

태양광발전시스템 고장과 민원 발생 유형



강기환
한국에너지기술연구원
태양광연구실
책임연구원



고석환
한국에너지기술연구원
태양광연구실
선임연구원



정영석
한국에너지기술연구원
태양광연구실
선임연구원

요약

태양광발전시스템 기술은 태양광모듈-접속함-PCS가 포함되는 BOS 기술로부터 시작되어 독립형 또는 계통연계형으로 전력을 생산하게 하는 설치, 운전, 운영기술이 모두 포함된다.

태양광 밸류체인 기술마다 급속한 산업 성장으로 단가경쟁력이 치열한 요즘 태양광발전시스템 기술은 설치단가, 발전단가를 낮출 수 있는 최후의 마지막 수단이라고 생각하고 시스템 설치단가, 운영단가를 낮추기 위해 많은 연구를 수행 중에 있다.

그러나, 태양광발전시스템 기술이 정상적으로 완성되지 못하면 경제적 손실은 물론, 내구성능과 수명, 민원에 의한 분쟁, 사고 등 다양한 고통을 겪게 된다. 본고에서는 이러한 태양광발전시스템에 대한 다양한 고장 사례와 민원 분쟁 유형을 진단하고, 그에 대한 해결방안을 제시하고자 한다.

서론

지난 1980년대 이후 수십 년 동안 우리나라 태양광발전 기술은 엄청난 변화를 가져왔다. 산업이 형성되지 않아 외국제품에 의존하여 실증연구를 수행하던 1980년대와 1990년대, 결정질 태양전지의 보급사업이 현실화된 2000년대, 그리고 단가 경쟁이 치열한 지금까지 우리나라는 기술개발과 보급확대 측면에서 산·학·연·관이 쉴 틈 없이 달려왔다.



이러한 노력으로 Solarbuzz, Marketbuzz, 2014에서 발표한 Global 시장 예측 시나리오에 의하면 2018년이면 전 세계 태양광 시장이 연간 약 78.67GW/year로 성장할 것 이라고 전망하기도 하였다.^[1]

전 세계 85% 이상의 시장을 장악하고 있는 1세대 태양광발전 기술은 폴리실리콘-잉곳-웨이퍼-셀-모듈-BOS-시스템의 밸류체인 기술로 구성된다. 1세대 태양광기술의 발전은 수 십 년의 역사를 가지고 있지만, 그 중 전력의 생산을 직접 담당하고 있는 태양광발전시스템 기술은 그 다른 기술보다 R&D측면에서 중요성이 인식되지 않았기 때문에 소외되거나 배제되기도 하였다.

우리나라의 경우 2004년 3만호 주택보급사업을 시작으로 2008년에는 발전차액지원(FIT, Feed in Tariff)사업이 설치 피크치를 달성하기도 하였다.

그러나, 수요대비 공급의 부족으로 가격은 높은 대신 제품의 품질은 매우 좋지 않아서, 소비자들의 피해가 속출하였고, 지금까지도 법적 분쟁을 하고 있는 사례들이 매우 많다.

따라서, 본고에서는 지금까지 우리나라에 설치되어 운영되고 있는 태양광발전시스템의 다양한 고장 사례와 민원 분쟁 유형을 진단하고, 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안을 제시해 보고자 한다.

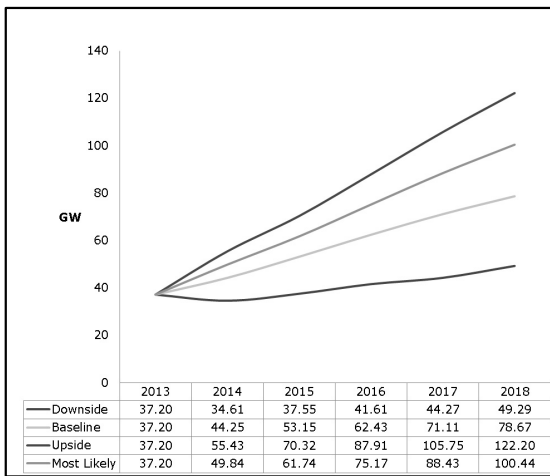


그림 1. 태양광 Global 시장 예측 Scenario

본 론

태양광모듈 발전성능 저하 유형

일반적으로 태양광을 설치하는 소비자 또는 사업자라면 태양광모듈 수명에 대해서 가장 궁금해 할 것이다. 태양광 모듈의 발전성능 만을 가지고 수명을 묻는다면 그 결론을 얻기는 매우 어렵다. 왜냐하면, 태양광모듈 내부에서 어떤 이유에서든 (+), (-)의 전극이 단선되거나, 또는 단락된 경우가 아니라면 발전성능은 초기 값 보다는 저하 되었겠지만, 그래도 그 성능은 크게 변화되지 않았을 것이기 때문이다.

태양광모듈의 연차별 발전성능 저하율은 제품마다 서로 상이하지만 극히 정상적인 태양광모듈이라면 일반 결정질의 경우 약 0.5%/year라고 이해하면 좋겠다.

STC(Standard Test Condition, 표준시험조건) 상태에서 결정되는 태양광모듈의 발전성능은 일반적으로 초기안정화 단계에서 약 1~3% 정도 발전성능이 저하되지만, 어떤 사이트는 초기 안정화 단계에서 STC에서의 발전성능보다 높은 경우도 있기 때문에 그 값이 맞다, 틀리다고 표현하기는 어렵다.

그림 3은 이태리 ENEA와 미국 BP Solar에서 발표한 필드 실증데이터를 보여주고 있다. 측정 값에 대한 오차를 고려해서 실측 기간 동안의 데이터를 추세선으로 그렸더니 약 0.06%/year 정도의 발전성능이 저하되었으며, 1980년~2003년까지 23년 동안 0.363%/year 정도 발전성능이 저하되는 것을 알 수 있었다.^[2]

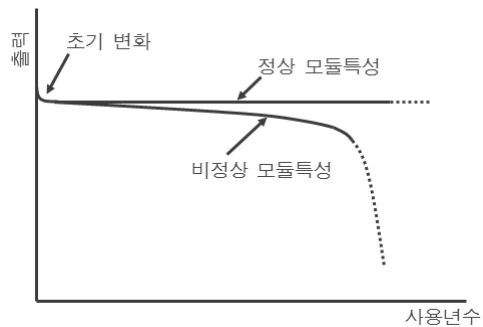


그림 2. 태양광모듈 경년변화 개념도

그러나 육안상으로 극히 정상적인 태양광모듈의 발전 성능이 초기 정격출력 값의 2/3 밖에 나오지 않는다면 이것은 태양광모듈의 고장으로 진단할 수 있다.

그 예로 태양광모듈 후면 단자박스(Junction Box) 내부에는 바이패스 다이오드가 연결되어 있는데, 이 바이패스 다이오드가 고장이 나게 되면, 태양광모듈 내부회로 중 일부를 단락시키게 되고, 이때 전류의 흐름이 스트링 태양전

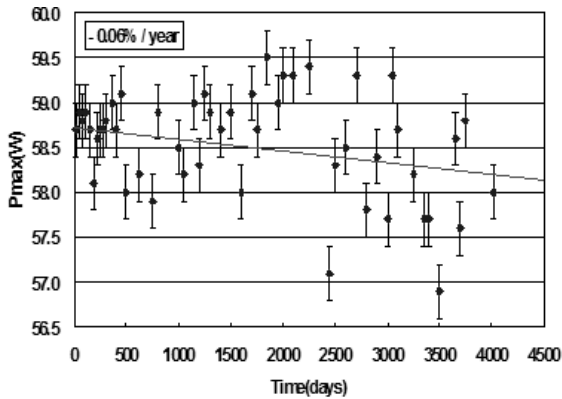
지의 수 만큼 바이패스 된 것으로 이해하면 된다. 어떤 경우는 바이패스 다이오드 고장이 아니더라도 스트링 태양 전지 중 특정 부분이 단락 또는 단선되어 고장 나는 경우도 종종 발생된다.

태양광모듈 외관 열화 유형

태양광모듈의 수명이라 함은 최종적으로 발전 성능이 제대로 나오는지 나오지 않는지로 결정되겠지만, 외관상 큰 변화가 없다면 발전 성능은 크게 변화가 없을 것이기 때문에 열화가 심하다고 말하기는 어려울 것이다.

그러나, 태양광모듈이 외관상으로 열화가 심화되어 육안검사로 열화진단이 가능하다면 이 태양광모듈은 열화가 시작되었다고 볼 수 있기 때문에 소비자나 사업자 입장에서 보면 정상 제품 보다는 수명에 대한 관심도가 매우 높게 될 것이다. 단, 외관상 열화가 심각하다고 할지라도 발전 성능이 나오지 않는다는 뜻은 아니며, 정상모듈 보다는 수명이 짧아 질 수 있다는 의미를 부여하고 있다.

그림 5는 태양광모듈에서 외관상 많이 나타날 수 있는 열화 유형을 보여주고 있다. 태양광모듈 내부의 황변현상과 백화현상은 일반적으로 라미네이션 공정에서의 문제로, 황변현상의 경우 충전재의 젤화 공정조건이 제대로 안정화되지 않았을 경우에 발생된다고 보고되고 있으며, 백화현상의 경우 사용재료 또는 공정상 관리문제로 접착력이 저하되어 발생하는 박리현상으로 보고되고 있다. 박리현상이 심각해지면, 태양광모듈 내부에 수분이 침투하여 내부 금속과 전극을 부식시키거나 태양광모듈 내부 회로를



1980	July 1991	Jan 2003
0.365 % per year (11.5 years)		
	0.362 % per year (11.5 years)	
0.363 % per year (23.0 years)		

그림 3. 발전 성능 저하율 실측 결과

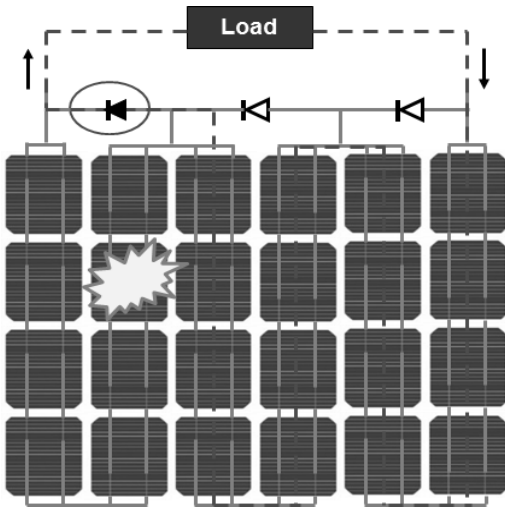


그림 4. 바이패스 다이오드 고장 사례

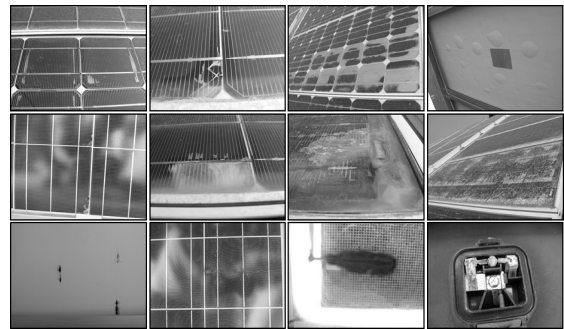


그림 5. 외관상 열화 유형

단락시켜 화재가 발생하는 경우도 있다.

또한, 셀 출력 불 균일에 의한 미스매치, 마이크로 크랙, 또는 셀 공정에서의 Edge Isolation 불량 등의 문제로 시스템 발전성능 저하는 물론 Hot Spot에 의한 화재 발생 사례도 발견되고 있다.^[3]

다양한 민원 분쟁 유형

현재 우리 주변에서 많이 볼 수 있는 태양광발전 설비는 가깝게는 주택용 태양광발전설비로부터 발전 사업용까지 매우 다양하게 설치되어 있다. 그러나 태양광발전 설비에 대해 조금이라도 부정적인 생각이 있거나, 아직까지 신뢰하지 않는 부분이 있다면, 태양광발전 설비가 주변에 설치되는 것을 거부하게 되고, 설치하고자 하는 사람과 거부하는 사람과의 마찰로 인해 민원 사례가 발생하는 경우도 많다.

대표적인 민원사례를 살펴보면 첫째로 태양광설비로부터 발생하는 전자파에 의한 인체 피해 여부, 둘째로 전자파에 의한 가축 피해 여부, 셋째로 반사열에 의한 농작물 피해 여부, 넷째로 주변 온도상승에 의한 농작물 피해 여부 등으로 나눌 수 있다.

전자파에 의한 인체 및 가축 피해

우리 주변에서 많이 사용되고 있는 가전제품, 즉 60Hz 주파수대역의 전기설비(송전선로)에 대한 전자파 인체 보호기준은 자기장 833mG, 전기장 4,166V/m로 알려져 있다.

이때, 주요 가전제품에 대한 전자파 측정 값은 아래와 같다.^[4]

2012년 한국전자파학회지에 발표된 “태양광 발전소 전자파 환경 조사 연구(한국화학융합시험연구원, 강종식)에 의하면 대규모 태양광설비 주변에서는 인버터실 내부 변압기에서 가장 많은 173mG(17.3μT)의 자기장이 발생하였으며, 인버터실 내부에서는 96mG(9.6μT), 인버터실 외부에서는 22.2mG(2.22μT), 그 외의 장소에서는 10mG 이하의 자기장 세기가 발생되어, WHO 권고기준인 인체에 대한 노출기준 833mG(83.3μT)와 비교할 때 그 측정결과는 극히 미약하다. 이때 위치별 측정방법은 60Hz~30MHz

표 1. 생활 가전기기 전자파

제품명	전자파(mG)	측정거리
미니오븐	9.2	전면 30cm
IH압력밥솥	2.4	전면 30cm
로봇청소기	0.026	전면 30cm
인덕션쿠거	0.92	전면 30cm
캡슐형 커피머신	3.25	전면 30cm
전자레인지	15.67	전면 30cm
전열기	1.89	전면 30cm
PDP TV	0.43	전면 30cm
LED TV	0.31	전면 30cm
LCD TV	0.30	전면 30cm
IPTV 셋톱박스	0.11	전면 30cm
케이블 셋톱박스	0.23	전면 30cm
포터블 안마기	88.17	전면 5cm
전신 안마기	4.02	전면 5cm
저주파 안마기	0.42	전면 5cm
런닝머신	0.031	전면 5cm
태블릿 PC	0.038	전면 20cm
노트북	0.08	전면 20cm
태양광 인버터-1	7.19	전면 20cm
태양광 인버터-2	4.06	전면 20cm
레이저복합기	0.11	전면 20cm
레이저프린터	0.06	전면 20cm

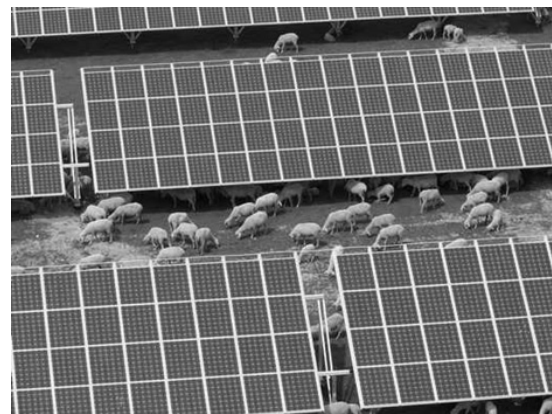


그림 6. 가축과 공생하는 태양광발전소

주파수 범위내에서 인버터, 변압기, 개폐기는 약 0.5m, 인버터실 외부 벽면에서는 1~3m, 태양광모듈 주변에서는 모듈에서 1m의 거리를 두고 측정되었다.^[5]

이와 같이 태양광발전설비에서의 전자파는 매우 미약하기 때문에 독일 Bavaria의 Solar Park에서는 가축들을 태

양광발전설비 주변에 방목하여 친환경 태양광발전과 양들과의 공생으로 발전수익 이외에 추가적인 축산수익의 부가가치 창출을 시도하고 있다.^[6]

태양광발전설비의 반사율

우리 주변에 존재하는 건물이나 비닐하우스 또는 어떠한 생활 시설물에서도 일반적으로 태양 빛에 의한 반사는 존재한다.

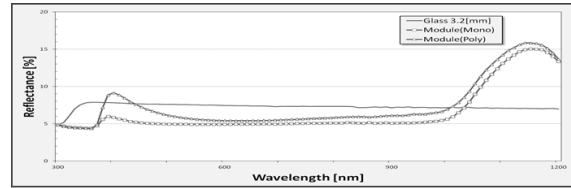
태양광모듈의 설치방식은 경사 고정형부터 수직, 수평형까지 다양한 형태로 설치된다. 이때, 태양광발전설비에서 반사를 일으킬 수 있는 부분은 태양광모듈 뿐이다. 그러나 태양광모듈 내부에 사용되고 있는 태양전지는 태양 빛을 가장 많이 흡수해야만 태양전지의 발전성을 높일 수 있기 때문에 반사를 줄일 수 있는 표면 텍스처링 기술이나 반사방지막 코팅 기술 등이 내포되어 있다. 또한, 태양광모듈에서도 반사를 줄일 수 있는 기술들이 다양하게 개발되고 있는데 기존에는 표면 유리에 텍스처링 기술만이 적용되었으나, 최근에는 표면 유리에 반사방지막을 코팅하는 기술도 함께 선보이고 있다.

따라서, 태양광모듈에서 발생하는 반사율은 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 건축물의 외장 유리 또는 비닐하우스 보다는 훨씬 적다고 볼 수 있다.

그림 7은 표면에 텍스처링된 저철분강화유리와 단결정 실리콘 태양광모듈, 다결정 실리콘 태양광모듈에 대해서 반사율을 측정된 결과이다. 이때, 가시광 영역인 400~800nm 파장 범위에서 저철분 강화유리는 7.48%, 단결정 실리콘 태양광발전모듈은 5.03%, 다결정 실리콘 태양광발전 모듈은 6.04%를 나타내었다.^[7]

태양광발전설비 주변 온도

태양광모듈이 태양 빛에 노출되어 발전하게 되면 평균 발전온도 범위가 30~50℃ 정도 되며, 한여름 햇빛이 좋은 날의 경우 평균 발전온도 범위는 60~70℃까지 상승하기도 한다. 그러나 이는 태양광모듈의 발전온도라기 보다는 유리표면에서 발생하는 복사열로 온도가 상승하는 것



Wavelength(nm)	Reflectance (%)			
	Low Iron Glass 3.2mmt	mono c-Si PV module	Poly c-Si PV module	
300	4.88	4.89	4.83	
500	7.59	4.95	6.10	
700	7.32	4.97	5.51	
900	7.13	5.05	6.09	
1,200	6.99	13.34	13.66	
Average	300~1,200	7.29	6.54	7.51
	400~800	7.48	5.03	6.04

그림 7. 반사율 측정 결과

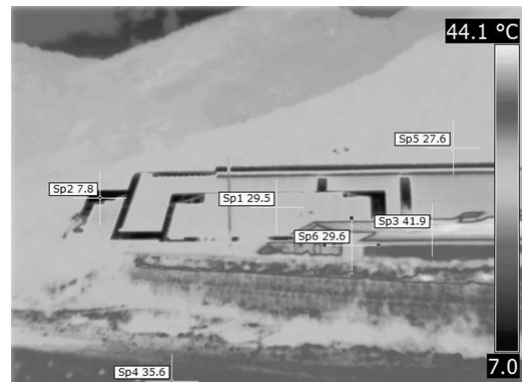


그림 8. 태양광발전소 주변 온도 분포

으로 우리주변에서 흔히 볼 수 있는 아스팔트 표면, 건축물의 외장재, 지붕, 비닐하우스 등 다양한 주변 시설물에서 발생하는 복사열과 유사하다.

2014년 한국태양에너지학회 기술강연회에서 발표된 “태양광발전소 주변에 미치는 영향 조사·분석(건국대학교, 류영수)에 의하면 태양광발전소 초 근접거리에서 태양 빛이 최대로 조사되는 시간에 미미한 온도 상승이 있었으나 가축물이나 농작물에 피해를 줄만큼의 수준은 아니었다고 보고 하였다.^[8]

접속함 화재 사례와 원인

태양광발전설비의 화재사고는 태양광모듈의 출력불균일 또는 내부 회로 결함에 의해 발생하는 사례가 간혹 있었으나, 최근에는 접속함 및 인버터에서의 화재발생사례

가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

부산소방안전본부에서 국가화재정보시스템을 통해 2010년 1월부터 2014년 12월까지 조사된 전국 태양광발전 설비 관련 화재 건수는 55건으로, 2010년 2건, 2012년 7건, 2014년 17건 등 매년 증가추세에 있다.^[9]

기존의 태양광 접속함 내부 구성부품은 일반적으로 터미널 단자와 차단기, 퓨즈, 역전류방지 다이오드 등으로 구성되어 있었으나, 화재가 발생한 태양광발전설비에서는 시스템 단자 절감 측면에서 PCB 보드에 퓨즈와, 역전류방지 다이오드, 접속단자 등으로 회로를 구성하여 사용되어 지고 있었다.

따라서, 부산소방안전본부에서는 화재가 발생한 태양광 발전설비를 재현하여 실험을 수행하였으며, 그 결과 접속함 외함 내부로 습기가 침투하여 접속함 내부 PCB 기판표면의 응결현상으로 인해 태양광 어레이에서 인가되는 DC 전원에 의해 아크가 지속적으로 발생되어 접속함 내부

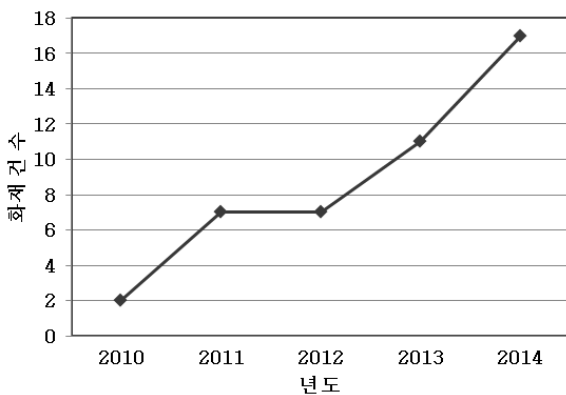


그림 9. 태양광발전설비 화재 발생 건 수

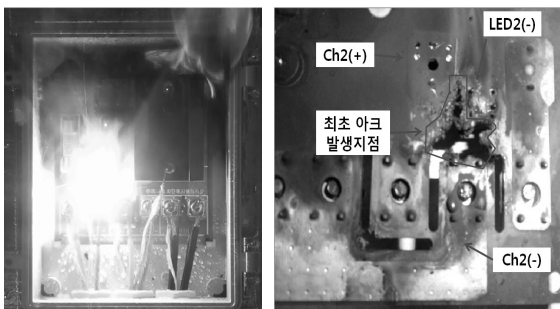


그림 10. 접속함 화재 사례

PCB 기판과 외함(ABS재질)이 착화되는 것을 확인하였다.^[9]

결론

지금까지 태양광발전설비의 설치와 운영과정에서 발생되고 있는 다양한 고장사례와 민원사례에 대해 기술하였다.

태양광발전설비의 고장을 최소화하고 장수명화하기 위해서는 설치 전부터 체계적인 설계 및 주요기기의 선정 관리가 필수적이거나, 최근에는 시스템 단가경쟁력 확보 측면에서 저가의 불량 제품이 유입되는 사례가 빈번하고 있다.

특히, 태양광모듈의 경우 저가의 중국제품이 유입되어 에너지관리공단에서 발급하는 인증서 없이 시험성적서만으로 공급되는 민간 사업자 또는 개인에게 스티커만 국산으로 둔갑하여 공급되는 사례가 빈번하게 발생되고 있다. 이러한 문제점을 사전에 방지하고 피해를 줄이기 위해서는 민간사업자 또는 개인에게 공급되는 주요기기에 대해서도 인증제품을 사용하게 하는 의무화제도 시행이 시급한 실정이다.

또한, 접속함 화재 예방을 위해서는 접속함 설비심사 세부기준에서 제시하는 것처럼 방수·방진시험과 실외 설치시 IP44등급(실내: IP20)을 준용하도록 관리·감독이 이루어져야 할 것이며, 정기적인 점검 뿐 만 아니라 역전류방지 다이오드의 정격전류를 1.3배에서 3배이상으로 변경하고, 접속함의 외함(ABS 수지)은 발화점이 높은 폴리카보네이트를 사용하도록 세부기준을 신설할 필요가 있다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Solarbuzz, Marketbuzz, 2014.
- [2] 강종직, 한국화학융합시험연구원, "태양광발전소 전자파 환경 조사 연구", 한국전자파학회지, vol.23, no.1, 2012.
- [3] 강기환, 한국에너지기술연구원, "Field aged 태양전지 모듈의 노화조사분석 및 내구성 확보방안 연구", 연구보고

서, 2010.

- [4] 국립전파연구원, “생활기기 및 휴대전화 전자파의 안전 이용 가이드라인 개발연구에 관한 연구”, 2012. 11.
- [5] 강종직, 한국화학융합시험연구원, “태양광발전소 전자파 환경 조사 연구”, 한국전자파학회지, vol.23, no.1, 2012.
- [6] Martin-bucher projektentwicklungen(<http://www.martin-bucher.de>), World’s largest solar park;Pocking,

Bavaria, Germany.

- [7] 강기환, 한국에너지기술연구원, “태양전지모듈 반사율에 대한 의견”, 한국에너지기술연구원 분석 자료, 2014. 4.
- [8] 류영수, 건국대학교, “태양광발전소 주변에 미치는 영향 조사 분석”, 한국태양에너지학회 2014 기술강연회, 2014. 9.
- [9] 이정섭, 김성준, 부산소방안전본부, “태양광발전설비 화재특성에 관한 연구”, 화재조사 연구보고서, 2015.