
방사선 펄스의 고안정 계측 및 분석기술 개발

길 경 석 · 송 재 용 · 한 주 섭 · 김 일 권 · 손 원 진

Development of High Stable Instrumentation and Analytic Techniques for Radioactive Pulses

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

이 논문은 1999년도 과학기술부 원자력 기초연구사업의 연구비를 지원 받았음

요 약

본 연구의 목적은 방사선 펄스의 고안정 계측회로 및 분석시스템 개발에 있다. 제안한 시스템은 중성자 및 감마선 검출회로, 프로그래머블 고전압 공급장치 및 DSP로 구성된다.

프로그래머블 고전압 공급장치는 입력전압 5V에서 1500V까지 조정할 수 있도록 하였으며, 직렬의 전압 안정화 회로를 추가하여 일정한 전압이 유지되도록 함으로써 고전압 공급장치의 전압 변동율은 1.63%이하로 얻을 수 있었다.

방사선 검출회로는 능동성 적분기, 폴-제로 회로, 증폭도 60dB의 3단 증폭회로로 구성되며, 주파수 대역은 37Hz ~ 300kHz이다.

또한 파고분포의 계수는 방사선 펄스의 분석에 중요한 자료로 본 연구에서는 A/D 컨버터(12bit, 100ns) 및 고속의 DSP(TMS320C31-60)을 이용하여 PC-기반으로 구현되는 파고분석 시스템을 구성하였다.

ABSTRACT

An objection of this study is to develop a high stable 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.

The programmable high voltage supply unit designed can generate DC voltage up to 1,500 V at 5 V input, and have a series voltage regulator to maintain the output voltage constantly, resulting in less than 1.63% of voltage regulation.

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 (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-base

I. 서 론

고도화·정보화에 힘입어 사회전반의 기술이 급속한 발전을 보이면서 일상생활과 산업사회에 보다 나은 기술적응에 있어 환경문제에 깊은 관심을 나타내고 있다. 이러한 배경에서 환경과피 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 절연 특성 측정 등 여러 분야에 적용되고 있다[1].

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, 프로그램머블 고전압 공급장치, 방사선 펄스의 계수와 파고 분석을 위한 DSP로 구성되며, PC-Base로 구성하여 보다 광범위한 계측과 분석이 가능하도록 하였다.

II. 방사선 펄스 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 접촉부에서 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 1과 같다.

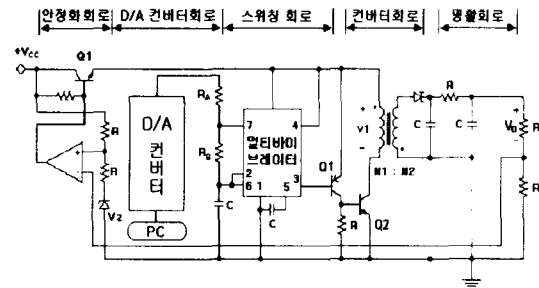


그림 1 고전압 공급장치
Fig. 1 High voltage supply unit

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 내부 가스를 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 2와 같이 연산증폭기(TL061)를 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 경우에는 펄스 응답이 느려 방사선 펄스의 검출에 많은 오차가 발생한다. 따라서 응답특성을 개선하여 안정된 계측수를 얻기 위해 3단 증폭회로를 구성하였다.

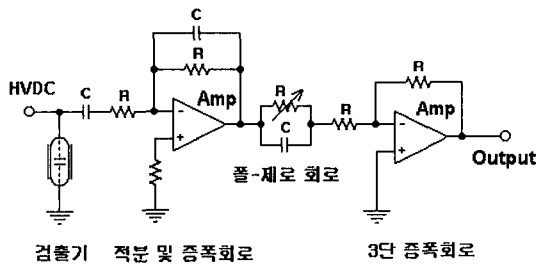
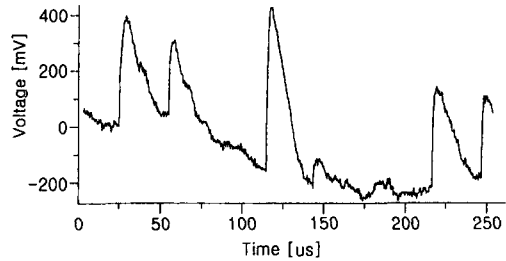


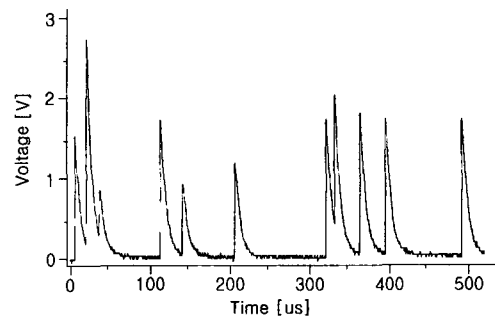
그림 2 중성자 검출회로
Fig. 2 Detection circuit for neutrons

또한, 검출 및 증폭된 펄스는 입력펄스와 전치증폭기에서의 감쇠시간 관계로부터 그림 3(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. 따라서 증폭회로에 폴-제로(pole-zero)회로를 부가하여 그림 3(b)와 같

이 부족진동 없는 단순한 지수함수의 출력신호가 되도록 하였다.



(a) 폴-제로 회로 입력 파형



(b) 폴-제로 회로 출력 파형

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]. 이때 발생한 출력펄스의 진폭은 수 V 정도이므로 중성자 검출회로와는 달리 검출회로가 그림 4와 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. 또한 검출회로의 갑작스런 리셋을 피하기 위하여 리셋 단자는 공급전원에 직접 연결하였다.

그림 5는 감마선 검출회로의 검출 파형으로 (a)와 같이 검출기 자체의 출력신호가 크고, 크

기도 일정하므로 별도의 파고 선별 없이도 분석이 가능하며, 검출회로의 최종출력은 그림 5(b)와 같이 구형파의 정형된 파형으로 출력되어 분석시스템의 계수회로에 입력된다.

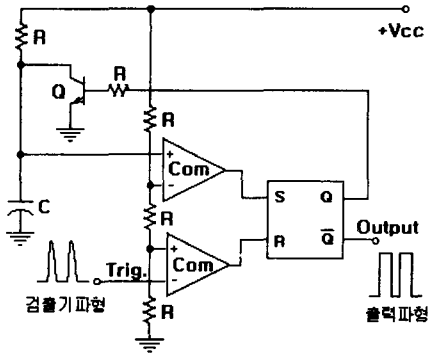
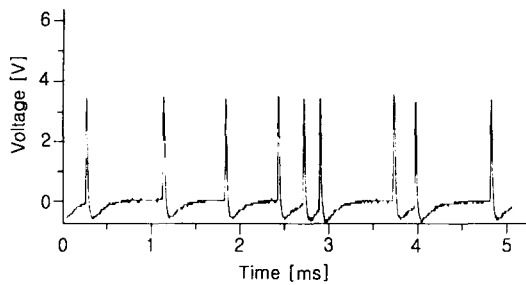
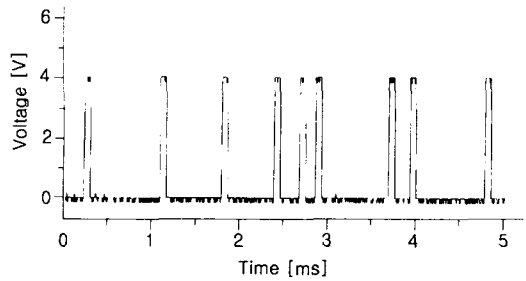


그림 4 감마선 검출회로
Fig. 4 Detection circuit for gamma-rays



(a) 검출기 파형



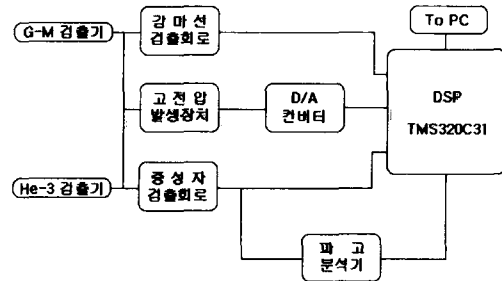
(b) 정형된 파형

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

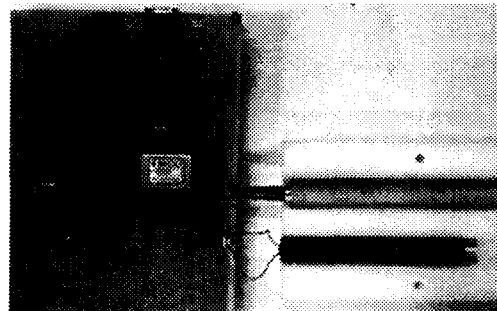
III. 분석 시스템

전술한 고전압 공급장치 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 검출회로로부터 입력된 신호를 계수 또는 파고분석이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 본 분석 시스템은 고전압 공급장치의 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.



(a) 분석시스템의 개략도



(b) 분석시스템의 사진

그림 6 시스템의 구성
Fig. 6 Configuration of the system

검출회로에서 검출기내에 고전계 인가를 위한

고전압 공급장치 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 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 계수 회로에서 계측수로 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 파고 분석기를 구성하였으며, 계수회로와 더불어 보다 정확한 분석이 가능하도록 하였다.

다중 파고 분석기는 중성자 검출회로에서 출력된 신호의 파고점을 찾기 위하여 고속의 샘플링을 가지는 A/D컨버터(12bit, 100ns/s, AD9220)를 사용하였다. 방사선 펄스의 파고지속시간은 1 ~ 2 μ s로 알려져 있으므로 샘플링 시간이 100 ns 이면 파고점 검출에 있어 충분한 시간을 갖는다. A/D 컨버터의 샘플링에 의해 파고점이 검출되면, 이때의 파고값이 DSP에 전달되어 기억장치에 기억되고, 실시간으로 중앙컴퓨터에 전송되어 분석이 이루어지도록 하였다. 그림 7에 파고분석의 흐름도를 나타내었다.

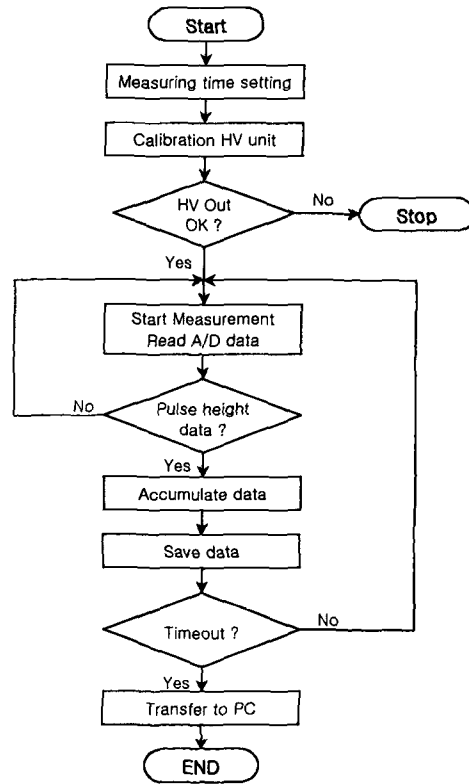


그림 7 파고분석의 흐름도
Fig. 7 Flowchart of the pulse height analysis

분석 시스템에서 얻어진 계수값 및 파고의 누적데이터는 DSP에 입력되어 램에 각각 저장되며, 분석시스템에서 얻어진 각각의 데이터를 PC의 병렬포트를 통하여 전달되게 된다.

PC로 전송된 신호는 분석 프로그램에 의해 모니터에 표시되고, 분석 프로그램의 화면에는 고전압 공급장치 제어부 및 계측수를 표시하는 카운터부, 파고 분석기의 출력화면으로 구성하였다. 분석 프로그램의 주 화면을 그림 8에 나타내었다.

분석프로그램의 고전압 공급장치 제어부를 통해 검출기에 따라 인가되는 고전압의 범위를 알맞게 조정함으로써 계측의 정도를 높이고, 취득한 방사선 펄스의 데이터를 토대로 계수에 의한 분석과 파고에 의한 분석을 병행함으로써 보다 효율적인 분석이 가능하였다.

특히, 파고의 누적분포의 표시에 있어서는 실선, 점, 막대그래프의 세 가지 형태로 표시할 수 있도록 구성함으로써 보다 분석이 용이하도록 하였다.

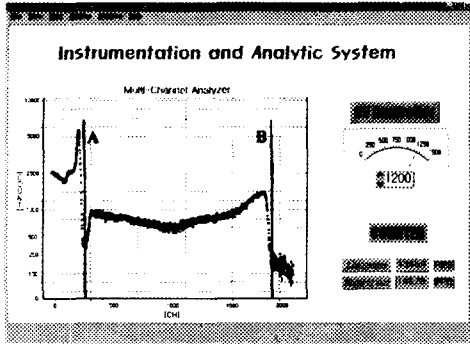


그림 8 주화면의 예
Fig. 8 Example of the main screen

IV. 결 론

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

시제작한 분석 시스템은 고전압 공급장치, 중성자 및 감마선 검출회로 및 DSP로 구성하였으며, 검출된 방사선 펄스의 데이터는 PC로 전송되어 분석이 이루어지도록 하였다.

본 시스템은 감마선 및 중성자 신호의 계수에 의한 분석과 방사선 응용 계측분야에서 가장 중요한 파라미터인 중성자 신호에 대한 파고 분석이 가능하도록 함으로써 보다 효율적인 계측 및 분석이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 과학기술부 원자력 기초연구사업의 지원에 의해 수행되었음

[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

길경석(Gyung-Suk Kil)

1984년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1987년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
1996년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
현재 한국해양대학교 전기전자공학부 조교수

송재용(Jae-Yong Song)

1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
현재 한국해양대학교 전기공학과 박사과정 재학중
신동아전기(주)부설 기술연구소 연구원

한주섭(Joo-Sup Han)

1997년 2월 부경대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
1999년 2월 한국해양대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
현재 한국해양대학교 전기공학과 박사과정 재학중

김일권(Il-Kwon Kim)

1997년 2월 한국해양대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2001년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
현재 한국해양대학교 전기공학과 박사과정 재학중

손원진(Won-Jin Son)

2000년 2월 한국해양대학교 전기공학과 졸업(공학사)
현재 한국해양대학교 전기공학과 석사과정 재학중