

신재생에너지의 에너지 하베스팅을 위한 DPP시스템의 구성과 효율계산

Configuration and Efficiency Computation of the DPP System for Energy Harvesting of Renewable Energy

박 승 화* · 이 현 재* · 손 진 근†
(Seung-Hwa Park · Hyun-Jae Lee · Jin-Geun Shon)

Abstract - Energy harvesting technology is drawing attention as a means of collecting various eco-friendly energy and accumulating residual energy. Recently, differential power processing (DPP) is being developed as part of energy harvesting. This is being studied as a solution to the loss of power generation between power modules and the problems caused by module small losses depending on the size of power production. In this paper, we propose the necessity of the DPP by comparing and analyzing energy harvesting related module integration system and power supply efficiency of DPP. The power efficiency of the converter and the power difference between the wind power and the photovoltaic power supply have been changed to demonstrate the effectiveness of the proposed system.

Key Words : DPP(differential power processing), Energy harvesting, Module integration system, Renewable energy.

1. 서 론

최근 환경오염과 에너지 고갈에 대한 문제점이 제기됨에 따라 화석연료 에너지 사용을 줄이기 위하여 친환경 에너지 기술에 많은 연구가 이루어지고 있으며 이에 대한 방안으로 에너지 하베스팅 기술이 주요한 대책으로 제시되고 있다[1].

에너지 하베스팅이란 주위환경 중에 다양한 형태로 존재하는 에너지원(태양광, 풍력, 진동, 열에너지 등)을 수확하여 축적한 후 효율적으로 사용하기 위한 일련의 에너지 수집 과정을 말한다. 이는 에너지에 대한 관심이 증가하면서 화석연료 에너지 사용으로 인한 환경오염과 전력수요의 급증으로 발생하는 전력난 등의 해소를 위하여 사용되는 기술이다. 주로 태양광, 압전, 열전, 풍력 등의 에너지원을 사용하는 에너지 하베스팅 중 신재생 에너지인 태양광 에너지와 풍력 에너지에 대한 지속적인 연구가 이루어지고 있다[2].

태양광과 풍력 에너지를 이용하는 발전 시스템은 태양광 및 풍력을 전기 에너지로 바꾸어 주는 PV 패널과 풍력 터빈의 전원부분, 각 전원부에서 생산한 전력을 저장하거나 소비하는 Grid와 Grid와 전원 부 사이를 연결시켜 주는 DC/DC 컨버터의 구성으로 이루어져 있다. 이 전원부와 Grid 사이를 연결시켜 주는 DC/DC 컨버터는 종래에는 각각의 DC/DC 컨버터가 전원부와 1:1로 연결되어 있고 이것을 하나의 집적 모듈이라 하며 이러한 집적 모듈이 다시 서로

직렬로 연결되어 Grid에 연결되었다. 이러한 구조는 기후 변화 등의 환경변화가 발생해도 각각의 전원부들을 집적 모듈 단위에서 제어하기 때문에 MPPT를 원활히 할 수 있게 한다[3, 4]. 그러나 이런 집적모듈 시스템에서는 각각의 전원부가 생산하는 모든 전력이 DC/DC 컨버터를 지나므로 전체 계통의 효율이 DC/DC 컨버터의 효율에 따라 결정되며 또한 DC/DC 컨버터의 소자들의 능력이 전원부에서 생산하는 모든 전력을 부담할 수 있을 정도로 설계해주어야 한다.

따라서 이러한 문제점을 보완하기 위한 방안으로 최근에 차동전력조절기(DPP)가 사용되기 시작하였다[5-10]. 차동전력조절기란 전원부와 병렬로 연결하여 전력 차의 발생 시 전력 간의 불균형으로 생기는 전력 손실 및 발전 모듈의 불균형으로 인한 소자의 용량 저감 및 소손을 감소하기 위하여 모듈 사이의 전력 차 만큼의 전력을 부담하고 공급하여 전력 불균형을 최소화 시키는 전력 조절기를 의미한다.

본 논문에서는 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템 등 신재생 에너지의 에너지 하베스팅 환경에서 DPP의 구성 기법을 제시하고 DPP시스템의 구축 유무에 따라 발생하는 효율을 비교 분석하였다. 이는 DC/DC 컨버터 효율에 따른 기존의 전력변환 시스템과 DPP의 전력손실 비교하였고 또한 신재생에너지의 생산 전력 차이에 따라서 집적모듈 시스템과 DPP의 전력손실을 각각 비교하였다. 이의결과 컨버터 효율 및 생산 전력 차이에 따른 비교 모두에서 DPP구성의 출력 단 효율이 모두 상당히 향상되었음을 입증되어 신재생에너지 모듈의 이점이 극대화 할 수 있음을 기대할 수 있었다.

2. 신재생에너지 모듈에서의 DPP시스템 구성

2.1 기존의 집적모듈 시스템의 구성

그림 1은 집적모듈 시스템으로 태양광발전(PV)과 풍력발

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,
Gachon University, Korea
E-mail : shon@gachon.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Gachon University, Korea
접수일자 : 2018년 8월 8일
최종완료 : 2018년 8월 16일

전(WP)을 에너지원으로 한 에너지 하베스트 회로의 구성을 나타내고 있다. 각각의 PV는 DC로 전력을 공급하며 발전기 특성상 AC로 전력을 공급하는 WP는 AC/DC 정류기를 통하여 DC로 변환 후 전력을 공급 한다는 것을 가정하고 회로를 구성하였다. WP와 PV에는 각각 DC/DC 컨버터가 연결되어 있으며 DC/DC 컨버터는 각각의 발전 모듈과 직렬로 연결되어 있고 전원부와 DC/DC 컨버터가 1:1로 연결되어 있는 집적 모듈끼리는 서로 직렬로 연결되어 있다. 이러한 구조에 의하여 WP와 PV가 생산한 전력은 모두 직렬 연결된 DC/DC 컨버터를 통하여 공급되어지며 DC/AC 인버터를 통하여 교류전력으로 변환 후 AC Grid로 공급된다[7, 8].

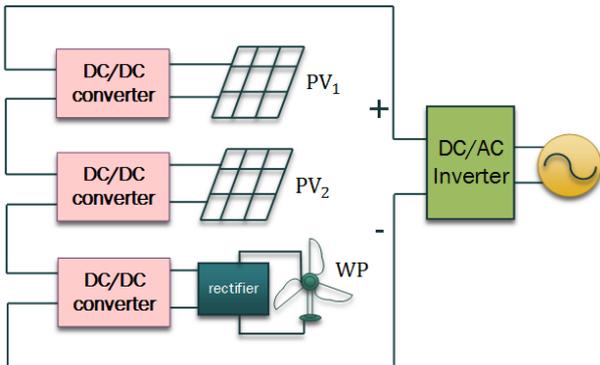


그림 1 집적모듈 시스템의 전력회로 구성
Fig. 1 Power circuit configuration of module integration system

2.2 제안된 DPP 시스템의 구성

그림 2는 제안된 DPP가 적용된 시스템으로 태양광발전(PV)과 풍력발전(WP)을 에너지원으로 한 회로 구성도이며 집적모듈 시스템과 같이 PV는 DC로, WP는 정류기를 거쳐 DC로 전력을 공급 한다는 것을 가정하고 회로를 구성하였다. PV와 WP같은 전력을 생산하는 전원 부는 서로 직렬로 연결되어 있고 각각의 WP와 PV에는 DPP의 역할을 하는 DC/DC 컨버터가 1:1로 병렬로 연결되어 있다[9, 10].

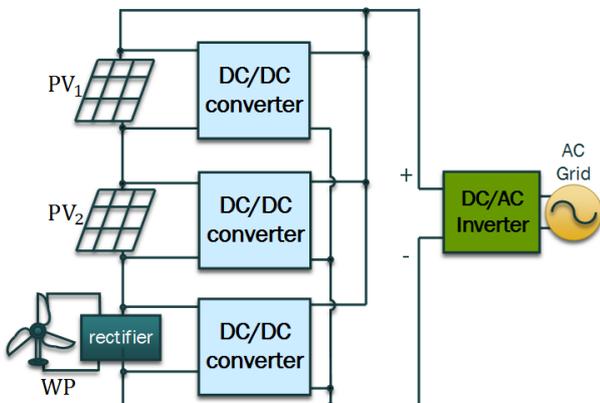


그림 2 DPP를 이용한 전력회로의 구성
Fig. 2 Power circuit configuration of DPP system

이러한 구조에 의한 전력의 제어흐름의 플로우차트를 그림 3에 나타내었다. 각 전원모듈에서 생산한 전력차이 발생에 따라 DPP의 동작유무가 결정된다. 이러한 특성에 의하여 각 모듈이 생산한 전력이 전부 DPP인 DC/DC 컨버터로 흐르지 않고 각 전원 모듈의 생산전력과 평균생산전력의 차이만 DPP가 보상하거나 부담해주며 나머지 전력은 직렬로 연결된 회로를 따라 바로 DC/AC 인버터를 통하여 Grid로 공급된다.

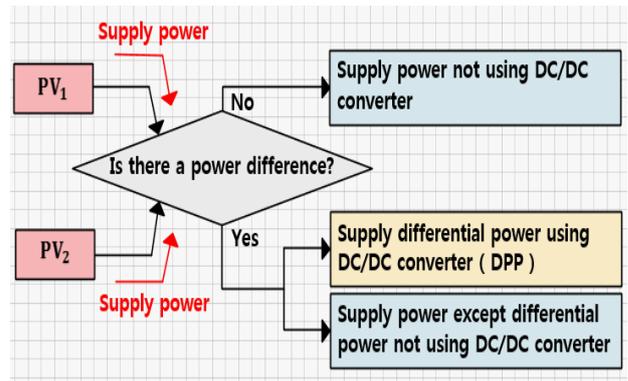


그림 3 DPP를 이용한 전력제어 흐름
Fig. 3 Power control flowchart of DPP system

3. DPP의 전력 흐름과 손실계산

WP와 PV를 사용할 때 고려해야하는 중요한 요소는 기후 변화에 따른 전력생산의 불균형 문제이다. 특히 PV에서는 그늘짐 현상(Shading Pattern)이며 V-I 곡선에 따라 급격히 감소하는 전력을 안정적으로 공급하기 위한 별도의 제어 기술이 필요하다. 이는 태양광 최대 전력점 추종(MPPT, maximum power point tracking)을 이용하여 그늘짐 현상에도 최대 전력을 공급할 수 있도록 하며 MPPT로 인한 PV와 WP의 공급 전력 손실이 없다고 가정하였다. 또한 DPP를 사용하였을 때에 각 모듈이 직렬로 연결되어 있는 회로에 흐르는 전류 제어를 하지 않았다고 가정한다. 이 때, PV와 WP가 생산하는 전력을 각각 P_{S1}, P_{S2}, P_{S3} 라고 하였다.

3.1 집적모듈 시스템의 전력 흐름

그림 4는 집적모듈 시스템에서 전력이 흐르는 방향을 도시한 그림이다. 집적모듈 시스템에서 생산되는 전력은 모두 직렬 연결된 DC/DC 컨버터를 통과하게 된다. DC/DC 컨버터를 통과하면서 생기는 손실을 각각 $P_{CL1}, P_{CL2}, P_{CL3}$ 라고 했을 때 출력단의 전력 P_{Total} 은 식 (1)과 같으며, P_{CLk} 의 식은 식 (2)와 같다. 식 (2)를 식 (1)에 대입하여 만들어진 출력 단 P_{Total} 의 식은 다음과 같다.

$$P_{Total} = \sum P_{Sk} - \sum P_{CLk} \tag{1}$$

$$P_{CLk} = P_{Sk} \times (1 - \eta_{converter}) \tag{2}$$

$$P_{Total} = \sum P_{Sk} \times \eta_{converter} \tag{3}$$

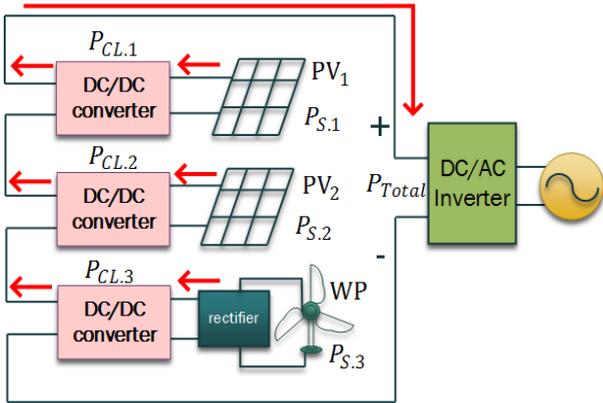


그림 4 집적모듈 시스템의 전력 흐름도
Fig. 4 Power flow diagram of module integration system

3.2 DPP 시스템의 전력 흐름

그림 5는 DPP를 이용하는 시스템에서의 전력 흐름을 도시한 그림이다. DPP는 각 모듈이 생산한 전력과 평균생산 전력의 차이만 부담하게 된다. WP와 PV는 직렬로 연결되어 있으며 최대 전력량으로 전력을 생산할 시 모든 전력은 DPP를 거치지 않고 DC/AC 인버터로 직접 공급할 수 있도록 회로가 구성되어 있다.

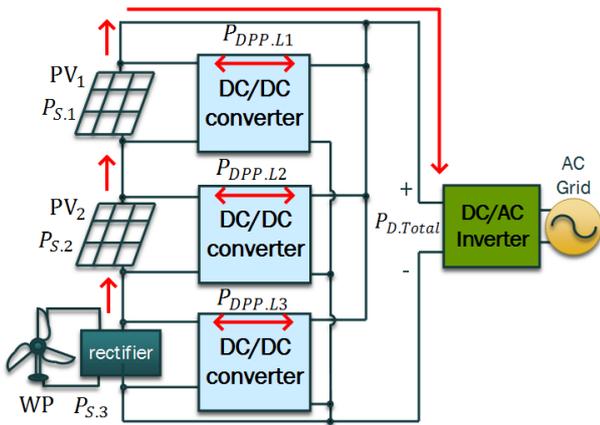


그림 5 DPP 전력 흐름도
Fig. 5 Power flow diagram of DPP system

DPP의 손실을 $P_{DPP.L1}$, $P_{DPP.L2}$, $P_{DPP.L3}$ 이라고 했을 때 출력단의 전력 $P_{D.Total}$ 는 식 (4)이며, $P_{DPP.Lk}$ 의 관계는 식(5)와 같다.

$$P_{D.Total} = \sum P_{S_k} - \sum P_{DPP.Lk} \tag{4}$$

$$P_{DPP.Lk} = \left| P_{S_k} - \frac{\sum P_{S_k}}{n} \right| \times (1 - \eta_{converter}) \tag{5}$$

식 (3)과 식 (5)를 비교해 보면 그림 1의 구조는 모든 전력이 DC/DC컨버터를 통과하는 형태이므로 컨버터의 효율이 모든 전력에 영향을 미치는 것에 반해 DPP 방식은 컨버터 효율이 전력 차 만큼의 전력에만 영향을 미친다는 것을

알 수 있다. 이에 따라 출력 단에 영향을 미치는 컨버터의 효율과 WP와 PV 간의 전력 차를 변화시켜 차동전력 조절기의 유무에 나타나는 출력 단 효율을 비교하였다.

3.3 집적모듈 시스템과 DPP 시스템의 전력손실 비교

그림 6과 그림 7은 각각 집적모듈 시스템과 DPP 시스템의 회로에서 DC/DC 컨버터의 효율을 95[%]로 설정하였을 때의 각 전원의 전력 생산과 컨버터를 지나며 발생하는 전력 손실을 나타낸 그림이다. 각 모듈이 항상 10[V]를 유지한 상태에서 전류량만이 변동한다고 가정하며 따라서 DC/DC 컨버터의 PWM신호를 조절하는 듀티 비는 0.5로 고정된다. 또한 DPP를 사용한 구조에서 각 모듈이 직렬로 연결되어 있는 직렬회로에서의 전류 제어를 하지 않았다고 가정하며 전원 모듈이 생산하는 전력 불균형으로 인하여 발생하는 손실이 없다고 가정한다.

3.3.1 집적모듈 시스템에서의 전력손실 계산

집적모듈 시스템에서는 전원부가 생산한 모든 전력이 DC/DC 컨버터를 지나 인버터를 거쳐 Grid로 향하게 되어 각 모듈이 생산하는 전력의 전부가 DC/DC 컨버터의 효율에 영향을 받는다. 따라서 그림 6에서 볼 수 있듯이 각 모듈이 생산하는 전력을 각각 100[W], 90[W], 80[W]라고 하였을 때 이 전력은 모두 DC/DC 컨버터를 거쳐 Grid로 향하므로 컨버터의 효율에 따라 발생하는 전력손실은 $100[W] \times 0.05 = 5[W]$, $90[W] \times 0.05 = 4.5[W]$, $80[W] \times 0.05 = 4[W]$ 로 총 13.5[W]이다. 따라서 Grid로 가는 전력은 총 모듈 생산 전력인 $100[W] + 90[W] + 80[W] = 270[W]$ 에서 DC/DC 컨버터에서 발생하는 손실 13.5[W]를 뺀 256.5[W]가 된다.

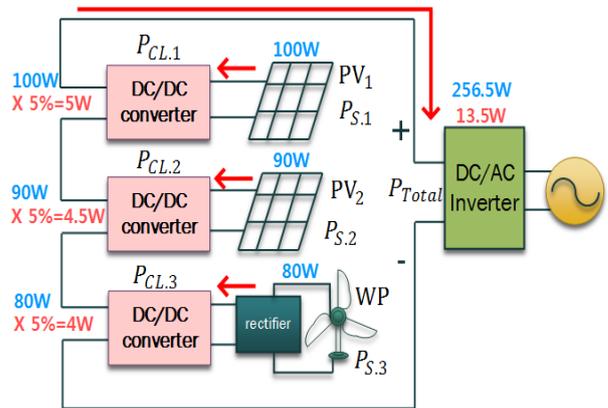


그림 6 컨버터 효율이 적용된 집적모듈시스템의 전력흐름도
Fig. 6 Power flow of module integration system with converter efficiency

3.3.2 DPP 시스템에서의 전력손실 계산

DPP 시스템에서는 각 전원 모듈이 생산한 전력과 평균생산전력의 차이만 DC/DC 컨버터에서 보상을 해주거나 부담을 한다. 집적모듈 시스템과 똑같이 각 모듈이 생산하는 전력을 각각 100[W], 90[W], 80[W]라고 하면 DPP는 세 전력의 평균인 90[W]를 기준으로 부족한 전력을 보상 해주거나 넘치는 전력을 부담한다. 따라서 그림 7과 같이 전력이 흐

르며 P_{V_2} 는 기준 전력인 90[W]와 같은 전력을 생산하므로 DPP가 작동하지 않는다. 따라서 P_{V_1} 과 WP 에 할당된 DPP만이 보상과 부담을 수행하는데, 이 때 DPP 컨버터 효율에 의하여 발생하는 손실은 각각 $10[W] \times 0.05 = 0.5[W]$, $10[W] \times 0.05 = 0.5[W]$ 로 총 $0.5 + 0.5 = 1[W]$ 의 손실이 생기게 되며 총 Grid로 향하는 전력인 $P_{D.Total}$ 은 270[W]에서 컨버터 손실을 제외한 269[W]가 Grid로 가게 된다.

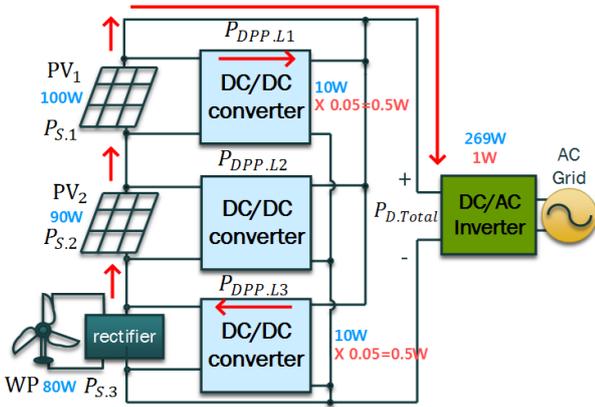


그림 7 컨버터 효율이 적용된 DPP 시스템의 전력흐름도
Fig. 7 Power flow of DPP system with converter efficiency

3.3.3 집적모듈 시스템과 DPP의 손실 비교

표 1에서는 이러한 집적모듈 시스템과 DPP 시스템에서 발생하는 손실을 표로 정리되어 나타내어져 있다. 총 생산된 전력이 100[W], 90[W], 80[W]이고 DC/DC 컨버터의 효율을 95[%]라 하였을 때 두 시스템의 출력 단 전력 손실은 각각 13.5[W], 1[W]이고 따라서 최종적으로 Grid에서의 전력량을 전원 모듈에서 생산된 전력량과 비교하면 집적모듈 방식은 $(270 - 13.5) / 270 \times 100 = 95[\%]$ 의 전력이 Grid로 보내졌고 이는 DC/DC 컨버터의 효율과 일치하는 결과를 알 수 있다. DPP 시스템은 Grid로 보내진 전력량이 생산한 전력량의 $(270 - 1) / 270 \times 100 = 99.63[\%]$ 로 DPP시스템의 전력 손실이 집적모듈방식에 비하여 약 4.63[%] 낮은 것으로 확인된다.

4. 각 전력변환시스템의 효율 분석

4.1 컨버터 효율 가변에 따른 전력손실 비교

표 1은 모듈 P_{V_1} , P_{V_2} , WP 의 생산 전력이 각각 100[W], 90[W], 80[W]일 때와 100[W], 70[W], 60[W]일 때의 조건을 각각 다르게 설정해 준 표이다.

표 1에 근거하여 그림 8은 모듈이 생산하는 전력이 Power Differential ①인 상태에서 컨버터 효율이 변화할 때의 출력 단 전력을 비교한 내용이며, 그림 9는 모듈이 생산하는 전력이 Power Differential ②인 상태에서 컨버터 효율이 변화할 때의 출력 단 전력을 비교한 내용이다.

그림 8은 모듈생산전력이 Power Differential ①일 때의 출력 단 효율을 분석한 결과이다. 두 시스템의 출력 단 효율을 비교해 보면 DPP의 출력 단 효율이 집적모듈 시스템보다 최소 0[%]에서 최대 46.3[%]까지 높은 것을 볼 수 있다.

표 1 전력생산의 조건과 가변 컨버터 효율의 선정

Table 1 Setting table of power produce condition and variable converter efficiency

Comparison condition		Fixed value		Change value		
Fig. 8	Power Differential ①	P_{V_1}	100[W]	Converter Efficiency ($\eta_{converter}$)	50[%]	100[%]
		P_{V_2}	90[W]			
		WP	80[W]			
Fig. 9	Power Differential ②	P_{V_1}	100[W]	Converter Efficiency ($\eta_{converter}$)	50[%]	100[%]
		P_{V_2}	70[W]			
		WP	60[W]			

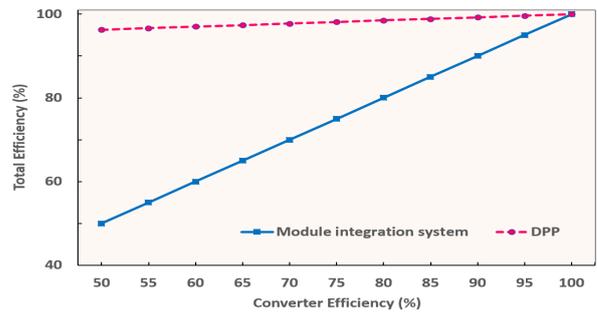


그림 8 컨버터 효율 변화 시 출력단의 효율 비교

Fig. 8 Comparison of the total efficiency with the variable converter efficiency (Power Differential ①)

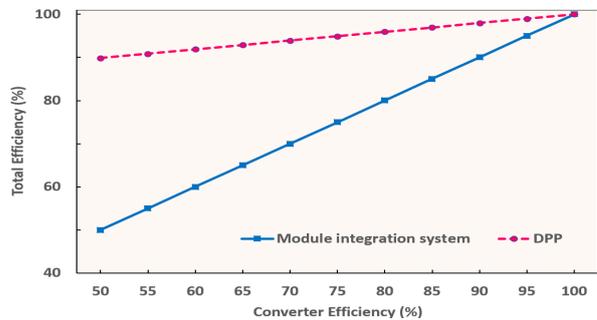


그림 9 컨버터 효율 변화 시 출력단의 효율 비교

Fig. 9 Comparison of the total efficiency with the variable converter efficiency (Power Differential ②)

마찬가지로 그림 9는 모듈의 전력생산차이를 더 크게 한 Power Differential ②일 때의 컨버터 효율에 따른 출력 단 효율을 분석한 것이다. 생산하는 전력의 차이가 커질수록 DPP의 효율이 다소 감소하지만 여전히 집적모듈 시스템의 효율보다는 높다는 것이 확인되었다. DPP 효율이 집적모듈 시스템보다 최대 39.9[%]까지 높은 것이 확인된다.

4.2 생산 전력 차이에 따른 전력손실 비교

표 2는 컨버터 효율이 각각 95[%], 85[%]로 일정하고 생산 전력 차이에 따른 두 시스템의 출력 단 효율 비교를 위한 설정표이다. 그림 10과 그림 11은 표 2에 근거하여 각각

의 컨버터의 효율이 95[%], 85[%]이고 PV_1 , PV_2 , WP 가 각각 생산한 전력과 평균생산전력의 차의 절댓값의 합이 0[W]~63.3[W]일 때의 시스템 구조에 따라 생기는 출력 단 효율을 비교한 그래프이다.

표 2 컨버터 효율 조건과 가변 생산전력의 선정

Table 2 Setting table of converter efficiency condition and variable power produce

Comparison condition		fixed value	change value		
Fig. 10	Converter Efficiency ($\eta_{converter}$)	95[%]	$\sum P_{Sk} - \frac{\sum P_{Sk}}{n} $	0[W]	63.3[W]
Fig. 11	Converter Efficiency ($\eta_{converter}$)	85[%]	$\sum P_{Sk} - \frac{\sum P_{Sk}}{n} $	0[W]	63.3[W]

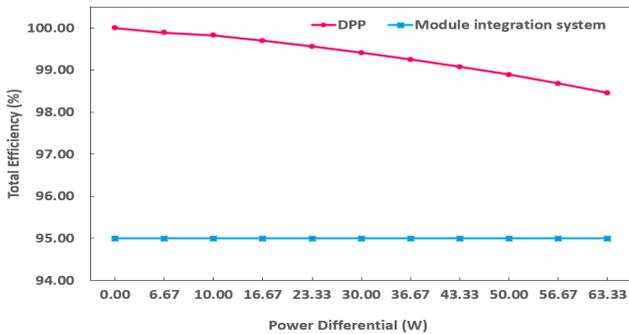


그림 10 생산전력 변화 시 출력 단 효율 비교

Fig. 10 Comparison of the total efficiency with the variable power produce (Converter efficiency 95[%])

그림 10은 컨버터의 효율을 95[%]로 고정한 후 모듈간의 공급 전력 차의 변화에 따른 출력 단 효율을 나타낸다. 모든 공급 전력이 컨버터를 거치는 집적모듈 시스템의 경우 출력 단 효율이 95[%]로 고정인 반면 전력 차만 컨버터를 거치는 DPP의 경우 출력 단 효율이 100[%]에서 98[%] 사이 값을 보여준다.

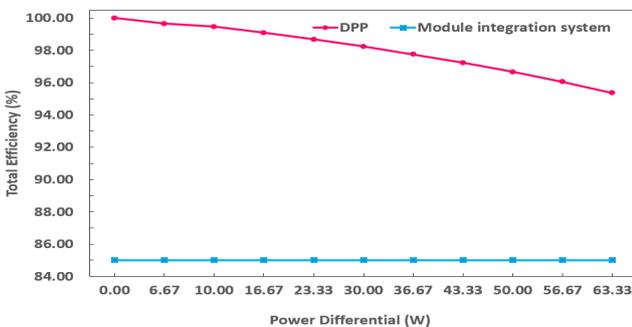


그림 11 생산전력 변화 시 출력 단 효율 비교

Fig. 11 Comparison of the total efficiency with the variable power produce (Converter efficiency 85[%])

이러한 결과에 의하여 집적모듈 시스템은 모듈에서 생산된 전력량이 DC/DC 컨버터의 효율에 의하여 결정되는 것이 확인되었으며 모듈 간 생산전력의 차이가 상이해도 일정한 효율을 나타내었다. 반면 DPP는 전력 차가 낮을수록 높은 효율을 보이며 생산전력과 평균생산전력의 차이만 부담하므로 컨버터효율보다 전체 효율이 항상 높은 것이 확인되었고 컨버터의 효율이 떨어져도 전체 효율이 크게 떨어지지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한 집적모듈 시스템과 비교하였을 경우 컨버터 효율이 95[%]일 경우 최대 5[%], 컨버터 효율이 85[%]인 경우 최대 15[%]의 효율이 높다는 결과가 나타남을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 DPP의 필요성과 효율 검토를 위해 집적모듈 시스템과 DPP에 따른 출력 단 효율을 비교한다. PV 패널이 생산하는 전력의 차이가 발생하였을 때와 컨버터의 효율을 변화시키며 출력 단 효율을 비교분석 하였다. 분석 결과 모듈 생산 전력이 100[W], 90[W], 80[W]일 때, 변화하는 컨버터 효율에 따라 DPP 시스템이 최대 46.3[%] 높은 효율을 보였으며, 모듈생산전력이 100[W], 70[W], 60[W]인 경우 DPP 시스템이 최대 39.9[%]까지 높은 효율을 가짐을 확인할 수 있었다.

컨버터 효율을 고정하고 모듈 생산전력량을 변화시키는 경우 컨버터 효율이 95[%]일 때 집적모듈 시스템은 전체 효율이 컨버터 효율에 제한되어 95[%]를 나타내었지만 DPP 시스템은 전체 시스템 효율이 모듈 간 전력 차이가 가장 크게 발생할 때 98.5[%]로 집적모듈방식보다 약 3.5[%]높았고 컨버터 효율이 85[%]일 경우에는 DPP시스템의 모듈 간 전력 차이가 집적모듈 시스템보다 약 10.4[%] 높은 것이 확인되었다. 이는 DPP 시스템이 전체 전력을 처리하지 않고 전체 전력의 일부만 처리하므로 생기는 이점이며 따라서 각 모듈생산전력과 평균생산전력의 차이만 분담하는 DPP사용 시 사용하지 않았을 때보다 허용용량이 낮아지므로 DPP 설계 시 안정성과 가격적인 면에서 이익을 볼 수 있다고 기대하며 공급적인 면에서 효율적인 전력 공급을 이루어 낼 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Yuyi Mao, Guanding Yu, and Caijun Zhong, "Energy Consumption Analysis of Energy Harvesting Systems with Power Grid," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 2, no. 6, December 2013.
- [2] Maria Gorlatova, Aya Wallwater, and Gil Zussman, "Networking Low-Power Energy Harvesting Devices: Measurements and Algorithms," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 12, no. 9, September 2013.
- [3] N. Femia, G. Lisi, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Distributed maximum power point tracking of photovoltaic arrays: Novel approach and system

analysis," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2610–2621, Jul. 2008.

- [4] Shibin Qin, Stanton T. Cady, Alejandro D. Domínguez-García and Robert Carl Nikolai Pilawa-Podgurski, "A Distributed Approach to Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Submodule Differential Power Processing," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 4, April. 2015.
- [5] Shibin Qin, Christopher B. Barth and Robert C. N. Pilawa-Podgurski, "Enhancing Microinverter Energy Capture With Submodule Differential Power Processing," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 5, May 2016.
- [6] Yoash Levron, Daniel Russel Clement, Beomseok Choi, Carlos Olalla, and Dragan Maksimovic, "Control of Submodule Integrated Converters in the Isolated-Port Differential Power-Processing Photovoltaic Architecture," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 2, no. 4, Dec. 2014.
- [7] Katherine A. Kim, Pradeep S. Shenoy and Philip T. Krein, *Fellow*, "Converter Rating Analysis for Photovoltaic Differential Power Processing Systems," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 4, April 2015.
- [8] Kyoungjun Kwon, Katherine A. Kim, "Efficiency Analysis for Differential Power Processing Converter Configurations in Photovoltaic Electric Vehicles," *The Korean Institute of Power Electronics, Power Electronics Annual Conference*, 215–216, 2 pages, Jul. 2016.
- [9] Carlos Olalla, Daniel Clement, Miguel Rodriguez and Dragan Maksimovic, "Architectures and Control of Submodule Integrated DC - DC Converters for Photovoltaic Applications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 6, June 2013.
- [10] Pradeep S. Shenoy, Katherine A. Kim, Brian B. Johnson, and Philip T. Krein, "Differential Power Processing for Increased Energy Production and Reliability of Photovoltaic Systems," *IEEE Transactions On Power Electronics*, vol. 28, no. 6, June 2013.

저 자 소 개



박 승 화 (Seung-Hwa Park)

She received her B.S degree in Department of Electrical Engineering from Soongsil University, Seoul, Korea in 2017. She is currently a student of the Gachon University, Gyeonggi-Do, Korea. Her research interests are Material Science and Power conversion.



이 현 재 (Hyun-Jae Lee)

He received his B.S degree in Department of Electrical Engineering from Seoul University, Seoul, Korea in 2018. He is currently a student of the Gachon University, Gyeonggi-Do, Korea. His research interests are Power control and Power conversion.



손 진 근 (Jin-Geun Shon)

He received his B.S., M.S. and Ph. D, degrees in the Department of Electrical Engineering from Soongsil University in 1990, 1992 and 1997. He is a Professor at the school of Electrical Engineering, Gachon University, Korea. His research interests are the power conversion, control, LCD, and diagnosis of power utility.