

수상태양광 발전시스템 개발을 위한 적지조사에 관한 연구

(Study on Analysis of Suitable Site for Development of Floating Photovoltaic System)

이성훈* · 이남형 · 최형철 · 김진오**

(Sung-Hun Lee · Nam-Hyung Lee · Hyeong-Cheol Choi · Jin-O Kim)

Abstract

Recently, interests in renewable energy have gradually increased. Photovoltaic system of various renewable energy is the most interest in power sources. Nowadays, the market of photovoltaic system is expected to be expanded due to the introduction of RPS(Renewable Portfolio Standard). Floating photovoltaic system is a new power system using the water surface above the dam and reservoir water. Floating photovoltaic system is different from the traditional approach to the development of solar power system causing problems such as environmental degradation. This paper investigates the analysis methods of suitable site for the development of floating photovoltaic system. The A,B,C as the optimal candidates were selected in hap cheon dam. The C is the best suitable site in A,B,C considering the expected power generation. Applied methods have effectively done to develop floated photovoltaic system.

Key Words : Floating Photovoltaic System, Suitable Site Analysis, Shading Analysis, Solar Pathfinder

1. 서 론

신재생에너지 중에서 태양광에너지는 가장 관심을 받고 있는 에너지원으로서 한 시간 동안에 지구상에 도달하는 에너지양은 인류의 연간 에너지 사용량의 약 2배가 될 정도로 막대한 자원으로 알려져 있다. 정부에서는 2015년까지 신재생에너지 5대강국 도약을

제시하면서 세계 신재생에너지 시장점유율을 2009년 1.5[%]에서 2015년 15[%]까지 목표를 설정하고 총 20조원을 투자할 계획을 수립하였다. 특히 태양광분야는 정부 주도로 제2반도체산업으로 육성을 위한 기술로드맵 전략을 수립하여 추진하고 있으며, 2012년부터 RPS제도를 도입하고 2016년까지 1,200[MW] 태양광 개발목표를 제시하고 있다. 따라서 최근 RPS제도 도입에 따른 신규 태양광시장이 확대되고 있으며 이에 따라 육상 태양광발전의 설치부지 부족의 대안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-5].

댐 수면 위를 활용한 태양광 발전시스템은 댐, 저수지 등의 유효수면을 활용하여 발전을 하는 새로운 발전 방식으로 기존의 태양광 발전시스템 개발을 위해

* 주저자 : 한양대학교 전기공학과 박사수료
** 교신저자 : 한양대학교 전기제어생명공학부 교수
Tel : 02-2220-0347, Fax : 02-2220-1856
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr
접수일자 : 2012년 4월 9일
1차심사 : 2012년 4월 13일, 2차심사 : 2012년 5월 22일
심사완료 : 2012년 6월 11일

농지 및 임야 등을 이용할 때 발생하는 환경과피 등의 문제를 수반하지 않고 국토를 효율적으로 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 댐 수면 위를 활용한 수상태양광 발전시스템 개발을 위한 최적 적지선정을 위한 방법에 관하여 고찰하고자 한다.

2. 수상태양광 발전시스템

2.1 시스템 개요

수면 위에 설치하는 수상태양광 발전시스템은 기존의 농지 또는 임야를 사용하지 않고 유휴수면에 설치하는 재생에너지원으로 구조체, 계류장치, 태양광발전설비, 수중케이블 등으로 구성되며, 그림 1은 수상태양광 발전시스템의 개념도이다[6].

- 구조체 : 태양광 모듈을 설치할 수 있는 수상 부채
- 계류장치 : 수위변동에 대응하기 위한 장치
- 태양광 설비 : 태양광 어레이, 접속함 등 전기설비
- 수중케이블 : 발전된 전력을 육상의 전기설까지 전송

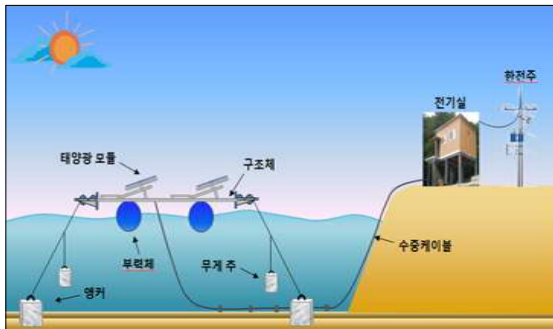


그림 1. 수면 위를 활용한 태양광 발전시스템
Fig. 1. Diagram of Floating Photovoltaic System

2.2 수상태양광 발전시스템 특징

수상태양광 발전시스템은 기존의 태양광 발전기술과 수면 위에서의 플로팅 기술을 융합한 새로운 개념의 발전방식이다. 이러한 발전방식은 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 국토의 효율적 이용이라는 측면에서 RPS제도에 따라 신규태양광 시장확대에 따라 2016년까지 1,200[MW]의 신규 태양광발전설비를 설치하는데 필요한 대지의 대안으로 검토할 충분한 가치가 있다. 둘째, 기존방식의 태양광발전을 개발하기 위해서는 농지 또는 임야를 이용함으로써 필연적으로 환경과피가 발생되지만 수면 위를 활용한 수상태양광 발전시스템은 환경과피가 발생되지 않는 친환경 발전 시스템이다. 셋째, 육지에 비해 낮은 주위온도로 인해 태양광 모듈의 온도가 낮아져, 셀의 온도가 1[°C] 상승할 때 발전출력이 0.5[%] 이내로 감소하는 태양광 셀의 온도에 대한 특성을 개선하여 발전효율을 높일 수 있다. 마지막으로 광 차단 효과로 인하여 수질에 악영향을 미치는 녹조류 발생을 억제하고 어류의 산란 번식에 유리한 환경을 만들어 어족자원을 보호하는 등 효과가 있는 것으로 알려져 있다[7-8].

3. 수상태양광 발전시스템 적지조사

수상 태양광 설치를 하기 위해서는 태양광발전시스템에 대한 설치 목적, 시스템 규모, 비용, 시공부지 등에 부합한 장소와 위치를 선택하여 설치를 시행해야 한다.

태양광 발전은 태양의 빛을 얻을 수 있는 장소이면 발전이 가능한 특성을 가지고 있지만, 발전소 지역의 일사량 및 지형 등의 영향을 많이 받기 때문에 설치장소의 형상, 그림자 등과 같은 주변 환경 및 기상조건 등에 대하여 사전에 정확한 분석을 시행해야 하며, 수면 위에 설치되는 발전시스템의 특성을 고려하여 설치지점의 수심, 수위 변동량, 유속량 등의 수문분석을 추가로 시행하여야 한다. 그림 2는 수상태양광 발전시스템 개발을 위한 적지조사의 흐름도 이다[9-10].

1. 자료조사	2. 현장조사	3. 적지선정	4. 발전시스템 선정
- 법,제도 검토 - 위성사진 분석 - 지형도 분석 - 기상분석 - 수문분석	- 주변지형분석 - 계통연계조건 - 음영분석 - 시공부지분석	- 경제성평가 - 종합분석 - 최종적지선정 - 개발계획수립	- 시스템 구성 - 설치형식 - 소요면적 - 구조물 형식

그림 2. 적지조사 흐름도
Fig. 2. Flowchart of Suitable Site Analysis

3.1 자료조사

태양광 발전시스템을 구축하기 위해서 사전에 법 및 제도에 관한 검토가 필요하듯이 수상태양광 설치 시에도 상수도보호구역 지정 등에 관한 사전조사가 필요하다. 본 연구에서는 개발 예정지 선정을 위하여 위성사진 및 지형도를 참고하여 태양광 설치 예정지를 조사하였고, 예정지에 대한 수상의 등수심도를 통하여 댐 지형 및 수심을 파악하였다. 위성지도 상에서 적지 선정 시에 유의해야 할 사항으로는 수상태양광 발전시스템은 육상에 고정되는 기존의 설비와 달리 수면에 부상되어 항상 유동성을 가지고 있어 바람이나 유속 등 주변 환경에 많은 영향을 받으므로 이런 외부 환경적 요소가 최소화 될 수 있는 댐 저수구역의 만(Bay)의 형태를 띠는 곳이 좋고, 또한 최대의 일사량을 받기 위하여 남향을 바라보고 있으며, 그들이 많은 곳과 주변의 산의 고도가 높은 곳은 피해야 한다. 또한 인근의 도로가 있어 접근이 용이하고, 배전선로가 인접한 지역을 예비후보지로 선정해야 한다.

국내의 대부분의 다목적 댐은 상수도 보호구역으로 지정되어 법률적인 제약을 받고 있다. 따라서 여러 다목적 댐 중에 상수도 보호구역으로 지정되어 있지 않아 법률적인 문제가 없으며, 다목적 댐 지역들에 대하여 기상청에서 제공하는 일사량의 분석을 통하여 비교적 남쪽에 위치하여 일사량이 풍부한 최적적지 후보지로 합천댐을 선정하였다. 또한 위성사진 및 지형도 분석을 통하여 합천댐 내의 만(bay)의 형태를 띠고, 남향이며, 산의 고도가 낮고, 도로 및 배전선로가 인접한 지점으로 합천댐내의 A, B, C지점을 적지후보 지점으로 선정하였다. 그림 3은 적지후보 지점 A, B, C 지점의 위성사진도이다.

합천댐 인근의 합천 기상대의 자료(2001년~2010년)를 이용하여 합천댐에 대한 기상 데이터 분석을 실시하였다. 분석결과는 구조체, 계류장치 및 태양광 시스템의 규모, 설치형식 등의 설계 자료로도 활용하였다. 분석 결과 합천댐 최대풍속은 20.2[m/s], '03), 최대순간풍속은 31.8[m/s], '03)로 조사되었고, 최고기온은 38.0[°C]('06)이며 연평균 최고기온은 14.3[°C]('07)로 조사되었다. 연평균 수평면일사량의 경우 합천관측소



그림 3. A,B,C지점 위성사진
Fig. 3. Satellite Picture of A,B,C

의 수평면 일사량이 지원되지 않아 인근지역인 대구와 진주의 자료를 활용하였고, 대구는 평균 3.76([kwh/m²/day]), 진주는 평균 3.92([kwh/m²/day])로 조사되었다. 표 1~3은 2001년~2010년 동안의 합천댐 인근의 기상데이터 이다. 수문조사의 경우 적지조사 선정지역에 등수심도를 통하여 전반적인 수심 및 댐 지형을 종합적으로 파악하여야 한다. 또한 집중호우나 태풍 시에 빗물에 의한 침수 및 수몰이 일어나거나 수위변화에 따른 계류장치의 변위량 등을 사전에 파악하기 위하여 다년간의 댐 운영현황 및 설계 시 설계기준을 확인하여 최저 및 최고 저수위, 유입량, 강수량 등 댐 운영수위를 조사하여야 하며 그림 4에서 알 수 있듯이 최대 저수위는 178.29(EL.m, '02), 최소 저수위는 140.58(EL.m, '09)로 조사되었다.

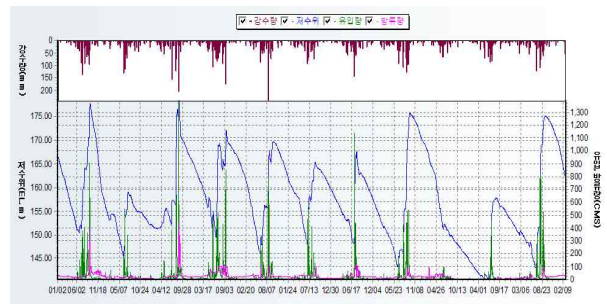


그림 4. 수문조사 데이터
Fig. 4. Data of Hydrologic Investigation

표 1. 설치예정지의 최대풍속 및 최대순간 풍속
Table 1. Weather Data of Planned Site(Wind)

합천 기상대 [m/s]							
		최대풍속	최대순간풍속				
		최고	최고			최대풍속	최대순간풍속
2001년	값	9.0	17.0	2006년	값	7.9	19.2
	날짜	1월2일	3월4일		날짜	5월29일	4월20일
2002년	값	9.3	21.0	2007년	값	8.3	15.3
	날짜	4월14일	6월2일		날짜	9월16일	3월5일
2003년	값	20.2	31.8	2008년	값	13.4	21.7
	날짜	9월12일	9월12일		날짜	7월7일	7월7일
2004년	값	8.0	13.8	2009년	값	8.4	15.0
	날짜	8월19일	2월14일		날짜	3월17일	10월19일
2005년	값	9.5	17.2	2010년	값	7.6	11.9
	날짜	8월15일	9월6일		날짜	3월1일	1월4일

표 2. 설치예정지의 최고기온 및 평균기온
Table 2. Weather Data of Planned Site(temperature)

합천 기상대 [°C]							
		최고기온	평균기온				
		최고	평균			최고기온	평균기온
2001년	값	35.5	12.8	2006년	값	38.0	13.8
	날짜	8월4일			날짜	8월10일	
2002년	값	35.7	13.3	2007년	값	36.9	14.3
	날짜	7월30일			날짜	8월3일	
2003년	값	34.4	13.2	2008년	값	35.9	13.2
	날짜	8월4일			날짜	7월10일	
2004년	값	37.9	14.0	2009년	값	35.8	13.6
	날짜	7월23일			날짜	8월22일	
2005년	값	37.0	13.5	2010년	값	36.5	13.2
	날짜	7월22일			날짜	8월21일	

표 3. 설치예정지의 인근의 수평면 일사량
Table 3. Weather Data of Planned Site(Irradiation)

수평면 일사량[kwh/m ² /day]					
	대구		진주		
	대구	진주	대구	진주	
2001년	3.95	4.01	2006년	3.34	3.95
2002년	3.77	3.83	2007년	3.59	4.16
2003년	3.53	3.60	2008년	3.95	3.58
2004년	3.86	3.94	2009년	3.94	4.11
2005년	3.96	3.98	2010년	3.72	4.04

3.2 현장조사 및 음영분석

3.2.1 현장조사

사전 자료조사에서 검토된 법률, 위성사진, 지형도 분석 및 기상데이터 분석 자료를 바탕으로 적지 후보지로 선정된 합천댐 내에 3지점에 대하여 현장 조사를 시행하였다. 현장조사에서는 태양광을 설치할 수 있는 여유 부지가 충분하고 남향으로 태양전지 모듈 설치가 가능한지, 주변 산의 고도가 높아 그림자의 영향을 받는 지점인지 등 위성사진을 통하여 파악했던 사전 자료조사 내용을 현장조사 시 검토하였다. 또한 설치지점의 물속 수심이 각기 다르기 때문에 초음파 수심측정기 및 GPS장비를 이용하여 설치 지점마다 수심을 측정하였다. 또한 주변 지형에 대한 음영측정, 부유물 유입정도, 관리 선박의 운항로 뿐만 아니라 댐 관리상 필요지역, 레저시설 운영현황, 어업활동 지역 등 수면 이용지역을 확인하여 기타 민원발생 소지 등을 파악하고 자연재해에 의하여 집중호우에 의한 피해발생 현황 등을 조사하였다. 또한 전력계통 연계를 위해서 발전소의 시설용량에 따라 배전선로의 접근성과 그 선로의 허용용량을 사전에 확인하였고, 접근도로의 상태, 주변 배전선로까지의 거리, 시공부지의 면적, 지형 및 지반상태, 전기실의 위치 등을 조사하였다. 시공 중 자재의 반입 경로와 같은 공사 환경도 검토할 사항으로 중량물의 자재 반입, 자재를 반입할 수 있는 공사 차량의 진입이 가능한지, 도로 폭이나 포장의 내하 중 등을 조사하며 적재할 수 있는 도로 및 부지의 규모와 주변구역의 지질 특성 등을 종합적으로 조사하였다. 표 4에는 사전조사 및 현장조사 수행 시 적지 선정을 위하여 고려해야 하는 인자들을 발전량에 영향을 미치는 인자, 설치 및 운영유지에 영향을 미치는 인자, 전력계통 연계 인자 및 법, 제도적 영향 인자로 구분하여 각 지표별 만족해야 하는 기준을 제시하였다. 즉 표 4의 사전조사 항목 인자에 의해 각 지표들을 만족하는 A, B, C지점을 선정하였고, 선정된 A, B, C지점을 대상으로 표 4의 현장조사 항목지표들을 조사한 후 최적 적지를 선정하였다.

표 4. 적지조사 시 고려사항
Table 4. Consideration of Suitable Site Analysis

구분	인자	지표
발전량(효율)에 영향을 미치는 인자	일사량 (사전조사)	연간 누적일사량이 상대적으로 높은지역 선정
	안개 (사전조사)	일사량에 직접적인 영향을 주는 안개 과다 발생지역 회피(발생일수 10일 이내인 지역 우선선정)
	음영발생량 (현장조사)	주변의 산, 건물 등의 영향으로 그림자가 발생하거나 일출시간이 늦거나 일몰시간이 빠른 지역 회피
설치 및 운영유지에 영향을 미치는 인자	수심 (현장조사)	계류장치 설치가 어렵고 결빙우려가 크거나, 수위가 낮은 지역 회피(최저 수위 5[m] 이상 권장)
	풍속 (사전조사)	구조물의 설계강도 증가에 따른 비용상승 및 안정도에 영향을 주는 요인으로서 낮은 지역 우선 선정 (최대 30[%] 이하)
	유속 (사전조사)	홍수시 유속이 크게 발생하는 지역 회피(0.5[%]이하)
	결빙지역 (현장조사)	결빙에 따른 태양광발전설비 구조체 및 부력체에 변형을 초래하는 수심이 낮은 지역 회피
	부유물 유입 여부 (현장조사)	부유물이 과다하게 유입되어 태양광발전설비 및 계류장치에 직간접인 영향을 주는 지역 회피
	접근성 (현장조사)	설치공사가 용이하고 운영유지 시에 접근이 용이한 지역 선정
	취수탑·여수로 인근 지역 (현장조사)	취수나 방류시의 유속변화에 태양광 계류시설이 지장을 받거나 취수나 방류에 영향을 주지 않는 지역선정
전력계통 연계 인자	수면이용 여부 (현장조사)	레저시설, 어업활동 지역 등은 회피
	한전의 배전선로의 여유 용량 (현장조사)	배전선로의 여유용량이 충분한지 여부 및 향후 한전의 선로 이용계획 고려
	배전선로까지의 거리 (현장조사)	전압강하율이 ±5[%]가 넘지 않는 범위내에서 계통연계에 필요한 비용이 과도하지 않는 지역 선정
법적, 제도적 영향 인자	부하(수용가)까지의 거리 (현장조사)	부하(수용가) 밀집지역과 최대한 가까운 지역선정
	법령 (사전조사)	상수원보호구역(수도법), 특별대책지역(환경정책기본법), 수변구역(관련수계법), 지역환경보전법, 야생동식물보호법, 낚시금지구역, 수상레저활동금지구역 등 규제 지역 회피
민원, 보상 (사전조사)	보상비가 과도하게 소요되지 않고 지역주민, 환경단체 등의 민원발생 소지가 적은 지역 선정	

3.2.2 음영분석

표 4에 의한 적지조사 시 고려사항 중 음영발생량은 태양광 발전량에 많은 영향을 주는 인자로서, 태양광모듈에 음영이 발생하면 발전량의 감소는 물론 전체 시스템의 효율을 크게 저하시키므로 현장조사 시 음영분석은 반드시 필요하다. 수상태양광의 적지로는 정남향을 바라보며 수목이나 주변 산 등으로 인한 그림자의 영향이 최소화 되는 지형이 선정되어야 하며, 이런 음영분석을 하기 위하여 계측기기를 이용하여 설치 예정지역에 대해 주변 지형물이 그림자가 얼마나 발생하는지 여부를 분석하여 태양광 개발 입지로서의 타당성 여부를 사전 검토하여야 한다. 음영 분석기구에는 여러 가지가 있으며 본 연구에서는 Solar Pathfinder를 이용하여 정남향을 기준으로 측정하여 설치 예정지역에 대해 주변 지형 물에 의한 그림자가 얼마나 발생하는지 여부를 분석하여 수상태양광 설치를 위한 예정지 조사를 시행하였다. Solar Pathfinder는 투명하고 불록한 플라스틱 돔(dome)에 사용자가 측정을 원하는 장소의 태양광에 대한 장애물을 동그란 반사체 돔 전체에 비춰지고, 이것은 돔 표면에 반사되는 사물을 이용하여 분석하기 때문에 날씨가 흐리거나 청명함에 관계없을 뿐 아니라 일일 또는 연중 어느 시간대에도 음영분석이 가능하다. 또한 Solar Pathfinder의 분석 소프트웨어를 통하여 설치지점의 음영비율에 따른 예상발전량 및 예상수익 등의 데이터를 간단히 얻을 수 있다. Solar Pathfinder에 의한 음영분석은 적지조사 단계에 음영에 의한 발전량의 영향정도를 간단히 분석하는 도구로서 투자비 및 이자율 등을 고려한 경제성 평가를 위해서는 별도의 경제성 분석을 수행하여야 한다. 표 5에는 Solar Pathfinder분석을 위한 입력데이터를 나타내었고, 입력데이터 중에 설치용량은 100[kW]급으로 분석하였다.

표 6에는 분석결과를 나타내었다. 분석결과 A, B, C지점의 음영영향 정도는 크게 차이가 나지는 않는 것으로 나타났으며, B지점이 그림자 등에 의한 음영영향정도가 가장 적은 것으로 분석되었고, 연간 발전량은 115,913[kWh] 정도일 것으로 예상되었다.

표 5. Solar Pathfinder 입력 데이터
Table 5. Input Data of Solar Pathfinder

Input Data	
위도/경도	35[°] 32' / 128[°] 0'
방위각	0[°]
추적방식	고정식
설치용량	100[kW]급
인버터 효율	0.955
Panel	240W, 416매

표 6. Solar Pathfinder 분석 결과
Table 6. Assessment of Solar Pathfinder

구분	A지점	B지점	C지점
음영에 의한 실제 조사지역의 효율(%)	85.96	86.25	85.58
연평균 수평면 전일사량(음영 영향 無) ([kWh/m ² /day])	3.61	3.61	3.61
연평균 수평면 전일사량(음영 영향 有) ([kWh/m ² /day])	3.60	3.60	3.57
연간 예상 발전량([kWh])	115,913	115,962	115,553
연간 예상 수익(천원)	50,306	50,327	50,150

3.3 적지선정 결과

사전조사에서 검토된 법률, 위성사진, 지형도 분석 및 기상데이터 분석 자료와 현장조사 자료를 바탕으로 적지 후보지로 선정된 합천댐 내에 3지점(A,B,C)에 대한 적지조사 결과는 표 7에 나타내었다. 조사결과 A지점은 자재반입 경로 확보에 의한 설치공사 여건 등은 우수한 것으로 나타났으나, 수심이 낮아 댐 내 저 수위 시에 구조체가 바닥에 내려앉을 가능성이 있으며, 홍수 및 집중호우 등이 발생 시 부유물 유입이 많이 발생하는 것으로 조사되어 부유물 유입에 의한 구조체의 파손 등이 우려되어 최적 적지 후보지에서 제외하였다. B지점은 음영영향에 의한 효율이 가장 우수하였으나, 자재반입 경로 미확보로 진입로 개설을

표 7. A,B,C지점의 적지조사결과
Table 7. Assessment of Suitable Site Analysis(A,B,C)

적지조사 인자	A 지점	B지점	C지점
한전배전선로	D/L ○○(200[m]), 전주번호: 000 계통연계 가능	D/L □□(300[m]), 전주번호: 000 계통연계 가능	D/L △△(600[m]), 전주번호: 000 계통연계 가능
작업부지현상 및 주변상황	면적:20[m]×25[m], 접근성:양호(야적부지충분) 지반여건:모래/갈대밭	면적:50[m]×50[m] 접근성:진입로 확보 필요 지반여건:단단한 뺨/갈대밭	면적:50[m]×50[m], 접근성:진입로 없음 지반여건:단단한 뺨/갈대밭
자재 반입경로	자재 반입경로 확보	자재 반입경로 없음 진입로 개설 필요 선착장 작업 후 선박이송	자재 반입경로 없음 진입로 개설 필요 선착장 작업 후 선박이송
예상 태양광 발전가능면적	150[m]×150[m] = 22,500[m ²]	300[m]×300[m] = 90,000[m ²]	300×300 = 90,000[m ²]
부유물 유입상태	부유물 유입이 많음	부유물 유입 다소 있음	부유물 유입 없음
수면 이용현황	레저시설, 어업활동 없음	레저시설, 어업활동 없음	레저시설, 어업활동 없음
현장조사 내용	강우 시 부유물 유입이 과다함 수심이 낮음 결빙이 발생하지 않음	부유물 유입이 있고 수심 깊음 결빙이 발생하지 않음	부유물 유입이 없고 수심 깊음 결빙이 발생하지 않음
음영분석 결과 (100[kW] 설치시)	연간 예상 발전량 : 115,913[kWh] 연간 예상 수익 : 50,306천원	연간 예상 발전량 : 115,962kWh 연간 예상 수익 : 50,372천원	연간 예상 발전량 : 115,553kWh 연간 예상 수익 : 50,150천원
조사 결과	작업여건은 양호하나 수심이 낮고, 부유물 유입이 많음	수심이 깊고, 음영에 의한 연간 예상 발전량 및 예상 수익은 가장 양호하나 부유물에 의한 영향을 받을 우려가 있음	수심이 깊고 음영에 의한 연간 예상 발전량 및 예상 수익이 양호하고, 부유물에 의한 영향 없음
최적 적지 순위	3순위	2순위	1순위

위한 추가 공사비가 발생될 것으로 예상되며, 부유물 유입이 발생하는 것으로 조사되었다. 음영영향에 의한 효율은 A지점 대비 연간 50[kWh], C지점대비 연간 10[kWh]가 많지만 경제적인 효과는 미비할 것으로 예상되어 예상발전량은 고려대상에서 제외하였다. C 지점은 자재반입 경로 미확보로 진입로 개설을 위한 추가 공사비가 발생될 것으로 예상되었으나, 부유물 유입 전혀 발생되지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구의 최적적지조사에서는 A지점에 비해 수심이 깊고, B지점에 비해 부유물 유입이 전혀 발생되지 않는 C지점을 최적적지 후보지로 선정하였다.

4. 경제성 평가

4.1 RETScreen을 이용한 경제성 평가

신재생에너지에 대한 경제성 분석 기법으로는 비용 또는 지출과 편익과의 비율을 경제적인 입장에서 평가하는 비용/편익분석법, 순현재가치법, 내부수익률법 등이 있으며, 본 논문에서는 태양광발전 시스템에 대한 일사량 데이터를 바탕으로 발전량을 산출하여 경제성을 분석하는 경제성 분석 프로그램 RETScreen을 사용하여 경제성 평가를 하였다. RETScreen은 캐나

다 NRCan(Natural Resource Canada)에서 개발된 정부, 산업체, 학교의 수많은 전문가들의 기여를 통해 개발된 경제성 분석 프로그램으로 에너지분야에서 전세계적으로 가장 많이 사용하고 있는 프로그램 이다. 소프트웨어는 특정 신재생에너지 생산과 관련된 설비 특성, 투자비용, 기준가격 등의 입력 변수들을 이용하여 경제성 분석을 할 수 있도록 구성되어 있다.

4.2 경제성 분석 결과

본 연구에서는 최적 적지로 선정된 C지점에 대하여 설치용량 100[kW]에서 2[MW]까지를 가정하여 분석하였다. 2[MW]는 한전의 ‘분산형 전원계통 연계 기준’에 의한 22.9[kV] 한전배전선로에 연계할 수 있는 최대 용량이다. RETScreen에서 사용된 경제성 입력 조건표는 표 5와 같다. 표 5의 수상태양광의 설치단가는 현재 공식적인 기준이 제시되고 있지 않으며, 자체 분석한 결과와 지식경제부 고시에서 규정한 기준에 따라 4,916천원/[kW]에 1.3배를 수상태양광 설치단가로 입력하였고, 통상적으로 모듈의 내구수명을 고려하여 분석기간은 20년으로 하였다. 표 8의 입력조건 표에 의한 경제성 분석결과는 표 9에 나타내었다. RETScreen에 의한 경제성 분석결과 100[kW] 설치

표 8. 경제성 분석 입력 조건표
Table 8. Conditions of Economic Analysis

구분	단위	입력조건	비고
설치각도	도	30	고정식
모듈,인버터 효율	[%]	15, 96	
할인율	[%]	5.5[%]	한국개발연구원 제시
물가상승률	[%]	3[%]	한국개발연구원 제시
설치단가	천원/[kW]	6,391	지경부 고시 육상(고정식)*1.3배 (자체분석)
운영비	천원/[kW]	각 용량별 건설비용의 1[%]	건설비용 의 1[%]
기준가격	원/[kW]	400원	'11년 평균 전력단가:180원 '11년 평균 REC단가:220원
분석기간	년	20	내구수명

시에는 B/C가 0.99, 2[MW] 설치 시에는 B/C가 1.14로 분석되어 용량이 커질 수록 경제성이 높아지는 것으로 나타났다.

표 9. 경제성 평가 결과
Table 9. Economic Assessment

설치각	일사량 ((kWh/ m ² /day])	설비 용량 ([kW])	발전량 ([MW]/년)	발전 금액 (천원/년)	B/C	IRR ([%])	자본 회수 (년)
30[°]	4.08	100	153	61,169	0.99	5.3	12.0
		200	306	122,338	1.06	6.3	11.2
		300	459	183,507	1.09	6.6	10.9
		500	765	305,846	1.11	6.8	10.7
		1,000	1,529	611,692	1.13	7.0	10.6
		2,000	3,058	1,223,384	1.14	7.1	10.5

5. 결론

본 논문에서는 수면 위를 활용한 수상태양광 발전시스템의 설치를 위한 적지조사 방법에 관하여 고찰하였다. 법률, 위성사진, 지형도 분석 및 기상데이터 분석을 통한 사전조사에서 최적적지 후보지점으로 3곳을 선정하였고, 현장조사 및 Solar Pathfinder를 이용한 음영분석을 통하여 최적적지를 선정하였으며 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 수상태양광 발전시스템의 개발을 위해서는 기존 농지 및 임야를 이용한 태양광 발전시스템의 적지조사보다 설치지점의 수심, 수위 변동량, 유속량 등의 수문분석 등의 추가 검토가 필요하며, 안정적인 설비운영을 위하여 이에 대한 세심한 고려가 필요하다.
- 수심이 깊고 부유물 유입이 적은 것으로 조사된 C지점을 최적적지로 선정하였다. 이는 발전시스템의 설비 운영시 안정성을 우선하여 고려하였으며, 수상태양광 사업의 확대 및 대용량 개발 시에는 경제적인 측면도 고려해야 할 것이다.
- 설치예정지점에 대한 경제성 평가결과 100[kW] 설치 시에는 B/C가 0.99, 2[MW] 설치 시에는 B/C가 1.14로 분석되어, 설치용량이 커질수록 경

제성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 수상 태양광의 경제성 확보를 위해서 육상대비 설치비용을 낮추기 위한 구조체 및 부유체 등에 관한 연구 및 현재 법 개정 추진 중인 REC가중치 상향조정 등이 해결되어야 할 것으로 판단된다.

수상태양광 발전시스템은 국내외에서 적용한 사례가 극히 드물며, 특히 깊은 수심의 댐을 이용한 발전시스템 적용은 최초의 사례라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 적지조사 기법은 수상태양광 발전시스템 개발을 위한 적지조사 시에 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 판단되며 향후 대용량 수상태양광 개발 및 다양한 적용사례들을 통해 수정보완이 필요할 것이다. 끝으로 제안된 기법을 이용하여 실제 적용된 수상태양광 개발 사례 및 기존 태양광 발전시스템과의 효율 비교에 관한 연구를 지속할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 : 11기술혁신 C-03, 수상태양광 발전 시스템 실용화를 위한 ICT융합기술개발)에 의해 수행되었습니다.

References

[1] "New&Renewable Energy Guide 2009", Korea Energy Management Corporation, 2009.
 [2] Qiang Wang, Huan-Ninf Qiu "Situation and Outlook of Solar Energy Utilization in Tibet, China", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009.
 [3] G. Montero et al., "Solar Radiation and Shadow Modelling with Adaptive Triangular Meshes", Solar Energy, 2009.
 [4] J. Ordóñez et al., "Analysis of the Photovoltaic Solar Energy Capacity of Residential Rooftops in Andalusia (Spain)", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010.
 [5] Sung Hun Lee, "Irradiance Analysis of the Photovoltaic Solar Energy using Probabilistic Approach", KIEE Summer Conference, Bu-San, 2010.
 [6] "Groundwork Research for Commercialization of Floated Photovoltaic System ", K-water, 2011.
 [7] Mukund R. Patel, "Wind and Rolar Power Systems", CRC Press, 1999.
 [8] Yong Woon Lee, "Effects of Light-Blocking on Water Quality and Phytoplankton Community in Lake Juam", Korea J. Limnol.36(2):150~160(2003).
 [9] "A Study on Research of Suitable Site for Development

and Elementary Technology of Photovoltaic System", K-water, 2008.
 [10] "An Empirical Study on the Floated Pilot Photovoltaic System", K-water, 2009.
 [11] <http://local.daum.net/map/index.jsp>

◇ 저자소개 ◇



이성훈 (李晟薰)
 1978년 2월 25일생. 2007년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업(석사). 2011년 2월 한양대학교 전기공학과 수료(박사). 현재 한국수자원공사 K-water연구원 재직 중.



이남형 (李楠炯)
 1967년 11월 24일생. 2005년 5월 워싱턴주립대 전기공학과 졸업(석사). 미국전기기술사. 충남대학교 전기공학과 재학 중(박사). 현재 한국수자원공사 K-water연구원 재직 중.



최명철 (崔亨澈)
 1965년 2월 20일생. 1990년 2월 동국대학교 전기공학과 졸업. 발송배전 기술사. 한양대학교 전기공학과 재학 중(석사). 현재 한국수자원공사 재직 중.



김진오 (金鎭吾)
 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 전기제어생체공학부 교수.