은 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 가능 ○ 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한

	추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 고속철도차량용 De-icing 시스템 ○ 고속철도차량용 De-icing Fluid
6. 기대효과 및 파급효과	
	○ 동절기 피해비용 저감 – 고속철도차량의 효율적 De-icing 기술 적용을 통하여 고속선 설빙피해 저감 가능 ○ 열차 지연 및 유지보수 시간 감소를 통한 열차 운용률 향상 – 동절기 자연재해에 의한 열차 지연 감소 – 철도차량 제빙, 피해복구 등 유지보수 시간 감소 ○ 외산품 자체 개발 및 피해 저감을 통한 외화 절감 – De-icing 시스템 자체 개발을 통한 외화 절감 – 고속선 설빙에 의한 외산 부품(차축 코팅제, 창유리) 피해 저감 ○ 동절기 철도 안전운행 확보를 통한 국민 안전 증대 – 레일 표면결함 및 차륜답면 손상 예방을 통한 열차 주행안정성 향상 – 창유리 및 차축손상 예방을 통한 대국민 안전 도모 및 불안감 해소 ○ 향후 철도 고속화 및 남북철도 연결 대비 핵심기술 확보 – 고속선 설빙피해, 선로전환기 장애 등 동절기 피해는 고속철도 노선 확충 및 일반철도 고속화에 따라 피해규모 증가 및 대형화에 대비하며, – 경원선, 경의선 등 남북철도 연결 시 북쪽 지역 극한기후에 대응하여 선제적으로 기술 대응함으로써 기술개발 효과 극대화 가능 ○ 극한기후 국가에 기술 수출 기대 – 북유럽, 중국, 러시아 등 일부 극한기후 국가에서는 아직 고속철도 운영 및 유지보수 경험이 부족하기 때문에 선제적인 기술 확보로

해당국가 니즈에 따라 수출 가능함
7. 연구개발기간 및 소요예산
○ 총 연구개발기간 : 2017. 1. ~ 2021. 12. (5년) – 1차년도 연구개발기간 : 2017. 1. ~ 2017. 12. (12개월) ○ 총 정부출연금 : 5,000백만원 이내 – 1차년도 정부출연금 : 1000백만원 이내
8. 기 타
○ 해당없음

2. 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

연구과제	철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 철도차량 대차부 착설현상을 규명하여 차량설계에 반영할 수 있는 시뮬레이션 기술 및 착설방지 재료 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 겨울철 고속차량 하부에 부착된 설빙(얼음화된 눈)이 고속에서 낙하하여 도상자갈을 비산시킴으로서 철도차량 및 시설물의 피해가 발생 – 주요 피해부품 : 고속차량 유리창, 주행장치 구성품, 궤도 구성품, 신호보안장치 등 ○ 이러한 피해는 고속철도 개통 이후 지속되고 있는 실정이며, KTX-산천 도입 이후로 증가 추세에 있음 ○ 또한 일본, 유럽, 미국 등 해외에서도 동절기 피해가 지속적으로 발생하며, 이에 대응하는 기술에 대한 관심도 증가 추세에 있음 – 특히, 스웨덴은 X2000(최고운영속도200km/h) 도입 후 설빙에 의한 자갈 비산 피해 발생 ○ 철도운영기관에서는 자체적으로 고속선 설빙피해 예방 및 대응을 위하여 운영 및 유지보수 관점에서의 대책을 수립하여 대응하고 있지만 한계점을 가지고 있음 – 고속선 설빙피해 대책 : 자갈비산방지 네트, 감속운행, 인력에 의한 차량 제빙 등 ○ 그러므로 동절기 피해를 예방하고 철도 운영 효율화를 위하여 기술개발이 필요함 ○ 또한 국가 기간교통망인 철도교통의 안전을 확보하고 국민의 편익을 향상시키기 위하여 필요 – 고속선 설빙피해로 발생하는 차축 손상은 열차 주행 안전성 향상에 심각한 위험요인 – 유리창 파손 시 승객의 불안감 호소 및 클레임 증가 – 철도차량 및 시설의 안전성 향상을 통한 선제적 안전관리 체계 도

입의 필요성 대두

○ 향후 남북철도 연결 등 운영환경 변화와 고속철도 수출 다변화를 위한 선제적 기술개발 및 확보 필요

– 남북철도 및 대륙철도 연결 실현 시 국가적으로 대비할 수 있도록 기술력 확보 필요

– 철도 수출의 다변화를 위해 동절기 피해예방 기술의 선제적 개발과 확보를 통해 한국 철도기술의 국제적 경쟁력을 확보하는 것이 필요

○ 고속선 설빙피해를 가장 근원적으로 해결할 수 있는 방법은 차량 대차부에서의 착설을 방지하거나 완화하는 것인데, 대차부에서의 착설 현상은 세계적으로도 규명이 제대로 되지 않은 문제임

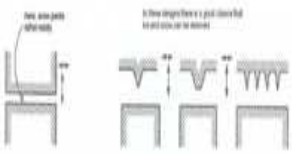
○ 따라서, 차량 대차부에서의 착설 현상을 근원적으로 규명할 수 있는 기술을 개발하고 이를 바탕으로 효율성과 편의성이 높은 착설 방지 기술을 개발하는 것이 필요함

□ 기술동향

○ 해외 기술 동향

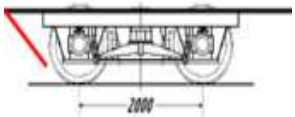
– 착설방지 설계기술

* 착설부의 적절한 형상 설계를 통해 별도의 에너지나 제작비용의 큰 증가없이 적용 가능한 효율적인 기술



대차부 형상변경 (북유럽)

대차커버 형상변경(일본)



Snow Deflector(캐나다)

– 착설방지 재료 개발기술

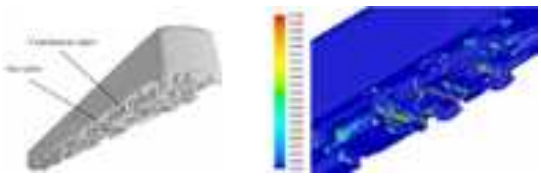
* 화학제를 도포하여 얼음의 부착 특성을 바꾸어 얼음의 부착력을 약화시키는 기술

Superhydrophobic coating

plexiglass coating

○ 설빙 시뮬레이션의 경우 Austrian Research Center에서는 해당 연구소에서 보유하고 있는 Vienna Climatic Wind Tunnel 실험 결과

와 비교하여 개발한 해석 시뮬레이션을 검증하는 연구를 진행했지만 여러 조건이 불충분한 상황



열차하부 착설해석 결과(오스트리아)

○ 또한 철도 이외의 타분야(항공기, 풍력 터빈 등)에서도 설빙관련 연구가 진행되어 왔음

– 형상 설계 기법 : 착설 방지 틈새 형상, 스노우 디플렉터, 주요 부위 커버

– 표면 처리 : 화학제 도포, 부착성이 낮은 표면 재료, 초소수성 코팅

– 제빙 및 방빙 : 기계적 제빙(제빙 부츠), 열 이용 장치

3. 연구개발내용

○ 착설 현상 규명 및 수치적 모델 개발

– 우리나라의 겨울철 기상 변수를 고려한 눈 특성 및 형상, 부착성 연구

– 열역학적 특성(온도에 따른 물/얼음 비중) 및 Saltation 특성 연구

– 착설/설빙 성장에 대한 수치적 모델 개발

○ 착설/설빙 해석 시뮬레이션 기술 개발

– 착설/설빙 모델링을 적용한 해석코드 개발

– 실험 데이터 비교를 통한 해석자 검증 및 보완

– 해석 시뮬레이션을 통한 열차 대차부 착설/설빙 현상 규명

○ 철도차량용 착설방지 코팅제 개발

– 차량 표면 재질에 따른 hydrophobic, icephobic 특성 연구

– 착설방지 코팅제 경도, 내구성 등 성능검증 기술개발

– 착설방지 코팅제 현장운영 적합성 검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략	○ 운영주체와의 유기적 협조체계 구축 – 실제 대차부 착설 형태 자료 공유를 위한 운영주체의 참여 – 운영주체에서 제기하는 현장 애로사항 및 의견을 반영한 착설방지 재료 개발 및 대차형상 설계 ○ 착설/설빙 관련분야 전문가 자문 – 국내외 각종 유사 타분야 선행연구 및 적용 사례에 대한 조사 – 실효성 있는 결과물 도출을 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 적극 수렴 ○ 착설방지 재료 개발 및 형상 설계 시 국내외의 특허를 검색하여 유사한 특허정보 확보, 회피전략 및 해외 진출 전략 수립
□ 추진체계	○ 본 공모과제는 융복합 기술을 기반으로 하는 연구로 관련 기술을 확보한 대학, 연구기관, 기업과 성과물을 활용할 수 있는 운영기관이 참여 ○ 참여기업은 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 필요시 관련기술을 확보한 외국기관 활용 가능 ○ 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 고속철도차량용 착설/설빙 시뮬레이션 소프트웨어 ○ 철도차량용 착설방지 코팅제 ○ 고속철도차량 착설방지 대차 형상설계(안)
6. 기대효과 및 파급효과	

○ 동절기 피해비용 저감

– 고속철도차량의 효율적 De-icing 기술 적용을 통하여 고속선 설빙피해 저감 가능

○ 열차 지연 및 유지보수 시간 감소를 통한 열차 운용률 향상

– 동절기 자연재해에 의한 열차 지연 감소

– 철도차량 제빙, 피해복구 등 유지보수 시간 감소

○ 동절기 철도 안전운행 확보를 통한 국민 안전 증대

– 레일 표면결함 및 차륜답면 손상 예방을 통한 열차 주행안정성 향상

– 창유리 및 차축손상 예방을 통한 대국민 안전 도모 및 불안감 해소

○ 해석 기술의 타 산업 파급

– 풍력 터빈, 고압 전선(Power line), 농어촌 가시설물의 설빙 문제 해석 기법 및 완화 기법으로 파급

– 설원에서 운용이 불가피한 군용 차량 및 자주포, 전차 등의 설빙 완화

○ 향후 철도 고속화 및 남북철도 연결 대비 핵심기술 확보

– 고속선 설빙피해, 선로전환기 장애 등 동절기 피해는 고속철도 노선 확충 및 일반철도 고속화에 따라 피해규모 증가 및 대형화에 대비하며,

– 경원선, 경의선 등 남북철도 연결 시 북쪽 지역 극한기후에 대응하여 선제적으로 기술 대응함으로써 기술개발 효과 극대화 가능

○ 극한기후 국가에 기술 수출 기대

– 북유럽, 중국, 러시아 등 일부 극한기후 국가에서는 아직 고속철도 운영 및 유지보수 경험이 부족하기 때문에 선제적인 기술 확보로 해당국가 니즈에 따라 수출 가능함

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2017. 1. ~ 2021. 12. (5년)

– 1차년도 연구개발기간 : 2017. 1. ~ 2017. 12. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 3,000백만원 이내

– 1차년도 정부출연금 : 600백만원 이내

8. 기 타	
○ 해당없음	

3. 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

연구과제	동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 동절기 강설, 결빙에 의한 피해가 없는 고신뢰성, 고효율 분기부 장애예방 기술개발 – 분기부 융설 성능 : 적설량 20cm/day 수준(대설경보)에 대응 – 저온 동작 성능 : 레일 표면 온도 -25 ℃ 까지 동작 양호
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 동절기 선로 전환기 적설 및 결빙으로 인한 선로 전환기 밀착 불량 및 전환 실패가 빈번히 발생 – 2011 ~ 2013년 동절기 분기부 적설 및 동결에 의한 선로전환기 밀착불량에 따른 열차 운행장애(지연운행, 부본선 운행 등)는 41건 발생 – 선로전환기 제설용 히팅장치가 설치되어 운영 중이나 일정수준 이상의 폭설 시에는 장애가 발생하여(2011년~2013년 10건 발생) 인력 제설에 의존하여 안전비용 및 유지보수 비용 증가 – 이는 융설장치가 분기부의 포인트부만 융설이 가능하도록 설계되어 있어 철관장치, 신호부 등의 융설은 이루어지지 못하기 때문이며, 열전달 특성을 고려한 분기부 시스템의 융설설계가 필요한 상황임 ○ 히팅장치를 이용한 분기부 결빙방지장치는 그 신뢰성에 문제가 있어서 철도시설공단은 고속선 분기부에 결빙방지를 위한 터널형 결빙방지시설의 시공을 검토하고 있음 – 경부고속선과 수서발고속선이 분기되는 남산 IEC의 경우 선로전환기 결빙이 우려되어 분기부 주변 80m에 터널 시공을 검토 중이며 건설비용이 60억 ~ 80억 정도로 추정되고 있음
□ 기술동향	○ 선로전환기 장애를 해결하기 위하여 선로전환기 융설장치에 대한 연구가 중점적으로 수행되었으며, 주로 유지보수성 향상, 친환경에너지 사용을 목적으로 연구를 진행되었음 그러나 일정이상의 폭설 시에는 동작의 신뢰성이 보장되지 못하여 인력 제설에 의존하고 있음 (저전력 및 설비간략화를 위한 선로전환기용 융설장치 설계 2013, 한국철도공사)

○ 북유럽에서는 강설시 분기부 결빙을 방지하기 위하여 선로전환기 커버를 이용하거나 방설 브러쉬에 발열요소(heating element)를 적용하는 등의 연구가 진행되고 있음. 그러나 폭설이 내리지 않는 프랑스/독일 등 고속철도 선진국에서의 분기부 결빙방지장치에 대한 연구는 활발하지 않은 편임. 또한 프로필렌글리콜(자동차 부동액) 등 화학적 제설방법도 적용 중에 있음

- 글리콜 계열을 이용한 화학적 제설방법은 국내에서는 아직 적용이 되지 않고 있음. 그러나 글리콜 계열의 경우 미끄러운 성질을 가지고 있어서 고속분기기에 적용할 경우 차륜 찰상 및 탈선 등의 위험이 있음

○ 일본에서는 지역(북해도 등)에 따라 강설이 매우 심한편이어서, 기후 특성에 맞게 분기기 결빙 장애 방지를 위한 고압온수분사 장치 등이 적용된 바 있음

- 고압온수분사 방법은 일본에서도 배수설계가 되어 있는 콘크리트 궤도에 주로 적용하는 것으로 알려져 있음. 일반 자갈궤도에서 과도한 수분이 유입되고 영하의 기온이 지속되면 ice lens 가 형성되면서 선로동상으로 이한 궤도 틀어짐이 발생할 수도 있음

3. 연구개발내용

○ 동절기 분기부 장애 원인 분석 및 해석기술 개발

- 동절기 분기 장애 원인 분석 및 각 원인별 대응방안 수립
- 대응방안 수립 및 열적 접근방안 및 화학적 접근방안의 적절성 비교검토

○ Anti-icing 선로전환기 시스템 개념 정립 및 요소 기술 개발

- Anti-icing 분기부 시스템 설계(안) 수립
- 설계시스템의 실현을 위한 필요 요소기술(열유동 제어기술 or 최적 화학제설제 성분) 도출 및 개발
- 열/유동 방법과 화학제설재 방법의 Hybrid 시스템 개념 설계 검토

○ 운영비 저감을 위한 분기부 융설기술 개발

- 에너지소모 최소화를 위한 열/유동 제어기술 개발 및 최적화

- 다양한 적설조건 시험방법 구현 및 융설(열 or 제설제) 제어를 위한 설계변수 최적화
- 화학제설재 성분 최적화 및 제설제 도포기술 개발

○ Anti-icing 선로전환기 시제품 제작 및 시험 검증

- Anti-icing 선로전환기 시제품 제작
- 환경챔버를 이용한 적설조건/주변온도 변화에 따른 anti-icing 효과 검증
- 유휴선로에 대한 Anti-icing 분기부 설치를 통한 효과 검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 수요처(사용자)와의 유기적 협조체계 구축

- 연구개발 성과물의 실용화 및 장애원인의 상세한 분석을 위하여 연구기관에 수요기관(사용자) 참여
- 연구개발 성과물의 실용화를 위해 수요기관에서 제시되는 현장 애로사항 및 의견을 개발에 반영

○ 연구성과물 실용화를 위한 추진전략 마련

- 기술개발품 실용화를 목표로 연구개발 추진
- 기술개발 성과물의 원활한 상용화를 위한 성능검증, 공인인증, 제품인증을 기술개발 내용에 포함
- Test-bed 구축계획을 조기에 수립하고, 성과물 성능 및 신뢰성 검증방안을 제시

○ 관련분야 전문가 자문

- 국내외 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사
- 실효성 있는 결과물 도출을 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 적극 수렴

○ 제품 개발 시 국내외의 특허를 검색하여 유사한 특허정보 확보, 회피전략 및 해외 진출 전략 수립

○ 기존에 수행되었거나 수행중인 관련과제와 연계 및 성과물을 활용하여 연구개발 효율성 극대화

□ 추진체계	○ 본 공모과제는 융복합 기술을 기반으로 하는 실용화 연구로 관련 기술을 확보한 대학, 연구기관, 기업과 성과물을 활용할 수 있는 운영기관이 참여 ○ 참여기업은 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발 결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 가능 ○ 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것 ○ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요
5. 최종성과물	
□ 주요 최종 성과물	○ 고속철도 분기부 Anti-icing 시스템 ○ 분기기용 De-icing Fluid
6. 기대효과 및 파급효과	
파급효과	○ 동절기 피해비용 저감 – 고속선 동절기 분기부 인력 제설 비용 절감 ○ 열차 지연 감소를 통한 열차 운용률 향상 및 지연비용 절감 – 동절기 자연재해에 의한 열차 지연 감소 ○ 동절기 철도 안전운행 확보를 통한 국민 안전 증대 – 분기부 장애에 따른 차량 탈선 등을 근본적으로 예방 – 차량 운행 중 분기기 제설작업을 위한 인력투입 최소화로 작업인원 안전 확보 ○ 향후 철도 고속화 및 남북철도 연결 대비 핵심기술 확보 – 선로전환기 장애 등 동절기 피해는 고속철도 노선 확충 및 일반철도 고속화에 따라 피해규모 증가 및 대형화에 대비하며,

- 경원선, 경의선 등 남북철도 연결 시 북쪽 지역 극한기후에 대응하여 선제적으로 기술 대응함으로써 기술개발 효과 극대화 가능

○ 극한기후 국가에 기술 수출 기대

- 북유럽, 중국, 러시아 등 일부 극한기후 국가에서는 아직 고속철도 운영 및 유지보수 경험이 부족하기 때문에 선제적인 기술 확보로 해당국가 니즈에 따라 수출 가능함

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2017. 1. ~ 2021. 12. (5년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2017. 1. ~ 2017. 12. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 4,000백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 800백만원 이내

8. 기 타

○ 해당없음

2절 평가기준 설정

1. 친환경 제빙액을 이용한 고속철도차량용 고효율 De-icing 기술개발

구성기술	연차	핵심목표	목표 성과물	성과지표	평가방법	기준	비고
De-icing 자동화 기술개발	1차년도	De-icing 자동화 설계 및 착설검지 기술 개발	De-icing 자동화 모듈 설계도면	설계도면	작성 건수	작성 여부	
			De-icing 자동화 모듈 제작사양서	사양서	작성 건수	작성 여부	
			철도차량 대차부 착설검지 기술	특허	출원/등록 건수	출원/등록 여부	
	2차년도	De-icing 자동화 소프트웨어 및 구성품 개발	De-icing 자동화 제어 소프트웨어	시제품	제작 건수	제작 여부	
			De-icing 자동화 제어장치 구성품	시제품	제작 건수	제작 여부	
	3차년도	De-icing 자동화 모듈 시제품 제작 및 신뢰성 검증	De-icing 자동화 모듈	시제품	제작 건수	제작 여부	
De-icing Fluid 기술개발	1차년도	철도차량용 De-icing Fluid 기초물질 설정 및 평가	De-icing Fluid 물질별 성능검증 결과	시험성적서	제출 건수	제출 여부	
			De-icing Fluid 성능검증 절차서	보고서	작성 건수	작성 여부	
	2차년도	철도차량용 De-icing Fluid 제조기술 개발 및 시제품 생산	De-icing Fluid 최적화 기술	특허	출원/등록 건수	출원/등록 여부	
			De-icing Fluid 시제품	시제품	제작 건수	제작 여부	
		철도차량용 De-icing Fluid 성능 검증	De-icing Fluid 성능검증 결과	시험성적서	제출 건수	제출 여부	
De-icing 시스템 기술개발	2차년도	고속철도차량용 De-icing 시스템 설계	De-icing 시스템 개념설계 도면	설계도면	작성 건수	작성 여부	
			세부장치별 상세설계 도면	설계도면	작성 건수	작성 여부	
			De-icing 시스템 성능검증 절차서	보고서	작성 건수	작성 여부	
	3차년도	De-icing 시스템 구성품 개발	De-icing 시스템 구성품	시제품	제작 건수	제작 여부	
	4차년도	고속철도차량용 De-icing 시스템 시제품 제작 및 성능검증	De-icing 시스템 시제품	시제품	제작 건수	제작 여부	
			De-icing Fluid 성능검증 결과	시험성적서	제출 건수	제출 여부	
	5차년도	고속철도차량용 De-icing 시스템 안정화 및 실용화	De-icing 시스템 운영/유지보수 매뉴얼	매뉴얼	작성 건수	작성 여부	
			De-icing Fluid 성능검증 결과	시험성적서	제출 건수	제출 여부	

2. 철도차량 대차부 착설 현상 규명 및 Anti-icing 기술개발

구성기술	연차	핵심목표	목표 성과물	성과지표	평가방법	기준	비고
착설 현상의 규명 및 수치적 모델 개발	1차년도	눈 특성 및 형상, 부착성, 부착률(거동) 실험	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	2차년도	눈의 형상 실험(두께 및 이심률 측정) 부착률 실험(거동 분석)	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	3차년도	열역학적 특성 실험(온도에 따른 물/얼음 비중) Saltation(눈의 도약) 특성 실험	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	4차년도	해석자 검증을 위한 실모델 실험수행(착설현상)	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	5차년도	수치적으로 설계한 착설 예방을 위한 장치의 착설 실험 수행 개발된 코팅제 검증을 위한 착설 실험 수행	시작품	성능	성능 시험	시험결과	
			특허	특허 건수	출원/등록 건수	출원/등록 여부	
착설 해설 시뮬레이션 개발	1차년도	눈 부착성 모델링	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	2차년도	눈의 궤적(거동성) 및 표면 부착률 해석 코드 개발	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	3차년도	열역학적 특성 모델링 Saltation 특성 모델링	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	4차년도	해석자 검증 및 보완 설빙 완화를 위한 형상 설계 제시	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	5차년도	De/Anti-icing 장치 제안 해석 코드 수정 및 개선	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
착설방지 재료 및 코팅제 개발	1차년도	눈-표면 부착 저하를 위한 코팅제 개발	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
			특허	특허 건수	출원/등록 건수	출원/등록 여부	
	2차년도	착설방지 코팅제 물리화학적 특성 연구	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	3차년도	착설방지 코팅제 대량생산화 기술 연구	시작품	성능	성능 시험	시험결과	
			특허	특허 건수	출원/등록 건수	출원/등록 여부	
	4차년도	고속 냉동풍동을 이용한 착설방지 코팅제 제빙/방빙 검증 실험	시작품	성능	성능 시험	시험결과	
			논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	5차년도	착설방지 코팅제 현장 운영 적합성 검증	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	

3. 동절기 선로전환기 장애 예방을 위한 분기부 Anti-icing 기술개발

구성기술	연차	핵심목표	목표 성과물	성과지표	평가방법	기준	비고
분기부 장애원인 분석 및 해석기술	1차년도	분기부 장애원인 분석	보고서	-	보고서 작성 건수	보고서 작성 여부	
		동절기 분기부 열유동 해석기술 개발	논문	논문건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
		열유동 방법과 화학적 장법의 적절성 비교검토	보고서	-	보고서 작성 건수	보고서 작성 여부	
분기부 Anti-icing 시스템 설계 및 핵심 요소기술	2차년도	분기부 Anti-icing 시스템 설계(안) 수립	특허	특허 건수	출언/등록 건수	출원/등록 여부	
		Anti-icing 실현을 위한 열유동 제어기술 개발	논문	논문건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
		점착성능 고려 최적 화학제설재 합성기술 개발	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
분기부 Anti-icing 시스템 제작 및 성능검증	2차년도	분기부 융설성능 검증방법 개발	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
	3차년도	분기부 Anti-icing 시스템 시제품 제작	특허	특허 건수	출원/등록 건수	출원/등록 여부	
		분기부 Anti-icing 시스템 성능검증	시제품	성능	성능 시험	시험결과	
분기부 Anti-icing 시스템 운영환경 성능검증 기술	4차년도	분기부 Anti-icing시스템 운영환경 성능검증	시제품	성능	성능 시험	시험 결과	
		분기부 Anti-icing시스템 안정화 및 실용화 기반구축	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
			특허	특허 건수	출원/등록 건수	출원/등록 여부	
	5차년도	분기부 Anti-icing시스템 운영환경 성능검증	보고서	-	보고서 작성 건수	보고서 작성 여부	
		분기부 Anti-icing 안정화 및 실용화 기반구축	논문	논문 건수	발표/게재 건수	발표/게재 여부	
			보고서	-	보고서 작성 건수	보고서 작성 여부	
			실용화 사양서	-	실용화 사양서 작성 건수	실용화 사양서 작성 여부	

참고문헌

[1] T. Fujii(2001), "적설지에 있어서의 철도 빙설피해 해명과 그 대책에 관한 연구," 철도총연보고 제 47호.

[2] M. Rossetti(2007), "Analysis of weather event on U.S. railroads," 23rd Conference on IIPS, 16 January 2007 San Antonio U.S..

[3] A. Veitch and E. Wiebe(2011), "Railways facing the challenges of climate change and extreme weather conditions," Retrieved from UIC: http://www.weather-project.eu/weather/do.

[4] Z. Szafránski(2011), "Winter and Railways - Study," Retrieved from UIC website:http://www.uic.org/forms/IMG/pdf/500_uic_siafi_report__winter_and_railways.pdf.

[5] L. Kloow and M. Jenstav(2006), "High-speed train operation in winter climate," Stockholm: transrail.

[6] E. Wiebe and L. Friedrich(2010), "Factsheet Snow Deflector," Retrieved from UIC:http://www.uic.org/forms/IMG/pdf/000_factsheet_root_causes.pdf.

[7] M. Bettez(2011), Winter Technologies for High Speed Rail, Master´s thesis, Norwegian University of Science and Technology.

[8] J. L. Peters(1993), "Aerodynamics of very high speed trains and maglev vehicles: State of the art and future potential," Int. J. of Vehicle Design, Special Publication Sp3.

[9] Toru Azumi(2007), Countermeasure against snow, JR East Technical Review-No.16, pp31-34.

[10] A. M. Susan Frankenstein(2002), "Ice Adhesion to Locks and Dams: Past Work; Future Directions?," Journal of Cold Regions Engineering, Vol.16, No.2, pp. 83-96.

[11] M. A. Sarshar, C. Swarctz, S. Hunter, J, Simpson and C. Choi(2013), "Effects of contact angle hysteresis on ice adhesion and growth on superhydrophobic surfaces under dynamic flow conditions," Colloid and Polymer Science, Vol.291, Issue2, pp 427-435.

[12] Iowa department of transportation(2002), Iowa's Cooperative Snow Fence Program.

[13] 권혁빈 외(2004), “고속선 설빙피해 방지대책 연구,” 철도청 용역보고서.

[14] Development of Railway Technology, Retrieved from: http://www.jrtt.go.jp/11English/pdf/AboutJrtt07.pdf.

[15] R. D. Tabler(1991). Snow Fence Guide. Washington: Strategic Highway Research Program.

[16] 한국철도시설공단(2011), 공항철도 고속화구간 동상방지 대책.

[17] 정호성(2006), 기존선 해빙시스템을 위한 해빙전류 예측기법 및 구성 절차에 관한 연구, 한국철도학회논문집 제9권 제2호, pp.237-243.

[18] 한국건설기술연구원(2013), 철도구조물의 동해방지공법 및 설계, 시공, 유지관리 지침 개발에 관한 연구, 국토교통부 미래철도기술개발사업 최종보고서.

[19] 국토교통과학기술진흥원, 2015 국토교통 R&D 동향조사.

[20] 국립기상연구소, 기후변화 이해하기 II, 2009.

[21] 한국철도공사, 중·장기 기후변화 분석보고서, 2013.

[22] 국무총리실, 이상기후 보고서, 2014.

[23] http://www.rtrtechnologies.com/products/, RTR Technologies INC.

[24] DE-ICING SWITZERLAND, EURAILmag Business & Technology, ISSUE 24.

[25] Ballast Nedam supplies train de-icing system to Trafikförvaltningen Stockholm, European railway Review, September 2013.

[26] CAT HEATING overhed contact system de-icing; system blue wire, SAN Raiway System, NIBE Railway Components.

[27] Aircraft De-Icing Market by Application (Commercial & Military), by Equipment (De-Icing Trucks, Sweepers, & Others), by Fluid Type (Type I, Type II, Type III, & Type IV), by Geography (North America, Europe & APAC) - Global Forecasts & Analysis to 2020, MarketsandMarkets, April 2015.

[28] Aviation/Aircraft De-Icing & Anti-Icing Fluids, http://www.airport-suppliers.com/.

[29] Calcium Chloride Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2015 - 2023, Transparency Market Research, July 2015.

[30] Frost & Sullivan Emerging Trends in Aviation Coatings 2015 June.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 2015년 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 2015년 국토교통연구기획사업사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 안됩니다.