

## 방사선 펄스 계측 및 분석시스템에 관한 연구

길경석<sup>1)</sup> · 손원진<sup>2)</sup> · 송재용<sup>2)</sup> · 김일권<sup>2)</sup>

### A Study on the Instrumentation and Analytic System for Radioactive Pulse

Gyung-suk Kil<sup>1)</sup> · Won-jin Son<sup>2)</sup> · Jae-yong Song<sup>2)</sup> · Il-kwon Kim<sup>2)</sup>

#### ABSTRACT

An objection of this study is to develop a measuring circuits and a analytic system for radioactive pulses. The proposed system consists of a pulse detection units for neutrons and gamma-rays, a programmable high voltage supply unit and a digital signal processor. Gamma-ray detection circuit can count pulse up to 10,000[pps]. The pulse detection parts consists of an active integrator, a pole-zero circuit, and a 3-stage amplifier of 60 [dB], and its frequency bandwidth is from 37 [Hz] to 300 [kHz].

Also, pulse height distribution in accordance with pulse counts is important data in analyzing radioactive pulses. In this study, A/D convertor (12 [bit], 100 [ns]) and DSP (TMS 320C31-60) are used to analyze the pulse height, and the analytic system is designed to be operated in PC-base

Radioactive pulse has superior penetration ability to all kind of materials, and it is also possible to evaluate the soundness of electrical insulation materials by analyzing the pulse counts and/or pulse height distribution.

#### 1. 서 론

산업 사회의 고도화, 정보화에 힘입어 모든 분야의 기술이 나날이 급속한 발전을 거듭하고 있으며 산업의 정밀성 및 전력사용형태의 고급화로 인해 고신뢰, 고품질 전력이 국내기반 산업과 사회적 환경에 미치는 영향이 높아지고 있다. 첨단 산업사회의 중추적인 에너지원인 전기에너지의 전달과정에서 일어나는 사고는 막대한 손실을 가져다 주고있는 실정이므로 전력공급과 전력설비에 대한 신뢰도가 한층 높게 요구되고 있다. 이러한 사고는 전력계통 설비의 결함이나 열화 등에 의한 사고가 대부분이기 때문에 전력계통설비의 결함이나 수명예측에 많은 관심이 집중되고 있다. 현재 전력설비에서 전기 절연물의 이상이나 결함상태를 검출하는 방법에는 여러 가지 방법이 있지만 일상생활과 산업사회에 보다 나은 기술적용에 있어 환경문제를 고려한 기술을 중요시하는 추세에 있다. 이러한 배경에서 환경 파괴 또는 환경오염을 최소화하기 위하여 각종의 계측과 분석기술이 과거의 역학적, 화학적 분석방법에서 현재는 방사성 동위원소를 이용한 비파괴 검사기술이 확대되고 있다.

국내의 경우 방사선 이용기술은 원자력 분야는 물론 의료분야, 토목분야의 시공관리, 용접품질의 비파괴 검사, 특수 계측분야 등 많은 분야에서 적용되고 있는 추세이며, 방사성 동위원소 이용기술이 많은 부분 보급되어 있지만 아직도 핵심기술과 소자 및 장치는 모두 수입에 의존하고 있는 실정이다<sup>[1]</sup>.

1) 한국해양대학교 전기전자공학부

2) 한국해양대학교 대학원 전기공학과

따라서 이 분야의 기술 중에서 핵심적인 방사선 계측 및 분석시스템을 개발하여 국내실정에 맞게 확립할 필요성이 있다. 본 연구를 통해 이 분야의 핵심적인 기술 중에서 고전압 공급장치, 방사선 검출회로에 관한 기술을 확보하고 또한 이론적, 실험적 연구결과를 정립하여 본 기술이 필요한 곳에 제 공함으로써 방사성 동위원소 이용계기의 사용에 따른 신뢰성을 확보할 수 있도록 한다. 그리고 방사성 동위원소 이용계기를 통한 비파괴 검사를 적용하여 전기절연물의 상태를 평가함으로써 전력공급의 신뢰성평가에 본 연구가 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 이러한 배경으로 방사성 동위원소 이용계기의 핵심기술 중에서 고전압 공급장치, 중성자 및 감마선 검출회로, 디지털 신호처리를 이용한 방사선 펄스의 고안정 계측 및 분석시스템을 제작하고 이를 이용한 방사선 펄스의 파고패턴분석을 통하여 전기절연물의 특성을 평가에 적용성을 검토하고자 한다.

## 2. 이 론

### 2.1 방사선의 검출원리

방사선 검출기내에서 방사선의 상호작용시간은 기체의 경우 수 [ns]로 대단히 짧기 때문에 방사선의 에너지 전달은 순간적으로 일어난다. 이 때 방사선 검출기의 유감체적 중에서는 그림 1과 같이 일정한 양의 전하가 축적되므로 이 전하를 수집하여 기본적인 전기적 신호를 형성하면 방사선 검출기 내에 입사되는 방사선 펄스의 수를 측정할 수 있다.

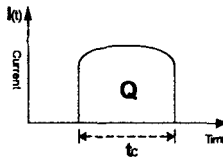


Fig 1 Typical current waveform of a detector

전형적인 전하의 수집방법은 방사선에 의해서 생성된 양전하와 음전하를 서로 반대방향으로 이동시키기 위해 방사선 검출기 내부에 고전계를 형성함으로써 얻어질 수 있다. 물론 검출기의 종류에 따라 전하를 완전히 수집하는데 요구되는 시간은 달라진다. 한 개의 방사선이 검출기로 입사한 경우 검출기의 고유의 메카니즘에 따라서 전자를 발생시키게 된다. 이 전자가 검출기에 수집되는 시간  $t_c$ 만큼 전류가 흐르며, 이 시간 동안 생성된 전하를 적분하면 전하의 총량  $Q$ 를 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\int_0^{t_c} i(t) dt = Q [c] \tag{3}$$

이 원리를 이용하여 방사선으로 발생한 전하를 측정하는 방법은 펄스모드(pulse mode), 전류모드(current mode), 평균제곱전압모드(mean square voltage mode)가 있다. 현재 개별적인 방사선의 에너지를 측정하는 방법에는 펄스모드가 널리 이용되고 있다<sup>[2]</sup>.

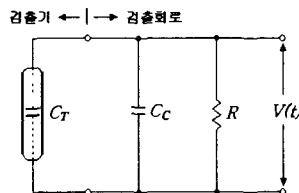


Fig 2 Equivalent circuit of detecting part

단일현상으로 생성된 신호펄스의 특성은 그림 2와 같이 검출기와 검출기에 접속되어 있는 전치 증폭기(pre-amplifier)의 입력특성으로 결정된다. 그림 2에서  $R$ 은 검출회로의 입력저항,  $C_C$ 는 검출회로의 정전용량,  $C_T$ 는 검출기 자체의 정전용량이다.

여기서  $R \cdot (C_T + C_C)$ 의 적분 시정수( $\tau$ )가 검출기의 전하수집시간  $t_c$ 보다 작은 경우에는 그림 3의 (b)와 같으며 큰 경우에는 그림 3의 (c)와 같이 된다. 즉, 처음의 신호펄스가 최대값에 도달하는데 필요한 시간은 검출기 자체 내에서 전하수집시간으로 결정되며, 펄스의 감쇠 시간은 회로의 시정수에 의해 결정된다. 그러므로 펄스의 상승시간은 검출기의 특성에 의존하며, 감쇠시간은 회로의 시정수에 의존하는 것을 의미한다.

따라서 방사선의 검출기로부터 발생하는 신호펄스를 정확히 검출하기 위해서는 검출회로의 시정수를 방사선 검출기의 불감시간 이하로 하는 것이 바람직하다<sup>[3], [4]</sup>.

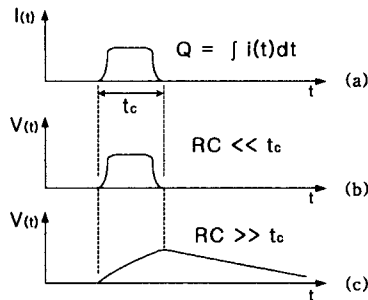


Fig. 3 Output pulse by time constant

### 3. 계측 및 분석시스템의 설계와 제작

#### 3.1 방사선 펄스의 검출회로

방사성 동위원소 이용기술에 감마선과 중성자 검출이 널리 이용되고 있다. 방사선 검출을 위해서는 전용의 검출기가 필요하며 검출기 내부에는 고전계를 인가해 줄 수 있는 고전압 발생회로가 필요하다. 인가되는 고전압이 불안정하게 되면 방사선 펄스의 계측에 있어 원하지 않는 오차를 유발하게 된다.

따라서 본 연구에서는 방사선 검출기에 안정된 고전압을 인가하기 위하여 구성이 간단하고 안정한 동작, 경제성을 고려하여 가장 적합한 플라이백(fly-back) 방식의 컨버터 원리를 적용하였다. 컨버터의 스위칭 회로는 동작이 안정하고 제어가 용이한 비안정 멀티 바이브레이터를 구성하였다. 주위 온도변화에 따른 소자의 특성변화, 검출기와 접속부에서 발생할 수 있는 누설전류 등에 의해 전압변동이 발생할 수 있다. 이는 검출기에 불안정한 고전압을 공급함에 따라 방사선 펄스의 계수오차를 유발할 수 있다. 따라서 고전압 공급장치에서 일정한 전압을 유지하도록 직렬형의 안정화회로를 첨가하였다.

고전압 공급장치의 출력전압은 12 bit의 D/A 컨버터(AD664)를 사용하여 프로그래머블 타입으로 설계·제작하였다. 이렇게 함으로써 중앙컴퓨터에서 1500 V까지 제어가 가능하도록 하였으며, 전체적인 회로는 그림 4와 같다.

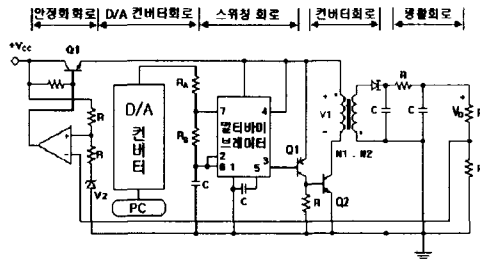


Fig. 4 High voltage supply unit

중성자 검출에 사용되는 검출기는 현재 널리 사용되고 있는 He-3 비례계수관을 사용하였다<sup>6)</sup>. He-3 가스 비례계수관의 측정원리는 He-3 가스와 열중성자의 반응으로 발생하는 양성자(Proton : 571 [keV], 삼중수소핵 (Triton : 191 [keV])의 에너지를 측정한다 즉, He-3와 열중성자가 반응해서 발생되는 입자는 검출기 내부가스를 이온화시키면서 그 에너지를 잃는다. 이온화된 가스는 검출기내부에 걸린 고전계에 의해 전자들은 양극도선(Anode), 양이온들은 음극벽(Cathode)으로 이동한다. 이때 수 mV 정도의 미약한 열중성자 펄스가 발생하는데 검출신호가 미약하므로 고이득의 증폭회로를 필요로 한다. 본 연구에서 중성자 검출회로는 그림 5와 같이 연산증폭기를 이용하여 60 [dB]의 전압이득을 갖도록 증폭회로를 구성함으로써 최종적으로 출력되는 신호펄스의 크기는 수백 [mV] ~ 수 [V] 정도가 된다

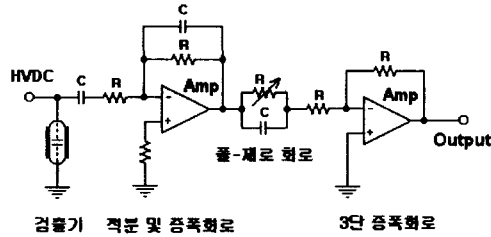


Fig. 5 Detection circuit for neutrons

60 [dB]의 이득을 얻기 위해서 단일의 연산증폭기만으로 구성할 경우에는 펄스응답이 느려 방사선 펄스의 검출에 많은 오차가 발생한다. 따라서 응답특성을 개선하여 안정된 계측수를 얻기 위해 3단 증폭회로를 구성하였다. 또한, 검출 및 증폭된 펄스는 입력펄스와 전치증폭기에서의 감쇠시간 관계로부터 그림 7의 (a)와 같이 파미의 감쇠 후 영점에 교차하거나, 영점이하로 떨어지는 부족진동(undershoot)이 생기게 되고, 이 부분에 다음의 펄스가 도래하면 펄스의 진폭에 영향을 주어 오차를 나타내게 된다.

본 연구에서는 부족진동에 의한 오차를 소거시켜주기 위하여 그림 6과 같이 증폭회로에 폴-제로 (pole-zero)회로를 부가하여 전달함수의 분모에 극을 소거함으로써 부족진동이 없는 단순한 지수함수의 출력신호가 얻어지도록 하였다.

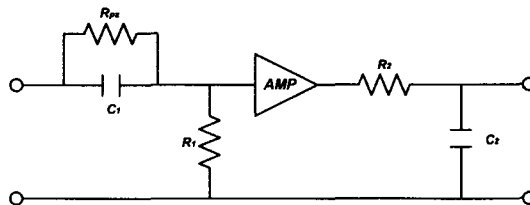


Fig. 6 Pole-zero elimination circuit

폴-제로 회로를 추가한 CR-RC 회로망의 전달함수는

$$\frac{R_1}{(R_{pz}/1 + sR_{pz}C_1) + R_1} \cdot \frac{1}{1 + sC_2R_2} \quad (3.11)$$

$$= \frac{R_1(1 + sR_{pz}C_1)}{R_{pz} + R_1(1 + sR_{pz}C_1)} \cdot \frac{1}{(1 + sC_2R_2)} \quad (3.12)$$

로 구해지며 만일  $R_{pz}C_1 = R_2C_2$  조건이 되어지면 분모의 극 하나가 소거됨으로 부족진동이 없는 그림 7의 (b)와 같은 단순한 지수함수의 출력신호가 얻어지게 된다.

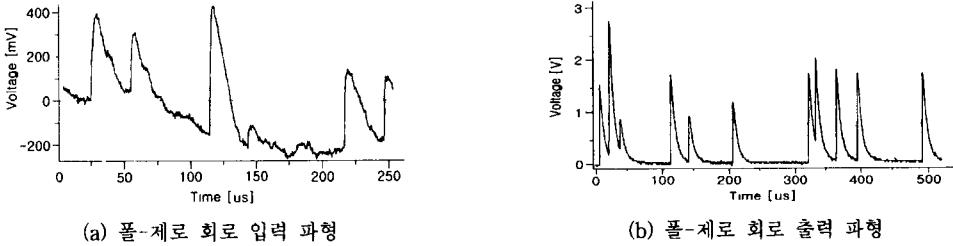


Fig. 7 Measured waveforms of neutrons

G-M 계수관의 기본적인 원리는 비례계수관과 같지만, 가스증배가 시작되면 초기에 생성된 이온쌍에는 관계없이 항상  $10^9 \sim 10^{10}$  개의 이온쌍을 생성하는 가이거 방전을 일으킨다<sup>[7]</sup>. 이 때 발생한 출력펄스의 진폭은 수 [V] 정도이므로 중성자 검출회로와는 달리 검출회로가 그림 8과 같이 간단하게 구성된다. 본 장치에 적용한 G-M 계수관은 불감시간이 75 [ $\mu$ s]이므로 검출회로의 시정수를 75 [ $\mu$ s]로 하였다. 검출회로의 구성은 연산증폭기 및 플립플롭 회로를 조합하여 파형정형 회로를 구성하였으며, 출력 파형은 별도의 회로 없이 정형된 파형이 얻어진다<sup>[8]</sup>.

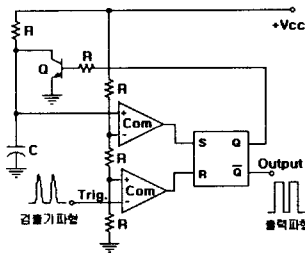


Fig. 8 Detection circuit for gamma-rays

그림 9는 감마선 검출회로의 검출 파형으로 그림 9의 (a)와 같이 검출기 자체의 출력신호가 크고, 크기도 일정하므로 별도의 파고 선별 없이도 분석이 가능하며, 검출회로의 최종출력은 그림 9의 (b)와 같이 구형파의 정형된 파형으로 출력되어 분석시스템의 계수회로에 입력된다.

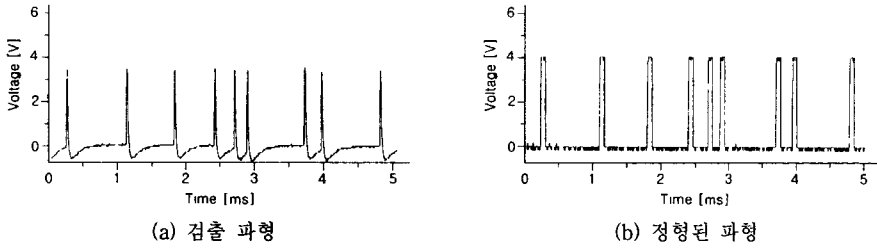


Fig. 9 Measured waveforms of gamma-rays

### 3.2 분석 시스템

중성자 및 감마선 검출회로, 고전압 공급장치를 종합하여 PC기반의 통합 계측 및 분석 시스템을 제작하였다. 신호처리를 위한 프로세서로는 고속의 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하였으며, PC기반으로 컴퓨터의 병렬 포트에 연결된다<sup>[9]</sup>.

이제까지 방사선 펄스의 계측 및 분석에 있어서는 단순히 계수에 의존한 방식이 주류를 이루고 있다. 이 방식은 감마선과 같이 검출기 자체의 신호가 수 [V] 정도로 크고 일정한 경우에는 대단히 유용한 방법이다. 그러나 중성자와 같이 검출신호의 크기가 미약하고, 크기가 일정하지 않은 경우에는 상당한 오차를 포함하게 된다. 특히 중성자 검출회로는 외부 노이즈의 영향을 받기 쉬우며, 고전압 공급장치에 포함되는 리플 전압도 중성자 신호와 같이 처리되기 때문에 계수에 의한 분석은 항상 오차를 포함하게 된다.

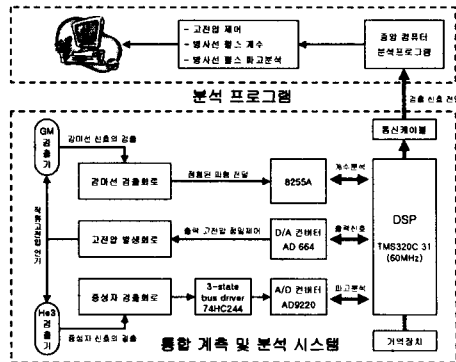


Fig. 10 Configuration of the system

따라서 본 연구에서는 그림 10과 같이 DSP를 기본으로 한 방사선 펄스 검출 시스템을 구성하여 방사선 신호의 크기별 누적 분포를 나타냄으로써 계수는 물론 신호의 파고분석이 가능하도록 구성하였다. 또한 이 시스템은 PC에 연결되어 계측, 분석, 저장이 이루어지므로 보다 효율적인 분석이 가능하다. 검출회로에서 검출기내에 고전계 인가를 위한 고전압 공급장치 제어에는 12 [bit] D/A 컨버터 (AD664)를 사용하였으며, 직렬형 전압 안정화 장치를 통하여 검출기내에 안정된 고전압이 인가되도록 하였다. 감마선 검출회로의 출력은 신호가 수 [V] 정도로 크고 일정하기 때문에 별도의 부가 회로 없이 파형 정형회로를 통해 출력된 정형된 파형이 DSP에 입력된다. 입력된 감마선 펄스는 계수에 의해 분석이 이루어진다. 그러나 중성자 검출회로에서는 출력신호가 미약하고, 그 크기 또한 일정하지 않기 때문에 감마선과 같이 단순히 계수에 의한 분석은 한계를 가지게 된다. 또한 중성자 검출에 있어서 검출기 및 검출회로의 특성 때문에 외부의 잡음 또는 고전압 공급장치에 포함되는 리플전압 등에 의해 계수오차를 유발시키게 되며, 이 오차는 계수회로에서 계측수로 판단하여 계수에 포함하게 된다. 따라서 중성자 신호는 단순한 계수회로만으로 분석하게 되면 방사선 신호와 오차를 구분할 수 없으며, 오

차에 의한 것도 방사선 펄스와 같이 취급 될 수 있다는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 중성자 신호에 대한 파고값을 분석하여 방사선 신호와 오차에 의한 신호를 구분해 주는 것이 필요하다. 뿐만 아니라 방사선 펄스의 파고값을 검출하면 검출신호의 에너지 분포 등도 분석할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 파고 분석기를 구성하였으며, 계수회로와 더불어 보다 정확한 분석이 가능하도록 하였다.

#### 4. 시스템 평가 및 분석

##### 4.1 평가 방법

방사선 통합 계측 및 분석시스템을 이용하여 전기재료의 특성을 평가하기 위해 그림 11과 같이 기본특성실험과 시편의 적용실험을 수행하였다.

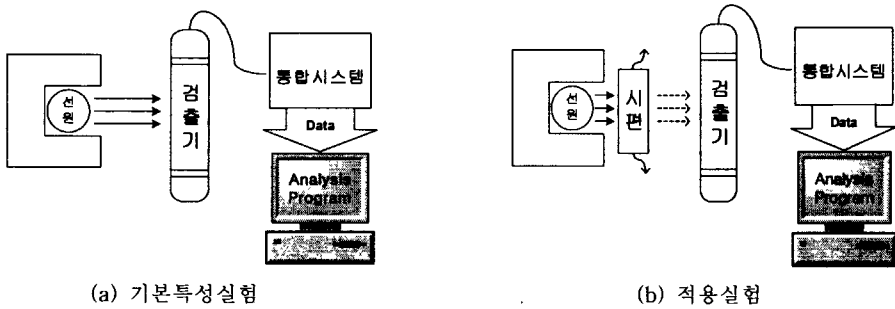


Fig 11 Schematic of experimental apparatus

기본특성실험에서는 본 연구에서 제작한 고전압 회로와 중성자, 감마검출회로를 통합시킨 방사선 펄스 계측 및 분석시스템에 대하여 방사선 검출 특성을 평가하였다. 이러한 기본특성실험은 계측 및 분석시스템의 기본적인 특성을 파악하고 적용실험에 있어 평가에 기준이 된다. 또한 방사선 펄스는 거리에 따라 검출수가 달라지므로 이에 따른 특성도 평가하였다.

적용실험은 방사선이 재료의 형태나 성분에 따라 투과성질이 달라지기 때문에 전기절연물에 흔히 쓰이는 폴리에틸렌과 실제에 적용되는 케이블을 일정한 크기와 두께로 시편을 제작하여 같은 조건의 환경 하에서 결함이 있는 시편과 결함이 없는 시편으로 나누어 투과특성을 비교 평가하였다. 결함이 있는 시편에서 결함은 재료의 사용으로 인한 결함이나 자연적인 결함을 형성하는데 어려움이 있기 때문에 인위적으로 홈을 내거나 구멍을 만들어 시편에 결함을 부여하였다. 그리고 중성자가 수분과 상호작용 하는 성질을 이용하여 케이블 시편의 수분함유에 대한 특성도 평가하였다.

전기절연물에 대한 결함진단에 관한 기술을 확립하기 위하여 기본특성실험과 적용실험 결과로부터 얻어진 방사선 펄스의 계수 및 파고분포를 통해 방사선 펄스 계측 및 분석시스템의 기본특성을 파악하였다. 이를 기준으로 시편의 투과특성 실험을 통하여 무결함 시편, 결함 시편, 수분함유 시편에 대한 방사선 검출패턴을 분석하였다. 시편에 감마선을 조사하였을 경우에는 계수에 의한 방법으로 분석하고 중성자를 조사하였을 경우에는 계수와 파고분포에 의한 방법으로 분석하였다. 또한, 물질과 방사선으로 상호작용 하는 성질을 적절히 이용하여 방사선 펄스 계측 및 분석시스템을 효과적으로 사용하여 평가하였다.

##### 4.2 기본특성실험

본 연구에서 제작한 방사선 펄스 계측 및 분석시스템의 기본적인 특성을 파악하기 위하여 방사선 선원을 검출기에 직접적으로 조사하여 검출특성을 파악하였다. 감마선과 중성자에 대해서 검출특성을

파악하였으며 감마선은 계수 특성, 중성자는 파고분포 특성을 파악하였다.

감마선 1 [ $\mu\text{Ci}$ ]를 1분 동안 조사하여 거리변화에 따른 시스템의 기본 계수특성을 그림 12와 같이 그래프로 나타내었다.

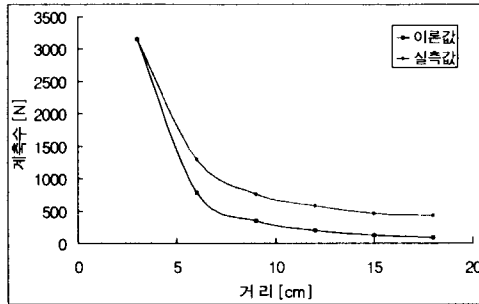


Fig. 12 Detection characteristics with distance

감마선의 거리에 따른 검출특성은 방사선 강도가 거리의 제곱에 반비례하는 이론적인 특성과 같이 적용실험에서도 유사한 결과를 나타내었다. 또한, 많은 방사선 펄스를 얻기 위해 70 [ $\mu\text{Ci}$ ]의 감마선을 조사하여 기본검출특성의 표준편차를 구하여 검출 변화량이 표준편차 범위 내에 있으면 오차로 간주하고 표준편차 범위에 있으면 오차가 아닌 것으로 간주한다. 즉, 표준편차를 통해 오차범위의 기준을 선정하였다. 표 1은 감마선의 기본검출특성을 나타낸다.

Table 1 Basis characteristics of gamma-rays

회 선원세기	1	2	3
$^{60}\text{Co}$ 70 [ $\mu\text{Ci}$ ]	12,401	12,170	12,166
평균	12,245	표준편차	135

중성자에 대해서는 1분 동안 계측하여 중성자의 파고분포 특성을 파악하였으며 파고분포는 그림 13에 나타내었다.

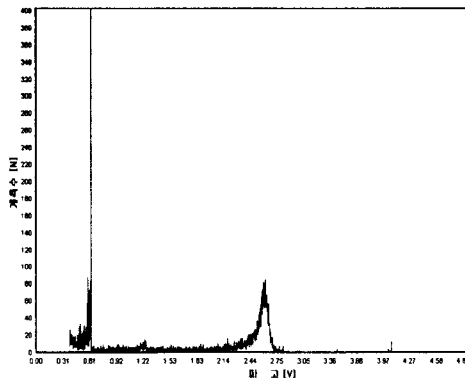


Fig. 13 Characteristics of Pulse Height Analysis for neutrons



### 4.3 적용실험

선원과 검출기 사이에 시편을 두어 방사선을 시편에 투과시켜 투과된 방사선에 대하여 검출특성을 파악하였다. 기본검출특성을 기준으로 삼아 절연재료인 폴리에틸렌과 케이블 시편을 대상으로 정상적인 폴리에틸렌과 케이블 시편에 대한 검출특성과 결함이 있는 폴리에틸렌과 케이블 시편의 검출특성을 비교 분석하였다. 감마선원에 대하여는 계수에 의한 분석을 하였으며 중성자에 대해서는 계수에 의한 분석과 파고분석을 동시에 비교 분석하였다.

Table 2 Penetration characteristics of a samples <sup>60</sup>Co 70 [μCi]>

거리	결함 유무	결함 (有)				결함 (無)			
		1회	2회	3회	평균	1회	2회	3회	평균
폴리에틸렌		9,483	9,529	9,489	9,500	9,296	9,319	9,324	9,313
케이블		9,199	9,175	9,214	9,196	9,009	8,935	9,011	8,985

표 2의 실험결과에서 감마선 펄스의 검출수가 큰 변화 폭은 없지만 결함이 없을 때보다 결함이 있을 때 검출 수가 많아진다. 이러한 결과는 폴리에틸렌과 케이블의 방사선 흡수계수가 작기 때문이다. 그리고 결함이 있을 때 검출수가 많은 이유는 인위적으로 만든 3[mm] 홈의 결함으로 인해 절연재료의 방사선 흡수율을 낮추는 효과를 나타내었기 때문이다. 또한, 평균의 차는 기본특성에서의 표준편차보다 크게 나타나므로 오차범위가 아님을 알 수 있었다. 그리고 케이블 시편의 실험결과에서는 폴리에틸렌 시편을 사용하였을 때보다 적은 검출 수를 나타내었다. 이는 폴리에틸렌 시편과 같이 흡수계수가 같은 재료만으로 구성되어 있지 않고 흡수계수가 폴리에틸렌 보다 높은 동 도체가 포함되어 있기 때문에 방사선 투과시 방사선이 흡수되거나 산란되어 검출될 확률이 낮아지기 때문이다. 그리고 폴리에틸렌에서 적용한 실험 결과와 마찬가지로 결함이 있을 때 검출수가 증가하는 특성을 보였다.

중성자는 수소와 반응하여 흡수되거나 산란하는 성질을 가지고 있기 때문에 수분계로 많이 활용하고 있다. 이러한 수분이 절연재료나 전력설비에 함유되게 된다면 절연재료의 결함과 못지 않게 전력설비의 절연파괴에 영향을 미칠 우려가 크다. 그러므로 본 연구에서는 중성자의 흡수성과 산란성을 이용하여 결함에 대한 특성뿐만 아니라 시편에 수분이 함유될 경우에 대한 검출특성을 살펴보았다. 그림 14는 중성자를 1분 동안 케이블 시편에 조사하여 검출된 파고분포를 낸다.

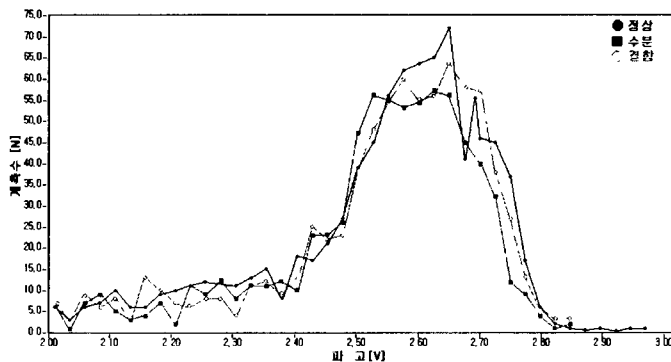


Fig 14 Results of P.H.A for neutrons

그림 14는 케이블 시편의 각 상태에 대해서 파고중심부분을 확대하여 분석한 결과이다 정상적인 케이블 시편과 결함이 있는 케이블 시편의 파고분포를 비교하여 보면 감마선을 조사하였을 때와는 달리

파고 중심의 검출 계수가 감소하는 경향을 보였다 정상일 때 보다 파고형태나 검출수가 많은 변화를 나타내지는 않았지만 중심파고의 계수 값이 낮아지고 파고분포가 좌측으로 이동하는 것을 알 수 있다. 그러나 수분이 함유된 케이블 시편과 비교하였을 경우에는 결함이 있을 때보다 많은 변화를 나타내었다. 이는 중성자가 수분에 흡수되거나 산란되어 에너지가 감쇠되는 특성에 의해 나타난 결과이다. 만약 측정시간과 검출기의 수를 늘려 검출 감도를 향상시켜 분석하게 된다면 파고의 분포나 검출수의 변화가 시편의 상태에 따라 민감하게 변화 할 것으로 기대된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 방사선 펄스 계측 및 분석시스템을 설계·제작하였으며 중성자선과 감마선을 전기재료에 적용하여 전기재료의 결함 및 수분함유에 대한 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 고전압 공급장치, 중성자 및 감마선 검출회로를 일체화하고 고속의 DSP(TMS320C31-60)를 사용하여 통합 계측 및 분석 시스템을 구성하였다. 시스템은 PC의 병렬포트에 접속되어 측정 후 중앙컴퓨터로 데이터를 전송하여 분석이 가능하도록 한다.
2. 펄스폭이 4.0을 기본으로 윈도우용 분석 프로그램을 구성하였다. 분석 프로그램은 고전압 공급장치 제어기가 가능하며, 감마선 신호의 계수, 중성자 신호의 계수 및 파고분석(100 [ns], 4096 [ch])이 가능하다. 시스템의 계측결과로부터 얻은 데이터로 계수 및 파고분석을 할 수 있으며, 파일의 형태로 저장되므로 효율적인 분석과 데이터 관리가 가능하다
3. 통합계측 및 분석시스템을 통해 케이블 시편에 감마선을 적용한 실험에서 시편의 결함유무에 따라 감마선 검출 계수 변화를 관측한 결과 결함이 있을 경우에는 흡수율이 낮아져 검출수가 정상적일 때보다 약 200 [pulse] 정도 증가하였다. 중성자를 적용한 실험에서는 수분함유 시편에서 계수의 파고분포가 정상적일 때보다 감소하고 좌측으로 이동하는 특성을 얻었다.
4. 미소한 변화이지만 방사선이 물질과 상호작용하여 검출특성의 변화를 일으키는 것을 적용실험을 통해 알 수 있었고 투과력이 좋은 감마선은 흡수력이 높은 재료의 결함유무, 중성자는 시편의 수분함유에 대한 평가에 적용 가능성을 나타내었다.

본 연구에서 시제작한 방사선 펄스 계측 및 분석시스템은 방사선 동위원소 이용분야에 많은 활용이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] R.P. Gardner, et. al., Density and Moisture Content Measurements by Nuclear Methods, ASHTO, 1967.
- [2] Glenn F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", John Wiley and Sons, pp.107-110, 1988
- [3] P. W. Nicholson, "Nuclear Electronics," JOHN WILEY & SONS, pp.109-113, 1982
- [4] 정운혁, 방사성 동위원소 및 방사선의 취급기술, 청문각, pp.22-42, 1997.1
- [5] 김희준, 스위치모드파워서플라이, 성안당, pp.34, 1987
- [6] 황주호의 15인, "성토시공관리를 위한 방사성 동위원소 장비개발", 건설교통부, pp.110-114, 1996.
- [7] Nicholas Tsoulfanidis, "Measurement and Detection of Radiation", McGraw-Hill, pp.185-187, 1983
- [8] 김인태, 전자회로, 도서출판 광명, pp.711~717, 1994
- [9] 윤덕용, TMS320C31 마스터, Ohm사, 1999