

휴대용 RI 이용 계기의 감마선 검출 회로설계

성낙진*, 김상진, 김기준

시립인천전문대

The Gamma-Ray Detection Circuit design of RI Use Instrument for Hand Carry

Nak-Jin Seong, Sang-Jin Kim, Ki-Joon Kim

Abstract In this study, to measure the density of compaction, it is designed to use the 5 gamma-ray detectors. The developed instrument consists of measuring circuits for gamma-rays and thermal neutrons, a high voltage supply unit, stable circuit unit, count circuit unit and a microprocessor. To read count pulse from gamma-ray detectors are very accurate and it can be count to data calibration excluded count of ripple.

Key Words : RI 계기, 회로, 계수회로, 감마선

1. 서 론

도로와 같은 지반 다짐공사시에 성토의 밀도와 수분을 계측함에 있어서 $100\mu\text{Ci}$ 이하의 방사성 동위원소를 이용하여 일반적인 기술자가 사용할 수 있도록 고시되고 있다. 더불어 휴대가 용이하게 하며 방사성동위원소의 붕괴로 인한 방사선 계측수를 교정하여 작업현장에서 신속하게 성토의 밀도와 수분함량을 계측할 수 있도록 하고 있다. 일반적으로, 도로는 성토 다짐작업을 실시하고 상기 다짐작업이 완료된 성토의 상부에 아스팔트를 씌우거나 또는 콘크리트를 타설하여 형성한다. 따라서 아스팔트를 씌우고 콘크리트를 타설하기 이전에 실시하는 노반공사는 도로의 품질을 좌우하는 중요한 인자로 막대한 양의 성토작업이 이루어지고 있다. 상기한 바와 같은 성토의 다짐공사가 올바르게 이루어지지 않으면 노상 및 노체의 지지력 부족, 지반의 부등침하 및 도로의 부분적인 갈라짐 또는 전체적인 변형을 일으키게 되기 때문에 성토다

짐공사에 있어서 성토의 다짐도를 과학적으로 관리하여야 한다. 이상과 같은 성토의 다짐관리법은 흙의 다짐시험에서 얻어진 흙의 최대건조밀도에 기준하여 현장건조밀도의 비를 다짐도로 나타내는 현장 모래치환법에 의한 흙의 단위 중량 시험방법과 흙의 함수량 시험방법이 있다. 그러나, 토목기술의 발달에 따라 노반공사의 성토시공 용 다짐장비의 개선으로 성토다짐의 시공속도가 매우 빨라지고 있는데 반하여 상기한 바와 같은 현장다짐밀도 및 수분함량 계측방법은 그 결과를 신속하게 알 수 없고, 성토시공의 통계적 품질관리가 불가능하며, 계측자의 오차 등으로 인한 정밀한 계측이 불가능한 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위하여 감마선 측정회로를 설계하고자 한다. 계측장치는 하단부에 감마선을 발생하는 감마선원으로 이루어진 방사선원을 구비하여 몸체에 상하 승하강이 가능하게 결합되어 성토에 일정깊이로 탄침되게 설계된 선원봉과, 상기 선원

봉과 근접한 몸체의 하단부에 장착되어 방사선원에서 발생하는 감마선을 검출하도록 회로를 구성하고자 하였다

2. 감마선 검출기

방사성 동위원소를 이용한 성도의 밀도 측정은 감마선이 물질을 투과할 때 물질에 흡수되어 손실되는 비율이 물질의 밀도와 일정한 관계가 있다는 점을 이용하는 것이다. 이 이론은 조밀한 상태의 흡에서는 흡수량이 많고 투과량이 적은 반면에 느슨한 상태의 흡에서는 흡수량이 적고 투과량이 많아진다는 원리이다. 일반적으로 1.4~2.7[g/cm³]의 범위에 있는 흡의 밀도를 측정하려면 350~1000[keV]의 에너지를 발생시킬 수 있는 감마선을 방출하는 동위원소가 필요하게 되며 여기에 Cs-137, Co-60 등의 방사성 동위원소가 주로 이용된다.

본 연구에 사용된 감마선 검출기의 특징은 표 3과 같으며, 설계 사양 검토로는 감마선 검출기에서 감마선계측에 가장 민감한 부분은 감마선 선원으로부터 x축 방향으로 25.275[cm] 떨어진 지점이었다. 따라서 검출기 5개를 이 지점을 중심으로 하여 +x축으로 4.775[cm], -x축으로 4.775[cm]의 위치에 걸쳐 배열하였다.

표 3. 감마선 검출기의 특징

Gas Filling	Ne +Halogen
Cathode Material	446 Stainless Steel
Maximum Length (inch/mm)	6.83 / 173.5
Effective Length (inch/mm)	5.10 / 129.5
Maximum Diameter (inch/mm)	0.75 / 19.1
Effective Diameter (inch/mm)	0.73 / 18.4
Connector	LEMO COAX
Operating Temperature Range °C	-55 to +100

감마선은 감마선 검출기 주위를 둘러싼 물질에 의하여 민감한 반응을 보이게 된다. 특히 검출기 주변의 물질은 감마선선원에 의해 방출된 일차 감마선과의 상호작용에 의해서 이차방사선을 생성

하게 된다. 이 이차 방사선이 검출기에 도달하는 경우에는 계수되는 감마선수에 크게 영향을 미치게 된다. 특히 감마선이 검출기 주변의 물질과 콤프턴 산란(Compton scattering), 광전 흡수(photo electric absorption), 전자쌍 생성(pair production)의 반응을 일으키면 특성 X선, 소멸 방사선(annihilation radiation) 등을 방출하게 된다.

이와 같은 효과는 검출기 주변의 물질이 높은 원자 번호를 가지고 있으면 더 큰 에너지를 가진 방사선이 방출되게 된다. 따라서 검출기 주변에 높은 원자 번호의 물질을 피해야 한다. 이차 방사선의 발생은 피할 수는 없지만 차단 물질을 사용하여 그 효과를 어느 정도 줄일 수 있게 되는데, 가장 많이 이용되는 방법은 복층 차단(graded shield) 방법으로서 하나의 높은 원자 번호를 가진 물질에 낮은 원자 번호를 가진 물질을 붙여 검출기 주변에 설치하는 것이다. 일반적으로 높은 원자 번호의 물질은 납을 사용하고 낮은 원자 번호의 물질은 알루미늄을 사용한다. 높은 원자 번호의 물질은 감마선의 투과를 방지하여 검출기 주변의 물질과 상호작용을 줄이게 되고, 낮은 원자 번호의 물질은 높은 원자 번호의 물질에서 나오는 방사선을 막는 역할을 한다. 즉, 높은 원자 번호 물질에서 나오는 특성 X선 같은 방사선을 낮은 원자 번호의 물질이 흡수하여 저에너지 또는 투과력이 약한 X선을 방출하게 된다. 본 연구에서도 감마선 검출부 상단에 알루미늄과 납을 차례로 붙여 이차 방사선에 의한 효과를 줄였다.

3. 검출회로 설계

3.1 감마선 검출회로

감마선검출기로 이용되는 G-M 검출기는 그 기본적 검출원리가 비례계수관과 같이 가스 증배를 이용한다. 하지만 가스증배가 일어나기 시작하면 초기에 생성된 이온쌍(ion pair)과는 상관없이 항상 10⁹~10¹⁰ 개의 이온쌍을 생성하는 가이거 방전을 일으킨다. 즉, G-M 검출기는 감마선에 의해 생성된 전자가 G-M 검출기에

걸려 있는 고전계에 의해서 전자사태(electron avalanche)를 일으키고 이 전자사태는 다시 다른 전자사태를 수회 일으킨다. 즉, 자발 증배 연쇄반응(self propagation chain reaction)이라는 가이거 방전을 일으킨다. 가이거 방전이 개시된 최초의 이온쌍 수의 다소에도 불구하고 G-M 검출기의 모든 펄스는 같은 진폭을 나타낸다. 그리고 가이거 방전은 어떤 한계점에 도달해야 연쇄반응이 종료된다. 이때 생성된 출력펄스의 진폭은 수 V 에 이른다. 그림 1은 초기에 생성된 전자가 가이거 방전을 일으키는 메커니즘을 나타낸 것이다.

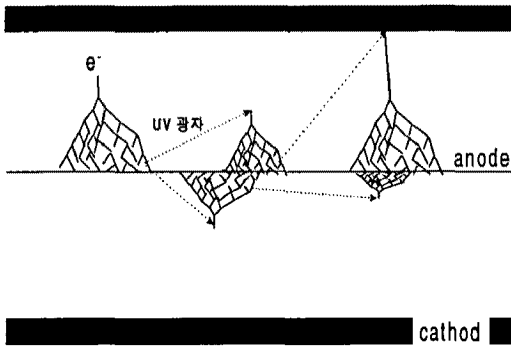


그림 1. 가이거방전의 메커니즘

G-M 검출기에서 발생하는 펄스의 크기가 수 V 이른다는 것은 감마선 검출회로를 증성자 검출회로와는 달리 매우 간단하게 만드는 이점이 있다.

일반적인 G-M 검출기의 펄스 오름시간은 μsec 정도이다. 또한 출력펄스에 시간에 대한 의존성은 증성자 검출기(He-3 비례계수관) 펄스의 시간적인 이력과는 크게 다르지 않다. 최초의 전자사태가 완전히 가이거 방전에까지 전파되는데 필요한 시간은 보통 $1 [\mu\text{sec}]$ 이하이다. 이 방전으로부터의 전자의 수집시간은 $1 \mu\text{sec}$ 내에 이루어지게 된다. 수집회로의 시정수가 무한대인 경우에 출력펄스가 최대값에 도달하는 데는 이온수집시간(수 [msec])만큼 걸린다. 본 연구에서는 최대 계수율을 고려하여 펄스의 느린 오름 부분을 제거하고 빠른 오름 부분만 남게 하였다. 이로 인하여 진폭의 상당부분을

잃게 되지만 가이거 방전에서 발생된 전하의 양은 아주 큰 펄스를 발생하므로 많은 진폭의 손실은 피할 수 있다. 또한 모든 가이거 방전은 크기와 시간 프로파일(Time Profile)이 거의 일정하기 때문에 전체 펄스는 성형과정에 의해서 감쇠되고 그 출력펄스는 거의 일정한 진폭이 됨을 알 수 있었다.

G-M 검출기의 가장 큰 단점은 불감시간이 크다는 것이다. 양이온이 반지름 방향의 바깥쪽으로 향해 유동됨에 따라 공간전하는 보다 광범위하게 확산되고 증배 영역 내의 전기장의 초기값으로 되돌아가기 시작한다. 양이온이 어느 정도의 거리를 이동한 후에 전기장은 다음 가이거 방전을 일으킬 수 있도록 초기값을 회복하게 된다. 따라서 검출기내에 걸린 고전계가 초기값을 회복할 때까지는 가이거 방전은 일어나지 않게 된다. 이 시간 중에 검출기는 불감상태가 되고 이 사이에 일어나는 어떠한 방사선의 상호작용도 신호로서 나타나지 않게 된다. G-M 검출기는 이 시간을 불감시간(Dead Time)으로 정의한다. 대부분의 G-M 검출기는 $50 \sim 100 [\mu\text{sec}]$ 의 불감시간을 갖는데 본 연구에서 사용하는 G-M 검출기 또한 $100 [\mu\text{sec}]$ 의 불감시간을 가지고 있다. 따라서 감마선검출회로의 시정수도 되도록 이 시간을 넘지 않도록 설계를 해야 한다. 회로내의 시정수를 너무 짧게 하면 감마선으로 인해 발생한 펄스를 증폭해야 하는 단점을 가지므로 본 연구에서는 회로의 시정수를 대략 $100 [\mu\text{sec}]$ 로 설계하였다. 앞에서 언급하였듯이 G-M 진폭이 일정하므로 증성자 검출기회로와는 달리 파형의 선별작업이 필요없어 주변 회로도 단순하게 구성할 수 있었다. 그림 2에 본 연구에서 설계한 감마선 검출회로를 나타내었다.

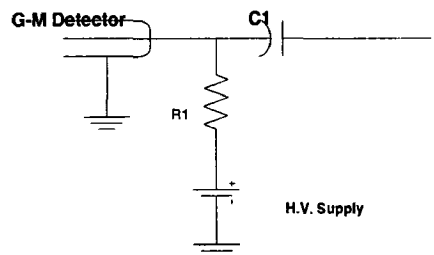


그림 2. 감마선 검출회로

그림 3은 검출회로의 출력단에서 오실로스코프로 측정된 감마선 펄스이다.

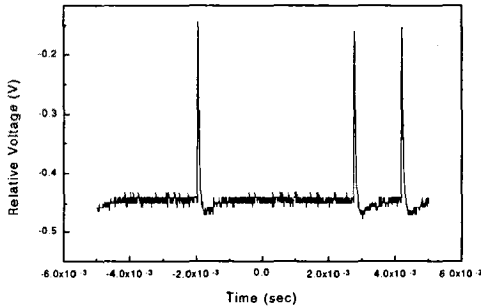


그림 3. 감마선 검출회로에서 측정된 감마선 신호

3.2 감마선 계수회로

감마선 계수회로는 중성자 계수회로와는 달리 555Timer IC을 이용하여 설계하였다. 앞에서 언급하였듯이 감마선을 검출하는 G-M 검출기는 발생펄스의 진폭이 거의 일정하기 때문에 중성자 계수회로와 같이 복잡한 콤퍼레이터가 필요없다. 즉, 진폭이 수 [V] 정도 되는 펄스를 계수화(Digitalize)하기만 해서 마이크로프로세서로 입력시키면 된다.

555Timer IC는 이상발진기, 2개의 비교기, RS 플립플롭, 방전 트랜지스터로 구성된다. 이런 다양한 기능을 가진 IC는 많은 응용에 사용되어지며 산업용으로 표준화가 되어 있다. 그림 4는 8핀용 555Timer IC의 간략화된 블록 다이어그램이다.

본 연구에서는 555Timer IC의 단안정 작동(monostable operation)을 이용하여 그림 5와 같은 감마선 계수회로를 설계하였다. 입력신호는 2번(Trigger)으로 들어가고 출력신호는 3번 핀이다. R_4 와 C_2 는 출력펄스의 폭(시간폭)을 제어한다. 즉, 출력 펄스의 시간폭은 수식 (1)과 같이 계산되어진다.

$$\text{width} = 1.1 R_4 C_2 \text{-----(1)}$$

R_4 와 C_2 의 회로소자의 크기를 결정하는데

있어서 555IC로 입력되는 감마선 신호펄스가 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 입력펄스의 시간폭에 맞추어 시정수를 결정하였다. 만약 시정수가 너무 크면 계수회로의 불감시간에 의해 계수손실은 피할 수 없게 된다. 따라서, 계수회로의 시정수는 입력펄스의 시간폭과 비슷하거나 작게 설정하여야 한다.

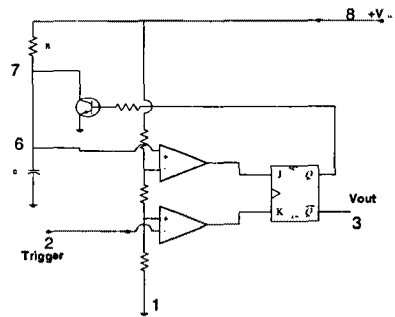


그림 4. 555IC 블록 다이어그램

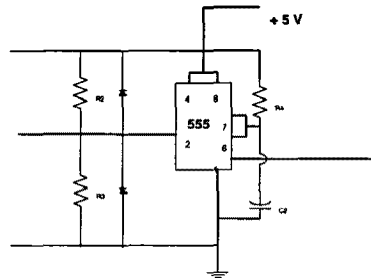


그림 5. 555IC를 이용한 감마선 계수회로

그림 6의 (a)는 555IC 2번 핀으로 입력되는 감마선 신호펄스이고 (b)는 3번 핀으로 출력되는 계수화(Digitalize)된 감마선 신호펄스이다.

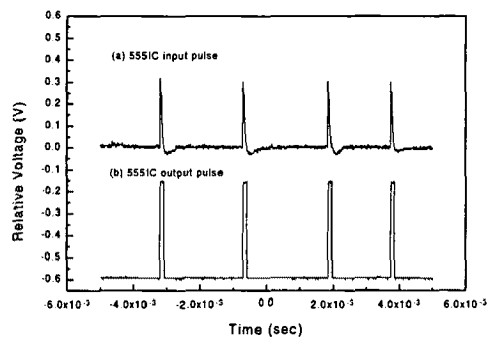


그림 6. 555IC 입력 전·후의 감마선 신호펄스

3.3 마이크로프로세서

모든 시스템의 제어와 입출력을 담당하고 있는 중앙처리장치로 NEC사의 원칩 V25를 마이크로프로세서를 사용하였다. V25는 8086계열의 CPU로 16[MHz]의 클럭 주파수로 구동된다. 전원이 들어오면 가장 먼저 FFFF : 0000 번지에 있는 코드를 읽어들이는 것이다. ROM에 주소가 할당되도록 74LS139를 통해 RAM과ROM의 어드레스를 디코딩한다. 만약 이 주소에 아무런 코드도 기억되어 있지 않으면 아무런 일도 하지 않는다. 클럭 주파수를 만들기 위해 16MHz의 수정발진기를 사용하였고 RAM(62256)과 ROM(27C256)을 각각 32K의 용량을 사용하였다.

PC와의 연결을 위해 RS 232를 사용하고 9600 Baud의 전송속도로 시리얼 통신을 수행한다. Program을 ROM에 기록한 후에는 PC와 연결하지 않더라도 ROM에 의해 모든 연산이 실행되어진다.

4. 결론

성토의 밀도를 측정하기 위하여 RI 계기 감마선 측정회로를 설계하였다. 감마선 검출기로 인가되는 적정 고전압(850~1200[V])에서 전압의 안정도를 측정하기 위하여 고전압 발생회로와 안정화회로, 그리고 감마선 계측회로를 구성하였다. 이때 측정되는 감마선 신호값은 계수화(Digitalize)하여 마이크로프로세서로 계수할 때 리플성분에 의한 계측수를 제거함으로써 보정이 가능하였다.

참 고 문 헌

- [1] 한국원자력연구소 원자력연수원, "원자력법령집", 한국안전기술원, 1993
- [2] 일본도로공단시험소, "RI 計器で土の密度・水分量るしくみ," 시험소 기술자료 제 213호, 1984(昭和 59年)
- [3] IAEA, "Neutron Moisture Gauge," Technical Reports Series No. 112, pp.30, 1970
- [4] 김기준외 15인, "성토시공관리를 위한 방사성동위

원소 장비개발", '95 연구개발사업 1차년도 보고서, 건설교통부, pp. 3~27, 1996

- [5] Glenn F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement," John Wiley & Sons, pp. 107~ 110, 1988
- [6] J. S. Hendricks and R. E. Prael, "Monte Carlo Next-Event Estimates from Thermal Collisions," Nuclear Science and Engineering, Vol. 109, No. 3, pp.150-158, 1991
- [7] J. F. Briesmeister, Ed., A General Monte Carlo N-particle Transport Code(MCNP), Version 4A, La-12625-M, Los Alamos National Lab, 1993
- [8] S. Shalev et al., "The Wall Effect in He-3 Counters", Nuclear Instruments and Methods, Vol. 71, pp. 292~296, 1969