

RFID/USN용 전원소자

Power Devices for RFID/USN

IT-에너지 융합부품소재 특집

이영기 (Y.G. Lee)	차세대에너지기술연구팀 선임연구원
김광만 (K.M. Kim)	차세대에너지기술연구팀 팀장
김종대 (J.D. Kim)	NT융합부품연구부 부장

목 차

-
- I . 기술의 개요
 - II . 국내 · 외 연구 동향
 - III . 특허 현황 및 예상 시장규모
 - IV . 맺음말

최근 연구가 활성화되고 있는 능동형 전파식별(RFID) 및 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 기술은 그 파급효과가 매우 크고 방대하여 향후 미래 핵심 산업으로 자리잡을 것으로 예상되고 있다. 이러한 RFID 센서 태그 및 USN 센서 노드의 구동을 위해서는 태그나 노드 규격에 적합한 초소형이면서도 경량이고 장수명성을 가지는 전원소자 기술을 확보하는 것이 매우 중요하다. 현재는 이러한 RFID/USN용 센서 태그/노드에 일부 적용되어 그 가능성을 인정받은 전원소자 중 대표적인 것으로 리튬 이차전지와 필름형 일차전지가 있다. 본 고에서는 RFID/USN용 전원소자의 기본 개념 및 규격, 그리고 요구조건 등을 소개하고 국내 · 외 연구 및 특허 동향과 시장전망 등을 분석하여 향후 기술개발을 위한 참고자료로 삼았으면 한다.

I. 기술의 개요

최근 활발한 연구가 진행되고 있는 능동형 전파 식별(RFID) 및 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 기술은 디지털 TV, 홈 네트워크, 지능형 로봇 등과 더불어 그 파급 효과가 매우 크고 방대하여 현재의 CDMA 기술을 능가하는 기술로서, 향후 미래 핵심 산업으로 자리잡을 것으로 예상되고 있다. 즉, 리더기를 통해 태그 내에 수록되어 있는 정보를 읽어내던 기존의 수동적인 기능에서 벗어나, 태그의 인식 거리를 획기적으로 증가시킬 뿐만 아니라, 태그 주변의 사물정보 및 환경정보까지 스스로 감지함으로써 궁극적으로는 네트워크를 통한 사람과 사물간의 통신에서 사물과 사물간의 통신까지 정보흐름의 영역을 확대할 수 있을 것으로 기대하고 있다[1].

이러한 RFID 태그 및 USN용 센서 노드의 구동을 위해서는 태그나 센서 노드 규격에 적합한 초소형이면서도 경량이고, 장수명성을 가지는 전원소자를 기용하여 완전히 독립된 자체 전원을 확보하는 것이 중요하다. 그러나 불행히도 이러한 태그나 센서 노드의 용도에 꼭 맞게 상용화된 전지는 아직까지 없으며, 일부 적용하고 있는 상용화된 전지도 단말기나 노트북 PC와 같은 소형기기의 성능에 초점이 맞춰져 있기 때문에, 이러한 기존의 전지를 태그나 센서 노드에 그대로 적용할 경우, 매우 제한적인 범위에서만 활용되거나 아예 성능을 만족시키지 못하는 등 문제가 발생되고 있다.

따라서 RFID/USN 디바이스에 적합한 새로운 전원소자의 개발이 필요한 시점이다.

수동형 태그에 비해 인식거리를 확장한 전지지원형 태그나 주변 환경을 감지하는 센서 태그의 경우 작동 전압이 1.5 V 이상을 요구하고 있다. 따라서 이에 적용되는 전지도 1.5 V급 이상의 전지가 필요하다.

또한 RFID용 태그에서 요구하는 전지는 박막형의 일차전지이다. 제품이 최종소비자에게 인도되는 순간 태그로서의 기능은 다하는 것이기 때문에 제품 장착 중에 충전을 할 방법도 없고, 또 소비전력이 매우 작아 굳이 충전을 해야 하는 이차전지를 쓸 이유

도 없다. 태그의 한정된 공간에 장착될 수 있도록 초소형이면서도 최소 2년 이상 보관수명(shelf life)이 보장되어야 한다. 그러면서도 폐기가 용이하도록 친환경적이어야 하며, 또한 기존의 바코드를 대체한다는 관점에서는 저가여야 한다[2],[3].

현재 태그용 전지로 제안되고 있는 것으로, 박막 전지(thin film battery)와 필름전지(film battery)가 있다.

USN용 센서 노드는 태그와는 달리 메모리와 통신기능까지 갖추고 있으며 대부분 보드타입으로 구성되기 때문에 크기가 크고 소모전력 또한 태그에 비해 매우 높다. 작동 전압이 3 V급을 요구하고 있기 때문에 적용되는 전지도 3 V급 이상이어야 한다[4].

태그용 전지와는 달리 제품에 장착되어 한번 쓰고 버리는 개념이 아닌, 주변 환경을 감지하고 끊임 없이 통신을 통한 정보의 공유가 목적이기 때문에 교체가 불가능한 일차전지 보다는 자가충전의 기능을 부가하더라도 지속적으로 사용이 가능한 리튬 이차전지의 장착을 선호하고 있다.

II. 국내 · 외 연구 동향

1. 박막전지

RFID용 전지로 관심을 끌고 있는 것으로, 증착 방식의 박막전지가 있다. 1990년대 초부터 Oak Ridge National Lab.(ORNL, 미국)의 Bates 그룹이 본격적으로 시작하였으며, 반도체 제조 기술에 기반한 박막 증착 기술과 전지 기술이 결합된 형태이다 ((그림 1) 참조).



(그림 1) 미국 ORNL의 박막전지

통상적인 전지의 구성인 LiCoO_2 양극/LiPON계 고체 전해질/리튬 음극 세 층을 각각 마이크로미터 (μm) 레벨로 아주 얇은 전 고상의 적층막으로 구현하였다(그림 2) 참조).

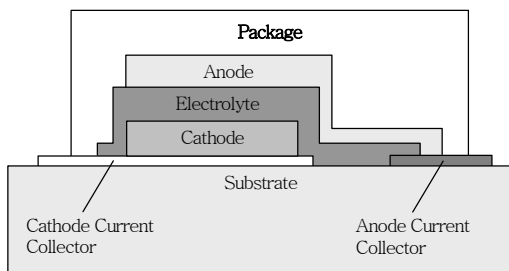
10,000회 이상의 충·방전이 가능한 이차전지이며, 3~4 V급의 높은 구동전압을 나타낸다. 박막이기 때문에 전극 활물질의 이용률이 좋아 단위부피당 또는 단위무게 당 용량은 기존의 벌크형 전지에 비해 크다고 할 수 있다[5].

그러나 실제로 구현 가능한 평균 방전 용량은 $100\sim 200 \mu\text{Ah}/\text{cm}^2$ 으로 매우 낮으며 실제 태그내 적용 가능한 면적으로 환산해 보아도 수 mAh가 못 미치는 매우 작은 용량값을 나타낸다. 방전 용량값을 올리기 위해 양극의 증착두께를 올리면 오히려 비용값이 감소하게 되는데 이는 마이크로미터 이상으로 전극 두께가 두꺼워지면 오히려 활물질의 이용률이 기존 벌크형에 비해 떨어져 성능저하로 이어지기 때문이다.

따라서 증착형 박막전지는 높은 전압과 우수한 사이클 안정성에도 불구하고 평균 방전용량이 매우 낮은 단점을 지니고 있다.

또한, 태그에 장착되더라도 유선으로 충전이 불가능한 기술적인 문제와 아이템 레벨로 태그의 적용이 확대될 경우, 태그 전체의 가격을 50센트 이하로 낮추어야 하는데 반해, 증착 공정에 따른 전지의 가격이 저가화되기 어려운 경제적인 문제를 모두 감안할 때 증착형 박막전지를 적용하는 것은 현실적으로 쉽지 않아 보인다.

그럼에도 불구하고 박막전지는 기존의 벌크형 전원을 적용하기 힘든 미세구조체(MEMS) 소자용 전



(그림 2) 박막전지의 구조

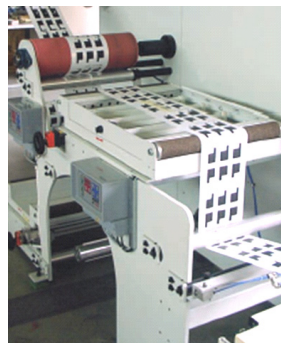
원으로는 여전히 가능성이 높다.

2. 필름전지

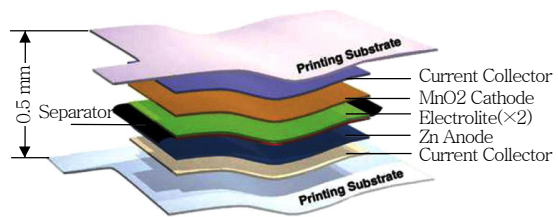
이스라엘의 파워페이퍼사(PowerPaper, Inc.)가 1990년대 말 최초로 'Power IDTM'란 상품명으로 전지지원형 태그를 개발하였다. 기존의 수동형 태그에 비해 자체 전원을 내장하여 인식거리를 10 m 이상으로 확장하였다. 이때 장착된 전지는 roll-to-roll 방식으로 연속 생산된 1.5 V급 망간전지 조성을 적용하여 필름화한 페이퍼배터리이다(그림 3) 참조).

페이퍼배터리의 구조는 (그림 4)와 같다. 폴리에스테르 계열의 고분자 필름상에 전도성 카본층을 코팅하여 집전체를 형성해 놓고, 그 위에 각각 이산화망간 양극과 아연 음극을 코팅하여 전극을 형성한 후, 그 사이에 접착형 수계 전해질을 분리막과 함께 적용하여 페이퍼 전지를 구성하였다.

제조된 두께는 $700 \mu\text{m}$ 이내이고, 크기는 태그의 종류에 따라 다양하게 구성하였으며, 비방전용량은 최대 $4.5 \text{mAh}/\text{cm}^2$ 정도 구현이 가능하다. 이를 실제 태그의 크기를 감안하여 환산하면 대개 15~40



(그림 3) 페이퍼배터리의 Roll-to-Roll 제조 공정



(그림 4) 파워페이퍼 전지의 구조

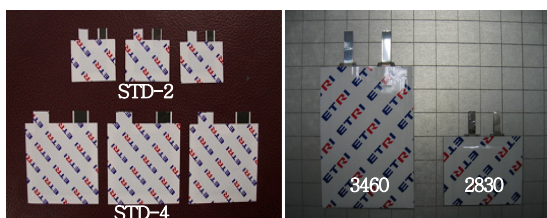
mAh 정도의 방전용량을 나타내게 된다. 앞서 보여준 박막전지와 비교했을 때 20배 이상 방전용량값이 높다.

그러나 페이퍼배터리는 기대했던 것만큼 보관수명이 좋지 못하여 장기 보관형 제품의 적용에 문제가 많은 것으로 알려져 있다. 특히 주변 온도가 높거나 낮은 경우, 그리고 주변이 건조하거나 통풍이 잘 되는 조건일 경우에 셀 내 수계 전해액의 성능에 직접적인 영향을 준다. 이는 집전체 및 포장재로 검출하고 있는 폴리에스테르계 고분자 막이 수분과 셀 내 생성 가스에 대해 선택적 투과성을 나타내지 못한다. 완전 밀폐구조의 셀이 아니기 때문에 전해액의 증발 및 셀 내 가스 생성문제는 해결이 쉽지 않기 때문이다.

최근 태그에 주변 환경을 감지하는 센서를 장착하기 시작하면서 소모 전력 및 구동전압이 높아지게 되어 페이퍼배터리만으로는 센서 태그를 구동할 수 없는 문제가 발생하게 되었다. 결국 이를 직렬 연결해야 하거나 적층에 따른 두께가 두꺼워지는 문제와 함께 태그 내 장착시 공간적인 제약이 생기게 되었다.

ETRI에서는 2005년부터 센서태그용 필름전지의 개발을 시작하였다. 특히 국내에서는 처음으로 주변 환경을 감지하는 온도센서 등을 장착한 센서태그용 칩, 안테나 및 태그가 개발되었고, 이에 부합되는 완전 밀폐형 1.5 V 및 3 V급 초박형 플렉시블 필름 일차전지를 개발하여 현재 적용 연구중에 있다 ((그림 5) 참조).

제조된 플렉시블 필름 일차전지는 비방전용량이 최대 8 mAh/cm² 이상 구현이 가능하고, 실제 총 방



(그림 5) 1.5 V(좌) 및 3 V급(우) 밀폐형 초박형 플렉시블 필름 일차전지(ETRI)

전용량은 3460셀 기준으로 최대 180 mAh까지 나오고 있다. 이때 고분자 전해질을 적용하여 장기 안정성을 강화하였다.

3. 센서 노드용 리튬 이차전지

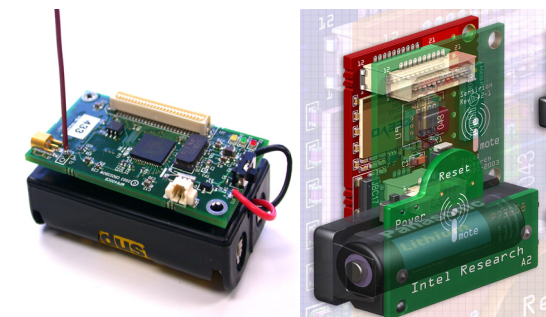
(그림 6)에서와 같이, 기존의 상용화된 센서 노드는 거의 대부분 1.5 V 전지를 직렬 연결하여 쓰거나 3 V계 일차전지를 사용하고 있다.

그러나 센서 노드의 경우에는 태그와는 달리 한번 쓰고 버리는 기기가 아니라 반영구적으로 일정 부위나 위치에 장착되어 상시 모니터링 및 상호 통신 기능을 수행하는 장치이기 때문에 일차전지를 적용하는 것은 매우 복잡한 문제들을 야기하게 된다. 센서 노드마다 일일이 전지를 교체해주는 것이 현실적으로 불가능할 뿐더러, 사용시간이 지속적이지 않을 경우, 정작 위기상황이나 중요할 때 센서 노드에서 제 기능을 발휘하지 못할 수도 있기 때문이다.

그럼에도 불구하고, 센서 노드에 꼭 맞는 전지의 개발 시도는 아직까지 전무한 실정이다. 유일하게 ETRI에서 2005년부터 USN 센서 노드용 이차전지의 개발을 수행해 오고 있다. 현재까지 수행해 오면서 파악된 센서 노드용 전지의 요구 특성을 정리하면 다음과 같다.

먼저, 3 V계 이차전지여야 한다. 일차전지로는 지속 가능한 센서 노드의 기능을 수행할 수 없기 때문이다.

둘째, 자가 충전이 가능해야 한다. 센서 노드의 실제 응용 사례를 보면, 장착되는 위치들이 유선 충



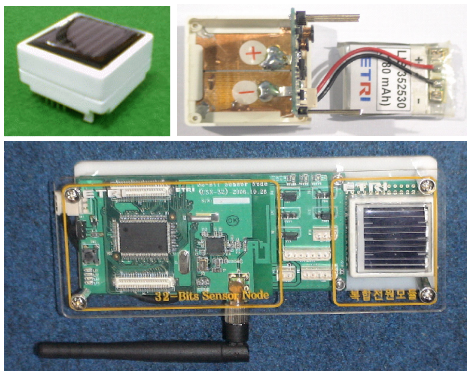
(그림 6) 상용화된 센서 노드들의 배터리 장착 모양

전이 가능한 경우는 거의 없다. 인력이 미치지 못하는 높은 곳이나 외딴 곳 또는 아주 깊숙한 곳 등에 인간을 대신해서 원격 감시기능을 두려고 하기 때문에 충전이 용이하지 않은 환경은 어쩌면 너무나 당연하지만 큰 문제이다.

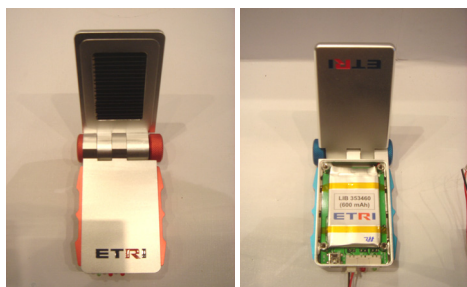
셋째, 자가충전이나 무선충전과 같은 기능을 제공할 수 있는 하이브리드 전원모듈을 구성할 수 있어야 한다. 앞서 언급한 충전이 용이하지 않은 문제 외에 이차전지만으로는 다양한 출력 패턴을 소화할 수 없기 때문에 주위 환경 조건에 맞는 에너지 생성 기능을 갖춘 소자와의 혼성화가 반드시 필요하다.

넷째, 초소형화가 가능해야 한다. (그림 6)에서 알 수 있듯이 센서 노드의 크기에 가장 큰 제약과 주고 있는 인자가 바로 전지의 크기와 위치이다. 만약 고성능의 초소형 전지가 기판 위에 또는 아주 작은 공간에 적용 가능하다면 센서 노드의 크기 및 기능도 비약적으로 발전할 수 있을 것이다.

ETRI에서 수행한 센서 노드용 하이브리드형 전원모듈의 구성 예를 보면 (그림 7), (그림 8)과 같다.



(그림 7) 보드 장착형 복합 전원모듈(ETRI 2006)



(그림 8) 분리형 하이브리드 전원모듈(ETRI 2007)



(그림 9) 353460셀의 예(평균방전 전압 3.8 V, ETRI)

상기 일체형 전원모듈은 보드 위에 직접 장착하는 구조로, 실리콘 태양전지와 리튬 이차전지가 복합화 되어 있고, 이들간의 충·방전 모드 및 전압/전류를 조절하는 회로와 보호회로로 구성되어 있다.

상기 분리형 전원모듈은 특히 태양전지가 광원의 위치에 따라 자유각도를 유지할 수 있는 것이 특징이고, 자가충전 및 경우에 따라서는 직접 출력을 제공하기도 하며, 특히 일정 전압 이하로 감소한 상태가 되면 실시간으로 자동 충전이 진행되도록 회로가 설계되어 있다. 이때 사용한 리튬 이차전지는 600~1000 mAh급의 353460셀을 적용하였다(그림 9) 참조).

III. 특허 현황 및 예상 시장규모

1. 특허 현황

박막전지의 경우에는 미국 Oak Ridge National Lab.에서 LiPON 관련 원천 특허를 보유하고 있으며 미국이 이 분야의 기술을 선도하고 있다. 국내의 경우에는 공정 기술 및 관련 인프라는 어느 정도 구축되어 있으나 소재관련 원천기술이 전무한 실정이다.

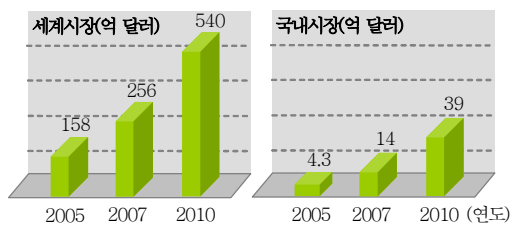
페이퍼배터리는 이스라엘의 파워페이퍼사가 원천특허를 가지고 있다. 이후 미국의 Thin Battery Technology사가 후발 주자로서 관련기술들을 보유하고 있다. 국내에서는 로케트전기가 파워페이퍼사와 유사한 구조의 페이퍼전지를 개발하고 있다. 그러나 이스라엘과 미국은 이미 roll-to-roll 기반의 양산설비 일체를 구축해 놓은 상황이다.

ETRI는 1.5 V 및 3 V급 밀폐형 플렉시블 필름 전지의 기술을 보유하고 있다. 포장재 및 전해질, 셀 및 모듈에 이르기까지 총 8건의 특허를 보유하고 있다.

센서 노드용 리튬 이차전지 관련해서는 거의 특허가 하이브리드 전원화에 집중되어 있다. 미국과 일본에서 혼성동력원 관련 특허가 많이 있고, 특히 일본이 리튬 이차전지와 타 전원소자와의 하이브리드화에 각별한 관심을 쏟고 있다.

2. 예상 시장규모

RFID/USN 세계시장은 2010년 기준 약 540억 달러 정도 예상하고 있다. 이는 RFID 성장률을 연평균 13.3%, USN 성장률을 연평균 25.5%로 감안한 수치이다. 국내의 경우에는 2010년 기준으로 약 40억 달러 정도로 예상하고 있다. 특이한 사항은 초기에는 주로 하드웨어 시장이 주도를 하고(전체 시장의 50% 정도 예상) 이후에는 응용 및 서비스 시장이 활발해질 전망이다(RFID/USN 기획보고서, IITA, 2005)(그림 10) 참조.



<자료>: RFID/USN 기획보고서, IITA, 2005.

(그림 10) RFID/USN의 시장전망

IV. 맺음말

RFID/USN용으로 꼭 맞는 전원소자가 아직 개발이 완성된 상태가 아니다. 이제 겨우 용도별 적용에 필요한 요구 조건을 파악한 정도이다. 지금부터는

요구 조건에 적절한 전지의 개발이 본격적으로 이루어져야 할 시기로 판단된다.

RFID용 전지의 경우 아직 장수명성 및 안전성이 전혀 고려되고 있지 않다. 저가화 및 관련 공정의 개발도 매우 중요한 요소이다. USN의 경우에는 전지의 고성능화 및 초소형화가 센서 노드의 성능을 한 단계 업그레이드 시킬 수 있는 열쇠가 된다. 특히 기존의 유선이 아닌 무선 충전방식의 자가충전이 가능해야 비로소 완벽한 센서 노드의 구현이 가능해질 수 있다.

이 모든 것들이 향후 RFID/USN용 전원소자의 개발에 우선적으로 고려되어야 할 이슈들이다.

● 용어해설 ●

- 일차전지: 기기에 장착 후, 한번 쓰면 버리는 전지
예) 알카리전지
- 이차전지: 충전을 통해 반복해서 사용가능한 전지
예) 리튬이온전지

약어 정리

- RFID Radio Frequency Identification
- USN Ubiquitous Sensor Network

참고 문헌

- [1] '유연성 박층 개방형 전기화학적 셀 및 그의 애플리케이션,' 한국특허, 10-1999-7011665, 1999.
- [2] PowerPaper, www.powerpaer.com
- [3] SAL-C, www.sal-c.org
- [4] G.A. Nazri and G. Pistoia, "Lithium Batteries: Science and Technology," Kluwer Academic Press, 2004.
- [5] 남상철, 박호영, "전 고상 박막전지 제조 기술," *News & Information for Chemical Engineers*, Vol.25, No.1, 2007.