

# Photodiode를 사용한 측정기의 임상응용을 위한 실험

고려대학교 보건전문대학 방사선과<sup>1</sup>

경기대학교 대학원 물리학과<sup>2</sup>

동아방사선기술연구소<sup>3</sup>

김유현<sup>1,2</sup> · 권수일<sup>2</sup> · 허 준<sup>3</sup>

Abstract

## Experiment for Clinical Application with Photodiode

You Hyun Kim<sup>1,2</sup> · Soo Il Kwon<sup>2</sup> · Joon Huh<sup>3</sup>

*Dept. of Radiologic Technology, Junior college of Allied Health Sciences, Korea University<sup>1</sup>*

*Dept. of Physics, Kyonggi University<sup>2</sup>*

*Institute of Radiological Technology, Dong-A X-ray Co., L.T.D.<sup>3</sup>*

Studies were conducted to determine the clinical application of photodiode.

We compared photodiode with ion-chamber as to change of tube potential, tube current, mAs and measured decreasing rate of penetration dose.

When tube potential was changed from 60 kVp to 120 kVp, output of photodiode and ion-chamber were changed from 0.4 to 1.625, and 1.018 to 4.268, respectively. This was a good agreement to theory that  $I = Kv^2it$  ( $I$  is intensity,  $K$  is constant,  $v$  is tube potential,  $i$  is tube current,  $t$  is time).

Characteristics for change of tube current and mAs were also a good agreement to theory.

And comparison in decreasing rate of penetration dose was similar except above 6 cm in depth.

Our results indicated that photodiode was a good instrument for relative measurement of radiation exposure, but we can not use the photodiode for absolute radiation dose.

## I. 서 론

진단용 X선장치는 X선발생장치, X선기계장

치, 영상장치 및 관련기기 등 성능이 변화되기 쉬운 단위 구성품으로 되어있어 여러 가지 이유에 의해서 X선 출력의 저하나 재현성이 약

화될 때는 진단에 부적절한 화상을 제공하는 문제가 발생한다. 따라서 X선 촬영에서 야기될 수 있는 모든 변수를 측정하고 관리하는 것은 환자나 방사선 촬영 종사자에게 최소한의 피폭 선량, 최소의 경비로 진단에 적합하고 이상적인 화질을 얻기 위해 무엇보다 중요하다 하겠다.

1995년 1월 6일에 진단용방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙이 제정 공포됨으로서 비로소 체계적인 안전관리에 관심을 기울이게 되어 각급 의료기관에서는 X선 발생장치의 QC를 위한 QC 장비를 구입하여 사용하고 있으나 이들 장비는 상당히 고가이고 취급이 용이하지 않기 때문에 연구자는 photodiode를 이용하여 좀더 저렴하고 사용이 손쉬운 측정기를 이용하고자 Hamamatsu사의 silicon photodiode를 이용한 Inspector라는 측정기를 사용하여 현재 사용 중인 기타 장비와 비교실험을 하여 그 내용을 보고한다.

## II. 사용기기 및 실험방법

### 1. 사용기기

X선발생장치 : 동아 DXG 325R(120kVp, 300mA)  
 측정기 : \* Inspector with silicon photodiode  
 (low - capacitance planar diffusion type)  
 \* Capintec 192 exposure/exposure rate meter(ion chamber PM 05)  
 \* Multifunction meter  
 Phantom : \* Acryle phantom 0~12 cm  
 \* Al 1 mm

### 2. 실험방법

#### 1) 관전압, 관전류, mAs 변화에 따른 특성

① 관전압 변화에 따른 특성을 보기 위하여 초점-측정기 간의 거리를 100 cm로 하고 관전류 200 mA, 조사시간을 0.1초에 고정하여 관전압을 40~120 kVp로 변화시켜 photodiode와 ion chamber의 측정치를 비교하였다.

② 관전류 변화에 따른 특성을 보기 위하여 초점-측정기 간의 거리를 100 cm로 하고 관전압 80 kVp, 조사시간을 0.1초에 고정하고 관전류를 100, 200, 300 mA로 변화시켜 photodiode와 ion chamber의 측정치를 비교하였다.

③ MAs 변화에 따른 특성은 관전압 80 kVp 관전류 200 mA로 고정하고 mAs를 5, 10, 20, 40, 80, 160 mAs로 변화시켜 그 결과를 비교 검토하였다.

#### 2) 투과선량측정

아크릴 두께에 따른 투과선량 비교를 위해 초점-측정기 간의 거리를 100 cm, 관전류 200 mA, 조사시간 1.0초로 고정하고 관전압이 60, 80, 100 kVp일 때 아크릴 두께를 0~12 cm로 변화시켜 phantom 투과 후의 선량을 측정하여 photodiode와 ion-chamber를 비교하였다.

#### 3) 알루미늄 반가층 측정

관전압 60, 80, 100 kVp에서 관전류 200 mA, 조사시간 6/10 sec의 조건으로 초점-측정기 간의 거리를 100 cm으로 하고 계산을 편리하게 하기 위해 50 cm 지점에 Al 1 mm를 놓았을 때와 놓지않았을 때의 선량을 photodiode와 ion-chamber로 측정하였을 경우의 반가층을 구하였다.

## III. 결 과

### 1. 관전압, 관전류 특성

#### 1) 관전압 변화에 따른 출력 비교

관전류를 200 mA, 조사시간을 0.1초로 고정하고 관전압을 40 kVp에서 120 kVp까지 변화시켜볼 때 표 1과 그림 1에서 보듯이 관전압이 60 kVp에서 120 kVp로 변할 때 photodiode는 0.4에서 1.625로 변해 4.06배 증가하였고 ion-chamber는 1.018에서 4.268로 4.19배로 증가하였다. 또한 출력비는 평균 2.601(표준편차 S = 0.163)로 나타났다.

표 1. 관전압 변화에 따른 출력비교

mAs	kVp	40	50	60	70	80	90	100	110	120	비 고
200mA 0.1sec	X/mAs	0.1	0.225	0.4	0.6	0.85	0.975	1.25	1.525	1.625	평균 :
	mR/mAs	0.293	0.638	1.018	1.47	2.078	2.493	3.12	3.845	4.268	2.601 mR/X
	mR/X	2.93	2.836	2.545	2.45	2.445	2.557	2.496	2.521	2.626	(S = 0.163)

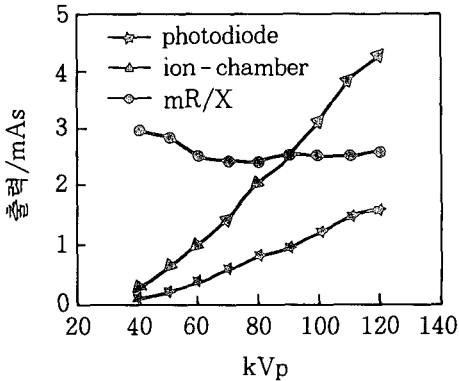


그림 1. 관전압변화에 따른 출력변화

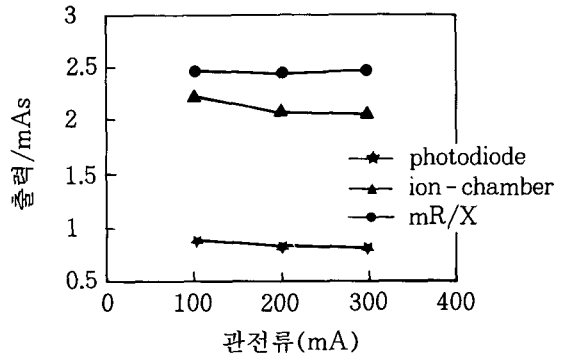


그림 2. 관전류 변화에 따른 출력비

2) 관전류 변화에 따른 출력비교

관전류 변화에 따른 출력의 변화를 보기 위해 관전압 80 kVp, 시간 0.1 sec로 고정하고 관전류를 100, 200, 300 mA로 변화시켰다. 표 2와 그림 2에서 보듯이 photodiode와 ion-chamber의 출력은 관전류 변화에 따른 출력의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 두 측정기 간의 출력비 역시 거의 균등해 평균 2.472(표준편차 S = 0.019)로 나타났다.

표 2. 관전류 변화에 따른 출력비교

	mA	100	200	300	비 고
80 kVp 0.1 sec	X/mAs	0.9	0.85	0.833	평균 :
	mR/mAs	2.24	2.078	2.067	2.472 mR/X
	mR/X	2.489	2.445	2.481	(S = 0.019)

3) mAs 변화에 따른 출력비교

mAs 변화에 따른 출력은 표 3과 그림 3. 4.에서 나타났듯이 60, 80, 100 kVp에서 똑같이

표 3. mAs 변화에 따른 출력비교

관전압	mAs	5	10	20	40	80	160
60 kVp	X	1.9	4.0	8.0	16.1	31.9	63.5
	mR	4.8	10.1	20.2	40.2	81.9	159.2
80 kVp	X	3.7	8.0	16.0	33.0	64.7	130.3
	mR	10.1	20.3	40.5	80.6	156.5	313.0
100 kVp	X	7.9	15.4	30.5	61.1	122.7	243.9
	mR	20.0	38.5	76.9	153.1	311.2	608.2

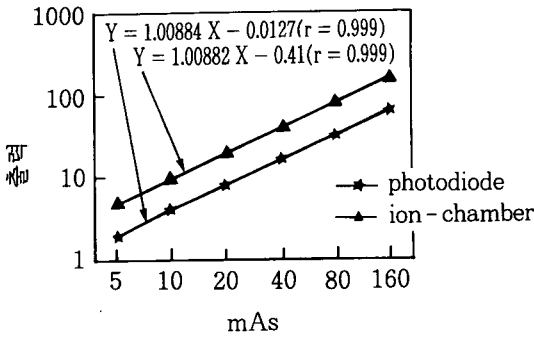


그림 3. mAs변화에 따른 출력변화  
60 kVp 200 mA

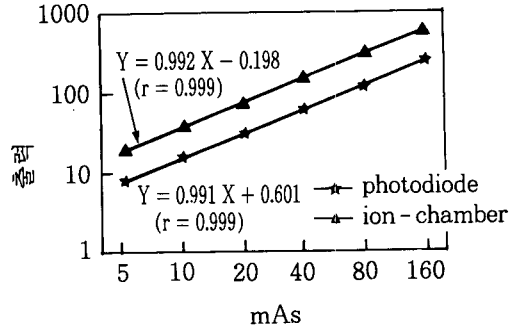


그림 5. mAs변화에 따른 출력변화  
100 kVp 20 m

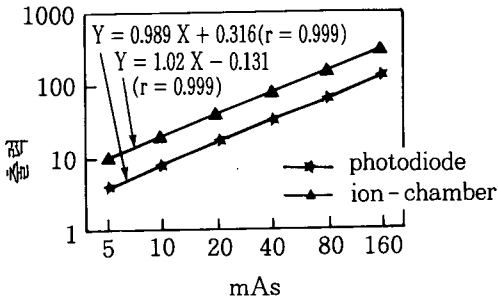


그림 4. mAs변화에 따른 출력변화  
80 kVp 200 mA

mAs가 증가함에 따라 출력도 증가하여 기울기가 60 kVp일 때 photodiode와 ion-chamber에서 1.00884, 1.00882, 80 kVp일 때 0.989, 1.02, 100 kVp일 때 0.991, 0.992로 나타나 비슷한 경향을 보였다.

## 2. 투과선량

아크릴 0~12 cm투과 후의 출력은 표 4에 나타났듯이 photodiode와 ion-chamber의 출력비는 5 cm 투과 후 60 kVp에서 2.00, 80 kVp에

표 4. 투과선량

아크릴 cm	kV	60			80			100		
		Inspec.	Ion.	mR/X	Inspec.	Ion.	mR/X	Inspec.	Ion.	mR/X
0		79	182.0	2.30	155.0	352.2	2.27	242.0	557.6	2.30
1		56	124.5	2.22	111.0	247.1	2.23	176.0	399.9	2.27
2		39	85.0	2.18	80.0	175.5	2.19	129.0	290.2	2.25
3		29	61.0	2.11	61.0	132.8	2.18	99.0	221.8	2.24
4		22	44.8	2.04	46.0	97.6	2.12	75.0	167.6	2.23
5		16	32.0	2.00	35.0	73.7	2.11	58.0	128.7	2.22
6		12	33.9	1.91	26.0	55.1	2.12	45.0	99.2	2.20
7		10	17.8	1.78	21.0	42.7	2.03	36.0	79.3	2.20
8		7	12.7	1.81	16.0	32.6	2.04	28.0	60.5	2.16
9		6	10.0	1.51	13.0	25.2	1.94	22.0	47.4	2.37
10		5	7.8	1.56	10.0	19.5	1.95	18.0	37.0	2.06
11		4	5.7	1.43	8.0	16.0	2.0	14.0	30.4	2.17
12		2	4.2	2.1	7.0	12.2	1.74	11.0	24.0	2.18

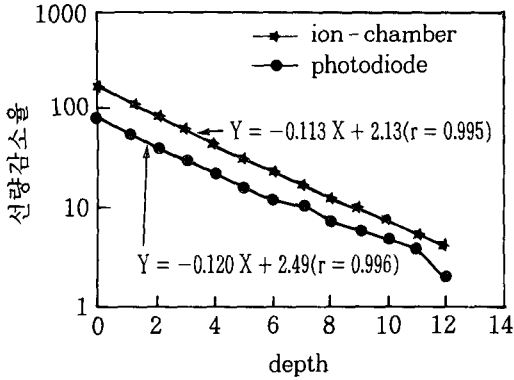


그림 6. 투과선량의 비교  
80 kVp

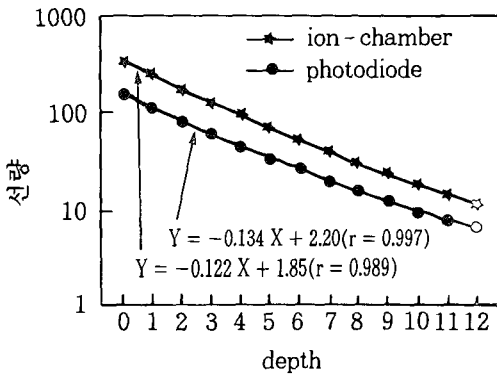


그림 7. 투과선량의 비교  
60 kVp

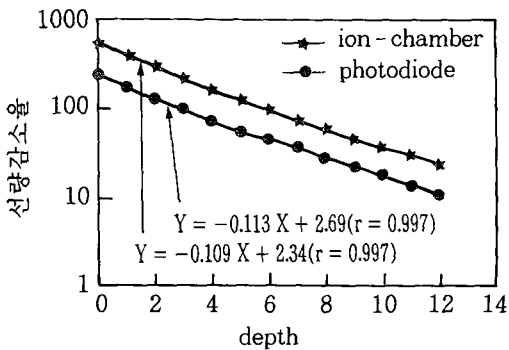


그림 8. 투과선량의 비교  
100 kVp

서 2.11, 100 kVp에서 2.22로 근사한 차이를 보여 팬텀 투과 후 출력비가 모든 두께에서 거

의 비슷해 평균 2.054(표준편차 S = 0.13)로 나타났고, 또한 그림 6, 7, 8.은 60, 80, 100 kVp를 기준으로 작성한 그래프로서 선량감소비는 photodiode에서의 기울기와 ion-chamber에서의 기울기가 60 kVp일 때 -0.134, -0.122, 80 kVp일 때 -0.120, -0.113, 100 kVp일 때 -0.113, -0.109로 나타나 60 kVp일 때를 제외하고는 거의 같게 나타났다.

### 3. 알루미늄 반가층

Ion-chamber와 inspector로 측정된 알루미늄 반가층은 표 5에서 보듯이 60 kVp에서 ion-chamber가 1.67 mmAl, inspector에서 1.87 mmAl, 80 kVp에서 2.12 mmAl, 2.42 mmAl, 100 kVp에서 2.38 mmAl, 2.55 mmAl로 측정되었다.

표 5. 알루미늄 반가층(mmAl)

측정기 kVp	Ion-chamber	Inspector
60	1.67	1.87
80	2.12	2.42
100	2.38	2.55

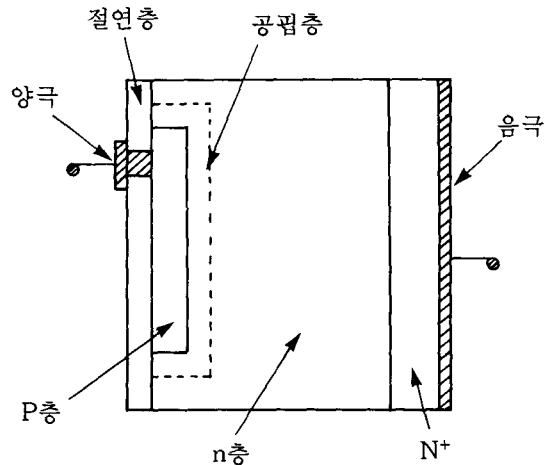


그림 9. Photodiode 단면

## IV. 토 의

Silicon photodiode의 구조는 그림 9와 같이 PN 접합에 역방향의 전압을 가하면 접합면부근에는 공핍층이 생기고 이 공핍층에 방사선이 입사되면 흡수에너지에 비례한 전자와 정공쌍이 생성되어 전자는 n층으로, 정공은 p층으로 이동하여 전극에 모이게 된다. 전자와 정공은 똑같은 전하량을 갖고 있으므로 공핍층에서 생성된 N개의 전자나 정공이 이동시킬 수 있는 전기량은  $Q = Ne$ 가 된다. 이때 증폭기의 입력 회로의 정전용량을 C라 하면 증폭기의 입력 전압은  $V = Q/C$ 가 되어 이 전압을 증폭하여 펄스 전압으로 끌어 낼 수 있다.<sup>1,2)</sup> 즉 photodiode는 PN 접합부위에 조사된 빛을 전류 또는 전압의 형태로 변환 시키는 반도체 광센서이다. 이와같은 photodiode는 빛의 강도, 위치, 유무 등을 측정하기 위하여 임상에서 널리 사용되고 있으며 PNN<sup>+</sup> photodiode, PIN photodiode, Schottky type photodiode, Avalanche photodiode 등의 형태가 있고<sup>3)</sup> 본실험에 사용된 photodiode는 PNN<sup>+</sup> photodiode 형태의 low-capacitance planar diffusion type(S1337-1010BR)으로서 활성면적(active area)이 10 × 10 mm, 에너지영역 320~1100 nm이며 세라믹으로 싸여져 있다.

Ion-chamber는 단위질량당 측정된 전하량( $X = dQ/dm$ )으로서 조사된 방사선의 절대량을 알수있기 때문에 표준측정 장치로서 임상에서 많이 이용되고 있으나 가격이 고가이고 취급이 용이하지 않아 측정시 세심한 주의를 하여야한다.<sup>4)</sup> 그러나 photodiode는 공기전리조에 비해 입사광에 대한 직선성이 우수하고 잡음이 적으며 에너지영역이 넓고, 단단하고 소형이며 수명이 긴 장점이 있다.<sup>3,5)</sup>

특히 크기가  $2.5 \times 2.5 \times 0.4 \text{ mm}^3$ (sensitive volume  $0.3 \text{ mm}^3$ )인 diode의 방사선 감도(radiation sensitivity)는 220 nC/Gy로 상당히 크기 때문에 electrometer의 제작이 ion-chamber에 비해 간단히 할 수 있다<sup>5)</sup>. 반면에 diode 측정기는 방향의존성이 있고, 방사선에 의한 손상으로 인한 선량율의존성이 생겨 체계적인 오차

(systematic errors)를 일으킬 수 있으므로 주기적인 점검이 필수적이다.<sup>5,6)</sup>

본 실험에서는 정확히 교정된 ion-chamber와 photodiode를 비교함으로써 photodiode의 임상에서의 사용가능성을 평가하고자 실시하여본 결과 관전압의 변화에 따른 출력은 관전압이 60 kVp에서 120kVp로 변할 때 photodiode는 0.4에서 1.625로 변해 4.06배 증가 하였고 ion-chamber는 1.018에서 4.268로 4.19배로 증가하여 이론상  $I = Kv^2it$ (I는 강도, K는 상수, V는 관전압, I는 관전류, t는 시간)로서 관전압의 제곱에 비례한다는 것과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

관전류의 변화에 대한 ion-chamber와 photodiode의 특성 역시 이론과 잘 일치해서 관전류변화에 대해 mAs당 출력이 일정하게 나타났다. 또한 mAs변화(mA는 고정하고 시간을 변화시킴)에 따른 ion-chamber와 photodiode의 특성도 결과에 나타난 것과 같이 그래프에서 같은 기울기의 직선으로 나타나 photodiode의 특성이 ion-chamber와 잘 일치하는 것으로 사료된다. 그리고 투과선량의 비교에서 60 kVp일 때 6 cm 이상의 깊이에서는 ion-chamber와 photodiode가 큰 오차를 나타내었으나 다른 부분에서는 비교적 잘 일치하였다. 따라서 본 실험에서 사용한 photodiode도 방사선의 상대 측정기로서 ion-chamber와 같이 사용되어도 무방하리라 사료되나 ion-chamber와 photodiode의 관전압에 따른 출력비는 평균 2.601. 관전류의 변화에 따른 출력비는 평균 2.472, 팬텀 투과 후의 출력비는 평균 2.054로 큰 오차를 보이므로 서로의 출력비를 고려한 photodiode의 출력계수(mR/X)를 이용하여 방사선 선량의 절대측정은 곤란한 것으로 사료된다.

## V. 결 론

이상의 실험결과로 볼 때 silicon photodiode를 이용한 inspector는 취급 및 적용이 용이한 점 등 많은 장점이 있으므로 임상에서 방사선 장치의 주기적인 관리를 위한 상대적인 측정기로서나 ion-chamber의 보조 측정기로서 이용

할 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

### 참고문헌

1. 김창균 : 방사선계측학, 신광출판사, 177-180, 1995.
2. Kiyoshi. A : Measurement of diagnostic x-ray spectra using a silicon photodiode, Med. phys. 16(4), 529-536, 1989.
3. Photodiodes, Hamamatsu catalog No. KPD 0001E04, 1995.
4. Faiz M. Khan : The physics of radiation therapy, 2nd edition, Williams & Wilkins, 97-98, 1994.
5. Faiz M. Khan : Clinical electron dosimetry : Report of Radiation Therapy Committee Task Group No. 25, Med. phys. 18(1), 73-109, 1991.
6. M. Soubra : Evaluation of a dual bias dual metal oxide-silicon semiconductor field effect transistor detector as radiation dosimeter, Med. phys. 21(4), 567-572, 1994.