

Development of Radiation Measuring System using Wireless Communication

Bong-Jae Lee, Si-Young Chang

Korea Atomic Energy Research Institute

(Received 22 April 1995; Accepted 28 July 1995)

무선통신을 이용한 방사선측정 시스템 개발

이봉재 · 장시영

한국원자력연구소

Abstract - Radiation measuring system using wireless communication method with single channel has been developed and tested. In this system, radiation signals from GM tube are transformed into digital pulses in pulse processing circuit and modulated in FSK(frequency shift keying) circuit for digital communication and then wirelessly transmitted to a receiving unit. The digital pulses received are then demodulated in FSK circuit and converted into radiation dose /dose rate in the data acquisition unit to display on the screen of a personal computer.

The performance of this system was evaluated by using both a pulse generator and a standard radiation source(Cs-137). In both cases, digital pulses with 5V were observed in pulse processing circuit without distortion of their shape through wireless communication system. The experimental results of radiation measurement by this system, after several test-irradiation of GM detector to a standard radiation source(Cs-137), showed good agreement with irradiation dose rate within 10% difference, and proved that this system could be effectively utilized as radiation measuring instrument. It is expected that this wireless radiation measuring system, developed for the first time in Korea, can be used as a radiation monitor as well as a personal dosimeter if we can further improve this system to adopt wireless multichannel communication system.

Key words : Pulse Processing Circuit, Wireless Communication, FSK, Multichannel.

요약 - GM 계수관을 방사선 검출기로서 사용하고, 검출기의 신호를 디지털 펄스로 변환하는 펄스 처리회로와 디지털 통신방식의 하나인 FSK(frequency shift keying) 변복조회로를 설계하였으며, 휴대용 무전기로 송수신되는 방사선 검출신호를 방사선량과 방사선량율로 개인용 컴퓨터의 화면에 표시하는 단일채널 무선 방사선측정 시스템을 개발하고 성능을 평가하였다. 성능검증 실험에서 펄스를 입력한 경우와 검출기에 방사선을 조사시킨 경우 펄스처리회로에서 약 5V의 동일한 디지털 펄스가 출력되었고, 무선통신계통에서도 입력과 출력이 왜곡없이 송수신되고 있음을 확인하였다. 검출기에 표준방사선원(Cs-137)으로 방사선을 조사시킨 선량률을 측정하고 측정오차는 조사된 선량률의 10% 이내를 나타내었다. 본 시스템은 국내에선 처음으로 설계되었으며, 향후 다중채널로 구성하여 실시간 개인방사선피폭선량계, 방사선감시기 등 여러 용도의 방사선측정기에 응용함으로써 방사선방어에 기여할 것으로 기대된다.

Key words : 펄스처리회로, 무선통신, FSK, 다중채널

서 론

원자력 및 관련산업이 크게 발전됨에 따라 원자력 분야에 종사하는 사람 및 관련시설에 대한 방사선 안전성이 중요시 되고 있다. 따라서 원자력 관련산업의 안전성을 확보하기 위하여 방사선을 측정, 감시하는 계측기의 연구 개발은 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

1928년 Geiger Mueller가 GM계수관[1]을 소개한 이후 1940년에 Ramsy는 방사선을 실험적으로 측정할 수 있는 기초를 최초로 확립하였으며[2], 오늘날에 이르러 여러 종류의 방사선 검출기가 개발되었고 전자산업의 발달과 더불어 국외에서는 계측기의 설계 기술이 꾸준히 연구 개발되어 여러 가지 검출기를 사용한 다양한 종류의 방사선 계측기가 시판되고 있으며, 특히 최근에는 무선통신을 이용한 방사선측정기가 개발되어 생산 보급되고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 아직 이에 대한 인식 부족 등으로 대부분의 방사선 계측기를 거의 수입에 의존하고 있으며 설계제작기술 면에서도 기초 개발 단계에 머물고 있는 실정이다. 또한 국내의 원자력 관련산업이 급속히 확장됨에 따라 방사선 계측기에 대한 연구 개발이 더욱 절실히 요청되고 있다.

본 논문에서는 방사선 검출기로서 방사선 측정에 널리 사용되는 GM 계수관을 사용하였다. 검출기의 신호를 처리하는 전치증폭기회로, 전치증폭기의 신호를 증폭하는 비례증폭기회로, 전자회로의 혼합신호를 제거하는 파고선별기, 파고선별

기의 출력에 비례하여 디지털 펄스가 발생하는 회로를 구성하는 펄스처리회로와 펄스처리회로에서 출력되는 신호를 무선통신으로 전송할 수 있는 방법인 FSK(frequency shift keying) 변복조회로를 설계하였다. 또한 휴대용 무선기로 자료를 송수신하는 단일채널의 무선통신계통을 구성하여 무선으로 전송된 신호를 복조회로에서 복원시켜 개인용 컴퓨터의 계수회로에서 방사선량과 방사선량율로 화면에 표시되도록 하는 무선을 이용한 단일채널 방사선측정 시스템을 시험적으로 설계 제작하였고, 그 성능을 평가하였다.

방사선 측정회로의 구성

방사선 검출기에서 발생하는 펄스율과 펄스의 수만을 측정하는 기본적인 계통도는 그림 1과 같이 구성된다[6]. 일반적으로 검출기에 사용하는 전치증폭기(preamplifier)의 출력은 너무 작아서 직접 계수할 수 없으므로 보통 비례증폭기(linear amplifier)에서 펄스를 증폭하게 된다. 비례증폭기의 출력에는 잡음 등의 여러 신호가 혼재되어 있으므로 파고선별기(discriminator)를 이용하여 일정한 값 이상의 파고치(pulse height)만을 갖는 펄스를 선별한다. 선별된 출력은 그림 1의 점선 부분과 같이 timer에 의해서 일정 시간 계수되거나 계수율로 나타나게 되며 측정 목적에 따라 여러 가지 필요한 장치에 연결될 수 있다.

전치증폭기는 검출기와 펄스처리회로 사이의 중간매체로서 그 기능은 신호대 잡음비를 크게 하기

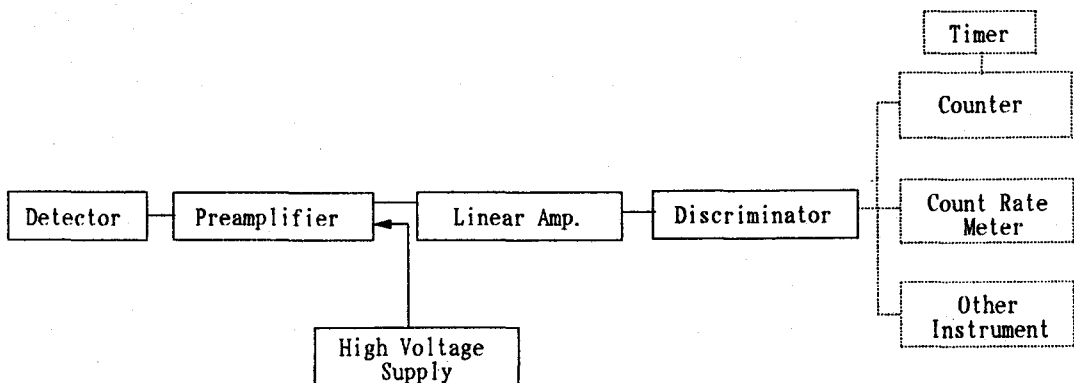


Fig. 1. Elements of a typical signal for pulse counting.

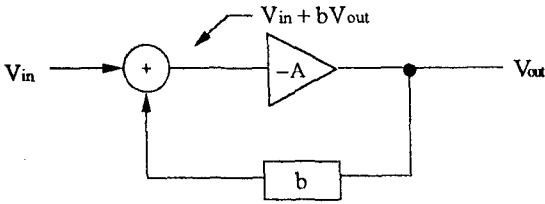


Fig. 2. Operating principle of feedback.

위하여 검출기에 대한 정전용량(capacitance)을 가능한 작게 하며, 검출기와 다음 단 회로사이의 임피던스 정합을 실현시킨다. 또한 출력펄스의 상승시간(rise time)은 검출기 자체의 전하 수집시간과 일치하도록 짧게 유지하며, 펄스의 하강시간(fall time)은 일련의 펄스가 감쇄하기전에 전하를 수집하도록 충분히 크게 하여야 한다.

비례증폭기의 입력과 출력신호의 관계는 거의 직선성을 유지하여야 하며, 절대적으로 일정한 전압이득 A_0 를 나타내어야 한다. 실제 증폭기의 이득은

$$V_{out} = V_{in} \cdot A_0 [1 + \epsilon_i] \quad (1)$$

로 표현되며, 여기서는 ϵ_i 는 적분비직선성(integral nonlinearity) 요소로서 V_{out} 에 따라 다르고 또한 이것이 크면 에너지에 비례하는 펄스파고에 영향을 준다. 미분비직선성(differential nonlinearity) ϵ_d 는 다음 식으로 정의된다.

$$dV_{out} = dV_{in} \cdot A_0 [1 + \epsilon_d] \quad (2)$$

식(2)는 펄스파고차의 작은 일그러짐을 나타낸

다.

증폭기의 이득 A_0 의 크기는 전류증폭인자와 실제의 증폭기에 따라 다르게 나타난다. 실제로 이득 $A = A_0 [1 + \epsilon_i]$ 를 그림 2와 같이 궤환(feedback)시키므로써 다음 식(3)과 같이 직선성이 향상된다 [7].

$$A_f = \frac{A_0(1+\epsilon_i)}{1+bA_0(1+\epsilon_i)} = \frac{A_0}{1+bA_0} \left[1 + \frac{\epsilon_i}{1+bA_0(1+\epsilon_i)} \right] \quad (3)$$

여기서 b 는 궤환양이고 $\epsilon_i < 1$ 이므로 비직선성은 $1/(1+A_0)$ 배 만큼 감소된다.

파고선별기에는 적분선별기(integral discriminator)와 미분선별기(differential discriminator)가 있다. 전자는 파고치가 일정한 값 이상이 되었을 때 출력펄스를 발생시키는 것이며, 후자는 두개의 적분선별기와 두개의 신호가 동시에 입력될 때 출력신호를 발생하지 않는 역동시(anti-coincidence) 회로를 가진 것으로 단일채널분석기(single channel analyzer: SCA)라고 하며 동작원리는 그림 3과 같다. $V_c < V_{in} < V_c + \Delta V_c$ 를 만족하는 입력펄스에 대해서만 출력펄스를 발생시키며 V_c 를 하한임계치(lower threshold), $V_c + \Delta V_c$ 를 상한임계치(upper threshold), ΔV_c 를 채널의 폭(window)이라 한다. 역동시회로에서는 상측선별기의 출력이 일어나지 않으면 하측선별기의 출력이 통과된다. 실제의 펄스는 그림 3과 같이 위 부분보다 아랫 부분이 더 넓기 때문에 V_1 은 항상 V_2 보다 길다. V_2 의 지속시

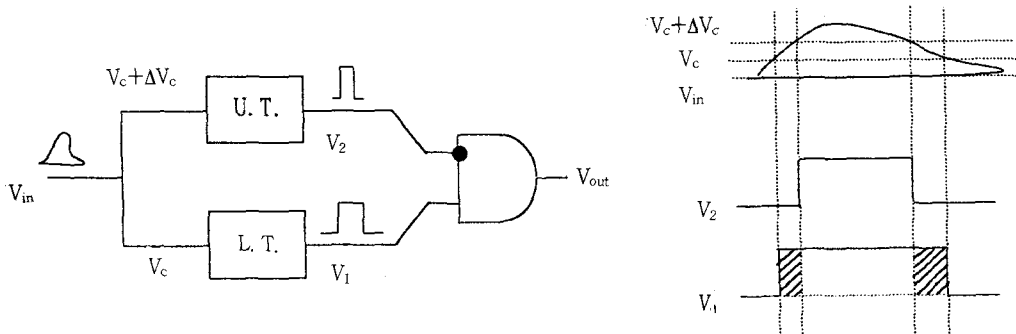


Fig. 3. Operating principle of differential discriminator.

간 동안 gate는 차단되나 V_1 의 빗금친 부분이 통과하여 출력에 나타난다. 이러한 효과를 제거하기 위하여 V_2 를 V_1 과 같게 한다[8]. 대부분의 미분선별기에서는 상측선별기에 스위치를 두고 하측선별기로 조종되는 적분선별기로도 사용한다.

무선통신이론

디지털 변복조

디지털 변복조 방식에는 반송파의 변수를 데이터 비트에 따라 변복조시키는 것으로 여러 방식이 있으나 본 논문에서는 펄스처리신호가 디지털 신호를 출력하므로 BFSK(binary frequency shift keying)방식을 적용하였다. BFSK 신호는 2개의 독립된 발진기로 디지털 신호에 따라 다음 식과 같은 변조파형을 발생시킨다[9].

$$\begin{aligned} S_1(t) &= A \cos 2\pi f_1 t \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{"1인 경우"} \\ S_2(t) &= A \cos 2\pi f_2 t \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{"0인 경우"} \end{aligned} \quad (5)$$

FSK의 반송파 주파수는 디지털 신호에 따라 변한다. 1과 0을 갖는 2원 부호 전송인 경우 2개의 00k (on-off keying)파형의 중첩[10]으로 볼 수 있으며 $f_1=f_c+\Delta f$ 와 $f_2=f_c-\Delta f$ 라고 놓으면 위 식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} S_1(t) &= A \cos 2\pi(f_c - \Delta f)t \\ S_2(t) &= A \cos 2\pi(f_c + \Delta f)t \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 f_c 는 반송파의 주파수, f_m 은 변조주파수, Δf 는 주파수편이이다. FM파의 변조지수(modulation index) β_f 는 $\Delta f/f_m$ 이고, 전송에 필요한 대역폭 B_R 에 대한 Carson의 관계식[11]은 $B_R=2f_m(1+\beta_f)$ 이므로 다음과 같은 두가지 경우가 있다.

$$B_R \approx \begin{cases} 2\Delta f, & \Delta f \gg f_m \quad (\beta_f \gg 1) \\ 2f_m, & \Delta f \ll f_m \quad (\beta_f \ll 1) \end{cases}$$

$\beta_f \gg 1$ 인 경우를 광대역(wide band) FSK라 하고 $\beta_f \ll 1$ 인 경우를 협대역(narrow band) FSK라고 하며, $\beta_f \gg 1$ 인 경우 넓은 대역폭이 필요하다. 주파수 변조회로는 발진기의 동조회로의 캐패시턴스 C의 일부를 전자적으로 on-off하여 실현시킨다.

FM의 복조방식에는 동조형주파수 판별기(tuned circuit frequency discriminator)검파와 PLL(phase locked loop)[12]복조기가 있으나 여기서는 후자에 대해서만 해석한다. 이 복조기는 수신기의 국부 발진주파수를 주파수 변조된 반송파에 정합시키는 것이다. 그 구성은 그림 4와 같이 위상 비교기(phase comparator), 선형여파기(linear filter), 전압제어발진기(voltage controlled oscillator)로 구성되어 있다. PLL 회로에 다음 식과 같은 입력파가 수신되고

$$\begin{aligned} r(t) &= A_c \sin[2\pi f_c t + \theta_c(1)] \\ \theta_c(1) &= 2\pi k_f \int_0^1 s(t) dt \end{aligned} \quad (8)$$

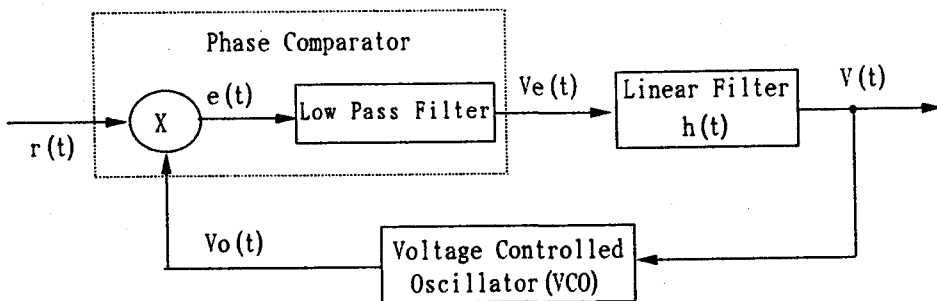


Fig. 4. FM detector using a Phase Locked Loop.

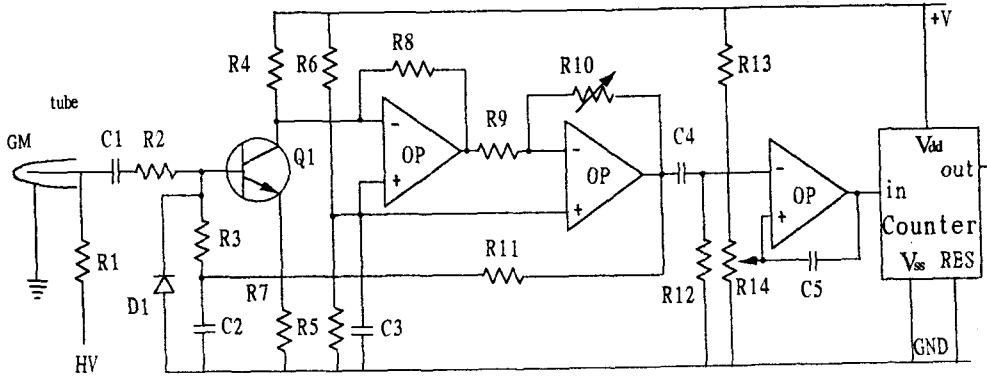


Fig. 5. Designed pulse processing circuit for radiation detector.

여기서 A_c 는 반송파의 진폭이고 $s(t)$ 는 변조신호이며 k_f 는 주파수 변조기의 감도계수[Hz/V]이다. PLL의 출력 $V(t)$ 가 0일 때 VCO의 주파수는 변조되지 않은 반송파주파수 f_c 가 되고 VCO의 출력이 다음 식과 같이 반송파의 위상과 90°의 차를 갖는다고 하면

$$V(t) \approx \frac{k_f}{k_v} s(t) \tag{12}$$

$$V_0(t) = A_v \cos[2\pi f_c t + \theta_2(t)]$$

$$\theta_2(t) = 2\pi k_v \int_0^t V(t) dt \tag{9}$$

설계 및 제작

여기서 A_v 는 VCO의 상수이고 k_v 는 감도계수 [Hz/V]이다. 승산기(multiplier)의 계수를 k_m [V^{-1}]이라 하면 입력 $r(t)$ 와 $V_0(t)$ 의 승산결과 $e(t)$ 는

펄스처리회로의 설계

본 논문에서 설계된 펄스처리회로를 그림 5에 나타내었다. 방사선 검출기로서 내부에서 He가스로 충전되어 있으며, 정전용량 3pF, 불감시간 100μsec인 GM계수관(model 725, LND)을 사용하였다. 검출기에는 내부에서 생성된 이온을 수집하기 위하여 고전압의 직류전압을 걸어 주어야 하는데 일반적으로 증폭기의 입력은 고전압에 견디지 못하므로 내압이 3kV인 capacitor로 고전압을 차단시켜 증폭기의 입력단이 보호되도록 하였다. 전치증폭기는 전압감도형(voltage sensitive type), 전하감도형(charge sensitive type), 전류감도형(current sensitive type)이 있으나[13], 여기서는 NPN형 transistor(2N5089)로 common emitter회로의 증폭회로로서 전하감도형으로 구성되었다. 비례증폭기와 파고선별기 회로는 연산증폭기(operational amplifier, MC14575CP)로 구성하였다. 증폭기 회로의 바이어스 조건이 제어되어 회로의 안정도가 향상되며 일그러짐이 감소되도록 비례증폭기의 출력이 저항을 통해 전치증폭기의 입력으로 궤환(feedback) 되도록 하는 증폭기 회로를 구성하였다.

$$e(t) = \frac{1}{2} k_m A_c A_v \{ \sin[\theta_1(t) - \theta_2(t)] + \sin[4\pi f_c t + \theta_1(t) + \theta_2(t)] \} \tag{10}$$

이다. 저역통과여파기 (low pass filter)에서 $2f_c$ 의 성분이 제거되면 위상여파기의 출력은

파고선별기로 구성된 연산증폭기의 양극에는 가변저항을 통해서 잡음을 제거하기 위한 기준전압이 입력되며, 음극에는 비례증폭기의 출력이 콘덴서를 통해서 입력된다. 연산증폭기는 기준전압과 비례증

$$V_c(t) = \frac{1}{2} k_m A_c A_v \sin[\theta_c(t)] \tag{11}$$

이다. 여기서 $\theta_c(t)$ 는 위상오차이며, 0일 때 PLL은 phase lock 되었다고 한다.

선형여파기의 출력 $V(t)$ 는 임펄스 응답 $h(t)$ 와 $V_c(t)$ 의 convolution이므로 다음 식과 같이 FM 변조신호 $s(t)$ 가 된다.

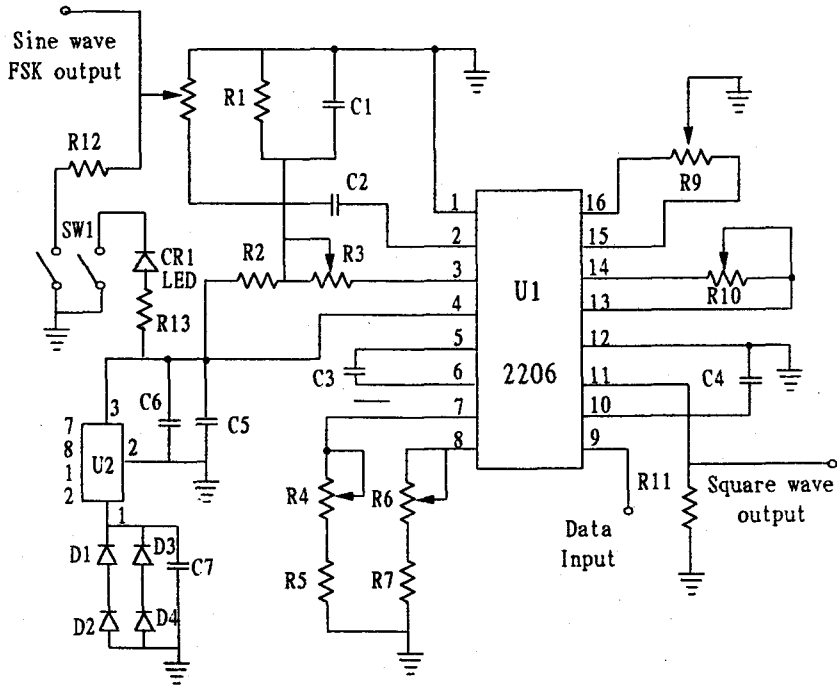


Fig. 6. Electronic circuit for frequency shift keying modulator.

폭기의 출력을 비교하여 기준전압을 초과하는 펄스만을 통과시킨다. computer의 계수기에서 펄스를 계수하기 위하여 파고선별기의 출력을 2진 계수기(binary counter)에 입력하여 전압의 크기가 디지털 전압범위인 펄스가 출력되도록 하였다.

FSK 회로 설계 및 무선통신계통의 구성

FSK 변복조회로를 설계하기 위하여 디지털 신호를 변조하는 소자로서는 IC chip인 Function Generator(XR-2206CP, EXAR)를 사용하고, 복조용 소자로서는 FSK Demodulator(XR-2211, EXAR)를 사용하였다[14]. FSK 변조회로로 사용된 XR-2206CP는 디지털 신호가 입력되면 두개의 독립적인 정현파가 발생되는데, 각 정현파의 주파수는 저항을 선택하여 설정할 수 있도록 구성되어있다. 여기서는 펄스처리회로에서 출력되는 디지털 입력신호에 따라서 즉, 디지털 펄스신호의 'high'가 입력되면 'high'가 유지되는 동안 전압이 0.3V이고 주파수가 2200Hz인 정현파가 출력되고, 'low'가 입력되면 'low'가 유지되는 동안 전압이 0.3V이고 주

주파수가 1200Hz의 정현파가 출력되도록 정현파 주파수를 각각 설정하여 중심주파수가 1700Hz인 변조회로를 그림 6과 같이 설계하였다.

FSK 복조회로로 사용된 XR-2211은 디지털 통신에 사용되는 PLL(phase locked loop)의 원리로 동작하는 FSK 복조기이다. PLL회로가 내부입력신호로 lock을 유지하는 주파수 범위 $\pm\Delta f_c$ 는 디지털 신호의 'high'와 'low'사이의 주파수인 1580Hz로 설정하고, PLL회로가 lock하는 주파수 범위 $\pm\Delta f_c$ 는 $\pm\Delta f_c$ 의 90%인 1420Hz로 설정하였으며, 복조기의 중심주파수는 변조기의 중심주파수와 같은 1700Hz로 설정하였다. 또한 PLL은 입력되는 주파수의 변화에 따른 undershoot, overshoot가 발생하는 크기를 결정하는 인자 ζ 를 0.5로 설정하였으며, FSK 출력 여파기의 시정수 τ 는 0.22msec로 설정하여 그림 7과 같은 FSK 복조회로를 구성하였다.

펄스처리회로의 디지털 출력이 FSK 변조회로에 입력되면 정현파가 출력된다. 이 정현파가 무선으로 송신되어 원거리에서 수신되려면 RF 송수신(radio frequency trasmitter /receiver)가 필요하

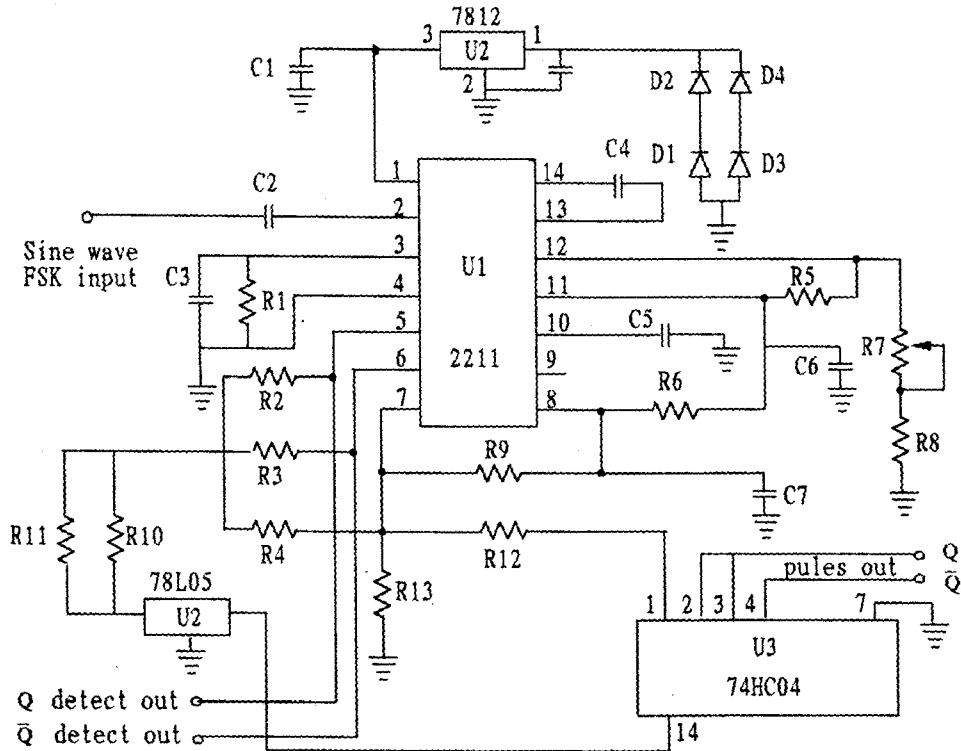


Fig. 7. Electronic circuit for frequency shift keying demodulator.

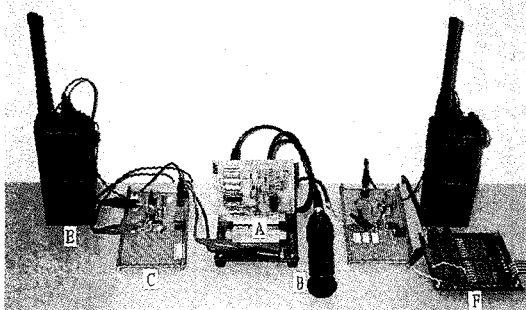


Fig. 8. Designed radiation monitoring system using wireless communication.

- A : Pulse processing circuit
- B : GM detector
- C : FSK modulator
- D : FSK demodulator
- E : Transmitter /receiver
- F : PC input board

게 된다. 이를 위하여 본 논문에서는 국내에서 생산 보급되는 휴대용 FM 무선기(PDK-2000, Kukjae)

를 사용하였다. 이 무선기는 음성 통신에 사용되는 것으로서 사용 주파수범위는 216MHz~223 MHz로서 여기서는 222.575MHz로 설정하였으며, CT-CSS (continuous tone controlled squelch system) / CDCSS(continuous digital controlled squelch system)의 tone 주파수표를 사용하므로 채널은 99채널까지 사용할 수 있도록 되어 있다 [15].

Data acquisition system의 구성

펄스처리회로의 출력신호로 복조된 펄스신호는 개인용 computer에 설치된 counter(IC 8254, intel)회로에 입력되어 계수되도록 hardware를 구성하였고, 프로그램은 하나의 폐곡선을 이루며 interrupt에 의해서 data를 인식하도록 하였으며 주프로그램과 interrupt 프로그램으로 구성하였다. 프로그램이 가동되면 초기화 프로그램은 counter를 초기화시키고 폐곡선의 프로그램을 수행하도록 하였다. 계수치는 0.2초에 한번씩 메모리에 저장되며, 저장된 계수치는 interrupt에 의하여 검출기의 불감시간으로 인한 계수손실(counting loss)이 보상

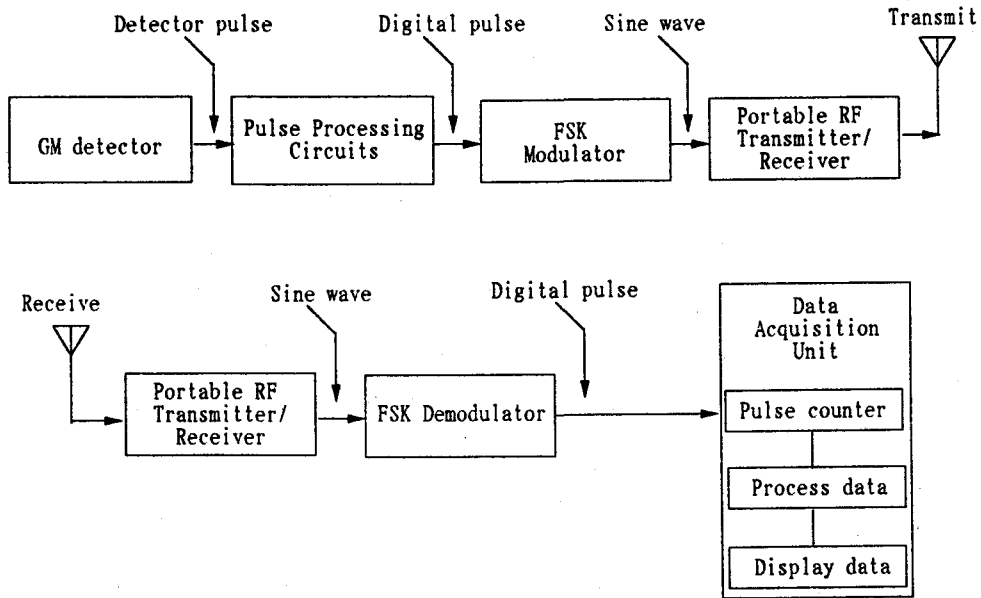


Fig. 9. Block diagram of signal flow of the designed radiation measuring system using wireless communication.

되어 실계수치로 환산되며 2초에 한번씩 방사선량율과 방사선량으로 변환되어 화면에 표시되도록 하였다.

본 논문에서 설계된 무선을 이용한 방사선측정 시스템의 전체적인 구성은 그림 8과 같으며 계통도는 그림 9와 같다.

결과 및 토의

GM 검출기에서 출력되는 신호를 처리하는 펄스 처리회로의 동작특성을 시험하기 위하여 검출기의 출력신호와 등가한 부극성(negative) 펄스를 출력하는 펄스발생기(MP-1, Eberline)를 이용하였다. 파고치를 $3 \sim 3 \times 10^6 \text{mV}$, 계수율은 $10 \sim 1.6 \times 10^6 \text{cpm}$ 까지 변화시키면서 설계된 전치증폭기에 인가하여 펄스처리회로의 출력에서 펄스파형을 오실로스코프(Fluke 970)로 측정하였다. 그 결과 10mV부터 펄스파형을 측정할 수 있었으며 계수율은 $1.6 \times 10^6 \text{cpm}$ 까지 측정하였다.

펄스파형을 관찰하기에 알맞은 입력조건으로서 10mV, 1kcpm을 전치증폭기에 입력하여 펄스처리회로의 펄스파형을 측정하였으며, 또한 실제로 GM 검출기에서 출력되는 부극성 펄스를 입력하기

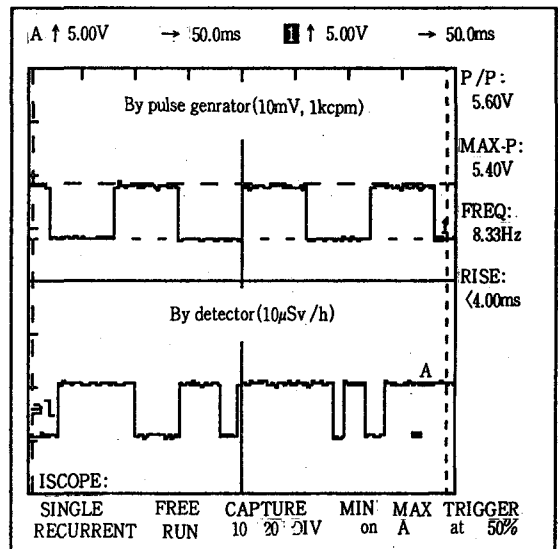


Fig. 10. Pulse shape of pulse processing circuit by detector and pulse generator.

위하여 고전압공급기로 검출기의 동작전압을 공급하고, 표준선원(Cs-137, $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$)을 이용하여 검출기에 약 $10 \mu\text{Sv/h}$ 의 방사선량을 조사시켜 펄스 처리회로에서 펄스파형을 측정하였다. 두 시험에서

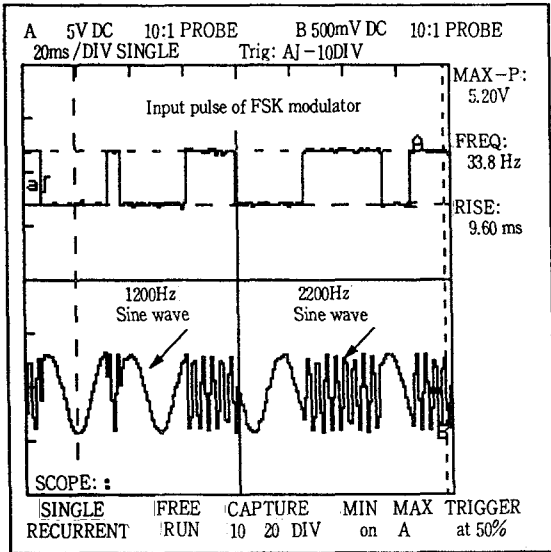


Fig. 11. Sine wave of FSK modulator output according to pulses of FSK modulator input under radiation source($10\mu\text{Sv/h}$).

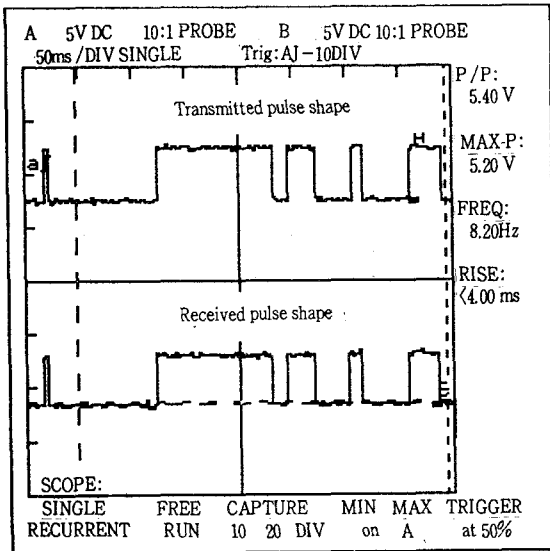


Fig. 12. Comparison received pulse shape with transmitted pulse shape under radiation source ($10\mu\text{Sv/h}$).

그림 10과 같은 파고치가 약 5V인 디지털 펄스를 관측하였다. 따라서 제작된 펄스처리회로의 입력값도가 10mV임을 알 수 있으며, 펄스처리회로가 아주 양호하게 동작되고 있음이 확인되었다.

FSK 변조회로의 동작상태를 점검하기 위하여

검출기에 $10\mu\text{Sv/h}$ 를 조사시킨 경우에 펄스처리 회로에서 출력되는 디지털 펄스의 'high'와 'low'에 대응하여 설계된 FSK 변조회로에서 주파수 2200 Hz와 1200Hz의 정현파가 발생하는가를 관찰한 결과 그림 11과 같은 양호한 파형을 얻었다. 이는 FSK 변조회로가 양호하게 동작되고 있음을 보여주는 것이다.

FSK 변조회로의 출력에서 휴대용 무전기를 통해서 송신된 자료가 왜곡없이 수신되었는가를 확인하기 위하여 변조회로에서 시험한 것과 같은 입력 조건으로 변조되기 전의 디지털 펄스와 복조 후의 디지털 펄스를 비교 측정한 결과 그림 12와 같이 두 파형이 일치함을 나타내었다. 이것은 무선통신으로 송수신된 디지털 펄스가 왜곡없이 전송되고 있으며 복조회로가 양호하게 동작되고 있음을 증명하여 주는 결과이다.

측정된 방사선량의 정확도를 검증하기 위하여 방사선 검출기에 표준선원(standard radiation source : Cs-137)으로 방사선량을 조사하여 측정값을 표 1과 그림 13에 나타내었다. 표 1에 의하면 제작된 시스템의 측정오차는 약 10%임을 보여주고 있으며, 또한 최대 측정범위는 약 1mSv/h 를 나타내고 있는데 이것은 음성(300Hz~3kHz) 통신에 이용되는 휴대용 무전기를 사용하였기 때문에 측정범위가 제한되었다. 따라서 10m Sv/h 이상의 범위까지 측정하려면 적어도 30kHz 이상의 주파수를 송수신할 수 있는 무전기를 사용하여야 할 것이다.

휴대용 무전기의 송수신거리를 확인하기 위하여 송수신기는 연구용 원자로인 하나로 원자로실내에 설치하고, 원자로실외에는 수신기를 설치하여 송수신 거리를 시험하였다. 그 결과 시스템의 측정오차를 10%를 유지할 수 있는 거리는 약 150m인 것으로 나타났다.

본 시스템을 측정회로와 무선 송수신회로를 결합하여 소형화와 경량화시켜 개인피폭선량측정기로 사용한다면 방사선 피폭량의 감시가 실시간으로 가능하며, 방사선감시기로 사용하면 무선통신방식을 사용하므로 설치가 용이하여 설치비용의 절감효과를 기대할 수 있으며, 이외에 여러가지 용도의 방사선측정기로서 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

방사선검출기의 신호를 처리하는 펄스처리회로와 디지털 무선통신방식인 FSK 변조회로를 설계하였으며, 휴대용 무전기로 자료를 송수신하여 개

Table 1. Results of measured dose rate by the designed wireless radiation measuring system.

Number of test	Irradiated Dose Rate (mSv/h)	Measured Dose Rate (mSv/h)
1	1.2×10^0	-
2	1.1×10^0	-
3	1.0×10^0	1.06×10^0
4	9.0×10^{-1}	9.43×10^{-1}
5	8.0×10^{-1}	8.67×10^{-1}
6	7.0×10^{-1}	7.44×10^{-1}
7	6.0×10^{-1}	6.54×10^{-1}
8	5.0×10^{-1}	5.23×10^{-1}
9	4.0×10^{-1}	4.34×10^{-1}
10	3.0×10^{-1}	3.19×10^{-1}
11	2.0×10^{-1}	2.16×10^{-1}
12	1.0×10^{-1}	1.09×10^{-1}
13	5.0×10^{-2}	5.36×10^{-2}
14	1.0×10^{-2}	1.08×10^{-2}
15	5.0×10^{-3}	5.43×10^{-3}
16	1.0×10^{-3}	1.52×10^{-3}

이용 컴퓨터의 화면에 측정값이 표시되는 무선통신을 이용한 단일채널의 방사선측정 시스템을 국내에 선 처음으로 구성하였다.

시스템의 성능을 검증하기 위하여 펄스발생기로 10mV, 1kpm의 부극성 펄스를 입력한 경우와 검출기에 방사선($10\mu\text{Sv/h}$)을 조사시킨 경우에 모두 펄스처리회로에서 약 5V의 양호한 디지털펄스가 출력되었고, 무선통신계통에서도 왜곡없이 자료의 송수신이 이루어지고 있음을 확인하였다. 측정치의 정확도를 검증하기 위하여 검출기에 표준선원(Cs-137)으로 방사선을 조사시켜 조사선량률과 측정된 선량률을 비교한 결과 최대 측정범위는 약 1mSv/h를 나타내었고, 측정오차는 약 10%이내로 만족할 만한 결과를 얻었다. 본 논문에서 설계된 시스템은 저준위 방사선측정기로 이용될 수 있다. 따라서 여러 채널을 조합한 다중채널로 구성될 수 있으며, 국산화에 기여함으로써 방사선 방어 분야에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 무선통신계통에서는 전자파에 의한 혼신 및 간섭 등의 영향으로 인한 오차가 발생할 수 있으므로 이에 대한 체계적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Geiger, H., and W. Mueller, Phys. Zt. 29, 839 (1928).
2. W. E. Ramsy, Phys. Rev., 57, 1022 (1940).
3. Sternheimer, R. M. : Article in C. L. Yuan and C. Wu (eds.), "Methods of Experimental-Phys." vol. 5, pt. A, Academic Press Inc., New York (1961).
4. K. V. Duuren, A. J. M Jasper and J. Hermesen, Nucleonics, 17, 86 (1959).
5. Orient, O. J. : Nuclear Instr. Methods, 6:309 (1960).
6. Glennf Knoll, "Radiation Detection and Measurement.", John Wiley & Sons, New York (1979).
7. E. Kowalski, "Nuclear Electronics.", Springer-Verlag, New York (1970).
8. Fairstein, E., and J. Hahn, PartII. Nucleonics, 2319, 81 (1965).
9. J. B. Anderson, T. Aulin and C. E. Sundberg, "Digital Phase Modulation.", Plenum, New York (1986).

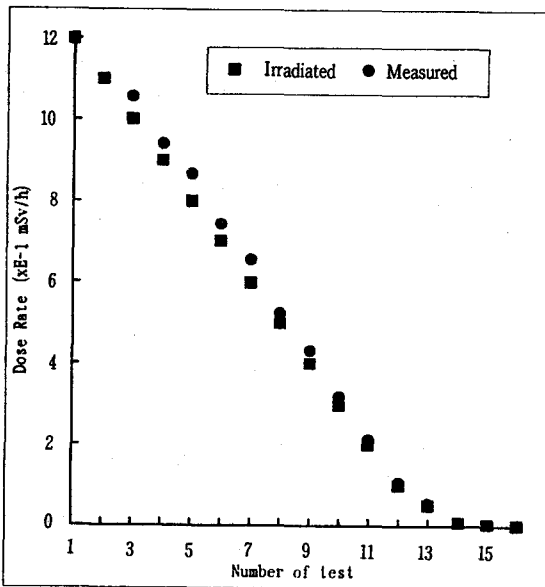


Fig. 13. Measured results by the designed radiation measuring system under the standard radiation source(Cs-137).

10. William D. Stanley, *"Electronic Communications Systems."*, Chap. 7, Printice-Hall, Virginia (1982).
11. J. R. Carson, "Notes on the Theory of Modulation.", Proc. IRE, 10, pp. 57-64 (1922).
12. A. J. Viterbi, *"Principles of Coherent Communications."*, McGraw-Hill, New York (1966).
13. P. W. Nicholson, *"Nuclear Electronics."*, Chap. 5, John Wiley & Son, New York (1974).
14. EXAR Data Book, "Application note, AN-01.", (1992).
15. Clear series user manual, KUKJAE Elec. Co., LTD. (1995).