

실제 날씨 환경에서 퍼지로직과 P&O 제어방식의 MPPT 동작 성능 분석

엄현상, 양혜지, 안현준, 권용성*
한동대학교 기계제어공학부

Performance Analysis of MPPT Techniques Based on Fuzzy Logic and P&O Algorithm in Actual Weather Environment

Hyun-Sang Eom, Hye-Ji Yang, Hyun-Jun An, Youngsung Kwon*
Department of Mechanical and Control Engineering, Handong Global University

요약 태양광(PV, Photovoltaic) 시스템의 발전량은 일사량 및 기온 등 날씨 변수에 따라 변동한다. 특히 일사량 변화에 민감하게 반응하는 PV 시스템의 출력 특성은 최대 전력 점 추적(MPPT, Maximum Power Point Tracking) 제어를 통해 변화하는 기상 환경에서도 효율적이며 안정적으로 최대 전력을 생산할 수 있다. 본 논문에서는 PV 시스템의 전력 생산 효율 개선과 안정성을 높이기 위해 퍼지 로직 기반의 MPPT 제어 방법을 제안한다. 제안한 방법의 성능 검증을 위해, 동일 기상 조건하에서 기존의 대표적인 MPPT 제어방식인 P&O(Perturb and Observe)와 새로 제안한 퍼지 로직의 효율과 안정성을 실증적으로 비교 및 평가한다. 더욱이 하드웨어의 안정도 및 신뢰도 향상을 위해 설계한 회로를 인쇄 회로 기판(PCB, Printed Circuit Board)으로 제작하여 실험을 진행했다. 특정 기간동안 prototype으로 진행한 실험 결과를 통해, 본 논문에서 제안한 퍼지 로직 기반의 MPPT가 기존의 P&O MPPT 대비 4.4% 이상의 효율 개선과, 최대 전력 점에서 변동 폭의 39.7% 이상 감소가 확인된다.

Abstract The power generation of a PV system changes according to the weather variables, such as solar radiation and temperature. In particular, the output characteristics of photovoltaic systems, which are sensitive to changes in solar radiation, can be produced effectively and reliably in various weather conditions through MPPT (Maximum Power Point Tracking) control. This paper proposes a fuzzy-based MPPT control method to improve the efficiency and stability of the power production from a solar system. To verify the performance of the proposed method, under the same weather environment, the efficiency and stability of the newly proposed fuzzy logic were compared and evaluated empirically with P&O (Perturb and Observe), a representative algorithm of MPPT control. Furthermore, the circuits designed to improve the reliability and reliability of the hardware were manufactured from Printed Circuit Boards (PCB) to conduct experiments. Based on the results of the experiment during a certain period, the fuzzy-based MPPT proposed in this paper improved the efficiency by more than 4.4% compared to the MPPT based on the existing P&O algorithm and decreased the fluctuation width by more than 39.7% at the maximum power point.

Keywords : MPPT, Perturb and Observation, Fuzzy Logic, Efficiency, Fluctuation, PCB

*Corresponding Author : Youngsung Kwon(Handong Global Univ.)

email: youngsung.kwon@handong.edu

Received June 26, 2020

Revised July 22, 2020

Accepted October 5, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

오늘날 에너지 소비는 기술이 발전됨에 따라 증가하는 추세이며, 더욱이 4차 산업혁명의 핵심기술인 정보통신 기술의 발달로 매년 2~3%의 에너지 소비 증가율이 예측된다[1, 2]. 에너지 소비의 증가는 지구 온난화와 미세먼지 발생과 같은 환경 문제로 연결된다.

“에너지 경제 연구” 보고서에 따르면 2015년 한국에서 발생하는 온실가스 배출량의 80%와 미세먼지의 14%는 화석연료 발전에서 기인한다[3, 4]. 이에 대한 대응책으로 원자력 발전과 신재생 에너지가 언급되고 있으나, 원전 폐기물 임시저장 시설 확보 및 사후 처리비용의 문제 등으로 인해 신재생 에너지 확대에 대한 움직임이 보다 탄력을 받고 있다[4]. 최근 국내 에너지전환 정책에 따르면 온실가스와 유독성 폐기물을 생성하지 않는 신재생 에너지 발전 비중의 목표치를 2030년까지 20%, 2040년까지 35%로 설정했다[5].

신재생 에너지 중 태양광 발전은 무한한 에너지원 및 유지보수가 용이해 국내 태양광 에너지 시장은 Fig. 1과 같이 매년 꾸준한 성장세를 보인다[6]. 하지만 PV 발전 시스템은 날씨에 따른 출력 변동, 초기 설치 단계에서 고 비용 및 넓은 면적 확보 등 환경적 의존성이 강하며 상용화된 PV 패널의 출력효율은 최대 20%를 넘지 못한다[7]. 따라서 제한된 환경 내에서 PV 발전시스템의 효과적인 운영을 위해서는 고효율의 MPPT 제어기법이 요구된다.

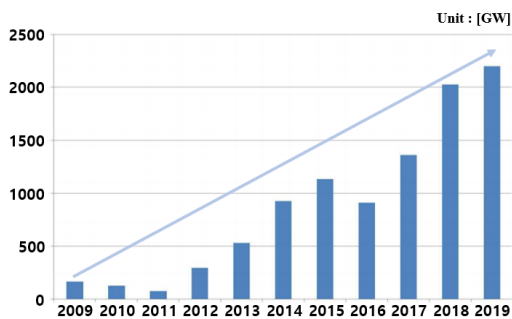


Fig. 1. Current state of solar energy market in Korea [8].

현재까지 진행되어 온 많은 MPPT 연구 중, 대표적인 제어기법인 P&O 방식은 특정 시점 n에서의 전력 값과 이전 시점인 n-1에서의 전력 값을 비교해 동작점을 이동시킨다. P&O는 다른 MPPT 방식보다 제어구조가 간단하고 비교적 구현이 쉽다는 장점이 있으나, 변화하는 날

씨에 따라 PV 패널로부터 발생 되는 전압과 전류간의 비선형적 특성으로 인해, 최대전력점(MPP, Maximum Power Point)으로의 추적속도가 느리고 MPP 부근의 동작점에서 변동하는 단점들이 있다. 본 논문에서는 PV 패널의 비선형 요소로 인한 단점들을 개선하기 위해 설계자가 정한 규칙에 따라 제어되는 퍼지로지 기반의 MPPT를 제안한다.

기존 논문에서는 시뮬레이션 기반의 비교 및 평가로 인해 실제 날씨 상황들(일사량, 온도, 습도 등) 및 하드웨어 구현 동작 시 발생하는 오차를 고려하기 힘들다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 본 논문에서는 실제 동일 날씨조건에서 퍼지로지과 P&O 기반의 MPPT 동작 성능을 비교·분석하여, 퍼지로지의 우수성을 출력효율과 안정성 관점에서 실증적으로 검증한다. 실험 결과 퍼지로지 기반의 MPPT가 P&O 알고리즘 기반의 MPPT 대비 2% 이상 출력효율이 높았고, 최대 전력 점에서 변동의 폭의 10% 이상 감소가 확인된다. 본 논문에서 제안한 prototype의 결과를 바탕으로 실제 태양광 시스템에 적용할 때, MPPT 운영 효율성 및 신뢰성 개선이 기대된다.

2. MPPT 제어 시스템 설계

2.1 PV 패널

본 논문에서 제안하는 퍼지 로직 기반 MPPT의 성능을 검증하기 위해, 다른 두 비교 대상에동일한 PV 패널(Haeon Solar Module HR-SP10B)을 사용했으며 PV 패널 특성은 아래 Table 1과 같다. 3개의 PV 패널을 같은 환경 조건에서 실험하기 위하여 동일장소(한동대학교 캠퍼스내)에 설치했다.

Table 1. HR-SP10B Parameter(Criterion: $1000 W/m^2$)

Parameter	Value
Rated Maximum Power	10.00 W
Current at $P_{max}(I_{mpp})$	0.50 A
Voltage at $P_{max}(V_{mpp})$	18.00 V
Short-Circuit Current(I_{SC})	0.60 A
Open-Circuit Voltage(V_{OC})	22.50 V
Maximum System Voltage	60.00 V _{DC}

2.2 PV 패널 특성 및 MPPT 필요성

Fig. 2와 Fig. 3은 일사량 변화에 따른 PV 패널의 비선형 특성곡선(전압-전류, 전압-전력)을 나타낸다. 실험

적 결과로 얻은 Fig. 2와 Fig. 3의 특성곡선은 본 논문에서 제안한 퍼지로그직과 다른 MPPT 기법과의 성능 비교에 사용한다.

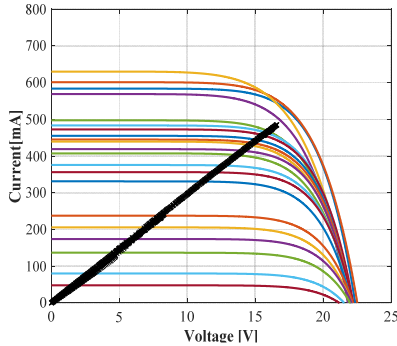


Fig. 2. V-I Characteristic Curve with constant Load line. From the line at the top, it shows the V-I characteristic curve for various irradiation as it decreases. The black line represent experimental data of current and respective voltage from fixed resistor (35Ω).

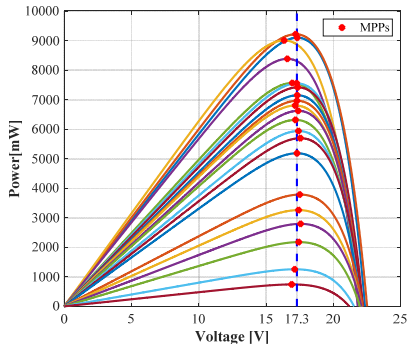


Fig. 3. V-P Characteristic Curve with constant Load line. The lines represents the possible power output for different voltages and irradiation.

PV 패널의 동작점은 특정 일사량에서 PV 패널에 연결된 부하에 따른 출력전압(V_{PV})과 출력전류(I_{PV})에 의해 결정되는 값이며 부하가 일정할 때, 모든 일사량에 대한 동작점들의 집합을 부하선으로 나타낸다. Fig. 2의 부하선은 고정된 부하 35Ω 에서의 일사량($0\sim 1000\text{ W/m}^2$)에 따른 값이다.

Fig. 3은 Fig. 2와 동일 조건에서 MPPT 제어를 적용했을 때 출력되는 PV 패널의 최대 동작점(MPP)를 보여 준다. Fig. 3의 PV 패널 최대 출력 전압 값(V_{mpp})들은 17.3 V 부근에 위치하며 Fig. 2의 부하선의 V_{PV} 값들과

대부분 일치하지 않음을 확인 할 수 있다. 이는 특정 부하에서의 동작점을 MPP로 이동시키는 MPPT 제어가 필요함을 나타낸다.

2.3 Power stage 설계

MPPT 제어는 시비율(D)을 변화시켜 동작점을 MPP로 이동시키는 기법이며 Fig. 4의 부스트 컨버터 출력전압은 변화된 D 와 Eq. (1)로 부터 결정된다.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (1)$$

Fig. 4의 부하로는 ROCKET ES 7-12 (12 V , 7 Ah) 배터리를 고려했고, 안정한 배터리 충전을 위해 부스트 컨버터 출력전압은 배터리 제조사의 스펙을 참고하여 28.8 V 로 설계했다. 해당 전압에서 부스트 컨버터에 연결되는 부하(R_{load})의 값은 Eq. (2)의 부스트 컨버터의 입력 전압($V_{in} = V_{PV}$)과 해당 전압에서의 D , 입력 전류($I_{in} = I_{PV}$)와의 관계를 통해 구할 수 있다. 최대, 최소 V_{in} 에서 계산되는 R_{load} 는 각각 84.16Ω , 34.11Ω 이며 최대 R_{load} 에 근접한 84Ω 이 실험에서 사용된다.

$$D = \frac{V_{PV}/I_{PV}}{R_{Load}} = \frac{R_{PV}}{R_{Load}} \quad (2)$$

부스트 컨버터의 최대 V_{in} 값을 Fig. 3의 V_{mpp} 평균 값인 17.3 V 로 설정했을 때, Eq. (1)을 통한 D 는 0.41 이고 I_{in} 은 Fig. 2의 부하선에 의해 0.51 A 로 결정된다. 부스트 컨버터의 안정적인 출력을 위해 D 는 0.55 로 제한했으며, 이에 따른 부스트 컨버터 최소 V_{in} 은 Eq. (1)을 통해 12.96 V 로 계산되고 I_{in} 은 0.38 A 가 된다.

V_{PV} 가 12.96 V , I_{PV} 가 0.38 A 인 경우 Eq. (3)으로부터 얻은 부스트 컨버터의 경계 인덕턴스 값은 $170.53\ \mu\text{H}$ 이다. Eq. (4)를 이용해 입력 전류의 리플 20%와 인덕턴스 마진 5%이상을 고려해 $1000\ \mu\text{H}$ 값의 인덕터가 실험에서 사용된다.

$$L_{boundary} = \frac{V_{in}}{2.00 \times I_{in} \times f} \quad (3)$$

$$\Delta I = \frac{V_{in} \times D}{2.00 \times L \times f} \quad (4)$$

2.4 시스템 구성

Fig. 4의 시스템을 PCB에 프로토타입으로 제작했으며 이는 Fig. 6과 같다. 시스템의 power stage 파트 중 PV 패널은 PCB 외부로 연결이 되고 Fig. 5의 입력 커패시터, 부스트 컨버터, 부하는 Fig. 6의 하얀 박스와 같이 설계했다. MPPT 제어가 동작되는 control stage는 PCB 아래 위치한 연산 장치에서 수행한다.

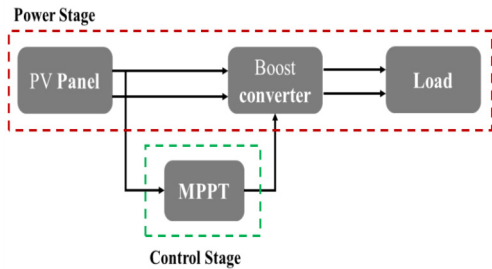


Fig. 4. PV System Block Diagram

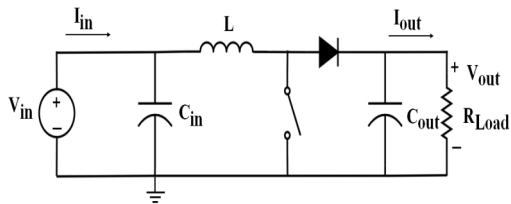


Fig. 5. Boost Converter Circuit Diagram

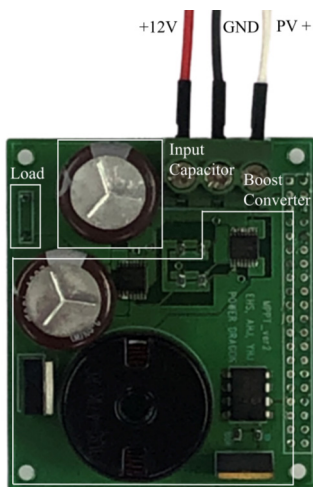


Fig. 6 PCB Connected with MCU and Load Resistor

3. MPPT 제어기법 특성 및 비교

3.1 P&O 기반 MPPT

Fig. 7은 P&O MPPT의 순서도를 나타낸다. P&O MPPT는 현재 시점 n 에서 전력(P_n)과 전압(V_n)를 측정하여 이전 시점 $n-1$ 에서의 전력(P_{n-1})과 전압(V_{n-1})을 각각 비교 한다. P_n 이 P_{n-1} 과 같으면 현재 D 를 유지하지만 P_n 이 P_{n-1} 과 다르면 V_n 과 V_{n-1} 을 비교해야 한다. P_n 이 P_{n-1} 보다 작을 때, V_n 이 V_{n-1} 보다 큰 경우에는 현재 D 에 설계자가 정한 P&O 스텝사이즈를 더하고 반대의 경우 스텝사이즈를 빼준다. P_n 이 P_{n-1} 보다 클 때, V_n 이 V_{n-1} 보다 큰 경우에는 현재 D 에 스텝 사이즈를 빼주고 반대의 경우 스텝 사이즈를 더해준다. D 의 스텝 사이즈에 따라서 MPPT 동작 성능이 결정되므로 이는 P&O 기법에서 중요한 역할을 한다. 큰 스텝 사이즈는 빠른 응답을 하지만 MPP 부근에서 변동이 크며 작은 스텝사이즈는 이와 반대의 경향을 보인다. 본 논문에서는 P&O MPPT 스텝 사이즈를 0.5로 실험을 진행한다.

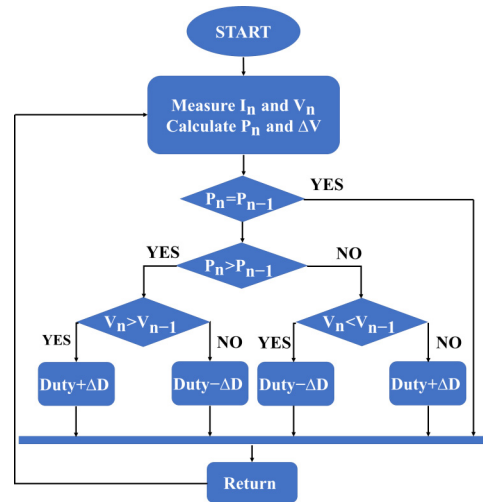


Fig. 7. P&O Flow Chart

Fig. 8은 2020년 5월 13일 한동대학교 캠퍼스 내 실제 날씨환경에서 P&O MPPT 실험 결과이며, PV 패널의 동작점(파란점)이 MPP를 추적하는 것을 나타낸다. Fig. 9와 같이 낮은 일사량 범위(I_{PV} 200mA이하)에서의 동작점들의 출력효율에 미치는 영향이 미미하기 때문에, 본 논문에서는 I_{PV} 가 200mA 이상의 값을 나타내는 동작점들만 고려하기로 한다.

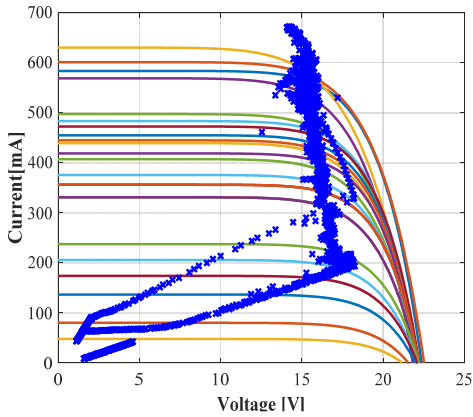


Fig. 8. P&O Voltage-Current experiment data

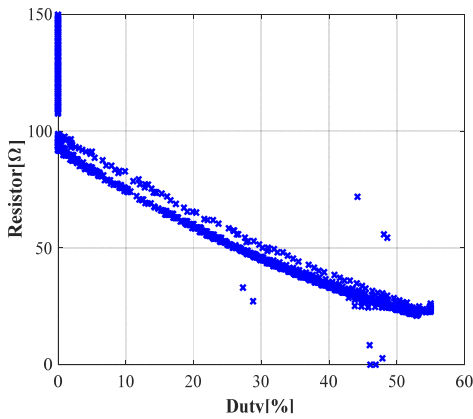


Fig. 9. P&O Duty Cycle-Resistor experiment data

Fig. 9는 P&O MPPT 동작에 따른 D 와 R_{PV} 값의 변화를 나타낸다. P&O가 동작점을 MPP로 이동시킬 때 하나의 D 에 대해 여러개의 R_{PV} 값이 나타나는 것은 P&O MPPT 동작의 불안정성을 의미한다.

3.2 퍼지 로직 기반 MPPT

퍼지 로직은 모호한 기준들을 설계자가 정한 규칙을 사용해 정확한 수치로 표현하는 기법으로 Fig. 10과 같이 크게 퍼지화, 추론, 역퍼지화 세 단계를 가진다.

퍼지화 단계는 입력 값(E_n, CE_n)과 출력값(ΔD)을 소속 함수로 변환해주며, 소속 함수는 각 $E_n, CE_n, \Delta D$ 을 설계자가 정한 집합들의 모임으로 나타낸 것으로 Fig. 11과 같다. 본 논문에서 사용한 입력 변수는 Eq. (4)와 Eq. (5)이며 입력되는 값의 범위를 매우 작음(VL), 작음(L), 보통(N), 큼(H), 매우 큼(VH)의 집합으로 나누어 소속 함수를 구성하고 출력변수의 경우도 동일하게 설정한다.

$$E_n = \frac{\Delta P_n}{\Delta V_n} \quad (4)$$

$$CE_n = E_n - E_{n-1} \quad (5)$$

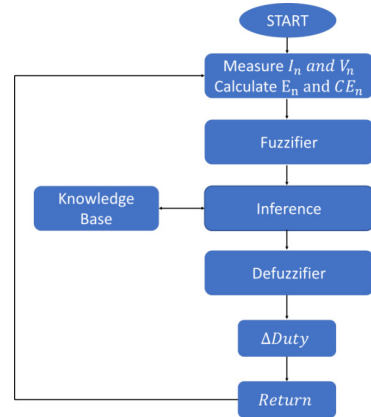


Fig. 10. Fuzzy logic flow-chart

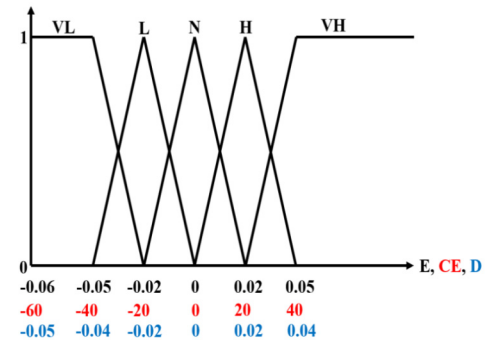


Fig. 11. Membership function of E, CE, D

추론 단계는 설계자가 정한 규칙 기반을 이용하여 입력된 값의 각 경우에서 출력변수가 소속 함수에서 가져야 할 범위를 결정하는 단계이다. 본 논문에서 사용한 규칙은 Table 2와 같으며 각각의 입력 값이 설계자가 정한 범위에 해당하는 값인 경우, 출력값을 가지게 되는 소속을 나타낸 것이다.

Table 2. Rules Table of Fuzzy Logic

CE \ E	VL	L	N	H	VH
VL	VL	VL	L	H	VH
L	L	L	L	VL	VL
N	VL	L	N	L	VL
H	H	H	H	VL	VL
VH	VH	VH	VH	VL	VL

역퍼지화 단계는 추론 단계를 통해 얻은 퍼지 출력을 무게 중심법으로 실제 사용하기 위한 값으로 변환하는 과정이다.

Fig. 12는 P&O와 동일 시간과 장소에서 퍼지로직 기법을 이용하여 MPPT 제어가 된 PV 패널의 동작점을 나타낸다. Fig. 8의 P&O MPPT 결과와 비교할 때 퍼지로직 MPP 동작점의 변화 폭이 확연하게 감소함을 확인할 수 있다.

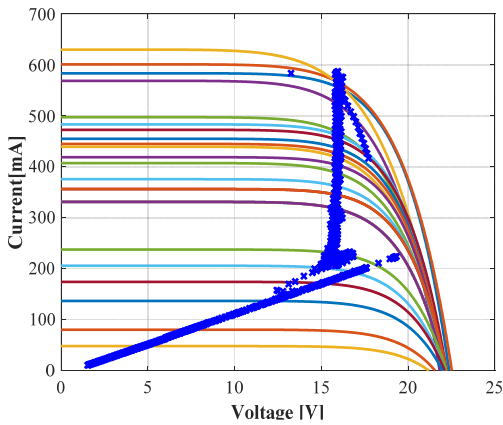


Fig. 12. FUZZY V-I experiment data

Fig. 13은 퍼지 로직 기법으로 MPPT 제어된 PV 패널의 D 에 따른 R_{PV} 값을 나타낸다. P&O 기법과 동일하게 D 와 R_{Load} 가 반비례 관계를 나타내지만, 퍼지 로직 기법이 적용된 MPPT 동작 결과는 하나의 곡선(D 와 R_{Load} 값의 일대일 매칭)으로 MPP 추적이 안정적인 것을 볼 수 있다.

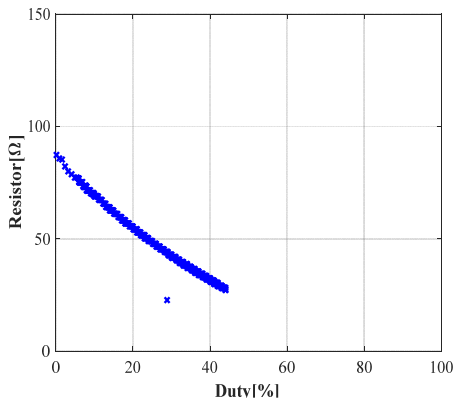


Fig. 13. P&O Duty cycle - Resistor

3.3 P&O와 FUZZY의 비교

3.3.1 1일 데이터 비교

Fig. 14는 2020년 5월 13일 맑은 날 P&O와 퍼지로직 MPPT 제어가 된 PV 패널의 출력점을 각각 파란색과 빨간색으로 나타낸 것이다. I_{PV} 가 $200mA$ 이하인 일사량에서는 MPPT 제어가 되지 않으므로 I_{PV} 가 $200mA$ 이상인 구간 (일사량 $250 W/m^2 \sim 1000 W/m^2$) 에서 출력점 변동량을 V_{PV} 의 표준편차값으로 비교한다. Table 3과 같이 P&O MPPT가 $0.91 V$, 퍼지 로직 MPPT가 $0.18 V$ 로 퍼지 로직의 PV패널 평

균 출력전압으로부터의 변동 폭이 P&O에 비해 약 5 배이상 작으므로 안정적인 MPPT 제어를 한다고 볼 수 있다.

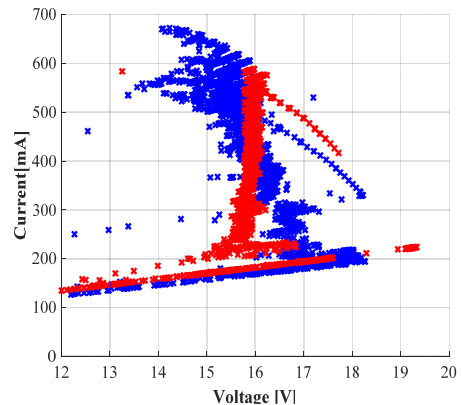


Fig. 14. V-I Comparison data. The blue points represent P&O Data where there are great oscillation. The red points represents Fuzzy Data that has comparably less oscillation.

Table 3. PV Panel Output Voltage Standard Deviation

	Standard Deviation
P&O	$0.91 V$
Fuzzy	$0.18 V$

Fig. 15는 Fig. 14와 동일한 일시에 MPPT 기법이 적용되지 않은 PV 패널(RAW), P&O 그리고 퍼지로직 기법이 적용된 PV 패널의 발전량을 비교한 것이다. Fig. 15의 검은 선은 RAW 데이터, 빨간 선은 P&O기법이 적용된 PV 패널의 발전량, 파란 선은 퍼지 로직 기법이 적용된 PV 패널의 발전량을 나타낸다.

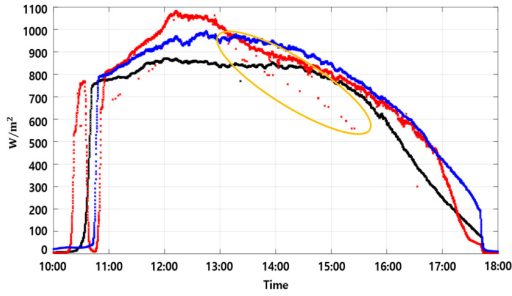


Fig. 15. P&O V-P Experiment data. Black line represents the RAW Data. Red line represents the Data collected by applying P&O method. Blue line shows the Data collected by applying FUZZY MPPT.

P&O 기법은 고정된 시비율 스텝 사이즈를 가지므로 일사량이 급격하게 변하는 상황에서 MPP 추적을 못하는 경우가 생길 수 있으며 이는 Fig. 15의 노란색 동그라미 부분으로 확인할 수 있다. 그러나 퍼지 로직은 제어 대상의 정확한 수학적 모델링이 필요 하지 않기 때문에 비선형 모델을 제어하기에 적합하고 Fig. 15에서 불안정한 추적이 없다.

Table 4는 위 세 경우에서 평균 발전량과 상대 효율을 나타낸다. 상대 효율은 Eq. (6)을 이용하여 구했고 P&O 대비 퍼지 로직이 1.9% 더 높다.

$$\eta_{PV} = \frac{P_{MPPT}}{P_{Raw}} \quad (6)$$

Table 4. Relative Power Efficiency of May 13, 2020

	Average Output Power	Efficiency
RAW	5953.9.mW	-
P&O	6051.6mW	12.1%
Fuzzy	6152.1mW	14.0%

3.3.2 특정 기간 데이터 비교

Table 5는 I_{PV} 가 200mA이상인 구간 (일사량 250 $W/m^2 \sim 1000 W/m^2$)에서 17일(2020년 5월 13일 ~ 2020년 5월 29일) 동안 P&O와 퍼지 로직 V_{PV} 의 평균 표준편차를 나타낸다. 여러 날씨의 영향으로 인해, 이전 맑은 날 하루 표준편차 결과(Table 3)보다 큰 값을 나타내지만, 여전히 퍼지 로직이 P&O 대비 평균 출력전압으로부터의 변동 폭이 39.7% 작으므로 안정적인 제어를 한다고 볼 수 있다.

Table 5. PV Panel Output Voltage Average Standard Deviation from May 13, 2020 to May 19, 2020

	Average Standard Deviation
P&O	1.84 V
Fuzzy	1.11 V

Table 6은 RAW, P&O 그리고 퍼지 로직 MPPT가 적용된 PV 패널의 평균 발전량과 평균 상대 효율을 나타낸다. 상대 효율은 Eq. (6)을 이용하여 구했으며 상대 효율의 평균은 P&O 기법이 24.75%, 퍼지 로직 기법이 29.15%로 P&O 기법 대비 퍼지 로직이 4.4% 더 높다.

Table 6. Relative Power Efficiency from May 13, 2020 to May 19, 2020

	Average Output Power	Average Efficiency
RAW	3434.8mW	-
P&O	4257.9mW	24.75%
Fuzzy	4397.5mW	29.15%

3. 결론

본 논문은 PV 패널의 출력 전력 최대화를 위한 MPPT 제어기법 중 보편적으로 사용되고 있는 P&O 기법과 제안한 퍼지 로직의 성능을 비교한다. Pads Logic 프로그램을 사용하여 설계 조건을 충족하는 부스트 컨버터와 MCU, 센서 연결 회로를 PCB 기판에 제작했다. P&O 기법의 시비율 스텝 사이즈는 0.5로 실험을 진행하며, 퍼지 로직의 입력 변수로는 E, CE가 사용된다. P&O 기반 MPPT 제어 시, MPPT가 적용되지 않은 PV 패널의 발전량에 비해 특정 기간(2020년 5월 13일 ~ 2020년 5월 29일)의 데이터 기준으로 24.75% 높고, 동작점에서 변동이 많이 발생하는 것을 실험으로 확인된다. 반면, 퍼지 로직 기반 MPPT 제어 시, PV 패널의 발전량은 P&O 기법으로 제어된 PV 패널의 발전량보다 4.4% 높고 변동 폭은 39.7% 감소한다. 효율과 안정성 측면에서 퍼지 로직 기법이 더욱 좋은 성능임을 검증했다.

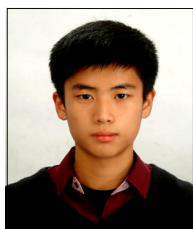
References

[1] Enerdata, "Global Energy Statistical Yearbook 2020 -

World,” 2020. [Online]. Available:
<https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html> (accessed Jun. 15, 2020)

- [2] S. J. Kang, T. Y. Jung, S. J. Kim, Y. J. Baek, B. Y. Jang, Response of the 4th Industrial Revolution and the Climate System, Industry Academic Report, National Economic Advisory Council Support Group, Korea, pp.3.
- [3] N. I. Kim, K. H. Kim, H. C. Sin, S. Won, Analysis on the impact of electricity market on the measures to reduce emissions of fine dust in the power generation sector, Korea Energy Economic Institute, Korea, pp.25
- [4] Y. B. Kim, “Analysis of greenhouse gas emission factors in Korea’s energy according to the influence of nuclear power and renewable energy”, *Korean Energy Economic Review*, Vol. 16, No. 1, pp.119-162, Mar. 2107.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.22794/keer.2017.16.1.005>
- [5] The Department of Culture, Sports and Tourism, Energy Conversion Policy. Policy Wiki, c2020 [cited Jun. 22, 2020], Available From:
<http://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148864795#L2> (accessed Jun. 15, 2020)
- [6] V. V. Tyagi, N. A. A. Rahim, N. A. Rahim, J. A/L. Selvaraj, Progress in Solar PV technology: Research and Achievement, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp.443-461, ELSEVIER, 2013, pp.19
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.028>
- [7] M. C. Kim, S. Y. Ham, D. Cheng, T. A. Wynn, H. S. J, “Advanced Characterization Techniques for Overcoming Challenges of Perovskite Solar Cell Materials ”, *Advanced Science News*, pp.1-26, Jul. 2020.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/aen.m.202001753>
- [8] S. H. Kang, Solar Energy Industry Report of 2019, Electrical Power of Renewable Energy Report, Export Import Bank of Korea Overseas Economic Research Institute, Korea, pp.18.

엄 현 상(Hyun-Sang Eom) [준회원]



• 2015년 3월 ~ 현재 : 한동대학교
 기계제어공학부

<관심분야>
 전력변환, 전력계통

양 혜 지(Hye-Ji Yang) [준회원]



• 2017년 3월 ~ 현재 : 한동대학교
 기계제어공학부

<관심분야>
 전력변환

안 현 준(Hyun-Jun An) [준회원]



• 2017년 3월 ~ 현재 : 한동대학교
 기계제어공학부

<관심분야>
 전력변환

권 용 성(Youngsung Kwon) [정회원]



• 2012년 8월 : University of Texas at Austin (공학석사)
 • 2015년 8월 : University of Texas at Austin (공학박사)
 • 2015년 10월 ~ 2018년 8월 : LG 전자 VC사업본부 선임연구원
 • 2018년 9월 ~ 현재 : 한동대학교 기계제어공학부 조교수

<관심분야>
 전력변환, 전력계통 등.