

방사선을 이용한 원자력발전소 감시진단 무선센서 전력공급방법

이재철*, 최유락**

*한국원자력연구원, **한국원자력연구원

Survey for a Method of Wireless Sensor Energy Harvesting with Radiation in a NPP

Lee, Jae Cheol, Choi, Yoo Rark

KAERI, KAERI

E-mail : jclee2@kaeri.re.kr, yrchoi@kaeri.re.kr

요 약

원자력발전소는 안전성이 가장 중요시되는 국가 기간 설비로서 해마다 over-haul 기간 동안에 중요 설비에 대한 안전성 검사를 수행한다. 그러나 이 약 한달 정도의 over-haul 동안에 모든 중요설비에 대한 진단 작업을 수행하기에는 시간이 턱없이 모자라는 관계로 몇 년의 주기로 나누어 검사 계획에 따라 검사 대상 설비를 나누어 검사하는 실정이다. 원자력발전소의 중요 설비에 대한 감시진단은 상시 이루어져야 가장 이상적이나 수많은 유선센서를 이용한 방법은 문제점이 많다. 따라서 무선센서가 사용되고 있는 추세이나 무선센서에 대한 전력 공급 문제가 발생하고 있는 실정이다. 원자력발전소 내부에서는 방사선이라는 특별한 에너지원이 존재하는데, 본 논문에서는 이 에너지를 이용하여 무선센서의 전력 수급을 해결하기 위한 원자력전지의 개발에 대하여 언급한다.

1. 서론

원자력발전소는 기기의 파손 사고로 인해 발생할 수 있는 막대한 피해를 미연에 방지하기 위한 감시진단 기술을 지속적으로 도입하여 적용하고 있는데, 원자력발전소의 특성 상 감시진단을 위한 센서의 배치와 센싱 데이터의 수집이 매우 어려운 경우가 빈번하게 발생하고 있다. USN과 WSN이 활발하게 연구되어 실용화되고 있는 현재에도 센서들의 통신, 특히 무선 통신으로 인한 주변기기의 오작동 사고 발생 우려로 원자력발전소의 주요 안전기기에 대한 무선센서의 적용에 어려움을 겪고 있다. 그러나 미국의 샌디아랩을 비롯하여 여러 원자력관련 기관에서 이미 무선센서의 원자력발전소

적용 방안과 기술을 개발하기 시작하였고, 향후 수 년 내에 인증된 무선센서들과 이를 이용한 센서네트워크가 구현될 것으로 예상된다.

무선센서를 이용한 네트워크의 구성은 가정에서부터 산업계까지 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 무선센서 기술 분야에서는 전력공급 측면에서 새로운 문제가 발생하였다. 센서의 무선화로 유선센서에 비해 비교가 되지 않을 정도의 많은 무선센서들을 부착하고 네트워크를 구성하여 용도에 맞게 사용하고 있으나, 대량의 무선센서들에 대한 주기적인 배터리 교환은 사실상 불가능하다.

이러한 문제를 개선하고자 압전효과, 열, 태양광, 무선전력전송 등을 이용하여 무선센서에 사용되는 배터리를 무선 충전하는 에너지 하베스팅 기술들이 개발되고 있다. 에너지 하베스팅을 위한 다양한 에너지원이 존재하지만 본 논문에서는 원자

본 연구는 지식경제부 원자력기술개발사업(과제번호 : 53632-08)의 연구비지원에 의하여 연구되었음

력발전소만 가지고 있는 특수한 에너지원인 방사선을 에너지원으로 하는 원자력전지를 이용한 무선센서의 에너지 하베스팅에 대하여 기술한다.

2. 원자력전지

원자력전지 원리는 방사성 동위원소에서 방출하는 방사선 에너지를 전기적 에너지로 변환하여 전지로서 이용하는 것이다

대용량 원자력전지는 60-70년대 우주개발과 더불어 개발되었으나 이때 사용된 방사성 물질은 대용량인 관계로 취급상의 어려움이 있었고, 소용량 원자력전지는 발생하는 전기량이 미량이라 적용할 분야가 없어 연구가 정체되어 있었다. 그러나 최근 MEMS와 나노 기술이 개발되면서 센서나 액츄에이터 및 공진기 등 마이크로 전자부품이 미량의 전원만으로 작동가능하게 되어 원자력전지에 대한 관심이 증대되고 있다.

원자력발전소에 사용되고 있는 유선센서들은 그 수가 상당히 많은데, 그림 1과 같이 매우 복잡한 케이블 집합을 이루고 있으며 센서 신호 수집기에서 유선센서까지 연결된 케이블의 길이 또한 매우 길다. 문제는 원자력발전소의 중요설비 전체가 아닌 극히 일부에 대한 감시진단용 유선센서에 대한 케이블 배선이 이렇게 복잡하다는데 있다.

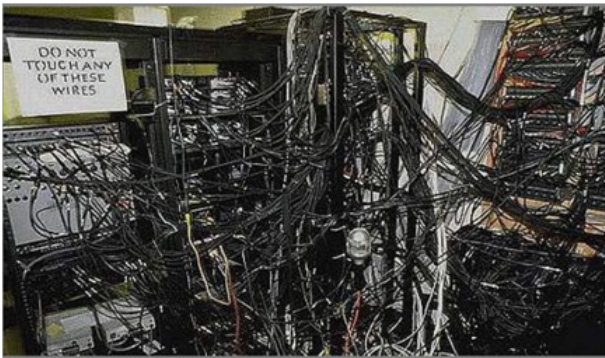


그림 1. 원전 유선센서망 케이블

원자력발전소에 사용되고 있는 이러한 유선센서들을 무선화하면 이러한 문제는 크게 개선될 수 있으나 수많은 무선센서들의 지속적인 전력 공급을 위한 배터리 교체 작업은 사실상 불가능하다. 따라서 원자력전지를 이용하면 원자력발전소에서 사용되는 유선센서망의 무선센서망으로의 전환 및 무선센서에 대한 전력공급 문제도 해결할 수 있다.

한국원자력연구원은 동위원소 생산과 응용에 대한 연구를 수행하는 유일한 국책연구기관이며 동위원소에 대한 각종 자료와 경험이 축적되어 있다. 대용량 원자력전지에 대한 기초연구를 수행한 바 있으나, 마이크로 베타전지에 대한 연구는 아직 초기단계에 머물고 있다.

대학과 기업연구소에서는 나노 센서와 MEMS 기술을 확보하고 있어 향후 이 분야에 대한 협력이 가능할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 전지로서의 기본 성능을 확인하였으며 향후 출력 향상을 위한 직렬, 병렬 구조를 형성할 수 있는 제조기술에 대한 기술을 확보함으로써 베타전지의 응용을 실현가능하게 할 것으로 예상된다.

본 논문에서 언급하는 무선센서는 원자력발전소 1차계통(Primary Coolant System)에서 사용될 수 있는 센서들만을 의미하는데, 그 이유는 원자력전지의 에너지원이 1차계통에 대부분 존재하기 때문이다.

3. 베타 방사선을 이용한 원자력전지 요소 기술 개발

모바일 전원인 경우 여러 가지 변환 방법 중 반도체의 PN접합을 이용하는 것이 효율적이다. 실리콘 태양전지 설계도구인 PC-1D 프로그램을 활용하여 PN 접합에서의 전류/전압을 예측하였는데, 이때 PC-1D 프로그램에서는 입사광을 Photon(광자)로 가정하고 있어 상당한 오차 발생되었다.

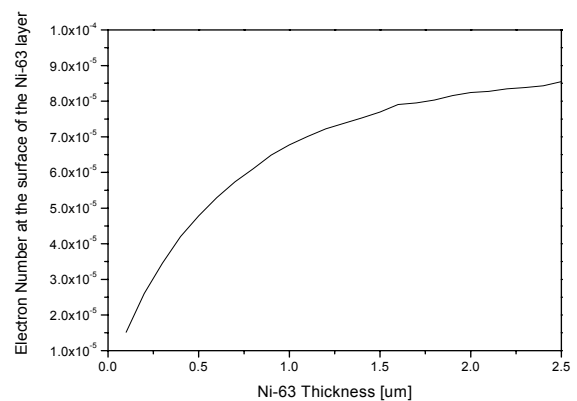


그림 2. ^{63}Ni 층 두께의 변화에 따라 Al 층으로 진입하는 전자의 수 변화 (^{63}Ni 1 Bq/cm³ 가정)

이 문제를 해결하기 위하여 Monte Carlo 모사법을 적용하여 PN 접합부에서의 전자와의 반응을 조사하였다. 우선 Ni-63 층의 Self-absorption 효

과에 따른 최적의 두께를 결정하기 위해 그림 2의 모델에서 Ni-63 층의 두께를 0.1 um 씩 증가시켜 가며 Al 층과 맞닿은 표면에서의 전자 플럭스를 계산하였다. 몬테카를로 계산에서 개선해야 될 점은 MCNPX 코드 내 전자의 Low Energy Limit (1keV)가 계산결과와 실험결과와의 차이에 미치는 영향을 평가하는 것과 Si 층 내 전자쌍 생성분포를 정확하게 계산하는 것이다.

Ni-63으로 부터 방출된 선원이 Si PN 다이오드에 입사되어 소자 내부에서 전하를 생성시키는데 이 생성 전하체를 외부 부하에 장시간 전력 공급원으로 활용하는 새로운 개념의 전지를 그림 3과 같이 설계 제작하였다.

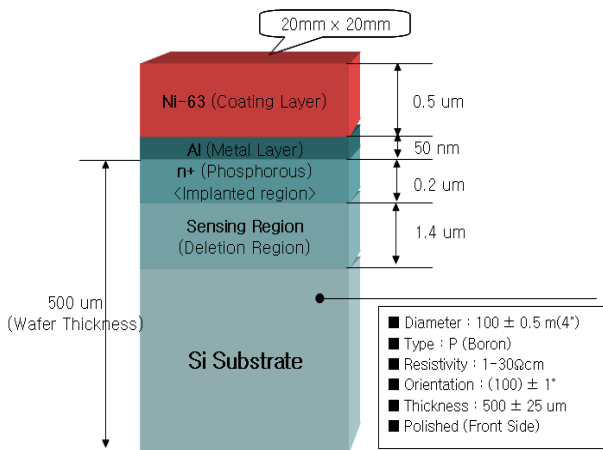


그림 3. 베타선원을 이용한 원자력 전지의 내부 구성도

실리콘에 있어서 베타 전자에 의한 전자쌍 생성에 필요한 평균에너지(3.62eV), Ni-63 베타 선원 평균에너지(17.6keV), 큐리당 최대 단락전류(Isc) 및 개방전압(Voc)을 고려하면 이론적으로 최대 출력전력 ($1.55 \cdot 10^{-5}$ W/Ci)을 구할 수 있고, 이론 출력전력 대비 실험에 의한 출력전력(0.3nW/10mCi)을 계산하면 0.2% 변환효율을 얻었다. 더 큰 전력을 얻기 위해서는 병렬연결에 의한 전압의 증가나 직렬연결 방식에 의한 전류 증가를 유도할 수 있는 구조가 요구된다.

4. 무선 감시진단망 구축 방안 및 결론

원자력발전소 중요 설비들의 감시진단에 사용되는 센서에는 온도, 습도, 음향, 진동과 같이 단순히 센서 외부의 변화를 측정하는 피동형 센서들과, 초음파, ECT 등과 같이 스스로 발진을 하여

검사파를 만들어 내는 능동형 센서 등 여러 가지 종류가 있다.

피동형 센서들은 극소량의 전력만을 제공하여도 센서 오퍼레이션과 무선 송수신 기능을 수행할 수 있으므로 원자력전지의 적용이 즉시 가능하다. 그러나 능동형 센서들의 경우 요구되는 전력이 커서 상당수의 원자력전지 조합이나 적층구조의 원자력전지를 이용해야한다. 능동형 센서들의 경우가 센서들이 상시 감시진단을 수행하지 않는다. 이 센서들은 주로 기기들의 비파괴 검사에 사용되어 지는데, 비파괴 검사 대상체의 특성상 결함이 짧은 시간 내에 크게 변화하지는 않기 때문이다. 따라서 이러한 능동센서의 경우 장주기 검사 특성을 가지며, 이는 센서 구동에 필요한 전력 충전 시간이 충분함을 의미한다.

원자력발전소 내부의 중요 설비에 대한 무선센서 기반 감시진단은 무선센서들의 동작이 주변 기기에 끼치는 영향의 미검증 문제로 현재까지 1차 계통에는 사용된 예가 없다. 그러나 2차 계통의 경우 이미 시험적으로 무선센서를 이용한 감시진단 작업이 수행되고 있는 추세이며, 국내 영광발전소에서도 이러한 시도를 한 바 있다. 세계적인 추세로는 원자력발전소의 모든 계통에 무선감시진단 기술을 도입하는 것이 기정사실화되어 있으며, 원자력계 뿐만 아니라 일반 플랜트 산업계에서도 이 기술은 보편화 되어질 것이다.

본 논문에서 언급한 원자력전지의 경우 기술의 특성이 솔라셀과 매우 유사한 성격을 가지며, 에너지 효율을 어느 정도까지 높일 수 있느냐에 따라서 일반 산업계로의 기술 파급효과가 결정될 것으로 예측된다.

[참고문헌]

- [1] Ceramics in Nuclear and Alternative Energy Applications, Ceramic Engineering and Science Proceedings, Volume 27, Issue 5, 2006
- [2] Berthier, C. NMR study on a 2H-NbSe2 single crystal: A microscopic investigation of the charge density waves state, Journal of Physics C: Solid State Physics, Volume 11, Issue 4, 1978