

## Measurement of ECF for CaSO<sub>4</sub>: Dy Thermoluminescent Dosimeters

Kil-Sung Lim · Jang-Lyul Kim  
Korea Atomic Energy Research Institute

### CaSO<sub>4</sub>:Dy 열형광선량계의 소자보정인자(ECF) 산출

임길성 · 김장렬

한국원자력연구소, 대전 유성구 덕진동 150, 305-353

(2005년 4월 4일 접수, 2005년 12월 7일 채택)

Abstracts - Dosimeters are manufactured from same process in the manufacturer, but the deviation of TL raw counts exists among the dosimeters. TL raw counts are also gradually degrade due to multiple readings and physical abuse. ECF (Element Correction Factor) correct the degradation and deviation of TL raw counts to the average TL raw counts of reference dosimeters. Procedures for producing ECF of thermoluminescent dosimeters were described in detail. ECFs of 319 reference, control and field dosimeters were measured three times and average of three ECF values was calculated. Also, % CV(Coefficient of Variation) of three ECF values was calculated to verify ECF. ECF & % CV distributions for the field and control dosimeters are presented. TL raw counts of field dosimeters, being used about 6 times for the past 3 years, were almost unchanged, but those of control dosimeters, being used more frequently, were degraded about 4.7 %.

Key words : *element correction factor(ECF), thermoluminescent dosimeter(TLD), calibration*

요약 - 열형광선량계의 TL 소자는 동일한 제조공정에 의해 생산되지만, 소자의 반응도가 선량계 별로 편차가 있고, 반복사용 또는 외부로부터의 물리적 자극에 의해 반응도가 조금씩 감소한다. 이러한 반응도 감소를 기준선량계의 평균반응값에 맞추어지도록 보정해 주는 인자가 소자보정인자(ECF)이다. 열형광선량계(TLD)의 ECF 측정절차에 대해 자세히 기술하였으며, 319개의 기준선량계, 교정용선량계, 현장선량계의 ECF를 3회 측정하여 평균값을 구하였다. 또한 3회 측정에 대한 %CV를 구하여 ECF 측정값을 검증하였다. 선량계 종류별, 용도별로 ECF값의 분포를 구했으며, %CV값의 분포도 나타내었다. 현장선량계는 지난 3년동안 6회정도 사용되었는데, ECF값의 변화가 거의 없었고, 보다 빈번하게 사용된 교정용선량계의 ECF값은 평균 4.7% 증가하였다.

중심어 : 소자보정인자, 열형광선량계, 교정

### 서 론

국내 원자력발전소, 전문판독업체, 연구기관등에서는 방사선작업종사자들의 외부피폭선량 판독을 위하여 95%이상이 열형광선량계(TLD)를 사용하고 있다. 원자력연구소는 방사선작업종사자 및 수시출입자의 외부피폭선량 평가를 위해 미국 Teledyne(사)의 System 300 자동 TLD 판독시스템을 도입하여 사용하고 있다.

각 선량계는 그림 1에 보인 바와 같이 8개(P1, P2, P3, P4, S1, S2, S3, S4)의 열형광소자로 구성되어 있고, 이중 우측 4개의 소자를 Primary 영역(P1, P2, P3, P4)이라 하며, P1, P2 소자는 베타선량 평가에, P3, P4 소자는 감마, 엑스선량 평가에 사용된다. 좌측 4개의 소자(S1, S2, S3, S4)는 Secondary 영역이라 하며, Primary 영역과 동일하게 구성되어 있고, Primary 영역의 판독에 문제가 발생할 경우 사용되는 예비용 소자이다. 각

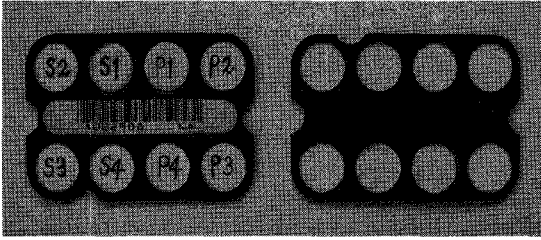


Fig. 1. Exterior view of TL dosimeter (front and rear view).

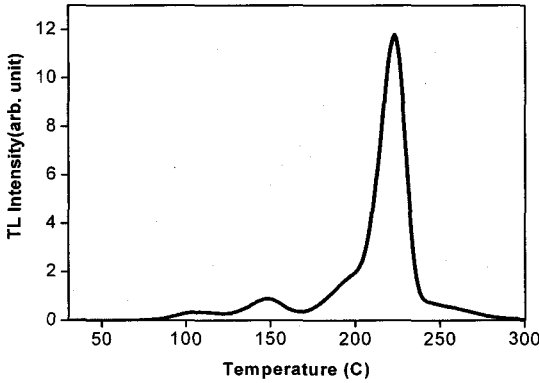


Fig. 2. Typical TL glow curve.

Table 1. Number of dosimeters used for the ECF measurement.

dosimeter type	reference	control	field	total
$\beta, \gamma$ measurement	31	103	50	319
$\beta, \gamma, n$ measurement	26	59	50	

소자는 열형광물질인  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ 이 15 wt%, 접착매질인 PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)가 85 wt%로 구성되어 있으며, 직경이 9.5 mm, 두께는 0.40 mm(베타선량 평가에 사용되는 P1, S1 2개 소자는 0.13 mm)이고, 선량계의 가운데에는 선량계 인식을 위해 바코드가 부착되어 있다.

방사선에 조사된 TLD를 판독기에서 300°C 정도까지 가열하면 형광(luminescence)이 방출되고, 이 형광은 광케이블을 통해 PMT (Photo Multiplier Tube)로 이송되어 전류신호로 전환되는데 이때  $10^5$ - $10^6$ 배 정도 증폭된다. 가열온도에 따른 방출형광의 곡선을 glow curve (그림 2)라 하는데, glow curve 아래부분의 면적(TL raw counts라 함)을 계산하여, 이 값을 기초로 선량

평가를 한다.

TL raw counts값은 선량계를 반복관독함에 따라 서서히 감소하는데, 감소의 정도가 유의한 수준이 되어 보정할 필요가 있을때 이를 기준선량계의 평균 raw counts값으로 보정해주는 인자가 ECF이다. 본 실험에서는 다음과 같은 TL 반응값을 이용하여 ECF를 구하였다.

$$\text{TL 반응값} = \frac{TL_{\text{raw}} \times RCF \times LS_{\text{av}}}{LS}$$

$TL_{\text{raw}}$  : TL raw counts

RCF : 판독기 교정인자

(Reader Calibration Factor)

$LS_{\text{av}}$  : 판독기 교정시 Light Source의 평균값

LS : 선량계 판독시의 Light Source의 값

Light Source란 각 선량계 판독후 LED로 항상 일정한 광량을 PMT로 보내어 PMT의 성능 변화를 점검할 때 LED 광량의 세기를 말한다.  $LS_{\text{av}}/LS$ 는 선량계 판독시 LS값이  $LS_{\text{av}}$ 와 차이가 있을 때 이를 보정해 준다.

본 논문에서는 선량계를 3종류로 나누어 사용하였는데, 기준선량계(reference dosimeter)는 ECF를 산출할 때 기준 TL 반응값을 구하기 위해서만 사용되고, 평소에는 안전한 장소에 보관한다. 기준선량계의 TL raw counts는 변하지 않고 항상 일정하다고 간주할 수 있다. 교정용선량계(control dosimeter)는 3개월마다 판독기의 정기교정시 사용되는 선량계이고, 현장선량계(field dosimeter)는 방사선작업종사자들의 피폭관리를 위하여 작업 현장에 지급하는 선량계이다.

표 1에 실험에 사용된 선량계 종류 및 용도별 수량을 나타내었는데,  $\beta, \gamma$  measurement는 베타, 감마선량 측정용 선량계이고,  $\beta, \gamma, n$  measurement는 베타, 감마, 중성자 측정용 선량계이다.

### 실험방법 및 결과

선량계의 ECF를 구하는 절차는 다음과 같다.

- (1) 모든 기준선량계, 교정용선량계, 현장선량계를 아닐링오븐을 이용하여 260 °C에서 2시간 동안 아닐링 시킨다. 아닐링이란 TL소자에 잔류하는 선량정보를 모두 방출하는 작업이다.

Table 2. Example of TL response for reference &amp; field dosimeters and ECF calculation results of field dosimeters.

TL response of reference dosimeters					TL response of field dosimeters					ECF calculation results of field dosimeters				
TLD I.D	P1	P2	P3	P4	TLD I.D	P1	P2	P3	P4	TLD I.D	P1	P2	P3	P4
A001665	384	384	456	432	A001501	421	383	350	403	A001501	1.07	1.24	1.37	1.21
A001666	412	423	455	437	A001503	386	412	407	485	A001503	1.17	1.15	1.18	1.00
A001667	450	429	480	480	A001504	394	389	435	480	A001504	1.14	1.22	1.10	1.01
A001668	446	441	473	491	A001505	421	392	477	497	A001505	1.07	1.21	1.01	0.98
A001669	386	429	475	509	A001506	434	387	373	415	A001506	1.04	1.22	1.29	1.17
A001670	434	488	465	493	A001507	402	391	339	394	A001507	1.12	1.21	1.42	1.24
A001706	434	473	489	492	A001508	416	405	372	419	A001508	1.08	1.17	1.29	1.16
A001710	465	485	476	495	A001509	407	412	392	409	A001509	1.11	1.15	1.22	1.19
A001714	434	454	488	481	A001510	432	414	384	426	A001510	1.04	1.14	1.25	1.14
A001717	431	507	484	430	A001511	434	429	436	457	A001511	1.04	1.10	1.10	1.07
A001733	412	461	497	506	A001512	426	418	404	475	A001512	1.06	1.13	1.19	1.03
A001737	433	430	423	463	A001513	437	435	463	531	A001513	1.03	1.09	1.04	0.92
A001743	430	457	451	484	A001514	410	410	371	445	A001514	1.10	1.16	1.29	1.09
A001744	428	442	457	445	A001515	429	452	493	515	A001515	1.05	1.05	0.97	0.95
A001745	437	466	449	467	A001516	407	407	441	437	A001516	1.11	1.16	1.09	1.11
A001753	451	484	512	484	A001517	428	429	475	533	A001517	1.05	1.10	1.01	0.91
A001764	446	490	481	450	A001518	429	438	468	503	A001518	1.05	1.08	1.03	0.97
A001765	472	477	415	484	A001520	397	440	475	512	A001520	1.13	1.08	1.01	0.95
A001766	446	493	470	490	A001521	431	424	430	504	A001521	1.04	1.12	1.12	0.97
A001772	457	481	483	486	A001522	406	428	473	459	A001522	1.11	1.11	1.01	1.06
A001773	440	484	482	504	A001523	412	441	441	480	A001523	1.09	1.07	1.09	1.01
A001777	462	479	532	509	A001524	423	411	393	473	A001524	1.06	1.15	1.22	1.03
A001784	493	509	516	526	A001525	404	388	352	376	A001525	1.11	1.22	1.36	1.30
A001786	464	498	513	541	A001526	428	434	454	496	A001526	1.05	1.09	1.06	0.98
A001789	462	491	491	514	A001527	397	393	368	382	A001527	1.13	1.21	1.30	1.27
A001792	491	497	526	508	A001528	416	388	368	468	A001528	1.08	1.22	1.30	1.04
A001793	485	543	503	504	A001529	421	443	429	458	A001529	1.07	1.07	1.12	1.06
A001795	490	495	488	544	A001530	429	393	376	384	A001530	1.05	1.21	1.28	1.27
A001796	462	509	523	558	A001531	423	384	361	404	A001531	1.06	1.23	1.33	1.21
A001803	488	528	507	509	A001532	396	389	335	385	A001532	1.14	1.22	1.43	1.26
A001841	525	469	411	377	A001533	418	386	367	418	A001533	1.08	1.23	1.31	1.17
Average	450	474	480	487										

(2) 모든 선량계를 662 Kev의 감마선을 내는 <sup>137</sup>Cs 선원으로 500 mR 조사(照射)한다. 이때 모든 선량계에 균일하게 조사되도록 선원으로부터 충분히 떨어진 거리에서, 충분한 시간동안 조사한다.

(3) 초기 잠상퇴행이 일어나는 2~3일동안 방치한다.

(4) 모든 선량계를 판독한다. 이때, 기존의 ECF는 모두 1.0으로 설정하여 TL 반응값을 얻는다.

Table 3. Average of ECFs.

element		P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3	S4
dosimeter type	reference	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01
	control	1.04	0.92	0.90	0.91	1.06	0.87	0.88	0.84
	field	1.11	1.11	1.17	1.12	1.06	1.13	1.20	1.13
β,γ measurement	reference	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	control	1.03	0.98	1.00	1.02	0.99	1.01	1.05	1.00
	field	1.13	1.04	1.06	1.10	1.05	1.03	1.08	1.05

- (5) 기준선량계들의 각 소자별 평균 TL 반응값을 계산한다.
- (6) 다음 식에 의해 모든 선량계, 모든 소자의 ECF를 계산한다.

$$ECF(i, j) = \frac{EM(i)}{e(i, j)}$$

ECF (i, j) : j선량계, i소자의 ECF  
 EM (i) : 기준선량계들의 i소자의 평균 TL 반응값  
 e (i, j) : j선량계, i소자의 TL 반응값

예를 들어, 기준선량계들의 P4소자의 평균반응값이 487이고, A001501의 I.D.를 가진 현장선량계의 P4소자의 반응값이 403이라면, A001501 선량계의 P4소자의 ECF는 다음과 같이 계산된다.

$$ECF(P4, A001501) = \frac{487}{403} = 1.21$$

Primary 영역 4개 소자의 1회 측정에 대한 기준선량계와 현장선량계의 판독결과(TL 반응값) 및 현장선량계의 ECF 계산결과를 표 2에 제시하였다. Secondary 영역은 자료가 너무 방대해 지므로 생략하였다.

- (7) (1)~(6)까지 3회 반복하여 ECF를 3회 측정한다.
- (8) 3회 측정된 ECF를 평균하여 최종 ECF값으로 정한다.
- (9) 3회 측정된 ECF의 값들로부터 %CV(표준편차/평균\*100)를 구한다.
- (10) ECF값이 너무 큰(ECF≥1.50) 선량계는 사용하지 않고, %CV값이 너무 크면 ECF 측정을 다시 해야 한다. 위와 같은 절차에 의해 구한 ECF값을 TL 반응값에 곱하여 보정된 값을 얻는다.

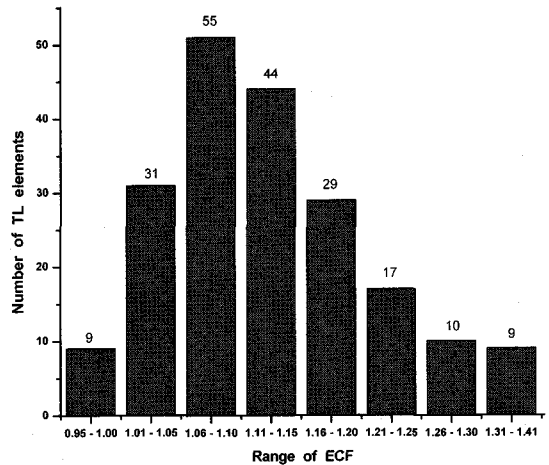


Fig. 3. ECF distribution of control dosimeters (beta/gamma dosimeter).

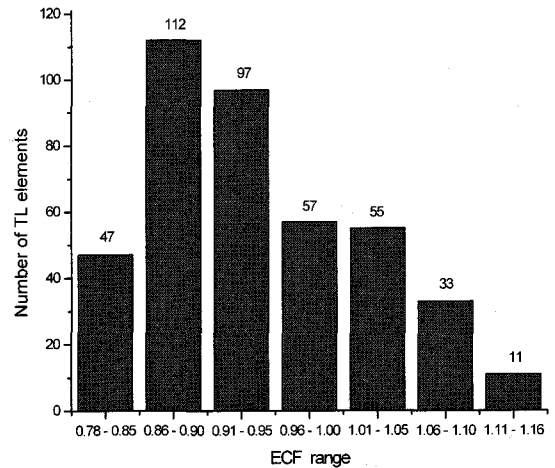


Fig. 4. ECF distribution of field dosimeters (beta/gamma dosimeter).

세가지 용도의 선량계 각 그룹 전체에 대해 실험에서 구한 ECF의 그룹평균값을 표 3에 나타내었다. 베타, 감마용 교정용선량계의 ECF

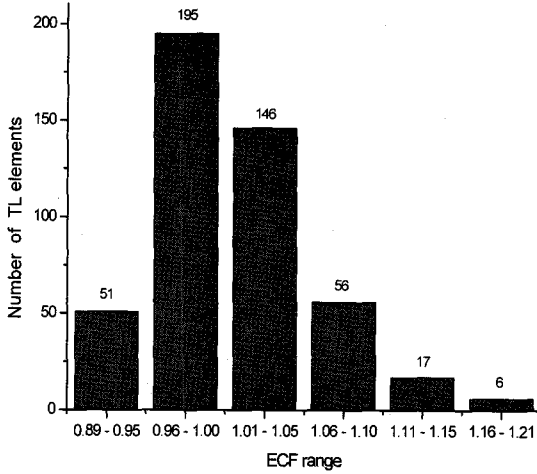


Fig. 5. ECF distribution of control dosimeters (beta/gamma/neutron dosimeter).

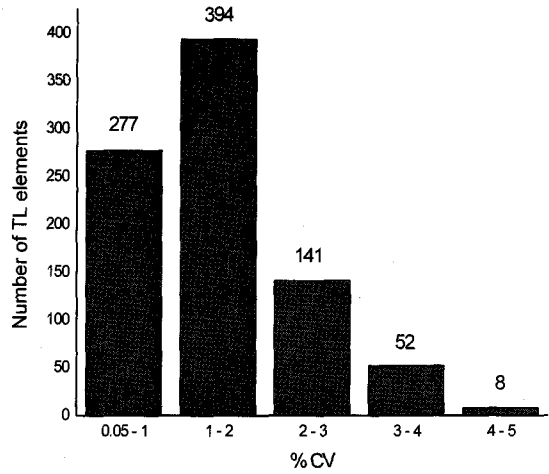


Fig. 8. %CV distribution of control & field dosimeters (beta/gamma/neutron dosimeter)

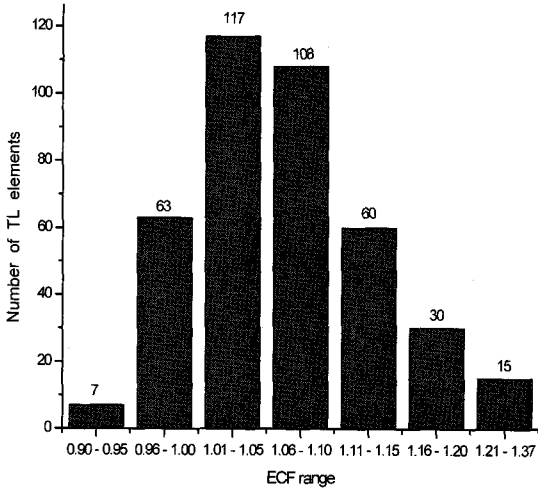


Fig. 6. ECF distribution of field dosimeters (beta/gamma/neutron dosimeter)

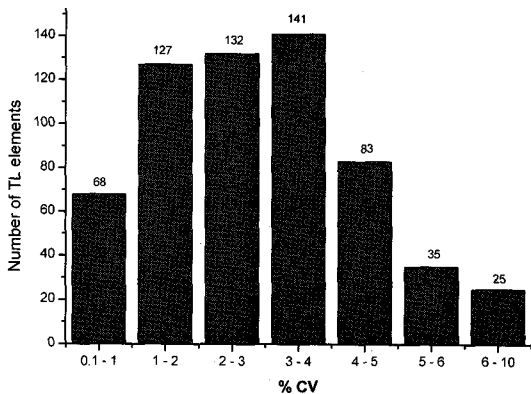


Fig. 7. %CV distribution of control & field dosimeters (beta/gamma dosimeter)

Table 4. Comparison of ECF with 3 years ago measured ECF.

	year	average ECF			
		P1	P2	P3	P4
β,γ	2002	1.10	1.10	1.17	1.10
field	2005	1.11	1.11	1.17	1.12
β,γ	2002	1.00	0.89	0.85	0.86
control	2005	1.04	0.92	0.90	0.91

평균값이 기준선량계의 평균값보다 작는데, 이 선량계는 추후에 구입한 선량계로서, 이전에 구입한 선량계보다 TL 감도가 높게 제조되었기 때문이다.

그림 3부터 그림 6까지 선량계 종류 및 용도 별로 ECF 분포를 나타내었는데, 전형적인 ECF 분포형태를 나타내었다. 현장선량계의 경우, 전체 소자의 91.5%가 1.20 이하이고, 99.3%가 1.30 이하였다.

베타/감마용 선량계의 현장선량계와 교정용선량계 3회 측정의 %CV 분포를 그림 7에 보였는데, 전체 소자의 90%가 5 %CV 이하였고, 96%가 6 %CV 이하였다. 베타/감마/중성자용 선량계의 현장선량계 및 교정용선량계 3회 측정의 %CV 분포는 그림 8에 나타내었는데, 전체 소자의 93%가 3 %CV 이하였고, 99%가 4 %CV 이하였다.

'02년도에 동일한 방법으로 측정한 ECF값과 비교한 결과를 표 4에 나타내었다. 현장선량계의

경우 1년에 2회 판독되는데, 3년간 ECF값의 변화가 거의 없었고, 교정용선량계의 경우는 판독기 교정등에 빈번히 사용되어서 ECF값이 평균 4.7% 상승되었다.

## 결 론

열형광선량계의 ECF 측정절차에 대하여 상세히 기술하였다. 319개의 기준, 교정용, 현장선량계의 ECF를 3회 측정하였으며, 3회 측정에 대한 %CV를 구하였다. ECF의 분포형태나 %CV값으로 볼때, ECF는 잘 측정된 것으로 판단된다. 선량계의 ECF를 새로 구해야 하는 시기는 전적으로 선량계의 사용된 횟수에 의존한다. ECF 측정 주기를 임의로 설정(2년 또는 3년)하기 보다는 선량계의 사용된 횟수를 추정하여, 샘플링한 작은 갯수의 선량계의 ECF값의 변화를 관찰한 후, 전체 선량계의 ECF를 측정하는 것이 보다 합리적이다.

## 참고문헌

1. Phillip Plato and Joseph Miklos, "Production of Element Correction Factors for Thermoluminescent Dosimeters", Health Physics, Vol. 49, No.5 (November), pp.873-881(1985)
2. Robert W.Simpkins, Kimberlee J. Kearfott, "The Minimum Number of Observations Necessary to Develop an Average Thermoluminescent Dosimeter Element Correction Factor", Radiation Protection Management, Volume 13, No 6 pp.55-61 (1996)
3. Hsu P.C., Weng P.S., "Calibration of thermoluminescent dosimeters for low exposure rates", Nuclear instruments & methods, v.138 no.2, pp.307-309(1976)
4. Tawil R.A., Pontikos P., Szalanczy A, "Thermoluminescent characteristics of new pre-calibrated dosimeters", Nuclear instruments & methods in physics research, Section A, accelerator associated equipment., v.353 no.1/3, pp.411-414(1994)