

The Research on the Actual Condition and Maintenance Guide of Solar Power System

한운기[†] · 정진수* · 안재민** · 최중수*** · 김재철[§]
 (Woon-Ki Han · Jin-Su Jung · Jae-Min Ahn · Jong-Soo Choi · Jae-Chul Kim)

Abstract - Recently solar power system is increasing and planing to add it and 169 up to 2008 year march. In this paper, we researched sites installed PV system and analyzed problems .for improvement of electrical safety. Results of actual condition research on the sites have problems such as infiltration of moisture, aging of electrode, destruction of insulation and backsheet crack and so on. So we suggest maintenance guide of solar power system in a inspection statistical chart, For making a secure about a electrical safety, we should inspect solar power system by the KESCO guide and rule by periods.

Key Words : Maintenance Guide, Sorar Power System, Actual Condition

1. 서 론

태양광발전설비 설치수요는 기후변화협약과 교토의정서를 비준하고 온실가스를 지속적으로 저감하고자 정부를 중심으로 적극 추진하고 있으며, 정책적인 지원책으로 2011년까지 1차에너지 소비량의 5%를 신·재생에너지로 보급하고자 발전차액지원제도를 도입하였다. 제1차 국가에너지 기본계획을 수립하면서 향후 2030년까지 신재생 에너지의 비중을 현행 2.4%에서 11%까지 확대하였으며, 최근 지원제도의 변경에 따라 금년 2009년 말까지 계통에 연계시키고자 많은 태양광 발전소를 시설하였다[1].

본 논문에서는 태양광발전설비에 대한 계획, 설계, 시공, 감리의 최종단계에서 안전성을 확보하기 위해 실시하는 현장의 조건 및 전기설비기술기준상의 문제점을 검토하였으며, 법정검사 기술 개선사항을 제안하고자 한다.

2. 태양광 발전의 인허가 및 현황

관계법령으로는 전기사업법 제7조, 제12조와 같은 법 시행령 제4조, 제62조와 시행규칙 제4조, 제5조 및 제7조가 있다. 또한 사업의 허가는 3,000kW 초과설비는 지식경제부장관, 3,000kW 이하설비는 시·도지사가 허가권자로 되어 있으며, 제주특별자치도는 국제자유도시특별법에 따라

3,000kW 이상의 발전설비도 제주특별자치도지사의 허가사항으로 적용한다. 허가기준을 보면 ①전기사업 수행에 필요한 재무능력과 기술능력을 허가기준으로 하고, 신용평가가 양호하고 소요자원 조달계획이 구체적이어야 하며, 기술능력은 발전설비 건설 및 운영계획, 기술인력 확보계획이 구체적으로 적시되도록 하고 있다. ②전기사업이 예측가능하고, 부지확보 가능여부, 적절한 이윤확보 방안 등 건설이 차질 없이 진행될 수 있는지 등을 검토한다. ③발전소가 특정지역에 편중되어 전력계통의 운영에 지장을 초래하지 않아야 하며 ④발전연료가 어느 하나에 편중되어 전력수급에 지장여부를 검토하도록 하고 있다.

태양전지 용량에 따른 분류로 소형 태양광발전시스템은 가로등, 유무인 측정기, 중계소, 등대, 부표 등이며, 용량을 기준으로 보면 100kW 이하는 소규모, 100kW~500kW는 중규모설비, 대규모는 500kW 이상 3MW급으로 설치되고 있다[2].

2.1 태양광 발전의 현황

2008년 5월까지 태양광발전설비 허가는 지난 3월에 비해 196건이 증가한 1,154건으로 703MWp가 현재 설치용량으로 허가를 득하였으나, 금년 8월1일까지 완성된 설비를 보면 전체 558건에 180MWp가 발전출력 용량으로 설치되었고 지난 5월보다 53MWp의 순증가분을 기록하였고 표 1에 나타내었다. 이는 기 허가된 건수에 비해 51.6%의 설치실적을 보였 다[3,4].

표 1 2008년 사용전검사 현황(기간: '08.01.01~'08.08.31)

Table 1 Inspection before using in 2008

| 구분 | 중규모발전소 | | 대규모발전소 | | | 비고 |
|----|------------|------------|------------|----------------|------------|-----|
| | 100-199kWp | 200-499kWp | 500-999kWp | 1,000-2,999kWp | 3,000kWp이상 | |
| 개소 | 24 | 59 | 39 | 46 | 1 | 169 |

[†] 교신저자, 정회원 : 전기안전연구원 선임연구원
 E-mail: power@kesco.or.kr

* 정 회원 : 전기안전연구원 주임연구원

** 정 회원 : 전기안전연구원 연구원

*** 정 회원 : 한국전기안전공사 전력설비검사단 팀장

[§] 펠로우회원 : 숭실대학교 공대 전기공학부 교수·공학박

접수일자 : 2009년 11월 11일

최종완료 : 2009년 11월 14일

<본 논문은 본 학회 2009년도 전기설비전문위원회 추계학술대회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회에서 심사 후 본 논문지에 게재 되었음>

2.2 국외 태양광 발전의 현황

국외에 태양광 설치 현황은 표 2와 같고 국내의 동향과 같이 시간에 따라 설치용량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

표 2 국외 설치 현황

Table 2 installation status from abroad

| 구분 | 독립형 ('07년 증가분) | 연계형 ('07년 증가분) | 합계 | 독립형 (누적 MWp) | 연계형 (누적 MWp) | 합계 |
|-------------|----------------|----------------|-------|--------------|--------------|--------|
| Germany | 35 | 1,100 | 1,135 | 35 | 3,83 | 3,862 |
| Spain | 22 | 490 | 512 | 29.8 | 625.2 | 655 |
| Japan | 1.56 | 208.8 | 210.4 | 90.15 | 1828.74 | 1919 |
| USA | 55 | 151.5 | 206.5 | 325 | 505.5 | 830.5 |
| Italy | 0.3 | 69.9 | 70.2 | 13.1 | 107.1 | 120.2 |
| France | 0.99 | 30.31 | 31.3 | 22.55 | 52.685 | 75.232 |
| Portugal | 0.2 | 14.25 | 14.45 | 2.84 | 15.029 | 17.87 |
| Australia | 5.91 | 6.28 | 12.19 | 66.45 | 16.045 | 82.491 |
| Switzerland | 0.2 | 6.3 | 6.5 | 3.6 | 32.6 | 36.2 |
| Canada | 3.88 | 1.4 | 5.29 | 22.86 | 2.911 | 25.775 |
| England | 0.16 | 3.65 | 3.81 | 1.47 | 16.62 | 18.09 |
| Austria | 0.05 | 2.06 | 2.11 | 3.22 | 24.477 | 27.701 |
| Netherlands | 0.58 | 1.02 | 1.60 | 5.3 | 48 | 53.3 |
| Sweden | 0.27 | 1.12 | 1.39 | 4.57 | 1.676 | 6.242 |
| Mexico | 0.87 | 0.15 | 1.02 | 20.45 | 0.3 | 20.75 |
| Israel | 0.5 | 0 | 0.5 | 1.79 | 0.025 | 1.819 |
| Norway | 0.32 | 0.01 | 0.33 | 7.86 | 0.132 | 7.992 |
| Denmark | 0.05 | 0.13 | 0.18 | 0.39 | 2.69 | 3.075 |

3. 태양광 발전 점검 기준 및 체계

검사대상 전기설비 및 검사시기로는 전기사업법 제61조의 규정에 의한 공사계획인가 또는 신고를 필한 설비를 그 대상으로 하며, 전체공사가 완료될 때(제1공정)를 기준으로 부분검사 및 완성검사를 수행하고 있다. 그림 1은 안전관리 체도를 나타낸다.

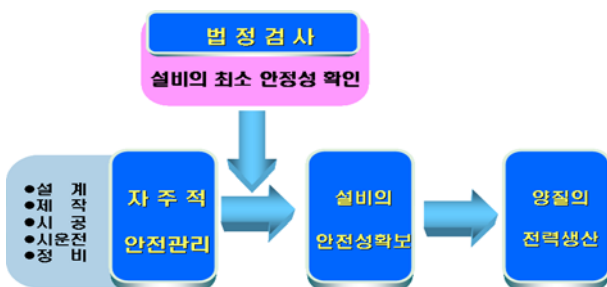


그림 1 안전관리제도
Fig. 1 electrical safety system

3.1 현장점검 기준

검사기준으로는 전기설비기술기준의 판단기준(태양전지 모듈 등의 시설)과 공사계획인가(신고)서, 그 밖에 지식경제 부장관이 정하는 검사절차 또는 전기설비 검사항목 등을 활용하여 검사를 수행하고 있으며, 기준의 합부여부를 판단하여 기준에 적합하게 설치할 것을 의무화하고 있다.

3.2 태양광발전설비 점검업무 체계

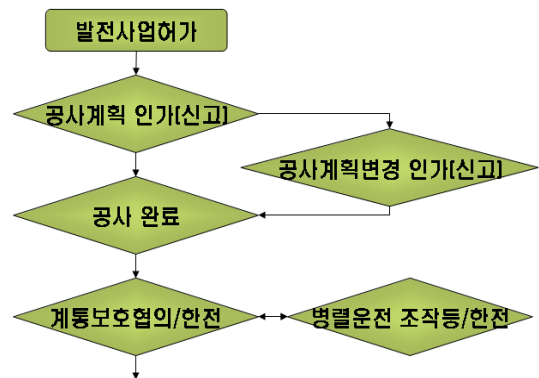


그림 2 발전사업의 허가와 공사계획 인허가 절차
Fig. 2 process of certification and permission

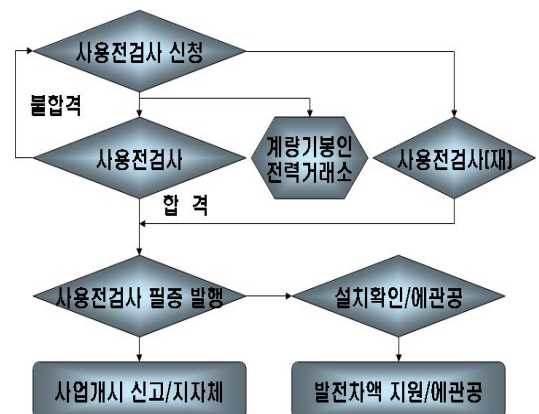


그림 3 사용전검사 흐름도
Fig. 3 flow chart of inspection before using

3.3 점검절차 및 항목

발전설비 시스템 전반에 대한 안전성 확인을 위해 태양전지 어레이, 중계단자함, 파워컨디셔너, 개폐장치, 전력량계, 인입구개폐장치와 변압기, 차단기 등의 보호계통 연동요건, 모듈 건전성 확인을 위한 검사절차를 수립 운용하고 있으며, 최종적으로 시스템 전체에 대한 부하운전을 통해 건전성을 확인하고 있다. 표 4는 태양광발전 설비의 안전점검 절차항목이다.

4. 현장 점검 및 개선사례

4.1 설계 및 시공분야

표 3은 태양광 설비의 점검항목을 나타낸다[5]. 하지만 태양광발전설비시스템에 대한 설계제작 원천기술의 부재로 일

부 현장에서는 상이하게 설계, 시공되고 있어 향후 표준화 시공절차 마련이 시급하다. 특히, 배전반 설계·제작시 기준의 일반 수변전설비의 사양을 그대로 적용함으로써 모선충전부 이격거리 부족 등 문제점사례가 발생하였으며, 현장에 적합한 개선 및 현장 요건에 부합된 설계가 요구된다. 보호계전기(Prot-Ry)용 변류기(CT) 인출방향이 지역별로 다르게 설계하고 있어 발전소 개념의 통일안 마련이 시급하다. 또한 대용량의 경우 역송전용(逆送專用) 계기용변성기(MOF)를 설치하여 변압기 무부하 손실에 대한 요금을 적용하고 있으나 소용량의 경우 적용하지 않고 있다.

표 3 전기안전 점검 절차항목

Table 3 list of electrical safety inspection

| 검 사 항 목 | 세부 검사내용 | 검사 준비자료 |
|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| 1.태양광전지검사 | -전지의 전압, 전류 특성 등 4개 항목 | 1.공사계획 인가(신고)서 |
| 2.전력변환장치검사(전력변환장치, 보호장치, 축전지) | -인버터시험의 동작 특성 등 16개 항목 | 2.단선결선도 |
| 3.변압기 검사(본체, 보호장치, 제어 및 경보장치, 부대설비) | -변압기 특성시험, 제어 및 경보장치 검사 등 25개 항목 | 3.시험성적서 -공장 시험성적서 -현장시험성적서(접지, 절연저항 등) -보호계전기 정정 및 특성 시험성적서 |
| 4.차단기검사(본체, 보호장치, 제어 및 경보장치, 부대설비) | -차단기와 단로기 간 인터록, 충전시험 등 24개 항목 | 4.접지설계도 |
| 5.전선로(모선설비) 검사(전선로, 부대설비) | -전선로 절연내력 시험, 상 표시상태 등 11개 항목 | 5.Sequence도 |
| 6.접지설비검사(접지선규격, 접지망) | -배전반 및 Array에 대한 접지저항 측정 등 3개 항목 | |
| 7.부하운전 검사 | -정격부하 운전시험 (30분 이상) | |

그리고 송전용 변압기(22900V/270V/270V Y-Δ-Δ) 1차측 상별 대지전압이 전압차이가 최대 58V로 나타나 계통저전압으로 인버터 기동이 이루어지지 않았으며 인버터 제작상 결함으로 조사되었으며, VCB HI-MAP 입력전압 결선형태가 Y결선방식으로 제작되어 Δ결선 방식으로 교체 보완하였으며, 차단기(ACB) 2차측 보호용 변류기(CT)결선을 수정(T→R)하여 계통과급사고를 예방하였다.

또한 주변압기의 기계적 보호방식 중 권선온도(W.T) 상승시 1, 2차 차단기를 동시에 개방해야 하는 문제점 발생하였으며, 고압측 지락사고시 선택차단이 가능하도록 접지용변성기(GPT) 개방델타(Open-Delta) 연결용 환류저항기(CLR)용량을 재선정이 요구되었다. 차단기 연동회로를 보완과 접지시스템을 개선하는 등 현장 시공분에 대한 개선사항이 요구되었다.

4.2 현장운영상의 문제점

태양광 발전이 보급된지 10년이 지나고 있지만 유지보수 및 안전성 평가에 대한 지침 및 규정은 제시되지 않고 있다. 본 연구에서는 현장 실태조사를 통하여 태양광 설비의 문제점을 분석하였다. 그림 4는 현장실태에서 조사된 태양광 설비의 고장형태를 보여준다. 태양광 설비는 옥외에 설치되어 자연환경에 그대로 노출되어있기 때문에 습기침투, 전극부식, 크랙, 절연파괴 및 백화현상 등 많은 열화 현상을 나타내고 있다.

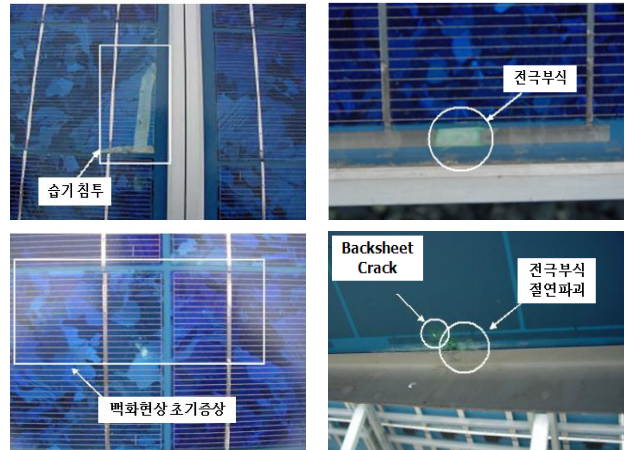


그림 4 태양광 셀의 열화
Fig. 4 aging of PV cell

그림 4와 같은 태양광 셀에서 절연파괴는 그림 5와 같은 메커니즘으로 인체 감전사고를 유발한다. 인체에는 450~900[V]까지 인가되어 감전사고위험성에 노출될 수 있어 이러한 요소의 정기적 점검이 필요하다.

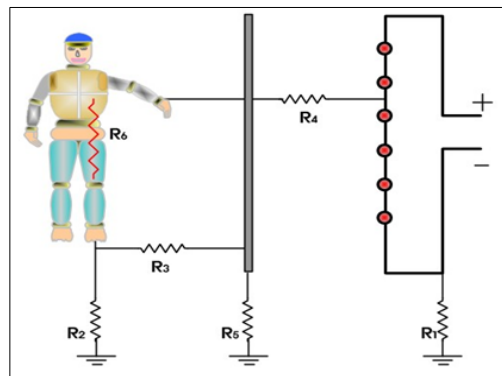


그림 5 태양광셀의 절연파괴에 의한 감전사고 메커니즘
Fig. 5 electric shock mechanism by destruction insulation

필드에서 취득한 데이터에 의하면 표 4와 같이 분산형전원이 출력을 내지 않는 야간시간에서 분산형전원에 영상전압(허전압)이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 영상전압은 보호계전기를 트립될 수 있으므로 이를 보완할 대책이 필요하다. 이렇듯 현재 분산형전원을 연계하면 양방향성의 분산형전원의 보호협조에 문제가 발생하는 것을 알 수 있다.

표 4 야간시간대의 태양광(PV)의 전압, 전류, 및 출력
Table 4 output of PV system at night

| Time Stamp | Vab (D 5) | Vbc (D 6) | Vca (D 7) | Ia (D 8) | Ib (D 9) | Ic (D 10) | Real Power | PV Voltage | PV Current | PV Power |
|------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|----------|
| 2001-06-08 3:53 | 306 | 307 | 310 | 1 | 1 | 2 | 0 | 31 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 4:08 | 308 | 307 | 311 | 1 | 1 | 2 | 0 | 5 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 5:08 | 308 | 308 | 311 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 6:23 | 308 | 308 | 313 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 8:53 | 307 | 306 | 310 | 1 | 1 | 2 | 0 | 49 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 5:53 | 307 | 307 | 310 | 1 | 1 | 2 | 0 | 49 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 6:08 | 307 | 308 | 313 | 1 | 1 | 2 | 0 | 29 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 6:23 | 307 | 309 | 313 | 1 | 2 | 2 | 0 | 50 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 6:38 | 309 | 307 | 313 | 1 | 1 | 2 | 0 | 7 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 6:53 | 309 | 307 | 312 | 1 | 1 | 2 | 0 | 49 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 7:08 | 309 | 308 | 311 | 1 | 1 | 2 | 0 | 50 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 7:23 | 310 | 307 | 311 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 7:38 | 309 | 309 | 311 | 1 | 1 | 2 | 0 | 49 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 7:53 | 307 | 305 | 311 | 1 | 1 | 2 | 0 | 49 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 8:08 | 309 | 309 | 311 | 1 | 1 | 2 | 0 | 7 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 8:23 | 309 | 310 | 314 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 8:38 | 310 | 309 | 314 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 8:53 | 313 | 311 | 316 | 1 | 1 | 2 | 0 | 52 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 9:08 | 312 | 313 | 316 | 1 | 1 | 2 | 0 | 53 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 9:23 | 314 | 313 | 315 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 9:38 | 309 | 310 | 315 | 1 | 1 | 2 | 0 | 52 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 9:53 | 309 | 310 | 315 | 1 | 1 | 2 | 0 | 51 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 10:08 | 310 | 310 | 315 | 1 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 2001-06-08 10:23 | 312 | 310 | 315 | 1 | 1 | 2 | 0 | 53 | 1 | 0 |

분산전원을 계통에 연계하면 그림 6과 같이 조류의 양방향성으로 보호협조에 문제점이 발생한다. 하지만 기존의 보호협조 방식으로는 분산형전원 연계시 양방향성 고장전류를 제거할 수 없는 경우가 발생한다. 이러한 문제점은 공급신뢰도를 저하시키고 계통에 안정도 및 전기적 안전성을 저하시킬 수 있다. 이러한 이유로 양방향 보호협조는 필수적이다.

태양광계통을 포함한 분산형전원의 연계시 접지방식은 국내(전기설비기술기준 판단기준, 내선기준)과 유럽(IEC, NEC, BS) 등과 시스템 구축방법이 상이하다. 국내의 기준은 모든 접지극의 구성이 전극간 전위간섭을 받지 않는 범위에서 단독접지전극을 구성하도록 되어있다. 그러나 현장에서 기준에 적합한 단독접지시스템 구축되기에는 경제성의 문제로 접지전극간에 전위간섭이 발생하는 위치에 대부분 설치되었거나 전극간 연속성이 확보되지 않은 불완전한 등전위(Bonding) 시스템이 구축되어있다.

이러한 접지전극간 순환전류 및 노이즈로 발생한 인버터, 계전기 오동작의 문제를 해결하기 위해서는 전원의 접지극을 본딩과 연속성의 점검 등으로 접지전극간 전압차가 발생하지 않도록 하는 것이 바람직하다. 그림 6은 영국 BS(British Standard)의 분산형전원 접지방식 구성도이다.

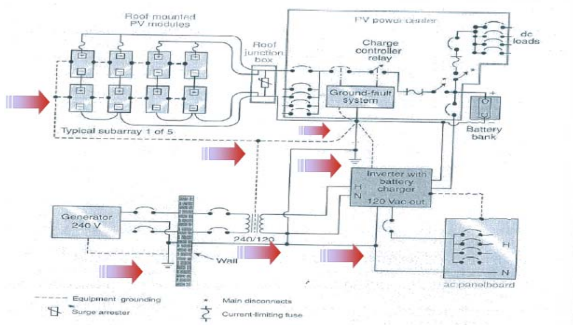


그림 6 영국(BS)의 분산전원 접지방식
Fig. 6 DG ground method of BS

그림 7은 제조사에서 요구하는 태양광 인버터 및 변압기, 모듈부분의 접지시스템 구성도이다. 그림에서 보는 바와 같이 접지전극간에는 본딩시스템을 구축하여 접지전극간에 저항이 형성되지 않도록 하였으며, 전류가 흘러도 전위차가 형성되지 않도록 시스템을 요구하고 있다.

위와 같은 접지시스템의 구축방식에 있어 국내의 문제점을 적극 검토하여 최적의 접지시스템 국내 규정 개정 및 제안이 요구된다.

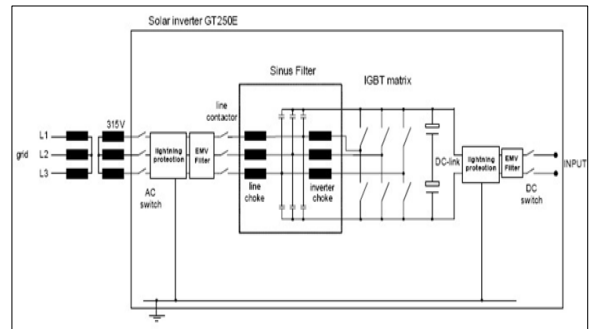


그림 7 분산형전원 제조사에서 요구하는 접지방법
Fig. 7 ground method demanded DG manufacturing firm

5. 결 론

본 논문에서는 태양광발전설비에 대해 국내의 설치현황 및 현장문제점개선사례를 중심으로 조사하였으며, 점검기법 및 현장에서 시정 조치사례에 관한 문제점 해결사례를 제안하였다.

① 발전설비 시스템 전반에 대한 안전성 확보를 위해서는 최종적으로 시스템 전체에 대한 부하운전을 통해 건전성을 확보할 필요가 있는 것으로 나타났다.

② 태양광 설비는 옥외에 설치되어 자연환경에 그대로 노출되어있기 때문에 습기침투, 전극부식, 크랙, 절연파괴 및 백화현상 등 많은 열화 현상을 나타내고 있으며, 절연파괴 시 인체에는 450~900[V] 유기되어 감전사고를 유발하므로 정기적 점검이 필요함을 알 수 있다.

③ 분산전원을 계통에 연계하면 조류의 양방향성으로 보호협조에 문제점이 발생한다. 공급신뢰도 및 계통에 안정도 및 전기적 안전성을 향상을 위해서는 양방향 보호협조는 필수적임을 알 수 있다.

④ 태양광 시스템의 접지시스템 구축방식은 국내의 다른 환경으로 설정되었으며, 이러한 문제점은 전원의 접지극을 본딩과 연속성의 점검 등으로 접지전극간 전압차가 발생하지 않도록 하는 것이 바람직하다. 따라서 국내 규정의 개선 및 개정으로 최적의 접지시스템 구축환경 개선이 요구된다.

태양광발전설비에 대한 많은 지속적 개발 및 효율 향상으로 인버터, 발전시스템의 최적설계기술, 전력계통 보호시스템과 감시 및 제어장치 등의 기술향상이 이루어 졌다. 향후 전기안전에 대한 기준 및 적용기법의 다양화로 신재생에너지의 전기안전 확보 및 효율 향상이 되어야 할 것으로 조사되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 산업자원부, '08년도 신재생에너지 정책추진 방향' seminar 자료, 2008.5.15
- [2] 분산전원 배전계통 연계 기술 기준, 한전배전처, 2005
- [3] 에너지관리공단, 'OECD 신재생에너지 통계', 신재생에너지 센터 2007년판
- [4] KESCO, 신재생에너지 사용전검사 실적 및 통계, 2008.8
- [5] KESCO, 검사업무처리지침 및 검사업무절차 2007.12

저 자 소 개



한 윤 기 (韓 雲 基)

1973년 06월 20일생. 1997년 목포대학교 전기공학과 졸업. 2001년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업. 2008년 숭실대학교 박사과정 수료. 1997년 ~ 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원

Tel : 031-580-3078

Fax : 031-580-3070

E-mail : power@kesco.or.kr



정 진 수 (鄭 鎭 洙)

1976년 9월 12일생. 2003년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2005년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임 연구원

Tel : 031-580-3067

Fax : 031-580-3070

E-mail : mirmir0822@hanmail.net



안 재 민 (安 宰 民)

1982년 1월 30일생. 2007년 안양대학교 전기전자공학과 졸업. 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 연구원

Tel : 031-580-3075

Fax : 031-580-3070

E-mail : ajm0130@kesco.or.kr



최 중 수 (崔 鍾 壽)

1958년 2월 19일생. 1992년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 2003년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사). 2009년 숭실대학교 박사수료. 1983~현재 한국전기안전공사 전력설비검사단 팀장

Tel : 02-440-2370

Fax : 02-440-2369

E-mail : choijs@kesco.or.kr



김 재 철 (金 載 哲)

1955년 7월 22일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1988년~현재 숭실대 전기공학과 교수.

Tel : 02-817-0647

Fax : 02-817-0870

E-mail : jckim@ssu.ac.kr