

방사선 펄스의 고안정 계측 및 분석기술 개발

손 원 진* · 김 일 권 · 한 주 섭 · 송 재 용 · 길 경 석

한국해양대학교 전기전자공학부

Development of High Stable Instrumentation and Analytic Techniques for Radioactive Pulses

Won-Jin Son · Il-Kwon Kim · Ju-Sup Han · Jae-Yong Song · Gyung-Suk Kil

Division of Electrical & Electronic Engineering, Korea Maritime Univ.

E-mail : kilgs@hanara.kmaritime.ac.kr

ABSTRACT

An objection of this study is to develop a high stable analytic system of radioactive pulses. The proposed system consists of an amplifying circuit with 60dB gain, a programmable power supply unit which can generate DC voltage up to 1,500V, and a digital signal processor.

Pulse height distribution in accordance with pulse counts is important data in analyzing radioactive pulses.

In this study, AD convertor (12bit, 100ns) and DSP (TMS 320C31-60) are used to analyze the pulse height, and the analytic system is designed to be operated in PC-networking.

1. 서 론

고도화·정보화에 힘입어 사회전반의 기술이 급속한 발전을 보이면서 일상생활과 산업사회에 보다 나은 기술적용에 있어 환경문제에 깊은 관심을 나타내고 있다. 이러한 배경에서 환경파괴 또는 환경오염을 최소화하기 위하여 각종의 계측과 분석기술이 과거의 역학적, 화학적 분석방법에서 현재는 방사성 동위원소를 이용한 비파괴 검사기술의 광범위한 확산이 국내·외적으로 진행되고 있다. 특히 고밀도 집적회로와 고성능 마이크로 프로세서의 등장으로 방사성 동위원소(RI)를 이용한 계측기술은 성토시공시 토양에 함유되는 습윤밀도 및 건조밀도의 측정, 애자 및 절연재료의 저항

국내의 경우 많은 분야에 방사성 동위원소 이용기술이 보급되어 있지만 아직도 핵심기술과 소자 및 장치는 모두 수입에 의존하고 있는 실정이며, 국내와 국외의 기술수준이 다르기 때문에 적용기술에 대한 충분한 연구 없이 외국의 기술과 장비를 그대로 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 이 분야의 기술 중에서 핵심적인 방사선 계측 및 분석기술을 국내실정에 맞게 확립할 필요성이 있다.

또한 이제까지의 분석기술은 대부분 방사선 펄스의 단순한 계수에 의존하고 있는 실정으로 이 방법으로는 방사선 펄스의 에너지 분포 등을 분석할 수 없는 문제점이 있다. 방사선 펄스의 에너지 분포 등을 분석하기 위해서는 방사선 펄스의 계수

및 파고 분석이 병행되어야 한다[2].

본 연구에서는 기존에 확보하고 있는 방사선 펄스의 계수에 의한 분석기술에 DSP를 적용하여 방사선 펄스의 계수는 물론 파고 분석까지 가능한 계측 및 분석 시스템을 개발하였다.

제안한 시스템은 중성자 및 감마선 검출회로, 고전압 발생장치 및 방사선 펄스의 계수와 파고 분석을 위한 DSP로 구성되며, PC-Base로 구성하여 보다 광범위한 계측과 분석이 가능하도록 하였다.

II. 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 불안정하게되면 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 제어 용이한 비안정 멀티 바이브레이터를 구성하였다.

또한 방사선 검출기에 인가되는 고전압은 일정하게 유지되어야 하는데, 주위 온도변화에 따른

소자의 특성변화, 검출기와의 접속부에서 발생할 수 있는 누설전류 등에 의해 전압변동이 발생할 수 있다. 따라서 고전압 공급장치에서 일정한 전압을 유지하도록 직렬형의 안정화회로를 첨가하였으며, 회로는 그림 1과 같다.

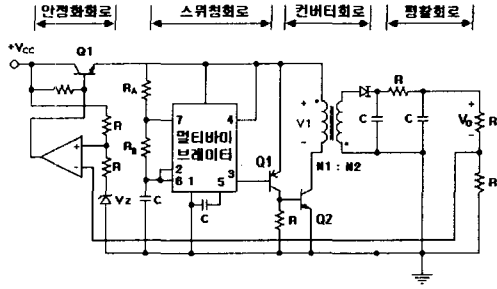


그림 1 고전압 발생회로
Fig. 1 Circuit of the high voltage supply

중성자 검출에 사용되는 검출기는 현재 널리 사용되고 있는 He-3 비례계수관을 사용하였다[3]. 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 발생하는 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 다단의 증폭회로를 필요로 한다.

본 연구에서 중성자 검출회로는 그림 2와 같이 연산증폭기를 이용하여 60 dB의 전압이득을 갖도록 증폭회로를 구성함으로써 최종적으로 출력되는 신호펄스의 크기는 수백 mV ~ 수 V 정도가 된다. 60 dB의 이득을 얻기 위해서 단일의 연산증폭기만으로 구성할 경우, 펄스응답이 느려 방사선 펄스의 검출에 많은 오차가 발생한다. 따라서 응답특성을 개선하여 안정된 계측수를 얻기 위해 3단 증폭회로를 구성하였다.

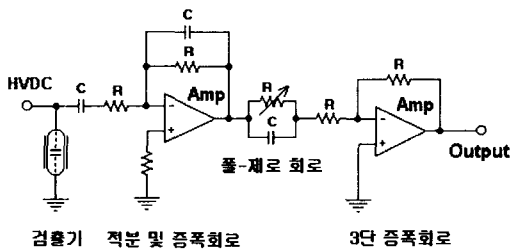


그림 2 중성자 검출회로
Fig. 2 Detection circuit for neutrons

검출 및 증폭된 펄스는 입력펄스와 전치증폭기에서의 감쇠시간 관계로부터 파미의 감쇠 후 영점에 교차하거나 부족진동(undershoot)이 생기게 되고, 이 부분에 다음의 펄스가 도래하면 펄스의 진폭에 영향을 주어 오차를 나타내게 된다. 따라서 증폭회로에 폴-제로(pole-zero)회로를 부가하여 그림 3과 같이 부족진동 없는 단순한 지수함수의 출력신호가 되도록 하였다.

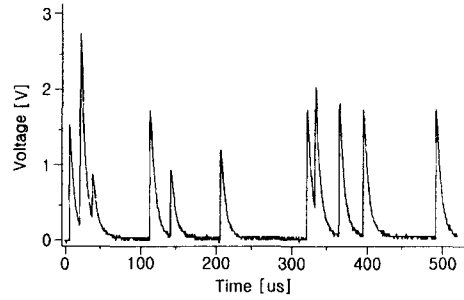


그림 3 중성자 측정 파형
Fig. 3 Measured waveforms of neutrons

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[4]. 이 때 발생한 출력펄스의 진폭은 수 V 정도이므로 중성자 검출회로와는 달리 검출회로가 그림 4와 같이 간단하게 구성된다. 본 장치에 적용한 G-M 계수관은 불감시간이 75 μ s이므로 검출회로의 시정수를 75 μ s로 하였다. 검출회로의 구성은 연산증폭기 및 플립플롭 회로를 조합하여 구성하였으며, 출력 파형은 별도의 회로 없이 정형된 파형이 얻어진다. 또한 검출회로의 갑작스런 리셋을 피하기 위하여 리셋단자는 공급전원에 직접 연결하였다.

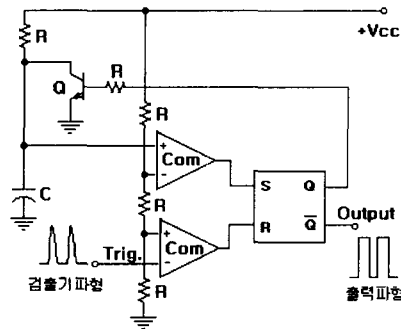
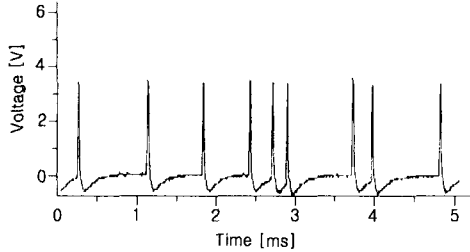


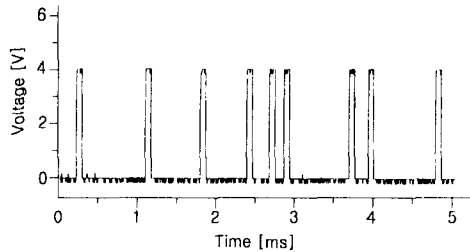
그림 4 감마선 검출회로
Fig. 4 Detection circuit for gamma-rays

그림 5는 감마선 검출회로의 검출 파형으로 검출기 자체의 출력신호가 크고(그림(a)), 크기도 일정하므로 별도의 파고 선별 없이도 분석이 가능

하며, 검출회로의 최종출력은 그림 5(b)와 같이 구형파의 정형된 파형으로 출력되어 분석시스템의 계수회로에 입력된다.



(a) 검출 파형



(b) 정형된 파형

그림 5 감마선 측정 파형
Fig. 5 Measured waveforms of gamma-rays

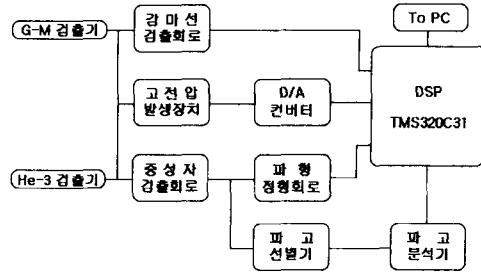
III. 분석 시스템

전술한 고전압 발생장치 및 방사선 검출회로에 DSP(Digital signal processor)를 적용하여 방사선 펄스의 고안정 계측 및 분석 시스템을 설계·제작하였다.

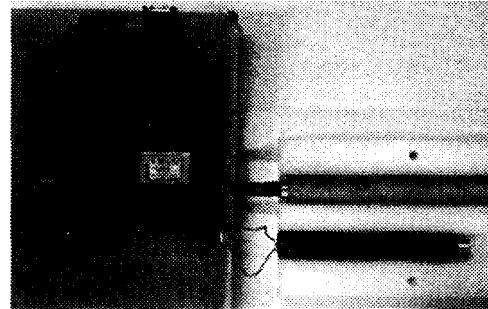
본 연구에서는 TI사의 DSP보드(TMS320C31-60)를 사용하여 감마선과 중성자 검출회로부터 입력된 신호를 계수 또는 파고분석이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 본 분석 시스템은 고전압 발생장치의 제어를 위한 제어부와 방사선 펄스의 계측 및 분석을 위한 계수회로 및 다중 파고 분석기(MCA; multi channel analyzer)로 구성되며, 그림 6에 분석 시스템의 개략적 구성 및 사진을 나타내었다.

검출회로에서 검출기내에 고전계 인가를 위한 고전압 발생장치 제어에는 12bit 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 계수회로에 입력되고, 방사선 펄스의 계수에 의해 분석이 이루어진다.



(a) 분석시스템의 개략도



(b) 분석시스템의 사진

그림 6 분석시스템의 구성
Fig. 6 Configuration of instrumentation and analytic System

그러나 중성자 검출회로에서는 출력신호가 미약하고, 그 크기 또한 일정하지 않기 때문에 비교기를 통한 파고 선별기(Discriminator)를 첨가하였다. 파고 선별기에서는 방사선 펄스의 상한과 하한을 설정하여 정형된 파형을 출력하게 된다. 이 출력신호는 계수회로를 통하여 DSP에 전달된다. 중성자 검출에 있어서 검출기 및 검출회로의 특성 때문에 외부의 잡음 또는 고전압 발생장치에 포함되는 리플전압 등에 의해 계수오차를 유발시키게 되며, 이 오차는 계수회로에서 계수수로 판단하여 계수에 포함하게 된다. 따라서 중성자 신호는 단순한 계수회로만으로 분석하게 되면 방사선 신호와 오차를 구분할 수 없으며, 오차에 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 그림 7과 같이 구성되는 파고 분석기를 첨가하였으며, 계수회로와 더불어 보다 정확한 분석이 가능하도록 하였다.

그림 7과 같은 다중 파고 분석기는 중성자 검출회로에서 출력된 신호의 파고점을 찾기 위하여 미분회로를 첨가하였다. 미분회로의 출력은 파고

부분에서 영점과 교차하는 교차점이 발생하는데 이때 영점 검출기(LM311)에 의해 교차점을 포착하여 트리거 신호를 발생시키게 된다. 이 트리거 신호는 샘플&홀드회로에 입력되는데 이 시점이 파고에 도달하는 시각이므로 이 때의 값을 유지하여 A/D 컨버터(12bit, 100ns/s, AD9220)로 전달되면 DSP에서 파고값으로 인식하여 저장하게 된다. 샘플&홀드회로에서는 다음 트리거 신호가 입력될 때까지 측정값을 유지하게 되고, 이러한 과정을 반복하여 방사선 펄스의 파고값을 측정하여 저장한다.

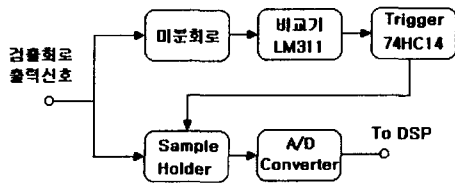


그림 7 다중 파고 분석기의 구성도
Fig. 7 Schematic diagram of the MCA

분석 시스템에서 얻어진 계수값 및 파고의 누적분포는 DSP에 입력되어 각각 저장되며, DSP에서는 PC의 병렬포트를 통하여 전달되게 된다.

PC로 전송된 신호는 분석 프로그램에 의해 모니터에 표시되며, 분석 프로그램의 화면에는 고전압 발생장치 제어부 및 계측수를 표시하는 카운터부, 파고 분석기의 출력화면으로 구성된다. 분석 프로그램의 주 화면을 그림 8에 나타낸다. 특히, 파고의 누적분포의 표시에 있어서는 실선, 점, 막대그래프의 세 가지 형태로 표시할 수 있도록 구성함으로써 보다 분석이 용이하도록 하였다.

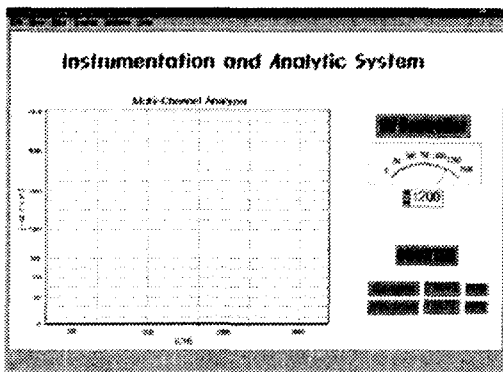


그림 8 분석 시스템의 주화면
Fig. 8 Main screen of the analytic system

IV. 결 론

본 논문에서는 방사선 펄스의 고안정 계측 및 분석 시스템 개발에 관하여 연구하였다.

시제작한 분석 시스템은 고전압 발생장치, 중성자 및 감마선 검출회로 및 DSP로 구성하였으며, 검출된 방사선 펄스는 PC로 전송되어 분석이 이루어지도록 하였다.

본 시스템은 감마선 및 중성자 신호의 계수에 의한 분석과 중성자 신호에 대한 파고 분석이 가능하도록 함으로써 보다 효율적인 계측 및 분석이 가능하였다.

현재의 시스템은 외부에서 PC의 병렬포트에 연결되는 구조이지만 향후 PC에 내장 가능한 형태로 개발하기 위하여 연구가 진행중이다.

본 연구는 2001년도 과학기술부 원자력 기초 연구사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.P. Gardner, et. al., Density and Moisture Content Measurements by Nuclear Methods, AASHTO, 1967.
- [2] E. Kowalski, Nuclear Electronics, Springer-Verlag, 1970
- [3] 황주호외 15인, "성토시공관리를 위한 방사성 동위원소 장비개발", 건설교통부, pp.110-114, 1996.
- [4] Nicholas Tsoufanidis, "Measurement and Detection of Radiation", McGraw-Hill, pp.185-187, 1983