

## 개인선량 측정용 유리線量計의 기본특성

石川達也\*  
村上博幸\*\*  
南賢太郎\*\*\*

유리선량계는 데이터의 보존성이나 안정성 등으로 우수한 특성을 지니고 있다. 최근에 질소가스레이저를 이용한 자외선 勵起法의 개발에 의해, 결점으로 되어 있는 프레도우스(pre-dose) 등의 여러 문제가 해결되어 선량측정에 관한 성능과 판독조작이 현저히 개선되었기 때문에, 개인선량계로서의 이용이 크게 기대되고 있다. 원자력연구소에서는 이 유리선량계에 착안하여 실제적 개인모니터링(monitoring)에의 도입을 목적으로 한 각종기본특성을 조사했기에 여기 소개한다.

### 1. 머리말

유리선량계는, 그 檢出子인 銀活性 磷酸鹽 유리가 방사선이 曝射된 후 자외선 勵起에 의해 방사선의 선량에 비례하는 오렌지색 螢光을 발하는 것(라디오포토루미네선스: RPL)를 이용한 고체선량계로, 방사선피폭으로 생긴 螢光中心이 판독조작(자외선照射)에 의해 소멸되는 일이 없고, 몇번이나 반복하여 판독할 수가 있으며, 또한 용이하게 선량의 加算이 가능하다는 특징이 있다. 또한 유리는 溶融하여 제작되기 때문에 均質性이 뛰어나고, 유리素子間의 특성의 불균형도 적으며, 退行(fading)도 무시할 정도로 적다는 이점이 있다. 이와 같이 유리선량계는 선

량계로서 뛰어난 특성을 지니고 있다. 그런데도 불구하고 종래에 유리선량계가 폭넓게 보급되지 않은 이유는 첫째 1~2mSv나 이르는 프레도우스(피폭전 발광량)를  $\pm 50 \mu\text{Sv}$ 의 精度 밖에 측정할 수 없으며, 100 $\mu\text{Sv}$  이하의 低線量은 정확한 精度로 측정할 수 없었기 때문이다. 또한 유리素子 표면의 근소한 오염에 의한 螢光이 판독정도에 영향을 주기 때문에 판독전에 유리素子を 洗淨할 필요가 있다는 등의 문제도 있었다. 그러므로 그 동안 유리선량계가 본격적으로 개인모니터링에 이용되는 일이 우리나라에서는 거의 없었다.

그러나 최근 연속펄스 發振이 가능한 질소 가스레이저를 이용한 자외선 勵起法의 개발에 의해 앞의 문제가 해결되어, 低線量域의 高精度 측정 및 판독자 동화가 가능하게 되어 개인선량계로서의 이용이 크게 기대하게 되었다.

원자력연구소에서는 근래 방사선업무 종업자가 증가함에 따라 종래의 필름벤티지를 이용한 개인피폭 관리방법으로는 현상, 측정, 선량보고서 製作 등 일련의 개인관리업무의 신속처리가 곤란하여 측정의 자동화, 데이터 처리의 고속화가 긴급하고 중요한 과제로 되어 있다. 따라서 데이터의 보존성, 안정성, 자동화 가능 시스템 등의 특징을 가

\* Tatsuya Ishikawa 일본원자력연구소 東海연구소 보건물리부 선량계측과(현재 東芝硝子)

\*\* Hiroyuki Murakami 일본원자력 연구소 東海연구소 보건물리부 선량계측과 과장대리

\*\*\* Kentaro Minami 일본원자력연구소 東海연구소 보건물리부 차장/선량계측과 과장

진 유리 선량계를 이용하여 개인피폭관리의 합리화, 신속화, 精度의 향상을 도모하기 위해, 이 유리선량계를 개인선량계로 사용할 경우의 기본특성을 조사하고, 나아가서 개인선량 측정관리의 시스템화를 검토했다. 그 내용을 다음과 같이 소개한다.

## 2. 유리선량계

개인선량측정용 유리선량계(타입 GD-403)는  $\gamma$ 선, X선 및  $\beta$ 선 등 線質이 다른 방사선을 동시에 분리측정할 수 있는 측정기다. 분리측정에는 透過率이 다른 각종 필터를 사용하여, 이것으로 얻어지는 각 필터 밑에 있는 유리부분의 螢光檢出量의 차에서 演算에 의해 각 線種의 線量當量 및 에너지를 산출하는 절차가 되어 있다. 또한 필터를 바꿈으로써 熱中性子の 측정이 가능한 타입(타입 GD-402)도 준비되어 있다.

### 2.1 구조

유리선량계(GD-403)는 한 장의 가늘고 긴 34mm×12mm×1.5mm의 유리素子が 최대 네 종류의 필터를 짜넣은 캡슐 안에 수납한 구조로, 바깥 치수는 60mm×26mm×9mm이다. 유리素子에는 素子ID로서 24비트의 2진 부호(binary code), 선량계 캡슐의 부에는 선량계ID로서 14자리수의 바코드(bar code)가 설치되어 있고, 착용자와 선량계의 동시측정이 정확히 실시될 수 있다.

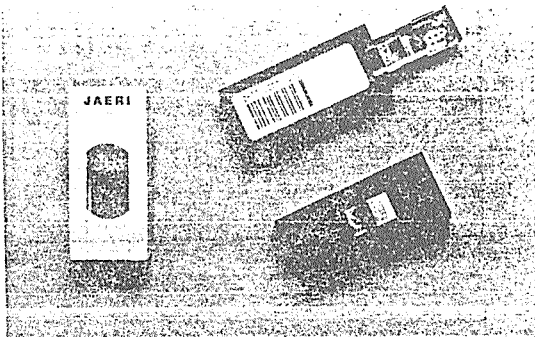


Fig.1 유리線量計(Gd-403)

(Fig.1 참조) 또한 이 유리선량계를 연속적으로 자동판독하기 위한 선량계리더(타입: FGD-502)는 Fig.2와 같다.

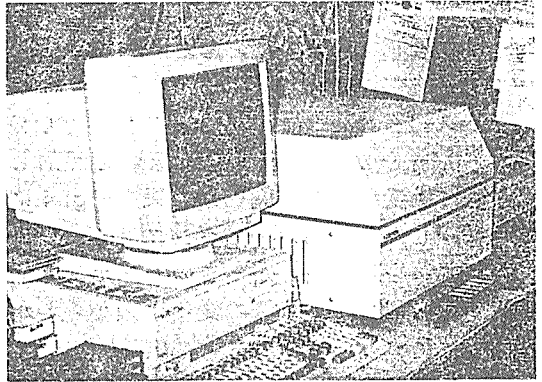


Fig.2 유리線量計리더 (타입 FGD-502)

### 2.2 측정원리

#### (1) $\gamma$ 선·X선

Sn(주석)와 Al(알루미늄)의 두 종류 필터를 사용하여, 두 필터 밑의 유리부분에 있는 螢光檢出量을 일정한 비율에 의해 가산함으로써 1cm線量當量을 산출한다. 또한 형광검출량의 比에서 150keV이하의 에너지를 추정한다.(이 결과를 바탕으로 3mm선량당량과 70 $\mu$ m선량당량도 산출할 수 있다.) 실제상의 선량측정범위는 10 $\mu$ Sv에서 10Sv이다.

#### (2) $\beta$ 선

두께가 다른 두 장의 Polyethylene Terephthalate(PETP) 필름필터를 사용하여, 두 필터 밑의 유리부분의 형광검출량에서 각각  $\gamma$ , X선의 寄與分을 공제한 후, 양자의 比에서 우선  $\beta$ 선 에너지를 추정한다. 다음으로 그  $\beta$ 선에너지에 대한 유리素子の 감도에서  $\beta$ 선량(70 $\mu$ m선량당량)을 산출한다. 또한  $\beta$ 선과  $\gamma$ ·X선의 混在判定은, PETP( $\beta$ + $\gamma$ 透過)와 Al( $\gamma$ 만의 透過)의 필터 밑에 있는 素子部分의 螢光檢出量의 比를 사용하여 실시한다.  $\beta$ 선의 선량측정범위는 100 $\mu$ Sv에서 10 Sv이다.

### 3. 유리선량계의 기본특성

유리선량계의 개인선량계로서의 기본특성 시험은 일본공업규격(JIS) 「X선 및  $\gamma$ 선용 형광유리 선량계측장치」(JIS Z4314)<sup>(1)</sup>에 의거 실시했다. 照射는 유리선량계를 전용홀더에 짜넣은 상태로 JIS판통 상에 설치하여, 원자력연구소의 표준조사시설의 X선발생장치,  $\gamma$ 선발생장치 및  $\beta$ 선조사장치를 사용하여 실시했다. 유리선량계의 판독은 이 선량계의 조사후에 발생하는 변화특성을 고려하여 照射종료후 24( $\pm 4$ )시간 후를 기준으로 하여 실시했다.<sup>(2)</sup> 판독시 리더의 레이저펄스수는 통상 50으로 하였다. 또한 리더 교정은  $^{137}\text{Cs}-\gamma$ 선을 일정선량 기준조사한 유리선량계를 사용하여 리더내부에 설치한 교정용 유리素子の 값을 구함으로써 실시되었다. 이하 특성시험결과를 소개한다.

#### (1) 선량계간의 격차

유리선량계를 판통 위에 설치하여  $\gamma$ 선( $^{137}\text{Cs}$ )를 조사했을 때의 변동계수(각각 10개의 선량계에 대한 표준편차/평균치)를 선량당량의 모든 값에서 구한 결과를 Fig.3에 표시한다. 변동계수는 0.1mSv로 2.5%, 0.3mSv 이상으로는 1.5%이하여서 선량계간의 격차가 적고 均一性이 두드러진다.

#### (2) 선량直線性

유리선량계를 판통 상의  $\gamma$ 선( $^{60}\text{Co}$ )에 의해 0.1mSv에서 1Sv까지의 선량을 照射한 경우

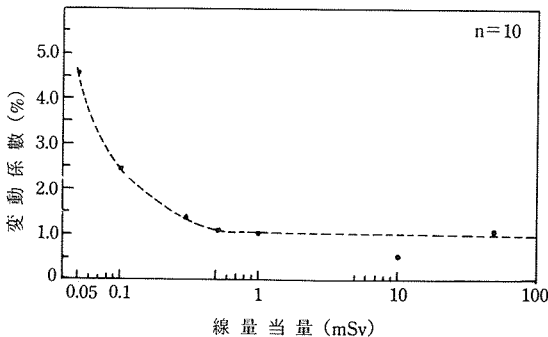


Fig.3 선량計間의 격차

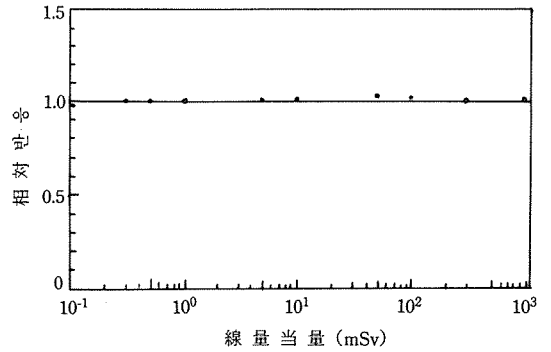


Fig.4 선량直線性 ( $^{60}\text{Co}-\gamma$ 線)

의 선량직선성을 조사한 결과를 F.4에 표시한다. 같은 도표 중의 상대반응은 1mSv의 반응을 기준으로 할 때의 반응비를 나타낸다. 상대반응의 변화는 도표에서 알 수 있듯이  $\pm 5\%$ 이내이며, 광범위의 선량에 대해 精度가 좋은 측정을 할 수 있다는 것이 확인되었다.

#### (3) $\gamma \cdot X$ 선에 대한 에너지특성

유리선량계를 판통 상에 설치하여 光子( $\gamma \cdot X$ 선)에 대한 에너지특성을 조사한 결과를 Fig.5에 표시한다. 30keV에서 1,250keV의 에너지 범위내에서는 1cm선량당량 반응은  $^{137}\text{Cs}$ 를 기준으로 하여  $\pm 10\%$  이내였다.

#### (4) 방향특성

유리선량계를 판통 위에 설치하여 정면을  $0^\circ$ 로 하여, 상하좌우  $90^\circ$ 까지의 入射 방향특성을 조사했다.  $\gamma$ 선 ( $^{60}\text{Co}$ )에 대한 방향특성

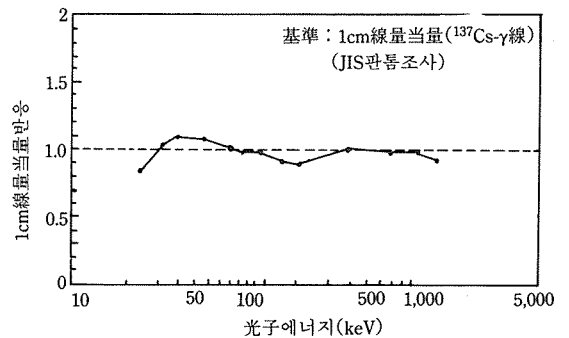


Fig.5  $\gamma \cdot X$ 線の 에너지 特性

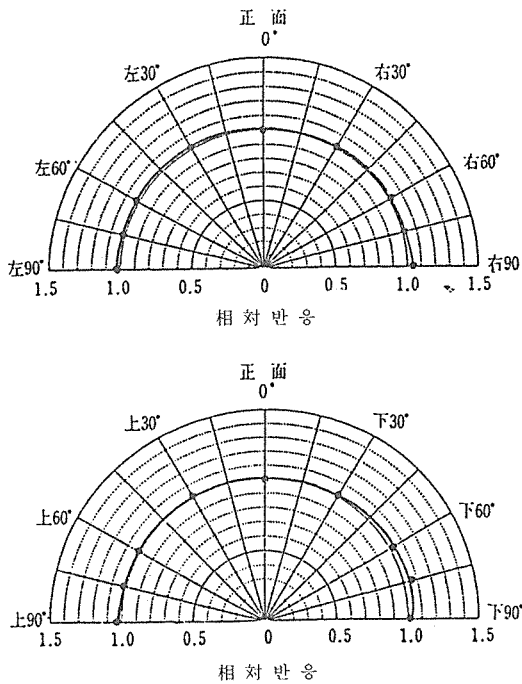


Fig.6  $\gamma$ 線의 方向特性( $^{80}\text{Co}-\gamma$ 線)

의 예를 Fig.6에 표시한다. 정면에서 상하좌우 90°방향의 범위에서의 상대반응은  $\pm 10\%$  이내임이 판명되었다. 한편 80keV X선에 대한 방향특성도 정면에서 좌우 60° 방향, 및 상하 45°방향의 범위이며 정면에 대해  $-30\%$ 이내여서 양호한 것이었다.

#### (5) 經過時 變化特性

유리선량계는 반복하여 판독된다는 특징을 이용하여, 동일한 유리선량계에 대해 常溫으로 1년간 경과한 변화특성을 조사한 결과를 Fig.7에 표시한다. 照射한 선량치는 6 mSv이며, 또한 시험에 임해서는 자연피폭에 의한 增量分을 고려하여 배경(BG)용 유리선량계를 준비하여, 그것을 공제했다. 도표안의 상대치는 24시간 후의 실질적 측정치에 대한 각 경과시간에 있어서의 실질적 측정치의 比를 나타낸다. 1년간을 통한 경과시간에 있어서의 변화는 수% 정도로 안정되어 있어 페딩(fading)이 없음이 판명되었다.

#### (6) 유리선량계 리더의 再現性

유리선량계 리더 (타입 FGD-502)에 관해 동일한 유리선량계를 반복하여 10회 판독했을 때의 변동계수와 선량당량과의 관계를 조사한 결과를 Fig.8에 표시한다. 또한 시험은 1회의 펄스(pulse)수를 50펄스 및 20펄스로 바꾸어 실시했다. Fig.8에서 알 수 있듯이 12 $\mu$ Sv에서 0.2mSv까지의 선량범위에서의 변동계수는 선량당량이 증가함에 따라 거의 指數函數的으로 감소하고 있다. 0.3 mSv 이상에서는 1%이하로 再現性이 좋은 것이 확인되었다. 또한 펄스수를 증가시킴에 따라 보다 精度가 높아지는 것이 판명되었다.

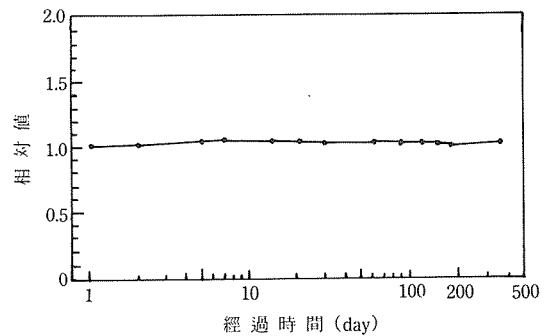


Fig.7 經時變化特性

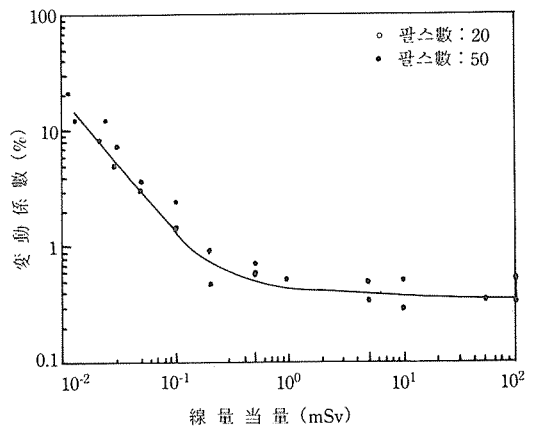


Fig.8 리더의 再現性

(7)  $\beta$ 선에 대한 에너지특성  
 판톰 위에 설치한 유리선량계에  $\beta$ 선을照射했을 때의  $70\mu\text{m}$ 선량당량의 에너지특성을 조사한 결과가 Fig.9에 나타나 있다.  $^{147}\text{Pm}$ 에서  $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 의  $\beta$ 선에너지(殘留 최대 에너지) 범위에 있어  $70\mu\text{m}$ 선량당량의 반응이  $\pm 20\%$  이내임이 확인되었다. 그러나  $^{147}\text{Pm}$ 으로서는 격차가 제법 크다.

(8)  $\beta$ 선에 대한 방향특성  
 판톰 위에 설치한 유리선량계의  $\beta$ 선( $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ )에 대한 방향특성을 조사한 결과, 정면( $0^\circ$ )를 기준으로 한 경우 좌우방향  $45^\circ$ 의 범위에서  $-30^\circ$ 이내였다. 일반적으로  $\beta$ 선의

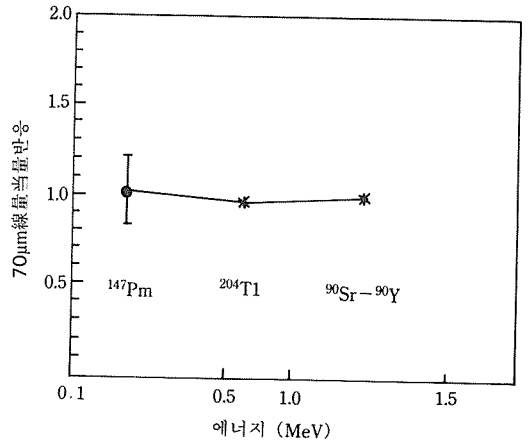
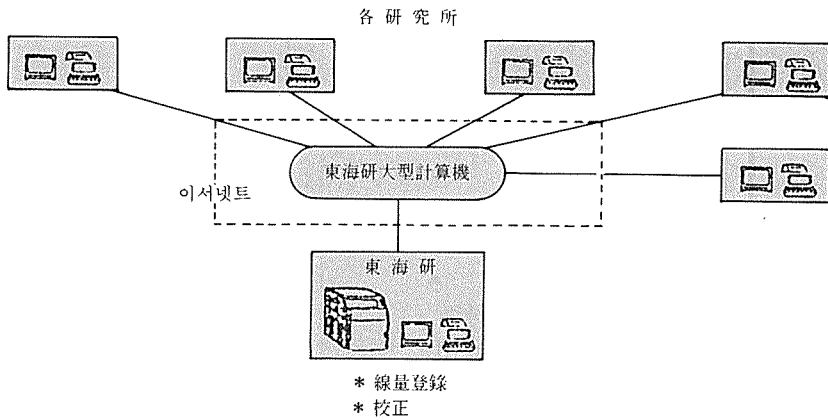


Fig.9  $\beta$ 線の 에너지 特性



유리선량計의 運用흐름도

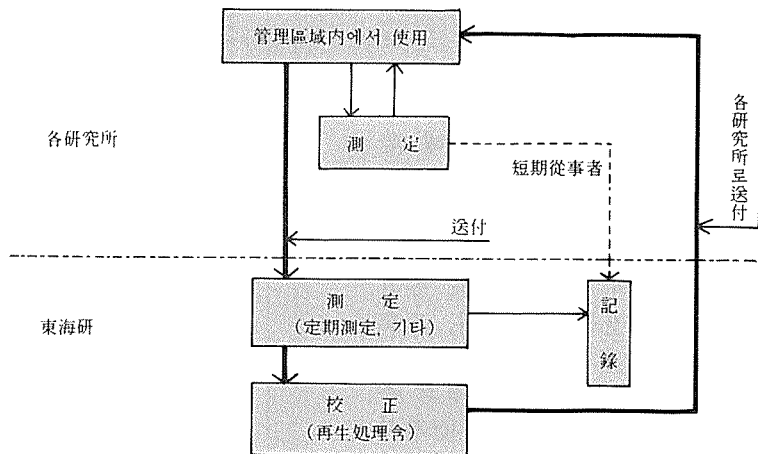


Fig.10 유리선량계에 의한 개인선량 측정관 리시스템 구축의 구상 (機器배치계획과 유리선량계시스템의 운용과정도)

방향특성은  $\gamma$ 선의 경우에 비해 반응의 저하가 두드러져 있다고 말할 수 있다.

이상 서술한 바와 같이 유리선량계 (CD-403)는 개인 모니터링용의 선량계로서의 뛰어난 특성을 지니고 있음이 확인되었다.

#### 4. 개인선량측정 관리시스템의 개요

현재 원자력연구소가 검토하고 있는 유리선량계를 사용한 개인선량 측정관리시스템의 개요를 간단히 소개한다. 그 개요도는 Fig.10에 나타나 있다.

원자력연구소는 東海연구소와 그 밖에 5개소에 분산된 연구소로 구성되어 있으며, 개인선량관리는 東海연구소에서 집중적으로 실시되고 있다. 그러므로 東海연구소에 대형의 자동측정 처리장치를 설치하여, 1개월(여자) 내지 3개월마다 정기측정과 기록에 대처하고 있다. 또한 基準照射설비에 의해 선량계의 교정 등의 필요한 업무를 실시한다. 또한 각 연구소에 유리선량계를 설치하여 短期外來 방사선 업무종사자의 피폭선량을 해당연구소에서 측정되도록 배려하여, 일상의 방사선관리 내지 각연구소에 있어서의 긴급시의 대응에 본시스템이 활용되도록 하였다. 뿐만 아니라 東海연구소의 대형 계산기를 통해 온라인화를 도모하여, 각 연구소의 방사선 관리담당자가 필요에 따라 피폭 기록을 이용할 수 있게 하는 등, 개인피폭관리 및 방사선관리의 합리화를 기하는 시스템을 검토하고 있다.

#### 5. 후기

이번 유리선량계를 개인선량계로서 이용할 경우의 기본특성에 대해 조사한 결과, 그 특성이 개인모니터링의 요건을 십분 충족하고 있음이 판명되었다. 또한 유리선량계는 반복하여 선량을 판독할 수 있으며, 처리없이 계속 사용이 가능한 유일한 積算型 선량계이다. 이와 같은 특수한 장점을 활용함으로써 작업구역마다 선량측정 등 고도의 개인선량 측정관리시스템의 실용화가 충분히 가능하다. 또한 원자력연구소와 같이 복수사업소의 집합체에 의해 구성되는 조직의 경우, 본시스템의 도입에 의해 개인선량 측정관리의 효율화 및 합리화가 크게 기대된다.

注(1) 同JIS는 현재 개정중이며, 同개정판의 초안을 바탕으로 실시했다.

(2) 照射된 유리素子 내에 生成된 전자 및 正孔은 아래의 式에 나타난 과정을 거쳐 안정된 螢光 중심  $Ag^0$ ,  $Ag^{++}$ 를 형성한다. 그 중  $Ag^{++}$ 의 형성은 일단  $PO_4$ 에 잡힌 正孔이 시간의 경과와 더불어  $Ag^+$ 로 移行하는 반응으로, 照射後 유리선량계의 판독치가 안정될 때까지 常溫으로 약 24시간을 요한다. 다만 이 경과변화는 低溫으로 열처리를 하면 단시간(이른테면  $7^\circ C$ , 1시간)에 안정시킬 수 있다.

$Ag^+ + e \rightarrow Ag^0$  (전자 捕獲)

$Ag^+ + hPO_4 \rightarrow Ag^{++}$  (正孔 捕獲)

(3) 펄스수란 1회의 측정에 있어 레이저 펄스를 반복하여 발생시켜 각 펄스마다 판독되는 판독수를 나타내며, 이 판독평균치를 1회의 측정치로 한다.