

전기용품 안전기준

K60544-1

[IEC 1994-04]

절연재료에 대한 이온화 방사의 영향 측정지침

제 1 부 : 방사 상호작용과 선량측정

목차

서론	3
1 범위 및 목적	4
2 규범 참조	4
3 정의[15]	4
4 절연 물질의 방사 저항을 평가할 때 고찰해야 하는 측면	6
4.1 방사 전자계의 평가	6
4.2 흡수 선량 및 흡수 선량율의 평가	6
4.3 방사-유도 변화 및 그에 대한 평가	6
5 선량측정 방법	8
5.1 일반사항	8
5.2 절대법	9
5.3 상대법	10
5.4 흡수 선량 측정을 위한 추천 방법	10
6 X- 또는 감마-방사로부터의 흡수 선량 산출	11
6.1 일반사항	11
6.2 조사 선량의 측정으로부터 흡수 선량 산출[13],[14]	11
6.3 하나의 물질에서 흡수 선량을 또 다른 물질의 흡수 선량으로부터 산출	12
6.4 깊이-선량 분포(제한)	13
7 전자 방사에 대한 선량 평가 방법	13
7.1 일반사항	13
7.2 전자-빔 선량계에 관한 추천된 진행 절차	15
7.3 전자-빔 조사	16
7.4 깊이-선량 분포 측정 방법	16
부록A	31
부록B	37

(표차례)

표1 - 흡수 선량 측정을 위하여 권장되는 전류 방법	19
표2 - 절연 물질에 포함된 요소에 대한 조사 선량으로부터 흡수선량을 산출하기 위한 수리적인 지수 f_i (조사 선량 단위별 흡수 선량)(J/C) - 부록B에서 방정식(B4)로 산출(과거의 CGS단위, 라드 및 뢰트겐을 사용하는 경우, 부록 B의 주를 참조한다).	21
표3 - 일부 중요한 절연 물질 및 기타 혼합물에 대한 조사선량으로부터 흡수 선량을 산출하기 위한 수리적인 지수 f_m (조사 선량 단위별 흡수 선량)(J/C)	22

표4 - 일부 중요한 절연 물질 및 기타 물질의 기본적인 특징	23
표5 - 일부 중요한 절연체 및 기타 물질의 전자에 대하여 동력을 중지시키는 질량 충돌($\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$)[7]	24
표6 - 일부 중요한 절연체 및 기타 물질에서 전자1)에 대해 외삽법으로 추정된 범위($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)[30]	25

서론

절연 재료의 방사 저항을 평가하기 위한 적절한 기준을 설정하는 것은 기준이 물질을 사용하고 있는 해당조건의 영향을 받기 때문에 매우 복잡하다. 예를 들어, 리액터에서 연료를 재공급하는 동안 절연 케이블을 움직이는 경우, 케이블의 사용수명은 케이블이 충분한 방사선량을 받아 관련 기계 특성 중 하나 이상을 규정된 값으로 감소시키는 시간이 될 것이다. 작동온도, 주위대기의 구성요소 및 총 선량을 받는 시간 간격은 화학적 변화의 메카니즘 및 비율을 결정하는 중요한 요소이다.

일차적으로, 이러한 물질이 노출되는 방사 전자계 및 그 물질로 인하여 결과적으로 흡수되는 방사 선량을 정의해야 한다. 둘째, 물질의 기계적 및 전기적 특성을 시험하기 위한 진행절차를 설정하여 응용조건과 그 특성을 연결시킴으로써 적당한 분류 시스템을 제공해야 한다.

IEC 544의 본 부는 절연 물질에 대한 이온화 방사의 영향을 다루는 시리즈의 서두 부분이다. IEC 544의 제 2부에서는 조사 중 각기 다른 유형의 조사선량조건을 유지하기 위한 진행절차를 설명한다. 또한 바람직하게 수행할 수 있도록 이러한 조건에 대하여 유지해야 하는 통제사항을 규정한다. 또한 중요한 조사조건을 정의하고 특성-변화 결정에 대하여 적용하는 시험법 및 이에 해당하는 끝-점 기준에 대하여 규정한다. 제 3부(IEC 544-3: 1979)는 IEC 544-2의 제 2판에 통합되었다. IEC 544의 제 4부에서는 절연 물질의 내방사를 구분하는 분류 시스템을 정의한다. 이것은 방사 서비스에 대한 적합성을 특징짓는 매개변수의 세트를 규정함으로써 절연 물질 및 물질 규정사항에 대한 선택과 지시에 대한 지침을 제공해준다.

절연 재료에 대한 이온화 방사의 영향 측정지침

제 1 부 : 방사 상호작용 및 선량측정

1 범위 및 목적

IEC 544의 본 부에서는 모든 유형의 유기 절연 물질에 대한 이온화 방사의 영향을 평가할 때 고찰해야 할 측면을 광범위하게 다루기로 한다. 또한 X-선, y-선 및 전자에 대하여 선량측정 용어, 조사선량 및 흡수선량을 결정하는 방법, 흡수 선량을 산출하는 방법에 관한 지침을 제공한다.

2 규범 참조

다음 규범 문서에는 본문 중 참조를 통하여 IEC 61061의 본 부를 구성하는 규정이 포함되어 있다. 발간 당시, 표시되어 있는 판(edition)은 유효하였다. 모든 규범 문서는 발행 후 개정되어야 하므로, IEC 61061의 본 부를 바탕으로 하는 협정 당사자들에게는 하기 규범문서 최신판의 적용 가능성을 검토할 것을 권장하는 바이다. IEC 및 ISO 회원들은 현재 유효한 국제표준의 등록대장을 유지한다.

IEC 544-2: 1991, 절연 물질에 대한 이온화 방사의 영향 측정을 위한 지침 - 제 2부: 조사 및 시험에 관한 진행절차

IEC 544-4: 1985, 절연 물질에 대한 이온화 방사의 영향 측정을 위한 지침 - 제 4부: 방사 환경에서의 사용을 위한 시스템 분류

3 정의[15]¹⁾

IEC 544의 본 부 목적에 따라, 다음의 정의를 적용한다.

3.1 조사선량(X): 조사선량은 물질이 노출되어 있는 전자기의 방사 전자계(X-혹은 y 방사)의 측정이다. 이는 dQ를 dm으로 나누어 산출한 방정식으로, 여기서 dQ는 공기 중에서 질량이 dm인 광자에 의하여 방사된 모든 전자가 공기 중에서 완전하게 멈출 때, 공기 중에서 생성된 하나의 신호의 이온에 포함된 총 전하의 절대값이다. :

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

조사 선량의 SI 단위는 킬로그램당 쿨롱(C)이다: C/kg. 옛날 단위는 뢰트겐이다. R: 1R = 2,58 x 10⁻⁴ C/kg.

1) 사각 괄호 안에 있는 숫자는 부록C에 있는 참고 문헌을 참조할 것.

따라서 조사 선량은 방사능 표준 기준물질, 공기에서 생성하는 이온화 측면의 문제에 대한 전자기장의 영향을 설명해주는 것이다.

3.2 전자 전하 영향(Q): dQ 를 dA 로 나누어 산출한 지수로, 여기서 dQ 는 영역 dA 에서 시간 t 동안에 충돌하는 전자 전하이다 :

$$Q' = \frac{dQ}{dA}$$

3.3 전자 전류 밀도(j): dQ' 를 dt 로 나누어 산출한 지수로, 여기서 dQ' 는 시간 간격 dt 동안의 전자 전하가 미치는 영향이다 :

$$j = \frac{dQ'}{dt} = \frac{d^2Q}{dA dt}$$

3.4 흡수 선량(D): 방사 전계의 특성에 상관없이, 조사된 물질에 첨가된 에너지 측정. 흡수 선량 D 는 $\overline{d\varepsilon}$ 를 질량 dm 로 나누어 산출한 지수로써 여기서 $\overline{d\varepsilon}$ 은 질량 dm 의 물질에 대하여 방사를 이온화함으로써 첨가된 평균 에너지이다 :

$$D = \frac{\overline{d\varepsilon}}{dm}$$

SI 단위는 그레이(Gy)이다. 예전의 단위는 래드(rad)이다:

$$1Gy = 1J \cdot kg^{-1} (= 10^2 rad)$$

이러한 정의에서는 흡수하는 물질을 규정하지 않기 때문에 그레이는 특수물질에 대한 참조로만 사용할 수 있다. 흡수 선량은 조사된 물질의 구성요소 의한 일부로 결정된다. 따라서 동일한 방사 전계에 노출되었을 경우, 각기 다른 물질은 일반적으로 각기 다른 흡수 선량을 수용한다.

3.5 흡수 선량율($\dot{D}$): dD 를 dt 로 나누어 산출한 지수로, 여기서 dD 는 시간 간격 dt 에서의 흡수 선량의 증분이다 :

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

흡수 선량율의 SI 단위는 1초당 그레이이다.

$$1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} (= 10^2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} = 0,36 \text{ Mrad} \cdot \text{h}^{-1})$$

4 절연 물질의 방사 저항을 평가할 때 고찰해야 하는 측면

4.1 방사 전자계의 평가

방사의 여러 가지 유형에 따라, 방사 전자계는 각기 다른 방식으로 설명된다.

4.1.1 전자기 방사 전자계는 광자 흐름 밀도 및 에너지 분포 측면에서 설명된다. 그러나 3 MeV의 X-와 γ 선의 경우 공기 중에서 이온화 영향 측면에서 전자계를 특징짓는 것이 통례이다. 이를 위하여, “조사 선량”이 이용된다.

4.1.2 미립자 전자계는 일반적으로 전류 밀도 측면에서 특징지어 진다(영향 비율). 미립자가 에너지의 분포를 가질 때, 전자 전파의 경우 에너지 스펙트럼과 관련된 추가의 정보가 필요하다.

4.1.3 대부분의 경우, 목적은 전계장에 있는 모든 물질의 흡수 선량과 선량율을 산출할 수 있도록 방사 전자계를 특징짓는 것이다. 각기 다른 물질을 광자 혹은 미립자의 동일한 영향에 노출시킬 때 이는 각기 다른 에너지의 양을 흡수한다. 따라서, 일차적인 목적은 절연 물질을 노출시켜야 하는 방사 전자계의 특징을 측정하기 위한 표준 방법 및 진행 절차를 설명하는 것이다. 제 5항은 관련된 참조와 함께 방사 선량측정 기법 리스트를 나타냄으로써 이러한 목적에 부합한다.

4.2 흡수 선량 및 흡수 선량율의 평가

기술은-이온화 챔버, 열량계 및 화학적 선량계와 같은 방사 검출기를 이용한 측정으로부터- 조사 하에서 물질의 흡수 선량 및 흡수 선량율을 산출하는데 필요한 데이터를 얻는데 있어 완벽하였다. 제 5항에서는 이러한 측정의 믿을 수 있는 전통적인 기술을 다룬다. 제 6항에서는 X-선과 γ -선의 측정 데이터와 관련된 기타 물질의 흡수 선량 및 흡수 선량율을 산출하는데 사용하는 물질 및 에너지-독립형 요소를 포함한다. 반면, 제 7항에서는 전자 방사의 선량 측정방법을 제시하고 있다.

4.3 방사-유도 변화 및 그에 대한 평가

여러 가지 방사 유형이 각기 다른 방법으로 상호 작용할지라도 제일 중요한 과정은 이온의 생성으로써 자유 근호의 형성을 유도할 수 있는 분자가 전자적으로 여자된 상태이다. 낮은 잠재적인 에너지 영역에서 묶여 있는 방사-생성되는 유동 전자 역시 생성된다. 첫 번째, 현상은 물질의 영구적인 화학, 기계, 전자적 변화를 초래한다; 두 번째 현상은 수행에 있어 일시적인 전자적 변화에서 발생한다[10].

4.3.1 영구적인 변화

중합 물질에서, 조사 시 자유 근호의 형성은 절연체의 화학적 구조를 변형하는 분리 및 교

차-연결을 유도하는데 이는 일반적으로 기계적인 특성을 퇴보시킨다. 이러한 기계적인 퇴보는 종종 중요한 전기적 특성을 변화시키기도 한다. 그러나 중요한 전기적 특성의 변화는 때때로 기계적 퇴보가 심각해지기 전에 발생한다. 예를 들면, 손실 요소에서의 변화 또는 유전율상의 변화는 공진 회로의 신뢰할 수 있는 작용으로 심각해지기도 있다. 분리 및 교차 연결 과정의 범위는 조사 시의 흡수 선량, 흡수 선량의 비율, 물질의 기하학 및 환경적 조건에 좌우된다. 자유 근호는 점차적으로 쇠퇴하기 때문에, 조사 영향이 후에 발생할 수 있다.

4.3.1.1 환경적 조건 및 물질 기하학

환경적 조건 및 시험 시료 기하학은 방사 영향을 측정하는 동안 잘 통제하여 문서로 작성해야 한다. 중요한 환경적 매개변수에는 조사 시의 온도, 상호작용하는 매질 및 기계와 전기적 응력이 포함된다. 만일 공기가 존재할 경우, 조사 시간(흐름 및 선량율)은 산소 확산 결과 및 과산화수소 파괴 비율 상수로 인하여 매우 중요한 실험의 매개변수라고 증명되어 왔다. 두 요소는 시간 의존형 요소이다. 중합체에서 산소의 확산 및 평형 농도에 영향을 미치는 조건을 통제해야 한다. 이러한 것들은 다음을 포함한다: 온도, 산소 압력, 물질 기하학 및 선량이 적용되는 시간.

만일 동시적인 응력의 결과, 예 : 고온에서의 방사, 가 연속적인 응력을 통하여 시뮬레이션되는 경우 다른 결과를 예측할 수 있다. 또한, 샘플에 우선 조사하고 그 다음에 열 에너지를 가하거나 또는 이 반대로 할 경우에도 상이한 결과를 예측할 수 있다.

4.3.1.2 조사 후 효과

유기 중합체에서, 잔여의 자유 근호와 같은 다양한 반응체의 점진적인 쇠퇴로 인하여 조사 후 효과가 있을 수 있다. 모든 평가 진행 절차에 있어 이러한 유형의 작용에 대하여 정당한 오차를 허용해야 한다. 이러한 시험은 시험 시료를 표준 실험실 대기에서 저장하면서 조사 후 기록된 간격으로 행해야 한다. 잔여 자유 근호를 가진 산호의 반응은 추가적인 감퇴를 유발할 수 있다.

4.3.2 일시적인 효과

4.3.2.1 조사 중에 측정을 실시하는 것은 IEC 544의 본 부의 범위를 벗어나는 것이다. 이러한 함에도 불구하고, 일부 기본적인 측면은 간략하게 논의할 것이다. 일시적인 효과는 조사 후에 일정 시간 동안에 유도된 전도체와 같은 전기적 특성상의 변화로 인하여 주로 나타나는 것으로 보일 수 있다. 그러므로, 유도된 전도체의 측정은 일시적인 방사 효과를 결정하는데 있어 평가 특성으로 사용할 수 있다. 이러한 효과는 선량-비율에 크게 의존한다.

4.3.2.2 경험은 유도된 전도체가 일반적으로 흡수 선량을 D 에 완전히 비례하는 것이 아니라 α 가 1보다 작을 경우에 D^α 에 따라서 달라진다. 따라서 방사 민감성은 다음의 관계를 통하여 해석할 수 있다:

$$\sigma_i = kD^\alpha$$

k 와 α 를 결정하기 위해서는 적어도 두 가지의 측정이 필요하다. 추가적인 합성은 K 와 α 가 샘플에 의하여 통합된 흡수 선량에 따라 달라진다는 사실에 의한 것이다.

4.3.2.3 유도 전도체의 측정은 전극 물질에서 광전자 및 콤프턴 전자가 시료의 본질적인 유도 전류를 교란시키는 경향이 있기 때문에 실제로 매우 민감하다. 이를 제거하지 않을 경우 이온화된 대기를 통하여 흐르는 이온 전류는 측정상의 에러를 유도하기도 한다. 대부분의 방해효과를 제거하는 실험상의 절차를 반드시 정의해야 한다.

4.3.2.4 유도 전도체 σ_i 또는 σ_i/σ_o 과 같은 간단한 기호를 사용하는 것이 편리하다. 압 전도체 σ_o 에 대한 그 비율은 일시적인 효과에 대하여 물질의 감도를 특징짓는 단위 선량율당 동일한 실험 조건에서 측정한다.

5 선량측정 방법

5.1 일반사항

절대법은 조사 선량, 전류 밀도 및 잘 알려진 방사 전자계에서 기계의 측정에 좌우되지 않는 물리적 수단을 통한 측정에 의한 흡수 선량을 결정해주는 방법이다. 이러한 정의는 직접적으로 절대법을 암시하지는 않는다: 그러나 기계적 기술 및 방사 유도 반응의 기본에 대하여 많은 연구 결과로 인하여, 열량 측정법과 같이 중요한 선량 측정 표준으로 널리 인정되는 절대법들이 현재 존재하고 있다. 이러한 진행 절차는 방사 효과의 연구에서 규칙적으로 사용되는 것은 아니지만, 방사원 측정을 위한 국가 및 국제 규격 실험실에서 유용하다. 광자원의 경우, 측정 정확성은 2%에서 3%이내이다. 이러한 방법은 각기 다른 실험실에서 비교하여 신뢰할 수 있는 규격으로 사용할 수 있다.

절대적인 규격 방법에 이 외에도, 많은 선량계가 있는데 이는 흡수 선량[12]을 측정하는데 관련 선량계로서 광범위하게 사용되고 있다. 이는 방사 전자계와의 상호 작용의 결과로써 선량 측정 물질에 첨가되는 에너지로부터 유발되는 광범위한 종류의 측정 가능한 화학적 반응이나 에너지 변형에 토대를 둔다. 플라스틱 필름 및 무기 고체와 같은 많은 방사 센서는 선량계로써 사용되어 왔다; 이러한 것들은 상대적으로 처리하기 쉬우며 분석하기 쉬운 응답을 제공해 준다. 많은 경우에 이러한 것들은 필요한 정확성이 다소 떨어지는 경우 이를 사용함으로써 얻을 수 있는 이점은 줄어들게 된다.

5.2 절대법

5.2.1 γ -선

5.2.1.1 자유 공기 이온화 챔버는 3Mev까지 조사 선량 X를 측정하기 위하여 사용된다. 즉, 이온화 전자를 방사하는 경우, 공기 중에서 생성되는 전하 dQ의 양 및 공기의 질량dm을 측정하기 위하여 고안되었다.

5.2.1.2 공동 이온화 챔버는 D가 너무 높지 않고 평형 상태가 보장될 경우[9] 조사 선량을

측정하기 위하여 사용할 수 있는 방사 검출기이다. 만일 공동 이온화 챔버가 특수 매질에서 흡수 선량을 측정하는데 사용할 경우 벽 및 가스가 이러한 매질과 잘 맞아야 한다. 이러한 방사선의 흡수가 두 매질에서 2차 이온화 입자에 의한 에너지 분류와 동일한 흐름 밀도에 도달할 경우, 두 물질은 특수 유형의 방사선과 잘 맞다고 말할 수 있다.

5.2.1.3 열량계는 열량계가 위치한 방사 전자계로부터 에너지를 흡수함으로써 작동한다; 열량계는 이 에너지가 열 에너지로 변환될 때까지 유지하여 이러한 열 양을 시스템의 온도에서 상승폭을 측정함으로써 평가할 한다[4]. 시스템의 열 수용력은 방사선과 같은 동일한 온도 상승을 일으키는데 필요한 전기 동력 입력 양을 측정함으로써 전기적으로 측정된다. 일부 시스템에서는 외부화학 및 내부화학 반응에 의하여 화학적 형태로의 에너지 변환은 수정이 이루어질 수 있는 약간의 편차를 일으킨다고 알려져 있다. 그러나 열에 흡수되는 방사 에너지의 변환은 방사 품질과 거의 상관이 없는 에너지를 측정하는 시스템을 설정하기 때문에, 열량계는 다른 표준 방법이 측정해 온 방법에 대하여 절대법을 구성한다.

5.2.2 전자 빔

5.2.2.1 선량측정 및 방사 분석적인 방법은 일체의 측정 없이 물리적 측정을 통하여 흡수 선량이나 전자 영향의 측정을 제공한다. 선량 측정 또는 방사 분석 기준으로 간주되는 두 가지 절대법이 있다. 이러한 절대법은 주로 루틴 선량계 측정에 사용하며 일반적으로 루틴 필름 선량계를 사용하지 않고 깊이-선량 분포를 결정하는 것은 어렵다.

5.2.2.2 열량계는 흡수선량이나 에너지 영향을 측정하기 위하여 사용된다. 만일 동일한 목표 물질에서의 상대적인 깊이-선량 분포가 높은 공간 분해능을 가진 루틴 선량계를 사용함으로써 주어질 경우 목표 단위 면적 당 흡수된 에너지의 측정은 상대적인 깊이-선량 분포를 통합함으로써 흡수 선량의 측정 및 루틴 선량계의 측정을 가능하게 한다. 간단한 준-단열 방법은 부분적인 흡수 유형[25] 및 총-흡수 유형 열량계로서 사용할 수 있다.

5.2.2.3 전자 전류 밀도 측정은 전자 가속기의 방사 전자계의 단위 면적당 전자 전하 혹은 전류를 측정하는 분석적인 방법이다. 이러한 방법은 선량측정 방법은 아니지만, 동일한 흡수 물질에서 농도계의 전하 흡수체 및 상대적인 깊이-선량 분포에 영향을 주는 평균 전자 에너지가 루틴 선량계를 사용함으로써 주어지는 경우 흡수 선량 측정을 가능하게 한다. 패러디 컵은 전자 빔의 전하 측정을 위하여 폭넓게 사용해 왔으나, 각도 분포가 넓은 밝은 전자 빔의 단위 면적당 전자 전하 혹은 전류의 정확한 값을 규정하는 용도로는 적합하지 않다. 진공 챔버가 없는 그래파이트 전하 흡수체의 어셈블리를 사용하는 간소화된 방법은 전자 가속기로부터 넓게 흩어진 빔에서는 유용하다.

효과적인 흡수 면적은 비스듬한 투사를 고려하여 수정을 후방산란하는 전자 및 흡수 어셈블리 특수 장비에 의하여 명확하게 정의된다. 주변 공기의 이온화된 전하의 영향은 중앙 흡수체 주위의 외부의 전자 필드를 최소화함으로써 피할 수 있다.

5.3 상대법

5.3.1 화학적 변환 선량측정은 특정 반응작용이 흡수 선량에 직접적으로 비례하는 범위로 조사에서 발생하는 원리를 바탕으로 한다. 이러한 제 1철의 황산염 방법(Fricke 선량계)은 이러한 유형을 잘 정의한 규격으로 가장 신뢰할 수 있다. 이는 각기 다른 실험실 간의 비교에 적합하며 폭넓게 사용할 수 있는 것이다[4],[9],[1]. 기타 시스템은 제 1철의 황산염 반응의 범위를 넓히는데 있어 그 용도로 인해 매우 중요하다. 아미노 산성형(알라닌) 선량계는 이동 규격으로 IAEA가 추천한다[28],[29],[20]. 염색 및 비염색 플라스틱 역시 화학적 선량계로써 적합하다[18],[22],[23],[34],[32].

5.3.2 물리적 영향에 기초를 두는 기타 상대법에는 광루미네스스 또는 열루미네스스가 있다 [3],[26],[8].

5.3.3 선량계가 환경조건(광휘 전후의 온도 및 습도와 대기, 빛 등), 선량을 및 방사 스펙트럼에 대한 반응에서 변화를 보일 경우 상대 선량계의 효과적인 사용은 선량계를 측정하였던 환경 조건과 유사한 조건으로 제한된다. 기타 부정확은 특성, 크기변화, 불순 및 화학적인 영향에 대한 반응에서 조사, 배치-대-배치 변화, 비선형 전 또는 후의 불안정으로 인한 것이다.

5.3.4 어떤 경우에는 γ 선으로 얻어진 측정 상수 또는 측정 곡선은 만일 선량측정의 특성이 전자 에너지 스펙트럼, 선량을, 조사 시간, 조사 시 온도 등과 같은 γ 선과 전자빔 간의 조사 매개변수의 차에 의존하지 않는 경우 전자 빔에 적용할 수 있다.

5.4 흡수 선량 측정을 위한 추천 방법

5.4.1 표1은 다음 중 일부 특성을 가진 절대 및 제2방법의 비-소모적인 리스트를 제시하고 있다 :

- 흡수 선량 및 흡수 선량율의 범위;
- 방사 에너지가 미치는 영향;
- 온도 혹은 습도가 미치는 영향;
- 필름의 물질과 두께 및 목적;
- 판독 유형;
- 실제 중요성의 관찰;
- 참고문헌 참조

5.4.2 고흡수선량 또는 고흡수선량율의 선량측정의 고유 어려움은 선량계의 일부로 생성될 수 있는 방사 영향 및 손상에 기인하는 것이다(예, 이온화 실의 절연체의 손상).

특수 시험 및 진행 절차는 이러한 유형의 혼란을 피하기 위하여 필요할 수 있다. 나열된 대부분의 방법의 보다 완전한 재검토는 [4]에서 찾아볼 수 있으며 표1의 참조를 통하여 알 수 있다.

6 X- 또는 감마-방사로부터의 흡수 선량 산출

6.1 일반사항

흡수 선량은 절연 물질의 방사 영향과 관련하여 사용하기 위한 매개변수이다.

이러한 권장되는 관습에서는 X- 혹은 γ -방사 전자계의 지식 및 물질의 구성요소로부터 물질에서의 흡수 선량을 산출하기 위한 기술을 제안한다[1],[2]. 하나의 물질에서 흡수 선량으로부터, 동일한 방사 전자계에 노출된 모든 다른 물질에서 흡수 선량을 산출할 수 있다.

6.2 조사 선량의 측정으로부터 흡수 선량 산출[13],[14]

6.2.1 흡수 선량은 다른 방사의 영향을 비교하는데 있어 기초가 된다. 그리고 조사된 물질에 침전된 흡수 선량을 결정하는데 필수적이다. 이 때 시료의 위치에서 자유 공기에서 측정된 조사선량을 흡수 선량을 산출하는데 기본이 되는 기초정보로써 사용할 수도 있다. 다음의 하위 조항은 이 산출에 사용되는 공식을 포함한다. 표2 표3은 필요한 수리적인 지수를 제공해주며 산출의 예 또한 제시해 준다.

6.2.2 물질 m에서 흡수 선량 D_m 은 다음 방정식으로 산출한다:

$$D_m = f_m X \quad (1)$$

여기서 수리적인 지수 f_m 은 조사 선량 단위당 흡수 선량의 지수이다. f_m 을 산출하기 위해서는 물질의 구성요소 및 포함된 요소i의 수리적인 지수 f_i 가 다음 방정식에 따라 필요하다 :

$$f_m = \sum a_i f_i \quad (2)$$

여기서

a_i 는 물질에서 요소 i 의 질량 부분이다.

f_i 는 요소 i에 대한 조사 선량 단위당 흡수 선량이다.

6.2.3 표2에서는 나열된 요소의 0.1 MeV와 3.0MeV사이의 광에너지에 대한 J/C에서 f_i 의 값을 규정하고 있다(f_i 값의 유도에 관해서는 부록 B를 참조할 것). f_i 의 값은 전하-미립자의 조건 하에서만 유효하다(설명은 부록A 참조할 것).

표3은 1MeV 및 0,1 MeV의 광 에너지 수준에 대하여 공통으로 사용하는 물질의 일부에 대한 방정식으로 산출하는 f_m 의 값을 제공한다.

6.2.4 0,5MeV와 1,5 MeV사이의 범위에서 광에너지에서 조사되는 다양한 유기 합성 물질의 경우 f_m 에 대한 방정식(2)는 대략 아래와 같다:

$$f_m = (32,9a_{H^-} - 1,94a_{F^-} - 1,55a_{Cl^-} - 1,16a_{P^+} - 33,7)/C$$

6.3 하나의 물질에서 흡수 선량을 또 다른 물질의 흡수 선량으로부터 산출

6.3.1 수리적인 지수는 후자가 일정하다는 조건에서, 조사 선량에 대한 참조없이 다른 매개체에서 흡수 선량의 비교를 위해 적용할 수 있다. 부록 B의 방정식(B.2)으로부터, 일정한 조사 선량은 두 매체의 f_m 값 간의 비율이 그 질량 에너지 흡수 계수(μ_{en}/ρ)간의 비율과 같다는 것을 보여 준다: 따라서 비율은 흡수 선량 간의 비율과 같다. 매질 1에서 흡수 선량인 D_1 은 아래의 방정식의 수리적인 지수 f_1 및 f_2 를 사용하여 매질 2에서 흡수 선량 D_2 로부터 산출할 수 있다:

$$D_1 = \frac{f_1}{f_2} \square D_2 \quad (3)$$

6.3.2 화학적 선량측정을 적용하였을 때, 측정된 화학적 변화는 흡수 선량으로 직접 변환할 수 있다. f_m 값의 비율을 사용함으로써 하나는 입사 광에너지가 알려졌을 때 화학적 선량측정에서 흡수 선량의 지식으로부터 모든 물질의 흡수 선량을 산출할 수 있다(6.4에서 설명한 제한 범위 내에서).

6.3.3 예를 들어, 만일 하나가 ^{60}Co 조사 장치에서 1시간의 조사 선량이 $D_{\text{Fricke}} = 5 \text{ Gy}$ 가 되도록 Fricke 선량계로 흡수 선량을 측정하고 1시간 동안 동일한 조사 장치로 폴리에틸렌의 시료에서 흡수 선량을 결정하는 것이 바람직할 경우, 하나는 아래에 따라서 진행한다.

Fricke 선량계는 각각 $a_H = 0,11$; $a_O = 0,88$ 그리고 $a_S = 0,013$ 의 질량 수를 가진다. 표2는 1,0 MeV 광에너지에 대한 f_i 의 값을 제시하고 있다. 방정식(2)에서 a_i 및 f_i 값을 대신하여 한 개는 $f_{\text{Fricke}} = 37,4 \text{ J/C}$ 를 얻는다. 표3 $f_{\text{PE}} = 38,2 \text{ J/C}$ 와 방정식(3)으로 폴리에틸렌의 흡수 선량은 다음과 같다 :

$$D_{\text{PE}} = \frac{f_{\text{PE}}}{f_{\text{Fricke}}} \times D_{\text{Fricke}} = 1,02 \times 5 \text{ Gy} = 5,1 \text{ Gy}$$

6.3.4 동일한 방법으로, 표3의 수리적인 지수는 나열된 모든 물질에서의 흡수 선량을 나열된 기타 다른 물질의 흡수 선량으로 전환하는데 사용할 수 있는데 이것은 입사파 방사 에너지가 0,1 MeV 이거나 0,5 MeV 와 1,5 MeV사이 둘 중의 하나라는 것을 전제로 한다.

6.4 깊이-선량 분포(제한)

6.4.1 조사되고 있는 시료를 통하여 흡수 선량 분포는 변하고 시료의 두께 및 그 밀도, 입사 파 방사 에너지의 기능이기 때문에 방사가 시료를 침투할 때 선량의 변화가 얼마만큼 허용될 수 있는지를 반드시 결정해야 한다. 가장 일반적으로 사용되는 조사 설비는 0,5 MeV에서 1,5 MeV 까지의 에너지 범위에서 방사원을 가진다. 포인트 원의 경우, 하나가 임의로 시료의 앞, 뒤에서 흡수 선량 간 차에 대하여 25%의 제한을 설정한 경우(시료를 통하여 25%의 감쇠), 시료 두께는 0,5 MeV 방사에 대하여 2,8cm 그리고 1,5 MeV 방사에 대하여 5,0 cm로 제한한다. 이 때 단위 밀도의 시료는 1g/cm^3 와 같고 단방향성의 방사로 제한한다(부록A 참조). 기타 소스 기하학의 경우 (예, 슬래브 소스), 이러한 두께는 상당히 달라질 수 있다.

6.4.2 부록 A의 그림 A.3에서는 단방향성의 방사의 1g/cm^3 에 상당하는 단위 밀도의 시료를 통하여 10% 및 25% 감쇠에 대한 샘플의 에너지 함수로써 두께를 그리고 있다. 곡선은 보다 고밀도 물질의 경우 왼쪽으로, 보다 낮은 물질의 경우 오른쪽으로 이동할 것이다. 시료에서 10% 및 25%의 정밀한 두께는 $3,3 \times 10^{23}\text{g}^{-1}$ 에 맞는 시료의 전자 밀도의 비율로 나누어진 그림 A.3 에서 얻은 값이 될 것이다. 이러한 곡선은 단지 감쇠에 근거하여 산출하고 보다 두꺼운 시료에서 증강이 무시되기 때문에 이러한 곡선은 주어진 에너지 및 두께 그리고 단방향성의 방사에 대하여 최대 감쇠를 나타낸다. 비단방향성의 방사는 보다 많은 감쇠를 낳는다.

7 전자 방사에 대한 선량 평가 방법

7.1 일반사항

7.1.1 본 조항에서는 수 백개의 keV에서 수 개의 MeV에 이르는 범위의 전자 에너지 및 kGy 에서 MGy에 이르는 선량 범위에 대하여 전자빔에 대한 선량 평가 방법을 주로 권장하고 있다.

7.1.2 전자빔의 방사 전자계는 전자 에너지 스펙트럼 및 전자 전류 밀도 측면에서 특징지어지는데 이는 주로 단위 시간당 조사된 평면의 단위 면적에 영향을 미치는 전자 전하이다. 빔 스캐너를 갖춘 전자 가속기의 일반적인 작동에서, 조사된 평면에서 중요 포인트의 순시 전자 전류 밀도는 스캐닝 주파수에 따라 주기적으로 변한다. 실질적으로 방사 전자계는 빔 윈도우와 공기 틈새를 통하여 전달되는 평균 전자 에너지 및 스캐닝 기간을 통틀어 평균적인 전자 전류 밀도 측면에서 특징지어진다. 샘플의 표면에서 평균 전자 에너지 E_m 은 다음의 방정식에 따라 평가된다:

$$E_m = E_0 - \Delta E_w - \Delta E_a \quad (4)$$

E_0 이 빔 윈도우에서 입사전 초기의 전자 에너지일 경우, ΔE_w 와 ΔE_a 는 각각 빔 윈도우와 공기 틸드에서 전달되는 전자의 평균 에너지 손실이다. 각 에너지 손실은 대략적으로 동력을 정지시키는 질량 충돌의 생성물 및 g/cm^2 로 표시되는 두께와 상당한다. 그렇지 않을 경우, 두께가 전자 범위 보다 훨씬 작을 때 방정식을 통하여 개략적으로 평가한다.

7.1.3 방사 전자계에서 평균 전자 전류 밀도의 분포는 물질에서 평균 흡수 선량율의 수평적 분포를 대략 결정한다. 방사 전자계의 스캐닝 축에 정상적인 방향에서 수평적인 분포는 주로 가우스의 프로파일을 가진다. 가우스의 분포의 1/2최대에서 전 폭은 전자 에너지, 원자 수 및 빔 윈도우의 두께 그리고 빔 윈도우에서부터 조사되는 시료까지의 공기 틸드 공간에 의존한다. 통계적인 조사의 경우, 물질에서 수평적인 선량 균일성은 주로 평균 전자 전류 밀도의 분포를 통하여 결정된다. 스캐닝 빔 강도가 스캐닝 축 방향으로 균등한 경우 일정한 속도로 움직이는 컨베이어 시스템을 사용하는 조사는 물질에서 균일한 수평 선량 분포를 제공한다.

7.1.4 통계적인 조사의 경우, 스캐닝 기간 전체의 평균 선량율은 주로 평균 선량율로 평가된다. 두 가지의 요소는 그 평가를 이해하기 어렵게 한다: i) 빔의 중복, ii) 컨베이어 시스템에서 샘플의 이동.

7.1.5 물질 전체에 걸쳐 선량의 균일성은 깊이-선량 분포에 의하여 결정되는데 이러한 분포는 일반적으로 물질의 슬랩-층에서 수평적인 선량 분포에 독립적이다. 전자 가속기를 통하여 얻어진 균질의 물질에서 전형적인 깊이-선량 분포는 그림1에서 볼 수 있다. 깊이-선량 분포는 두 개의 깊이 구역에 의하여 특징지어 진다. 유용한 범위 R_u 는 1 MeV보다 더 높을 때 개략적으로 전자 에너지와 직선 모양으로 증가한다. 단 깊이 선량 변화는 γ -선 조사 보다 전자-빔 조사에서 훨씬 더 넓다. 피크선량에 대한 표면 선량율 및 유용한 범위는 전자 에너지, 물질의 원자 구성요소, 빔 윈도우의 두께 및 공기-틸드 공간과 같은 다양한 조사 매개변수에 크게 의존한다. 전형적인 조사 조건에서는 1 MeV보다 높은 전자 에너지의 경우 비율은 0.6-0.8이다.

7.1.6 슬랩-층 물질이 빔 스캐닝 방향과 수직을 이루는 방향에서 방사 전자계를 통하여 이동하는 경우, 3-층 슬랩 흡수체(빔 윈도우, 공기 층 및 시료)[31], [17]에서, 단위 전자 영향 당 재료의 깊이-선량 분포는 에너지 침전 함수 $I(z)$ 의 일부로써 산출할 수 있다. 이 때 모노에너지 및 평면-평행 전자 빔은 빔 윈도우에 대하여 영향을 미치는 것으로 가정한다. 1MeV 전자에 노출된 폴리에틸렌의 슬랩 층에 대한 $I(z')$ ($z' = 3$ 층의 전체 깊이)의 산출된 결과의 한 예는 그림2 에서 보여 준다. 그림 3은 3층 사이의 $I(z')$ 의 차는 동일한 조사 조건에 대하여 측정된 대표적인 절연 물질의 상대 깊이-선량 분포를 비교한 것이다. 전형적인 유기 절연체 사이의 차이점은 무시할 수 없는데 이는 동력을 정지시키는 질량 충돌[7]과 동력을 흩어지게 하는 질량 배수의 차이로 인한 것으로 주로 수소 및 유효한 원자의 수 $\langle Z \rangle$ 의 내용에 따라 달라진다.

7.2 전자-빔 선량계에 관한 추천된 진행 절차

표1은 절대법 및 상대법의 리스트 중 일부 주요 특성을 나타내고 있다. 선량계 진행 절차에 대한 추천된 검사에는 다음이 포함된다[12]:

- 1) 시료의 두께에 관련된 전자 에너지;
- 2) 시험에 적용되는 선량 범위;
- 3) 시험을 위하여 참작하는 시료와 조사 시간에 상승하는 온도와 관련된 평균 선량을;
- 4) 시험에 필요한 시료 내의 선량 균일성:
 - a) 두께에서 선량 균일성에 대하여 참작되는 한계;
 - b) 시료에서 수평적인 선량 균일성에 대하여 참작되는 한계;
- 5) 시료의 수를 고려하여, 조사 방법, 그 크기, 온도 상승 및 시료에 관한 선량 균일성(통계적 또는 스캔된 조사);
- 6) 선량 측정에 있어 필요한 정확성 및 치밀성 제한;
- 7) 다음 기준을 사용하는 선량계 선택;
 - a) 측정 가능한 선량 범위,
 - b) 선량 판독의 한정된 공간적 분해능을 제시하는 선량계의 두께,
 - c) 규정된 선량 수준에서 치밀성 혹은 재생력,
 - d) 예상된 선량-비율 범위 내에서 반응의 변화,
 - e) 환경 조건으로(빛의 효과, 온도, 습도, 가스, 축전) 조사 동안 또는 조사 후 반응의 제한된 변화,
 - f) 선량 입사의 판독 혹은 안정성의 영구성,
 - g) 잘 개발되고 압증된 규격 측정 진행절차의 유용성,

h) 판독 진행절차 및 처리의 단순화,

i) 선량계의 예외적인 사용을 위한 선량 해독자의 유용함,

j) 각기 다른 일괄 처리 중 재생력,

k) 비용;

8) 그 밖의 다른 조사 매개변수(빔 전류, 주입 범위, 공기-틈새 공간, 컨베이어 속도, 조사를 위한 금속판, 온도, 습도, 순시 선량율, 후방산란 결과, 부등변의 입사, 절연체에서 전하 축적 등).

7.3 전자-빔 조사

7.3.1 절연 물질의 시료의 1-면 전자-빔 조사는 그림4에서 보여진 바와 같이 깊이-선량 분포로 인한 시료 내에서의 선량 변화를 고찰하여 두 개의 샘플 장비에서 보통 수행된다: a) 상응하는 물질의 시료 및 백 플레이트; b) 상응하는 물질의 두 개의 플레이트 사이에 끼워넣은 시료. 조사 셋-업의 전체 두께는 전자 범위보다 커야 한다. 2-면 조사는 전자 범위와 비교하여 두꺼운 시료에 대하여 수행된다.

7.3.2 가속 전압은 기본적으로 시료 두께 내에서 선량 균일성 요건을 만족시키기 위하여 선택한다. 공기-틈새 거리, 빔-스캐닝 매개변수, 컨베이어 시스템의 기계적 스캐닝 매개변수와 같은 빔 전류 및 기타 조사하는 조건은 일반적으로 조사 시에 시료에서 온도의 상승을 최소화하고 방사 이용 효율성을 최대화하기 위하여 선택한다.

7.4 깊이-선량 분포 측정 방법

7.4.1 관련있는 절연 물질에서 깊이-선량 분포를 측정하는 것은 전자-빔 선량계에서의 가장 대표적인 관습이다. 그림5에서 보여주는 것처럼 각각의 다양한 변화와, 절연 물질 및 웨지 모양의 절연 물질의 스택에서 필름 선량계를 이용하는 깊이-선량 측정에는 두 가지의 기본적인 방법이 있다.

7.4.2 균일한 스택 방법에서(그림5a 참조), 선량계 필름은 그 자체가 전자 범위 보다 더 두꺼운 두께까지 상응하는 절연 물질로 스택한다. 이러한 방법은 선량계에서 깊이-선량 분포를 제시하며 필름과 유사한 구성물로 이루어진 물질에 적용할 수 있다. 이는 낮은 에너지 전자 빔에 대한 깊이-선량 분포를 측정하기 위한 방법일 뿐이다.

7.4.3 교류 스택 방법에서(그림5b 참조), 필름과 유사한 구성물질을 가지는 상응하는 절연 물질의 선량계 필름과 슬랩 층은 교대로 스택한다. 이러한 방법은 상대적으로 높은-에너지 전자 빔에 응용한다.

7.4.4 이동 삽입 방법에서(그림 5c 참조), 선량계 필름의 작은 칩을 선량계 필름이 겹치지 않도록 상응하는 절연 물질의 스택으로 삽입한다.

7.4.5 스택된 절연 물질을 균일하게 수평 방향으로 전류 빔에 노출할 때 관련된 절연 물질에서 흡수 선량 D_i 는 다음 식으로 정해진다:

$$D_i = f \square D_d = (S/\rho)_{col,i} / (S/\rho)_{col,d} \times D_d \quad (5)$$

D_d 이 선량계 물질에서 흡수 선량일 경우, $(S/\rho)_{col,i}$ 과 $(S/\rho)_{col,d}$ 은 절연 물질과 선량계 물질 각각의 동력을 중지시키는 전자 질량 충돌로 두 가지 물질에 대한 대략의 전자 에너지 스펙트럼 전체에 대하여 평균한다.

표4와 표5는 몇몇 중요한 절연 물질 및 기타다른 물질의 기본적인 특성과 물질에서 전자의 동력을 중지시키는 질량을 보여 준다. 삽입된 선량계 필름에 대한 전자 에너지 스펙트럼은 스택된 절연 물질의 깊이 따라 달라지는데 일반적으로 각각의 깊이에서 스펙트럼을 평가하는 것은 쉽지 않다. 그러나 비율 f 는 표5에서와 같이 절연 물질의 방사 저항 시험과 관련있는 에너지 범위 전체에 의존하는 아주 약한 에너지이다. 중요한 선량계 물질에서 전자 스펙트럼의 평균 에너지에 대한 개략적인 평가는 적절한 정확성을 띠는 비율 f 를 평가할 수 있을 정도 충분한 정보를 제공해 준다. 대표적인 물-등가 절연 물질에서 심도 함수로써, 평균 전자 에너지 E_n 은 대략 다음의 식을 통하여 평가한다:

$$E_n = E_m(1 - z/R_{ex}) \quad (6)$$

여기서 E_m 는 입사 전자 에너지(MeV), z 는 절연 물질에서 깊이이며 절연 물질에 대하여 전자 전달 곡선에 대하여 정의되는 R_{ex} 는 외삽법으로 추정된 전자 범위(g/cm^2)이다[30]. 외삽법으로 추정된 전자 범위에서는 표6 에서 전자 에너지의 함수로써 여러 가지 중요한 물질을 나열하고 있다. 구성 물질 및 혼합물에 대해 동력을 중지시키는 질량은 참조[12] 및 [17]에서 찾아볼 수 있다.

7.4.6 선형-웨이 방법에서(그림 5d 참조), 선량계 필름을 두 개의 등가 절연 물질 사이에 끼운다. 보다 상부에 있는 것은 선형의 웨지 모양으로 되어 있다. 선량계 물질에서 깊이-선량 분포는 조사되는 선량계 필름에 대한 농도-스펙트럼광도계의 흔적에 의해 측정된다. 절연체의 깊이-선량 분포는 방정식(5)와 선량 변환으로 주어진다.

7.4.7 계단형 웨지 방법에서(그림 5e 참조), 상부의 샌드위치 절연 물질은 계단형 웨지 모양을 한다. 선형의 웨지 방법은 상대적으로 낮은-에너지 전자-빔 선량측정에서 특별히 두 가지 현실적인 단점을 가진다; 하나는 각이 날카로운 작은 선형 웨지를 준비하는데 대한 어려움이고, 나머지 다른 하나는 절연 물질에서 절대 깊이를 결정하는데 있어 불확실성이다. 날

카로운 각을 가진 계단형 웨지는 많은 층들 사이에서 길이가 각기 다른 절연 물질 필름을 사용하여 준비할 수 있다. 이는 비록 스텝 함수와 같은 비연속적인 깊이-선량으로 귀착될지라도 절연 물질에서는 정확한 심도의 함수로써 결정된다.

7.4.8 또 다른 문제는 전자-빔 조사에 의하여 유도되는 두꺼운 웨지에서의 전하 축적으로 입사 전자의 침투를 억제할 수 있는 강한 내부 전자 필드를 유발한다[11]. 전하 축적은 필름의 표면을 따라 상대적으로 많은 양의 전자 누수가 일어나기 때문에 동일한 두께의 벌크 절연 물질에서보다 스택 필름에서 훨씬 적다.

표1 - 흡수 선량 측정을 위하여 권장되는 전류 방법

표2 - 절연 물질에 포함된 요소에 대한 조사 선량으로부터 흡수 선량을 산출하기 위한
수리적인 지수 f_i (조사 선량 단위별 흡수 선량)(J/C) - 부록B에서 방정식(B4)로
산출(과거의 CGS단위, 라드 및 켈트젠을 사용하는 경우, 부록 B의 주를 참조한다).

광에너지 (MeV)	H	C	N	O	F	Si	S	Cl	P
0,10	59,3	31,1	32,4	33,8	34,7	64,7	87,2	99,2	72,9
0,15	64,7	33,0	33,4	33,8	32,7	41,1	47,3	48,8	42,2
0,20	66,3	33,6	33,6	34,1	32,3	36,7	38,8	38,8	36,7
0,30	66,7	33,7	33,8	33,8	31,9	34,6	35,2	36,8	33,9
0,40	66,7	33,6	33,7	33,7	31,9	34,0	34,3	33,1	32,0
0,50	66,7	33,7	33,7	33,7	31,9	33,6	34,0	32,7	32,7
0,60	66,7	33,7	33,7	33,7	32,0	33,7	33,8	32,5	32,7
0,80	66,7	33,6	33,7	33,7	31,9	33,6	33,4	32,3	32,7
1,0	66,7	33,6	33,7	33,7	31,9	33,4	33,7	32,1	32,4
1,5	66,7	33,7	33,7	33,7	31,8	33,7	33,6	31,9	32,4
2,0	66,7	33,7	33,7	33,7	31,9	33,8	33,8	32,4	32,8
3,0	65,1	33,5	33,7	33,8	32,2	34,5	34,5	33,5	33,5

응용 예

폴리테트라플루오르에틸렌의 경우, 1 MeV 광에너지에 대한 수리적인 지수 f_{PTFE} 를 산출해야 한다. 폴리테트라플루오르에틸렌(PTFE)은 대략적인 공식 $(CF_2)_n$ 를 가진다(체인종단, 불포화 및 불순물과 상관없음); 따라서 C 와 F의 질량비는 각각 $a_C = 0,24$ 이고 $a_F = 0,76$.

표2는 1 MeV 광자에 대하여 $f_C = 33,6$ J/C 와 $f_F = 31,9$ J/C를 제시한다. 이들의 값을 방정식(2)에서 이들 값을 교체하면 다음과 같다;

$$f_{PTFE} = (0,24 \times 33,6) + (0,76 \times 31,9) = 32,3 \text{ J/C}$$

표3 - 일부 중요한 절연 물질 및 기타 혼합물에 대한 조사선량으로부터 흡수 선량을 산출 하기위한 수리적인 지수 f_m (조사 선량 단위별 흡수 선량)(J/C)

물 질	f_m (J/C)	
	1 MeV	0,1 MeV
폴리스티렌 (CH) _n	36,4	33,3
폴리에틸렌 (CH ₂) _n	38,2	34,9
폴라아미드-6 (C ₆ OH ₁₁ ON) _n	36,8	34,5
폴리디메틸 siloxane (C ₂ H ₆ OSi) _n	36,0	47,0
에틸렌 폴리설퍼드 (C ₂ H ₄ S ₄) _n	34,9	77,9
비닐리덴 염화물 혼성중합체 (C ₄ H ₅ CL ₃) _n	33,7	77,5
폴리테트라플루오르에틸렌 (CF ₂) _n	32,3	33,8
폴리클로트리플루오르에틸렌 (C ₂ F ₃ Cl) _n	32,2	53,5
폴리비닐 염화물 (C ₂ F ₃ Cl) _n	34,5	70,5
폴리비닐리덴 염화물 (C ₂ H ₃ Cl) _n	33,3	81,4
폴리비닐 pyrrolidone (C ₂ H ₂ Cl ₂) _n	36,4	33,7
폴리비닐 carbazole (C ₆ H ₉ NO) _n	35,7	32,9
폴리비닐 초산비닐 (C ₄ H ₆ O ₂) _n	36,0	34,1
폴리메틸 메타크릴 (C ₅ H ₈ O ₂) _n	36,4	34,1
트리부틸 인산 (C ₄ H ₉) ₃ PO ₄	36,8	39,5
Frick 선량계	37,4	37,2
주 - 1 MeV 에 대한 데이터는 0,5 MeV에서 1,5 MeV까지의 범위에서 대략 유효하다. 또한 이러한 데이터는 ⁶⁰Co 및 ¹³⁷Cs γ-선 및 2 MeV에서 3 MeV까지 X-선에 대하여 사용할 수 있다.		

표4 - 일부 중요한 절연 물질 및 기타 물질의 기본적인 특징

물 질	화 학 식	$\langle Z \rangle = {}^1)$	$\langle A \rangle = {}^2)$	밀도(g/cm ³)
탄소	C	6	12,011	2,25
물	H ₂ O	7,22	13,00	1,00
공기(건조한)		7,38	14,77	$1,205 \times 10^{-3}$
폴리아미드(나일론-6)	(C ₆ H ₁₁ ON) _n	5,92	10,80	1,14
폴리에틸렌	(CH ₂) _n	5,28	9,26	0,94
폴리에틸렌 테레프타레이트	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n	6,46	12,41	1,40
폴리메틸메타크릴레이트	(C ₅ H ₈ O ₂) _n	6,24	11,56	1,19
폴리스티렌	(CH) _n	5,61	10,44	1,06
폴리테트라플루오르에틸렌	(CF ₂) _n	8,28	17,25	2,20
폴리비닐염화물	(C ₂ H ₃ OCl) _n	12,00	23,43	1,30
폴리프로폴린	(C ₃ OH ₅) _n	5,39	10,66	0,90
폴리탄산염	(C ₁₆ H ₁₄ O ₃) _n	6,10	12,16	1,20
주 1 유효 원자 수 2 유효 원자량 혼합물의 양 $\langle Z \rangle$ 와 $\langle A \rangle$ 혹은 혼합은 $= \sum W_j Z_j$ 와 $\langle A \rangle = (\sum W_j Z_j / A_j)^{-1}$ 로 주어진다. 여기서 $W_j Z_j$ 및 A_j 이 각각 원자 구성 요소 j^{th} 의 무게 , 원자수 및 원자량에 따른 비일 경우.				

표5 - 일부 중요한 절연체 및 기타 물질의 전자에 대하여 동력을 중지시키는 질량
충돌($\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$)[7]

전자 에너지(MeV)	탄소	물	공기	폴리아미 드 (나일론- 6)	폴리에 틸렌	폴리에 틸렌 테레프 타레이 트	폴리 메틸메 타크릴	폴리스 티렌	폴리테 트라플 루오르 에틸렌	폴리비 닐 염화물	폴리 탄산염	폴리 탄산염
0,1	3,671	4,115	3,633	4,152	4,384	3,832	4,006	4,034	3,421	3,604	4,287	3,920
0,15	2,883	3,238	2,861	3,263	3,443	3,015	3,152	3,172	2,697	2,843	3,367	3,084
0,2	2,482	2,793	2,470	2,813	2,967	2,603	2,719	2,735	2,330	2,457	2,902	2,660
0,3	2,083	2,335	2,084	2,369	2,497	2,195	2,292	2,305	1,968	2,077	2,443	2,242
0,5	1,782	2,034	1,802	2,032	2,142	1,889	1,957	1,984	1,699	1,793	2,098	1,930
0,7	1,673	1,917	1,706	1,906	2,008	1,776	1,856	1,864	1,600	1,690	1,969	1,813
1,0	1,609	1,849	1,661	1,832	1,930	1,710	1,788	1,794	1,534	1,633	1,893	1,748
1,5	1,584	1,822	1,661	1,801	1,895	1,684	1,760	1,766	1,522	1,615	1,860	1,719
2,0	1,587	1,824	1,684	1,802	1,895	1,686	1,762	1,768	1,525	1,632	1,861	1,721
3,0	1,611	1,846	1,740	1,823	1,917	1,709	1,784	1,791	1,546	1,653	1,883	1,744
5,0	1,658	1,892	1,833	1,870	1,965	1,756	1,832	1,839	1,589	1,708	1,931	1,791
10,0	1,730	1,968	1,979	1,946	2,042	1,831	1,908	1,916	1,657	1,791	2,008	1,867

표6 - 일부 중요한 절연체 및 기타 물질에서 전자¹⁾에 대해 외삽법으로 추정 한 범위($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)[30]

전자 에너지 (MeV)	탄소	알루미늄	공기물	폴리아미드 (나일론-6)	폴리에틸렌	폴리에틸렌테 레프타레이트	폴리 메틸메타크릴
0,1	1,39 E-2	1,30 E-2	1,23 E-2	1,26 E-2	1,17 E-2	1,23 E-2	1,28 E-2
0,15	2,80 E-2	2,54 E-2	2,45 E-2	2,54 E-2	2,36 E-2	2,65 E-2	2,57 E-2
0,2	4,51 E-2	4,03 E-2	3,93 E-2	4,10 E-2	3,83 E-2	4,28 E-2	4,15 E-2
0,3	8,60 E-2	7,53 E-2	7,45 E-2	7,81 E-2	7,32 E-2	8,23 E-2	7,89 E-2
0,5	1,83 E-1	1,58 E-1	1,58 E-1	1,66 E-1	1,56 E-1	1,73 E-1	1,68 E-1
0,7	2,91 E-1	2,49 E-1	2,51 E-1	2,65 E-1	2,49 E-1	2,75 E-1	2,67 E-1
1,0	4,63 E-1	3,96 E-1	3,98 E-1	4,21 E-1	3,96 E-1	4,37 E-1	4,25 E-1
2,0	1,07 E-0	9,12 E-1	9,18 E-1	9,69 E-1	9,12 E-1	1,01 E-1	9,78 E-1
3,0	1,68 E-0	1,44 E-0	1,45 E-0	1,53 E-0	1,44 E-0	1,59 E-0	1,54 E-0
5,0	2,92 E-0	2,52 E-0	2,52 E-0	2,66 E-0	2,50 E-0	2,76 E-0	2,68 E-0
10,0	6,01 E-0	5,18 E-0	5,18 E-0	5,47 E-0	5,14 E-0	5,63 E-0	5,52 E-0
1) 슬랩 흡수체에 대하여 입사되는 모노에너지 전자에 대한 전도 곡선의 일부를 하향하는 거의 일직선상에서의 가장 가파른 지점에서 접선이 X-축 (전도 = 0)과 만나는 지점에서의 침투 깊이.							

(그림)

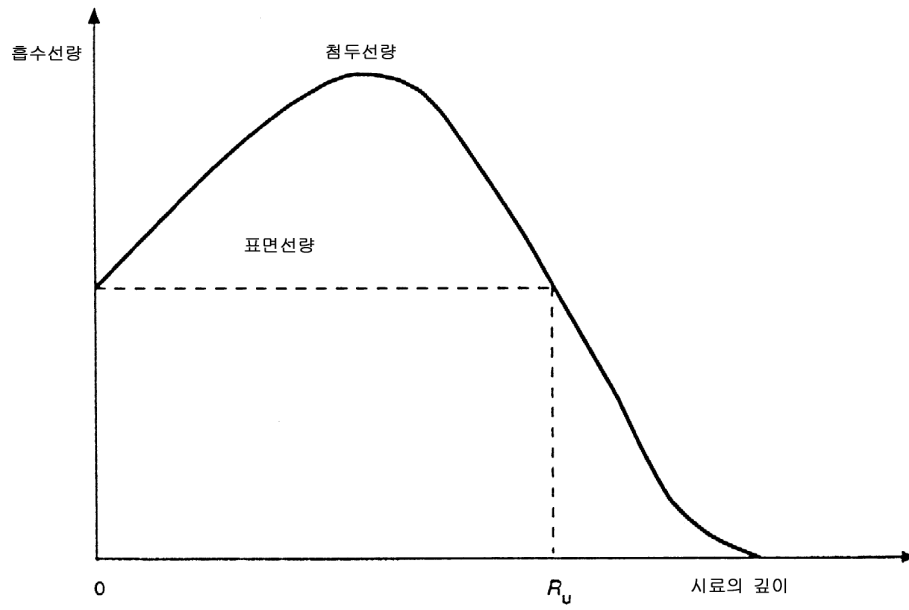


그림 1 - 방사 과정에 대한 전자 가속기로 얻어진 동종 물질에서 대표적인
깊이-선량 분포(가속기 전압 > 0,5 MV, R_U = 유용 범위)

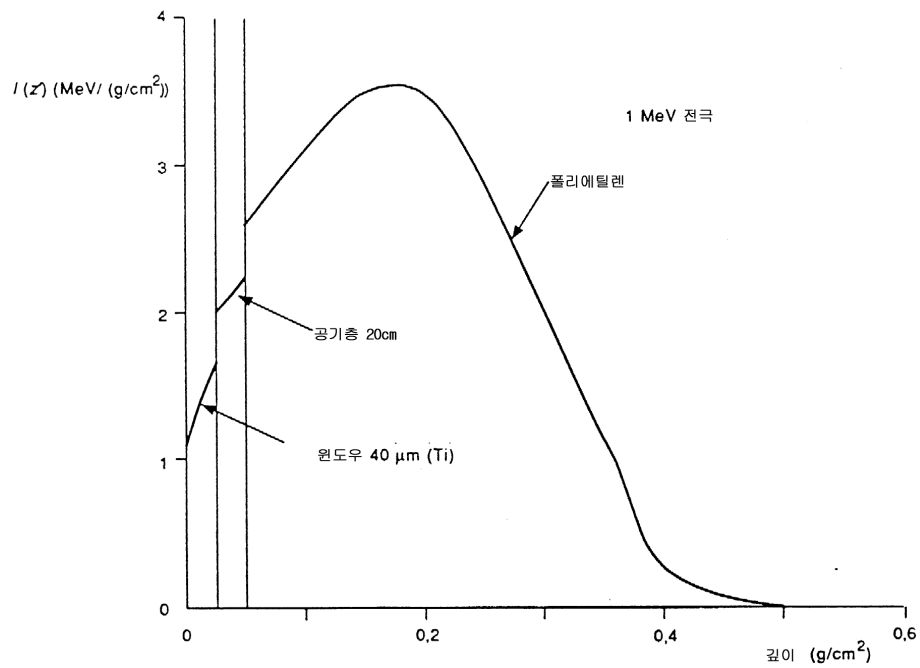


그림2 - 산출한 하나의 예는 1 MeV 전자에 노출되는 폴리에틸렌의 슬랩층에 대하여 에너지 침전 함수 $I(z')$ 의 결과이다(z' : 빔 윈도우, 공기 틈새 및 폴리에틸렌층으로 이루어진 3-층의 흡수체에서의 총 깊이)

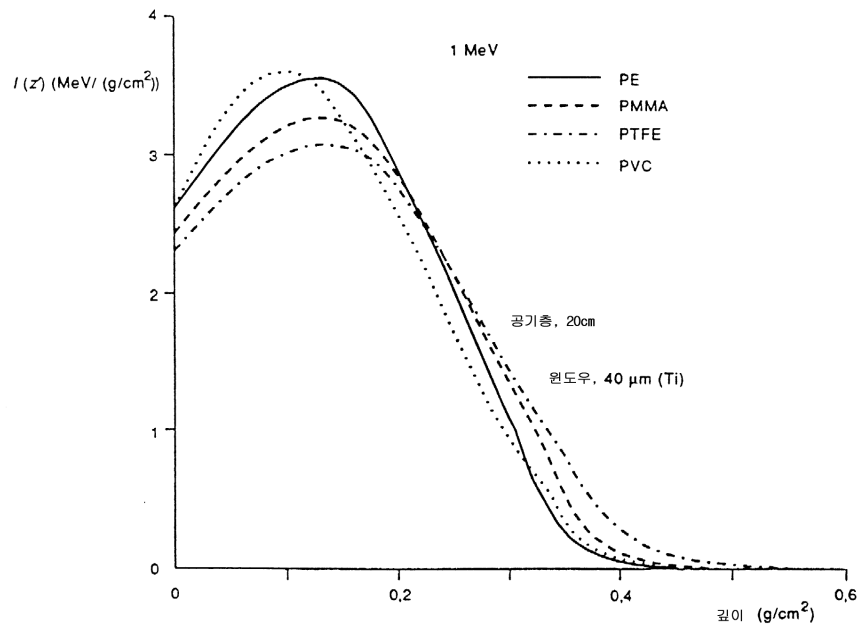
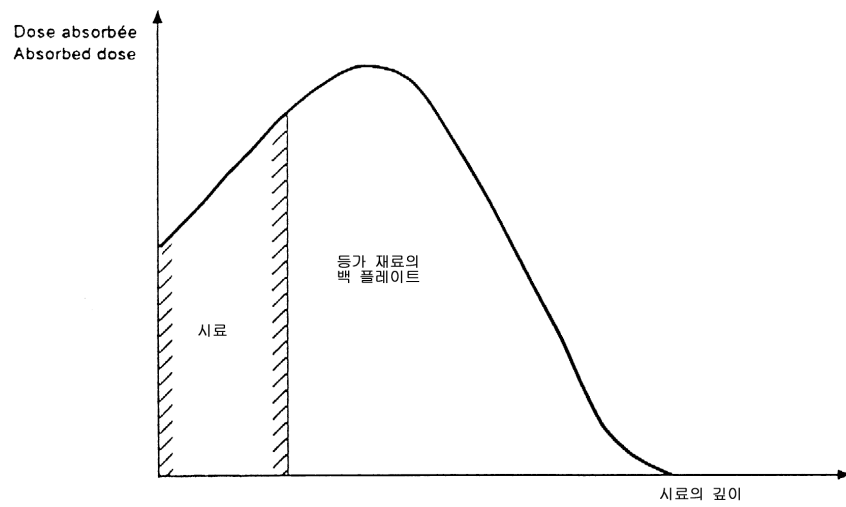
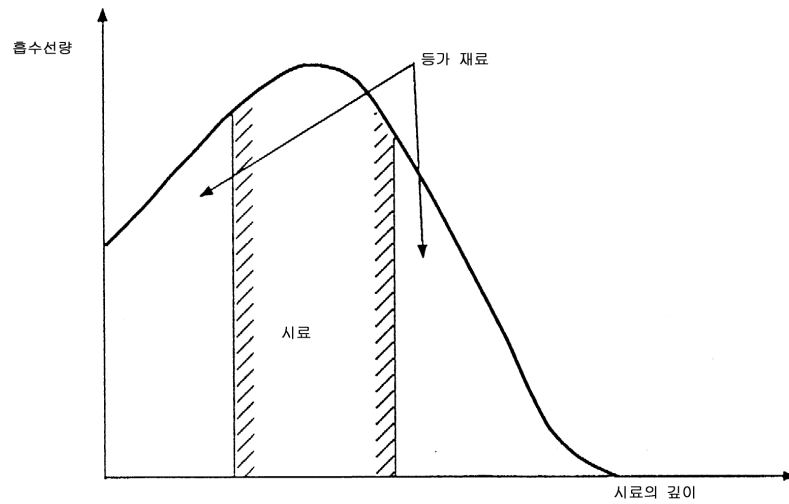


그림3 - 산출한 하나의 예는 1 MeV 전자에 노출되는 대표적인 유기 절연체에 대하여 에너지 침전 함수 $I(z')$ 의 결과이다. (z' : 빔원도우, 공기 빈틈 및 절연 물질 층으로 이루어진 3-층의 흡수체에서의 총 깊이)



a)



b)

그림4 - 대표적인 깊이-선량 분포를 고려하기 위하여 방사 샘플을 정리하는 두 가지 방법: a) 동일 물질의 시료 및 백 플레이트; b) 동일 물질의 두 개의 판 사이의 끼워진 시료

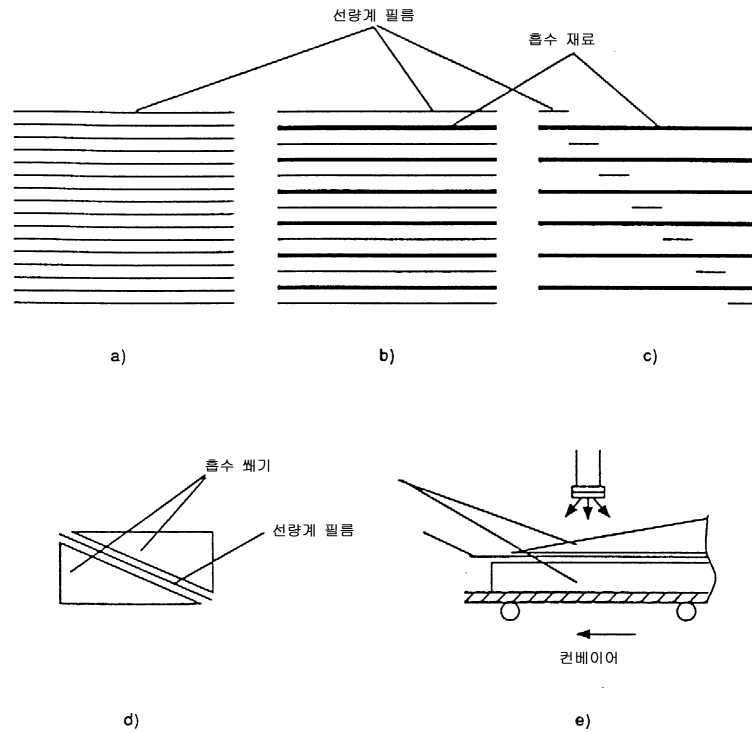


그림5 - 슬랩 절연 물질과 웨지-모양의 절연 물질의 전자 스택으로 깊이-선량 분포를 측정하기 위한 조사 샘플을 정리하는 방법: a) 균일한 스택 방법; b) 대안적인 스택 방법; c) 이동 삽입 방법; d) 선형 웨지 방법 및 e) 계단형 웨지 방법

부록A (규범)

충전된 미립자의 평형 두께

물질이 제 2 전하로 오염되지 않은 X-선 혹은 γ -선으로 한 면에서만 조사되는 경우, 방사 물질 침투함에 따라 최초로(최초 흡수체) 에너지 침전 build-up이 존재한다. 일부 한정된 두께에 따라 방사-에너지 침전은 감소한다. 최대 에너지 침전에 도달하기 위하여 반드시 필요한 두께를 일반적으로 충전된 미립자의 평형 두께라 한다. 이는 방사 에너지와 조사되는 물질의 전자 밀도의 함수로 나타낸다. 두께가 더욱 두꺼운 경우, 물질에 충전된 미립자의 평형이 존재한다.

그림A.1은 두께의 함수로 나타낸 에너지 침전의 대표적인 모양을 보여주고 있다. 하나가 모든 면으로부터 시료를 조사하고 있을 때마다 시료 전체에 걸쳐 충전된 미립자의 평형을 확인하기 위하여 흡수체로 시료를 반드시 둘러싸야 한다. 방사 고도로 산발된 미립자의 경우 build-up은 관찰되지 않지만 잘 정의된 조사 조건을 제공하기 위하여 build-up을 사용하는 것이 권장된다.

그림A.2는 전하 밀도 3.3×10^{23} 인 물질의 에너지 함수로서 나타낸 흡수체 두께의 모양이다. 그림A.3은 단방향 조사로 주어진 감쇠에 대한 에너지 함수로서 나타낸 물(또는 동일한 전하 밀도를 지닌 물질)의 두께의 모양이다.

주 - 어떤 물질의 전하 밀도 n 은 다음 식을 통하여 산출할 수 있다.

$$n = \rho \frac{N_A}{M} \sum_i Z_i [\text{cm}^{-3}] = \frac{N_A}{M} \sum_i Z_i [\text{g}^{-1}]$$

ρ	물질의 밀도이다(g/cm^3);
N_A	아보가드로 상수, $6,023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 이다;
M	몰의 질량이다(g/mol);
Z_i	i 의 원자 수이다;
$\sum_i Z_i$	분자당 전체 전자수이다.

$1/M (\sum_i Z_i)$ 은 $Z = 17$ (H를 제외하고)까지 요소에 대해 약 1/2이다. 유기 물질의 경우, 이 방정식을 단순화하여 다음과 같이 판독할 수 있다 :

$$n = \rho \frac{N_A}{2} 3 \times 10^{23} \text{ p}[\text{cm}^{-3}] = 3 \times 10^{23} [\text{g}^{-1}]$$

그림A.1에서 A.3은 이 근사치로써 산출한다.

그림A.2의 곡선은 흡수체의 전자 밀도가 산출된 값 이상으로 증가하기 때문에 왼쪽으로 이동하며 보다 전자 밀도가 보다 널널한 물질의 경우 오른쪽으로 이동한다. 따라서, 사용하려는 평형 두께는 $3,3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ (물의 전자 밀도)의 흡수체의 전자 밀도 비율로 나눈 그림 A.2로부터 얻어지는 두께이다.

예를 들어서 1,1 MeV 광자로 폴리테트라플루오르에틸렌(PTFE)을 조사하는 것은 필수적이다. 그림A.2를 참조하여 $3,3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ 의 전자 밀도를 가지는 물질의 0,5 cm는 충전된 미립자의 평형을 확인하기 위하여 필요한 것이라는 사실을 반드시 기억해야 한다. 따라서 물의 이와 같은 두께가 필름을 둘러싸는 것이다.

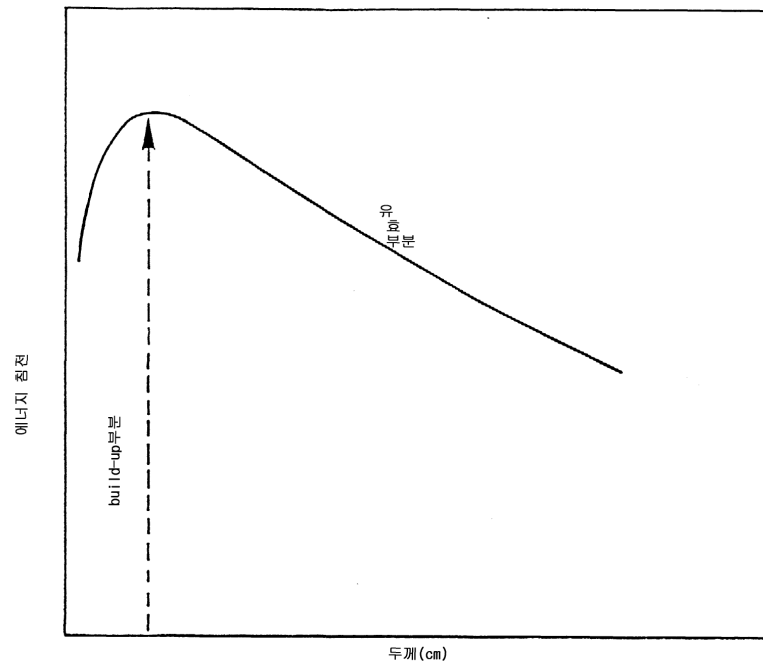
밀도가 $\rho = 2,2 \text{ g/cm}^3$ 인 PTFE의 경우 하나는 다음으로 산출한다:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{3 \times 10^{23} \times 2,2}{3,3 \times 10^{23}} = 2$$

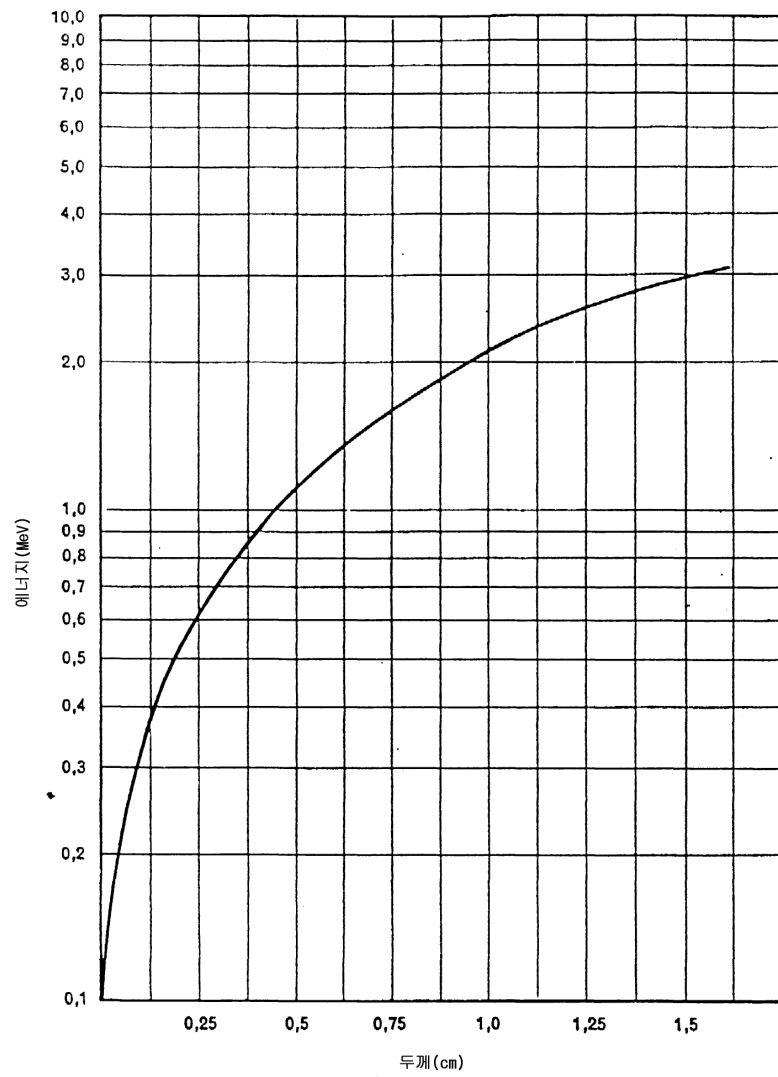
그리고

$$d_{\text{PTFE}} = \frac{d_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{PTFE}} / n_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,25 \text{ cm}$$

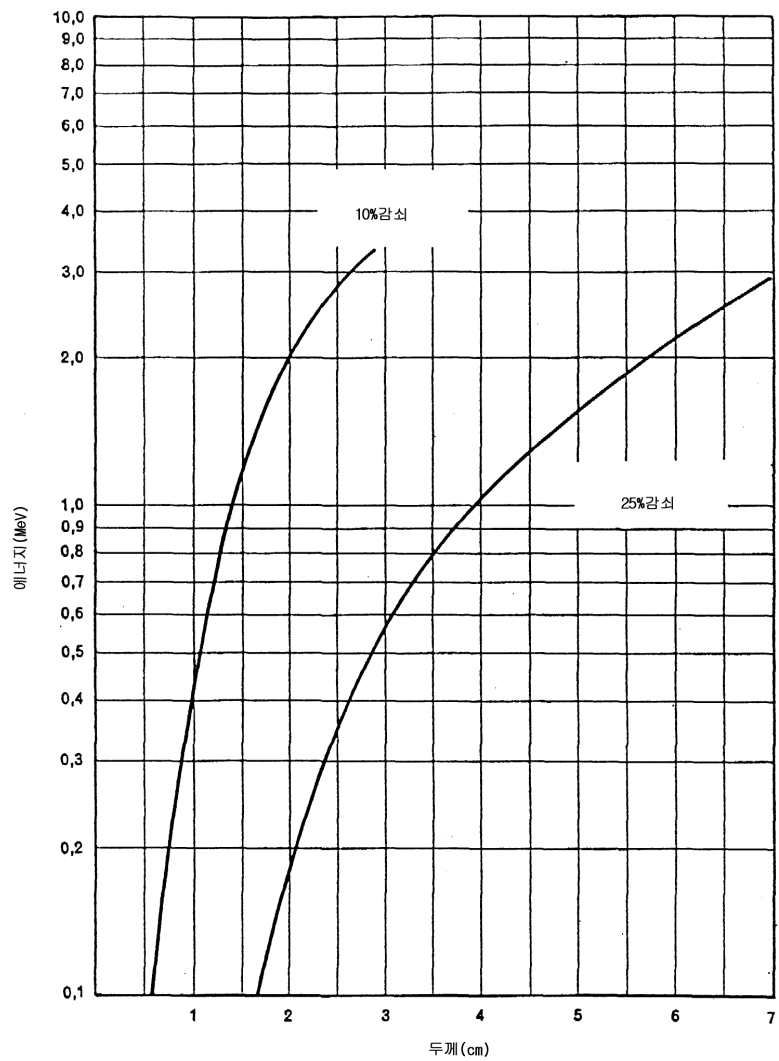
이는 PTFE의 0,25cm가 필름을 감싸고 있어야 한다는 것을 의미하는 것이다.



그림A.1 - 두께의 함수로 나타낸 흡수 선량. 최대치의 왼쪽방향에 대한 곡선부분은 알려져 있지 않다: 따라서 최대치에서 오른쪽으로 또는 오른쪽에서 한쪽에 기울도록 샘플의 두께는 충분해야 한다.



그림A.2 - 전자 밀도가 $3.3 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ (물)인 물질에 대한 에너지 함수로 나타낸 충전된 미립자의 평형을 위한 흡수체 두께



그림A.3 - 단향성의 X-선 혹은 γ -선 방사의 주어진 감쇠를 위하여 광에너지 함수로 나타낸 물(1 g/cm^3)의 두께

공 페이지

부록B

(규범)

수리적인 지수 f_i 의 유도

X- 혹은 γ -방사에 노출된 물질에 의한 에너지 흡수 효율은 그 질량 에너지-흡수체 계수(μ_{en}/ρ)_m 에 의하여 결정된다.

이는 실제로 물질이 흡수한 광 에너지의 약간의 비를 포함하여 질량 흡수체 계수로부터 결정될 수 있다; 따라서 수정은 형광, 흩뿌리기, 방사 및 제동복사 손실에 필수적이다.

화합물이든 혼합물이든, 조사되는 물질의 값은 다음 관계식에 따라 대략적으로 거의 근사치를 얻어낼 수 있다 :

$$(\mu_{en}/\rho)_m = \sum_i W_i (\mu_{en}/\rho)_i \quad (B.1)$$

여기서 W_i 및 $(\mu_{en}/\rho)_m$ 은 각 구성 요소 i 의 질량 비 및 질량 에너지 - 흡수체 계수이다.

1 C/kg의 공기 조사 선량은 충전된 미립자의 평형이 주요 지점에 존재할 때마다 33,68J/kg(공기 중 이온 한 쌍으로 생성된 33,7 + 0,2 eV를 바탕으로 하여)의 흡수를 낳는다. 동일한 조사 선량의 경우, 조사되는 물질이 받는 흡수 선량은 다음 방정식을 통하여 정해진다:

$$D_m = D_{air} \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} = 33,68 \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} X \quad (B.2)$$

D_m	물질 m 에 관한 흡수 선량이다(단위 :Gy);
D_{air}	공기 중의 흡수 선량이다(단위 : Gy);
$(\mu_{en}/\rho)_m$	물질 m 에 대한 질량 에너지-흡수 계수이다;
$(\mu_{en}/\rho)_{air}$	공기에 대한 질량 에너지-흡수 계수이다;
X	조사 선량이다.(단위 : C/kg)

방정식(B.1)을 방정식(B.2)로 대입하면 다음 식이 도출된다 :

$$D_m = X \sum_i W_i f_i \quad (B.3)$$

$$F_i = \sum_i W_i f_i \quad (B.4)$$

주 - 또한 수리적인 지수 f_i 기존의 c.g.s. 단위 rad/R (1rad/R = 38.76 J/C)에서도 주어질 수 있다 :

$$f_i = 0.870 \frac{(\mu_{en}/\rho)_i}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} (rad/R)$$

표1 - 흡수 선량 측정을 위하여 권장되는 전류 방법

방법	관독 유형	선량 범위(GY)	선량-비율 범위	에너지	온도	내용	참조
절대법							
열량계	온도	10^{-1} 대 10^4	3×10^{-3} 에서 약 1.5×10^4	에너지와 무관	영향없음	단열곡선 유형의 대부분 수용가능. 서미스터 센서로 정밀성 높음. 고-밀도 필드에 매우 적합한 직렬 전류 관독.	[4]
공동-유형 이온화 챔버 상대법 화학적 변환	전자 전류		최저치 에서 3×10^2 까지	제조업자가 규정 함	영향없음	상업적으로 유용한 장치. 직렬 전류 관독, 낮은-선량 및 선량을 측정에 아주 적합한 매우 민감한 방법	[9] [33] [35]
제1일철 황산염	스펙트럼 도계	광 4×10^{-2} 대 4×10^2	30까지	0,66MeV 에서 16MeV까지의 범 위에서 에너지와 무관	조사시 0 도 에 서 50도까지 의 범위 에서 약 간의 영 향, 스펙 트럼 광 도 계 의 관독에는 매우 민 감.	실험실에서 쉽게 준비할 수 있음.	[4] [1] [9]
세륨함유 황산염 가스 방출	스펙트럼 도계	광 5×10^2 대 10^7	10^7 까지	제 1철 황산염과 유사.	약 간 의 영향	불순물에 민감	
폴리에틸렌 올	수소 가스 수	10^2 대 10^7	3×10^{-3} 부터 3×10^2 까지	독립적(무관)	80도이하	관독 용이	

표1 - 흡수 선량 측정을 위하여 권장되는 전류 방법(계속)

방법	관독 유형	선량 범위(GY)	선량-비율 범위	에너지	온도	내용	참조
광 밀도							
염색 및 염색 되지 않은 폴 리메틸산 염 색	스펙트럼 광 도계	2×10^3 대 2×10^4	100까지		약간 영향		[5] [36]
방사성 크롬 산	스펙트럼 광 도계	10^3 대 10^6	적어도 10^4 까지		50도까지 전혀 영향없음.	UV 빛에 민감함	[18] [22] [23]
셀룰로오스 트리아세테이 트 필름 포도루미네스 스	스펙트럼 광 도계	10 대 3×10^2	적어도 10^7 까지		영향없음		[34] [32]
실버-활성화 된 산염 글래스	루미네스스	10^{-4} 대 10^2	적어도 10^7 까지	30keV에서 1,2MeV까지 의 범위에서 조사선량에 대해 10 내지 30배 정도 크게 반응한다. 이는 사 용하는 글래스의 종류 및 그 크기에 따라 달라질 수 있다. 차폐를 통하여 향상될 수 있다.	25도에서의 조사 선량 편차에 대 한 수정요소를 적용해야 한다.	상업적으로 유용한 글 래스의 관독기계 및 선택	[3] [9] [6]
열루미네스스						상업적으로 유용한 글 래스의 관독기계 및 선택. γ 선 및 중성자 필드를 혼합에는 부적 합.	
리튬 플루오 르화물	루미네스스	10^{-4} 대 3×10^2	적어도 5×10^2 까지	1,2keV에서 보다 50keV 에서 조사선량에 대해 대 략 1,5배 더 크게 반응한 다.	210도에서 시간- 안정 백열 최고		[19] [9] [26] [8] [6]
자유 근호 알라닌	ESR 분광계	5×10^{-1} 대 10^6			약간 영향	아주 양호한 안정정 및 재생력	[28] [29] [20]