

삼천포 태양광 발전 100kW 최초 전력거래

김 형 윤 한국남동발전(주) 발전처 사업개발팀 팀장
임 상 철 한국남동발전(주) 발전처 사업개발팀 과장

1. 서론

지구상에서 지금까지 인류가 친숙하고 손쉽게 이용한 에너지는 자연상태에서 무한하게 공급 받을 수 있는 태양광 에너지라 할 수 있다. 특히, 지구 온난화와 화석연료의 고갈 등 에너지 자원 확보의 중요성이 갈수록 강조되고 있는 현시점에서 폭넓게 개발이 진행되고 있는 에너지가 태양광에너지라고 할 수 있다. 지난 70년대부터 꾸준히 태양광에너지를 이용하기 위한 기술개발 노력이 미국, 일본, 독일 등 선진국을 중심으로 활발히 추진되어 왔다. 우리나라는 1MWp 이상 대용량 태양광발전시스템을 한전 전력연구원과 발전회사가 공동으로 개발을 추진중에 있지만 지금까지 100kWp미만의 소용량 태양광발전 위주로 이루어져 왔으며 사업주체가 지자체 또는 연구기관의 Demo 형태로 추진되어 상업용 기술규격 정립이 제대로 된 사례가 없었다. 이에 한국남동발전(주)는 삼천포 태양광발전소 건설 프로젝트를 추진하면서 설비신뢰성을 확보기 위하여 국내에서 상업용의 계통연계형 태양광발전시스템에 대한 정립된 기술규격이 필요하게 되었고 기술규격을 정립하기 위해 여러차례 국내 전문가의 자문과 회의를 거쳐야만 했다. 본문에서 지난 '05.8.25일에 최초 발전을 개시하여 안

정적으로 운영중에 있는 한국남동발전(주)의 삼천포 화력발전소내에 설치된 100kWp 태양광발전소의 시스템 개요와 건설 및 운전 관련 기술정보를 소개하고 향후, 국내 대용량 태양광발전소의 건설관련 엔지니어링에 대한 기술방향에 대하여 언급하고자 한다.

2. 본론

2.1 삼천포 태양광발전시스템의 개요

삼천포 태양광발전소의 설비는 시스템 엔지니어링 개념이 적용된 발전소이다. 설비의 주된 구성은 태양광어레이, 인버터, 특고압 22.9kV 계통연계 송전설비, 제어설비 및 부속설비로 되어 있다. 주요 설비는 전력변환 설비, 차단기 설비 및 제어설비이며 단위용량 80Wp인 태양전지판 1320개를 조합한 어레이(모듈 총합최대출력 105kWp), 설비용량이 53kW인 두대의 인버터 및 저압 380V의 교류전압을 계통의 22.9kV까지 승압하는 설비용량 120kVA의 몰드변압기등 전력변환설비와 전력을 차단하는 저압 및 특고압 차단기 설비들로 시스템이 구성되어 있고 모든 운전이 무인 전자동 및 원격 감시되도록 설비가 구성

되어 있다.

2.2 태양광 건설기술 표준화 사례

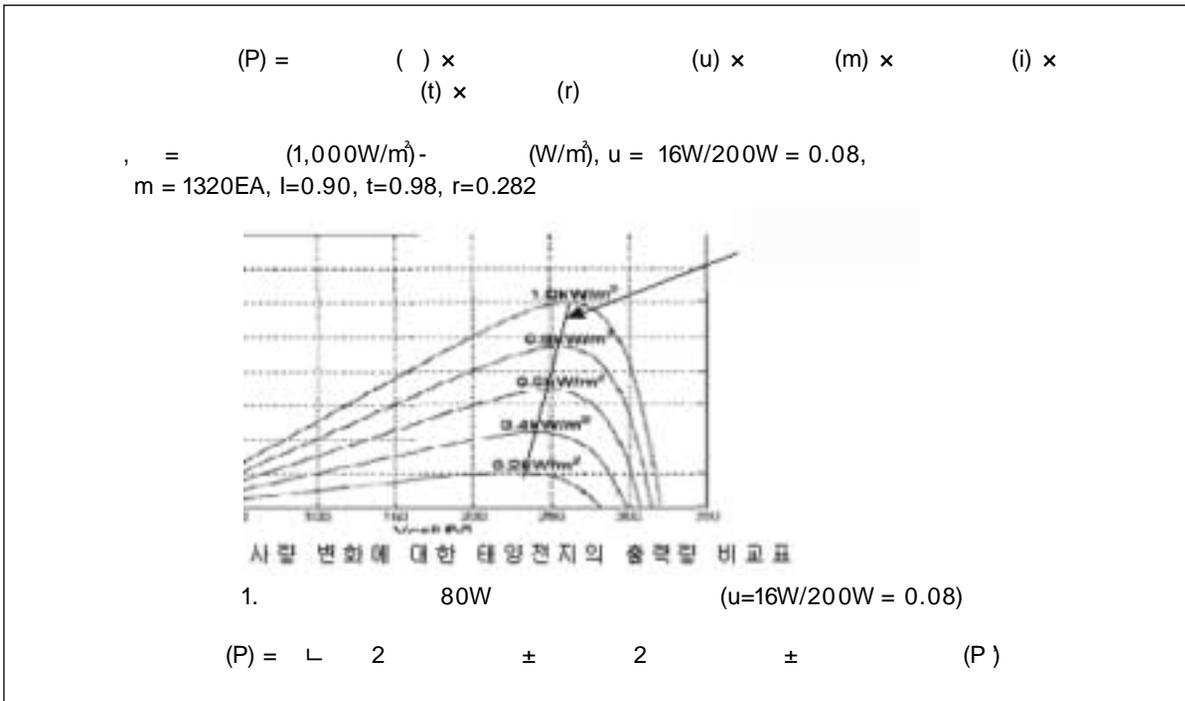
2.2.1 기술규격(설계기준) 정립

삼천포 100Wp 태양광발전소를 건설하기 위해서는 설계기준이 필요하였으나 국내에는 특고압 계통에 연계하는 대용량 태양광발전시스템에 관한 표준화된 기술 규격이 정립되어 있지 않았다. 그래서 국내 사례를 종합적으로 검토하여 설계에 적용할 기준을 자체적으로 정하여 태양광모듈, 어레이, 인버터, 변압기, 차단기 등 주요 기자재 및 전체 시스템에 대한 기술규격을 마련하고 설계에 반영하였다. 주요 적용된 기술규격은 태양에너지를 흡수하여 바로 전기로 바꾸는 태양전지판은 100kWp 설비용량을 최적 구성할 수 있는 전지효율을 감안하여 80Wp 이상을

설계기준으로 정하였고 인버터는 어레이 총합출력의 110% 용량으로, 주변압기는 인버터 최대용량의 110%를 적용하여 변환설비에 대한 안전율을 규정하였다. 전체 시스템의 종합출력은 주변압기 2차측을 기준으로 태양광발전시스템에 대한 출력기준을 정함으로써 상용화된 태양광발전소의 발전 출력을 명확하게 성능보증하는 기술기준을 국내 최초로 정립하였다. 또한, 삼천포 지역은 해마다 태풍의 영향권에 들어 순간최대 풍속 60m/s의 태풍에도 견딜 수 있도록 구조물의 안전성을 확보하였으며 운전점검 및 유지 편의성을 도모하고 통풍성을 좋게하기 위해서 어레이의 가장 낮은 부분이 지면에서 최소한 80cm 이상 높이도록 설계 요건을 강화하였다.

2.2.2 제작요건 및 공장검사 기준 강화

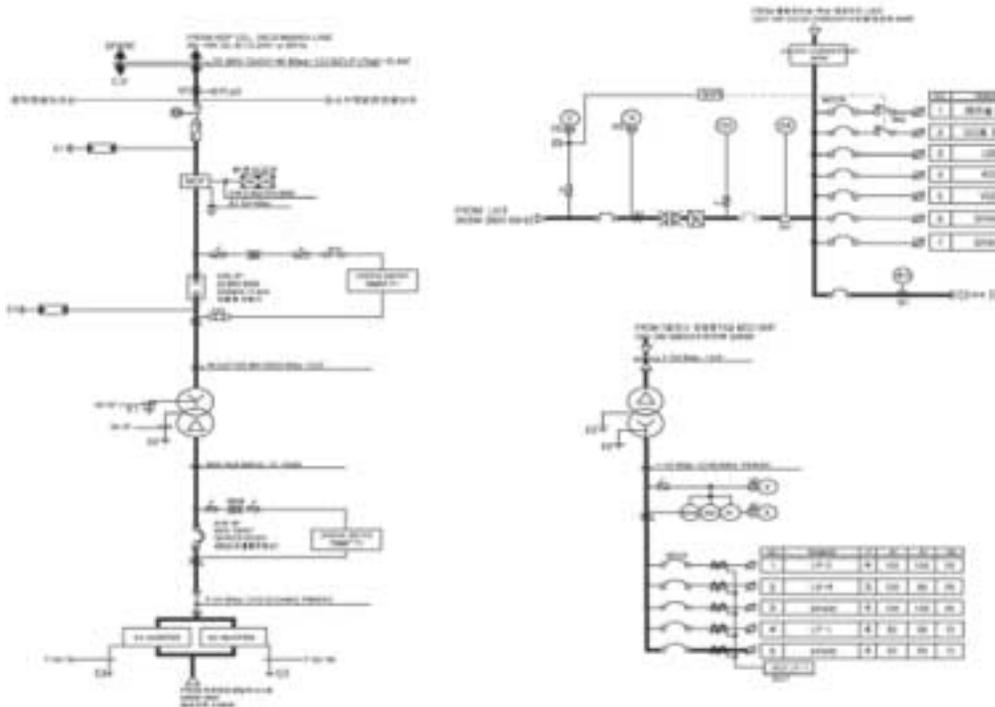
삼천포 태양광발전시스템의 기자재는 공장제작 및



조립과정에서부터 철저히 구매 기술규격서에 제시된 제작 요건을 만족하도록 요구하였다. 특히, 공장 검사 기준을 납품되는 전 태양전지모듈에 대하여 자체 성능시험을 100% 시행하게 하였다. 자체검사에 합격한 태양전지모듈중 2%의 모듈을 발주자가 임의로 선정하여 봉인한 후 공인검사기관(KIER)에 검사 의뢰 하였고 표준시험조건인 일사량 $1\text{kW}/\text{m}^2$, 대기질량정수(AM)1.5, 모듈표면온도 25°C 에서 시험을 받게 하였다. 시험결과 검사수량 전체평균이 기자재 공급자가 보증한 태양전지판 단위 용량(80kWp)이상 판정을 받을 경우에 한해 인수를 하였으며 나머지 98%을 포함한 태양전지모듈을 납품할 수 있게 하였다. 이러한 검사과정을 통해 주 기자재인 태양광모듈의 품질을 확보할 수 있었다.

2.2.3 성능보증 체계 정립

100kW급 태양광발전시스템에 대한 성능보증 체계가 국내에 정립된 사례가 없고 대부분 태양전지모듈의 최대 출력치를 기준함에 따라 태양광발전시스템 전체에 대한 성능을 명확하게 검증할 방법이 없는 문제점을 가지고 있었으나 본 프로젝트를 추진하면서 태양광발전시스템에 적용할 수 있는 성능관련 용어를 정의하고 성능보증 출력에 대한 기준을 명확히 하였다. 성능보증은 바람, 온도 등 기후영향을 받고 있는 실제 현장 시험조건을 반영하여 계약자가 제시한 출력을 보증할 수 있게 하였고 계통에 보내지는 최종 출력(승압용 변압기 2차측 출력)을 기준함으로써 어레이 배선 손실, 인버터 효율, 변압기 효율이 모두 적용될 수 있도록 하여 태양광발전시스템에 대한



종합성능출력을 보증하게 하였다. 성능시험은 성능 시험계획서에 따라 신뢰도 운전 시험이 완료된 후 30 일 이내에 시행하고 정확한 성능측정을 위하여 일사량이 많은 낮 12시에서 14시까지 순간 출력치를 5분 간격으로 측정된 수치를 산술평균값으로 환산하여 최대보증출력이상이 되어야 합격 판정을 하였다. 현장 성능시험시 현장의 일사량이 표준시험조건인 $1,000W/m^2$ 과 차이가 날 경우 일사량 변화에 따른 출력보정 기준을 정립하였다. 즉, 일사량 편차에 대한 보정출력값을 적용토록하여 태양광발전시스템이 낼 수 있는 최대출력을 성능보증하게 하였으며 어레이 온도 변화치는 태양광발전시스템의 출력에 영향이 있으나 삼천포 태양광에서는 제작자의 마진으로 제외시켰다.

2.2.4 운전 · 유지 편의성 도입

태양광발전시스템의 발전연료는 태양으로부터 오는 광에너지이다. 따라서 별도의 연료공급설비를 갖추지 않아도 일정 일사량을 만족하면 언제든지 발전을 할 수 있다. 삼천포 태양광발전시스템은 자체 제어실 및 기존 화력발전소 중앙제어실내에 원격감시 제어실을 두고 전자동으로 운전되고 있다. 자체 제어실은 삼천포화력 신?재생에너지 종합홍보관내에 설치함으로써 일반인 및 학생들에게 현장감을 줄 수 있도록 배치 하였다. 또한, 태양광발전의 모든 전기판넬이 지하실내에 설치되어 있어 유지관리를 쉽게할 수 있게 하였다. 어레이의 경우 어레이 하부 지지대의 최소 높이를 1.5m이상으로하여 태양전지모듈의 교체등 보수작업의 편의성을 감안하였고 어레이 주변에 배수로를 설치하여 우수에 의한 영향을 받지 않게 하였다.

2.2.5 인 · 허가 추진사례

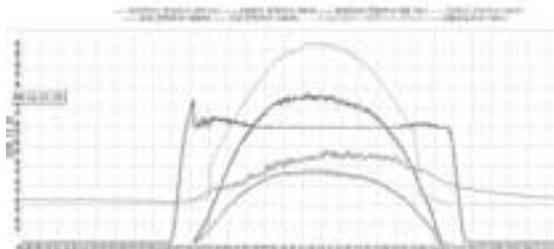
100kWp 삼천포 태양광발전소 건설과 관련하여 추진한 인허가는 전기사업법에 의한 전기사업허가, 공사계획신고, 사업개시신고, 사용전검사 및 배전용 전기설비 이용신청을 수행하였고 건축법에 의한 건축허가사항의 변경신고, 착공신고, 사용승인 신청을 하였으며 전력시장운영규칙에 의한 발전기 병렬운전 조작합의, 발전기 등록, 상업운전 개시 신고를 하였다. 또한, 소방법에 의한 소방시설공사 착공신고 등을 수행하여 총 13건의 인 · 허가 및 신고가 있었다.

2.3 삼천포 태양광발전시스템 특성 소개

2.3.1 전력계통 구성도

2.3.2 온도 및 일사량 변화에 따른 출력 특성 곡선에 대한 소개

- 2005년 10월 16일 특성곡선



- 2006년 02월 03일 특성곡선



상기의 특성곡선과 측정치는 삼천포 태양광발전소

측정일	시간	출력(kW)	경사면일사량(W/m ²)	표면온도(°C)	모듈온도(°C)
2005.10.16	11	74.00	812.29	23.44	43.39
	12	72.00	822.29	23.84	45.80
	13	70.00	769.28	23.88	45.15
2006.02.03	11	82.00	681.79	6.28	27.62
	12	86.00	728.29	7.43	28.02
	13	85.00	712.75	7.81	26.37

※ 계측자료는 현장 계측기의 측정값임

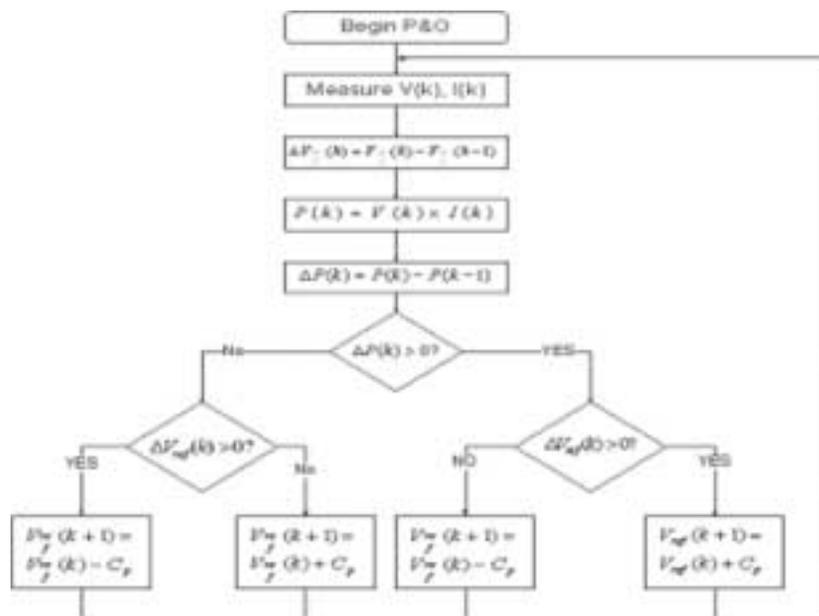
에서 맑은 날 정상적인 시스템 운전상태에서 얻어진 것이다. 출력은 일사량 및 어레이 표면 온도에 따라 변화되는 태양광발전시스템의 전형적인 특성을 나타내고 있다. 주목할 만한 현상은 어레이 표면온도가 낮고 일사량이 적은 2월달 출력이 10월달 보다 출력이 높게 나타나고 있다. 일사량과 출력특성곡선은 유사곡선을 나타내고 있고 온도가 낮을 수록 출력이 일사량에 근접함을 알 수 있다. 또한, 대기온도와 어레이표면의 온도차가 대략 20°C 정도를 나타내고 있고 '05년 10월16일에 측정된 12시 일사량 822W/m² 보

다 적은 11시 812W/m²에 태양광발전출력이 더 높게 나타나고 있다. 이러한 현상은 태양광어레이 표면온도 증가에 따른 전형적인 태양광어레이의 출력 저하 특성을 나타내고 있다.

2.3.3 최대전력점 추종(MPPT) 알고리즘

태양광어레이 출력은 일사량, 표면온도에 따라 동작전압과 전류의 상태를 나타내는 I-V특성이 비선형적으로 변화하는 특성을 나타낸다. 이러한 특성곡선 상에서 전압-전류의 동작점에 의해 인버터의 출력량

2 | P&O MPPT



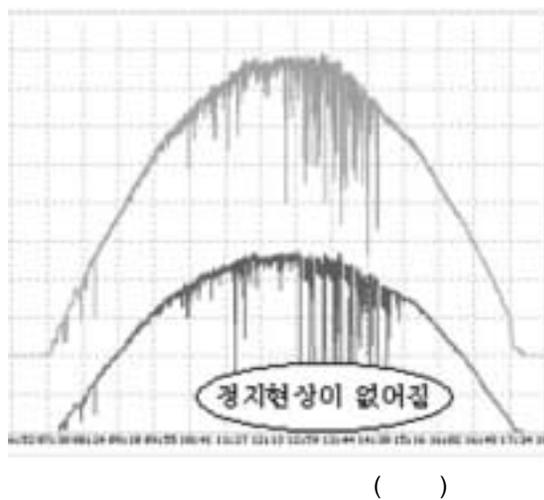
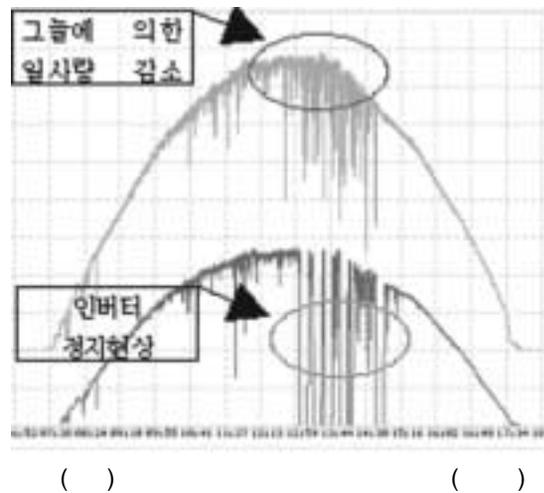
이 결정된다. 인버터에 입력되는 태양광어레이 직류 전력은 최대출력점 추종제어(MPPT)를 수행하는 전력제어기에 의해 인버터 출력을 제어 한다. 국내에서는 최대출력점 추종제어(MPPT)로 전력비교법(Perturb and Observe Method; P&O Method)과 도체증분법(Incremental Conductance Method; IncCond Method)이 주로 사용되어지고 있다. 또한, 학문적인 시도로 퍼지(Fuzzy)제어, 적응(Adaptive) 제어 등 비선형제어기법이 적용되어지고 있다. 삼천포 태양광발전시스템은 P&O 기법의 MPPT 알고리즘을 사용하여 인버터 출력을 제어하고 있다. 아래 그림2는 태양전지의 출력전압과 전류 그리고 기준 동작전압을 입력값으로 하는 전력비교법(P&O)의 MPPT 알고리즘의 순서도 이다.

2.4 사업수행 과정중 설계 및 설비개선 사례

2.4.1 인버터의 DC입력 전압 부적정에 대한 개선 사례

삼천포 태양광발전시스템의 인버터의 입력 전압은 태양광어레이의 인버터에 입력되는 최대 출력전압을 397[Vdc], 최저 출력전압을 252[Vdc] 그리고 정격 출력전압을 328[Vdc]로 설계하였으나 운전중 잦은 인버터의 트립으로 원인 및 대책을 검토키로 하였다. 조사결과 구름 또는 장애물에 의한 그늘이 순간적으로 어레이 표면에 생길 경우 일사량 감소에 의한 어레이 출력전압이 인버터의 최소운전 가능전압이하로 떨어져 인버터가 정지되고 인버터의 특성에 의해 정지후 재기동이 되기까지는 최소한 10분이 소요되어 이러한 현상의 반복으로 출력저하요인이 되고 있음을 발견하고 아래와 같이 조치하였다. 원인을 분석해보니 인버터의 저 전압 출력이 설계치인 252[Vdc]보다 높은 280[Vdc]로 높게 설정되어 있어 저 전압레벨에 의해 정지되고 있었다. 조치내용으로 인버터 자

체 저 전압 운전 여유 범위를 면밀히 조사한 결과 인버터 입력 직류전압 레벨을 27[Vdc]만큼의 여유가 있어 설계치와 유사하게 280[Vdc]에서 253[Vdc]로 조정하여 인버터 정지 문제를 해결할 수 있었으며 향후 설계 개선사항으로 인버터의 최소운전가능 입력 전압을 어레이의 최소출력이하로 설정되도록 설계에 반영 및 확인이 필요하다.



2.4.2 기후 및 지역환경에 대한 설계 고려사항

2.4.2.1 삼천포 태양광 설계사항

삼천포화력발전소내의 이용하지 않는 경사면 부지를 활용하여 설치된 삼천포 태양광발전소는 지역적인 좋은 환경을 가지고 있다. 겨울철에 눈이 오지 않고 해안에 인접하고 있어 낮에는 바닷가에서 불어오는 찬 바람에 의하여 태양전지판이 자연냉각되는 최적 환경을 갖추고 있다. 따라서 눈이 내려도 쌓이지 않는 기후를 나타내고 바람이 잘 통하는 지역에 태양광시스템을 설치하는 것이 기후 및 지역적인 환경 영향을 받지 않는 최적지로 특별한 대책이 필요치 않았다.

2.4.2.2 눈, 결빙 및 오염에 대한 대응

태양광발전소를 건설하고자 하는 지역은 일사량이 많은 지역이어야 하지만 영하로 기온이 떨어지는 겨울철에도 발전을 할 수 있어야 최적이라 할 수 있다. 하지만 아직 까지 국내에는 겨울철을 대비하여 태양광발전소가 들어선 곳은 없다. 삼천포 태양광발전소의 온도에 따른 특성을 볼 때 겨울철에 태양전지모듈에 쌓이는 눈과 결빙(서리현상)을 해결할 수 있게 되면 우리나라 모든 지역에서도 연중 태양광발전이 가능하리라 본다. 태양전지모듈은 모듈효율에 따라 차이가 있지만 삼천포 태양광 발전인 경우를 보면 운전 중인 상태에서는 대기온도보다 (삼천포 태양광어레이의 경우 약 20℃ 정도) 높기 때문에 모듈표면온도가 영하로 떨어질 경우가 극히 없다고 할 수 있다. 이러한 현상으로 인해 발전을 하고 있는 동안에는 태양전지모듈 표면에 결빙현상이 일어나지 않는다. 또한, 대용량의 태양광발전소는 태양광에너지를 받는 태양전지모듈 면적이 방대하게 넓어 일일이 사람이 쌓인 눈을 치울 수도 없다. 그러므로 영하로 내려가고 눈

이 쌓이는 겨울철에도 발전할 수 있도록 설계단계부터 눈 및 결빙 현상이 일어나는 조건을 감안하여 설계하여야 한다. 눈이 쌓이거나 결빙이 되면 태양광발전을 할 수 없게 된다. 따라서 눈의 자중에 의해 미끄러져 내려 갈 수 있게 태양광모듈면의 경사 각도를 감안하고 필요하면 태양광모듈표면과 접촉되는 눈 또는 결빙을 녹여줄 수 있게 만들어 줄 수 있는 부가적인 장치가 필요할 것으로 사료되고, 또한 심한 황사등 오염에 의한 청결유지 대책도 필요하므로 이에 대한 종합대책이 설계단계부터 고려되어야 할 것이다.

2.4.3 최적 설비 구성을 위한 착안사항

태양광발전은 지역의 일사량과 기온에 따라 연간 발전출력량이 결정된다. 따라서 최적설비를 구성하려면 다음과 같은 사항이 고려되어야 할 것이다. 우선 태양광모듈 선정이 중요하다. 태양광모듈은 태양전지(셀)의 효율에 따라 모듈 효율이 좌우되므로 단결정 또는 다결정 고려시 모듈효율이 공인기관으로부터 인증된 제품을 사용하여야 한다. 또한 태양전지에서 발생하는 열을 고려하여 온도변화에 대한 출력변동이 심하지 않도록 설계된 태양광모듈을 선정하는 것이 중요하다. 다음으로 시스템을 구성하는 변환설비로 태양광어레이는 배선손실 및 케이블 용량을 감안하여 경제성 있는 배열을 검토하고 최적의 인버터의 용량에 따라 태양광어레이의 출력전압이 결정되어야 한다. 이 경우 여러대의 인버터가 설치될 경우 각 인버터의 출력단자가 연결되는 구간에서 상불평형이 발생하지 않도록 시스템이 구성되어야 한다. 따라서 인버터 출력단자에서 시스템 운전전력을 인출하기 보다는 외부 계통에서 수전하여 시스템 운전전원으로 사용하는 방안도 고려해 볼 만 하다. 또한 인버터의 설계는 직류전압에 따라 최적전력점 제어

(MPPT) 범위가 결정됨으로 인버터의 설계사양과 태양광어레이의 설계사양이 최적전력점 범위내에서 안정적으로 운전될 수 있는지를 사전 검토하여서 일부 어레이가 구름에 의해 가려질 때 인버터 운전정지 현상이 일어나지 않게 설계 및 시공이 이루어져야 하며 또한 설치하고자 하는 지점의 일사량을 조사하여 일사량에 적합한 인버터 용량을 선정함으로써 인버터의 효율을 높이는 방안을 강구하여야 한다. 주변압기는 승압용으로 1대의 고효율의 용량으로 하여 변압기에서 소비되는 무부하손을 최대한 줄여야 한다. 또한 차단기는 발전하지 않을 때는 계통으로부터 분리되는 제어시스템을 구성하여 변압기와 같은 변환설비의 대기 무부하손을 줄이는 등 시스템의 경제성을 반영한 제어 설비를 구성하도록 하여야 한다.

2.4.4 기타 설비개선 사례

다음은 삼천포 태양광발전소 설치 및 시운전 과정에서 설비 개선 사항을 소개하고자 한다.

3. 결론

지금까지 지난 '05.8.25일 최초 발전 개시한 한국남동발전(주)의 100kWp 태양광발전소의 건설관련 한 시스템 엔지니어링에 대하여 소개하였다. 국내에 많은 태양광발전시스템이 설치되어 운전중에 있으나 그동안 체계적으로 건설하고 분석할 수 있는 기술자료를 얻을 수 없는 실정에서 본 소고로 대용량 태양광발전소를 건설할 때 필요한 유익한 기술정보가 되었으면 한다.



No.	시공사진	개선 필요 사항	개선조치	비 고
1		철골과 알루미늄 프레임 접속부에 절연체 시공이 않되어 전식에 의한 이종금속간 부식 발생 우려가 있음	EPDM Gasket 삽입 조치	Ethylene Propylene Diene Monomer
2		모듈 접속함에 접속되는 마감부분이 느슨하거나 연결 케이블의 곡률반경 없이 시공되어 빗물 유입 원인 제공	접속함 Gland 조임 및 케이블 Looping 조치	
3		모듈 케이블의 고정이 Non-UVproof 케이블 링으로 장기간이 지나면 경화 또는 파손 우려	UV-proof ring으로 교체 조치	
4		분전함의 케이블 인입부의 Gland가 시공되지 않아 빗물 유입 우려	빗물 유입 방지를 위한 Gland 시공 조치	