

전기철도시스템의 신재생에너지 적용방안

김형철 이병송 이형우 권삼영 한문섭 박현준
한국철도기술연구원

The Introduction of renewable energy in railway industry

Hyungchul Kim Byungsong Lee Hyungwoo Lee Samyoung Kwon Moonseop Han Hyunjun Park
Korea Railway Research Institute

Abstract - 교토의정서 발효 후 유럽을 중심으로 한 선진국에서는 온실가스 배출권거래제를 국제사회에 보급함으로서 경제적 이익을 창출하고자 한다. 우리나라의 이산화탄소배출량은 세계 상위권 수준이며 이에 대한 대책이 절실히 필요한 시점이다. 철도선진국은 전 세계적으로 대두되고 있는 지구온난화문제를 신속하고 적극적으로 대처하고 있으나 국내 철도부분에서의 온실가스배출 저감에 대한 대응은 미흡하다. 본 논문은 현재 철도분야의 대응방안, 철도급전시스템에서 신재생에너지를 이용한 에너지 대체방안과 에너지절약 방안 등을 다룬다.

1. 서 론

신재생 에너지는 다른 발전방식과 달리 대기오염 등의 공해가 전혀 없는 청정에너지이며, 고갈의 염려가 없는 무한 에너지이다. 재생에너지란 파력 풍력 지열 수소에너지를 말하며, 대체연료에는 대체연료 차량에 이용하는 에너지로서 바이오디젤, 압축천연가스, 수소 등이 있다.[1] 현재 신재생에너지 보급 확대를 위하여 공급측면의 다양한 정책이 있지만 철도산업에서의 적용은 아직 걸음마 수준이다.

교토의정서에 의하면 2008년부터 2012년 기간 중 선진국 전체의 배출총량을 1990년 수준보다 최소 5% 감축하되 경제적 여건에 따라 차별화된 감축을 규정하고 있다. 우리나라는 온실가스 배출량이 2004년 기준으로 전 세계 1.87%를 차지하는 세계 상위권수준이다. 온실가스 배출현황을 살펴보면 80%이상이 에너지 사용으로 인한 온실가스를 배출한 것으로 나와 있다.

현재 고속철도의 도입으로 인한 전력사용량의 급격한 증가로 이제 철도부분에서도 온실가스 배출 저감에 대한 준비가 절실히 시점이다. 현재 한국철도공사에는 주요방안으로 온실가스배출량이 높은 디젤 차량을 줄이고 전기철도를 늘리고 있다. 국내 철도 전철화율은 2003년 21.3%였으나, 2006년에는 49.3%로 증가되었고 그리고 2005년에는 73.1%로 계획되고 있다[2]. 또한 전기에너지 절약을 위해 조명등 개량, 차량내의 냉난방, 유휴변압기 전원차단, 출입문의 여닫이 등 다양한 자구책을 시행하고 있다.

2005년말 기준으로 한국철도공사에서 사용한 전력량은 1,906,896 MWh으로 한국전력공사 총판매량의 0.57%에 달하며, 각 지방단체 도시철도를 포함하면 철도에서 사용되는 전기에너지는 우리나라 전기사용량에서 큰 부분을 차지하고 있다[3]. 전기에너지는 결국 석탄, 석유등 연료에서 에너지를 변환하는 것이므로, 신재생에너지의 직접적인 철도분야의 적용은 큰 의미가 있다고 볼 수 있다.

신재생에너지 공공의무화사업에 의하면 국가기관, 지

방자치단체, 정부투자 출자기관, 특별법에 의해 설립된 법인 등 공공기관이 발주하는 연면적 $3,000m^2$ 이상 신축 건물들의 표준 건축비의 5% 이상을 신재생에너지설치에 의무적으로 투자해야 한다. 이에 따라 철도역사 적용을 위한 목표지향적인 기술개발계획의 체계적, 단계적 전략 수립에 의한 적용성 연구개발이 시급히 요구된다.

본 논문에서는 해외선진국의 사례를 통한 환경 친화적인 태양광 발전을 철도 역사에 적용하는 방법, 풍력에너지와 비롯한 신재생에너지를 철도시스템에 적용하는 방안, 에너지 절감을 위한 철도시스템의 도입 현황 및 장기적인 대안수립 등을 다룬다.

2. 신재생에너지 철도산업 적용

2.1 재생에너지

현재 신재생 에너지 자원(태양, 바람, 바다, 수력)과 원자력은 주로 전기적인 형태로 에너지를 생산한다. 이것은 우리가 화석연료를 사용하는 방식에서 벗어나려면 철도산업에 전기에너지를 사용할 방법을 다양하게 개발해야 한다는 것을 의미한다.

현재 대규모 에너지 소비 산업인 철도에서의 친환경 에너지는 필수적이며, 풍력의 직접적인 공급 및 주행풍의 이용도 검토해야 한다.

2.1.1 태양광

산업자원부 신재생에너지 기술개발 및 이용 보급 기본계획[4]에 따르면 2011년까지 신재생에너지 비중을 총에너지의 7%로 증가시킬 것으로 계획하고 있다. 따라서 국내여건상 계통연계, 건물일체형 태양광 시스템에 대한 관심이 크게 증대되고 있다. 건물일체형 태양광 시스템에 대한 국내 기술수준은 매우 초보단계로 99년부터 지붕 형에 대한 소규모 기초연구가 진행 중에 있으나, 지붕재 대체를 위한 모듈 설계 수준이며, 시장규모가 큰 상업 및 공공건물용 건물일체형 태양광 모듈과 같은 본격적 연구는 전무한 실정이다. 유럽의 경우 EC(신·재생에너지) 백서 Take off 캠페인의 일환으로 EU역 Roof-Top 태양광 시스템 개발 프로젝트 실시하고 있고, 일본은 1992년부터 공공시설·Field Test 사업으로 총 86건 4,900 kW의 태양광 시스템 설치하였다. 독일주관 하에 90년부터 7년간 선진 13개국이 참여한 IEA SHC Task 16 "Photovoltaics in Buildings"을 통해 건물 일체형 분야의 기술체계 수립되었다. 그럼 1은 태양광 시스템을 이용한 독일 베를린의 역사이다.

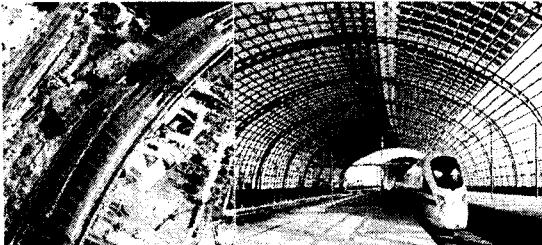


그림 1. 독일 베를린에 위치한 Lehrter Station; 건물 일체형 태양광 시스템(면적: 1870m², 용량: 189kWp, 시스템 비용: €3.7 million)

우리나라에서도 신재생에너지 보급정책인 공공의무화 사업에 따라 대한주택공사 광주 및 전남 사옥 등 8개 공공기관에 선정하여 신재생에너지 설비비용의 64%를 지원하였다. 철도분야에서는 국내 철도 역사를 고려하여 기술적 실현성이 가장 높은 건물 일체형 태양광 발전 시스템 개발이 필요하며, 고속철도 II단계사업 중 경주 역사, 300m²이상인 기존 역사가 적용 가능하리라 여겨진다.

2.1.2 풍력

EU 국가들의 풍력에너지 현황을 살펴보면 2004년 기준 46,048 MW이며 매년 약 20 %이상의 증가율을 가지고 있다. 전체 용량기준으로 독일이 선두로 그 뒤를 스웨덴 미국 등이 따르고 있다. 우리나라에서도 제주도를 비롯하여 풍력의 사용량 증가폭이 크게 나타나고 있다.

철도 분야의 풍력에너지의 사용은 이미 상업화에 가까워졌으며 더 많은 것들이 뒤따를 것이다. 예를 들면 독일의 자기부상 시험노선에서는 풍력에너지를 이용하여 자기부상열차 에너지원으로 이용하고 있다. 다음 2는 독일 자기부상 시험라인을 보여주고 있다.[5] 일반적으로 풍력에너지를 이용할 때 2 MW 풍력터빈 하나당 생산량이 4개의 기관차에 매년 1,800 MW의 전력을 공급하리라 추정된다.

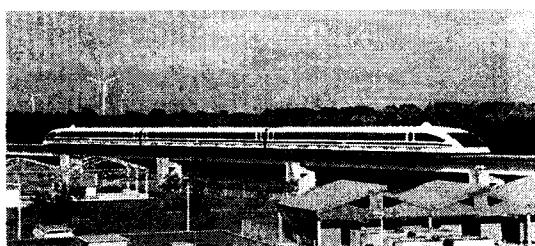


그림 2. 독일 자기부상 시험라인

또 다른 풍력에너지를 철도분야에 적용하는 방법은 철도주행풍을 이용하는 것이다. 철도분야에서 주행풍은 에너지 밀도가 자연풍보다 훨씬 높을 것으로 예상되므로 소형 풍력발전으로 이용하면 경제성이 우수하리라 여겨진다[6]. 철도차량 주행풍은 항상 바람방향이 일정하고 최적날개 시스템을 구축하기가 쉬워 효율을 최대화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 철도시스템은 항상 계획된 운행열차시각에 따라 쌍방향으로 운영되기 때문에 에너지 밀도를 증대할 수 있다. 또한 소형풍력발전기를 병렬로 이용함으로서 부분 고장 시에도 일정전력의 사용이 가능하다. 그러나 차량한대가 만들어내는 주행풍은 그 지속시간이 길지 않기 때문에, 아직 이러한 문제는 해결되지 않은 실정이다.

2.2 대체연료

오늘날 철도차량은 전부 전기 혹은 디젤로 가는 차량이다. 장기적인 전망으로는 디젤엔진 및 급전방식은 경제적인 이유 때문에 미래의 철도에선 줄어드리라 예상된다. 이에 대한 대체할만한 견인에너지는 다음과 같다.

연료전지는 수소와 산소를 공기로 변환시키는 것으로 전기 에너지를 만들어낸다. 이런 과정으로 생산된 전기 에너지는 견인 모터를 돌리는데 사용될 수 있다.[7] 연료전자는 거의 무해한 배기ガ스를 내므로, 이것은 매우 흥미 있는 기술이라 할 수 있다. 그러므로 연료전자는 청정에너지로서 장래성 있는 분야이다. 그러나 연료전자는 안정성, 효율성 및 수소저장함금의 가격 등 여러 가지 문제를 가지고 있다. 철도열차는 자동차보다 가볍고 수소를 저장할 수 있는 장소를 더 많이 가지고 있고, 시설물과 전문가의 유지보수 또한 자동차 분야보다 철도 분야에서 적용하기 쉽다. 열차는 고압으로 압축된 수소를 사용하여 매일 일정량의 거리를 운행해야 한다. 단지 운행거리 확장만을 위해서라면 고온의 연료전지와 기내에 장착된 화학탄소 연료나 메탄올로부터 생성되는 수소를 사용하는 것이 아마도 가장 좋은 선택일 것이다. 철도에서 연료전지를 적용할 수 있는 분야로는 고전력 연료전지를 통한 전기기관차, 디젤과 전기를 같이 사용하는 정류기차와 교외나 도시의 경전철, 도시의 소음공해를 감소하기 위해 연료전지 전력시설을 설치한 열차, 가끔 사용하거나 또는 비상시의 보조동력장치, 현장에서 철도에 의해 동작되는 수소의 생산, 저장, 분배를 하는 시설물 등에서 사용할 수 있다. 다음 표 1는 철도분야에서 연료전지 관련 프로젝트 참여업체 리스트이다.[8]

표 1. 철도분야에서 연료전지 참여국가 및 업체 리스트

국가명	참여업체
일본	JR East; Hitachi; Tokyu Car Corporation; Railway Technical Research Institute
미국	Vehicle Projects LLC of Denver; US Army Research, Development, and Engineering Command's National Automotive Center
프랑스	French Transport Ministry; Alstom; SNCF
이태리	Trenitalia; ENEA; University of Pisa; others
덴마크	VLTJ·Lemvigbanen; H2 Logic; HIRC; Teknologisk Institut

천연가스 추진력은 디젤 견인력의 다른 대체품이다. 천연가스는 디젤 연료와 비교해서 더 적은 유해 배기, 적은 소음, 무취, 무연에 가까운 장점을 가지고 있다. 천연가스의 에너지 밀도가 디젤과 비교해서 낮기 때문에, 연료는 압축되고 (CNG), 액화 되고 (LNG), 흡수(ANG) 돼야만 한다. 가장 주된 기술问题是 에너지 발생 효율이 낮고 혼존하는 천연가스 엔진의 경제성이 나쁘다. 프랑스의 SNCF는 압축천연가스로 달리는 레일차(CNG : compressed natural gas)를 포함하여, 천연가스 추진력에 관한 프로젝트를 진행하고 있다. 동시에 천연가스를 흡수(ANG : absorbed natural gas)하는 기술을 연구하고 있다. SNCF는 천연가스를 디젤견인을 대신할 수 있는 오늘날 최고의 근대 에너지라 여기고 있다.

배터리는 액체 연료보다 비교적 적은 에너지 밀도를 가진다. 배터리를 단독 동력원으로 사용하기는 제한이 많다. 그리고 이것이 배터리 자동차가 상당한 시장점유율을 획득하지 못하는 하나의 이유이기도 하다. 이러한 문제는 당분간은 변하지 않을 것이다. 그러나 에너지 소비량이 적은 PRT(Private Rapid Transport) 분야에서 현재 적용 검토 중이다.

바이오매스는 기체뿐만 아니라 액체연료 생산하는데 손쉽게 사용될 수 있다. 바이오 메탄을, 바이오 에탄을 그리고 바이오 디젤과 같은 액체 생물연료는 연료 배급 시스템과 엔진 기술을 포함하여 혼존하는 운송 구조에 직접적으로 보다 많거나 혹은 적게 사용되기 때문에 매력적이다. 1톤의 바이오매스는 200~250리터의 에탄올을 생산할 뿐이다. 그래도, 생물연료는 수송기관 분야의 재생가능 에너지 효용을 소개하기 위한 좋고 수월한 방법이다. 바이오매스는 특히 밀짚처럼 에너지를 목적으로 재배한 곡물이 버려져야 하는 낭비문제가 있다는 것은 사실이다. 또한 생물연료는 기존의 방식보다 에너지 효율이 낮다는 문제가 있다. 그 이유는 인공생물연료는 원유로부터 나오는 화석 연료보다 상당한 에너지를 필요로 하기 때문이다. 바이오매스에서 생체연료로 진행하는 과정은 매우 적은 화석 에너지를 사용하며, 인공 과정은 바이오매스 자체로 가득차기 때문에 그 결과 적은 온실가스를 방출하게 되는 궁정적인 부분도 있다.

3. 철도시스템 에너지효율 증대 방안 및 전력망 연계 대책방안

3.1 회생에너지

차량의 중량을 줄이고 에너지를 절약하기 위해, 철도 시스템에서 회생제동 차량을 내놓기 위한 노력이 이루어지고 있다. 기차를 가속시키거나, 언덕을 오르는데 쓰인 에너지는 운동, 위치 에너지로 기차에 사용된다. 전기 견인 모터의 차에서는 많은 부분의 이 에너지가 감속(브레이크를 걸 때) 모터를 발전기로 사용됨으로써 전기 에너지로 다시 전환될 수 있다. 전기 에너지는 전환 체인으로서 역으로 전환되어 발생한다. 이것은 회생전동으로 알려져 있고, 철도에서 널리 사용되고 있다.

회생제동 차량은 감속하는 동안 운동에너지를 전력으로 변환하고 그것을 전차선이나 전력회사로 되돌려 보낸다. 그 구간(section)에 회생전력을 사용할 차량이 없다면, 그 회생전력은 버려질 것이다. 이런 손실을 막기 위해 사이리스터 정류기, 사이리스터 인버터, 사이리스터 초퍼 저항기, 또는 상·하선 동시 전차선 급전 시스템을 사용한다.

현재 철도시스템에서 이러한 장치들은 몇몇 구간에서 사용된다. 이 회생장치시스템에서 동력 전력은 정류기에서 공급되고, 회생 전력이 동력 전력 필요치를 초과할 때, 인버터는 자동적으로 전력을 변전소 등에 공급하도록 작동되어진다.

회생전력은 특히 지역적으로 브레이크를 많이 사용하는 곳에 도시철도에서 많이 이용되나, KTX와 같은 고속 전철에서도 회생전동을 이용한 에너지 효율의 가능성은 충분히 있다. 비록 회생전동이 많은 나라에서 널리 사용되고 있지만, 아직도 회생전력을 늘릴 수 있는 큰 가능성이 있다. 그에 대한 대응책으로 열차가 필요로 할 때까지 에너지를 저장하는 것이다. 여기에 프라이휠, 파워 배터리 그리고 슈퍼 축전지와 같은 저장 기술에 실질적인 진행이 있었고, 더 나아간 진보가 예상된다.

에너지는 고효율적으로 배포되고 사용되어야 하며 철

도시스템도 예외는 아니다. 철도 분야에서의 에너지효율과 온실가스 방출 감소를 모두 향상시키는 방법은 태생 가능 에너지인 전기, 바람, 수력 그리고 태양광등을 사용하는 것이다. 수소는 종종 철도 분야의 미래 운송 에너지로 언급되고 있다. 그러나 배터리를 통해 직접 재생 가능 전기를 사용하는 것과 수소생성 대체를 위한 연료 전지로 직접 전기를 사용하는 것을 비교하면 4~5배의 정도 에너지 효율차이가 있다. 이것이 수소의 경제성이 언급되는 이유이다.

3.2. 전력망 연계 문제점 및 대책방안

철도역사의 태양광발전설비, 철도 전력의 풍력발전설비 등이 기존의 전력계통에 연계되어 운전될 경우 유의해야 할 점으로는 전압, 주파수, 고조파, 역률 등과 같은 전력계통의 전력품질, 신뢰도 등에 영향을 미치지 않아야 한다. 국내 기준으로는 분산형전원 계통 연계 기술 기준(안)과 한국전력공사 기본공급약관 시행 세칙 등에 나타나 있다.[9] 국내의 전력망 연계 철차는 한국전력공사의 타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호 지침을 따라야 한다. 그러나 철도분야에서 나타나는 회생에너지와 신재생에너지로 분류되지 않아, 회생에너지 이용을 증대하기 위해서는 회생에너지에 관한 계통연계에 법령 보안이 필요한 실정이다.

4. 결 론

본 논문에서는 신재생 에너지의 철도분야 적용 방안을 다루었다. 현재로서는 재생에너지인 태양광 및 풍력에너지가 가장 실용화에 근접하고 있고, 연료전지 천연가스 배터리 바이오매스 등은 미래철도 견인 에너지로서 역할을 수행할 것이다.

또한 에너지 효율 증대를 위하여 철도분야에서 소모되고 있는 회생에너지의 이용증대를 위한 철도 관계자들의 협조가 요구 되는 시점이다.

신재생 에너지의 철도분야 적용은 단기적으로 보면 의심할 여지없이 기존의 화석연료보다 비싸다. 그러나 장기적으로 봤을 때, 자원의 고갈과 늘어나는 수요로 인해 기하급수적으로 화석연료의 가격이 늘어나면 신재생 에너지도 경제성이 있으리라 여겨진다. 이런 시각에서 봤을 때, 신재생 에너지는 미래 철도분야에 기존의 에너지시장을 분명히 대체하게 될 것이다.

현재 재생에너지의 도입은 국가 보조 연구와 논증 프로젝트의 지원을 통하여 강력하게 촉진되고 있으며, 다양한 기술의 요구와 각자 다른 상업적 완성의 수준으로 각각 다른 형태의 지원을 필요로 하게 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이창훈 외 4인 "신재생에너지 전력시장 활성화 방안 연구", 한국환경정책평가연구원 2005
- [2] 한국철도기술연구원 "철도전철화 효과 계량지표 개발 연구", 최종보고서, 2006
- [3] 한국철도공사 전기기술단, "전기업무자료", 2006
- [4] 산업자원부 "제2차 신재생에너지 기술개발 및 이용 보급 기본계획(2003~2012)" 2003
- [5] <http://www.transrapid.de/>
- [6] 강병삼 "차량주행동을 풍력발전으로 이용하는 방안에 관한 연구", 연세대학교 공과대학 석사논문, 2001
- [7] 한국전력공사 "대체에너지 전원(연료전지)의 계통 연계운전 실용화 기술개발" 1994
- [8] Riso Energy Report 5. "New and emerging technologies for renewable energy. 51. in the transport sector",
- [9] 최준호 외 3인 "국내의 신재생에너지 계통연계기준과 절차" 전기의세계, 8월호, 2006.