

커패시턴스 내부저항을 고려한 태양광용 Boost 컨버터에 대한 MPPT 제어 알고리즘 고찰

최주엽*, 유권종**, 이동기*, 이기옥*, 정영석**, 김기현**
 광운대학교 전기공학과*, 에너지연구원 태양광발전연구팀**

A Study of MPPT Control Algorithm for Boost Converter of Photovoltaic System Considering Capacitor Equivalent Series Resistance

J. Y. Choi*, G. J. Yu**, D. G. Lee*,
 K. O. Lee*, Y. S. Jung**, and K. H. Kim**
 Dept. of Electrical Engineering Kwangwoon Univ.*,
 Photovoltaic Generation Team Korea Institute of Energy Research**

ABSTRACT

Photovoltaic systems normally use a maximum power point tracking (MPPT) technique to continuously deliver the highest possible power to the load when variations in the insolation and temperature occur. A simple method of tracking the maximum power points (MPPs) and forcing the boost converter system to operate close to these points is presented through deriving small-signal model and transfer function of boost converter. This paper aims at modeling boost converter including equivalent series resistance of input reservoir capacitor by state-space-averaging method. In the future, properly designed controller for compensation will be constructed for maximum photovoltaic power tracking control.

1. 서 론

최근 화석에너지의 고갈로 인해 그 대체 에너지원으로 햇빛발전, 풍력발전 등의 대체 에너지원 연구개발이 활발해지고 있다. 그 중 햇빛발전은 빛을 받아 직접 전기를 발생하는 반도체소자인 태양전지를 이용한 발전방식으로 그 특징은 그 자원의 양이 거의 무한정하고, 공해가 전혀 없는 청정에너지라는 여러 장점들이 있다.

햇빛발전시스템은 크게 태양전지를 직병렬로 연결한 Solar Cell Array와 전력변환장치(컨버터), 직교류변환장치(인버터), 전력저장용 축전지 등의 주변장치로 구성되어 있다. 햇빛발전시스템은 계통의 연계여부에 따라 계통연계형과 독립형으로 분리되고 구조적으로는 DC-DC 컨버터를 태양전지측에 적용하는 방식과 적용하지 않는 방식으로 나뉜다. 이 논문에서는 DC-DC 컨버터가 있는 방식을 고찰하고자 한다.

햇빛발전시스템의 주요 관련 기술로서는 태양전지로부터 최대전력을 얻기 위한 제어알고리즘과, 계통연계형의 경우 계통보호기능으로써 단독운전검출기법의 알고리즘이 있고, 전원품질 향상을 위한 능동전력필터의 기능을 들 수 있다.

특히 능동전력필터의 기능을 추가하기 위해서는 급격한 기울기를 갖는 고조파 전류를 보상하는 전류를 출력할 수 있도록 직류단전압이 충분히 높아야 하는데 이를 위해서는 태양전지를 더 많이 연결하는 방법 등이 있겠으나 효율면에서 낭비를 초래하므로 승압을 위한 DC-DC 컨버터가 사용된다.

최대전력을 얻기 위한 제어알고리즘은 P&O기법, 일정전압제어기법, IncCond기법 등 여러가지가 보고되고 있으나 본 논문에서는 P&O기법과 IncCond기법을 사용하고, 이상적인 컨버터가 아닌 내부저항을 고려한 Boost 컨버터를 모델링하고 각각의 제어기법을 적용하여 어떠한 차이점이 있는지를 비교 분석하여 그 영향에 대한 고찰을 하고자 한다.

2. 시스템의 구성 및 해석

계통연계형 햇빛발전시스템은 크게 태양전지로부터 최대전력을 얻기 위해 MPPT 알고리즘을 적용하는 DC-DC 컨버터와 양방향의 AC-DC 컨버터 및 태양전지로 구성되며 본 장에서는 햇빛발전시스템의 일부분인 DC-DC 컨버터의 내부저항을 고려한 해석에 대해 연구하였다.

2.1 이상적인 DC-DC Boost 컨버터의 모델링

그림 1은 전체시스템을 등가화시켜 나타낸 그림이다.

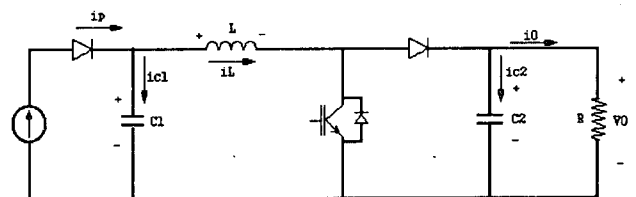


그림 1 전체 시스템의 이상적 등가회로

Fig. 1 Ideal Boost Converter Equivalent Circuit

정상상태에서 태양전지는 전류원으로 등가화할 수 있고 인버터부 및 계통을 저항으로 등가화할 수 있다. 위와 같은 시스템을 해석하고 적절한 제어를 설계하기 위해서 본

논문에서는 상태평균화기법^[1]을 사용하여 DC-DC 컨버터를 모델링하였으며 상태방정식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{V}_{c1} \\ \dot{V}_{c2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{L} & \frac{-(1-D)}{L} \\ -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{(1-D)}{C_2} & 0 & -\frac{1}{RC_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{C_1} \\ 0 \end{pmatrix} (i_p) \quad (1)$$

2.2 커패시터 내부저항을 고려한 DC-DC Boost 컨버터의 모델링

그림 2는 내부저항을 고려한 전체시스템의 등가모델이다.

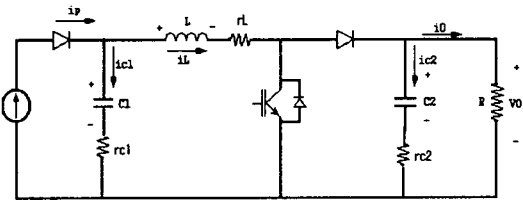


그림 2 내부저항을 고려한 시스템의 등가회로
Fig. 2 Boost Converter Equivalent Circuit Considering Capacitor ESR

이상적인 DC-DC 컨버터의 경우와 동일한 방법으로 시스템을 해석하였으며 상태방정식은 다음 식 (2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{V}_{c1} \\ \dot{V}_{c2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{L} \{r_L + r_{c1} + \frac{Rr_{c2}(1-D)}{R+r_{c2}}\} & \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \frac{R(1-D)}{R+r_{c2}} \\ -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{R(1-D)}{C_2(R+r_{c2})} & 0 & -\frac{1}{C_2(R+r_{c2})} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{r_{c1}}{L} \\ \frac{1}{C_1} \\ 0 \end{pmatrix} [i_p] \quad (2)$$

2.3 시스템의 파라미터 선정

태양전지로부터 최대전력을 얻어내기 위해서는 DC-DC 컨버터를 구성하는 인덕터의 전류가 연속적으로 흐르는 CCM 모드로 동작해야 하므로 그에 따른 적정 크기의 인덕터 용량값이 우선 선정되어야 하며 V_{c1} 에서 발생하는 맥동전압은 태양전지의 출력전력에서 맥동전압을 발생시키는 원인이 되므로 커패시터 C_1 은 V_{c1} 의 맥동전압을 시스템이 요구하는 적합한 수준으로 선정되어야 한다. 그리고 커패시터 C_2 에서도 컨버터 출력전압의 맥동전압을 고려하여 선정해야한다.

DC-DC 컨버터의 정상상태에서 인덕터전류의 최소값은 다음과 같다.

$$i_{Lmin} = \frac{V_{c1}}{(1-D)^2 R} - \frac{V_{c1} D T}{2L} \quad (3)$$

그러므로 컨버터를 CCM모드로 동작시키기 위한 인덕터의 크기는 다음 식 (4)를 만족해야 한다.

$$L > \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (4)$$

컨버터 입력에 의한 맥동전압은 커패시터 C_1 에 흐르는 전류 파형으로부터 구할 수가 있는데 컨버터 입력전압의 맥동율을 구하면 식 (5)와 같고 이를 근거로 하여 커패시터의 용량을 선정할 수 있다.

$$\frac{\Delta V_{c1}}{V_{c1}} = \frac{D V_{c1}}{8 L C_1 f^2} \quad (5)$$

그리고 컨버터 출력전압의 맥동율도 위의 방식으로 유도하면 식 (6)과 같다.^[2]

$$\frac{\Delta V_{c2}}{V_{c2}} = \frac{D}{8 L C_2 f^2} \quad (6)$$

본 논문에서는 시뮬레이션에 적용하기 위해 커패시터의 내부저항성분은 실제 시판되고 있는 제품 중에서 선정하였는데 (주)삼화 전기의 RX series의 내부저항 값을 이용하였다.

3. 내부저항의 MPPT 최대추종오차

MPPT를 수행하는 각각의 알고리즘을 고찰하기 위해 사용한 PSIM 회로도를 그림 3에 나타내었고, 회로도에서는 기본적으로 태양전지 어레이에 평활용 커패시터와 Boost 컨버터, 부하로 구성하였으며 MPPT 알고리즘은 DLL(Dynamic Link Library)로 구성하여 수행되도록 하였다. DLL은 모두 3부분으로 이루어져 있으며 여기서 ms_user0(DLL)은 태양전지 어레이 부분이며 각종 파라미터를 바로 입력할 수 있도록 하였고 ms_user4(DLL)에서는 일사량을 변동시킬 수 있도록 만들어졌다. 그리고 ms_user9(DLL)는 MPPT 제어알고리즘을 구현시킬 수 있도록 구성하였다.

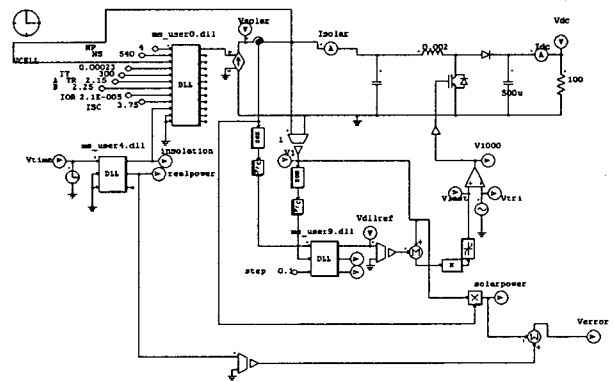


그림 3 MPPT를 수행하기 위한 시뮬레이션 회로도
Fig. 3 Simulation Circuit for MPPT Algorithm

본 논문에서는 MPPT 알고리즘 중 가장 널리 알려진 P&O기법^[4]과 IncCond기법^[4]을 기준으로 내부저항에 의한 최대추종오차를 시뮬레이션하였다. 그러므로 그림 4, 5에서는 Solar Cell 최대 일사량에 대해서 80%를 기준으로 내부저항과 최대 추종오차와의 관계를 나타내었다. 저항의 단위는 $[\Omega]$ 으로 시뮬레이션하였다.

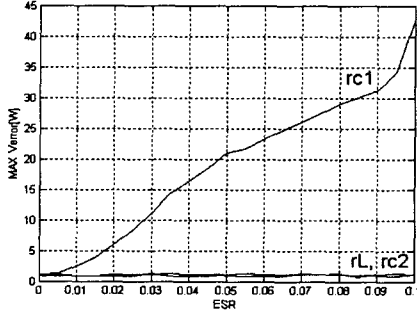


그림 4 P&O 알고리즘의 내부저항에 대한 MPP 최대추종오차

Fig. 4 Maximum Verror of P&O MPPT considering ESR

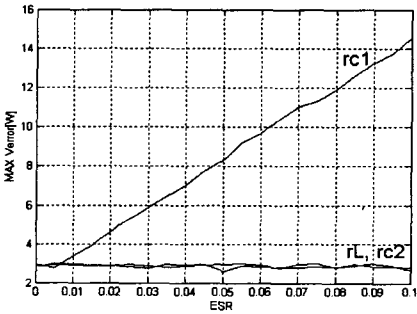


그림 5 IncCond 알고리즘의 내부저항에 대한 MPP 최대추종오차

Fig.5 Maximum Verror of IncCond MPPT considering ESR

그림 4, 5에서 보여지듯이 DC-DC 컨버터의 내부저항 중 태양전지 바로 앞단에 있는 커패시터(C_1)의 내부저항의 영향이 MPP 추종오차에 절대적인 원인이 되는 것을 알 수 있다. 그러므로 커패시터(C_1)의 영향만 고려해도 되겠으나 본 논문에서는 모든 내부저항을 고려하였다.

4. 시스템의 전달함수

이상적으로 모델링한 DC-DC 컨버터와 내부저항을 고려하여 모델링한 DC-DC 컨버터에서 내부저항의 영향을 보기 위하여 컨버터의 상태를 행렬식으로 표현하고, 전달함수를 유도하면 식 (7)과 같고, 그림 6은 시스템에 대한 출력전압 전달함수, 입력전압 전달함수, 인덕터전류 전달함수에 대한 블록 다이어그램이다.

$$T_p(s) = C[sI - A]^{-1}[(A_1 - A_2)X + (B_1 - B_2)I_p] + (C_1 - C_2)X + (D_1 - D_2)I_p \quad (7)$$

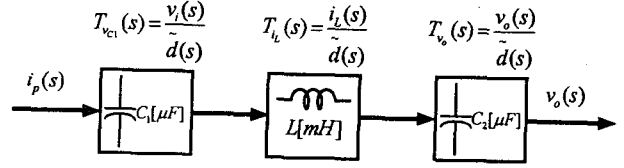


그림 6 시스템의 블록 다이어그램
Fig.6 Block Diagram of System

4.1 이상적인 시스템의 전달함수

이상적으로 해석한 DC-DC 컨버터의 출력전압 전달함수, 입력전압 전달함수, 인덕터 전류의 전달함수를 각각 유도하였다. 먼저 출력전압에 관한 전달함수는 다음과 같다.

$$T_{v_2}(s) = \frac{v_2(s)}{d(s)} = C[sI - A]^{-1}\{(A_1 - A_2)X\} + (C_1 - C_2)X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$C = C_1 D + C_2(1-D) = \begin{pmatrix} \frac{RC_2 - 1(1-D)}{C_2} & 0 & \frac{(1-D)}{C_2} \end{pmatrix}$$

$$C_1 - C_2 = \begin{pmatrix} \frac{1+RC_2}{C_2} & 0 & \frac{C_2 - 1}{C_2} \end{pmatrix}$$

$$D = D_1 D + D_2(1-D) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$a_{11} = R - \frac{(1-D)^2}{LC_2} \left(R - \frac{1}{C_2} \right) s - \frac{1}{C_2} \left(\frac{1-D}{C_2} + D \right) \left(s^2 + \frac{1}{LC_1} \right) + \frac{1}{C_2}, a_{12} = 0,$$

$$a_{13} = \frac{1}{L} \left\{ \left(R - \frac{1}{C_2} \right) (1-D) \right\} \left(s^2 + \frac{s}{RC_2} \right) + \frac{(1-D)^2 s}{LC_2^2} + \frac{(1-D)D}{LC_2} s + 1 - \frac{1}{C_2}$$

위의 출력전압에 관한 전달함수의 식에서 C는 상태평균화기법을 이용한 출력전압, 입력전압, 인덕터전류에 관한 행렬식이고, I는 3×3의 단위행렬, A는 상태평균화기법을 사용한 행렬식이다. 마지막으로 X는 DC성분으로 각각 그 값은 I_L, V_{c1}, V_{c2} 의 세가지 부분으로 나타낼 수 있고 그 값을 각각 10A, 247V, 300V로 하고 각각의 소자들의 값을 $D = 0.5, C_1 = 2400\mu F, C_2 = 500\mu F, L = 2mH, R = 100\Omega$, 으로 하여 전달함수를 계산하면 다음과 같다.

$$T_{v_2}(s) = \frac{v_2(s)}{d(s)} = \frac{-162510000s^2 + 156725000000s - 4168750579000}{s^3 + 1000000s^2 + 458333.3s + 4166666.67}$$

(9)

위의 전달 함수에 대한 Bode Plot은 그림 7과 같다.

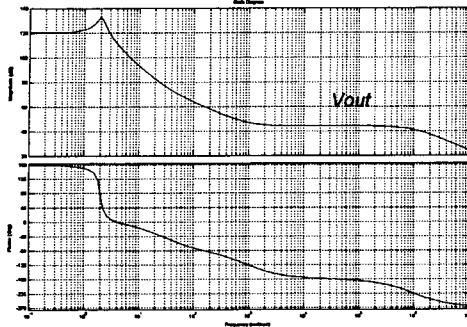


그림 7 이상적인 컨버터의 출력전압 Bode Plot
Fig. 7 Output Voltage Bode Plot of Ideal Converter

그리고 입력전압에 관한 전달함수는 위와 같은 과정으로 유도할 수 있다.

$$T_{v_{e1}}(s) = \frac{v_{in}(s)}{d(s)} = C[sI - A]^{-1}(A_1 - A_2)X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} (a_{11} \ a_{12} \ a_{13})X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} \begin{pmatrix} (1-D) & 0 \\ LC_1C_2 & LC_1(s + \frac{1}{RC_2}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$C = C_1 = C_2 = (0 \ 1 \ 0)$$

$$T_{v_{e1}}(s) = \frac{v_{in}(s)}{d(s)} = \frac{62500000s + 3333333333}{s^3 + 1000000s^2 + 458333.3s + 4166666.67} \quad (11)$$

위의 전달 함수에 대한 Bode Plot은 그림 8과 같다.

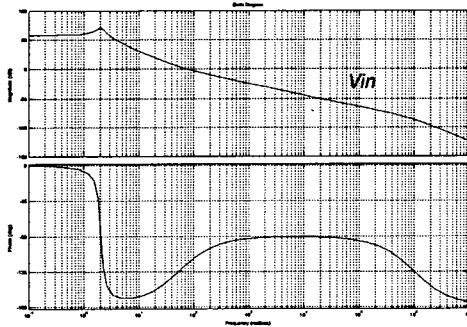


그림 8 이상적인 컨버터의 입력전압 Bode Plot
Fig. 8 Input Voltage Bode Plot of Ideal Converter

그리고 인덕터 전류의 전달함수는 다음과 같다.

$$T_{i_L}(s) = \frac{i_L(s)}{d(s)} = C[sI - A]^{-1}(A_1 - A_2)X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} (a_{11} \ a_{12} \ a_{13})X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} \begin{pmatrix} (1-D) & 0 \\ LC_2 & L + \frac{1}{RLC_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$C = C_1 = C_2 = [1 \ 0 \ 0]$$

$$T_{i_L}(s) = \frac{v_{in}(s)}{d(s)} = \frac{150000s^2 - 5000000s + 3000000}{s^3 + 1000000s^2 + 458333.3s + 4166666.67} \quad (13)$$

위의 전달 함수에 대한 Bode Plot은 그림 9와 같다.

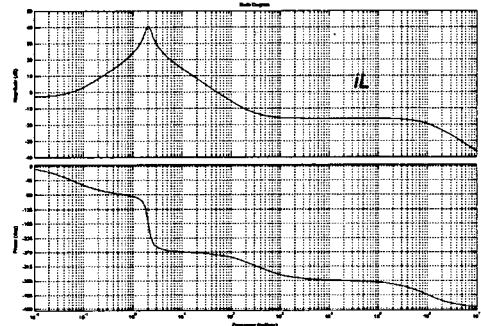


그림 9 이상적인 컨버터의 인덕터 전류 Bode Plot
Fig. 9 Inductor Current Bode Plot of Ideal Converter

4.2 내부저항을 고려한 시스템의 전달함수

내부저항을 고려한 경우에도 이상적인 컨버터의 전달함수의 유도과정과 같은 방법으로 구할 수 있고 각 성분은 아래와 같은 값들을 사용하였다. 이 경우에도 X는 DC성분으로 각각 그 값은 I_L , V_{c1} , V_{c2} 의 세가지 성분으로 나타낼 수 있고 그 값을 각각 10A, 247V, 300V로 하고 각각의 소자들의 값을 $D=0.5$, $C_1=2400\mu F$, $r_{c1}=70m\Omega$, $C_2=500\mu F$, $r_{c2}=200m\Omega$, $L=2mH$, $r_L=50m\Omega$, $R=100\Omega$ 으로 하여 전달함수를 계산하였고, 내부저항값은 (주)삼화 전기의 RX Series 의 값을 이용하였다.^[3]

출력전압 전달함수는 다음과 같다.

$$T_{v_{e2}}(s) = \frac{v_o(s)}{d(s)} = C[sI - A]^{-1}\{(A_1 - A_2)X\} + (C_1 - C_2)X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} (a_{11} \ a_{12} \ a_{13}) \begin{pmatrix} I_L \\ V_{c1} \\ V_{c2} \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$C_1 = (0 \ 0 \ 1), \quad C_2 = (r_{e2} \ 0 \ 1)$$

$$C = C_1 D + C_2 (1-D) = [r_{e2}(1-D) \ 0 \ 1]$$

$$C_1 - C_2 = (-r_{e2} \ 0 \ 0)$$

$$a_{11} = \left\{ \frac{r_{e2}^2(1-D)}{L} - \frac{1}{C_2} \right\} s^2$$

$$+ \left\{ \frac{r_{e2}^2(1-D)}{RLC_2} + \frac{r_{e2}(1-D)}{LC_2} + \frac{r_{e2}(1-D)^2}{LC_2} - \frac{(r_L + r_{e1} - r_{e2}D)}{LC_2} \right\} s$$

$$- \frac{1}{LC_1 C_2} - r_{e2}, \quad a_{12} = 0,$$

$$a_{13} = \left\{ \frac{r_{e2}(1-D)}{L} \right\} s^2 + \left\{ \frac{r_{e2}(1-D)}{RLC_2} + \frac{(1-D)}{LC_2} \right\} s$$

$$T_{v_2}(s) = \frac{v_o(s)}{d(s)} = \frac{-34950s^2 + 151640000s - 41666666.67}{s^3 + 30s^2 + 458333.3s + 4166666.67} \quad (15)$$

위의 전달 함수에 대한 Bode Plot은 그림 10과 같다.

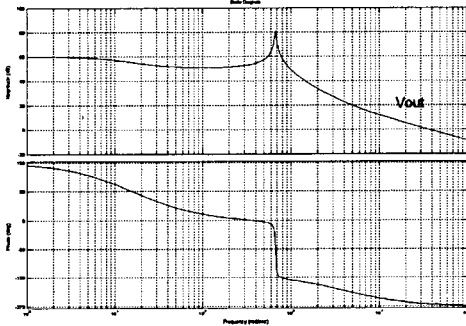


그림 10 내부저항을 고려한 컨버터의 출력전압 전달함수의 Bode Plot
Fig. 10 Output Voltage Transfer Function Bode Plot of Practical Converter Considering ESR

그리고 입력전압의 전달함수는 다음과 같다.

$$T_{v_1}(s) = \frac{v_{in}(s)}{d(s)} = C[sI - A]^{-1}(A_1 - A_2)X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} (a_{11} \ a_{12} \ a_{13})X \quad (16)$$

$$C = C_1 = C_2 = [-r_{e1} \ 1 \ 0], \quad D = D_1 = D_2 = [r_{e1}]$$

$$a_{11} = -\frac{r_{e2}}{L} s^2 - \left(\frac{r_{e2}}{LC_1} + \frac{r_{e2}(1-D)}{LC_2} \right) s + \left(\frac{(1-D)}{LC_1 C_2} - \frac{r_{e2}}{RLC_1 C_2} - \frac{r_{e2}^2}{RLC_2} \right)$$

$$a_{12} = 0, \quad a_{13} = -\frac{r_{e2}}{L} s^2 - \frac{1}{LC_1} s - \left(\frac{r_{e2}}{RLC_2} + \frac{1}{RLC_1 C_2} \right)$$

$$T_{v_1}(s) = \frac{v_{in}(s)}{d(s)} = \frac{-31000s^2 - 64125000s + 82439600}{s^3 + 30s^2 + 458333.3s + 4166666.67} \quad (17)$$

위의 전달 함수에 대한 Bode Plot은 그림 11과 같다.

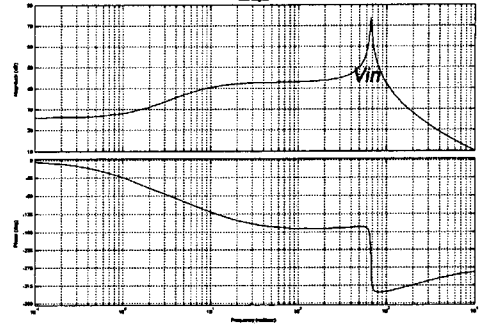


그림 11 내부저항을 고려한 컨버터의 입력전압 전달함수의 Bode Plot
Fig. 11 Input Voltage Transfer Function Bode Plot of Practical Converter Considering ESR

그리고 인덕터전류의 전달함수는 다음과 같다.

$$T_{i_L}(s) = \frac{i_L(s)}{d(s)} = C[sI - A]^{-1}(A_1 - A_2)X$$

$$= \frac{1}{|sI - A|} (a_{11} \ a_{12} \ a_{13})X \quad (18)$$

$$a_{11} = \frac{r_{e2}}{L} s^2 + \frac{(1-D)}{LC_2} s + \frac{r_{e2}}{RLC_2}, \quad a_{12} = 0, \quad a_{13} = \frac{1}{L} s^2 + \frac{1}{RLC_2}$$

$$C = C_1 = C_2 = [1 \ 0 \ 0]$$

$$T_{i_L}(s) = \frac{i_L(s)}{d(s)} = \frac{151000s^2 + 5000000s + 3020000}{s^3 + 30s^2 + 458333.3s + 4166666.67} \quad (19)$$

위의 전달 함수에 대한 Bode Plot은 그림 12와 같다.

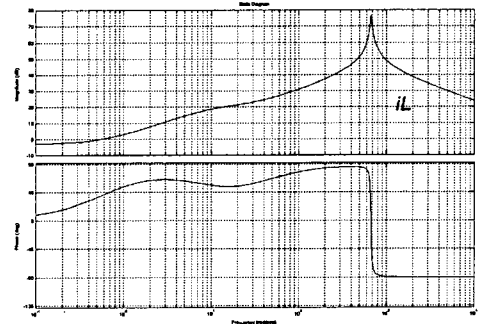


그림 12 내부저항을 고려한 컨버터의 인덕터전류 전달함수의 Bode Plot
Fig. 12 Inductor Current Transfer Function Bode Plot of Practical Converter Considering ESR

5. 내부저항 고려에 따른 시뮬레이션

본 장에서는 P&O, IncCond 제어기법을 바탕으로 햇빛발전시스템의 컨버터 부분에 대해 이상적인 컨버터 모델링과 내부저항을 고려한 컨버터 모델링을 각각 비교분석해 보았다. 결과 파형은 아래와 같고, 어레이의 온도는 일정하다는 전제조건으로 일사량을 가변시켰을 경우를 나타내었고, 그림 14, 15, 16의 경우 일사량은 그림 13과 같으므로 생략하였다.

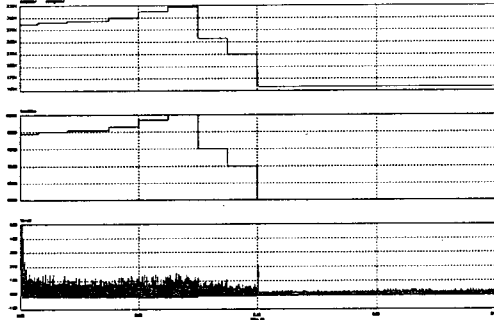


그림 13 P&O MPPT 이상적인 컨버터파형
Fig. 13 Simulation of Ideal Converter P&O MPPT

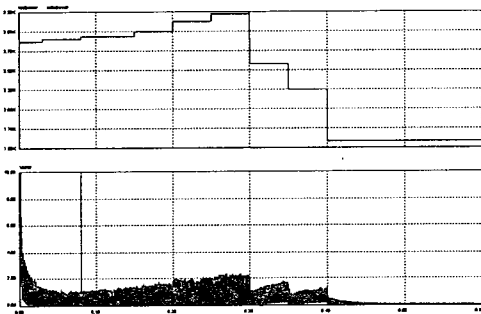


그림 14 IncCond MPPT 이상적인 컨버터파형
Fig. 14 Simulation of Ideal Converter IncCond MPPT

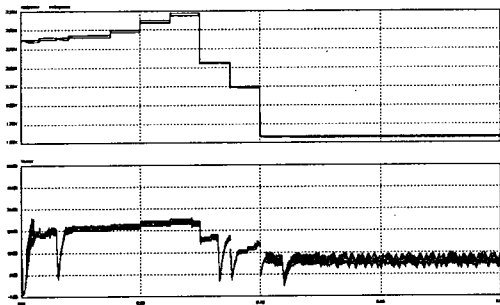


그림 15 P&O MPPT 내부저항 고려한 컨버터결과파형
Fig. 15 Simulation of P&O MPPT considering ESR

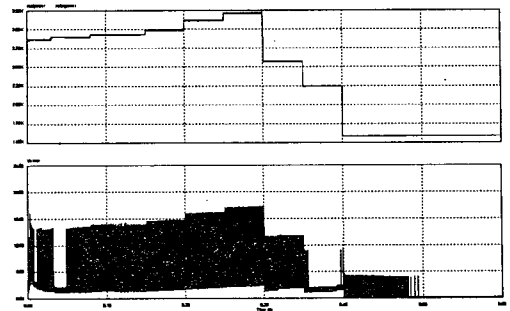


그림 16 IncCond MPPT 내부저항 고려한 컨버터결과파형
Fig. 16 Simulation of IncCond MPPT considering ESR

이상적인 컨버터의 경우 각각의 MPPT 제어기법이 MPP를 0~2[W]의 수준으로 추종하는 것을 볼 수가 있으나 내부저항을 고려한 시뮬레이션에서는 MPPT제어기법이 0~30[W]이상의 MPP 추종오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

6. 고찰

본 논문에서는 일사량 변화조건에서 햇빛발전시스템의 일부분인 DC-DC 컨버터의 내부저항(ESR)을 고려하여 모델링하고 그에 대한 영향을 P&O, IncCond MPPT 제어기법들을 이용하여 각각 비교분석하였고, 태양전지 출력단 커패시터의 내부저항에 따른 MPP(Maximum Power Point) 추종에 대해 안정도 및 내부저항 MPPT에 대한 영향력을 알아 보았으며, 궁극적으로 햇빛발전시스템의 Boost 컨버터의 설계시에 기초자료로 제공하려 하였다.

본 논문에서는 내부저항에 의한 MPPT 제어 알고리즘의 영향력에 대해 분석함으로써 내부저항을 고려한 햇빛발전시스템 설계시 기초자료를 제공하였다. 그러므로 향후 과제로서는 내부저항 값에 의한 영향력이 MPP 추종에 영향을 끼치지 않는 알고리즘 개발에 관한 연구가 요구되어진다.

참고 문헌

- [1] Daniel W. Hart, "Introduction to Power Electronics", Prentice Hall, pp. 408~413.
- [2] 한찬영 외 4인 "계통연계형 태양광 발전시스템의 태양전지 출력단 전압제어에 관한 연구", 2000전력전자추계학술대회, pp. 119~123.
- [3] Ned Mohan, Tore M. Undeland, W.P. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications, and Design" John Wiley, pp. 323~331.
- [4] K.H Hussion, "Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions", Proceedings of the IEE, Vol. 142, No. 1, pp. 59~64, 1995.