

도심 주행 조건에 따른 차량 탑재 태양광모듈의 발전특성 분석

전선우¹, 정승훈², 배성우[†], 최재영³, 신동현³

Analysis on Power Generation Characteristics of a Vehicle Rooftop Photovoltaic Module with Urban Driving Conditions

Seonwoo Jeon¹, Seunghoon Choung², Sungwoo Bae[†], Jaeyoung Choi³, and Donghyun Shin³

Abstract

This study examines the power generation characteristics of a vehicle rooftop photovoltaic module with urban driving conditions. Actual test data with an illuminometer and a thermometer were used to analyze the power generation characteristics of the vehicle rooftop photovoltaic module. In addition, the power generation characteristics were analyzed in terms of urban driving conditions, irradiance, ambient temperature, and photovoltaic module temperature. This study also analyzes the power generation characteristics of the vehicle rooftop photovoltaic module with urban driving conditions through a wavelet transform filtering method. The power generation characteristics of the vehicle rooftop photovoltaic module with urban driving conditions depend on the change in irradiance rather than that in photovoltaic module temperature.

Key words: Urban driving condition, Vehicle rooftop photovoltaic module, Power generation characteristic, Wavelet transform filtering

1. 서 론

최근 차량에 적용되는 고출력 전장부하의 증가로 인해 차량 내 효율적인 전기에너지 관리가 요구된다^{[1][2]}. 또한 2020년부터 차량 CO₂ 배기량 및 연비규제에 대응하기 위해 차량의 효율을 향상시키기 위한 다양한 기술들이 개발되고 있다^[3]. 이러한 효율적인 차량 전기에너지 관리 기술과 환경 규제에 대응하기 위해 하이브리드 자동차의 배터리 에너지원과의 별도의 에너지원을 이용한다. 예를 들어, 차량의 표면 또는 선루프에 태양광 모듈을 탑재하여 발생하는 부가적인 전력을 사용하는 에너지 하베스팅 기술에 대해 연구가 활발하다^{[4][5]}. 에너

지 하베스팅 기술을 이용하여 발전된 전기에너지를 저장하거나 활용할 수 있다. 이를 통해 차량 내 에너지를 효율적으로 사용하고 사용자 편의성을 증대시킬 수 있다. 예를 들어, 2000년대 토요타 프리우스를 시작으로 태양광 모듈을 이용하여 공조시스템 구동, 라디오와 같은 디지털기기 구동에 필요한 전력을 에너지 하베스팅 기술을 활용하고 있다^[6].

하지만 차량루프에 태양광 모듈을 탑재하여 실제 도로에서 주행상황에 따른 여러 변수에 대한 태양광 모듈의 발전특성 연구는 부족하다. 따라서 태양광 모듈을 탑재한 차량이 실제 도심을 운행할 때 주행상황을 반영한 태양광 발전모듈의 발전특성 연구가 필요하다.

본 논문은 차량루프에 태양광모듈을 탑재한 차량이 건축물의 그늘, 고가 차도 및 그늘이 없는 조건 등이 포함된 도심도로 주행 시에 태양광모듈의 발전특성을 연구하였다. 또한 태양광모듈 탑재 차량의 도심 주행상황에서 주행속도와 일사량에 따른 발전특성을 웨이블릿 변환 필터링(Wavelet Transform Filtering) 기법을 이용하여 분석하였다.

본 논문은 차량에 탑재된 태양광모듈의 도심 주행에 따른 발전특성 분석을 위해 다음과 같이 구성된다. 2장에서 본 논문에서 선정된 태양광모듈 탑재 차량 및 계절 조건에 따른 태양광모듈의 발전특성에 대해 기술

Paper number: TKPE-2020-25-2-2

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: swbae@hanyang.ac.kr, Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University
Tel: +82-2-2220-2309 Fax: +82-2-2220-3119

¹ Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

² School of IT Engineering, Yonam Institute of Technology

³ Dept. of Electrical Energy Control R&D Center, Korea Automotive Technology Institute

Manuscript received Oct. 3, 2019; revised Oct. 23, 2019; accepted Dec. 10, 2019

— 본 논문은 2019년 전력전자학술대회 우수추천논문임

— 본 논문은 2019년 전력전자학술대회 태양광논문상 수상논문임

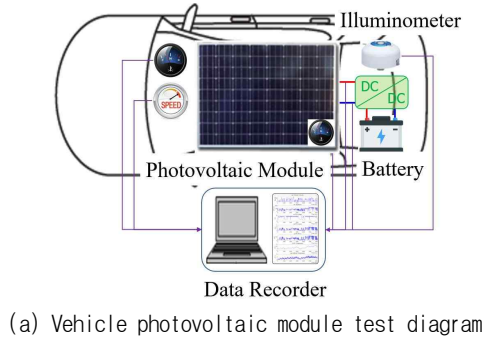


Fig. 1. Test vehicle with a photovoltaic module.

한다. 3장에서는 선정된 태양광모듈의 시험 세트를 구성하여 실제 도로 주행 조건에서 주행속도 및 일사량조건에 따른 발전특성을 MATLAB/Simulink를 이용하여 웨이블릿 변환 필터링 기법을 적용하여 분석한다. 4장에서는 본 논문의 차량 적용을 위한 태양광모듈의 발전특성에 대한 연구에 대한 결론을 기술한다.

2. 태양광모듈 탑재 차량 발전특성 시험조건

2.1 태양광모듈 탑재 차량

Bloomberg New Energy Finance의 통계조사에 의하면, 전기자동차의 경우 중형차, 소형차 및 SUV를 중심으로 꾸준히 수요가 증가할 것으로 전망되어 본 논문에서는 태양광모듈 탑재 차량을 중형차로 선택하였다^[7]. 차량에 태양광모듈을 탑재하여 효율적으로 사용하기 위해, 차량 환경을 반영한 태양광 모듈의 단락전류(I_{SC}), 개방전압(V_{OC}) 및 충전율(FF)을 고려하여야 한다. 식 (1), (2)는 태양광모듈의 최대발전전력(P_{max})과 충전율(FF)을 나타낸다. 충전율은 태양광모듈의 전류-전압 곡선의 면적을 의미하며, 이는 태양광모듈의 최대발전전력을 결정하는 요소로서 최적동작전류(I_m)과 최적동작전압(V_m)에 의해 결정된다^{[8],[9]}.

$$P_{max} = FF \times V_{OC} \times I_{SC} \quad (1)$$

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (2)$$

자동차의 엔진룸은 연료 연소로 인해 열이 가장 많이 발생하는 곳이다. 특히, 하절기의 경우, 최고 약 120 °C

TABLE I
PHOTOVOLTAIC MODULE ELECTRICAL
CHARACTERISTIC PARAMETERS

Parameter	Value
Maximum output Power (P_{max})	200 W
Maximum output point voltage (V_m)	37.4 V
Maximum output point current (I_m)	5.55 A
Open-circuit voltage (V_{oc})	46.1 V
Short-circuit current (I_{sc})	6.15 A
Operating temperature	-40 ~ 85 °C

TABLE II
SEASONAL SOLAR ALTITUDE, AZIMUTH, IRRADIANCE
AND TEMPERATURE^[11]

	Spring	Summer	Autumn	Winter
Altitude	61°	74°	54°	33°
Azimuth	163°	151°	168°	166°
Irradiance	700W/m ²	900W/m ²	700W/m ²	600W/m ²
Temperature	10°C	25°C	10°C	-5°C

Seoul, latitude: 37.30°N, longitude: 126.59°E

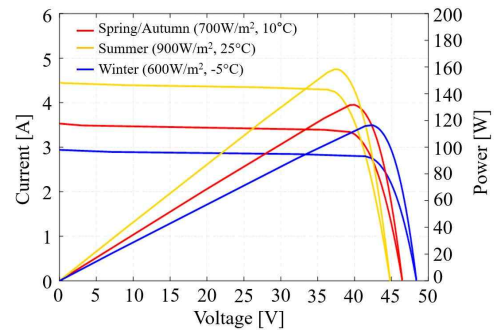


Fig. 2. Photovoltaic module characteristic curves.

까지 상승하므로 태양광모듈의 개방전압(V_{OC})이 작아지게 되므로 충전율이 줄어들게 된다^[10]. 따라서 본 논문에서는 태양광모듈(200W급, 954mm×1308mm)의 충전율을 고려하여 태양광 모듈 탑재 위치는 그림 1과 같이 차량 루프로 선정하였다. 그림 1(a)는 태양광모듈 탑재 차량의 주위 온도, 태양광모듈의 온도, 시내주행환경에 의한 급격히 변하는 일사량에 따른 태양광 모듈의 발전전력을 측정하기 위한 시험 구성도를 나타낸다. 그림 1(b)는 시험장비 및 태양광모듈을 탑재한 차량을 나타낸다. 탑재된 태양광모듈은 최대발전전력 200 W, 최대발전전력 점 전압 37.4 V, 최대발전전력점 전류 5.55 A이며, 태양광모듈의 사양은 표 1과 같다.

2.2 계절조건에 따른 태양광모듈 시험 결과

태양광모듈은 온도와 일사량의 영향을 많이 받게 되므로 계절에 따른 태양광 발전의 특성이 변하게 된다.

본 논문에서는 서울특별시 계절별 기상청 기후통계분석 데이터를 활용하여 계절 일사량 변화 수준을 분석하였다. 태양에 위치에 따라 계절을 분리하는 천문학적 방법을 사용하여 4계절을 정의하였다. 태양이 춘분점에서 하지점까지의 기간을 봄(3월~6월), 하지점에서 추분점까지의 기간을 여름(6월~9월), 추분점에서 동지점까지의 기간을 가을(9월~12월), 그리고 동지점에서 이듬해 춘분점까지의 기간을 겨울(12월~3월)로 정의하였다^[11]. 계절에 따른 서울특별시의 태양의 평균 고도와 방위각 및 평균 일사량과 온도는 표 2와 같다. 시험조건은 표 2의 계절 조건을 적용하여 태양광모듈 특성 결과를 그림 2와 같이 도출하였다. 그림 2와 같이 계절 조건을 적용하여 태양광모듈을 시험하였을 때, 태양광모듈의 온도가 증가함에 따라 개방전압은 감소하고 단락전류는 증가한다. 또한 일사량 변화에 따라 개방전압의 변화는 크지 않지만 단락전류에 비례하여 태양광모듈의 출력전력이 변화한다. 계절조건을 적용하였을 때, 계절별 최대 발전 전력은 식 (1), (2)를 통하여 봄/가을은 131 W, 여름은 158 W, 겨울은 116 W이며, 충전율은 봄/가을은 0.84, 여름은 0.76, 겨울은 0.83로 나타난다. 따라서 태양광 모듈은 일사량이 높을수록 최대 발전전력은 증가하며, 온도가 높을수록 충전율은 줄어든다는 것을 알 수 있다.

3. 태양광모듈 탑재 차량 발전특성 시험

3.1 태양광모듈 탑재 차량 주행 코스

본 논문의 태양광모듈 탑재 시험 차량은 그림 3와 같이 실제 차량이 주행 시 건축물의 그늘, 고가 차도, 육교 등이 포함된 시내 주행 코스를 2019년 5월 14일(13시, 기온: 25.5°C)에 약 53분 동안 주행하였다. 운량은 0~10할까지 나눌 수 있으며, 구름이 하늘을 완전히 덮은 경우를 10 할로 나타낸다. 본 연구 시험 수행 당일 운량은 1.6 할, 평균 풍속은 5.8 km/h이었으므로 태양광모듈 탑재 차량이 주행 시 구름에 따른 일사량 변화는 적었다.

본 연구에 사용된 태양광모듈 탑재 차량의 주행 구간은 초기(0~1000 sec)에는 도로 주변에 건물이 많았다. 이 구간에서 차량은 총 17 회 정지 및 490 sec 동안 정지하여 차량 평균속도가 약 11.3 km/h로 정체가 심한 구간이었다. 따라서 시험 초기 주행 구간은 건물에 의해 발생한 그늘 구간에서 정지 상황이 많은 구간이다. 이때, 태양광모듈 탑재 차량의 주위온도, 태양광모듈의 온도, 시내 주행 환경에 의한 급격히 변하는 일사량에 따른 태양광 모듈의 발전전력은 그림 4와 같이 도출되었다. 태양광모듈 탑재 차량은 시내 주행을 수행하였으므로 건축물의 그늘, 고가 차도 및 육교가 포함되어 그림 4(b)와 같이 태양광모듈의 일사량이 급격히 변하는 것을 알 수 있다. 태양광모듈의 최대 일사량일 때, 1387.12 W/m²로 측정되며, 이때 최대 발전전력은 169.12 W이다. 태양광모듈의 최소일사량일 때, 2.11 W/m²로 측정되며,



Fig. 3. Drive path of a test vehicle with a photovoltaic module.

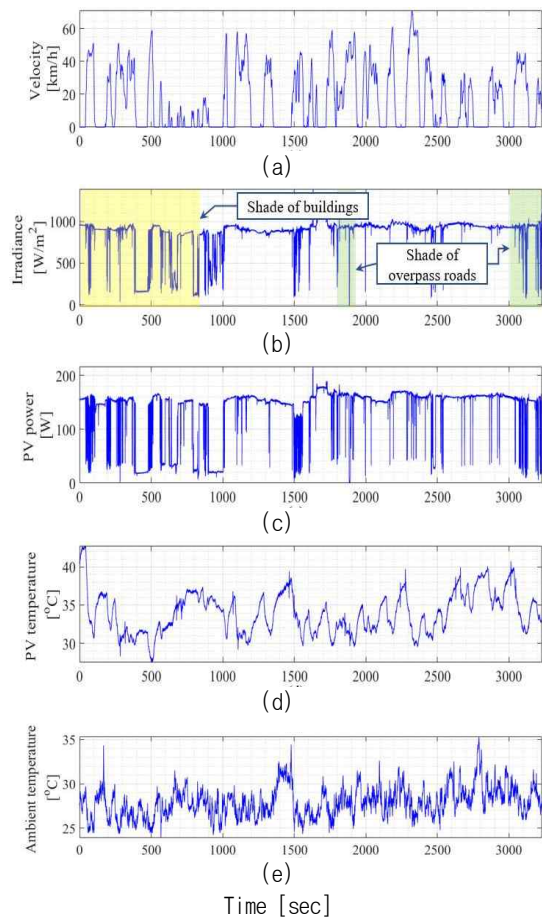


Fig. 4. Experimental results of a vehicle photovoltaic module. (a) Vehicle velocity, (b) Irradiance, (c) PV power, (d) PV temperature, (e) Ambient temperature.

이때 최소 발전전력은 1.2 W이다. 그림 4에서 태양광모듈의 최대온도는 42.64 °C로 측정되며, 이때 발전전력은 158.02 W이다. 또한 태양광모듈의 최저온도는 27.48 °C로 측정되며, 이때 발전전력은 155.29 W이다.

3.2 차량 주행에 따른 태양광모듈 발전 특성

일반적으로 태양광모듈은 일사량과 주위온도 표면온도와 같은 환경조건은 발전 특성이 변하는 원인이 된다.

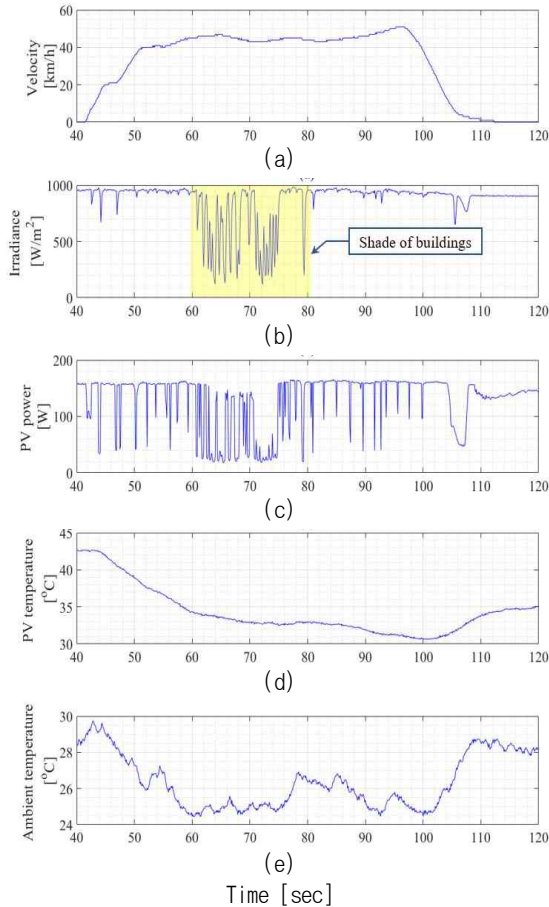


Fig. 5. Characteristics according to vehicle driving conditions. (a) Vehicle velocity, (b) Irradiance, (c) PV power, (d) PV temperature, (e) Ambient temperature.

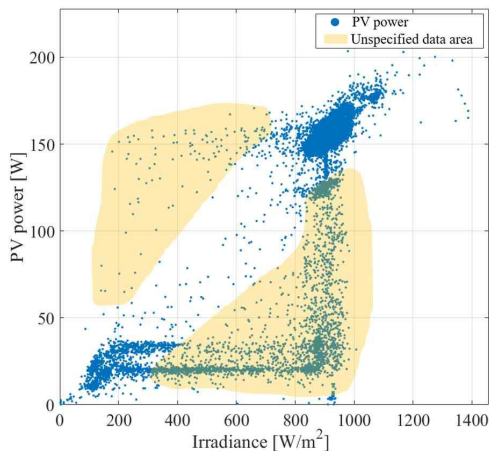


Fig. 6. Original data of PV power according to irradiance.

일사량이 일정하고 태양광모듈의 온도가 변화하는 경우, 태양광모듈의 온도가 감소할수록 출력전압은 증가하지만 출력전류는 감소하는 특성을 가진다. 차량이 주행 중일 때 차량 속도, 일사량, 주변 온도에 따른 태양광모듈의 특성 분석이 필요하다. 이를 위해 그림 5와 같이 차량이 정지 상황부터 연속적으로 주행한 구간을 분석하였다. 본 논문의 시험은 2019년 5월 14일에 시행되어 차량

주위의 온도는 그림 5(e)와 같이 평균 27.3 °C이다. 이때 차량이 약 60초간(42~102 sec) 연속적으로 주행하였을 때 차량 속도에 의한 냉각으로 인해 태양광모듈 온도가 그림 5(d)와 같이 약 12 °C 감소하게 된다. 차량에 탑재된 태양광모듈의 경우 차량 주행속도에 의한 풍속을 고려하였을 때, 동일 일사량(950 W/m²) 조건에서 차량이 주행상황에서는 태양광모듈의 온도는 감소하지만 발전전력의 변화는 2 W 이하이다. 하지만, 그림 5에서 일정 차량 속도(47 km/h)에서 건축물의 그늘에 의한 일사량의 변화는 최대 802 W/m²이다. 이때 태양광모듈의 발전전력은 130 W가 증가하게 된다.

3.3 웨이블릿 변환을 이용한 태양광모듈 발전 특성 분석

그림 1과 같이 전자장비를 이용하여 차량 태양광모듈 발전특성 분석에 필요한 데이터를 측정하였다. 그림 6은 태양광 모듈의 일사량 변화에 따른 발전전력을 나타낸다. 그림 6에서 보듯이 도로면 조건에 의한 차량 진동과 같은 외부 조건에 의해 측정 데이터에 노이즈 성분이 포함된다. 이러한 이유로 그림 6에서 데이터 노이즈 성분은 크게 3가지로 나타난다. 첫째, 일사량이 증가하더라도 태양광 모듈의 발전전력이 일정한 부분이 나타난다. 둘째, 일사량이 일정하더라도 발전전력은 다양하게 나타난다. 셋째, 일사량의 변화와 상관없이 높은 발전전력점이 나타난다. 이로 인해 발전특성 분석에 필요한 데이터의 상관관계를 파악하기 위한 데이터의 식별이 어렵다. 즉, 태양광모듈 탑재 차량의 일사량 변화에 따른 발전전력 데이터 상관관계 도출이 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 데이터 디노이징 필터(Data denoising filter)를 이용하여 발전전력 데이터의 상관관계를 도출하였다. 이동평균 필터(Moving average filter)는 대표적인 데이터 노이즈 필터링 기법 중 하나이다. 이동평균은 모든 데이터가 아니라, 지정된 개수의 최근 n 개의 데이터 값만으로 계산한 평균이다. 즉 새로운 데이터가 들어오면, 가장 오래된 데이터는 사용하지 않는 방식으로 데이터 개수를 일정하게 유지하면서 평균을 구한다. n 개의 데이터에 대한 이동평균은 식 (3)으로 표현된다. 여기서, 평균 필터는 k 개 데이터의 평균이다. 하지만 이동평균의 \bar{x}_k 는 $k-n-1$ 번째 데이터부터 k 번째 데이터까지 총 n 개의 데이터의 평균을 의미한다.

$$\bar{x}_k = \frac{x_{k-n+1} + x_{k-n+2} + \dots + x_k}{n} \quad (3)$$

식 (3)을 재귀식으로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k+1} + \frac{x_k + x_{k-n}}{n} \quad (4)$$

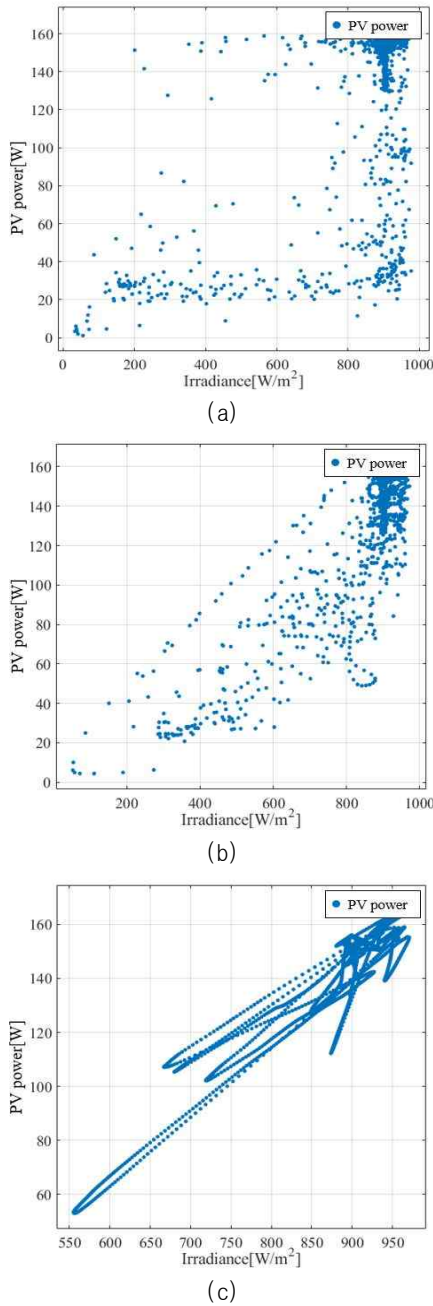


Fig. 7. Comparison of Original data and filtering results. (a) Original data, (b) Moving average filtering, (c) Wavelet transform filtering.

이동평균 필터는 지속적으로 발생하는 노이즈 제거와 데이터 변화에 대한 경향성 파악에 유용하다. 하지만, 데이터의 진폭이 큰 불특정 데이터의 경우엔 데이터의 가중치(1/m)가 동일하여 필터링 성능이 제한적이다. 또한 데이터의 가중치(1/m)에 의한 필터링 된 데이터는 데이터의 이동이 발생한다. 즉 원본 데이터와 동일한 시점에서의 필터링 된 값이 아니므로, 이동평균 기간을 길게 할수록 원본데이터보다 지연된 값이 도출된다. 반대로 이동평균 기간을 짧게 할수록 원본데이터와 필터링 된 값의 차이가 적으므로 데이터 노이즈 필터링에 효과적이지 못하다.

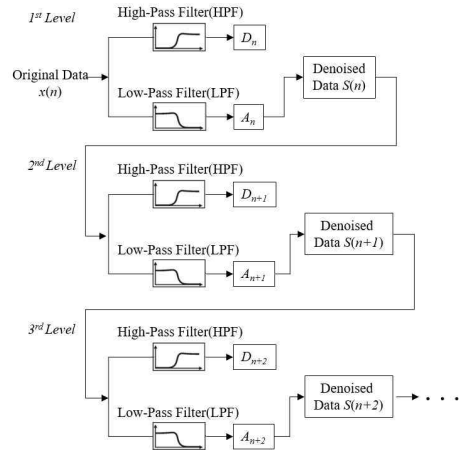


Fig. 8. Wavelet transform filtering procedure^[13].

이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 웨이블릿 변환 필터링(Wavelet transform filtering)을 적용하였다. 웨이블릿 변환 필터링을 이동평균 필터와 달리 원본 데이터와 동일 시점에서 필터링이 가능하여 데이터의 지연 현상이 없다. 또한 웨이블릿 변환 필터는 데이터의 근사성분과 상세성분으로 분해하여 데이터의 경향성을 파악하는 기법이다. 따라서 데이터의 진폭이 큰 불특정 데이터를 제거에 유용하다.

그림 7은 그림 4(b)와 그림 4(c)의 태양광 모듈의 일사량 변화에 발전전력 데이터의 일부 구간(0~350 sec)을 이동평균 필터링 결과와 웨이블릿 변환 필터링 결과를 나타낸다. 그림 7(a)는 태양광 모듈의 일사량변화에 발전전력 데이터의 원본 데이터, 그림 7(b)는 이동평균 필터링 결과, 그림 7(c)는 웨이블릿 변환 필터링 결과를 나타낸다. 그림 7(b)와 그림 7(c)을 비교하였을 때, 웨이블릿 변환 필터링이 원본데이터의 불특정 데이터 제거에 효과적이라는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 웨이블릿 변환필터링 기법을 적용으로 노이즈 성분을 제거하여 차량의 속도와 일사량변화에 따른 발전전력 데이터의 상관 관계를 도출하였다. 식 (5)와 같이 주어진 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 는 데이터의 급격한 변화에 의해 적분 시, '0'을 만족하는 함수이다. 여기서 웨이블릿 스케일을 변환시키는 a 는 압축계수, b 는 스케일의 평행 이동시키는 전이계수를 나타낸다.

$$\psi_{a,b}(t) = a^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a = a_1, a_2, \dots, a_{n-1} \quad (5)$$

웨이블릿 변환을 통한 데이터의 스케일은 다운 샘플링(Down sampling)을 이용하여 데이터 노이즈 비율을 감소시킬 수 있다^{[13],[14]}. 이를 통해 원하는 해상도에 이르기까지 다운 샘플링 필터를 기반으로 데이터를 분석할 수 있다. 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 는 식 (5)로 표현되며, 이에 따른 스케일함수 $y(k)$ 는 식 (6), (7)로 표현된다.

그림 8은 N개의 원본 데이터(original data) x(n)이

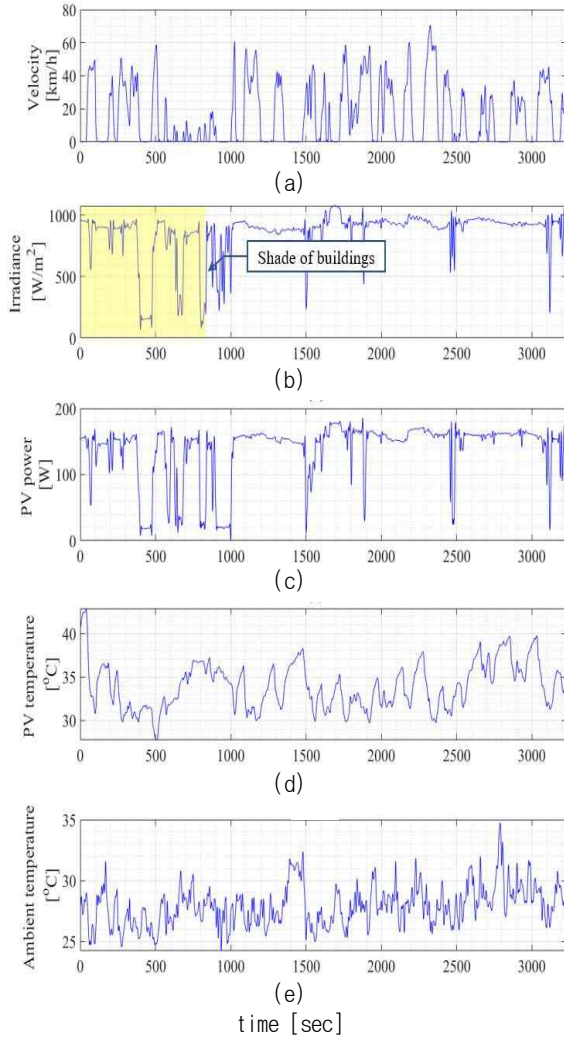


Fig. 9. Results of a vehicle photovoltaic module characteristics according to wavelet transform filter. (a) Vehicle velocity, (b) Irradiance, (c) PV power, (d) PV temperature, (e) Ambient temperature.

각각 저역통과필터 h_n 와 고역통과필터 g_n 을 사용하여 근사성분(A_n)과 상세성분(D_n)으로 분해 및 합성하여 데이터의 노이즈를 제거하는 과정을 나타낸다.

$$y_{LPF}(k) = \sum_{n=1}^N x(n)h_n(2k-n) \quad (6)$$

$$y_{HPF}(k) = \sum_{n=1}^N x(n)g_n(2k-n) \quad (7)$$

식 (6)과 (7)에서 저역통과필터 h_n 와 고역통과필터 g_n 의 관계식은 식 (8)과 같다.

$$g_n(L-1-n) = (-1)^n h_n(n) \quad (8)$$

여기서 L 은 필터의 길이(데이터의 수)이며, 저역통과필터에서 고역통과필터로의 전환은 $(-1)^n$ 을 통해 전환된다.

그림 9에서 저역통과필터 및 고역통과필터를 이용하여 노이즈가 제거된 결과값을 도출할 수 있다^[13]. 즉, 그림 8의 웨이블릿 변환 필터링을 통하여 근사성분(A_n)과 상세성분(D_n)으로 분해하여 데이터의 노이즈를 필터링하여 데이터의 경향을 도출하는 것이 가능하다. 이 과정을 MATLAB/Simulink를 통해 구현하였을 때, 그림 9와 같이 차량이 주행상황에 따른 태양광모듈의 일사량 변화, 태양광모듈의 온도 변화 및 발전전력 데이터의 경향을 도출하였다.

웨이블릿 변환 필터링을 이용하여 도출된 그림 9를 이용하여 각 데이터 간의 관계를 그림 10부터 그림 12와 같이 나타낼 수 있다. 그림 10은 태양광모듈 탑재 차량의 속도에 따른 태양광 모듈의 온도의 관계를 나타낸다. 그림 9의 태양광 모듈 탑재 차량이 정지구간(1360~1460 sec)에서 일사량 변화가 매우 적으며 평균 일사량은 885 W/m^2 이다. 이때, 태양광모듈의 온도는 $32 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 $38 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 상승하며 태양광 모듈의 발전전력은 약 10 W 감소한다. 하지만 차량이 주행 시 차량 주행속도에 대한 태양광모듈의 냉각 효과로 인해 태양광모듈의 온도는 감소한다. 또한 그림 11은 태양광 모듈 탑재 차량의 속도에 따른 발전전력 데이터를 나타낸다. 태양광 모듈은 차량의 주행속도가 증가할수록 태양광 모듈의 발전전력은 증가한다. 그림 12는 일사량변화에 따른 발전전력 데이터의 관계를 나타낸다.

그림 10부터 그림 12의 데이터를 이용하여 각 데이터 간의 선형관계 파악이 필요하다. 선형관계를 파악하기 위해 Matlab/Simulink을 통하여 다항 곡선 적합(Polynomial curvefitting)을 이용하였다. 식 (9)와 식 (10)을 통하여 태양광 모듈 탑재 차량의 속도에 따른 태양광 모듈온도 관계와 차량의 속도 및 일사량변화에 따른 발전전력 데이터의 상관관계를 도출할 수 있다. 여기서 n 은 데이터의 개수, x 는 데이터의 입력 값이며, y 는 데이터의 출력값이다.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} y_1 &= a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + \dots + a_{n-1}x_1^{n-1} \\ y_2 &= a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2 + \dots + a_{n-1}x_2^{n-1} \\ &\vdots \\ y_n &= a_0 + a_1x_n + a_2x_n^2 + \dots + a_{n-1}x_n^{n-1} \end{aligned} \quad (10)$$

식 (9), (10)을 이용하여 2차 다항 곡선 적합으로 나타내었을 때, 태양광모듈 탑재 차량의 속도에 따른 태양광 모듈의 온도의 관계는 식 (11)로 나타난다. 태양광모듈 탑재 차량의 속도와 발전전력의 관계는 식 (12)로, 일사량과 발전전력의 관계는 식 (13)으로 도출된다.

$$PV\text{Temperature} = 0.00032 \text{ Velocity}^2 - 0.09841 \text{ Velocity} + 35.31 \quad (11)$$

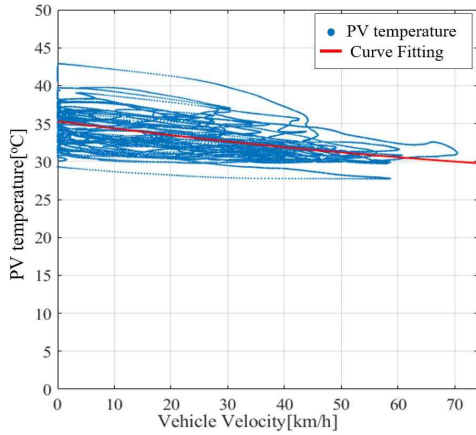


Fig. 10. Relationship between vehicle velocity and PV temperature of photovoltaic modules.

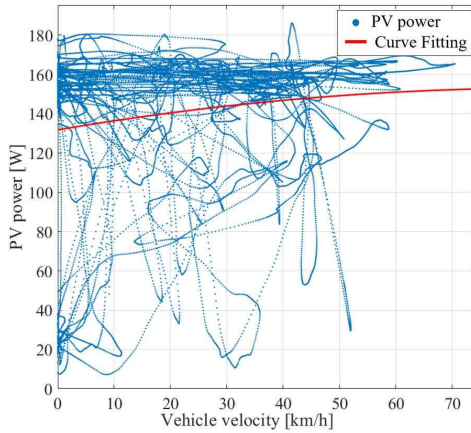


Fig. 11. Relationship between vehicle velocity and PV power of photovoltaic modules.

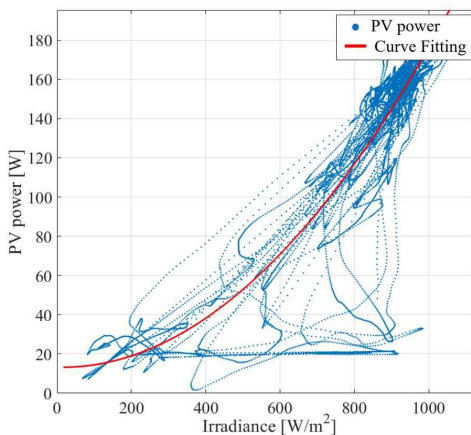


Fig. 12. Relationship between irradiance and PV power of photovoltaic modules.

$$Power = -0.0027 Velocity^2 + 0.4867 Velocity + 131.8 \quad (12)$$

$$Power = 0.00016 Irradiance^2 - 0.0046 Irradiance + 13.25 \quad (13)$$

2차 다항 곡선 추정을 통하여 태양광모듈 탑재 차량의 속도에 따른 태양광 모듈의 온도의 관계, 태양광모듈 탑재 차량의 속도에 따른 발전전력 데이터와 일사량변화에 따른 발전전력 데이터의 상관관계를 추정할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 도심 주행 조건에 따른 차량 탑재 태양광모듈 발전특성을 분석하였다. 태양광모듈은 외부환경의 영향에 따라 발전특성이 달라진다. 외부환경에 따라 발전전력 특성을 파악하기 위해, 본 논문은 계절별 기상청 기후통계분석 데이터를 활용하였다. 또한 실제 시내 주행 코스 실험을 통하여, 주행속도에 따른 태양광모듈의 온도, 차량의 속도 및 일사량 변화가 태양광모듈 발전특성의 주요변수임을 확인하였다. 하지만, 데이터 측정 시에 도로면 조건에 의한 차량 진동과 같은 외부 조건에 의한 노이즈 성분이 포함된다. 따라서 발전특성 주요변수 데이터인 차량의 속도, 일사량, 발전전력 데이터의 식별이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 웨이블릿 변환 필터링(Wavelet transform filtering)을 적용하였다. 이를 통해 측정 데이터의 노이즈 성분을 제거하여 주행속도에 따른 태양광 모듈의 온도, 차량의 속도 및 일사량변화에 따른 발전전력과의 상관관계를 분석하였다. 향후 태양광 모듈을 차량에 적용하기 위해서는 도심 주행뿐만 아니라 다양한 환경 조건에서 실험을 통한 태양광모듈의 발전 특성에 대한 연구가 필요하다.

이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (20002777)

References

- [1] M. S. A. Chowdhury, K. A. A. Mamun, and A. M. Rahman, "Modelling and simulation of power system of battery, solar and fuel cell powered hybrid electric vehicle," in *2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*, pp. 1-6, Sep. 2016.
- [2] S. Ivan and E. Levi, "A review of single-phase on-board integrated battery charging topologies for electric vehicles," in *Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD), 2015 IEEE Workshop on. IEEE*, pp. 136-145, Mar. 2015.
- [3] EPA report, "Light-duty automotive technology, carbon dioxide emissions, and fuel economy trends: 1975 through 2015," EPA-420-R-15-016, 2015.

- [4] M. Schier, M. Nasri, W. Kraft, N. Kevlishvili, J. J. H. Paulides, and L. Encica, "Combining mechanical, electrical and thermal energy conversion for ecological vehicle energy harvesting concepts," in *2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, pp. 1-10, Apr. 2018.
- [5] M. Abdelhamid, R. Singh, A. Qattawi, M. Omar, and I. Haque, "Evaluation of on-board photovoltaic modules options for electric vehicles," *IEEE Journal of Photovoltaics*, Vol. 4, No. 6, pp. 1576-1584, Aug. 2014.
- [6] T. Masuda et al., "Next environment-friendly cars: Application of solar power as automobile energy source," in *2016 IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, pp. 580-584, Jun. 2016.
- [7] Bloomberg New Energy Finance, "Electric vehicle annual sales volume forecast by country and vehicle class," Dec. 2017.
- [8] B. Song, S. Oh, J. Kang, and S. Kim, "An experimental study on the temperature of electronic components in OBC based on the cooling water and the ambient temperature," *The Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 11, pp. 2493-2497. Nov. 2012.
- [9] L. D. Murillo-Soto and C. Meza, "A simple temperature and irradiance-dependent expression for the efficiency of photovoltaic cells and modules," in *2018 IEEE 38th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVIII)*, pp. 1-6, Nov. 2018.
- [10] L. Cerna, V. Benda, and Z. Machacek, "A note on irradiance dependence of photovoltaic cell and module parameters," in *2012 28th International Conference on Microelectronics Proceedings*, pp. 273-276, May. 2012.
- [11] Korea Meteorological Administration, [Online]. Available: <http://data.kma.go.kr>.
- [12] H. Azami, K. Mohammadi, and B. Bozorgtabar, "An improved signal segmentation using moving average and savitzky-golay filter," *Journal of Signal and Information Processing*, Vol. 3, pp. 39-44, Feb. 2012.
- [13] S. H. Lee and D. H. Yoon, *Introduction to the wavelet transform*, 2nd Ed., Jin Han Books, 2003.

- [14] K. C. Hwan and R. Aggarwal, "Wavelet transform in power systems: Part 1. general introduction to the wavelet transform," *Power Engineering Journal*, Vol. 14, No. 2, pp. 81-87, Apr. 2000.



전선우(全宣雨)

2014년 영남대 전기공학과 졸업. 2016년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2017년~현재 한양대 전기공학과 박사과정.



정승훈(鄭勝勳)

2000년 국민대 전자공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2011년 미국 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(공학). 2011년~2016년 삼성전자 책임연구원. 2016년~현재 연암공과대 전자전계열 조교수.



배성우(裵晟佑)

2006년 한양대 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2009년 미국 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2012년~2013년 삼성전자 종합기술원 책임연구원. 2017년~현재 한양대 전기공학과 부교수. 당 학회 학술위원.



최재영(崔宰榮)

2011년 공주대 기계공학과 졸업. 2013년 공주대 기계공학과 졸업(석사). 2018년~현재 한국자동차연구원 전기에너지제어연구센터 연구원.



신동현(申東賢)

1999년 성균관대 기계공학과 졸업. 2001년 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 졸업(석사). 2012년 한양대 메카트로닉스공학과 졸업(공학). 2001년~현재 한국자동차연구원 전기에너지제어연구센터 센터장.