

전압 보상법에 의한 X-선 검출기의 이득 보정

남옥원 · 최철성 · 문신행
한국표준과학연구원 천문대

CORRECTION OF GAS MULTIPLICATION UNIFORMITY OF X-RAY DETECTOR BY VOLTAGE COMPANSATION METHOD

Uk-Won Nam, Chul-Sung Choi and Shin Haeng Moon
Korea Astronomy Observatory,
Daejeon 305-348, Korea

(Received May 8, 1993; Accepted June 15, 1993)

요 약

다중선 비례계수관에서 균일한 개스증폭도를 얻기 위한 방법에 대해 실험하였다. 양극선에 전압을 공급하는 일반적인 연결 방법으로는 검출기 양쪽 끝단의 edge effect 때문에 개스증폭도의 균일성이 좋지 않았다. 따라서 전압보상법을 사용하여 개스증폭도의 균일성을 $\pm 1.6\%$ (rms 값) 이내로 보정하였다.

ABSTRACT

We experiment on the method to obtain the uniform gas multiplication in multiwire proportional counter. The general technique of anode wire connection for the high voltage supply could not secure the uniformity of multiplication because of the edge effect at the outer anode wires. We found that the variation of the multiplication could be corrected in the accuracy of $\pm 1.6\%$ rms using the voltage compansation method.

1. 서 론

천체의 X-선 선원은 그 flux가 매우 미약하고, 지구대기의 차단효과 때문에 고도 100 km 이상에서 관측이 가능하므로 과학로켓이나 과학위성과 같은 우주관측 수단이 필요하다. 천문대에서는 이러한 과학로켓에 탑재하여 천체의 X-선을 관측하기 위한 X-선 검출기 제작에 관한

¹ 이 연구는 과학기술처의 특정연구비를 지원받아 수행되었음.

연구를 수행 중에 있다. X-선 검출기는 EXOSAT 위성에 탑재된 검출기 (Turner and Smith 1981)와 유사한 구조를 갖는 다중선비례계수관 (multiwire proportional counter)이며, 전체의 X-선의 에너지 관측용으로 제작되고 있다. 따라서 검출기 전체의 검출영역에 걸쳐 매우 균일한 개스증폭도 (gas multiplication)가 요구된다.

X-선 검출기를 실험실 모델로 제작하여 기초적인 특성, 즉 에너지 분해능, 개스증폭도 등의 특성을 구한 결과 (문신행외 1992) 다중선 비례계수관은 전극에 고전압을 걸어주는 일반적인 방법으로서 좋은 개스증폭도의 균일성을 얻을 수 없음을 알 수 있었다. 즉 전극선 길이 방향의 개스증폭도는 $\pm 1\%$ rms 정도의 변화를 보였으나 각 전극선에서의 개스증폭도는 검출기의 중앙에 위치한 전극선의 개스 증폭도에 비해, 검출기 양단에서는 개스증폭도가 20% 이상의 차이가 나타났다. 이의 주된 이유는 검출기 양단에 위치한 전극선에서 edge effect로서 나타나는 비 대칭적인 전장의 세기가 검출기 중심부측으로 영향을 미치게 되어 나타나기 때문이다. 따라서 개스증폭도가 변화된 만큼 공급전압을 낮추어 줌으로써, 개스증폭도의 균일성을 보정할 수 있을 것으로 기대되었다.

개스증폭도를 보정하는 방법으로서 다음 두 가지를 생각할 수 있다.

(1) 검출기 양단에 설치되는 양극전극선으로서 검출기의 중앙부에 설치되는 전극선에 비해 직경이 다른 전극선을 설치하여 전장의 세기를 교정하는 방법 (Long *et al.* 1979).

(2) 전압보상법(Voltage compansation method)을 적용하는 방법, 즉 각 전극선의 공급 전압에 대하여 전압보상을 해주는 방법(Parker *et al.* 1971)

이들 방법중 (1)항과 같은 방법은 검출기 양단의 edge effect를 어느정도 줄여줄 수 있으나 전극선 개개의 개스증폭도에 대해서는 보정해 줄 수 없다. 그러나 전압보상법은 간단하면서도 정밀하게 개스증폭도의 균일성을 보정할 수 있다. 따라서 이 논문에서는 전압보상법을 응용하여 전극과 전극간 개스증폭도의 변화를 줄이는 방법에 대해 고찰하였다.

2. 다중선 비례계수관의 구조

다중선 비례계수관은 X-선이 입사하는 창과 아래측 음극사이에 양극선들이 등간격으로 배열

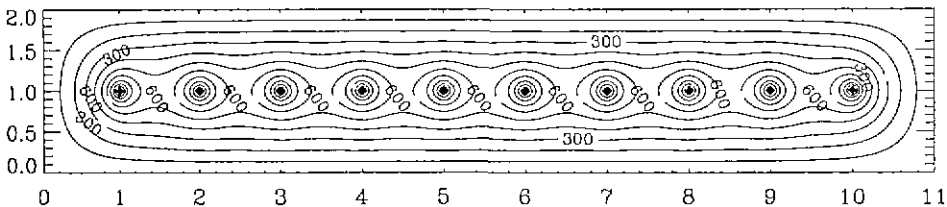


그림 1. X-선 검출기의 단면도 및 등전위 구조. 등전위 분포는 mesh point의 수 = 440×80 , 양극전극선의 전압 = 1400 V로 두고 Gauss-Scidel 법을 이용하여 계산하였다. 등전위선은 100V 단위로 그렸으며, 그림 크기의 단위는 cm이다.

되어 있는 구조이며 이의 단면도는 그림 1과 같다. 그림 1에는 등전위의 모양도 함께 나타내었다. 입사 X-선에 대한 검출면적은 $10 \times 20\text{cm}^2$, 검출기 깊이는 2 cm로 하였다. 또한 양극선은 직경 $20\mu\text{m}$ 인 금이 도금된 텅스텐 선을 1 cm 간격으로 10개를 배열하였다. 10개의 전극중 검출기 양단에 위치한 전극선은 비 X-선을 검출하는 guard wire로 사용되고 나머지 8개의 전극선에서 X-선의 에너지를 검출한다. 검출기의 위측에 설치된 검출기의 창은 X-선의 투과성이 좋은 알루미늄이 코팅된 $100\mu\text{m}$ 두께의 mylar를 이용하였으며 검출개스로서는 $\text{Ar}(90\%) + \text{CH}_4(10\%)$ 인 P-10 개스를 사용하였다.

X-선 검출기의 등전위 분포는 수치해석적 방법인 Gauss-Seidel 법을 이용하여 계산하여 그렸다. 계산에 사용된 mesh의 구간은 440×80 이고, 양극선에 공급하는 고전압은 1400 V, 개스를 채우는 검출기 몸체는 접지되어 있는 경우를 고려하여 계산하였다. 검출기 중앙에서의 등전위 모양은 일정하지만 검출기의 양단에 위치한 전극선에서 등전위 모양은 등전위선 간격이 조밀해지고(즉 전장의 세기가 세지고) 비대칭 구조가 되어서 edge effect가 나타나고 있음을 알 수 있다.

3. 개스증폭도의 측정

그림 2는 검출기의 각 전극선에 걸어주는 일반적인 공급전압회로를 보여준다. 각 전극선에는 같은 전압이 공급되고, X-선 event에 의해 전극선에서 검출되는 전하는 전하감응형 전치증폭기를 통하여 수집되어 전압펄스신호로 바뀐다. 전압펄스신호의 크기 V_p 는 개스증폭도 M 및 입사 에너지 E 와는 다음과 같은 관계가 있다.

$$M = \frac{W V_p}{E e G} \tag{1}$$

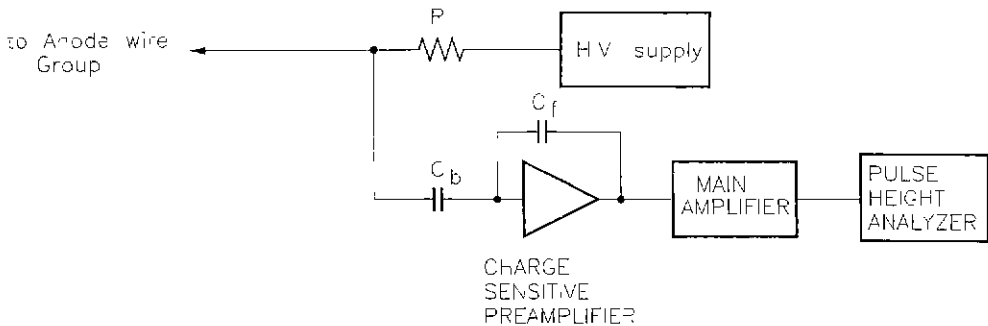


그림 2. 일반적인 공급전압 및 신호처리회로. 그림에서 전압은 저항 $R(100\text{ M}\Omega)$ 을 통하여 검출기에 공급된다. 커패시터 $C_b(1000\text{pF})$ 는 고전압 차단용이며 검출되는 신호에는 영향을 미치지 않는다. 전치증폭기, 증폭기, 파고분석기는 각각 Canberra Inc. 사의 모델 2006, 2020, Accuspec B를 사용하였다.

여기서 W 는 아르곤 개스의 이온쌍을 형성시키는데 필요한 평균 에너지값, e 는 전자의 전하량, G 는 전하감응형 전치증폭기의 이득을 나타낸다. 이 신호는 주 증폭기를 거치면서 증폭이 된 후 파고분석기 (pulse height analyzer)측으로 입력된다. 파고분석기는 입력되는 펄스신호의 파고를 측정하여 이의 분포를 분석하도록 해주는 장치이다. 실험에 사용된 신호처리회로는 Canberra Inc. 사의 제품을 이용 하였다.

그림 3은 ^{55}Fe X-선 표준선원(에너지는 5.9 keV)을 이용하여 검출기 중심부에서 측정된 X-선 검출기의 파고분석 스펙트럼이다. 스펙트럼의 오른쪽 큰 peak는 5.9 keV X-선이 아르곤 개스와 광전자상호작용을 통하여 방출시킨 광전자에 대한 peak이고 왼쪽의 작은 peak는 광전자 방출로 여기된 아르곤 원자의 재 천이 과정에서 방출되는 형광 X-선 (2.96 keV)에 의한 peak이며 escape peak라 부른다. 개스 증폭도는 신호처리회로를 calibration시킨후 주 peak의 중심채널을 측정하여 구하였다. 또한 주피크의 반치폭 (FWHM)은 에너지 분해능을 나타내며, 제작된 검출기는 5.9 keV의 X-선 에너지에 대하여 16 % (FWHM)의 에너지 분해능을 보였다.

한편 개스증폭도 (M)에 대한 이론식은 다음과 같이 주어진다.

$$M = \exp \left\{ \frac{V \ln 2}{\ln(R_b/a)\Delta V} \ln \left[\frac{V}{K p a \ln(R_b/a)} \right] \right\} \quad (2)$$

여기서 V 는 검출기에 공급되는 전압, a 는 양극선의 반경, p 는 검출개스의 압력을 나타낸다. ΔV 는 전자가 연속적인 이온화 event 사이를 이동할 때 생기는 전위차, K 는 개스증폭이 시작되는 E/p (E 는 전장의 세기)의 최소값이며 검출개스 $Ar(90\%) + CH_4(10\%)$ 인 혼합개스의 경우 ΔV 와 K 의 값은 각각 2.36V, $4.8 \times 10^4 V/cm - atm$ 으로 주어진다. R_b 는 검출기 깊이와 양

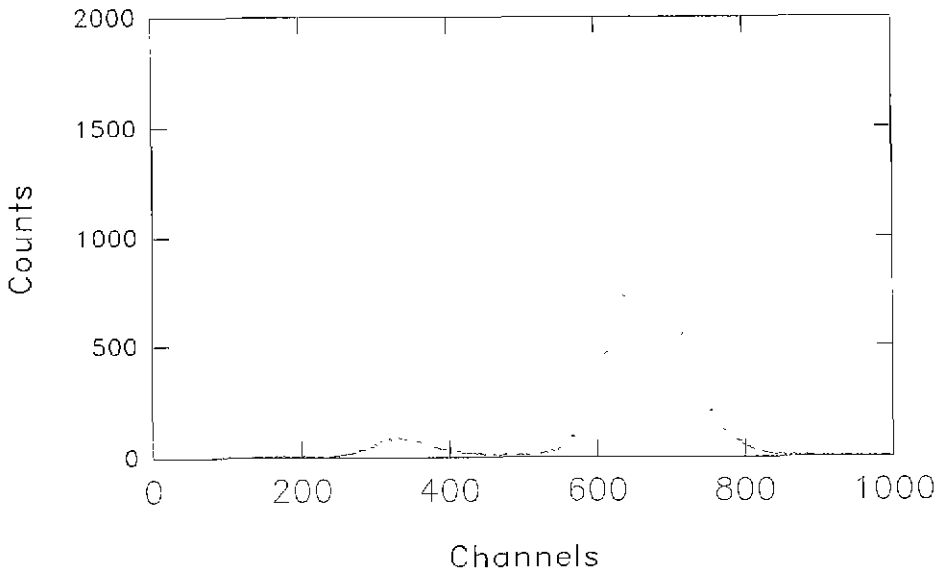


그림 3. 파고분석기에서 얻은 ^{55}Fe X-선 표준선원(5.9 keV)의 에너지 스펙트럼.

극선 전극의 간격의 비에 따라 값이 결정되는 등가 음극 반경 (Cathode radius of equivalent cylindrical counter)이며, 제작된 검출기의 R_b 값은 3.6 cm 이다. 이 값은 Tomitani (1972) 와 Smith and Turner (1982)의 계산결과를 이용하여 얻었다. 그림 4는 검출기에 공급되는 전압대 개스증폭도를 나타내며, 측정된 개스증폭도의 값과 잘 일치됨을 알 수 있다. 따라서 이 식을 이용하여 개스증폭도 보정전압의 값을 결정하였다.

4. 개스증폭도 균일성 보정

그림 5의 (a)는 공급 전압이 1400V, 1450V, 1500V 일때 각 전극선에서 측정된 개스증폭도의 변화율을 보여준다. 공급전압 1400V에서 전극선 4번, 5번, 6번, 7번에서 측정된 개스증폭도의 평균치가 $589 \pm 2\%$ 임에 비해 3번과 8번 전극선에서는 +5.8%, 2번과 9번 전극선에서는 +24 % 증가하였다. 이러한 양상은 공급전압이 1450V, 1500V일 때도 비슷하게 나타났다.

4번, 5번, 6번, 7번 전극선에서 개스증폭도 변화량은 $\pm 2\%$ 정도이므로 원래의 전압을 공급하고, 3번 및 8번 전극선, 2번 및 9번 전극선에 대해서만 공급전압을 보정해 주었다. 보정전압은 (2)식을 이용하여 계산하였으며 중심에 위치한 전극선 4번, 5번, 6번, 7번에 공급하는 전압 1400V를 기준으로 하여 3번과 8번 전극선에는 보정 전압 $\Delta V_1 = -7V$, 2번과 9번 전극선에는 보정 전압 $\Delta V_2 = -34V$ 로 낮추어 주었다. 검출기의 양단에 위치한 1번과 10번 전극선은 전장의 세기를 교정하는 전극으로 사용하였으며 이 공급전압값은 독립적인 고전압발생장치를 이용하여 실험적으로 구하였다.

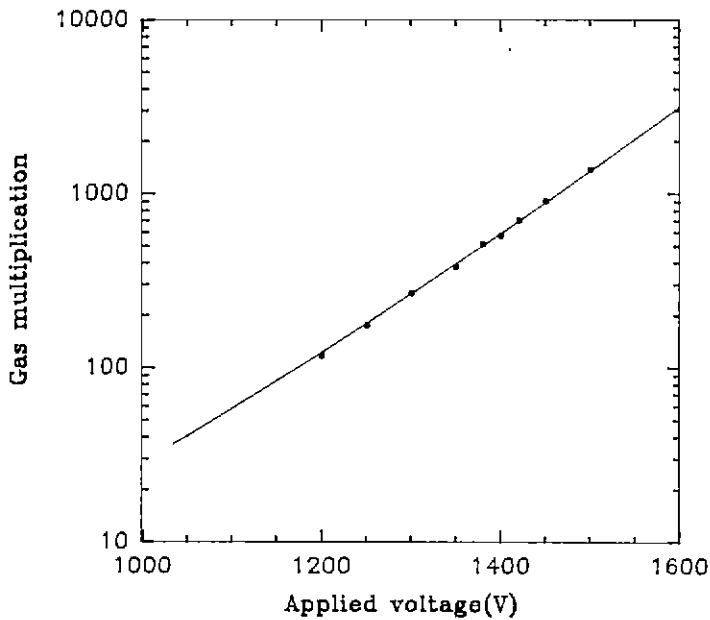


그림 4. 공급전압에 따른 개스증폭도.

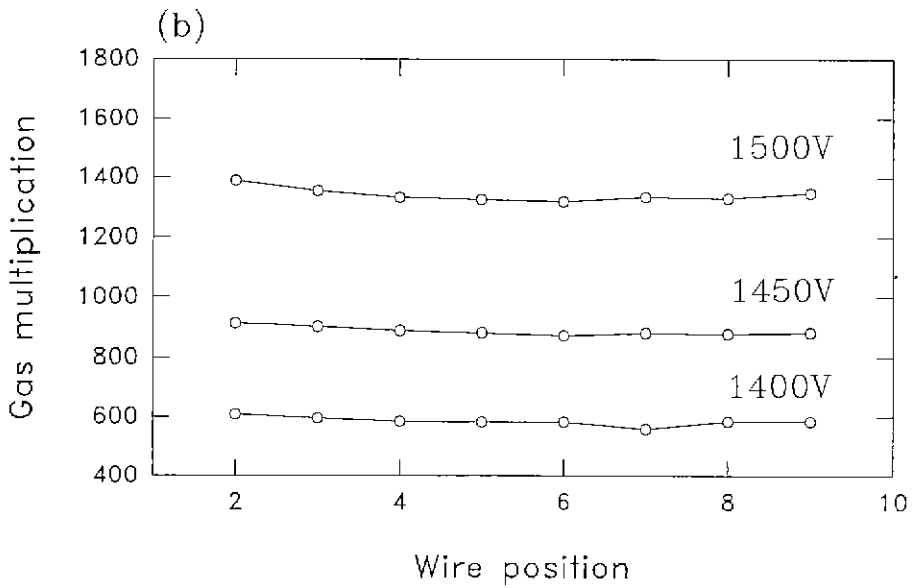
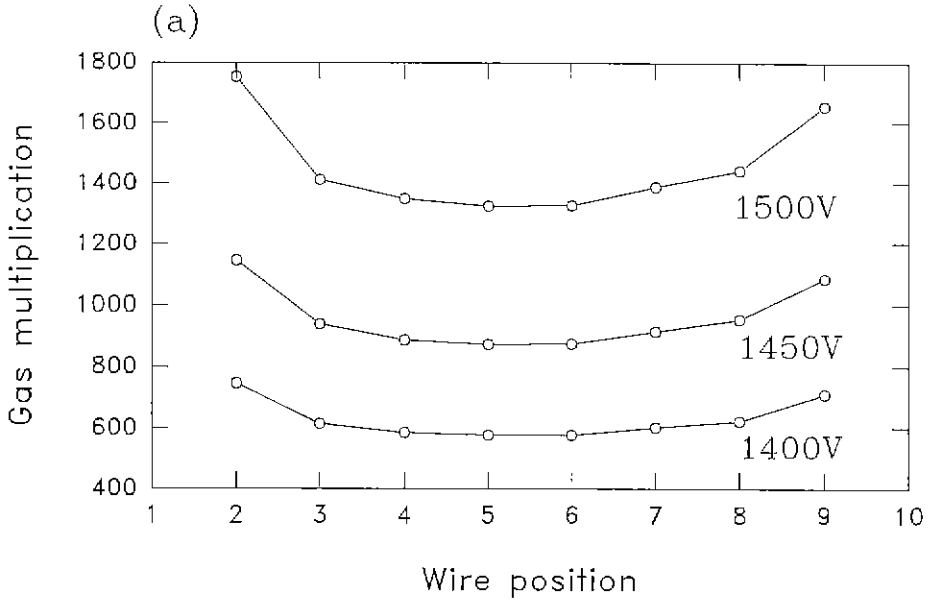


그림 5. (a) 전압보상법을 적용하기 전, (b) 전압보상법을 적용한 후의 각 전극선에서 측정된 개스증폭도.

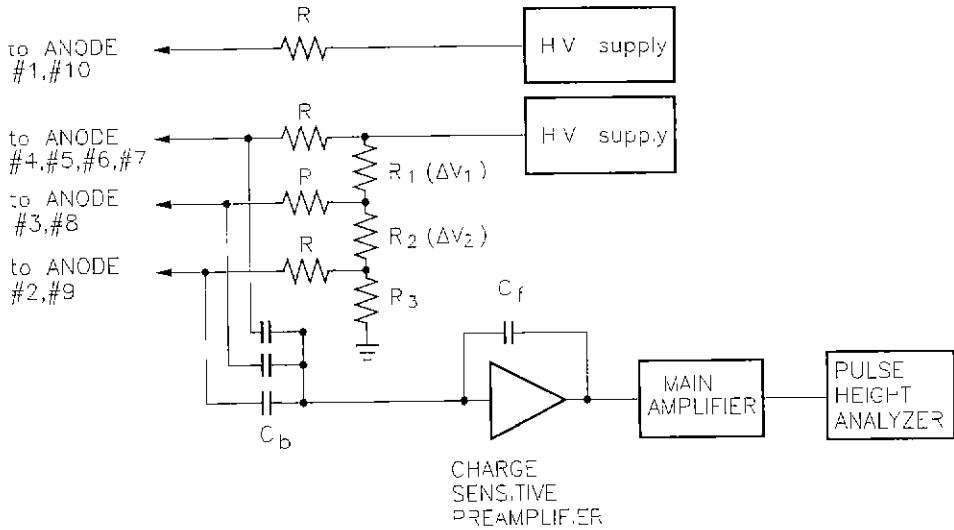


그림 6. 전압보상을 위한 공급전압회로. 각 전극선 그룹에는 전압분배회로를 통하여 공급되고, 검출된 신호는 하나의 전치증폭기로 입력된다.

그림 6은 전압보상을 위한 공급 전압회로이다. 전압발생기의 출력은 R_1, R_2, R_3 로 구성되는 전압 분배회로를 통하여 각 전극단으로 연결하였으며 각 전극선 그룹은 각각의 고압차단용 커패시터를 통하여 전치증폭기로 연결하였다. 뒷단의 회로는 그림 2의 경우와 같다.

그림 5(b)는 전압보상 후 측정된 개스증폭도의 변화이다. 변화율은 공급 전압이 1400V, 1450V, 1500V 일때 각각 편차 1.5 %, 1.5%, 1.6 %로 보정되었다.

5. 검토 및 결론

다중선 비례계수관에 전압보상법을 적용하여 개스증폭도 균일성을 $\pm 1.6\%$ 이내로 줄일 수 있었다. 탑재형 X-선 검출기 제작시에는 그림 6에서 전압 분배회로의 R_1, R_2 를 가변저항으로 대체시킴으로써 보다 미세한 조정을 할 계획이다. 이렇게 함으로써 전장의 세기에 의한 개스증폭도의 변화뿐만 아니라 다중선 비례계수관 인자의 오차 즉, 검출기의 깊이, 전극선의 간격의 오차 등으로 인해 나타나는 개스증폭도의 변화도 함께 보정하여 매우 균일한 개스증폭특성을 갖는 검출기의 제작이 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 문신행, 남옥원, 최철성 1990, "과학로켓 탐재물 및 활용연구(II)", 과학기술처 연구보고서
- Long, K. S., Reid, P. B., Ku, W. H. M., Mitchell, D. D., Novick, R. & Pisarki, R. L. 1979, SPIE, 184, 239
- Parker, S., Jones, R., Kadyk, J., Stevenson, M. L., Katsura, T., Peterson, V. Z. & Yount, D. 1971, Nucl. Instr. and Meth., 97, 181
- Smith, A. & Turner, M. J. L. 1982, Nucl. Instr. and Meth., 192, 475
- Tomitani, T. 1972, Nucl. Instr. and Meth., 100, 179
- Turner, M. J. L. & Smith, A. 1981, Space Sci. Rev., 30, 513