

# 모듈 통합형 태양광 전력조절기의 DC-Link 리플 저감을 위한 PWM 제어 기법 및 성능 분석

정안열, 이종현, 박종후, 전희중  
 숭실대학교

## PWM Control Technique and Performance Analysis for DC-Link Ripple Reduction Module Integrated Converter Photovoltaic Systems

An-Yeol Jung, Jong-Hyun Lee, Jong-Hu Park, Hee-Jong Jeon  
 Soongsil University

### ABSTRACT

태양광 전력조절기에서 임의의 위상을 갖는 모듈통합형 스트링 구조는 출력 커패시터의 리플 크기가 모듈 수만큼 생기게 되어 일정 리플을 위한 커패시터를 키워야 하고 이는 크기 및 가격, 효율 면의 입장에서 불리한 요소가 될 수 있다. 본 논문에서는 모듈간의 위상 동기화를 통한 인터리빙 기법을 적용하여 DC-Link 전압의 리플이 저감됨을 분석 및 시뮬레이션을 통해 확인하고 이를 하드웨어 Prototype 제작하여 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

모듈 통합형 태양광 전력 조절기는 부분 그늘에서도 최대 전력 추정 제어 성능을 낼 수 있는 장점이 있어 연구가 활발히 진행되고 있다. 모듈형 태양광 전력 조절기는 출력이 직렬로 연결되어 있는 DC/DC 컨버터 및 계통 연계를 위한 단일형 DC/AC 인버터 혹은 독립 운전을 위한 단일형 DC/DC 컨버터가 올 수 있다. 그러나 태양광 전력 조절기에서 동위상의 MIC 스트링 구조는 출력 커패시터의 리플 크기에 따른 여러 가지 단점 요소가 있기에 리플 저감을 위한 방식이 필요하다.

본 논문에서는 DC-Link의 리플 저감을 위해 PSIM을 통해서 동위상과 인터리빙 기법을 적용한 시뮬레이션을 통해 비교 분석하고, 이를 하드웨어 Prototype을 제작하여 이론 분석과 비교하여 검증하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 시스템의 구성

본 논문에서는 모듈통합형 태양광 전력조절기를 그림 1과 같이 PV어레이, DC-DC 부스트컨버터, DC-Link로 구성된다.<sup>[1]</sup>

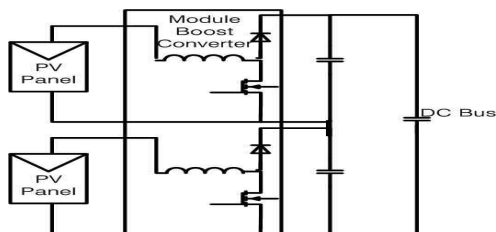


그림 1 모듈 통합형 태양광 전력 조절기

#### 2.2 인터리빙

인터리빙 방식의 컨버터는 병렬로 연결된 DC/DC 컨버터에서 동일한 주파수를 가지는 DC/DC 컨버터단의 스위칭 순간이 한주기 이내에서 위상 이동이 된다. 인터리빙 방식의 장점은 스위칭의 위상 이동으로 인해 리플 전류가 서로 상쇄 작용을 하기 때문에 리플 저감의 효과가 생기며, 이로 인해 품질 및 손실의 관점에서 효율을 향상 시킬 수 있다.<sup>[2]</sup>

일반적인 부스트 컨버터의 출력커패시터 리플 전압은 다음 식 (1)과 같다.

$$\Delta V_{out} = \frac{V_o DT}{RC} + I_{peak} \cdot ESR \quad (1)$$

동위상의 부스트 컨버터 방식의 출력 커패시터의 리플은 각 모듈의 수만큼의 N배를 하게 되면 최종 출력 커패시터의 리플 크기가 된다. 출력 커패시터 전압 리플은 모듈 1과 모듈 2의 리플 차이만큼 발생하게 되며, 그림 2 는 스위치의 도통률이 0.5보다 작은 동일 경우의 출력 커패시터 파형을 나타낸다.

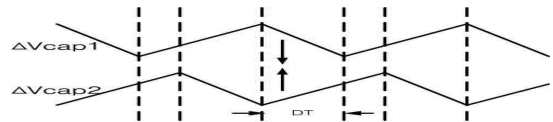


그림 2.  $D < 0.5$  일 때의 위상 이동된 출력 커패시터 파형

이 때의 모듈 1의 출력 커패시터 전압 리플은 동위상의 출력 커패시터 전압 리플 식 (1)과 같으며, 모듈 2의 출력 커패시터 리플 식은 (2)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$\Delta V_{o,2} = \frac{1}{C} DT \frac{V_o}{R} \left( \frac{D}{1-D} \right) \quad (2)$$

따라서 모듈 통합형 태양광 전력조절기의 인터리빙 기법을 적용한 출력 커패시터 전압의 리플 식은 모듈 1,2를 합한 것으로 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta V_{o,(1+2)} &= \frac{V_o}{R} \frac{1}{C} DT - \frac{V_o}{R} \frac{1}{C} DT \left( \frac{D}{1-D} \right) \\ &= \frac{V_o}{R} \frac{1}{C} DT \left( \frac{1-2D}{1-D} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

### 2.3 시뮬레이션

그림 3은 PSIM을 이용하여 각 모듈의 동위상 방식과 위상 이동 방식의 Worst Case 경우에 대한 시뮬레이션을 비교하였으며, 표 1과 2는 일사량에 따른 동위상과 인터리빙을 적용했을 때의 DC-Link 리플 크기가이다.

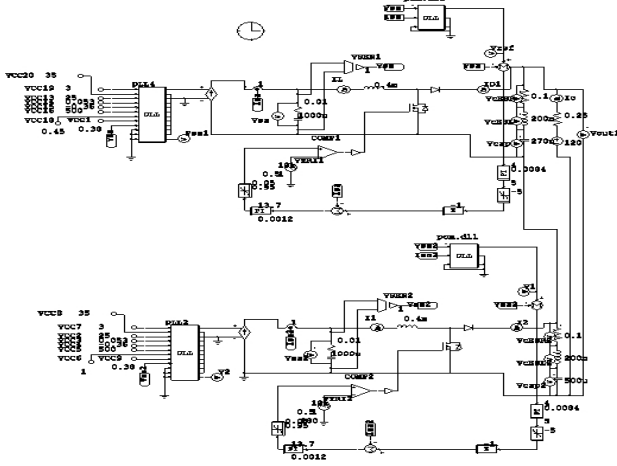
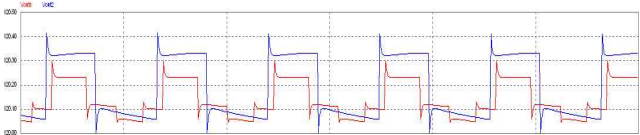


그림 3 PSIM을 이용한 모듈통합형 태양광 전력 조절기 회로



(a) 동위상 DC-Link Ripple 파형



(b) 인터리빙 DC-Link Ripple 파형

그림 4 동위상과 인터리빙 모듈의 Worst case 비교 시뮬레이션

표 1 일사량에 따른 동위상 모듈의 Worst case ripple 파형 분석

동위상	Vin	Vc	Duty	$\Delta Vc$	$\Delta Vesr$	$\Delta Vdc$
일사량이 같은 경우	27	60	0.55	0.12	0.26	<b>0.40</b>
		60	0.55			
일사량의 차이가 큰 경우	27	36	0.25	0.07	0.26	0.28
		84	0.678			

표 2 일사량에 따른 인터리빙 모듈의 Worst case ripple 파형 분석

인터리빙	Vin	Vc	Duty	$\Delta Vc$	$\Delta Vesr$	$\Delta Vdc$
일사량이 같은 경우	27	60	0.55	0.015	0.13	0.27
		60	0.55			
일사량의 차이가 큰 경우	27	36	0.25	0.035	0.13	<b>0.28</b>
		84	0.678			

### 2.4 실험 결과

실험에 사용한 파라미터는 표 3에 나타냈으며, 지그비 통신을 이용하여 외부에서 신호를 주었으며, TMS28335 DSP의 SCI(Serial Communication Interface)통신을 적용하여 RS232를 통해 외부 신호를 수신하여 PWM을 동작하게 하였다. 모듈간의 접지점이 다르므로 고속 포토크플러를 적용하여 절연을 하였고, 위상 동기화를 위해서 DSP의 ePWM\_SYNCIN/OUT 외부 핀을 이용한 동일 클럭으로 위상을 동기화시키며 그림 4는

외부 신호에 대해 동작하는 각 모듈의 PWM 파형을 나타낸다. 서로 다른 일사량의 경우 동위상일 때에 비해 인터리빙된 DC-Link 리플 크기는 약 21.1[%]정도 저감됨을 그림 5에서 확인할 수 있었다.

표 3 실험에 사용된 각 파라미터 값

입력전압( $V_{sa}$ )	18~40[V]
전해 커패시터(DC-Link)	470[uF]/100[V]/0.1 $\Omega$
인덕터(L)	0.4[mH]
스위칭주파수( $F_{sw}$ )	18[KHz]
주스위칭소자	IRF 640 (200V, 18A)

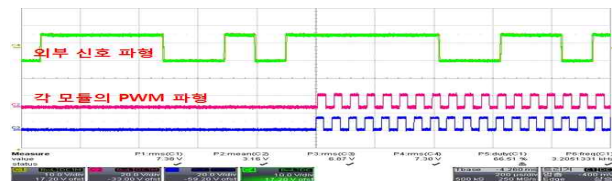
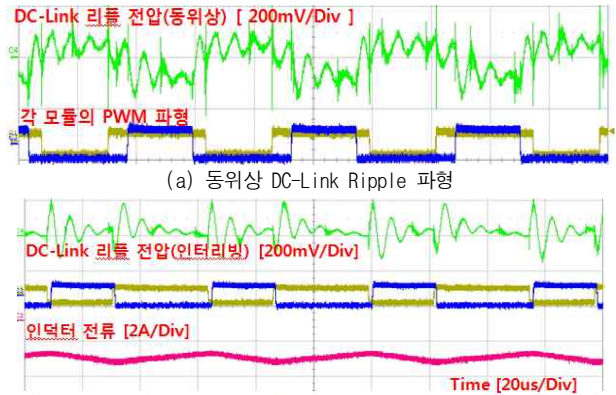


그림 4 외부 신호에 대한 각 모듈의 위상 동기화



(a) 동위상 DC-Link Ripple 파형

(b) 인터리빙 DC-Link Ripple 파형

그림 5 동위상과 인터리빙 모듈의 Worst case 비교 실험 파형

## 3. 결론

본 논문에서는 모듈통합형 태양광 전력조절기를 모듈간의 동위상과 위상 이동간의 최악의 상황을 비교 분석 하였다. 외부 신호와 DSP를 통해 인터리빙 기법을 적용하여 DC-Link 전압의 리플이 감소됨을 시뮬레이션을 통해 확인하였고 이를 하드웨어 Prototype를 제작하여 실험을 하여 그 타당성을 입증 하였다.

이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 해당 과제명 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C7210-1001-0001)

## 참고 문헌

- [1] Geoffrey R. Walker "Cascaded DC-DC Converter Connection of Photovoltaic Modules", Member, IEEE, VOL. 19, NO. 4, JULY 2004
- [2] Leonor L. "Design and Implementation of Module Integrated Converters for Series Connected Photovoltaic Strings", University of Illinois at Urbana-Champaign