

태양광발전소 O&M 관리를 통한 발전성능 향상 방안

안혜원* · 조용성**

*고려대학교 생명환경과학대학원 기후환경학과, **고려대학교 생명과학대학 식품자원경제학과

Study on Certification Policy for Stabilization of Photovoltaic Industry - A Case Study of PV Power Plant O&M -

Ahn, Hyewon* and Cho, Yongsung**

*Department of Climate Environment, Graduate School of Life and Environmental Science, Korea University, Seoul, Korea

**Department of Food and Resource Economics, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul, Korea

ABSTRACT

With PV market extension, Operation & Maintenance (O&M) went on the floor as an effective method so solve the reduction phenomenon of Performance Ratio (PR) of PV power plant and as a new business model of photovoltaic industry. This study chose institutionalization of O&M to vitalize domestic photovoltaic industry improving level of photovoltaic technology and dominate the market in advance. The result of analyzing advanced researches and domestic cases indicates that O&M is essential of operating PV power plant, therefore, now is the time for a systematic approach to establish O&M policy.

Key words : PV Power Plant, Operation & Maintenance(O&M), Certification

1. 서 론

기후변화와 화석연료 고갈로 인해 전 세계적으로 신재생에너지를 이용한 발전이 주목을 받고 있으며, 태양광산업은 신재생에너지의 중요한 한 축으로서 지속적으로 성장하고 있다. 2013년 기준으로 전 세계 태양광 총 누적 설치량은 약 138 GW에 달하고, 2003년부터 2013년까지 연 평균 약 49.5%의 성장률을 나타내고 있다. 유럽태양광산업협회(European Photovoltaic Industry Association, EPIA)에 따르면 2011년을 기점으로 유럽에서는 태양광발전설비 설치량이 감소하는 반면, 한국, 일본, 중국을 포함한 아시아태평양 지역과 미주 지역에서는 연간 설치량이 지속적으로 증가하여 태양광 시장이 유럽 중심에서 아시아 및 미주로 변화하고 있다(EPIA, 2014).

국내에서는 지속적인 최종에너지 소비 증가 및 신재생에너지 보급정책에 따라 태양광발전 설비 용량이 지속적으로 증

가 추세를 나타내고 있는데, 2009년에는 290 MW 수준에 머물던 설비 용량이 2014년에는 약 6배 증가한 1,791 MW로 증가하였다.¹⁾ 그러나 태양광 발전의 낮은 가격 경쟁력, 선진국 추격형 산업구조에 따른 문제와 함께 발전 성능(Performance Ratio, PR) 저하로 인한 품질 시비가 끊이지 않고 있다. 중국산 저가 모듈을 설치한 일부 국내 태양광발전소의 경우, 품질 저하에 따른 손해배상청구소송이 진행되기도 하였다. 특히, 글로벌 태양광 모듈 제조사인 F사의 경우 특정 기간 동안 생산된 모듈의 결함으로 인한 발전성능 저하 현상이 발생하여 발전소에 설치된 해당 제품에 대해 리콜을 실시하기도 하였다. 이러한 발전성능 저하에 대한 원인을 규명하고 해결하기 위해 국내·외에서 다양한 논의가 진행 중이며, 특히 태양광 발전소의 운영·관리(Operation & Maintenance, 이하 O&M)가 효과적 해결 방안의 하나로써 주목을 받고 있다.

EPIA(2014)에 따르면 전 세계 60% 이상의 태양광발전사

1) 전력통계정보시스템 (<http://epsis.kpx.or.kr/epsis/servlet/epsis/EKPO/EKPOController?cmd=050008>)

† Corresponding author : E-mail: yscho@korea.ac.kr

Received April 21, 2015 / Revised May 4, 2015(1st), May 26, 2015(2nd) / Accepted June 15, 2015

업자들이 현재의 O&M 방식에 대해 개선이 필요한 것으로 인식하고 있으며, 소수의 태양광발전사업자만이 현대적인 O&M 방식을 통해 발전소를 운영 중인 것으로 조사되었다. 그러나 아직까지 태양광발전소 O&M에 대한 국제 표준은 존재하지 않으며, 단지, 중국을 비롯한 일부 유럽 국가에서 자체적인 가이드라인 제정을 위한 작업반(task force)이 구성되어 운영하고 있다. 이외에도 국제전기기술위원회(International Electrotechnical commission, IEC)에서는 관련 규격 제정을 위한 논의가 진행 중이다.

현재 우리나라는 신재생에너지의 양적 보급 위주의 정책이 실시되고 있으나, 설치·시공 및 유지관리 측면에서 질적 향상을 위한 대책이 시급한 상황이다. 특히 태양광에너지는 대형플랜트를 비롯해 공공시설 및 일반 가정에까지 이루어지고 있어서 태양광설비의 시공 및 유지관리 결함에 따른 문제가 발생할 경우, 막대한 경제적 손실은 물론, 소비자의 피해 및 신재생에너지에 대한 신뢰 저하가 예상된다.

태양광산업의 발전을 위해서는 현재의 선진국 추격형 산업 구조에서 탈피하여 선도형 구조로 변화해야 한다. 이를 위해 정부의 R&D 투자를 통한 기술 수준 향상 및 기업의 자발적 노력이 충분히 이루어져야 하나, 현재까지 선진국과의 기술격차를 좁히기에는 부족하다는 지적을 받고 있다. 한국과학기술 평가원(2014)에 따르면 태양광산업의 급격한 성장에 따라 정부 R&D 투자 규모도 대폭 확대되었으나, 유사중복 투자 및 낮은 투자 연계성의 문제가 지적되어 왔으며, 태양광분야 SCI 논문 건수는 2011년까지 지속적으로 증가하여 양적 순위에서는 증가한 반면, 질적 수준에서는 상대적으로 낮아 핵심기술 확보를 위한 R&D 투자가 필요한 것으로 나타났다. 따라서 이를 보완하기 위한 제도 확립을 통해 일정 수준의 품질 확보가 이루어질 수 있도록 유도할 필요성이 있다.

태양광발전 설비는 약 25년의 수명 동안에 운영 효율을 보장할 수 있어야 하며, 이 부분에 대해서는 현재 태양광 모듈 및 인버터와 같은 제품 단계에서만 인증제도가 실시되고 있다. 그러나 실제 소비자에게로 통하는 계통까지 전달되는 발전량은 실제 제품단위 인증을 벗어나 시스템 전체의 효율에 따라 달라지며, O&M에 대한 투자가 이루어지지 않으면 실제 투자자의 목적에 부합하는 결과보다 발전 효율이 떨어짐으로서 신뢰할 수 없는 결과가 발생된다. 따라서 태양광발전의 Life Cycle을 통틀어 신뢰할만한 결과를 도출해내고, 태양광설비, 더 나아가서 신재생에너지의 신뢰성을 향상시키기 위한 인증제도의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 태양광발전소의 O&M에 대한 해외 동향 분석 및 국내 사례 분석결과를 토대로 태양광발전소의 O&M 관련 정책 제언을 하였다.

2. 태양광발전소 O&M 사례 분석

2.1 해외 사례

미국전력연구소(Electric Power Research Institute, EPRI)는 SunEdison사가 설치한 태양광발전소를 대상으로 2008년 1월부터 2009년 9월까지의 고장 횟수 및 고장 원인별 에너지 손실량을 분석하여 주요 원인들을 제시하였다(Table 1). EPRI (2010)에 따르면 각 원인별 고장 발생 횟수 및 에너지 손실량은 결과적으로 태양광발전소의 발전성능에 부정적인 영향을 미치지만, 적절한 O&M 활동을 통해 발전성능 저하를 미연에 방지할 수 있는 것으로 분석되었다.

Achim *et al.*(2013)은 1980년대부터 2000년대까지 설치된 태양광발전소에 대해 설치시기에 따른 평균 발전성능을 분석하여 Table 2와 같은 결과를 도출하였다. 1980년도에 설치된 태양광발전소는 0.50~0.75의 PR을 보인 반면, 2000년대에 독일에 설치된 태양광발전소의 경우에는 상대적으로 높은 수준인 0.7~0.9의 PR을 나타내었다. 이러한 차이는 최근에 설치된 태양광발전소의 경우, 지속적인 O&M을 통해 고장 발생을 일으킬 수 있는 높은 온도, 오염 및 에너지 변환손실 등에 대한 관리가 가능해졌기 때문이라고 설명하고 있다.

Benjamin(2011)은 2005년부터 2009년까지 유럽 중앙부에 설치된 태양광발전소를 대상으로 2010년도 PR비교를 위한 연구를 진행하였고, 이 중 운영·관리(O&M)가 실시된 태양광발전소의 경우 평균 81.3%의 높은 PR을 나타낸 반면, O&M이 실시되지 않은 태양광발전소의 평균 PR 수준은 76.9%에

Table 1. Ranking of PV system failure areas and relative frequencies

	Energy loss	Number of events
AC subsystems	1	2
Inverters	2	1
DC subsystems	3	4
External	4	5
Communications	5	6
Unknown	6	3
Support structures	7	8
Modules	8	7
No failure (PM)	9	9

Source: SunEdison, 2009

Table 2. Average values and ranges of performance ratio for installations from different decades

Installed	Location	Range of PR	Avg. PR
1980s	Worldwide	0.50~0.75	Individual estimates
1990s	Worldwide	0.25~0.90	0.66
1990s	Worldwide	0.50~0.85	0.65~0.70
1990s	Germany	0.38~0.88	0.67
2000s	France	0.52~0.96	0.76
2000s	Belgium	0.52~0.93	0.78
2000s	Taiwan	<0.3~>0.9	0.74
2000s	Germany	0.70~0.90	0.84

Source: Achim *et al.*, 2013. Monitoring of Photovoltaic Systems: Good Practices and Systematic Analysis. p. 2.

머무는 것으로 나타났다. Fraunhofer ISE(2014)는 전 세계에 위치한 300개의 태양광발전소를 대상으로 2013년도 PR비교를 진행한 결과, 조사 대상 태양광발전소의 PR은 최저 60%에서 최대 90%까지의 분포를 나타내었다. 이 중 초기 품질 보증 및 지속적인 O&M이 실시된 신규 발전소들의 경우 대부분 80% 이상의 PR을 나타냈다. 이처럼 해외 사례연구들을 살펴보면 태양광발전소에 대한 운영·관리(O&M)가 지속적으로 이뤄지는 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 고장 발생 가능성도 낮고, 발전성능 역시 매우 우수함을 알 수 있다.

2.2 국내 태양광발전소 사례 분석

우리나라의 경우, 상주시에 위치한 두 태양광발전소(이하, 발전소 A, 발전소 B) 사례를 통해 O&M에 따른 발전량 변화를 확인할 수 있다. 발전소 A와 발전소 B의 설치용량은 각 1.49 MW로 같은 시기인 2008년도부터 상업발전을 시작하였다. 두 태양광발전소는 동일한 지역에서 약 23 km의 거리를 사이에 두고 설치되었고, 유사한 환경 조건을 보유하고 있다. 따라서 환경적 요인의 차이가 아닌 O&M 자체가 발전성능(PR)에 미치는 영향을 보다 정확히 분석할 수 있을 것으로 판단되어 본 연구의 사례로 선정하였다. 두 발전소는 상업운전 개시 이후 PR 저하 현상이 발생하였고, O&M의 일환으로 2012년에 제3자 인증기관으로부터 발전소 검사를 실시하였다. 그 결과, 제품 및 구조물 결함이 PR 저하를 일으키는 원인으로 지목되어 2013년에 결함 제품 및 구조물에 대한 교체 및 수리작업이 수행되었다.

그 후 한국전력거래소(KPX)에 따른 발전소 A 및 발전소 B의 전력거래량 및 연도별 일평균 발전시간이 전반적으로 전년도 동기 대비 크게 상승한 것으로 나타났다(Table 3, Table 4). 특히 Plant A의 경우, 2012년 대비 2013년의 일평균 발전시간이 2.74시간에서 3.13시간으로 크게 증가하였는데, 이는 발전소 A에 설치된 트래커(Tracker) 형식의 설치구조물 고장으로 인한 것으로, 동기간의 전력거래량 차이에 대한 중요한 원인으로 지목된다.

Table 3에 나타난 수치를 이용하여 Fig. 1을 도출하였다. 2014년도 12월 전력거래량은 1일에서 13일까지에 해당되는 값인 점을 고려할 때, 발전소 A와 발전소 B 모두 O&M 전후에 따른 전력거래량 추이가 확연히 달라지는 것을 알 수 있다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 발전소 O&M을 통해 발전성능 저하 원인 분석 및 해결 방안 도출이 가능하며, 지속적인 O&M을 통해 추후 발생 가능한 문제를 미연에 방지함으로써 발전 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3. 태양광발전소의 O&M 정책화 방안

3.1 태양광발전소 O&M 관련 논의 동향

태양광발전소의 PR 향상 및 태양광산업의 새로운 수익 모델로서 O&M의 중요성이 커져감에 따라 국제전기기술위원회(IEC)에서는 TC82²⁾ 총회를 통해 태양광발전소 O&M에 대한 규격 제정을 위한 논의가 진행 중이다. 태양광 설비가 잘 갖추어진 유럽 시장에서는 O&M이 노인층의 새로운 일자리를 창

2) 1981년에 설립된 IEC 산하 태양광전문위원회(<http://www.iec.ch>)를 지칭하며, 각 국의 전문위원들로 구성되어 태양광 국제 규격 제·개정을 위한 활동을 수행 중임.

Table 3. Electrical power trading of plant A and plant B

(unit: kWh)

Period	Plant A	Plant B	Period	Plant A	Plant B	Period	Plant A	Plant B			
2008	10	161,437	160,717	2010	11	135,126	118,488	2012	12	34,491	63,405
	11	116,714	114,072		12	98,671	88,994		1	60,358	84,883
	12	110,582	112,194	2011	1	133,707	128,889		2	76,176	119,547
2009	1	119,919	127,121		2	139,024	116,806		3	186,221	180,344
	2	116,442	120,603		3	234,667	204,278		4	166,607	153,263
	3	193,486	197,470		4	209,698	171,140		5	217,212	198,032
	4	217,392	211,242		5	211,659	193,276		6	198,980	186,752
	5	247,735	235,671		6	207,307	194,730		7	156,162	152,615
	6	236,778	233,763		7	143,947	138,905		8	194,043	184,395
	7	165,603	168,610		8	139,406	136,189		9	147,675	144,483
	8	176,138	176,938		9	150,932	153,307		10	144,149	140,675
	9	189,308	190,525		10	146,635	146,203		11	82,298	89,795
	10	185,697	177,901		11	80,264	81,831	12	81,912	102,428	
	11	100,853	104,109	12	88,855	97,800	2013	1	111,800	119,840	
	12	105,234	108,171	2012	1	101,540		104,019	2	118,352	115,416
2010	1	126,792	122,520		2	107,109		131,385	3	180,618	178,149
	2	121,343	118,363		3	134,100		151,077	4	210,378	200,504
	3	139,398	144,617		4	168,668		184,966	5	283,304	278,378
	4	201,395	198,208		5	195,829		200,441	6	200,489	196,457
	5	238,304	235,107		6	178,401		189,796	7	189,996	195,329
	6	239,609	239,397		7	144,059		170,198	8	143,035	141,024
	7	173,210	173,266		8	118,380		143,453	9	174,166	170,203
	8	148,130	144,628		9	121,787		144,868	10	164,936	159,188
	9	157,428	143,047		10	118,755		146,823	11	105,808	106,737
	10	156,466	136,890	11	77,547	95,457	12*	32,601	47,112		

* Period: 2014. 11. 1.~2014. 12. 13.

Table 4. Annual average daily operating time

(unit: h)

Period	2009	2010	2011	2012	2013	2014*
Plant A	3.76	3.54	3.45	2.74	3.13	3.69
Plant B	3.76	3.41	3.23	3.15	3.17	3.67

* Period: 2014 01. 01.~2014. 12. 13.

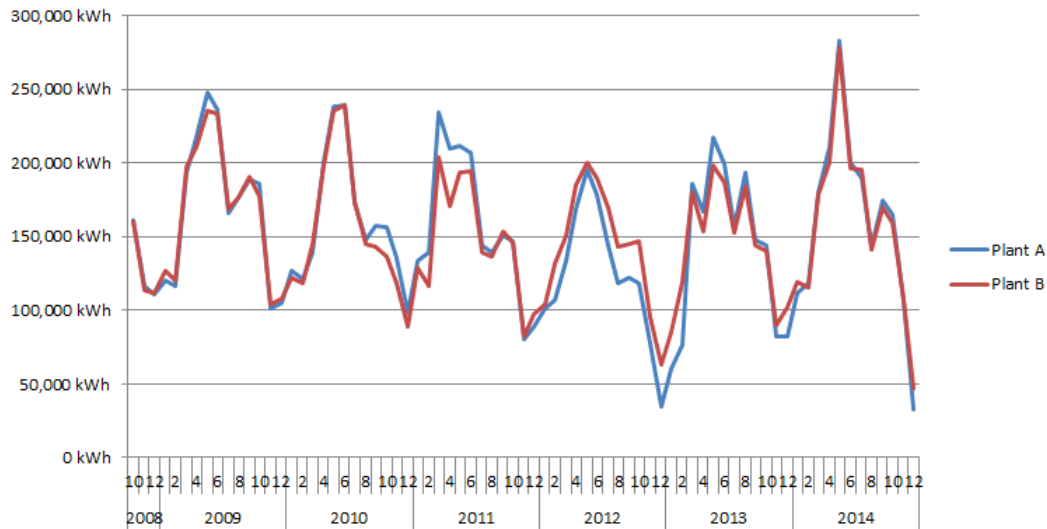


Fig. 1. Electrical power trading of plant A and plant B.

출해주는 역할을 할 것으로 기대되며, EPIA에서는 주요 회원국 간 Task Force 결성을 통해 유럽의 O&M Performance Guideline을 제시하기 위한 움직임을 보이고 있다. 중국은 중국과학원 전기공학분과(Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences)³⁾산하에 별도의 연구 그룹을 두고, 자체 규격 제정을 위한 움직임을 보이고 있으며, 현재 태양광산업의 최대 시장으로 떠오른 중국에서 자체적인 규격이 마련될 경우, 세계적으로 미치는 파장이 상당할 것으로 보인다.

국내에서도 유관 분야 전문가들의 IEC TC82 총회 참석을 통해 관련 동향을 파악하고, 규격 제·개정을 위한 노력에 동참하고 있으나, O&M에 대한 국내 규격 제정을 위한 움직임은 미비한 편이며(산업통상자원부, 2013), 현재 일부 대기업 주도로 O&M에 대한 중요성을 인식하고, 관련 부서를 강화해 나가고 있는 실정이다.

3.2 풍력 및 수력발전소 O&M 논의 동향

국내 풍력발전사업은 주로 대기업 위주의 사업 특성을 지니고 있으며, 제품 및 시스템의 특성상 전문가의 수준에서 O&M이 이루어질 수밖에 없는 구조를 가지고 있기 때문에, 대부분 발전시스템 제조사 주도의 A/S 및 O&M 활동이 이루어진다. 풍력에 대한 국제인증은 IEC WT 01에 명시되어 있는 인증제도 기준 및 절차를 따르며, 크게 형식인증(Type Certificate), 프로젝트인증(Project Certificate), 부품인증(Component Certificate)으로 나뉜다. 형식인증을 통해 시스템 자체에 대한 설계 및 제작 평가, 형식시험, 최종평가를 진행하고, 프로젝트인

증을 통해 지역평가 및 설치평가, 운영·관리(O&M) 등에 대한 평가가 이루어진다. 또한 부품인증을 통해 부품 단계에서의 설계 및 제작 평가, 형식시험, 최종평가가 이루어진다. 그러나 풍력의 국제 인증제도에서 O&M이 평가항목에 포함되어 있는 것과 달리 국내 풍력발전시스템설비인증의 경우, 시스템 용량에 따라 소형 및 중대형으로 구분하여 설계 및 성능평가를 진행하고 있을 뿐, O&M에 대한 별도의 평가 항목은 포함되어 있지 않아 국제 표준과의 부합을 위한 제도 개선이 필요한 것으로 보인다. 현재 국내 풍력 인증 범위의 세분화 및 평가 항목들의 체계적 정립에 대한 필요성이 제기되고 있는 실정이다.

수력발전은 국내외적으로 표준화 초기단계로, 국내에서는 2014년도 하반기부터 한국수자원공사에서 수력발전 설비 인증을 위한 성능 시험의 국제표준화 작업이 진행 중이다. 해당 작업은 2016년도 6월경에 마무리될 예정이며, 차질 없이 완료될 경우 2017년도부터 에너지관리공단 신·재생에너지센터를 통한 신재생에너지발전설비 인증항목에 포함되어 인증제도가 운영될 예정이다. 수력발전사업의 규모를 고려했을 때 O&M의 중요성 또한 클 것으로 판단되며, 이에 대한 별도의 규정이 표준에 포함되어야 할 필요가 있을 것으로 보인다.

풍력 및 수력과는 다르게 비교적 진입장벽이 낮은 국내 태양광산업은 영세사업자의 구성 비율이 높은 편에 속하며, 일반적으로 태양광발전소의 O&M은 발전사업자의 자체 규정을 통해 관리되고 있다. 태양광발전설비에 있어 일반적인 보증기간은 부품별로 짧게는 3년에서 길게는 20년까지이며, 시공업

3) <http://english.iec.cas.cn/>

체로부터 준공된 발전설비에 대해 보증을 받을 수 있는 기간은 대략 3년 정도이다. 3년 이후에 문제가 발생될 경우에는 발전사업자가 직접 제품제조사에 A/S 의뢰를 하게 되는데, 일반적으로 태양광제품에 대해 전문적 지식을 가지고 있지 않은 발전사업자가 문제의 원인을 파악하고 A/S를 의뢰하기까지는 큰 어려움이 있으며, 따라서 문제가 발생되었다고 하더라도 제대로 파악하지 못하거나, 그대로 방치함으로써 발전 사업에 차질이 발생하는 경우가 많다. 최근 일부 대기업에서는 O&M에 대한 중요성을 인식함에 따라 O&M 전담부서를 운영함으로써 자체 규정에 따른 O&M을 실시하고 있으나, O&M 실시 활동에 따라 누적된 노하우가 일반 발전사업자들에게까지 전파되는 수준에는 이르지 못하고 있으며, 따라서 발전사업자의 규모에 따른 O&M 활동의 수준에 편차가 큰 실정이다.

명확한 규정 및 제도의 부재로 인해 한편으로는 과도한 기준 설정으로 인한 과투자가 발생됨으로써 투자자의 손실을 유발할 수 있고, 나머지 한편으로는 낮은 기준 설정에 따른 O&M의 결함을 일으킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제도적으로 O&M에 대한 적정 수준을 확립함으로써 O&M 결함에 따른 피해 및 과투자로 인한 투자 손실을 모두 예방할 수 있을 것으로 보인다.

3.3 태양광발전소 O&M 정책화 방안

태양광관련 국내 인증인 신재생에너지설비인증제도는 에너지관리공단 산하 신·재생에너지센터를 통해 통합적으로 진행되고 있으며, 신재생설비에 대한 신뢰성 제고를 위해 2015년 7월부터 KS 인증으로 전환될 예정이다. 현재 태양광분야의 신재생에너지 인증대상설비는 주로 태양광발전소에 설치되는 부품만으로 구성되어 있으며, 발전소 운영에 따른 지속적인 O&M에 대한 규격 및 제도는 아직 마련되어 있지 않다. 태양광발전소 O&M에 대한 수요는 주로 해외인증기관을 통한 민간 서비스에 의존하고 있는 실정이며, O&M에 대한 규정이 인증기관마다 상이하기 때문에 인증 결과의 상호인정 가능한 범주에 대한 혼선이 발생할 수 있으며, 이에 대한 추가적인 시간적 또는 금전적 부담이 예상된다.

O&M에 대한 국내 인증제도를 확립함으로써 국내 태양광분야 인증에 대한 범주 확장과 동시에, 현재 세계적으로 증가하고 있는 O&M에 대한 관심 및 관련 국제 표준이 제정되지 않은 상황을 고려할 때 해당 분야에 대한 세계 시장을 선점할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것으로 판단된다. 인증제도 운영을 통해 명확한 기술 규정을 준수함으로써 추후 발생할 수 있는 발전량 저하에 대한 위험 부담을 완화시키고, 이를 통해

금융권의 투자를 활성화시키는데 도움이 될 것이며, 아울러 기존의 제품단위 인증과 연계되어, 보다 포괄적이고 효율적인 인증제도 운영이 가능할 것으로 예상된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 태양광발전산업의 활성화를 이끌어내기 위해 제도적 보완이 필요한 분야로서 O&M을 선택하였다. 선행 연구 결과, 조사를 통해 태양광발전소 운영에 있어서 지속적인 O&M 여부가 PR 저하의 감소에 유의한 영향을 미치고 있다는 Fraunhofer ISE(2014), Benjamin(2011) 등의 연구 결과를 확인할 수 있으며, 국내 태양광발전소 사례 연구 결과는 이와 관련된 체계적인 정책 구축의 필요성에 대한 근거를 뒷받침한다.

최근 태양광발전소의 O&M은 산업적 이슈로 떠오르면서 수요가 증가하고 있는 반면, 이와 관련된 국내 규격 및 제도는 미비한 상태로, O&M 규격 제정 및 인증제도 시행을 통해 산업의 질적 수준 향상을 도모함으로써 새로운 시장으로의 진출을 위한 교두보를 마련하는 것이 중요하다고 판단된다. 또한 민간에 의지함으로써 발생하는 불필요한 비용적 부담을 완화시키고, 품질 향상에 의한 태양광발전소의 위험 부담 완화를 통해 금융권의 투자 활성화를 유도할 필요가 있다.

본 연구의 경우, 국내 사례의 정량적 데이터 확보에 어려움이 있었기 때문에, 국내 태양광발전소의 O&M에 따른 PR 영향에 대해 보다 일반화된 수치를 제시하기 위해 국내 태양광발전소 데이터 확보를 위한 추가 연구가 필요하다.

REFERENCES

- Achim W, Mauricio R, David M, Stefan M, Nils R, Ulrike J. 2013. Monitoring of photovoltaic systems: Good practices and systematic analysis.
- Benjamin AC. 2011. Technical certification of PV power plants: The key to bankability for commercial and utility-scale solar. International Solar Energy Technology Conference. 2011.
- EPIA. 2014. Global market outlook for photovoltaics 2014-2018. pp 17-19.
- EPRI. 2010. Addressing solar photovoltaic operations and maintenance challenges: A survey of current knowledge and practices. pp 4-7.
- Fraunhofer ISE. 2014. All about PV power plants: Challen-

- ges for technical bankability.
- Jang HJ, Park JH, Park YH, Park JC. 2011. A study on the improvement of domestic wind turbine certification system. *Journal of the Korean Solar Energy Society* 31(6): 125-131.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2013. Establishment of international network on PV standardization. pp 22-24.
- KEEI. 2010. National and international standardization trends and strategy of renewable energy - Focused on standardization and certification.
- EPSIS data. <http://epsis.kpx.or.kr/epsis/servlet/epsis/EKPO/EKPOcontroller?cmd=050008>