

연구개발 최종보고서 · 요약서

I. 인쇄 규격

1. 크기: A4 신판(가로 210mm * 세로 297mm)
2. 제본: 좌철
3. 용지
 - 가. 표지: 백상지(150g/m²)
 - 나. 내용: 백상지(80g/m²)
4. 인쇄 방법
 - 가. 표지: 바탕 백색, 활자 흑색
 - 나. 내용: 흑색 지정 활자

II. 편집 순서

1. 표지
2. 제출문
3. 보고서 요약서
4. 국문 요약문
5. 영문 요약문
6. 영문 목차
7. 본문 목차
8. 뒷면지

III. 참고 사항

전자 조판 인쇄 시에는 이에 준한다.

IV. 편집 순서별 서식

15CTAP
-C0980
06-01

태양광시스템 유효발전량 예측기술 및 성능시험법 최종보고서

2017

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

Development of numerical analysis model' assessment and design tool
(HELIOS-PV) and testing method for solar photovoltaic system with a
consideration of adjacent buildings in downtown

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D

도심지 주변 건물의 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측기술(HELIOS-PV) 및 PV 유효발전성능시험법 개발 최종보고서

2017. 7.

주관연구기관 / (재)한국건설생활환경시험연구원
공동연구기관 / 이화여자대학교산학협력단
(주)썬앤라이트

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘도심지 주변 건물의 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측기술(HELIOS-PV) 및 PV 유효발전성능시험법 개발’ (연구개발 기간 : 2015. 6. ~ 2017. 6.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2017 . 7 .

주관연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원 (대표자) 김 경 식 (인)

참여기관명 : 이화여자대학교산학협력단 (대표자) 이 근 주 (인)

(주)썬앤라이트 (대표자) 김 민 성 (인)

주관연구기관책임자: 성 윤 복

참여기관책임자: 임 재 한

김 민 성



국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15CTAP-C098006-01	해당 단계 연구 기간	2015. 6.24. ~ 2017. 6.23.	단계구분	1/1 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	기초원천			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	도심지 주변 건물의 음영을 고려한 태양광발전시스템의 유효발전량 예측기술(HEL IOS-PV) 및 PV 음영발전성능시험법 개발			
연구책임자	성윤복	해당단계 참여 연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부: 0 명	총 연구개발비	정부:396,000천원 기업:133,000천원 정부 외: 천원 계:529,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(재)한국건설생활환경시험연구원 - 건설에너지사업본부 건물에너지기술센터			참여기업명 - 이화여자대학교 산학협력단 - (주)썬앤라이트	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수	

<국문 요약문>

연구의 목적 및 내용	■ 도심지 인접 건물에 의한 음영조건을 고려한 태양광 시스템의 실제 유효발전량 예측 및 평가·설계 지원 시스템 개발 - 건물 음영을 고려한 PV제품 유효발전량 예측법 - 설계지원도구(program) 개발 ■ PV 유효 발전성능 시험법 개발 및 활용을 통해, 정보서비스 제공을 위한 정보 체계(DB 스키마) 구축 - 제로에너지 건물 실현을 위한 건축물 성능 확보 기술 축적 및 인프라 구축				
연구개발성과	■ 도심지 주변 건물의 음영을 고려한 태양광시스템 유효발전량 예측 기술 ■ 평가·설계지원 도구 개발(HELIO-S-PV) ■ 도심지 주변 건물의 음영을 고려한 PV 음영성능 시험법 ■ PV 음영율에 따른 제품의 발전성능 정보체계 구축				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	■ 태양광 시스템의 설계 도구, 재산권 분쟁의 평가 도구, 운전단계에서 발전성능 평가 기준으로 활용 ■ 건축물에서 실질적인 태양광 발전 성능에 대한 정량적 분석·예측 기술을 새롭게 정립하고, 관련 재산권 행사를 객관적으로 평가 - 향후 태양열 시스템 등 다양한 신재생에너지원에 대해 연구 추진				
핵심어 (5개 이내)	태양광 시스템	건물 일체형 태양광시스템	인접 건물	발전량	음영

< SUMMARY >

Purpose & Contents	■ Development of numerical analysis model, assessment and design tool (HELIO-S-PV) and testing method for solar photovoltaic system with a consideration of adjacent buildings in downtown				
Results	■ Actual effective power generation forecast and assessment of the Photovoltaic System with a shade conditions by adjacent buildings - PV power generation prediction method considering the shade - Development design tools ■ The effective PV power generation performance test method development and utilization(DB schema)				
Expected Contribution	■ Prediction techniques for solar power generation considering the shadow of the surrounding buildings ■ Evaluation of design program tool(HELIO-S-PV) ■ PV product information about solar power generation				
Keywords	Photovoltaic system	Building integrated photovoltaic	Adjacent building	Electric power generation	Shadow

< CONTENTS >

Part 1. Outline of R&D	7
Section 1. The purpose of R&D	7
Section 2. The necessity of R&D	7
Section 3. The Scope of R&D	10
Part 2. The Status of domestic and overseas technology development	12
Section 1. Research trends and academic achievements	12
Section 2. Patent Trends Related to Development Technology	13
Section 3. Analysis result of technology development status	16
Part 3. Research contents and achievements	18
Section 1. R&D Core Achievements	18
Section 2. Contents of R&D achievements	21
Part 4. Goal achievement and contribution of related field	50
Section 1. Goal achievement	50
Section 2. Contribution of related field	51
Part 5. Useful planning of R&D achievements	53
Section 1. Major achievements of R&D	53
Section 2. Useful planning of achievements	53
Part 6. Overseas scientific and Technology information collected during the research process	53
Part 7. Security level of R&D achievements	57
Part 8. Research facilities and equipments registered with NTIS	58
Part 9. Implementation of laboratory safety measures in accordance with R&D progress	59
Part 10. Representative R&D achievement	60
Part 11. Other details	61
Part 12. Reference	52

< 목 차 >

1장. 연구개발과제의 개요	7
1. 연구개발 목적	7
2. 연구개발의 필요성	7
3. 연구개발 범위	10
2장. 국내외 기술 개발 현황	12
1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과	12
2. 국내외 관련기술 특허동향	13
3. 국내외 기술개발현황 분석결과	16
3장. 연구 수행 내용 및 성과	18
1. 연구개발 핵심성과	18
2. 연구개발 성과내용	21
4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	50
1. 목표 달성도	50
2. 관련 분야 기여도	51
5장. 연구개발성과의 활용 계획	53
1. 연구결과의 활용방안	53
2. 기대성과 및 파급효과	53
6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	55
7장. 연구개발성과의 보안등급	57
8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	58
9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	59
10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	60
11장. 기타 사항	61
12장. 참고 문헌	62

〈 그림목차 〉

그림1. 연구개발 목표	7
그림2. 인접 건물·지형의 영향으로 인한 태양광 시스템의 발전 성능 저하 ...	9
그림3. 연구개발 목표 및 정보 구축·활용 체계 개념도	11
그림4. 유효발전량 예측 시스템	20
그림5. PV모듈 유효발전성능 시험법 검증 방법	20
그림6. 음영조건에 따른 발전성능 검증방법	21
그림7. 부분음영에 따른 실험결과 (Bypass Diodes X)	23
그림8. 부분음영에 따른 실험결과 (Bypass Diodes 0)	24
그림9. 조사강도에 따른 실험결과	24
그림10. 그룹별 정의 및 설계 결과	24
그림11. 실리콘 결정계 태양광 모듈의 발전성능시험 장치	25
그림12. 계절별 누적 일사량에 따른 누적 발전량 비교	28
그림13 음영으로 인한 유효 발전량 실측 평가	29
그림14 변수 증가 회로 모델	30
그림15 Sandia 모델에서 사용되는 성능 곡선 및 대상 지점	32
그림16 국내외 유사 알고리즘 모델	34
그림17 발전량 성능예측 알고리즘의 구조	34
그림18 성능평가 시험장비	39
그림19 실험결과 분석(누적 일사량, 발전량)	40
그림20 알고리즘 계산값과 실측값의 비교 결과	41
그림21 Helios PV 프로그램 시연1	46
그림22 Helios PV 프로그램 시연2	46
그림23 Helios PV 프로그램 시연3	47

〈 표목차 〉

표1. 그린홈 100만호 사업의 개요	8
표2. 국가 연구개발사업 유사연구실적	12
표3. 국내 유사특허 조사결과	14
표4. 음영성능시험 조건	21
표5. 시간별 알고리즘 계산값 및 실측값, 오차비교	41

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 최종 목표

- 도심지 주변 건물의 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 및 평가·설계 지원 시스템(HELIOS-PV) 및 시험법 개발

나. 세부 목표

- 음영을 고려한 태양광시스템(Array 단위)의 유효발전량 검증평가
- 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 시험법 개발
- 태양광시스템 발전량 성능예측 알고리즘 최적화
- 태양광시스템 발전량 성능예측 알고리즘 신뢰성 검증
- 음영을 고려한 태양광시스템 발전량 예측 및 평가 프로그램 개발
- 프로그램 신뢰성 검증



[그림 1] 연구개발 목표

2. 연구개발의 필요성

- 최근 유럽의회의 산업위원회에서 2019년부터는 모든 신축 건물에서는 개별 건물이 사용하는 에너지를 스스로 충당할 수 있도록 하는 제로에너지 건물로 추진해야 한다는 법안을 통과시킴.(2009년 4월) 이 법안에 의해 유럽 연합 각 국가는 기존 건물에 대한 대책을 보고해야 하며 2015년 및 2020년 5년 단위로 각 국가의 제로에너지 건물로 전환할 수 있는 기존 건물의 비율을 국가 목표로 제시하도록 규정하고 있음.
- 제로에너지 건축물(ZEB)에 대한 정의는 통상 “Net Zero Energy Buildings(NZEB)” 개념으로 글로벌 또는 국가 차원의 제로에너지 관리를 위한 기준을 수립하도록 하고 있음.
 - ※ NZEB을 만족하기 위해서는 최대한 건물 자체의 에너지 효율을 높이고, 연간 사용된 일차에너지 소비량이 해당 건물부지 내에서 생산된 재생에너지보다 같거나 작아야 함.
- 국가에너지기본계획에서, 2030년까지 화석에너지의 비중을 83%에서 61%로 줄이고 신재생에너지의 비중을 현재 2.4%에서 11%까지 확대하겠다는 세부 목표를 설정. 건축물 분야에서는 에너지 총량제를 시행하고, 에너지 제로 건축물의 개발 보급을 확대하기로 하였으며, 이를 추진하기 위한 전략으로서 공공건물 신재생에너지 의무사용제도를 더욱 강화하고, 그린홈 100만호

공급 사업을 추진할 것으로 발표 함.

※ 정부에서는 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령에 따라 건축법 시행령에서 규정하는 다양한 용도의 건축물에 대해서 신축·증축 또는 개축하는 부분의 연면적이 1천㎡이상인 경우 예상 에너지사용량에 대비하여 일정 비율이상을 의무적으로 신재생에너지로 공급하도록 규정(2020년까지 단계적으로 공급의무비율이 연간 1%씩 증가하여 20%까지 늘어나가도록 규정)

■태양열, 태양광, 지열, 연료전지 등 신재생에너지를 활용한 주택을 2020년까지 100만호 건설 계획. 향후 도심지 내 신축 및 개축되는 모든 건물에서 태양광 등 신재생에너지 시스템의 도입이 일반화될 전망

■특히, 서울시는 2007년 4월 ‘친환경에너지선언’을 통해서 1.3%인 신재생에너지 이용률을 2020년 10%, 2030년 20%까지 확대하겠다는 목표를 제시하고 있음. 최근 “미니 태양광발전 보급 사업”을 시행하여 공동주택 발코니에 태양광 모듈 설치를 권장함으로써 에너지 자립 도시 구현을 위한 다각도의 노력을 기울이고 있음.

■또한 정부에서는 신재생에너지공급의무화(RPS, Renewable Portfolio Agreement)제도를 시행하면서 일정규모 이상의 발전사업자에게 총 발전량 중 일정량 이상을 신재생에너지 전력으로 공급토록 하는 것을 의무화하고 있으며, 이를 통해 태양광 산업의 집중육성 측면에서 시행초기 5년간 할당물량을 집중 배분함으로써 태양광시스템 보급을 의무화시킴.

※ 관련 규정에 따르면, 2015년도 이후에는 1,577GWh의 태양광발전설비를 의무적으로 공급해야 하며, 서울시는 2007년 4월 ‘친환경에너지선언’을 통해서 1.3%인 신재생에너지 이용률을 2020년 10%, 2030년 20%까지 확대하겠다는 목표를 제시

[표 1] 그린홈 100만호 사업의 개요

구분	‘04~’07년	‘08~’12년	‘13~’20년	합계
보급목표(호)	17,400	94,150	913,000	1,024,550
소요재원(억원)	2,280	13,300	137,530	153,080
에너지원별 보급목표	• 태양광 : 40만호 • 지열 : 10만호 • 바이오(우드펠렛) : 10만호		• 태양열 : 25만호 • 가정용 연료전지 : 10만호 • 소형풍력 : 5만호	

○ 도심지 내에서 인접 건물·지형으로 인한 태양광 시스템 보급의 장애

■최근 도심지에 건설되는 신축, 개축 건축물에서는 부지 내 여유 공간이 좁기 때문에 건물의 옥상이나 남측 입면에 건물일체형 태양광시스템(BIPV, Building Integrated Photovoltaic system)의 활용을 고려.

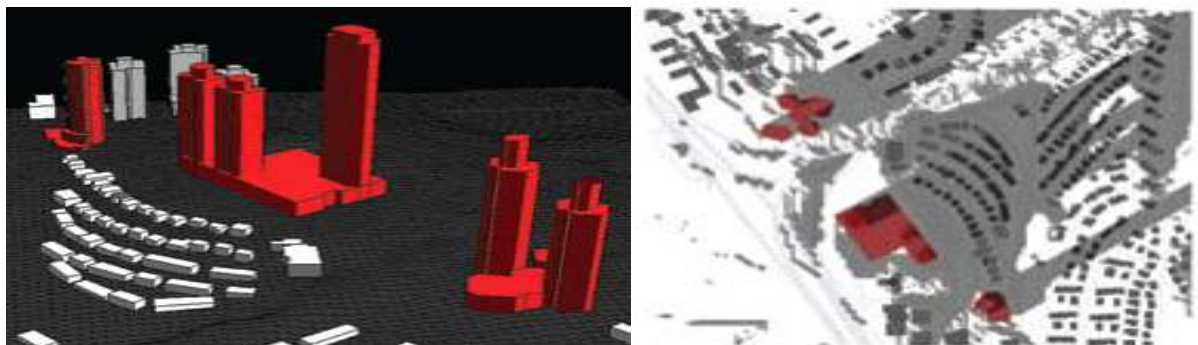
※ BIPV시스템의 장점 : 별도의 시설 설치 부지가 필요치 않아 실제 거주면적이 협소한 도심지 내 건물에 적합, 생산지와 소비지가 동일하여 송전 등의 전력 손실을 최소화, PV를 건물 외장재로 사용함으로써 초기 재료비용을 절약

■BIPV 시스템은 공공건물이나 산업용 건물, 공동주택의 외피(외벽, 창호, 지붕)나 비상계단, 난간에 적용되고 있으며, 이는 건물 외부 마감재(외장재, 지붕재, 창호재)와 PV 발전시스템 시장을 결합한 형태로서 향후 건물에너지 절약과 태양광발전의 보급의 활성화에 큰 비중을 차지할 것으로 판단됨.

■그러나 태양광 시스템은 건축물 설계 시 설치되는 방위나 경사도, 일사량, 온도, 그리고 음영 조건에 따라 성능에 있어 차이를 나타냄. 특히 인접 건물·지형으로 인해 태양전지 어레이 부분에 발생하는 음영은 태양광 시스템의 발전능력 저하에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소이다. 도심지에 태양광 시스템을 설치하는 경우, 인접 건물의 신축 또는 개축으로 인해 태양전지 어레이 부분에 음영이 발생함으로 인해 발전량에 큰 영향을 받을 수 있으며, 이는 태양광 시스템을 설치한 당사자에게는 재산상의 손해를 입힐 수 있음. 이러한 재산상의 피해 정도를 정량적

으로 파악하는 것은 당사자간 분쟁해소를 위해 반드시 필요함. 또한 공동주택을 대상으로 “미니 태양광발전 보급사업”을 추진함에 있어서도 단위 세대에서 설치 조건에 따라 인접건물에 의한 음영발생시 실제의 정확한 발전량을 정량적으로 평가하는 것이 필요한 실정.

- 일반적으로 PV모듈은 재료의 물성치, 생산방법, 설치방법, 표면오염도, 표면온도, 표면의 음영 조건 등 다양한 환경조건에 따라서 발전성능에 차이가 나타나기 때문에 설계 및 시공, 유지관리 단계에서 성능 평가 및 모니터링이 지속적으로 필요.
- 특히 태양광 모듈은 태양전지를 직렬로 연결하여 발전하는 특징을 가지고 있기 때문에, 태양광 모듈의 표면에 부분적으로 발생하는 음영으로 인해 태양광 모듈의 전체 발전성능에 큰 영향을 미칠 수 있음.
- 건물에 설치된 태양광 모듈은 다양한 원인에 의해 음영이 발생할 수 있으나, 건축면적이 제한적인 국내 현실을 감안할 때 도심지에서 태양광발전설비가 설치되는 경우 대부분 인접 건물·지형의 기하학적 형상에 의해 음영이 발생하게 됨. 이러한 음영현상은 건물의 형상, 배치, 위도, 고도 등 공간적 특성은 물론, 계절이나 시간적 특성에 따라서도 큰 차이를 나타내기 때문에, 태양광시스템을 건물에 적용하기 위해서는 음영으로 인한 태양광시스템의 발전량 저감 특성을 정량적으로 평가하기 위한 도구가 필요.
- 그러나 대부분의 도심지 내 건축물 설계에 있어서 태양광시스템을 적용하는 경우 이러한 정량적인 평가도구가 부재하기 때문에 실질적인 발전량의 예측이 불가능하고 인접 건물·지형으로 인한 영향을 무시한 채 단순히 설계 발전용량만을 감안하여 그림자의 영향을 받지 않는 정남향으로 설치되도록 권장되고 있는 실정.
- 또한 기존에 설치된 태양광시스템의 경우, 인접 건물의 신축으로 인해 발전량이 저해되더라도 발전량 피해에 대한 예측이나 정량적인 판단기준이 부재하여 객관적인 피해 규모를 일반 국민들에게 공지할 수 없는 현실.
- 이로 인해 건축설계 단계에서 태양광시스템의 발전효율에 대한 신뢰도가 떨어지게 되어 지속적인 유지관리 단계에서 경제성에 대한 예측이 어려움.



[그림 2] 인접 건물·지형의 영향으로 인한 태양광 시스템의 발전 성능 저하

○ 인접 건물·지형으로 인한 태양광 시스템 발전성능 저하에 대한 예측 기술 및 최적 설계 지원 시스템 개발 필요

- 태양광 시스템을 건물에 적용함에 있어서 다양한 설계 변수에 대한 평가 연구가 수행되었으며, 건축물 설계 단계에서 최적의 발전효율을 고려하여 규모 및 배치 계획을 수립 중.
- 그러나 지금까지는 해당 건물, 또는 단지에서 태양광 시스템의 계획에 대한 연구에 치중하였으며, 도심지 내에서 인접 건물·지형으로 인해 기존 건물에 설치된 태양광시스템에 음영이 발생하여 나타나는 연간 발전량의 저감 정도를 예측할 수 있는 평가 및 설계 도구 개발에 대한 연구는 수행되지 않았다. 또한 도심지 내에서 “미니 태양광발전 보급사업”과 같이 기존 주거건물에 태양광 보급을 위한 기초 원천연구는 아직까지 수행한 바가 없음.

- 현재 국내에서는 일조권(solar right)이 법적으로 단순히 환경권 측면에서 “동지일 기준 가조시간 연속 2시간 이상” 또는 “동지일 기준 가조시간 총 4시간 이상”이라는 판례에 근거하여 건축물을 설계하도록 규정함으로써, 건설회사와 소송인간의 분쟁을 조정하고 있으며, 인접건물에서 발생하는 재산상의 피해액에 대해서는 법률 전문가 및 일조권 해석 전문가를 통해 산정하여 해결 방안을 모색 중.
- 건물간의 인접 거리가 짧은 경우, 상당 기간 음영에 의한 영향을 받게 됨. 공동주택의 경우, 저층 주거에서는 특히 음영에 의한 영향이 크게 나타남. 국내에서는 단독주택 주변에 공동주택의 건축이 일반화되고, 주거지역 내 고층 아파트들이 들어서게 되면서 전통적 건축구조를 이루던 마당의 개념이 소멸하고 건축물과 건축물이 바로 인접하는 형태가 일반화되면서 건축물 상호간의 일조 침해를 유발하게 되고, 이를 통해 일조권 문제가 주거지역을 중심으로 심각한 사회문제로 부각.
- 법적인 관점에서 볼 때 일조권이란 햇빛을 볼 권리를 말하는 것으로, 헌법이 인정하는 환경권과 재산권 보장이란 측면에서 분쟁이 발생할 때 법적인 기준에 따라 손해배상소송이 처리되고 있음.
- 그러나 일반적인 일조권 분쟁에서와는 달리, 태양광 시스템과 같이 태양에너지를 활용하는 신재생에너지 시스템의 경우에는 일조량 피해가 발생함에 따라서 환경권으로서의 피해보다는 개인의 재산권에 대한 침해가 직접적으로 발생하기 때문에 향후 도시계획 차원에서 정부차원의 근본적인 해결방안이 제시될 필요가 있음.
- 정부에서는 2025년까지 제로에너지 건축물로 건설하도록 구체적인 정책을 수립하고 있음. 이러한 정책의 일환으로 향후 신축은 물론 기존 건축물에서도 태양광시스템은 보편적으로 설계에 반영되어 나갈 전망. 우리나라와 같이 도시화가 진행된 국가에서는 도심지 내에서 밀집되어 건설되는 고층 건물들로 인해 기존 인접 건물에서는 일조 방해가 필연적으로 발생하게 되며, 태양광시스템의 운영 기간동안 발전량이 크게 줄어들. 그러므로 이와 같이 인접 건물의 신축 또는 개축으로 인해 기존 건물의 태양광 시스템에서 발생하는 발전량의 피해를 정부 차원에서 객관적 기준에 따라 피해 정도를 정량적으로 평가할 수 있는 분석 도구가 요구됨.

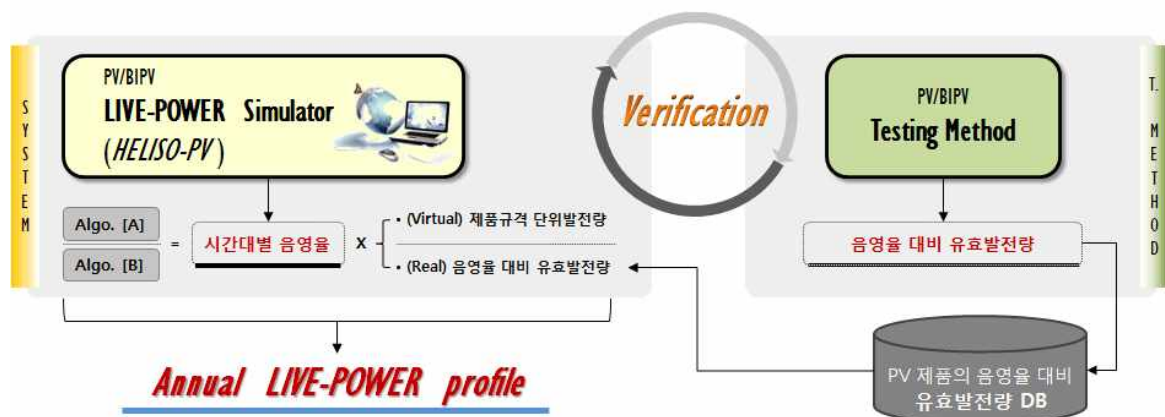
3. 연구개발 범위

가. 1차년도

음영발생에 따른 태양광 시스템의 유효발전량 시험법	■실측데이터 기반의 유효발전량 시험평가 및 모듈 신뢰성 검증 ■PV음영률 대비 유효발전량 정보체계(DB스키마) 작성
음영율을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 알고리즘	■ 선행연구 및 현황 조사 ■ 태양광시스템 발전량 예측 알고리즘 체계화
음영을 고려한 BIM기반 태양광시스템 발전 성능 예측 및 평가 프로그램	■ 시간별, 기간별 음영 시뮬레이션 ■ 음영률 산정기준 정립 및 음영 가중치 분석 ■ 음영률에 따른 발전량 프로그램 개발-1

나. 2차년도

음영발생에 따른 태양광 시스템의 유효발전량 시험법	■ PV 음영을 대비 유효발전량 정보 체계(DB 스키마) 작성 ■ PV 유효발전성능시험법 도출
음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 알고리즘	■ 태양광시스템 발전량 성능예측 알고리즘 최적화 ■ 태양광시스템 발전량 성능예측 알고리즘 신뢰성 검증
BIM기반 태양광시스템 발전 성능 예측 및 평가 프로그램 개발 시스템 검증 및 최적화	■ 음영률에 따른 발전량 프로그램 개발-2 ■ 프로그램 시운전 ■ 태양광발전 프로그램 결과물 분석



[그림 3] 연구개발 목표 및 정보 구축.활용 체계 개념도

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

■ 국가 연구개발사업 유사연구실적

- 본 과제와 관련하여 국토교통부 소관 연구개발사업 및 타 부처 연구개발사업으로 기 수행되었거나 수행 중인 유사과제와의 중복 여부에 대하여 조사 및 검토한 결과는 다음과 같음.

[표 2] 국가 연구개발사업 유사연구실적

분야	부처명	과제명	연구기간
일조권 분야	국토해양부	공동주택 설계 자동화의 일조분석 시스템 개발	1999-2001
	교육인적자원부	공동주택 설계요소가 인접지역 일조권에 미치는 영향에 관한 연구 - 일조시간 및 일조량을 중심으로	2003-2004
	교육인적자원부	일조, 조망 및 프라이버시를 고려한 시환경평가	2007-2008
	교육인적자원부	일반주거지역에서 일조를 고려한 지구단위계획 방법	2005-2006
	산업자원부	3D 평면도 DB 구축 및 일조/조망 분석시스템을 이용한 ASP서비스	2005-2006
	중소기업청	건축물 영구음영 영역을 해소할 수 있는 일조 공간 제어시스템 개발	2011-2012
	교육인적자원부	GIS를 이용한 도로의 일조영향 및 노면결빙구간 분석	2004-2005
태양광 시스템 분야	산업자원부	건물통합형 태양광발전 (BIPV)시스템의 최적화 기법 개발	2002-2003
	교육인적자원부	중대규모 건물 외장재 대체 BIPV(Building Integrated Photovoltaics) 시스템 개발	2006-2007
	산업자원부	중대형 규모 건물의 BIPV시스템 현장 실증 연구	2004-2006
	중소기업청	건축용 패널을 이용한 새로운 BIPV 개발	2010-2011
	중소기업청	국내 오피스건물에 적합한 BIPV 시스템의 국산화 및 디자인 개발	2006-2007
	교육과학기술부	초고층빌딩 BIPV 기술의 개발과 적용	2009-2010
	산업자원부	건물유형별 BIPV 표준설계	2007-2008
	지식경제부	건축물 에너지절약설계기준 충족을 위한 BIPV 설치기준 수립	2011-2012
	산업자원부	공공건물 태양광 발전시스템 실증연구	2004-2005
	중소기업청	건축창호 부착 가능한 태양광 발전장치 개발	2009-2010
	산업자원부	지붕재용 금속일체형 태양전지 모듈의 개발	2004-2007
	교육과학기술부	저에너지 발전 융복합 구동 창호시스템 개발에 관한 연구	2010-2015
	지식경제부	제로에너지건축기술 보급트랙	2011-2016
	교육과학기술부	Building Integrated Photovoltaic/ Thermal (BIPVT) Solar Collector의 건축설계 요소 연구	2011-2014
	지식경제부	에너지자립형 태양에너지 주택상용화 모델 개발	2007-2009
	지식경제부	태양광 발전보급 잠재량 조사를 통한 확대기반 조성	2010-2011

- 인접 건물 음영으로 인한 발전량 감소의 정도를 정량적으로 판단할 수 있는 도구가 없는 실정임
- 국내외에서 도심지 내 공동주택이나 관공서 등을 대상으로 태양광 시스템의 보급이 늘어나고 있다. 일반적으로 태양광시스템에서 발전량은 일사량과 외기온도 등 주변 환경조건과 인접 건물에 의한 음영 비율에 따라 달라지기 때문에 태양광시스템의 다양한 설치 조건에 따라 발전

량을 산출하는 것이 필요.

- 그러나 지금까지 인접 건물의 영향을 고려한 태양광 시스템의 발전 성능 예측 및 설계 지원을 위한 연구는 수행된 바가 없음.
- 기존 연구개발 과제는 본 제안과제와 관련하여 일조권 평가 분야와 태양광 시스템 기술 분야로 구분 됨. 태양광 시스템 기술 분야에서는 2000년대 초부터 태양광 시스템을 적용하기 위한 다양한 제품 개발 및 현장 실증, 설계 및 설치기준 수립, 인력 양성 등 다양한 형태로 기술 개발이 진행되어 옴.
- 반면 일조권 평가 분야에서는 공동주택 및 지구단위 계획에서 일조권의 영향을 분석하거나 다양한 형태의 일조권 문제를 해결하기 위한 장치를 개발하는 연구를 진행하였으며, 특히 최근에는 일조권을 조망권이나 프라이버시의 침해에 대한 형태로 연구 분야가 확장되고 있는 추세. 이는 종래의 일조권 개념이 환경권의 피해 측면에서 주로 다뤄져 왔던 것이 점차 재산권 침해의 문제로 확대되고 있으며, 다양한 측면에서 일조권 문제가 확대되고 있음을 나타내고 있다. 즉 사회가 변화해 가면서 건물에서 나타날 수 있는 일조권 문제가 점차 자신의 재산권 보호에 대한 문제로 확대되고 있음을 알 수 있음.

■ 연구개발과제의 차별화 방안

(인접 건물의 영향을 고려한 태양광시스템 발전성능 예측 기술 및 설계 지원 시스템 개발)

- 일조권 평가 도구 개발과 관련한 기존 연구에서는 법적인 기준을 만족시킬 수 있는지에 대한 정량적인 분석을 수행할 수 있도록 개발됨. 일반적으로 일조권 평가 방법에는 태양궤적도 분석, 일영도 분석을 활용. 태양궤적법의 경우, 가조시간에 대한 분석이 비교적 간단하고 분석에 요구되는 시간도 짧아 초기 설계시 매우 간단하게 적용되고 있음.
- 그러나 태양궤적도 분석은 일조분석에 있어서 일반적으로 세대 내 상호 중심에 있는 하나의 기준점을 대상으로 계산하고 있기 때문에, 복잡한 형태의 지붕구조물이나 건물에 대해서는 해석이 어렵고 오차 발생의 여지가 존재. 반면 일영도에 의한 분석방법은 전체 창면적에 대한 가조영역의 비율로 계산하는 방법으로 일조시간을 통상 10~30분 간격으로 분석.
- 일반적으로 태양광 시스템에서 발전량은 일사량과 외기온도 등 주변 환경조건과 인접 건물·지형에 의한 음영 비율에 따라 달라지기 때문에, 기존 일조 평가 방법에서의 가조시간에 대한 분석보다는 다양한 태양광시스템의 설치 조건에 따라 정확한 발전량을 산출하는 것이 필요. 그러므로 본 연구에서는 인접 건물 및 지형, 연중 태양고도, 방위각 및 일영각(Solar Profile Angle) 등을 종합적으로 반영하여, 태양광 시스템의 발전 성능을 정확히 예측하기 위한 기술과 설계 지원 시스템을 개발하고자 함.

(음영율에 따른 PV 유효발전성능 시험법 개발)

- PV모듈의 발전성능시험은 전 세계적으로 IEC61215 "지상 설치용 결정계 실리콘 태양전지(PV) 모듈-설계 적격성 확인 및 형식 승인 요구 사항" 기준과 IEC61646 "지상용 박막 PV모듈의 설계 요건과 형식 인증" 기준에 준하여 성능평가를 실시. 우리나라에서도 KS C IEC 61215 및 KS C IEC61646기준을 발행하여 신재생에너지 설비인증 제도를 운영. PV모듈의 발전성능은 인증시험에서도 합부를 결정하는 가장 중요한 시험항목(STC, standard test condition)
- STC에서의 PV모듈 발전성능시험은 시험시료에 대한 최대 전력을 결정하는 것을 목적으로 하기 때문에 시험의 재현성이 가장 중요한 요소. STC에서의 발전성능을 시험하기 위한 방법으로는 자연광원법과 인공광원법으로 나눌 수 있으나, 외부환경의 영향과 날씨 및 온도 등의 영향을 많이 받는 자연광원법은 시험의 재현성에 문제가 있어 많이 사용되고 있지 않으며, 실내에서 인공적으로 광원을 만들어 사용하는 인공광원법이 많이 사용.

- 그러나, 기존의 PV모듈 발전성능시험은 실사용 조건과 달리 주변 건물 음영에 대한 고려없이 성능평가를 실시하기 때문에 실제 유효발전성능을 평가하기에 한계가 따름. 즉, 표준 조건(STC)의 데이터 사용은 설계 시 발전량이 실제 유효발전량에 비해 과도하게 산정되는 문제점 초래.

2. 국내외 관련기술 특허동향

- 태양광발전 시스템은 태양전지를 직렬, 병렬로 여러 개를 연결하여 요구하는 전류, 전압을 낼 수 있도록 만든 태양전지 모듈과 직류를 교류로 전환하는 인버터(Inverter), 축전지로 구성되며 독립형과 계통연계형으로 나뉨. (독립형은 생산된 전기를 전선 망에 연결하지 않고 생산된 장소에서 사용하는 것을 말하며 계통연계형은 전선을 통해 전기를 받아들이거나 내보낼 수 있는 형태)
- 특허청에서 발표한 태양전지 분야 특허 등록 현황을 살펴보면 2010년 국내 277건, 해외 19건이었던 특허 등록 건수가 2011년 국내 502건, 해외 28건으로 급증. 2011년 특허청 주관으로 개최한 ‘태양전지 최신기술 및 특허동향 세미나’의 자료를 보면, 2005년 90건에 불과하던 국내 태양광 특허 출원 건수는 2006년 180건, 2007년 330건, 2008년 629건으로 급격한 증가양상을 보임. 국내 전체 특허 출원 중 41%가 대기업 중심으로 이루어 짐. 2007년부터 2010년까지 LG전자 및 LG이노텍의 특허 출원 비중이 가장 높았으며, 이어 현대중공업, 삼성전자, LG디스플레이 등 대기업 중심으로 특허 출원 비중을 차지.
- 최근 들어서는 건축물에서 태양광시스템 적용이 보급되면서, 중소기업이나 연구소, 대학 등을 12중심으로 BIPV관련 특허가 다수 출원. 이에 본 연구의 수행을 위해 태양광시스템기술 가운데 특허 BIPV관련 특허 동향을 조사하였으며, 주요 특허 기술을 요약 함 [표 4] (Kipris에서 keyword 검색 수행 결과, 국내 특허 407건, 미국 특허 331건, PCT 19건, 중국 28건, 독일 1건, 유럽 40건, 일본 21건, 캐나다 2건이 검색되었음.)

[표 3] 국내 유사특허 조사결과

특허명	등록번호	주요 내용
방위각센서를 이용한 B I P V 시스템 BIPV system using angle sensor	1012207230000	- BIPV벽체의 위치 및 방향을 측정하는 방위각센서가 구비되어 방위각 센서에서 송출된 측정값에 따라 BIPV벽체의 위치 및 방향을 기준으로 태양이 이동하는 궤적을 데이터베이스화한 프로그램이 제어장치에 내장 - 계절 및 시간의 흐름에 의해 태양의 변화된 위치에 대응되도록 솔라셀의 기울기가 가변 - BIPV벽체의 설치장소 및 설치각도에 구애받지 않고 태양광의 집적효율을 향상시켜 에너지효율을 높일 수 있음
BIPV 솔라 모듈을 이용한 지능형 빌딩 에너지 관리 시스템 Intelligent Building Energy Management System Using Building Integrated Photovoltaic	1013062990000	- BIPV 솔라 모듈을 이용한 지능형 빌딩 에너지 관리 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 축전지 및 접속반을 빌딩의 각 층별로 독립적으로 배치하고 해당 층의 BIPV 솔라 모듈과 연결 구성함으로써 각 층별 전력 사용량에 따라 독립적으로 동작하거나 제어함 - 화재 위험성이 큰 축전지의 분산 배치에 따른 안정성을 확보하며 각 층별 에너지 사용의 독립성을 확

System Solar Module		보하며, 복수의 층별로 독립 배치된 축전지 및 접속 반의 전력 사용을 중앙 제어하는 빌딩 전력 관리 서버를 구성 - 각 층별로 태양광 축전의 동작 제어 및 중지, 이상 상황 발생의 모니터링 및 전력 사용의 동작을 개별 제어하도록 하여 층별 에너지 사용의 효율성을 높이고, BIPV 솔라 모듈을 계절 또는 온도에 따라 빌딩과 이격 및 밀착하도록 구성함
BIPV용 유리 패널 Building Integrated Photovoltaic Glass Panel	1013178680000	- BIPV용 유리패널은, 전면유리판(Front glass panel), 전면유리판의 배면에 배치되는 후면유리판(Rear glass panel), 접합필름에 의해 전면유리판과 후면유리판 사이에 접합됨 - 수광면이 전면유리판을 향하도록 설치되는 태양광 모듈, 태양광모듈에서 생산된 전기를 집결하는 정선박스(Junction box), 정선박스와 연결되며, 태양광모듈에 의한 발전전압을 모니터링하기 위한 전압 측정부를 포함하는 BIPV 모니터링 모듈을 포함.
비아이피브이 모듈이 적용된 전동 블라인드 Gear blind using for BIPV module	1009170430000	- BIPV 모듈에서 발생된 전원에 의해 전동 블라인드를 작동시키는 비아이피브이 모듈이 적용된 전동 블라인드 - 전면판(front glass panel)과 후면판(rear glass panel)으로 이루어지는 복층유리의 내부에 설치되는 전동 블라인드에 있어서, 전동 블라인드의 내부에는 온도의 변화에 무관하게 원활히 작동되도록 불활성 기체인 아르곤(Argon) 가스가 채워지며, 전기를 발생하는 BIPV 모듈과 후면판 사이에는 구동모터에 의해 동작하는 복수의 슬랫으로 이루어진 전동 블라인드가 설치 - BIPV 모듈은 "전면판-접착판-솔라셀-접착판-보호유리"가 5층의 구조를 이루며 형성되고, 솔라셀은 빛을 투과하는 박막형 솔라셀로 구성되어 전면판의 좌·우 측면에 2열 또는 상·하 끝단에 2열로 배열되어 조망시야를 넓게 확보할 수 있도록 구성됨
가변 차양형 BIPV 시스템 및 그 시공 방법 ACTIVE SUNSHADE TYPE BIPV SYSTEM AND CONSTRUCTION METHOD FOR THE SAME	1012825180000	- 가변 차양형 BIPV 시스템은 태양광을 이용하여 전기를 생산하는 태양전지 모듈, 태양전지 모듈을 홀딩하는 홀더 프레임, 홀더 프레임에 체결되어 고정되는 회전축, 직선 운동을 통해 상기 태양전지 모듈의 틸팅(tilting) 각도를 조절하는 리니어 액추에이터, 회전축과 체결되고, 리니어 액추에이터로부터의 직선 운동을 회전 운동으로 바꾸어 상기 회전축을 회전시키는 링크 장치를 포함.
건물 일체형 태양광발전 모듈, 그리고 그의 마운트 조립체 building integrated photovoltaic, and	1012995350000	- 건물 일체형 태양광발전 모듈에 있어서, 특히 건물 등의 구조물에 설치가 용이하면서 유지 보수도 용이하게 구현된 건물 일체형 태양광발전 모듈과 그의 마운트 조립체에 관한 것 - 태양광에너지를 전기에너지로 변환하는 태양광발전 패널과, 상기 태양광발전 패널의 후면 외곽에 일체

mount structure thereof	결합되는 금속바와, 상기 태양광발전 패널과 상기 금속바를 결합시키되 상기 태양광발전 패널과 상기 금속바를 1차 결합시키는 스페이서 폼 테이프(Spacer foam tape)와 상기 스페이서 폼 테이프에 의해 1차 결합된 부위를 제외한 틈을 도포하여 상기 태양광발전 패널과 상기 금속바를 2차 결합시키는 구조용 실리콘으로 구성됨 - 태양광에너지를 전기에너지로 변환하는 태양광발전 패널과 상기 태양광발전 패널의 후면 외곽에 일체 결합되는 금속바로 각각 구성되는 복수 개의 건물 일체형 태양광발전 모듈과, 상기 복수 개의 건물 일체형 태양광발전 모듈 중 한 쌍이 일정 거리 이격되게 평행 배치된 상태에서 상기 한 쌍의 건물 일체형 태양광발전 모듈들에 결합된 한 쌍의 금속바들을 건물 구조체에 압박 체결시키는 고정 클립을 포함하여 구성되는 건물 일체형 태양광발전 모듈의 마운트 조립체가 또한 특징인 발명이다.
비아이피브이 스트링 유니트 모듈 BIPV String Unit Module	1009129040000 - 본 발명은 건물의 외벽 또는 도로방음벽에 설치되어 태양광을 수집하고 전기를 생산할 수 있는 비아이피브이 스트링 유니트(BIPV SU ; Building integrated photovoltaic string unit) 모듈에 관한 것 - 종래의 BIPV 시스템은 적용이 제한되고, 설치단계에서 결합과정이 복잡하여 시공이 용이하지 못하다는 문제점이 있는데, 이를 해결하기 위하여 본 발명은 상측에는 걸림고리가 형성되고 전면에 태양광 발전을 위한 복수의 피브이(PV; photovoltaic) 모듈이 결합된 상판과 상판의 하측에 내측으로 기울어져 형성되어, 하측에는 걸림구가 형성된 하판으로 구성됨
교체가 용이한 다기능성 태양광 발전 창작 시스템 Easily Replaceable Multi Functional BIPV Window System	1010231670000 - 본 발명은 건물 벽체의 개구부에 설치되는 창호프레임, 창호프레임의 전면부에 설치되는 외부창, 창호프레임의 후면부에 탈착 가능하게 설치되며 외부창과 이격되어 공간부를 형성하는 내부창을 포함하여 구성 - 내부창은 공간부에 접하는 제2유리, 제2유리와 접합되는 제3유리, 제2유리와 제3유리 사이에 배열되어 제2유리 및 제3유리와 함께 접합되는 태양전지셀, 제3유리와 이격되어 중공층을 형성하도록 제3유리에 접합되어 제3유리와 함께 페어글래스를 형성하는 제4유리로 이루어지는 것을 특징으로 함

3. 국내외 기술개발현황 분석결과

- 최근 전세계 태양광 보급은 현재 결정질 실리콘 태양전지를 중심으로 가정용, 공공건물용 및 발전소용의 형태로 이루어지고 있음. 박막태양전지(a-Si, CdTe, CIGS 등)가 상용화되면서 건물 외장에 설치하여 에너지를 생산하는 BIPV(건물통합형 태양광발전시스템)를 확대하기 위한 다양한 연구개발이 진행되고 있고 이와 함께 설치 규격 표준화 및 시험인증에 대한 검토도 선진

국을 중심으로 매우 활발히 이루어지고 있음. (BIPV가 다양한 형태로 건축물에 적용될 수 있고 에너지 소비량이 많은 도심 건물에서 에너지를 생산함으로써 건축물의 총에너지 소비량을 크게 절감할 수 있기 때문)

- 우리나라와 같이 도심 건축물의 에너지 사용량이 많은 국가에서는 건물통합형 태양광발전시스템을 도입이 필수적이므로, BIPV의 설치 및 보급을 활성화하기 위해서는 기술개발과 함께 발전성능에 대한 예측 및 성능 자료를 구축해 나가는 것이 필요함. BIPV 제품 단위의 기술 표준화 및 시험인증에 대한 방안은 물론, 실제 인접 건물이나 지형 등 제약조건하에서 발전성능에 대한 예측을 통해 설계 단계에서 도심지 내 건축물에서의 태양광시스템의 설계가 이뤄져야 할 것으로 판단됨.
- 국내에서도 박막태양전지의 양산제품(LG이노텍-삼성SDI-현대아반시스-대양금속(CIGS), 동진썬미켄(염료감응) 등)이 출시될 전망이기 때문에, 현 시점에서 국내 박막태양전지 시장의 확보 및 해외 수출시장의 선점을 위한 노력이 필요. 이를 위해 국내 도심지 내 다양한 건축물에서 태양광시스템의 보급을 확대함으로써 태양전지의 내수 기반을 확보해 나가는 것이 필요. 도심지 내에 태양광시스템을 설치하는 경우에 설계 단계에서 발전효율에 영향을 미칠 수 있는 문제점을 사전에 파악하고, 설계자나 시공자는 물론 발주자에게 관련 정보를 제공하는 것이 요구되며, 이를 효율적으로 지원하기 위해서는 정부 차원의 표준화된 설계 도구의 개발이 요구됨.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구개발 핵심성과

가. 총괄 성과목표 및 성과지표 (성과점검 기준표)

핵심연구성과 (level1)	단위 성과 (level2)	최종 성과점검기준					정량목표
		질적성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중 치	
음영발생에 따른 태양광 시스템의 유효발전량 시험법	음영발생에 따른 PV 유효발전성능 정보체계	PV 음영율 대비 유효발전량 정보 체계(DB 스키마) 작성	Data Sheet 제공	해당 없음	보고서	3	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급 학술지: <u> </u> 건 일반학술지: <u> 2 </u> 건 학술회의: <u> </u> 건 시제품: <u> </u> 건 S/W: <u> </u> 건 기타: <u> 1 </u> 건
	음영발생에 따른 PV 유효발전성능 시험법	PV 유효발전 성능시험법 도출	KC인증 기준수립	규격 무결성 검증	시험	4	
음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 알고리즘	발전량 예측 알고리즘	발전량 예측 알고리즘의 정확도 (오차범위)	5%	시험	계산결과 와 비교	6.5	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급 학술지: <u> 1 </u> 건 일반학술지: <u> 1 </u> 건 학술회의: <u> </u> 건 시제품: <u> </u> 건 S/W: <u> </u> 건 기타: <u> </u> 건
BIM기반 태양광시스템 발전 성능 예측 및 평가 프로그램 개발 시스템 검증 및 최적화	BIM기반 태양광시스템 음영률 산정 프로그램 개발	음영률에 따른 발전량 프로그램 개발	1분 이내	분석시 간	S/W	5.5	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급 학술지: <u> </u> 건 일반학술지: <u> </u> 건 학술회의: <u> </u> 건 시제품: <u> </u> 건 S/W: <u> 1 </u> 건 기타: <u> </u> 건
	시스템 검증 및 최적화	태양광발전 프로그램 결과의 정확도 (오차범위)	10%	시험	보고서	1	
계						20	특허: 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 SCI(E)급 학술지: <u> 1 </u> 건 일반학술지: <u> 3 </u> 건 학술회의: <u> </u> 건 시제품: <u> </u> 건 S/W: <u> 1 </u> 건 기타: <u> 1 </u> 건

나. 성과리스트

핵심성과물	성과유형	해당과제
음영율에 따른 PV 유효발전성능 시험법	시험법	■ 음영발생에 따른 태양광 시스템의 유효발전량 시험법
음영율에 따른 PV 유효발전성능 예측 및 설계지원 시스템	소프트웨어	■ 음영을 고려한 태양광시스템의 유효 발전량 예측 및 평가·설계 지원 시스 템 개발 (HELIOS-PV)

다. 핵심성과물 별 세부기준

○ 음영발생에 따른 태양광 시스템의 유효발전량 시험법

정의	- 인접 건물·지형을 고려하여 태양광모듈에 발생하는 음영조건에 따라 발전성능의 차이를 정량적으로 비교 평가할 수 있는 시험법
목적	- 태양광시스템을 도입하는 건축물에서 인접 건물을 고려한 실제 발전성능에 대한 예측 서비스를 제공함
성능목표	(기준기술 수준) - 실험실에서 표준 조건(STC) 하에서 발전성능을 평가함. (개발기술 수준) - 음영 조건에서의 발전성능 저하를 고려한 시험법을 구축함.
성과달성 확인방법	- 국내외 태양광모듈의 제품사례에 기반한 발전성능 시험법 구축 여부.

○ 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 및 평가설계 지원 시스템 개발 (HELIOS-PV)

정의	- 수치해석적 방법에 의해 인접 건물의 영향을 고려한 정확한 발전량을 계산 및 예측하기 위한 성능 예측 도구 개발
목적	- 인접 건물·지형을 고려하여 태양광시스템 발전성능 예측을 위한 표준 적인 설계 도구 활용하여 설계 단계에서 태양광 발전성능을 평가함.
성능목표	(기준기술 수준) - 설계시 PV제품의 사양서를 기준으로 발전량을 수작업으로 계산하거나, 기 존 상용 태양광 프로그램은 단순히 음영면적 등에 기반하여 유효발전량을 예측 (개발기술 수준) - 인접 건물을 고려한 태양광시스템 발전성능 예측을 위한 음영조건에 따른 유효발전량 성능 DB 기반 표준적인 설계 도구 활용
성과달성 확인방법	- 국내외 태양광모듈의 제품사례에 기반한 발전성능 시험법 구축 여부.

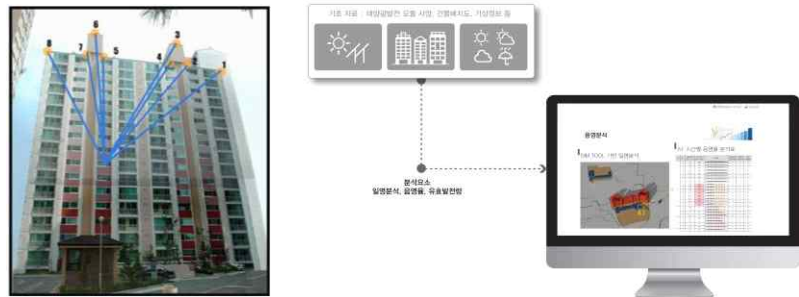
라. 핵심성과물 검증방안

○ 유효발전량 예측 알고리즘 및 설계지원시스템 검증

■ 기하학적 모델링 정확도 검증

검증 방법	- 주변건물에 대하여 3차원 광과측정기로 측정한 결과와 입력된 건물 기하정보 결과 비교를 통한 모델러의 데이터 신뢰성 검증 (BIM TOOL에 adds on기능(plugin)으로 구현함을 기본구상으로 함)
입력 Data	- 건물형상, 배치도, 태양광발전 모듈사양, 지역 기상자료
분석내용	- 일영, 음영율, 유효발전량 등이 분석됨
	- 일영분석 3d모델과 해당지역의 음영율 분석 결과표 생성

결과 내용 표시



[그림 4] 유효발전량 예측 시스템

■ 시뮬레이션의 예측값과 시험의 실측값 비교를 통한 PV제품 유효발전량 신뢰도 검증

- 모델링에 의해 예측한 유효발전량과 시험측정 유효발전량의 결과 값 비교

○ 음영 고려 PV유효발전성능 시험법의 검증

소재/부품평가	- Glass, EVA, Back, sheet Ribbon, Frame 내구 신뢰성 평가
BIPV 실내 성능평가	- 신재생 설비 심사기준을 토대로, 인접건물의 음영모사 - 불투명 암막을 활용하여 PV모듈의 음영률 조절 (범위 : 0%~100%)
	- 유효발전성능 DB를 기반으로, 시험 결과 값과 비교/검증

시험법의 검증



[그림 5] PV모듈 유효발전성능 시험법 검증 방법

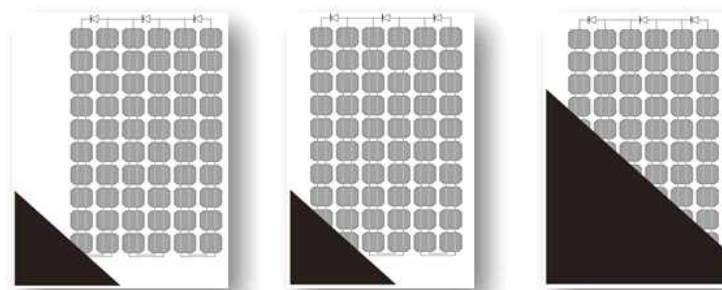
2. 연구개발 성과내용

가. 시험법 도출을 위한 음영조건에 따른 발전성능 검증

- 태양광모듈에 발생하는 음영조건에 따라 발전성능의 차이를 정량적으로 비교 평가할 수 있는 시험법 도출을 위해, 음영조건에 따른 유효발전량 시험 평가 및 모듈 신뢰성 검증하고 태양광발전시스템의 음영을 대비 유효발전량 정보 체계(DB 스키마) 도출함.

■ 실험 개요

- 환경조건 변화(음영비율/음영위치/조사강도)에 따른 PV모듈의 발전성능 특성 분석
- 대상선정 : 실리콘 PV의 국내시장점유율(단결정 32%, 다결정 53%) 및 전기회로구성의 보편성을 고려하여 단결정 및 다결정 PV 모듈(Bypass Diode 3, 직렬연결)로 선정
 - ※ 단결정/다결정 모듈 각각에 대한 시험 CASE 동일
- KS C IEC 61215 ‘10.2 최대전력결정실험’에 따라 실험 진행
- 실제 음영패턴 및 일사강도를 고려하여 실험 Case를 도출
 - ※ cell 단위 → sub-string 단위 → 음영 위치 변화



[그림 6] 음영조건에 따른 발전성능 검증실험

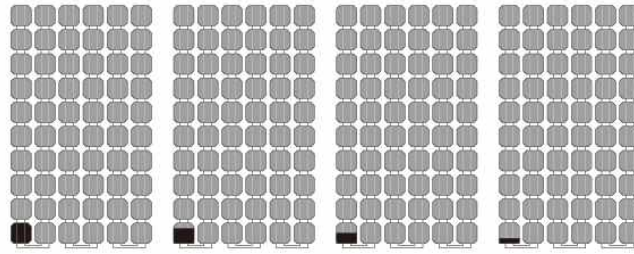
■ 실험 조건

[표 6] 음영성능시험 조건

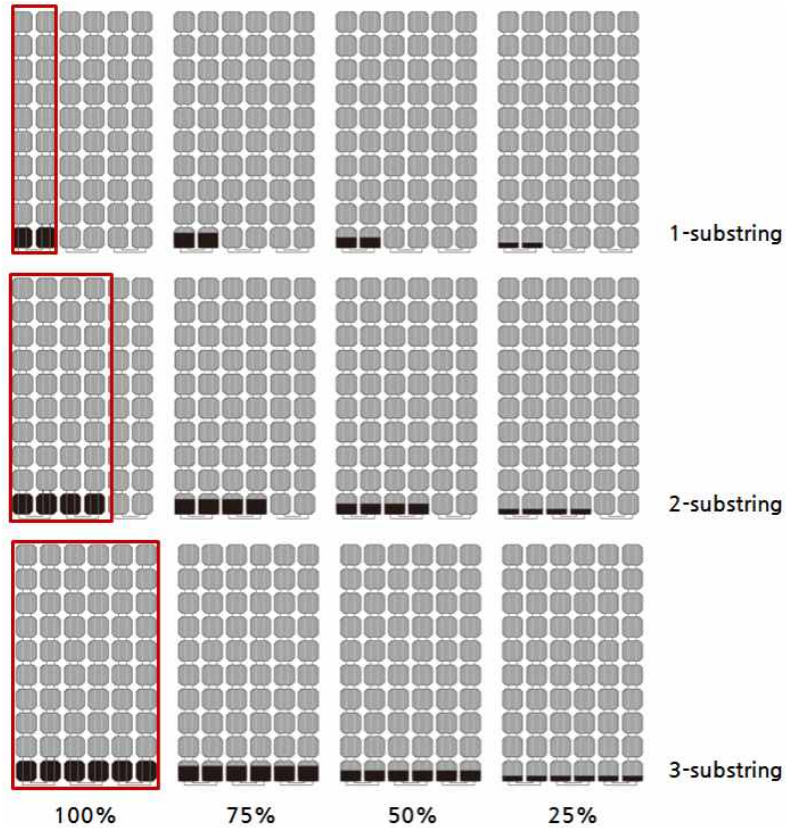
구분	바이패스 다이오드 無	바이패스 다이오드 有
case 1	음영비율에 따른 발전량	
	- Cell 단위 (Cell 음영 100%, 75%, 50%, 25%) - Sub-String 단위 (Sub-String 누적, Cell 음영 100%, 75%, 50%, 25%)	
case 2	음영 위치에 따른 발전량	
case 3	조사강도 변화에 따른 발전량 (1000 W/m ² ~ 200 W/m ²)	

< Case 1. 음영 비율에 따른 발전량 >

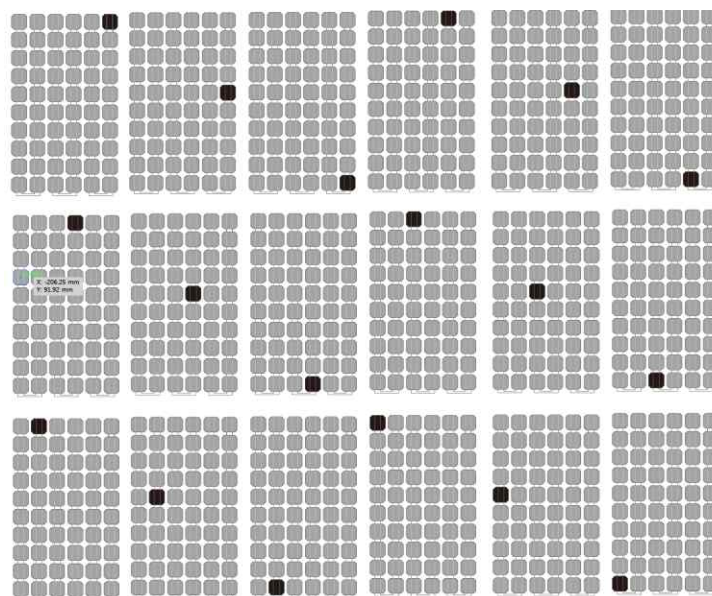
- Cell 단위 (Cell 음영 100%, 75%, 50%, 25%)



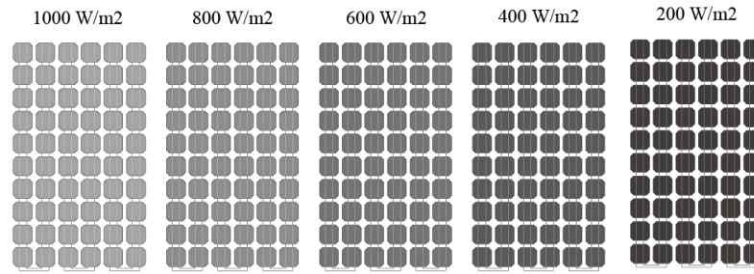
- Cell + String 단위 (Sub-String 누적, Cell 음영 100%, 75%, 50%, 25%)



< Case 2. 음영 위치에 따른 발전량 >

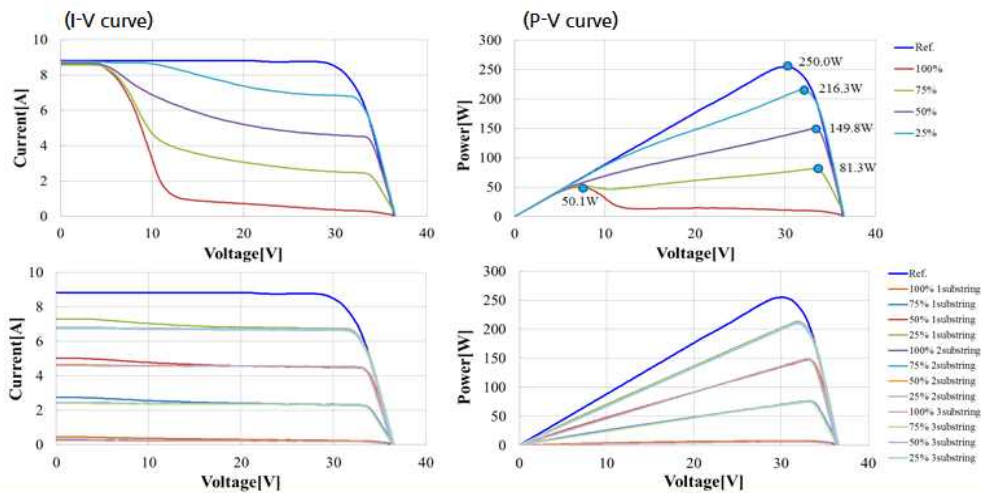


< Case 3. 조사강도 변화에 따른 발전량(1000 ~ 200 W/m²) >

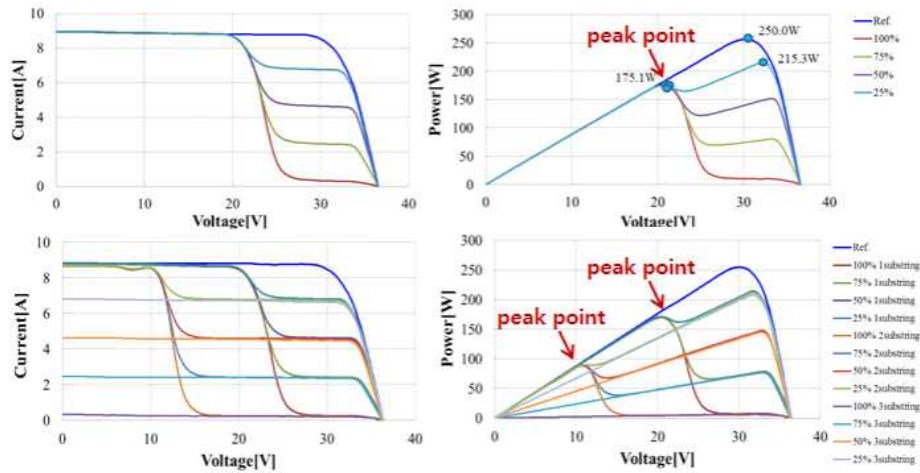


■ 실험 결과 요약

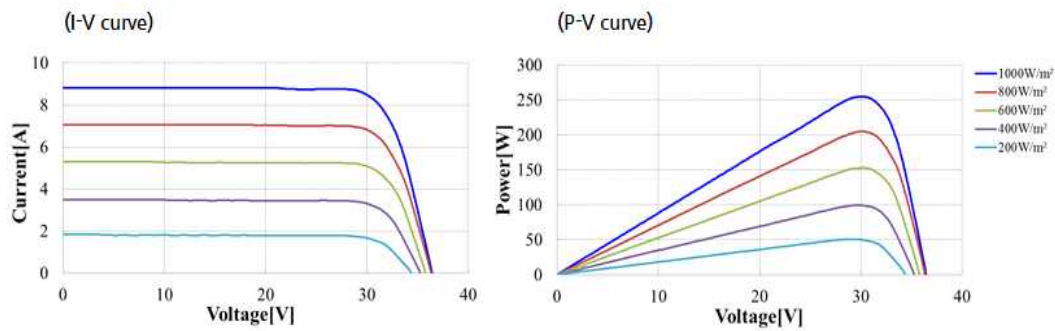
- BD 유무에 따라 PV 모듈의 발전성능 특성이 매우 다르게 나타남
 - 바이패스다이오드 유/무에 따른 각각의 시험평가 및 성능 data 제공 필요
- BD가 미설치된 경우, 1개 cell의 음영(100%,75%,50%,25%)에 따른 출력저하 양상과 2개 이상 cell의 음영에 따른 출력저하 양상이 동일
 - BD가 미설치된 경우, Cell 단위 음영시험에 따른 성능 곡선 제공 필요
- BD가 설치된 경우, 1) substring단위 음영에 따라 성능저하 발생 2) 특정 음영율에서의 Pmax값 일정
 - BD가 설치된 경우, Peak Point가 나타나는 음영율(1substring: 약 40%, 2substring: 약 60%)에서의 성능 data 제공 필요
 - BD가 설치된 경우, Peak Point가 나타나는 음영율 이하(1substring: < 40%, 2substring: < 60%)의 성능 data 제공 필요
- PV발전량은 조사강도에 비례
 - 200W/m²단위로 성능곡선 제공 필요



부분음영에 따른 실험 결과 (Bypass Diodes X)

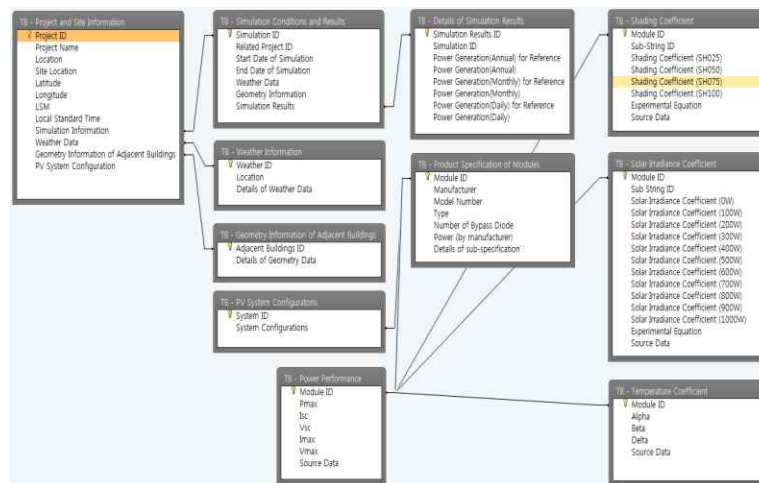


부분음영에 따른 실험 결과 (Bypass Diodes O)



조사강도에 따른 실험 결과

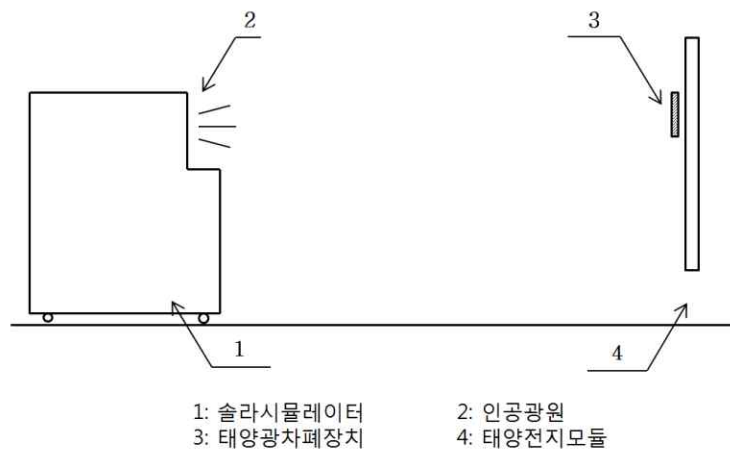
- 실측데이터 기반 PV음영을 대비 유효발전량 정보 체계 (DB 스키마)
 - 정보체계(Data Schema) 설계 원칙
 - (1) Group [1]: 프로젝트 기본 정보
 - (2) Group [2]: Module 단위의 성능 계수 정보 (시험 기반 데이터)
 - (3) Group [3]: 태양광시스템 적용 대상에서의 음영 고려 유효발전량 예측 결과 정보
 - 그룹별 정의 및 설계



[그림 10] 그룹별 정의 및 설계 결과

나. 실리콘 결정계 태양광 모듈의 음영성능 시험법 구축

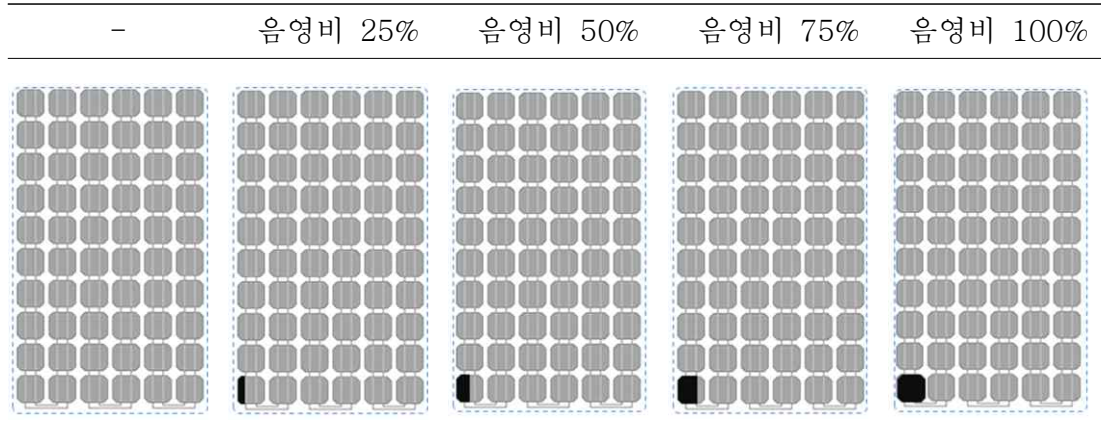
- 음영시험의 솔라 시뮬레이터는 태양광발전 모듈의 발전성능을 옥내에서 시험하기 위한 인공광원이며, KS C IEC 60904-9에서 규정하는 방사조도 $\pm 2\%$ 이내의 A등급 이상으로 함.
- 인공 태양조명은 KS C IEC 60904-2에 정의된 태양광 기준 장치는 KS C IEC 60904-10에서 $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \sim 1100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 범위의 조사강도에서 정의한 단락 전류에 대해 선형이어야 함.
- 이 시험은 태양광 모듈 패널 표면에 음영발생 시 모듈의 최대 출력을 결정하는 것을 목적으로 한다. 환경 시험 전후에 모듈의 최대 출력을 결정하는 시험으로 인공광원법에 의해 태양광발전 모듈의 I-V 특성 시험을 수행하며, AM 1.5, 방사조도 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 의 기준에서 수행함.
- 온도 25°C 조건에서 기준태양전지를 이용하여 시험을 실시하여 개방전압(V_{oc}), 단락전류(I_{sc}), 최대 전압(V_{max}), 최대전류(I_{max}), 최대 출력(P_{max}), 곡선율(FF) 및 효율(Eff)을 측정한다. 이 시험은 재현성이 가장 중요한 요소로서 KS C IEC 60904-9의 솔라시뮬레이터(solar simulator)를 사용하여 KS C IEC 60904-1의 시험방법에 따라 시험을 수행함.
- 시료의 적합성 판정 근거는 다음과 같음.
 - 시료의 평균출력은 정격출력 이상일 것
 - 출력 균일도는 평균출력의 $+3\%$ 이상일 것
 - 최종 환경시험 후 최대출력의 열화는 최초 값의 -8% 를 초과하지 않을 것



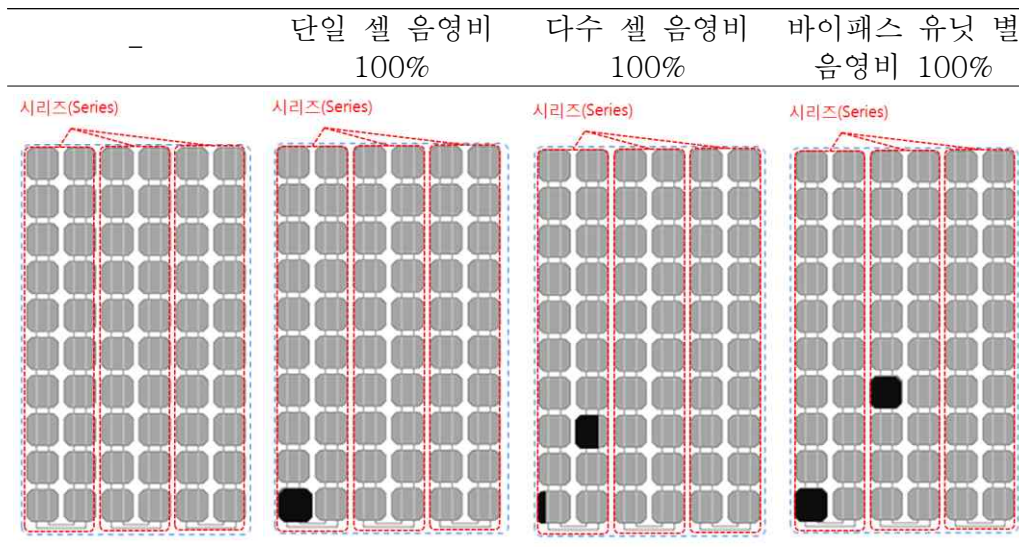
[그림 11] 실리콘 결정계 태양광모듈의 발전성능 시험장치

- 다결정 모듈의 발전량이 '0'을 초과하는 조건에서 태양광 모듈의 셀을 대상으로 음영율 0%, 25%, 50%, 75%, 100% 조건에서 모듈의 발전량을 측정한다. 또한 복수(2개 이상) 개의 셀에 음영이 드리워진 경우에 대하여 바이패스 다이오드의 설치에 따른 바이패스 유닛 단위 별 음영조건에 대한 시험을 수행한다.

- 셀 단위 모듈의 음영성능 시험



- 바이패스 유닛 단위 음영성능 시험



- 명시된 시험방법을 토대로 태양전지모듈의 바이패스 유닛 내의 최대 음영율을 갖는 셀의 음영율을 기준으로 ‘음영성능계수(CSH)’를 정의할 수 있음.
- 여기에서 ‘음영성능계수(CSH)’를 결정하는 성능시험 과정에서 셀의 음영을 변화는 바이패스가 설치되지 않은 모듈은 25% 단위로, 바이패스가 설치된 모듈은 10% 단위로 성능계수가 산출되고, 그 사이의 값은 선형보간하여 사용하기를 제언함.
- 태양광 모듈의 발전량은 모듈을 구성하는 시리즈(Series)들의 발전량 총합으로 결정되며, 이는 다음 수식과 같이 정의함.

$$P_M = \sum_{i=1}^n P_{S(i)}$$

P_M : 모듈의 유효발전량(출력) (W)

n : 바이패스 다이오드 개수(시리즈(Series) 그룹 개수)

$P_{S(i)}$: i 번째 ‘Series’ 그룹의 음영에 따른 유효발전량(출력) (W)

$$C_{SH} = \frac{P_S}{P_{S[Ref]}}$$

- C_{SH} : 음영성능계수 [$0.0 \leq C_{SH} \leq 1.0$]
 P_S : 시리즈(Series) 그룹의 음영율에 따른 유효발전량(출력) (W)
 $P_{S[Ref]}$: 시리즈(Series) 그룹의 최대발전량(출력) (음영율 0%인 조건) (W)

$$P_M = \sum_{i=1}^n P_{S(i)} \cdot C_{SH} = \sum_{i=1}^n \frac{P_N}{n} \cdot C_{SH}$$

- P_M : 모듈의 유효발전량(출력) (W)
 n : 바이패스 다이오드 개수(시리즈(Series) 그룹 개수)
 $P_{S(i)}$: i 번째 시리즈(Series) 그룹의 음영에 따른 유효발전량(출력) (W)
 P_N : 음영율이 0%일 때 모듈 최대발전량(출력) 또는 제품정보에 명시된 모듈의 정격표준발전량(출력) (W)
 C_{SH} : 음영성능계수 [$0.0 \leq C_{SH} \leq 1.0$]

다. 음영율을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 알고리즘

○ 태양광 시스템의 유효발전량 실측을 통한 음영 영향 분석

■ 태양광시스템의 구성

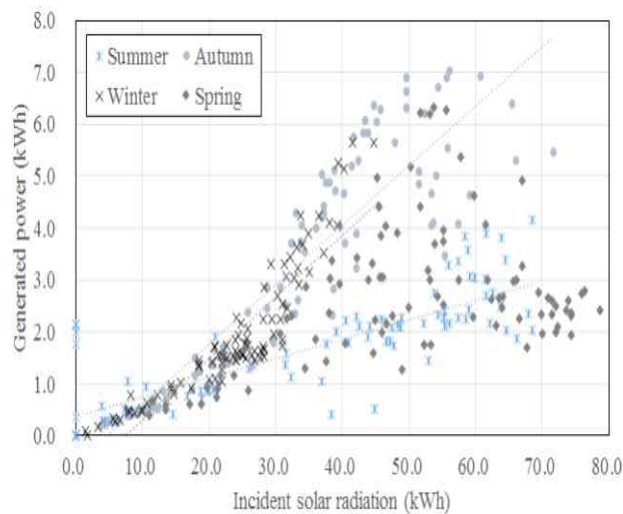
- 태양광시스템은 태양광 어레이와 인버터(PCS, Power Conditioning System) 등 전기설비로 구성되며 축전지나 기간 전력망 또는 전기기기로 전력을 보냄.
- 태양광 어레이는 태양광 모듈의 조합으로서 규모 측면에서 수 m²에서 수백 m²까지 매우 다양하게 시공되고 있으며, 발전량에 있어서도 수백 kW에 이르기까지 다양함.
- 태양광 모듈은 태양광 셀이 하나의 패널 형태로 제작된 것으로서 일반적인 태양광 모듈은 대략 1m 내외의 크기를 가지며, 100~300W 내외의 발전량을 가짐. 특히 결정질 실리콘 태양광 셀(태양전지)단결정 셀은 12.7cm(5inch), 다결정 셀은 15.24cm(6inch)의 크기를 가지며, STC(Standard Test Condition) 조건에서 발전량이 대략 2.5~4.0W 규모로 매우 작기 때문에 다수의 셀을 직렬, 또는 병렬로 연결하여 모듈로 구성함.
- 일반적으로 설치 공간이 협소한 도심에서는 건물의 지붕이나 벽, 창호 등에 적용되는 건물 통합형 태양광 발전 시스템(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)이 설계 대안으로 고려됨.
- 현재 보급되고 있는 BIPV 시스템은 지붕형, 입면형, 루버형으로 크게 구분할 수 있으며 건축적 요구조건 등에 따라 다양한 형태로 디자인에 반영되고 있음.

■ 실측 개요

- 음영으로 인한 발전량 저하 현황을 분석하기 위해 실제 서울 도심 지역에 설치된 태양광시스템을 대상으로 연간에 대한 실측 데이터를 분석
- 평가 대상 PV 시스템 : 루버형 BIPV(building integrated photovoltaic)
태양전지 모듈은 직렬로 연결된 5개 혹은 6개의 단결정 태양전지 셀로 구성

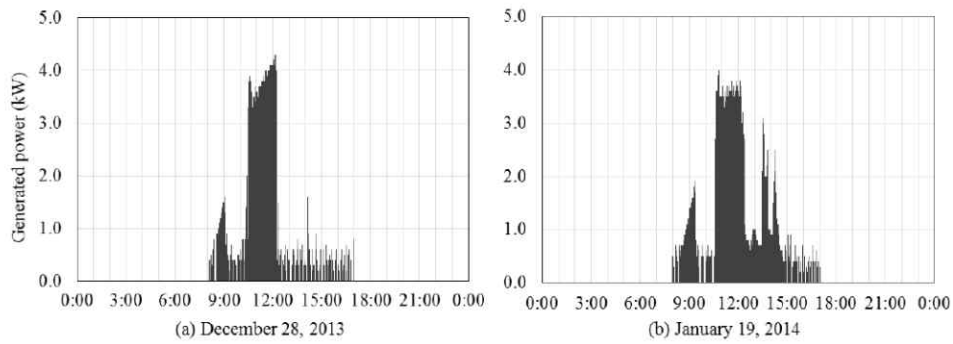
■ 실측 결과

- 발전효율의 월 평균값은 10월이 11.6 %로 가장 크고 5월이 3.5 %로 가장 작게 나타남.
- 연간 최대 발전효율은 15.0 %로 7월에 나타남.
- 연간 최소 발전효율은 발전이 되지 않은 2월을 제외하면 6월에 1.1 %로 가장 낮음.
- 연간 평균 발전효율이 6.8 %이며, 일반적인 단결정 태양전지의 양산 효율을 14 ~ 18 % 범위로 볼 때, 실측을 진행한 BIPV array의 효율은 다소 낮은 수준임.

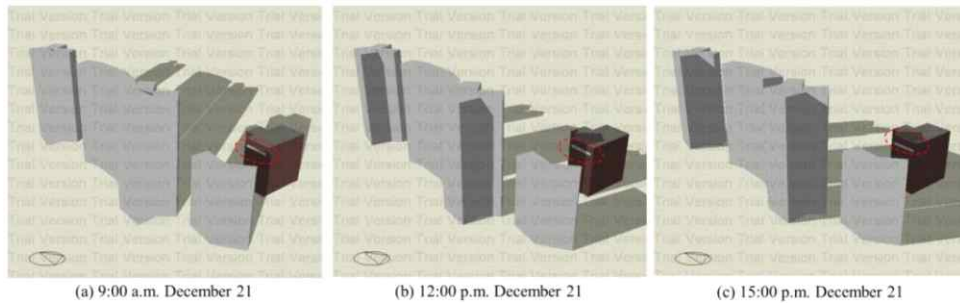


[그림12] 계절별 누적 일사량에 따른 누적 발전량 비교

- 음영으로 인한 발전량 저하 현황 : 설치된 입면의 남측에 배치된 고층 건물로 인한 음영으로 겨울철 BIPV 시스템 발전량 저하가 야기됨. 오전에 점차 증가하던 발전량이 특정 시간대에 저하되었다 정오경 최대치를 나타내고 그 이후 다시 저하됨.
- 원인 분석 : 태양고도가 가장 낮은 동지일을 기준으로 음영 분석을 수행한 결과, 일출 이후 오전 9시에서 10시 사이 부분적으로 인접 건물에 의한 음영이 생기며, 오후 12시경 이후로는 일몰까지 계속 음영이 발생



(1) 동계 음영으로 인한 발전량 저하 평가



(2) 동계 음영 평가

[그림13] 음영으로 인한 유효 발전량 실측 평가

○ 기존 태양광시스템의 발전량 해석 이론

■ 단순 시뮬레이션 모델

- 태양광 어레이 단위에서 모든 모듈, 또는 모듈 단위에서 모든 셀이 동일한 I-V 특성곡선을 갖는다고 가정함.
- 전체 발전량은 하나의 태양광 셀의 비선형적인 I-V 특성을 비례하여 구할 수 있음.
- 단순 시뮬레이션 모델은 단순한 케이스에서 기본적인 분석만 수행이 가능함. 즉 모듈이나 셀의 다양한 특성 변화나 연결 방식에 대해 반영할 수 없음.
- 일반적으로 비대칭 스트링(asymmetry strings), 부분적인 음영(partial shading), 바이패스 다이오드의 영향 등에 대해 분석할 수 없음.
- SAM photovoltaic model : 기존 연구¹⁾에서는 아래의 식과 같이 PV모듈의 효율과 셀 온도를 이용하여 P값을 예측함.

$$G = G_b + f_d(G_d + G_r)$$

$$P_{dc,m} = G \cdot \eta_m A_m \frac{T_{mp,ref}}{100} (T_c - 25)$$

■ 등가 회로 모델(Equivalent circuits model)

- 일반적인 상용 컴포넌트 기반의 전자공학 시뮬레이션 응용 프로그램을 이용하여 태양광 어레이 해석을 수행함.
- 수치 해석 방법을 통해 비선형 방정식의 해를 도출함. 사용자 입장에서는 수치 방정식의 해를 도출할 필요가 없으며, 어느 정도 단순 모델링 방법의 한계점을 극복할 수 있음.

1) P. Gilman, SAM photovoltaic model technical reference, National Renewable Energy Laboratory

- 등가 회로 모델도 태양광 어레이의 기하학적 정보에 대한 물리적 구성을 해석하는 것은 불가능하며 태양광 어레이나 모듈의 일반적인 모델링 접근 방법은 아님.
- 태양광 어레이 단위에서 발전량 예측을 위한 일반적인 모델을 유도하는 방법은 태양광 어레이 또는 모듈 단위에서 비선형 방정식의 해를 도출해야 하는 과정을 포함함.
- 이러한 방법을 통해 부정합효과(mismatch effect)에 대한 영향을 고려하여 태양광 어레이나 모듈의 정확한 I-V 관계식 유도할 수 있으나, 일반적으로 이러한 방정식을 유도하여 해를 구하는 것은 매우 어렵고, 이러한 방정식은 전기회로 분석(meshing electric circuit)을 통해 도출되고, Newton-Raphson 방법을 통해 수치 해석으로 복잡한 계산을 통해 구해져야 함. 이를 위해서는 전기 회로 구조화 과정에서 단락회로(short circuits)나 개방회로(open circuits)과 같은 모든 요소들을 고려해야 하고, 불필요하게 많은 시간과 비용이 소요됨.
- Soto 모델 : 기존 연구²⁾에서는 아래와 같이 5개의 변수를 이용하여 등가회로 모형을 가정하고 전류, 전압의 관계식을 유도하여 발전량을 예측하고 있음. 이러한 변수는 I-V 곡선을 설명하는 고유값이 되며, 운전 상태에 따라서 달라짐.

$$I = I_L - I_D - I_{sh}$$

$$I = I_L - I_o \left[e^{\frac{V + IR_s}{a}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

$$P = IV$$

여기서,

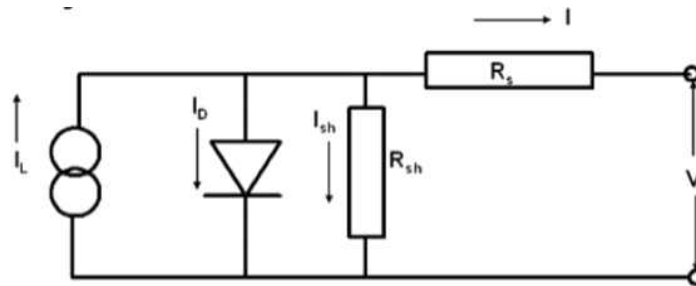
a : ideality factor

I_L : light current

I_o : diode reverse saturation current

R_s : series resistance

R_{sh} : shunt resistance



[그림14] 변수 등가 회로 모델

(1) a (ideality factor) : 셀의 온도에 따라 달라지며, 다음과 같이 이론적으로 셀 온도에 따른 선형함수로 표현됨.

$$\frac{a}{a_{ref}} = \frac{T_c}{T_{c,ref}}$$

2) Widaly De Soto, Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2004

(2) I_o (diode reverse saturation current) : 다음과 같이 온도 및 직렬로 연결된 셀의 개수, material band gap energy에 따라서 달라짐.

$$\frac{I_o}{I_{o,ref}} = \left[\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right]^3 \exp \left(\frac{\epsilon N_s}{a_{ref}} \left(1 - \frac{T_{c,ref}}{T_c} \right) \right)$$

(3) I_L (light current) : 다음과 같이 유효일사량(effective solar irradiance) 혹은 경사면에 입사된 일사량, 셀 온도, 단락전류 온도계수(short circuit current temperature coefficient, $\alpha_{I_{sc}}$), air mass modifier(M_{am}) 등의 변수에 따라 달라짐.

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{G_T}{G_{T,ref}} [I_{L,ref} + \alpha_{I_{sc}} (T_c - T_{c,ref})] \\ &= \frac{G_{eff} M_{am}}{G_{eff,ref} M_{am,ref}} [I_{L,ref} + \alpha_{I_{sc}} (T_c - T_{c,ref})] \end{aligned}$$

- Guangyu Liu 모델 : Robust damped Newton method에 따라 일반적인 비선형 방정식의 정확한 I-V 관계를 해석함. 이 모델은 다른 형상의 바이패스 다이오드, 부분 음영 등과 같은 서로 다른 부정합 효과(mismatch effect)를 반영할 수 있음. 또한 PV 요소의 좌표 기하학(Geometry coordinate)을 통해 실제 물리적 형상 모델링이 가능함.

(1) 태양광 셀에서의 기본적인 I-V 방정식

$$0 \equiv g(I, V) = I_{sc} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{\gamma k T} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} - a(V + R_s I) \left(1 - \frac{V + R_s I}{V_{br}} \right)^{-\beta} - I$$

여기서,

$$\begin{aligned} I_{sc} &= [I_{sc,r} + c_T (T - T_r)] \frac{G}{G_r} \\ I_{sat} &= I_{sat,r} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \exp \left(\frac{q E_g}{\gamma k} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right) \end{aligned}$$

(2) 바이패스 다이오드와 blocking 다이오드를 적용한 방정식

$$0 \equiv g(I, V) = I - I_{sat,d} \left[\exp \left(- \frac{q V}{\gamma_d k T} \right) - 1 \right]$$

■ 성능평가 실험 데이터 기반 예측 모델

- 각 태양광 모듈 또는 셀, 다이오드를 대상으로 I-V특성곡선에 대한 샘플링 지점의 측정 결과값을 가지고, 전체 태양광 어레이 또는 모듈의 I-V 곡선을 근사적으로 구하는 방법임. 모든 구성 부품에 대한 I-V곡선에 대한 샘플링 지점에서의 측정값 정보가 필요하기 때문에 많은 비용이 소요됨. 이 방법은 주어진 점에서의 값을 바탕으로 값을 보간하여 해를 도출하기 때문에 부정확한 결과값을 도출될 수 있음.

- Sandia National Labs PV Array Model : 이 모델은 실험에 근거하며, 단일 태양 전지 특성에서 도출된 수식을 모델에 이용하는 방법임. 일반적으로 P_{mp} 는 주로 일사량(solar irradiance level)에 영향을 받으며, 태양광 스펙트럼(solar spectrum), 모듈 온도(module temperature), 태양광 셀의 전기적 특성(solar cell electrical properties)의 영향은 덜 받으며, V_{mp} 는 주로 모듈 온도(module temperature)의 영향을 받으며, 일사량(solar irradiance), 태양광 셀의 전기적 특성(solar cell electrical properties)의 영향은 덜 받음. 이러한 기본 특성을 고려하여 Sandia 연구소에서는 태양광 모듈 성능 방정식(Performance Equations for Photovoltaic Modules)을 제시하여 태양광 모듈의 복잡한 거동을 예측이 쉬운 관계로 변환하여 모델을 개발함.

(1) 기본 방정식(Basic equations) : 태양광 모듈(photovoltaic module)의 성능을 분석하고 모델링하기 위해 사용하는 개별 태양광 모듈(photovoltaic module)의 전기적인 특성에 대한 기본 방정식을 이용.

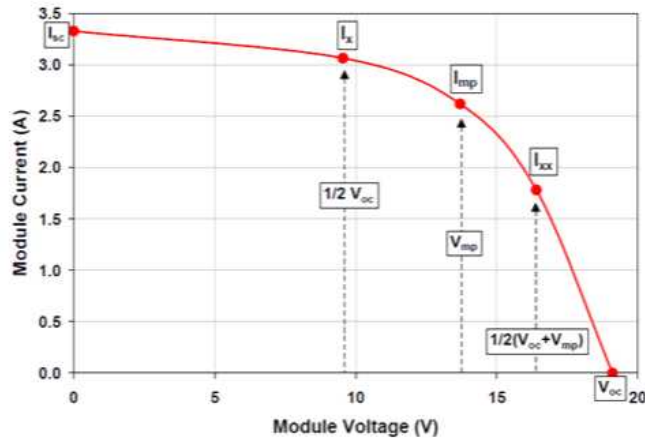


Figure 15: Illustration of a module I-V curve showing the five points on the curve used in the Sandia performance model.

[그림15] Sandia 모델에서 사용되는 성능 곡선 및 대상 지점

module current-voltage (I-V) curve 상의 기존 세 점을 위한 수식은 (1) ~ (4)임

module current-voltage (I-V) curve 상의 추가 두 점을 위한 수식은 (9) ~ (10)임

$$I_{sc} = I_{sco} \cdot f_1(AM_a) \cdot \{E_b \cdot f_2(AOI) + f_d \cdot E_{diff}\} / E_o \cdot \{1 + \alpha_{I_{sc}} \cdot (T_c - T_o)\} \quad (1)$$

$$I_{mp} = I_{mpo} \cdot \{C_0 \cdot E_c + C_1 E_c^2\} \cdot \{1 + \alpha_{I_{mp}} \cdot (T_c - T_o)\} \quad (2)$$

$$V_{oc} = V_{oco} + N_s \cdot \delta(T_c) \cdot \ln(E_c) + \beta_{V_{oc}}(E_c) \cdot (T_c - T_o) \quad (3)$$

$$V_{mp} = V_{mpo} + C_2 \cdot N_s \delta(T_c) \cdot \ln(E_c) + C_3 \cdot N_s \cdot \{\delta(T_c) \cdot \ln(E_c)\}^2 + \beta_{V_{mp}}(E_c) \cdot (T_c - T_o) \quad (4)$$

$$P_{mp} = I_{mp} \cdot V_{mp} \quad (5)$$

$$FF = \frac{P_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (6)$$

$$E_c = \frac{I_{sc}}{I_{sco} \cdot \{1 + \alpha_{Isc} \cdot (T_c - T_o)\}} \quad (7)$$

$$\delta(T_c) = \frac{n \cdot k \cdot (T_c + 273.15)}{q} \quad (8)$$

$$I_X = I_{Xo} \cdot \{C_4 \cdot E_c + C_5 \cdot E_c^2\} \cdot \{1 + \alpha_{Isc} \cdot (T_c - T_o)\} \quad (9)$$

$$I_{XX} = I_{XXo} \cdot \{C_6 \cdot E_c + C_7 \cdot E_c^2\} \cdot \{1 + \alpha_{Imp} \cdot (T_c - T_o)\} \quad (10)$$

여기서,

I_{sc} : 단락 전류(short circuit current, A)

I_{mp} : 최대 출력 조건에서의 전류(A)

I_X : 모듈 전압 $V = 0.5 \cdot V_{oc}$ 인 점에서의 전류, I-V곡선에서 4번째 지점

I_{XX} : 모듈 전압 $V = 0.5 \cdot (V_{oc} + V_{mp})$ 인 점에서의 전류, I-V곡선에서 5번째 지점

V_{oc} : 개방 전압(V)

V_{mp} : 최대 출력 조건에서의 전압(V)

P_{mp} : 최대 출력 조건에서의 발전량(W)

FF : fill factor

N_s : 모듈에서 직렬로 연결된 셀의 개수

N_p : 모듈에서 병렬로 연결된 셀의 개수

k : 볼츠만 상수(Boltzmann constant), $1.38066E-23$ (J/K)

q : 기본 전하량(elementary charge), $1.60218E-19$ (coulomb)

T_c : 모듈에서 셀 온도

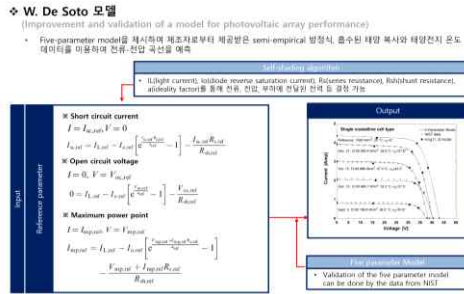
T_o : 기준 셀 온도, 일반적으로 25. C

E_o : 기준 일사 강도, 일반적으로 $1000W/m^2$

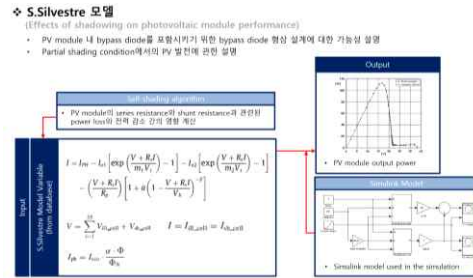
$\delta(T_c)$: T_c 조건에서 thermal voltage

(2) 태양광 모듈의 직렬 또는 병렬 연결 시 다양하게 확장되어 사용됨.

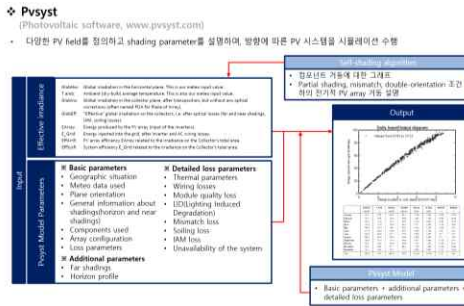
(3) 미리 결정된 모듈 성능 계수(module performance coefficients), 태양광 모듈의 성능 정보(solar resource information)가 있다고 가정하고 태양광 모듈에서 생산되는 전력량을 계산함. 이러한 두 가지 정보는 데이터베이스나 실험을 통해 제공받을 수 있음.



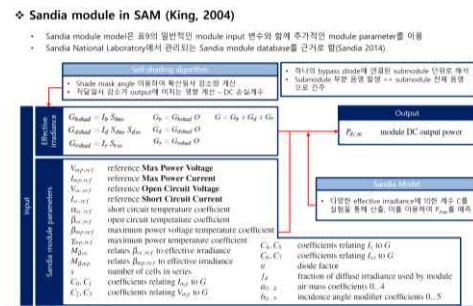
(1) W.De.Soto 모델



(2) S.Silvestre 모델



(3) 기존 프로그램 사례(Pvsyst)

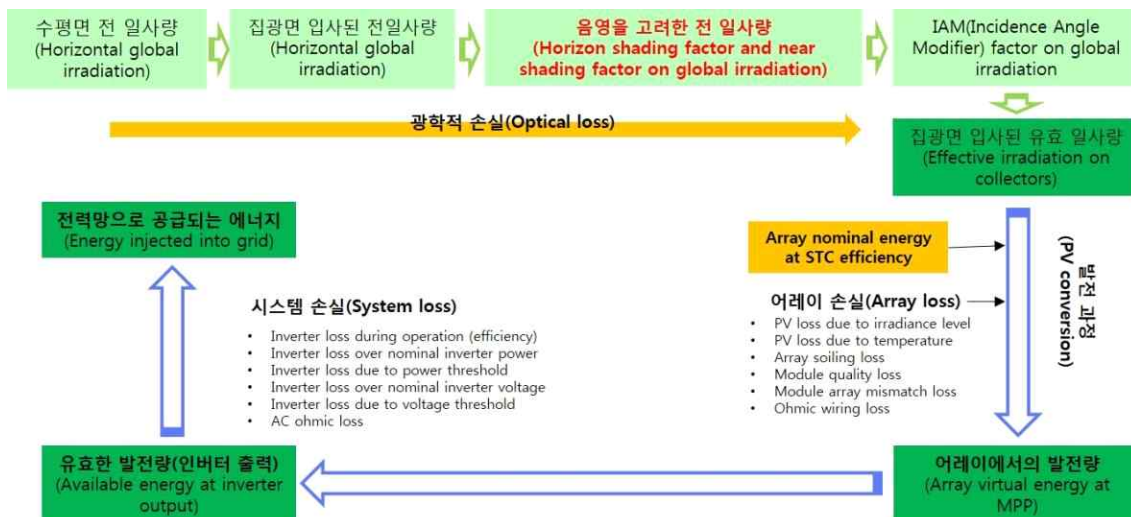


(5) Sandia 모델 (SAM 프로그램)

[그림16] 국내외 유사 알고리즘 모델

○ 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 알고리즘

■ 발전량 성능예측 알고리즘 구조



[그림17] 발전량 성능 예측 알고리즘의 구조

- 전력망으로 공급되는 전력은 수평면 전일사량을 기준으로 집광면에 입사된 전일사량을 계산하고, 음영을 고려한 전일사량을 계산 한 후, 집광면에 입사된 유효 일사량을 산출한 뒤 어레이 손실을 고려한 발전 과정을 거쳐 최종 어레이 단계에서의 발전량이 계산됨.

- 이후 인버터의 효율 등을 고려하여 시스템 손실을 반영함으로써 최종적으로 전력망에 공급되는 발전량이 산출됨.

■ 시뮬레이션 변수

- 기상 데이터(Meteorological data)

GlobHor	수평면 전일사량(Horizontal global irradiation), 기상 데이터 파일
DiffHor	수평면 확산 일사량(Horizontal diffuse irradiation), 기상 데이터 파일
BeamHor	수평면 직달 일사량(Horizontal beam irradiation), = GlobHor - DiffHor.
Tamb	공기온도(Ambient temperature), 기상 데이터 파일
Windvel	풍속(Wind velocity), 기상 데이터 파일

- 집광면에 유입한 일사에너지(Incident energy in the collector plane)

GlobInc	집광면 전일사량(Incident global irradiation in the collector plane)
BeamInc	집광면 직달 일사량(Incident beam irradiation in the collector plane)
DiffAInc	집광면 확산 일사량(Incident diffuse irradiation in the collector plane) (usual "diffuse" acception including albedo)
DiffSInc	집광면 천공 확산 일사량 (Incident diffuse irradiation (from sky) in the collector plane)
AlbInc	집광면 알베도 복사(Incident albedo irradiation in the collector plane)

- 2차 지표(Secondary indicators)

Bm/Gl	Incident Beam/Global ratio	= BeamInc / GlobInc
Diff/Gl	Incident Diffuse/Global ratio	= DiffInc / GlobInc
DifS/Gl	Incident Sky diffuse/Global ratio	= DifSInc / GlobInc
Alb/Gl	Incident Albedo/Global ratio	= AlbInc / GlobInc

- 집광면에 유입한 일사에너지(광학적 손실량을 고려하여 보정)

GlobHrz	Global on collectors, corrected for horizon (far shadings)
GlobShd	Global on collectors, corrected for horizon and near shadings
GlobIAM	Global on collectors, corrected for horizon, near shadings and IAM
GlobSlg	Global on collectors, corrected for horizon, near shadings, IAM and soiling
GlobEff	"Effective" global, corrected for IAM and shadings simultaneously
DiffEff	"Effective" diffuse, corrected for all optical losses "Effective" = irradiation effectively reaching the PV-cell surface.

- 2차 광학적 성능 지표(Secondary optical factors, identical factors for Diffuse and Albedo)

Ftransp	Transposition factor	= GlobInc / GlobHor
FHrzBm	Horizon shading factor on beam	= BeamHrz / BeamInc
FHrzGl	Horizon shading factor on global	= GlobHrz / GlobInc
FShdBm	Near shading factor on beam	= BeamShd / BeamHrz
FShdGl	Near shadings factor on global	= GlobShd / GlobHrz
FIAMBm	IAM factor on beam component	= BeamIAM / BeamShd
FIAMGl	IAM factor on global component	= GlobIAM / GlobShd
FSlgBm	Soiling loss factor on beam	= BeamSlg / BeamIAM

FSlgGl	Soiling loss factor on global	= GlobSlg / GlobIAM
- 어레이에서의 발전량(PV array virtual productions for loss evaluations)		
EArrRef	어레이 기준 발전량(Array Reference Energy for PR evaluation)	
EArrNom	표준조건에서의 어레이 공칭 발전량(Array Nominal energy at STC)	
- PV 어레이 손실, MPP 운전(PV array losses and MPP running)		
GIncLss	PV loss due to irradiance level	
	Difference E(GlobEff, T=25°C) with respect to calculation at STC efficiency, i.e. decrease of the model efficiency with decreasing irradiance	
TempLss	PV loss due to array temperature	
	Difference E(GlobEff, TMod) with respect to model calculated at Tmodule = 25°C	
SpctCor	Spectral correction for amorphous	
	Calculated from the Spectral correction model	
ModQual	Module Quality loss fixed constant parameter,	
MisLoss	Module mismatch loss fixed constant parameter for MPP or fixed V	
	operation, depending on system,	
OhmLoss	Ohmic wiring loss calculated at each hour with the real array current	
EArrMPP	Array virtual energy at MPP (after wiring and mismatch losses),	
	Virtual calculation independent of the system running (inverter, regulator)	
Tarray	Average module temperature during operation	
DTArr	Temperature difference between modules and ambient'	
DTArrGl	DTArr weighted by "effective" global' irradiation	
TExtON	Average ambient temperature during system operation.	

■ 집광면에 입사된 유효 일사량(Incident effective energy) 계산 과정

- [1단계] 기상데이터 파일에서 1시간 단위의 자료를 읽어 들임.
(수평면 전일사량, 온도, 확산일사량, 풍속)
- [2단계] 만약 확산일사량을 이용할 수 없으면, 확산일사모델(Diffuse irradiance model) 계산 방법에 의해 산출함. 이 단계에서 아래의 변수를 계산함
GlobHor, DiffHor, BeamHor, TAmb, WindVel.
- [3단계] 집광면에서의 일사량 정보로 변환함.(집광면에서의 전일사량, 확산일사량, 알베도)
<Hay 모델 또는 Perez 모델 이용. >
이 과정은 기상 데이터에서의 시간간격의 중간 시점의 태양각(solar angles)을 사용함.
이 단계에서 아래의 변수를 계산함.
GlobInc, BeamInc, DiffInc, DiffSInc, AlbInc
- [4단계] Far shading : 지평선(horizon)이 정의되는 경우, 직달일사량에 대한 지평선 보정(horizon correction)을 수행.(ON/OFF)
- [5단계] Near shading : 근접한 물체로 인한 음영이 발생하는 경우, 직달일사량에 대한 음영 계수(Shading factor)를 적용함. 실험을 통한 음영 계수 표를 이용되어짐. 선형 음영 손실에 대한 평가(일사량 부족으로 인한 발전 손실)

- [6단계] 직달일사량에 대해 IAM 감소계수를 적용하여 보정함.
천구상 입사 각도에 따른 IAM 감소계수(IAM attenuation factors over the visible part of the sky hemisphere)
- [7단계] Diffuse 부분과 Albedo 부분에서 각각 확산일사 감소 계수와 알베도 감소 계수 적용
- [8단계] 만약 오염정도(soiling)가 정의되면, 전일사량, 확산일사량, 알베도에 대해 오염계수(soiling factor)를 적용. 이 단계에서 아래의 변수를 계산함. GlobEff, BeamEff, DiffEff, Alb_Eff,
- 이러한 과정을 통해 집광면에서의 유효 일사량(Effective incident energy)을 계산함.
- 다음과 같은 2차 변수를 계산함
Bm/Gl, Diff/Gl, DifS/Gl, Alb/Gl, Ftransp, FIAMBm, FIAMGl, FShdBm, FShdGl, FIAMShd.

■ 어레이에서의 발전량(Array MPP virtual" energy, EArrMPP) & 시스템 유효 발전량(effectively used energy, Earray) 계산 과정

- 흡수된 에너지와 손실된 에너지의 열평형방정식을 통해 어레이의 온도(Tarray)를 계산함.
- 모듈 또는 어레이의 MPP 운전점(MPP operating point of the array) : STC 효율 조건 (1000 W/m^2 and 25°C)에서 작동하는 경우의 운전 상태로서 모듈단위 제품 정보를 활용함.
- 다음과 같은 손실을 고려하여 MPP 운전점에서의 가상 발전량이 계산될 수 있음.(EArrMPP)
 - (1) 일사량 손실(irradiance loss) : 모듈에서 일사량이 작은 경우의 발전 손실(the loss due to the low-light performances of the module)
 - (2) 셀 온도(Tarray)로 인한 온도 손실 : 온도 계수 반영
 - (3) 스펙트럼 손실(아몰포스 모듈이나 Sandia model에서 정의되는 경우에 한함)
 - (4) 음영으로 인한 전기적 부정합 손실(electrical mismatch loss) : 음영 계수 반영
 - (5) 모듈의 품질 손실(module quality loss)
 - (6) LID(Light Induced Degradation) 손실
 - (7) 부정합 손실(Mismatch loss)
 - (8) 어레이 배선 손실(Array wiring loss)
- 시스템 유효 발전량(effectively used energy, Earray) 계산
 - (1) 인버터의 과부하나 다른 제한 조건, 배터리 직접 연결(direct coupling) 등 시스템 구성 조건에 따른 MPPLoss 고려
 - (2) 배터리의 충전이 다 된 상태라면 에너지는 사용할 수 없는 상태가 됨. 이러한 경우 미사용 손실(EUnused loss)이 발생
- 방위가 서로 다른 어레이가 있는 경우(sub-array with mixed orientations), 2번째 방위에 대해서 전체 기후 데이터 계산이 반복적으로 수행됨.

■ 확산 일사 모델(Diffuse Irradiance model)

- 확산 일사량이 측정되지 않은 경우에는 수치 모델을 이용해서 수평면 전 일사량에서 추정된 값을 사용할 수 있음. 일반적으로 확산 일사 모델은 다음과 같은 2가지 모델이 적용 가능함.

- (1) Liu and Jordan's correlation(Liu and Jordan, 1960) : 청명지수(clearness index K_t) 개념을 이용해서 실험적인 D/G의 상관식로부터 도출함.
- (2) Perez model (Perez, Ineichen et al., 1992) : 시간별 데이터 분포를 고려한 더욱 정밀한 모델임

■ 음영 계수(Shading factor)

- 음영 계수는 모듈 전체 면적에 대비하여 음영이 발생하는 부분의 면적을 의미함. 음영 성능 계수에 영향을 미침.
- 음영계수 표(Shading factor table) : 3차원 상에서 음영 계수를 시뮬레이션 때 시간간격마다 계산하는 것은 매우 많은 시간이 필요로 하게 되므로, 프로그램에서는 시간별 태양의 고도, 방위각에 따라 미리 계산된 값을 이용해서 표를 만들고, 일반적인 태양의 위치에서 음영계수는 이 값을 선형 보간해서 사용할 수 있음.
- 음영 손실 계수(shading loss factor)는 투영면적에 대비하여 음영을 구성하는 다각형 면적의 비에 따라 표준조건에서의 발전량에 대비하여 발전량의 손실되는 비율로서 음영성능 실험을 통해 도출될 수 있음.

■ Array incidence loss (IAM)

- 집광면에 유입되는 일사의 입사각에 따라서 PV 셀에 도달하는 일사량은 크게 달라질 수 있음. 이를 정의하기 위해 사용하는 개념이 IAM(Incidence Angle Modifier)임.
- 보통 입사각이 증가하는 경우 반사율이 커지기 때문에 법선 방향(입사각이 0인 경우)에서의 일사량에 비해 PV 셀에 도달하는 일사량은 작아짐. 이러한 현상은 기본 원리상 서로 다른 굴절율을 갖는 투명한 2개 물질의 표면에서 투과율과 반사율을 계산할 수 있는 프뢰넬의 법칙(Fresnel 's Laws)에 따라서 설명됨.
- 보호층(일반적으로 유리) 아래에 부착된 PV 셀에 유효하게 도달하는 일사량을 계산
- 이러한 계산과정은 유리에서의 반사(multi-reflection)계산과 반사방지 코팅(anti-reflective coatings)에서의 복잡한 현상을 포함함.
- 실제적으로는 ASHRAE 문헌을 참고하여 단일 계수 b_0 와 입사각에 따라 추정할 수 있는 간단한 함수를 사용해서 계산할 수 있음.

$$F_{IAM} = 1 - b_0 \cdot \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right)$$

여기서

θ 투영면 입사각(incidence angle on the plane)

- 단유리 태양광 모듈에서는 b_0 는 대략 0.1 정도이고, 실제 결정질 모듈에서는 대략 0.05 정도의 값을 가짐.
- 사용자는 b_0 값을 임의로 결정할 수 있으며, 입사각의 함수로서 정의할 수도 있음.

■ 표준조건에서 태양광 모듈의 발전량에 기반한 유효발전량 예측 방법

- 다음의 식과 같이 태양광 모듈의 발전량을 토대로 음영 성능계수, 일사 성능 계수, 온도 성능 계수를 반영함으로써 태양광시스템의 유효발전량을 예측

$$P_E = \sum_{i=1}^n (P_n \cdot C_{SH-i} \cdot C_T \cdot (1 - C_t))$$

여기서,

P_E : 태양광시스템의 유효발전량

P_n : n번째 모듈의 기본 전력 생산량 (STC상의 시험 결과

값)
 C_{SH} : i 번째 모듈의 음영 성능 계수 ($0.0 \leq \text{value} \leq 1.0$)

C_I : 일사 성능 계수 ($0.0 \leq \text{value} \leq 1.0$)

C_t : 온도 성능 계수 ($0.0 \leq \text{value} \leq 1.0$)

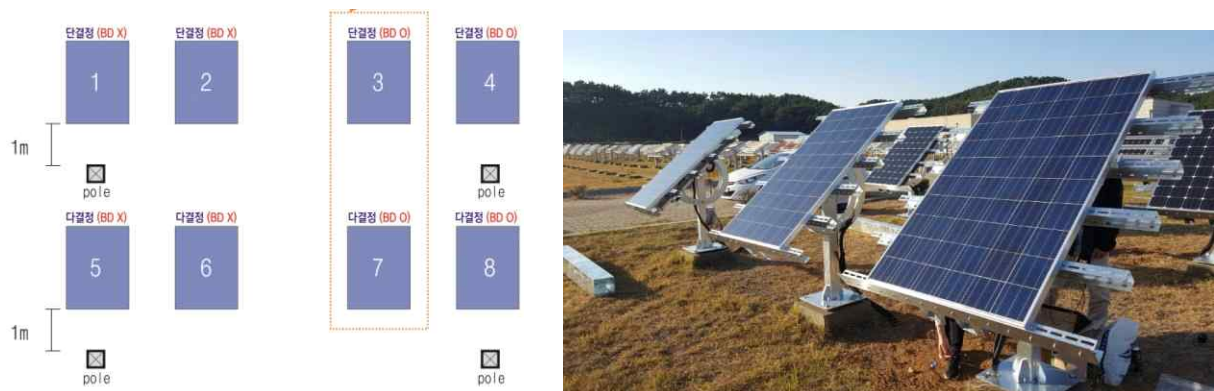
- 여기서 음영조건(위치, 면적), 일사강도(solar irradiance), 작동 온도, 바이패스 다이오드 설치여부는 발전 성능 저하에 중대하게 영향을 미치는 요인으로 고려됨.
- 음영 성능 계수는 태양광 모듈 단위에서 음영조건에 따른 발전량 변화를 실측을 통해 DB화된 정보를 이용함. 음영 성능 계수는 바이패스 다이오드의 설치여부에 따라 크게 달라질 수 있기 때문에 주어진 태양광시스템에서 모듈 단위에서 바이패스 다이오드의 설치 특성을 고려하여 실험을 통해 DB화함.
- 일사 성능 계수는 일사강도 변화에 대하여 선형 비례적인 결과가 나타남을 고려해 볼 때, 앞서 연구 결과를 통해 표준조건에 대비하여 산출된 선형방정식으로 정의될 수 있음.
- 태양광시스템에서 광전효과를 유발하는 일사강도를 결정함에 있어서 주변 건물의 방해로 인한 천공으로의 간섭을 고려하여 직달일사강도, 확산일사강도가 보정되어야 하며, 태양광 모듈로의 입사각을 고려하여 입력값으로서의 일사강도가 결정되어야 함.
- 온도 성능 계수는 표준시험 방법에 의한 일반적인 모듈 단위의 온도계수를 활용함으로써 추정이 가능함.

라. 태양광시스템 발전량 성능예측 알고리즘 신뢰성 검증

○ 음영을 고려한 발전성능평가 실험

■ 성능평가 실험 계획

- 태양광 모듈 단위에서 음영에 따른 발전성능을 평가하기 위해 아래의 그림과 같이 태양광 모듈의 유형에 따라 음영을 모사한 현장 실험 계획을 수립함. 태양광 셀의 종류(단결정, 다결정) 및 바이패스 다이오드 적용 유무에 따라 음영 배치 고려를 고려하여 대조군을 구성함.



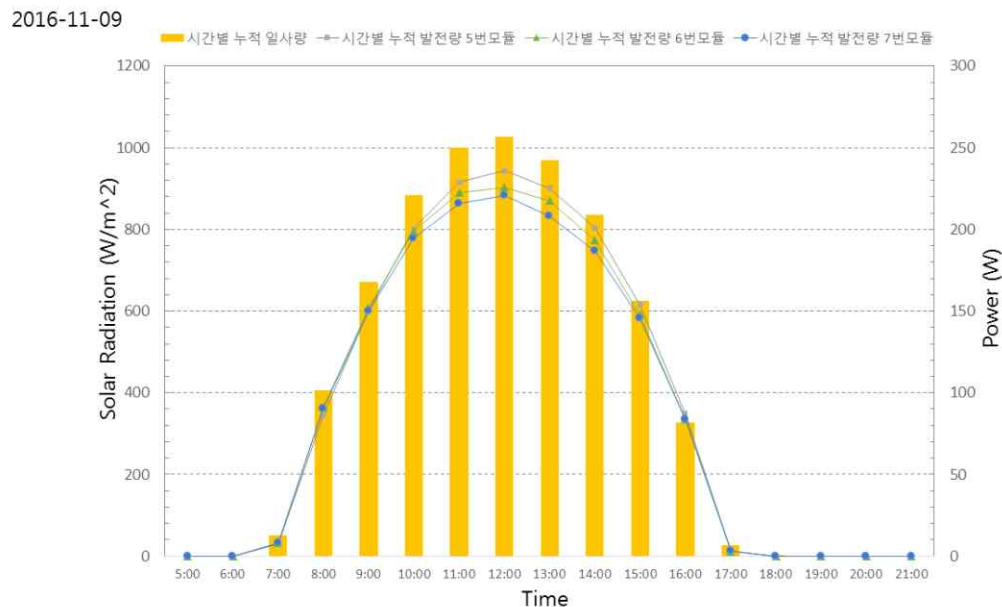
[그림 18] 성능평가 시험장비

- 모듈 간격을 고려하여 태양광 모듈을 옥외실험장에 배치하여 일사량, 외기온 등 기상자료와 함께 발전량을 측정 분석함.

- 실제 기상조건에서의 발전량 데이터 수집하고 프로그램 알고리즘과 비교검증을 수행함.

■ 성능평가 실험 결과

- 태양광 모듈의 발전량은 일별 일사량에 따라 크게 달라지는 것을 확인할 수 있으며, 모듈의 온도 변화에 따라 발전량이 증가 또는 감소되는 것을 확인할 수 있음.
- 음영이 설치되는 조건에 따라서는 특정 시간대에 음영의 발생으로 인해 태양광모듈에서의 발전량이 상대적으로 저감되는 것을 확인할 수 있음.



[그림19] 실험 결과 분석(누적 일사량, 발전량), 2016년 11월 9일

○ 음영을 고려한 발전성능 예측 알고리즘 신뢰성 검증

■ 신뢰성 검증 방법

- 본 연구에서는 해석적 방법에 의해 인접 건물로 인한 음영을 고려하여 태양광시스템에서 정확한 발전량을 계산 및 예측하기 위한 알고리즘을 제안하고, 태양광 모듈의 발전성능평가 실험을 수행함으로써 다양한 기후 조건에서 발전량 모니터링 데이터를 수집함.
- 제안한 모델에서의 계산값과 측정된 데이터를 활용하여 알고리즘의 신뢰성 검증을 수행함.
- 제안한 모델에서 발전량을 추정하기 위해 시간별로 태양광 모듈에 발생하는 음영비율을 산출하였으며, 표준조건에서 측정된 발전량과의 상관성을 토대로 음영 성능 계수를 산출함.
- 측정된 외기온도와 일사량 조건을 모델에 대입하여 발전량을 추정함.
- 태양고도를 고려하여 태양광 모듈 표면에서의 반사율 조건을 가정하였으며, 이에 따라 태양광모듈에 투과, 흡수되는 태양복사량이 감소하는 것으로 함.
- 예측한 발전량과 계산한 발전량을 비교 분석하였으며, 특정 시점에서 태양광 모듈에서의 음영 발생 여부에 따라 음영 성능 계수를 적용함.

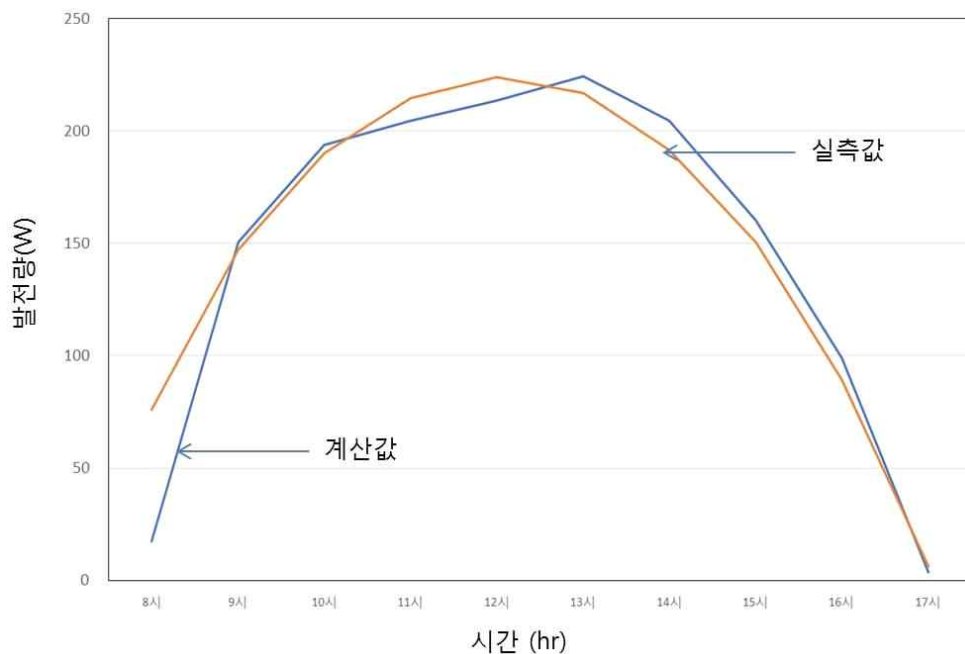
■ 신뢰성 검증 결과

- 갑작스런 운량의 변화로 인한 일사량 변동이 나타나지 않는 특정일(11월 9일)을 대상으로 예측된 자료를 분석하고 발전량 추정 모델에 대한 신뢰성 검증을 수행함.

- 특정시간에서의 음영 발생에 따른 발전량의 계산값과 예측값을 비교 분석한 결과, 음영이 발생하는 11시, 12시, 13시에는 각각 4.75%, 4.69%, -3.5%로서 신뢰성을 확보하기 위한 $\pm 5\%$ 이내의 범위에 해당됨을 확인할 수 있음.
- 반면, 일사량이 매우 낮은 8시와 17시에는 실측값에 비해 알고리즘의 계산값이 다소 낮게 산정되었음. 이는 일사량이 낮은 조건에서 계산식에서 일사량을 보정함에 있어서 반사율 등 가정한 값이 실제값과 다소 차이가 있기 때문으로 판단됨. 또한 태양광모듈에서 낮은 일사강도 조건에서의 발전량 정보가 실제 표준조건에서의 발전량 정보와 상이할 수 있기 때문에 보완이 필요할 것으로 판단됨.

[표 5] 시간별 알고리즘 계산값 및 실측값, 오차 비교

Time	알고리즘 계산값 (W)	실측값 (W)	오차(%)
8시	17.18	76.03	77.41
9시	150.39	147.05	-2.28
10시	193.94	189.94	-2.11
11시	204.60	214.80	4.75
12시	213.65	224.17	4.69
13시	224.43	216.85	-3.50
14시	204.74	191.54	-6.90
15시	160.44	150.73	-6.44
16시	99.17	89.25	-11.13
17시	3.53	5.98	40.86

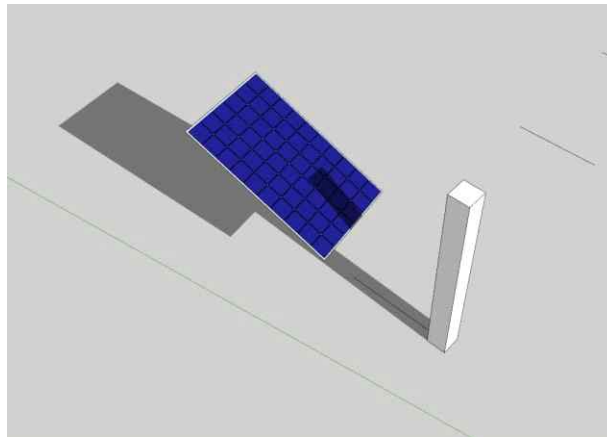


[그림20] 알고리즘 계산값과 실측값의 비교 결과]

마. 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 프로그램 개발

○ 시간 및 기간을 고려한 음영 시뮬레이션

- 음영면적에 따른 발전량의 감소율을 실측하기 위하여 옥외 태양광발전 모듈 테스트를 진행함에 따라, 태양광발전 모듈과 함께 설치되는 음영 구조물이 태양광발전 모듈에서 만들어 내는 음영 면적을 시뮬레이션으로 1차 분석함.
- 음영 구조물과 태양광발전 모듈의 물리적 제원은 다음의 표와 같음.

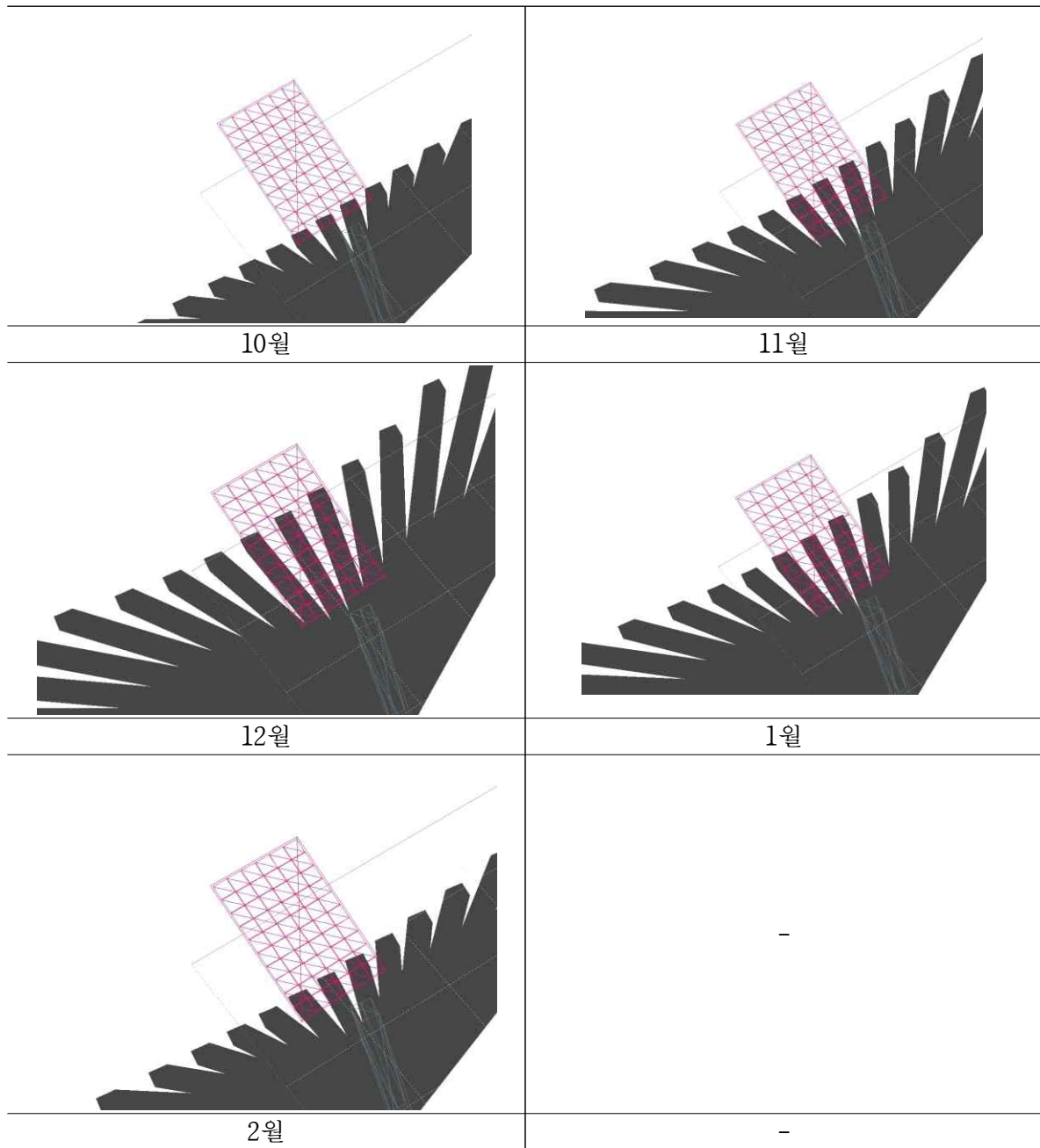


	규격 (가로 × 세로 × 높이)	설치각도	지면거리	설치방향
태양광발전 모듈	992 × 1644 × 35	30°	795 mm	정남
음영 구조물	200 × 200 × 1955	-	-	정남

- 시뮬레이션은 춘추분, 하지, 동지로 나누어 진행하였으며, 각 기간별 8~17시까지 음영 면적 추이를 분석함.
- 분석된 음영추이 결과는 춘추분(3/21, 9/21), 하지(6/21)에는 음영의 영향이 태양광발전 모듈에 영향을 미치지 않으나, 동지(12/21)에는 영향을 미치는 것으로 분석됨.
- 동지를 기점으로 추분~춘분 사이의 월별 대표일(21)을 시간별로 음영분석한 결과, 10~2월 기간에 구조물로 인한 음영이 발생하는 것으로 분석됨.

	10월	11월	12월	1월	2월
음영 발생 시간	11:30	11:30	11:30	11:45	12:15
음영 종료 시간	13:15	13:30	13:45	13:45	13:45
음영 지속 시간	1시간 45분	2시간	2시간 15분	2시간	1시간 30분

■ 기간 별 음영 누적도



○ 음영률 산정기준 정립 및 음영 가중치 분석

- 1차 년도에 개발된 Prototype 프로그램에서는 바이패스 유무에 따라 발전량 양상이 다르며, 바이패스가 없는 경우 음영이 셀 한 개 이상의 면적에 발생하면 전체 발전량의 90%가 감소, 바이패스가 있는 경우 모듈 면적 대비 음영 면적이 1/3, 2/3, 3/3 발생하면 발전량이 30%, 65%, 100% 감소함.
- 2차 년도에서 개발한 최종 Helios PV에서는 1차 년도에서 산정한 음영면적 비율(3단계)을 10 단계(0~100%)로 세분화함.

	Cell 최대 음영률										
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
음영성능계수 (Csh, 시험값)	1.0	0.92	0.79	0.70	0.60	0.51	0.41	0.29	0.19	0.11	0.0

- 모듈 면적 대비 음영면적 비율에 따라 음영성능계수(Csh, 시험값)가 결정되며, 바이패스 다이오드가 설계된 모듈에서는 바이패스 다이오드로 구분되는 Series Group 내에서 음영성능계수가 결정됨.
- 모듈 전체의 발전량은 모듈의 표준 발전량을 Series Group으로 나눈 발전량에서 각 Series Group에서 결정된 음영성능계수의 곱의 합으로 계산됨.

① 바이패스 다이오드가 없는 모듈

$$P_{Eff} = P_m \times C_{sh}$$

P_{Eff} : 음영을 고려한 발전량

P_m : 표준시험조건(STC)에서의 모듈 발전량

② 바이패스 다이오드가 있는 모듈

$$P_{Eff} = \sum_{i=1}^n i P_{Eff}$$

$$i P_{Eff} = \frac{P_m}{n} \times C_{sh}$$

$i P_{Eff}$: i번째 Series Group의 음영을 고려한 발전량

P_m : 표준시험조건(STC)에서의 모듈 발전량

n : 바이패스 다이오드 수

○ 태양광발전 설계 프로그램 개발(Helios PV)

- 태양광발전량에 영향을 미치는 외부적 환경 요소는 음영, 일사, 외기온도 등이 있으며, 실제 표준시험조건(STC)에서 측정된 태양광발전 모듈의 발전량 데이터는 실제 태양광발전을 설계하고자 하는 지역의 환경 요소를 고려할 수 없기 때문에 과소 또는 과다 설계될 가능성이 있음.
- 일사량과 외기온도는 태양광발전을 설계하고자 하는 지역의 기상데이터를 활용하여 태양광발전량을 계산하는 것이 실제 발전량과 가장 근접할 것이며, 실제 국외의 태양광발전량 설계 프로그램에서는 태양광발전 모듈을 설계할 지역의 기상데이터를 활용하도록 구성됨.
- 따라서, Helios PV에서는 표준기상데이터의 국내 일사량 및 외기온도 데이터를 이용하여 최종 태양광발전량을 계산하도록 알고리즘을 작성함.
- 표준기상데이터에서 제공하는 지역은 서울, 대전, 대구, 부산, 인천이며, 월별 대표일(15일)의 시간별(8~17시) 평균 수평면전일사량과 외기온도를 분석함.

- 수평면전일사량과 외기온도를 적용한 최대발전량 도출을 위해 일사계수(Ci) 및 온도계수(Ct)를 다음과 같이 산출할 수 있음.

$$C_i = \frac{\text{지역의 수평면 전일사량}}{1000}, C_i \leq 1$$

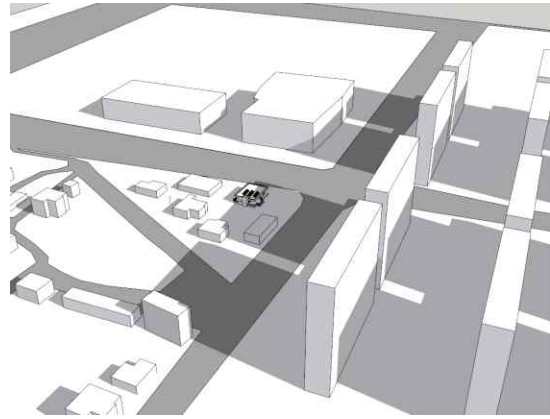
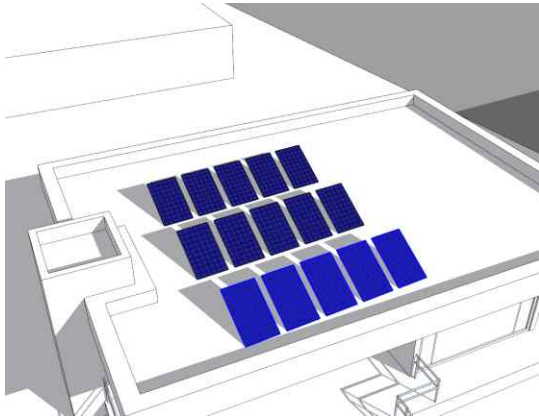
$$C_t = |25^{\circ}\text{C} - \text{외기 온도 } ^{\circ}\text{C}| \times \frac{\text{온도감가계수 } [\%/^{\circ}\text{C}]}{100\%}$$

- 온도감가계수는 주변의 외기온도 변화에 따른 모듈 효율의 저감률로 정의되며, 제조사에서 제공하는 기본 데이터임.
- 태양광발전의 최종발전량 산출식은 다음과 같이 정리됨.

$$P_f = P_{Eff} \times (1 - C_t) \times C_i$$

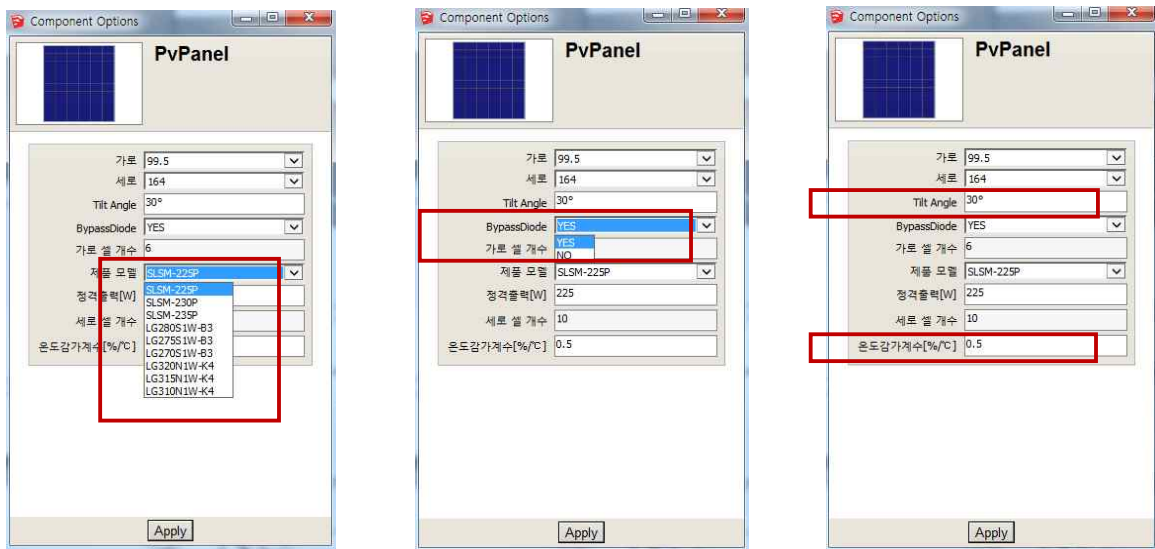
P_{Eff} : 음영을 고려한 발전량
 C_t : 온도계수
 C_i : 일사계수

- 2차 년도에서 개발하는 Helios PV의 정량적 목표인 분석시간 1분 이내를 만족하기 위하여 Csh, Ci, Ct는 시간별로 각각 계산되어 호출되는 형식으로 알고리즘을 작성함.
- 도출된 최종발전량 알고리즘을 반영한 태양광발전 설계 프로그램(Helios PV)은 범용 3D 모델링 프로그램인 SketchUp의 Add-on 형태로 개발함. SketchUp은 주변 환경 모델링이 용이하며, 도식에서 유효한 태양광발전량을 예측하기에 용이함. 또한 최근 BIM 관련 확장프로그램(Extension)이 개발되면서 BIM 툴로서 활용되고 있음.
- 가장 많이 상용되는 태양광발전 설계 프로그램은 다양한 입력 변수(모듈 데이터, 모듈 수량, 인버터 종류, 인버터 용량 등)를 계산하여 입력하는 형태임. 또한 음영면적 등에 대한 해석 결과를 통해 단순히 유효 발전량을 추정함. 프로그램 사용자는 태양광발전에 대해 배경지식이 반드시 수반되어야 하며, 인버터 용량이 잘못 설정되면 태양광발전량 결과가 출력되지 않음.
- Helios PV는 기존 상용 프로그램이 가지는 한계점을 보완하고, 다양한 직군의 사용자가 직관적으로 이해하고 사용할 수 있도록 User-interface 편리성을 중점으로 프로그램의 개발함.
- 프로그램 사용자가 태양광발전을 설계하고자 하는 대상 건물이나 주변 건물 및 태양광발전 모듈을 직접 모델링 할 수 있음.
- 인접 건물을 고려한 태양광시스템 발전성능 예측을 위한 음영조건에 따른 유효발전량 성능 DB 기반 표준적인 설계 도구로 활용할 수 있음.



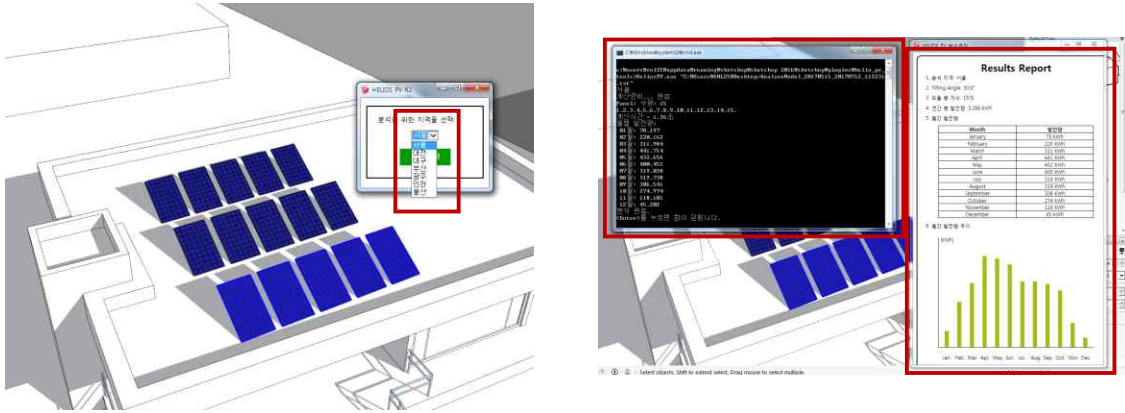
[그림 21] Helios PV 프로그램 시연1

- 3D 모델링 작업 화면에서 태양광발전 모듈 패널을 직접 설계하기 때문에 태양광발전 모듈의 수정이나 이에 따른 결과의 피드백이 타 프로그램에 비해 용이함.
- 1차 년도에 개발한 Prototype 프로그램에서는 태양광발전량 계산을 위해 선택할 수 있는 태양광발전 모듈의 모델이 3가지 모델로 한정됨. 최종 개발된 Helios PV는 태양광발전 DB를 10가지로 확장시켜 사용자 선택의 폭을 넓힘.
- 바이패스 다이오드 유무, 설치각도(Tilting angle), 온도감가계수를 사용자가 설정하거나 입력 가능함.



[그림 22] Helios PV 프로그램 시연2

- 시간별 평균 기온 및 일사량을 이용하여 월간 발전량 및 연간 발전량이 결과리포트로 출력되며, 동시에 결과 프롬프트를 제공함.

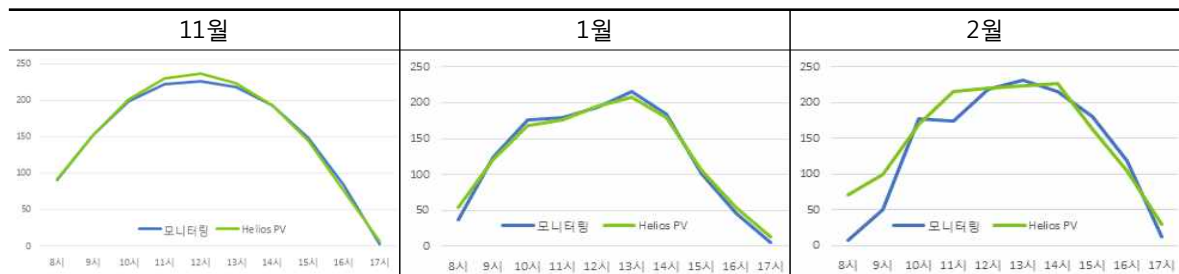


[그림 23] Helios PV 프로그램 시연3

바. Helios PV 프로그램 결과 분석

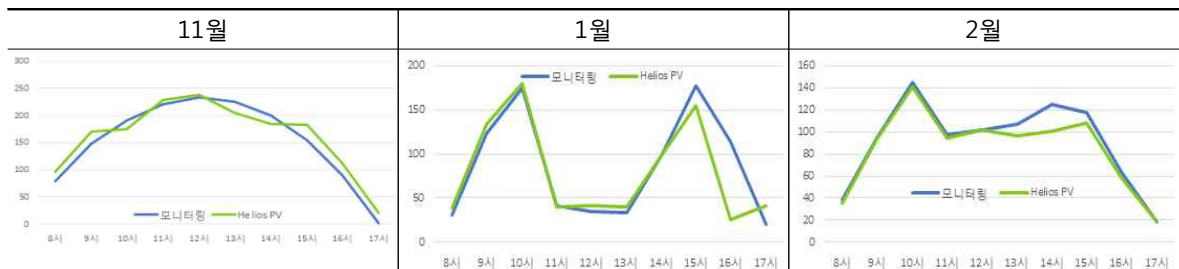
- 최종 개발된 Helios PV 프로그램 결과를 옥외에서 실제로 시험한 데이터와 비교 분석함.
- 옥외에서 진행된 태양광발전량 측정 시험은 표준시험조건(STC)에서 250W 출력을 가지고, 온도감가계수 0.5%/℃ 인 다결정 모듈로 진행함.
- 옥외 시험은 한국건설생활환경시험연구원 옥외폭로시험장(서산)에서 2016년 11월부터 2017년 2월까지 진행되었으며, 약 4개월간 수집된 데이터 중 유효한 데이터를 추출하여 Helios PV 프로그램 결과 값과 비교 분석함.
- 매월 대표일을 선정하여 시험 데이터와 프로그램 결과와 비교하였음. 다만, 12월은 기상악화로 인한 데이터 오류가 다수 존재하여 12월을 제외한 11월, 1월, 2월 대표일의 발전량을 비교 분석함.
- 음영이 발생하지 않는 경우, 시험 데이터와 Helios PV와의 오차율은 11월 1.15%, 1월 0.79%, 2월 8.98% 가 발생함.

11월 실측 시험[W] Helios PV[W]			1월 실측 시험[W] Helios PV[W]			2월 실측 시험[W] Helios PV[W]		
8시	91.08	91.65	8시	37.18	53.95	8시	8.12	70.62
9시	152.09	152.27	9시	124.27	120.17	9시	50.02	100.03
10시	198.68	201.45	10시	176.84	168.08	10시	178.04	170.15
11시	222.59	229.34	11시	179.75	176.85	11시	174.60	216.15
12시	225.77	236.07	12시	193.35	195.27	12시	218.71	219.33
13시	217.69	223.57	13시	215.17	208.54	13시	231.09	223.31
14시	193.44	193.12	14시	184.85	178.77	14시	215.60	226.27
15시	147.88	144.50	15시	101.71	106.07	15시	179.85	163.04
16시	83.91	75.73	16시	45.89	53.78	16시	119.44	104.98
17시	2.92	6.26	17시	5.26	12.91	17시	12.33	30.85
총	1,536.04	1,553.96	총	1,264.26	1,274.39	총	1,387.78	1,524.73



- 음영이 발생하는 경우, 시험 데이터와 Helios PV와의 오차율은 11월 4.61%, 1월 6.91%, 2월 6.75% 가 발생함.

11월 실측 시험[W] Helios PV[W]			1월 실측 시험[W] Helios PV[W]			2월 실측 시험[W] Helios PV[W]		
8시	79.08	96.53	8시	31.01	38.17	8시	38.31	35.46
9시	147.98	169.63	9시	123.83	133.52	9시	94.61	93.73
10시	191.50	174.56	10시	174.66	179.89	10시	144.77	141.32
11시	221.20	229.43	11시	41.57	39.57	11시	97.52	94.83
12시	232.99	238.68	12시	34.41	41.32	12시	101.57	102.06
13시	224.95	205.47	13시	33.17	40.66	13시	106.69	96.79
14시	199.91	183.89	14시	98.61	98.60	14시	124.50	101.02
15시	153.82	182.42	15시	176.99	155.18	15시	117.76	107.72
16시	89.35	112.73	16시	114.59	24.97	16시	63.58	58.64
17시	1.59	20.07	17시	19.72	41.82	17시	18.21	18.56
총	1,542.37	1,613.44	총	848.57	793.70	총	907.51	850.14



- 시험 데이터와 비교 분석에서 더 나아가 Helios PV와 기존 상용프로그램인 PV syst와 결과를 비교 분석함.
- 상용 프로그램인 PV syst는 미국에서 개발되어, 국내의 기상자료는 인천, 부산, 강릉, 목포만 제공하고 있음.
- Helios PV와 PV syst의 결과를 비교 분석하기 위하여 서울 지역을 기준으로 표준시험조건 (STC) 250W 출력을 가지는 PV 모듈의 연간 발전량 분석을 수행함.

	Helios PV [kWh]	PV syst [kWh]
1월	11.38	21.37
2월	17.48	22.99
3월	23.55	27.09
4월	32.85	29.13
5월	32.19	28.82
6월	29.81	25.18
7월	23.75	18.50
8월	23.78	21.67
9월	23.10	23.01
10월	20.96	24.97
11월	14.26	19.16
12월	11.21	19.16
계	264.31	281.02



- Helios PV와 PV syst의 연간 발전량을 비교 분석 한 결과 오차율 6.32%로 PV syst의 발전량이 더 높은 것으로 분석됨.
- 4~9월까지 Helios PV 월 평균 발전량이 높으며, 1~3월 및 10~12월 까지는 PV syst의 월 평균 발전량이 높은 것으로 분석되었음. 이는, 기온이 높아지는 4~9월은 발전량에 영향을 미치는 요소는 일사량의 영향 보다는 온도의 영향이 더 높은 것으로 사료됨.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

	핵심성과 (level 1)	단위성과 (level 2)	최종 성과점검기준		달성여부
			질적 성과지표	검증방법	
1 차 년 도	음영발생에 따른 태양광 시스템의 유효발전량 시험법	음영발생에 따른 PV유효발전성능 정보체계	해당없음	보고서	달성
	음영률을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 알고리즘	발전량 예측 알고리즘	시험	계산결과와 비교	달성
	음영을 고려한 BIM기반 태양광시스템 발전 예측 및 평가 프로그램 개발	BIM기반 태양광시스템 음영률 산정 프로그램 개발	분석시간	S/W	달성
2 차 년 도	음영발생에 따른 태양광 시스템의 유효발전량 시험법	음영발생에 따른 PV 유효발전성능 정보체계	해당없음	보고서	달성
		음영발생에 따른 PV 유효발전성능 시험법	규격무결성 검증	시험	달성
	음영률을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 예측 알고리즘	발전량 예측 알고리즘	시험	계산결과와 비교	달성
	BIM기반 태양광시스템 발전성능예측 및 평가 프로그램 개발 시스템 검증 및 최적화	BIM 기반 태양광시스템 음영률 산정 프로그램 개발 시스템 검증 및 최적화	분석시간 시운영	S/W 보고서	달성 달성

○ 성과 증빙자료

■ BIM 기반 태양광시스템 음영률 산정 프로그램 개발



- 저작권 명칭 : 도심지 주변 건물의 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 분석 프로그램
- 저작권 종류 : S/W
- 저작자 성명 : 썬앤라이트
- 창작년월일 : 2017. 05. 22.

■ BIM 기반 태양광시스템 음영률 산정 프로그램 개발

 한국 건축환경설비학회 Korean Institute of Architectural Environment and Building Science 실리콘 결정계 태양광 모듈의 음영성능 시험법 Title in English: Standard Test method for Shading Performance of Crystalline Silicon Photovoltaic Module http://www.kiaebs.org/	- 기술표준명 : 실리콘 결정계 태양광 모듈의 음영성능 시험법 - 재정신청 승인완료	<table> <tr> <th>구 분</th><th>일 정</th><th>비 고</th></tr> <tr> <td>제정사업 신청서 접수</td><td>~ 2016.04.22</td><td>접수처 : KIAEBS</td></tr> <tr> <td>서면심사 및 선정</td><td>~ 2016.04.28</td><td>선정결과 개별 안내</td></tr> <tr> <td>중간발표</td><td>2016.10~11월 (예정)</td><td>세부일정 추후 안내</td></tr> <tr> <td>결과제출</td><td>2016.12 이사회 전</td><td>세부일정 추후 안내</td></tr> </table>	구 분	일 정	비 고	제정사업 신청서 접수	~ 2016.04.22	접수처 : KIAEBS	서면심사 및 선정	~ 2016.04.28	선정결과 개별 안내	중간발표	2016.10~11월 (예정)	세부일정 추후 안내	결과제출	2016.12 이사회 전	세부일정 추후 안내
구 분	일 정	비 고															
제정사업 신청서 접수	~ 2016.04.22	접수처 : KIAEBS															
서면심사 및 선정	~ 2016.04.28	선정결과 개별 안내															
중간발표	2016.10~11월 (예정)	세부일정 추후 안내															
결과제출	2016.12 이사회 전	세부일정 추후 안내															

2. 관련 분야 기여도

○ 실리콘 결정계 태양광 모듈의 음영성능 시험법

- 국내 시장보급상황을 고려하여 실리콘 반도체 결정계 태양광 모듈의 음영조건에 따른 발전성능 특성을 규명함.
- 제안된 시험법은 태양광 시스템 설계시 소비자에게 신뢰도 높은 정보를 제공할 수 있음.
- 표준 시험에 의한 모듈의 음영 분석 결과, 음영 위치와 면적의 변화에 대하여, 단결정과 다결정 태양광 모듈 모두 동일한 발전량 변화의 규칙성을 나타냄.
- 모듈 내 미소면적의 음영반으로도 태양광 모듈의 발전 성능은 현저하게 저하됨을 확인함.
- 시험방법에 따라 실리콘 결정계 모듈의 음영 성능을 정량화하기 위한 음영성능계수를 제안하였음. 제시된 음영성능계수는 모듈의 음영 성능을 명확하게 제시함은 물론, 실제 태양광시스템 설계 시 제품정보에 명시된 정격표준발전량 정보와 함께 태양광시스템 모듈의 실제 유효발전량을 정확히 예측하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단됨.

○ 음영을 고려한 태양광시스템 발전량 예측 및 평가 프로그램

- 음영을 고려한 태양광시스템 발전량 예측 분석시간은 1분 이내이며, 프로그램 오차율은 실험 데이터 대비 10% 이내 달성함.
- 최종 개발된 Helios PV 프로그램은 국가R&D 성과물로 저작권 등록을 완료함.
- 상용 태양광시스템 설계 도구는 주로 국외에서 개발된 분석도구이며, 국내의 기상 데이터를 제공하는 지역(인천, 강릉, 목포, 부산)이 한정되어 있어 실제 국내의 다양한 지역에 적용하기에 부적합함.
- 그러나 Helios PV는 국내 지역의 30년간 작성된 표준기상데이터를 활용하기 때문에 보다 정확도 높은 태양광발전량이 도출될 것이라 사료됨.
- 또한 Helios PV에 사용되는 기상데이터는 엑셀 형식으로 작성되어 프로그램 사용자가 쉽게 기상데이터를 수정할 수 있음.
- 음영을 고려한 태양광시스템 발전량 분석 프로그램은 국외 상용프로그램에서도 연간 발전량에

영향을 미치는 요소로서 분석 알고리즘에 반영할 수 있으나, 도심지와 같이 형상이 복잡하거나, 면적이 큰 건물로 인한 발전량 저하 분석에는 한계가 있음.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구결과의 활용방안

- 본 연구는 도심지 인접 건물에 의한 음영조건을 고려한 태양광시스템의 실제 유효 발전량 예측 및 설계 지원 기술을 개발하는 것으로서 일반적인 주택단위 또는 마을단위(공동주택 포함)의 태양광보급사업에서 인접건물의 영향을 고려한 태양광시스템의 최적 설계에 활용이 가능함.
- 도심지 건축물에 태양광시스템이 적용된 경우, 인접 건물로 인한 음영 발생으로 인해 발전량 피해를 보는 경우, 재산권 침해에 대한 정량적인 평가를 수행함으로써 제도적으로 해결하기 위한 성능 평가 도구 및 DB, 평가로서 활용이 가능.
- 서울시에서 기존 공동주택을 대상으로 시행하고 있는 “미니 태양광발전 보급사업”의 설계 단계에서 단위 세대별 발전량에 대한 평가에 활용할 수 있음.
- 본 연구과제 종료 후 개발된 설계지원시스템을 활용하여 공동주택에 설치된 태양광시스템의 현장 적용 성능 평가를 수행할 것이다. 또한 태양광보급사업 전문기업을 대상으로 실용화/제품화를 위한 기술이전을 추진함으로써 기초원천기술에 대한 서비스체계를 구축
- 이를 통해 도심지 내 건축물에 태양광시스템 보급에 있어 객관적인 설계 정보를 제공하고자 한다. 또한 본 연구 성과물은 신축되는 인접건물로 인해 태양광시스템의 발전량 손실량에 대해 정량적 분석을 수행함으로써 운전단계에서 경제성 평가 및 재산권 분쟁의 평가 도구로서 활용하고자 함.

2. 기대성과 및 파급효과

- 2013년 태양광 시장은 약 37GW로서 세계 각국에서 진행하고 있는 태양광 보급 확대 정책과 더불어 일부 국가에서는 그리드 패리티(Grid-Parity)에 도달함으로써 시장이 꾸준히 성장할 것으로 전망되고 있음.
- 특히 중국, 인도 등을 포함한 아시아, 중동 및 아프리카 등 신흥국 시장이 확대되면서 태양광 시장이 꾸준히 성장할 것으로 전망됨.
- 본 연구 과제를 통해 개발된 유효발전량 예측 알고리즘과 설계지원시스템을 통해 도심지 내 태양광시스템의 보급함에 있어서 태양광시스템의 실제 운전성능에 대한 객관적인 성능 평가가 가능하고, 보급사업 과정에서 발생할 수 있는 재산권 분쟁 소송에 있어서 정책적 대안을 제시
- 아울러, 본 연구 성과의 활용·보급을 통해, 향후 관련 산업 시장에서 아래와 같은 효과가 기대됨.
 - 건물에서 신재생에너지(태양광)시스템 적용에 필요한, 설계·평가 원천기술 확보 및 실무 활용
 - 태양광시스템 설계시, 시스템의 실효적 규모 및 비용 산정과 건물에서의 에너지(태양광 발전량) 수급 계획 수립 용이
 - 소비자인 국민에게 신뢰성 있는 PV제품 성능정보 제공, 정보 체계 및 기반 마련
 - 신뢰성 있는 제품 정보 제공을 통한, 관련 건물에 제품(태양광시스템)의 보급 촉진 및 내수시장 활성화 기대

○ 음영을 고려한 태양광시스템 발전량 예측 및 평가 프로그램

- 인접 건물 및 지형을 고려하여 태양광시스템 발전능력 예측을 위한 표준적인 설계 도구로 활용하여 태양광발전 설계단계에서 태양광 발전능을 평가하는 도구로 활용할 수 있음.
- 국외의 상용프로그램에서 음영 분석은 System Losses에 포함되어 총 발전량에 주요한 영향을 미치는 요소가 아니었으나, 태양광발전이 도시 내에서 다양한 형태로 설계되면서 점차 인접 건물의 그림자로 인한 발전량 저하 문제가 중요한 요소로 인식됨. 따라서 음영이 고려된 표준적 설계도구로 다양한 분야에서 활용될 것이라 사료됨.
- 나아가 도심지 건물에서 실제 태양광 시스템의 발전 성능을 평가하기 위해서는 태양광발전 시스템의 다양한 환경 조건이 반영된 시간별 분석이 반드시 필요하며, 음영이 발생하지 않는 조건에서도 환경 조건에 적합한 태양광발전 예측 및 설계 도구로서 활용할 수 있음.
- 설계사 및 컨설팅 사에서의 Helios-PV의 활용도를 높이기 위하여 후속 연구를 통해 신축 건물에 의한 일조침해 정도를 분석 할 수 있는 기능을 확장시킬 예정임.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

Source: *Renewable Energy*, 2013, 4, 429-435
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.002> Published Online September 2013 (<http://www.sciencedirect.com>)



Partial Shading of PV System Simulation with Experimental Results

Basim A. Alsayid, Samer Y. Alsadi, Ja'far S. Jallad, Muhammad H. Dradi

Department of Electrical Engineering, Technical University of Baghdad, Baghdad, Iraq
 Email: b.alsayid@tuco.edu.iq, samer_yad@tuco.edu.iq, jafar2013@hotmail.com, mohammadh@tuco.edu.iq

Received June 14th, 2013; revised July 17th, 2013; accepted July 19th, 2013

Copyright © 2013 Basim A. Alsayid et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

In a solar photovoltaic array, it is possible that shadows may fall over some of its cells. Under partial shading conditions the PV characteristic gets more complex with multiple peaks. The purpose of this paper is to illustrate, by analyzing different shading situations, the effects that partial shading can cause in a PV array. First this is done by simulating using Matlab/Simulink, then the impact of shading is illustrated experimentally by measurements on a two commercial 140 W PV panels series connected.

Keywords: Partial Shading; Modeling; Simulation; Bypass Diodes

1. Introduction

Photovoltaic modules are connected in series and parallel to form a PV array in order to match the power requirements in terms of voltage and current [1,2]. The total power in such an array is, however, lower than the sum of the individual rated power of each module. There are different reasons for that. The main reason, which is the purpose of this paper is partial shading [3,4]. In a series connected solar photovoltaic module, performance is adversely affected if the cells are not equally illuminated. All the cells in a series array are forced to carry the same current even though the cells under shade produce less photo current. The shaded cells may get reverse biased, acting as loads, draining power from fully illuminated cells. If the system is not appropriately protected, hot-spot problem can arise and in several cases, the system can be irreversibly damaged. The PV plants are built today in a fixed non-optimal configuration and the single module is equipped with bypass diodes installed in different configurations. This is used to bypass the single module when it is slightly shaded in order to avoid that the single module current may reduce the current of the whole photovoltaic array. On one hand this solution is easily adaptable and allowed to improve the energy production from the whole PV array but on the other hand it exposes to overvoltage in the energy produced by the module which is bypassed by the diode [5]. The purpose of this paper is to illustrate, by analyzing different

shading situations, the effects that partial shading can cause in a PV array [6]. First this is done by simulation using Matlab/Simulink, then the impact of shading is illustrated experimentally by measurements on a two commercial PV panels series connected.

2. Partial Shading and Bypass Diodes

Culture illumination normally in a panel is not different because of buildings or trees shade, atmospheric fluctuations, existence of clouds and dirty sun angle changes. Shade impact depends on module type, tilt factor. Bypass diode placement strategy of shade and string configuration. Power loss occurs from shade, also current mismatch within a PV string and voltage mismatch between parallel strings [7]. Typically, a crystalline silicon module will contain bypass diodes to prevent damage from reverse bias on partially shaded cells. These diodes are placed across 12–18 cells in a group of cells.

In Figure 1 is shown a module with 36 cells connected in series like the ones used in this research, each consisting of 2 groups of 18 cells. Each group of cells is connected to a bypass diode that begins conducting if shading causes a cell to go far enough into reverse bias. In this example, shade causes diode D2 to short out its group of cells, reducing module V's voltage by 1/2. The bypass diode across this group of cells will begin conducting when shading causes a cell to go far enough into reverse bias. The bypass diode allows current from

Copyright © 2013 SciRes

SCIRP

Partial Shading of PV System Simulation with Experimental Results

Author

Basim A. Alsayid, Samer Y. Alsadi, Ja'far S. Jallad, Muhammad H. Dradi

Keyword

Partial Shading; Modeling; Simulation; Bypass Diodes

- 태양광 시스템의 어레이 단위모듈에서 다양한 음영상황에 따른 성능분석을 실시
- Matlab / Simulink를 사용한 시뮬레이션을 수행
- 태양광 시스템에서 부분 음영의 영향을 연구하고 시뮬레이션의 유효성을 검증하기 위해 HT I-V 400 Tracer를 이용한 실험 측정을 실시함.
- 태양광 모듈의 부분적인 음영이 발생하는 조건에서 시뮬레이션의 유효성을 실험결과를 통해 검증함.



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT[®]

Solar Energy Materials & Solar Cells 91 (2007) 329–340

Solar Energy Materials & Solar Cells

www.elsevier.com/locate/solmat

Experimental study of mismatch and shading effects in the I–V characteristic of a photovoltaic module

M.C. Alonso-García^{a,*}, J.M. Ruiz^b, F. Chenlo^a

^aCIEMAT – DGE, Av. Complutense 22, 28040 Madrid, Spain
^bInstituto de Energía Solar – UPM, E.T.S.I.I., Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain

Received 11 February 2005; accepted 2 April 2005
 Available online 21 May 2005

Abstract

A conventional photovoltaic module has been prepared with the purpose of accessing its cells either individually or associated. Measurements of every cell and of the whole module have been performed in direct and reverse bias, with the objective of documenting the scattering in cell parameters, working point of the cells and shading effects. Several shading profiles have been tested, and the influence of the reverse characteristic of the shaded cell in module output is assessed.

© 2005 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Characterization; Shading; Hot-spot; PV modules

1. Introduction

When a module or a part of it is shaded some of its cells become reverse biased, acting as loads instead of generators. If the system is not appropriately protected, hot-spot problem can arise and, in severe cases, the system can be irreversibly damaged.

*Corresponding author. Tel.: +34 91 546 6365; fax: +34 91 546 6877.
 E-mail address: Carmin.alonso@ciemat.es (M.C. Alonso-García).

0927-0248/\$ - see front matter © 2005 Elsevier B.V. All rights reserved.
 doi:10.1016/j.solmat.2005.04.022

Experimental study of mismatch and shading effects in the I–V characteristic of a photovoltaic module

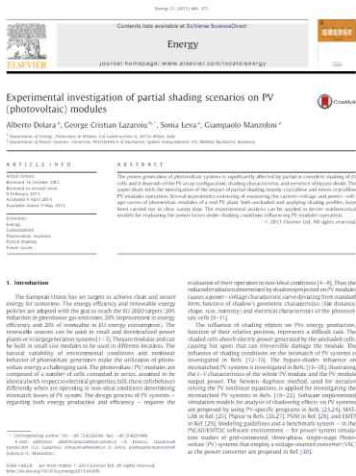
Author

M.C. Alonso-García, J.M. Ruiz, F. Chenlo

Keyword

Hot-spot; PV modules

- 기존 태양전지 모듈은 포함되어 있는 셀을 연결하는 단순한 방식으로 개발되었음.
- 하지만 모듈의 전력특성은 각 셀의 매개 변수의 산란 및 지점의 음영 효과 및 온도 등에 의해 달라짐.
- 해당 논문은 이전 연구에서 분류된 셀의 특성에 대해 정리하고, 부분 음영 발생 시 모듈과 셀의 동작관계를 분석하였음.
- 음영이 발생한 셀의 I–V 특성곡선 변형은 음영의 양이 증가함에 따라 전력이 감소하는 방향으로 변화하는 것을 확인함.



Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules. Energy

Author M.C. Alonso-García, J.M. Ruiz, F. Chenlo

Keyword Hot-spot; PV modules

- 태양광 발전은 셀의 부분적 또는 전체적은 음영으로 인해 크게 영향을 받음
- 이 영향은 어레이의 구성, 음영특성 및 바이패스 다이오드의 존재 유무에 따라 달라지게 됨
- 해당 논문은 옥외폭로형 태양광 발전 시스템을 이용하여 기상 조건 변화에 따른 전압곡선을 측정하였음.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	도심지 건물에 설치된 루버형 BIPV 시스템의 발전 성능 분석			대한민국	-	2016.02	단독	비SC
2	논문	도심지 주변건물 음영으로 인한 태양광시스템 적용 건물의 문제점 및 개선 전략			대한민국	-	2016.04	단독	비SCI
3	논문	실리콘 결정계 태양광 모듈의 음영 성능 특성 및 정량화 방안			대한민국	-	2017.04	단독	비SCI
4	저작권	도심지 주변건물의 음영을 고려한 태양광시스템의 유효발전량 분석 프로그램(Helios PV)			대한민국	-	2017.05.22	-	-

제11장. 기타 사항

제12장. 참고 문헌

1. 이소미, 심헌, 이용호. (2005). 차양형 태양광발전시스템의 설치 및 운영에 관한 연구, 한국신·재생에너지학회 2005년도 춘계학술대회논문집: 한국신·재생에너지학회, pp.136-141.
 2. 차성준, 조정제, 정유근. (2011). 태양광 발전차양의 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집 계획계: 대한건축학회, 31(2), pp.483-484.
 3. 소정훈, 유권중, 강기환, 정영석, 최주엽. (2004). 15kW급 차양식 BIPV시스템의 성능 분석, 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집: 대한전기학회, pp.1474-1476.
 4. 이상길, 강기환, 유권중, 김준태. (2012). 차양식 BIPV 설치각과 일반 평지 설치각에 따른 출력차에 관한 연구. 2012년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집: 대한전기학회, pp.829-830.
 5. 유승호. (2007). 차양장치로서의 건물일체형 태양광발전의 효과적인 이용을 위한 변수 시뮬레이션, 대한건축학회 논문집 계획계, 23(1), pp.187-194.
 6. 산업통상자원부. (2014). 제4차 신재생에너지 기본계획(안).
 7. 이강연, 최연옥, 백형래, 조금배, 이성길, 김동휘. (2004). 주택용 태양광발전시스템의 성능비교 분석, 전력전자학술대회 논문집, pp.144-146.
 8. 윤종호, 한규복, 안영섭, 진경일. (2006). 주택용 3kW 지붕일체형 태양광발전 시스템의 온도와 발전성능에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회 2006년도 춘계학술발표회 논문집: 한국태양에너지학회, pp.276-281.
 9. 김현일, 강기환, 박경은, 소정훈, 유권중, 서승직. (2009). 발코니 일체형 태양광발전시스템의 발전성능 분석, 한국태양에너지학회 논문집, 29(1), pp.32-37.
 10. 오명석, 김주영, 홍원화. (2008). 아파트에 적용된 태양광발전 시스템의 성능평가 및 개선방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 24(10), pp.243-250.
 11. 노재영, 황동곤. (2012). 공동주택 적용 태양광 발전시스템의 성능평가, 대한설비공학회 2012년도 하계학술발표대회 논문집: 대한설비공학회, pp.650-654.
 12. 윤종호, 김병수. (2005). 인접 차폐물에 의한 건물일체 태양광발전 모듈의 음영 및 발전 성능 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 21(7), pp.149-156.
 13. 김빛나, 윤종호, 신우철. (2012). 천공상태에 따른 박막 BIPV 창호의 온도 및 발전특성 실측연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집: 한국태양에너지학회, pp.171-176.
 14. 차왕철. (2015). 태양광발전에 영향을 미치는 요소 분석을 통한 연간 발전량 예측에 관한 연구, 숭실대학교 박사학위 논문.
 15. 조한, 건물 통합형 태양광 시스템의 건축 디자인 적용 방법 연구, 대한건축학회논문집, 22권, 8호, p.p. 109~118, 2006
 16. 이한명, 오민석, 김희서, 수직 외벽면 적용 BIPV 의 Mock-up 실험연구, 한국태양에너지학회
-

-
- 지학회 논문집, 29권, 6호, p.p. 110~118, 2009
17. 김태훈, 이명도, 이웅균, 조훈희, 강경인, 초고층 시스템 거푸집 공사의 태양광에너지 활용 방안 연구, 한국건축시공학회, 11권, 2호, p.p. 116~126, 2011
 18. 오세경, 임병찬, 이경희, 주택용 고정식 태양광발전시스템의 최적 전력발전량에 관한 연구, GRI 연구논총, 14권, 2호, p.p. 271~288, 2012
 19. 김선희, 정동양, 청주지역의 남향 고정식 태양전지모듈의 연간 최대 전력량 분석, 한국 기술교육학회지, 8권, 1호, p.p. 167~178, 2008
 20. 윤종호, 박재성, 신우철, 공동주택 단지 배치유형별 PV시스템 최적 설치면적 및 전기부하 기여율 평가 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 28권, 3호, p.p. 60~66, 2008
 21. 최원기, 서승직, 독립된 외부 차양장치의 환경성능에 관한 평가, 대한건축학회논문집, 21권, 5호, p.p. 215~222, 2005
 22. 진경일, 윤종호, 발코니 설치식 가동형 차양겸용 BIPV 디자인과 성능 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 30권, 5호, p.p. 85~92, 2010
 23. 김현일, 강기환, 박경은, 소정훈, 유권종, 서승직, 발코니 일체형 태양광발전시스템의 발전성능 분석, 한국태양에너지학회 논문집, 29권, 1호, p.p. 21~37, 2009
 24. 오명석, 김주영, 홍원화, 아파트에 적용된 태양광발전 시스템의 성능평가 및 개선방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 24권, 10호, p.p. 243~250, 2008
 25. 서정훈, 허정호, 아파트 입면형 PV 적용방식의 발전성능 효과 해석 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 26권, 3호, p.p. 25~32, 2006
 26. 이강록, 오명택, 박경은, 김진희, 김준태, 주택지붕용 2kWp BIPV시스템의 성능 실험 및 전기 부하 감당에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 26권, 1호, p.p. 13~19, 2006
 27. 이한명, 오민석, 김희서, 수직 외벽면 적용 BIPV의 Mock-up 실험연구, 한국태양에너지학회 논문집, 29권, 6호, p.p. 110~118, 2009
 28. 김재원, 오민석, 이성주, 최인창, 이웅직, 김희서, 벽면부착방식 PV시스템의 건축물 사용가능성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 19권, 6호, p.p. 121~128, 2003
 29. 이건태, 강석윤, 건물일체형 PV시스템을 오피스빌딩에 적용시 고려되어야 할 설치 인자에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 26권, 1호, p.p. 315~322, 2010
 30. 홍원표, 병원건물의 스마트그리드시스템의 에너지절약평가 및 경제성 분석, 조명·전기설비학회논문지, 24권, 4호, p.p. 129~138, 2010
 31. 김진희, 김준태, 공기식 집열 BIPV 지붕시스템의 성능 모델링, 한국태양에너지학회 학술대회 논문집, p.p. 282~287, 2006
-

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.