

태양전지의 효율 향상을 위한 40 발명원리의 적용에 관한 연구

정해성[†]

서원대학교 멀티미디어학과

Applying 40 Inventive Principles for the Efficiency Improvement of Solar Cells

Hai Sung Jeong[†]

Department of Multimedia Engineering, Seowon University

Solar cells are considered ideal as a clean energy to generate electricity. However, silicon-based photoelectric cells show some shortcomings in efficiency, cost and reliability. This has been a barrier to further commercialization. This paper shows how 40 Inventive Principles can be used in the research and development on the solar cells to improve efficiency, cost and reliability.

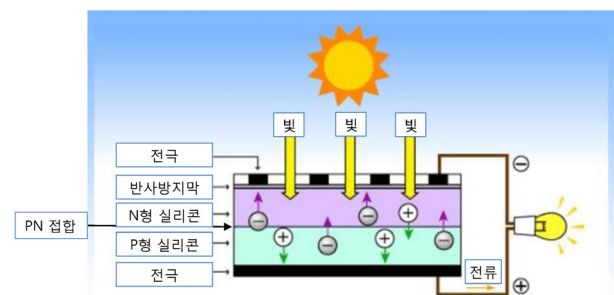
Keywords: 40 Inventive Principles, Solar Cells, Efficiency, Cost, Reliability

1. 서론

에너지 수요는 지속적으로 증가하고 있고, 이제까지 주로 사용되었던 석유나 천연 가스와 같은 화석연료는 언제까지나 가용할 수 있는 자원이 아니다. 더욱이 화석연료 사용으로 인한 지구온난화 문제가 심각하게 대두되면서 세계는 온실 가스를 줄이기 위해 이산화탄소 배출량이 많은 화석연료를 대체할 다양한 신재생에너지에 대한 관심이 급격하게 증가하고 있다. 그 중에서 친환경적이며, 자원이 무한한 태양 에너지를 이용하는 태양전지(solar cells)가 미래의 에너지 문제 해결할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

태양전지는 빛을 전도성의 물질에 비추면 전자가 방출되는 광전효과(photoelectric effect)를 이용한 것이다. 현재 가장 일반적으로 사용되는 실리콘(silicon) 태양전지는 P형 실리콘 반도체와 N형 실리콘 반도체를 이용한다. 이 두 종류의 반도체에 빛을 비추면 마이너스(-) 전하를 띤 전자(electron)와 플러스(+) 전하를 띤 정공(hole)이 광전효과에 의해 각각 발생하고, PN 접합(junctions)의 전하의 밀도 차에 의해 전자는 N형 실리콘을 통해 음극으로, 정공은 P형 실리콘을 통해 양극으로 이동하며, 여기에 전구 등의 부하를 연결하면 전류가 흐르

게 된다. 이와 같이 음극과 양극에 모인 전자와 정공을 이용해 전기를 만드는 반도체 소자가 바로 태양전지이다. 이러한 동작 원리를 이용한 일반적인 태양전지의 구조는<그림 1>과 같다.



<그림 1> 태양전지의 구조

이와 같은 태양전지의 가장 큰 문제는 효율과 비용이다. 태양전지의 변환 효율(energy conversion efficiency)이란 입사되는 태양복사광 에너지와 태양전지의 단자에서 나오는 전기 출력에너지의 비를 퍼센트로 표시한 것이다. 현재 90%의

[†] 교신저자 hsjeong@seowon.ac.kr

2014년 10월 4일 접수; 2014년 11월 9일 수정본 접수; 2014년 11월 13일 게재 확정.

시장을 점유하고 있는 단결정 실리콘 태양전지는 20~25%의 상대적으로 높은 효율을 나타내는 반면, 제품 가격이 고가이고 불투명하고 무겁다는 단점이 있다. 이미 단결정 실리콘 태양전지의 경우 원자재 및 기관 공급 부족이 시작되었고, 가파른 가격 상승 현상이 일어나고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 다양한 유형의 태양전지 개발이 이루어지고 있다(송경태, 2009).

요즘은 특히 제품 개발속도가 어느 때 보다는 중요하다. 빠른 개발속도는 제품 개발 리드타임과 개발비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 제품 개발을 끝내고 제품을 내놓는 적절한 시기를 선택할 수 있는 이점도 있다. 이에 트리즈(TRIZ)를 활용한 빠른 제품 개발을 통해 기업의 경쟁력을 제고 할 수 있다. 트리즈는 창의적 문제 해결 이론(Theory of Inventive Problem Solving)의 러시아어의 머리글자를 조합한 단어이다. 이미 Domb(1998), Royzen(1998), Retseptor(2003), 정해성(2012), 정해성(2013), 정해성(2014) 등에서 제품의 신뢰성과 품질 문제를 트리즈를 활용하여 해결하고자 하는 연구들이 있었다.

본 연구에서는 태양에너지가 전력용 에너지로 확대 도입되기 위해 해결해야하는 태양전지의 고효율화 기술과 저가화 기술 동향을 살펴보고 이를 트리즈의 40 발명원리의 적용 측면에서 해석해 보고자 한다.

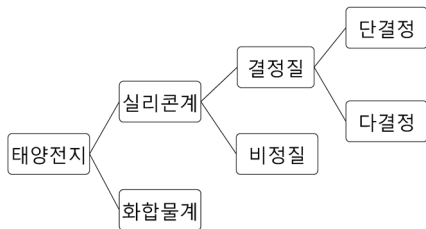
2. 태양전지의 효율 향상을 위한 기법

태양전지에 가장 먼저 사용된 반도체 재료가 단결정(single crystal) 실리콘이다. 단결정 실리콘 태양전지는 높은 가격문제로 시장에서 차지하는 비중이 초기에 비해 감소하긴 하였으나, 현재에도 대규모 발전 시스템 분야에서 가장 널리 이용되고 있다. 이는 단결정 실리콘으로 만든 태양전지의 변환 효율이 다른 재료로 만든 태양전지에 비해 높기 때문이다. 가격과 효율 문제에 대한 해결 방안으로 저가의 실리콘 이온이나 제조 공정 개선이 시도되고 있다. 낮은 질의 실리콘 기판(wafer)을 사용하는 다결정(polycrystal) 실리콘 태양전지는 변환 효율은 단결정 실리콘에 비해 낮지만 가격이 싸다는 장점이 있다. 단결정 및 다결정 실리콘은 벌크(bulk) 상태의 원재료로부터 태양전지를 만들기 때문에, 가격 절감 측면에서 한계가 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 기판의 두께를 혁신적으로 줄이거나 유리 등과 같이 값싼 기판 위에 박막(thin film) 형태로 실리콘을 증착시키는 기술이 주목을 받는다. 여기에서 트리즈 40 발명원리 중 30번째 원리인 '유연한 껍질이나 얇은 필름(flexible shells and thin films)'으로 대체가 적용된 것이라고 할 수 있다. 이런 박막 태양전지는 유리 기판 등에 박막으로 증착된 실리콘을 씌으로써 실리콘의 적은 소모로 인해 결정질 실리콘 태양전지에 비해 단가는 낮지만 에너지 효율이 떨어지는 단점이 있다. 또한 얇음에 의한 열화로 인해 박막형보다는 결정질이 신뢰성 측면에서도 우수하다

박막 태양전지의 소재로 처음 시도된 것은 비정질(amorphous) 실리콘이다. 비정질 실리콘은 결정질 실리콘에 비하여 제조 공정이 간단하고 가격이 싸다. 이로 인해 기존 결정질 실리콘 태양전지의 약 1/10에 해당하는 두께만으로도 태양전지의 제조가 가능하다. 하지만, 결정질 실리콘 태양전지에 비해 효율이 낮고, 특히 빛에 노출된 초기에 변환 효율이 급격히 떨어지는 단점이 있다. 따라서 대규모 발전용으로는 사용되지 못하고, 시계, 라디오, 완구 등 소규모 가전제품의 전원용으로 주로 사용되고 있었다. 이 박막 기술에서 한걸음 더 나아가 변환 효율의 향상과 함께 초기 열화 현상을 최소화할 수 있는 다중접합(multi-junction) 구조의 태양전지가 개발되었다. 기존의 단일접합(single junction) 태양전지에서는 밴드갭(bandgap) 보다 장파장의 태양 복사에너지는 태양전지에 흡수되지 않고 통과하고, 밴드갭보다 짧은 파장의 복사 에너지만 흡수되어 발전에 기여한다. 따라서 태양전지의 변환 효율을 극대화하기 위해서는 파장대별로 태양광 복사 에너지를 흡수할 수 있도록 밴드갭 크기에 따라 태양전지를 다층 구조로 설계, 제조하여야 할 필요가 있다. 이러한 다중접합 박막 태양전지를 탠덤(tandem) 태양전지라 한다. 탠덤 태양전지는 트리즈 40 발명원리 중 3번째 원리인 '국소 품질(local quality)'가 적용된 것이라고 할 수 있다. 국소 품질은 '전체를 일률적으로 똑같이 할 필요는 없다.'라는 개념이다. 즉, 기판을 동일 구조로 하지 말고 층별로 이질적인 구조로 해서 적층시킨 것이 탠덤 태양전지이다.

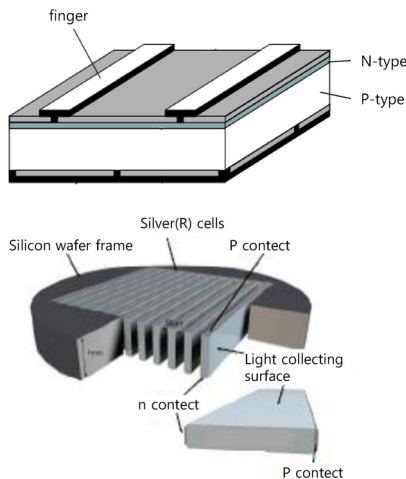
태양전지의 소재로 화합물 반도체를 사용한 화합물 반도체 태양전지에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 화합물 반도체 태양전지는 사용물질에 따라 III-V, II-III-VI, 그리고 II-VI 태양전지로 구분할 수 있다. 이러한 화합물 반도체 태양전지는 탠덤접합(tandem junction) 기술을 이용하여 다양한 흡수대역을 가지는 태양전지를 적층할 수 있는 탠덤 구조의 태양전지를 만들 수 있는 장점이 있다. 또한 GaAs(갈륨-비소 혼합물)를 기반으로 하는 III-V 태양전지는 극단적인 조건에도 높은 신뢰성을 보이는 것으로 입증되었다(오병두, 2008). 즉, 화합물 반도체 태양전지를 통해 비용, 효율 및 신뢰성을 확보할 수 있게 되었다. 화합물 반도체 태양전지는 트리즈 40 발명원리 중 26번째 원리인 '대체(substitution)'가 적용된 것이라고 할 수 있다. 대체는 '다른 것으로 바꾸어 구실하게 한다.'라는 개념이다. 즉, 현재 주류를 이루고 있는 실리콘 태양전지의 재료인 실리콘을 대체해서 두 가지 이상의 원소로 구성된 화합물을 재료로 한 것이 화합물 태양전지이다.

이상의 내용에 따라 태양전지를 분류하면 <그림 2>와 같다. 우선, 재료에 따라 실리콘 태양전지와 화합물 반도체 태양전지로 구분 될 수 있다. 실리콘 태양전지는 다시 결정질(crystalline) 실리콘 태양전지와 비정질(amorphous) 실리콘 태양전지로 구분되며, 이어 결정질 실리콘은 단결정 실리콘과 다결정 실리콘으로 구분된다.



<그림 2> 태양전지의 분류

이제까지는 태양전지의 구성 측면에서의 40 발명원리의 적용에 대해 논의하였다. 이제부터는 태양전지의 구조 측면에서의 40 발명원리의 적용에 대해 알아보자. Weber *et al.* (2005)은 <그림 3>과 같이 ANU(Australian National University)에서 개발한 태양전지 기술을 소개했다. 이 기술이 해결하려는 문제는 두 가지이다. 첫 번째 문제는 태양전지의 상단면(top surface)에 있는 금속 전극(fingers)이 태양광을 막아 전기 안으로 빛이 도달하는 것을 방해한다는 것이다. 두 번째 문제는 실리콘의 가격이 고가라는 것이다. 이 두 문제를 다음과 같이 해결하였다. 금속 전극이 상단면을 막으므로, 기판을 돌려 기판의 당초의 옆면을 통해 태양광이 들어오게 하면 된다. 이는 트리즈 40 발명원리 중 17번째 원리인 ‘차원 바꾸기(transition to another dimension)’가 적용된 것이라고 할 수 있다. 1차원을 2차원이나 3차원으로 변경하는 것뿐 만 아니라, 다른 쪽면을 사용하기 위하여 방향을 바꾸는 것도 차원 바꾸기에 해당한다. 그러나 이것만으로는 부족하다. 왜냐하면, 기판의 옆면이 얇기 때문에 이를 통해 많은 빛을 받을 수 없기 때문이다. 이때 트리즈 40 발명원리 중 첫 번째 원리인 ‘분할(segmentation)’이 적용될 수 있다. 기판의 상단면을 가로질러 절단하여 기판을 얇은 조각으로 분할하고, 각각의 조각을 옆면이 위로 가도록 세우는 것이다. 여기에서도 문제가 발생한다. 제조된 기판을 자르기가 어렵다. 또한 빛이 옆면을 통해 들어오므로, 반사방지막과 표면처리 작업이 옆면에도 이루어져야 한다. 이때 트리즈 40 발명원리 중 10번째 원리인 ‘선행 조치(prior action)’이 적용되어야 한다. 즉 먼저 작은 조각으로 만



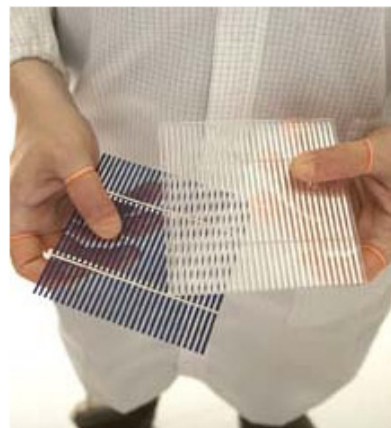
<그림 3> 실리콘 분할을 활용한 태양전지

들고, 빛을 받는 면을 표면처리하고 태양전지 제조과정에 임하라는 것이다.

3. 태양전지 모듈의 효율 향상을 위한 기법

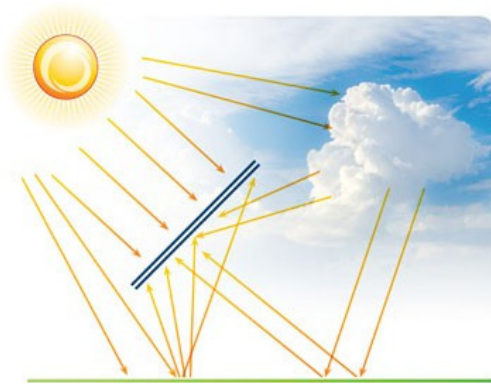
이제까지는 태양전지 차원에서의 40 발명원리의 적용에 대해 논의하였다. 제 3장에서는 이보다 상위 시스템 차원에서의 40 발명원리의 적용에 대해 논의한다. 태양전지는 전기를 일으키는 최소 단위이다. 태양전지 모듈은 여러 태양전지를 직렬 및 병렬로 연결한 것으로 전기를 꺼내는 최소 단위라고 할 수 있다. 모듈을 형태에 따라 패널(panel)이라고도 한다. 태양전지 모듈 혹은 태양전지 패널 여러 장을 끼워 조립한 것을 태양전지 어레이(array)라고 한다.

Weber *et al.* (2005)에서 지적한 바와 같이 기존의 실리콘 태양전지 패널은 전기를 모으기 위해 태양전지의 위에 금속 전극선들이 깔리는 데, 이것이 빛의 흡수를 방해한다. Bullis(2008)에 의하면, Solaria사는 <그림 4>과 같이 기존 실리콘을 더욱 작고 얇은 조각(strips)으로 자르고, 전기를 모으는 선들을 실리콘 조각들 사이에 연결하였다. 그 다음 투명한 플라스틱으로 몰딩하여, 전체 패널로부터 오는 빛을 모아 실리콘 조각들로 보내게 하였다. 이로서 실리콘의 양을 반으로 줄여 비용을 감소시키고, 빛의 흡수 방해를 줄여 효율을 높였다. 이는 트리즈 40 발명원리 중 16번째 원리인 ‘과부족 조치(partial or excessive action)’가 적용된 것이라고 할 수 있다. 과부족 조치는 어차피 목표를 달성할 수 없다면, ‘조금 덜 또는 조금 더’와 같은 방법을 활용하자는 것이다.



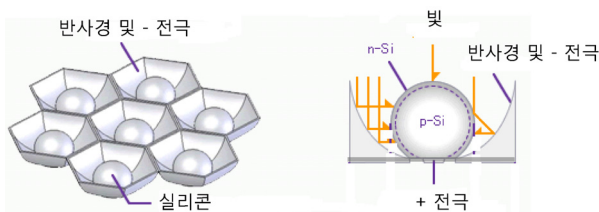
<그림 4> 얇은 조각(Strips)형 태양전지 패널

태양전지의 구조적인 측면에서 가장 먼저 생각할 수 있는 것이 양쪽(bi-facial)면 활용이다. 즉, <그림 5>와 같이 전지의 양쪽 면에서 들어오는 빛을 이용하여 전기를 생산하자는 것이다. 한 면을 이용하는 것보다 50%까지의 효율 향상을 기대할 수 있다. 이는 트리즈 40 발명원리 중 17번째 원리인 ‘차원 바꾸기(transition to another dimension)’의 개념 중 ‘반대 쪽을 활용한다.’가 적용된 것이라고 할 수 있다.



<그림 5> 양쪽 면을 활용한 태양전지 패널

이를 확대하여, 室園乾夫(2005)는 일본의 Clean Venture 21사가 <그림 6>과 같이 육각형 반사경 안에 실리콘 구슬들을 배열하는 방법으로 실리콘 양을 줄이고 효율을 끌어 올렸다고 밝혔다. 이는 트리즈 40 발명원리 중 14번째 원리인 ‘구형화(spheroidality)’의 개념이 적용된 것이라고 할 수 있다. 구형화는 형태를 직선 대신에 곡선으로, 평면을 곡면으로, 각이진 입체는 구형으로 바꾸는 것을 말한다.



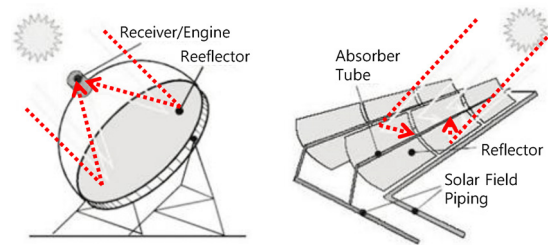
<그림 6> 구슬형 태양전지

4. 태양전지 어레이의 효율 향상을 위한 기법

이제까지는 태양전지 자체와 모듈 차원에서의 40 발명원리의 적용에 관해 논의하였다. 제 4장에서는 이들의 조립체인 어레이와 이의 설치에 따른 채광방법에서의 40 발명원리의 적용에 관해 논의한다.

태양전지의 가장 큰 문제인 변환 효율과 비용에 대한 해결 방안으로 채광방법의 개선을 통해 에너지 밀도를 높이는 방안도 있다. 그 중 하나가 돋보기의 원리를 이용하는 것이다 즉, 태양 에너지 집결(Concentrated Solar Power; CSP) 시스템이라 일컫는 태양열 발전 시스템은 집광을 통하여 에너지 밀도를 높여 발전을 위한 열원으로 활용하자는 것이다. CSP의 대표적인 방식이 접시형(dish)과 구유형(Parabolic Trough Concentrator) 시스템이다(김종규, 2008). <그림 7>에서와 같이 접시형은 접시 형태의 집열기에 도달하는 태양광이 반사되어 모이는 곳에 외연기관인 스테irling 엔진을 설치하여 전력을 발생시키는 방식이다. 구유형은 긴 포물선 형태의 반사면에 도달하는 태양광을 집광시키는 방식이다. 이와 같

은 CSP 시스템은 트리즈 40 발명원리 중 14번째 원리인 “구형화(spheroidality)”가 적용된 것이라고 할 수 있다. 구형화는 시스템의 형태를 직선 대신에 곡선으로, 평면에서 곡면으로, 각이진 입체는 구형으로 바꾼다는 원리이다



접시형

구유형

<그림 7> 태양 에너지 집결(Concentrated Solar Power; CSP) 시스템

CSP 시스템은 태양을 따라 움직이게 함으로써 효율을 극대화 할 수 있다. 이는 트리즈 40 발명원리 중 20번째 원리인 ‘유용한 조치의 지속(continuity of useful action)’가 적용된 것이라고 할 수 있다. 유용한 조치의 지속은 유용한 작용을 지속적으로 수행하게 한다는 원리이다. CSP 시스템은 태양을 추적하는 장치가 수반된다. 그러나 태양을 따라 집광판을 움직이기 위해서는 에너지가 많이 든다는 단점이 있다. 최근 Choi et al.(2013), Seo et al.(2014) 등에서 수상 부유식 태양광 발전 구조물에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이를 바탕으로 물위에 뜬 채로 태양이 움직이는 방향에 맞춰 집광판이 움직이는 수상회전식 태양광 발전소가 국내 기술진에 의해 설치됐다. 수상회전식은 물의 부력을 이용하기 때문에 아주 적은 동력으로도 태양 추적을 위한 회전이 가능하다. 이와 같은 수상 태양광 발전 시스템은 트리즈 40 발명원리 중 12번째 원리인 ‘높이 맞추기(equipotentiality)’가 적용된 것이라고 할 수 있다. 높이 맞추기는 움직일 것을 놔두고 움직이려하는 주체나 환경을 움직이려는 원리이다

5. 태양전지의 신뢰성 향상을 위한 기법

태양 에너지가 신재생에너지로서 경쟁력을 갖기 위해서는 20년 이상 장기간 발전 성능이 유지되어야만 한다(Laird, 2012). 그러나 많은 태양광 발전시스템은 이론보다 높은 손실을 보이면서, 신뢰성에 대한 대책이 요구되고 있다(Kim et al., 2008). 특히, 태양광 발전시스템에서 신뢰성을 저하시키는 현상으로 PID(Potential Induced Degradation) 현상은 태양광 모듈의 발전 성능이 감소하는 현상을 의미한다(Berghold et al., 2010). 태양광 시장에서 과거보다 모듈 제조 기술의 발달로 예상 수명이 늘어났음에도 불구하고, 지난 10년 동안 설치된 모듈의 상당수가 예상 수명에 못 미치는 조기에 발전 열화 현

상으로 교체 대상이 됐고 그 원인에 대한 조사를 통해 PID가 상당수의 열화 현상 원인이라는 것이 밝혀지면서 이에 대한 관심이 크게 고조되었다. 태양전지의 PID 저감 기술 중 반사 방지막 개선(modification of anti-reflective coating : ARC) 이 발전효율과 비용 측면에서 유리한 기술로 평가된다(백성신 외, 2013). 반사방지막은 빛의 반사를 줄일 뿐 만 아니라, 수분이나 기타 대기 중의 오염물질들로부터 태양전지 패널을 보호해서 전지 패널의 수명을 연장시키는 역할을 한다.

이제까지는 태양전지에 사용되는 반사 방지막으로서 실리콘산화(SiO2) 막이 많이 이용되었으나 최근에는 반사방지막으로써의 특성 뿐 만 아니라 실리콘 표면에 존재하는 결함들을 비활성화시키는 역할까지 동시에 할 수 있는 실리콘질화(SiNx) 막이 많이 사용되고 있다. 실리콘질화 막이 화학 증착될 때, 내부의 수소 결합에 의해 실리콘 표면에 존재하는 많은 결함들(defects), 예를 들면 실리콘의 끊어진 결합(dangling bond)과 결합되면서 이들 결함을 비활성화한다(이경동 외, 2011). 이는 트리즈 40 발명원리 중 39번째 원리인 ‘불활성 환경(inert environment)’이 적용된 것이라고 할 수 있다 즉, 불활성 환경을 만들어 반응속도를 저하시키자는 것이다.

6. 결론

이 연구에서는 태양전지의 기술 동향을 트리즈의 40 발명

<표 1> 태양전지의 효율 향상을 위한 40 발명원리

구 분	내용	40 발명원리
박막 태양전지	얇은 기판 위에 박막 형태로 실리콘을 증착	유연한 껍질이나 얇은 필름으로 대체
다중접합 탠덤 태양전지	다양한 밴드갭을 갖는 다층 구조	국소 품질
화합물 반도체 태양전지	실리콘 대체 화합물	대체
태양광 입사량 증가 태양전지	옆면으로 입사시킴	차원 바꾸기
태양광 입사량 증가 태양전지	기판을 얇은 조각으로 쪼갬	분할, 선행조치
얇은 조각(strips)형 태양전지 패널	어차피 입사되지 않는 부분 제거	과부족 조치
양쪽 면을 활용한 태양전지 패널	반대 쪽을 활용	차원 바꾸기
구슬형 태양전지	반사경 안에 실리콘 구슬들을 배열	구형화
태양 에너지 집결시스템	태양광을 집광	구형화
수상회전식 태양광 발전	태양을 따라 집광판을 움직임	유용한 조치의 지속 높기 맞추기
반사방지막 개선을 통한 신뢰성 향상	결함들을 비활성화	불활성 환경

원리 측면에서 살펴보았다. 이 연구에서 밝힌 태양전지의 효율 향상을 위한 40 발명원리의 내용은 <표 1>과 같다.

<표 1>에 따르면 다양한 발명원리들이 태양전지 성능향상과 저가화를 위해 적용되고 있음을 알 수 있다. 그러나 태양전지의 수명을 늘리기 위한 연구는 아직 부족하다. 태양전지가 실용화되어 미래의 대체 에너지 원으로 자리 잡기 위해서는 효율, 비용 및 신뢰성을 갖춘 태양전지를 개발하는 방향으로 연구가 진행되는 것이 바람직하다. 이 연구를 통해 트리즈를 활용하여 태양전지의 효율, 비용 및 신뢰성을 향상시키는 기술 개발 연구가 활성화되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 김종규 (2008), 태양열발전 기술개발 동향, 지열에너지저널, 제4권 제4호, pp. 31-36.
- [2] 백성신 · 백승엽 · 정태욱 · 조진형 (2013), 태양광 발전시스템의 신뢰성 향상을 위한 태양전지의 PID 저감 기술의 타당성 검토, 산업경영시스템학회지, 제36권, 제2호, pp. 32-38.
- [3] 송경태 (2009), 박막태양전지의 특허분석과 기술예측, 한국산업기술대학교, 석사학위논문.
- [4] 오병두 (2008), 고효율 III-V 집광형 태양전지, 물리학과 첨단기술 July/August, pp. 37-41.
- [5] 이경동 · 김영도 · Shailendra, S · Dahiwalie · 부현필 · 박성은 · 탁성주 · 김동환 (2011), 결정질 실리콘 태양전지용 SiNx : H 박막 특성의 최적화 연구, 한국진공학회지, 제21권, 제1호, pp. 29-35.
- [6] 정해성 (2012), 신뢰성 향상을 위한 40 발명원리의 활용, 신뢰성응용연구, 제12권, 제4호, pp. 239-253.
- [7] 정해성 (2013), QFD와 TRIZ의 통합에 의한 설계 단계에서의 창의적 문제 해결 방안, 신뢰성응용연구, 제13권, 제3호, pp. 153-163.
- [8] 정해성 (2014), 트리즈를 활용한 하드디스크 드라이브 액추에이터 래치 장치의 신뢰성 문제 해결, 신뢰성응용연구, 제14권, 제3호, pp. 147-151.
- [9] Berghold, J., Frank, O., Hoehne, H., Pingel, S., Richardson, B., and Winkler, M. (2010), Potential Induced Degradation of solar cells and panels, *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Vol. 25, pp. 3753-3759.
- [10] Bullis, K. (2008), *Slicing Up Silicon for Cheaper Solar*, MIT Technology Review, March.
- [11] Choi, J. W., Joo, H. J., Nam, J. H., Hwang, S. T., and Yoon, S. J. (2013), Performance Enhancement of Floating PV Generation Structure Using FRP, *Composites Research*, Vol. 26, No. 2, pp. 105-110.
- [12] Domb, E. (1998), Increase Creativity to Improve Quality,

- The TRIZ Journal*, November.
- [13] Kim, S. T., Kang, G.-H., Park, C.-H., Ahn, H. K., Yu, G.-J., and Han, D.-Y. (2008), Degradation Analysis of PV Module Considering Electrical Characteristics, *The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 2008, No. 7, pp. 1110-1111.
- [14] Laird, J. (2012), Survival strategies, *Renewable Energy Focus*, Vol. 13, No. 4, pp. 52-57.
- [15] Retseptor, G. (2003), 40 Inventive Principles in Quality Management, *The TRIZ Journal*, March.
- [16] Royzen, Z. (1998), Case Study : TRIZ Solves a Hard Drive Reliability Problem, *The TRIZ Journal*, December.
- [17] Seo, S. H, Choi, J. W., Joo, H. J., Nam, J. H., and Yoon, S. J. (2014), Development of Element Technique for the Floating PV Generation Structure Using FRP, *Composites Research*, Vol. 27, No. 3, pp. 103-108.
- [18] Weber K. J., Blakers A. W., Deenapanray P. N. K., Everett V. and Franklin E. (2005), Silver® solar cells, Photovoltaic Specialists Conference, 2005, *Conference Record of the Thirty-first IEEE*, pp. 991-995.
- [19] 室園乾夫 (2005), 球狀シリコン太陽電池の開発, *Journal of Japan Solar Energy Society*, Vol. 31, No. 3, 설립 30주년기념호, pp. 43-47.