

# 철도시스템 신재생에너지 적용 기술



장용준  
한국철도기술연구원  
책임연구원



정우성  
한국철도기술연구원  
수석연구원

## 1. 서론

2008년 7월 원유가격이 \$150/배럴 까지 치솟아 오르면서, 전 세계적으로 제2차오일 파동을 겪게 되었다. 동시에 원유의 유한성에 대한 논의가 활발히 진행이 되었으며, 2035년 이후에는 원유에 대한 수요는 계속적으로 늘어나지만 공급은 줄어들 것으로 예상하고 있다(그림 2 참조). 이에 따라 선진국에서는 앞 다투어 신재생에너지 개발 연구에 대한 계획을 발표하고, 현재 진행하고 있는 신재생에너지 개발 투자를 확대하여야 한다는 결론을 내리고 있다.

2006년 현재 전체 전력 생산량 대비 신재생에너지



그림 1. 2007년 이후 뉴욕(New York) 시장에서 거래된 경질유 가격 추이

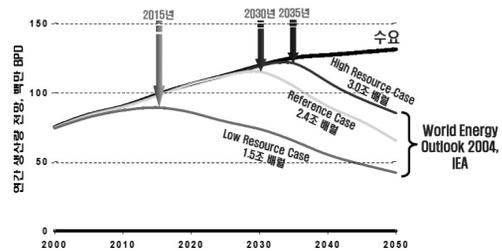


그림 2. 원유의 유한성 2015 ~ 2035년경에 공급의 Peak가 도래할 것으로 예상(출처: World Energy Outlook 2004, IEA)

지 사용 비율은 4%에 불과 하지만 2040년 이후에는 생산량이 50% 이상 확대될 것으로 예상하고 있다(그림 3). 이는 그림 2의 원유 공급량 감소 예상 곡선과 일치하는 전망이다. 이에 따라 우리정부도 신재생에너지 확대 개발 정책을 수립하고, 2030년까지 신재생에너지 개발 및 확대 사용에 11조원을 투입할 것을 발표하였으며, 2009년 11월 국토해양부 청와대 업무보고에서 2025년까지 외부로부터 에너지를 공급받지 않는 건물 의무화 계획을 보고하고 철도 역사도 필요한 전력을 자체적으로 생산하도록 되어있다.

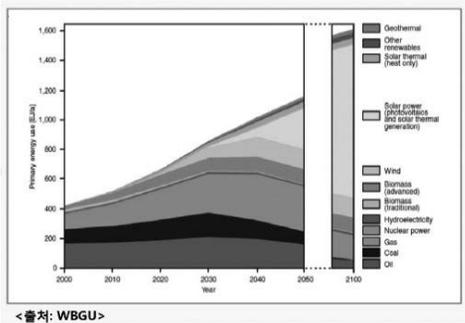
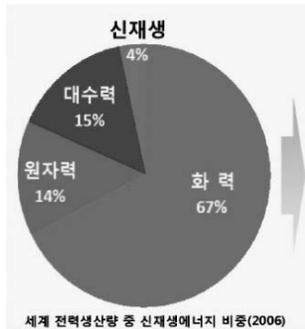


그림 3. 2006년 기준 세계 전력 생산량 중 신재생에너지 비율(상) 및 2040년 이후 예상 (하) (출처 : WBGU : German Advisory Council on Global Change)

## 2. 국내 · 외 신재생에너지 개발동향

### 2.1 풍력에너지 개발동향

1980년대 초부터 풍력발전 제작 기술이 급속히 발전하여 독일의 Germanischer Lloyd, 덴마크 DNV 및 RISO 등에서 설계 인증, 검증, 검증 평가 기준을 제시하고 있으며, IEA에서는 풍력발전에 관한 국제 규정을 마련하고 있다. 풍력발전 시스템은 유럽을 중심으로 시스템의 대형화에 초점을 두고 2MW는 상용화 되고 있으며, 4.5MW는 시험 중이며, 독일에서 5MW를 개발 중에 있다. 독일은 풍력발전 선두 국가로 2004년 세계 설치 용량의 35% (약 16,649MW, 독일 전력수요 6%)를 보급중이며, 덴마크에 이어 세계 2위 설비 시장 점유(21.5%) 및 연 30억불 풍력시장을 창출해 가고 있다. 유럽의 풍력 발전 최강자 덴마크는 1980년대부터 풍력발전 시스템을 집중 개발하여 현재 풍력 설비 시장의 세계 1위(세계 설비 시장의 41.7%)를 고수하며, 풍력발전의 대형화와 해상풍력발전 등 국제적인 트렌드를 선도하고 있다. 한편 미국은 1980년대 중반까지 세

계 풍력발전 시장을 주도하여 왔으나, 정부지원이 줄어들면서 1980년 후반부터 주도권을 빼앗기기 시작했다. 1990년대 초반부터 다시 DOE 지원으로 National Renewable Energy Lab (NREL) 과 산업체 공동으로 대형화 기술을 개발하고, NASA에서는 Blade 개발 지원을 적극적으로 하고 있다.

일본의 풍력발전 기술은 국가주도 및 민간 협력이 각각 활발히 진행되고 있으며, 특히 대학 등에서 소형 풍력발전 및 수직축 발전기와 관련된 연구를 활발하게 진행하고 있다. 또한 중공업의 강점을 살린 중소기업 중심의 탄탄한 기술 인프라를 구축하고 있다. 풍력발전 설비 용량은 2006년 말 1,358기에 총 1,574MW이며, 독일, 스페인, 미국, 덴마크, 인도 등에 이어 세계 9위를 차지하고 있다. 2010년까지 총 3,000MW의 풍력발전 설비를 건설할 계획이고, 근래 일본에서는 풍력발전 설비의 규모도 증가되어 2001년 이후 1MW급의 풍력발전 설비가 주로 개발 설치된 반면, 최근에

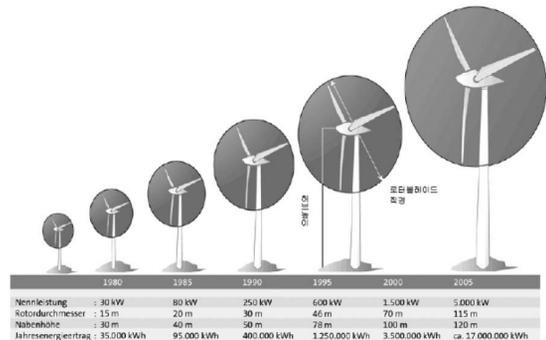


그림 4. 독일의 풍력발전기 개발현황

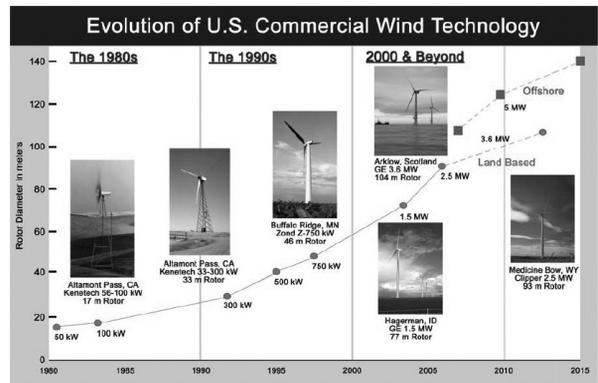


그림 5. 1980년부터 시작된 미국의 풍력발전기 발전 추이

는 2MW급 이상의 설비가 출시되어 설치되고 있다.

2.2 태양광 에너지 개발동향

현재 1, 2차 오일 쇼크 이후 석유대체에너지 확대를 위해 태양전지용 실리콘 기판을 싸게 공급할 수 있는 새로운 poly-Si 대량생산기술이 요구되기 시작하면서, '90년대부터는 웨이퍼 생산업체들을 중심으로 반도체용 실리콘 단결정의 연속 성장 기술의 개발이 가시화되고 있다. 2000년 이후 미국, 독일, 일본, 노르웨이 등을 중심으로 활발히 전개되어온 선진국의 기술개발 경쟁은 태양광 산업의 빠른 발전을 촉진하는 결과가 되었다. 특히 '04년 말 이후 보다 심각해진 유가의 고공행진은 태양광 산업의 지속적인 발전을 가능하게 함으로써 고순도 Si 원료소재의 공급부족이 예상보다 더욱 심각해질 것이라는 점이 선진국의 상용화 노력을 가속화시켰다. 현재 태양전지 분야 최대의 화두는 “가격을 어떻게 최소화 할 것이냐” 이다. 특히 실리콘 원료의 공급과 함께 잉곳/웨이퍼 분야에 있어서의 이 명제는 i) 웨이퍼의 두께 감소와 ii) 수율과 생산성 증대를 극대화 하는 방안으로 기술개발을 유도하고 있다. 최근 20여년간 집중적인 기술개발의 결과 태양전지 가격이 20년 동안 1/7 이하로 대폭 하락하고 있으며, 가격 하락은 더욱 가속화 될 전망이다. 현재 태양전지 소재는 웨이퍼 형태의 결정질 실리콘 태양전지가 주도하고 있는데, 태양 전지 단가는 약 3-4 \$/W로 특수용도(등대, 도서 전화, 오지 전력공급, 통신, 의료 등)에서는 경제성이 확보되어 있으나, 기존의 발전방식(화석에너지)과 경쟁 가능하기 위해서는 제조단가의 획기적인 저감이 필요한 상황이다.

일본의 경우 1980년부터 1988년까지 신에너지 개발기구(NEDO)가 Sunshine Project를 주도하면서 poly-Si 제조업체들(Osaka Titanium, Shinetsu)과 대학의 참여하에 입자형

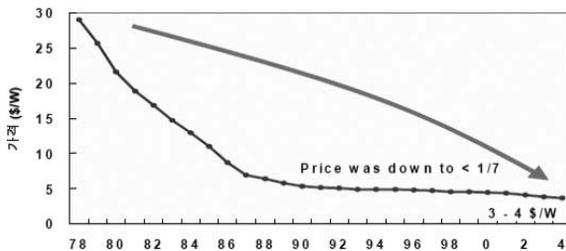


그림 6. 태양전지 가격 하락 추이

1974년 선사인계획수립

오일쇼크 이후 석유대체 기술개발목표 (태양광주요기술분야로 지정)

1980년 NEDO 설립 - 태양광기술개발 및 보급전담

태양광 통합기술개발을 통한 가격저감목표 추진  
기초기술개발-공정기술개발-실용화개발

1993년 뉴선사인 계획으로 변경 - 적극적 보급사업추진

주로 주택용 시스템 보조금사업 - 2004년 종료

2001년 신에너지프로젝트로 이관

2004년 누적보급량 1GW 달성  
태양광주택 22만호 보급

2005년 태양광2030 로드맵 수립

2006년 태양전지 생산량 900MWp  
세계최대 태양전지생산국 확보

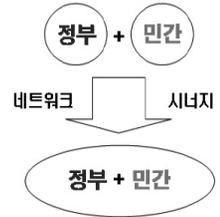


그림 7. 일본의 태양광 기술개발 추이



그림 8. 일본의 JR East 다카사키 신간선 역사 승강장

자가 poly-Si 연속 생산 기술개발에 주력하고 있다. 현재 일본은 결정질 실리콘 태양전지 연구 분야에서 가장 앞선 기술을 보유하고 있으며, 실리콘 태양전지에 관한 연구를 강하게 드라이브 하고 있다.

또한 일본에서는 태양광 발전 기술을 철도 분야에 접목하여 철도역사에서의 태양광 발전을 통한 생산된 전력을 역사 에너지로 활용하고 있다. 이의 한 예로 2004년에 JR East 다카사키 역사 승강장에 200kW 발전 용량에 해당하는 태양광 설비를 설치하여 전력을 생산중이다.



그림 9. 태양전지가 설치된 뉴욕 지하철 Coney Island Still Well Avenue 역 내부(210kW)



그림 10. 독일 베를린에 위치한 Lehrter Station; 건물일체형 태양광 시스템(면적: 1870m<sup>2</sup>, 용량: 189kW, 시스템 비용 : €3.7 million)



그림 11. 독일 Uelzen역 (태양전지100kW)

철도 역사에 태양광 발전 설비를 설치하여 역사에 필요한 전기를 공급하는 경우는 일본뿐만 아니라 미국과 독일, 영국, 프랑스, 오스트리아 등 선진 각국에서도 활발히 적용하고 있다.

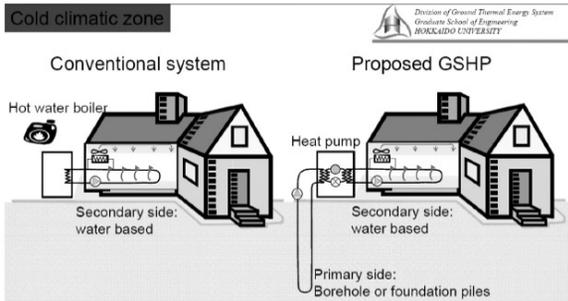
### 2.3 지열 에너지 개발동향

지열 에너지란 지하의 지중이 태양의 복사 에너지나 지구 내부의 마그마 열에 의하여 공급받아 보유하고 있는 에너지를 의미한다. 대체로 특정 깊이의 지중 열은 연중 일정한 온도를 유지하고 있다. 천부 지열(shallow geometry)의 경우는 10 ~ 20℃ 정도이며, 심부 지열(deep geometry)의 경우는 40 ~ 150℃ 이상의 온도를 보이고 있다. 지열 에너지를 활용하는 방법은 직접이용과 간접이용 기술로 분류할 수 있다. 직접이용은 중·저온 에너지(10 ~ 20℃)를 열펌프나 냉동기와 같은 에너지 변환기기의 열원으로 공급하여 건물 냉난방, 도로 융설, 지역난방 등에 활용하는 기술을 의미하고, 간접 이용 기술은 심부 지열 중 80℃ 이상의 고온수나 증기를 끌어올려 전기를 생산하기 위한 지열 발

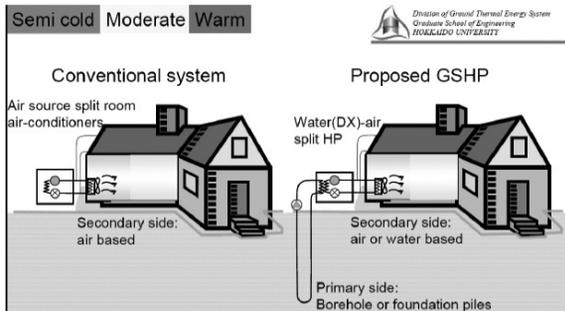
전(geothermal power plant)에 활용하는 기술을 의미한다. 지열 열펌프 시스템은 효율과 성능 면에서 상용 공기열원 열펌프 시스템보다 우수한 것으로 알려져 있다. 이는 냉난방 사이클에서 각각 냉열원과 온열원의 역할을 하는 지중의 연중 온도 변화가 외기의 변화보다 상대적으로 안정적이기 때문이다. 그러나 시스템의 초기 투자비가 기존 설비보다 다소 큰 것이 단점으로 지적되고 있다.

국내에서도 석유 가격의 급상승과 환경에 대한 우려가 증가하면서 지열을 이용한 전력 생산에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나 지열 분포 특성에 따라 필요한 기술과 수행 능력이 달라지므로 경제적으로 지열을 개발하기 위해서는 국내 특성에 적합한 많은 기술개발이 이루어져야 한다. 국내 내륙에서는 3~10km의 심부 굴착이 가능한 기술 개발이 이루어져야 하지만, 기존 굴착 업체들의 기술 수준은 아직 2.5km 심도 안팎의 굴착심도로서 지열발전을 위한 충분한 심도를 굴착할 수 있는 기술을 보유하고 있지는 않다. 국내에서 지열 관련 업체가 사업을 시작한 것은 2000년 무렵이며, 열교환기 설치 면적 문제로 대부분 수직형 지중 열교환기를 시공하고 있다.

2005년도 기준, 전 세계 지열 열펌프 시스템 보급대수는 12kW급 열펌프 유닛으로 환산하였을 때 약 130만대로 추정되며 지난 5년간 매년 10% 이상의 증가율을 보인 것으로 조사되고 있다. 특히 미국, 서유럽(오스트리아, 스위스, 스웨덴 등) 터키, 중국 등이 전 세계 지열 열펌프 시스템의 보급을 주도하고 있다. 이용량 면에서 제일 앞서고 있는 중국은 텐진, 산시, 헤베이 및 베이징 부근 지역에서의 지역 난방(6,391 TJ/year), 온천(25,095 TJ/year), 지열 열펌프 시스템(6,569 TJ/year)에 지하 열자원을 적극적으로 활용하고 있는 지열 에너지 직접 이용 선진국이라고 할 수 있다. 특히, 2008년에 개최된 베이징 올림픽을 Green Olympic이라는 구호 아래 지열 열펌프 시스템 보급에 주력하였다. 미국은 지열 열펌프 시스템을 포함하여 전 세계 지열 에너지 직접 이용을 주도하고 있는 나라 중 하나로서, 2005년 기준, 전체 직접 이용 시설용량은 7,817 MWt, 이용량은 31,239 TJ/year (8,678 GWh) 이다. 이중에서 지열 열펌프 시스템 이용량 면에서는 92%(7,200 MWt), 이용량 면에서는 71%(22,214 TJ/year)를 차지하고 있다. 캐나다의 경우는 기후 특성상 주로 건물난방에 지열 열펌프 시스템을 활용하고 있다. 미국과 인접해 있다는 지리적 특성 상, 캐나다의



(a) 추운 지방



(b) 온화하거나 더운 지방

그림 12. 일본 내 기후에 따른 최적 지열 열펌프 시스템 설치 개념도

지열 열펌프 관련 기술은 거의 미국과 동일한 수준을 보이고 있다. 일본에서는 온천과 전기 발전을 중심으로 지열을 이용하고 있다. 일본 정부는 지구 온난화를 억제하는 노력의 일환으로 지열 열펌프 시스템을 적용하는 프로그램을 시작하였으며, 이 프로그램에 따라 고효율의 지열-열펌프 병원, 도서관, 시청 등 공공시설 60여 곳에 시범적으로 적용하고 있다.

지열에너지를 철도 분야에 적용한 선진국의 예는 다수 있다. 네덜란드는 Arnhem 과 Lelystad 지역의 철도 선로변에 지열을 이용하여 결빙된 분기기를 해빙하는 기술을 사용하고 있으며, 독일은 Bad Lauterberg 철도역사의 플랫폼 위에 쌓인 눈을 지열을 이용하여 자동 제설하고 있다. 오스트리아는 U-Bahn Praterstern 철도역사에 지열을 이용하여 냉방용으로 92kW, 난방용으로 154kW를 생산하고 있다.

국내에서는 호남 고속철도 신규역사인 정읍, 공주, 광주 송정리 역사 등에 지열에너지를 이용한 냉·난방 열교환기가 2014년 이후에 설치될 예정이다. 또한 인천 지하철 2호선 27개 역사에도 지열을 이용한 냉·난방 장치가 설치될 예정이다.



그림 13. 네덜란드 Arnhem 과 Lelystad 철도 선로변의 지열 해빙 분기기



그림 14. 독일 Bad Lauterberg 역사의 지열 해빙 플랫폼(좌) 플랫폼 하단의 지열 전달 시스템(우)



그림 15. 오스트리아 U-Bahn Praterstern역의 지열을 이용한 냉(92kW)/난방(154kW)

### 3. 국내 신재생에너지 철도 적용 사례

#### 3.1 풍력 및 태양광 에너지 적용

친환경 철도기술개발을 신성장동력창출을 위한 중점추진과제의 하나로 추진하고 있는 한국철도기술연구원(이하 철도연)에서는 현재 사용되고 있는 화석연료 또는 원자력을 기반으로 생산되는 전력 에너지 외에 지속가능한 신재생 에너지 분야에 큰 관심을 기울이고 있다. 실제적으로 철도가 놓인 공간은 일반적으로 막힘이 없는 열린 공간이 많기 때문에, 철도변의 안전과 가용공간을 고려하여 태양 에너지를 사용하기 위한 태양전지판을 설치한다든지 풍향(風況)이 좋은 곳에서는 풍력 발전기를 설치하여 전력을

생산해낼 수 있으며, 자연풍만 아니라 열차가 고속으로 지나면서 인공적으로 만들어지는 열차풍도 또 다른 형태의 지속가능 에너지의 소스가 될 가능성이 있다.

그런 관점에서 철도연에서는 첫 시도로서 2009년 10월 소규모의 풍력발전기와 태양전지판을 결합한 하이브리드 시스템을 철도 선로변에 설치하고 그 효용성을 검토하고 있는 중이다. 우선 전력발전 시스템의 설치 장소를 관찰 분석이 용이한 연구소에 근접하고, 철도 승객들에게 노출이 빈번한 곳으로, 경부선 의왕역 선로변이 선정되었다. 시험 대상은 도시환경에 적합한 형태의 소형 풍력발전기로 결정되었고, 구체적인 제품 선정을 위해 평균 풍속이 그리 높지 않고, 소음이나 진동 또는 안전 문제와 관련된 불안감이 인근 주택가에 줄 수 있는 불편이 없어야 한다는 것 등 여러 사항들이 검토되었다. 여러 종류의 풍력발전기가 검토된 결과 비교적 요구 사항이 만족된다고 판단된 국산 수직축형 풍력발전기 가운데 양향력형 타입(그림 16 참조)이 선정되었다. 또한 도시 지역에서는 풍속이 미미한 경우가 많다는 것을 고려하여 태양전지판을 병용하여 하이브리드 시스템으로 구성되었다. 이러한 신재생에너지 시스템에서 생산된 전력은 철도연의 신재생에너지에 대한 연구 활동을 홍보하기 위한 LED 전광판이 함께 설치되었다.

설치된 풍력발전기의 용량은 1kW이며, 태양전지의 용량은 180W×4개 이다. 생산된 전기는 배터리(12V-100AH 6개)에 저장된다. 현재는 풍력발전기의 효율 및 생산된 전력량과 전광판 작동 등을 비롯한 제반 성능을 관찰하고 있다. 철도역사 및 철도 선로변 내에 설치할 때는 일

반적으로 설치 시행하는 신재생에너지 시스템 보다 더욱 철저한 철도 안전을 고려하여야 하며 이번 연구를 위해서도 철도 시설 공단 및 공사와 긴밀한 협조를 통하여 안전에 대한 전문가 검토가 수행된 후 설치가 되었다.

이런 소규모의 시험 시스템의 성과가 긍정적으로 판단

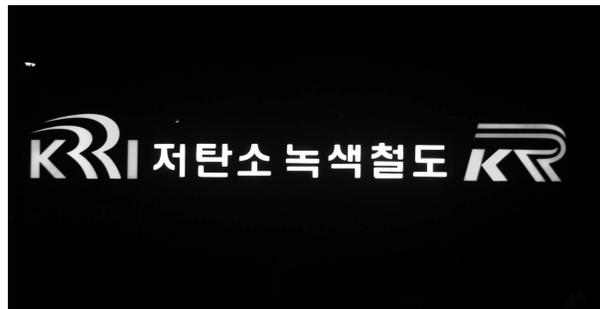


그림 17. 의왕역 선로변에 설치된 풍력발전기/태양전지(상) 및 홍보용 LED(하)

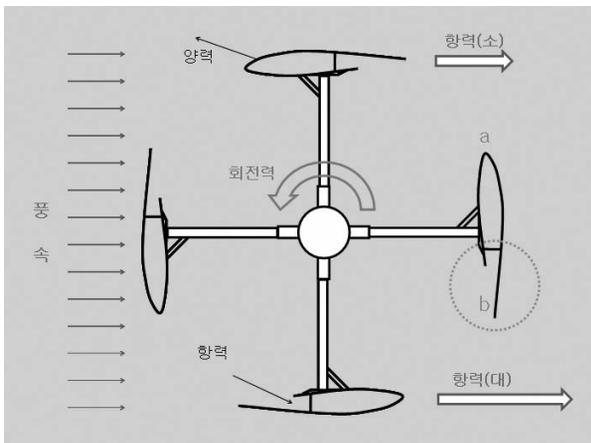


그림 16. 수직축 풍력발전기의 발전 원리



그림 18. 의왕역 선로변 풍력발전기/태양전지 발전량 모니터링 설비

되면 본격적인 풍력 에너지의 활용이 시도될 것이다. 먼저 철도 선로변의 연간 풍향 조사가 선행 되어야 될 것이고, 그 결과의 분석으로부터 경제성 있는 평균 풍속이 유지되는 장소를 선정하고, 그 장소의 환경, 즉 인근에 주거지역이 있는지, 사람들의 통행의 빈도 등 조건을 따져 그곳에 적합한 형식의 풍력발전기를 설치하고 그로부터 생산된 전력의 활용 방안을 강구하여야 한다. 풍력 발전기를 근접 거리에 연속적으로 설치할 수 있는 환경에서는 다수의 발전기를 윈드팜 형식으로 연결하여 다량의 에너지 생산도 시도할 수 있다.

#### 4. 결론

국내의 신재생에너지 기술 개발 현황 및 철도 분야 적용 사례를 중심으로 신재생에너지의 적용 가능 기술 및 현장 운영 가능성에 대하여 검토하였다.

원유 가격의 급상승 및 유한성 때문에 대체에너지 개발이 시급한 상황에서 신재생에너지는 그 대안으로 떠오르고 있다. 철도 분야에 적용 가능하며 경제성이 있는 신재생 에너지로서는 풍력, 태양광, 지열 등이 있으며, 특히 태양광 발전은 그리드 패리티 (Grid Parity : 기존 화석연료의 단가와 동일하게 되는 시점)가 2014~2015년경에 이루어질 것으로 다수의 전문가가 예상하고 있으므로, 가장 근시일내에 현실화가 될 예정이다. 지열에너지의 경우는 호남 고속철도 신규역사 및 인천 지하철 2호선 27개 역사에 설치 될 예정이다.

철도기술연구원에서는 시설공단과 공동으로 풍력발전기 및 태양광 발전기를 의왕역에 설치하여 효율성을 연구하고 있으며, 생산된 전력을 LED광고판에 적용하고 모니터링 중이다.

이러한 시스템이 신뢰성을 가지고 효율적으로 운용된다면, 유사한 시스템을 개발하고 발전 용량 크기를 다양화하여 철도 선로변, 또는 철도역사 주변에 광고판으로, 또는 위험지역에 설치되는 감시용 CCTV와 데이터 전송을 위한 독립 전원 등 여러 목적으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

전력 생산량의 크고 작음을 떠나 지속가능한 신재생에너지에 대한 이와 같은 끊임없는 연구가 축적되면 신재생 에너지를 이용한 친환경 철도기술 개발이라는 중점추진 과제의 달성에 기여하게 될 것이며, 국민들은 철도라는 대중교통을 이용하면서 동시에 신재생에너지 생산 현장을 직간접으로 체험함으로써 신재생에너지에 대한 의식이 고양되고 저탄소녹색성장이라는 국가 목표에 대한 인식도 새롭게 할 수 있다는 부수적인 효과도 거둘 수 있을 것이다. ♪

#### ♣ 참고 문헌

1. 김동환 외(2007), 신재생에너지 R&D 전략 - 태양광, 에너지관리공단
2. 강남호 외(2007), 신재생에너지 R&D 전략 - 풍력, 에너지관리공단
3. 장용준 외(2009), 철도시스템 적용을 위한 신재생에너지 기술연구, 한국철도기술연구원
4. M. Rogol(2004), Solar Power, CLSA Asia-Pacific
5. Paul Gipe(2004), Wind Power, Chelsea Green Publishing Company