

## PTW-LinaCheck 측정기의 선량 특성과 일일 출력측정 응용에 관한 연구

\*원광대학교병원 방사선종양학과, †원광의과학연구소

정동혁\* · 이강규\*<sup>†</sup> · 문언철\* · 김현진\* · 김영석\* · 문성록\*<sup>†</sup>

본 연구에서는 선형가속기 출력 검출용으로 상용화된 PTW-LinaCheck의 선량 특성을 조사하고 임상적 응용에 관하여 논의하고자 한다. 본 연구에서는 6, 15 MV 광자선 및 4, 6, 9, 12, 16 MeV 전자선에 대하여 측정값의 재현성, 선형성, 선량률 의존성을 조사하였다. 또한 측정값의 오차범위를 조사하기 위하여 일일 점검 시 검출기의 셋업의 기하학적 오차에 의한 측정값의 변화를 조사하였다. 본 측정의 결과로서 일일 측정 시 셋업 오차에 의한 측정값의 변화는 재현성을 포함하여  $\pm 0.6\%$  이내로 평가되었다. 이 때 선형성과 선량률 의존성에 의한 오차는 무시할 정도였다. 이를 통하여 LinaCheck는 선량 특성과 편리한 셋업의 관점에서 양호한 것으로 결론을 내렸다. 아울러 본 논문에서는 본 검출기를 사용한 60여 일간의 임상적 적용 사례도 제시하였다.

**중심단어:** LinaCheck, 일일출력, 셋업오차

### 서 론

방사선치료에서 선형가속기의 출력은 치료 환자의 투여 선량에 직접 관계하는 중요한 인자이다. 특히 ICRU-60의 권고에 따라 환자에 투여되는 선량의 최종 오차가  $\pm 5\%$  이내가 되기 위해서는 기계적 인자, 환자 셋업 등의 오차를 고려할 때 출력선량의 오차는  $\pm 3\%$  이내로 유지되어야 한다.<sup>1,2)</sup> 국내의 경우에 2002년 발표된 과기부고시에서 선형가속기의 출력선량을  $\pm 5\%$  이내로 유지할 것을 규정하고 있으며,<sup>3)</sup> 식품의약품안전청의 고시에서도 출력의 정확성 평가를 위하여 매년 TLD 소자를 이용한 출력검사를 시행하고 있다.<sup>4)</sup> 그렇지만 선형가속기의 출력은 장비의 상태에 따라 수시 변화할 수 있으므로 출력의 점검 시점 이외에는 장비의 상태를 전혀 알 수 없다. 따라서 출력검사를 보다 자주 시행함으로써 장비의 출력에 관한 정보를 자세히 알 수 있으나, 절대선량의 평가인 경우에 주어진 프로토콜에 따라 엄격한 절차를 가지기 때문에 시간의 소요가 많아 일일 측정은 현실적으로 어렵다. 이와 관련하여 AAPM 보고

서에 의하면 선형가속기 출력확인을 일일 및 월간 점검 항목으로 분류하고 있으며, 그 허용치를 각각  $\pm 3\%$  및  $\pm 2\%$ 로 제시하고 있다.<sup>5,6)</sup>

이러한 선형가속기 출력 평가의 중요성으로 인하여 다양한 상용의 검출기들이 국내 도입되고 있으나, 사용에 앞서 출력 평가에 적합성 여부가 객관적으로 검증되어야 타당하다. 즉, 측정기의 선량에 대한 재현성과 선형성과 같은 선량 특성 그리고 사용 시 셋업오차에 의한 영향 등이 사전 검증되어야 하며, 이를 토대로 측정기에 의한 출력의 변화를 신뢰할 수 있게 된다.

이러한 배경과 함께 본 연구에서는 상용의 출력 검출기(LinaCheck, PTW, Germany)의 선량측정과 이를 이용한 일일 출력 선량 측정의 응용에 대하여 연구하였다. 본 논문에서는 검출기를 사용한 일일 측정에 앞서 재현성, 선형성, 선량률 의존성에 대하여 검토한 결과를 보이고 셋업 오차에 따른 오차 범위를 조사하였다. 또 출력의 측정 시 출력 변동의 허용치와 측정값 허용 범위를 결정하는 과정을 기술하였다. 마지막으로 약 60여 일간에 걸쳐 시행한 출력측정의 사례도 제시하였다.

이 논문은 2008년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.  
이 논문은 2008년 3월 6일 접수하여 2008년 3월 17일 채택되었음.  
책임저자 : 정동혁, (570-711) 전북 익산시 신용동 344-2  
원광대학교병원 방사선종양학과  
Tel: 063)859-1876, Fax: 063)859-1889  
E-mail: physics7@empal.com

### 재료 및 방법

#### 1. 검출기 제원

LinaCheck는 전리함형 방사선 측정기로서 선형가속기 출

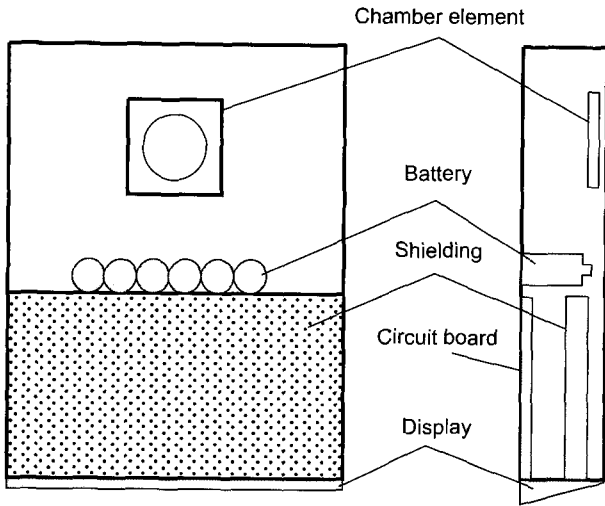


Fig. 1. Schematic views of PTW-LinaCheck dosimeter, frontal (left) and lateral view (right).

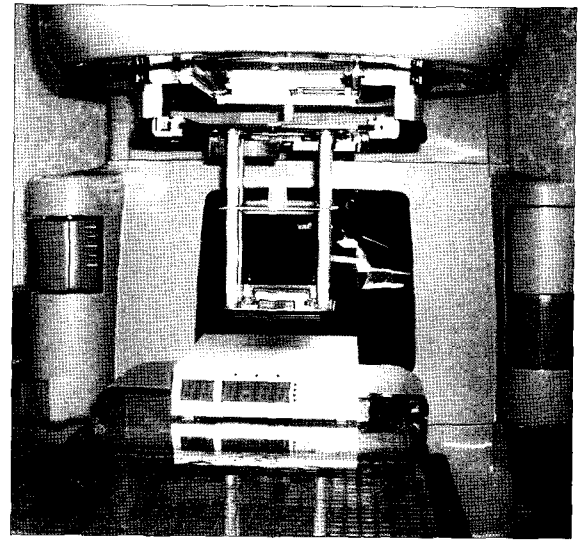


Fig. 2. Setup geometry of the PTW-LinaCheck for LINAC output measurement (in this picture the setup is for electron beam).

력의 안정성 평가를 목적으로 제작되었다. 따라서 본 측정기는 상대선량(Relative dose) 측정기로서 선형가속기 출력 상태(MU에 대한 반응)를 간단히 확인할 수 있도록 고안되었다. 여기서 반응(Response)은 측정의 결과로서 검출기에 표시되는 수치이며 단위는 없다. 따라서 이 측정기 사용의 목적은 MU (또는 조사량)의 증감에 따라 반응의 변화가 나타남을 이용하여 출력확인에 응용하는 것이다.

제작사의 자료에 의하면 전리함은 외장으로부터 0.8 cm (폴리스티렌 0.3 cm+공기 0.5 cm)에 위치하며 전리체적은 3.5 cm<sup>3</sup>로 기술되어 있다.<sup>7)</sup> Fig. 1에 이 측정기의 내부 구조를 나타냈다. 이 그림은 정확한 자료의 획득이 어려운 관계로 X-선 투시기를 사용하여 얻어진 영상을 간략하게 묘사한 것이다. 이 때 내부 전리함은 평행 평판형 전리함(Plane parallel chamber)으로 보이나 정확한 자료가 없으므로 여기서 추가적 기술은 생략한다.

이 검출기의 장점 중의 하나는 밀폐형 전리함을 사용하고 있어 공기밀도에 대한 보정이 필요 없으며, 내장된 전지에 의하여 작동하므로 보관과 운반이 편리하다는 점이다. 이러한 특성으로 측정 시 수분 이내에 장치의 셋업이 가능하므로 신속하고 편리하게 당일의 선형가속기 출력을 점검할 수 있다. 이 때 선량의 Build-up 등의 목적으로 측정기 상단에 팬텀을 위치시킬 수 있으나, 본 연구에서는 상대선량의 검출기인 점과 일일측정의 특성상 이를 고려하지 않았다. 특히 전리함이 측정기 내부 공간에 위치하며 측정 선질이 다양하기 때문에 상단에 팬텀을 놓을 경우에 Build up

또는 투과정도에 의한 반응의 변화만이 있을 뿐 측정값의 해석은 모두 동일한 관점에서 이루어지므로 추가적인 팬텀은 불필요하다고 생각하였다. 즉, 다양한 선질에 대한 출력 평가 시 측정 오차의 방지를 위해 모든 선질에 대하여 동일한 기하학적 구조를 유지하는 것이 가장 중요한 요소로 판단하여 추가적 팬텀은 사용하지 않았다.

Fig. 2는 측정을 위한 검출기의 셋업 사진을 보여준다. 이 그림은 전자선 측정인 경우인데 광자선의 경우에는 어플리케이터(Applicator)가 제거된 형태와 같다. 이 때 방사선 조사후 나타난 측정값은 치료실에 설치된 폐쇄회로 TV를 통하여 쉽게 확인할 수 있다. 한편 LinaCheck에서는 RS-232 케이블을 통한 컴퓨터로의 자료전송이 가능하므로 필요시 활용할 수 있다.

## 2. 측정 대상

본 연구에서 기하학적 기준 조건은 선원과 검출기 표면과의 거리(Source to surface distance; SSD)는 100 cm이며 조사면의 크기는 10×10 cm<sup>2</sup>이다. 이는 제작사에서는 검출기의 손상을 방지하기 위하여 조사면 10×10 cm<sup>2</sup> 이하에서 측정할 것을 권고하고 있으므로 이에 따른 것이다.

선형가속기(Clinac iX, Varian, US)에서 발생하는 6, 15 MV 광자선과 4, 6, 9, 12, 16 MeV 전자선 에너지를 사용하여 본 연구를 수행하였다.

일반적으로 일일점검은 다수의 측정으로부터 평균값을 평가하기 보다는 1 또는 2회 측정된 결과를 당일 출력으로서 적용하는 경우가 많다. 이 경우에 검출기의 재현성은 중요한 변수가 된다. 본 연구에서는 주어진 선원에 대하여 기준 조건에서 선형가속기 50 MU를 8회 조사하고 평균값을 구하여 각각의 편차를 평가하였다. 또한 10~300 MU 범위에서 검출기 반응의 선형성을 조사하였는데 다음과 같이 측정값을 규격화하여 비교하였다.

$$R_{norm} = R_{MU} \times \frac{100}{M.U.} \quad (1)$$

여기서  $R_{MU}$ 는 주어진 모니터유닛(M.U.)에 대한 측정값이며,  $R_{norm}$ 은 100 MU에 대하여 규격화한 값이다.

다음은 선량률 200~400 MU/min 범위에서 검출기의 선량률 의존성을 조사하였다. 일반적으로 출력 점검이 고정된 선량률에서 수행되지만, 빔이 발생되는 동안 가속기의 선량률이 일정 범위에서 변화하는 경우가 많기 때문에 검출기가 선량률 의존성을 가지는 경우에 출력을 정확하게 평가할 수 없다. 그렇지만 이 측정은 선량률에 따른 선형가속기 출력선량이 일정한 것으로 가정해야 하기 때문에 본 검사의 신뢰도는 낮다. 본 연구에서는 주어진 선량률 범위에서 측정을 수행하였는데, 만약 선량률에 따른 측정값의 변동이 선형가속기의 Spec.인  $\pm 1\%$  보다 월등하게 높은 차이를 보인다면 선량률 의존성을 가진다고 잠정적으로 판단할 수 있다.

본 연구에서 마지막으로 조사할 부분은 선형가속기 기하학적 오차에 따른 측정값의 변화이다. 이는 선형가속기의 기계적 변수 즉, SSD, 빔축, 조사면 크기, 겐트리 및 콜리메이터의 각도의 변화로 인한 측정값의 변화를 의미한다. 그렇지만 장비의 노후나 기타 우발적 변화에 따른 기계적 변수들의 변화보다는 측정기 셋업의 오차로 인한 측정값의 변화가 더욱 클 것으로 생각한다. 왜냐하면 선형가속기 일일 출력의 측정은 하루 중 언제나 수행 가능하지만 일반적으로 환자 치료로 인하여 충분한 시간적 여유를 가지지 못하기 때문이다. 따라서 대부분의 경우에 신속한 측정과 평가를 요하므로 경우에 따라 측정기 셋업의 기하학적 조건에 있어서 경우에 따라 기준조건과 다소 차이를 보일 수 있다. 따라서 셋업오차로 인한 측정값의 오차가 출력 평가의 최종 오차에 포함되어야 타당하다.

본 연구에서는 기하학적 오차가 선량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 선원과의 거리(SSD), 조사면의 크기, 빔축

과 검출기 중심의 거리, 겐트리 및 콜리메이터 각도의 작은 변화에 대한 선량변화를 측정하였다. 본 실험에서는 SSD의 경우에 SSD=99.4-100.6 cm 범위, 조사면은 9.6×9.6-10.4×10.4 cm<sup>2</sup> 범위, 빔축과 검출기 중심의 거리는 상하좌우측으로 각각 0.4 cm까지, 겐트리 및 콜리메이터 각도는 0도를 기준으로  $\pm 3$ 도 범위에서 측정하였다. 이 때 측정은 SSD의 변화의 경우에 모든 대상 선원에 대하여 수행하였으며 나머지 인자들은 광자선 6 MV와 전자선 9 MeV에 대해서만 수행하였다.

조사면의 경우에 전자선은 전용 어플리케이션을 사용하기 때문에 조사면 크기가 언제나 일정하므로 광자선에 대해서만 평가하였다. 본 연구에서는 셋업의 기하학적 오차에 따른 측정값의 오차를 통계적 관점에서 다음과 같이 계산하였다.

$$\Delta R_S = \sqrt{\Delta R_{SSD}^2 + \Delta R_F^2 + \Delta R_{Lat}^2 + \Delta R_{Lng}^2 + \Delta R_G^2 + \Delta R_C^2} \quad (2)$$

여기서  $\Delta R_{SSD}$ 는 SSD의 변화,  $\Delta R_F$ 는 조사면의 변화,  $\Delta R_{Lat}$ 과  $\Delta R_{Lng}$ 은 빔축과 검출기 축과의 측방향 및 종방향 거리, 마지막으로  $\Delta R_G$ 과  $\Delta R_C$ 은 겐트리 및 콜리메이터의 변화에 대한 측정값의 변화를 의미한다. 본 연구에서는 대상 변수  $x$ 에 대하여 실용적 측면에서 다음과 같이 계산하였다.

$$\Delta R_x = \frac{|R_{x-\Delta x} - R_{x+\Delta x}|}{2R_x} \quad (3)$$

여기서  $\Delta x$ 는  $x$ 의 작은 변화를 의미한다.  $\Delta R_x$ 의 물리적 의미는 변수  $x$ 의 작은 증감에 따른 평균치에 대한 상대적 비율과 같다. 다음의 결과에서는 앞서 설명한 인자들의 측정결과와 최종 오차의 평가결과 그리고 임상적 응용을 위한 예로서 허용 범위의 설정 및 이를 적용한 60여 일간의 측정사례를 제시하였다.

## 결 과

### 1. 선량특성

Fig. 3은 각 대상 선원에 대하여 50 MU를 8회 측정된 결과를 평균값으로 나누어 나타낸 그래프이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 대부분의 선원에 대하여 재현성이 우수함을 알 수 있다. 이 자료에서 상대표준편차(100×표준편차/평균)를 구한 결과 9 MeV에서 약  $\pm 0.18\%$ 를 보인 것을 제외하고는 대부분  $\pm 0.1\%$ 를 보였다. 특히 6 MV와 16 MeV의

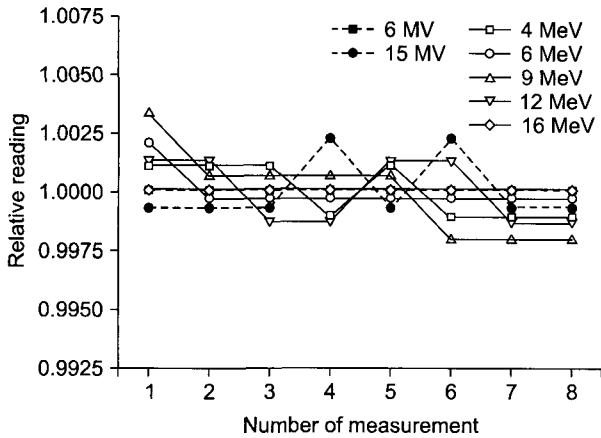


Fig. 3. Relative reading as a function of number of measurement.

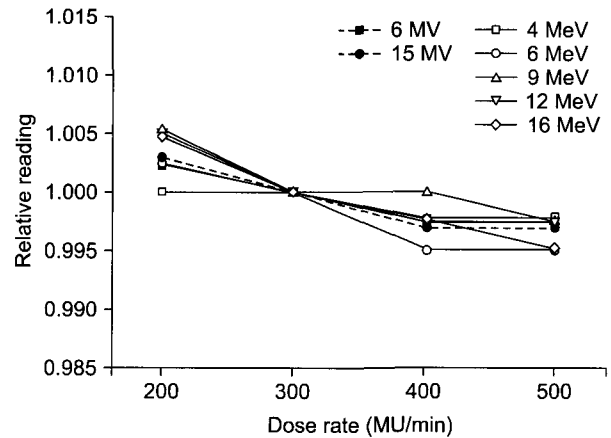


Fig. 5. Relative reading as a function of dose rate.

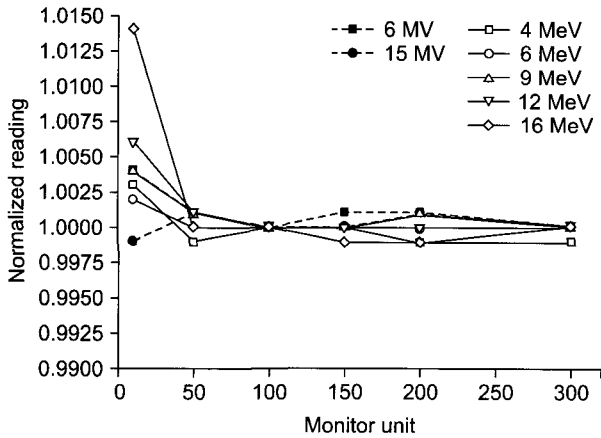


Fig. 4. Relative reading as a function of number of monitor unit.

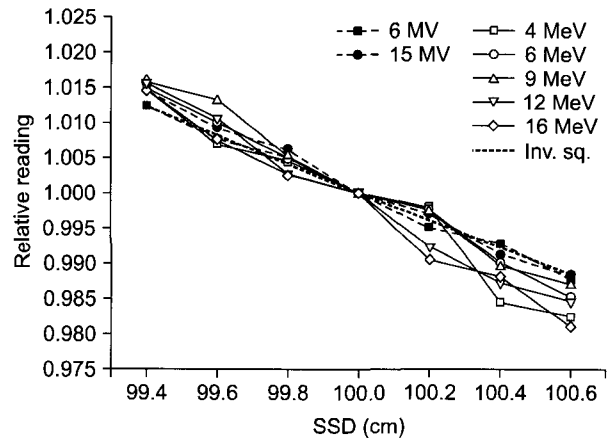


Fig. 6. Relative reading around the reference SSD of 100 cm, where Inv. sq. denotes inverse square factor normalized for SSD=100 cm.

경우에는 8회 모두 동일한 결과를 보였다.

Fig. 4는 10 MU에서 300 MU까지 측정값의 선형성을 조사한 결과이다. 이 때 선량률은 모든 선원에 대하여 300 MU/min을 적용하였다. 이 그래프의 세로축은 (1)식을 적용한 결과로서 각 MU에 대한 측정 결과를 100 MU에 대하여 일반화 한 것이다. 이 그림에 나타난 바와 같이 대부분의 선원에 대하여 선형성은 양호함을 알 수 있었다. 가장 차이를 보인 경우는 10 MU에 대한 값인데, 16 MeV에서 약 +1.4%를 보인 것을 제외하고는 모두 0.6% 이내를 나타냈다. 다른 MU에서는 300 MU까지 0.1%~0.2%의 이내의 차이를 보였다. 이는 16 MeV 모드에서 10 MU가 조사되는 약 2초 동안 가속기 출력이 완전히 안정화되지 않았기 때문으로 보인다.

Fig. 5는 200~500 MU/min의 범위에서 선량률 의존성을 조사한 결과이다. 이 결과는 300 MU/min에서의 측정값에 대하여 일반화한 것이다. 그림에서와 같이 선량률이 낮아질수록 최대 0.5% 범위에서 반응의 증가를 보였으며 선량률이 증가할수록 최대 0.5% 범위에서 대체로 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 선형가속기의 일반적 spec.인  $\pm 1\%$  이내에 해당되며 잠정적으로 측정범위에서 선량률 의존성은 거의 없을 것으로 예상된다. 특히 출력 점검은 사전에 정한 동일한 선량률에서 시행되므로 빔 조사도중 가속기의 전기적 특성에 따른 선량률의 작은 변동(약  $\pm 5\%$ )에 대한 검출기의 반응의 변화는 무시할 수 있을 것으로 생각한다.

## 2. 셋업오차

Fig. 6은 SSD의 작은 변화에 따른 검출기 반응을 나타낸 그래프이다. 이 그림에서 참고로 나타낸 Inv. Sq는 SSD=100 cm에 대하여 일반화한 거리역제곱 인자(Inverse square factor)를 의미한다. 이 그림에 나타난 바와 같이 각 선원에 대한 검출기의 반응은 근사적으로 거리역제곱 인자를 따르면서 거리에 따라 감소하였다. 이 결과를 (3)식을 이용하여 분석한 결과 SSD=100 cm에서 거리 ±0.2 cm의 오차는 6, 15 MV 광자선의 경우에 ±0.5%, 전자선의 경우에 4, 6, 9, 12, 16 MeV에서 각각 ±0.3%, ±0.4%, ±0.4%, ±0.5%, ±0.6%의 변화를 보이는 것으로 나타났다. 또한 이 결과는 SSD 오차 ±0.6 cm까지 근사적으로 비례하여 증가하였다.

Fig. 7은 조사면의 작은 변화에 따른 검출기의 반응을 나타낸 것이다. 이 결과를 (3)식으로 분석한 결과 기준 조사면(10×10 cm<sup>2</sup>)에서 조사면 크기 ±0.2 cm 오차는 6 MV의 경우 ±0.24%, 15 MV의 경우 ±0.3%의 측정 오차를 유발하는 것으로 나타났다. 이 오차는 조사면 오차 ±0.6 cm까지

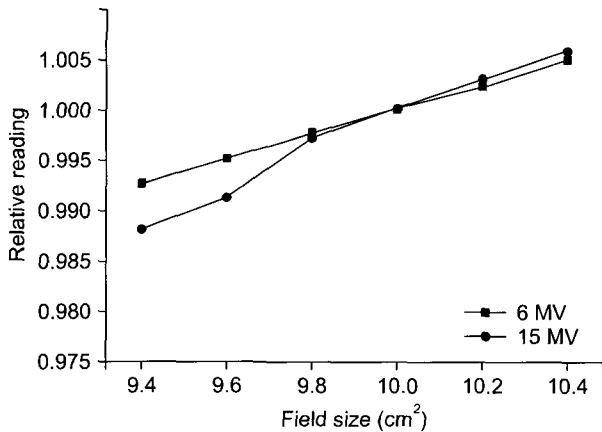


Fig. 7. Relative reading around the reference field size of 10×10 cm<sup>2</sup>.

근사적으로 비례하여 증가하였다.

본 연구에서는 이러한 방법으로 겐트리와 콜리메이터 각도의 변화 그리고 빔축과 검출기 중심과의 거리 변화에 따른 검출기 반응을 조사하였다. 측정은 광자선 6 MV와 전자선 9 MeV에 대하여 수행되었는데, 겐트리와 콜리메이터의 경우 ±5도까지 1도 간격으로 측정된 결과 측정값의 변화가 없었다. 또한 검출기를 기준점에서 좌측 또는 우측으로 0.4 cm까지 0.2 cm 간격으로 이동시켜 측정된 결과 측정값의 변화를 발견하지 못하였다. 물론 이 부분은 6 MV와 9 MeV 이외 다른 선질에 대해서도 조사해야 타당하지만 아마 유사한 결과를 얻을 것으로 생각하여 생략하였다. 즉, (2)식의 인자들 중  $\Delta R_{Lat}$ ,  $\Delta R_{Lmg}$ ,  $\Delta R_G$ ,  $\Delta R_C$ 은 모두 0에 가까울 것으로 분석된다.

## 3. 오차범위

위와 같은 실험을 토대로 일일 출력 측정시 검출기 특성 및 기하학적 오차로 인한 측정값의 오차범위를 근사적으로 추정할 수 있다. 우선 대부분의 출력 측정시 총 MU와 선량률을 동일하게 고정하기 때문에 검출기 자체의 특성은 재현성에 대한 오차( $\Delta R_{Rep}$ )만이 존재할 것이다. 그리고 앞서 실험적으로 확인된 바와 같이 셋업오차는 대부분 SSD와 조사면 크기의 오차가 지배적일 것이다. 따라서 (2)식은  $\Delta R_S \approx \sqrt{\Delta R_{SSD}^2 + \Delta R_F^2}$  로 주어지며, 출력 측정에서 발생 가능한 오차(Potential errors)를 통계적 관점에서 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta R_P \approx \sqrt{\Delta R_{Rep}^2 + \Delta R_S^2} \quad (4)$$

본 연구의 대상 선원에 대하여  $\Delta R_P$ 을 평가한 결과를 Table 1에 나타냈다.

이 Table에서 SSD와 Field의 평가의 경우에 0.2 cm와 0.4 cm 오차에 대한 결과를 함께 나타냈다. 이 Table에서 알 수 있듯이 SSD의 오차가  $\Delta R_P$ 에 큰 기여를 하고 있음을 알

Table 1. Estimated potential errors for photons and electrons in daily output measurement with LinaCheck.

	6 MV	15 MV	4 MeV	6 MeV	9 MeV	12 MeV	16 MeV
Reproduce (%)	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0
SSD (±0.2/0.4 cm) (%)	0.5/0.7	0.5/0.9	0.3/1.1	0.4/1.0	0.4/1.2	0.5/1.2	0.6/1.0
Field (±0.2/0.4 cm) (%)	0.2/0.5	0.3/0.7	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0
$\Delta R_P$ (%)	0.6/0.9	0.6/1.2	0.4/1.1	0.4/1.0	0.4/1.2	0.5/1.2	0.6/1.0

수 있다. 그렇지만 일반적인 기계적 오차인 약 0.2 cm 범위에서 발생 가능한 오차는 대부분의 선원에 대해 약 ±0.6% 또는 그 이내로서 그다지 크지 않은 것으로 평가된다.

4. 측정값의 허용 범위

앞의 결과에서 출력 측정 시 발생 가능한 측정값의 오차 범위를 결정하였다. 이 검출기를 일일 출력 측정에 응용하기 위해서 마지막으로 고려해야 할 인자는 출력 변동의 허용치(Tolerance)이다. 이는 선형가속기 출력 상태의 일차적 근거로서 각 기관별로 정하는 것이 필요하다. 즉, 출력이 허용치를 초과하는 경우에 물팬텀과 파머형 전리함 등을 이용한 출력의 정밀한 평가가 수행될 수 있으며 경우에 따라 환자 치료를 중단할 수도 있다.

허용치가 정해진 경우에 측정값의 허용 범위(당일 출력으로 허용되는 최대값 및 최소값; Permissible range)는 출력의 허용치(ΔRT)와 발생 가능한 측정오차의 통계적 합(ΔRP)을 이용하여 결정할 수 있다. 즉,

$$R_{min} = R_{ref} - R_{ref} \times \sqrt{\Delta R_T^2 + \Delta R_P^2} / 100$$

$$R_{max} = R_{ref} + R_{ref} \times \sqrt{\Delta R_T^2 + \Delta R_P^2} / 100 \quad (5)$$

일일 측정의 경우에 범의 조사 후 나타난 값을 일반화하지 않고 측정된 값을 바로 평가하는 것이 실용적이다. 따라서 측정기 사용자는 사전에 물팬텀에 의한 측정값에 대한 상대적 수치(또는 교정계수)를 이용하여 선원별로 반응의 기준값을 정해야 하며, 이를 바탕으로 측정값의 허용 범위를 정해야 한다. Table 2는 허용치를 ±2%로 정한 경우에

Table 2. An example of the response data for clinical use. The reference values were determined by absolute dose measurement and permissible ranges were determined by applying ±2% of output tolerance and potential errors (see text).

	R <sub>ref</sub> (Response per 100 MU)	Permissible range	
		R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>
6 MV	0.820	0.803	0.837
15 MV	0.671	0.657	0.685
4 MeV	0.912	0.893	0.931
6 MeV	0.816	0.800	0.833
9 MeV	0.764	0.749	0.780
12 MeV	0.785	0.769	0.801
16 MeV	0.837	0.820	0.854

대한 측정값의 허용 범위를 계산한 예이다. 이 계산에서 ΔRP은 Table 1에서 SSD와 조사면 오차가 각 0.2 cm인 경우의 값이 적용되었다. Table 2에서 R<sub>ref</sub>는 물팬텀을 사용한 절대측정으로부터 얻어진 100 MU에 대한 기준 측정값이다.

Fig. 8은 LinaCheck를 사용하여 총 63일에 걸쳐서 측정된 사례를 보여준다. 이 그림에서 직선은 기준값을 의미하며 점선은 측정값의 허용 범위로서 Table 2에 제시된 값을 적용한 사례이다. 이 그림에서 9 MeV 전자선의 경우에 허용 범위를 초과하는 경우가 2회 발생했음을 알 수 있는데, 그 후 출력이 즉시 정상화된 것을 볼 수 있다. 이는 출력의 초과가 발견된 후 물팬텀과 전리함을 사용하여 절대선량으로 출력을 평가한 후 장비의 출력을 바로 교정했기 때문이다.

결 론

본 연구에서는 선형가속기 출력 검출기로 상용화된 PTW-LinaCheck의 선량에 대한 반응 특성과 임상적 적용에 대하여 고찰하였다. 검출기의 재현성은 약 ±0.1% 이내, 선형성은 약 ±0.2% 이내로서 대체로 양호한 특성을 보였다. 선량을 의존성은 정확하게 평가되지 않았지만 출력 측정의 경우에 무시해도 좋을 것으로 예상된다. 따라서 검출기의 선량에 대한 반응 특성은 방사선치료 영역에서 양호하다고 결론지을 수 있다.

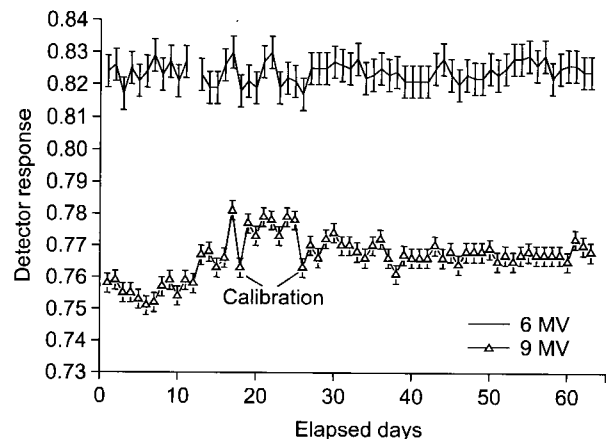


Fig. 8. An example of the use of LinaCheck as a daily output dosimeter. The solid and dashed lines denote reference values for 100 MU and permissible range of the daily output for given radiation qualities. Error bars denote potential errors. Two calibrations for 9 MeV were performed by water phantom in this example.

검출기 셋업 시 기하학적 오차에 의한 측정값의 영향을 조사한 결과 SSD 및 조사면의 변화에 따른 오차가 비교적 높은 것으로 나타났다. 특히 SSD의 변화에 의한 오차가 보다 중요함을 알 수 있었다. 일일 측정의 특수성을 고려하여 평가된 발생 가능한 측정값의 오차는  $\pm 0.6\%$  이내로 나타났다.

검출기의 임상적 활용을 위하여 출력의 허용치를 설정하고 앞서 평가된 발생 가능한 오차를 허용 범위에 포함하여 통계적 합을 취하는 방법으로 출력 측정값의 허용 범위를 정하였다. 그리고 약 60여일 동안 시행된 출력측정의 사례를 통하여 출력이 허용 범위를 초과하는 경우를 신속하게 발견할 수 있음을 알 수 있었다.

결론적으로 PTW-LinaCheck 검출기는 일일 출력 측정에 적합하며 이를 통하여 선형가속기 품질관리의 질적 향상을 기대할 수 있다고 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. ICRU: Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures, ICRU Report-24, ICRU, Bethesda (1976)
2. TRS-398: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed dose to Water. Technical Report Series No. 398. IAEA Vienna (2000)
3. 과학기술부: 의료분야의 방사선 안전관리에 관한 기술기준, 과학기술부고시 제2001-18호 (2001)
4. 식품의약품안전청: 치료방사선선량보증에관한규정제정, 식품의약품안전청고시 제2004-2호 (2004)
5. AAPM TG-24: Physical Aspects of Quality Assurance in Radiation Therapy, AAPM Report No. 13 (1984)
6. AAPM TG-40: Comprehensive QA for Radiation Oncology, AAPM Report-46 (1994)
7. PTW: User Manual LINACHECK ver 1.1, PTW-FREIBURG, Germany (2004)

## Study on the Dose Characteristics of the PTW-LinaCheck Dosimeter and Its Application to Daily Output Measurement

Dong Hyeok Jeong\*, Kang Kyoo Lee\*<sup>†</sup>, Un Chul Moon\*, Hyun Jin Kim\*, Young Seok Kim\*, Sun Rock Moon\*<sup>†</sup>

\*Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Wonkwang University Hospital,

<sup>†</sup>Institute of Wonkwang Medical Science, Iksan, Korea

In this study, we have investigated the dose characteristics of PTW-LinaCheck designed to detect output of medical LINAC and discussed clinical use of the detector. The reproducibility, linearity, and dose rate dependency of the dosimeter were measured for photons of 6 and 15 MV and the electrons of 4, 6, 9, 12, and 16 MeV. To know the error ranges of the measured data in daily output measurement, the response variations due to geometrical setup errors were measured. As a result of measurement, the error range from the geometrical setup and the reproducibility was less than  $\pm 0.6\%$  for given beam qualities in daily output measurement, where the errors from the linearity and the dose rate dependency were negligible. Finally, we concluded that the LinaCheck dosimeter has a good characteristics in terms of dose and setup convenience in daily output measurement. In addition we have shown an examples of clinical use of this dosimeter for measuring daily output more than 60 days.

**Key Words:** LinaCheck, Daily output, Setup error