(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년04월04일
(11) 등록번호 10-1722826
(24) 등록일자 2017년03월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G01R 31/40* (2014.01) *G01R 17/00* (2006.01)
*G01R 19/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*H02S 50/00* (2013.01)
*G01R 17/00* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0013294
(22) 출원일자 2015년01월28일
심사청구일자 2015년01월28일
(65) 공개번호 10-2016-0092653
(43) 공개일자 2016년08월05일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020140061099 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
기술이전 희망 : **기술양도**

(73) 특허권자
**울산대학교 산학협력단**
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
**최성진**
울산광역시 남구 북부순환도로 35, 107동 901호 (무거동, 위브자이)
**박준영**
울산광역시 북구 상방로 160, 108동 205호 (연암동, 벽산늘푸른아파트)
(74) 대리인
**김종선, 이형석**

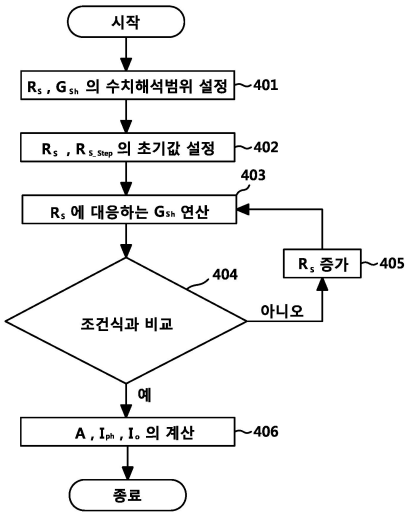
전체 청구항 수 : 총 11 항 심사관 : 오규환

(54) 발명의 명칭 **태양광 패널의 모델링 방법 및 이를 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록매체**

## (57) 요 약

본 발명은 태양광 패널의 모델링 방법 및 프로그램에 관한 것으로, Rs, Gsh의 수치해석 범위를 설정하는 설정단계, 상기 수치해석 범위 내에서 Rs의 초기값과 Rs_step의 값을 설정하는 초기화단계, Rs, Gsh를 변수로 하는 관계식에 상기 Rs의 초기값을 대입하여 이에 대응하는 Gsh의 값을 연산하는 연산단계, 상기 연산단계를 통해 구한 Rs, Gsh의 값을 최대전력값과 비교하는 비교단계, 상기 비교단계의 결과가 허용오차보다 큰 경우 Rs에 Rs_step을 더하여 상기 연산단계, 비교단계를 반복수행하는 반복단계, 상기 비교단계의 결과가 허용오차보다 작은 경우 상기 Rs, Gsh의 값을 이용하여 A, Iph, Io를 계산하는 최종연산단계를 포함한다. 이로써 본 발명은 수치해석의 반복 횟수를 줄이고 MPP영역에서 정확도가 높은 태양광 패널의 모델을 제공할 수 있다.

*대 표 도* - 도4



(52) CPC특허분류
*G01R 19/0061* (2013.01)

공지예외적용 : 있음

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

태양광 패널의 등가회로를 이용한 PV시뮬레이터(photovoltaic simulator)에 의해 수행되는 태양광 패널 모델링 방법에 있어서,

Rs, Gsh의 수치해석 범위를 설정하는 설정단계;

상기 수치해석 범위 내에서 Rs의 초기값과 Rs_step의 값을 설정하는 초기화단계;

상기 Rs의 초기값에 대응하는 Gsh의 값을 연산하는 연산단계;

상기 연산단계에서 연산된 Rs, Gsh의 값을 이용하여 Pmpp,model를 구하고, $\left| \frac{dp}{dv} \right|_{@MPP} \leq \delta_1$, $\left| \frac{P_{MPP,measured} - P_{MPP,model}}{P_{MPP,measured}} \right| \leq \delta_2$ 의 조건식을 이용하여 최대전력값과 비교하는 비교단계;

상기 비교 결과값이 미리 설정된 허용오차를 초과하는 경우 Rs에 Rs_step을 더하여 상기 연산단계, 비교단계를 반복수행하는 반복단계; 및

상기 비교 결과값이 상기 허용오차 이하인 경우 상기 Rs, Gsh의 값을 이용하여 A, Iph, Io를 계산하는 최종연산단계를 포함하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Rs는 직렬저항, Rs_step는 Rs에 더하는 증분값, Gsh는 병렬컨덕턴스, A는 다이오드 이상계수, Iph는 광전류, Io는 암전류, Pmpp,measured는 제조사에서 측정하여 제공하는 최대전력값, Pmpp,model는 본 발명에 의해 연산된 최대전력값임.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 설정단계는,

상기 Rs의 수치해석 범위가 0 이상이고, $\frac{V_{OC} - V_{MPP}}{I_{MPP}}$ 이하인 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Voc는 개방전압, Vmpp는 최대전력 전압, Impp는 최대전력 전류임.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 설정단계는,

$$\frac{I_{SC}-I_{MPP}}{V_{MPP}}$$

상기 Gsh의 수치해석 범위가 0 이상이고, 이하인 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Isc는 단락전류, Impp는 최대전력 전류, Vmpp는 최대전력 전압임.

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 초기화단계는 Rs의 초기값을 0으로 설정하는 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법.

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 연산단계는,

$$G_{sh}=\frac{\left(\frac{-I_{MPP}}{I_{MPP}R_s-V_{MPP}}-G_{sh}\right)N_sA\,V_T\,e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-V_{oc}}{N_sA\,V_T}}-I_{sc}}{-V_{oc}+I_{sc}R_s}$$

인 관계식을 이용하여 상기 Rs의 초기값에 대응하는 상기 Gsh의 값을 연산하는 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Impp는 최대전력 전류, Vmpp는 최대전력 전압, Ns는 직렬로 연결된 태양광 셀의 수, Vt는 열전압, Voc는 개방전압, Isc는 단락전류임.

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 연산단계는 Rs의 값에 대응하는 Gsh의 값을 구하기 위하여 이분법(bisection method)을 이용하는 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

제1항에 있어서,

상기 조건식은,

$$\left.\frac{dp}{dv}\right|_{@mpp}=I_{MPP}-V_{MPP}\frac{G_{sh}\left(\frac{(I_{sc}/G_{sh}-V_{oc}+I_{sc}R_s)}{N_sA\,V_T}\,e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-V_{oc}}{N_s\,V_T}}+1\right)}{1+R_sG_{sh}\left(\frac{(I_{sc}/G_{sh}-V_{oc}+I_{sc}R_s)}{N_sA\,V_T}\,e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-V_{oc}}{N_s\,V_T}}+1\right)},$$

$$P_{MPP,model}=\left[I_{ph}-I_o e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s}{N_s A V_T}}-(V_{MPP}+I_{MPP}R_s)G_{sh}\right]V_{MPP}$$

인 관계식을 이용하는 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Impp는 최대전력 전류, Vmpp는 최대전력 전압, Ns는 직렬로 연결된 태양광 셀의 수, Vt는 열전압, Voc는 개방전압, Isc는 단락전류임.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 최종연산단계는,

$$A=\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-Voc}{V_T N_s \ln\left(\frac{I_{MPP}-I_{sc}+(V_{MPP}+I_{MPP}R_s-I_{sc}R_s)G_{sh}}{-I_{sc}+(V_{oc}-I_{sc}R_s)G_{sh}}\right)}$$

을 이용하여 A의 값을 연산하는 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Impp는 최대전력 전류, Vmpp는 최대전력 전압, Ns는 직렬로 연결된 태양광 셀의 수, Vt는 열전압, Voc는 개방전압, Isc는 단락전류임.

**청구항 10**

제1항에 있어서,

상기 최종연산단계는,

$$I_o=\frac{I_{sc}-(V_{oc}-I_{sc}R_s)G_{sh}}{e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}}}$$

을 이용하여 Iph의 값을 연산하는 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Ns는 직렬로 연결된 태양광 셀의 수, Vt는 열전압, Voc는 개방전압, Isc는 단락전류임.

**청구항 11**

제1항에 있어서,

상기 최종연산단계는,

$$I_{ph}=I_o e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}}+V_{oc}G_{sh}$$

을 이용하여 Io의 값을 연산하는 것을 특징으로 하는 태양광 패널 모델링 방법:

여기에서, Ns는 직렬로 연결된 태양광 셀의 수, Vt는 열전압, Voc는 개방전압임.

**청구항 12**

제1항 내지 제6항, 제8항 내지 제11항 중 어느 한 항에 기재된 태양광 패널 모델링 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능 기록 매체.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 태양광 패널의 모델링 방법에 관한 것으로, 제조사가 제공하는 Voc(개방전압), Isc(단락전류), Pmpp(최대전력값)을 이용하여 태양광 패널 모델의 전류-전압 특성을 결정하는 파라미터를 구하는 방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 화석연료 사용에 따른 환경문제와 화석연료의 고갈위험을 극복하기 위한 대책으로 신재생 에너지가 각광받고 있으며, 그 중에서도 태양광 발전시스템은 친환경성과 무한한 태양에너지를 이용한다는 장점을 바탕으로 사용이 증가하고 있다. 태양광 발전시스템을 개발할 때 발전효율을 향상시키기 위해서는 온도, 방사량 등과 같은 외부 환경의 변화에 따른 태양광 패널(photovoltaic panel, PV 패널)의 특성을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 그러나 실제 태양광 패널의 실물을 대상으로 특성을 평가하는 것은 어렵기 때문에 주로 태양광 패널의 모델링을 이용한 PV시뮬레이터(photovoltaic simulator)를 통해 해당 태양광 패널의 특성을 파악한다.

[0003] 도1은 태양광 패널의 등가회로를 도시한 도면이다. 태양광 패널은 빛을 받게 되면 p-n접합의 광전효과에 의해 전류를 발생시키는 장치로서 전류를 생성하는 전류원(Iph), p-n접합의 특성을 반영하는 다이오드(D), 장치 내부의 저항성분으로서 출력단과 직렬로 연결되는 직렬저항(Rs)과 병렬저항(Rsh)으로 등가회로를 구성할 수 있다. PV 시뮬레이터에는 일반적으로 도1에 도시한 바와 같이 각 하나의 전류원(Iph), 다이오드(D), 직렬저항(Rs), 병렬저항(Rsh, 또는 병렬컨덕턴스 Gsh)으로 구성된 싱글다이오드 모델이 사용된다.

[0004] 도2는 태양광 패널의 I-V 특성곡선을 도시한 도면이다. 도2에 도시한 바와 같이 태양광 패널의 I-V 특성곡선은 비선형 형태이며, 이를 수학적으로 표현하면 아래의 수학식(1)과 같다.

*수학식 1*

[0005]
$$i = I_{ph} - I_o\left(e^{\frac{v+iR_s}{N_S A V_T}} - 1\right) - (v + iR_s)G_{sh}$$

[0006] 여기서, 각 파라미터는 다음과 같다.

[0007] Io: 암전류(A)

[0008] Iph: 광 전류(A)

[0009] Rs: 직렬저항(Ω)

[0010] Gsh: 병렬컨덕턴스(S)

[0011] Ns: 직렬연결된 PV cell의 수

[0012] VT: 열전압(V)=kT/q

[0013] k: 볼츠만 상수($1.602\times 10^{-19} J/K$)

[0014] T: 절대온도(K)

[0015] q: 전자의 전하량($1.38\times 10^{-23} C$)

[0016] A: 다이오드의 이상계수(1~2 for silicon)

[0017] 태양광 패널의 제조사에서는 데이터 시트(Data Sheet)를 통해 태양광 패널의 특성값으로서 Voc(개방전압), Isc(단락전류), Pmpp(최대전력값)를 제공하므로 상기 수학식(1)과 상기 3개의 값을 이용하여 나머지 파라미터 Io(암전류), Iph(광전류), Rs(직렬저항), Gsh(병렬컨덕턴스), A(다이오드 이상계수)를 도출해야 한다.

[0018] 그러나 태양광 패널의 I-V 특성곡선은 도2에 도시한 바와 같이 비선형이고, 상기 파라미터의 값을 도출하기 위한 조건이 충분하지 않기 때문에 정확한 모델링을 얻기 위해서는 다양한 방법의 수학적 해석이 요구된다.

[0019] 즉, 일정한 조건을 가정하여 상기 파라미터 중 일부를 특정한 값으로 근사함으로써 해석의 범위를 한정하는 방법과 각 파라미터에 대한 관계식을 설정한 후 수치해석을 통해 값을 구하는 방법을 사용한다.

[0020] 그 중 바그너(Wagner) 알고리즘은 태양광 패널의 데이터시트가 제공하는 I-V 특성곡선에 대한 하나의 값만으로도 모델링이 가능하며, 각 파라미터의 값을 도출하기 위한 계산과정이 한 번으로 이루어진다는 장점이 있다. 그러나 바그너 알고리즘은 I-V특성곡선 중 최대전력지점(MPP, Maximum Power Point)에서의 오차가 존재한다. 따라서 일정한 오차를 허용할 수 있는 경우에는 간단한 방법으로 사용할 수 있지만, 정확한 모델링이 요구되는 경우에는 적용하기 어려운 단점이 있다.

[0021] 또한, 세라(Sera) 알고리즘은 Rsh>>Rs라는 전제를 조건으로, $\left.\frac{di}{dv}\right|_{@I_{sc}} = -\frac{1}{R_{sh}}$ 를 도출하여 각 파라미터의 값을 계산한다. 그러나 상기 알고리즘은 실제 태양광 패널이 Rsh>>Rs라는 조건을 만족하지 못할수록 모델링의 오차가 커지는 단점이 있다.

[0022] 도3a는 세라 알고리즘을 적용한 태양광 패널 등가회로의 특성곡선을 나타낸 도면이다. 도3a에서 Isc에서의 곡선 기울기는 $\left.\frac{di}{dv}\right|_{@Isc} = \frac{1}{R_{sh}}$ 로 표현될 수 있다. 도3a에 도시한 바와 같이 세라 알고리즘을 적용한 특성곡선은 Rsh>>Rs가 전제되어 있으므로 Isc 지점에서의 기울기는 0, 즉 Rsh의 값이 무한대로 표현된다. 그러나 실제 태양광 패널을 측정한 특성곡선을 보면 Rsh의 값이 존재하므로 기울기의 차이가 존재하며, 이와 같은 이유로 최대전력지점(MPP) 영역에서는 상당한 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

[0023] 또한, 빌라바(Villalva) 알고리즘은 Rs, Rsh를 변화시키고, 전압을 0에서 Voc까지 변경해가며 상기 수학식(1)에 대해 수치해석을 수행한 뒤 Pmpp(최대전력값)을 계산한다. 그리고 수치해석을 통해 계산된 상기 Pmpp(최대전력값)을 태양광 패널의 데이터시트의 최대전력값과 비교하는 방법으로 비교적 정확한 Pmpp(최대전력값)을 갖는 태양광 패널의 모델을 얻을 수 있다. 그러나 빌라바 알고리즘은 파라미터의 값을 계산하기 위해 상당히 많은 수치해석을 반복해야 하고, Pmpp(최대전력값)의 값만을 비교하여 오차를 보정하므로 Vmpp(최대전력 전압)에서 오차가 발생하는 단점이 있다.

[0024] 도3b는 빌라바 알고리즘을 적용한 태양광 패널 모델의 특성곡선을 나타낸 도면이다. 도3b에 도시한 바와 같이, 빌라바 알고리즘을 적용한 특성곡선은 최대전력값을 나타내는 Pmpp에 대해서는 실제 측정치와 비교하여 높은 정확도를 보여주지만, 최대전력값이 발생하는 Vmpp(최대전력 전압)에 대해서는 오차가 발생하고 있다는 점을 확인할 수 있다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0025] 본 발명의 목적은 태양광 패널 모델의 각 파라미터를 구하기 위한 수치해석의 반복 횟수를 줄이고, 최대전력지점(MPP) 영역에서 높은 정확도를 갖는 태양광 패널의 모델링 방법 및 프로그램을 제공하는 것이다.

### *과제의 해결 수단*

[0026] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법 및 프로그램은Rs, Gsh의 수치해석 범위를 설정하는 설정단계; 상기 수치해석 범위 내에서 Rs의 초기값과 Rs_step의 값을 설정하는 초기화단계; 상기 Rs의 초기값에 대응하는 Gsh의 값을 연산하는 연산단계; 상기 연산단계에서 연산된 Rs, Gsh의 값을 최대전력값의 조건식과 비교하는 비교단계; 상기 비교 결과값이 허용오차를 초과하는 경우 Rs에 Rs_step을 더하여 상기 연산단계, 비교단계를 반복수행하는 반복단계; 및 상기 비교 결과값이 상기 허용오차 이하인 경우 상기 Rs, Gsh의 값을 이용하여 A, Iph, Io를 계산하는 최종연산단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 상기 설정단계는, 상기 Rs의 수치해석 범위가 0 이상이고, $\frac{V_{OC}-V_{MPP}}{I_{MPP}}$ 이하인 것을 특징으로 한다.

[0028] 또한, 상기 설정단계는, 상기 Gsh의 수치해석 범위는 0 이상이고, $\frac{I_{SC}-I_{MPP}}{V_{MPP}}$ 이하인 것을 특징으로 한다.

[0029] 상기 초기화단계는 Rs의 초기값을 0으로 설정하는 것을 특징으로 한다.

[0030] 상기 연산단계는,

[0031] $$G_{sh}=\frac{\left(\frac{-I_{MPP}}{I_{MPP}R_s-V_{MPP}}-G_{sh}\right)N_sAV_T e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-V_{oc}}{N_sAV_T}}-I_{sc}}{-V_{oc}+I_{sc}R_s}$$ 인 관계식을 이용하여 상기 Rs의 초기값에 대응하는 상기 Gsh의 값을 연산하는 것을 특징으로 한다.

[0032] 또한, 상기 연산단계는 Rs의 값에 대응하는 Gsh의 값을 구하기 위하여 이분법(bisection method)을 이용하는 것

을 특징으로 한다.

[0033] 상기 비교단계는,

[0034] $\left| \frac{dp}{dv} \Big|_{@MPP} \right| \leq \delta_1$ , $\left| \frac{P_{MPP,measured} - P_{MPP,model}}{P_{MPP,measured}} \right| \leq \delta_2$ 의 조건식을 이용하여 비교하는 것을 특징으로 한다.

[0035] 여기에서, 상기 조건식은

[0036] $$\frac{dp}{dv}\Big|_{@mpp} = I_{MPP} - V_{MPP} \frac{G_{sh}\left( \frac{(I_{sc}/G_{sh} - V_{oc} + I_{sc}R_s)}{N_s A V_T} e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s - V_{oc}}{N_s V_T}} + 1 \right)}{1 + R_s G_{sh}\left( \frac{(I_{sc}/G_{sh} - V_{oc} + I_{sc}R_s)}{N_s A V_T} e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s - V_{oc}}{N_s V_T}} + 1 \right)},$$

$P_{MPP,model} = \left[ I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s}{N_s A V_T}} - (V_{MPP} + I_{MPP}R_s) G_{sh} \right] V_{MPP}$ 인 관계식을 이용하는 것을 특징으로 한다.

[0037] 상기 최종연산단계는,

[0038] $$A = \frac{V_{MPP} + I_{MPP}R_s - Voc}{V_T N_s \ln\left( \frac{I_{MPP} - I_{sc} + (V_{MPP} + I_{MPP}R_s - I_{sc}R_s) G_{sh}}{-I_{sc} + (V_{oc} - I_{sc}R_s) G_{sh}} \right)}$$ 을 이용하여 A의 값을 연산하는 것을 특징으로 한다.

[0039] 또한, 상기 최종연산단계는,

[0040] $$I_o = \frac{I_{sc} - (V_{oc} - I_{sc}R_s) G_{sh}}{e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}}}$$ 을 이용하여 Io의 값을 연산하는 것을 특징으로 한다.

[0041] 또한, 상기 최종연산단계는,

[0042] $$I_{ph} = I_o e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}} + V_{oc} G_{sh}$$ 을 이용하여 Iph의 값을 연산하는 것을 특징으로 한다.

## 발명의 효과

[0043] 본 발명에 따르면, 각 파라미터에 대한 관계식을 Rs와 Rsh를 변수로 갖는 관계식으로 정리하여 이분법에 의한 수치해석을 수행하고, 수치해석 결과를 최대전력지점(MPP)에서의 조건과 비교함으로써 수치해석의 반복 횟수를 줄이고 최대전력지점(MPP)영역에서 정확도가 높은 태양광 패널의 모델을 제공할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0044] 도1은 태양광 패널의 등가회로를 나타내는 도면이다.

도2는 태양광 패널의 I-V 특성곡선을 나타내는 도면이다.

도3a, 도3b는 종래 기술에 따른 태양광 패널 모델링의 특성곡선을 나타내는 도면이다.

도4는 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법의 순서도를 나타내는 도면이다.

도5는 태양광 패널의 I-V 특성곡선 중 Rs와 Gsh의 값이 가질 수 있는 범위를 나타내는 도면이다.

도6은 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법을 20W급 태양광 패널에 적용하여 구한 특성곡선을 나타내는 도면이다.

도7은 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법을 50W급 태양광 패널에 적용하여 구한 특성곡선을 나타내는 도면이다.

도8은 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법을 120W급 태양광 패널에 적용하여 구한 특성곡선을 나타내는 도면이다.

도9는 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법을 200W급 태양광 패널에 적용하여 구한 특성곡선을 나타내는 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0045] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0046] 도4는 본 발명의 실시예에 따른 태양광 패널 모델링 방법의 순서도를 나타내는 도면이다.

[0047] 도4에서 도시한 바와 같이, 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법은, Rs와 Gsh의 수치해석 범위를 설정하는 설정단계(401), 상기 수치해석 범위 내에서 Rs의 초기값과 Rs_step의 값을 설정하는 초기화단계(402), 상기 Rs의 값에 대응하는 Gsh의 값을 연산하는 연산단계(403); 상기 연산단계에서 구한 Rs, Gsh의 값을 최대전력값의 조건식과 비교하는 비교단계(404), 상기 비교 결과값이 허용오차보다 큰 경우 Rs에 Rs_step을 더하여 상기 연산단계, 비교단계를 반복수행하는 반복단계(405), 상기 비교 결과값이 허용오차보다 작은 경우 상기 Rs, Gsh의 값을 이용하여 A, Iph, Io를 계산하는 최종연산단계(406)을 포함하여 구성된다.

[0048] 아래에서는 상기와 같은 태양광 패널 모델링 방법의 각 단계를 상세히 설명하기로 한다.

[0049] **먼저, 도5를 참조하여 설정단계(401)에 대하여 설명하기로 한다.**

[0050] 도5는 태양광 패널의 I-V 특성곡선 중 Rs와 Gsh의 값이 가질 수 있는 범위를 나타내는 도면이다. 도5에서 도시한 바와 같이 Isc에서의 곡선 기울기는 Gsh의 값을 나타내고, Voc에서의 곡선 기울기는 Rs의 값을 나타낸다. Gsh는 최소값으로 병렬저항(Rsh)이 무한대인 경우 0을 가질 수 있고, 최대값으로 Isc 지점과 (Impp, Vmpp)지점 사이의 기울기에 해당하는 값을 가질 수 있다. 이와 마찬가지로 Rs는 최소값으로 0을 가질 수 있고, 최대값으로 Voc 지점과 (Impp, Vmpp)지점 사이의 기울기에 해당하는 값을 가질 수 있다. 따라서 Rs와 Gsh는 상기 최소값과 최대값 사이에 어느 하나의 값을 가진다고 할 수 있으므로 수치해석의 범위를 다음과 같이 설정할 수 있다.

*수학식 2*

[0051] $$R_s \in \left| 0, \frac{V_{OC} - V_{MPP}}{I_{MPP}} \right|$$

*수학식 3*

[0052] $$G_{sh} \in \left| 0, \frac{I_{SC} - I_{MPP}}{V_{MPP}} \right|$$

[0053] **다음으로 초기화단계(402)에 대하여 설명하기로 한다.**

[0054] 초기화단계(402)는 수치해석을 하기 위하여 각 변수에 대입하는 값을 초기화하는 단계이다. 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법 및 프로그램은 Rs를 증분해가며 이에 대응하는 Gsh를 구하는 방법으로 수치해석을 수행한다. 따라서 Rs의 초기값과 수치해석을 반복수행할 때마다 Rs에 더할 증분값으로 Rs_step의 값을 설정할 필요가 있다.

[0055] 설정단계(401)에서 상술한 바와 같이 Rs는 최소값으로 0을 가질 수 있으므로 초기값으로 0을 설정한다. 수치해석의 반복 수행시 Rs에 더할 증분값으로서 Rs_step은 10mΩ으로 설정한다. 본 발명의 실시예에서는 Rs에 대하여 최소값으로 초기화하고, 증분값으로 Rs_step을 10mΩ으로 설정하였으나 이와 달리 Rs를 최대값으로 초기화하고, Rs_step을 10mΩ보다 크거나 작은 값으로 설정할 수도 있다. 이 때, Rs_step 값을 큰 값으로 설정하면, 수치해석의 반복 횟수가 줄어들지만 정확도가 떨어질 수 있다. 반대로, Rs_step 값을 작은 값으로 설정하면, 수치해석의 반복 횟수가 늘어들지만 정확도가 향상될 수 있다.

[0056] **다음으로 연산단계(403)에 대하여 설명하기로 한다.**

[0057] 연산단계(403)는 상기와 같이 초기화된 Rs의 값을 Rs와 Gsh를 변수로 구성된 관계식에 대입하여 이에 대응하는 Gsh의 값을 구하는 단계이다. 연산단계(403)를 보다 상세히 설명하기 위하여 상기 Rs와 Gsh를 변수로 구성된 관계식에 대하여 설명하기로 한다. 상기 Rs와 Gsh를 변수로 구성된 관계식은 다음과 같은 과정을 거쳐 도출된다.

[0058] 태양광 패널의 등가회로에 대한 전류식은 상기 수학식(1)과 같다. 상술한 바와 같이 태양광 패널의 제조사는 Voc, Isc, Pmpp를 제공한다. 따라서 상기 수학식(1)과 상기 Voc, Isc, Pmpp를 이용하여 Iph, Io, A, Rs, Gsh에 대한 관계식을 도출할 수 있다.

[0059] 상기 수학식(1)에 Voc(개방전압)를 대입하면, 태양광 패널 등가회로의 출력단은 개방(open)된 상태가 되므로 전류(i)는 0이 된다. 따라서 Iph에 대하여 다음과 같은 수학식이 도출된다.

*수학식 4*

[0060] $$I_{ph} = I_o e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}} + V_{oc} G_{sh}$$

[0061] 상기 수학식(1)에 Isc(단락전류)를 대입하면, 태양광 패널 등가회로의 출력단은 단락(short)된 상태가 되므로 전압(v)은 0이 된다. 따라서 상기 수학식(1)은 다음과 같이 정리된다.

*수학식 5*

[0062] $$I_{sc} = I_{ph} - I_o e^{\frac{I_{sc} R_s}{N_s A V_T}} - I_{sc} R_s G_{sh}$$

[0063] 여기에서 상기 수학식(4)와 수학식(5)를 이용하여 다음과 같은 식이 도출된다.

*수학식 6*

[0064] $$I_{sc} = I_o \left( e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}} - e^{\frac{I_{sc} R_s}{N_s A V_T}} \right) + (V_{oc} - I_{sc} R_s) G_{sh}$$

[0065] 상기 수학식(6)을 Io에 대한 관계식으로 정리하면 다음과 같다.

*수학식 7*

[0066] $$I_o = \frac{I_{sc} - (V_{oc} - I_{sc} R_s) G_{sh}}{e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}} - e^{\frac{I_{sc} R_s}{N_s A V_T}}} \simeq \frac{I_{sc} - (V_{oc} - I_{sc} R_s) G_{sh}}{e^{\frac{V_{oc}}{N_s A V_T}}}$$

[0067] 상기 수학식 (7)에서 Isc에 대한 지수함수 항은 Voc에 대한 지수함수 항에 비해서 매우 작은 값이므로 생략이 가능하다.

[0068] 최대전력지점(MPP)에서의 특성, 즉 Pmpp, Vmpp, Impp를 상기 수학식(1)에 대입하면 다음과 같은 수학식이 도출된다.

*수학식 8*

[0069] $$I_{MPP} = I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{MPP} + I_{MPP} R_s}{N_s A V_T}} - (V_{MPP} + I_{MPP} R_s) G_{sh}$$

[0070] 상기 수학식(8)을 A에 대한 관계식으로 정리하면 다음과 같다.

*수학식 9*

$$A=\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-Voc}{V_T N_s \ln\left(\frac{I_{MPP}-I_{oc}+(V_{MPP}+I_{MPP}R_s-I_{sc}R_s)G_{sh}}{-I_{sc}+(V_{oc}-I_{sc}R_s)G_{sh}}\right)}$$

[0071]

[0072] 전력의 특성곡선은 MPP에서 기울기가 0이 된다는 점을 이용하여 상기 수학식(1)을 p(v)=iv에 대입하여 미분하고, 상기 미분한 식에 Pmpp, Vmpp, Impp를 대입하면 다음과 같이 최대전력지점(MPP)에서의 기울기에 관한 수학식이 도출된다.

*수학식 10*

$$\frac{dp}{dv}=\frac{d(iv)}{dv}=i+\frac{di}{dv}v$$

[0073]

*수학식 11*

$$\left.\frac{dp}{dv}\right|_{@mpp}=I_{MPP}-V_{MPP}\frac{G_{sh}\left(\frac{(I_{sc}/G_{sh}-V_{oc}+I_{sc}R_s)}{N_sA V_T}e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-V_{oc}}{N_sV_T}}+1\right)}{1+R_sG_{sh}\left(\frac{(I_{sc}/G_{sh}-V_{oc}+I_{sc}R_s)}{N_sA V_T}e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-V_{oc}}{N_sV_T}}+1\right)}=0$$

[0074]

[0075] 상기 수학식(11)을 Gsh에 관한 관계식으로 정리하면 다음과 같다.

*수학식 12*

$$G_{sh}=\frac{\left(\frac{-I_{MPP}}{I_{MPP}R_s-V_{MPP}}-G_{sh}\right)N_sA V_T e^{\frac{V_{MPP}+I_{MPP}R_s-V_{oc}}{N_sA V_T}}-I_{sc}}{-V_{oc}+I_{sc}R_s}$$

[0076]

[0077] 상기 수학식(12)에 상기 수학식(9)를 대입하여 변수 A를 Rs, Gsh로 치환하면 Rs와 Gsh를 변수로 구성된 관계식이 도출된다.

[0078] 연산단계(403)에서는 상기 수학식(12)에 Rs의 값을 대입하여 이에 대응하는 Gsh의 값을 연산한다. 이 때, 상기 수학식(12)는 지수함수로 이루어져 있으므로 분석적 방법(analytical methods)으로는 Gsh의 값을 구할 수 없다. 따라서 상기 수학식(12)에서 Rs의 값에 대응하는 Gsh의 값을 구하기 위하여 수치해석 방법을 이용한다.

[0079] 본 발명의 실시예에서는 설정단계(401)에서 Gsh의 수치해석 범위를 설정한다. 따라서 한정된 범위를 이용하는 수치해석 방법으로서 구간 축소법(bracketing method)을 이용하며, 그 중에서도 이분법(bisection method)을

이용한다. 물론, 구간 축소법으로서 증분검색법(incremental search method), 가상위치법(false position method)을 이용할 수 있고, 구간 축소법이 아닌 개구간법(open method)을 이용할 수도 있다. 수치해석으로 해를 구하는 방법은 널리 알려져 있으므로 여기에서는 자세한 설명을 생략한다.

[0080] **다음으로 비교단계(404)에 대하여 설명하기로 한다.**

[0081] 비교단계(404)는 연산단계에서 구한 Rs, Gsh의 값이 태양광 패널의 특성에 부합하는지 여부를 비교하여 검토하는 단계이다. 본 발명의 실시예에서는 최대전력지점(MPP)에서의 정확도를 향상시키기 위하여 최대전력지점(MPP) 영역에서의 최대전력값과 전력곡선의 기울기를 비교한다. 이를 위하여 조건식을 다음과 같이 설정한다.

*수학식 13*

[0082] $$\left| \frac{dp}{dv} \Big|_{@MPP} \right| \leq \delta_1$$

*수학식 14*

[0083] $$\left| \frac{P_{MPP,measured} - P_{MPP,model}}{P_{MPP,measured}} \right| \leq \delta_2$$

[0084] 상기 수학식(13)은 최대전력지점(MPP)에서 전력특성 곡선의 기울기는 0이 되어야 한다는 조건을 비교하여 오차를 연산하는 것이고, 상기 수학식(14)는 최대전력지점(MPP)에서 최대전력값과의 오차를 연산하는 것이다.

[0085] 상기 수학식(13)에서 이용하는 $\frac{dp}{dv}\Big|_{@mpp}$에 관한 관계식은 상기 수학식(11)로 정의된다. 따라서 연산단계(403)에서 구한 Rs, Gsh의 값을 상기 수학식(11)에 대입함으로써 상기 수학식(13)에 따른 오차를 연산하고, 상기 오차를 허용오차와 비교한다.

[0086] 상기 수학식(14)에서 Pmpp,measured는 제조사에서 제공하는 태양광 패널의 최대전력값이고, Pmpp,model은 연산단계(403)를 통해 구한 Rs와 Gsh를 이용하여 계산되는 최대전력값이다. Pmpp,model을 구하기 위해 이용하는 식은 변수 Rs, Gsh로 구성되어야 하므로 Impp에 관한 상기 수학식(8)에 Vmpp를 곱한 다음과 같은 관계식이 이용된다.

*수학식 15*

[0087] $$P_{MPP} = \left[ I_{ph} - I_o e^{\frac{V_{MPP} + I_{MPP} R_s}{N_s A V_T}} - (V_{MPP} + I_{MPP} R_s) G_{sh} \right] V_{MPP}$$

[0088] 본 발명의 실시예에서는 수치해석 결과의 허용오차를 1% 이내로 설정하기 위하여 상기 수학식(13), (14)에 다음과 같은 값이 적용된다.

*수학식 16*

[0089] $$\delta_1 = I_{MPP} \cdot 1\%$$

*수학식 17*

[0090] $$\delta_2 = 1\%$$

[0091] **다음으로 반복단계(405)에 대하여 설명하기로 한다.**

[0092] 반복단계(405)는 비교단계(404)에서 Rs와 Gsh의 값이 상기 조건을 만족하지 않는 경우 Rs에 증분값으로서 Rs_step을 더한 후 연산단계(403)와 비교단계(404)를 반복한다. 반복단계(405)는 비교단계(404)에서 Rs와 Gsh의 값이 상기 조건을 만족할 때까지 반복된다.

[0093] **다음으로 최종연산단계(406)에 대하여 설명하기로 한다.**

[0094] 최종연산단계(406)는 비교단계(404)에서 상기 조건을 만족하는 Rs와 Gsh의 값을 이용하여 나머지 파라미터인 A, Io, Iph의 값을 연산하는 단계이다. A, Io, Iph의 관계식은 Rs, Gsh를 변수로 구성되어 있으므로 각 파라미터의 관계식에 Rs, Gsh의 값을 대입함으로써 구할 수 있다.

[0095] 본 발명의 실시예에서는 먼저, A는 Rs와 Gsh를 변수로 정리된 관계식으로서 상기 수학식(9)를 이용한다. 그리고 Io는 Rs, Gsh, A의 변수로 정리된 관계식으로서 상기 수학식(7)을 이용한다. 그리고 Iph는 Io, A, Gsh를 변수로 정리된 관계식으로서 상기 수학식(4)를 이용한다.

[0096] 도6 내지 도9는 본 발명에 따른 태양광 패널 모델링 방법을 각 20W급(SLP020-12U), 50W급(AT50), 120W급(MSX12), 200W급(KC200GT) 태양광 패널에 적용하여 구한 특성곡선을 나타내는 도면이다.

[0097] 도6 내지 도9에 도시한 그래프에서 'measured'로 표시한 값은 제조사에서 태양광 패널을 실제 측정하여 구한 측정값이고, [1]로 표시한 값은 바그너(Wagner) 알고리즘을 적용하여 구한 값이고, [2]로 표시한 값은 세라(Sera) 알고리즘을 적용하여 구한 값이고, [3]으로 표시한 값은 빌라바 알고리즘을 적용하여 구한 값이고, 'proposed'로 표시한 값은 본 발명의 실시예를 적용한 값이다.

[0098] 상기 각 방법들의 결과를 객관적으로 비교하기 위하여 최대전력지점(MPP) 영역에서 평균전류오차, 평균전력오차 그리고 최대전력값오차의 합으로 총오차를 구성하여 비교하였다. 상기 총오차는 다음과 같이 정의된다.

*수학식 18*

[0099]
$$\text{평균전류오차}(\varepsilon_I)=\frac{1}{\Delta V_{MPP}}\int_{V_{MPP}\pm 10\%}\left|\frac{i_{model}(v)-i_{measured}(v)}{i_{measured}(v)}\right|dv$$

*수학식 19*

[0100]
$$\text{평균전력오차}(\varepsilon_P)=\frac{1}{\Delta V_{MPP}}\int_{V_{MPP}\pm 10\%}\left|\frac{P_{model}(v)-P_{measured}(v)}{P_{measured}(v)}\right|dv$$

*수학식 20*

[0101]
$$\text{최대전력값오차}(\varepsilon_{MPP})=\left|\frac{P_{mpp,measured}-P_{mpp,model}}{P_{mpp,measured}}\right|$$

*수학식 21*

[0102]
$$\text{총오차}(\varepsilon_{Total})=\varepsilon_I+\varepsilon_P+\varepsilon_{MPP}$$

[0103] [3]의 방법인 빌라바 알고리즘은 사용자가 직접 적절한 A값을 선택해야 한다. 빌라바 알고리즘은 제조사가 제공하는 데이터시트에서 최대전력값(Pmpp)를 비교하여 파라미터 결과를 도출하는 방법이다. 따라서 상기 총오차의 비교에서는 A의 통상적인 값인 1에서 2 사이에서 최대전력값(Pmpp)의 오차가 가장 작은 값을 선택하여 결과를 비교하였다.

[0104] 도6에 나타난 결과를 구체적으로 표시한 결과는 다음 표1과 같다.

*표 1*

[0105] 20W급 패널(SLP020-12U)

| | $\varepsilon_I$ | $\varepsilon_P$ | $\varepsilon_{MPP}$ | $\varepsilon_{Total}$ |
|---|---|---|---|---|
| Proposed | 0.007 | 0.146 | 0.004 | 0.157 |
| [1] | 0.018 | 0.243 | 0.003 | 0.264 |
| [2] | 0.012 | 0.287 | 0.003 | 0.302 |
| [3](A=1.1) | 0.008 | 0.242 | 0.002 | 0.252 |

[0106] 도7에 나타난 결과를 구체적으로 표시한 결과는 다음 표2와 같다.

*표 2*

[0107] 50W급 패널(AT50)

| | $\varepsilon_I$ | $\varepsilon_P$ | $\varepsilon_{MPP}$ | $\varepsilon_{Total}$ |
|---|---|---|---|---|
| Proposed | 0.006 | 0.003 | 0.003 | 0.012 |
| [1] | 0.030 | 0.024 | 0.014 | 0.068 |
| [2] | 0.013 | 0.007 | 0.011 | 0.031 |
| [3](A=1.4) | 0.002 | 0.007 | 0.005 | 0.014 |

[0108] 도8에 나타난 결과를 구체적으로 표시한 결과는 다음 표3과 같다.

*표 3*

[0109] 120W급 패널(MSX120)

| | $\varepsilon_I$ | $\varepsilon_P$ | $\varepsilon_{MPP}$ | $\varepsilon_{Total}$ |
|---|---|---|---|---|
| Proposed | 0.008 | 0.007 | 0.008 | 0.022 |
| [1] | 0.011 | 0.010 | 0.007 | 0.028 |
| [2] | 0.010 | 0.008 | 0.007 | 0.025 |
| [3](A=1.6) | 0.013 | 0.012 | 0.005 | 0.030 |

[0110] 도9에 나타난 결과를 구체적으로 표시한 결과는 다음 표4와 같다.

*표 4*

[0111] 200W급 패널(KC200GT)

| | $\varepsilon_I$ | $\varepsilon_P$ | $\varepsilon_{MPP}$ | $\varepsilon_{Total}$ |
|---|---|---|---|---|
| Proposed | 0.013 | 0.010 | 0.004 | 0.027 |
| [1] | 0.020 | 0.014 | 0.005 | 0.039 |
| [2] | 0.013 | 0.010 | 0.004 | 0.027 |
| [3](A=1.3) | 0.017 | 0.011 | 0.005 | 0.033 |

[0112] 상기 표1 내지 표4의 결과를 보면, 총 4개의 패널(SLP020-12U, AT50, MSX120, KC200GT)에 대하여 본 발명의 실시예를 적용함으로써 총오차가 개선된 것을 확인할 수 있다.

[0113] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 설명하였다. 그러나, 본 발명의 실시예는 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위하여 제공되어지는 것으로, 본 발명의 범위가 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 여러 가지 다른 형태로 변형이 가능함은 물론이다.

## *부호의 설명*

[0114] 400: 태양광 패널 모델링 방법

401: 설정단계

402: 초기화단계

403: 연산단계

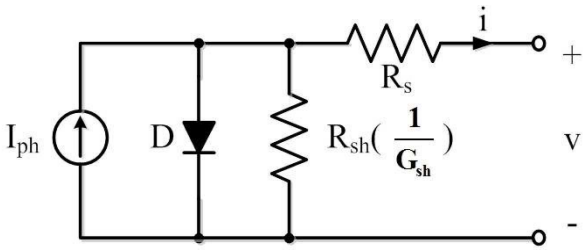
404: 비교단계

405: 반복단계

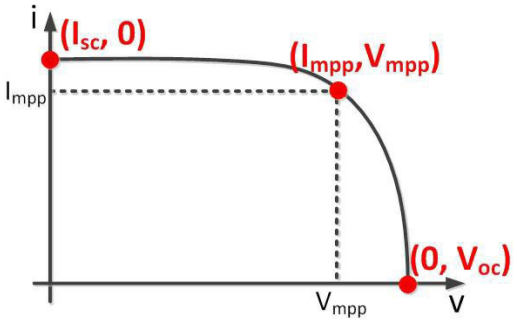
406: 최종연산단계

도면

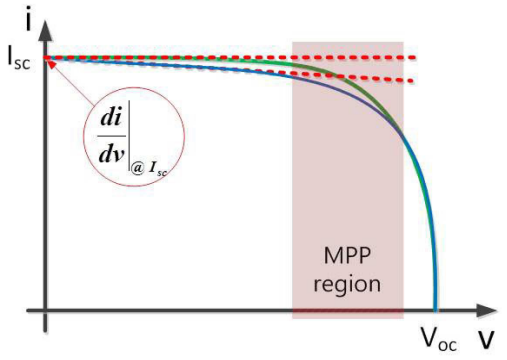
도면1



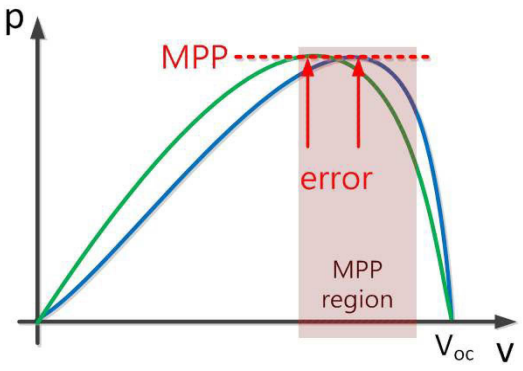

도면2



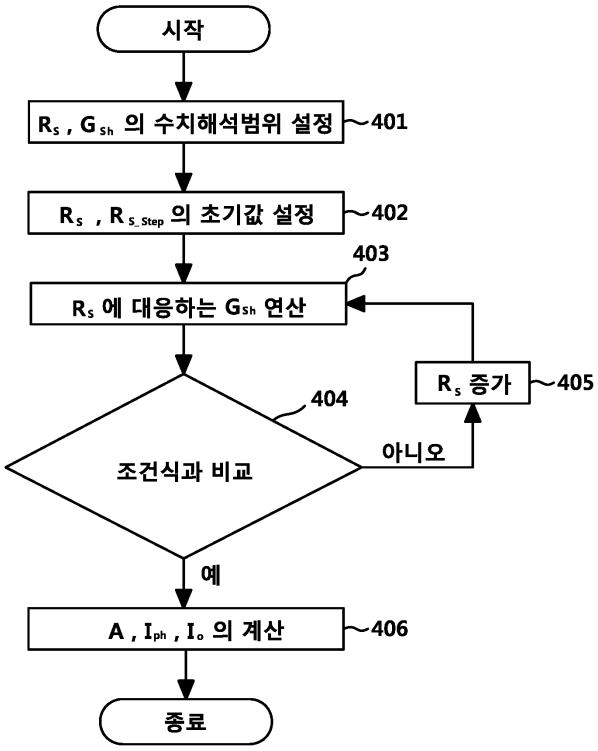

도면3a



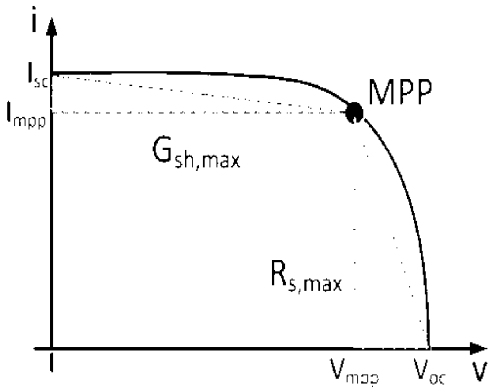
도면3b


p
MPP
error
MPP
region
$V_{oc}$
V

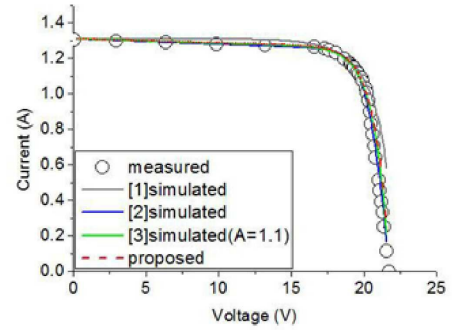
도면4


시작
$R_s$ , $G_{sh}$ 의 수치해석범위 설정
401
$R_s$ , $R_{s_Step}$ 의 초기값 설정
402
403
$R_s$ 에 대응하는 $G_{sh}$ 연산
$R_s$ 증가
405
404
조건식과 비교
아니오
예
A , $I_{ph}$ , $I_o$ 의 계산
406
종료

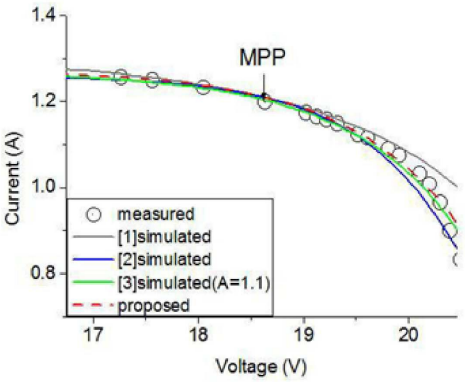
도면5


i
$I_{sc}$
$I_{mpp}$
MPP
$G_{sh,max}$
$R_{s,max}$
$V_{mpp}$
$V_{oc}$
v

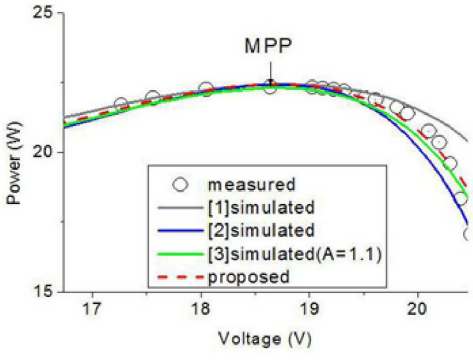
도면6


Current (A)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.1)
proposed

(a)

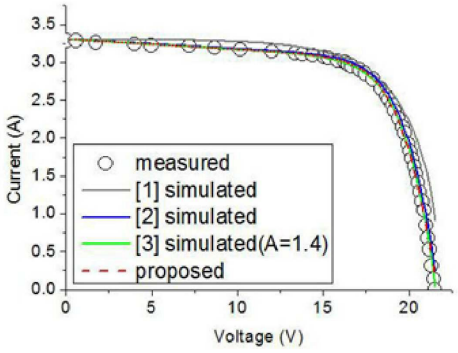

MPP
Current (A)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.1)
proposed

(b)

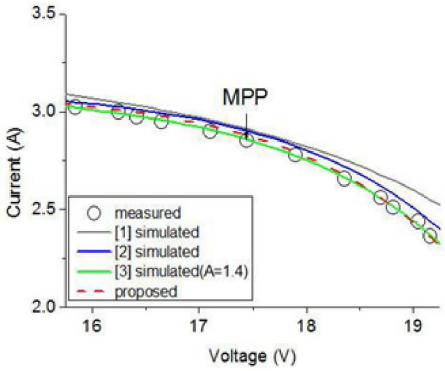

MPP
Power (W)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.1)
proposed

(c)

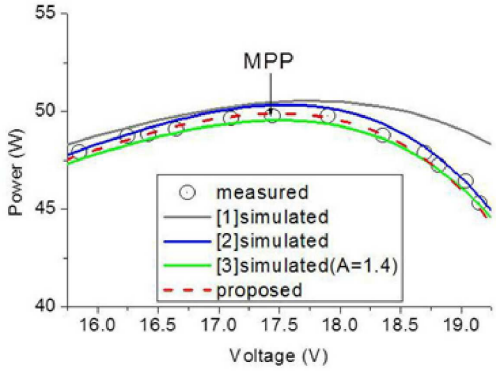
도면7


Current (A)
Voltage (V)
measured
[1] simulated
[2] simulated
[3] simulated(A=1.4)
proposed

(a)

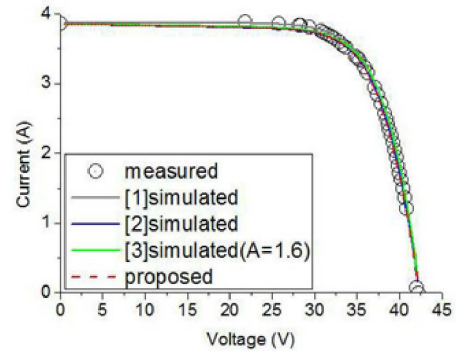

MPP
Current (A)
Voltage (V)
measured
[1] simulated
[2] simulated
[3] simulated(A=1.4)
proposed

(b)

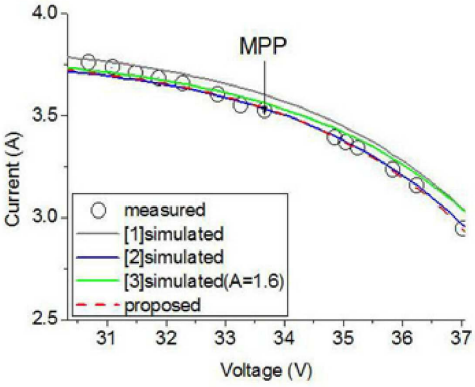

MPP
Power (W)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.4)
proposed

(c)

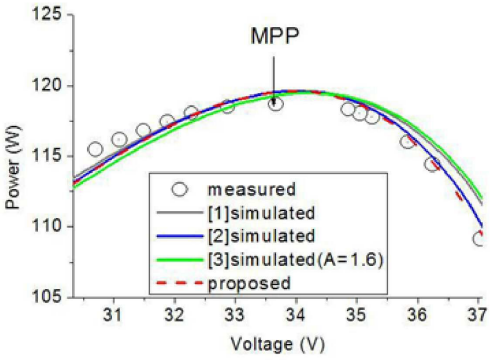
도면8


Current (A)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.6)
proposed

(a)

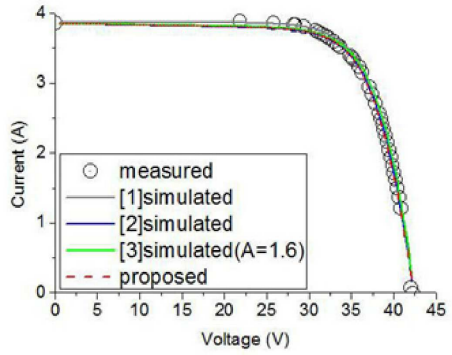

MPP
Current (A)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.6)
proposed

(b)

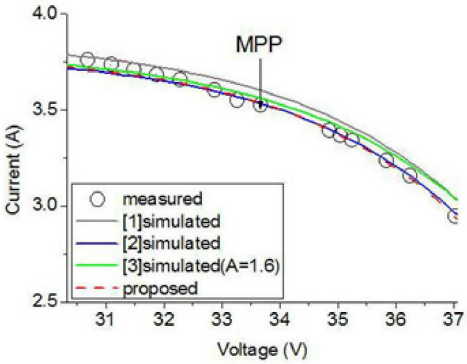

MPP
Power (W)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.6)
proposed

(c)

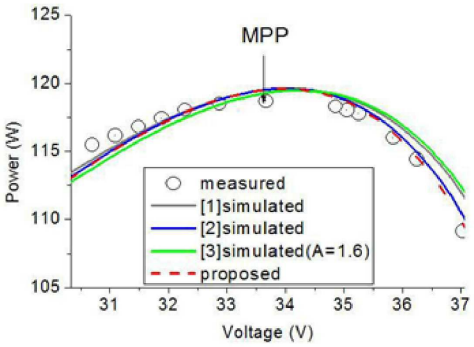
도면9


Current (A)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.6)
proposed

(a)


MPP
Current (A)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.6)
proposed

(b)


MPP
Power (W)
Voltage (V)
measured
[1]simulated
[2]simulated
[3]simulated(A=1.6)
proposed

(c)