

디지털 에너지(IT와 에너지)

전용석 | 강만구 | 김종대

한국전자통신연구원

요약

본고에서는 IT와 통신 시스템을 융합하는 새로운 개념의 디지털 에너지를 정의하고, 새로운 IT관련 세상에서의 에너지 요구 형태와 그에 대한 해결책 등을 알아본다.

I. 서론

지난 몇 십 년 동안 IT분야의 진보는 눈부시다. 이동통신을 중심으로 이동성이 강화된 장치들의 발전 역시 매우 빠르게 진보되고 있다. 이런 기술의 발전은 사회 전반적인 분야로 매우 빠르게 융합 되고 있으며, 이런 융합의 속도는 더욱 빨라질 전망이다. 이미 간단하게는 휴대전화기, 전자 출입택, PDAs, 스마트카드 등이 우리 사회 깊숙이 침투해 있으며, 이들의 기능이 접목된 새로운 서비스도 계속 개발되고 있다. 예를 들면 개인의 신체 및 주변 환경 조건을 실시간 감지하고, 중앙 제어 시스템과 관련 정보를 공유하여 개인 건강 상태를 감시하는 의료 관련 서비스 등이 있겠다. 이런 사회적 요구에 따른 에너지 변환 형태는 이동성과 휴대성을 강조하는 모습이다.

앞서 기술된 사회 형태는 이미 유비쿼터스 사회라는 말로 정의되어 있으며, 자신이 어디에 있건 관계없이 일상 생활 및 업무를 볼 수 있는 상태라고 할 수 있다. 유비쿼터스 삶은 무선통신 기술에 힘입어 IT 관련 분야에서 대표적으로 나타난다. 유비쿼터스 사회에서 요구되는 장치들의 전원 공급

형태를 유비쿼터스 에너지로 정의 내리고 공급체계 및 요소 기술을 기술하는 시도도 최근에 이루어 지고 있다.

비슷한 의도로, 디지털에너지라는 개념을 정의하고자 한다. 유비쿼터스 에너지가 유비쿼터스 사회에서 요구되는 에너지 모두를 일컫는다면, 디지털에너지의 경우는 그보다 다소 축소된 개념으로, IT 사회에서 요구되는 새로운 서비스와 통신에 제한된 에너지 공급 형태라고 하겠다. 예를 들어 가정과 자동차 구동 등에 요구되는 독립적 에너지 공급 시스템이 유비쿼터스 에너지로 불릴 수는 있겠지만, 디지털에너지라고 보기는 어렵다. 이렇게 새롭게 정의된 디지털에너지의 경우 휴대성과 사용량 등의 요구에 부응하는 형태가 강하며, 세계적 에너지 위기에 대한 연관성은 다소 거리가 있다. 그러나 환경 친화적으로 가고자 하는 방향에 대해서는 오히려 더 강한 요구 조건을 갖게 되는데 이는 독립적 에너지 지원을 필요로 하는 수요자 인간과 매우 가깝게 존재해야 하기 때문이다.

디지털에너지는 유비쿼터스 에너지와 유사하지만 요소기술이나 응용에서 다소 차이가 있다. 본론에서는 요소기술 및 적용 가능 기술에 대해 논하고, 그에 대한 응용을 간단히 서술하고자 한다.

II. 본론

앞서 디지털에너지의 요구성에 대해서 휴대성과 에너지 공급량에 대해 강조하면서도 세계적 에너지 위기와 연관성

이 적다고 한 것은 오해의 소지가 있다. 디지털에너지가 에너지 위기와는 완전 무관하다는 뜻은 아니며, 디지털에너지가 요구된 것 자체가 에너지 위기에서 온 것은 아니라고 이해해야 할 것이다.

IT 산업이 빠르게 유비쿼터스 삶의 형태로 진화되어 가는 과정에 맞게 IT 장치들의 생명으로 여겨지는 전원 부분 역시 그에 융합된 형태로 변해 가고 있다. 휴대성과 용량의 요구는 상호 대응되는 변수가 된다. 휴대성을 강조하면 장치는 작고 가벼워지려고 하지만, 에너지 공급을 강조하면 장치는 반대로 커지고 무거워진다. 가벼우면서도 많은 에너지를 공급하기 위해서는 전지의 에너지밀도가 점점 커져야 하는데, 이 경우 위험성도 함께 커지게 되므로, 그 절충점을 찾게 된다. 2007년 말과 2008년 초에 일어난 일련의 랩탑 컴퓨터 폭발과 휴대용 멀티미디어 단말기 폭발은 에너지 밀도와 함께 커진 위험성의 표출이라 하겠다.

따라서, 에너지밀도를 높이면, 위험성은 낮추는 일이 필요하며, 이것은 디지털에너지의 중요 요소라 하겠다. 현재 휴대성과 에너지밀도, 안정성을 모두 갖추기 위해서 여러 가지 시도가 이루어지고 있다.

완전한 독립적인 휴대성을 고려해 보자. 전원 공급 장치와 유선으로 연결되어 있지 않은 장치의 경우 자가발전을 통해서만 에너지를 공급받을 수 있다. 이 경우 전지의 에너지밀도가 아무리 높더라도 기본적인 에너지원이 없다면 의미가 없다. 이런 기본적인 에너지원을 수확하여 저장할 수 있는 시스템이 기본적으로 포함되어야 할 것이다. 전체 시스템에서 에너지원을 수확하는 방법으로는 현재 태양전지를 기본으로 몇 가지 기술이 개발 중에 있다. 예를 들면 열에너지를 이용하고자 하는 시도, 압전체에 잡히는 파동을 이용하는 방법, 전자기 유도등을 이용하는 무선 전원 송수신 방법, 연료전지 이용, 태양광전지 등이 있다. 물론 방법 별로 장 단점이 있다. 열발전의 경우 체온 등을 포함하는 열원에서 에너지를 생산하는 것으로 사용자가 있을 경우 에너지원이 항상 같이 있을 수 있다는 점은 장점이지만, 실제 실효성은 그다지 높지 않을 것으로 예상된다. 효율 역시 열원의 온도 및 온도차에 의존하므로 그다지 높지 않다. 최근 미국의 MIT에서 전자기 유도 방법 등을 이용한 무선 전력 전송법을 개발하였다고 하지만, 상용화 단계에 이르려면 좀 더 긴 시간이 필요할 것으로 생각된다. 게다가, 에너지라는 특성 때문에, 특

정 기기에만 전력을 공급하는 선택성도 해결이 되어야 하며, 더욱 중요하게는 전력 송수신 거리의 제한도 해결되어야 할 것이다. 전력의 손실도 클 것으로 여겨지며, 인체에 대한 영향까지 고려한다면 단기간에 이용할 수 있을 것으로 여겨지지 않는다. RF방법을 이용한 무선 전력 전송 기술이 현재 사용되고 있지만, 이는 매우 근거리로 제한한다. 압전체를 이용한 에너지 수확 장치는 주변 환경의 진동과 사용되지 않는 라디오 파 등, 다양한 에너지를 받는 것으로 디자인된다. 성공할 경우 매우 유용할 것으로 고려된다. 그러나 현재 시점에서 가장 가깝고 상대적으로 높은 효율을 기대할 수 있는 것은 태양전지이다.

1. 태양전지 [1-3]

태양전지 개발은 디지털에너지원으로 고려되기 위해 시작된 것은 아니다. 환경의 파괴를 주도적으로 물고 가는 화석 연료의 사용에 대한 규제, 화석 연료 자체의 고갈 시점에 대한 우려에 대한 해결책으로 연구되었다. 그러나, 디지털에너지 개념에 대한 적용 가능성은 가장 높다. 태양전지 자체의 중요성은 별도 설명하지 않아도 될 것으로 생각한다. 별도 자료로는 저자의 IT기획 시리즈1335호(2008.2.27, IITA)를 참조하길 바란다. 태양전지가 디지털에너지로서의 강점은 많다. 태양 빛이 존재하는 곳이라면 어디든지 가져갈 수 있으며, 충전 시스템과 함께 있다면 충전 밀도를 높이지 않더라도 보조전원 장치로 계속 충전 가능하다. 효율 역시 태양 빛 에너지의 10% 이상을 직접 전기에너지로 바꾸므로, 추가적 에너지 손실도 거의 없다. 물론 태양이 없는 밤에는 사용할 수 없으나, 흐린 날에 사용 가능한 태양전지가 많이 있다.

이어서 디지털에너지를 공급할 수 있는 태양전지의 종류에 대해 살펴보자. 태양전지는 현재 다양한 재료로 연구되고 있다. 가장 오랫동안 연구된 것은 단연 실리콘으로 실험실 수준의 작은 면적에서는 현재 공식적으로 24.7%의 효율을 내고 있다. 실험실 수준의 크기로는 매우 낮은 전압(0.5-0.6 V)정도만 출력되고 전류 값도 매우 낮아서 실제 장치에 응용할 수 없다. 현실적인 크기로 등급이 올라오면 효율은 급격히 떨어진다. 이유로는 빛에 의해 생겨난 전자와 정공의 분리가 효율적으로 이뤄지기 전에 내부에서 재결합 등으로 손실되는 경향이 크기에 매우 비례하기 때문이다. 다

시 말하면, 작은 실험실 수준의 면적에서는 구조상 생겨난 전자들이 짧은 동선만으로도 금속 전극으로 모일 수 있는 반면, 큰 태양전지를 만들면 생겨난 전자와 정공들이 전극에 모이기 전까지 긴 동선을 그리게 되며 그 동선 위에서 새로운 전자와 정공쌍을 만나게 되어 전자끼리 반발하거나 정공과 재결합하는 가능성이 커지게 되는 것이다. 실제 태양전지를 제작하여 전류 전압 곡선을 얻었을 경우 대면적에서는 작은 면적에서의 효율에 비해 약 65 - 70%의 효율만을 보인다. 예를 들면, CdTe 태양전지의 경우 16.6%의 효율이 소면적 최고이지만, 모듈로 제조되면 10.7%가 최고 효율이다. 여기서 효율이란 태양에너지의 단위면적당 입사 에너지의 전기에너지 총 변환율을 말하는 것으로 NASA가 발행한 AM1.5G 스펙트럼 광에서 측정한다. 입사에너지의 총량은 100mW/cm² 혹은 1000W/m²로 1 sun condition으로 명명하고 있다. 이제 태양전지의 크기와 효율이 결정되면 평균적 태양 밝기 조건에서 생산할 수 있는 전력의 양이 계산될 수 있는데, 생산 가능량과 2차 전지의 충전 가능량 등을 고려하면 얼마나 오랫동안 장치를 사용할 수 있는지 계산할 수 있을 것이다. 이보다 우선되는 것으로는 IT의 주도적 장치들의 전력 사용량이 얼마나 되는지 알아보는 것이겠다. 태양전지가 생산하는 전력 량과 장치의 소모량이 현격히 차이나면 태양전지의 효율성이 떨어질 것이다. 간단한 장치들의 전력 사용량은 표 1에 정리하였다. 표 1은 G. Dennler 등이 2007년 Solar Energy 전문지에 발표한 내용을 재편집한 것과 저자가 측정한 일부 장치들을 첨가한 것이다. 물론 기기별로 다소 차이가 있을 것이다. 비교를 위해 IT 기술과 관련 없는 몇몇 제품에 대해서도 포함시켰다.

얼마나 큰 태양전지가 있어야 할 지에 대한 계산은 다소 유동적이다. 장치의 사용빈도와 사용 시간에 대한 통계가 아직 미비하고, IT장치의 진화 역시 통계를 낼 시간조차 주지 않은 상태로 발전되고 있기 때문이다. 시장에 나와있는 장치들은 분기별로 새로운 제품으로 대체되는데, 새 제품들은 더욱더 융합되어 있으면서도 저전력 사용의 형태로 옮겨가고 있다. 따라서 대체적으로 현재 사용되고 있는 충전지의 용량만을 고려하는 것이 계산을 쉽게 유도할 수 있다. 예를 들면, 장치가 개발되면 그에 따른 충전 용량도 따라 정해지는데, 현재 가장 많이 사용되고 있는 충전지의 용량에 태양전지가 충전을 도와주기 위해서는 어떤 전력을 생산해야

하는지를 계산하는 방식이다. 쉬운 예로, PDA 전화기에서 사용되고 있는 충전지는 일반적으로 1000 mAh (4 V, 총 4 W) 정도를 저장한다. 효율 6%를 내는 염료감응 태양전지로 전량 충전하기 위한 면적은 약 700 cm² (약 10 cm X 70 cm) 이 필요하다. 물론 한 시간만에 충전하는 경우이고, 충전하는 시간이 길어지면 길어질수록 크기는 반비례로 줄어들 수 있다. 예를 들어 7시간 충전 가능하다면 10 X 10 cm² 만으로도 충분한 것이다. 태양전지의 경우 주전원 장치라기보다는 보조전원 장치의 개념이 더 크므로 실제 크기는 이보다 더 줄어들어도 된다. 일반 핸드폰의 경우 주전원의 용량이 지금 언급한 PDA 전화기에 비해 반 이하의 경우가 많고, 한 번 충전으로 며칠을 사용하는 경우를 고려한다면 태양전지의 크기는 크지 않아도 될 것이다. 물론 10% 이상의 실리콘 전지를 이용한다면 필요 태양전지의 크기는 더욱 작아질 것이다. 태양전지의 효율을 올리려는 시도는 경제성을 갖는데 매우 중요하게 작용한다. 효율 10% 태양전지가 12%로 발전하였다면 같은 전력을 생산하기 위해서 면적이 20% 줄어들어도 된다. 2% 효율 증가는 크지 않지만 20%의 경제성은 매우 크다. 따라서 현재 태양전지 연구 분야에서는 효율을 올리려는 시도가 매우 다양하게 이루어지고 있다.

<표 1> 간단한 디지털 장치의 전력 소비량. 휴대폰의 경우 사용빈도에 따른 편차가 심하다. Mp3 플레이어의 경우 디지털 천연색 디스크 플레이를 포함할 경우 소비전력은 디스플레이의 크기에 따라 2-3배 이상 커진다.

종 류	전 압	구동전류	일일사용량	에너지사용량	기 타	
μWh/일	계산기	1.4V	10μA	0.5시간	7μWh	저장장치 불필요
	손목시계	1.5V	0.4μA	24시간	15μWh	
	리모콘(TV등)	3V	10mA	1.5분	750μWh	실내
	알람시계	1.5V		24시간	800μWh	구동 및 알람
mWh/일	PDA	3V	15-150mA	30분	23-100mWh	
	라디오	1.2V	15-150mA	1시간	20-180mWh	소형
	MP3P	3.6V	30mA	3시간	320mWh	휴대디스플레이
	휴대폰	3.6V	200mA	1시간	700mWh	
Wh/일	다기능 휴대폰	3.6 V	200mA	3시간	2100mWh	
	랩탑	12 V	3 A	1시간	36Wh	

앞서 살펴 본 것처럼 태양전지의 경우 효율이 매우 중요하다. 지금부터는 현재 연구되는 태양전지의 효율과 함께 장. 단점을 비교해 보자. 기본적으로 모든 태양전지의 경우 유비쿼터스 삶에서 중요한 역할을 할 것이다. 태양이 비치는 곳이라면 어디든 설치될 수 있다는 장점 때문이다. 물론 충전 장치와 함께 시스템을 이루어져야 할 것이다.

태양전지 연구에 대한 시장현황 및 효율, 장단점에 대한 연구는 많이 되어있다. 시장부터 말하면, 현재 시장은 거의 전부 광발전을 위한 것으로, 2010년까지 세계적으로 약 30 - 50 조원에 이를 것으로 추산되고 있다. 현재 시장의 점유율과 에너지변환 효율, 장단점을 표2에 정리하였다.

가장 효율이 높은 태양전지는 30% 이상의 효율을 보이는 GaAs 태양전지이지만, 가격은 실리콘 태양전지에 비해 100 배 이상 높아서 100-500배 이상의 태양빛을 집광시키는 Fresnel 렌즈와 함께 사용되지 않으면 매우 비경제적이다. 실리콘의 경우 현재 대부분의 광발전 시장을 점유하고 있다. 비정질 실리콘의 경우 가격이 상대적으로 저렴하지만 장기안정성을 확보하지 못하고 있다. 그 외 현재 많은 주목을 받는 박막 태양전지로 CIGS(Cu, In, Ga, Se)와 CdTe가 있다. CIGS는 CIS 라고도 불리기도 하는데, 상업화가 많이 이루어져서 tum-key 방식으로 공장을 만들어주는 회사들이 있다. 그러나 CdTe는 Cd의 독성 때문에 일부 회사를 제외하고는 거의 연구개발이 이루어지고 있지 않다.

디지털에너지 시장에 대해서는 아직 명확한 계산이 없다. 가장 큰 이유로는 태양전지의 가격이다. 실리콘의 경우 이미 광발전에 사용할 대형 웨이퍼 공급도 어려워 국제 실리콘 가격이 상승하는 상황이다. 게다가, 광발전이 아닌 경우 정부의 지원을 받기가 어려운 현실이어서 디지털에너지 시장을 개척하기 위해서는 태양전지의 단가 개선이 절실하다. 실리콘 태양전지의 경우 20년 이상 사용되어야 원가를 보전

받을 수 있기 때문에 디지털에너지원으로 사용되는 것은 다소 어렵다.

현재 실리콘으로 제조되는 태양전지의 경우 1 kWh당 700 원대로 정부가 매입하고 있는데, 이는 한전의 현재 1kWh당 평균 판매가격인 100원대에 비해 6-7배 정도 된다. 단가 계산에서 가장 큰 부분을 차지하는 모듈 제조가격은 전체 설치비에서 약 50-70%로 보고 있다. 따라서 모듈 제조비가 20-30%로 줄어들고, 디지털에너지의 특성상 설치비를 없애거나 줄일 경우 에너지단가를 150 - 200원대로 낮출 수 있을 것이다.

이런 접근으로 재료에서 가장 큰 가격 경쟁력을 갖는 기술로 평을 받고 있는 것으로는 염료감응 태양전지가 있다. 1991년 스위스의 Gratzel교수에 의해 처음 개발된 이후 10%대의 효율을 기록하고 있는 이 태양전지는 값싼 금속 산화물 나노입자를 이용하고 있다. 가시광선 영역에서 투명한 TiO₂ 나노입자에 다양한 색의 염료를 코팅하여 만들어지는 이 태양전지는 (그림1(a))의 구조를 갖는다. 이 태양전지의 장점은 (그림 1(b))처럼 반투명하고 다양한 색을 구현할 수 있다는 점, 낮은 제조가격 등이 있다. 현재 액체 전해질을 사용하는 단점 때문에 대량 상업화는 아직 이루어지지 않고 있지만, 전세계적으로 많은 연구소에서 액체 전해질의 성격을 극복하는 장기안정성을 이루기 위한 시도가 이루어지고 있고, 현재 2-3년 정도의 안정성에 대한 확보는 이루어 졌다고 보고되고 있다. 금속 기판을 이용한 구부림이 가능한 태양전지 제작도 한국전자통신연구원의 에너지전환소자팀(강만구 박사 외)에 의해 개발되는 등, 제조단가의 하락과 응용성 향상도 기대되고 있다. 현재 디지털에너지원으로 적용 가능성이 가능한 것으로는 실리콘과 CIGS 등이 있지만, 가격 면에서는 염료감응 태양전지가 가장 유리하다.

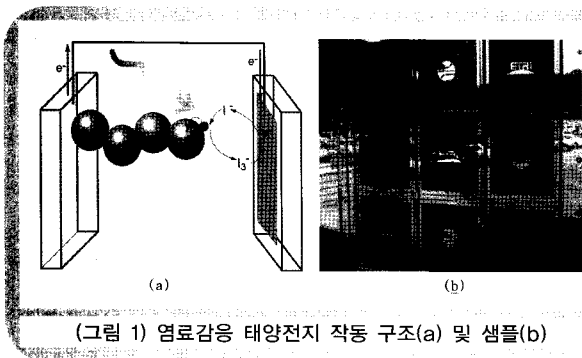
상업화 단계에는 못 미치는 기술로는 유기태양전지가 있다. 이는 태양전지 반도체 성질을 갖는 유기물질을 접합하여 만든 태양전지로서 현재 약 7% 가까운 효율을 보이고 있다.[4] 이 기록은 광주과학기술원(이광희 교수 외)에서 이룬 것으로, 구조는 (그림 2)에 두었다.

이 태양전지는 모두 용액 상에서 제조된 것으로, 간단한 스펀코팅 등으로 이루어져 진공이 필요한 대부분의 박막 및 실리콘 태양전지 등에 비해 공정적으로도 매우 혁신적이라고 할 수 있다. 장기 안정성을 확보한다면 가격 경쟁력에서

〈표 2〉 각종 태양전지의 모듈 효율 및 장단점 비교. 상용화 회사 중 디지털 에너지원으로 태양전지를 공급하고 있는 회사는 염료감응태양전지를 생산하는 G24i가 대표적이다.

종 류	시장 점유율	변환효율 (모듈)	장점	단점	상용화	
실리콘	단결정	42%	~ 15%	신뢰성 확보	생산 공정 장시간 (고비용)	사프 등 대부분
	다결정	43%	~ 12%		낮은 효율	
	비정질 (박막, ITO-g)	12%	~ 8%	가격 저렴	장기 안정성 미확보	Sunpower
화합물	CdTe (FTO-g)	2.7%	~ 10%	생산단가 감소	독성 재료 사용 (Cd)	First Solar
	Cl(G)S (Mo-g)	0.2%	~ 12%	생산단가 감소	재료 공급 불안정 (In)	혼다, Showa Shell
	GaAs tandem (GaAs 기판)	< 0.1%	~ 27%	최고 효율	고비용 소재 사용	우주 산업용
유기	염료감응 (FTO-g)	< 0.1%	~ 7%	가격 매우 저렴	장기 안정성 미확보	G24i
	유기분자 (ITO-g)	< 0.1%	5% 이하	가격 매우 저렴	연구 개발 수준	없음

가장 우수한 태양전지로 고려되고 있다. 결정 실리콘이나 박막 태양전지에 비해 roll-to-roll 공법이 매우 쉬울 것으로 여겨지기 때문이다. 유기 재료의 특성상 가격도 매우 저렴할 것으로 예상되나, 현재 대면적화 및 밀폐기술 등 몇 가지 기술적 한계에 직면해 있다. 이런 문제가 해결된다면 디지털에너지뿐만 아니라 에너지원의 경쟁에서 가장 강력한 강자가 될 것으로 보인다. 현재 유기 태양전지의 가장 큰 단점인 재료의 산소 및 수분에 의한 산화로 인한 효율의 급격한 하락에 대해 비관적인 견해가 지배적이다. 다른 태양전지에 비해 재료의 산화가 매우 급격히 일어나고 있어서, 1주일 정도에서 1달 정도의 안정성 확보도 매우 어렵게 보고 있다.

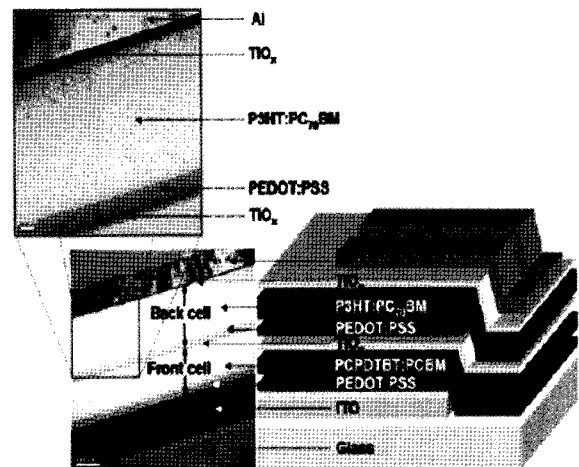


(그림 1) 염료감응 태양전지 작동 구조(a) 및 샘플(b)

TiO₂ 나노입자 표면의 염료가 태양빛에 감응하여 전자를 TiO₂ 나노입자에 넘겨주면, 전자는 전도띠를 따라 회로로 넘어 오게 된다. 이후 일을 마친 전자는 반대쪽 전극에서 전해질로 넘어간 후 다시 염료로 돌아간다. 염료의 색상에 따라 창문의 색이 다양해질 수 있으며, 두께에 따라 투명성 조절이 가능하다.

그 외에도 3세대 태양전지의 개념을 갖는 1광자 다전자(MEG, Multi Exciton Generation) 생산의 태양전지에 대한 연구도 이루어지고 있다. 현재의 태양전지는 모두 1개의 광자를 이용하여 한 개의 전자 및 양공 쌍을 만들어 내는 원리를 이용하고 있다. 그러나 신개념의 태양전지는 bandgap의 몇 배수에 이르는 큰 광자를 이용하여, 여러 개의 전자 및 양공 쌍을 만들어 내는 것을 목표로 하고 있다. 이론적으로는 Los Alamos National Labs (USA)과 National Renewable Energy Labs(NREL) 등에서 검증하였으나, 실제 이를 응용한 태양전지 개발에는 아직 성공하지 못하고 있다. 이런 현상

을 보이는 물질은 이미 PbSe, Si 나노입자 등으로 찾는데 성공하였으나, 이들 입자에서 전자와 양공을 이용할 수 있도록 쉽게 분리해내는 방법을 찾지는 못하고 있다. 이들의 쉬운 분리를 위해 나노입자 감응 태양전지의 연구 개발이 많이 이루어지고 있다. 한국에서는 현재 한국 화학 연구원(석상일박사 외)에서 교육과학기술부에서 지정한 글로벌 연구실 사업으로 시도하고 있다. 세계적으로도 다양한 곳에서 이 현상을 이해하고 전자와 정공을 효율적으로 분리하려는 시도가 이루어지고 있다. 최근 미네소타 주립대학교 화학과의 Zhu 그룹은 무기물질과 유기물질 사이에서 전자 이동의 연구 성과의 연장선에서 이론적으로, 동시에 실제적으로 전자와 정공을 분리하려는 시도를 하고 있다.



(그림 2) 6% 이상의 효율을 보이는 유기 태양전지 구조(c) Science 317, 2007, 223 permitted) 디지털에너지로 가장 적합할 수 있다.

이 태양전지의 개발이 성공적으로 이루어지면, 인류는 에너지 문제를 해결할 수 있을 것으로 보고 있다. 이론적으로 30% 이상의 태양전지 제작이 매우 저렴한 가격에 이루어질 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 더욱이 이는 디지털에너지로서의 혁명을 이루기에도 충분할 것으로 여겨진다. 고효율 저가격의 태양전지 개발은 앞서 언급한 이동성과 안정성 모두를 충족시킬 수 있기 때문이다. 특히 MEG의 경우 실내에서도 충분한 효율을 낼 수 있을 것으로 여겨지고 있고, 다른 일반 태양전지에도 응용될 것으로 보여 기대가 매우 높다.

2. 에너지 수확장치 (energy harvesting devices) [5]

에너지 수확장치로 일반 마이크로파 및 진동을 이용하고자 하는 'energy harvesting' device의 경우 'power harvesting' 또는 'energy scavenging' device로도 불리는데, 아직 우리나라에 정착되지 않은 기술로 정확한 한국 이름의 명명이 어렵다. 역할로는 일상생활의 주변에 떠도는 에너지를 전기에너지로 변환시키는 장치로 군사적 목적으로 사용될 가능성으로 기대를 받았다.

해양의 파도, 전자기파, 진동 등의 움직임을 전기적 에너지로 바꾸는 장치로, 미래의 응용으로는 고전력 생산으로 원거리 제어 등을 통한 시스템 운영 등에 이용될 것으로 보고 있다. 파동 등의 움직임이 있는 곳이라면 어디에서 설치할 수 있고, 시간적 제약이 거의 없다는 장점을 갖고 있어서, 효율적인 장치가 개발될 경우, 매우 빠르게 시장을 넓혀갈 것으로 보인다.

현재의 경우 MEMS (microelectromechanical system) 기술을 응용하는 장치들의 개발을 Imperial College, MIT, UC at Berkeley 등에서 기술 개발에 나서고 있다. 이 기술의 근원은 풍차와 수차 등의 고전적인 장치로써 그 변환 장치가 마이크로미터 크기로 변환되었다고 생각할 수 있다.

변환 예로는 피에조현상을 보이는 크리스탈 혹은 화이버를 사용하는 장치를 들 수 있겠다. 피에조 현상을 보이는 크리스탈은 구조적으로 뒤틀릴 경우 언제나 작은 양이긴 하지만 전압차를 형성한다. 따라서 이런 현상을 보이는 크리스탈을 신발이나 엔진 주위에 두게 되면, 진동이 있을 시에 크리스탈은 전기를 생산하게 된다.

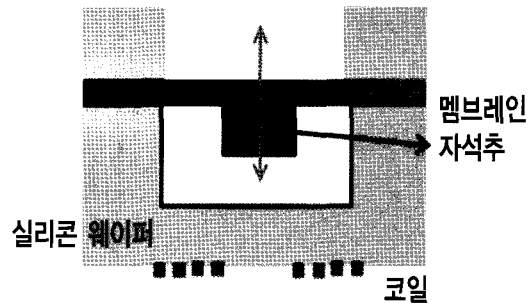
그 외에도 열, 진동 및 운동에너지를 변환하는 장치에 대한 연구도 많이 있다. 현재 실제로 사용되고 있는 예로는 손목 시계를 들 수 있겠다. 일상 생활에서 손목의 움직이는 운동 에너지를 저장하여, 전지 없이도 시계를 작동하게 하고 있다. 그 외에도 특수한 안테나를 이용하여, 산란된 라디오파의 에너지를 모으는 연구도 진행 중이다.

마이크로 변환장치의 경우 공명을 원리로 이용하는 VDRGs(velocity-damped resonant generators)와 CDRGs(Coulomb-damped resonant generators)가 있으며, 공명을 이용하지 않는 CFPGs(Coulomb-force parametric generators)가 대표적이다. 진동수가 고정적일 경우는 앞의

두 방법이 매우 효율적이나, 진동수의 변환이 심한 경우는 공명을 이용하면 비효율적이다.

간단한 VDRGs의 구조를 (그림 3)에 나타내었다. 전자기진동체가 멤브레인에 붙어있고, 진동에 멤브레인이 공명을 이루면, 아래쪽 코일에 전기가 유도되는 원리를 이용한다. Yates, Amirtharajah 등이 사용한 이 원리는 매우 간단한 것이 특징이다. 그 외에 CDRG와 CFPG 방법은 상대적으로 다소 복잡하다.

마이크로 변환장치의 경우 현재 수십에서 수백 $\mu\text{W}/\text{cc}$ 를 생산하는 실험실 수준의 장치들이 대부분으로 아직은 디지털에너지원으로 직접 사용되기는 어려운 실정이다. 실제로 DARPA는 피에조현상을 이용한 장치를 이용, 신발에서 1-2 W정도의 전력을 생산하려는 시도를 하였으나, 신발의 불편함, 비실용성 등을 이유로 개발을 중지하였다.



(그림 3) 간단한 VDRG 구조. 가운데 멤브레인에 부착된 자석추의 진동에 따라 아래 코일에 전기가 유도된다.

앞서 살펴본 태양전지와 마이크로 변환장치가 현재로서는 디지털에너지원의 주류를 이룰 것으로 여겨진다. 태양전지의 경우 이미 가격적인 면을 제외한다면, 디지털에너지원으로 사용될 준비가 이미 완료된 상태라고 보아도 될 것이다.

다만, 디지털에너지원의 특성상 IT기기와 함께 존재하여야 하는 점 때문에, IT 기기의 특성을 무시할 수가 없을 것이다. 하루가 다르게 변해가는 IT기기들의 디자인이나 장치의 휴대성에서 장애물이 되지 않기 위해서는 IT 장치의 변화에 빠르게 대응할 수 있는 태양전지로 거듭날 필요가 있겠다. 염료감응 태양전지에서 다양한 색감의 구현과 구부림이 가능한 태양전지에서도 높은 효율 구현, 옷감에 융합될 경우 디자인(선처리 포함) 등이 앞으로 해결되어야 할 것이다.

3. 응용

안전하고 청정한 태양전지 및 마이크로 변환장치를 통한 디지털에너지는 유비쿼터스 생활에서 매우 비중있는 역할을 할 것이다. 앞서 설명한 것처럼 보조 전원장치로써 높은 에너지밀도를 요구하는 전지의 부담을 줄임으로써 안정성을 높이고, 유선적인 에너지 공급이 없이도 필요한 업무를 볼 수 있는 동일 것이며, 이로 인한 업무의 효율성은 당연히 높아질 것이다. 뿐만 아니라, 유선 전기 설비비의 절약에도 한 몫을 할 수 있다.

산불 감시 체제를 이루는 센서와 통신 장치를 예로 들어보자. 산불 감시 센서와 산불이 났을 경우 알려주는 자동 송신 장치를 켜두기 위해서 산 곳곳에 전선을 설치하는 것은 낭비이며, 산불이 센서에 도달하기 전에 전선을 먼저 태울 경우 그나마 역할을 수행할 수도 없게 된다. 이를 태양전지와 센서가 병합된 시스템을 곳곳에 설치하였을 경우로 대체하면, 센서는 불을 인지하고 곧바로 통신 시스템을 이용하여 보고할 수 있게 된다.

또는 태양전지가 부착된 인공새가 산을 날아다니면서 사진 및 비디오영상을 촬영하게 하고, 실시간으로 중앙센터에 보내주는 것 역시 인명을 보호하고 효율적으로 산불을 감시하는 체계라 하겠다.

기본적으로 태양전지나 마이크로 변환장치 모두 에너지 공급이 기본 역할이므로, 에너지를 필요로 하는 곳이라면 어느 곳이나 적용될 수 있을 것이다. 특히 전력 공급이 제한된 지역에 대한 에너지원으로 태양전지의 응용은 매우 유용할 수 있다.

전력선 추가 설치비를 절약할 수 있을 뿐 아니라, 수요가 멈추었을 경우 철수하기도 쉽다. 이런 이유로, 디지털에너지는 공사장의 임시적 전원 공급, 인력들의 유비쿼터스 삶의 에너지원 공급 등을 책임질 수 있게 될 것이다.

IT 산업의 중요한 에너지원으로 떠오를 것으로 예견되고 있다. 그 외에 디지털에너지의 응용이 될 만한 내용을 살펴보았다. 디지털에너지는 이미 세상을 이끌어 가는 중심에 선 IT산업의 또 한번 약진을 위한 원동력이 될 것으로 확신한다.

참 고 문 헌

- [1] Dennler, G., Bereznev, S., Fichou, D., Holl, K., Ilic, D., Koeppe, R., Krebs, M., Wohrle, T., "A Self-rechargeable and Flexible Polymer Solar Battery." Solar Energy, pp. 947-957.
- [2] Jun, Y., Pak, H., Yun, H., Kang, M. G., Kim, J. "The importance of solar cells and the current trends." IITA, pp 21-28
- [3] Park, N., Seong, H., Jeon, Y., Lee, Y., "Ubiquitous Energy." IITA, pp 25-34
- [4] Kim, J. Y., Lee, W., Coates, N., Moses, D., Nguyen, T., Dante, M., Heeger, A., Efficient Tandem Polymer Solar Cells Fabricated by All-solution Processing." 317, pp 222-225
- [5] Mitcheson, P., Green, T., Yeatman, E., Homes, A., "Architectures for Vibration-driven Micropower Generators", J. Microelectromechan. Sys., 13 (3), 2004, pp 429-440

III. 결 론

본고에서는 새로운 에너지 개념인 디지털에너지를 정의하고, 그에 사용될 수 있는 에너지의 종류를 살펴보았다. 태양전지와 마이크로 변환장치에 의한 energy harvesting 장치는

약 력



1996년 고려대학교 화학과 이학사
1998년 고려대학교 화학과 이학석사
2004년 미네소타주립대학교 이학박사
2004년 ~ 2005년 미네소타 주립대 및 Sandia 국립연구원
연수과정
2006년 ~ 현재 한국전자통신연구원 (현재 선임연구원/팀장)
관심분야: 신재생에너지, 태양전지, 전기화학

전 용 석



1988년 고려대학교 화학과 이학사
1990년 고려대학교 화학과 이학석사
2000년 고려대학교 화학과 이학박사
2000년 ~ 현재 한국전자통신연구원 (현재 책임연구원)
관심분야: 신재생에너지, 태양전지, 염료감응태양전지

강 만 구



1982년 경북대학교 전자공학과 공학사
1984년 경북대학교 전자공학과 공학석사
1994년 Univ. of New Mexico 공학박사
1984년 ~ 1989년 한국전자통신연구원
1994년 ~ 현재 한국전자통신연구원 (현재 NT융합부품연구부 부장)
관심분야: 혼성SoC, 나노기술, 융합기술

김 종 대

