

# Jerk 함수를 적용한 태양광 스트링 내의 노후화 모듈 검출 기법

손한별<sup>1</sup>, 박성미<sup>2</sup>, 박성준<sup>†</sup>

## Detection of Aging Modules in Solar String with Jerk Function

Han-Byeol Son<sup>1</sup>, Seong-Mi Park<sup>2</sup>, Sung-Jun Park<sup>†</sup>

### Abstract

In this study, major problems, such as licensing problems due to civil complaints, deterioration of facility period, and damage of modules, are exposed to many problems in domestic businesses. Particularly, the photovoltaic (PV) modules applied to early PV systems have been repaired and replaced over the past two decades, and a new module-based aging detection method is needed to expand the maintenance market and stabilize and repair power supplies. PV modules in a PV system use a string that is configured in series to generate high voltage. However, even if only one module of the solar modules connected in series ages, the power generation efficiency of the aged string is reduced. Therefore, we propose a topology that can measure the instantaneous PV characteristic curve to determine the aging module in the solar string and the aging judgment algorithm using the measured PV characteristic curve.

**Key words:** Solar aging, Jerk function, PV measurement system, Aging measurement technique

### 1. 서 론

최근 세계적인 관심 속에 급속한 속도로 성장을 하고 있는 태양광발전 산업은 해마다 30%이상의 놀라운 성장률을 보이고 있다. 국내 태양광 설치량 2,000[MW] 시대 돌입하였으며 태양광 보급사업 20년이 지난 현재 기 설치된 태양광 모듈은 백화, PID현상 등으로 노후화가 진행되고 있다. 태양광 모듈의 노후화에 따라 발전 출력저하로 노후화 모듈 교체 필요성이 대두됨에 따라 유지보수에 대한 기술 개발이 절실히 필요하다. 현재는 국내 태양광 모듈의 노후화에 따라 다양한 노후화 모듈 측정 기법을 통해 계측을 실시하고 있다. 기존의 노후화 계측기법으로 드론을 통한 열화상 카메라에 의한 계측, String 전류검출 기법, 각 모듈 센서 내장 기법 등이 있으며 현

재의 방식에는 장단점이 존재한다. 기존 방식들에서 개선이 가능한 경제성, 휴대성, 지속성의 요구로 관련 연구는 지속적으로 하고 있으나, 아직까지 부족한 것이 사실이다<sup>[1]-[3]</sup>.

따라서 본 논문에서는 태양광 발전 중 스트링에서 노후화 모듈을 판정을 위해 순시적으로 태양광 PV 특성곡선을 계측할 수 있는 토폴로지를 제안하고, PV 특성곡선 기반 태양광 모듈 노후화 판정 알고리즘을 제안한다.

### 2. 태양광 모듈 노후화 문제점과 원인

#### 2.1 노후화 모듈의 문제점

태양광 모듈은 기계적, 자연적 요인으로 인한 고장 인자가 발생하게 된다. 이를 크게 두 가지로 살펴보면 부식에 의한 고장과 셀 또는 연결 부위의 접합 불량으로 인한 문제가 생기게 되는데 태양전지의 경우 약 20년 사용하게 되면 효율이 약 10~15% 이상 감소하게 되며, 기간의 흐름에 따라 노후화 모듈에 균열, 결함, Hot Spot, PID(Potential induced degradation)현상이 발생하게 되는 것이다. 균열의 경우 태양광 모듈의 태양전지 부분이 외부 요인에 의해 깨짐이 발생한 것이며, 모듈의 결함과 리본 와이어, 밀봉재 등 태양광 구성품들의 문제가 발생하여 효율이 감소하는 것을 볼 수 있다.

Paper number: TKPE-2019-24-5-7

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

<sup>†</sup> Corresponding author: sjpark1@jnu.ac.kr, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University  
Tel: +82-62-530-1741 Fax: +82-62-270-1749

<sup>1</sup> Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

<sup>2</sup> Dept. of Lift Design, Korea Lift College

Manuscript received Mar. 22, 2019; revised Apr. 1, 2019;

Accepted May 24, 2019

— 본 논문은 2018년 전력전자학술대회 태양광논문상 수상논문임

TABLE I  
STRESS FACTORS AND INFLUENCE OF SOLAR  
MODULES

No.	Failure mode	Stress factor	Module Impact
1	Seal discoloration	UV, high temperature	Isc degradation, reduced efficiency
2	Ribbon Wire Corrosion	High temperature, high humidity	Rs increase, efficiency decrease
3	Peeling back sheet	High temperature, high humidity	Reduction of corrosion efficiency by moisture penetration
4	Frame joint crack	Temperature difference	Rs increase, efficiency decrease

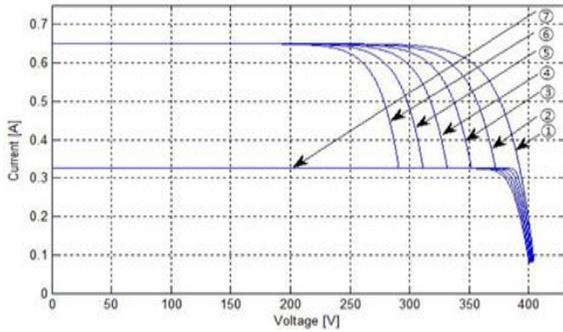


Fig. 1. VI characteristic curve of aging of the same condition.

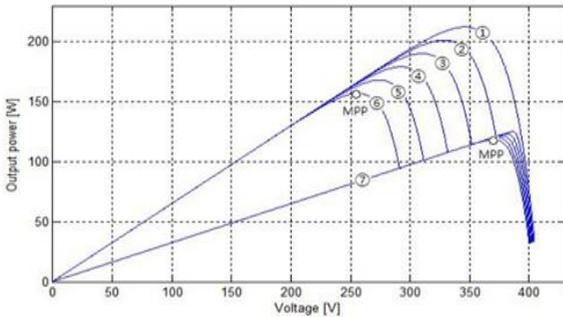


Fig. 2. VP characteristic curve of aging of the same condition.

특히 대규모 태양광 발전소의 높은 시스템 전압으로 인한 태양전지 모듈과 대지와의 전위차가 태양전지 모듈의 열화 (degradation)을 가속시킴으로써 출력이 감소하는 PID (potential induced degradation)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. PID가 발생한 태양전지는 병렬저항이 감소하여 누설전류가 증가함으로써 전체 시스템의 출력 감소로 이어진다고 알려져 있다. PID의 발생은 웨이퍼 저항, 에미터 면저항, ARC (anti reflection coating)와 같은 태양전지의 사양에 의한 영향을 많이 받게 된다<sup>[4]-[6]</sup>.

특히 우리나라의 경우 계절적인 요인으로 인해 문제점이 발생하게 되는데 고온 다습한 여름과 온난화로 인한 거대 태풍의 영향, 삼면이 바다인 지형적인 특성, 황사

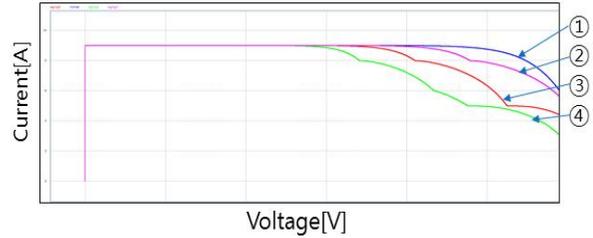


Fig. 3. VI characteristic curves due to different conditions of aging.

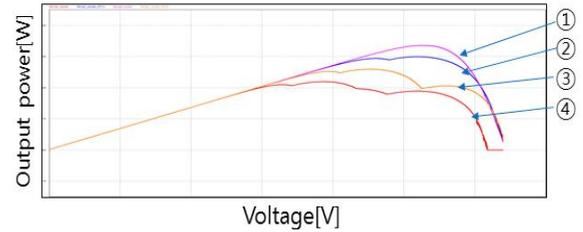


Fig. 4. VP characteristic curves due to different conditions of aging.

등으로 인해 태양광 모듈의 노후화가 점차 빨라지고 있다. 고장의 스트레스 인자와 모듈에 영향을 끼치는 부분은 표 1과 같다.

### 3. Jerk 함수를 응용한 태양광 노후화 모듈 검출

#### 3.1 노후화 모듈의 PV, IV 특성

한 스트링 내 동일 조건의 태양광 노후화에 따른 PV 특성을 보면 1~7번까지의 숫자는 태양광 노후화 모듈의 개수를 표시한 것이다. 동일한 노후화 모듈의 영향으로 출력은 일정하게 감소하여 MPP 점이 일정하게 하향한다. 그림 1, 2와 같이 동일 조건 노후화의 경우 스트링 내 태양광 노후화 모듈이 존재한다는 점을 인지할 수 있으나, 상세한 노후화 정도와 노후화 모듈의 갯수를 파악하는 것은 불가능하다.

즉 전압, 전류를 통해 모듈이 발생 시키는 에너지를 측정할 수 있게 되는데 이 데이터들에 의해 노후화 정도에 따른 출력 파형 또한 상이한 형태로 나오게 되는 것을 착안하였다.

#### 3.2 Jerk의 함수의 개념과 태양광 노후화 모듈 검출

기본적으로 Jerk는 엘리베이터 가속과 제동, 착상도의 정밀함에 이용되는 함수로, 최종 목표함수는 엘리베이터 시스템이 목표까지 가는데 최적의 상태로 속도를 제어하며 안정적인 도달이 가능하도록 만들어 주는 것을 Jerk 함수를 통해서 이루어지게 된다. 식은 아래와와 같으며 단위는  $[m/s^3]$  이다.

$$\vec{j}(t) = \frac{d\vec{a}(t)}{dt} = \frac{d^2\vec{v}(t)}{dt^2} = \frac{d^3\vec{r}(t)}{dt^3} \quad (1)$$

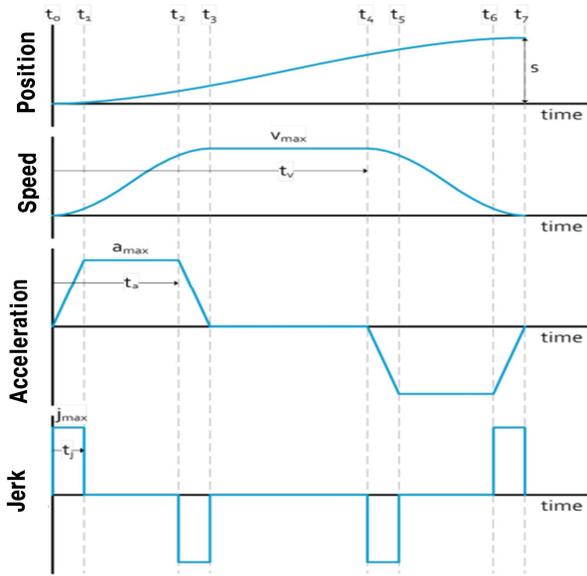


Fig. 5. Velocity, acceleration, correlation with jerk function.

그림 5는 일정거리를 이동하는 물체에 대하여 거리(S), 속도(V), 가속도(A) 및 저크(J)의 상관관계를 나타낸다. 4개의 변수들이 수학적으로 서로 상관관계가 있는데 속도는 거리의 시간에 대한 미분 값이며, 가속도는 속도의 시간에 대한 미분 값이고 저크는 가속도의 시간에 대한 미분 값이다. 물체가 전체거리의 절반을 이동했을 때 속도는 최대값에 도달하게 된다. 이 점에서 가속도는 0이 되는데 물체가 전체거리의 1/4을 이동했을 때 최대가 됨을 알 수 있다. 저크는 일정한 양의 값을 유지하다가 가속도가 최대값에 도달하는 순간 같은 크기의 음의 값으로 급격히 변화된다.

엘리베이터가 이동할 때 일정시간 경과 후 가속도가 일정한 값에 도달하고 일정시간 지속될 경우에는 다음의 식들이 적용된다. 일정한 가속도에 도달할 때까지 이동하는 거리(S)는 식 (2)와 같다<sup>[7]-[9]</sup>.

$$S = \frac{2A^3}{J^2} \tag{2}$$

또한 이동거리 (S)에 소요된 시간 (T)는 (3)과 같다.

$$T = \frac{A}{J} + \sqrt{\left[\frac{A}{J}\right]^2 + \frac{4S}{A}} \tag{3}$$

(2)와 식 (3)으로부터 이동거리(S)에서의 속도 (V)는 식 (4)와 같다.

$$V = \frac{S}{T} = \frac{\frac{2A^3}{J^2}}{\frac{A}{J} + \sqrt{\left[\frac{A}{J}\right]^2 + \frac{4S}{A}}} \tag{4}$$

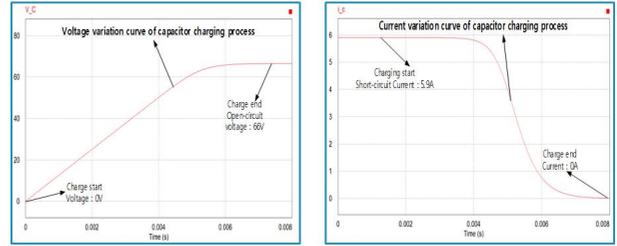


Fig. 6. Capacitor charging voltage, current waveform.

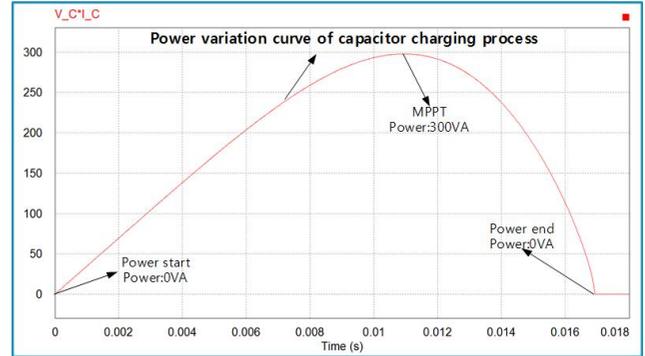


Fig. 7. Capacitor charging output characteristics.

엘리베이터 시스템에서는 승객의 불쾌감을 줄이기 위해 저크함수로 표현된 최대 가속도( $A_M$ )는 식 (5)와 같이 정의된다.

$$A_M = \left[ \frac{1}{2} J^2 S \right]^{\frac{1}{3}} \tag{5}$$

이를 태양광 노후화 모듈에 활용하게 되면 가속도가 시간에 따른 속도의 변화량을 나타낸다면, Jerk는 시간에 따른 가속도의 변화량을 확인하는 것이다. 이를 역으로 태양광 모듈에 적용시켜 보면 태양광 어레이로 들어오는 Power를 미분하게 되면 과위를 나타낼 수 있다. 이를 한번 더 미분하게 되면 과위의 변동분에 대해 이해하고 변곡점을 알 수 있다<sup>[10]-[13]</sup>.

#### 4. 콘덴서 PV 특성 곡선 및 제안된 PV 계측기

##### 4.1 태양광 모듈의 콘덴서 충전 전압, 전류 특성

PV 셀은 전류원으로 동작하여 콘덴서에 에너지를 충전 시키는 과정에서 콘덴서 전압, 전류를 계측한다. PV 셀 단락 전류인 콘덴서 초기 전압을 시작하여 PV 셀 개방 전압까지 콘덴서를 충전하며, 콘덴서 전류는 PV 셀 단락 전류에서 시작하여 PV 셀 개방 전류까지 변화를 시작한다. 콘덴서 충전시간은 PV 셀의 출력과 콘덴서 용량에 의해 결정 되므로, 콘덴서 용량으로 그 시간을 조절하는 것이 가능하다. 그림 6은 콘덴서에 충전 전압과 전류의 특성을 보여준다.

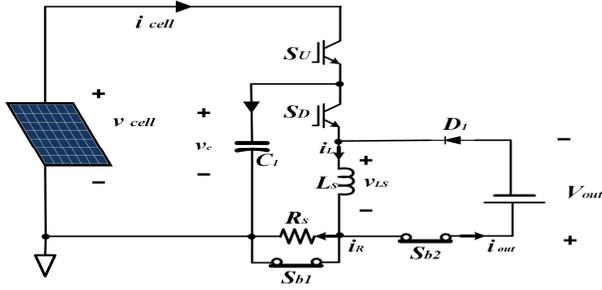


Fig. 8. The proposed PV meter circuit diagram.

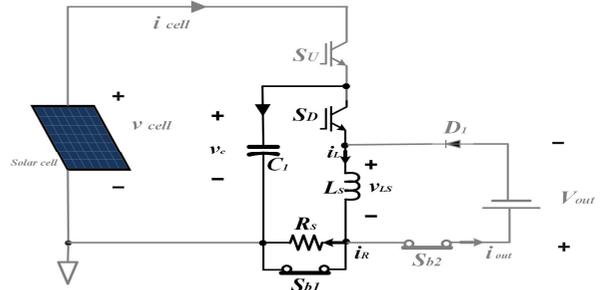


Fig. 10. Energy charging mode.

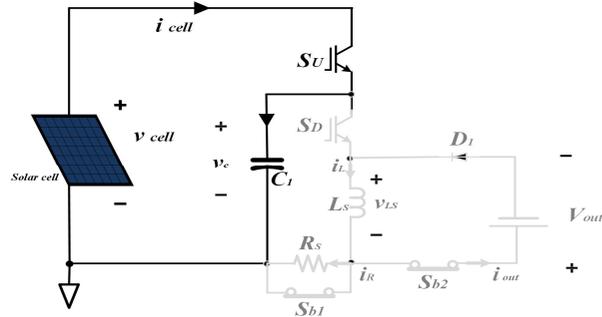


Fig. 9. PV tracer mode.

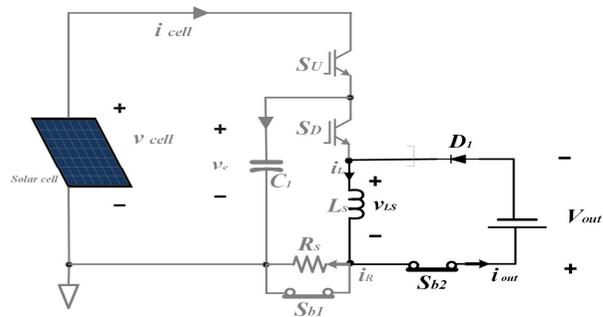


Fig. 11. Energy consumption mode.

그림 7은 PV 셀 충전 전류와 전압 계측에 의한 충전 전력 특성으로 태양광의 VP 곡선을 얻을 수 있으며, 계측 시간은 20[ms] 이내로 고속 계측이 가능하다.

#### 4.2 제안된 PV 특성곡선 계측기

일반적으로 사용되는 태양광 PV 특성곡선 계측장비는 사이즈가 커서 태양광 유지보수 현장에서 이동형으로 사용하기가 어려우며 고가인 단점이 있다. 본 논문에서는 콘덴서 충전방식에 의한 태양광 PV 특성곡선을 계측할 수 있는 간단한 회로를 그림 8과 같이 제안한다. 또한 제안된 계측기는 이동용으로 사용 시 계측과 동시에 제어전원을 배터리에 충전할 수 있는 장치도 구비하고 있다는 특징을 갖고 있다.

그림 8의 회로를 보면 Su 스위치가 켜짐에 따라 커패시터에 걸리는 전류, 전압값을 측정한다. 이어 S<sub>D</sub> 스위치 On에 의해 인덕터로 에너지를 보내고, S<sub>b2</sub>를 On하여 배터리까지 보내어 에너지를 저장시킨다. 물론, 배터리의 완벽한 충전 또는 커패시터에 충전된 전력을 소진시키고 싶다면, S<sub>b1</sub>, S<sub>b2</sub> Off로 저장에 에너지를 소진시키는 역할을 한다. 이러한 계측기를 이용하여 PV 특성 곡선을 도출할 수 있다.

그림 9를 보면 Su 스위치 On에 의해 커패시터에 PV 에너지가 충전되는 방식 채용으로 Data를 취급한다. 그림 10을 보면 S<sub>D</sub> 스위치 On에 의해 충전 시정수 조절이 가능하여 다양한 전압, 전력 사양의 모듈 특성이 가능하다. 콘덴서 충전에너지를 S<sub>D</sub> 스위치에 의해 배터리 충전 기능 장착으로 외부 충전이 필요하지 않는 Potable 계측기로 사용할 수 있다. 기존의 문제점은

TABLE II  
PHOTOVOLTAIC MODULE SPECIFICATIONS

<b>Pmax</b>	420[W]	Voc	60.7[V]
<b>Isc</b>	9.0[A]	Vmp	49.7[V]
<b>Imp</b>	8.45[A]	Size	1.96*1.308
<b>Eff</b>	16.4[%]	Weight	35[kg]

태양광 모듈의 검사에 차량용 배터리를 사용하여 모듈의 노후화를 검출하였으나 발전소 현장에서 300W 혹은 그 이상의 출력을 낼 수 있는 모듈을 검사 진행한다면, 10장의 모듈을 검사하고 나면 차량용 배터리의 방전으로 인해 더 이상 확인할 수 없다는 문제점이 생기게 된다. 이 방식으로는 태양광 모듈의 다량이 문제가 있을 때 검출하는 방식에 한계가 있다는 점이 있기 때문에 충전 기능이 중요한 역할을 한다.

그림 11은 배터리 완충 때 콘덴서 잉여 에너지를 저항에서 소모하도록 하는 방식과 외부저항 추가방식으로 고전압 High 파워 계측이 가능하다. 결과적으로 계측기의 충전이 자동으로 진행 되면서 계측을 위한 이동방식의 효율성이 증가한다는 것이 장점이다<sup>[14]</sup>.

## 5. 시뮬레이션 및 실험

### 5.1 시뮬레이션

본 논문에서는 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 현재 많이 사용되고 있는 420[W] 모듈 8개를 직렬로 연결한 약 3.3[kW] 스트링을 대상으로 만들었으며

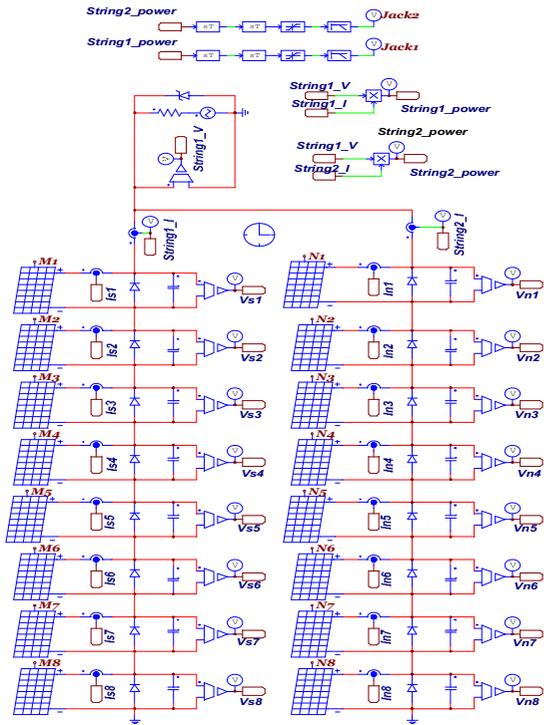


Fig. 12. Photovoltaic deterioration verification algorithm schematic.

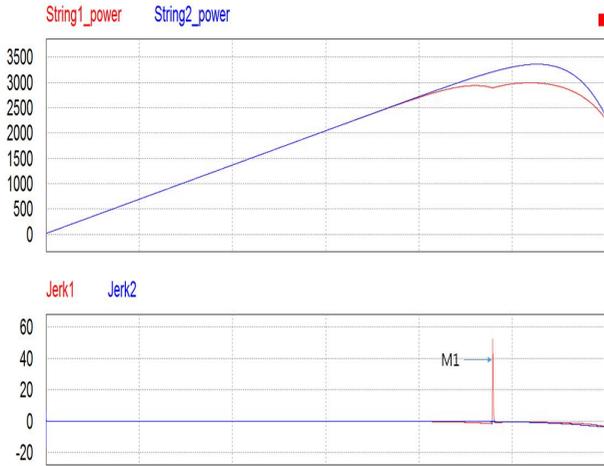
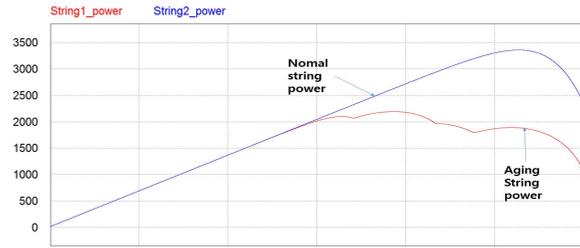


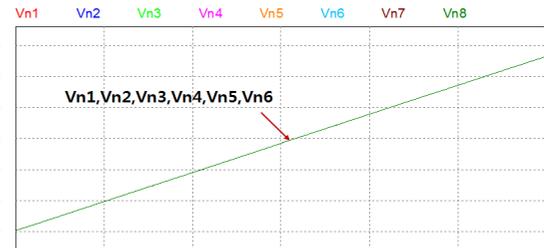
Fig. 13. Simulation results in 1 module aging.

정상 상태와 노후화 상태를 비교하기 위한 시뮬레이션 회로도에는 그림 12와 같다. 각 모듈의 조건은 전압, 전류 수치를 증감 시켜 제안하였으며, 우측의 스트링은 정상 스트링으로서 해당 모듈의 사양은 표 2와 같다.

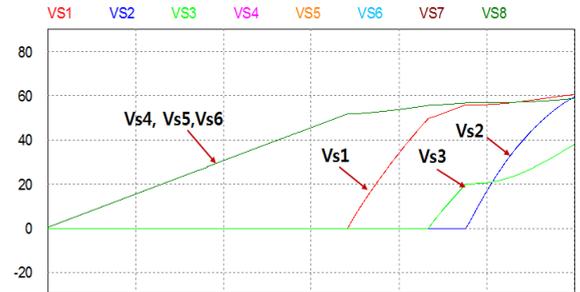
그림 13은 노후화된 M1 모듈이  $I_{sc}=8[A]$ ,  $I_{mp}=6[A]$ 로 밀봉재 변색으로 인해 출력이 저하 되었다는 상황 조성에 전류 수치를 일반 모듈 사양에 비해 낮게 설정했다. 그림 14는 총 3가지 M1 모듈이  $I_{sc}=8[A]$ ,  $I_{mp}=6[A]$ , M2 모듈이  $I_{sc}=5[A]$ ,  $I_{mp}=4[A]$ , M3 모듈이  $I_{sc}=6[A]$ ,  $I_{mp}=4[A]$ ,  $V_{oc}=40[V]$ ,  $V_{mp}=30[V]$ 으로 노후화가 진행되었다고 가정한 상태에서 시뮬레이션한 결과이다.



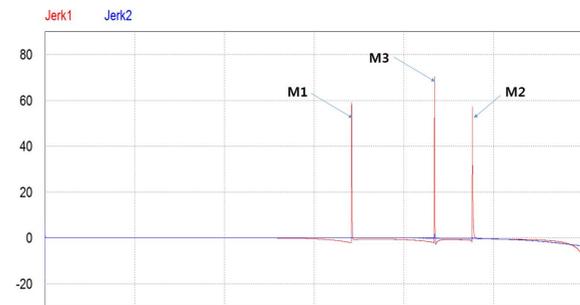
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 14. Simulation results in 3 aging modules.

그림 14(a)의 정상스트링의 전력곡선은 1개의 변곡점을 갖는 형태가 되나, 3개의 모듈이 각기 다른 조건에서 노후화가 진행된 스트링에서는 4개의 변곡점이 존재하여 3개의 모듈이 노후화가 된 것을 추정할 수 있다. 그러나 이러한 변곡점을 노후화 정도에 따라 크기가 다르게 나타나며 계측기에서 구별하기는 어려운 실정이다. 그림 14(b)의 정상스트링의 각 모듈전압은 일치하나 그림 14(c)에 나타난 노후화 모듈이 포함된 스트링에서는 각 모듈전압이 상이하게 된다. 따라서 스트링을 이루는 각 모듈의 전압을 검출할 수 있다면 노후화 모듈검출은 용이하게 된다. 하지만 이를 파악하기 위한 각 모듈에

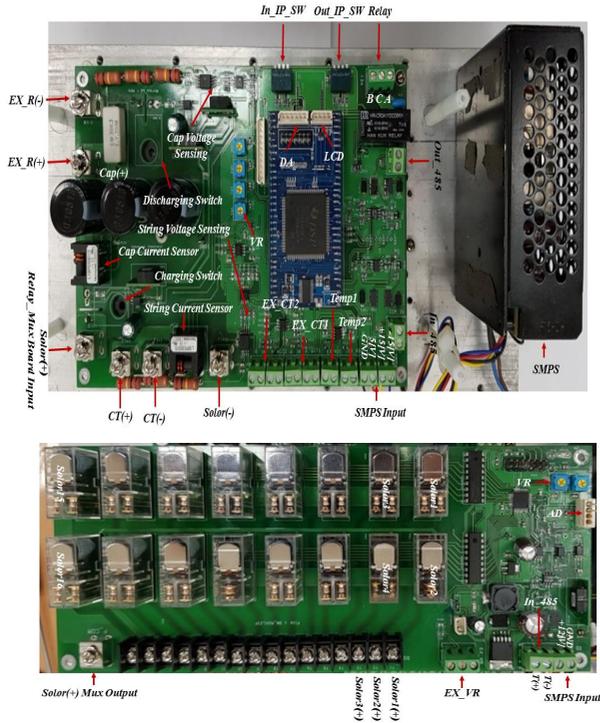


Fig. 15. Configuration of experimental device.

전압센서를 부착하는 것은 경제적인 면에서 큰 부담이므로 새로운 형식을 제안한다.

본 논문에서 제안한 태양광 전력을 2번 미분한 Jerk 파형을 분석하면 노후화 된 모듈 개수만큼 펄스형태가 나타나며 이 펄스의 개수에 의해 노후화 모듈 수를 검출할 수 있다.

## 5.2 실험 및 결과

### 5.2.1 제안된 PV 계측 시스템 설계 및 제작

본 논문에서는 Jerk 함수를 활용한 태양광 노후화 모듈을 검출하기 위해 일반 태양광 직렬로 스트링을 연결하였으며, 오실로스코프를 활용하여 전압, 전류를 측정하였다. 전압의 경우 180[V]와 커패시터는 440[μF] 일 때 동일한 실험 조건을 형성하였다. 외부 환경 조건의 상이함을 나타내기 위해 전체 실험 일자 중 태양광 출력이 15% 미만인 일자와 태양광 출력이 50% 이상일 경우인 두 번의 실험을 통해 Jerk를 활용한 PV 계측을 실시하였다.

### 5.2.2 태양광 발전 출력 15% 미만일 경우

그림 17의 경우는 노후화 모듈 1개를 삽입 후 전압, 전류를 측정한 결과 이다. 저크는 파워 변동분에 대한 미분을 나타낸 것이며 전류 또한 파워의 변동을 확인할 수 있는 자료로 활용할 수 있기 때문에 미분을 할 수 없는 변곡점 두 지점을 볼 수 있었다. 그림 18은 노후화 모듈 2개를 설치 후 측정한 결과 아래와 같은 파형 결과를 측정하였다.

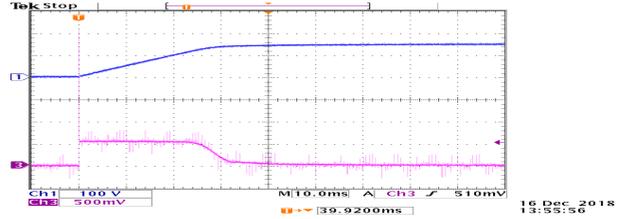


Fig. 16. Normal string voltage, current curve (output less than 15%).

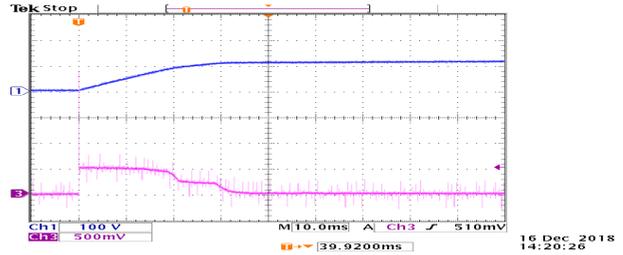


Fig. 17. One aging module Included curve (output less than 15%).

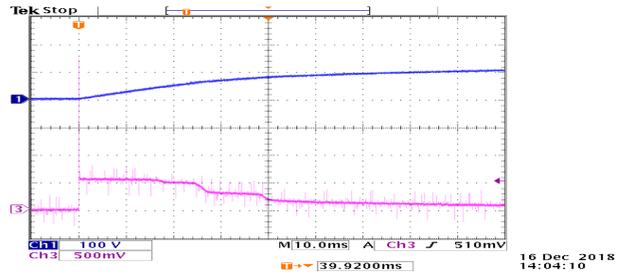


Fig. 18. Two aging modules included curve (less than 15%).

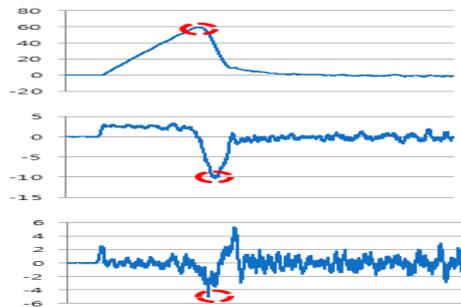


Fig. 19. Inflection point of normal string curve (output less than 15%).

그림 19는 오실로스코프를 이용, 스프레드시트를 활용하여 파형을 도출하였다. 정상적인 스트링의 경우 PV 곡선을 그리는 CURVE를 보면 변곡점이 1개가 존재하는 출력 곡선을 볼 수 있다.

미분 1회 시행한 스프레드시트 파형을 보면 음의 형태의 Slope로 -10 이상의 수치를 넘는 곡선이 1개 생성되며, 미분 2회 시행을 보면 -4 이상의 펄스 형태의 파형이 발생됨을 알 수 있다. 미분 1회 시행한 경우에도 육안으로도 파형의 검출이 가능하지만 본 논문의 주요

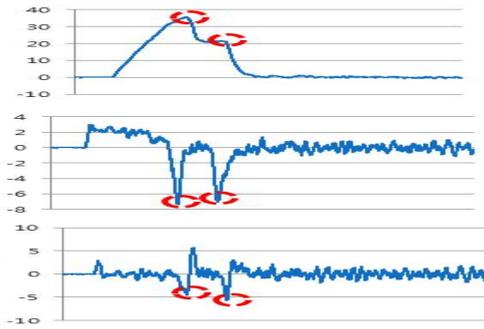


Fig. 20. Includes one aging module curve (output less than 15%).

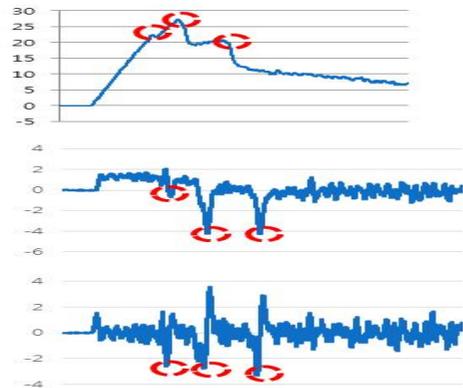


Fig. 21. Includes two aging modules curve (output less than 15%).

목적은 미분을 추가 진행하면 보다 큰 그래프의 기울기를 만들 수 있어 모듈의 노후화 정도에 관하여 확실한 검출을 위함이다. 에너지에 대해 미분을 2회 시행한 개념은 저크의 개념과 동일하다 볼 수 있으며, 저크의 개념을 활용한다는 것은 Slope의 기울기에 대한 미분을 추가 실시함으로써 노후화 모듈의 확실한 검출 방식으로 활용할 수 있다.

그림 20은 노후화 모듈 1개가 포함된 스트링의 경우, PV 곡선을 미분한 결과 -5 이상의 지점을 넘는 파형이 2개가 되었으며, 이를 한번 더 미분하게 되면 -5에 근접하거나 넘는 파형이 2개 있다는 것 또한 알 수 있다.

그림 21은 노후화 모듈이 2개 포함된 스트링의 경우, 미분 1회를 실시하였을 때 미세한 변곡점은 기존의 모듈과 거의 흡사한 형태로 파악 되어 육안으로 판단이 불가능 했으나, 저크를 활용한 미분 2회를 실시하였을 때 -2 이상의 수치를 기록하는 파형이 3개로 정상 모듈에 비해 2개의 음의 Slope가 생성된 것을 알 수 있다.

5.2.3 태양광 발전 출력 50% 이상일 경우

외부요인에 민감한 태양광의 경우의 조건을 달리하기 위하여 전체 출력이 50% 이상 조건에서 실험하였다. 실험의 내용과 형태는 15% 이하의 조건과 같으며, 일차 및 발전량의 환경을 달리하여 실험을 진행하였다. 실험

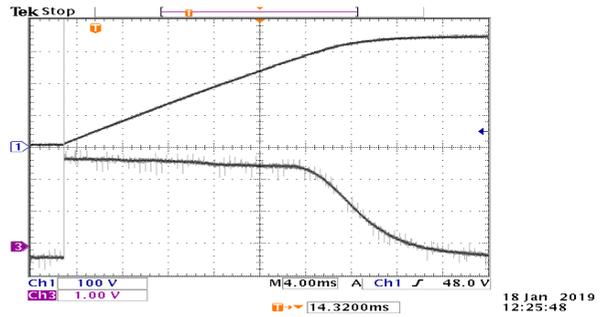


Fig. 22. Normal string voltage, current curve (output 50% more).

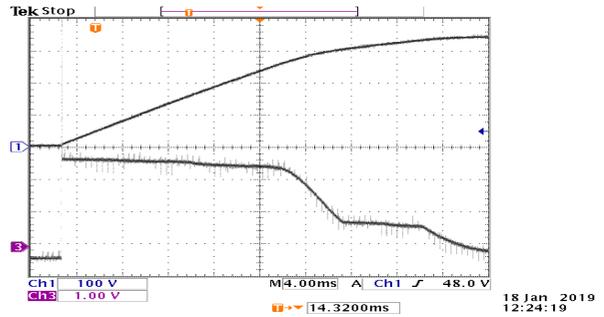


Fig. 23. One aging module included curve (output 50% more).

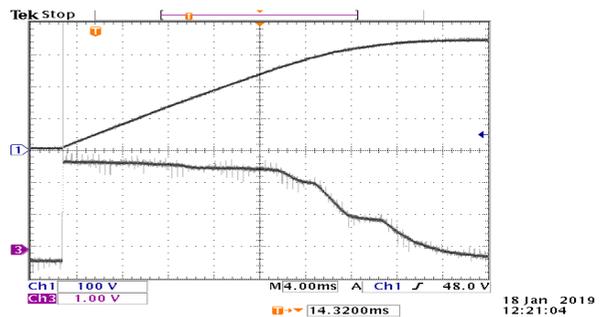


Fig. 24. Two aging modules included curve (output 50% more).

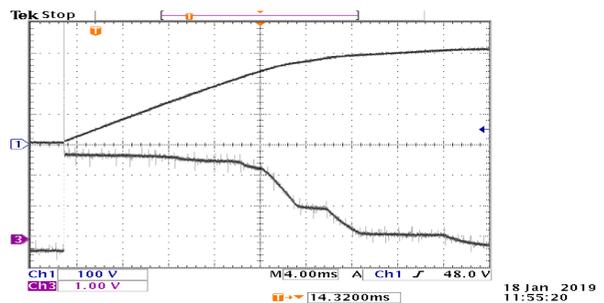


Fig. 25. Three aging modules included curve (output 50% more).

의 특성과 파형의 형태는 출력이 높고, 낮음과 관계없이 변곡점이 생기는 부분은 모듈의 상태에 따라 Curve 곡선의 형태가 나타난다. 정상 스트링의 경우는 출력 15% 이하와 비교해 보면 발생하는 노이즈의 양이 적어지며

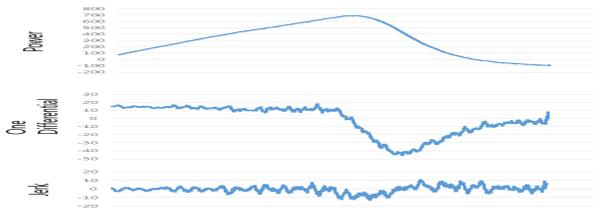


Fig. 26. Normal string inflection point curve (output 50% more).

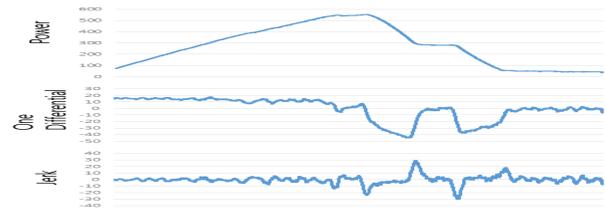


Fig. 28. Curve with two aging (output 50% or more).

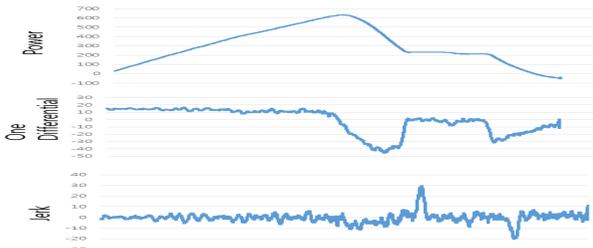


Fig. 27. Curve with one aging (output 50% more).

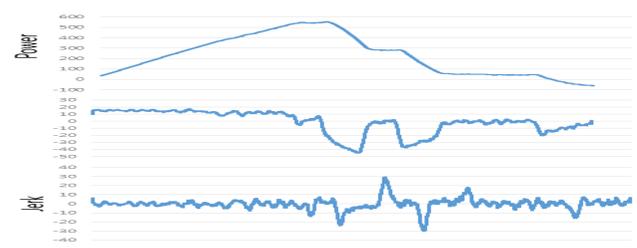


Fig. 29. Curve with three aging (output 50% or more).

파형의 형태 역시 정상 출력 곡선을 따라가는 것을 알 수 있다. 그림 22에서 그림 25까지 살펴보면 태양광 출력에 관계없이 노후화에 따른 동일한 실험 파형이 나오는 것을 도출하였다.

노후화 모듈이 1개일 경우에도 출력 15%에 실험하였던 것과 유사한 형태의 결과 값을 볼 수 있다. 기울기의 변화에 따라 노후화 정도를 분별하게 되는데 특히 미세한 변곡점이 생기는 부분이 정상 PV 곡선과 다르게 증가하였다 급격히 꺾이는 부분이 발생하게 되었고, 그림 26과 같이 저크를 통해 -20 이상의 펄스 형태를 나타냄으로 인해 노후화가 진행 했다는 것을 알 수 있다. 그림 27에서는 급격히 꺾여지는 PV 곡선 부분이 저크를 통해 양의 기울기로 30까지 도달하는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 음의 기울기뿐 만 아니라, 양의 기울기로도 노후화 정도를 점검할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 28은 노후화 모듈이 2개 포함된 상황을 실험하였다. 앞선 실험과 동일한 결과값에 -10이상 3개의 변곡점이 추가 발생한 점을 볼 수 있다.

그림 29에서는 전류의 변동분을 통해 PV 곡선이 변화하게 되었으며, -10 이상의 펄스 형태가 4곳이 발생하였음을 확인할 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 신재생 에너지 중 태양광 시스템 모듈은 고압의 발전 전압을 만들어내기 위해서, 직렬 스트링을 사용하고 있지만 그 중 한 개의 모듈이 노후화되더라도 전체의 발전 효율이 감소하기 때문에 태양광 스트링 전력을 측정하여, Jerk라는 알고리즘 적용만으로 노후화 모듈을 판단, 체크할 수 있다는 점을 제안한다. 현재의 측정 방식을 통해서 태양광의 노후화 측정 방법의 경제성, 실용성, 편의성이 많이 부족하기 때문에 Jerk

함수를 사용한 측정 방식을 착안하였다. 태양광 스트링 내의 노후화 모듈을 신속히 측정할 수 있는 측정하여 노후화 모듈을 찾아내고, 출력의 변동을 측정하여 태양광 발전 시스템에 한 단계 용이한 방식으로 찾아내 보려 한다. 제안된 측정장비 및 알고리즘을 3.3[kW] 스트링을 대상으로 시뮬레이션한 결과 우수한 특성을 검증하였다. 즉 태양광 모듈이 스트레스 인자의 요인으로 인해 효율이 저감되는 현상이 발생하게 되면 변하는 부분이 출력의 크기가 변동하고 있다는 점을 분석하여 파워의 변화를 측정할 수 있다면 각 스트링에 노후화 모듈이 몇 개가 되는지 검출될 수 있도록 하였다. 상시로 발전소 내 태양광 모듈의 검사가 이루어져 평균의 스트링 기준치가 설정이 되어 있다면 파형의 기울기 분석하는 방식을 통해 노후화의 정도와 개수를 파악이 가능하다.

본 논문의 실증 실험은 일사량의 차이가 존재하므로 발전 출력이 15% 이하의 기준이라면 평균적인 노후화 측정에 파형의 분간이 어렵다는 단점이 있다. 반대로 태양광 발전 출력이 50% 이상이 되었을 때 검출의 정확도가 15%에 비해 가시적으로 증가하며 전압, 전류의 노이즈가 적어 파워 변동분을 쉽게 검출할 수 있었다. 결과적으로는 파워 변동분이 있다면 출력이 저조함과 관계없이 PV 파형의 형태를 통해 노후화 정도를 판단할 수 있다고 사료된다.

향후 추가 연구를 통해 다양한 기후 조건에 따른 측정 데이터를 최대한 확보하고 기상 조건에 따른 시뮬레이션 결과를 보완한 연구가 필요하다고 판단된다. 최종적으로 이를 통해 태양광 스트링의 순시 PV 특성곡선을 측정할 수 있는 토폴로지를 확인하고, 측정된 PV 특성곡선을 저크를 활용하여 분석하면 노후화 모듈을 신속히 검출할 수 있으며 개발 장비 및 알고리즘은 향후 태양광 유지보수 사업에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

## References

- [1] H. B. Kim, T. B. Jung, G. H. Kang, and H. S. Chang, "The effect of PID generation by components of the PV module," *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, Vol. 26, No. 10, pp. 760-765, Oct. 2013.
- [2] D. G. Kim, "Detecting fault of solar plant using drone," *Journal of Power Electronics*, Jul. 2017.
- [3] G. S. Lee and J. J. Lee, "Test of fault detection to solar-light module using UAV based thermal infrared camera," *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 106-117, Dec. 2016.
- [4] J. S. Na, "A study on high-efficiency solar reverse-current protection device using the synchronous rectification switching method," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 31, No. 1, Jan. 2017.
- [5] Y. N. Park, G. S. Kang, S. H. Go, G. H. Gang, and Y. C. Ju, "Fault diagnosis sensor of photovoltaic module using zigbee communication," *Proceedings of KIEE*, pp. 275-277, Oct. 2016.
- [6] J. S. Lee, *Introduction to solar cell engineering*, Green, 2007.
- [7] Y. S. Kim, "A study on the development of system for synchronous motor drive for elevator," Dissertation of Ph.D. in Engineering, Pukyong National University Graduate School, 2017.
- [8] Y. Zhou, "A study on the measurement of PV module characteristic curve using capacitor charging," Department of Electrical Engineering Graduate School, Chonnam National Univ., 2017.
- [9] Y. S. Jung, S. W. Ko, C. M. Lee, K. H. Kang, J. S. Lee, and G. H. Hang, "Research of the fire probability for the DC joint-box of PV system," *Journal of the Korean Society for New and Renewable Energy*, pp. 223-223, Vol. 11, No. 3, Jun. 2015.
- [10] K. M. Park, S. B. Bang, D. O. Kim, K. Y. Lee, J. H. Kim, and J. Y. Park, "A study on the electrical fire Hazard by the tracking of Solar Connection box," *Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 1531-1532, Jul. 2015.
- [11] Y. M. Lee, H. S. Kim, Y. K. Kang, and C. H. Kim, "Electrical fire prevention system of photovoltaic power system junction box," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers*, pp. 109-109, May. 2016.
- [12] J. H. Park, U. R. Cho, W. C. Cha, H. J. Lee, and J. C. Kim, "A study on electrical safety of photovoltaic system junction box," *Journal of the Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers*, pp. 197-198, May. 2014.
- [13] J. Weiss, *Photovoltaics design and installation manual*, New Society Publishers, pp. 52-54, 2007.
- [14] H. B. Son, "Development of solar string deterioration measurement topology and algorithm using jerk function," Department of Electrical Engineering Graduate School, Chonnam National Univ., pp. 1-77, 2019.

**손한별(孫한별)**

1987년 9월 27일생. 2019년 전남대 전기공학과 졸업(석사). 2019년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

**박성미(朴成美)**

1963년 6월 20일생. 1986년 전남대 계산통계학과 졸업. 2001년 전남대 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2011년 전남대 컴퓨터정보통신공학과 졸업(공학박). 2013년~현재 한국승강기대 승강기공학부 부교수.

**박성준(朴晟濬)**

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공학박). 1996년~2000년 거제대 전기공과 조교수. 2000년~2003년 동명대 전기공학과 조교수. 2003년~현재 전남대 전기공학과 교수.