

디지털 SCA와 DCU를 이용한 환경방사선 감시기에 관한 연구

A Study of an Environmental Radiation Monitoring System(ERMS) Using Digital Single Channel Analyzer(SCA) and Dose Conversion Unit(DCU)

\*오길환\*, 우희곤\*, 박준\*\*, 이쾌희\*\*, 하달규†

\*전력연구원 전력계통연구실(Tel: 042-865-5765; 대전시 유성구 문지동 103-16, 305-380)

\*\*서강대학교 전자공학과 (Tel: 02-704-4088; 서울시 마포구 신수동 1, 121-742)

†삼창기업(주) 부설연구소(Tel: 0343-24-6022; 경기도 안양시 동안구 관양동 889-3)

**Abstract** In this paper, we developed an ERMS, which monitors radiation continuously in the vicinity of the nuclear power plant not only to intend health and security of the adjacent residents but also to prevent environmental pollution. Especially, applying digital DCU and SCA which are easy to control and accurate, we obtained good results.

**Keywords** ERMS, SCA, DCU, G(E) Function

1. 서론

원자력 발전은 실생활에 유용한 에너지를 적은 비용으로 제공하지만 발전소 외부로 방출되는 방사능 물질에 대한 감시를 향상 하여야 한다. 방출되는 방사능 물질을 일일이 확인하는 것은 어렵기 때문에 마이크로프로세서를 탑재한 감시기를 발전소의 주변에 세워 이로부터 데이터를 얻는다. 이렇게 얻어진 데이터를 통해 발전소 주변 환경에서의 방사선량이 연간선량한도 이내임을 확인하여 원전 주변 주민에게 신뢰감을 주고 아울러 환경 오염을 사전에 예방할 수 있다[7].

본 논문에서는 외국의 사례를 참고하여 기존의 환경 방사선 감시기보다 성능이 우수하고 사용이 편리한 환경 방사선 감시기에 대해 연구하였다. 현재 국내에서 활용되어지고 있는 환경 방사선 감시기가 이온함센서 하나만을 이용하여 대략적인 방사선 누출 정보를 얻고 있는 반면에 본 논문에서 연구한 환경 방사선 감시기는 NaI센서와 개발한 디지털 SCA와 DCU를 통해 정확한 방사선 누출 정보를 얻을 수 있도록 하였다. 이를 센서 2중화 방식이라고 부르며 여기서 SCA는 일정 크기의 채널 안에 들어오는 방사선량만 검사하는 것이고 DCU는 선량환산함수(G(E))라고 불리는 비교신호함수와 들어오는 방사선량의 크기를 비교하는 장치이다[1][2]. 특히 개발한 디지털 SCA와 DCU는 기존의 SCA와 DCU가 아날로그회로로 구성되어 조작이 힘들고 정확한 출력 값을 얻기 힘든 것과는 달리 SCA의 채널 값을 조절하는 데 있어서 조작의 편의성을 도모하고 DCU의 선량환산함수인 G(E)를 ROM에 저장한 뒤 이를 검출기의 재질, 크기, 구조 등에 따라 쉽게 가변할 수 있도록 하여 상대적으로 정밀도를 향상시켰고 이를 개발한 환경 방사선 감시기에 적용하여 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

2. 환경방사선 감시기[6]

환경 방사선 감시기는 방사능 측정의 정확성 향상을 위해 센서를 2중화하고 연중 24시간 동작하여야 하기 때문에 감시기 각 부분별 정상작동 유무를 확인하여 감시기 운영의 안정성과 데이터의 신뢰성을 확보하고 즉각적인 보수, 유지를 가능하게 해야 한다. 또한 개별 사용자가 감시기를 조작하기 쉽도록 간단한 키패드 조작으로 액정표시기를 통해 방사선량 및 감시기 상태의 확인이 가능해야 하며 차후 사용자의 추가 요구가 있을 경우를 대비하여 확장성을 고려하여 예비 입력과 출력부를 가져야 한다. 이를 정리하면 다음과 같으며 이를 고려하여 감시기를 설계하였다.

- 방사선량 측정의 정확성
- 감시기 고장 감시
- 사용자 편리성
- 차후 확장성

2.1 환경방사선 감시기의 구성

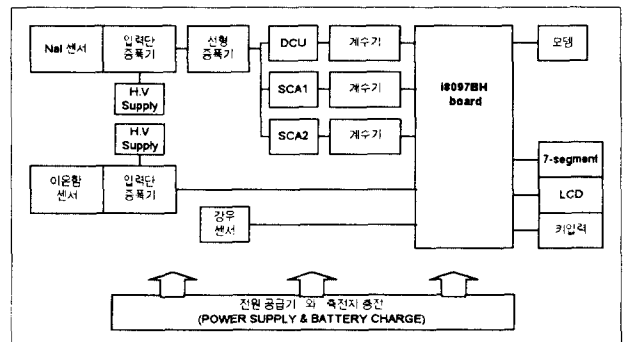


그림 1. 환경 방사선 감시기의 전체 구조도  
Fig. 1. ERMS Block Diagram

인텔사의 16비트 마이크로 프로세서인 8097BH 칩을 사용한 환경 방사선 감시기의 전체 구조도를 [그림1]에 나타내었다. 감시기의 하드웨어 구성은 감시 제어용 CPU부, 이온함센서부, 방사선량 분리측정을 위한 NaI센서부, 주변장치 및 전원공급장치로 이루어져 있다. 여기서 이온함센서부는 기존의 방사선 감시기를 그대로 사용하고 NaI센서와 앰프, 전원공급장치는 EG&G ORTEC사의 제품을 사용하였다[3]. 감시기의 사양은 [표 1]과 같다.

표 1. 환경 방사선 감시기 사양  
Table 1. Specification of ERMS

CPU 부	인텔 8097BH (16bit) 프로세서
	ROM 32Kbyte
	RAM 30Kbyte
	16개의 입출력 포트
	10비트 A/D 변환기 8채널(8097내장)
이온함센서부 (ReuterStokes사)	이온함센서
	증폭기 및 자동 출력범위 조절기
NaI 센서부	NaI 센서, PM tube, 증폭기 (EG&G사)
	선량변환장치
	16비트 계수기
주변 장치	모뎀
	키보드
	액정표시기
	7-세그먼트 강우센서
전원공급장치	NaI센서 공급용 고전압기
	이온함센서 공급용 고전압기
	축전지 및 충전기
	직류 전압기

## 2.2 환경감시기 운용

환경 방사선 감시기의 기본적인 동작은 다음과 같다.

- 방사선량을 취득하고 저장과 전송을 위한 1차 처리를 행한다.
- 중앙관제센터의 명령에 따라 데이터를 전송한다.
- 취득된 데이터를 저장한다.
- 감시기 상태와 정전원의 공급을 점검한다.
- 방사선량 및 감시기상태를 외부에 표시한다.
- 감시기의 주변 환경을 감시 계속하여 환경상태가 방사선량의 증감에 미치는 영향을 상쇄시킨다.
- 키보드 입력에 따른 동작을 수행한다.

중앙관제센터로 전송하고 감시기내에 저장되는 데이터는 다음과 같다.

- 이온함센서에서 감지된 방사선량
- 선량변환장치의 평균 초당 계수율
- 강우 센서에서 감지된 강우량 정보
- NaI센서에 공급되는 고전압값
- 이온함센서에 공급되는 고전압값
- A/D 변환기의 이상여부

## 3. 센서 2중화를 위한 디지털 SCA와 DCU

### 3.1 이온함센서와 NaI센서의 특징

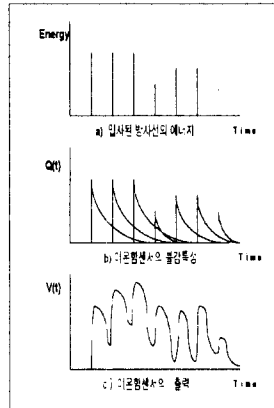


그림 2. 이온함센서의 검출 파형  
Fig. 2. Detected Pulse of Ion-Chamber

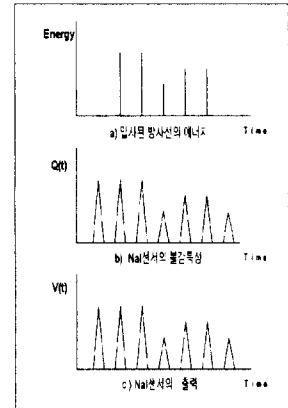


그림 3. NaI센서의 검출 파형  
Fig. 3. Detected Pulse of NaI

이온함센서는 방사선이 기체를 직접 전리하여 생긴 이온쌍의 전하로써 방사선을 측정하므로 비교적 구조가 간단하며 광역의 환경방사선 조사선량율측정이 강점이다. 그러나 센서의 불감시간(Dead Time)이 길어서 감마선 에너지를 분리할 수 없기 때문에 방사선에 대한 핵종분석이 불가능한 것이 단점이다. 여기서 불감시간이란 방사선의 입사로 센서와 반응하여 변환된 전기적 신호의 감쇠와 관련된 시간으로서 센서의 종류마다 고유의 특성으로 주어진다. 이온함센서는 입력에 대한 출력의 불감시간이 약 1ms 이기 때문에 [그림 2-a]와 같이 동일한 에너지의 방사선이 들어 오더라도 [그림 2-c]와 같이 중첩되어 나오기 때문에 정확한 방사선의 에너지와 핵종 분석이 어렵다. NaI센서의 경우에는 입사 감마선의 에너지중 NaI센서에 흡수된 에너지에 비례하게 빛을 생성하며 생성된 빛은 광증배관(Photo Multiplication)에 의해 전류로 증폭, 변환된 뒤 다시 선형증폭기에 의해 전압펄스신호로 변환된다. 특히 NaI 센서는 입력에 대한 출력의 불감시간이 약 0.23 μs이기 때문에 중첩이 되지 않고 거의 1:1 대응하여 출력된다[그림 3]. 따라서, NaI 센서를 이용하면 방사선의 에너지와 방사선의 핵종분석이 가능하다[5][7].

### 3.2 NaI센서 처리부

NaI 센서를 통해 들어오는 펄스는 전치증폭기를 통과한 후 일정한 크기의 펄스로 바뀐다. 이 펄스의 크기는 검출기에서의 방사선 흡수에너지와 비례하기 때문에 파고가 다른 일련의 펄스 집단중 같은 높이의 펄스집단을 분류하면 방사선 에너지의 분석이 가능하다. 이러한 목적에 사용되는 것을 파고분석기(Pulse Height Analyzer)라고 하며 여기에는 단채널 파고 분석기(Single Channel Pulse Height Analyzer)와 스펙트럼분석에 사용되는 다중채널 파고 분석기(Multichannel Pulse Height Analyzer)가 있다[7]. 또 총 공기중 선량률에 비례한 계수치를 구하는 DCU가 있으며 SCA와 함께 사용하여 방사선 분석을 한다.

#### 3.2.1 디지털 SCA

SCA의 블록도는 [그림 4]와 같다. 두 개의 상, 하한비교기를 이용하여 해당 범위내의 펄스를 검색하여 범위내의 펄스가 들어왔을 경우에만 상한비교기에서는 '0'값의 디지털레벨의 출력이

있고 하한비교기에서는 '1'값의 디지털레벨의 출력이 있게 된다. 이 펄스를 각각 상, 하한 레치에 저장한 뒤 상한값을 '1'로 반전하고 트리거 신호와 함께 논리곱을 시킨 뒤 그 결과값을 계수기로 보낸다. 만약 해당 범위 이외의 펄스가 들어오면 논리곱의 출력은 항상 '0'이 된다.

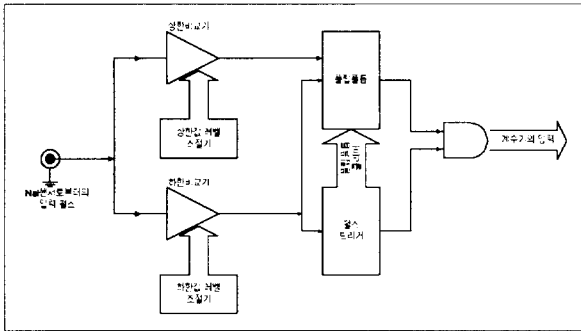


그림 4. SCA의 구조도  
Fig. 4. SCA Block Diagram

기존의 SCA는 가변저항 등을 이용하여 상, 하한기의 레벨값을 조절해주도록 되어있다. 하지만 이러한 레벨 조절기는 가변저항 자체의 물리적 접촉에 의하여 노이즈가 발생하게 된다. 또한 수동으로 가변저항을 조정하기 때문에 정확한 값을 결정하는 게 쉽지 않다[4][5]. 이러한 물리적 접촉 노이즈를 제거하고 사용자가 쉽고 정확한 레벨값을 조절할 수 있도록 기존의 아날로그 레벨 조절기부분을 디지털화하였다. [그림 5]가 SCA의 상한선별기에 연결되는 디지털 레벨 조절기의 블록도이다.

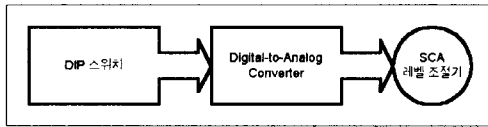


그림 5. SCA의 디지털 레벨 조절기의 구조도  
Fig. 5. Digital Level Adjustment Block Diagram of SCA

디지털화를 하면서 물리적 접촉 노이즈가 발생하는 가변저항기 부분을 칩형태의 이진 스위치(Binary Dual Inline Package Switch, 이하 DIP SW)와 Digital-to-Analog 변환기(이하 DAC)로 대체하였다. DAC를 사용하므로 연속적인 레벨값을 조절할 수는 없지만 DIP SW로 결정되는 2진수의 레벨값을 이산적으로 조절할 수 있다. 하지만 이산적으로 결정되는 레벨값은 정확히 조정하고자 하는 값으로 결정되므로 가변저항 등을 사용한 아날로그 회로보다는 정확한 조정을 할 수가 있다. 또한 해상도가 높은 DAC를 쓰는 경우 오히려 조정능력면에서 아날로그회로보다 더욱 정밀하다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 연구되지 않았지만 감시기가 작동중에 SCA의 상,하한값을 마이크로프로세서로부터 DAC를 통해 변화시키는 것도 가능하다.

### 3.2.2 디지털 DCU

보통의 방사선 선량측정은 공기 또는 어느 특정한 기체를 선택하여 방사선의 양과 에너지를 분리하지 않고 측정하는 방법이 쓰인다. 그러나, DCU를 사용한 방사선 선량측정 실험은 방사선의 양과 에너지를 각각 분리하여, 동시에 측정하는 방법이다. 그 원리는 높은 에너지대의 감마선과 낮은 에너지대의 감마선을 계측기의 에너지 스펙트럼과 선량사이의 관계인 변환계수 (conversion factor)  $G(E)$  함수를 사용하여 일정 비율에 따라 계

수되도록 한 다음 최종 계수치가 총 공기중 선량에 비례하도록 하는 것이다[1][2].

DCU는 기본적 구성은 SCA와 크게 다르지 않다. 다만, 상한선별기는 최고값으로 고정을 하고 에너지 레벨의 범위를 결정해 줄 하한선별기에  $G(E)$  함수를 대입해준다. 이렇게 설정되는 에너지 레벨의 범위는 시간에 따라 폭이 가변이 되며, 들어오는 펄스를 SCA와 동일한 방법으로 계수할 수 있도록 해준다. 이렇게 계수되는 계수율은 환산식에 의해 방사능량으로 환산되어 진다[그림 6]

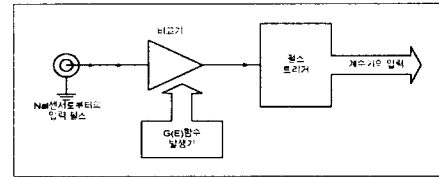


그림 6. DCU의 구조도  
Fig. 6. DCU Block Diagram

DCU는 하한선별기에 대입하여 주는  $G(E)$ 함수값이 얼마나 정밀하게 출력될 수 있는 지가 중요해진다. 이 함수를 아날로그 회로로 구성하여 발생시킨다면 정확한 함수 곡선의 출력이 어려운 것은 물론 컴퓨터를 이용하여  $G(E)$ 의 값을 계산할 경우 이를 구현한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 또한 감시기의 설치장소의 환경에 의해 함수곡선값이 일부 바뀌어도 아날로그 회로로는 쉽게 바꿀 수 없다. 또한  $G(E)$ 함수는 실험에 의해 결정되어야 할 가변적인 요소가 많으므로 쉽게 폭과 크기를 가변할 수 있도록 설계할 필요가 있다.

이러한 요구를 받아들이기 위하여  $G(E)$ 함수 발생기를 디지털화하였다. [그림 7]이 이를 구현하기 위한 구조도이다. 우선  $G(E)$ 함수의 레벨값을 양자화하여 그 데이터 값을 ROM에 저장한다. 저장된 데이터값은 ROM의 주소값을 변화시켜서 차례대로 발생시키고 이를 DAC를 통해 출력하면 원하는  $G(E)$ 함수값이 발생된다. ROM의 주소값을 변화시키기 위해서는 클럭 발생기와 카운터가 필요하게 된다. 클럭에 따라 어드레스 카운터값이 발생되면 이 클럭에 동기되어 차례대로  $G(E)$ 값이 발생하게 된다. 그러므로  $G(E)$ 의 폭은 이 클럭값을 변화시키면 되고 크기는 DAC의 이득을 변화시키면 된다. 실제한 DAC가 안정되고 정확한 출력을 가지기 위해서는 크리스탈 클럭 오실레이터 등을 이용하여 클럭 발생기를 구성하여야 한다.

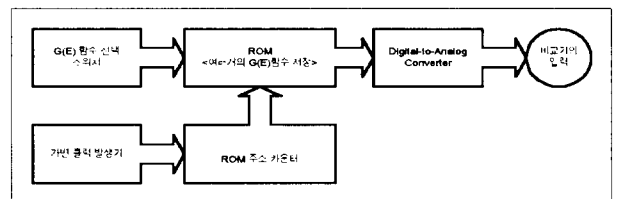


그림 7.  $G(E)$ 함수 발생기 구조도  
Fig. 7.  $G(E)$ -Function Generator Block Diagram

또한  $G(E)$ 함수의 데이터 크기보다 충분히 큰 ROM을 쓰면 여러 개의  $G(E)$ 함수의 데이터를 선택스위치에 의해 선택할 수 있으므로  $G(E)$ 함수가 바뀔 때마다 ROM을 지워야하는 번거로움을 피할 수 있게 하였다.

#### 4. 실험결과

SCA와 DCU를 위에서 설명한 바와 같이 간단히 구성하여 최대한 노이즈가 없도록 구현을 하였다. 구현한 SCA와 DCU는 두 가지 실험을 하였다.

첫째는 임의파형발생기를 이용하여 정확히 원하는 크기의 방사선 에너지를 계수하는지 실험하였고 둘째는 기존의 SCA, MCA와 비교를 하였다. 여기서 DCU의 경우 국내에는 기존제품이 없고 환산인자에 의해 계수값이 일일이 계산이 되어야 하므로 단순 계수만을 실험하였다.

임의파형발생기를 이용하여 DCU와 SCA의 비교기의 분해능을 측정하였을 때 0.05V를 가지며 계수율은 99%이다. 만약 분해능을 넘어서는 파형을 비교할 경우, 즉 예를 들면 5.01V 크기의 파형을 비교값 5.00V와 비교할 경우에는 계수오차가 생긴다. 이 경우 계수 오차는 전체 기기의 잡음에 기인한다.

[표 1], [표 2], [표 3]의 실험은 EG&G ORTEC사의 SCA와 MCA를 제작한 SCA와 10초동안의 계수값을 비교한 표이다. 여기서 SCA1은 제작한 SCA를, SCA2와 MCA는 EG&G ORTEC사의 제품을 말한다. 오차는 SCA2를 기준으로 했을 때 SCA1과의 차이를 백분율로 나타낸 것이다. 실험에서 방사선 소스가 있을 경우 오차가 많이 나는 이유는 방사선 소스가 NaI센서의 전방에 있으면 더 많은 펄스가 검출되는 데 응답시간이 SCA2보다 빠른 SCA1이 간격이 좁은 방사선 펄스들이 연속적으로 들어와도 더 많은 계수를 할 수 있기 때문이다. 그러나 SCA와 MCA는 전체 양에 대한 상대적 구간별 양으로서 핵종을 구분하므로 응답시간의 차이가 중요한 요소는 아니고 계수율이 얼마나 일정한가가 더 중요하다. 위의 결과들이 일정한 계수율을 보여주고 있음을 알 수 있다.

[표 5]는 10초간 얻은 DCU의 결과이다. 사용한 G-Function은 삼각파형이며 거의 일정한 값을 검출하고 있음을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 환경방사선 감시기의 국산화를 위한 감시기의 설계 및 구현 방법에 대해 기술하였다. 기존의 SCA와 DCU를 디지털화한 다음 구현 및 사용의 편의성이 개선되었음을 보였다. 또한 구현된 SCA와 DCU가 성능에 있어서도 우수함을 실험에 의해서 확인하였다. 추후과제로는 감시기 주변환경(강후, 풍향 등)의 변화가 방사선량에 미치는 영향에 대한 연구가 요구되며 이를 통해 SCA와 DCU의 상관관계 및 주변환경에 따른 정확한 G(E)함수값을 구할 수 있다.

#### 참고문헌

[1] H. Hayakawa, M.Ohnishi and H.Shimada "Measuring additional dose rate contributed by Nuclear plant", *Health Phys.* vol.64 no.3, pp.306-310, 1993

[2] S. Moriuchi and I. Miyanaga, "A Method of Pulse height weighting using the Discrimination bias Modulation", *Health Phys.* Vol.12, pp. 1481-1487, 1966

[3] EG&G ORTEC, "Model 4002D 160W NIM Bin Power Supply Operating Manual", 1995

[4] EG&G ORTEC, "Model 550A Single-Channel Analyzer Operating and Service Manual", 1995

[5] 김창균, "방사선계측학", 신광출판사, 서울, 1984

[6] 이훈구, 박준, 성홍석, 이쾌희, 하달규, "환경방사선 감시기의 개발", 제어계측·자동화·로보틱스연구회 합동 학술 발표회 논문집, pp. 363-366, 1996

[7] 한국전력공사 전력계통연구실, "환경방사선 감시시스템 개발 (중간보고서 발표자료)", pp. 1-5, 1996.6

표. 2. 방사선 소스 없음. 전체널(0.03V~10V)  
Table 2. No Source, Full channel(0.03V~10V)

횟수	sca 1	sca 2	mca	error(%)
1	3267	3226	2472	1.27
2	3166	3075	2542	2.96
3	3101	3040	2550	2.01
4	3132	2956	2559	5.95
5	3092	2999	2473	3.10
6	3174	3096	2581	2.52
7	3037	2977	2553	2.02
8	3014	2997	2490	0.57
9	3099	2995	2531	3.47
10	2963	2994	2547	-1.04
평균	3104.5	3035.5	2529.8	2.27

표. 3. Co-60, 전체널(0.03V~10V)  
Table 3. Co-60, Full Channel(0.03V~10V)

횟수	sca 1	sca 2	mca	error(%)
1	49000	42109	25397	16.36
2	49749	42726	25552	16.44
3	49775	42515	25572	17.08
4	50257	42839	25864	17.32
5	49111	42248	25449	16.24
6	49360	42415	25592	16.37
7	49695	42746	25390	16.26
8	49752	42715	25644	16.47
9	49713	42505	25694	16.96
10	49065	41768	25558	17.47
평균	49548	42459	25571	16.70

표. 4. Cs-137, 전체널(0.03V~10V)  
Table 4. Cs-137, Full Channel(0.03V~10V)

횟수	sca 1	sca 2	mca	error(%)
1	173869	145546	114167	19.46
2	173880	146493	113623	18.70
3	173354	145229	111632	19.37
4	173505	145677	111222	19.10
5	173937	146078	112323	19.07
6	173209	145493	111896	19.05
7	172435	146190	112491	17.95
8	174160	146058	112648	19.24
9	173687	146056	112234	18.92
10	173446	145333	113705	19.34
평균	173548.2	145815.3	112594.1	19.02

표. 5. 10초간 얻은 DCU의 출력  
Table 5. Output of DCU in 10 sec.

횟수	natural	co-60	cs-137
1	103	7127	8227
2	118	7026	8241
3	113	6978	8231
4	93	6976	8288
5	105	7151	8216
6	114	7144	8164
7	100	7018	8339
8	123	7041	8288
9	89	7070	8133
10	97	7003	8067
평균	105.5	7053.4	8219.4