

○ 재생가능 에너지원 사용을 적극 권장하여 2012년 3월 JR Chou 라인 요츠야(Yotsuya)역을 시작으로 태양열을 이용한 친환경 역사(eco-station)를 운영하고 있으며, 같은 해 6월 도호쿠(Tohoku) 중앙 라인 히라이즈미(Hirazumi)역이 두 번째 친환경 역사가 됨.



<그림 34> JR East 태양열을 이용한 재생가능 에너지원 활용

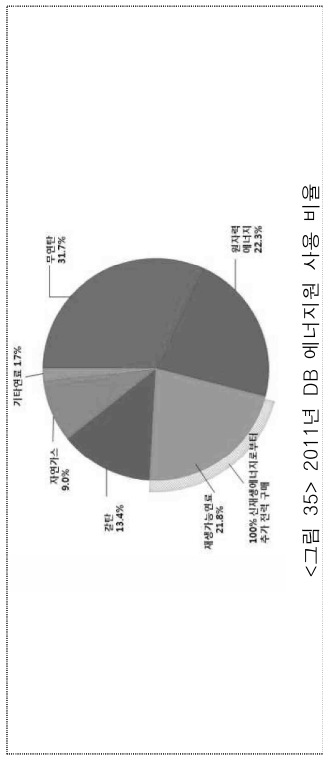
□ (독일 DB, 친환경 전력 공급 포함 에너지 저감에 정책 집중) 독일 DB 'Facts and Figures about Sustainability 2011'에 따르면, 에너지·환경 부문에서 2050년까지 철도산업의 CO₂ 배출 100% 저감을 목표로 하고 있으며, 잠정적으로 2020년까지 신재생 원료비율을 적어도 35%까지 올리고, 다양한 에너지 저감 활동을 통해 CO₂ 배출량을 2020년까지 2006년 대비 최소 20% 감소시키는 것을 계획함.

<표 22> DB 에너지 저감정책 활동

운영기관	에너지 저감기술 및 정책
	• 회생제동 • 수조전기 출력, 지열 등의 신재생에너지 적용 • 신형엔진 저배출 열차, 차세대 열차(하이브리드 등) 도입 • Eco-solution, Eco-driving
	• 에너지 미터기
	• 2012년 친환경 전력 공급 계획 - 풍력발전기에서 100GWh 전력 공급
	• 2014년 친환경 전력 계획 - 수력발전소에서 9억kWh 전력 공급 - DB 장거리 열차 운영 전력의 1/3 공급 예상
DB	

○ 2012년 환경정책 활동결과, 2011년 에너지 공급자원에서 재생 원료 사용비율은 전년도 대비 2% 가량 오른 21.8% 증가하는 경향을 나타냄.

○ DB는 매년 33개의 풍력발전기로부터 100GWh의 전력을 얻고 있으며, 또한 2011년에는 RWE Innogy(독일 기반 친환경 전력공급사)와 계약을 통해서 2014년부터 14개의 수력 발전소에서 친환경 전력을 공급받기로 함. 이를 통해 공급되는 전력은 9억 kWh이며, DB가 운영하고 있는 장거리열차의 운행에 필요한 1/3정도의 전력을 공급할 것으로 예상함.



○ 모든 사업 분야에서 CO₂ 배출을 2020년까지 2006년 기준으로 최소 20%를 감소시키려고 노력 중으로 이미 2006년과 2011년 사이 CO₂ 배출량을 8.5% 저감하는데 성공함.

□ (스위스 SBB, 에너지 저감정책 일환으로 수력발전 활용) SBB는 모든 철도와 전력 네트워크에 사용되는 에너지의 약 80%를 수력발전으로 사용할 것을 정책으로 수립함.

<표 23> SBB 에너지 저감정책 활동

운영기관	에너지 저감정책
SBB	- 수력발전 전력 활용 : 80% 전력을 친환경 에너지로 공급
	- 디젤차량 교체 : 2010년 대비 -0.7% 연료 소비 감소
	- 환경경영시스템 개발
	- 에너지 효율 및 절약 운동, 에코 드라이빙

- (미국 Amtrak, 탄소 오프셋 프로그램 운영 및 온실가스 인벤토리 관리기술 확보) Amtrak은 트랙의 효율성을 개선하는 동시에, 시민참여를 통해 탄소 오프셋 프로그램을 지원 및 배출권 거래시장 참여, 온실가스 인벤토리 운영관리 체계 확보 등 적극적으로 탄소 배출량을 관리함.

<표 24> Amtrak 에너지 저감정책 활동

운영기관	에너지 저감정책
Amtrak	- 신재생에너지 사용, 효율 증대, 제조림
	- 연료교체, 디젤 하이브리드 차량 도입
	- Return to Forest Project* 운영
	- 에너지 관리 및 제어
	- 배출권 자발적 거래시장인 시카고 기후거래소 참여 : 2003년-2010년 온실가스 배출 저감 목표 6% 달성, 2007년-2010년 매년 0.5% 배출 감소
	- 설비 그룹별 운영 계획: CO ₂ 배출량 및 기어 비율 선정
	- Carbonfund. Org 참여 : 이용객들에게 탄소 offset 구입 기회 제공

*니카리과 자연산림에 버려진 목초지를 복원하는 개인 소유지와 소규모 농민을 결합하여 야생동물에 대한 자연 서식지의 역할과 지역 주민을 지원하기 위해 생태 관광의 기회를 제공하는 프로그램

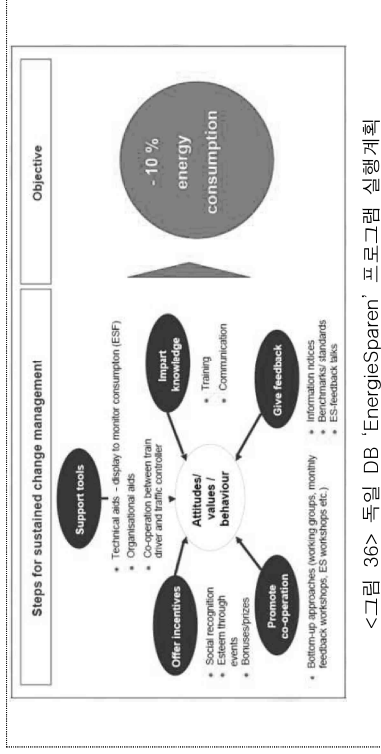
- 철도차량의 운영이 배출량의 상당부분인 81%를 차지하고 있으며, 이를 관리하기 위해 철도차량 운영부문에서 설비그룹 운영관리 체계를 크게 6가지로 구분함.

<표 25> Amtrak 온실가스 인벤토리 관리 운영 그룹

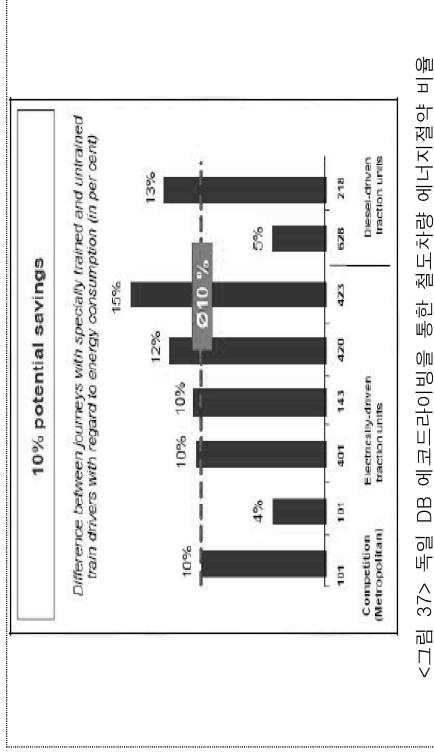
설비그룹	설명
FG-1 철도 차량	- 디젤/전기 기관차 및 여객차 포함
FG-2 고속도로 차량	- 미국 연방 총무청(General Services administration: GSA) 교통수단과 Amtrak에 소유되거나 임대된 모든 교통수단 포함
FG-3 신호	- 모든 전철기, 전철기 히터, 신호, 횡단보도, 조명, 타워, 그리고 신호용지에 있는 다른 장치들 포함 - 병렬/전철기 장비와 변전소는 전차선 시스템의 일부 포함
FG-4 소규모 역사	- 임차인으로써 영향력이 있는 곳, 약간 또는 정비가 발생하지 않는 곳을 포함한 역
FG-5 정비시설	- 다른 시설 그룹들에 표기되지 않은 철도조차장, 정비시설, 보신기관을 및 큰 역들을 포함한 시설을 포함
FG-6 사무실	- 사무실공간은 조차장, 역 또는 Amtrak 시설과 근접되어 있지 않는 것 포함

- (에코드라이빙 관련 기술개발 및 교육사업 활발) 유럽에서는 에코드라이빙 관련 교육사업을 활발히 수행 중에 있음.

- 철도차량 운전자들이 더욱 에너지 효율적이면서도 편안하게 차량을 운전토록 하는 것을 목표로 TRAINER(Training programmes to Increase Energy-efficiency by Railways) 프로젝트를 통해 독일에서는 전동차와 디젤기관차 모두에서 평균 5~10%의 에너지를 절약함.



<그림 36> 독일 DB 'EnergieSparen' 프로그램 실행계획



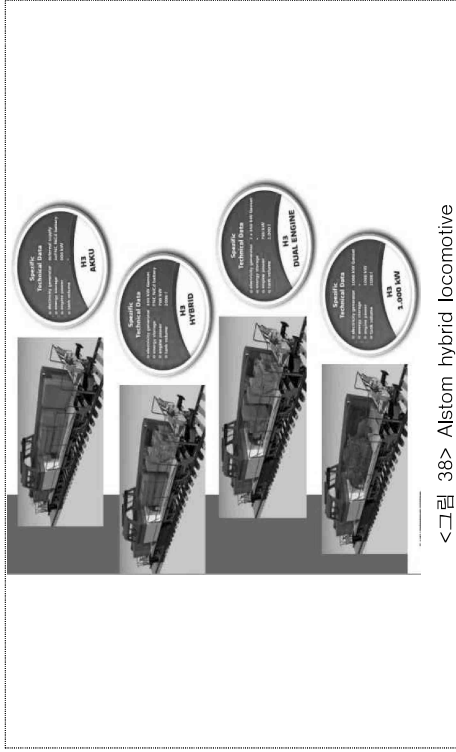
<그림 37> 독일 DB 에코드라이빙을 통한 철도차량 에너지절약 비율

○ 호주에서는 장거리 열차 운전자를 지원해 주는 시스템을 기반으로 운전자에게 최적의 속도 정보를 추천하고, 속도변화 및 이상 징후를 자동으로 기록하고 조정하여 소모되는 연료를 5~20% 절감함.

□ (에너지원 전환 철도차량 개발)

○ 디젤 하이브리드 철도차량은 고속주행 시 디젤엔진을 이용하고, 저속주행 시에는 배터리를 이용하기 때문에, 기존 디젤기관차의 유해가스 배출을 60% 이하로 줄이고, 에너지 효율이 20% 이상 향상되는 효과를 기대할 수 있음.

- 프랑스 알스톰(Alstom)사는 디젤 발전기와 배터리, 건인 전동기를 포함하는 추진 시스템의 디젤 하이브리드 기관차를 개발하여, 2009년 4월에 네덜란드의 로테르담에서 시험운전을 수행함.

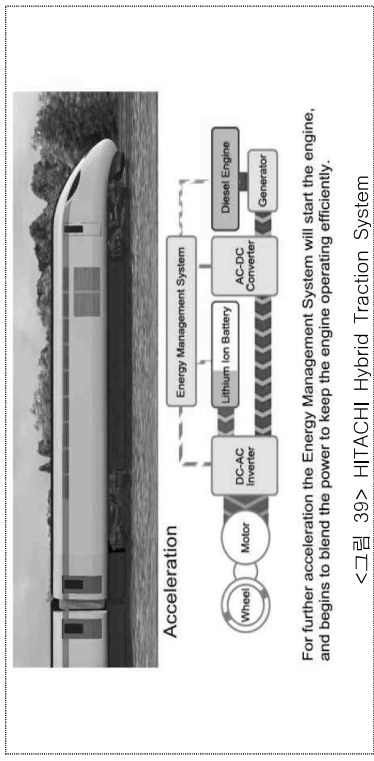


• 배터리를로부터 건인 전동기를 구동시켜 차량의 주동력을 발생시키고 디젤 발전기는 배터리를 충전하거나 필요시 보조 동력으로 사용하는 직렬 하이브리드 방식으로 알스톰사에 따르면 기존 디젤 기관차에 비해 화석 연료 사용량을 40% 이상 절감할 수 있고, 공해 배출량과 CO₂ 배출량은 각각 55%, 50% 이상, 분진과 질소 산화물도 각각 60%, 40% 이

상 감소가 가능함. 또한, 소음은 15dB 이상 낮추었으며, 정비 비용 또한 15% 감소시켰으므로 수명 주기 비용을 30% 가량 줄임.

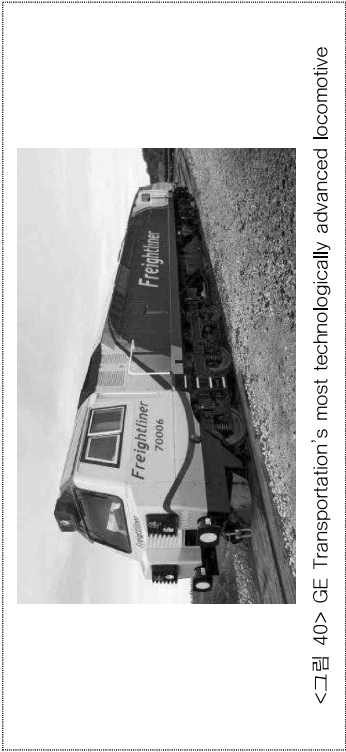
- 일본의 히타치(Hitachi)사는 비 전철화 구간을 운행하는 디젤차량의 환경 개선 및 효율 향상을 목표로 2002년부터 2004년까지 하이브리드 시스템을 개발하여 적용성을 확인함. 이후 2007년에는 양산 선형 차량인 Kiha E200이 개발되었고, JR East는 이를 도입하여 중부 고우미선에서 세계 최초로 영업 운행을 개시함.

- 히타치는 Kiha E200으로 기존 디젤차량 대비 에너지 효율을 약 20% 향상시켰으며, 질소 산화물 등 매연 배출량을 60% 이상 감소시킴.
- 주 동력원은 리튬 이온 전지를 이용한 건인 전동기임. 디젤 엔진은 배터리를 충전하기 위해서만 사용되는 직렬 하이브리드 방식으로 제동 시 회생 에너지로 배터리 충전이 가능하고 1회 충전으로 평균 선로를 5km 정도 주행 가능하며, 엔진의 정지 및 기동은 차량의 주행 상태와 배터리의 전압에 따라 자동으로 조절함 배터리는 차량의 지붕에 탑재됨.



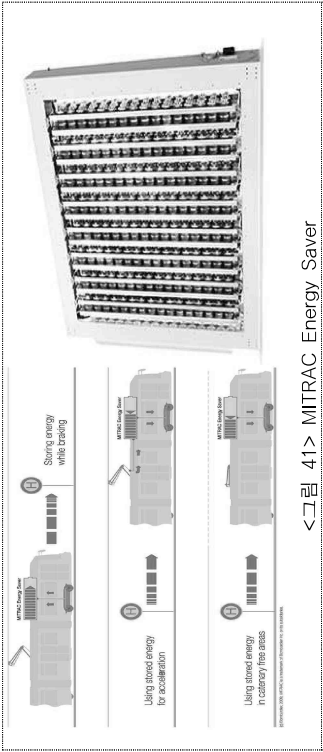
- 미국의 제너럴 일렉트릭(General Electric)은 2010년 상용화를 목표로 2007년에 디젤 하이브리드 기관차 시제품을 선보였고, 현재 저공해 디젤 전기 기관차를 선보이고 있음.

- PowerHaul Series기관차는 연료소비의 효율을 증대시키고 온실가스 배출량을 줄이면서 더 많은 마력과 견인력을 생성하기 위해 설계됨. V-16, 트윈터보 3,700-GHP 엔진, Advanced AC Traction System을 갖춤.



<그림 40> GE Transportation's most technologically advanced locomotive

- 캐나다의 철도차량 제조사 봄바르디아는 자체 개발한 철도차량용 에너지 저장 시스템인 MITRAC Energy Saver를 상용화하여 독일에서 2003년 9월부터 영업 운전을 시작함.
- Rhein-Neckar-Verkehr 구간에 운행 중인 경전철과 MVV 등이 있으며 트램과 디젤동차에도 이 시스템을 적용 중임.



<그림 41> MITRAC Energy Saver

< 디젤하이브리드 철도차량 사양 요약 >

프랑스	
국가	
차량이미지	
제작사/차종 시스템 구성	Alstom사(디젤-유압 임펠기관차 BR 203 개조), 하이브리드 디젤기관차 디젤엔진 & Ni-cd 배터리에 의한 하이브리드
사양	중량 68톤, 배터리 무게 5800Kg(Ni-Cd), 견인 마력 738HP(550kW), Loading capacity 1600톤, 최고속도 60km/h
개발효과	연료소비 평균 40% 절감, 배기가스 50% 저감, 소음 15dB 저감, 유지보수비 절감
일본	
국가	
차량이미지	
제작사/차종 운전정비중량	도시바, JR화물 HD300형 하이브리드 디젤기관차 60톤(중중 15톤)
용도	임펠기관차(국철시대부터 사용해온 기존 디젤기관차 대체용)
제작 시스템 구성	2010년 3월25일, 제1호기가 도시바 후조공장에서 완성 디젤엔진 & 리튬이온전지에 의한 시리조형 하이브리드
사양	L14300 W2950 H4088, 정비중량 60톤, 축중 15톤, Bo-Bo대차, 최고운전속도 45km/h, 회송최고속도 110km/h, 엔진 270HP, 발전기 160kW, 축전지 최대 70kWh, PWM 전압 제어, 영구자석 동기추진동기
개발효과	배기가스 최대 40%, 소음 10dB 저감
특기사항	국가(국토교통성)가 개발지 지원
일본	
국가	
차량이미지	

제작사/차종	토쿠차량 JR동일본 KiHA E200형 하이브리드 디젤동차
용도	무가선구간 여객수송용(NE Train 1단계)
제작	2006년, 토쿠차량제조(주)
시스템 구성	디젤엔진 & 리튬이온전지에 의한 시리즈형 하이브리드
사양	L19500 W2920 H3620, 바닥높이 1130, 디젤엔진 331kW, 주발전기 270kW, SIV 50kVA, 축전지 152kWh, 동형주전동기 95kW 2대, 최고속도 100km/h, 정원 117명(좌석46, 일석71)
개발효과	배기가스 최대 60%(NOx) 저감, 역장차시 소음 30dB, 연료 10% 절감
특기사항	영업용 하이브리드 차량 세계최초(2007년부터 JR동일본 코우미선 영업운행)

국가	미국
차량이미지	
제작사/차종	GE사 하이브리드 디젤기관차(2007년 4월 시제차 개발)
시스템 구성	디젤엔진 & Sodium nickel chloride 배터리에 의한 하이브리드
사양	4400HP
개발효과	2010년 기준 착신화를 기관차 대비 연료절감 15%, 배기가스 50% 저감

국가	캐나다
차량이미지	
제작사/차종	Railpower Technologies사 하이브리드 디젤 기관차
용도	인화 및 분선운전용
개발	캐나다 Railpower Technologies사(2004년)
시스템 구성	디젤엔진 & lead acid 배터리(연속전지)에 의한 하이브리드 RP14BD - 4축 인화 기관차
사양	1,400마력, 2GenSet
개발효과	연료절감 35%, NOx 저감 80% RP20BD - 4축 인화/지선용
사양	2,000마력, 3GenSet
개발효과	연료절감 50%, NOx 저감 80% RP20CD - 6축 Hump Yard용(구배가 있는 조차장)
사양	2,000마력, 3GenSet
개발효과	연료절감 50%, NOx 저감 80%

○ 연료전지 하이브리드 전동차는 하이브리드 철도 차량에서 디젤엔진을 연료전지로 대체한 형태의 차량임.

- 배터리의 전기 동력 외에 발전한 동력을 함께 사용하며 출발할 때는 차량 최상부에 설치된 대형 연료전지의 동력으로 모터를 돌리고, 큰 에너지가 필요한 가속 주행 시에는 차량 밑 부분에 있는 배터리와 연료전지의 동력을 같이 사용함.
- 연료전기와 배터리를 연동하여 운행할 수 있는 연료전지 하이브리드 전동차는 청정 수소에너지를 활용하여 CO₂ 발생량을 최소화 할 수 있는 수단이나 대용량 연료전지에 대한 상용화 기술 개발기간이 상당히 요구되므로 이를 전동차에 적용하였을 경우에 따른 온실가스 저감 효과를 산출하기는 어려움.

< 연료전지 철도차량 사양 요약 >

국가	일본
차량이미지	
제작사/차종	JR총연 KUYA R291+KUMOYA R290형 연료전지 하이브리드 전차
용도	무가선구간 여객수송용 차량 개발을 목적으로 한 시험차
제작	JR총합기술연구소(R291은 2006년, R290은 2008년)
시스템 구성	연료전지 & 리튬이온전지에 의한 시리즈형 하이브리드
사양	최고속도 100km/h, 고체고분자형 연료전지 120kW 1대, 연료전지조퍼 1500V 600kVA, 리튬이온축전지 36kWh 360kW, 배터리 총발전 장치 360kW, 동형주전동기 95kW 2대, 수소탱크 35MPa・약720리터, 연비 5km/kg 2량
개발목적	연료전지시스템 철도차량 적용 시 문제점, 과제 파악
특기사항	연료전지의 철도차량 적용 세계최초
차량이미지	
제작사/차종	토쿠차량 JR동일본 KUMOYA E995형 연료전지 하이브리드

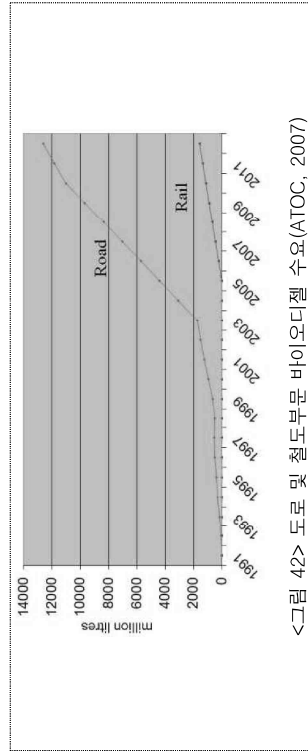
용도	무기신구간 여객수송 차량 개발을 목적으로 한 시험차(NE Train 2세대)
개발	JR동일본과 JR동해방의열연구사업에 공동 개발/토쿠리차량제조주, 2008년 개조
시스템 구성	연료전지 & 리튬이온전지에 의한 시리드형 하이브리드
사양	L20000 W2850 리튬이온축전지 19kWh, 동력전지용기 95kW 2대, VVVF 인버터 제어, 최고속도 100km/h, 고체근자차량 연료전지 6kW2대, 수소탱크 35MPa < 약270리터
개발목적	연료전지시시시스템 철도차량 적용 시 문제점 < 과제 파악

○ 첼도차량에 적용되는 LNG 기술은 LNG만을 사용하는 전소 시스템 및 LNG와 디젤을 혼합하여 사용한 혼소시스템 2가지의 방식으로 구별. 혼소시스템은 천연가스를 점화하기 위해 디젤연료를 연소실에 분사하는 방식을 주로 사용하고 있으며, 연소실에 디젤연료를 분사할 때 저압 및 고압으로 분사하는 방법이 있음.

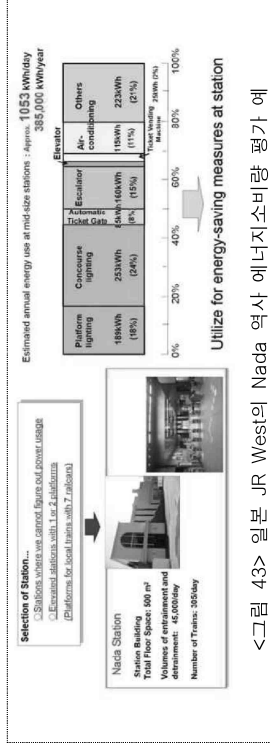
- 미국 회사인 ECI(Energy Conversion Incorporation)사에서는 개조한 입환차량을 LA지역에서 운영하고 있으며, 독일에서는 Usedom 스프 리조트의 CNG 철도차량과 뮌헨의 LNG 입환 철도차량 등 2 가지 청정에너지 철도차량 개발 프로젝트를 수행한 바 있음.
- 국내의 경우 한국가스공사에서 한국철도기술연구원 및 천연가스차량협회 등과 공동으로 LNG 철도차량의 타당성 검토를 위한 기호연구를 수행한 바 있음.

- 국내의 경우 한국가스공사에서 한국철도기술연구원 및 천연가스차량협회 등과 공동으로 LNG 철도차량의 타당성 검토를 위한 기획연구를 수행한 바 있음.

○ 바이오피디셀 철도차량은 디젤엔진의 대체를 통해 온실가스를 90% 이상까지 저감할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, 대표적으로 인도에서는 바이오피디셀 20% 이상 포함한 철도차량이 운행되고 있음.

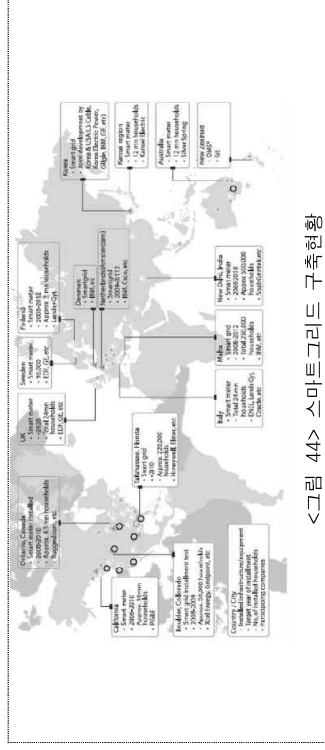


□ (역사 에너지관리 시스템, Station Energy Management System ; S-EMS) 일
본 JR Group에서는 역사 내 건물 에너지관리(Building Energy Management
System, BEMS) 시스템을 도입하여 에너지소비 절감방안을 도출하거나 리모델링
등을 통해 역사 에너지소비 개선을 이루고 있음.



○ JR East는 2009년 역사 내 냉난방 설비 CFC 사용 중간 및 에너지 관리센터 통해 2005년 대비 49% 에너지 소비 절감 효과를 확보하였으며, 에너지미터기를 도입하여 자동조명 조절 및 LED 사용을 통해 조명시스템 에너지 소비의 약 30%를 절감하였습니다.

□ 영국 정부는 2020년 말까지 영국 내 2천 6백만 모든 가정에 스마트 미터기를 보급할 계획을 공개하였는데, 향후 관련 유틸리티 기업은 각 가정을 방문하여 스마트 미터기를 설치할 예정이다.



○ 영국은 전 세계적 스마트그리드 개발사업 시장이 향후 5년간 270억 파운드에 달할 것으로 예상하고, 스마트 그리드 개발 시장에서 선도적 지위를 차지하기 위해 노력 중이며, 이를 위해 영국 정부는 관련 기업이 스마트 기술 개발을 지원할 수 있도록 6백만 파운드를 지원할 계획임.

□ 에너지 사용량을 분석하기 위한 방법은 매우 다양하나, 시뮬레이션을 이용하여 부하 분석하는 방법이 주로 사용됨.

○ 미국 에너지청(DOE, Department of Energy)의 지원에 의해 LBL(Lawrence Berkely Lab.)에서 개발한 DOE-2는 매 시각별 및 연간 냉·난방 부하 및 에너지 소비 해석이 가능함.

○ 미국 육군성이 건물의 냉·난방부하, HVAC 시스템, 플랜트의 에너지 소비량 및 이들의 경제성을 계산하기 위하여 개발한 건물 에너지 해석 프로그램인 BLAST는 건물 각 부분에 대한 실온 및 MRT의 예측이 매시간 단위로 가능함.

○ DOE-2와 BLAST의 장점을 살려, 보다 새로운 시뮬레이션 기능이 추가된 차세대 건물 에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus는 에너지 평형 알고리즘을 적용하여 실온의 정확한 예측과 1시간 보다 작은 시간에 대한 시뮬레이션이 가능하게 되어 지금까지 건축가 및 기술자가 기존의 프로그램으로는 불가능했던 다양한 기능이 추가되었으며, 현재 베타 버전 제공 중임.

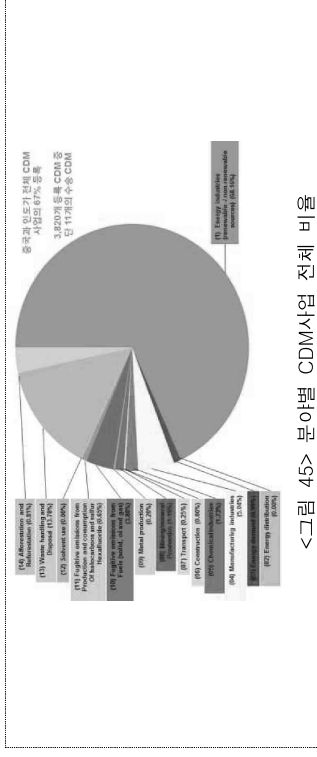
□ 국외의 빌딩 자동제어업체는 설비단위의 에너지 최적운전 기법을 보유하고 있으나, 계절 및 이용객의 유동에 따른 최적운전기법은 구현하고 있지 않음.

○ 하니웰의 EBS시스템은 설비, 전력, 조명, 방범, Access, 방제설비들을 통합시켜 완전한 하나의 통합 빌딩관리시스템으로 빌딩의 규모에 따라 중소형, 대형, 초대형으로 대응할 수 있도록 구성되어 있으며, 하나의 프로그램 및 하나의 화면상에서 설비, 전력, 조명, 출입제어, CCTV시스템을 감시/제어 및 운영함으로써 시스템간의 유기적인 연동이 가능함.

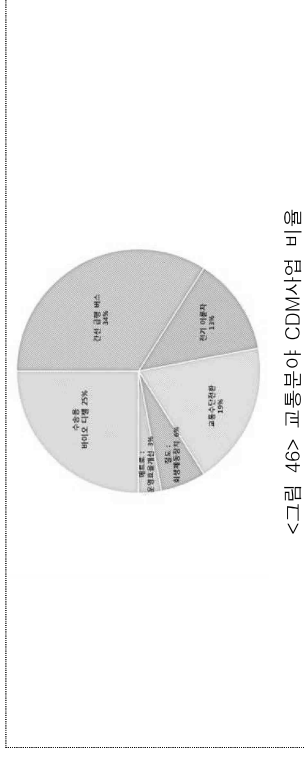
○ 지멘스는 제조업 및 기간산업이 미국에 비해 열세인 유럽의 보루이자 대표적인 업체로 전 세계 두 번째의 빌딩 솔루션 업체인 SBT(Siemens Building

Technologies)를 보유했으며, 특히 SBT의 BEMS 솔루션 Apogee는 전 세계 중대형 빌딩에서 가장 많이 채택되는 솔루션임.

□ (수송부문 CDM 사업 등록비용 0.25% 불과) 2012년 UNFCCC의 통계에 따르면 15개의 CDM 사업 영역에서 에너지산업 분야(01)에서의 등록 CDM사업이 68.16%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 수송분야(07)는 전체 3,820개의 등록 CDM 사업 중에서 단지 11개로 전체의 0.25%에 불과함.



○ 수송분야에서의 철도관련 CDM 사업은 교통수단전환 CDM사업이 19%, 화생 제품장치를 통한 에너지효율화 CDM사업이 6%, 운영효율개선 CDM사업이 3%로 수송 전체 CDM사업 중에서 적은 부분을 차지하고 있음.

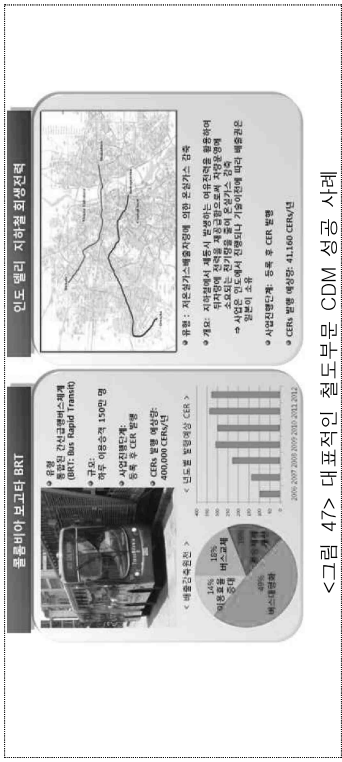


○ 수송분야의 CDM 사업에 대한 타당성 확인 및 등록단계에는 2005년부터 현재까지 총 59개 사업의 요청이 있었으나, 그 중 등록된 수송분야 CDM사업은 총 28개뿐(47%)으로 이 중 철도 관련 등록 성공사업은 11개(18%)임.

<표 26> 철도 수송분야 CDM UNFCCC 등록 성공 사업

등록일	사업명	국가	방법론	예상 감축량
2007.12.29	몬성가스 저배출차량 교체 사업	인도	AMS-III.C ver.10 전기차 및 하이브리드차에 의한 몬성가스 배출량 감축	41,160
2011.02.04	도로수송에서 철도수송으로 수송수단 전환 사업	인도	AMS-III.C ver.11 전기차 및 하이브리드차에 의한 몬성가스 배출량 감축	23,001
2011.05.30	EDOMEX주 BRT 1-5호선 사업	멕시코	ACM0016 대중교통 급행수송체계	145,863
2011.06.30	델리시 메트로 사업	인도	ACM0016 대중교통 급행수송체계	529,043
2011.08.10	Insurgentes Metrobus 급행수송체계 사업	멕시코	ACM0016 ver.2 대중교통 급행수송체계	46,544
2011.10.04	몽바시 메트로 원 대중교통 급행수송체계 사업	인도	ACM0016 ver.2 대중교통 급행수송체계	195,547
2012.09.12	멕시코시티 메트로 12호선 대중교통 급행수송체계 사업	멕시코	ACM0016 ver.2 대중교통 급행수송체계	136,983
2012.09.24	Metrobus 2-13 대중교통 급행수송체계 사업	멕시코	ACM0016 ver.3 대중교통 급행수송체계	134,601
2012.11.22	구르가온시 메트로의 대중교통 급행수송체계로 수송전환 사업	인도	ACM0016 ver.2 대중교통 급행수송체계	105,863
2012.12.19	경전철(LRT)체계 사업	튀니지	ACM0016 ver.3 대중교통 급행수송체계	29,193
2013.02.25	구이양시 대중교통 급행수송체계 [호진]	중국	ACM0016 ver.3 대중교통 급행수송체계	335,188

* 출처 : <http://cdm.unfccc.int> (2013)

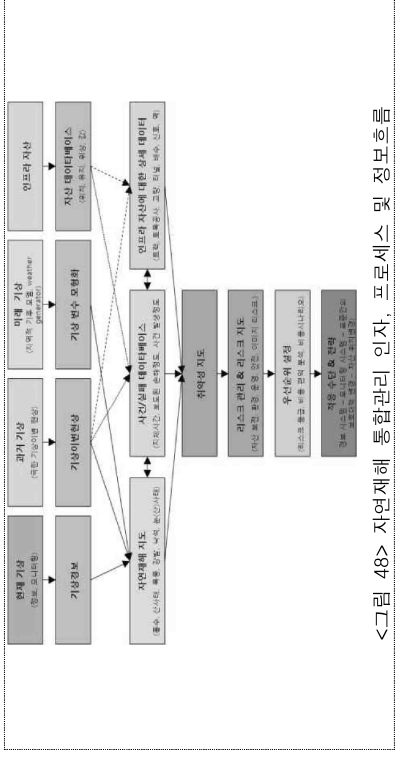


<그림 47> 대표적인 철도부문 CDM 성공 사례

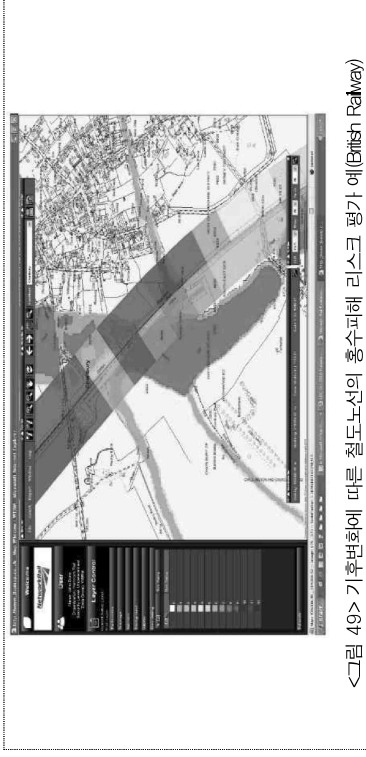
나. 기후변화적응 기술

□ 유럽의 UIC에서는 Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change 프로젝트(ARICC)를 통해 기후변화의 영향에 대비하고 유지, 보수 및 투자비용에 대한 의사 결정권자가 신뢰할 수 있는 도구와 수단을 개발할 계획임.

○ 과거 분석을 통한 철도 인프라의 취약 부분을 확인하고, 현재와 미래의 자연재해와 인프라 자산의 잠재적 감해를 파악하는 다단계적 접근을 통해 합리적인 자연재해 지도를 개발함.

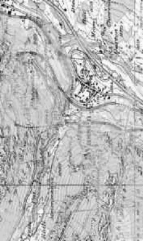


<그림 48> 자연재해 통합관리 인자, 프로세스 및 정보흐름



<그림 49> 기후변화에 따른 철도노선의 홍수피해 리스크 평가 예(British Railway)

<표 27> 철도 인프라에 영향을 미칠 수 있는 자연재해 map 사례

1단계	2단계	3단계
스크리닝	잠재 자연재해 지도	위험 지도의 통합
SBB 네트워크 나 2007년 기후재해 사건	스위스 낙석 발생가능 지역 지도  스위스 산사태 발생가능 지역 지도  스위스 낙석 발생가능 철도 트랙지도 	

<표 28> 기후변화에 의해 철도 인프라에 미치는 영향 및 주요 적응전략(GTZ, 독일, 2009)

기후변화	철도에 미치는 영향	가능한 적응전략
온도상승 및 더 잦은 열 충격	• 열적팽창으로 인한 선로의 좌굴(buckling) • 열적팽창으로 인한 선로의 좌굴(buckling)	- Rail stressing(온도에 따른 선로의 팽창 및 축소 고려) 같은 선로의 유지보수 절차 보완 - 고온을 견딜 수 있는 새로운 설계 기준 마련 - 차별화된 속도 제한 조치를 부과하기 위한 관리 절차 - 트랙, 트랙 센서, 신호 수리 및 검사 - 기후 상황과 트랙 조건에 관한 업데이트, 경고 등 배포
		- 역사, 차량, 지하 네트워크를 위한 에어컨 또는 고성능 냉각 시스템 보유 - 지하 인프라에 대한 온도 모니터링 - 고온에 대한 긴급사태 대책 마련 - 예상된 수위를 맞추기 위한 전력공급에 대한 설계기준 포유 (특히 냉방장치 이용에 따른 수요 예측)

더 작은 가뭄 (토양수분 부족)	• 집중호우와 결합한 건조토양은 더 많은 산사태 및 침하 발생	- 철도에 대한 영향 가능성 평가(risk mapping) - 정기적인 유지보수 및 고위험 선로에 대한 모니터링 - 고위험 지역의 신규 철도노선 건설 피하기
	• 해안가 도시들에서 지하터널의 홍수 및 철도 인프라의 홍수 위험	- 위험지역 확인을 취약성 지도 작성 - 고위험 지역의 개발 제한 - 해안가 지역관리 및 수송 계획 통합 - 방파제, 해안가 습지 보호, 지하 시스템 양수처리 같은 예방조치 강화
	• 지하터널과 철도노선 내 범람 증가 • 침식, 산사태 및 토양수분 증가로 인한 구조의 안전성 감소와 선로손상	- 배수시설 용량 증설 및 집중호우 대비 신규 배수시설 건설 또는 개선 - 정기적인 배수 시스템 검사 - 취약지역에 대한 지도화 및 대체 노선 평가 - 신규 개발에 대해 홍수 위험도 평가 의무화 - 고위험 지역의 개발 제한 - 인프라 보호, 홍수원 및 해안가 관리 개선
더 극단적인 강우 현상 및 홍수	• 지하 시스템/지하터널 홍수발생 시 배수 차단	- 지하에서의 승객대피 계획 수립 - 양수처리 시설 강화 - 고위험 지역 확인을 위한 취약성 지도 작성 - 고위험 지역 개발 제한
	• 노반의 안정성 약화	- 폭우 시 노반 및 교량 등의 모니터링 조건 강화 - 유지보수 개선
	• 배어링 용량 저하	- 항 부식제 같은 고내구성 재료 사용
더 센 강도의 빈번한 태풍	• 역사 및 인프라 건설, 교량, 교차로, 기차 플랫폼, 거리조명 및 신호 손상	- 설계기준 강화
	• 해수면 상승 및 높은 조수와 더불어 강한 바람이 부는 동안 바다에 의한 홍수 위험	- 조기경보 시스템 설치 및 재난 리스크 관리
	• 강한 바람으로 인해 차량 또는 빌딩 폐쇄, 떨어진 도로 나무로 인한 철도 또는 도로 차단 • 낙엽으로 인한 철도의 안전성/충격 감소 • 전기시스템 또는 철도신호의 낙뢰발생 증가 • 누설로 인한 전기신호 시스템 불량	- 철도 인프라를 위한 바람막이 설치 - 신호장비의 적응 설계기준 마련

☐ 호주에서는 기후변화에 대하여 자산과 서비스에 대한 리스크를 평가하기 위해 수송부문 인프라의 취약성 평가를 진행하였으며, 수송부문 인프라 서비스는 도로, 철도, 터널, 다리, 공항 및 항구 부문으로 분류하였음.

<표 29> 리스크 평가 매트릭스

가능성	중요성				
	Insignificant 1	Minor 2	Moderate 3	Major 4	Catastrophic 5
A (almost certain)	L	M	H	E	E
B (Likely)	L	M	M	H	E
C (moderate)	L	L	M	H	E
D (unlikely)	L	L	M	M	H
E (very unlikely)	L	L	L	M	M

<표 30> 2030년 온실가스 저배출 시나리오

리스크 시나리오	기후변수 (행인)	기후변화 영향	다양한 행인에 의한 리스크	리스크 평가				
				리 스 크 평 가	중 요 성	위 험 수 준	위 험 수 준	위 험 수 준
해빙 트렌드 이동	기온 상승 및 해빙	대부분 지역에 0.5~1℃ 기온 상승 - 35℃ 넘는 날이 1~4일 증가 - 30℃가 넘는 열파 수 0.5~2배 증가	■ 해빙 구조물의 이동으로 인한 손상, 장애 및 교체 ■ 해빙 인프라의 유지 및 교체 비용 증가 ■ 광물 수송 업체와 주정부의 극부하된 비용	L	L	L	L	L
	극한 강우 증가	극한 강우가 27%까지 증가	■ 홍수 피해, 파괴된 나무와 산사태로 인한 피해 증가 ■ 로 제의 구조물의 손상, 장애 및 교체 ■ 해빙 인프라의 유지와 교체 비용 증가	M	L	L	L	L
폭풍우에 의한 해빙 피해	폭풍우 빈도 및 강도 증가	폭풍우 발생 빈도와 강도의 증가	■ 강풍 수송 서비스의 단기간 손실과 도로수송부문의 운행 중단 ■ 광물 수송 업체와 주정부의 비용증가					
	빈계 증가	비극 증가						

※ L : Low, M : Moderate, H : High

<표 31> 2030년 온실가스 고배출 시나리오

리스크 시나리오	기후변수 (행인)	기후변화 영향	다양한 행인에 의한 리스크	리스크 평가				
				리 스 크 평 가	중 요 성	위 험 수 준	위 험 수 준	위 험 수 준
해빙 트렌드 이동	기온 상승 및 해빙	대부분 지역에 1~1.5℃ 기온 상승 - 35℃ 넘는 날이 3~10일 증가 - 30℃가 넘는 열파 수 1~5배 증가	■ 해빙 구조물의 이동으로 인한 손상, 장애 및 교체 ■ 해빙 인프라의 유지 및 교체 비용 증가 ■ 광물 수송 업체와 주정부의 극부하된 비용	M	L	L	L	L
	극한 강우 증가	극한 강우가 27%까지 증가	■ 홍수 피해, 파괴된 나무와 산사태로 인한 피해 증가 ■ 로 제의 구조물의 손상, 장애 및 교체 ■ 해빙 인프라의 유지와 교체 비용 증가	M	L	L	L	L
폭풍우에 의한 해빙 피해	폭풍우 빈도 및 강도 증가	폭풍우 발생 빈도와 강도의 증가	■ 강풍 수송 서비스의 단기간 손실과 도로수송부문의 운행 중단 ■ 광물 수송 업체와 주정부의 비용증가					
	빈계 증가	비극 증가						

※ L : Low, M : Moderate, H : High