J. Astron. Space Sci. 12(1), 66-77 (1995)

X-선 비례계수관용 상승시간 선별회로 제작

남 욱 원 · 최 철 성
한국표준과학연구원 천문대

DESIGN OF A RISE TIME DISCRIMINATION CIRCUIT FOR X-RAY PROPORTIONAL COUNTER

Uk-Won Nam And Chul-Sung Choi
Korea Astronomy Observatory, Taejeon, 305-348
e-mail: uwnam@hanul.issa.re.kr, cschoi@hanul.issa.re.kr

(Received March 14, 1995; Accepted May 22, 1995)

요 약

비례계수관에서 생성되는 신호의 상승시간을 비교하여 X-선과 비 X-선 신호를 구분하는 것이 가능하다. 과학로케트 탑재형 비례계수관에 응용하여 백그라운드를 제거하기 위한 간단한 상승시간 선별회로를 개발하였다. 제작된 전체 회로는 상승시간 측정회로, 측정된 시간을 진폭으로 변환시켜주는 시간-진폭 변환회로로 구성되며, 시간 대 진폭을 검교정할 수 있는 회로를 부가하였다. 제작된 회로를 X-선 검출시스템에 적용한 결과 2~12 keV 에너지 범위에서 전반적인 백그라운드 제거율을 80% 이상 얻을 수 있었으며, 약 12 keV 이상의 높은 에너지대에서는 상승시간 선별법을 사용하기 어려운 제한성을 확인하였다.

ABSTRACT

It is possible to distinguish X-ray events from non X-ray events in proportional counters using the method of rise time discrimination (RTD). In order to subtract non X-ray background, we have developed a simple RTD circuit which will be applied to the proportional counter planned for a sounding rocket experiment. The entire circuit consists of two parts ; the rise time measurement circuit and the time to amplitude conversion circuit which includes the self-calibration mode. From the test with X-ray detecting system, we obtained that the background can be rejected more than 80% in the energy band 2~12 keV. However we confirmed that the RDT method is not proper to be used for the energy range above 12keV.

1. 서 론

비례계수관은 동작특성이 비교적 우수하고 유효검출 면적의 확장이 용이하다는 장점때문에 과학위성이나 과학로케트 등을 이용한 천체 X-선 관측에 많이 활용된 검출기 중의 하나이다. 천체 X-선 선원은 Sco X-1 (약 100 photons $cm^{-2}s^{-1}$)과 게성운 (약 3 photons $cm^{-2}s^{-1}$) 등 몇몇 강한 X-선원을 제외하고 대부분이 어두운 X-선원이다. 비례계수관을 이용하여 X-선 관측을 수행할 경우, 주어진 관측 대상으로 부터 방출된 X-선 이외에 이와 유사한 신호를 발생시키는 요인들을 살펴보면 다음과 같이 크게 두가지를 들 수 있다 : (1) 주어진 시계각을 통해 입사되는 X-선 백그라운드, (2) 우주선과 지구 자기장에 포획된 하전입자들의 입사에 의해 발생되는 내부 백그라운드 (internal background) 혹은 비 X-선 백그라운드. X-선 관측위성 Ginga의 관측결과에 따르면, 위에 언급한 백그라운드들의 총 계수율은, 1.5~37 keV 에너지범위에서, 위성의 위치에 따라 약 1.8×10^{-2}counts $cm^{-2}s^{-1}$에서부터 약 3.8×10^{-2}counts $cm^{-2}s^{-1}$까지 약 2배정도 변한다. 이중 X-선 백그라운드 기여는 약 4.5×10^{-3}counts $cm^{-2}s^{-1}$ 이다 (Hayashida *et al.* 1989, Turner *et al.* 1989). 이러한 백그라운드들은 유효검출면적, 시계각, 그리고 목표지향 관측시간 등과 아울러 최소 검출선속을 결정하는데 중요한 요소가 된다. 그러므로 X-선 신호와 비 X-선 신호를 분리하는 문제는 주어진 검출기 인자들을 토대로 얼마나 어두운 X-선원까지 관측할 수 있는가라는 문제와 직접적인 관련을 갖게 된다.

비례계수관에서 일반적으로 백그라운드를 제거하는 방법은 두가지가 있다. 그 하나는 검출기 바깥쪽으로 가드셀 (guard cell)을 부가하여 본체측 신호와 가드측 신호가 동시에 생성되면 반일치 (anti-coincidence) 방법을 통해 이 신호를 제거하는 방법이다. 다른 하나는 검출기에서 나오는 신호의 상승시간을 분석하여 X-선 신호와 비 X-선 신호를 구분하는 방법이다 (Ricker and Gomes 1969). 후자의 방법을 상승시간 선별법이라 부르며 60 ~ 70 년대의 로케트를 이용한 X-선 관측과 Uhuru 그리고 EXOSAT 등과 같은 과학위성에 탑재된 비례계수관에 적용된 바 있다 (Gorenstein and Mickiewicz 1968, Jagoda *et al.* 1972, Bailey *et al.* 1979). 또한 방사선 계측학 분야에서는 유기 섬광 검출기에서 중성자와 감마선을 선별하는데 이용되고 있다. 비례계수관에 상승시간 선별법을 적용하면 반일치방법을 적용하는 것에 비해 검출기의 구조를 비교적 간단한 모양으로 설계할 수 있는 장점이 있으므로 천문대에서 제작되고 있는 검출기에 상승시간 선별회로를 적용하는 것을 검토하고 있다. 상승시간 선별회로는 방사선 계측 분야에서 많이 사용되는 상승시간 선별기 (rise time discriminator) 혹은 파형분석기 (pulse shape analyser)라는 NIM (nuclear instrument module) 규격 제품이 있지만, 과학로케트 탑재형 회로로써 상용화된 제품은 아직 없다. 따라서 탑재형 회로로 응용하기 위해, 회로구성이 간단한 상승시간선별회로를 제작하고 이의 특성을 조사하였다.

2. 회로 구성

2.1 상승시간별 선별회로

비례계수관에 적용되는 상승시간 선별법의 이론적인 배경과 비례계수관의 출력 펄스 모양에 대한 자세한 논의는 Ricker and Gomes (1969) 등이 자세히 다루었다. 비례계수관을 이용하여

X-선을 검출하는 원리를 간략하게 설명하면 다음과 같다. 입사된 X-선은 검출개스에 흡수되어 광-전자 상호작용에 의해 전자를 방출시킨다. 이것은 양극선에 걸린 높은 전기장의 영향으로 인해 양극선 쪽으로 이동하고, 양극선과 아주 가까운 지점에서 많은 전자-이온쌍을 생성시키는 개스증폭이 일어난다. 실제로 비례계수관의 동작전압에서 개스증폭도는 약 1000배 정도이지만 증폭과정중 생성되는 초기전자-이온 쌍들의 분포가 매우 작은 범위에 국한되기 때문에 출력신호에서 나타나는 상승시간은 매우 짧고, 시간적 분산도 적다. 반면에 최소 이온화 입자 (minimum ionizing particle)와 고에너지 하전입자들은 지나가는 경로에 따라 전자-이온쌍들이 범위가 넓게 생성되므로, 경로가 양극선 방향과 평행하지 않다면, 이들 전자들이 개스증폭영역으로 도달하기까지 표류시간 (drift time)이 길어지게 되어 시간 분산이 발생하게 된다. 결과적으로 X-선에 의한 신호보다도 고에너지 하전입자에 의한 출력신호의 상승시간이 더 길어지게 된다.

비례계수관에서 고에너지 하전입자에 의한 신호는 진폭이 매우 커서 레벨선별기를 통하여 대부분 제거할 수 있지만, 주어진 관측에너지 범위의 X-선 신호와 하전입자에 의한 신호가 비슷한 진폭을 갖는다면 레벨선별기를 이용하여 신호의 선별이 어렵게 되기 때문에 상승시간 선별방법을 적용하는 것이 요구된다. 검출기에서 생성된 전하신호는 전치증폭기와 주증폭기를 통하여 신호분석이 가능한 정도로 증폭되고 또 가우시안모양으로 정형된다. 이 연구에서는 ULD (upper level discriminator)와 LLD (lower level discriminator)를 이용하여 1차적으로 선별된 펄스에 대해, 상승시간을 분석하여 비 X-선 신호를 제거하는 방법을 선택하였다. 전체 회로를 상승시간 측정회로와 시간-진폭 변환회로로 구분하여 구성하였다. 상승시간 측정회로에서는 입력 펄스로 부터 시작점을 검출하고 이 신호를 미분하여 얻은 양극성 (bipolar) 펄스로부터 제로 크로스 시각을 검출하여 두 신호의 시간차를 구하였다. 검출된 시간차는 시간분석이 용이하도록 시간-진폭 변환회로에서 진폭으로 변환하여 파고 분석기에 연결이 가능하도록 하였고, 레벨 선별기를 통해 시간이 긴 신호를 선별하도록 하였다. 또한 시간-진폭 변환회로에는 시간 대 진폭의 자체교정점을 잡을 수 있도록 설계하였다.

2.2 상승시간 측정회로

상승시간 측정회로는 그림 1과 같이 구성하였다. 이 회로의 입력신호는 가우시안 모양의 단극성 신호이다. 이 신호는 버퍼증폭기 A1을 거쳐서, 한 경로는 레벨선별기 A3로 입력되고, 다른 한 경로는 미분회로 A2로 입력된다. 레벨선별기 A3은 입력펄스에서 시작점을 검출하는데 이용한다. 레벨선별기 A4는 미분회로 출력신호인 양극성 신호의 제로 크로스 (zero cross) 시각을 검출하는데 이용된다.

미분회로에서 시정수 (time constant) 값은 입력신호의 상승시간과 같게 하였다. 회로의 개발을 위해 주증폭기로서는 Canberra사의 증폭기 (NIM 모델 2020)를 이용하였다. 이 증폭기의 정형시간 (shaping time)을 1 μs로 두었을 때, 신호의 상승시간은 약 2 μs였으며 이 신호를 기준으로 미분회로를 설계하였다. 미분회로에 사용한 증폭기 A2는 연산증폭기 (operational amplifier) LF356을 이용하였다. 그림 1의 미분회로에서 미분시간은 회로의 되먹임 (feedback) 저항 R_t와 입력측의 커패시터 C_t의 곱인 $R_t \cdot C_t$ 이고, 회로의 이득은 되먹임 저항 R_t와 입력측의 저항 R_1

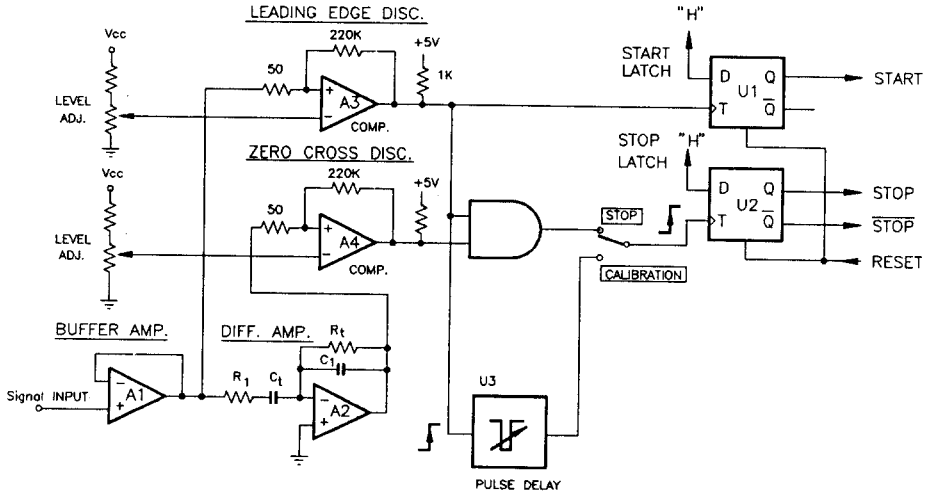

그림 1. 상승시간 측정회로.

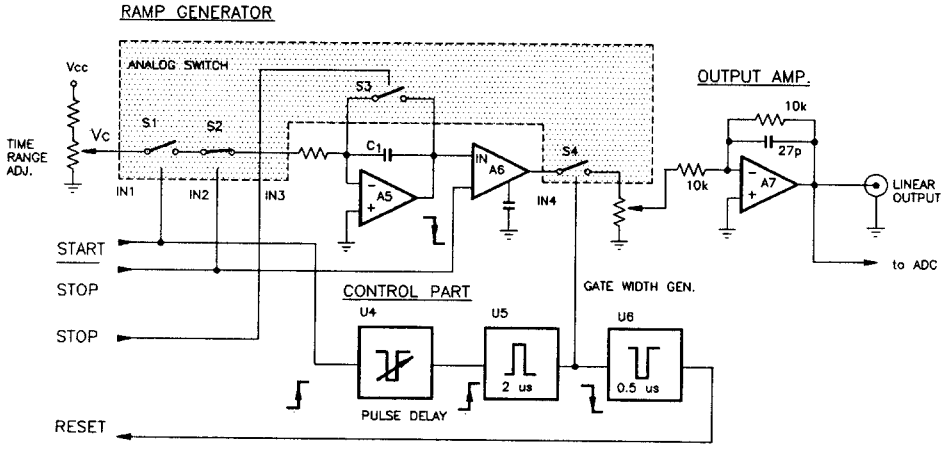

그림 2. 시간-진폭 변환 회로.

의 비 R_t/R_1로서 결정된다. 또한 회로의 동작조건은 $R_1 \cdot C_t = R_t \cdot C_1$ 이다. 이들 상관관계를 이용하여 미분회로를 구성하는 저항 R_1 및 R_t, 커패시터 C_1 및 C_t 등의 값을 각각 500 Ω, 2000 Ω, 100 pF, 400 pF으로 결정하였다. 실제 회로에서는 입력신호와 미분신호의 출력진폭이 같도록 이득을 미세 조정하기 위해 저항 R_1은 가변저항으로 설치하였다.

신호의 시작점과 제로크로스점을 검출하기 위한 레벨선별기 A3와 A4 는 고속 전압비교 IC인 LM319를 이용하였다. 이들 각각의 출력은 뒷단의 래치 단 (74LS74) 을 트리거시켜서 두 시각차를 진폭으로 변환시키는 시간-진폭 변환회로를 동작시키기 위해 $\overline{START}$, $STOP$, $\overline{STOP}$등의 논리상태를 만들어 낸다 (그림 1 참조). 각 래치는 시간-진폭 변환이 완전히 끝난 후 RESET신호를 받아서 초기화된다. 종료래치측에 입력되는 신호는 두 레벨선별기의 출력을 논리곱 (AND) 시켜 입력되도록 하였고, 또한 시작신호에 동기되는 펄스 지연회로로 연결되게 함으로써, 뒷단에 연결되는 시간-진폭 변환회로를 검교정할 수 있도록 하였다.

2.3 시간진폭 변환회로

시간-진폭 변환회로는 그림 2와 같이 램프발생기 (ramp generator), 컨트롤부, 출력 증폭회로 등으로 구성된다. 램프발생회로는 시간간격에 비례하는 진폭을 만들어 내는 회로이며, 일정한 전류를 공급하는 전류원, 적분회로, 아날로그 스위치 S1, S2, S3 등으로 구성된다. 스위치의 초기상태는 S1과 S3이 OFF 그리고 S2가 ON상태로 되어있다.

$START$신호가 입력되면 스위치 S1이 ON되어서 적분기 A5측에 전류를 공급하여 적분기의 커패시터에 전류를 모으기 시작한다. 따라서 적분기의 출력 전압은 상승기울기 V_s로 증가하기 시작한다. 상승기울기는 다음과 같다.

$$V_s = V_c/C_f \cdot R_f, \quad (V/s) \tag{1}$$

여기서 V_c는 적분기의 입력전압을 나타내고, $C_f \cdot R_f$는 적분회로의 시정수 값으로서 1 μs로 설정하였다. 종료신호($STOP$)가 입력되면 S2를 OFF시켜서 적분기 입력측으로 흐르는 전류를 차단하고, 동시에 적분기 뒷단에 연결된 샘플홀드 IC A6를 동작시켜서 종료신호가 도착할 때까지 증가된 전압 값을 유지시켜준다. 이와 동시에 $\overline{STOP}$신호는 적분기의 커패시터 C_f와 병렬로 연결된 스위치 S3을 ON시켜 커패시터에 모인 전하를 방전시켜준다. 이와 같은 동작에 의해 시간 간격에 비례하는 진폭을 가진 펄스를 얻을 수 있다. 이 회로에서 사용된 아날로그 스위치는 LF13331이며 ON시 저항 값은 200 Ω, ON되는 시간은 $T_{on} = 90\ ns$, 그리고 OFF되는 시간은 $T_{off} = 500\ ns$ 이다. 실제회로에서는 적분회로 자체의 지연시간 때문에 $START$신호로부터 약 300 ns 후 전압이 상승하기 시작했다. 따라서 시작과 종료시간의 차이는 최소 300 ns 이상이 되어야 함을 알 수 있었다. 램프발생회로의 출력 펄스 폭은 시작과 종료시각 간격에 따라 변화되므로 파고분석기나 ADC로 직접 연결될 수 없다. 따라서 컨트롤회로의 출력에 따라 ON/OFF되는 아날로그 스위치 S4를 이용하여 일정한 폭을 가진 펄스를 만들어 주었다.

컨트롤부회로는 U4, U5, U6 등으로 구성되며 모두 TTL 품종인 74LS123들로 구성하였다. U4와 U5는 $START$ 신호의 상승시점에 동기되어 입력 펄스를 시간 T_d 만큼 지연시킨 다음, 폭

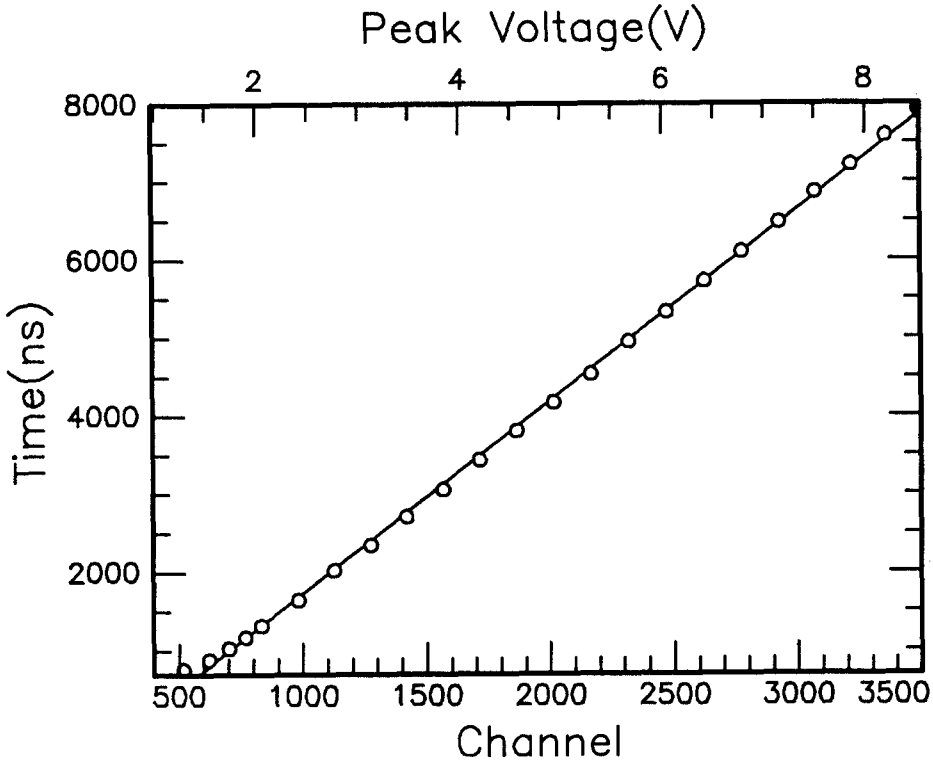

그림 3. 시간-진폭회로의 선형성.

T_w를 가진 신호를 만들어 내도록 회로가 구성된다. 이 출력 펄스는 스위치 S4를 제어하여, 시간 T_w동안만 ON되어서 신호를 통과시켜 줌으로써 시간-진폭 변환회로는 펄스 폭 T_w에 대응된 일정한 출력 펄스 폭이 만들어 지도록 하였다. 만약 컨트롤 회로에서 $STOP$ 신호에 동기 되어 폭 T_w를 가진 펄스를 만들어 내면 앞단의 지연회로는 불필요하게 되지만 입력신호의 상승시간의 변화에 따라 시간-진폭 변환시간이 변하게 되어 나중에 측정데이터 불감시간 보정 뿐만 아니라 반일치회로의 타이밍을 조정하기에 어려움이 있다. 이에 반해 $START$신호에 동기된 폭 T_w를 가진 펄스를 만들어 내면 항상 일정한 시간-진폭 변환시간을 얻을 수 있다. 그 대신 이 회로에서 지연시간 T_d는 시작신호로 부터 시간-진폭 변환이 완전히 끝나는 시간을 확보해야 하며, 이를 위해 지연시간 T_d는 램프발생회로에서 진폭이 포화되는 시간 T_{sat} 보다 길어야 한다. 적분회로 A5에서 포화전압은 약 $10V$이며, 포화시간 T_{sat}은 다음식과 같이 된다.

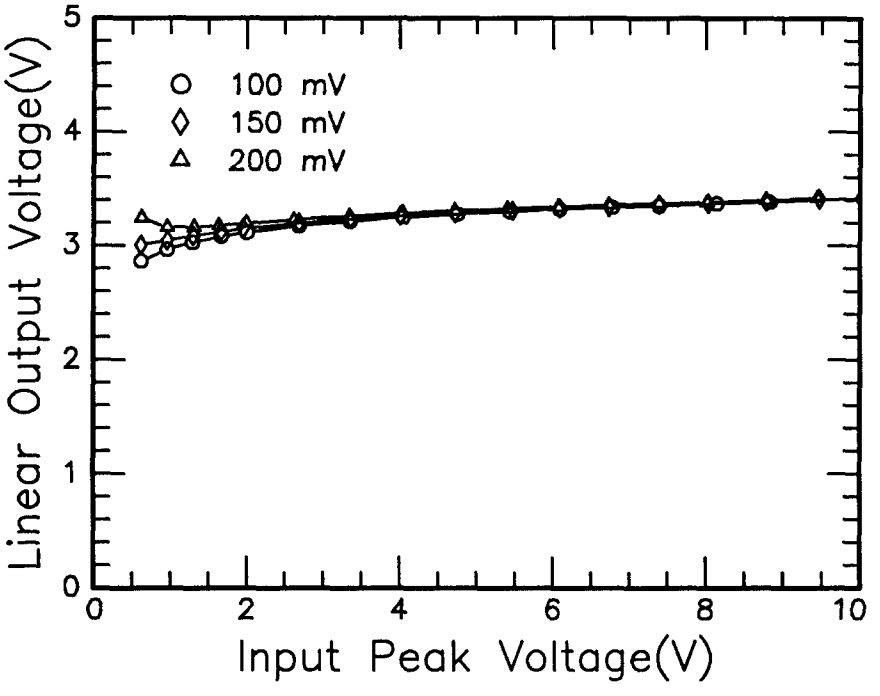

그림 4. 상승시간선별회로의 진폭 walk 영향.

$$T_{sat} = \frac{10}{V_c/(C_f \cdot R_f)} \quad (sec) \tag{2}$$

따라서 V_c 값을 변화시켜줌으로써 가능한 시간-진폭 변환의 시간범위 중 최대값을 설정할 수 있다. 실제회로에서는 4.5 μs일 때 전압이 포화되도록 V_c 값을 조정하였다. 컨트롤 로직부의 U4에서는 $T_{sat} + 0.5\ \mu s$ 후에 펄스폭이 $T_w = 2\ \mu s$인 펄스를 발생하도록 하였다.

U5는 U4의 출력펄스 하강시점에서 트리거된 $RESET$ 펄스를 만들어 시작/종료 래치 (그림 1의 U1과 U2)를 초기상태로 만들어 준다. 이때 $RESET$펄스의 폭은 0.5 μs로 하였다. 따라서 시간-진폭 변환 과정동안 소요되는 시간은 펄스의 시작점이 검출된 후 컨트롤 로직 발생기에서의 지연시간 ($T_d = T_{sat} + 0.5\ \mu s$), 펄스폭 ($T_w$), $RESET$신호의 폭 (T_r)을 포함하며 다음 식과 같이된다.

$$T_{con} = T_{sat} + 0.5 + T_w + T_r = 7.5 \quad (\mu s) \tag{3}$$

3. 특성분석

3.1 회로의 직선성

시간-진폭 변환회로의 직선성을 측정하기 위해 시간-진폭 변환회로에 부가된 검교정 회로 (그림 1)를 이용하였다. 검교정회로는 펄스 지연회로로 구성되며, *START* 신호가 검출되면, 이 신호에 동기된 펄스를 만들어 일정시간 지연시킨 후, 종료 래치단 입력측으로 *STOP*신호 대신 입력시키도록 하였다. 따라서 오실로스코프를 이용하여 이 지연시간폭을 측정하면서 회로의 출력단으로 나오는 진폭신호를 파고분석기 (pulse height analyser, Canberra model ACCUSPEC-B)를 이용하여 측정하였다. 이때 입력신호로서는 기준 펄스발생기 (reference pulser, Canberra model 1407)의 출력을 이용하였다. 측정된 시간-진폭 변환회로의 직선성은 그림 3과 같이 나타났다. 시간차가 1 μs 이하가 되는 영역부터는 직선에서 다소 벗어났지만, 이외의 영역에서는 1차 직선식에 잘 fitting되었다.

3.2 진폭 walk

진폭 walk 현상이란 신호의 진폭을 레벨 선별기를 이용해 선별할 때, 선별을 위한 기준 레벨은 고정되어 있는 반면, 선별기에 입력되는 신호의 진폭이 변하기 때문에 레벨 선별기 출력 단의 펄스에 나타나는 펄스 시작점의 시간 분산이다. 일반적으로 입력신호의 피크 값을 검출할 때, 입력신호를 미분하여 제로 크로스 점을 측정하는 이유는 진폭 walk를 줄이는데 그 목적이 있다. 그러나 실제로는 신호 베이스라인의 전기적인 잡음 영향을 피하기 위해, 전기적 베이스라인의 잡음 레벨 보다 큰 값으로 레벨 선별기의 최소 문턱 값으로 설정하므로 펄스진폭의 변화에 의한 진폭 walk 영향을 피할 수 없다. 상승시간 측정회로의 진폭 walk 영향을 조사하기 위해 상승시간이 일정한 기준펄스를 회로에 입력시켜서 이의 진폭 변화에 따른 출력 신호의 피크 값의 변화를 조사하였다. 그림 4는 시작점을 검출하는 레벨 선별기 값을 200 mV로 고정시킨 다음, 제로크로스 선별기 문턱 값을 100, 150, 200 mV로 변화시켰을 때 측정된 입력 피크값의 변화에 대응된 시간-진폭 변환회로의 출력 전압값을 나타낸 것이다. 이 그림에서 시간-진폭 변환회로는 입력 전압값이 낮을 수록 진폭 walk의 영향이 크게 나타났으며, 입력전압 값이 500 mV 이상 되어야 안정된 동작을 함을 알 수 있었다. 또한 제로크로스 선별기 문턱 값을 시작점을 검출하는 레벨 선별값과 같게 두었을 때 진폭 walk 효과가 가장 적게 나타남을 알수있었다.

3.3 시간스펙트럼 분석

제작된 상승시간 선별회로의 성능을 시험하기 위하여 LND사의 모델 4531 비례계수관을 이용하였다. 이 검출기는 실린더형 비례계수관이며, 검출개스의 혼합비율은 1기압에서 Xe (90%) + CO_2 (10%)이다. 음극의 유효 직경은 3.175 cm 이다. 실험에 사용한 X-선원으로서 ^{54}Mn (5.48 keV), ^{55}Fe (5.96 keV), ^{57}Co (6.48 keV), ^{65}Zn (8.14 keV) 등 4종 이외에 ^{129}I (30, 40 keV)를 이용하였고, 백그라운드 선원으로서는 ^{60}Co 감마선원 (1.33, 1.17 MeV)을 이용하였다. 검출기에 X-선을 조사할 때는 검출기 창의 윗측에서 수직입사시켰고, 감마선의 경우는 검출기 측면에서 적

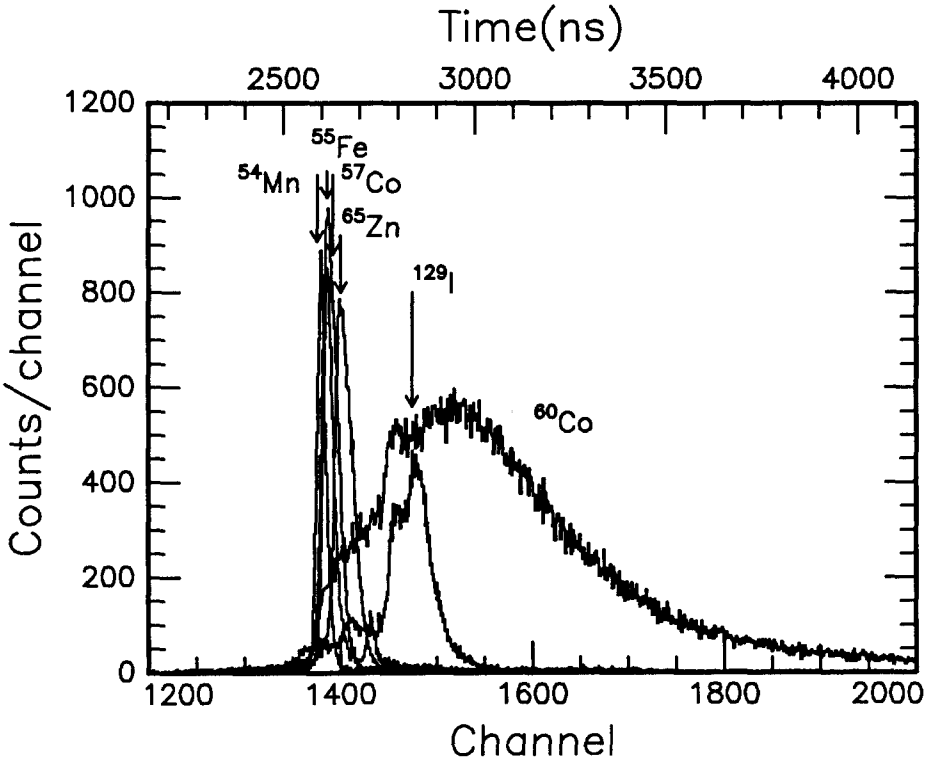

그림 5. 제작된 상승시간 선별회로를 이용하여 측정한 여러가지 선원들의 시간 스펙트럼.

당히 거리를 두고 입사시켰다.

그림 5는 각각의 X-선원에 대하여 측정한 시간스펙트럼을 나타낸 것이다. 수평축 하단은 파고분석기의 채널을, 상단은 이에 대응된 시간 축으로 나타내었다. 수직축은 채널당 카운터를 나타내었다. ^{55}Fe 선원에 대한 시간스펙트럼의 피크는 2600 ns 지점에 나타났다. 그 이유는 실험에 사용한 주증폭기의 정형시간상수가 1000 ns 인 경우, 출력신호인 가우시안 피크의 상승시간이 약 2000 ns이고, 미분회로를 통하여 검출되는 입력신호의 피크점이 제로크로스 점에 대응되지만 회로의 시정수 값과 소자의 지연특성 때문에 약 0.5 μs 더 지연되어 측정되기 때문이다. 이 값은 오실로스코프를 이용하여 제로크로스 점을 측정한 값과 일치했다. 나머지 10 keV이내의 X-선 선원들에 대한 스펙트럼의 피크 값은 에너지에 따라 다소 변화했지만 ^{55}Fe의 상승시간 피크와 중첩된 지점에서 나타났다. 이에 반해 ^{129}I의 스펙트럼은 ^{55}Fe 피크로부터 약 150 ns 떨어진 지점에 피크가 나타났고, 감마선의 시간스펙트럼은 대부분 2500 ns에서 4000 ns까지 넓은 범위에 퍼져있으며 3000 ns 근방에서 피크를 이루었다. 전체 스펙트럼 모양에서 ^{55}Fe 선원을 비롯한 낮은 에너지

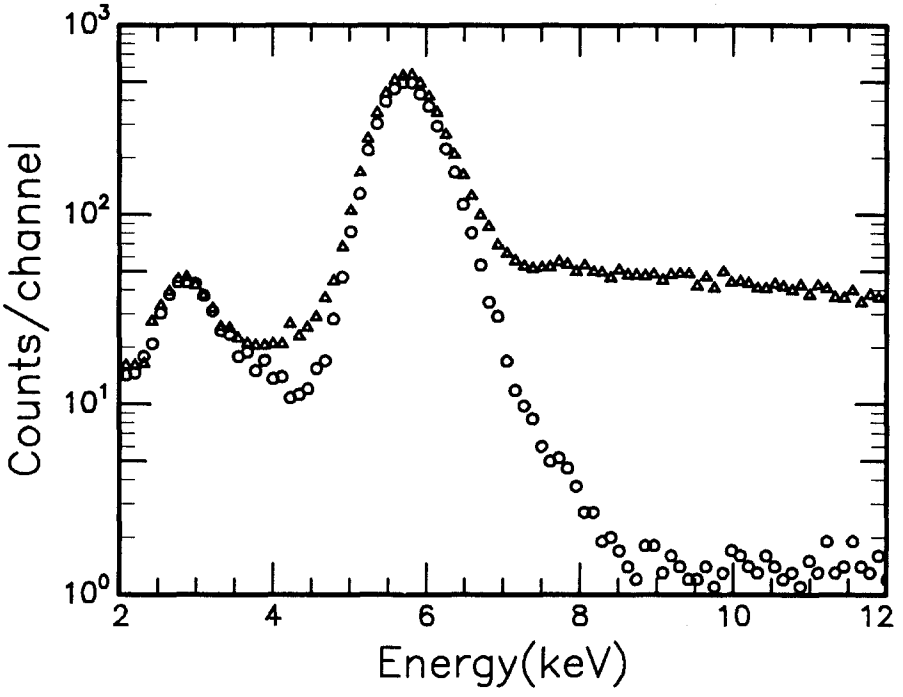

그림 6. 상승시간선별회로를 적용하기전 (△으로 표시한 데이터)과 적용한 후 (○으로 표시한 데이터)의 에너지스펙트럼의 비교. 에너지 스펙트럼은 ^{55}Fe와 ^{60}Co선원을 동시에 검출기에 입사시켜서 얻었다.

대의 X-선 선원과 ^{60}Co 선원의 펄스 상승시간은 시간상 잘 구분됨을 알 수 있다. 그러나 시간스펙트럼상에 나타나는 피크의 위치는 에너지 의존성을 보여주고 있으며, 측정에너지가 높을 수록 상승 시간 문턱 값을 높게 설정해야 하므로 백그라운드 제거효율은 급격히 떨어짐을 예상할 수 있다. 이 때문에 상승시간 선별회로는 12 keV 이하의 X-선 측정에만 적용해야 하는 한계성이 있다. 일반적으로 상승시간 선별을 위해, ^{55}Fe 의 시간스펙트럼을 기준으로 해서 가우시안 fitting을 통해 반치폭 (FWHM)을 구한 후, 이의 3 ~ 5σ 값을 문턱값으로 설정한다. 따라서 상승시간 선별을 적용함으로써 ^{55}Fe 선원의 총계수값 중 문턱값의 설정에 따라 10% 에서 5% 내외의 계수을 손실이 생긴다. 대부분의 문헌들은 5% 계수율 손실값을 기준으로 문턱값을 설정하므로 이 실험도 이 기준을 따라 문턱값을 설정한 후 반일치회로를 적용하여 백그라운드 제거율을 조사하였다.

그림 6에 상승시간선별회로를 적용한 에너지 스펙트럼의 실험 예를 나타 내었다. 그림에서 삼각형 (△)으로 표시한 에너지 스펙트럼은 ^{55}Fe 선원과 ^{60}Co 선원을 혼합입사시켰을 때 측정한 에너지 스펙트럼이며, ^{55}Fe 선원의 5.9 keV 스펙트럼 피크의 위측 부분이 감마선원인 ^{60}Co 선원에 의해 오염되어 백그라운드 레벨이 높게 나타나 있다. 원 (○)으로 나타낸 에너지 스펙트럼은 상

승시간선별회로를 적용하여 백그라운드를 제거시킨 후의 에너지 스펙트럼이다. 에너지 스펙트럼의 주피크를 중심으로 감마선에 의해 오염된 상당 부분이 제거된 양상을 보여준다. ^{55}Fe 선원을 기준으로 했을 경우 ^{60}Co의 선원에 의한 신호제거율은 80~85% 정도 얻을 수 있었다. 이 값이 변화하는 이유는 증폭기의 증폭도, 레벨 선별기의 문턱값, 선원의 위치 등과 같은 실험조건에 따라 다소의 차이가 생기기 때문이다.

4. 검토 및 결론

이 연구는 탑재형 회로로 응용하기 위해 구입이 쉬운 부품을 이용하여 상승시간 선별회로를 간단한 회로로서 구현한 것이 특징이다. 제작된 상승시간선별 회로의 성능중 입력전압이 낮을 경우, 시간-진폭의 직선성이 벗어나는 점과 진폭 walk의 영향이 크다는 점은 앞으로 개선할 문제점으로 남아있다. 시간-진폭 변환회로에서의 직선성 문제는 램프 발생회로에 사용된 아날로그 스위치의 스위칭시간에 기인한 것이므로 보다 빠른 스위치회로를 구성하면 해결될 것으로 기대한다. 또한 진폭 walk의 문제는 시간-진폭 변환회로의 시작과 종료 신호를 검출할 때, 현재 회로에서 사용한 단순한 레벨선별 보다는 CFD (constant fraction discriminator) 방식을 채택함으로써 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 Harris and Mathieson (1971)과 같이 주증폭기의 정형시간을 줄이는 방법도 고려할 수 있으나 고속신호처리 (fast electronics)와 더불어 저잡음 증폭기가 요구되는 문제점이 있다.

제작된 상승시간선별회로를 비례계수관에 적용하여 특성을 조사한 결과 다음과 같은 상승시간선별법의 적용 제한성을 확인하였다. (1) 에너지 의존성에 있어서 12 keV이상의 에너지 대는 적용하기에 불리하다. (2) 5~10%의 X-선 계수율의 손실을 감수해야 한다. 반면 이 방법의 장점은 Ginga X-선 관측위성에 탑재된 LAC의 구조와 같이 백그라운드 제거를 위한 복잡한 다중 셀을 취하지 않는 대신, 탑재형 검출기의 구조를 복잡하지 않게 설계할 수 있다는 점이다. 따라서 앞서 언급한 단점을 고려하면 로케트를 이용한 초기 관측시스템에 적합할 것으로 판단된다. 이 회로의 응용 분야 중의 하나로서 섬광 검출기의 중성자와 감마선 신호의 분리실험을 고려할 수 있다. NE-213 검출기에서 검출되는 중성자-감마의 상승시간은 최대 120 ns정도 차이가 난다 (Ortec 1971). 이 연구의 결과가 ^{55}Fe 선원에 대해 시간분해능이 15 ns 정도임을 감안하면 충분히 응용가능할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

Bailey, T. A., Smith, A. & Turner, M. J. L. 1978, Nucl. Instr. Meth., 155, 177
Gorenstein, P. & Mickiewicz, S. 1968, Rev. Sci. Instr., 39(6), 816
Harris, T. J. & Mathieson, E. 1971, Nucl. Instr. Meth., 96, 397
Hayashida, K. *et al.* 1989, PASJ, 41, 373

Jagoda, N., Austin, G., Mickiewicz, S. & Goddard, R. 1972, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-19, 579

Ortec, 1971, Model 458 Pulse Shape Analyzer, Operating and Service Manual. p11

Ricker Jr., G. R. & Gomes, J. J. 1969, Rev. Sci. Instrum., 40, 227

Turner, M. J. L. *et al.* 1989, PASJ, 41, 345