

## 경량전철 운행에 따른 전력계통 연계형 태양광 발전시스템 적합성 선행연구

김양수\*, 김재문\*, 장진영\*, 안용희\*\*, 박상용\*\*, 유해출\*\*\*  
 한국철도대학\*, 동산엔지니어링\*\*, 우송대학교\*\*\*

### The feasibility study on solar generation system connected electric power system driving Light Rail Transit

Yang-Soo Kim\*, Jae-Moon Kim\*, Chin-Young Chang\*, Yong-Hee Ahn\*\*, Sang-Yong Park\*\* ,Hae-Chul You\*\*\*  
 KNRC\*, Dongsan Eng\*\*, Woosong Univ\*\*\*.

**Abstract** - 최근 화석연료에 대한 에너지의존도가 높아지면서 철도차량분야에서 대체에너지를 도입하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 지자체를 중심으로 활발하게 진행되거나 검토되고 있는 경량전철 시스템에 대해 대체에너지로 각광받고 있는 태양광 발전시스템에 대한 도입 타당성 검토를 연구하였다. 경량전철 전력설비 계통에 태양광 발전시스템을 연계하고자 했을 때, 검토되어야 할 기술적인 사항 등에 대한 조사하였으며, 특히 태양전지판을 경량전철 노선 벽면에 설치하였을 때 발전량이 확보할 수 있는지에 대한 선행연구를 하였다.

우 태양전지에서 나오는 전력을 부하에 주거나 전력회사에 되팔고, 그렇지 못할 경우 상용계통으로부터 전력을 받는 시스템으로 그림 1과 같다.

### 1. 서론

2007년도를 기준으로 국내의 에너지 수입 의존도는 원자력에너지를 포함하여 96.6%이고 에너지 자립도는 16.4%에 불과한 실정이다. 반면 전력소비량은 2000년도 239,535GWh에서 2007년에는 368,605GWh로 지속적으로 증가하고 있다. 에너지 자립도에 비해 전력 소비량 증가로 인해 에너지 대(大)수입국으로 최근의 고유가시대는 국내 산업 경쟁력 확보에 심각한 문제로 다가오고 있으며, 환경문제에 대한 심각성이 인식되면서 대체에너지에 대한 필요성이 높아지고 있다.

철도분야에서도 해외 선진철도국을 중심으로 대체에너지를 이용한 일례가 많이 있는 것으로 조사되었다. 영국의 Liverpool South Parkway역은 난방에 필요한 에너지 60%를 지열로 얻으며 그 밖에 빗물 재활용 시스템, 태양전지를 이용한 전기생산 등 친환경, 대체 에너지의 대표적인 역으로 알려져 있다. 뉴욕 지하철 Coney Island-stillwell Avenue 역, 독일의 Uelzen 역, Freiburg Central 역 등에는 태양광발전을 이용하여 역내의 전력을 공급하고 있다. 또한 철도차량 자체에 대한 연구도 활발하여 일본의 경우 연료전지 차량을 시험운전 중에 있으며, 미국, 독일 등은 천연가스 철도차량을 운행하고 있으며 스웨덴의 경우는 바이오가스 철도차량을 운행하고 있다. 이 밖에 하이브리드 형태의 철도차량, 철도차량에 탑재된 배터리만을 이용하여 운행하는 경량전철 등이 운행되고 있는 것으로 조사되었다.

한편 국내 철도분야의 경우 대구 3호선의 5개소 정거장, 차량기지 및 주변기지에 세계최초로 건물일체형 투명태양전지를 개발하여 태양광 발전설비(BIPV, Building Integrated Photo Voltaic)를 계획하고 있다. 코레일은 2008년10월 'ECO-RAIL 2015'비전을 선포하면서 '에코스테이션'을 지정하기도 했는데, 2021년 실용화를 목표로 대체에너지를 이용한 하이브리드 철도차량 개발에도 적극 나설 계획이다.

본 논문에서는 태양광발전시스템이 철도역사에 가장 많이 사용되고 있고, 지자체를 중심으로 경량전철에 대한 도입검토가 활발히 이루어지고 있는 상황에서 경량전철 노선을 따라 사용되지 않는 내외벽을 적절히 활용할 수 있는 태양광 전력설비 적합성 검토연구를 하였다. 태양광 발전 설비는 태양전지판을 설치하기 위한 상당한 면적을 필요로 하므로 중량전철(重量電鐵)보다 비교적 필요전력이 낮은 경량전철(輕量電鐵) 운행에 태양광 발전시스템을 도입하여 직류전력설비와 계통연계를 하게 되는데, 국내 경전철 계통의 현황과 전력설비 구축에 따른 태양전지 모듈 수량 등에 대해 연구하였다

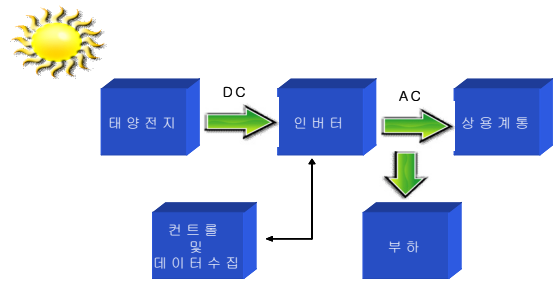
### 2. 본론

#### 2.1 태양광발전 시스템

태양광발전 시스템은 보통 계통연계형과 독립형으로 나눌 수 있다. 독립형은 10kW이하의 비교적 적은 전력량을 필요로 하는 곳에 적용되며 계통연계형은 3kW주택용에서 수십 MW급 규모의 설비에 적용되는 시스템이다.

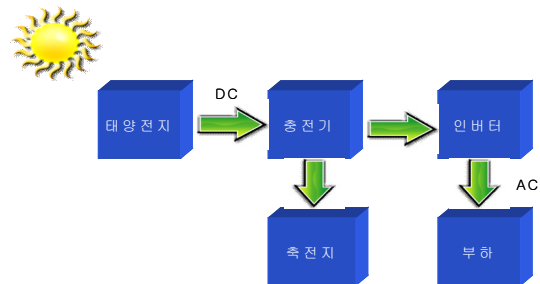
#### 2.1.1 계통연계형 시스템

계통연계형은 한전의 상용 전력계통과 접속되어 일조량이 충분할 경



〈그림 1〉 계통연계형 시스템

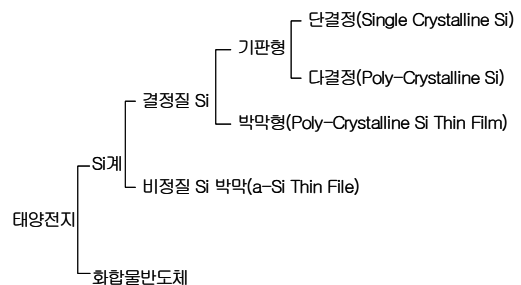
#### 2.1.2 독립형 시스템



〈그림 2〉 독립형 시스템

독립형 태양광 발전시스템은 그림 2와 같이 일조량이 있을 때 축전지에 에너지를 충전하면서 부하에 에너지를 공급하다가 일조량이 없을 경우에는 축전지에 축적된 에너지를 전력변환장치를 사용하여 전력을 부하에 주는 방식이다.

#### 2.1.3 태양전지



〈그림 3〉 태양전지의 분류

태양전지는 그림 3과 같이 재료에 따라 결정질 실리콘, 비정질 실리콘, 화합물반도체 등으로 나눌 수 있다. 이 중 결정질인 다결정, 단결정 실리콘 태양전지는 상용화 수준이며 국내에서도 생산체제가 갖추어져 생산하고 있다.

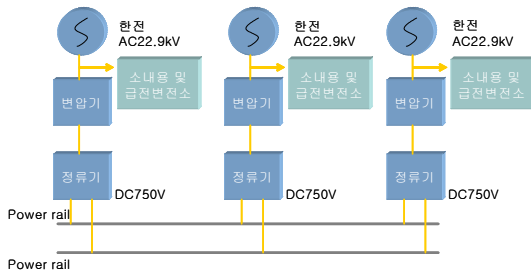
단결정 태양전지는 다결정태양전지에 비해 조금 비싸지만 수명이 길고 효율이 높은 반면 실리콘의 가격 변동에 따라 가격이 변동되고 있고 요즘에는 효율이 높은 다결정 태양전지도 개발되고 있다. 그리고 박막형 태양전지 또한 건물자재로 쓰이고 있으며 활발한 연구가 진행되고 있어 향후 태양광 발전시스템을 도입하여 경량전철에 계통연계를 고려한다면 경제적인 면을 고려하여 적합한 태양전지를 선택해야 한다.

〈표 1〉 "A" 사의 단결정태양전지와 다결정태양전지의 성능표

	최대전류	단락전류	최대전압	개방전압	최대전력	효율(%)
단결정 125mm ×125mm	4.8	5.12	0.512	0.619	2.45~2.49	16.50 ~16.75
다결정 125mm ×125mm	4.77	5.17	0.495	0.610	2.34~2.38	15.00 ~15.15

## 2.2 경량전철 급전시스템

국내의 경량전철은 최근 지자체를 중심으로 도입이 예정되거나 고려 중에 있는데, 고무차륜경전철인 K-AGT의 부산 반송선과 LIM차량의 용인경전철만이 상업화 단계에 도달해 있다. 그중에 용인경전철의 수전 및 급전계통을 그림 4에서 보면 한전으로부터 AC 22.9kV를 수전변전소(구갈, 차량기지, 전대)에서 수전받아서 급전변전소에 송전하고, 변압기와 정류기를 거쳐 상·하 노선의 제3궤로 방식으로 설치된 Power rail에 DC750V를 공급하고 있다.



〈그림 4〉 용인경전철 전력 수전 및 급전

## 2.3 경량전철과 계통연계형 태양광발전 시스템 연계

철도는 안전을 최우선으로 해야 하며 타 시설에 비해 비교적 많은 전력을 필요로 하므로 일사량이 없는 야간운행이나 일사량 조건이 좋지 않은 경우 등을 고려했을 때 독립형 보다는 계통연계형 태양광발전 시스템이 적합하다. 한편 태양광발전 시스템을 구축할 때 많이 고려되는 부분이 일사량 조건이 양호한 설치부지이다. 그러나 경량전철의 경우 대부분이 고가 위에서 운행되어지는데 현재 사용되지 않는 고가의 내·외벽을 활용한다면 설치부지는 큰 문제가 없으며, 양호한 일사량을 받기 위해 남향의 외벽을 활용하면 될 것으로 사용된다.

용인경전철의 경우를 예로 들어 보면, 현재 총 연장 18.404km 중 고가구간이 15.472km, 토공구간이 2.265km로 계획되어 있다. 총 연장 중 약 83%의 구간을 태양광발전에 이용할 수 있는 셈이 된다. 표 1에서 결정태양전지를 사용하고 셀당 0.6V, 2.5A, 셀을 모듈화 하는데 80%의 효율이 발생한다고 가정하여 36개의 셀을 직렬로 연결하여 길이 1m, 높이 50cm의 태양전지모듈을 만들면 (식 1)에 의해 17.28V가 생성된다.

$$\text{셀당 전압} \times \text{셀 수} \times \text{효율} = \text{태양전지모듈 전압} \quad (1)$$

전차선 급전계통인 750V를 만들기 위해 약 45장의 태양전지 모듈을 직렬로 연결하면 되는데, 45장의 태양전지 모듈을 2열, 병렬로 연결하여 하나의 태양전지 어레이로 만들면 길이 45m, 높이 1m의 태양전지 어레이가 만들어지고 여기에서 3,750W의 전력이 만들어진다. 물론 태양전지 어레이의 크기가 사양은 제작자에 따라 달라질 수 있다.

총 연장 18km 중 고가구간인 15km의 양 측면에 이 어레이를 연결한다고 가정하면 660개의 어레이를 연결할 수 있다. 그러나 일사량 및 지형조건에 따라 모두 연결할 수 없으므로 500개의 어레이를 연결할 수 있다고 가정하고 모두 병렬로 연결한다면 약 750V, 2500A, 1875kW의 전력을 생산할 수 있다.

용인 근처인 수원지역의 일조시간은 하루 약 6시간이나 태양광발전의 경우 태양이 일정고도 이하로 내려가면 효율이 급격히 떨어지므로 여러 조건 등을 고려하여 일조시간을 3시간으로 가정한다면, 1일 5,625kWh의 전력량을 생산할 수 있고 연간 2053.125MWh의 전력량이 생산된다. 그러나 이 수치는 단순한 이론적인 계산일 뿐이고 실제적으로 일조시간, 효율 등을 고려하면 계산치보다 미치지 못할 수도 있지만, 계통연계를 고려하면 상당량의 에너지를 절감할 수 있을 것이다.



〈그림 5〉경량전철 노선에 태양전지를 설치했을 경우 예

## 2.4 앞으로의 과제

이론상으로 용인경전철에 태양광 발전시스템을 적용하였을 경우 일사량 및 현재 생산되는 태양전지 모듈 전력량 등을 고려하여 계산을 해 보았으며, 계통연계를 했을 경우 많은 양의 에너지를 절감할 수 있을 것으로 조사되었다.

그러나 태양광발전에 의한 전력은 일조량과 관계가 있으므로 불안정하므로 태양전지 어레이에서 나오는 전압과 급전계통사이의 인터페이스에 대한 기술적 문제를 고려해야 할 것이다. 일반적인 부하인 경우 계통연계형에 대한 기술적 문제는 국내기술로 해결되고 있는 것으로 파악되고 있으나 경량전철 등 철도분야는 부하가 고정적이지 못하고 수시로 가변되고 이동성에 따른 노이즈 성분이 태양광 어레이로 유입될 수 있는 점 등 인터페이스 기술 연구가 뒤따라야 한다. 태양전지어레이를 고가측면에 효과적으로 설치하는 방법, 경전철 노선 구간에 얼마만큼의 일조량, 일사량이 들어오는지 그에 따른 태양전지의 설치 각도, 효율, 설치비용에 대한 실용성 등을 조사하고 연구해야 할 것이다.

## 3. 결 론

본 논문은 경량전철 운행에 따른 전력계통 연계형 태양광발전 시스템 적합성 검토에 대한 선행연구를 하였다. 경량전철 노선의 내외벽을 적절히 활용하면 많은 양의 에너지를 절감할 수 있을 것으로 계산을 통해 산출해 보았다. 그러나 전차선 급전계통과 태양전지 어레이 사이의 인터페이스 기술적인 부분, 내외벽에 태양전지 설치를 통해 고효율 전력생산과 설치비용 저감 방법 등에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 에너지관리공단, 에너지통계
- [2] 조영민, 정우성, "해외의 신재생 에너지 이용 철도역사 구축 사례", 한국철도기술, 11월·12월호, 2008년
- [3] 대구광역시청, "2014년 완전무인자동운전 도시철도 달린다", 뉴스와이어, 2008년07월30일자
- [4] 유희덕, "저탄소 녹색성장 철도가 '쫄'이다", 전기신문, 제2453호, 28면, 2008년12월22일
- [5] 에너지관리공단 신재생에너지센터, <http://www.energy.or.kr/>
- [6] Yongin Rapid Transit, <http://www.ever-line.co.kr/>
- [7] 기상청, [http://www.kma.go.kr/renew\\_2008/main.jsp](http://www.kma.go.kr/renew_2008/main.jsp)
- [8] 솔라센터, <http://www.solarcenter.co.kr/>
- [9] 환경일보, "청정에너지 철도차량의 국외 동향", 2008년6월15일
- [10] 태양전지연구원, <http://solarpv.kier.re.kr/index.html>