

미래형 신기술 전지

류 광 선

한국전자통신연구원 전원소자팀

I. 서 론

전지(battery)는 내부에 들어있는 화학물질(활물질; active material)의 화학에너지(chemical energy)를 전기화학적 산화-환원반응(electrochemical oxidation-reduction reaction)에 의해 전기 에너지(electrical energy)로 변환하는 장치이다. 정확한 의미에서 “전지”라는 용어는 두 개 이상의 전기화학적 셀(cell)의 집합체를 나타내지만, 보통 단위 전지(single cell)에도 사용되고 있다. 전지는 화학반응 대신 전기화학 반응이 일어나 전자(electron)가 도선을 통하여 외부로 빠져나갈 수 있도록 특별한 내부 구조로 이루어져 있으며, 도선을 통하여 흐르는 전자는 전기에너지의 원천이 되어 인간에게 유용한 일 혹은 힘을 제공한다^[1].

전지의 음극은 보통 전자를 내어주고 자신은 산화되는 물질이며, 양극은 전자를 받아(양이온과 함께) 자신은 환원되는 물질로서, 전지가 외부 부하(전등, 기구)와 연결되어 작동할 때, 즉 전지의 방전 반응이 진행할 때 두 전극은 각각 전기화학적으로 다른 상태로 변화가 일어난다. 이때 음극의 산화반응에 의해 생성된 전자는 외부 부하를 경유하여 양극으로 이동하고 양극 물질과 환원반응을 일으킨다. 이때 전기적 회로는 음극과 양극 방향으로의 음이온과 양이온의 물질 이동에 의해 전해질 내에서 일어난다.

전지는 반도체, TFT LCD와 더불어 미래 국

내 전자·정보기기산업을 이끌어 나갈 3대 전략 부품으로, 휴대폰을 비롯하여 캠코더, 노트북 PC 그리고 가까운 장래에 보급될 차세대 PDA, IMT-2000 등의 동영상 단말기에 이르는 첨단기기들의 성능을 좌우함은 물론 미래형 전기자동차의 주동력 원으로서의 그 역할 및 중요성을 더하고 있다. 특히 정보통신용 휴대용 전기·전자제품의 개발확대와 기능강화로 인해 기존의 리튬 2차전지의 단점과 한계를 극복할 수 있는 새로운 고성능의 전지개발이 요구되고 있다. 고출력의 전지를 필요로 하는 새로운 동영상 정보통신기기인 IMT-2000, 차세대 PDA의 개발이 성공하여 보급단계에 있으며, 이들 기기들의 보급이 전 세계적으로 확산됨에 따라 고출력, 고성능 전지의 수요도 함께 급성장해 갈 것으로 예측된다. 이런 고성능의 미래형 전지가 갖추어야 할 특징들은 저렴한 가격, 경량성, 소형, 긴 수명, 저공해성, 재충전 가능, 고용량, 안정된 전압 유지, 장기간 보존 가능, 고온과 저온에서 일정한 성능 유지 등이 가능해야 할 것이다.

이런 미래형 전지에 대해 최근에 발표된 여러 가지 결과들을 중심으로 간단히 소개하고자 한다. 특히 현재 개발중이거나 연구진행중인 가까운 미래형 전지와 좀더 연구기간이 더 필요할 것으로 예상되는 먼 미래형 전지로 구분하여 전지의 원리와 최근 연구결과 및 개발동향에 대해 자세히 소개하고자 한다.

II. 가까운 미래의 신기술 전지

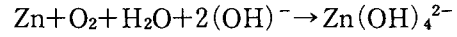
1. 공기아연 전지

공기아연전지는 음극으로 아연을 사용하고 전해액으로 수산화칼륨 수용액을 사용하는 것은 일반 전지와 같으나 공기중의 산소를 직접 양극과 반응하는 물질로 사용한다는 점이 다르다. 즉 공기중의 산소가 전지 내부로 스며들어와 반응을 일으키는 비교적 새로운 전지다. 공기중의 산소는 전지케이스와 공기구멍으로부터 전지안으로 들어와 양극인 공기극에 공급돼 반응에 사용된다. 그러나 공기중의 이산화탄소나 수증기의 영향으로 성능이 저하된다는 단점이 있다^[2].

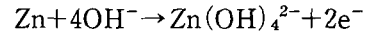
공기아연전지는 이론 에너지밀도가 1,085 Wh/Kg이며, 이론 전압이 1.65 V로서 음극 활물질로 아연을, 양극 반응물질로 공기 중에 존재하는 산소를 사용한다. 따라서 저비용 및 고에너지밀도를 실현할 수 있으며 방전전압이 평탄하고 보존 특성이 좋으며, 특히 오염 물질이 없는 환경 친화적이라는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점에도 불구하고 공기아연전지는 1차전지로 주로 보청기 등에 사용되고 있다. 이것은 공기아연 2차전지가 가지는 단점, 즉 전해질이 외부의 수증기압에 따른 영향으로 발생하는 전지의 성능 저하, 제한된 출력 특성, 양극 부식에 의한 수소 발생 및 충방전에 따른 음극의 dendrite, 충전 중 촉매전극과 지지전극의 산화 반응 등 해결해야 되는 많은 문

제점이 있다.

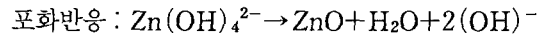
공기아연 2차전지의 방전원리는 다음과 같다.



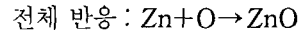
아연 전극에서 일어나는 초기반응은 다음과 같다.



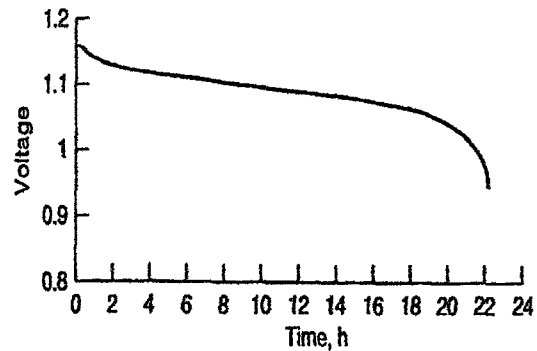
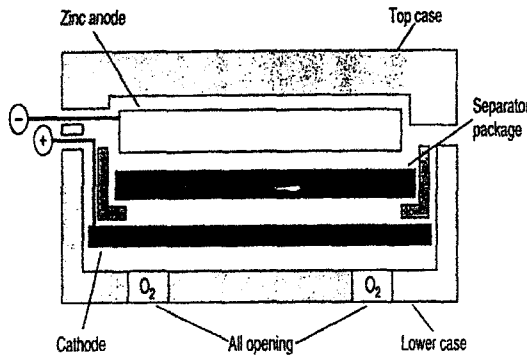
이 반응은 전해액 중에 zincate anion에 의해 일어나는 결과이며 zincate가 포화될 때까지 이루어진다. 음극방전이 일어난 후에 용해된 정도가 평형점을 거쳐 ZnO가 침전되기 시작하면 다음 반응이 일어난다.



따라서, 전체 반응은 다음과 같다.



공기아연 2차전지는 크게 '기계적 충전방식'과 '전기적 충전방식'으로 나뉘어진다. 기계적 충전방식은 전지가 방전된 후에 반응 생성물인 산화아연을 '기계적'으로 제거하고 새로운 아연을 주입하는 방식으로서 주로 전기자동차에 응용을 많이 하는 기술로서 새로 충전하는데 걸리는 시간이 불과 10분 정도로 단시간에 충전되는 큰 장점이 있다. 한편, 전기적 충전방식은 다른 2차전지와 마찬가지로 전기적으로 충전시킬 수 있는 타입으로서 이미 갖추어져 있는 인프라 시설을 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다.



<그림 1> (a) 공기아연전지 구조 및 (b) 방전곡선

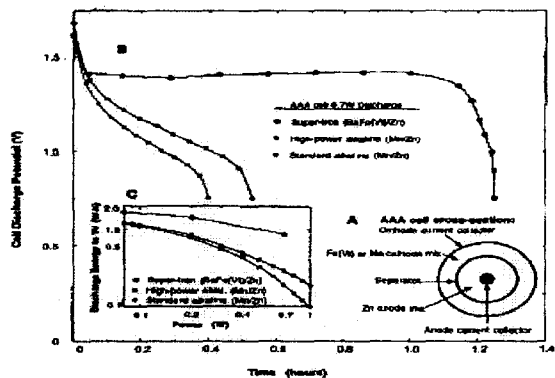
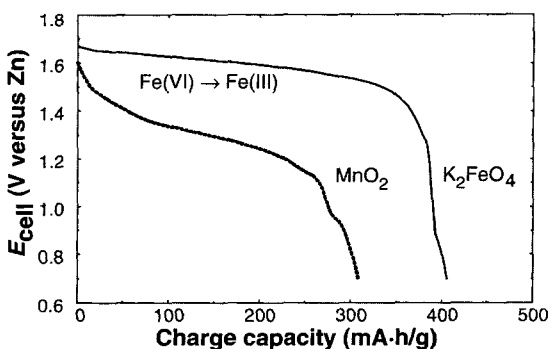
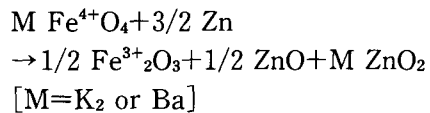
현재 사용되고 있는 전지는 에너지량이 적고 환경을 오염시키는 단점을 여전히 가지고 있다. 공기아연전지는 환경오염 문제를 일으키지 않으며 가격이 저렴한 아연을 음극 활물질로 사용하고 공기 중의 산소를 양극 활물질로 사용함으로써 종래 전지 중의 납, 수은, 니켈 등 유해 화학 원소를 사용하지 않아 전지 생산원가를 대폭 감소시켰을 뿐만 아니라 환경오염 문제도 해결하였다. 공기 중의 산소는 수시로 취해질 수 있을 뿐만 아니라 전지 내부의 공간을 차지하지 않아 같은 체적과 무게에서 공기아연전지는 더욱 많은 양의 반응 원료를 축적할 수 있어 종래 전지보다 에너지량이 더 많고 원가가 더 낮은 특징을 가지고 있다. 공기아연전지는 용량이 크고 에너지량이 크며 작업 전압이 안정적이고 사용 수명이 긴 특징을 가지고 있을 뿐만 아니라 원자재가 풍부하고 가격이 합리적인 특징도 가지고 있어 21세기 이상적인 신형 전지가 될 것이라고 관련 전문가들은 전망하고 있다.

2. 수퍼철 전지^[3]

철을 이용하는 새로운 계열의 가볍고 환경 친화적인 알칼리 전지가 개발되어 현재 상용화되어 있는 알칼리 전지보다 약 50% 이상의 에너지 저장 효율을 보여 준다는 사실이 알려졌다. 수퍼철(super-iron) 전지라고 명명된 이 전지는 Technion-Israel Institute of Technology(Haifa)의 화학 교수 Stuart Licht, 연구조교 Baohui

Wang 그리고 포스트닥터 연구원 Susanta Ghosh에 의해서 처음 개발되었다.

재충전이 필요 없는 알칼리 전지가 현재 전자 제품에 이용되고 있으며 아연 양극과 산화망간 음극을 이용하며 전해질로는 수산화칼륨을 이용한다. 이러한 기존의 전지와 새로운 전지의 차이점은 전지의 가장 무거운 부분 즉, 산화망간 음극을 수퍼철이라는 생소한 물질로 대체한 것이라고 한다. 수퍼철은 대부분의 과학자들에게조차 잘 알려지지 않은 물질이라고 한다. Licht 연구팀에 의하여 개발된 이 새로운 축전지는 K₂FeO₄ 또는 BaFeO₄ 같은 물질을 함유하고 있는 Fe⁶⁺을 음극 물질로 이용한다고 한다. 여기에 채용되는 원자가가 6가 상태인 철은 매우 희귀한 것으로서 원자가 상태가 3가 이상인 철은 매우 드물다고 한다. 과거에는 페레이트(ferrite)라는 단어가 Fe²⁺, Fe³⁺ 그리고 Fe⁴⁺에 적용되었었으며 이 연구팀은 6가의 철을 함유하고 있는 전지를 수퍼철 축전지라고 명명하였다. 각 철 원소는 6개의 전자를 잃음으로써 통상적이지 않은 대량의 전력을 저장할 수 있게 된다는 것이다. 이 전지가 소모되어 가는 동안 Fe⁶⁺는 3개의 전자를 얻고 Fe³⁺으로 환원되며 이때의 산화환원 반응식은 다음과 같다.



<그림 2> (a) 수퍼철 전지와 망간전지의 비교 및 (b) 수퍼철 전지의 방전 곡선 및 내부구조

축전지의 소모 생성물은 철 산화물 Fe_2O_3 를 함유하고 있으며 다른 물질에 비하여 상대적으로 높은 환경 친화력을 갖는다고 한다.

전지 전문가들은 이 발견이 과학적으로 중대한 진전이라고 평가했다. 그들은 전지업체들이 이에 대해 적극 관심을 보일 것이며, 아마도 기존의 전지는 이 새로운 종류의 전지로 대체되기 시작할 것으로 전망한다. 철 화합물을 전극 물질로 채용함으로써 축전지의 가격을 낮추었을 뿐 만 아니라 환경 친화적인 성질을 갖게 되었으며 이 화합물들은 산화망간의 대체재로서 매우 큰 관심을 불러일으킬 것이라 예측된다. 그리고 이 기술이 상업화 될 수 있다면 비재충전 축전지를 이용하는 휴대용 전자제품 시장의 판도에 크게 영향을 미쳐 장치의 소형화 및 무게 감량에 크게 기여할 것으로 전망된다.

그러나 Fe^{6+} 화합물은 화학적 안정성에 문제가 있어 궁극적인 상업화에는 많은 어려움이 따를 것이라고 지적되고 있으나 Fe^{6+} 화합종의 안정성에 관해서, 수개월 동안 농축 수산화칼륨 전해질 용액 속에 과량의 K_2FeO_4 가 안정한 형태로 잔류함을 확인하고서 이 화합물이 수년동안 안정한 형태로 유지될 것이라는 결론에 도달하고 있다. 단 이 안정성은 분해 촉매로 작용하는 Ni^{2+} 및 Co^{3+} 가 존재하지 않는다는 전제 하에서의 이야기이다.

이 화합물의 또 다른 장점으로서, 수퍼철은 매우 높은 도전성을 가지고 있으므로 이를 이용한 수퍼철 축전지는 순간 전력 방전량이 높은 전자 장치에 적합하다는 것이다. 예를 들면 AAA 크기의 기존 알칼리 전지는 고 방전속도에서 수분간 밖에 지속되지 못하지만 같은 조건에서 수퍼철 알칼리 전지는 한 시간 이상을 버틴다는 것이다. 그리고 이 수퍼철 축전지는 금속 수소화합물 전지와 호환성이 있다고 하는데, 즉 Fe^{6+} 음극과 금속 수소화합물 양극을 이용하여 만든 전지는 재충전 능력이 약 75%로서 매우 효율적이라는 것이다. 현재 이 수퍼철 전지의 연구는 단일 이용 축전지에 초점이 맞추어져 있지만 Fe^{6+} 양극의 기술적 연구는 지속될 것이고 다른 Fe^{6+} 음극의

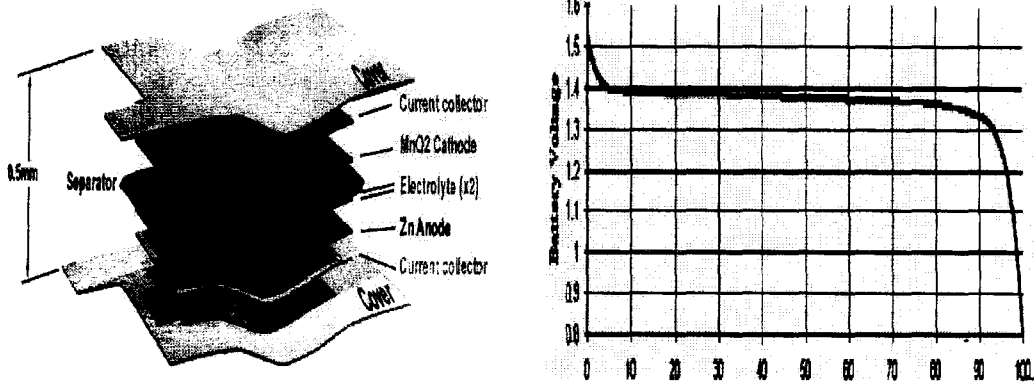
부가적 저장 능력에 대한 조사, 안정화 그리고 화학적 배일을 벗기는 연구가 필요하며 여기에는 몇몇 Fe^{6+} 염 화합물을 포함하는 고용량 Fe^{6+} 음극 조성물들이 포함된다. 수퍼철 전지는 아직 개발단계에 있으며 빠른 시일 내에 소비자제품으로 판매되지는 않을 것이다. 그러나 연구원들이 CD플레이어나 플래시라이트 등에 사용 가능한 수퍼철 전지를 발명하였으며, 앞으로 이 전지는 캠코더, 랩탑컴퓨터, 전기자동차 등에 사용할 수 있는 이차전지 형태로 개발될 예정이다.

3. 종이 전지

종이 전지는 종이 또는 플라스틱 기판 위에 제조된 전지로서 1차 전지의 일종이다. 스마트카드, 생화학 진단용 등 다양한 응용성이 있으며, 이 전지의 구성은 $Zn-MnO_2$ 를 양극 및 음극으로 사용하는 건전지이다. 모든 제조 공정은 공기 중에서 표준 실크스크린 페인팅 법으로 만들어지며 1.5V 전압에서 작동되는 1차전지이다. 용량은 약 $2.5mAh/cm^2$ ($15.6mAh/inch^2$)이다. 평탄한 방전 곡선커브를 나타내며 피크 펄스 방전시에는 $5mA/cm^2$ (0.1msec)이며, 최고내부저항은 15Ω 이며, $-20^\circ C$ 에서 $+60^\circ C$ 범위에서 작동한다^[4].

4. 마이크로 전지

최근 microelectronics 산업이 급속히 발전함에 따라 초소형의 정밀 기계 부품 소자들에 대한 관심이 집중되고 있다. 일반적으로 초소형 정밀 기계 부품 소자를 통칭하여 MEMS (microelectromechanical system) 소자라고 하는데 전기 및 기계 부품 등을 극소형으로 일체화하여 제조한 소자를 말한다. MEMS 소자는 각종 정보기록소자, 소형 센서, 의료용 바이오 테크놀로지 기기 등에 사용이 기대되고 있으며 21세기의 새로운 산업분야로 각광 받고 있다. 그러나 MEMS 소자의 경우 그 크기가 매우 작기 때문에 기존의 벌크(bulk)형 전원으로 사용하기 힘든 문제점이 있다. 따라서 극소형의 MEMS 소자와 hybridization 또는 surface mounting되어 사



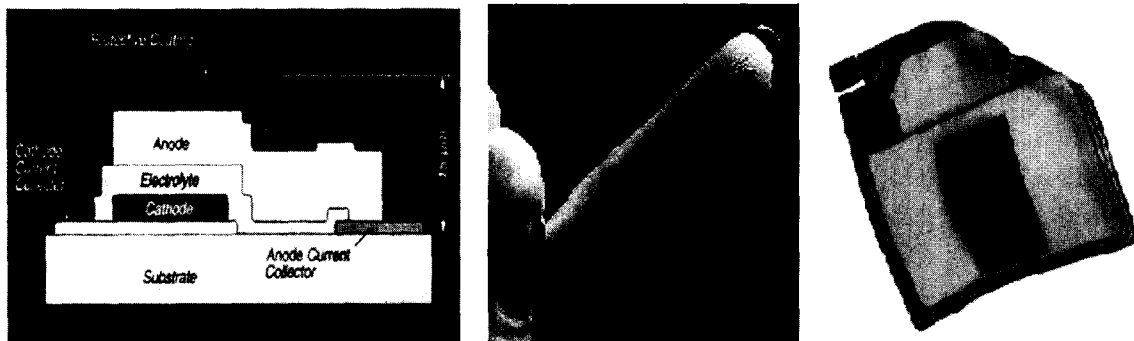
〈그림 3〉 (a) 종이전지의 구조 및 (b) 종이전지의 방전곡선

용될 수 있는 극소형전지(microbattery)의 개발이 MEMS 소자를 실용화시키는데 있어 핵심 요소로 주목받고 있다. 이 같은 극소형의 전지는 기존의 벌크형 전지제작에 사용되어 온 후막(thick film)법으로는 제조가 힘들며 박막(thin film)공정을 사용해야 하므로 일반적으로 박막전지(thin film battery)라 불린다. 박막전지의 구성은 일반 전지와 마찬가지로 양극, 전해질, 음극으로 이루어진다. 현재 연구되어지고 있는 박막전지는 주로 리튬 2차전지와 동일한 구조를 가진 것으로 전하집전체가 있는 기판 위에 양극박막, 전해질박막, 음극박막을 순차적으로 증착시켜 제조하게 된다.

현재 양극물질로는 LiCoO_2 , LiMn_2O_4 , V_2O_5 박막 등이 많이 연구되어 왔으며 최근에는 고용량을 가진 층상 Mn계 산화물을 박막화하여 사용

하려는 노력이 진행되고 있다. 전해질로는 주로 Li_3PO_4 타겟을 질소 분위기에서 스퍼터링시켜 제조한 LiPON ($\text{Li}_{3.3}\text{PO}_{3.9}\text{N}_{0.17}$)이 사용된다. 음극물질로는 리튬박막을 많이 사용하나 최근에는 SiTON (Silicon-tin oxynitride), Sn_3N_4 , Zn_3N_2 , Si계열 기타산화물, 또는 아예 음극부분에 전하집전체만을 사용하고 음극물질을 사용하지 않는 리튬이 없는 구조로 제작하기도 한다.

주로 극소형의 소자에 전원을 공급하기 위한 목적으로 사용된다. 대표적으로는 MEMS 기술을 이용한 극소형 센서, micro vehicle, 군사용 소형로봇 등에 사용이 가능하며 최근 각광을 받고 있는 캡슐내시경, DNA 진단 칩과 같은 의료용 기구와 스마트 카드 등 21세기 생활의 편리함을 가져다 줄 수 있는 많은 분야에 적용될 것으로 예상되고 있다^[6].



〈그림 4〉 (a) 마이크로 전지의 구조, (b) 마이크로전지 예들

5. 초고용량 캐패시터¹⁶⁾

캐패시터(capacitor)는 일명 콘덴서(condenser)라고도 하며 전기를 일시적으로 저장하는 역할을 하는 축전기를 말한다. 캐패시터는 서로 절연된 두 개의 평판전극을 접근시켜 두 전극 사이에 유전체를 끼워 넣고 인력에 의해 전하를 대전하여 축적하는 부품으로 두 개의 도체로 둘러싸인 공간에 전하와 전계를 가워 정전용량을 얻고자 할 때 이용된다. 초고용량 캐패시터는 소위 슈퍼 캐패시터(supercapacitor), 울트라 캐패시터(ultracapacitor), 파워 캐패시터(powercapacitor), 골드 캐패시터(goldcapacitor), 파워 캐쉬(power cash)라는 이름으로 많이 알려져 있으며 매우 큰 용량을 지닌 캐패시터를 지칭하는 것이다.

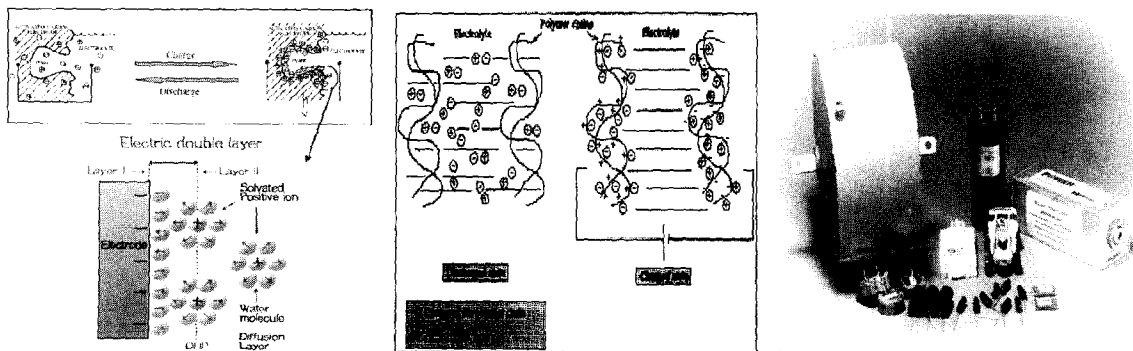
전기이중층 캐패시터(electric double layer capacitor, 이하 EDLC)의 기본개념인 이중층 개념은 1879년 Helmholtz에 의해 최초로 제안되었다. 그후, 1910년 Gouy, 1913년 Champman,

1924년 Stern 등에 의해 이론적으로 발전해 왔다. 최초의 특허는 1957년 GE사의 Becker가 높은 표면적을 가진 탄소를 이용한 캐패시터에 대한 것이 첫 번째 특허였으나 상품화는 되지 못했다. 그후 1969년에 일본의 SOHIO사에 의해 첫 번째로 시장에 출시할 제품이 만들어 졌다. 1978년 마츠시타 전기는 활성탄을 분극성 전극으로 이용, 유기계 전해액을 사용해서 제품화했으며, 세계 각국에서 전기이중층 캐패시터의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이후 1990년대에 와서 혼성전기자동차에 대한 관심으로 전기화학 캐패시터가 유명해졌다.

초고용량 캐패시터는 리튬 2차전지에 비해 용량은 적지만 고출력이 가능하고 수명이 반영구적이라는 장점 때문에 보조전원으로 혹은 하이브리드하여 타 전원의 문제를 보완해주는 역할을 할 수 있다. 전기화학 캐패시터는 파워밀도 면에서 전지의 성능을 향상시킬 수 있으며 또한 적당한 장치와 결합하였을 때 에너지밀도 면에서 캐패시

<표 1>

구 분	작동원리	전극재료	비축전용량	비 고
전기이중층 캐패시터	두 전극사이의 이온 분리	탄소류	150~200 F/g	- 메모리백업용 - 생산중
산화환원 캐패시터	파라데이반응 (산화환원) 과정	금속산화물	100~760 F/g	- 고가의 전극물질 - 높은 내부저항
		전도성고분자	100~500 F/g	- 도핑의 어려움 - 전극물질 제한적임



<그림 5> (a) 전기이중층 캐패시터의 작동원리, (b) 가상 캐패시터의 작동원리, 및 (c) 초고용량 캐패시터

터의 성능을 향상시킬 수 있다. 초고용량 캐패시터는 1차 및 2차 전지에 비해 높은 파워 밀도, 장수명, 높은 재충전효율, 고충전 효율, 쉬운 충전 상태의 검출, 비메모리효과, 우수한 저온특성, 저가, 및 좋은 안정성과 같은 많은 장점들을 가지고 있다. 따라서 초고용량 캐패시터는 전지의 단점을 보완 할 수 있는 좋은 특성들을 가지고 있기 때문에 수 년 내에 실용화 보급될 전기자동차에 전지와 함께 조합된 부하조절 (load leveling) 기능의 초고용량 캐패시터가 사용될 것으로 예상된다. 또한 계속적인 신소재 개발에 의하여 2000년대 초에는 전지 수준의 에너지 밀도를 가지는 초고용량 캐패시터가 개발되고 실용화 보급될 것으로 전망된다.

초고용량 캐패시터는 EDLC와 산화환원 캐패시터 (redox capacitor) 혹은 가상 캐패시터 (pseudocapacitor)라고 부를 수 있는 두 형태로 분류될 수 있다. 이들의 작동원리와 전극재료 및 비축전용량 등을 <표 1>에 정리하였다.

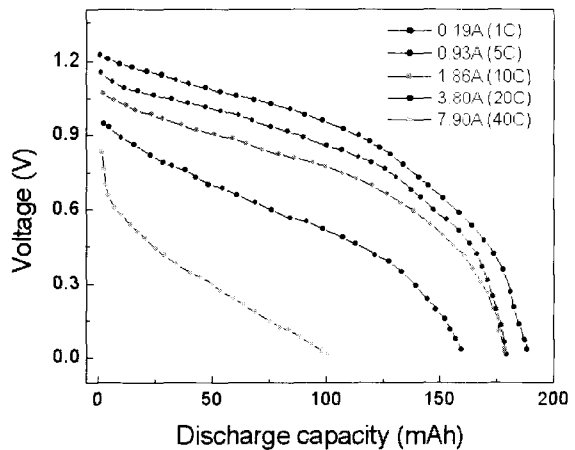
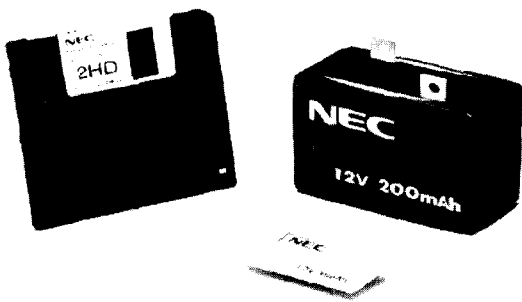
6. 프로톤 전지^[7]

최근 몇 년 동안 휴대전화와 같은 응용에 있어서 펄스 부하에 상응하는 장치로서, 전기 그리고 연료 전지 자동차의 피크파워를 위한 장치들이 등장하기 시작했다. 이런 장치중 전기이중층 캐패시터는 비록 그것들이 높은 에너지 밀도와 긴

수명 사이클 그리고 생태학적 이점을 제공하기는 하지만 기존의 Ni-MH 전지나 리튬이온전지 에너지 밀도의 100분의 1에 지나지 않는다. 이 문제를 해결하기 위해, 일본의 한 기업은 전기이중층 캐패시터의 10배 또는 납전지에 상응하는 파워를 제공하는 높은 에너지 밀도의 전기 화학적 장치를 개발하기 위해 양성자 교환형태의 전도성 고분자 전극을 이용했다.

이것이 프로톤전지인데, 이것은 전극 재료에 프로톤(수소이온) 교환형의 전도성고분자를 채용한 새로운 타입의 중합체 전지이다. 리튬 이온 2차전지와 같은 기존 2차전지에 비해 단시간에 대전류 충방전, 급속 충전 등의 전지 특성이 뛰어난 뿐 아니라 사이클 특성이 좋은 특성 때문에 기기에 조합했을 때 전지 교환이 불필요할 정도로 수명이 길다. 또한 초고용량 캐패시터와 비슷한 작동원리를 이용하면서 전하운반체로 프로톤을 사용하는 전지로서 새로운 타입의 중간체(리튬 2차전지와 초고용량 캐패시터의 중간적 전기용량과 출력속도) 전지이다.

이 전지는 양극으로는 폴리인돌 (polyindole), 폴리페닐퀴놀살린 (poly(phenyl quinoxaline)), 전해액으로는 산 수용액(주성분은 황산 수용액)을 사용하고 PET 필름에 합판한다. 양극 활물질 모두 전도성고분자이며 음극은 전자 도전성을 보충하기 위해 도전 보조 제인 카본을 기계적으로



<그림 6> (a) 프로톤전지 예와 (b) 프로톤전지의 방전 곡선

혼합하는 것이 아니라 폴리페닐퀴논살린을 카본 표면에 피복한 복합 전극을 사용한다.

프로톤전지의 특징으로는 사용하기 쉬운 장치라는 것이다. 양성자는 배타적인 전자 운반체이기 때문에 납 전지에 비해 20배 이상 높은 큰 전하 방전을 제공한다. 양성자는 전지 유동체에서 더 빠른 전달 속도를 보이기 때문에 더 빨리 충전될 수 있다. 그리고 오염 물질로부터 자유롭다. 금속이나 할로젠과 같은 물질이 사용되지 않았기 때문에 장치의 환경적 부하가 감소된다. 또한 에너지 밀도가 납전지 만큼 높다. 양성자를 이용해 얻은 산화 환원 반응은 전기이중층 커패시터의 10배의 에너지 밀도와 납전지와 비슷한 수준의 에너지 밀도를 제공한다. 전기이중층 커패시터 등과 같이 정전압 대전류 충방전이 가능하고 용량도 2차전지와 대등하다. 특히 사이클 특성은 1만회, 충전시간도 충분하여 기존 2차전지의 성능보다 크게 앞설 뿐만 아니라 대전류에서의 충전이 가능하기 때문에 충전시에 전류를 제어하는 회로가 필요없다. 또한 구성 재료도 환경에 부하가 적다고 한다.

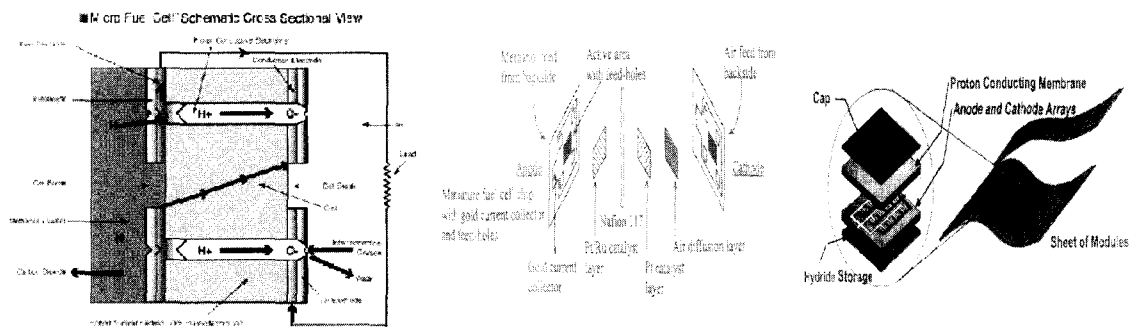
이런 특성들은 다음 보기와 같은 응용을 가능하게 할 것으로 기대된다. 이전 전기화학적 장치에는 잘 맞지 않았던 on-board power 공급과 휴대용 메모리 등과 같은 백업 전지에도 응용할 수 있다. 상품으로서 이 기술은 신용카드 모양의 얇은 포장 형태 그리고 전통적인 납 전지 형태인 각기둥 포장으로 이용될 것이다. 전기 운송 수단

그리고 연료 전지에서의 응용은 좀 더 미래에 이용될 기술이다.

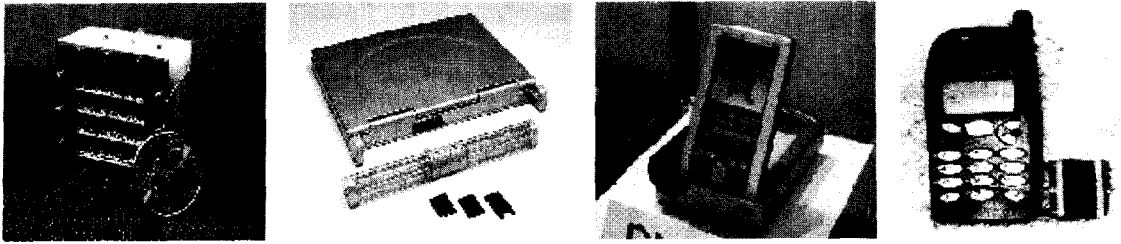
7. 소형 연료전지^[8]

전 세계적으로 휴대형 전자정보통신기기의 판매는 일반 소비자들뿐만 아니라 산업계 전반 및 의료기기 분야 등에서 꾸준히 증가하는 추세이며 성능 면에서도 갈수록 휴대가 간편하고 무선화 고성능의 전원공급보다 강력한 기능들을 용구하고 있다. 이러한 추세에 대응하기 위한 대안으로서 연료전지는 대규모 발전소부터 소형전지까지 많은 응용분야를 가지고 있으며, 특히 소형전지 분야에 있어서는 기존의 2차전지의 단점으로 제시되는 수명, 에너지 저장량 등을 극복할 수 있는 대안으로 부각되고 있는 실정이다. 또한 최근에는 MEMS와 나노기술의 발전으로 소형연료전지의 상용화에 걸림돌이 되고 있는 소형화 등의 문제해결을 위한 기술개발이 더욱 촉진될 것으로 보인다.

소형 연료전지는 노트북 PC, 휴대전화기 등 이동형 정보통신 및 가전기기에 적용할 수 있도록 소형으로 개발된 연료전지로서 알코올 연료로부터 추출된 수소와 공기중의 산소의 화학반응을 통해 전기를 생산함으로써 기존 전지처럼 재충전할 필요가 없는 데다 에너지 밀도가 기존 2차전지 보다 훨씬 높아 사용시간도 무려 6배 이상 긴 것으로 알려져 지금의 2차전지를 대체할 차세대 이동용 전원 공급장치로 부각받고 있다.



<그림 7> (a) 마이크로 연료전지구조(Manhattan Scientific, Inc.), (b) 마이크로 연료전지구조(Minnesota University), (c) 마이크로 연료전지구조(Sandia National Lab.)



〈그림 8〉 (a) 소형연료전지의 크기, (b) 노트북에 장착할 수 있는 소형 연료전지, (c) PDA에 탑재된 소형 연료전지, (d) 이동전화기에 탑재한 소형 연료전지

현재 휴대형 전원으로 개발되고 있는 소형 연료전지는 메탄올을 주원료로 사용하는 DMFC (direct methanol fuel cell)와 수소를 그대로 사용하는 PEMFC (polymer electrolyte membrane fuel cell) 등 2가지 종류이며 초기엔 PEMFC 방식이 주로 개발되어 왔으나 2000년 이후엔 소형화와 안정성 면에서 다소 유리한 DMFC 방식이 개발되어 왔다. 그러나 DMFC의 단위 면적당 전기 방출량이 수소를 직접 사용하는 PEMFC보다 크게 뒤쳐지는 데다 주원료인 메탄올(액체)이 고분자 막을 통과하는 크로스오버(crossover) 현상과 촉매피독 문제 등 기술적인 한계가 드러나면서 최근 일부업체에선 수소저장법과 가격을 최소화할 수 있는 새로운 PEMFC에도 다시 관심을 보이고 있다.

도시바, NEC, 히타치 및 소니 등 일본주요전자업체들은 휴대형 IT 제품에 적합한 메탄올 연료전지를 개발하는데 박차를 가하고 있다. 이들 업체들은 이미 샘플제품의 개발을 끝내고 파워밀도와 크기 내구성 등에 대한 추가연구를 통해 이르면 2003년부터 상용화 제품을 내놓을 계획인 것으로 알려지고 있다.

8. 염료감응 태양전지⁹⁾

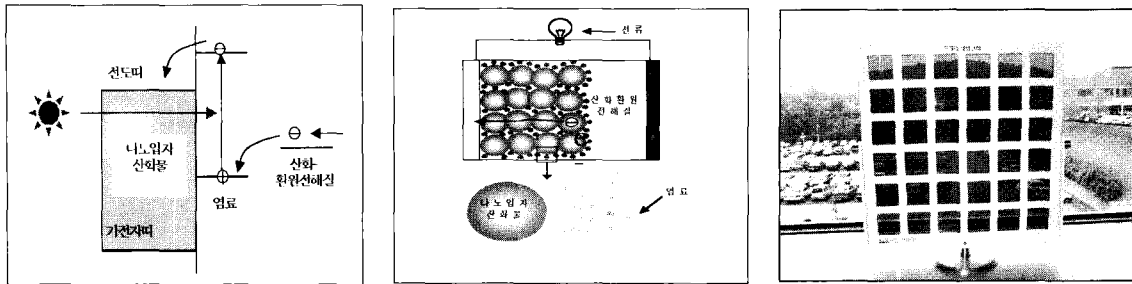
태양전지는 구성하는 물질에 따라 실리콘, 화합물반도체와 같은 무기소재로 이루어진 태양전지, 유기 전자주계(donor)-받계(acceptor)로 이루어진 태양전지 그리고 나노구조 전극에 염료가 흡착된 염료감응 태양전지로 나눌 수 있다. 또한 태양전지의 구조에 따라서는 반도체 접합형(p-n junction)과 반도체/액체 광전기화학형(photo-

electrochemical) 태양전지로 나눌 수 있다. 이 중 최근 차세대 태양전지로 각광을 받고 있는 염료감응 나노구조 광전기화학 태양전지(dye-sensitized photoelectrochemical solar cell)에 대한 연구결과 및 개발 동향을 소개하고자 한다.

1991년 스위스 Gratzel 그룹에서 발표한 염료감응 나노입자 산화물 광전기화학 태양전지는 에너지 변환 효율이 비정질 실리콘 태양전지에 버금가는 높은 에너지 변환 효율과 함께 매우 저렴한 제조단가로 인하여 연구계 및 산업계의 비상한 관심을 모으고 있다.

〈그림 9(a)〉와 〈그림 9(b)〉는 염료감응 나노입자 산화물 태양전지의 작동 원리를 보여주고 있다. 표면에 염료 분자가 화학적으로 흡착된 n-형 나노입자 반도체 산화물 전극에 태양 빛(가시광선)이 흡수되면 염료분자는 전자-홀 쌍을 생성하며, 전자는 반도체 산화물의 전도띠(conduction band)로 주입된다. 반도체 산화물 전극으로 주입된 전자는 나노입자간 계면을 통하여 투명 전도성막으로 전달되어 전류를 발생시키게 된다. 염료 분자에 생성된 정공은 산화-환원 전해질에 의해 전자를 받아 다시 환원되어 염료감응 태양전지 작동 과정이 완성된다. 〈그림 9(c)〉는 염료감응 나노입자 산화물 태양전지로 이루어진 투명 태양전지 창을 보여 주고 있다.

나노결정(1520 nm 크기) wide band-gap 산화물을 사용하는 이유는 입자 크기 감소에 의한 비표면적 증가로 보다 많은 양의 광감응 염료분자를 흡착시킬 수 있기 때문이다. 입자의 크기가 수 나노미터 이하로 지나치게 작게 되면 염료 흡착량은 증가하지만, 반면 표면상태 수(number



〈그림 9〉 (a) 광전기화학 염료감응 나노입자 산화물 태양 전지 작동 원리, (b) 염료감응 나노입자 산화물 광전기화학 태양 전지 구조, (c) 가시광선 영역에서 최대 60% 투과도를 보이는 ETRI-투명태양전지 창

of surface states)가 증가하여 재조합 중심 (recombination center)을 제공하게 되는 단점도 가지고 있다. 따라서 입자크기 및 형상을 조절하는 기술도 염료감응 태양전지에서 중요한 연구 테마 중의 하나가 될 수 있다. 지금까지 연구되어온 산화물은 TiO_2 , SnO_2 , ZnO , Nb_2O_5 등이다. 최근에는 core-shell 나노구조를 이용한 태양전지 연구도 활발하다. 염료감응 나노구조 태양전지용 염료는 루테튬계 유기금속화합물, 유기 화합물 그리고 InP , $CdSe$ 등의 무기화합물이 알려져 있다. 지금까지 알려진 염료중에는 루테튬계 유기금속화합물이 가장 우수한 것으로 보고되고 있다.

최근 개발 동향은 액체전해질을 대체하기 위한 고분자 전해질 개발, 정공 전도체를 이용한 고체형 개발 등에 집중하고 있다. 또한 염료감응 나노구조 태양전지는 투명한 태양전지 제조가 가능하기 때문에 기존의 태양전지에 비해 응용 범위가 넓을 것으로 기대된다.

III. 먼 미래형전지

1. 생체연료 전지^[10]

대사작용으로부터 생성되는 에너지에 의해 전력을 생산하는 축소형 생체연료전지 (miniature biofuel cell)가 체내 주입된 의료 장치에 전원을 공급하게 될 날이 오게 될 것 같다. 즉, 인체

는 체내에 주입된 전자 장치에 자체적으로 전력을 공급하게 될 것이라는 것이다. 화학자들은 몸속에 있는 유체로 자신의 건강을 체크하기 위한 센서를 구동시킬 수 있는 소형 전지를 개발하고 있다. 생체연료 전지는 보통 대사과정에서 글루코오스 (glucose)가 산소와 반응할 때 생산되는 전기에너지를 바로 전환시킨다. 그것은 글루코오스를 함유한 체내 유체와 맞닿은 피부나 척수 아래 바로 삽입할 수 있다. 생물학적 연료를 이용하는 전지의 개념은 새로운 것은 아니다. 글루코오스-산소 반응으로부터 전력을 만드는 장치는 거의 40년 전에 이미 만들어진 바 있다. 그러나 의료용으로 이용하기 위해서는 그런 전지들이 아주 작아야 하고, 체온과 혈액의 염분 농도와 산도조건에서 작동하면서도 충분한 전력과 전압을 만들 수 있어야 한다.

University of Texas at Austin의 Adam Heller 교수 연구팀이 만든 생체연료전지는 길이 2cm, 폭 0.007mm인 2개의 탄소섬유로 구성되어 있다. 그리고 이 두 탄소섬유는 글루코오스 연소 (산화) 화학반응을 진작시키는 촉매로 코팅이 되어 있다. 이 화학반응은 양쪽으로 나뉘어 2개의 반쪽 전극반응으로 일어난다. 한 전극은 고분자와 글루코오스 산화효소 (glucose oxidase)라고 불리는 효소로 코팅이 되어 있는데 이 글루코오스 산화효소가 글루코오스로부터 전자들을 빼앗는다. 그리고 고분자는 효소와 탄소섬유간에 전기적 연결을 시켜 준다. 그리고 또 다른 전극에서는 고분자 전선으로 연결된 또 다른 효소가 용해되어 있

는 산소에 전자들을 공급한다. 반응이 계속 진행되면, 전자들이 전기적 회로를 따라 흐르게 되어 전류가 생성된다. 이 전지는 보통 혈액의 온도 (37°C)와 약알칼리성에서 작동을 한다. 그리고 생산하는 전력은 거의 손목시계 전지와 비슷한 수준인 약 $1.9 \mu\text{W}$ 이다. 이 정도면 당뇨병 모니터링용 글루코스 센서를 구동할 수 있을 것이다.

그러나 이는 인공심장에 필요한 전력은 되지 못한다. 이 장치는 아직 너무 약하고 너무 수명이 짧은 것이 현재로서는 개선해야 할 점이다. 현재 이 전지는 하루에 6% 정도씩 전력이 감소된다. 그래서 이러한 생체연료 전지들은 당장에는 연구용 도구로 사용될 수 있을 것이다. 예를 들어, 곤충이나 동물들에 부착하여 며칠 동안에 걸쳐서 행적을 추적하는 장치를 구동시키는데 적합할 것 이라는 것이다. 그리고 사람의 체액은 이 연구자들이 현재까지 사용한 모델 액체(생리적 완충용액)들보다는 훨씬 더 복잡하기 때문에 실제 체내에서는 전극반응이 더 복잡하게 진행될 수도 있을 것이다. 이 생체연료 전지가 의료용으로 활용되기 위해서는 아직도 화학작용을 더 연구해야 할 것으로 예상된다.

2. 체온을 이용한 전지

미국의 ADS(Applied Digital Solutions)사는 체온을 이용해 발전하는 초소형 전지를 개발했다고 발표했다. 직경 1.27cm의 크기로 1.5V, $10 \mu\text{A}$ 의 전력을 발생시키며 반영구적으로 작동되는 이 전지를 벌써 상품화하기 위한 준비가 진행되고 있다. 현재 의료분야에서는 체내에 심어 사용하는 형태의 의료 기기와 항상 신체에 장착해 사용하는 의료 기기가 널리 이용되고 있어 환자의 건강 관리에 없어서는 안 되는 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 기기가 1일 24시간 계속적으로 사용되어야 하는 경우도 적지 않기 때문에 전원교체 등을 걱정하는 일이 없이 안정된 전지의 성능이 요구된다. 여기에 새롭게 발표된 체온으로 발전하는 초소형 전지가 이용된다면 이는 이 분야에서 획기적인 진전을 의미하는 것이다.

또 ADS사는 전지의 성능 면에서 3V의 전력

을 사용할 수 있도록 개발하고 있다. 손목시계와 같은 일반적인 전자 기기나 미국 Digital Angel은 다음 달부터 서비스를 개시하는 GPS 기능을 내장해 사용자의 현재 위치나 건강 상태를 와이어 응답 통신 기기를 이용하여 향후 실시간으로 송신하는 시스템 등에 응용될 수 있을지 검토되고 있다.

‘콘센트에 연결하지 않아도 전력을 얻을 수 있도록 한다’는 목표 아래 지금까지도 보행 에너지에서 발생하는 발전이나 공기와 화합해서 발전하는 메탄올과 물의 혼합 액체 연료 등 수많은 제품이 개발됐다. 하지만 체온으로 안정된 발전을 할 수 있는 이번 전지 아이디어는 매우 흥미로운 것이며 이 전지가 실제로 활용될 수 있는 제품으로 등장할지 기대된다.

3. 원자력 전지

방사성 동위원소를 연료로 사용하는 전지가 개발되어 향후 원격 센서나 여타 미세 시스템에 이상적인 전원공급원으로 쓰일 것으로 기대된다. 연구자들은 모래나 적혈구 크기의 시스템을 만들기 위해 기계와 부품의 소형화 연구를 지속해 왔다. 하지만 이러한 시스템을 가동하기 위해 필요한 전지는 실리콘 기계만큼 소형화되지는 못했다. MEMS에 동력을 공급하는 문제를 해결하기 위해 소수의 연구자들이 기존의 화석 연료와 전기화학 전지에서 핵에너지로 미세 전지 에너지원을 전환하려는 시도를 펼치고 있다.

위스콘신 대학의 원자력공학 부교수인 James Blanchard는 지난 3년간 MEMS용 핵 미세전지의 프로토타입을 개발하는 것을 목적으로 하는 45만 달러 규모의 미국 에너지부의 프로젝트를 수행해 왔다. Blanchard와 Lal은 미세한 양의 니켈의 방사성 물질 형태인 ^{63}Ni 를 자신들이 개발한 프로토타입 전지에 사용했다. 이 물질은 붕괴되면서 현재 1nW를 내는 고에너지 전자인 베타 입자를 발생시킨다. 발명자들은 하나의 β 입자가 $1 \mu\text{W}$ 를 발생시킬 수 있을 것으로 예상하고 있다.

전력원으로 방사능 동위원소를 이용하는 이러

한 종류의 기술은 1997년 발사된 나사의 Cassini 탐색기 등 대형 원자력 전지를 제조하기 위해 사용됐다. 기술을 소형화하는 것이 Blanchard의 목표였다. Blanchard의 프로토타입 중의 하나는 ^{63}Ni 을 용액에 녹여 미세하게 가공된 수로를 통과시키는 형태이며, 또 다른 것은 피라미드 형상의 실리콘 튼니 모양을 통과시킨다. β 입자에서 배출되는 상대적으로 낮은 에너지는 β 입자를 수집하는 반도체 장치에 손상을 미치지 않는다. 동위원소의 반감기는 102년으로서 장기 가동을 필요로 하는 분야에서 장점을 가지고 있다.

캘리포니아에 위치한 제트 추진 연구소의 물리학자인 Jean-Pierre Fleurial은 α 입자가 β 입자보다 훨씬 더 많은 에너지를 주지만, 몇 가지 프로토타입에서는 입자를 수집해 전력으로 변환시키는 반도체 다이오드에 손상을 가했다고 말했다. 그는 이 연구가 오랜 시간 동안 작동할 수 있으며, 효율적이고 혁신적인 설계안을 개발하는데 목적을 두고 있다고 말했다. 그는 α 입자가 강력한 전지를 만들 수 있다고 자신하고 있다. 그는 대부분의 동력원 기술이 쉽게 소형화되지 않지만, 이 기술은 소형화될 수 있다고 덧붙였다.

UC 버클리 Pister는 MEMS 기술을 이용한 무선 네트워크의 시험 가동에 미세 전지를 사용할 예정이다. Pister는 스마트 먼지(smart dust) 또는 네트워크화된 공기 중에 부유하는 실리콘 티끌의 발명자로서 이들이 온도, 습도, 광량 등의 정보를 측정, 전송하도록 설계하고 스마트 먼지의 동력원으로 트리튬 방사성 동위원소를 이용하는 것을 고려하고 있다. 그는 원자력 전지를 스마트 먼지 크기로 소형화시키는 것에 흥미를 표명하고 있는 Trace Photonics Inc.와 접촉해 왔다.

미국 Cornell 대학의 한 연구팀은 MEMS 기술을 사용, 수 십년 동안 작동이 가능한 1mm^3 크기의 전지를 만들었다^[11]. 그의 연구팀은 이 시범 전지의 크기를 더 줄여서 향후 MEMS의 전원으로 사용될 수 있도록 할 계획이다. MEMS 전지는 방사성 동위원소에 저장된 에너지를 미세한 캔티레버(한쪽 끝만 고정되어 있고 다른 쪽

끝에는 탐침이 붙어 있는 매우 가늘고 긴 지렛대 모양의 막대)의 물리적 운동(움직임)으로 직접 변환시켜서, 그 움직임이 MEMS 부품들을 직접 작동하게 하거나 회로를 위한 전기를 만들게 하였다. Lal 교수는 장기간에 걸친 모니터링 용도로 항상 켜져 있어야 하는 원격 센서나 여타 장비들에 매우 적합할 전지가 바로 이런 원자력 전지라고 한다.

구리로 만들어진 하나의 캔티레버를 ^{63}Ni 방사성 동위원소의 박막의 바로 위에 위치하도록 장착하였다. 방사성 동위원소는 붕괴하면서 ^{63}Ni 의 경우에 높은 에너지를 가진 자유 전자(β 입자라고 불림)들을 방출하게 된다. 이 자유전자(β 입자)는 다른 방사성 동위원소들이 붕괴되면서 방출하는 α 입자들과 감마선과는 대조적으로 생물에 해롭지 않다. 이 때 방출된 전자들을 구리 캔티레버가 축적하게 되어 음의 전하를 띠게 되는 반면, 마주보는 동위원소 박막은 양의 전하를 띠게 된다. 즉, 베타 입자들이 동위원소 박막으로부터 캔티레버로 전자의 전하를 전달하는 것이다. 이제 반대로 하전된 양쪽의 전하들은 캔티레버를 동위원소 박막쪽으로 휘게 만든다. 캔티레버가 점점 더 휘어 동위원소 박막에 닿는 순간 방전이 일어나고 전자들은 동위원소로 되돌아가게 되어 캔티레버는 원위치로 되돌려지게 된다. 따라서 방사성 동위원소가 붕괴를 지속하고 있는 수 십년 동안은 이 미세한 캔티레버는 아래위로 오르내리는 움직임을 계속 반복할 것이다.

원자력 전지는 놀라운 양의 에너지를 줄 가능성을 가지고 있다. 원자력 전지의 긴 수명도 장점 중의 하나이다. 무선 네트워크의 많은 응용분야는 뒤로 돌아가는 것을 원하지 않으며, 전지를 교환하기 위해 시트록(SheetRock) 밑을 파야만 하는 상황을 원하지는 않을 것이다. 이런 관점에서 영구적으로 사용 가능한 원자력전지에 대한 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다.

4. 유리전지^[12]

미국의 과학자와 러시아의 과학자로 구성된 연구팀은 전지 생산 분야를 포함해서 다양한 분야

에 사용 잠재력을 가지는 유리와 유사한 특성을 가지는 소재(glass-like material)를 개발했다고 발표했다. 오하이오주에 위치한 Dynalec의 연구진에 따르면, Dynaglass라고 명명된 이 소재는 일정한 압력에서 강철보다 내구성이 뛰어난 유연하고 매우 얇은 소재이며, 이 소재로 Dynalec 사는 물질 특허권을 획득한 바 있는 것으로 알려졌다. 현재 Dynalec사는 다양한 장치에 대해서 여러 가지 크기로 생산될 수 있도록 유리전지를 개발하고 있는 중이다.

유리전지는 저장 용량이 다른 기존의 전지보다 현저히 클 뿐만 아니라 재충전 사이클이 매우 긴 장점을 가지고 있다. 또한 전지의 무게가 가벼우며, 유지 보수의 필요성이 적으며, 생산 가격이 저렴하다는 장점도 있다. 이 전지의 최고의 자랑거리는 자연에 어떠한 영향을 끼치지 않는다는 것이다. 전지 안에 화학 물질을 집어넣지 않는다는 것이 주목할 부분이다. 전지로부터 황산과 납을 제거할 수 있으며, 일반 전지가 환경에 악영향을 미치는 등 부정적인 특성은 모두 없앨 수 있다. 또한 이 전지는 거의 영구적으로 충전이 가능하다.

5. 플라이휠 전지^[13]

전력의 가장 큰 단점은 저장하기가 어렵다는 것이다. 일례로 400파운드 무게의 자동차 전지는 겨우 1파운드 가솔린에 함유된 정도의 에너지만을 저장할 수 있다. 손쉽게 저장할 수 있는 석탄, 석유 등과는 달리 전기는 필요 시점에 필요한 곳에서 생산돼야 한다. 하지만 이러한 상황은 플라이휠 전지 덕분에 수요가 많은 시간에 사용할 수 있도록 훨씬 더 많은 에너지를 더 작은 공간에 저장하는 방향으로 변하고 있다. 매우 낮은 속도로 회전하는 구식의 플라이휠과는 달리 새로운 장치는 경량이며, 50,000rpm 정도의 초고속으로 회전한다. 이러한 고속을 견뎌내기 위해 새로운 플라이휠은 새로운 복합 물질로 제조되어 있으며, 금속간의 접촉점이 없는 자기 베어링으로 지지된다. 회전체는 정밀하게 제어되는 자기장에 의해 특정 위치에 고정된다. 현재 플라이휠 전지

는 전력의 질을 향상시키기 위해서 또는 운송, 군사용 및 항공우주 산업용으로 사용되기 시작했다.

플라이휠 전지는 에너지를 저장해 주 전력 공급이 부족해지는 경우나 변압기가 벼락 등의 사고에 의해 순간적인 정전이 발생한 경우 전력을 보충해줌으로써 전력의 질을 향상시킬 수 있다. 이러한 전지는 비상용 발전기가 가동되기까지의 시간 동안 전력을 제공할 수 있다. 결과적으로 정전 없는 전력의 공급이 가능해져, 갑작스런 전력 부족에 의한 컴퓨터의 다운 현상 등을 막을 수 있다.

플라이휠 전지는 고속 열차 및 버스 등을 포함해 다수의 하이브리드 차량 개념과도 잘 어울린다. 현재 이 장치들은 승용차용으로는 부적합하다. 승용차용은 현재 경제적으로 제조할 수 있는 크기보다 작은 크기의 플라이휠을 필요로 한다. 일반 상업용 차량과 같이 군사용 운송 장치들도 점차 전기로 움직이기 시작한다. 이러한 차량들은 전기 추진 방식을 채택하고 있을 뿐만 아니라 군사용 운송기의 경우, 전자 시스템 및 전자 무기 시스템에 상당히 의존하고 있다. 이러한 전기 시스템 중 몇 가지는 짧은 시간동안 엄청난 에너지를 사용하며, 이러한 에너지 소모는 기존의 전지를 파손시키지만, 플라이휠 전지는 이러한 형태의 임무에 적합하다. 플라이휠 전지는 궤도 비행 중인 우주선이 수집한 태양 빛을 저장하기 위해 사용된다. 플라이휠 전지는 기존의 전지보다 훨씬 효율적으로 에너지를 저장할 수 있으며, 또 다른 독특한 장점으로서 회전 로터가 우주선의 안정화를 위한 자이로스코프의 역할을 한다는 점이다.

그 외에 마츠시다 전자공업^[14]에 따르면 아래와 같은 전지가 먼 미래에는 가능할 것으로 예상했다.

- (1) 초소형 고체 전해질 전지 : 인공장기를 작동시키는 전지에 적합하며 영구내장형 인공신장의 전원으로 사용할 수 있다.
- (2) 고체 전해질 전지 : 전지재료에 수분을 사

용하지 않으므로 온도변화가 격심한 우주에서도 사용 가능 하다.

- (3) 바이오전지 : 몸 속에 넣어 혈액중 포도당을 이용하여 전기를 발생하는 장치로 의료분야에서 많은 활용이 기대된다.
- (4) 해수 전지 : 바닷물을 이용하여 전기 발생시키는 청정 전지이다. 해양조사선이나 수중스쿠터 등에 사용 가능하다.
- (5) 종이 전지 : 종이처럼 얇고, 원하는 모양대로 잘라서 편리하게 사용하는 전지이다.
- (6) 온도 전지 : 온도변화를 이용하여 전기를 발생하는 장치로 이것을 충전시켜 연중 언제나 사용할 수 있으며 매우 환경친화적 전지이다.

IV. 결 론

인류의 발전이 계속되는 한 에너지는 필요로 할 것이다. 석유가 에너지원으로 알려진 이후 많은 산업발전과 에너지분야에 다양한 변화가 이루어졌다. 현재의 에너지원으로 가장 중요한 석유도 얼마 남지 않은 상태가 다가오는 시점에서 미래의 새로운 에너지원에 대한 관심이 집중되고 있다. 미래의 에너지원으로는 태양에너지, 원자력 에너지 등 다양한 후보들이 거론되고 있으며 많은 연구자들에 의해 좋은 연구결과들이 쏟아져 나오고 있다. 이런 미래형 에너지 중에 이동성과 간편성 및 소형 에너지원으로서는 전지가 가장 주목받고 편리한 에너지원으로 여겨졌다. 그리고 전지 또한 많은 발전을 하여 현재의 리튬 2차전지와 같이 고성능의 휴대형 에너지원이 개발되어 사용하고 있다. 그러나 점점 다양하고 복잡한 작동과 성능에 부합하는 새롭고 간편하며 작은 에너지원이 필요하게 되었다.

이 같은 미래의 에너지원은 저렴한 가격, 경량성, 소형, 장수명, 저공해성, 재충전 가능, 고용량, 안정된 전압 유지, 장기간 보존 가능, 고온과 저온에서 일정한 성능 유지 등이 가능해야 할 것이

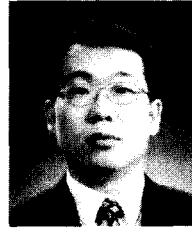
다. 이런 조건들을 만족시키면서 사용이 가능한 에너지원중 특히 전지형태의 에너지원을 중심으로 가까운 미래와 먼 미래로 구분하여 최근에 발표된 여러 가지 결과들을 중심으로 간단히 소개하고 정리하였다. 현재 개발중이거나 연구진행중인 가까운 미래형 전지는 지금도 상용화제품이 나오고 있거나 가까운 장래에 출현 가능성이 높은 것으로 생각된다. 또한 연구기간이 더욱 필요할 것으로 예상되는 먼 미래형 전지에 대해서도 그 전지의 원리와 최근의 초기 연구결과 등을 알아보았는데 아직 현실화하기에는 문제점이 상당히 남아 있어 앞으로도 많은 연구과정이 진척되어야 할 분야라고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] David Linden, Handbook of batteries, McGRAW-HILL, INC., 1.1~2.35, 1994.
- [2] David Linden, Handbook of batteries, McGRAW-HILL, INC., 38.1~38.45, 1994.
- [3] Stuart Licht, Baohui Wang, Susanta Ghosh, Energetic Iron(VI) Chemistry : The Super-Iron Battery, Science, 285, 1039, 1999.
- [4] Power paper, http://www.powerpaper.com/3_technology/1main.htm 참조.
- [5] J. B. Bates, N. J. Dudney, B. Neudecker, A. Ueda and C. D. Evans, Thin-film lithium and lithium-ion batteries, Solid State Ionics, 135(1-4), 33~45, 2000.
- [6] B.E. Conway, Electrochemical Supercapacitors, Plenum Publishing, New York, 1999.
- [7] N. Toshihiko, 電子材料(일본), 4월호, 34~39, 2001.
- [8] Manhattan Scientifics Inc., Micro fuel cell power devices, US patent 6326097, 2001년 12월 4일.

- [9] O'Regan, B. ; Gratzel, M. Nature, 353, 737, 1991.
- [10] Nicolas Mano, Fei Mao, Adam Heller, A miniature biofuel cell operating in a physiological buffer, J. Am. Chem. Soc., Vol. 124, 12962~12963, 2000.
- [11] Cornell news, <http://www.news.cornell.edu/releases/Oct02/cantilever.ws.html> 참조.
- [12] Journal of Metals, 4월호, 2002.
- [13] IEEE Spectrum 2002년 4월호
- [14] 마쓰시다 전지공업, <http://www.mbi.panasonic.co.jp/bf/fu/index.html> 참조.

저자 소개



柳 光 善

1986년 2월 연세대학교 화학과 이학학사, 1990년 2월 연세대학교 화학과 이학석사, 1996년 2월 연세대학교 화학과 이학박사, 1996년~1997년 : 한국전자통신연구원 Post-Doc, 1997년 : Tokyo

University of Agriculture and Technology VBL연구원, 1998년~현재 : 한국전자통신연구원 전 원소자팀, <주관심 분야 : 리튬 2차전지, 슈퍼 캐패시터, 고기능성고분자, 전도성고분자, 고분자물리화학>