

## 엑스선의 조사시간에 따른 형광유리선량계의 빌드업 특성

권대철

신한대학교 보건과학대학 방사선학과

### Buildup Characteristics of Radiophotoluminescent Glass Dosimeters with Exposure Time of X-ray

Dae Cheol Kweon

Department of Radiological Science, College of Health Science, Shinhan University, Uijeongbu 11644, Republic of Korea  
(Manuscript received 17 August 2017 ; revised 28 September 2017 ; accepted 23 October 2017)

**Abstract:** By using the buildup characteristics of the radiophotoluminescence glass dosimeter(RPLGD), it is aimed to help the measurement of the accurate dose by measuring the radiation dose according to the time of the glass element. Five glass elements were arranged on the table and the source to image receptor distance(SID) was set to 100 cm for the build-up radiation dose measurement of the fluorescent glass dosimeter glass element(GD-352M). Radiation doses and saturation rates were measured over time according to irradiation time, with the tube voltage (30, 60, 90 kVp) and tube current (50, 100 mAs) Repeatability test was repeated ten times to measure the coefficient of variation. The radiation dose increased from 0.182 mGy to 12.902 mGy and the saturation rate increased from 58.3% with increasing exposure condition and time. The coefficient of variation of the glass elements of the fluorescent glass dosimeter was ranged from 0.2 to 0.77 according to the X - ray exposure conditions. X - ray exposure showed that the radiation dose and saturation rate were increased with buildup characteristics, and degeneration of glass elements was not observed. The reproducibility of the variation coefficient of the radiation generator was included within the error range and the reproducibility of the radiation dose was excellent.

**Key words:** Buildup, Radiation dose, Radiophotoluminescence glass dosimeter, X-ray

#### 1. 서 론

형광유리선량계(radiophotoluminescence glass dosimeter, RPLGD)의 방사선 선량의 측정원리는 방사선이 조사된 유리소자를 자외선(UV)으로 자극할 때 오렌지색 형광을 발하는 현상으로 측정한다. RPLGD는 1960년대 후반에 개발되었고[1,2], 1990년대에 일본 Asahi Techno Glass Corporation(ATGC)과 독일 Karlsruhe Nuclear Research Center(KNRC)에서 새로운 판독 시스템을 개발하였다. 자

외선 레이저의 RPLGD시스템은 환경적 및 개인적으로 사용되어왔다. 형광유리선량계는 1953년 미국에서 사고용으로 처음 사용되었고, 측정은 10~1000R 범위이다. 최근에 유리소자의 세정작업이 필요 없고, 질소 가스 레이저에 의한 자외선 출력의 안정화 및 조사 전의 선량(pre-dose) 성능개량 등으로 보다 고정밀도의 방사선 측정이 가능하게 되었다. 개량된 형광유리선량계는 그 동안 사용된 열형광선량계(thermoluminescence dosimeter, TLD)를 대신하여 방사선측정 현장에서 사용되기 시작하였다. 다른 선량시스템의 대안으로 모니터링의 열형광선량계 또는 필름 선량시스템으로 연구되었다[3,4]. 개발된 형광유리선량계에서 사용되는 유리소자는 은이온을 함유한 은활성인산염유리(silver activated phosphate glass)이다. 방사선을 유리소자에 조사하면, 전리작용에 의해 전자와 정공(hole)이 생성되고, 전자는 유리소자 구조 안에 있는  $Ag^+$ 에 포획되어  $Ag^0$ 가 된다.

Corresponding Author : Dae Cheol Kweon, Ph.D.  
Department of Radiological Science, Shinhan University, 95, Hoam-ro, Uijeongbu-shi, Gyeonggi-do 11644, Republic of Korea  
TEL: 82-31-870-3416 / FAX: 82-31-870-3419  
E-mail: dckweon@shinhan.ac.kr

이 연구는 2017년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

그리고 정공은 PO<sub>4</sub> 사면에 포획되나 시간이 경과함에 따라 Ag<sup>+</sup>로 이행되어 보다 안정적인 Ag<sup>+</sup>를 형성한다. 이들 Ag<sup>0</sup> 및 Ag<sup>++</sup>는 모두 glass내에서 RPL(radiophotoluminescence)의 중심이 된다. 그리고 RPL중심을 약 320 nm 펄스 자외선으로 자극하면 RPL이 발생된다. 형광유리선량계는 RPL을 형광유리선량계의 판독기 장치내의 광전자증배관(photomultiplier tube)으로 증폭시켜 측정하는 구조로 이루어져 있다. 판독에서 생기는 형광유리선량계 유리소자의 형광중심은 자외선에 의한 조사로 없어지는 것이 아니고 퇴행(fading) 현상은 낮으며, 방사선 선량을 반복적으로 측정할 수 있다. 이는 좋은 이점으로 기존 선량계와 크게 다른 특징으로 열형광선량계를 대체하여 방사선측정에 이용하고 있다.

본 연구에서는 국내에서 형광유리선량계의 기본특성을 이용하여 선량 측정에 중요한 요소인 유리소자의 시간에 따른 저에너지 엑스선 선량의 빌드업 효과의 특성을 평가함으로써 정확한 형광유리선량계 측정 및 활용에 도움이 되고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. X-ray Exposure

엑스선 노출시간에 따른 형광유리선량계의 빌드업 특성을 알아보기 위하여 테이블 위에 형광유리선량계 소자 5개를 배열하고 SID(source to image receptor distance) 100 cm이고 관전압 30, 60, 90 kVp, 관전류 50, 100 mAs로 설정하였다(그림 1). 엑스선의 조사야는 형광유리선량계 5개를 포함하도록 20 × 20 cm로 조절하여 동시에 조사하였다(그림 2). 선량별 특성을 알아보기 위하여 홀더에 담긴 또 다른 임의의 소자 5개에 엑스선 노출 조건을 바꾸고 같은

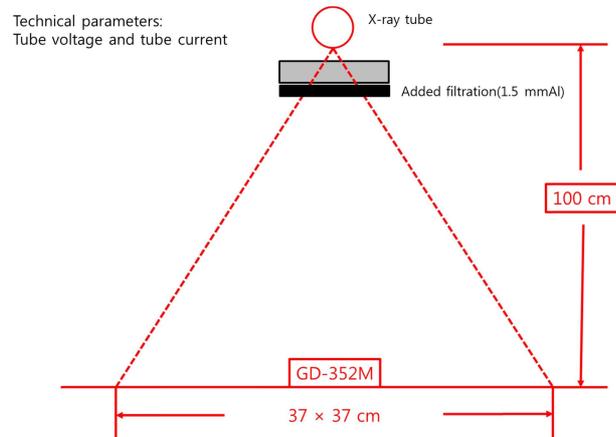


그림 1. 형광유리선량계의 방사선 선량 측정 개요.  
Fig. 1. Schematic illustration for measuring physical properties of the RPL glass dosimetry.

환경에서 엑스선을 조사하였다. 결과를 산출하기 위하여 홀더에 담긴 유리소자를 판독매거진에 담고 이 판독매거진을 판독기에 장전하여 선량값을 측정하였다.

엑스선 노출 시간에 따른 빌드업 특성효과를 알아보기 위해 엑스선 조사 직후, 30 minute, 1, 2, 3, 4, 8, 16, 24, 48, 168 hour (1 weeks) 시간 간격으로 위의 관전압 및 관전류를 시간마다 엑스선을 조사하여 평균값 및 변동계수를 산출 하였다. 산출된 평균값 선량을 바탕으로 시간 간격에



그림 2. 형광유리선량계를 이용한 엑스선 선량 측정.  
Fig. 2. X-ray dose measurement of radiophotoluminescent glass dosimeters.

표 1. 형광유리선량계 시스템의 평가 요소.  
Table 1. Evaluation parameters of the RPL dosimeter system [5].

Code	GD-352M
Material	Silver activated phosphate glass
Origin	Japan
Size(mm)	Φ1.5 × 12
Preirradiation annealing	
Temperature(°C)	400
Time(min)	20
Pre-heating	
Temperature(°C)	70
Time(min)	30
Readout	UV excitation
Reader	Dose Ace FGD-1000

따른 빌드업 특성과 선량 측정값을 비교 평가하였다. 엑스선 발생장치는 AccuRay-650R(DK Medical Systems, Seoul, Korea)로 고주파 인버터 형식의 3상 엑스선 발생장치이며, 초점 크기 0.6 mm, 양극 재질은 텅스텐, 고유여과는 0.9 mmAl, 부과여과는 1.5 mmAl로 구성되어있다.

2. RPL Dosimeter system

형광유리선량계는 활성화된 인산 유리, 홀더, 캡슐(에너지 보상 필터) 및 판독 시스템으로 구성되어있다. 엑스선 및 감마선의 선량을 측정 할 수 있으며 제원은 표 1과 같다[5]. 선량의 판독은 전자동 판독 시스템 FGD-1000(Asahi Techno

Glass Co., Ltd. Shizuoka, Japan)를 이용하였다. 유리소자는 지름이 1.5 mm이고, 길이가 12 mm이며 플라스틱으로 이루어져 있고, 양면에 주석 성분의 에너지 보상 필터가 있다(표 1). 형광유리선량계는 균일성과 재현성 및 직선성이 우수하고 저선량에서 고선량 측정이 가능한 장점을 가지고 있다(표 2). 유리 구성 물질은 Na (11.0%), P (31.55%), O (51.16%), Al (6.12%) 및 Ag (0.17%)를 포함한다. 유효원자번호는 12.039 이다[6].

형광유리선량계 GD-352M(Asahi Techno Glass Co., Ltd. Shizuoka, Japan)의 필터는 0.75 mm의 주석을 이용하여 제작되어있다(그림 3). 또한 소자의 재료는 플라스틱으로 1.5 mm × 12 mm 크기로 이루어져 있다(그림 4).

엑스선의 조사시간에 따른 선량을 측정하기 위한 형광유리선량계의 선량측정은 그림 5와 같은 순서로 측정하였다. 열처리(annealing) 전기로 NEW-1C(Hayashi Denko Co., Ltd, Tokyo, Japan)는 형광유리선량계 소자의 누적선량을 reset하기 위한 기기로 방사선에 노출된 유리소자를 홀더에서 유리소자를 꺼낸 후 열처리용 매거진(FGD-C101)은 장전하여 전기로에 넣어 400°C에서 열처리를 하였다. 유리소자를 판독매거진에 담아 판독기에서 조사 전의 자연방사선량(background)의 조사전의 선량(pred-dose)을 판독하였다. 유리소자를 홀더에 넣고 엑스선발생장치를 이용하여 엑스선을 조사하였다.

조사된 형광유리선량계 소자를 판독기로 판독하기에 전에 형광유리선량계 소자의 형광성분을 안정시키기 위한 예비가열(pre-heating)로 DKN302(Yamato Scientific Co., Ltd, Tokyo, Japan)에 유리소자를 홀더에 있는 채로 전처리 트레이에 담아 전처리용 항온기에서 70°C로 약 30분간 처리하였다. 유리소자를 실온수준으로 냉각시킨 후 홀더에서 꺼

표 2. 형광유리선량계 시스템의 특성.

Table 2. Dosimetric characteristic of the RPL dosimeter system [5].

Characteristic	RPL results	Conditions
Uniformity(%)	1.0-1.7	
Reproducibility(%)	0.4	
Linearity(%)	0.6-4.8	Dose range: 0.1-500 mGy
Detection threshold (mGy)	5.89	50 unirradiated dosimeter

258



그림 3. GD-352M의 14.5 mm 길이와 보상필터와 유리소자.  
Fig. 3. Image of GD-352M which had low energy compensation filter was 14.5 mm in length and 4.3 mm in diameter. Tin was used as a filter material and a gap (1.5 mm in length) was made at the reading position.



그림 4. 형광유리선량계의 플라스틱 캡슐과 주석 필터.  
Fig. 4. RPL dosimeters made of phosphate glass with a plastic capsule and tin filter.

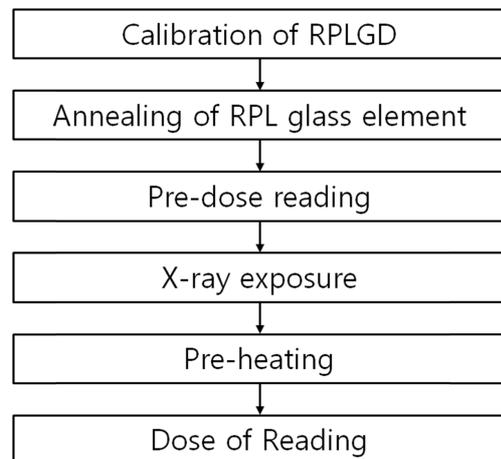


그림 5. 형광유리선량계의 엑스선 선량 측정.  
Fig. 5. RPLD for measuring radiation dose in X-ray exposure.

내어 판독매거진에 장전하여 판독기로 선량을 판독하였다.

판독의 교정은 표준조사소자를 써서 미리 값이 매겨져 있는 내부의 calibration 소자에 의해 자동적으로 실행하였다. 형광유리선량계 소자의 ID 번호 표시가 소자 하단부위에 표시되어 있으며 지름 2.8 mm, 길이 13.0 mm 규격의 홀더에 보관한다. 소자의 형상(지름 1.5 mm, 길이 12.0 mm)과 측정선량의 범위(~10 Gy)를 가지고 있다.

판독의 원리는 유리소자를 매거진에 담아 장전하고 판독을 시작하게 되면 레이저가 유리소자에 조사되고 형광이 발생되게 된다. 이 때 광전자증배관을 이용하여 광증배 시켜 증배된 값을 측정하게 된다. 측정된 값은 controller에 의해 개별 계산되며 또한 소자 당 여러 번 측정이 가능하여 더욱 정확한 평균값을 얻어낼 수 있다. 초기 값을 판독한 유리소자를 다시 홀더에 담아 조사를 실행하였다.

### 3. Buildup and Fading

형광유리선량계의 퇴행은 129일 에서 약 1.9% 및 150일에서는 1.7%[7] 또한 다른 연구에서는 30일 내에 1% 이하로 보고되고 있다[8]. 형광유리선량계의 RPL(radiophotoluminescence) 빌드업 속도는 조사 후 24 시간 이내에 가장 빠르게 나타나고, 조사 후 10 일째에 RPL 신호의 축적은 90%로 포화 될 수 있다. 이러한 열저리는 빌드업 효과에 의한 퇴행 현상은 제거하여 정확한 값을 출력하고 있다[8].

엑스선 노출 후 RPL 응답은 초기에 증가하고, 이것은 몇 시간 후에 포화된다. 조사 후 빌드업 효과가 안정한 평형을 이룰 수 있도록, 판독 전에 70°C에서 30분 동안 예비가열(pre-heating) 처리 하므로 조사 과정에서 RPL 중심에 정확하게 들어 가지 않는 전자는 충분한 에너지를 얻을 수 있다[9,10]. 엑스선 조건과 시간에 따른 재현성 지표인 변동계수(coefficient of variation)를 측정하였다.

### 4. Statistical Analysis

엑스선의 관전압 및 관전류를 시간에 따른 선량의 평균값으로 Microsoft Excel 2010 프로그램(MS Excel; Microsoft, Redmond, MA, USA)을 이용하여 그래프를 그리고 추세선에 따른 회귀방정식을 이용하였다. 로그 방정식  $y = a \ln x + b$ 으로 추세선을 표시한다. 이러한 로그 추세선은 방사선 선량의 변동률이 급격하게 증감한 후 일정한 값을 유지하는 경우에 적합한 곡선이다. 엑스선의 시간에 따른 방사선 선량의 선형관계를 Q-Q Plot 그래프로 비교하였다.

## III. 결 과

형광유리선량계의 유리소자에 엑스선을 이용하여 관전압 및 관전류의 조사시간에 따른 방사선 선량의 빌드업 특성에

관한 결과를 얻었다. 엑스선 조사에서 관전압, 관전류의 설정 조건에서 방사선 선량을 10회 반복하여 재현성을 시험하였으며, 이러한 재현성 시험은 표준편차를 평균으로 나누는 것으로 변동율을 나타내는 변동계수를 계산하였다. 변동폭은  $\pm 5\%$  이내 이다. 측정에 사용된 방사선 발생장치는 오차범위 내에 모두 포함되어 방사선 발생장치의 조사선량의 재현성은 우수하였다.

형광유리선량계의 유리소자의 자연방사선량을 측정하고 시간간격에 조사된 소자를 10번 판독한 최대값, 최소값, 평균값을 구하였다. 이를 기본으로 시간 및 선량별로 비교한 결과를 나타내었다. 엑스선의 노출조건에 따라 선량이 시간에 따라 증가하였고, 포화율 또한 증가하였다. 엑스선 조사 조건이 30 kVp, 50 mAs에서는 0.182 mGy 이었고, 168 시간 후에는 0.312 mGy로 증가하였고, 포화율은 58.3%에서 시작하여 증가되며 포화되었다(그림 6a). 또한 30 kVp, 100 mAs에서 0.331 mGy에서 168 시간 후에는 0.572 mGy로 증가하였고, 포화율도 58%에서 증가하여 포화되었다(그림 6b). 엑스선의 조사조건이 60 kVp, 50 mAs에서 0.509 mGy에서 168 시간 후에는 1.12 mGy로 증가하였고, 포화율도 45.4%에서 증가하여 포화되었다(그림 7a). 또한 60 kVp, 100 mAs의 조사에서 0.768 mGy에서 168 시간 후에는 2.13 mGy로 증가하였고, 포화율도 36%에서 증가하여 포화되었다(그림 7b). 엑스선의 조사가 90 kVp, 50 mAs에서 3.992 mGy에서 168 시간 후에는 6.713 mGy로

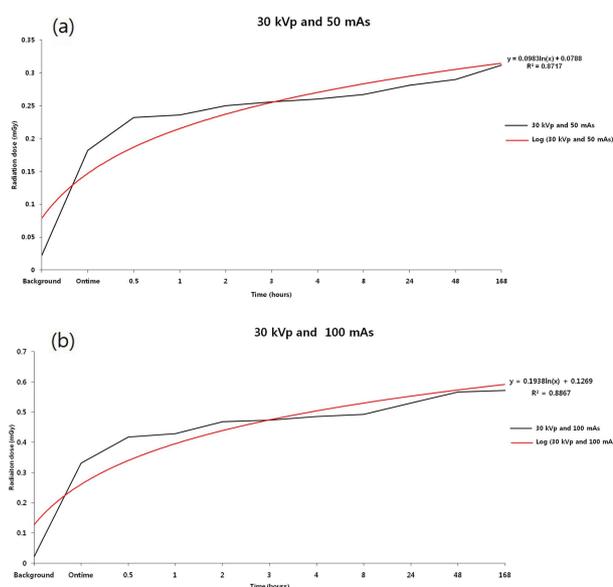


그림 6. 엑스선 30 kVp와 50 mAs, 100 mAs와 노출시간에 따른 빌드업 특성과 회귀분석.

Fig. 6. Buildup characteristics of log regression analysis of time and radiation dose log counts from X-ray exposure of 30 kVp and 50 (a) 100 mAs (b).

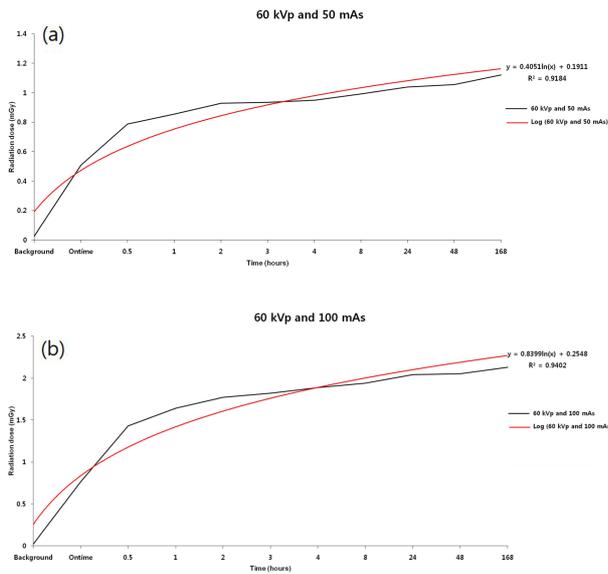


그림 7. 엑스선 60 kVp와 50 mAs, 100 mAs와 노출시간에 따른 빌드업 특성과 회귀분석.

Fig. 7. Buildup characteristics of log regression analysis of time and radiation dose log counts from X-ray exposure of 60 kVp and 50 (a) 100 mAs (b).

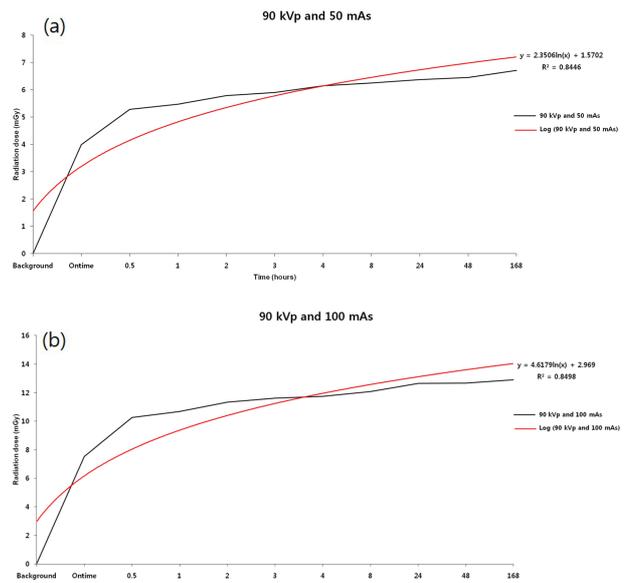


그림 8. 엑스선 90kVp와 50 mAs, 100 mAs와 노출시간에 따른 빌드업 특성과 회귀분석.

Fig. 8. Buildup characteristics of log regression analysis of time and radiation dose log counts from X-ray exposure of 90 kVp and 50 (a) 100 mAs (b).

260

증가하였고, 포화율도 59.4%에서 증가하여 포화되었다(그림 8a). 또한 90 kVp, 100 mAs의 노출에서 7.538 mGy에서 168 시간 후에는 12.902 mGy로 증가하였고, 포화율도 58.4%에서 증가하여 포화되었다(그림 8b). 결과적으로 100 mAs, 50 mAs 두 조건은 포화 값은 선량에 따라 다르게 나타났으나 포화율을 통해 관찰한 결과 동일한 시간대에 같은

비율로 포화 값에 도달하였다(표 3). 엑스선 조건과 시간에 따른 형광유리선량계 GD-352M의 변동계수는 엑스선 노출 조건 30 kVp, 50 mAs에서 0.61, 100 mAs는 0.48로 감소하였다. 60 kVp, 50 mAs에서 0.41, 100 mAs는 0.34로 역시 감소하였고, 90 kVp, 50 mAs에서 0.25, 100 mAs는 0.34로 변동계수를 산출하여 엑스선 조건에 따라 0.2에서

표 3. 엑스선의 관전압 및 관전류의 시간에 따른 방사선선량의 포화율.

Table 3. Tube voltage and tube current according to radiation dose and time of and saturation rate.

unit: mGy

Time (hours)	Tube Voltage(kVp), Tube Current(mAs) and Saturation Rate											
	30 kVp and 50 mAs	Saturati on Rate (%)	30 kVp and 100 mAs	Saturati on Rate (%)	60 kVp and 50 mAs	Saturati on Rate (%)	60 kVp and 100 mAs	Saturati on Rate (%)	90 kVp and 50 mAs	Saturati on Rate (%)	90 kVp and 100 mAs	Saturati on Rate (%)
Back-ground	0.022		0.022		0.025		0.022		0.021		0.021	
On time	0.182	58.3	0.331	58	0.509	45.4	0.768	36	3.992	59.4	7.538	58.4
0.5	0.232	74.1	0.418	73.1	0.787	70.3	1.432	67.2	5.285	78.7	10.264	79.5
1	0.236	75.5	0.429	75	0.855	76.3	1.641	77	5.481	81.6	10.690	82.8
2	0.250	79.9	0.468	81.8	0.929	82.9	1.771	83.1	5.794	86.3	11.332	87.8
3	0.256	81.9	0.473	82.7	0.935	83.4	1.821	85.4	5.899	87.8	11.614	90
4	0.260	83.2	0.485	84.9	0.948	84.6	1.887	88.5	6.154	91.6	11.734	90.9
8	0.267	85.3	0.493	86.1	0.991	88.4	1.941	91.1	6.247	93	12.070	93.5
24	0.281	89.8	0.530	92.6	1.039	92.7	2.040	95.7	6.373	94.9	12.642	97.9
48	0.290	92.8	0.566	99	1.055	94.1	2.051	96.2	6.454	96.1	12.676	98.2
168	0.312	100	0.572	100	1.12	100.0	2.130	100.0	6.713	100	12.902	100

표 4. 관전압과 관전류의 엑스선 조사시간에 따른 변동계수.

Table 4. Coefficient of variation of tube voltage and tube current according to X-ray exposure time.

Time (hours)	Tube Voltage(kVp) and Tube Current(mAs)					
	30 kVp and 50 mAs	30 kVp and 100 mAs	60 kVp and 50 mAs	60 kVp and 100 mAs	90 kVp and 50 mAs	90 kVp and 100 mAs
On time	0.77	0.72	0.39	0.35	0.45	0.48
0.5	0.69	0.44	0.42	0.34	0.21	0.27
1	0.58	0.58	0.45	0.44	0.23	0.40
2	0.58	0.44	0.41	0.32	0.25	0.34
3	0.58	0.49	0.38	0.33	0.23	0.41
4	0.52	0.50	0.35	0.40	0.26	0.33
8	0.57	0.47	0.37	0.35	0.23	0.34
24	0.62	0.36	0.37	0.34	0.20	0.28
48	0.69	0.42	0.49	0.30	0.22	0.30
168	0.57	0.40	0.51	0.31	0.23	0.33
Mean	0.61	0.48	0.41	0.34	0.25	0.34

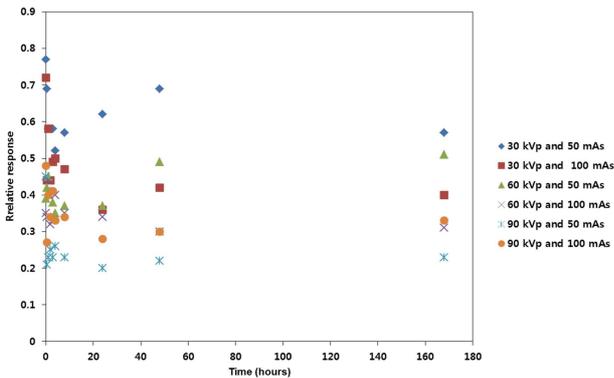


그림 9. 형광유리선량계의 GD-352M의 재현성.  
Fig. 9. The readout of reproducibility of RPLGD GD-352M.

0.77까지 분포하였고(표 4), 그림 9는 변동계수의 결과이다. 관전압 및 관전류의 시간에 따른 회귀분석에서 R<sup>2</sup>는 최저 0.8446에서 최고 0.9402의 분포를 보였다(표 5). 엑스선의 조사에 따른 방사선 선량과 시간은 Q-Q Plot 그래프와 같이 선형관계를 보였다(그림 10).

표 5. 관전압과 관전류에 따른 회귀분석.

Table 5. Regression analysis according to voltage and tube current.

Tube Voltage(kVp)	Tube Current(mAs)	Regression Equation	R <sup>2</sup>
30	50	Y = 0.0983ln(x) + 0.0788	0.8717
	100	Y = 0.1983ln(x) + 0.1269	0.8867
60	50	Y = 0.4051ln(x) + 0.1911	0.9184
	100	Y = 0.8399ln(x) + 0.2548	0.9402
90	50	Y = 2.3506ln(x) + 1.5702	0.8446
	100	Y = 4.6179ln(x) + 2.969	0.8498

#### IV. 고찰

형광유리선량계는 저에너지에서 고에너지의 선량 측정 범위가 넓고 반복적으로 판독과 취급과정이 매우 간단한 장점이 있으며 유리소자의 재현성이 우수하고 퇴행현상이 다른 선량계에 비해 거의 없고 환경의 온도에 영향이 적은 특징이 있다[11].

형광유리선량계 유리소자에 방사선 조사 후에 형성된 RPL은 시간이 지날수록 증가하고 안정되는 현상을 빌드업 특성이라고 한다[12].

본 연구에서는 형광유리선량계를 이용하여 엑스선의 관전압과 관전압 및 조사시간의 증가에 따른 빌드업 현상을 평가하기 위하여 시간에 따른 전열처리 작업과 함께 반복적인 선량을 측정하여 빌드업효과를 측정하였다.

엑스선의 저에너지는 100-250 kV 범위이고, megavoltage (MV)는 고에너지로 정의하고 있다[13]. 연구에서는 엑스선을 투과력이 약한 30 kVp와 60 kVp를 선택하였고, 이보다 높은 90 kVp에서 형광유리선량계의 빌드업 특성을 비교하였다.

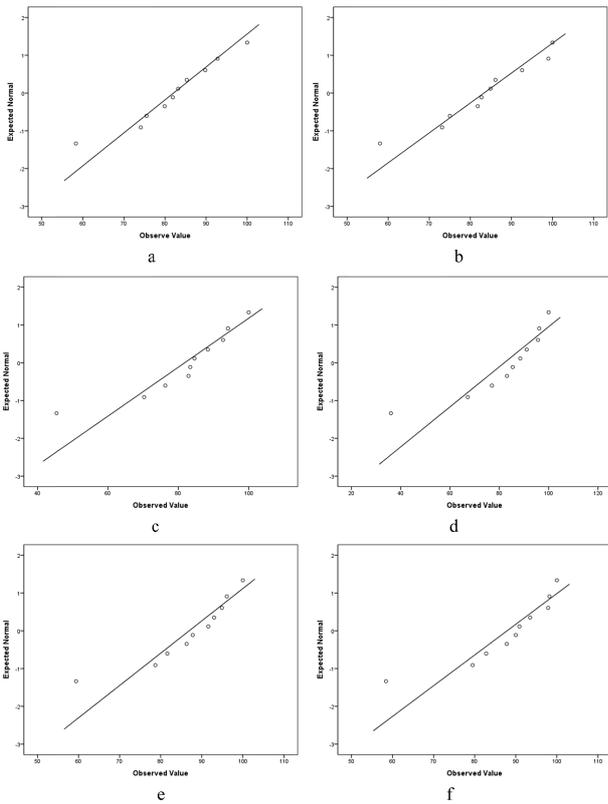


그림 10. 정상의 Q-Q plot, 30 kVp 50 mAs (a), 30 kVp 10mAs (b), 60 kVp 50 mAs (c), 60 kVp 100 mAs (d) and 90 kVp 50 mAs (e) 90 kVp 100 mAs (f).

Fig. 10. Normal Q-Q plot of percentage of 30 kVp 50 mAs (a), 30 kVp 10mAs (b), 60 kVp 50 mAs (c), 60 kVp 100 mAs (d) and 90 kVp 50 mAs (e) 90 kVp 100 mAs (f).

의료영역에서의 피폭의 ALARA에 기여하고 환자의 불필요한 피폭을 절감하며 형광유리선량계의 대중화와 활용도를 높이는데 적극 활용 될 것으로 기대된다. 형광유리선량계 유리소자의 빌드업 특성을 평가하였다. 평가에서 소자의 정량적 선량정보를 정확히 측정하였다. 유리소자의 빌드업은 선량에 따라 포화 값이 다르게 나타난다는 것을 알 수 있었다. 소자의 흡수선량이 높을수록 포화 값이 높게 나타난다는 것과 흡수선량이 일정하게 증가하면 포화 값 또한 일정하게 같은 비율로 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 포화 값은 다르게 나타났고 증가율은 선량에 관계없이 유사하게 나타난다는 것을 알 수 있었고 최초 조사 이후 30분경까지 가장 급격한 선량 증가가 나타났으며 24시간 경에는 포화 값에 근사하게 측정되었다. 포화 값에 도달하여야 유리소자의 정확한 측정이 이루어지는 만큼 빌드업이 7일 만에 포화 값에 도달하였으므로 예열용 항온기 없이 측정을 하기 위해서는 소자가 포화 값까지 도달하기 까지는 7일의 기간이 소요되었다. 퇴행효과는 30일에 약 1% 이하의 연구 결과가 있었고, 또한 빌드업 효과는 7일에 90%이었고, 100

일은 99%를 보고하였다[10]. 본 연구에서는 2일에 90%의 빌드업 효과가 있었다. 형광유리선량계의 퇴행 인자의 정도는 방사선량의 평가 정확도에 영향을 미치고 있다. 기존 연구에서는 한 달 동안의 퇴행 효과 1%로 예열을 하여 적은 수치였고, 측정의 실내 온도는 22°C로 보고하였다[10]. 본 실험에서도 실내온도는 22-23°C로 실내 온도에 조절하였다. 장기간의 실험을 통해 퇴행효과를 일으키지 않음을 확인하였고, 형광유리선량계는 장기 축적 모니터링에 적합하였다. 엑스선의 다양한 관전압 및 관전류의 노출 조건에서 동일한 빌드업 특성을 가졌다(그림 7,8). 형광유리선량계에 엑스선을 조사 후의 RPL의 발광신호의 판독 값은 시간이 지남에 따라 증가했으며, 2 일째부터는 선량의 포화율이 90% 이상으로 증가하였다(표 3). 방사선에너지선량을 특성은 저선량율에서 고선량율까지 직선성이 잘 유지된다고 보고하였고 저에너지 엑스선에서는 0.5-0.8%로 보고하였다[12].

본 연구에서는 저에너지의 엑스선을 노출하여 각 소자의 변동계수는 0.2-0.77%로 변동폭이 넓게 측정되었다(표 4). 방사선이 고선량 일 수록 기준선량보다 높은 값을 보이는 경향이 있으며, 기준 선량을 조사시킬 때 에너지보상필터가 없는 형광유리선량계소자는 변동계수가 작으며, 고선량을 일 수록 안정된다는 것을 추정할 수 있었다. 기존 형광유리선량계의 변동계수와 선량과의 연구에서도 0.6, 6, 20 mGy로 선량이 증가함에 따라 0.63, 0.48, 0.51로 변동계수가 감소하였다[10].

형광유리선량계의 특성을 조사하면서 선량계가 지속적인 기술적 발전을 거듭하고 있으며 환자흡수선량의 측정, 방사선 치료 시 투여선량을 입사출력 면에서 확인, 치료계획 선량의 확인, IMRT의 QA, 진단 X선장치의 QA, 누설선량 등 저선량 측정, 시술자의 손가락피폭선량 측정 등 많은 용도로 의료 및 산업에서 수요는 계속 증가할 것으로 기대되나 고가인 가격과 형광유리선량계에 대한 기술정보의 확대보급의 측면에서 선결되어야 할 과제로 생각된다. 따라서 본 연구는 의료 및 산업에서 방사선 피폭의 ALARA(as low as reasonably achievable)에 기여하고 불필요한 피폭을 절감하며 형광유리선량계의 대중화와 활용도를 높이는데 적극 활용 될 것으로 기대된다.

형광유리선량계 및 측정기기 시스템을 이용한 엑스선을 이용하여 빌드업 특성에 대한 기대효과 및 활용방법으로 엑스선을 반복 측정하여 기존 흡수된 선량은 그대로 유지되어 반복 측정이 가능하여 정확성 및 활용방안을 기대할 수 있다. 빌드업 특성은 엑스선 조사 이후 포화 값은 시간이 지나도 계속 유지됨을 확인할 수 있었으며 이를 통해 유리소자의 잠상퇴행에 대한 내용을 측정할 수 있다. 방사선 선량에 대한 측정 범위를 확인하여 측정상한 범위를 확인할 수 있다.

## V. 결 론

엑스선 조사에 따른 형광유리선량계의 빌드업 특성은 관전압, 관전압 및 조사시간의 증가에 따라 방사선 선량 및 포화율이 증가하였고, 유리소자의 퇴행은 거의 나타나지 않았다. 엑스선 발생장치의 변동계수의 재현성은 오차범위 내에 포함 되었고, 방사선선량의 재현성은 우수하였다. 엑스선 발생장치의 변동계수의 재현성은 오차범위 내에 모두 포함되어 엑스선 발생장치의 방사선선량의 재현성은 우수하였다. 엑스선 노출조건에 따른 방사선 선량의 포화율은 엑스선의 관전압과 관전류 및 조사시간에 따라 다르게 측정되었으며 포화율은 동일한 시간대에 같은 비율로 포화 값에 도달하였다.

## Reference

- [1] Piesch E, Burgkhardt B, Fischer M, Rober HG, Ugi S, "Properties of radiophotoluminescent glass dosimeter systems using pulsed laser UV excitation," *Radiat Prot Dosim*, vol. 17, pp. 293-297, 1986.
- [2] Burgkhardt B, Festag JG, Piesch E, Ugi S, "New aspects of environmental monitoring using flat phosphate glass and thermoluminescence dosimeters," *Radiat Prot Dosim*, vol. 66, no. 1, pp. 187-192, 1996.
- [3] Asahi Techno Glass Corporation. Technical information for RPL glass dosimeter type SC-1. Tokyo, Japan, 2000.
- [4] Piesch E, Burgkhardt B, Vilgis M, "Photoluminescence dosimetry: progress and present state of art," *Radiat Prot Dosim*, vol. 33, no. 1-4, pp. 215-226, 1990.
- [5] Knežević Ž, Beck N, Milković Đ, Miljanić S, Ranogajec-Komor M, "Characterisation of RPL and TL dosimetry systems and comparison in medical dosimetry applications," *Radiat Mes*, vol. 46, pp. 1582-1585, 2011.
- [6] Rah EJ, Hong JY, Kim GY, Kim YL, Shin DO, Suh TS, "A comparison of the dosimetric characteristics of a glass rod dosimeter and a thermoluminescent dosimeter for mailed dosimeter," *Radiat Meas*, vol. 44 no. 1, pp. 18-22, 2009.
- [7] Araki F, Ikegami T, Ishidoya T, Kubo HD, "Measurements of gamma-knife helmet output factors using a radiophotoluminescent glass rod dosimeter and a diode detector," *Med Phys*, vol. 30, no. 8, pp. 1976-1981, 2003.
- [8] Lee JH, Lin MS, Hsu SM, Chen IJ, Chen WL, Wang CF, "Dosimetry characteristics and performance comparisons: Environmental radiophotoluminescent glass dosimeters versus thermoluminescent dosimeters," *Radiat Meas*, vol. 44, pp. 86-91, 2009.
- [9] Asahi Techno Glass Corporation. New RPL glass dosimeter system for large scale personal monitoring. Tokyo, Japan, 2001.
- [10] Hsu SM, Yeh SH, Lin MS, Chen WL, "Comparison on characteristics of radiophotoluminescent glass dosimeters and thermoluminescent dosimeters," *Radiat Prot Dosim*, vol. 119, pp. 327-331, 2006.
- [11] Rah JE, Shin DO, Hong JY, Kim HS, Lim CI, Jeong HG, Suh TS, "Study on dosimetric properties of radiophotoluminescent glass rod detector," *J Korea Asso Radiat Prot*, vol. 31, no. 4, pp. 181-186, 2006.
- [12] Son JH, Kim SH, Mun HH, Kim LK, Son IH, Kim YJ, Min JW, Kim KW, "A study on characteristic of glass dosimeter according to graded change of tube current," *J Radiol Sci Technol*, vol. 37, no. 2, pp. 135-141, 2014.
- [13] Lim SN, Pradhan AK, Barth RF, Nahar SN, Nakkula RJ, Yang W, Palmer AM, Turro C, Weldon M, Bell EH, Mo X, "Tumoricidal activity of low-energy 160-kV versus 6-MV X-rays against platinum-sensitized F98 glioma cells," *J Radiat Res*, vol. 56, no. 1, pp. 77-89, 2015.