

# 광자극발광/열발광(OSL/TL)을 이용한 사후방사선량평가

이정일\*, 장인수, 김형택, 이승규, 김장렬

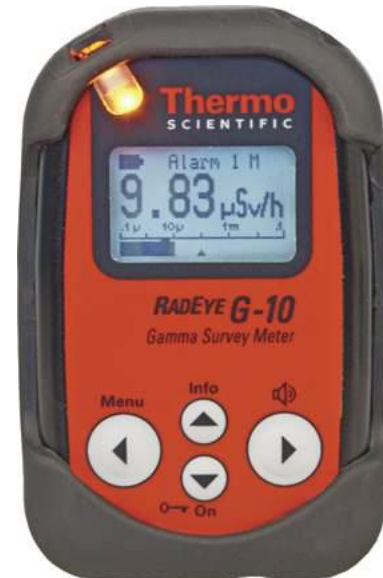
Email: jilee@kaeri.re.kr



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute

# 사후방사선량평가(방사선량 회구평가)

방사선 누출 사고나 테러 등 방사선 비상시 인위적 선량계가 없는 상황에서 당시 누출 또는 피폭된 방사선량을 측정 및 평가할 수 있는 기술



# 사후방사선량평가의 필요성

- 인류가 방사선을 이용한 이후 방사선 사고는 꾸준히 있어왔다.  
(1944년부터 2006년까지 400건 이상, 30000명 이상이 고선량 피폭)

# 방사선량 회구 평가의 필요성

- 인류가 방사선을 이용한 이후 방사선 사고는 꾸준히 있어왔다.  
(1944년부터 2006년까지 400건 이상, 30000명 이상이 고선량 피폭)
- 방사선 사고 장소에 인위적 선량계가 없거나 매우 부족한 경우가 많다.
  - 방사선량 모니터링 자료 부족

# 방사선량 회구 평가의 필요성



- 인류가 방사선을 이용한 이후 방사선 사고는 꾸준히 있어왔다.  
(1944년부터 2006년까지 400건 이상, 30000명 이상이 고선량 피폭)
- 방사선 사고 장소에 인위적 선량계가 없거나 매우 부족한 경우가 많다.
  - 방사선량 모니터링 자료 부족
- 대규모 사고 또는 테러시 피폭자를 신속히 구분하여 적절한 의료적 처치가 가능하도록 하고, 피폭이 없는 사람에 대해서는 이를 확신시켜 과도한 공포를 방지

# 방사선량 회구 평가의 필요성

- 인류가 방사선을 이용한 이후 방사선 사고는 꾸준히 있어왔다.  
(1944년부터 2006년까지 400건 이상, 30000명 이상이 고선량 피폭)
- 방사선 사고 장소에 인위적 선량계가 없거나 매우 부족한 경우가 많다.
  - 방사선량 모니터링 자료 부족
- 대규모 사고 또는 테러시 피폭자를 신속히 구분하여 적절한 의료적 처치가 가능하도록 하고, 피폭이 없는 사람에 대해서는 이를 확신시켜 과도한 공포를 방지



# 방사선량 회구 평가의 필요성

- 인류가 방사선을 이용한 이후 방사선 사고는 꾸준히 있어왔다.  
(1944년부터 2006년까지 400건 이상, 30000명 이상이 고선량 피폭)
- 방사선 사고 장소에 인위적 선량계가 없거나 매우 부족한 경우가 많다.
  - 방사선량 모니터링 자료 부족
- 대규모 사고 또는 테러시 피폭자를 신속히 구분하여 적절한 의료적 처치가 가능하도록 하고, 피폭이 없는 사람에 대해서는 이를 확신시켜 과도한 공포를 방지
- 사고의 의미와 실제 규모에 대한 정보 제공  
→ 사회적 패닉 상태 예방



# 방사선량 회구 평가의 방법



## ➤ 계산에 의한 선량 평가

- 사고 현장에서 방사선량을 측정하고 사고역학조사에 바탕을 두고 선량을 계산



# 방사선량 회구 평가의 방법



## ➤ 계산에 의한 선량 평가

- 사고 현장에서 방사선량을 측정하고 사고역학조사에 바탕을 두고 선량을 계산

## ➤ 생물학적 선량평가 기법

- Dicentric chromosome scoring
- FISH (Fluorescence In Situ Hybridisation using translocations)
- PCC (premature chromosome condensation)

# 방사선량 회구 평가의 방법



## ➤ 계산에 의한 선량 평가

- 사고 현장에서 방사선량을 측정하고 사고역학조사에 바탕을 두고 선량을 계산

## ➤ 생물학적 선량평가 기법

- Dicentric chromosome aberrations
- FISH (Fluorescence In Situ Hybridisation using translocations)
- PCC (premature chromosome condensation)

## ➤ 물리적 선량평가 기법

- 포획전하(**trapped charges**)를 이용한 선량평가(**광자극발광/열발광**)
- EPR (electron paramagnetic resonance)



방사선에 의해 물질내부에 전자-정공쌍이 생성

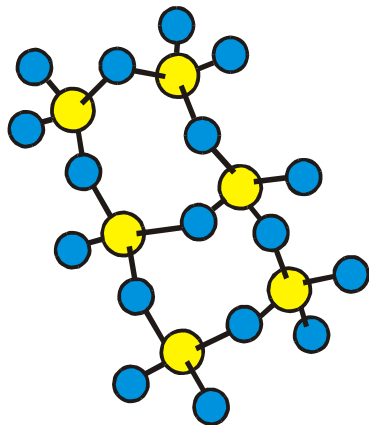
- 그 중 일부가 격자내 결함준위에 포획됨(**trapped charges**) → TL, OSL
- 그 중 일부가 라디칼을 생성(radicals) → EPR

포획전자 또는 라디칼의 농도가 흡수선량에 비례함 → 선량계

# 포획전하를 이용한 선량회구평가

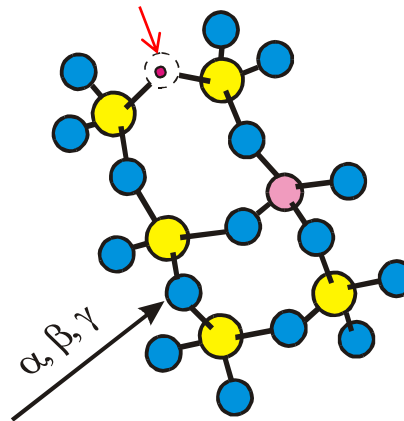
## Thermally/Optically stimulated luminescence (TL/OSL)

Quartz-ideal crystal

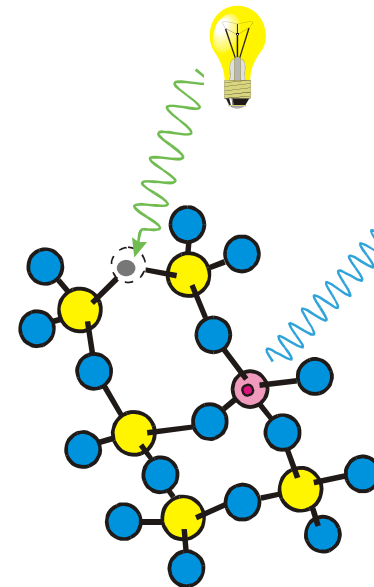


Real crystal

*electron trapped*



**Excitation**



**Stimulation**

● Si<sup>4+</sup>

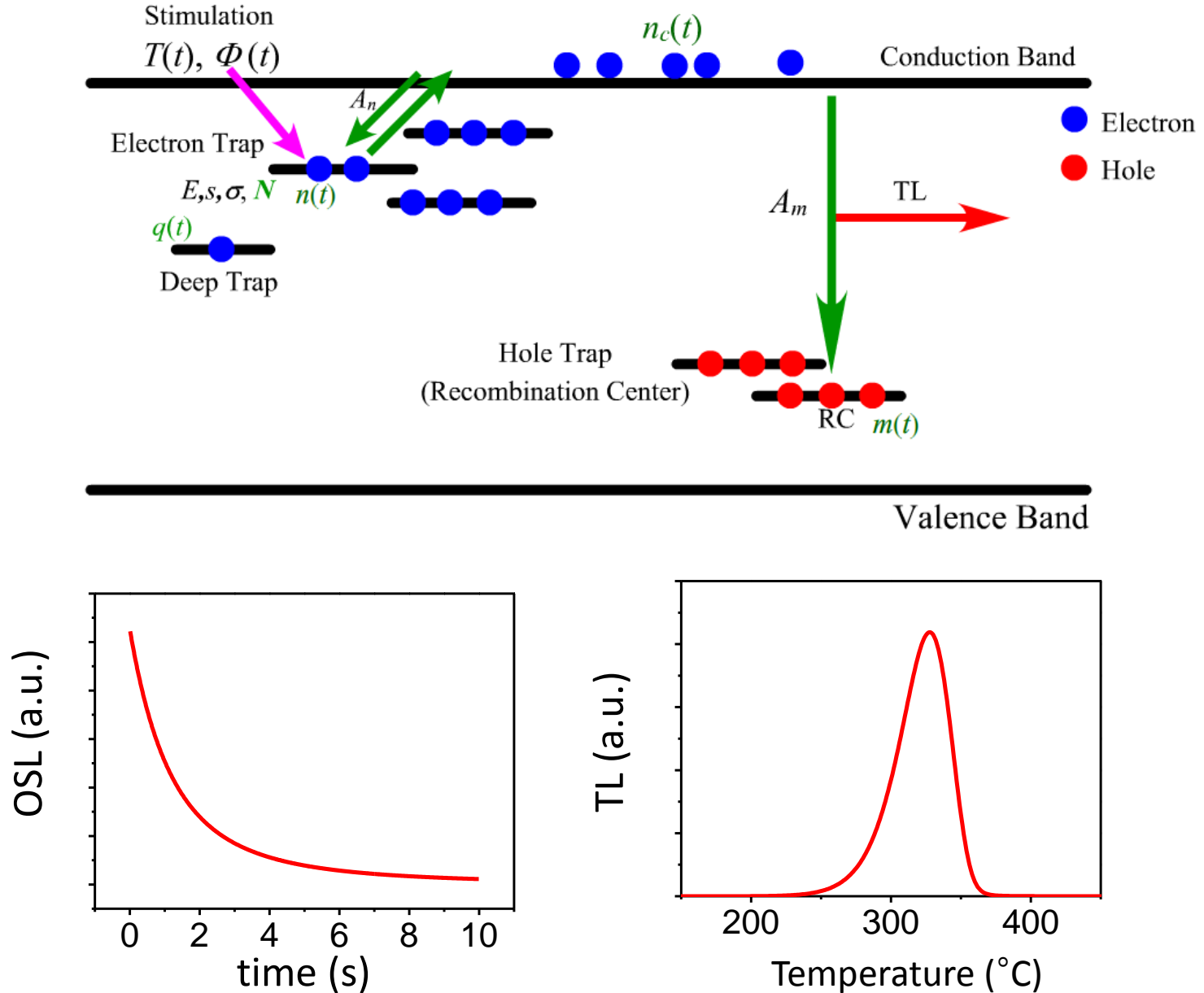
● O<sup>2-</sup>

○ O-Vacancy

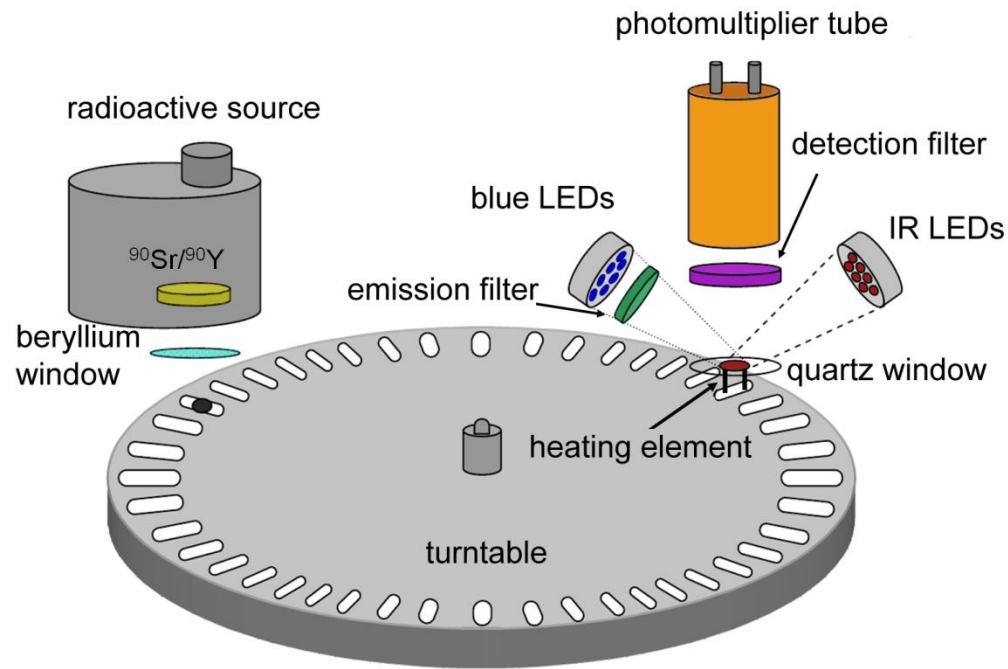
● Al<sup>3+</sup>

● Electron

# Simple Model of TL and OSL



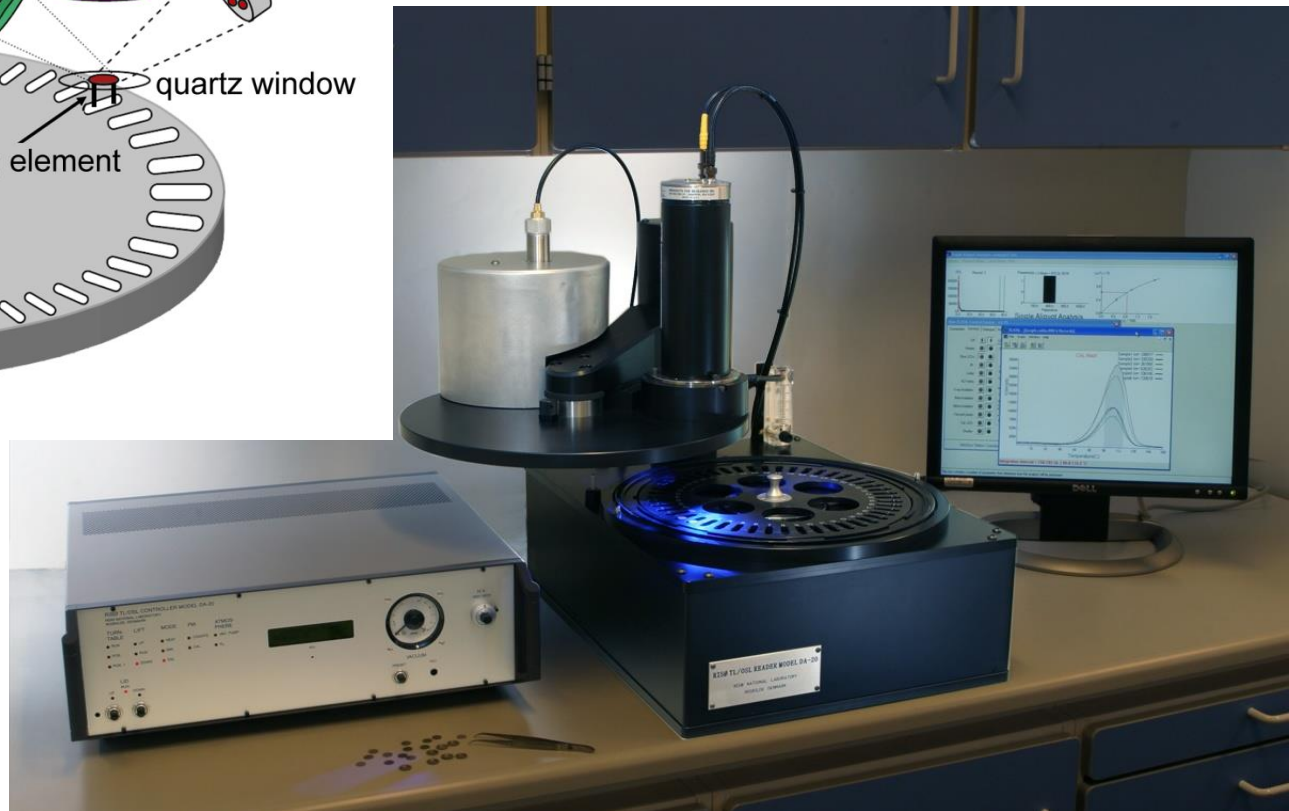
# TL/OSL 측정장치



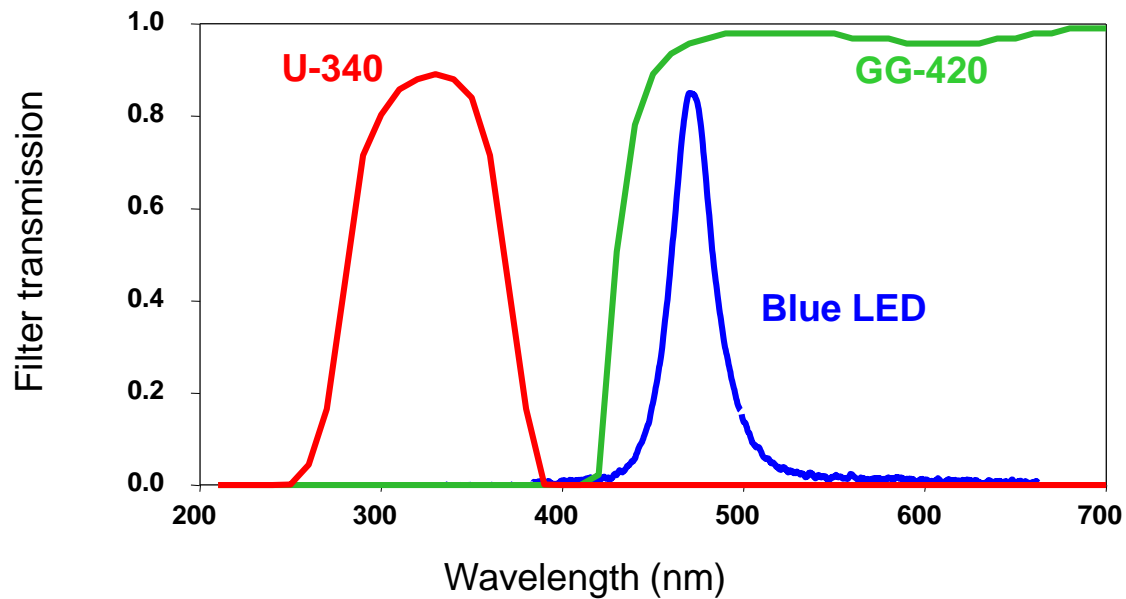
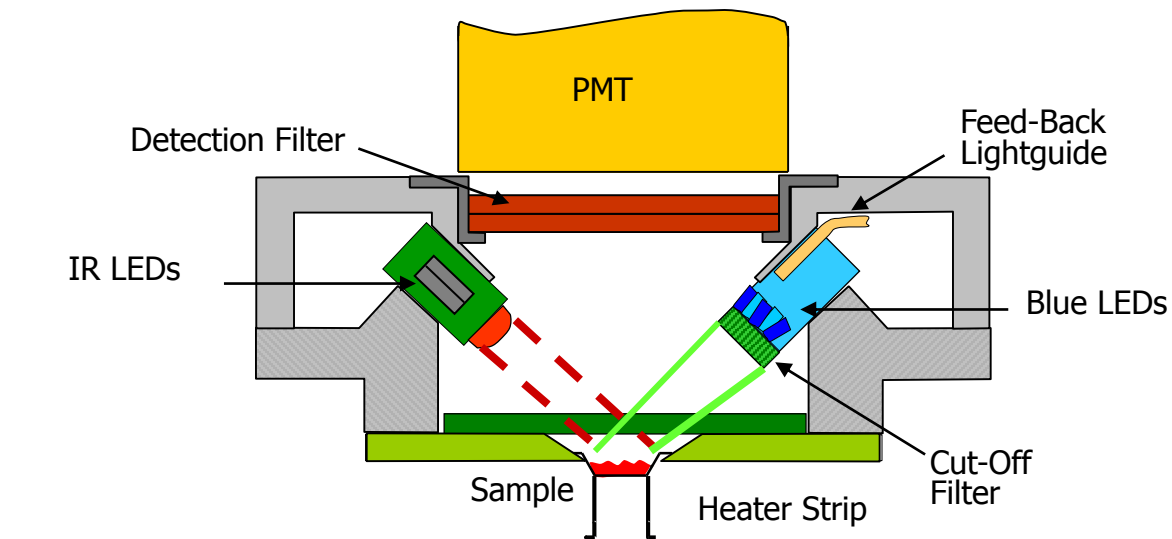
Blue LEDs (470 nm) for optical stimulation  
Bialkali EMI 9235QA PMT



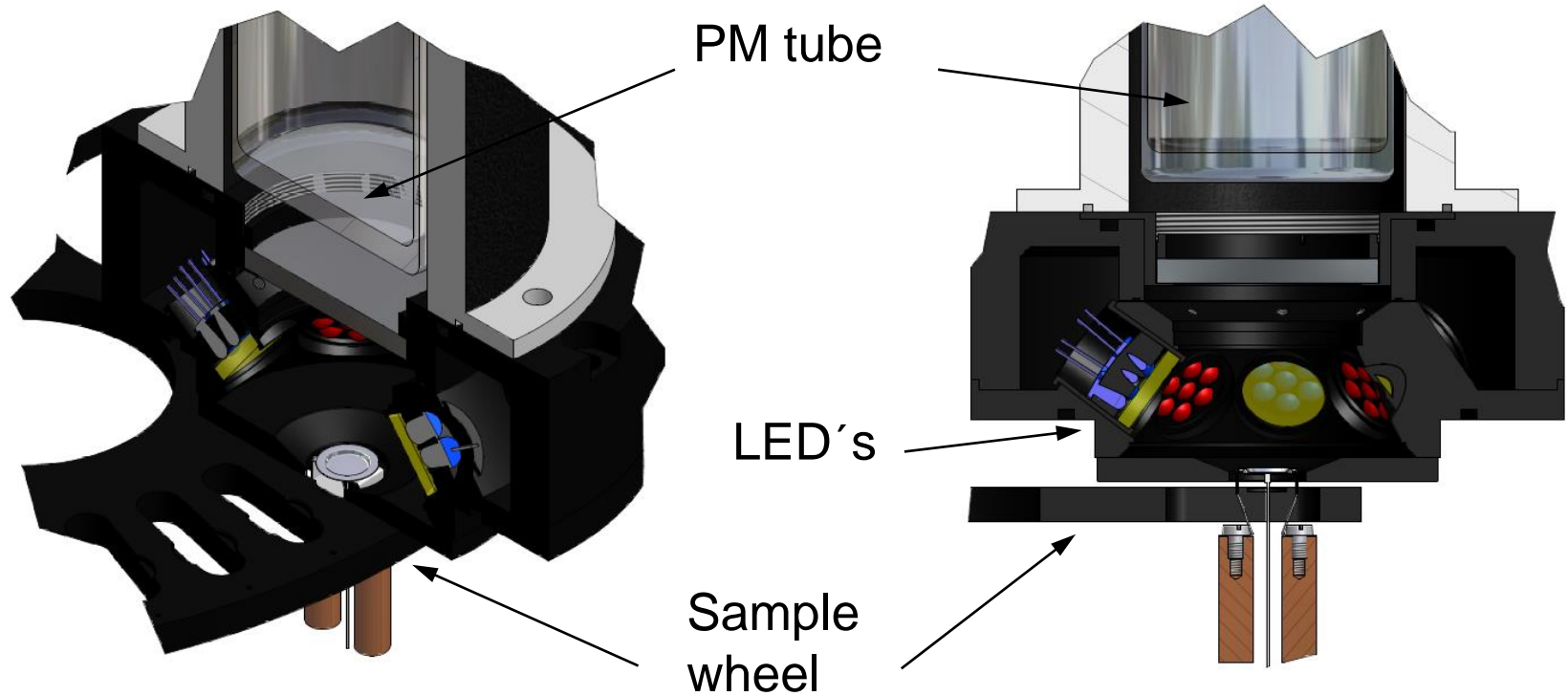
Sample



# TL/OSL 측정장치



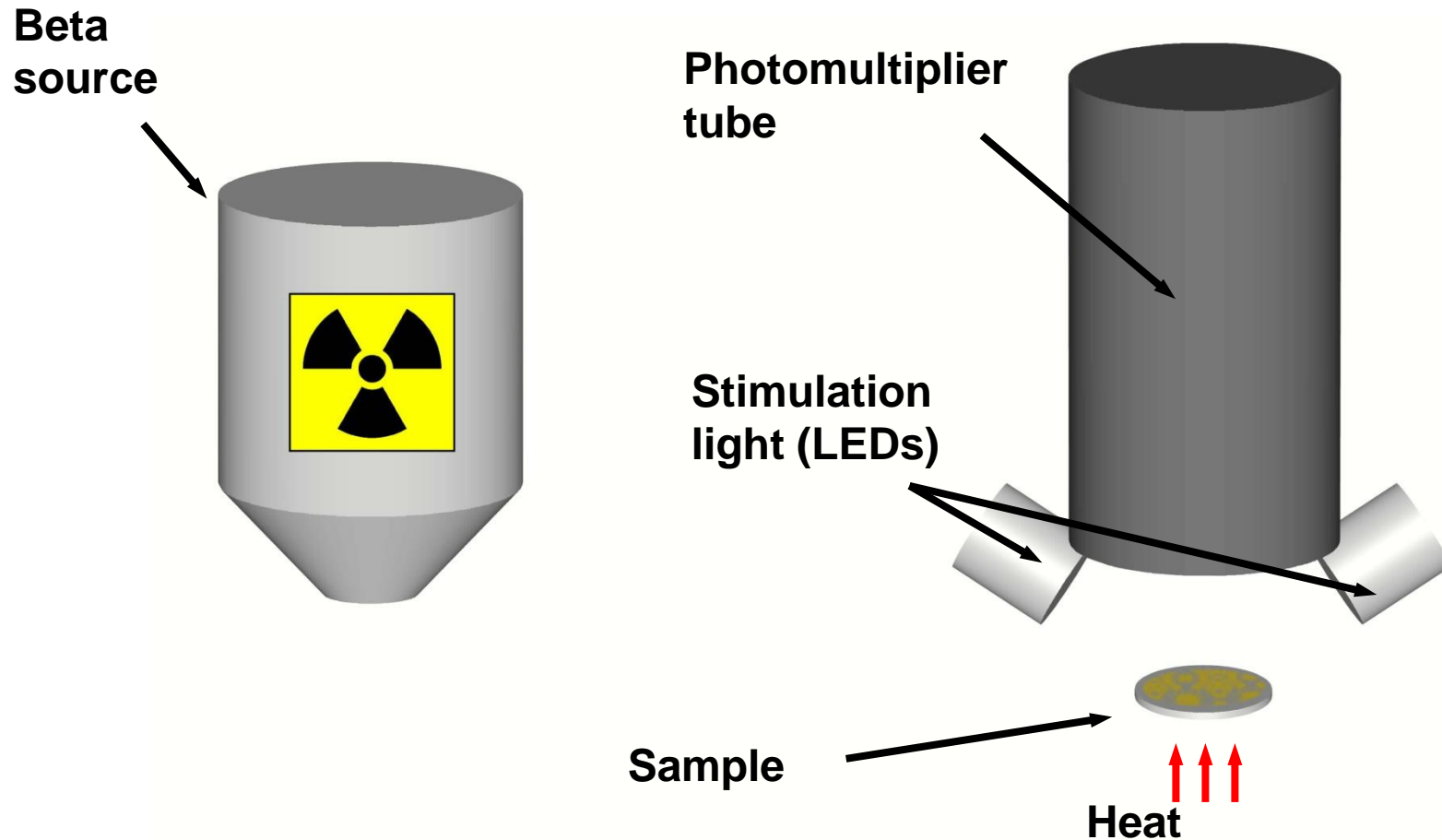
# TL/OSL 측정장치



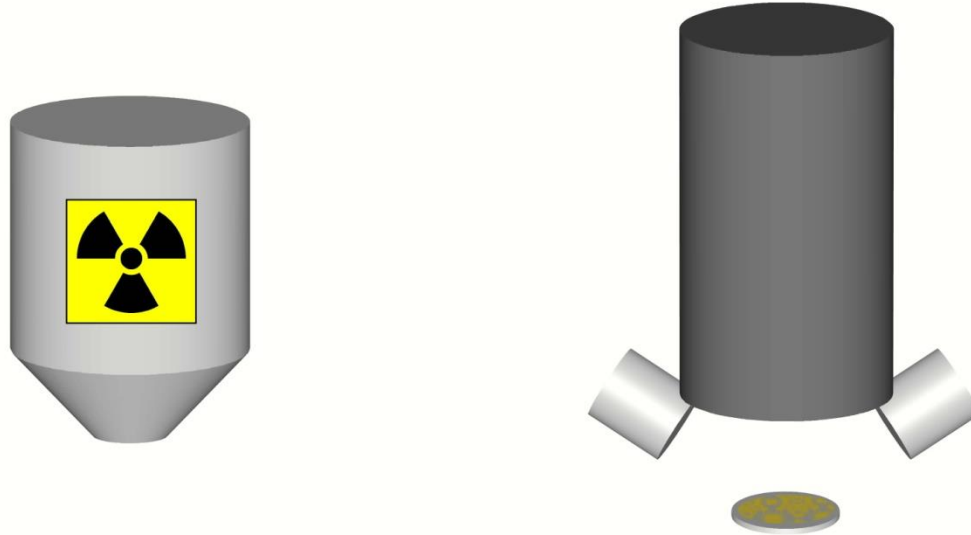
*From Dr. Andrew Murray (Risoe National Laboratory, Denmark)*



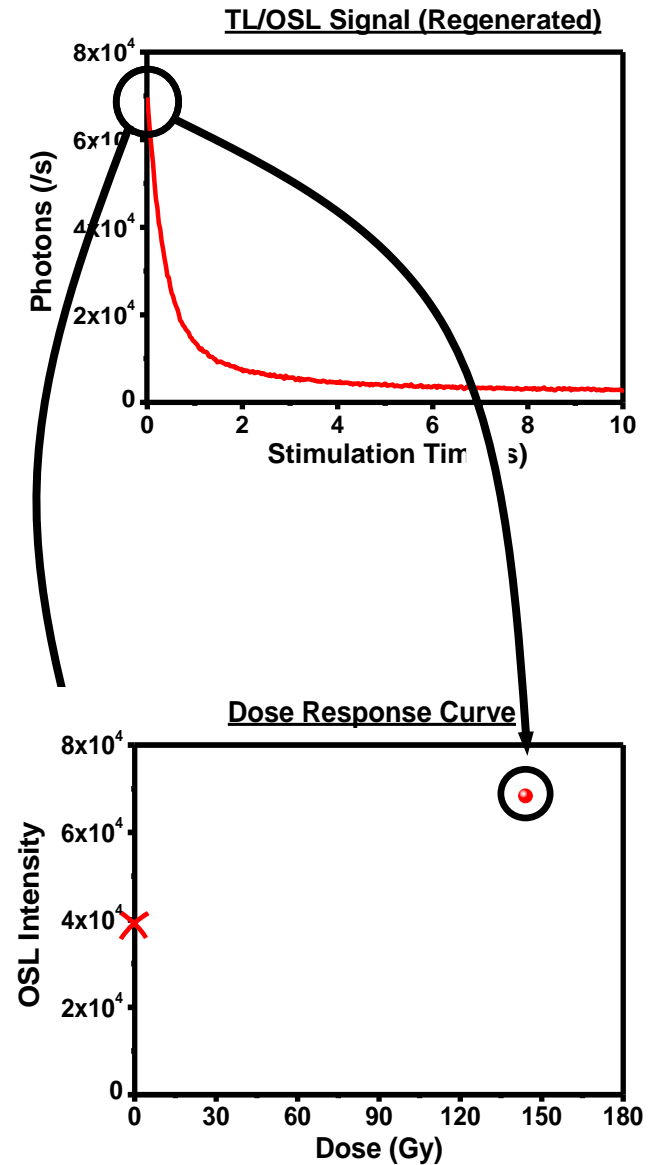
# TL/OSL을 이용한 선량복원 절차



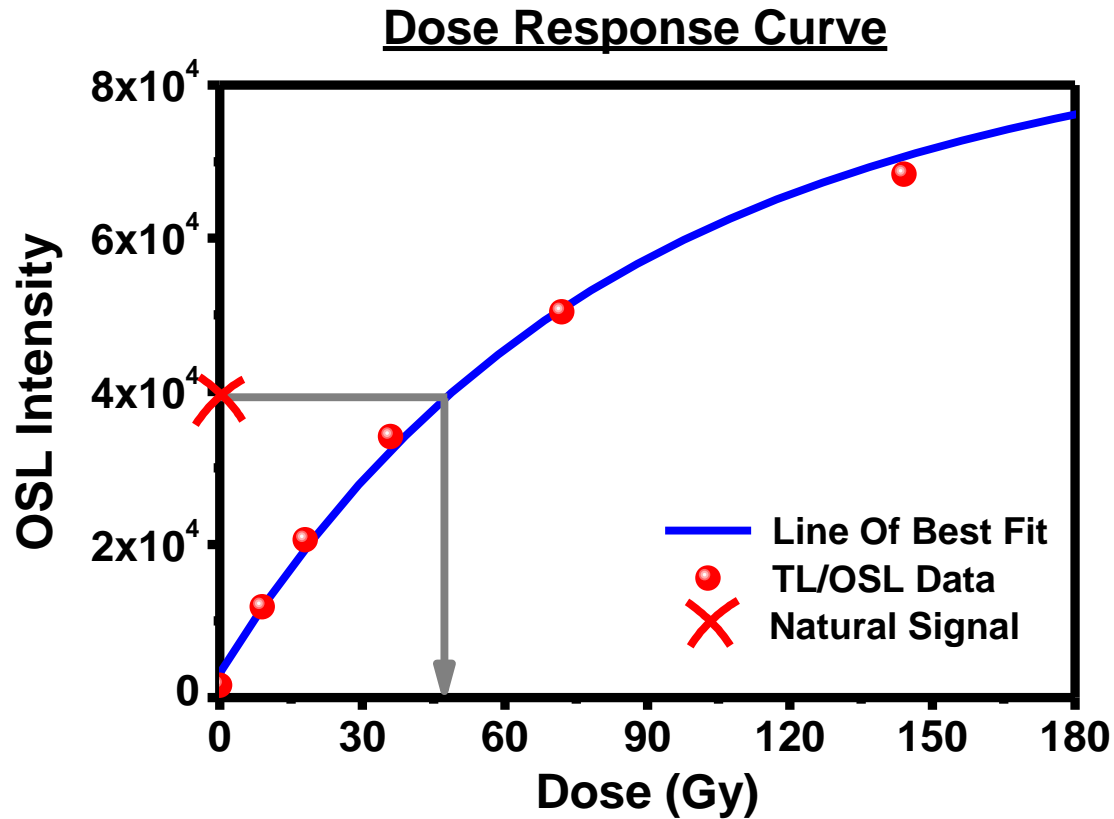
*From Dr. Andrew Murray (Risoe National Laboratory, Denmark)*



- Stimulate sample and measure accident signal.
- Irradiate sample.
- Stimulate sample and measure *regenerated* signal.
- Repeat irradiation and stimulation cycle for different doses.



# TL/OSL을 이용한 선량복원 절차



# 물리적 선량평가(TL/OSL 이용)에 적용가능한 물건들



# 휴대형 전자기기의 TL/OSL을 이용한 선량평가



# 휴대형 전자기기의 TL/OSL을 이용한 선량평가





# 휴대형 전자기기의 TL/OSL을 이용한 선량평가

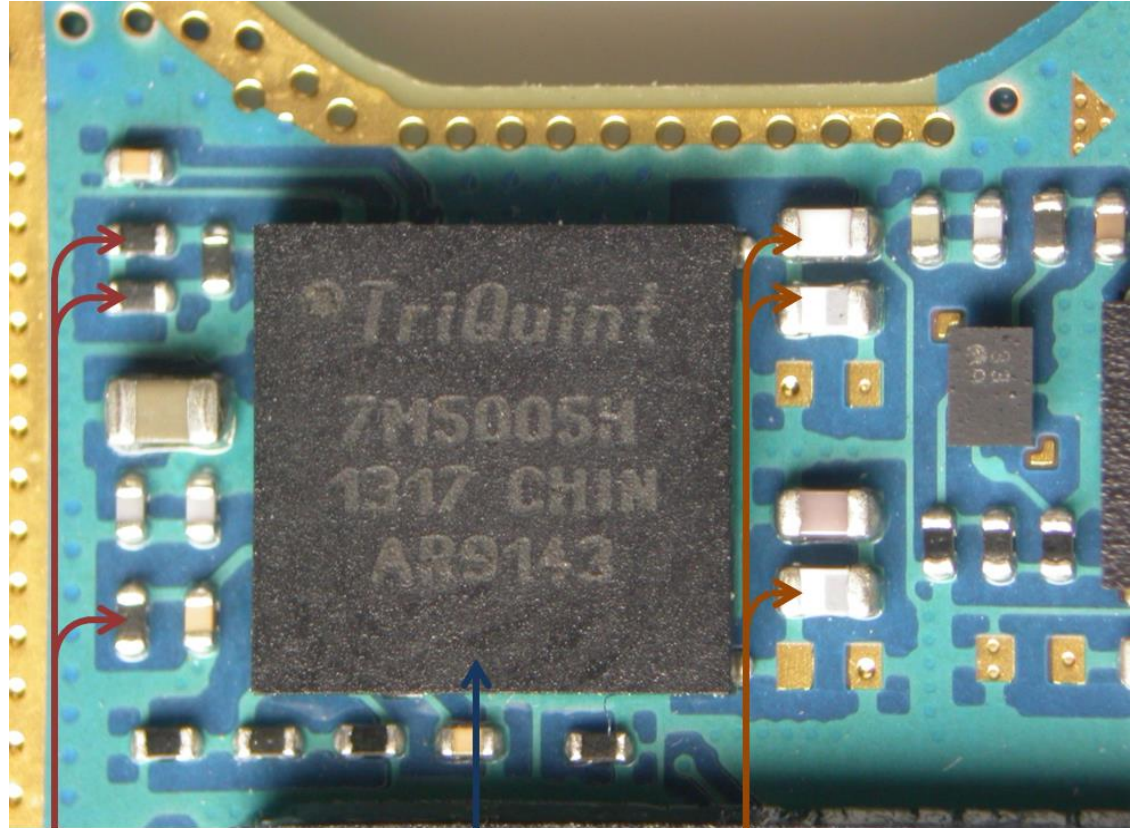


# 전자기기 내부 전자소자의 TL/OSL을 이용한 선량평가





# 전자기기 내부 전자소자의 TL/OSL을 이용한 선량평가



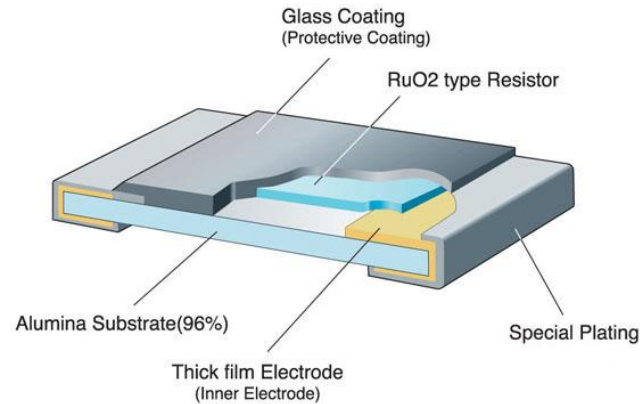
Resistors

IC

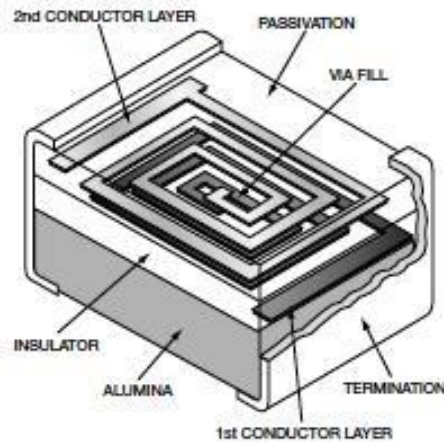
Inductors

# 전자기기 내부 전자소자의 TL/OSL을 이용한 선량평가

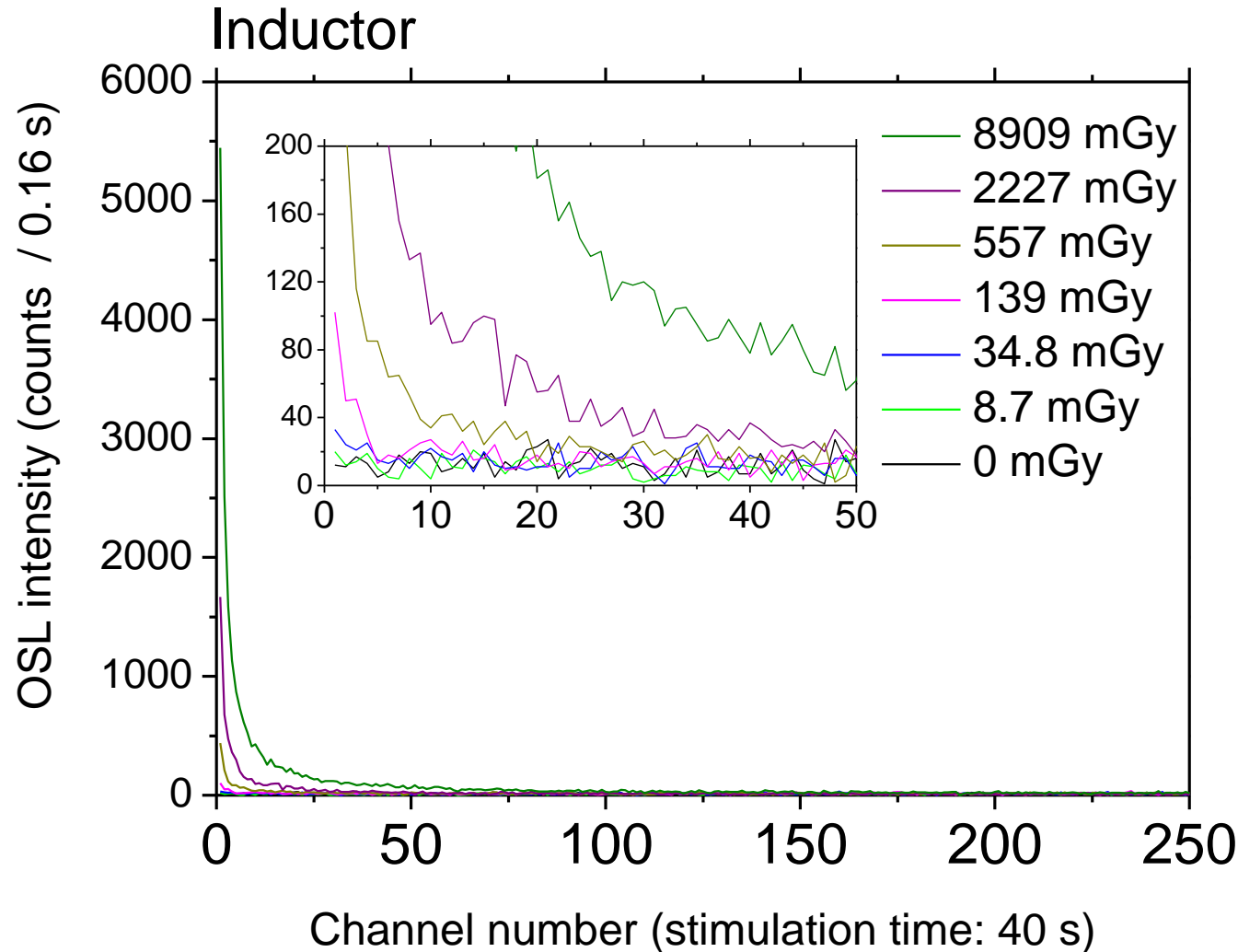
## Resistor chip



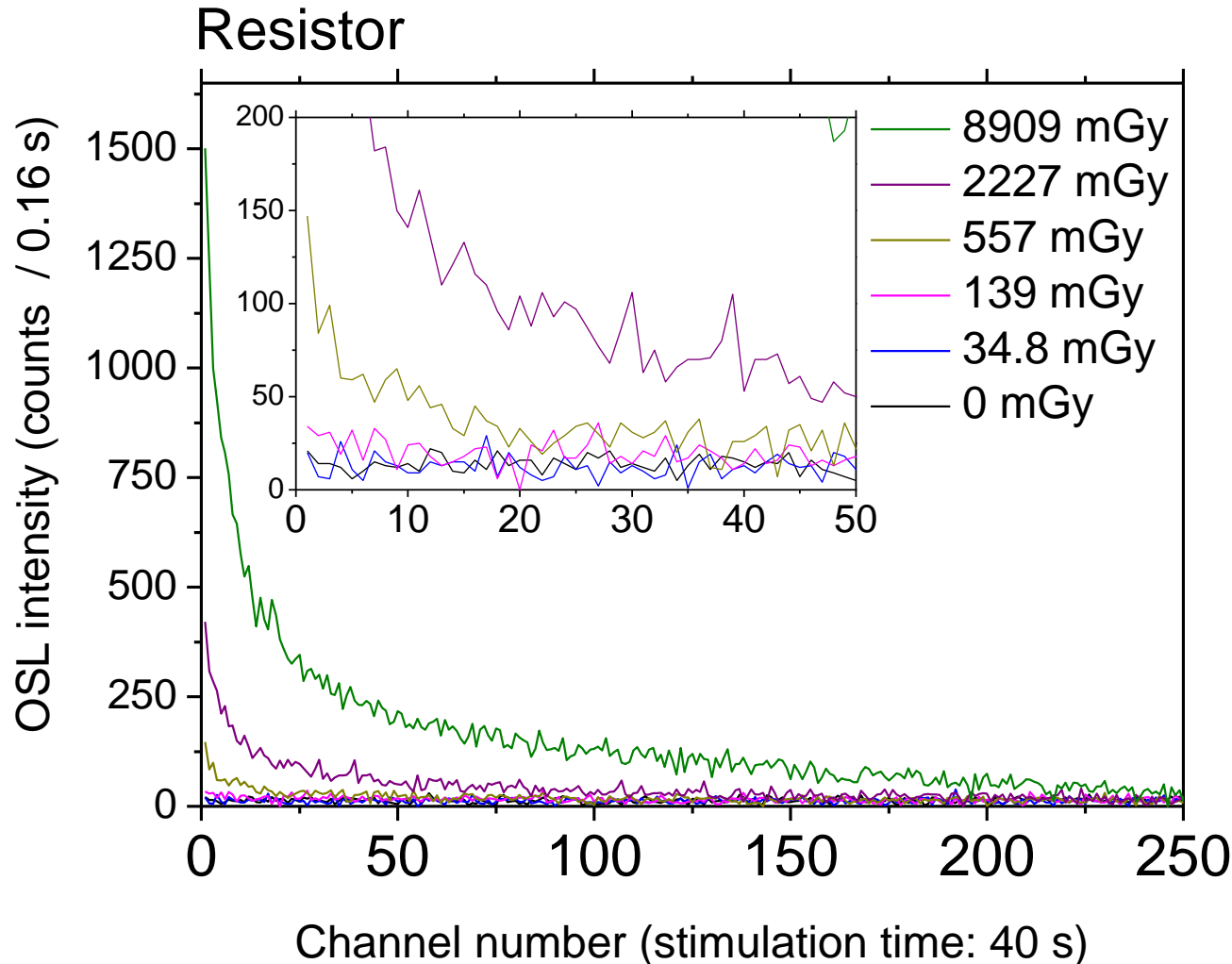
## Inductor chip



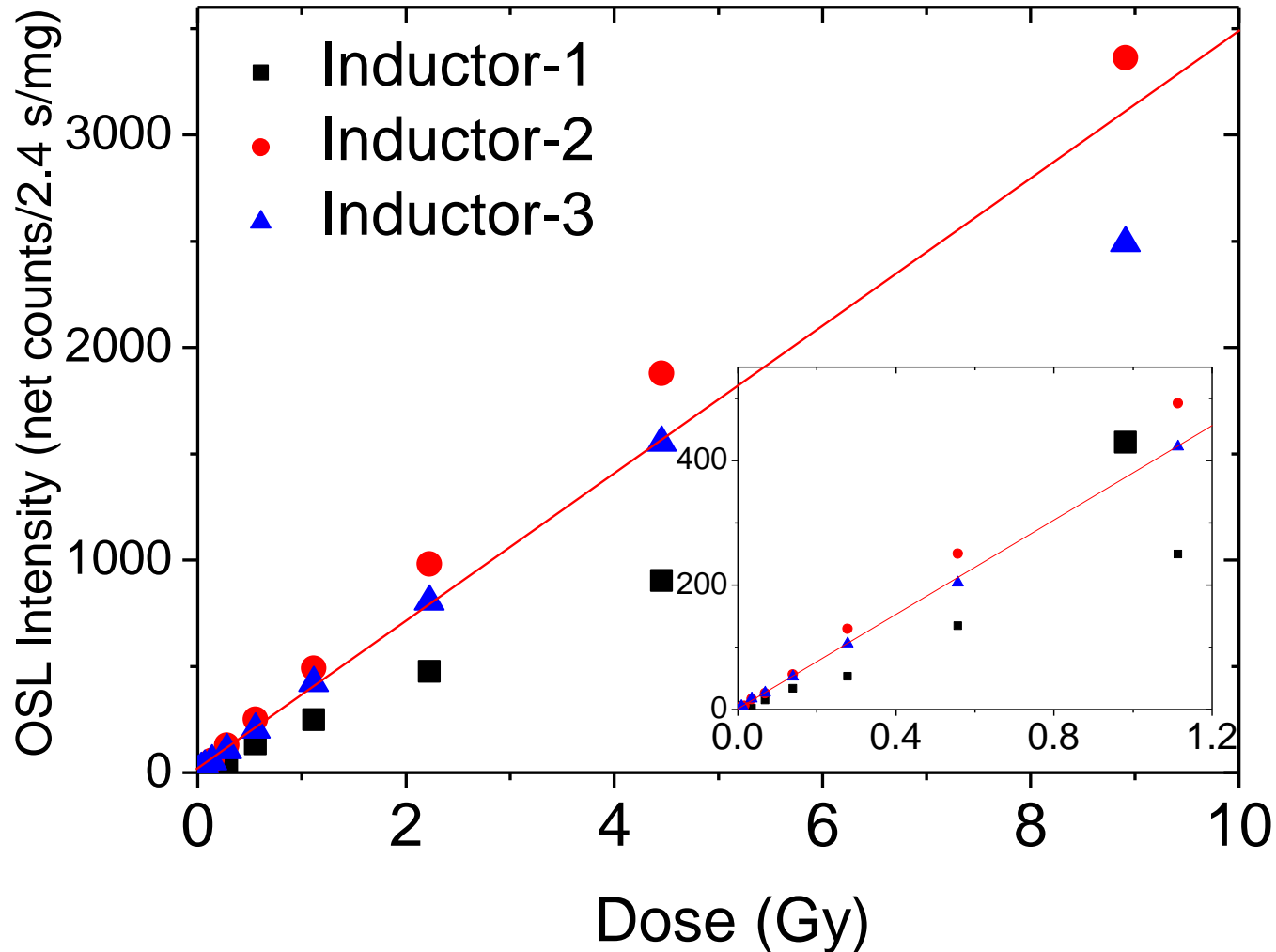
## OSL decay curves of Inductors



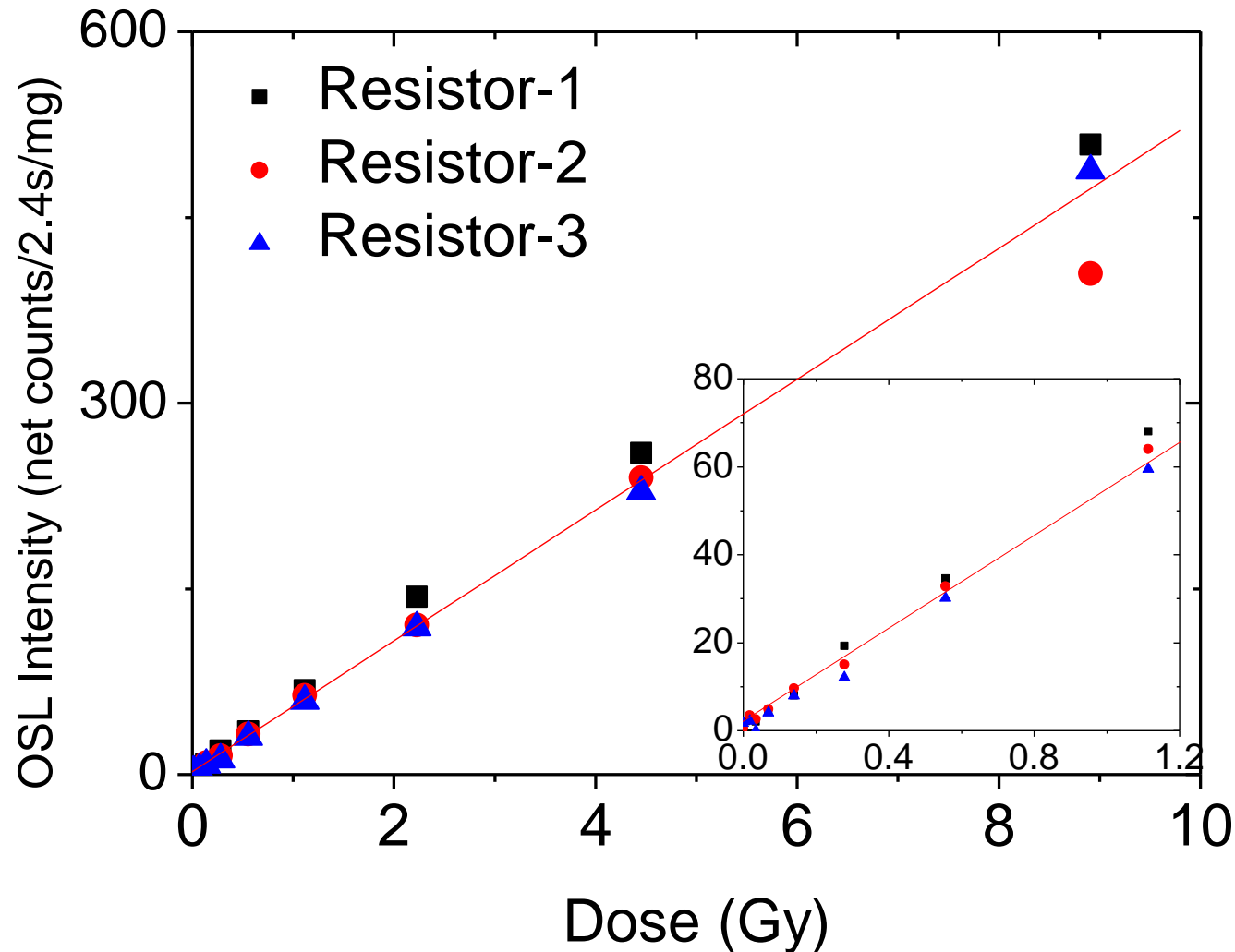
## OSL decay curves of Resistors



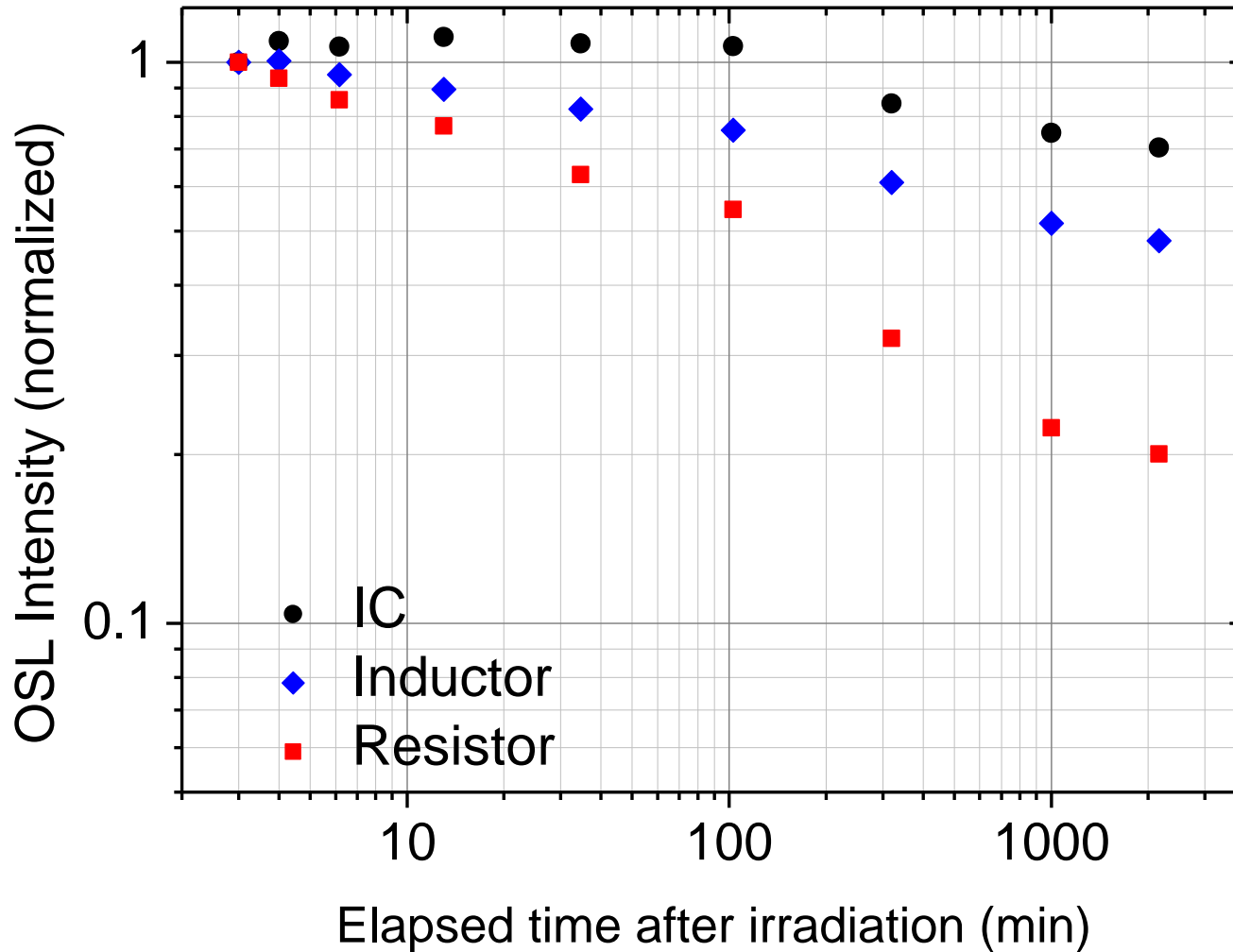
## Dose response curves of inductors



## Dose response curves of resistors



## Fading of OSL signal



## Minimum detectable dose (MDD):

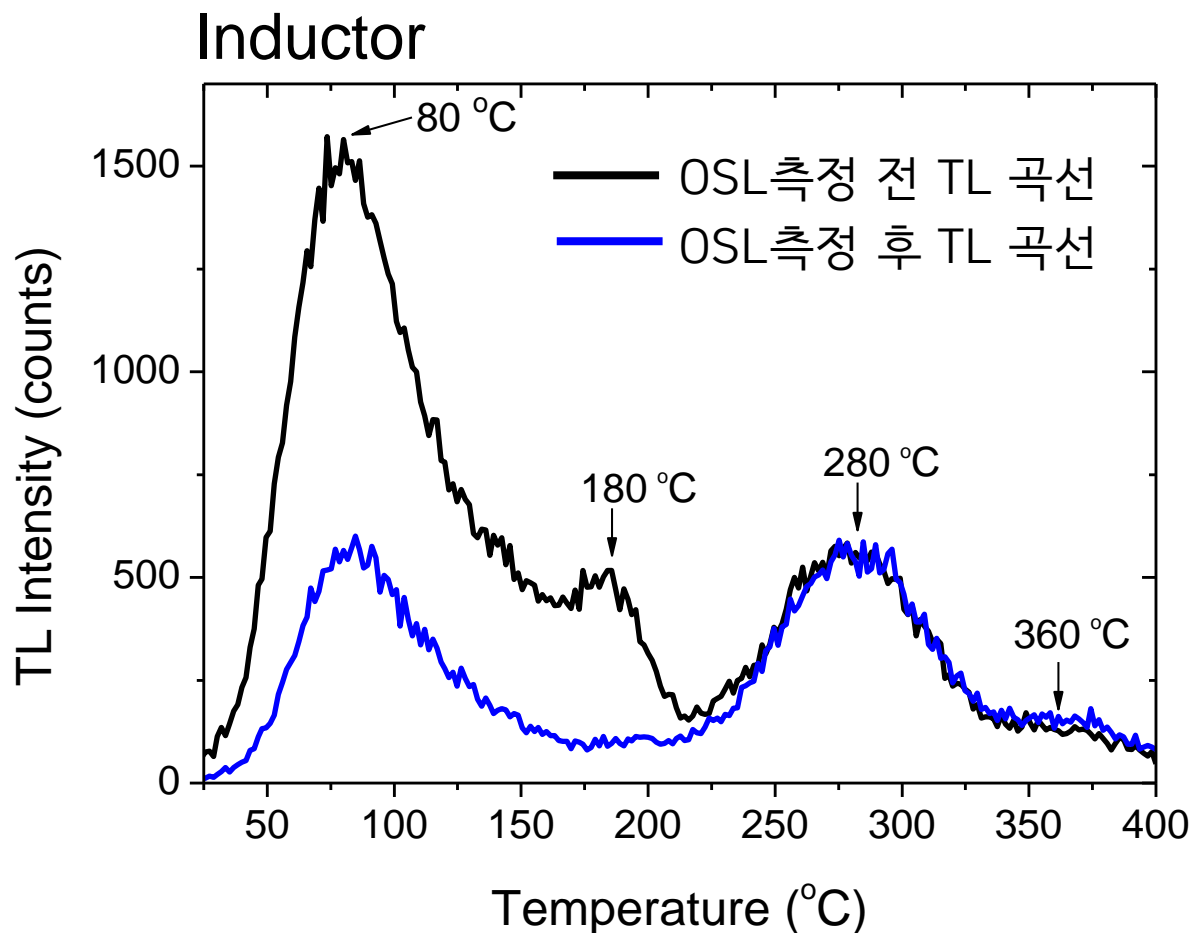
Three times of standard deviation of the 10 repeated measurements of background (readout of the unexposed samples).

Electronic component	Sensitivity (OSL/mGy/g)	MDD (mGy)
IC chip	9	14
Inductor	348	3
Resistor	66	7

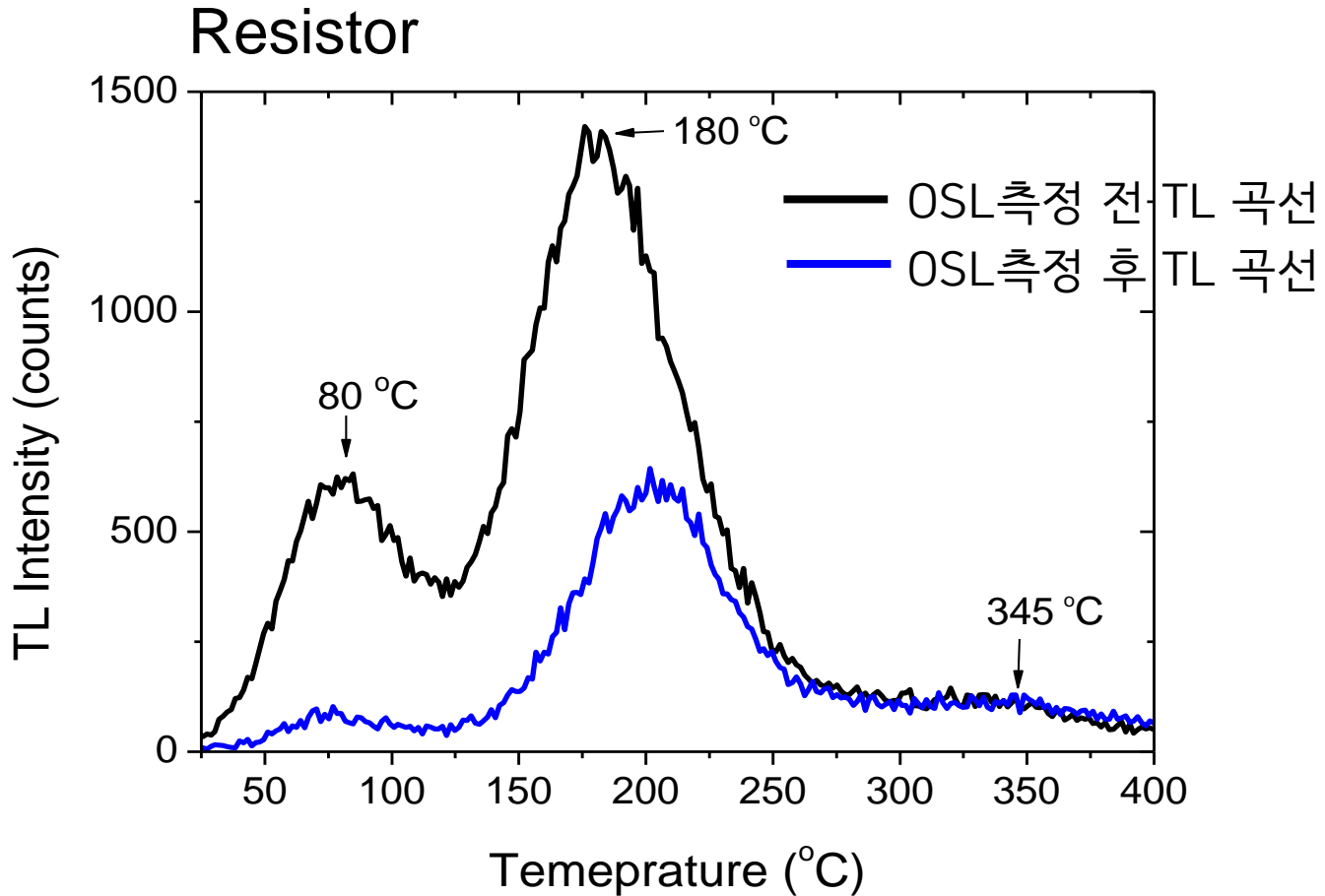


## OSL을 이용한 선량복원 후 “잔류 TL”을 이용한 선량 재평가

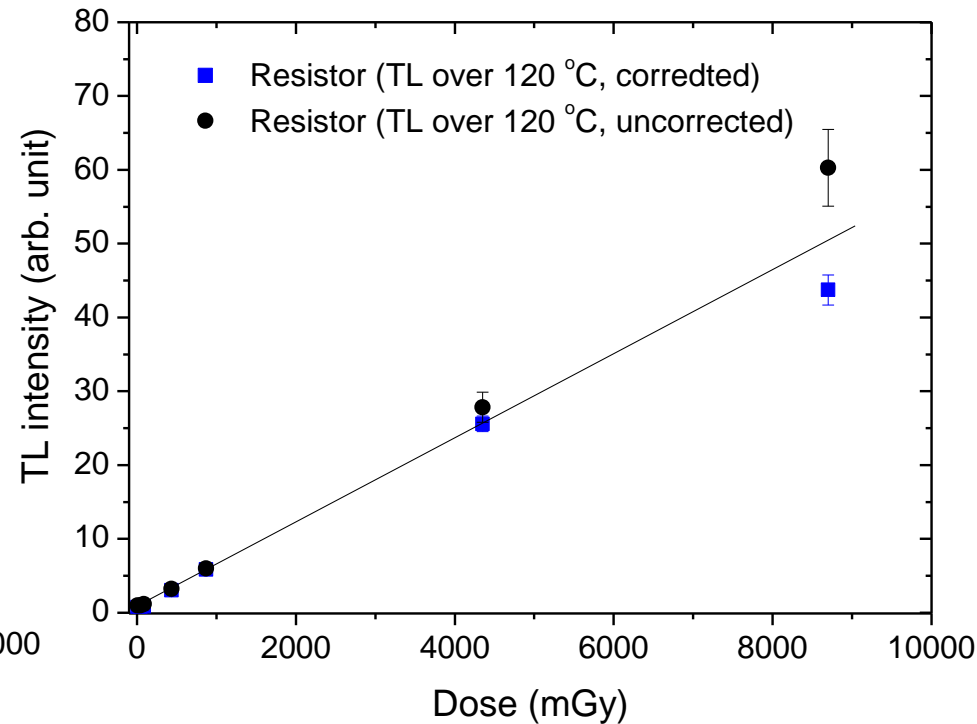
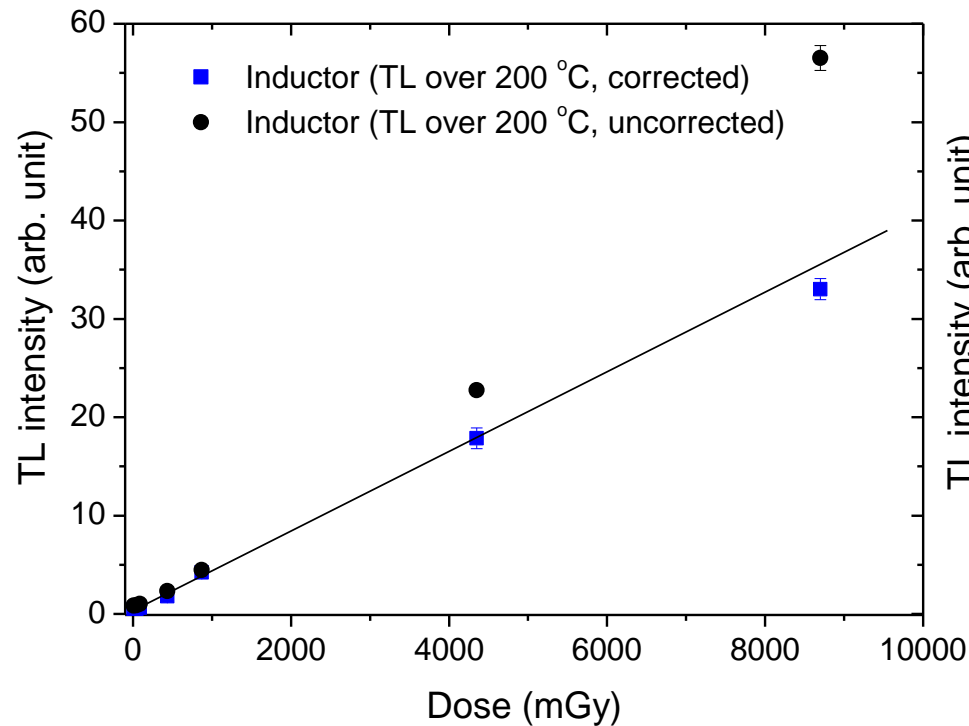
OSL측정 이후에도 TL 신호는 남아 있는 것에 주목



OSL을 이용한 선량복원 후 “잔류 TL”을 이용한 선량 재복원



## “잔류 TL”의 선량반응도 곡선(Dose response of “residual TL”)





## Protocol for dose re-estimation using inductor and resistor

- 1) Irradiation of the samples (nominal dose)
- 2) OSL measurements for 100 s
- 3) Reference dose ( $D_R$ ) irradiation for calibration factor of the OSL signal
- 4) OSL measurements for calibration factor
- 5) TL measurements for dose re-estimation ( $TL_{re-estimation}$ )
- 6) Reference dose ( $D_R$ ) irradiation for calibration factor of the TL signal
- 7) OSL measurement
- 8) Reference dose ( $D_R$ ) irradiation again
- 9) OSL measurement
- 10) TL measurements for calibration factor ( $TL_R$ )

$$\begin{aligned} D_{reestimated} &= TL_{reestimated} \text{ (counts)} \cdot CF \left( \frac{\text{mGy}}{\text{counts}} \right) - DR(\text{mGy}) \\ &= TL_{reestimated} \text{ (counts)} \cdot (DR + DR)/TL_R \left( \frac{\text{mGy}}{\text{counts}} \right) - DR(\text{mGy}) \end{aligned}$$



## OSL을 이용한 선량평가 및 “잔류 TL”을 이용한 선량 재평가

unit : mGy				
	Inductor		Resistor	
Nominal dose (N.D.)	Estimated dose with OSL (S.D) (N.D.)	Re-estimated dose with the “residual TL” (S.D) (N.D.)	Estimated dose with OSL (S.D) (N.D.)	Re-estimated dose with the “residual TL” (S.D) (N.D.)
<b>305</b> <b>(1.00)</b>	245 (1.7) <b>(0.80)</b>	236 (33.0) <b>(0.78)</b>	320 (18.3) <b>(1.05)</b>	338 (30.4) <b>(1.11)</b>
<b>1700</b> <b>(1.00)</b>	1483 (18.6) <b>(0.87)</b>	1482 (33.2) <b>(0.97)</b>	1981 (12.0) <b>(1.17)</b>	1298 (7.5) <b>(0.76)</b>
<b>3300</b> <b>(1.00)</b>	3142 (56.3) <b>(0.95)</b>	3031 (96.6) <b>(0.92)</b>	3351 (17.7) <b>(1.02)</b>	2778 (34.8) <b>(0.84)</b>
S.D : Standard Deviation N.D.: Normalised dose to the nominal dose				



# EURADOS

(European Radiation Dosimetry Group)

## The European Radiation Dosimetry Group

We are a network of more than 50 European institutions (Voting Members) and 200 scientists (Associate Members).

Our activities encompass:

- coordination of working groups which promote technical development and its implementation in routine work which contribute to compatibility within Europe and conformance with international practices
- organization of scientific meetings and training activities
- organization of intercomparisons and bench mark studies



## Aims

As a non-profit organization we promote research and development and European cooperation in the field of the dosimetry of ionizing radiation.

We maintain a network which includes experts, reference and research laboratories, and dosimetry services. This enables appropriate specialist groups to be formed in a timely manner to solve problems or promote research identified within EURADOS or upon request from external bodies.

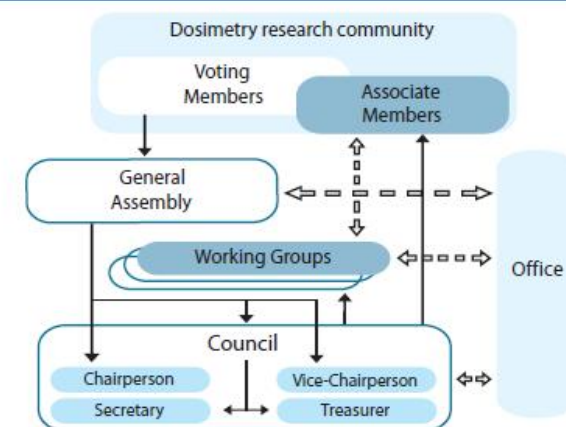
## Areas of Activity

- Individual monitoring for external exposure
- Individual monitoring for internal exposure
- Retrospective dosimetry
- Environmental radiation monitoring
- Diagnostic and interventional radiology
- Nuclear medicine
- Radiation therapy
- Computational dosimetry

## Working Groups (Status 2010)

- WG2: Harmonization of individual monitoring in Europe
- WG3: Environmental dosimetry
- WG6: Computational dosimetry
- WG7: Internal Dosimetry
- WG9: Radiation protection dosimetry in medicine
- WG10: Retrospective dosimetry
- WG11: High energy radiation fields
- WG12: European Medical ALARA Network

## Structure of EURADOS



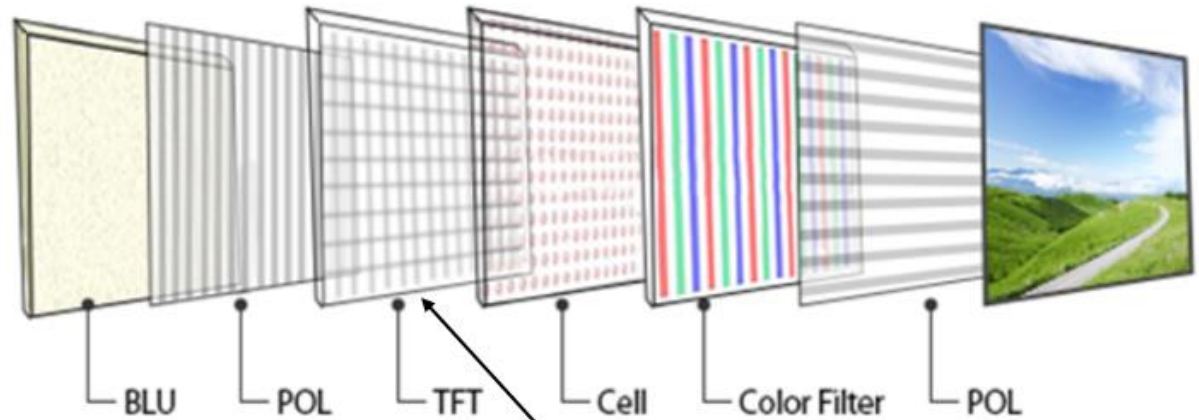


# 휴대전화 디스플레이 유리를 이용한 선량복원



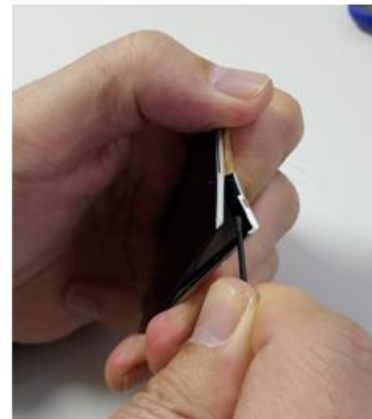


# 휴대전화 디스플레이 유리를 이용한 선량복원

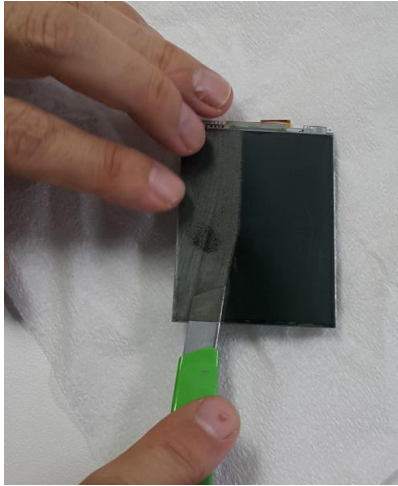


Retrospective dosimetry 사용부  
(Backside glass)

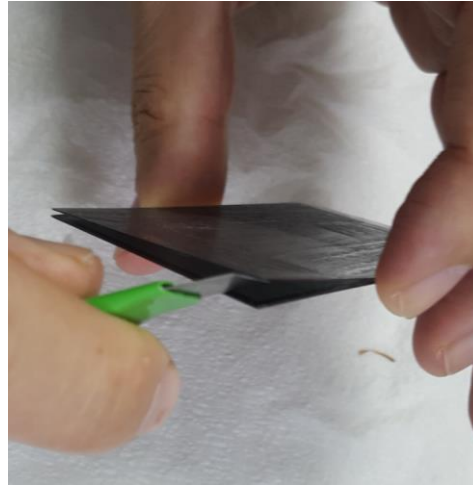
# 휴대전화 디스플레이 유리를 이용한 선량복원



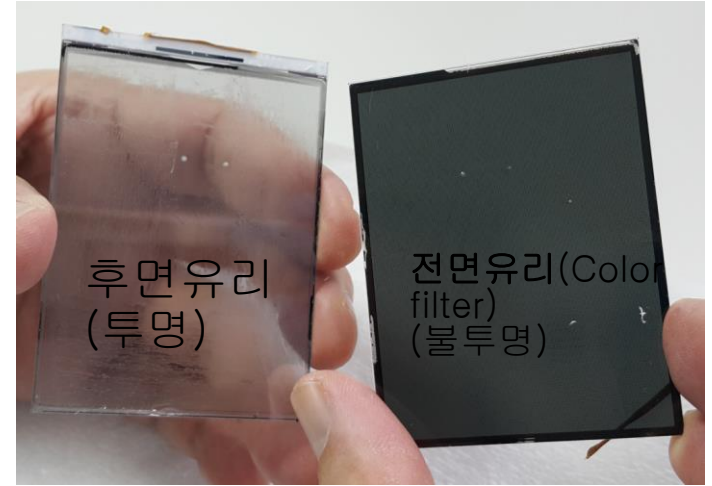
# 휴대전화 디스플레이 유리를 이용한 선량복원



편광필터 제거



후면유리 분리

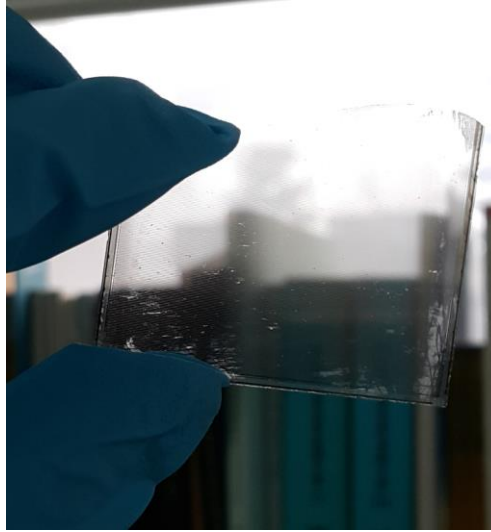


분리된 후면유리

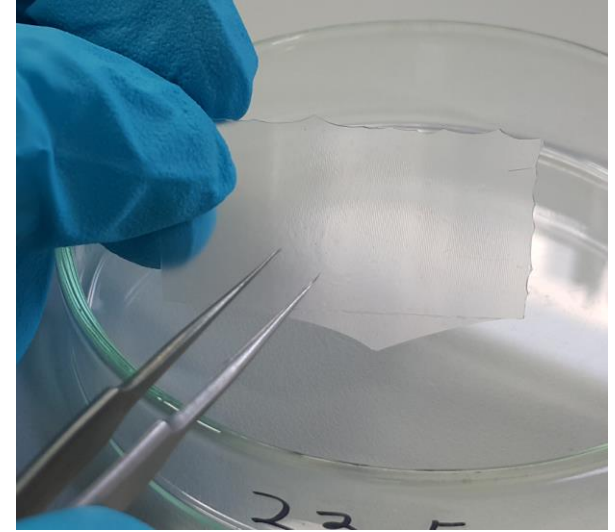
# 휴대전화 디스플레이 유리를 이용한 선량복원



글루 제거  
(에탄올이용)



유리표면 식각처리  
(불산이용)



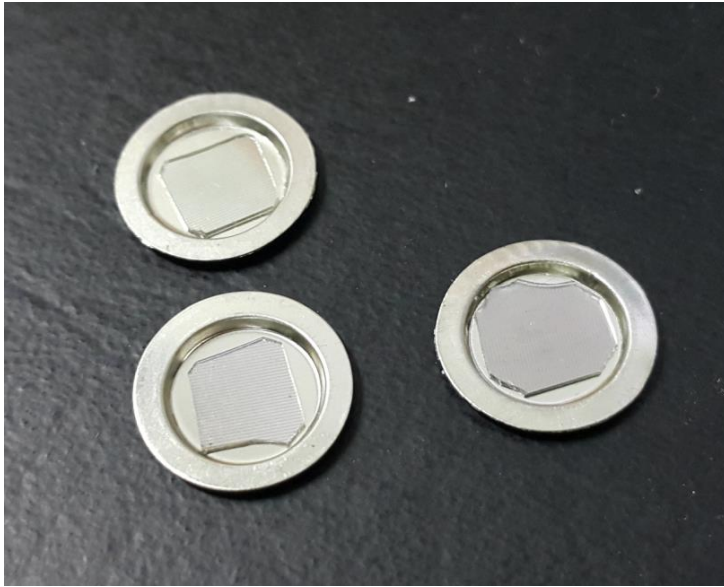
유리표면 세척  
(에탄올, 증류수)



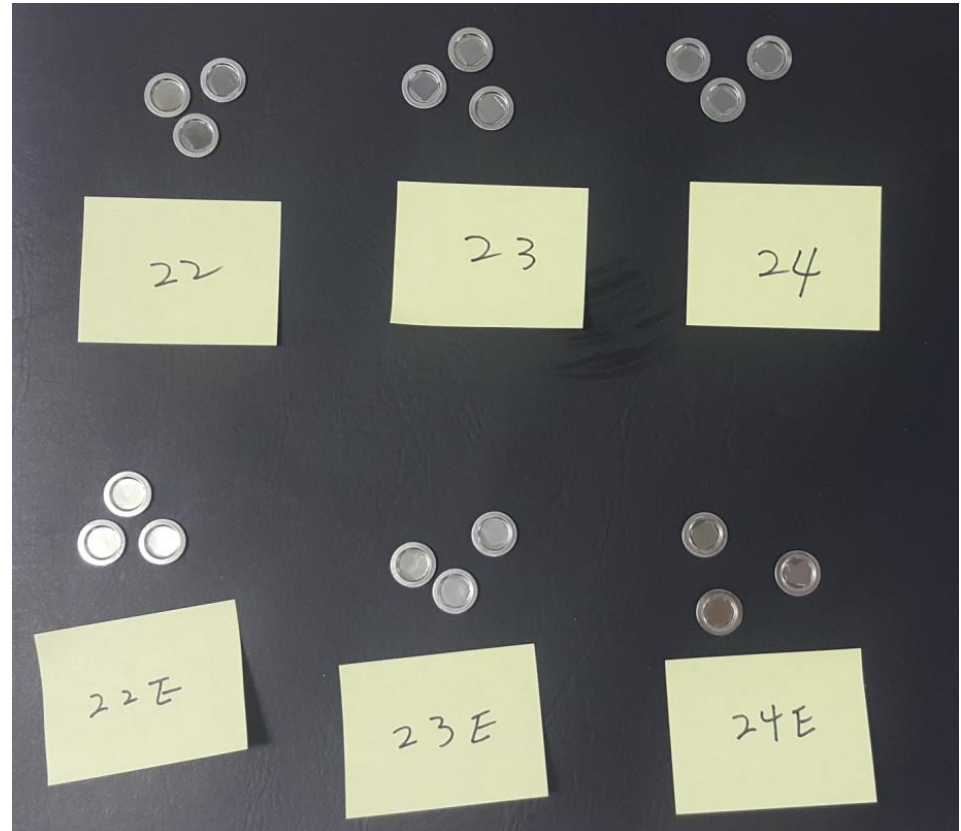
시료준비 완료  
(절단 후 시료홀더 장착)



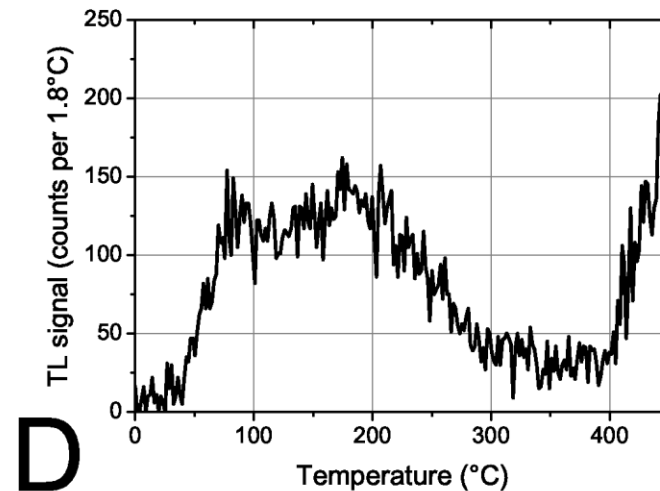
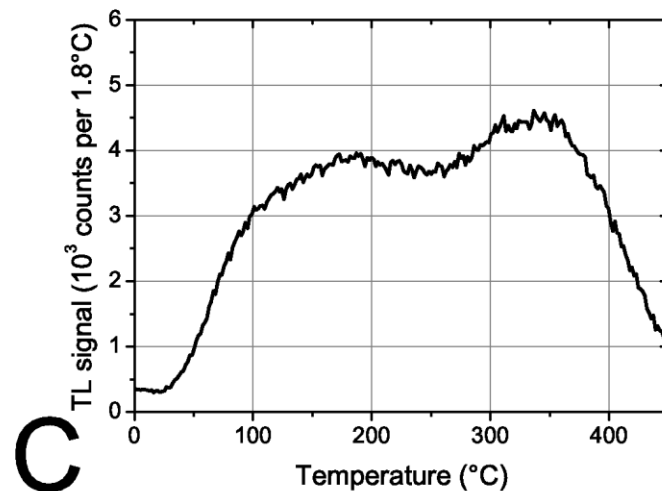
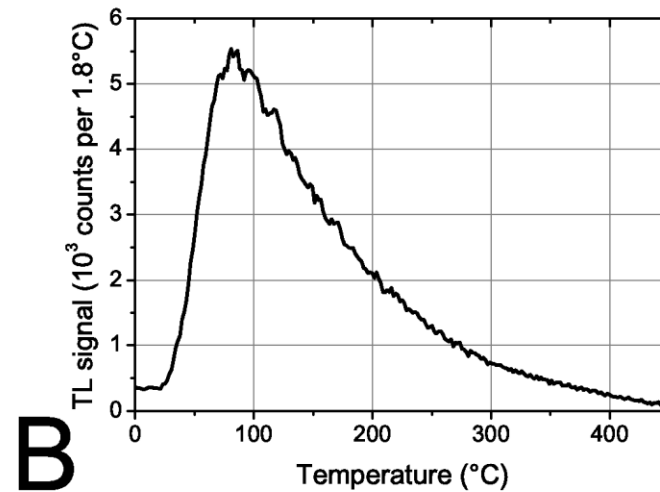
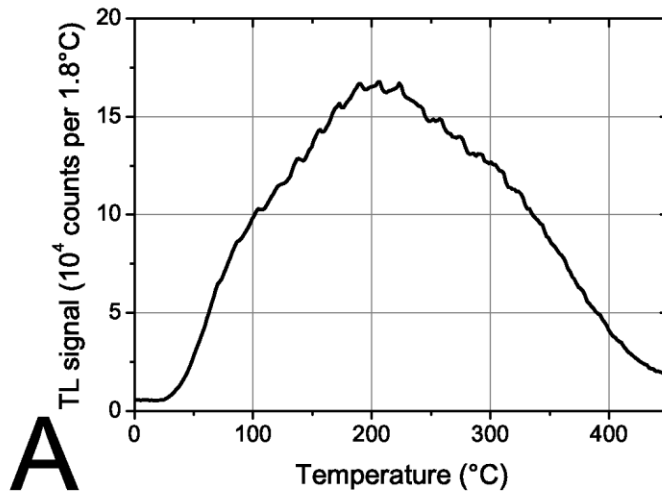
# 휴대전화 디스플레이 유리를 이용한 선량복원



시료준비 완료  
(절단 후 시료홀더 장착)



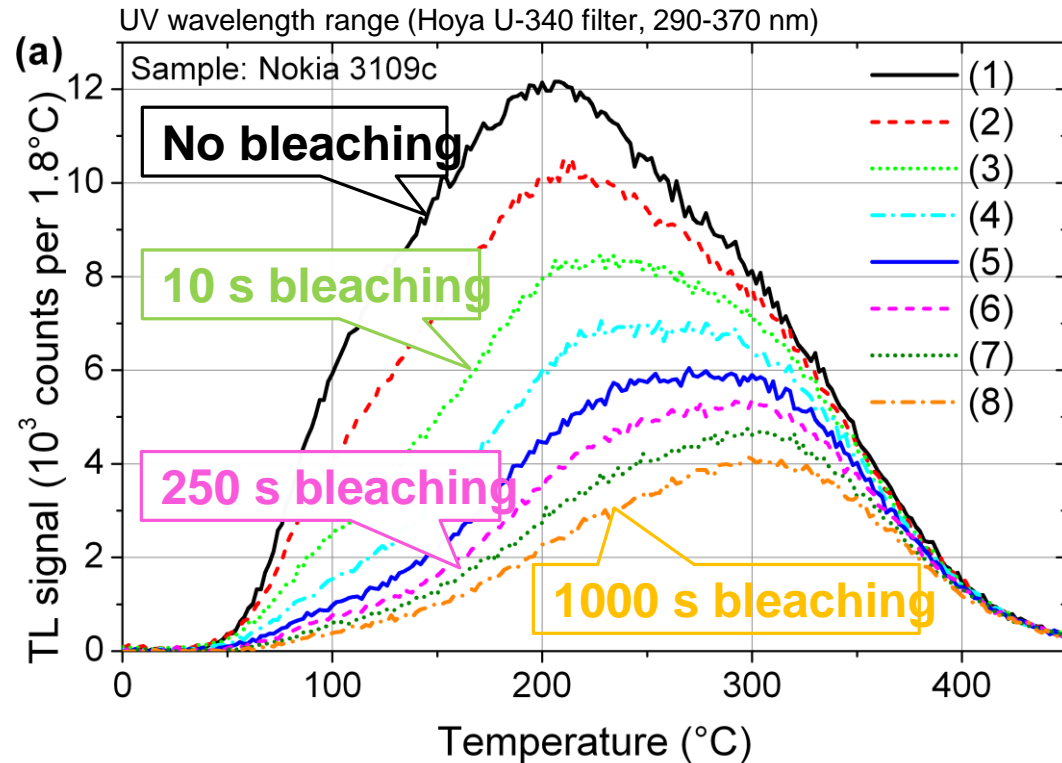
- TL glow curves of LCD display glasses



# ● Optical stability

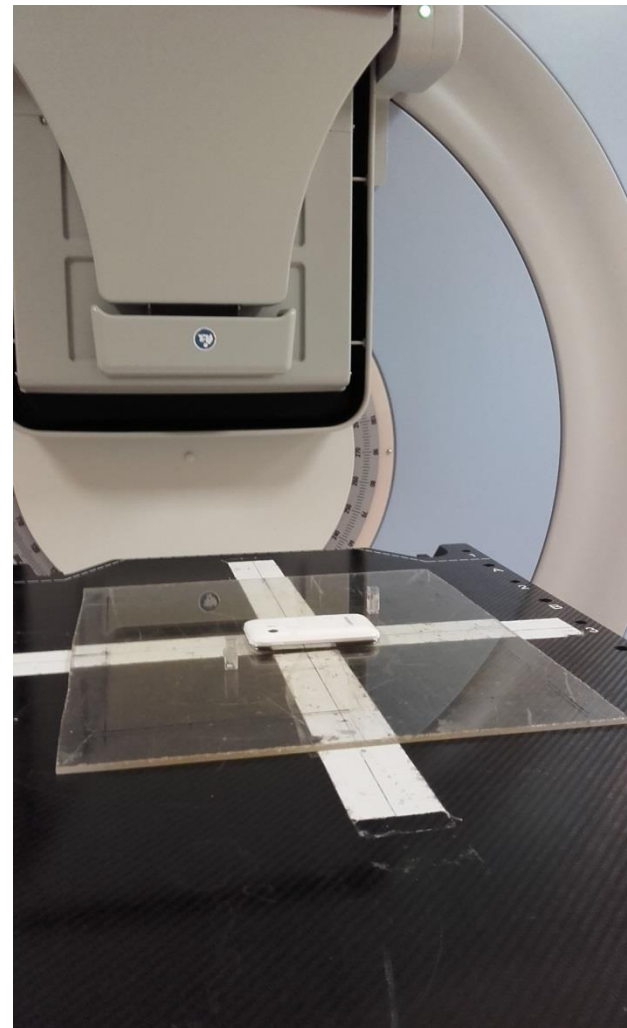
Light exposure times with blue LEDs of the TL reader (470 nm; 36 mW/cm<sup>2</sup>):

- (1) 0 s
- (2) 2 s
- (3) 10 s
- (4) 40 s
- (5) 120 s
- (6) 250 s
- (7) 500 s
- (8) 1000 s

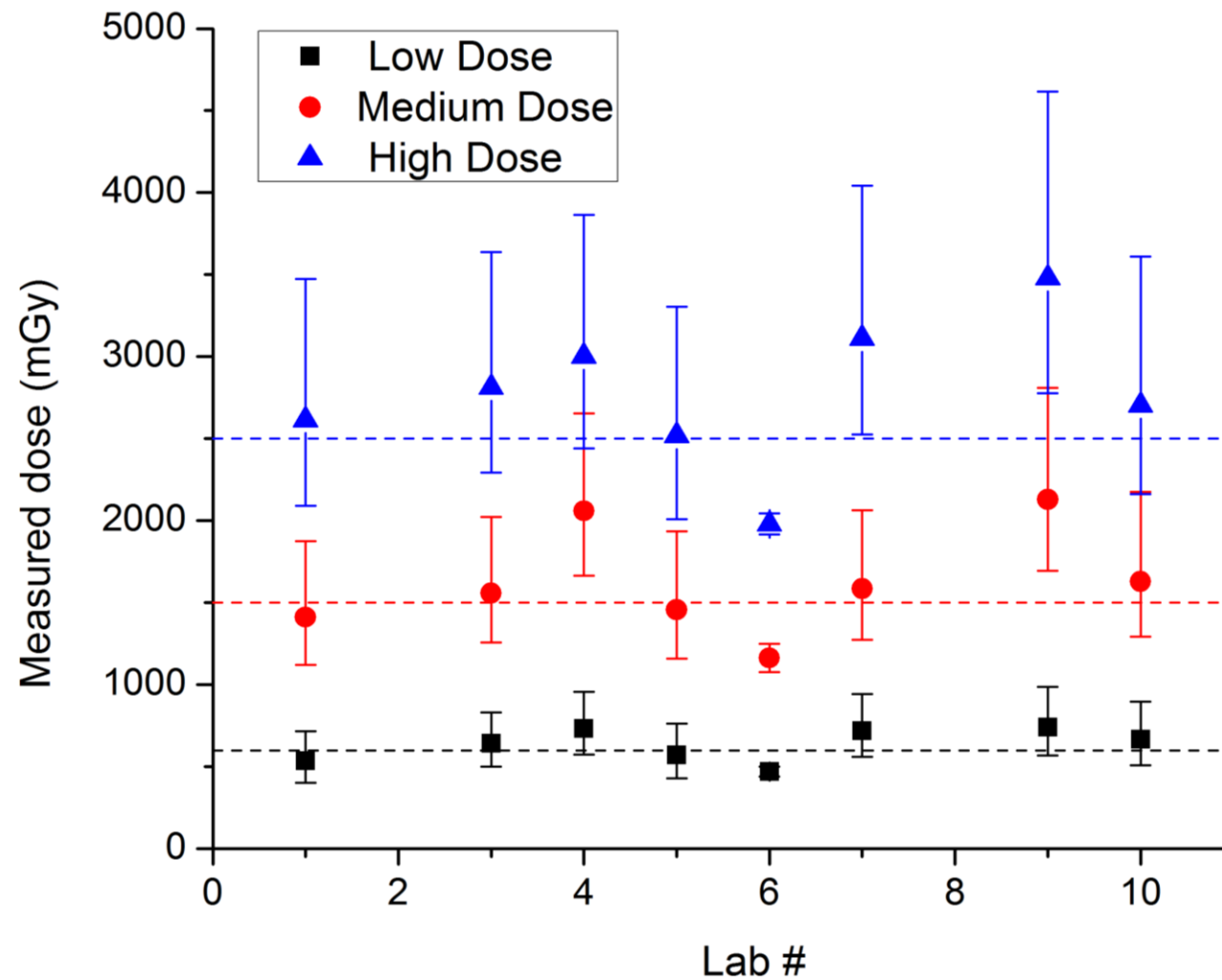




## Irradiations at IRSN (2016. 01. 21)



## Results- display glass (etched)



- 전자기기(휴대용 포함) 내부의 저항소자, 인덕터, 디스플레이 유리 등 전자기기 구성물질의 TL/OSL 현상을 이용하여 방사선 사고시 인위적 선량계가 없는 경우에도 누출 및 피폭선량 평가가 가능하다.
- 현대사회에서 전자기기는 거의 어디에나 있는 것이므로 실제 방사선 사고시 누출선량 평가에 성공할 가능성이 매우 높다.
- 또한, 방사선에 대한 감도가 비교적 높아 비교적 저선량 피폭시에도 평가가 가능하다 (MDD < 10 mGy).
- 그러나 인체에 대한 직접적인 선량평가가 아니라는 점 등 향후 극복해야 할 문제점도 안고 있다

- 실제 사고시, 생물학적 선량평가 기법 및 EPR 기법 등과의 장단점 차이가 있으므로 목적에 따라 이러한 기법들을 상호 보완적으로 적용할 필요가 있다.
  - ex) 사고 초기에 TL/OSL기법으로 과피폭자를 신속히 구분하여 의료기관으로 이송하면 의료기관에서는 각각의 환자에 대해 생물학적 선량평가법을 적용하여 피폭선량을 평가하고 필요시 지속적 치료
- 이를 위해 국내외 각 전문기관간 주기적인 정보 교환과 상호비교 연구를 수행할 수 있는 상호 협력체를 구성하는 것이 시급하다.
  - 국내: “사후방사선량평가 네트워크” 구성됨
  - 국제: EURADOS 활동(적극적 참여가 필요함)
    - 한·중·일 사후방사선량평가 네트워크 (구체적 노력필요)

# 향후 필요한 연구



- 대규모 사고 또는 테러 상황시 최단시간내에 피폭자를 구분하고, 피폭이 없는 사람에 대해서는 이를 확인시켜줄 수 있는 “신속 선량복원 시스템”을 갖추출 필요가 있다 (의료처치를 위한 시설 및 인력은 제한적임).
- 새로운 방사선 표지자를 발굴하여 선량복원의 가능성을 최대한 높일 필요가 있다.
- 표지물질선량을 인체피폭선량으로 환산하는 기술
- 표지물질별 방사선반응특성을 DB화하여 신속한 판독에 활용
- 원자력 시설이 상당히 밀집된 아시아에도 EURADOS와 같은 기구를 마련하여 대규모 방사선 사고나 테러에 대응할 준비를 갖추는 것이 필요하다.



감사합니다.