

개인 피폭선량 측정 시스템 개발

°권석근*, 이운근*, 임훈*, 손창호*, 김종선*, 이철준**
*삼창기업(주) 제어기술연구소, **울산과학대학 전기전자학부

Development of Personal Dosimeter

°S. G. Kwon*, U. K. Yi*, H. Hun*, C. H. Sohn*, J. S. Kim*, C. J. Lee**

*Samchang Enterprize Co., Ltd., **School of Electrical&Electronics Eng. Ulsan College

Abstract - 일반적으로 개인방사선감시에 열형광선량계와 필름배지가 공식 개인선량계로 이용되어 왔고 현재 까지도 가장 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 최근에는 Si 다이오드와 G-M관을 이용한 능동형 개인피폭선량계가 개발·보급되고 있다. 개인피폭선량계는 누적선량을 실시간으로 알 수 있다는 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라 선량률에 관한 정보도 제공하므로 높은 비용부담에도 불구하고 피폭관리의 용이함으로 인해 주목을 받고 있다. 따라서 본 연구는 수입에 의존해 온 개인피폭선량계를 대체하기 위해 반도체형 방사선 검출기를 설계하여 다양한 서비스를 부가할 수 있는 개인피폭선량계를 자체 개발하고, 선량계의 운영 및 판독을 위한 장치를 개발하였다.

1. 서 론

방사선 시설에 종사하는 작업자의 외부피폭 방사선량을 측정하는 장비로 열형광선량계와 필름배지와 같은 수동형 개인선량계가 널리 사용되어 왔다. 그러나 이를 선량계는 일정기간 동안 방사선에 노출된 후 선량을 알기 위해서는 번거로운 판독과정이 필요하다. 작업자의 피폭판리를 효율적으로 하기 위해서는 포켓 선량계와 같은 직독식 선량계를 병행하여 사용하여야 했다.

수동형 선량계의 이러한 약점을 보완할 수 있는 능동형 개인 선량계로 초기에 개인 경보선량계가 개발되었다. 1980년대에 들어와 집적회로와 반도체 기술이 급속한 발달로 능동형 선량계의 소형화와 가격저하 그리고 선량감응특성이 크게 향상되었다. 이에 따라 아직은 비용부담이 수동형 선량계에 비해 상당히 크지만 즉각적인 선량 및 선량률 표시, 경보기능, 피폭이력, 선량자료관리의 효율성 등의 고유한 장점으로 인해 영국, 독일 등과 같은 일부 유럽국가에서는 EPD2를 공식선량계로 채택한 바 있다. 특히 사회 전반적으로 안전문화에 대한 국민의식이 향상되고 국제방사선방호위원회(ICRP)의 권고 [1]에 따라 국제기구나 국가의 방사선방호 책임기관이 신권고의 제도반영을 위한 검토와 조치를 강구하고 있어, 능동적이고 적극적인 방사선 관리가 강조되므로 피폭통제의 즉시적이고 효율적 분석이 가능한 능동형 선량계는 미래의 주된 선량계로서 기존의 열형광선량계나 필름배지를 대치할 가능성이 높아지고 있다.[3]

본 연구에서는 선량계의 고유의 기능을 유지하면서 다양한 서비스를 부가할 수 있는 전자 개인 선량계를 개발하였다. 반도체형 방사선 검출기 설계, 개인 피폭 선량계와 판독장치간 통신 프로토콜 개발 등 중요 기술을 확립하여 순수 국내 기술로서 선량계 판독 시스템을 자체 생산 가능하게 되며, 사용하기 편리한 개인피폭 검사장비를 만들어 널리 보급함으로서 현재 운전중이거나 신설 예정인 원전의 오염구역 등의 출입자에 대한 방사선 안전 관리에 사용할 수 있다. 부가적으로, 이로 인하여

원전 내 노후화 장비교체 및 수리용 부품 구매시 예산절감 효과를 거둘과 나아가 우리나라 원전 전체의 국산화에 조금이나마 기여하여 국가경쟁력을 높이는 데 크게 기여할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 피폭선량 측정 시스템

개인용 피폭 선량계의 개략적인 블록 다이어그램은 아래의 그림 2.1과 같다. 구성요소로는 방사선을 감지하기 위한 PIN 포토다이오드 센서와 센서에서 출력된 신호의 전치증폭 및 성형증폭부, 비교기 그리고 이들의 신호를 처리하는 마이크로 컴퓨터와 각종 디스플레이 장치로 구성된다. 방사선을 조사하여 HAMMAMASTU 사 모델 S2506-04 PIN 포토다이오드에 의해 반응된 신호는 증폭기를 거쳐 목표 에너지 범위인 50KeV ~ 2MeV의 신호 측정을 위한 비교기를 통해 마이크로 컴퓨터로 입력된다. 이 신호는 마이크로 컴퓨터의 외부 인터럽트 포트로 입력되어 카운터 값을 누적하게 되며, 이는 환산 알고리즘을 통해 선량을 LCD에 표시한다.

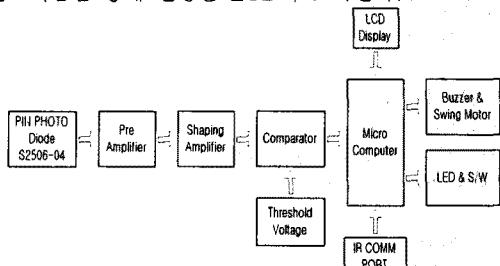


그림 2.1 선량계의 구성

2.2 검출기용 PIN 포토다이오드

먼저 신릴레이터의 사용유무를 결정하기 위하여 본 연구에서는 HAMMAMASTU 사 모델 S2506-04 PIN 포토다이오드에 7.8mm × 7.8mm × 3mm CsI(Tl)를 부착하여 3가지 각각 다른 에너지를 가진 방사선 (Co-60, Cs-137, Cd-109)에서 나오는 3가지 종류의 에너지를 입사시켜 CsI(Tl)의 부착 여부에 따른 에너지 스펙트럼을 비교하였다.



그림 2.2 HAMMAMASTU 사 모델 S2506-04 PIN 포토다이오드

그리고 포토다이오드와 CsI(Tl)사이에서 빛이 손실되는 것을 막기 위해 Optical grease를 사용하여 부착하였다. 포토다이오드와 CsI(Tl)가 맞닿는 부분만 제외하고 누설되는 빛을 막고 또한 누설되는 빛을 다시 내부로 반사시키기 위해 반사체를 사용하였는데 반사체의 재질은 이론적 시뮬레이션과 실험을 통한 결과, 테프론 테이프가 가장 적절한 것으로 밝혀졌으므로 테프론으로 밀면 만 제외한 3mm 이상으로 충분히 두껍게 감았다.

실험결과 3가지의 방사선 핵종 모든 경우에 대해 CsI(Tl)를 부착하였을 때가 부착하지 않았을 때에 비해 계수되는 양이 급격히 감소하였다. 계수되는 양의 감소 정도는 에너지가 작을수록 더 심각하였다.[5]

특히 방사선 선원이 Cd-109인 경우 크리스탈을 부착하면 전혀 포토다이오드에 계수가 되지 않았다. 이처럼 크리스탈을 사용하였을 때 계수되는 양이 예상과는 달리 크게 감소되는 이유는 크리스탈에서 생성된 빛이 포토다이오드에서 전혀 감지되지 못하고 크리스탈이 도리어 방사선을 흡수하는 흡수체 역할을 하기 때문이다. CsI(Tl) 신텔레이터에서 방출한 빛을 포토다이오드(S2506)가 감지하지 못하는 이유는 CsI(Tl)에서 방출하는 가시광의 peak sensitivity wavelength는 565nm인 반면에 포토다이오드의 감지 영역은 800 ~ 1100nm로 일치하지 않기 때문이다. 만약 크리스탈과 포토다이오드를 이용하여 검출기로 사용하려면 필수적으로 두 파장의 일치 정도를 고려하여 CsI(Tl)에서 발생한 빛을 감지할 수 있는 포토다이오드를 사용하여야 한다. 그리고, 크리스탈 사용여부에 따라 Co-60과 Cs-137에 대한 에너지 스펙트럼의 threshold channel이 크게 변화하는 특이한 현상을 보였는데 이는 일차적으로 현재 사용하고 있는 MCA(Multi-Channel Analyzer)에서 발생한 에러로 추측되며 좀더 주의 깊은 분석이 요구된다고 생각한다.

2.3 제작한 증폭기 특성실험

반도체 방사선 검출기는 방사선 검출소자인 실리콘 포토다이오드와 이의 신호변환을 위한 전치증폭기와 성형 증폭기로 구성된다. 실리콘 포토다이오드에 방사선이 조사되면 전하 펄스가 발생하고 이 신호는 전하 증폭형 증폭기로 적분되어 전압 펄스로 변형된다. 그리고 성형 증폭기는 파형 정형용의 미분, 적분 회로를 포함하고 있으며, 펄스의 높이 측정에 적합한 가우스 형태의 펄스를 만들어낸다. 표2.1은 제작된 반도체 방사선 검출기의 전하 증폭형 전치증폭기의 특성을 나타내며, 이렇게 설계 제작된 증폭기가 그림 2.3에 나타나 있다.[2]

표 2.1 설계된 전하 증폭형 전치증폭기의 특성

Feedback Capacitance Cf(pF)	Feedback Resistance Rf(MΩ)	Charge Gain (V/coulomb)
2	10	0.5

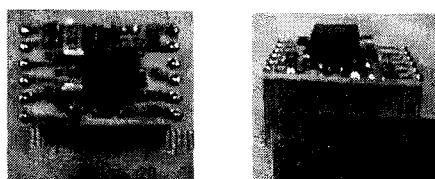


그림 2.3 Hybrid IC의 앞면, 뒷면, 측면

본 연구에서 설계 제작한 증폭기에 방사선 센서로써 HAMMAMASTU사 모델 S2506-04 편 포토다이오드를 부착하여 여러 종류의 에너지를 가진 감마선에 조사

시켜 원래의 ALOKA사 모델 PDM112 선량계로 얻은 결과와 비교하였다.

ALOKA 선량계의 바이어스 전압은 7.5V, 본 연구에서 제작된 증폭기에는 7V를 공급하였다. 그림 2.4는 ALOKA사 선량계로 측정한 결과인데, 그중 Co-57, Cd-109는 광자의 에너지가 너무 낮아서 30분 동안 측정할 경우 측정되는 양이 너무 작아 Co-57은 24시간동안, Cd-109는 44시간동안 측정하였다. 이 두 핵종 외에 다른 핵종의 측정 소요시간은 30분이다.

그림 2.5은 제작한 증폭기를 이용하여 얻은 결과이다. 그림 2.4과 그림 2.5에서 스펙트럼은 거의 유사함을 알 수 있다. 그림 2.4에 비해 그림 2.5은 고에너지 영역에서 긴 tailing 현상을 보이는데 이는 실험장치 구성 중 제작된 증폭기의 자장을 완전히 차단하지 못하여 발생된 영향이라고 생각된다. 그림 2.4에서는 볼 수 없는 저에너지 영역에서의 데이터를 그림 2.5에서는 볼 수 있는데 이는 그림 2.5의 데이터 수집시 MCA의 LLD를 낮췄기 때문이다.

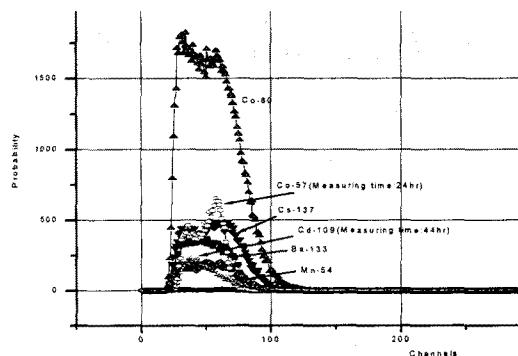


그림 2.4 ALOKA사 모델 PDM112의 에너지 스펙트럼

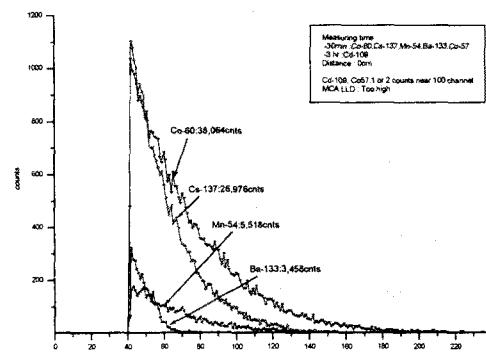


그림 2.5 제작한 증폭기를 이용한 에너지 스펙트럼 측정

그림 2.4와 그림 2.5는 앞에서 언급한 것처럼 서로 비슷한 경향을 보이며 고에너지 영역에서 입사 감마선의 에너지에 따라 측정되는 양이 많이 나타나는 경향은 비슷하다. 그림 2.5를 보면 전체 계수 중 저에너지 영역에서 계수값이 차지하는 비율이 크므로 총계수를 이용한 환산인자 도출시 세심한 주의가 필요하다고 생각한다.

2.4 선량계 제작

사용된 MICOM은 NEC사의 μ PD78P064(ROM 32Kbyte, RAM 1Kbyte)를 사용하였다. 이는 구동전압이 낮고 소비전력이 적으며 LCD Driver가 내장되어 있기 때문에 개인선량계를 구성하기에는 매우 적합하다.

실제 제작된 선량계 통합시스템은 그림 2.6과 같다. 그리고, 그림 2.7은 실제 작성된 프로그램을 에뮬레이터로 실험하는 실험환경을 나타낸다.

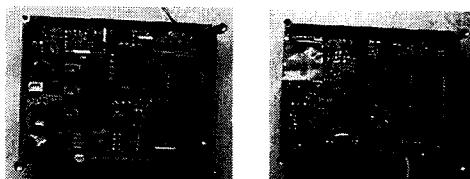


그림 2.6 통합시스템의 앞면과 뒷면



그림 2.7 통합시스템 실험환경

이 통합시스템에는 선량계의 알람기능과 선량 및 선량율을 실시간으로 표시할 수 있고, 소음이 심한 지역의 작업자가 알람을 인식하기 어려울 수 있기 때문에 진동 기능을 추가하였다. 한편, 입사되는 방사선을 선량으로 환산하는 방법은 일반적인 방법으로는 두 가지가 있다. 하나는 에너지 보상 필터를 사용하여 여러 에너지에 대한 검출기 반응을 일정하게 유지하도록 만들고, 입사방사선을 계수하여 이를 흡수선량으로 전환하는 방법이다. 둘째는 신틸레이터를 이용하여 입사된 방사선의 에너지스펙트럼과 에너지별 선량환산인자를 이용하는 방법이다. 정확도에 있어서는 후자가 더 정확하다. 그러나 입사 방사선에 대한 에너지 스펙트럼을 얻기 위해서는 MCA와 친치증폭기의 필수적으로 필요하므로 개인선량계에 이를 부착하여야 하므로 전자와는 비교가 되지 않을 정도로 고비용의 소모를 요구하므로 비경제적이다. 따라서 지금까지의 실험 결과에 의하면 금속 필터를 사용하고서도 약 15% 정도이내의 오차를 가질 정도로 정확한 선량을 예측할 수 있으므로 굳이 경제성이 떨어지는 고가의 방법을 적용할 필요는 없다고 생각된다.

2.5 선량계 판독 장치

선량계 판독 장치는 선량계의 정보 입력 및 판독, 전송 등을 수행하는 장치로써, 출입통제기를 제어하는 기능이 있어 방사선 지역 내 작업자의 출입을 통제하는 역할을 담당한다. 본 연구에서 개발된 전자 개인 선량계의 운용 및 판독을 위하여 선량계 판독 장치를 개발하였다. 선량계 판독 장치의 내부 구조는 그림 2.8과 같다. 운영프로그램을 위한 프로세서 보드와 외부 입출력 신호의 제어를 위한 인쇄회로기판으로 설계되었다. 인쇄회로기판을 분리하면 부분 업그레이드를 쉽게 할 수 있고 또한 고장 테스트 및 수리 측면에서 장점이 많다. 프로세서 보드는 모토로라 MPC860을 사용하여 다양한 통신 프로토콜을 지원 가능하고, 각종 주변장치를 연결할 수 있는 입출력 제어 보드는 입출력 신호 점검을 용이하게 하기 위해 신호확인용 LED를 추가하여 신속한 고장 진단이 가능하도록 설계 제작하였다. 또한 선량계와 적외선 통신으로 정보를 송수신하고, 메인 컴퓨터와 RS232 통신으로 출입자의 모든 데이터를 데이터베이스화하여 관리할 수 있도록 되어있다.

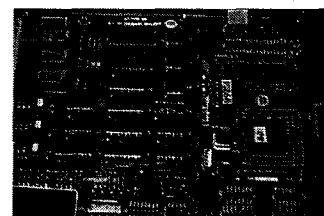


그림 2.8 선량계 판독장치

3. 결 론

본 연구는 개인의 방사선 피폭량을 측정하는 전자 개인선량계와 측정된 피폭량을 판독하고 관리하는 선량계 판독장치를 자체 개발하였다. 본 연구를 통하여 얻은 성과는 다음과 같이 세 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 방사선 관련 장비는 방사선 계측, 전자회로 설계, 프로그래밍, 소재, 원자력 현장적용 등의 기초기술이 복합적으로 어우러져 있어 현재 몇몇 선진국에서만 제작 보급되고 있는 실정으로 전량수입에 의존하고 있다. 이러한 현실에서 본 연구는 아직 국내 최초로 반도체 검출기를 이용한 방사선 측정기술 및 신호처리기술을 확립할 수 있는 계기를 마련하였다. 둘째, 방사선 검출을 위한 고 임피던스 친치증폭기 및 성형증폭기의 자체 설계능력 확보와 현재 사용되고 있는 외국제품의 기능보완을 위한 시스템 설계능력을 확보하였다. 셋째, 개인용 피폭선량계의 각종 정보를 관리하는 입출구 관리시스템의 설계는 기존의 원자력 발전소에서 사용하고 있는 시스템과 완벽하게 호환이 되도록 설계하여 향후, 기 사용중인 시스템의 고장 및 노화시 자연스럽게 대처할 수 있고, 또한 소형이며 유지보수가 용이하도록 설계하였다. 이러한 방사선 측정 및 통합 관리시스템 설계기술을 국내 자체기술로 실현할 수 있는 능력의 확보는 앞으로 선량계 부문 기술을 세계적인 수준으로 향상시키는 계기가 된다.

국제방사선방호위원회(ICRP)의 방사선 방호체계의 중심이 ALARA로 이동함에 따라 능동적 방사선 관리가 중시되고, 이에 따라 전자식 개인선량계의 능동적 기능에 대한 관심이 증대되고 있다. 그러므로 추가적인 연구로서 소비전력을 최소화하여 사용가능시간을 확대하고 소형화하여 가격을 낮춘다면 전자식 선량계는 앞으로 주된 개인선량계의 위치를 차지할 수 있을 것으로 전망된다.

(참 고 문 헌)

- [1] International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, (1990)
- [2] Un K. Yi, "A Study on the Development of Nuclear Radiation Detector with Silicon PIN Photodiode", KIEE annual autumn conference 1999, B호, pp. 754-756, 1999
- [3] S. Izumi, H. Kitaguchi, S. Mitani and H. Kikuchi, "A computerized personal dosimeter with an IC card", IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 36, pp. 1150-1153, 1989
- [4] N. Horiuchi, T. Sato, E. Kobayashi, "A high-sensitivity neutron dosimeter using the coherent demodulation technique", IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 42, pp. 425-440, 1989
- [5] "Advanced dosimetric system with high speed alarm function", KEPRI Report, 2000, 7.