

A Study on Validity of Anti-PID Technology of Solar Cell for the High Reliability of Photovoltaics System

Sungsun Baik** · Seungyup Baek* · Tae-Wook Jung*** · Jin-Hyng, Cho**†

*STX Solar Co. Ltd.

**School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

***Department of consulting, Graduate School Kumoh National Institute of Technology

태양광 발전시스템의 신뢰성 향상을 위한 태양전지의 PID 저감 기술의 타당성 검토

백성선** · 백승엽* · 정태욱*** · 조진형**†

*STX Solar Co. Ltd.

**금오공과대학 산업공학부

***금오공과대학교 대학원 컨설팅학과

In recent years, anti-PID (Potential Induced Degradation) technologies have been studied and developed at various stages throughout the solar value chain from solar cells to systems in an effort to enhance long-term reliability of the photovoltaics (PV) system. Such technologies and applications must bring in profits economically for both manufacturers of solar cell/module and investors of PV systems, simultaneously for the development of the PV industry.

In this study two selected anti-PID technologies, ES (modification of emitter structure) and ARC (modification of anti-reflective coating) were compared based on the economic features of both a cell maker with 60MW production capacity and an investor of 1MW PV power plant. As a result of this study, it is shown that ARC anti-PID technology can ensure more profits over ES technology for both the cell manufacturer and the investor of PV power plant.

Keywords : Solar cell, PID, Reliability, Photovoltaics system

1. 서 론

신재생에너지는 21세기에 인류가 직면한 에너지 문제를 해결하기 위한 수단으로 근래 들어 많은 각광을 받고 있다. 그 중, Value chain을 완성하여 사업화 초기 단계에 도달한 태양광 에너지는 신재생에너지 중 가장 비중이 높다[17]. 태양광 에너지의 응용 분야로는 가정용 발전,

중소형 발전, 대규모 발전, 건물일체형 발전, 전기자동차, 조명 등 산업에서 가정용으로 점차 분야를 넓혀 왔다.

그러나 2009년 세계를 휩쓴 금융위기는 태양광 산업 자체를 고사 위기에 빠트렸고 태양광 산업은 다른 에너지원과 경쟁에서 살아남기 위해 효율 증가와 원가 절감을 동시에 달성하기 위한 노력을 지속한 결과 시장 규모는 지속적인 성장을 하고 있다[2, 6].

이와 함께, 태양광 에너지의 경쟁력을 더욱 더 향상시키기 위해서는 반드시 20년 이상 장기간 발전 성능이 유지되어야만 한다[10].

그러나 실제 많은 태양광 발전시스템은 이론보다 높은 손실을 보이면서, 신뢰성에 대해 대책이 요구되고 있다[13].

일반적으로 태양광 발전에서 손실요인은 외부 요인과 내부 요인으로 나눌 수 있다. 먼저 외부 요인은 Irradiation을 변화시키는 것으로 기후조건이 시간 별, 일자 별, 계절 별, 년도 별 등 장단기적으로 변함에 따른 손실을 말한다.

그리고 내부 요인으로는 모듈의 발전효율 변화와 Array에서의 출력을 저하시키는 것으로, 구름이나 오물 부착 등에 의한 그늘 발생에 따른 손실, 모듈 정격출력 손실, 반사에 의한 손실, 외부 기온의 변화에 따른 발전 성능 변화, 전기회로에서의 손실 인버터 손실 등이 있다. 그 외에도 PCS(Power Control System) 용량 부족, Grid와의 전압 차이, 최대 출력 동작점 차이에 의한 손실, 출력 변동에 따른 손실 등이 있다[19].

이러한 태양광 발전시스템의 손실요인들의 영향을 줄이고, 신뢰성을 향상시키기 위한 기술 개발이 많이 이루어지고 있다. 온도에 대한 영향을 최소화하기 위해 수상에 태양광 발전시스템을 설치하여 연간 발전량을 증가시킬 수도 있다[19].

김형석[12] 등은 소규모 태양광 발전소를 통한 실증연구를 통해 태양광 발전에서의 손실요인들에 따른 태양광 발전시스템의 출력량을 변동을 조사하였다.

태양광 발전은 모듈이 설치되는 구조물이 고정식이나 추적식이나에 따라서도 발전효율이 차이를 보이고 있다[5].

독립형일 경우, 충전기 용량의 최적화를 통해 기후 조건의 변화에 대응을 할 수 있고[7] 태양광 발전시스템의 제어시스템의 알고리즘을 최적화하여 기후 조건에 따라 태양광 발전의 최대점의 변화하는 것에 따른 효율 저감을 최소화할 수도 있다[9].

Atlas 등은 Fuzzy 이론을 바탕으로 한 제어시스템 알고리즘을 개발하였다[1]. 그러나 이러한 태양광 발전 손실 저감 기술 개발 외에도, 실제로 태양광 발전시스템이 운영되는 상황에서의 신뢰성을 높여서 경쟁력을 높이는 방향으로도 노력을 기울여야 한다.

특히, 태양광 발전시스템에서 신뢰성을 저하시키는 현상으로 PID(Potential Induced Degradation) 현상은 태양광 모듈의 발전 열화 현상 중 하나로 고전압 스트레스로 인해 모듈의 발전 성능이 감소하는 현상을 의미한다[3, 8, 11, 15].

태양광 시장에서 과거보다 모듈 제조 기술의 발달로 예상 수명이 늘어났는데, 지난 10년 동안 설치된 모듈의 상당수가 예상 수명에 못 미치는 이른 때에 발전 열화 현상으로 교체 대상이 됐고 그 원인에 대한 조사를 통해 PID가 상당수의 열화 현상 원인이라는 것이 밝혀지면서 이에 대한 관심이 크게 고조되었다.

특히, 태양광 발전시스템의 근간이 되는 태양전지가 PID 저감 특성을 확보한다면 태양광 가치사슬에서 근원적으로 PID 현상을 제거할 수 있기 때문에 태양전지 레벨에서의 PID 저감 기술에 한정하도록 하겠다.

본 연구에서는 태양광 발전시스템 신뢰성 향상을 위한 PID 저감 기술이 태양광 발전소의 경제성에 미치는 영향을 분석하고 PID 저감 기술의 타당성을 검토하고자 한다.

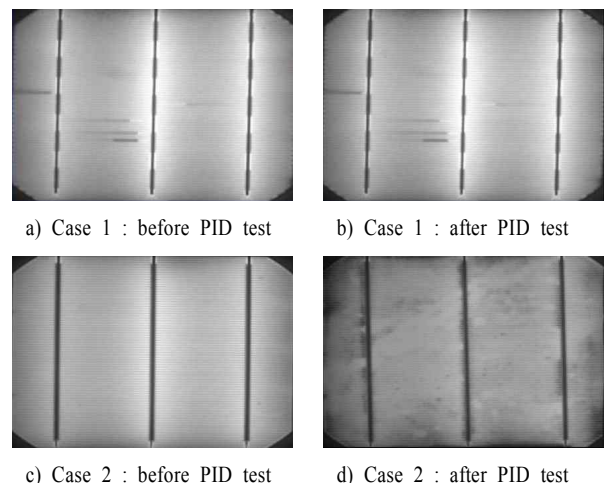
이러한 목적을 위해 PID 현상에 의한 태양광 발전 출력 변화를 전문 시뮬레이션 프로그램으로 예측하고 그 결과를 이용하여 태양전지 PID 저감 기술에 의한 투자자의 이익 증감과 기술 개발에 투입되는 생산자의 원가 변동을 함께 비교하였다.

2. 태양광 발전시스템의 PID 현상

PID 현상은 태양광 발전소에 설치되어 가동되는 모듈 일부에 가해진 고전압 스트레스에 의해 셀의 전기적 특성이 저하되고 이에 따라 모듈의 출력 특성도 동시에 저하되는 현상을 말한다[11].

PID가 발생하게 된 태양광 모듈은 전기 생산량이 감소하게 됨으로써, 경제적 손실을 유발하게 된다. <Figure 1>은 Electroluminescence법을 이용해 셀 특성을 시각화한 것으로, 고전압 스트레스를 가한 후 PID 현상 발생 유무를 확인한 것이다.

Case 1은 PID 현상이 발생되지 않은 것으로 PID 저감 기술을 적용한 경우이며, Case 2는 PID 현상이 발생한 것으로 PID 저감 기술이 적용되지 않은 경우이다.



<Figure 1> EL Images of Cells Before(left) and After(right) 96hr 1000V PID Test : Case 1 = PID Free, Case 2 = PID Occurrence

일반적으로 태양광 발전시스템에서 태양전지 프레임은 전위가 0V가 되고, 태양전지는 접지 위치에 따라 (-)나 (+)로 전위가 달라진다. 이때, 태양전지와 프레임 간의 전압으로 인해 모듈에 사용되는 재질로부터 전자가 방출되어 접지된 프레임을 통해 방전이 발생하게 된다. 이로 인해 태양전지의 전류 특성이 부정적으로 변화되어 전체 태양광 발전량이 감소되고, 신뢰성이 감소된다[11].

일반적으로 알려진 PID 저감 기술은 태양전지, 모듈 및 시스템 레벨에서 각각 개발되고 있다. Nagel[16] 등에 의하면 태양전지 레벨에서 가장 널리 쓰이고 있는 방법은 반사방지막의 정전용량(Capacitance)을 최소화하는 것으로 반사방지막의 굴절율(Refractive Index)를 변화시켜 PID 저감 효과를 얻을 수 있으나 이 방법은 셀 효율 감소 요인이 되기도 한다.

그리고 모듈 레벨에서는 수분 침투를 최소화하는 것으로 모듈 제조 공정을 최적화하거나 재료를 변경하여 PID 저감 효과를 얻을 수 있으나 이 방법은 모듈 제조 원가 증가 요인이 되기도 한다. 마지막으로 시스템 레벨에서는 태양광 발전시스템의 PCS의 구성요소를 변경하거나 컨트롤 알고리즘을 변경하여 PID 저감 효과를 얻을 수 있으나 시스템 투자비가 증가하거나 발전 효율이 감소할 수 있다.

<Table 1>은 주요한 PID 저감 기술과 해당 기술이 유발하는 단점을 함께 정리했다.

3. 태양전지의 PID 저감 기술의 경제성 분석 임팩터 모델의 충돌거동 분석

태양전지의 PID 저감 기술의 타당성을 검토하기 위해,

후보 기술을 선정하고 이에 따른 생산 원가 예측과 투자자의 경제성 분석을 실시하였다. 투자자의 경제성 분석은 태양광 발전소의 발전량이 중요한 입력으로서 이는 발전소가 위치한 지역에 크게 좌우된다.

이에 따라, 논의를 용이하게 하기 위해 지역을 대구 지역으로 한정하였다. 이는 대구가 국내 평균의 일사량 조건을 가지고 있기 때문이다. 또한, 태양광 발전소의 규모는 1MW 급으로 고정하였다.

1) 태양전지의 PID 저감 기술별 생산자 득실

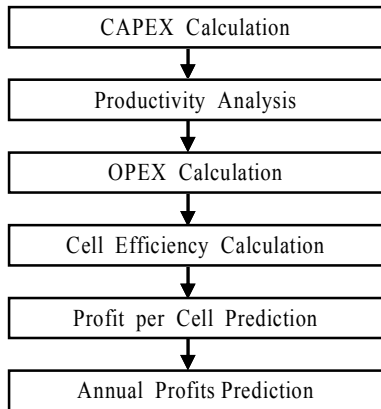
<Table 1>에 따른 태양전지의 PID 저감 기술은 에미터 구조 개선(modification of emitter structure : ES)과 반사방지막 개선(modification of anti-reflective coating : ARC) 개선 등이 있다.

ES와 ARC에 대한 생산자 측면에서의 득실을 검토·분석하기 위한 업무 흐름과 그 결과를 각각 <Figure 2>와 <Table 2>에 요약하였다.

분석 업무 흐름은 장비 추가 등의 투자가 있는지 검토하는 CAPEX(Capital Expenditure) 계산 단계, 해당 기술에 따른 Yield에 따라 연간 셀 생산량을 검토하는 생산량 분석 단계, 앞선 단계에서 계산된 연간 생산량에 따른 원부자재, 인건비 등 비용을 검토하는 OPEX(Operation Expenditure) 계산 단계, 해당 기술에 따른 개별 셀의 평균 효율 변화를 검토하는 셀 효율 예측 단계, 예상 판가를 바탕으로 셀 1개 당 발생하는 이익을 예측하는 단계, 마지막으로 연간 생산량과 셀 1개 당 이익을 근거로 연간 이익을 예측하는 단계 등으로 구성되어 있다.

<Table 1> Pros and Cons of Solutions for PID[16]

Level	Solution for PID	Chances	Risks
Cell	Modification of the emitter	- No constraints for encapsulation material, cover glass, inverters or system grounding.	- PID stability may be insufficient. - Efficiency may be reduced. - Throughput may be reduced.
	Modification of the SiNx antireflection coating	- No constraints for encapsulation material, cover glass, inverters or system grounding.	- PID stability may be insufficient. - Efficiency may be reduced. - Modified SiN deposition Equipment may be needed. - Throughput may be reduced.
Module	Alternative cover glass featuring high volume resistivity	- No constraints for cells, encapsulation material, inverter or system grounding. - Optical performance may be better.	- Cost.
	Alternative encapsulation material featuring high volume resistivity	- No constraints for cells, cover glass, inverters or system grounding.	- Cost. - Optical performance may be worse. - Lamination time may be longer.
System	Grounding of the negative pole of the serially connected modules	- Suited for PID-prone modules.	- Restricted to transformer based inverters or transformer less inverters with inherent grounding. - Inverter topologies featuring higher efficiencies exist.
	Apply a positive voltage between modules and ground for regeneration at night	- Suited for PID-prone modules. - Inverters featuring the highest efficiencies (>> 97%) can be used. - Existing PV systems can be upgraded.	- Additional electrical device needed.
	Micro-inverter	- No constraints for cells, encapsulation material or cover glass. Maybe longer operating life than for central inverters. - MPP tracking of each module.	- Cost. - Inverter efficiency is about 95% at present.



<Figure 2> Flowchart of Process Calculating of Profits of a Solar Cell Manufacturer

ES는 기존 장비를 그대로 사용하기 때문에 CAPEX는 0이지만 ARC는 1.5억 원의 추가 장비가 필요한 것으로 가정하고 감가상각은 5년을 기준으로 했다.

생산성 분석을 위해 시간 당 생산량을 기준으로 ES는 1%, ARC는 0.5% 감소하는 것으로, OPEX 계산은 ES는 5.94억 원/년, ARC는 4.968억 원/년으로 가정했다. 셀 평균 효율은 ES는 최소 0.05%에서 최대 0.2%까지 감소하고, ARC는 감소는 없고 최대 0.1%까지 증가하는 것으로 가정했다.

셀 당 이익을 예측하기 위한 예상 판가를 계산하기 위해 프리미엄을 고려하였다. 시장평균가는 프리미엄은 PID 저감 기술에 따라 현재 시장 평균가보다 높은 가격을 책정할 수 있다는 것을 의미한다. 여기서는 프리미엄이 5%에서 10%까지 범위에서 변동할 것을 가정하였다. 이들 데이터를 바탕으로 셀 당 이익과 연간 이익은 최소, 최대의 평균값을 정리하였다.

이를 통해서 생산자 측면에서 ES와 ARC 모두 특이 되지만, ARC의 이익이 ES대비 20% 이상 높은 것으로 나타났다.

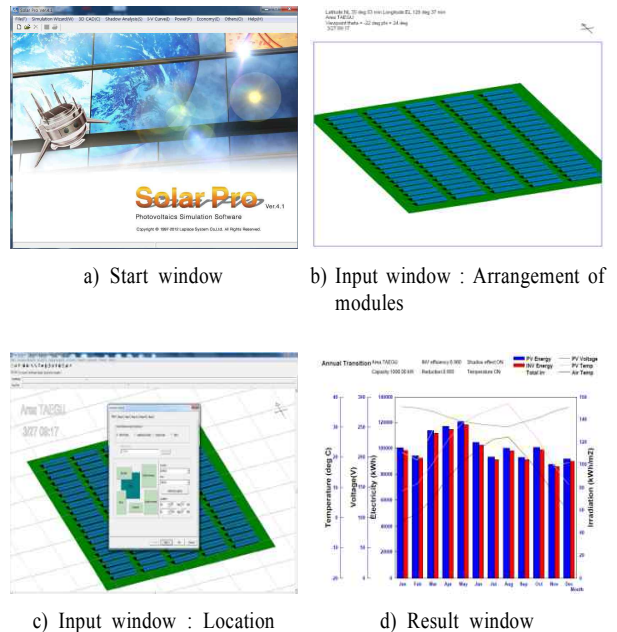
<Table 2> Comparisons of a Solar Cell Manufacturer when Using Two Cases of PID Free Technologies : ES and ARC

PID free technologies	ES	ARC
CAPEX(100 million won)	0	1.5
Annual Production(10 thousand)	1,411	1,418
OPEX(100 million won)	5.94	4.968
Cell Efficiency Change(%)	-0.05~-0.2	0~0.1
Premium(%)	5~10%	
Profit per Cell(won)	217	248
Annual Profit(100 million won)	24.66	29.94

2) 태양광 발전 시뮬레이션

본 연구에서는 지역의 영향, 모듈의 설정, 모듈의 동작과 모듈의 그림자 영향을 포함한 태양광 발전 시뮬레이션 전용 소프트웨어인 Solar Pro[14]를 활용하여 신뢰성 기술에 따른 발전량 변화를 예측하였다.

Solar Pro는 실제적인 데이터를 바탕으로 그림자 분석을 할 수 있고, 발전량 계산을 하여 경제성 분석 수행에 필요한 데이터를 만들 수 있다. 발전량 계산을 위해서 태양전지의 방위각, 고도각, 일사량, 모듈 온도 등을 고려할 수 있다. 경제성 분석 수행을 위해서는 연간 발전량, 잉여 전력의 판매에 따른 수익을 계산할 수 있다. <Figure 3>에 Solar Pro의 시작화면, 발전량 계산을 위한 정보 입력 화면, 결과 화면 예를 보이고 있다.



<Figure 3> Windows of Solar Pro

3) PID 저감에 의한 발전량 변화

일반적으로 PID는 시스템조건 및 기후조건에 크게 좌우되어 동일 태양광 발전소에서도 PID에 의한 출력 감소가 다르게 나타난다. 여기서는 PID 저감 기술 ES와 ARC를 채용한 태양광 발전소의 PID Loss를 각각 저감에 의한 발전량 감소를 각각의 기술에 대해 표준 PID 테스트 [11]를 통해 PID Loss(%)를 2번 구했고 이를 통해, 모듈의 특성값을 구한 후 앞서 언급한 Solar Pro에서 발전량을 구했다.

계산된 발전량에서 일일 평균 발전시간으로 구한 후 대구 지방의 일일 평균 발전시간을 3.6시간으로 가정하여 일일 평균 발전시간의 차이를 <Table 3>에 정리하였다.

<Table 3> Daily Performance Comparisons between two PID Free Technologies : ES and ARC

PID free technologies	PID Loss(%)	Δ Daily Average Power Generation Time(h)
ES	0.89	-0.1
	3.6	-0.31
ARC	0.72	-0.03
	1.2	-0.25

4) 태양전지의 PID 저감 기술별 사용자 득실

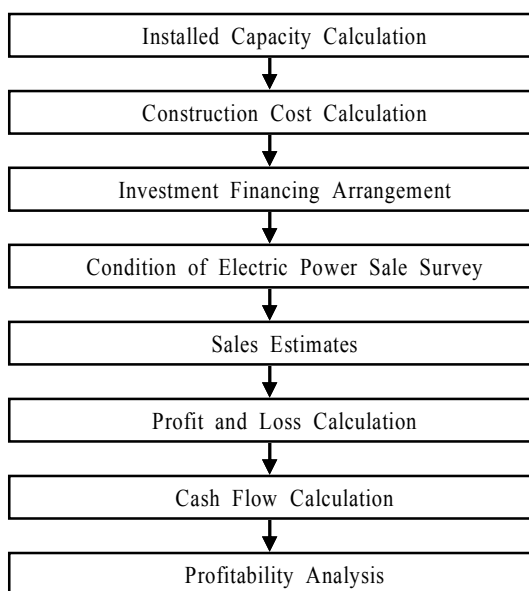
사용자 측면에서의 수익성을 분석하기 위한 업무 흐름과 득실을 계산한 결과를 각각 <Figure 4>와 <Table 4>에 정리하였다.

설비 용량 선정 단계, 기자재비와 시공비 등의 직접 공사비와 일반 관리비, 보험비용 등의 간접 공사비를 계산하는 공사비 산출 단계 등으로 구성되어 있다.

사용자 측면에서 PID 저감 기술에 영향을 받는 것은 PID 저감 기술에 따른 구입 단가의 상승으로 인한 공사비 상승하고, PID 저감에 의한 태양광 발전소의 연간 발전량 상승으로 인한 매출 상승하게 된다.

설비 용량은 1MW로, 모듈은 250W 동일 모듈을 사용하는 것으로 가정했다. PID 저감 기술에 따라 모듈의 예상 관가가 달라질 수 있고 이는 수요자 측면에서 기자재비의 변동으로 인해 공사비가 변하게 되어 있다.

모듈 가격을 PID 저감 기술에 의해 Premium을 5~10% 추가 지출하는 것으로 가정하고 공사비의 최소, 최대값을 계산하였다.



<Figure 4> Flowchart of Process Calculating of Profits of an Investor of Photovoltaics Grid-Connected Systems

매출을 추정하기 위해 PID 저감 비율이 설계값으로부터 악화될 수 있다는 가정하에 발전량의 최소, 최대값을 가정하여 매출을 추정하였다.

투자비 조달 방법은 100% 일반 차입으로 금리는 사업 기간 내에 연 7.5%로 고정된 것으로 가정하고 <Table 3>에서 계산한 일일 평균 발전시간을 기초로 15년 간 전력 판매량으로 매출을 계산하였고, 손익은 물가상승률을 3%로 고정하고 15년 간의 당기 순이익을 계산하게 된다.

현금흐름 계산을 위해 차입금은 사업 개시 2년 후부터 11년 동안 상환하는 것으로 가정하여 결과적으로 사업 개시 12년 후에 차입금을 전액 상환하게 되도록 설계하였다. 손익과 현금흐름은 사업기간 내 연간 데이터므로 <Table 4>에서는 생략하였다.

수익성 지표로 내부수익률(Internal Rate of Return : IRR)과 투자회수기간(Payback Period; 경제성 분석에서 보조적 방법으로 사용함)을 사용하였고 내부수익률은 10년 간의 데이터에서 계산하였다.

이들 데이터를 바탕으로 매출과 내부수익률 그리고 투자회수기간은 최소, 최대의 평균값을 정리하였다.

내부수익률이 높은 쪽이, 투자회수기간은 작은 쪽이 유리한 것을 의미한다.

수익성 지표를 통해 ARC가 ES 대비 내부수익률이 높고 투자회수기간도 짧아 투자자에 유리한 것으로 나타났다.

<Table 4> Comparisons of an Investor of Photovoltaic System when Using Two Cases of PID Free Technologies : ES and ARC

PID free technologies	ES	ARC
Installed Capacity Calculation	1MW	
Construction Expenses Calculation (100 million won)	21.4~21.9	
Investment Financing Arrangement	100% General Agreement to Borrow	
	Interest Rate per Year 7.5%	
Condition of Electric Power Sale Survey	SMP : 140 Won/kW	
	REC : 122 Won/kW	
Sales Estimates(100 million won)	53.01	54.53
Internal Rate of Return(%)	9.81	10.32
Payback(yr)	6.16	6.03

4) 경제성 분석

태양전지 PID 저감 기술의 경제성 분석을 위해 생산자 측면의 득실과 투자자 측면의 득실을 동시에 고려해야만 한다.

본 연구에서 경제성 분석을 시도한 두 가지 PID 저감 기술과 관련, ARC 기술이 ES 기술에 비해 생산자 측면과

투자자 측면 모두에서 유리한 기술로 평가되었다.

이것은 ARC 기술이 태양전지의 발전효율 감소가 없기 때문에 생산자의 수익을 높여주고, 투자자에게 있어서는 PID Loss(%)가 ES에 비해 낮기 때문에 발전량 감소를 최소화하고, 이에 따라 태양광 발전소의 매출이 상대적으로 높기 때문으로 해석할 수 있다.

향후 생산자와 투자자를 동시에 고려하는 경제성 분석 지수를 고안하여 태양광 신뢰성 기술의 타당성을 평가하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

태양광 에너지의 경쟁력을 확보하기 위해서는 발전손실요인을 해결하기 위한 기술 개발 외에도 장기 신뢰성을 향상시키기 위한 기술개발이 절실히 필요하다.

PID는 태양광 발전효율을 저하시키는 주요원인 중 하나로 태양광의 신뢰성을 향상시키기 위해 저감 기술의 개발이 활발히 이루어지고 있다.

본 연구에서는 태양전지의 PID 저감 기술인 에미터 구조 개선(ES)와 반사방지막 개선(ARC) 두 기술에 대한 타당성 검토를 하였다.

먼저, 생산자 측면에서의 원가상승과 매출 증대를 고려하여 이익 증감을 평가하였고, 태양광 발전량 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 ES와 ARC를 채택한 태양광 발전소의 수익성을 분석하여, 투자비 상승과 매출 증대에 따른 수익률 및 투자회수기간을 평가하였다.

이를 통해, 테스트 조건에서의 경제성이 우수한 PID 저감 기술로 ARC를 선정하였다.

향후 과제로는 태양전지 레벨 외에도 모듈 및 시스템 레벨에서의 다양한 PID 저감 기술의 경제성 분석을 통해, 최종적으로 최선의 기술을 선정할 필요가 있다. 그리고 생산자 측면과 투자자 측면을 동시에 고려하는 경제성 분석 지수를 개발하여 양쪽의 윈-윈을 위한 기술을 선정할 필요가 있다.

References

[1] Atlas, I.H. and Sharaf, A.M., A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems. *Renewable Energy*, 2008, Vol. 33 No. 3, p 388-399.

[2] Bartlett, J.E., Jennings, C.E., and Margolis, R.M., The Effects of the Financial Crisis on Photovoltaics : An Analysis of Changes in Market Forecasts from 2008 to 2009. National Renewable Energy Laboratory, 2009.

[3] Berghold, J., Frank, O., Hoehne, H., Pingel, S., Richardson, B., and Winkler, M., Potential Induced Degradation of

solar cells and panels, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 2010, Vol. 25, p 3753-3759.

[4] Cho, J.-H., Engineering Economy, Kumoh National Institute of Technology, Unpublished, 2005.

[5] Choi, Y.O., Kim, J.H., Bian, W.J., Lee, S.Y., and Cho, G.B., Demonstration Research of 3kw Solar Tracking PV System. *Power electronics annual conference*, 2006, p 561-563.

[6] EPIA, Global market outlook for photovoltaics until 2016, *European Photovoltaic Industry Association*, 2012, p 1-76.

[7] Fragaki, A. and Markvart, T., Stand-alone PV system design : Results using a new sizing approach. *Renewable Energy*, 2008, Vol. 33, No. 1, p 162-167.

[8] Hacke, P., Terwilliger, K., Smith, R., Glick, S., Pankow, J., and Kempe, M., System voltage potential-induced degradation mechanisms in PV Modules and Methods for Test. Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 37th IEEE, 2011, p 814-820.

[9] Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T., and Osakada, M., Maximum photovoltaic power tracking : an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions, Generation, Transmission and Distribution. *IEE Proceedings*, 1995, Vol. 142, No. 1, p 59-64.

[10] Joyce Laird, Survival strategies, *Renewable Energy Focus*, 2012, Vol. 13, No. 4, p 52-57.

[11] Kim, D.H. and Baek, S., Investigation of effect of Antireflection coating of solar cell on PID characteristics. Global Photovoltaic Conference 2012 and Korea-EU International Symposium on Photovoltaics, 2012.

[12] Kim, H.S., Park, J.G., Lim, H.W., Cho, G.B., Baek, H.R., and Choi, C.J., The Field Demonstration Study of Residential 3kW PV System. *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 2003, pp 365-367.

[13] Kim, S.T., Kang, G.-H., Park, C.-H., Ahn, H.K., Yu, G.-J., and Han, D.-Y., Degradation Analysis of PV Module Considering Electrical Characteristics. *The Korean Institute of Electrical Engineers*, 2008, Vol. 2008, No. 7, p 1110-1111.

[14] Laplace, system Co, Solar Pro, 2013.

[15] Lee, S.-S., Chang, S.-D., and Kim, D.-H., A Study and Analysis on the Demands of Energy Conservation Technologies. *Journal of industrial and systems engineering*, Vol. 29, No. 1, p 47-55.

- [16] Nagel, H., Metz, A., and Wangemann, K., Crystalline Si Solar Cells and Modules Featuring Excellent Stability Against Potential-Induced Degradation, *25th EUPVSEC*, 2010. p 235-248.
- [17] Nuofu, C., Xiulan, Z., Yiming, B., and Han, Z., Environmental Friendly PV Power Plant, 2012 International Conference on Future Energy, *Environment, and Materials*, 2012, p 32-37.
- [18] Schutze, M., Junghanel, M., Friedrichs, O., Wichtendahl, R., Scherff, M., Muller, J., and Wawer, P., Investigations of Potential Induced Degradation of Silicon Photovoltaic Modules, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE-CD-ROM EDITION, 2011, Vol. 26, p 3097-3102.
- [19] Ueda, Y., Sakurai, T., Tatebe, S., Itoh, A., and Kurokawa, K., Performance Analysis of PV Systems on the Water. 23rd *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2008, p 2670-2673.