

X線寫眞의 Sensitometry 에 關하여

高麗大學校 保健專門大學 放射線科

許 俊

Fundamental of X-ray Sensitometry

Joon Huh

*Dept. of Radiotechnology, Junior College of Public Health and
Medical Technology, Korea University*

최근 醫療畫像診斷法의 눈부신 발전과 그 이용도가 증가함에 따라, 각 진단법의 out put로서 감광재료가 보다 높은 精度로 많은 情報量을 묘사하는 것이 요구되고 있다. 이와같은 요구를 충족시키기 위해서는 사용하고 있는 감광재료가 지니고 있는 특성 중에서 가장 기본적인 것, 즉 감도, contrast, fog 등의 치는, 감광재료에 조사되는 빛의 량과 현상된 다음에 나타나는 농도와의 관계를 나타내는 특성곡선을 작성함으로써 구할 수 있다.

본 강좌에서는 X-선필름의 특성곡선을 작성하는 방법과 해독법에 대해서 그 기본을 알기 쉽게 해설하는 바이다.

I. Sensitometry의 基礎

1. Sensitometry의 概要

Sensitometry의 語源은 Sensitivity(感度)와 Metry(測定)의 결합된 말로서 感度測定의 뜻이 된다. 사진분야에서 사용할 경우에 정확한 표현으로 사진감광재료의 감도측정(photographic

sensitometry)이라 할 것이나, 보통 이것을 간단하게 sensitometry라 부르고 있다.

이와같이 종래 감도측정을 의미한 말이 현재는 감도뿐만 아니라 contrast, fog 등 감광재료가 지니고 있는 사진특성을 전반적으로 측정하는 범위까지 포함하게 되었다. 즉 sensitometry라 함은 감광재료를 노광하고 현상처리 할 경우에 조사된 光량과 사진의 농도 관계를 정량적으로 구하는 방법이다.

2. Sensitometry의 利用

Sensitometry는 감광재료의 특성을 精度 높게 검사하는 것을 목적으로 하는 고로, 측정조건을 표준화하여 항상 再現性 있는 측정결과가 나타날 수 있는 방법이라야 한다. X-선필름을 사용하는 분야에서는 다음과 같이 여러면에서 이용되고 있다.

Sensitometry의 用途

1) 필름의 사진특성의 측정

[처리조건(온도; 시간)의 변화에 따르는 필름의 특성변동의 측정, 기타]

* 이 講座는 「大韓放射線技術學會」 주최 放射線專門技術研修會(1984.7.7~8, 1985.6.29~30, 高麗大 保健專門大學)에서 발표되었음.

- 2) 현상처리제의 성능측정
- 3) 자동현상기의 처리성능의 측정
[자동현상 의 현상처리액 관리]
- 4) 증감지의 감도측정
- 5) 기타

Sensitometry를 직접 하지 않아도 사진을 응용하는 분야에서는 필름의 sensitometry는 성능의 기본으로 되어 있다고 해도 과언은 아니다. 따라서 sensitometry의 기본을 이해하고 특성곡선의 성질을 활용하는 것은 放射線土로서 가장 중요한 요건이라 하겠다.

3. Sensitometry의 過程

Sensitometry를 간단하게 설명하면 감광재료 가 조사받은 노광량과 이에 따라 생기는 농도와 의 관계를 정량적으로 측정하는 방법이다. 따라서 정량적으로 측정하기 위해서는 sensitometry의 조건이 되는 다음 각 요소를 규정할 필요가 있다.

Sensitometry 조건이 되는 요소

- 1) 필름을 노광시키는 광원
 - ㄱ. 광원의 성질(광원의 파장)
 - ㄴ. 광원의 휘도(강도)
- 2) 노광조건
 - ㄱ. 노광법(양면 또는 편면, 빛 또는 X-선)
 - ㄴ. 노광시간 · 노광량 · 노광법
 - ㄷ. 노광량의 변화(강도변화, 시간변화)
- 3) 현상처리조건
 - ㄱ. 현상처리제의 종류
 - ㄴ. 현상방법(온도 · 시간 등)
- 4) 농도측정의 조건
 - ㄱ. 농도계의 type
 - ㄴ. 농도의 종류(확산농도 · 평행농도)
- 5) 측정결과의 표시
 - ㄱ. 특성곡선
 - ㄴ. 특성치(fog, sensitivity, contrast)

이와같은 조건을 각종 감광재료의 사용조건에 따라 선정해야 할 것이다. 그 예로서 보통 칼라 필름을 쓸 경우에는 실제 광원은 太陽光이거나 strobo光을 사용하고 있다. X-선필름은 증감

지의 형광으로 노광이 된다. 이와같은 차이점을 고려하여 필름종류에 따라 조건을 설정해야 한다.

4. 特性曲線

각종 감광재료에 적합한 조건으로 작성된 sensitometry의 결과는 橫軸이 노광량, 縱軸은 농도를 나타내는 그래프에 특성곡선(H-D곡선)이라 하는 S字形的의 곡선으로 나타난다.

sensitometry로서 나타난 특성곡선은 Fig.1과 같은 형태로 나타난다. 이 곡선의 縱軸은 농도치(D)를 橫軸은 노광량의 대수(Log E)로 나타내고 右側으로 감에 따라 노광량은 증대되고 있다. 橫軸을 노광량의 대수로 한 이유는 특성곡선을 그리기 위해서 필름에 조사되는 노광량의 幅이 크게 되어 노광량을 그대로 나타낼 경우 橫軸이 너무 길어지는 까닭이다. 또한 대수표시를 함으로서 複數로 된 특성곡선의 감도관계나 농도와 사진특성의 관계가 쉽게 인지된다.

특성곡선을 작성할 때에 주의할 것은 縱軸과 橫軸의 간격표시는 똑같이 해야 된다. 그 예로서 농도 1.0을 그래프 用紙에서 5 cm로 하면 Log

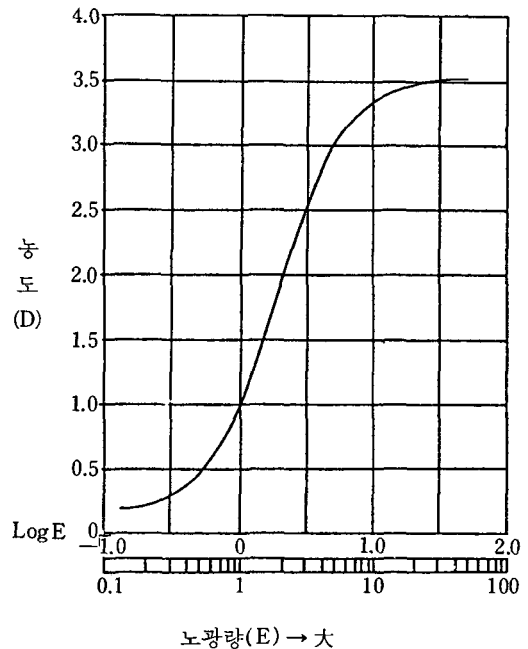


Fig.1. 특성곡선

Table 1. 노광량과 현상후의 농도치

노 광 NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
노 광 량 (E)	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.41	2.0	2.82	4.0	5.6	8.0	11.2	16	22.4	32
노광량의 대수(Log E)	1.4	1.55	1.7	1.85	0	0.15	0.3	0.45	0.6	0.75	0.9	1.05	1.2	1.35	1.5
농 도 D	0.24	0.30	0.44	0.67	1.02	1.5	1.96	2.38	2.72	2.95	3.08	3.18	3.22	3.28	3.31

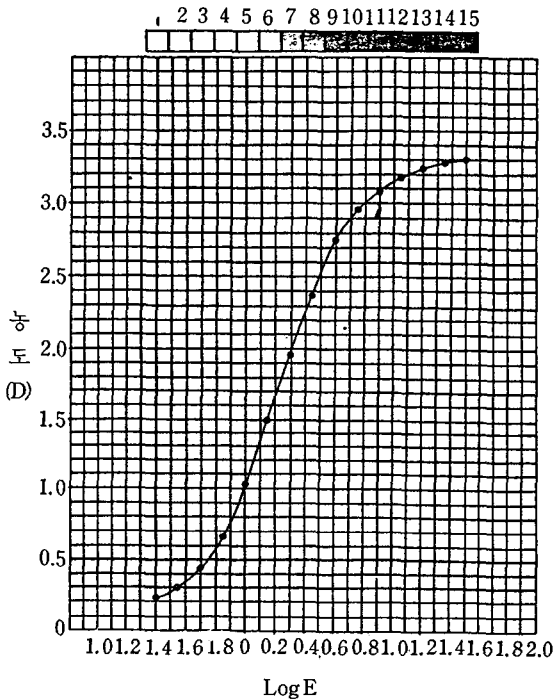


Fig 2. 특성곡선

E=1.0도 같은 5cm로 표시한다. 보통 X-선 필름의 경우 농도표시는 3.5 정도까지 하고 Log E표시는 Log E에서 2.0~3.0의 폭(노광량으로 100~1,000 배)이 필요하다. 이때 Log E는 0에서 표시할 필요는 없으며 최소농도가 얻어지는 Log E치가 황측의 左側에 오게 scale을 잡으면 좋을 것이다.

Table 1과 Fig.2는 노광량을 15 단계로 변화 화시킨 sensitometry의 data와 그 특성곡선이다. 특성곡선의 농도를 표시한 점을 結線하기 위해서는 삼각자나 곡선자가 쓰여진다.

5. 對數의 기초지식

대수표시는 몇 가지 종류가 있으나 여기서 취

급하는 대수는 常用對數이다. 상용대수표시는 어떤 수치를 나타내기 위해서 10에 乘하는 指數를 나타내고 다음과 같이 쓴다.

$$10^4 = 10,000$$

$$\text{Log}_{10} 10,000 = 4 \quad (\text{Log } 10,000 = 4)$$

(상용대수의 基數는 10으로 보통 생략된다)

여기서 4는 10,000의 대수가 된다. 몇 가지 대수를 예로 들며

$$10^3 = 1,000 \text{ 는 } \text{Log } 1,000 = 3$$

(1,000의 대수는.....3)

$$10^2 = 100 \text{ 은 } \text{Log } 100 = 2$$

(100의 대수는.....2)

$$10^1 = 10 \text{ 은 } \text{Log } 10 = 1$$

(10의 대수는.....1)

$$10^0 = 1 \text{ 은 } \text{Log } 1 = 0$$

(1의 대수는.....0)

$$10^{-1} = 0.1 \text{ 은 } \text{Log } 0.1 = -1.0$$

(0.1의 대수는.....-1)

이상과 같이 된다.

여기서 10의 整數乘으로 나타낼 수 없는 수치는 다음과 같은 대수로 표시한다.

그 예를 들면,

55:10(10^1)과 100(10^2)의 사이 [대수에서는 1($\text{Log } 10$)과 2($\text{Log } 100$)의 사이]

$$\text{Log } 55 = 1.????$$

550:100(10^2)와 1,000(10^3)의 사이 [대수에서는 2($\text{Log } 100$)와 3($\text{Log } 1,000$)의 사이]

$$\text{Log } 550 = 2.????$$

小數點 이하의 수치 ?????를 구하기 위해서 계산기나 대수표가 사용된다. 대수표로 소수점을 구하면 다음과 같다.

$$\text{Log } 55 = 1.7404$$

$$\text{Log } 550 = 2.7404$$

指數 ← | | → 假數

$$(\text{Log } 0.055 = \bar{2}.7404 = -1.2596)$$

지표: 대수 지표는 소수점의 위치로 결정된다. 1보다 큰 수치일 경우에는 正, 1보다 작은 수치의 경우는 負가 된다. 負의 지표는 $\bar{2}$ 와 같이 나타낸다.

가수: 正의 소수로 나타낸다. 또한 小數點位 值만이 틀린다. 동일 수치가 나열되면 가수는 언제나 동일하게 된다.

최근 지수계산을 할 수 있는 계산기가 보급되어 간단하게 대수계산을 할 수 있다.

특성곡선의 횡축은 노광량을 대수로 나타낸 것이다. 즉 10을 몇 승식하면 노광량의 치로 되고 그 곱한 치를 橫軸스케일로 한다. 그 예로서 노광량 1을 기준으로 하여 2배 또는 1/2씩 변화시킬 경우 그 횡축의 스케일은 다음과 같이 된다.

Table 2. 노광량과 그 대수

노광량 (E)	노광량의 대수 (횡축 scale)
16	Log 16 = 1.204) 0.3
8	Log 8 = 0.903) 0.3
4	Log 4 = 0.602) 0.3
2	Log 2 = 0.301) 0.3
1(기준)	Log 1 = 0.000) 0.3
1/2	Log 1/2 = $\bar{1}.699$) 0.3
1/4	Log 1/4 = $\bar{1}.398$) 0.3
1/8	Log 1/8 = $\bar{1}.097$

노광량이 일정한 비율로 변화할 경우 그 대수치는 규칙적으로 변화된다. 이 경우에 Log E로 0.3씩 변화하면 노광량은 2배씩 변화되는 것을 알 수 있다.

6. 濃 度

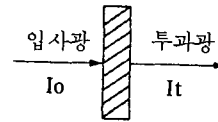
특성곡선의 종축에 쓰여지는 농도는 필름의 黑化度를 말하며 보통 X-선사진에서 투과농도는 다음 대수식으로 정의된다.

$$D = \text{Log } \frac{I_0}{I_t}$$

D : 농도

I_0 : 필름에 입사되는 빛의 양

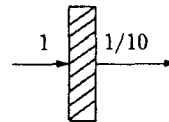
I_t : 필름을 투과한 빛의 양



필름

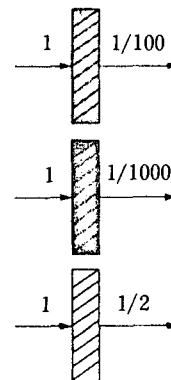
($\frac{I_0}{I_t}$ 는 투과도의 역수로 불투과도를 나타낸다)

즉 어떤 黑化필름시료에 1의 光量이 입사되어 그 1/10이 투과하면 그 농도는 다음과 같다.



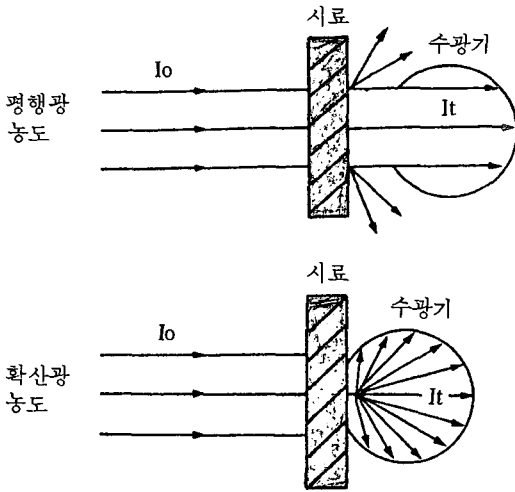
$$\text{Log } \frac{1}{1/10} = \text{Log } 10 = 1$$

똑같이 1/100, 1/1000, 1/2의 광량이 투과하면, 그 필름의 농도치는



$$\text{Log } \frac{1}{1/100} = \text{Log } 100 = 2$$

$$\text{Log } \frac{1}{1/1000} = \text{Log } 1000 = 3$$



$$\text{Log} \frac{1}{1/2} = \text{Log} 2 = 0.3$$

가 된다.

이와같이 농도는 흑화시료의 불투과도를 대수로 나타낸 것이다. 그러나 농도를 구할 경우에는 이와같은 계산을 실제로 할 필요는 없으며 올바르게 조정된 농도계로 측정하면 간단하게 구할 수 있다.

사진농도는 측정방법에 따라 두 종류로 분류된다. 사진화상의 농도는 흑화은입자로 형성되는 고로 입사된 빛은 그 銀粒子에 의해서 확산된다. 따라서 빛은 擴散光으로 되어 투과된다.

그 투과광의 수광방법에 따라 다음과 같이 평행광농도와 확산광농도로 분류된다.

동일시료에서 평행광농도와 受光量에 差가 생기는고로 평행광농도는 확산광농도보다 그 치는 높다.

보통 사용되는 농도계의 농도는 확산광농도이다. 이에 대해서 microdensitometer 등의 농도는 평행광농도를 측정 한 것이다.

II. 特性曲線의 解讀法

1. 特性値와 求하는 方法

Sensitometry로 구한 특성곡선은 S字形으로 나타나며 Fig.3과 같이 足部, 直線部, 肩部 등

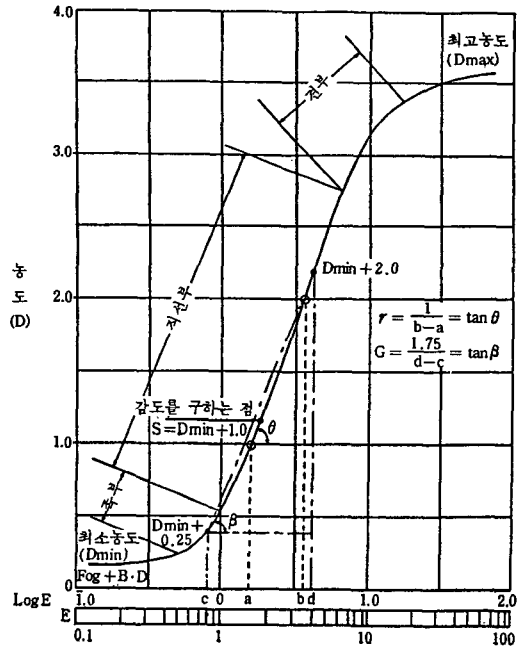


Fig. 3. 특성곡선(특성치)

으로 구분된다. 이 특성곡선에서 보통 다음 특성치가 구해진다.

포그(Fog) [최소농도 Dmin]

감도(Speed)

대조도[감마(γ)]

[평균계조도(\bar{G})]

최고농도(Dmax)

(1) 포크(Fog) [최소농도]

필름에 노광을 하지 않아도 현상처리 후에 약간이나마 농도가 생기며 이것을 Fog 농도라 한다. 특성곡선에서 Fog를 구할 경우에는 축부의 가장 저농도 부분이 특성곡선에서 平行으로 되는 부분의 농도를 말한다.

이 농도를 최소농도(Dmin)라 하며 Fog density와 Base density가 합친 것이다. 따라서 Fog density를 측정할 경우에는 다음 계산으로 한다.

$$\text{Fog} = \text{최소농도(Dmin)} - \text{Base density}$$

Fog density는 필름의 유제층을 용해시키면 측정할 수 있다.

(2) 감도(speed)

어떤 정해진 농도를 얻기 위해서 필름에 조사되는 노광량에 따라 감도가 결정된다.

노광량이 작아도 높은 농도를 낼 수 있으면 감도는 높은 것으로 되어 특성곡선은 左側으로 묘사된다. 반대로 감도가 저하되면 특성곡선은 노광량이 증가되는 右側으로 나타난다. Fig. 4의 필름 A와 B에서는 A가 저감도이다. 이 두 개의 곡선간격은 두개 필름의 감도차를 나타내고 있다.

보통 칼라필름 등에서는 어떤 농도를 내기 위해 필요한 노광량의 측정법이 표준화 되어 있는 고로 ISO-100 등과 같이 절대감도로 표시되고 있다. 그러나 X-선필름은 실제로 사용하는 데 증감지나 X-선 에너지가 관계되는 고로 절대적인 감도표시는 곤란하여 상대감도로 나타내고 있다. 상대감도는 어떤 특성필름 또는 필름-증감지의 연결된 감도를 기준으로 하여 그 기준에 대한 감도를 표시하는 것이다. 즉 어떤 필름의 감도를 100으로 할 경우 그 필름에 대한 노광량 1/2로 동일 농도를 낼 수 있는 필름은 노광량

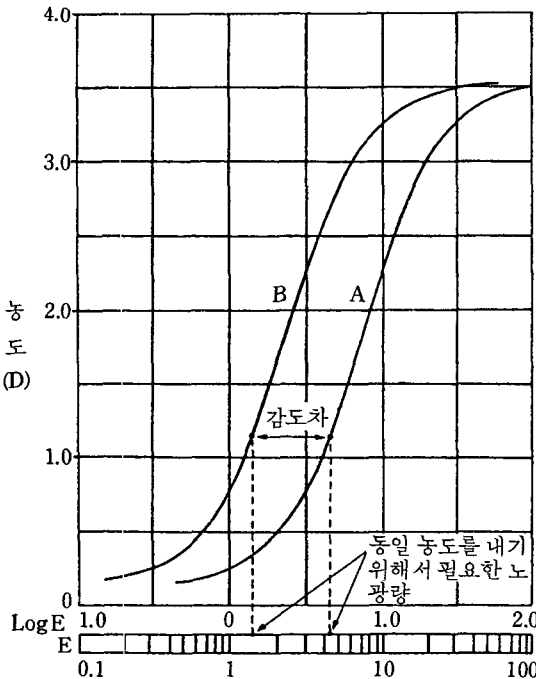


Fig. 4. 특성곡선과 감도

과 감도는 반비례되는 고로 상대감도는 200이 된다. 또 노광량 2배로 동일 농도를 낼 수 있으면 상대감도는 50이 된다. 기준이 되는 필름은 목적에 따라 임의로 설정할 수 있다.

7. 감도측정의 농도점

감도는 어떤 농도를 얻기 위해서 필요한 노광량으로 결정되며 측정하는 농도점은 감광재료의 종류에 따라 틀린다. 그 예로서 특성곡선의 경사도(contrast)가 틀리는 두 개의 특성곡선을 비교할 경우에 측정하는 농도점에 따라 감도관계는 변화된다. 따라서 목적과 실용농도영역을 고려하여 측정농도점을 결정할 필요가 있다.

보통 직접 X-선필름의 감도를 측정하는 농도는 $D = 1.0 + D_{min}$ 가 적당하며 이 농도점은 X-선사진에서 진단정보를 讀影하는 농도영역의 거의 중간 농도가 된다.

8. 비감도(상대감도)를 구하는 방법

증감지-필름시스템의 감도는 비감도로 표시되고 있으며 기준으로 하는 시스템을 감도 100으로 나타낸다. 비감도는 특성곡선과 특성곡선의 간격(log scale의 폭)으로 구해진다. Log E scale에서는 일정한 비율로 조사시킨 노광량은 항상 등간격으로 표시된다. 즉 2배의 노광량의 비 또는 1/2의 노광량의 비는 Log E scale에서는 항상 0.3의 간격을 유지하며 노광의 절대량이나 단위에 영향을 주지 않는다. 이때 비감도를 구하는 농도점은 $D = 1.0 + D_{min}$ 이다. Fig. 5는 5 종류의 필름 비감도를 실제로 측정한 것이다.

㉔ 필름 a를 기준으로 하여 a의 감도를 100으로 한다.

㉕ 각 필름의 측정농도점을 $1.0 + D_{min}$ 으로 한다.

필름 a, c, e의 $D_{min} = 0.20$ 인 고로 농도 1.20점에서 비교한다.

㉖ 필름 c, e의 감도는?(a의 감도를 100으로 한다)

a의 농도 1.20에 대응되는 횡축의 Log E 치는 0.7

c의 농도 1.20에 대응되는 횡축의 Log E 치

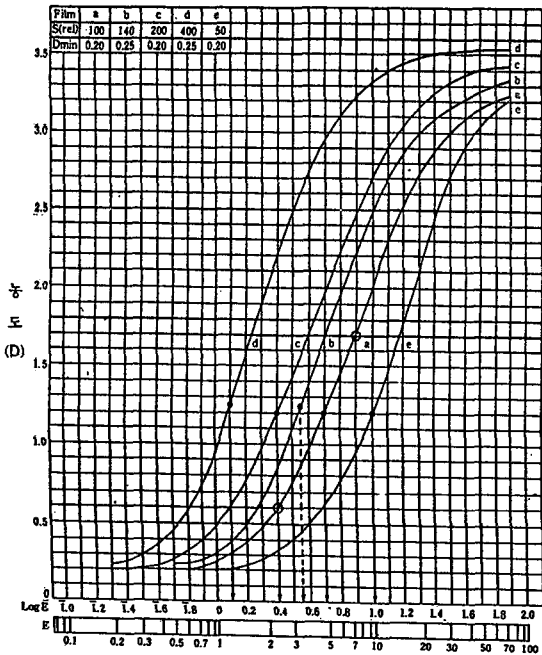


Fig.5. 특성곡선과 비감도

는 0.4

a와 c의 Log E의 차이는 $0.7 - 0.4 = 0.3$ 이며 0.3(대수)의 진수는 2.0이다.

이것은 a와 c 사이에서는 2배(1/2)의 노광량비가 된다. 또 c는 a보다 左側에 있는고로 c는 a보다 감도가 높고 a의 1/2의 노광량으로 농도 $D = 1.20$ 을 낼 수 있다. 그리고 감도와 노광량은 반비례되는 고로 그 감도를 100으로 할 경우 c의 감도는 200이 된다.

반대로 필름 e는 a보다 감도가 저하되고 농도 1.20을 내는데는 a의 2배의 노광량이 필요하고로 e의 비감도는 그 1/2 즉 50이 된다.

이때 Log E치에서 진수를 구하는데는 전자계산기를 쓴다.

$$\text{Log}_{10} E = 0.3$$

$$E = 10^{0.3} = 2.0$$

① 필름 b·d의 감도는?

b의 농도 1.25에 대한 Log E는 0.55

a와 b의 Log E의 간격은 $0.7 - 0.55 =$

0.15

0.15의 진수는 1.4이고 b의 비감도는 140

이다.

$$\text{Log } E = 0.15, E = 10^{0.15} = 1.4$$

d의 농도 1.25에 대한 Log E는 0.1

a와 d의 Log E의 간격은 $0.7 - 0.1 = 0.6$

0.60의 진수는 4.0이고로 d의 비감도는

400이 된다.

$$\text{Log } E = 0.60, E = 10^{0.6} = 4.0$$

이와같이 Log E scale의 간격에 따라 비감도를 구하는 것은 촬영조건 등을 설정하는데 이용된다. 즉 Fig.5의 특성곡선 a의 필름에서는 흉부사진을 촬영할 경우 폐야의 농도가 0.6으로 농도부족이다. 이 농도를 1.7로 하기 위한 촬영조건은 특성곡선을 쓰면 간단하게 구할 수 있다.

농도 0.6에 대응하는 Log E는 0.4

농도 1.7에 대응하는 Log E는 0.9

Log E의 차이는 $0.9 - 0.4 = 0.5$

0.5의 진수는 3.16

$$\text{Log } E = 0.5, E = 10^{0.5} = 3.16$$

따라서 최초의 노광량을 3.16배 하면 폐야의 농도를 1.7로 올릴 수 있다.

(3) Contrast

Contrast라 함은 노광량의 변화에 대한 明暗의 차이 즉 농도 차이로 나타낸다.

X-선사진에서는 2개 부분의 약간의 X-선 흡수 차이를 농도의 차이로 나타내며 그것이 晝像으로 된다.

X-선사진의 Contrast라 함은 두 개의 Contrast요인에 따라 좌우된다. 그 하나는 피사체가 틀리는 부분을 투과한 X-선강도의 비로 나타내는 피사체대조도이다.

피사체대조도는 X-선의 질이나 피사체의 조성, 산란선 등에 따라 영향이 된다. 즉 Aluminium step wedge를 관전압을 변화시키고 촬영하면 Fig.6과 같이 저관전압일수록 각 step의 농도차가 크게 된다.

또 하나의 Contrast는 필름대조도로 특성곡선의 경사로 나타내며 필름의 종류나 현상처리조건 등에 영향을 받는다.

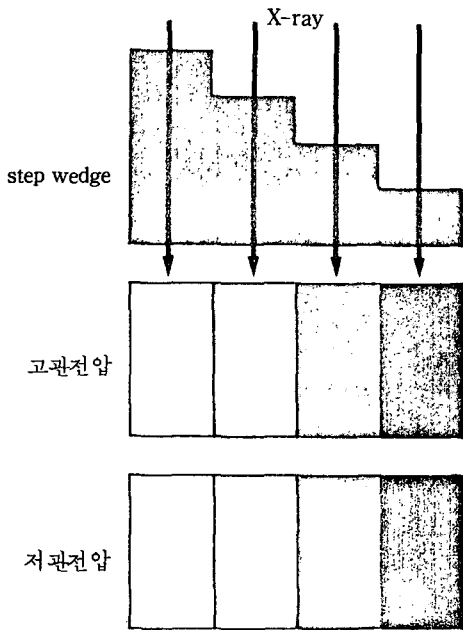


Fig. 6 관전압과 피사체 대조도

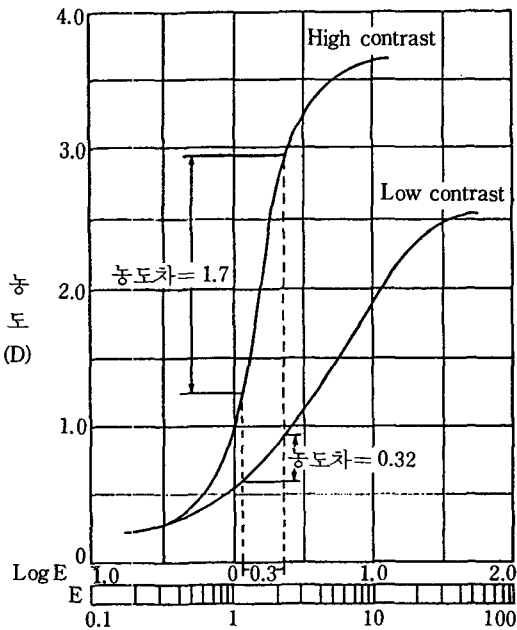


Fig. 7. Contrast

특성곡선은 이미 기술한 바와 같이 횡축은 노광량의 Log scale로 2점간의 노광량의 비가 동일하면 항상 횡축의 간격은 일정하게 된다. 따

라서 두 개의 노광량에 대한 농도차가 크면 Fig 7과 같이 특성곡선의 경사는 크게 된다. Contrast는 이 경사도에 따라 표시된다.

이 측정법은 감광재료의 종류나 용도에 따라 규격화되나 X-선필름의 Contrast 표시법으로는 보통 평균계조도(\bar{G})나 감마에 의한 표시법이 사용된다.

7. 평균계조도(\bar{G})

특성곡선의 경사도(contrast)는 Gradient (\bar{G} : 계조도)로 표시하는 방법이 있다. 이 Gradient는 특성곡선에서 각 농도점에서 Contrast를 표시하는데 사용된다. 그러나 일반적으로 평균계조도(\bar{G})로서 특성곡선상의 두 개의 농도점을 연결한 직선의 경사로 측정된다. 직접 X-선 필름의 경우 \bar{G} 를 구하는 농도점은 Fig. 3에 표시되는 것과 같이

$$D_1 = 0.25 + D_{min} \text{ 와 } D_2 = 2.0 + D_{min}$$

의 2점을 연결한 직선의 경사에서 구하면 다음과 같이 계산된다.

$$\bar{G} = \frac{1.75}{\text{비노광량의 차이}} \dots\dots (D_2 - D_1) \text{ 에 대한 횡축 scale의 간격}$$

여기서 \bar{G} 를 구하는 농도영역은 X-선 사진에서 독영진단하는데 가장 실용적인 농도영역이다.

8. 감마(γ)

gamma라 함은 특성곡선의 직선부의 경사도로 나타낼 때 쓰여진다.

직접 X-선필름에서 감마치의 측정은 간편한 방법으로 2점의 틀리는 농도를 연결한 직선부에서 구한다.

농도점으로서의 직선성을 가진 농도 1.0와 2.0을 연결하는 직선부에서 측정된다. Fig. 3에 표시하는 것과 같이 농도 1.0과 2.0에 대한 노광량의 차이와 농도 1.0(2.0-1.0)의 비로 나타낸다. 또 경사의 각도에 따라 $\tan \theta$ 에 의해서 계산할 수 있다.

$$\gamma = \frac{1.0}{\text{비노광의 차이}} \dots\dots (2.0 - 1.0) \text{ 에 대한 횡축 scale의 간격}$$

이와같이 Contrast의 표시법으로서 gamma

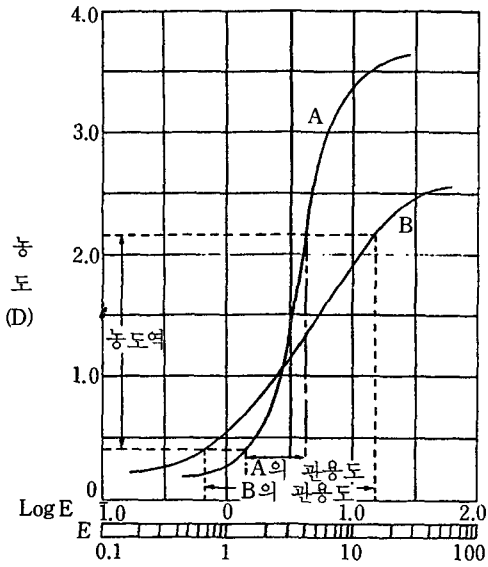


Fig. 8. 관용도

(γ)와 average gradient (\bar{G})가 쓰여지고 있으나 최근 X-선필름에서는 \bar{G} 에 의한 표시가 쓰여진다.

ㄷ. 관용도 (latitude)

특성곡선의 경사도와 관계된 것으로 관용도가 있다. 관용도는 필름의 적정노광영역을 나타내고 허용되는 촬영조건의 영역을 표시한다.

그 예로 Contrast가 틀리는 필름A와 필름B에서 특정 농도영역을 낼 수 있는 노광량 영역은 Fig. 8과 같이 Contrast가 작은 필름B는 관용도가 크다. 따라서 필름B를 사용하면 촬영조건에 의한 실패는 적어진다. 그러나 필름A는 필름B보다 Contrast가 높은 화상이 되나 관용도는 Contrast에 상반된다.

보통 X-선필름에서 latitude type라 하는 low gamma, double gamma type이 있다. 이것은 소화기 촬영과 같이 부위에 따라서 넓은 농도영역이 요구되는 경우 필요한 필름이다.

(4) 최고농도(Dmax)

특성곡선에서 알 수 있는 것과 같이 감광재료는 노광량을 증가해도 어떤 농도점이 되면 그 이상 노광해도 농도는 일정하다. 이 최고농도치를

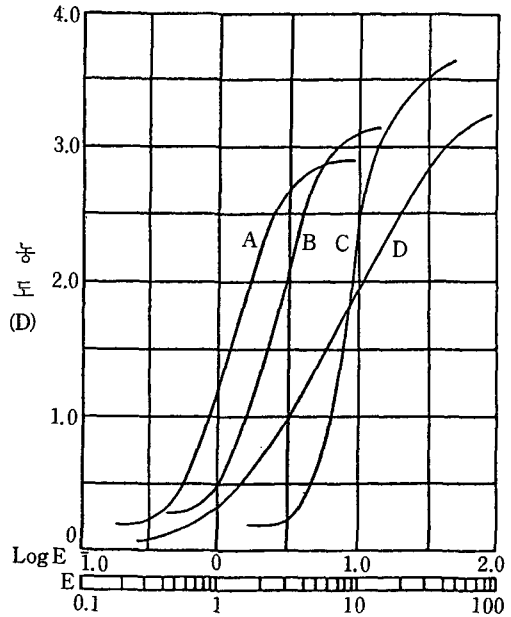


Fig. 9. 특성곡선의 비교

Dmax라 한다. Dmax는 필름의 종류, 현상처리 조건등에 따라 변화된다.

2. 特性曲線の比較

특성곡선을 비교할 경우에는 이미 기술한바 같이 특성치의 각각에 대해서 검토할 필요가 있다.

Fig. 9는 여러가지 특성곡선의 형태를 표시한다. 이 특성곡선을 비교하면 다음과 같이 된다.

필름A : 감도가 가장 높다. 표준대조도, Dmax가 가장 작다.

필름B : 감도가 두번째로 높다. 표준대조도, Dmin(Fog)가 높다.

필름C : 감도가 가장 작다. 고대조도, Dmax가 가장 높다.

필름D : 저대조도, Dmin(Fog)가 작다.

특성곡선의 형상은 보통 칼라필름이나 인쇄용 필름 등 사용목적에 따라 그 形狀이 틀린다. 그리고 각기 특성치도 필름의 종류에 따라 측정점이나 측정방법이 틀린다.

X-선필름에서도 high contrast type 및 double gamma type 등과 같이 그 목적에 따라

Table 3. X-선사진의 감도측정법의 종류

목적	광원 또는 선원	방법
필름의 감도측정	빛(증감지 형광체에서 발광되는 색광분포와 같은 광원)	감광계 간이감광계
	X-선(증감지를 일정하게 하고 필름을 비교)	Al step wedge의 두께로 선량을 보정하는 방법 보정법 : Boot strap법 Time scale에 의한 보정법
필름-증감지의 감도측정	X-선(X-선의 선질을 일정하게 하고 비교)	거리 scale법 Time(mAs) scale법

특성곡선의 형상이 틀리는 type도 있다. 실제 사용하는데 이 특성곡선의 형상은 활용할 수 있다. 촬영부위나 촬영조건 및 처리조건을 검토하는 것은 매우 중요하다.

III. X-線寫眞의 Sensitometry

1. Sensitometry 法の 種類와 用途

X-선사진의 sensitometry 방법은 그 목적에 따라 또는 증감지, 필름의 종류, 빛 노광이 될 경우와 X-선을 실제로 사용하는 X-선 sensitometry가 필요한 경우가 있다.

이들 X-선사진의 sensitometry 법은 다음과 같이 분류할 수 있다.

2. 빛 露光의 sensitometry

sensitometry에서 노광은 그 필름이 실제로 사용될 때와 동일한 성질의 광원을 쓸 필요가 있다. X-선필름은 거의가 증감지나 형광판의 발광으로 노광되는고로 sensitometry 노광은 그 형광체의 발광으로 하든가 혹은 형광색과 근사한 광원을 써야 할 것이다.

형광체의 발광스펙트럼과 틀리는 광원을 사용할 경우 다음과 같은 현상이 생긴다.

- 실제 사용하는 감도관계와 sensitometry의 감도관계가 일치하지 못한다.
- 필름의 contrast가 정확치 못하다(필름의 contrast는 노광파장이 짧으면 저하되고 파장

이 길면 높아지는 경향이 있다).

간접촬영용 필름에서는 형광판(ZnCdS:Ag)의 발광에 가까운 분광특성을 가진 광원과 filter를 규정하여 빛 노광에 의한 sensitometry 법이 규격화되고 있다. 직접촬영용필름도 미국 규격(ANSI)에는 텅스텐산칼슘(CaWO₄) 형광체에 근사한 빛을 sensitometry 용 광원으로 쓰도록 규격화되어 있다(Fig. 10 참조).

이와같이 증감지나 형광판이 발광하는 색광에 가까운 분광특성이 있는 빛을 filter 등으로 만들수 있을 경우에는 감광계(sensitometer)를 쓴 빛 노광에 의한 sensitometry는 가능하다. 이 감광계를 사용하는 방법은 노광량의 재현성이 좋아서 필름의 제조관리나 자동현상기 관리에 적합하다.

희토류형광체는 Fig. 11과 같이 輝線의 스펙트럼을 가진고로 그 발광에 가까운 빛을 filter로 만들기 곤란하여 필름의 sensitometry에서는 실제로 증감지를 사용하는 X-선에 의한 sensito-

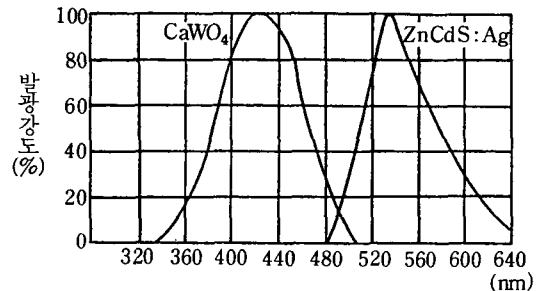


Fig. 10. 형광체의 발광스펙트럼

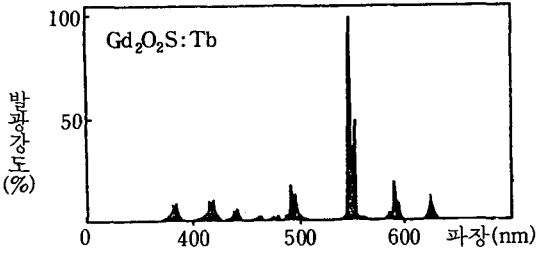


Fig. 11. 희토류 형광체의 발광스펙트럼

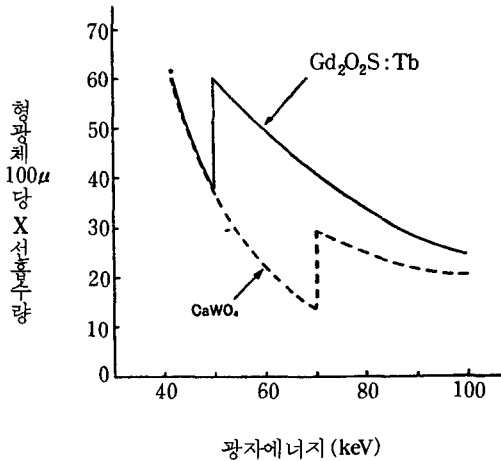


Fig. 12. 형광체의 X-선흡수효과

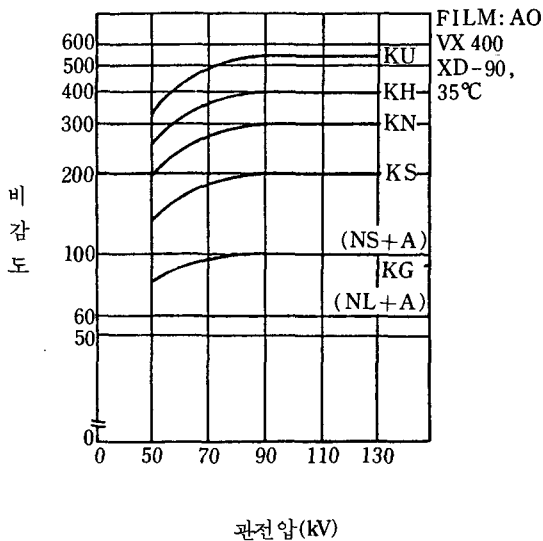


Fig. 13. 필름-증감지 시스템의 감도-관전압 특성

metry가 필요하다.

3. X-ray sensitometry

X-선조사에 의한 sensitometry에서는 X-선량을 변화하기 위해서 aluminium 혹은 acryl 등의 wedge를 쓰는 방법과 X-선판·필름간거리 또는 촬영시간을 변화시키는 방법이 있다. 이 방법은 실제로 증감지 발광에 의해서 노광되는 고로 광원에 관한 문제는 없다. 그러나 형광체의 종류, X-선의 선질에 대한 X-선 흡수효율이 틀리는 고로 선질에 따라 증감지의 감도가 변화되는 수가 있다.

그 예로 Fig. 12는 텅스텐산칼슘형광체(CaWO₄)와 희토류형광체인 Gd₂O₂S:Tb의 X-선 흡수효율과 선질관계를 나타낸 것이다. 관전압에 따라 兩者간의 X-선흡수에 차이가 있는고로 감도관계도 틀리게 된다. 이것이 일반적으로 말하는 희토류증감지의 관전압의존성의 원인이 된다 (Fig. 13 참조). X-선의 선질을 변화시키는 요인은 관전압뿐만 아니라 Table 4와 같이 피사체의 두께나 grid 등에 따라서도 변화된다. 따라서 '형광체가 틀리는 증감지-필름시스템의 X-선 sensitometry에서는 관전압 등을 변화시키고 감도를 비교할 필요가 있으며 또한 임상에서는 촬영에 가까운 피사체의 두께나 grid를 사용하는 것이 중요하다. aluminium 등의 step wedge를 쓸 경우에는 X-선량의 변화는 step의 두께로 하고 있으나 선질이 각 두께에 따라 틀리는 고로 증감지를 비교하기 위한 sensitometry 방법은 적당치 못하다. 한편 거리나 시간 변화로 X-선량을 조정하는 방법은 선질이 일정한 고로 증감지의 비교평가에 적당한 방법이다.

이와같이 X-선 sensitometry에는 영향을 미치는 요인이 많이 있으므로 그 결과에는 다음과 같은 여러 조건을 付記할 필요가 있다.

- X-선 sensitometry의 방법
- 관전압
- Phantom 두께, 재질
- Grid의 유무, Grid ratio
- X-선장치(단상·삼상)

Table 4. 증감지에 입사하는 X-선의 선질에 미치는 인자

- 피사체 투과후의 선질
- 산란선의 함유율
 - ① 편전압
 - ② 부과여과판
 - ③ 피사체의 두께
 - ④ 피사체의 조성
 - ⑤ 격자 유무(격자비)
 - ⑥ 조사야
 - ⑦ 기타

4. 感光計를 사용하는 Sensitometry

증감지를 쓰는 X-선촬영에서는 필름의 흑화는 그 대부분이 증감지의 형광으로 노광되는 것으로 직접 X-선에 의한 흑화는 무시할 정도로 작다. 또한 형광판을 쓰는 간접촬영의 경우에는 그 전부가 형광에 의한 노광이다. 따라서 X-선을 쓰지않고 증감지나 형광판에서 발광되는 빛과 가까운 빛을 만들어서 빛 노광에 의한 sensitometry로 하고 있다.

[方法]

빛 노광에 의한 sensitometry를 하는데는 感光計(sensitometer)가 필요하다. 감광계에는 정도가 높은 것으로부터 간단한 소형감광계 등이 있다. Fig. 14는 감광계로서 항상 필름면에는 일정한 노광량이 되게 조정되고 있다.

(1) 광원

텅스텐전구나 유리여과판 등으로 $CaWO_4$ 나 $ZnCdS:Ag$ 와 같은 빛을 만들어 그것으로 노광을 한다. Filter의 분광특성이나 측정법에 대해서는 일부 규격화된 것이 있다.

(2) 노광시간

노광시간은 임상에 사용되는 촬영조건에 가까운 것이 필요하며 보통 0.1 sec전후가 X-선필름의 경우 사용되고 있다.

ANSI : 직접용 필름(0.1 sec)

간접용 필름(0.2 sec)

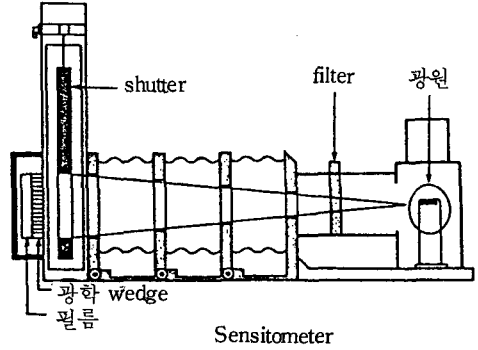


Fig. 14. 감광계의 구조

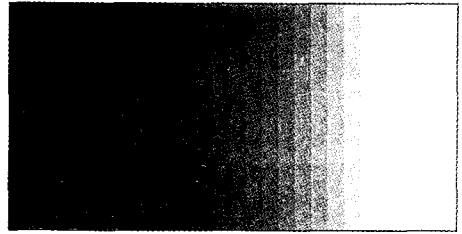


Fig. 15. Optical Wedge

(3) 노광량 변화

감광계에 의한 노광량 변화는 optical wedge라 하는 농도가 단계적으로 틀리는 step을 필름 위에 밀착노광하면 된다. 보통 쓰여지는 wedge는 각 step간의 노광량의 차이가 $\Delta \text{Log E}$ 에서 0.10~0.15 정도의 step으로 이루어진다. optical wedge의 각 step을 투과한 노광량의 대수를 횡축으로 하고 각 step에 대응되는 사진의 농도를 종축으로 표시한 것이 특성곡선이 된다. 이때 각 step간에서의 노광량의 $\Delta \text{Log E}$ 는 optical wedge 농도에서 산출할 수 있다.

직접촬영용 X-선필름에서는 감광유체가 양면에 도포되고 있어 실제 사용하는 때는 전면과 후면의 2개의 증감지로 양면에서 노광되고 있다(Fig. 16 참조). 따라서 양면노광을 하는 것이 이상적이라 하겠다. 한쪽만을 노광하면 실용감도보다 저하되며 contrast도 양면노광보다 약간 저하된다. 따라서 간단한 감광계는 片面으로 되어 있으며 이것은 정밀한 특성치를 구할 경우

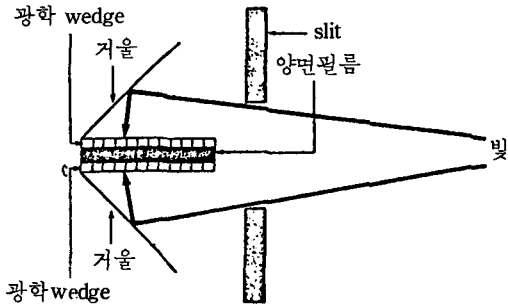


Fig. 16. 감광계의 양면노광

에는 적당치 못하나 자동현상기관리 등에는 사용할 수 있다.

(용도)

- 필름의 설계, 연구·평가
- 필름의 제조, 품질관리
- 자동현상기의 관리
- 기타

(특징)

- 노광량의 재현성이 좋다.
- 증감지나 X-선장치의 출력차에 따르는 영향을 받지 않는다.
- 노광량의 측정이 가능한 고로 절대치를 평가할 수 있다.

sensitometry에서 말하는 노광량이란 필름유체면의 단위면적에 조사되는 빛의 양으로 나타낸다.

보통 단위는 CMS(Candle, Meter, Second)를 쓰고 노광량(E)은 빛의 강도(I)와 노광시간(t)의 곱으로 다음 식과 같다.

$$E = I \times t$$

E : 노광량

I : 빛의 강도(조도·Lux)

t : 노광시간(초)

칼라필름 등에서는 이와같은 노광량을 규정하고 sensitometry를 하고 있어 ISO감도와 같이 절대감도의 표시를 할 수 있다.

X-선필름에서도 빛 노광의 규격화가 이루어지고 있는 일부 필름에서는 절대감도의 표시가

가능하다. 그러나 일부의 것이 절대치로 표시되어도 다른 것과의 상호관계가 실용적이 못되어 대부분이 상대적인 감도표시를 하고 있다.

(결점)

- 회트류형광체 등의 輝線스펙트럼을 재현할 수 없다.
- 정밀한 측정을 하기 위해서는 대형의 감광계가 필요하다.

5. step wedge를 쓰는 方法

Aluminium 또는 acryl step wedge을 촬영하여 각 step의 두께를 X-선량으로 보정하여 특성곡선을 구하는 방법이다.

각 step의 단계가 일정해도 이것을 투과하는 X-선은 두께에 따라 감약 차이가 틀리며 보통 step의 두께가 증가할수록 감약 차이는 작아진다. 따라서 step wedge의 두께를 그대로 횡축으로 하고 있는 곡선이 있으나 그것은 특성곡선이라 할 수 없다.

각 step의 두께를 투과하는 X-선량으로 보정할 필요가 있으며 그 보정은 몇 가지 방법이 있다. step wedge를 쓰는 X-선 sensitometry법에서는 다음과 같은 주의사항이 있다.

(1) 관전압(선질)이 변화되면 보정이 필요하다.

Wedge의 각 단계의 두께에 의한 투과선량의 차이는 관전압이 저하될수록 크고 관전압이 높을수록 작게 된다. 이것은 피사체의 contrast 변화로 나타난다. 따라서 wedge를 쓰는 sensitometry에서는 선질(관전압, grid, 부과여과 등)이 변화될 때마다 보정할 필요가 있다.

(2) 증감지의 형광체마다 보정이 필요하다.

형광체의 종류에 따라서 관전압에 대한 X-선 흡수효율 등이 틀리는고로 보정이 필요하다.

(3) 필름의 sensitometry에만 사용할 수 있다.

wedge의 각 step를 투과하면 선질은 변화되는고로 선질에 영향이 되는 증감지를 포함한 sensitometry에는 적당치 못하다.

※ X-선의 선질에 대해서

X-선의 선질은 빛과 비교할 경우에 빛에 대

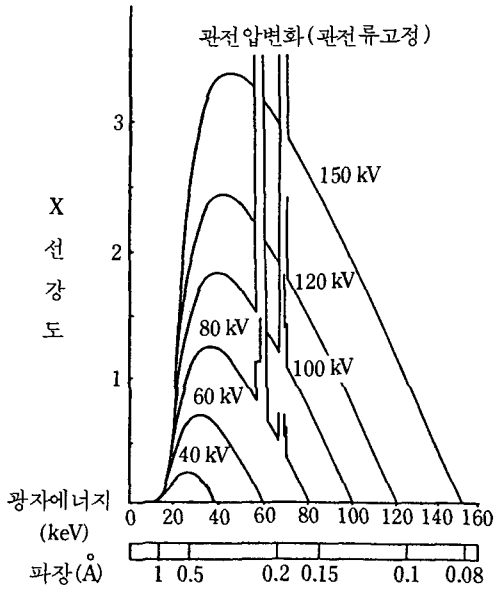


Fig. 17. X-선스펙트럼

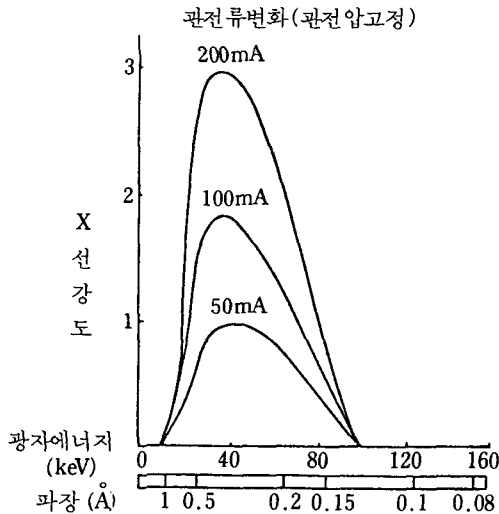


Fig. 18. X-선스펙트럼

응되는 것이다. 그러나 X-선은 빛과 같이 육안에 감지되지 않는고로 그 성질은 물질을 투과하는 능력에 따라 구별된다.

X-선의 선질과 강도는 보통 Fig. 17과 같은 파장으로 광자에너지를 쓴 X-선 스펙트럼으로 나타낸다.

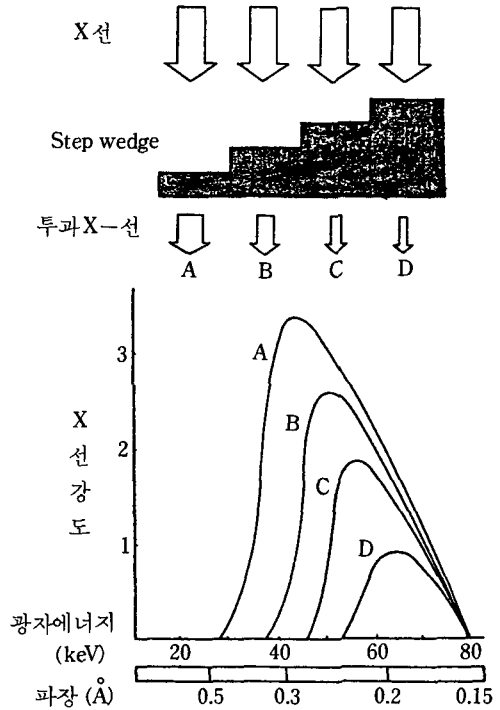


Fig. 19. Step wedge를 투과한 X-선스펙트럼

이 그림의 횡축은 X-선의 파장(또는 광량자 에너지) 중축은 X-선의 상대강도를 나타내고 있다. 관전압을 올리면 최강강도를 나타내는 파장 및 최단파장이 단파장측으로 이동되어 파장이 짧아진다. 그리고 X-선의 파장이 짧아지면 투과력이 강한 X-선이 된다. 반대로 저관전압으로 되면 X-선의 파장이 길어지고 투과력이 약한 X-선으로 된다. X-선의 전체강도는 관전압이 높아지면 대폭 증대된다. 또한 관전압을 일정하게 하고 관전류를 변화시킬 경우에는 파장은 변화되지 않는다. 그러나 전체강도는 관전류에 비례하여 증대된다 (Fig. 18 참조).

이와같은 X-선스펙트럼이 step wedge의 각 단계를 투과한 후의 X-선은 Fig. 19와 같다. wedge의 두께가 증가될수록 피사체를 투과하기 힘들다. X-선의 저에너지성분의 파장이 감소되어 X-선강도는 저하된다. 이와같은 것이 st-

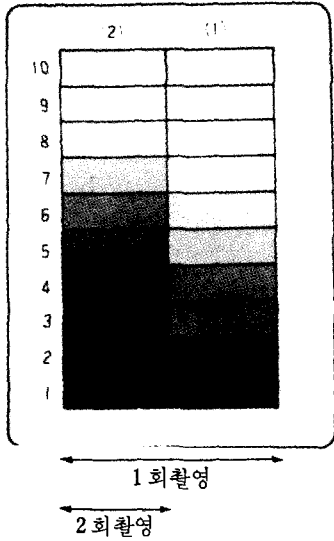


Fig. 20. Boot strap 법의 wedge 사진

ep wedge를 투과하면 X-선은 각 step마다 선질이 틀리는 X-선이 된다.

형광체는 X-선의 선질 즉 광자에너지에 따라서 X-선 흡수효율이 틀린다. 따라서 선질이 각 step에서 변화된다. step wedge를 쓰는 sensitometry 법에서는 screen-film system에서는 적당치 못하다.

A. Boot strap 법

[방법]

step wedge를 놓고 wedge의 가장 두꺼운 부분의 농도가 0.2~0.3 정도가 되는 조건으로 촬영한다. 그 다음에, 촬영한 부분의 반을 연판으로 가리고 나머지 반을 또 한번 2배의 조건으로 촬영한다. 이때 촬영거리리는 기하학적 영향을 작게 하기 위해서 180~200cm로 한다. 그 결과 나타난 것은 Fig. 20과 같다.

각 step의 농도를 측정하여 Fig. 21과 같이 wedge의 두께를 횡축으로 하고 2개의 「두께-농도곡선」을 그린다. 다음 이 곡선과 나란히 그 右側에 농도축은 공동으로 하고 횡축에 노광량 대수를 scale로 잡는다. 이때 log scale는 비노광량이며 $\text{Log} E = 0$ 을 기점으로 한 $\Delta \text{Log} E = 0.3$ 의 간격으로 표시한다. 0.3의 간격은

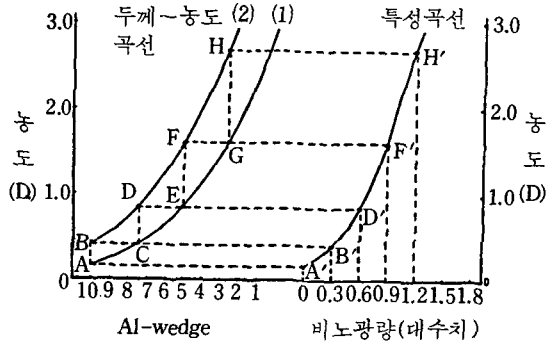


Fig. 21. Boot strap 법에 의한 특성곡선의 작성

종축의 농도 0.3의 간격과 동일하게 한다.

Fig. 21의 A점의 농도를 右圖의 노광량의 대수 0에 표시하여 A'點으로 한다. B점은 A점의 2배의 노광을 받고 있는고로 A와 B의 대수 노광량의 차이는 0.3이 된다. 따라서 B점의 농도를 右圖의 A'點으로부터 $\text{Log} E$ 에서 0.3 떨어진 점에 표시하여 B'로 한다.

다음에 B點을 C點까지 수평으로 이동하고 그 점에서 수직으로 한 D點을 구한다. D點은 C點에 대해서 2배의 노광량이며 A점에 대해서는 4배의 노광량이 된다.

따라서 D점의 농도를 Fig. 21 右圖의 노광량 0.6인 D'에 표시한다. 이와같은 순서를 반복함으로써 그림의 F'·H'를 구하고 이것을 연결한 곡선은 횡축이 노광량의 대수가 되는 특성곡선이 된다.

이 특성곡선을 이용해서 사용된 step wedge의 각 두께의 상대노광량을 구할 수 있다. 이것으로 wedge의 각 두께에 대한 보정치를 만들수 있으며 그 다음은 step wedge를 1회촬영하므로써 각 필름의 sensitometry를 할 수 있다.

보정치를 구하는 방법은 Fig. 22와 같이 각 step의 두께에 대응하는 농도점 a·b·c j를 표시하고 그 점에서 수직으로 횡축에 표시한 a', b', c' j'가 각 두께의 상대노광량의 대수가 된다. 실제로는 Fig. 23과 같이 a'~j'의 간격으로 보정 scale을 작성해두면 편리하다. 이것을 기본으로 하여 그 위에 그래프용지를 놓고 각 step의 농도를 線 위에 표시하면 간단하게

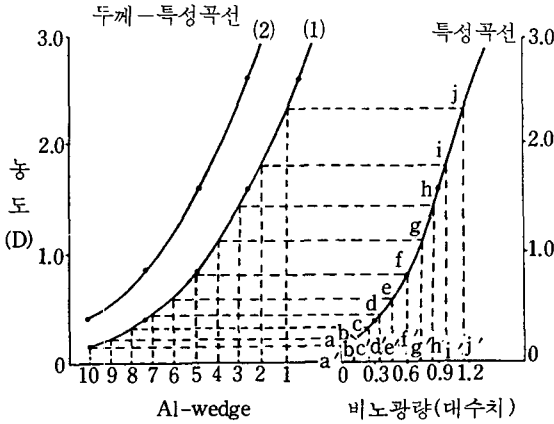


Fig. 22. step wedge의 보정치

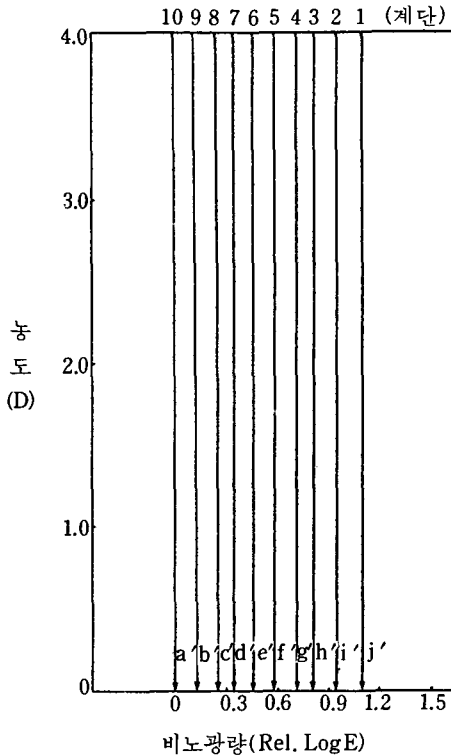


Fig. 23. Al-wedge 보정 scale(Bootstrap 법)

특성곡선을 작성할 수 있다. 그러나 이 보정치는 선질이 변할 때마다 작성해 둘 필요가 있다.

[주의할 점]

선질이 변화되지 않은 한 동일 보정 scale을 사용할 수 있는고로 精度 높은 보정 scale을 작성한다. 정도를 보다 정확하게 하기 위해서 각

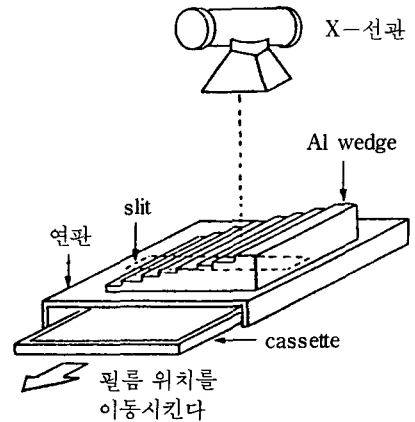


Fig. 24. step wedge의 time scale 촬영장치

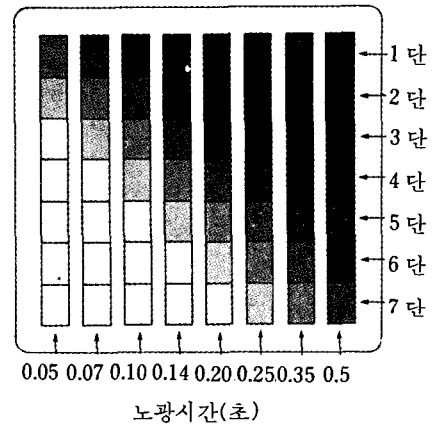


Fig. 25. Time scale 법에서의 wedge 사진

기 촬영회수를 반복하고 그 평균치로 한다.

B. Time Scale에 의한 wedge 두께의 補正 [방법]

① 촬영

step wedge를 촬영시간을 변화시키고 촬영하는 방법이다. Fig. 24와 같은 간단한 장치로 관전압·관전류·거리 등 촬영조건을 일정하게 하고 촬영시간을 변화시키고 촬영한다. 촬영시간의 변화는 0.05초에서 5초정도까지 사이에서 될 수 있는대로 많이 하고 노광시간이 변화되는데 따라 cassette를 이동시키고 1매의 필름에 Fig. 25와 같은 wedge 사진을 작성한다.

② 시간·농도곡선의 작성

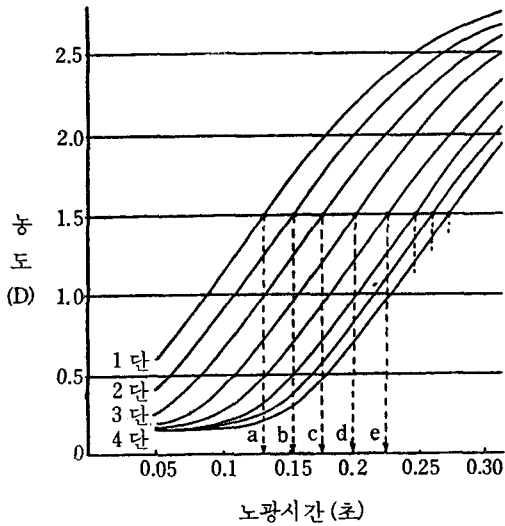


Fig. 26. 두께에 대한 시간-농도곡선

각 점의 농도측정을 하고 Fig. 26 과 같은 시간·농도곡선을 작성한다.

이 곡선은 두께마다 시간변화에 대한 농도곡선으로 횡축의 시간을 대수로 표시하면 time scale 법에 의한 특성곡선이 작성된다.

③ 동일농도를 내는 노광시간(초)을 구한다.

동일농도를 내는데 필요한 각 step의 노광시간을 구하고 각 step간의 노광 秒數比를 계산, 그치를 Log치로 변환시킨다. 이때 精度를 좋게 하기 위해서 농도 level을 변화시키고 산출, 그 평균치로 한다. 농도점으로서 1.0, 1.5, 2.0의 3點정도에서 한다. 그예로서 Fig. 26에서 농도 1.5를 내기 위한 각 단계의 노광시간은

- 1계단 : a점(0.135초)
- 2계단 : b점(0.155초)
- 3계단 : c점(0.175초)
- 4계단 : d점(0.20초)

∴ ∴ ∴

각 step간의 노광 秒數比를 구하고 대수비로 환산함으로써 각 step마다의 $\Delta \text{Log E}$ 를 구할 수 있다.

$$1 \text{ 단과 } 2 \text{ 단} : \frac{b}{a} \rightarrow \text{Log } \frac{b}{a}$$

$$(\text{Log } \frac{0.155}{0.135} = 0.06)$$

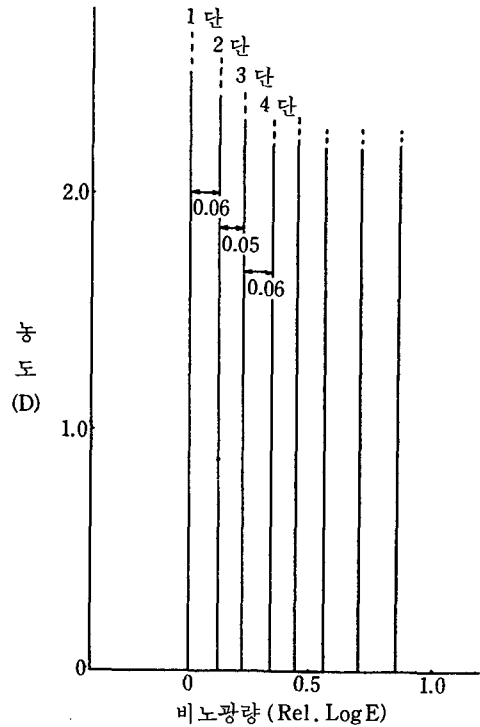


Fig. 27. Al-wedge 보정 scale(time scale 법)

$$2 \text{ 단과 } 3 \text{ 단} : \frac{c}{b} \rightarrow \text{Log } \frac{c}{b}$$

$$(\text{Log } \frac{0.175}{0.155} = 0.05)$$

$$3 \text{ 단과 } 4 \text{ 단} : \frac{d}{c} \rightarrow \text{Log } \frac{d}{c}$$

$$(\text{Log } \frac{0.20}{0.175} = 0.06)$$

∴ ∴ ∴

이상과 같이 농도점 1.0, 2.0에서 각기 구한 각 step마다 $\Delta \text{Log E}$ 의 평균을 산출한다. 즉 1 단과 2 단의 $\Delta \text{Log E}$ 는 다음과 같이 된다.

$$\Delta \text{Log E} = \frac{1}{3} \times (\text{Log } \frac{b1.0}{a1.0} + \text{Log } \frac{b1.5}{a1.5} + \text{Log } \frac{b2.0}{a2.0})$$

이와같이 구한 각 step의 $\Delta \text{Log E}$ 치로 Fig. 27 과 같은 補正 scale을 작성한다. 그 다음은 step wedge를 촬영하고 각 step의 농도를 보정 scale에 표시하면 특성곡선은 작성된다.

[주의할 점]

- 보정치는 X-선장치나 step wedge마다 작성할 필요가 있다.
- 관전압이 변할때마다 보정할 필요가 있다.

6. 距離 scale 法

step wedge를 사용한 sensitometry 법은 선량변화를 wedge의 두께 차이에 따라 하고 있어 각 step을 투과한 선질은 틀리는고로 증감지 비교는 적당치 못하다.

선질을 변화시키지 않고 선량을 변화시키는 방법으로 「X-선관 초점과 필름간 거리」를 변화시키는 방법을 거리 scale 법이라 한다. X-선량은 光量과 같이 「거리의 역자승」의 법칙이 성립되어 Fig.28 과 같이 거리를 2 배로 하면 선량은 1/4, 4 배로 하면 1/16 이 된다. 이 법칙을 응용해서 선량을 변화시키는 방법이다.

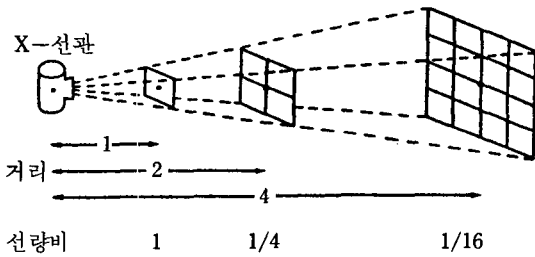


Fig. 28. 거리의 역자승 법칙

[방법]

① 촬영

Fig. 29 와 같이 X-선관이나 X-선필름을 이동시키고 거리를 변화, 1~2 cm 폭의 slit 를 촬영한다. 관전압, 관전류, 시간 등 촬영조건은 일정하게 하고 촬영할 때마다 거리를 이동한다. phantom, grid 등의 사용은 그 목적에 따라 임상에서 필요한 촬영조건을 설정할 필요가 있다. 그 예로서 복부를 대상으로 하면 screen-film system 이면 관전압 80 kV, 물 phantom(15~20 cm), grid(8:1) 등을 사용하고 촬영한다.

② 거리

거리 역자승은 진공상태에서 성립하는 것으로 실제로 X-선의 공기에 의한 흡수를 생각해야 한다.

그러나 다음과 같이 X-선 sensitometry에 사용되는 거리변화의 범위에서는 공기에 의한 흡수가 작아서 거리 역자승의 법칙은 성립된다고 사료된다. 보통 X-선촬영실의 크기로 보아 실용적인 X-선관 초점과 필름간의 이동거리는 1 m~4m 정도이다. 거리가 너무 가까우면 조사야에서 선량 차이가 크게 되므로 주의가 필요하다.

촬영회수는 X-선초점과 필름간 거리가 1m

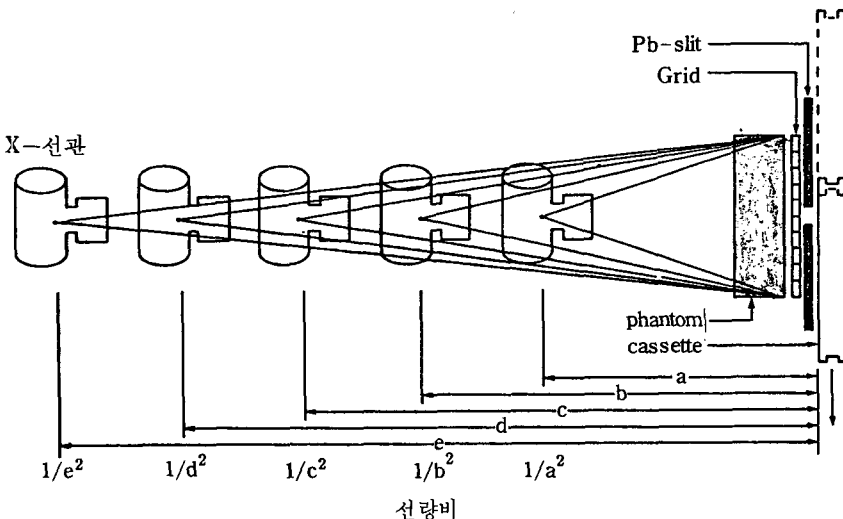


Fig. 29. 거리 scale 법

~4m 사이에서 7~9點 촬영하여 Fig.30 과 같은 사진을 만든다.

거리변화방법으로서 각 촬영위치에서의 선량비를 일정하게 변화시킨다. X-선필름에서는 특성곡선을 그릴때 각기 표시점의 간격이 LogE에서 0.1~0.2정도가 적당하다. 따라서 시작하기 전에 각 거리간의 대수노광량비를 정하고 거리를 설정하게 된다. 즉 X-선초점과 필름간의 가까운 거리를 1m로 하고 그 다음은 ΔLogE에서 0.15씩 변화되게 거리를 조정한다.

거리의 역자승의 법칙을 이용하여 계산에 의해서 LogE로 0.15씩 변화시키기 위해서는 거리를 1.188 배씩 하면 된다.

1m에서 노광량을 1로 하면 ΔLogE에서 0.15 작은 노광량은

$$\text{LogE} = -0.15$$

$$E = 0.7079$$

가 된다.

E = 0.7079가 되는 거리는

$$\frac{1}{d^2} = 0.7079$$

$$d = 1.188$$

거리 1m을 기준으로 하고 LogE에서 0.15의 노광량을 변화시키는 거리는 다음과 같이 된다.

- ① 1m (基點) 1.00 m
- ② 1m × 1.188 = 1.188m
- ③ 1.188m × 1.188 = 1.41 m
- ④ 1.41 m × 1.188 = 1.68 m

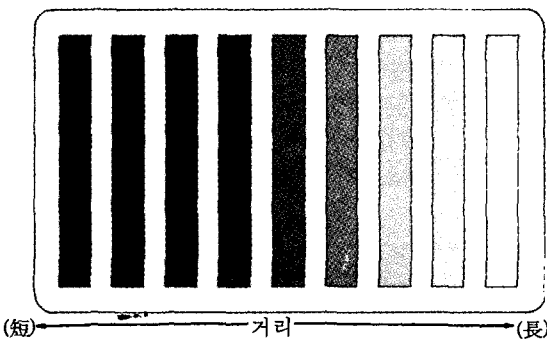


Fig. 30.

- ⑤ 1.68 m × 1.188 = 2.00 m
- ⑥ 2.00 m × 1.188 = 2.37 m
- ⑦ 2.37 m × 1.188 = 2.82 m
- ⑧ 2.82 m × 1.188 = 3.35 m
- ⑨ 3.35 m × 1.188 = 4.00 m

똑같이 LogE에서 0.10씩 변화시키는데는 (×1.122), LogE에서 0.20씩 변화시키는데는 (×1.259)가 된다.

③ 보정치

전술한 바와 같이 노광량의 변화비에서 설정거리를 산출할 경우에는 보정치가 정해진대로 보정 scale을 간단하게 만들수 있다. 그러나 보통 설정거리를 cm 단위로 관리하기 힘들어 대략 거리를 설정하는 수가 많아서 거리를 설정한 후에 보정치를 산출한다. 그 경우도 거리의 역자승법칙으로 각 거리에서의 상대노광량의 대수비를 구하여 보정치로 한다.

그 예로서 다음 거리변화를 할 경우의 보정치를 구해본다. 먼저 역자승(1/d²) 즉 각 거리를 자승한 역수로 구한다. 이 치는 상대적인 노광량

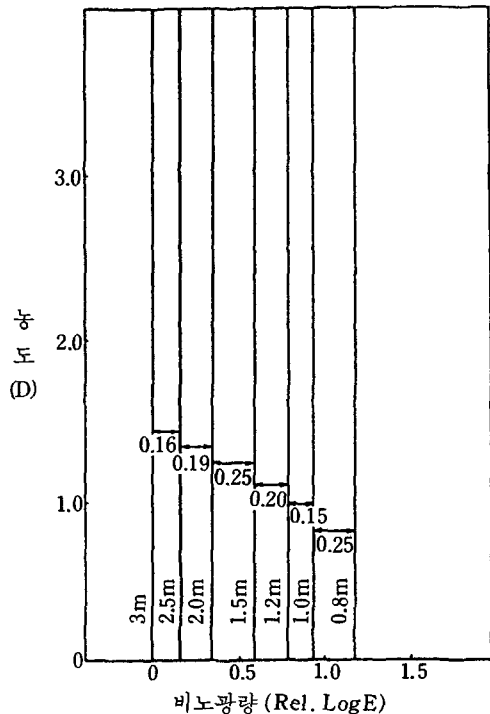


Fig. 31. 거리변화에서의 보정 scale

으로 알기 쉽게 하기 위해서 가장 먼 거리의 노광량을 1.0으로 한다. 이때 횡축의 대수 scale에 이치를 표시해도 보정 scale을 만들 수 있다. 또 노광량의 대수를 잡으면 LogE가 되어 Fig.31과 같이 보정 scale을 만들 수 있다.

X-선초점-필름거리	Log E	$E = \frac{1}{d^2}$
① 0.8 m	1.563(14.08)	1.20
② 1.0 m	1.000(9.01)	0.95
③ 1.2 m	0.694(6.25)	0.80
④ 1.5 m	0.444(4.00)	0.60
⑤ 2.0 m	0.250(2.25)	0.35
⑥ 2.5 m	0.160(1.44)	0.16
⑦ 3.0 m	0.111(1.00)	0.00

이 보정 scale에 각 촬영거리에서 나타난 농도를 표시하면 특성곡선을 구할 수 있다. 이와 같이 보정 scale을 작성해두면 step wedge에 의한 sensitometry와 같이 촬영조건이나 선질 등의 영향에 관계 없이 촬영거리를 변하지 않는 한 사용할 수 있다.

[특징 및 주의할 점]

• 거리 scale 법은 선질의 영향을 받지 않고 또 촬영시간이 일정한 고로 필름의 相反則不軌의

영향이 없어 X-선 sensitometry 법으로 가장 신뢰도가 높다.

• 거리 변화를 시킬 수 있는 정도의 큰 X-선 촬영실이 필요하다. 거리가 필름을 이동시키는데 시간이 걸리는 고로 자동감광계를 사용하면 효율적이다.

• 공기에 의한 X-선 흡수가 있는 고로 거리를 너무 멀리 하지 말 것이다. 만일에 특성곡선의 足部에서 肩部까지 다 그럴 필요가 있을 경우에는 Fig.32와 같이 촬영시간을 변화시키고 2회의 sensitometry를 하고 특성곡선을 결합시키면 좋다.

• 거리 설정의 오차는 크게 영향을 미치고 고로 자동 sensitometer도 정기적으로 점검할 필요가 있다.

7. Time scale 法

거리 scale 법과 같이 선질은 변하지 않고 노광량을 변화시키는 방법으로 X-선의 조사시간을 변화시키고 노광하는 time scale 법이 있다. 이 방법은 비교적 간단하나 몇가지 문제점이 있다.

[방법]

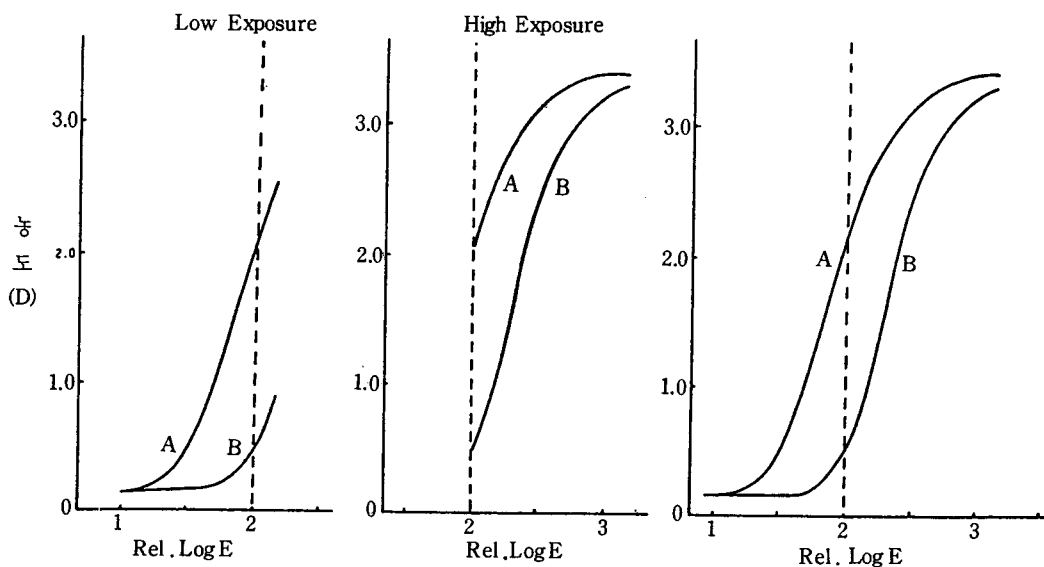


Fig. 32. 특성곡선의 합성

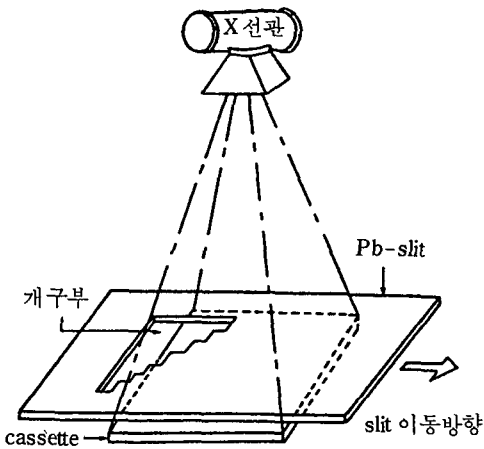


Fig. 33. 이동 slit 법의 촬영장치

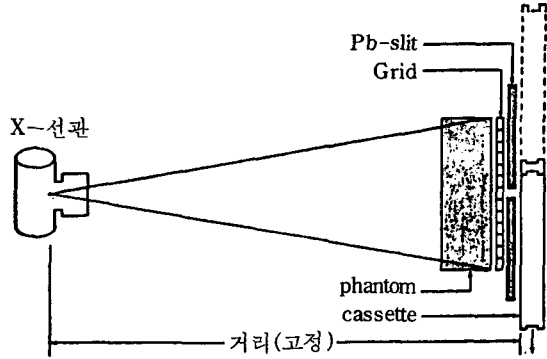


Fig. 34. Time scale 법

① 촬영

X-선의 조사시간을 변화시키는 방법으로 다음 두 가지 방법이 있다.

ㄱ. 이동 slit 법

Fig. 33과 같은 남으로 된 slit 판을 X-선 조사 중에 cassette 위에서 이동시켜 조사시간을 변화시키는 방법이다. 면적이 큰 부분은 조사시간이 길어지고 slit 판의 이동속도에 따라 그 시간이 결정된다. 이 방법은 1회촬영으로 sensitometry 촬영이 끝나게 되나 slit 를 精度있게 이동시키는 장치가 필요하다.

ㄴ. X-선장치의 timer 에 의한 방법

1~2 cm의 남 slit 를 시간을 변환시키고 촬영한다(Fig. 34 참조). 이때 촬영조건은 일정하게 하고 촬영할 때마다 필름을 이동시키고 촬영 시간만 변화시킨다.

② 노광량의 변화

노광시간의 변화는 특성곡선을 그리기 쉽게 등비급수적으로 변화시킨다.

그 예로서,

0.05초, 1초, 2초, 4초, 8초……

로 하면 2배 등비로 노광량은 LogE에서 0.3씩 증가된다.

X-선필름의 경우 노광량 변화는 ΔLogE 에서 0.1~0.2정도가 바람직한 고로 1.25~1.5

等比로 촬영시간을 설정한다. 그러나 X-선 장치의 timer 는 세분화되지 못하고 있어 등비치에 가까운 시간을 선정한다.

노광량의 범위는 특성곡선을 완전하게 그리기 위해서는 광범위한 시간이 필요하다. 그러나 필름에는 相反則不軌特性이 있는고로 극히 짧은노광이나 긴 노광은 피한다. 실용적인 노광시간의 범위로서는 0.05초~1초 정도까지의 범위를 이용할 수 있게 조건을 설정한다.

③ 보정치

time scale 법에서 횡축 노광량의 보정 scale 은 time(sec)을 Log scale 에 그대로 쓰면 된다. 즉 X-선장치에서 ΔLogE 로 0.15 정도의 time scale 를 하면 다음과 같은 시간의 설정이 된다. 이 노광시간 변화에서의 횡축 보정 scale 은 Fig. 35와 같이 Log scale 을 사용함으로써 간단하게 만들 수 있다.

촬영시간

0.03초, 0.04초, 0.06초, 0.08초, 0.12초, 0.18초, 0.25초, 0.35초, 0.6초, 1.0초.

[주의할 점]

① X-선장치의 Timer 의 精度

ㄱ. Timer 의 재현성

ㄴ. Timer 와 X-선량의 비례관계

이상은 sensitometry 精度에 크게 영향을 미친다. 특히 3상 X-선장치에서 많은데, 예비投入線量 때문에 단시간노광에서는 거의 ti-

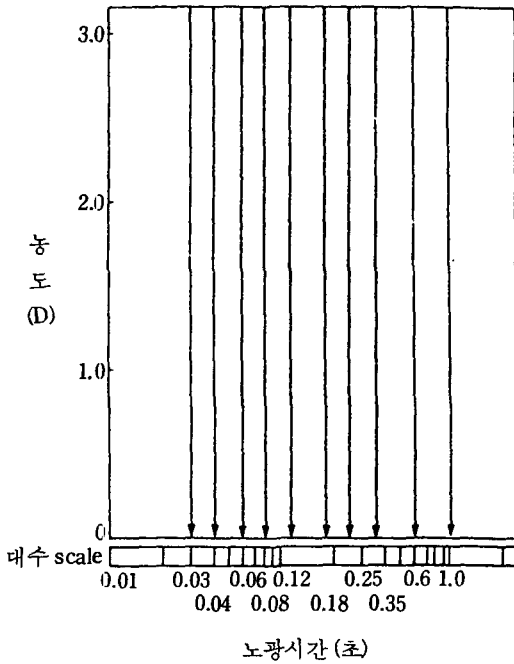


Fig. 35. 시간변화에서의 보정 scale

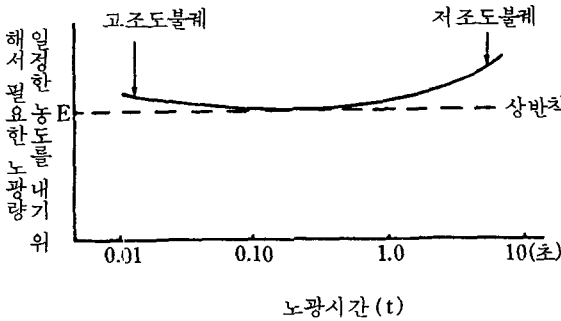


Fig. 36. 상반칙불계

mer와 선량이 비례하지 않은고로 time scale은 적당치 못하다.

② 필름의 相反則不軌特性에 영향을 미친다

ㄱ. 相反則과 相反則不軌

사진농도는 노광량 E에 따라 결정된다. 이 노광량 E는 항상 빛의 강도(I)와 노광시간(t)로 결정된다($E = I \times t$). E가 일정하면 I와 t가 변해도 농도는 일정하다. 이것을 相反則이라 한다. 그러나 E가 일정해도 I와 t의 연결에 따라 농도가 틀리는 수가 있다. 이것을 相反則

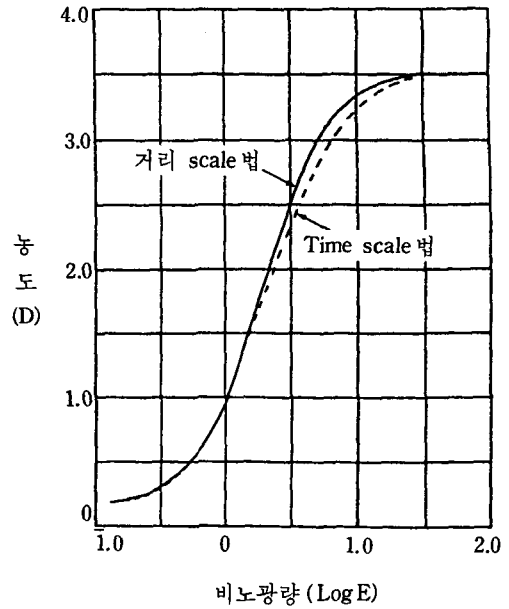


Fig. 37. 상반칙불계와 특성곡선

不軌라 한다.

ㄴ. 相反則不軌의 영향

相反則不軌의 정도는 필름의 종류에 따라 다르다. 상반칙불계가 크게 되면 time scale 법의 sensitometry에서는 contrast가 Fig. 37과 같이 틀리게 나타난다.

노광시간이 각 점에서 틀리는고로 감도가 대폭 틀리는 system 등의 비교는 주의가 필요하다.

③ mAs scale 법

time scale 법과 비등한 방법으로 mAs scale 법이 있다. 이 방법은 관전류(mA)와 시간(sec)으로 결정되는 mAs 치의 변화로 노광량을 변화시키는 방법이다.

mAs meter로 노광량치를 횡축의 Log scale에 잡고 보정 scale을 만든다. 이때 시간변화로 mAs scale을 잡으면 되나 관전류를 변화시킬 경우에는 관전압에 영향을 미치는고로 실용적인 방법이 못된다.

IV. X-線寫眞의 Sensitometry에 관한 規格

감광재료의 Sensitometry 법(사진성능의 측정

Table 5. X-선 필름의 sensitometry 에 관한 규격

활 영 법		대 용 규 격			
		JIS	ANSI	DIN	ISO
직접촬영	증감지(무)		PH 2.50-1983		5799-1981
	증감지(유)		PH 2.48-1981 PH 2.43-1982	6830-1978 6867-1981	ANSI DIN를 참고 검토중
간접촬영	형 광 판	K 7606-1976 K 7607-1976			

JIS : Japanese Industrial Standards

ANSI : American National Standards Institute

DIN : Deutsches Institut Fur Normung

ISO : International Organization for Standardization

Table 6. Filter 의 분광투과율

파 장(nm)	비투과율 (%)
380	0.0
390	0.0
400	0.0
410	0.0
420	0.0
430	0.0
440	0.0
450	0.0
460	0.0
470	0.0
480	0.9
490	21.4
500	49.0
510	77.6
520	96.8
530	100.0
540	93.0
550	83.5
560	69.6
570	54.4
580	39.5
590	27.0
600	17.8
610	10.9
620	5.2
630	2.9
640	1.4
650	0.6
660	0.0
670	0.0
680	0.0

법, 표시법)에 관한 규격화는 미국(ANSI), 독일(DIN), 일본(JIS) 등에서 검토되고 있으며 국제적인 규격화도 이루어지고 있다.

일반촬영용필름에서는 ASA나 DIN의 감도표시가 있으나 최근에는 국제규격인 ISO 감도표시도 이용된다.

X-선사진 특히 screen-film system에 관한 sensitometry에서는 X-선의 선질이나 증감지의 발광스펙트럼 등 영향이 있어 실용적으로 와 선된 규격은 아직 없다.

현재 발표된 X-선사진에 관한 sensitometry 법의 규격은 Table 5 와 같다.

1. JIS規格

◎ 사진감광재료의 녹색 형광판에 의한 X-선 간접촬영감도 측정용광원(JIS K·7606-1976)

[개요]

간접촬영용필름의 sensitometry에 쓰여지는光源(filter)에 대한 규정이다. 이때 형광판은 ZnCdS:Ag를想定한 것으로 회토류형광판(Gd₂O₂S:Tb)의 발광스펙트럼에는 적합하지 않다.

[내용]

광원으로서 JIS C-7518의 전구를 쓰고 색온도 2666°K로 Table 6의 분광투과율이 있는 filter를 사용한다.

◎ 사진감광재료의 녹색 형광판에 의한 X-선 간접촬영감도 측정방법(JIS K·7607-1976)

[개요]

간접촬영용필름의 sensitometry 방법 특히 감도 측정법에 대해서 규정한 것이다. 광원은 JIS K-7606을 쓰고 노광방법, 현상처리, 감도산출 방법에 대해서 규정하고 있다.

[내용]

노광방법

- 非間缺露光으로 강도 scale 형식을 쓴다.
- 노광시간 0.1~1.0초, 精度 ± 2.0 %
- step 간의 조도변화는 대수치로 0.10 ~

0.15의 범위내로 한다.

사진감도를 구하는 방법

특성곡선상의 농도 $D = D_{min} + 0.5$ 를 내는 노광량(E)에서 다음 식으로 감도를 구한다.

$$\text{감도} = \frac{1.0}{E} \quad E : \text{Lux} \cdot \text{sec}$$

실제 감도는 Table 7과 같이 실용적으로 편리한 수치군으로 분류된 치로 표시한다.

현상처리

수동처리를 하며 현상제, 정착제의 처방 처리 시간 등 규정되고 있다.

2. ANSI 規格

©American National Standard Method for the Sensitometry of Medical and Dental X-Ray Film Used with Fluorescent Screens(ANSI pH 2.48-1981)

[개요]

이 규격은 CaWO_4 이나 $\text{BaSO}_4:\text{Pb}$ 등의 청색 발광의 증감지를 사용하는 직접 X-선필름 및 $\text{ZnCd}:\text{Ag}$ 등의 녹색 발광의 형광체에 쓰여지는 간접필름, 영화필름 등의 감도·G의 측정법에 대해서 규정하고 있다. filter로 형광체발광과 근사한 스펙트럼 분포의 광원으로 빛 노광을 하는 sensitometry 방법의 규격이다. 단 회투류 형광체의 경우에 이 규격은 적당치 못하다.

[내용]

노광조건

filter로 광원의 스펙트럼분포를 규정하고 sensitometer에서는 非間缺的인 노광을 한다.

노광시간은 다음과 같이 규정하고 있다.

Table 7. 감광재료의 사진감도수치표

$\log_{10}E$	감광재료의 사진감도
4.95 이상 3.05 미만	1000
3.05 이상 3.15 미만	800
3.15 이상 3.25 미만	650
3.25 이상 3.35 미만	500
3.35 이상 3.45 미만	400
3.45 이상 3.55 미만	320
3.55 이상 3.65 미만	250
3.65 이상 3.75 미만	200
3.75 이상 3.85 미만	160
3.85 이상 3.95 미만	125
3.95 이상 2.05 미만	100
2.05 이상 2.15 미만	80
2.15 이상 2.25 미만	64
2.25 이상 2.35 미만	50
2.35 이상 2.45 미만	40
2.45 이상 2.55 미만	32
2.55 이상 2.65 미만	25
2.65 이상 2.75 미만	20
2.75 이상 2.85 미만	16
2.85 이상 2.95 미만	12
2.95 이상 1.05 미만	10
1.05 이상 1.15 미만	8
1.15 이상 1.25 미만	6
1.25 이상 1.35 미만	5
1.35 이상 1.45 미만	4
1.45 이상 1.55 미만	3
1.55 이상 1.65 미만	2.5
1.65 이상 1.75 미만	2.0
1.75 이상 1.85 미만	1.6
1.85 이상 1.95 미만	1.2
1.95 이상 0.05 미만	1.0

양면필름 : 0.10 초

간접필름 : 0.20 초

영화필름 : 0.01 초

노광시의 필름상태는 온도 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, 습도 $50\% \pm 20\%$ 로 안정시키고 완전 암실에서 취급

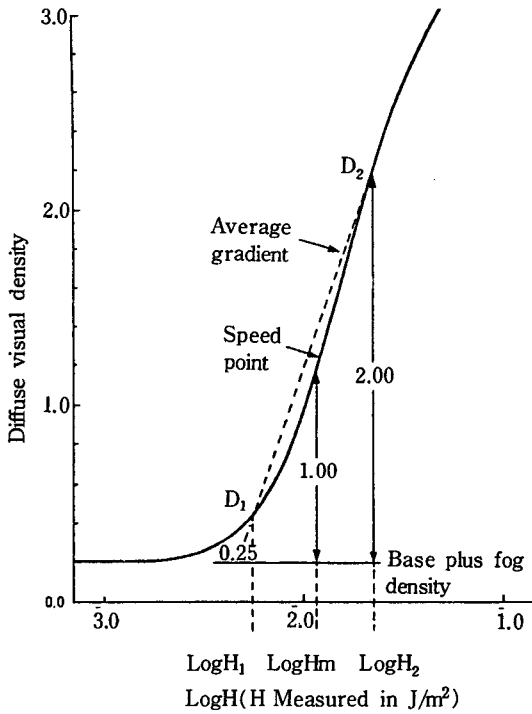


Fig. 38. Sensitometric curve

하도록 규정되어 있다.

특성치의 측정

Fig. 38과 같이 특성곡선에서 감도·G의 측정을 한다.

- 감도(speed)는

$$S = \frac{10^{-3}}{H_m}$$

H_m: D = 1.0 + D_{min}를 나타내게 하는 노광량

- \bar{G} (Average Gradient)는

$$\bar{G} = \frac{D_2 - D_1}{\text{Log}H_2 - \text{Log}H_1} = \frac{1.75}{\text{Log}H_2 - \text{Log}H_1}$$

$$D_1 = 0.25 + D_{min}$$

$$D_2 = 2.00 + D_{min}$$

(단, cine film은 $D_2 = 1.25 + D_{min}$)

- D_{min}는 비노광필름시료에서 측정한다.

© American National Standard Method for Sensitometry of Medical X-Ray Screen-Film-Processing System(ANSI pH 2.43-1982)

[개요]

screen-film system의 sensitometry 법의 규격으로, 실제로 X-선을 쓰는 새로운 규격이다. 대표적인 촬영부위를 선정하고 부위마다 test phantom의 촬영조건에 따라 X-선의 선질을 규정하고 있다.

감도는 선량에 따라 contrast는 피사체를 사용함으로써 실제 사용조건을 고려한 규격이다. 실용면에서는 선량측정, 선질측정 등 문제점도 있다.

[내용]

Test phantom과 촬영조건

흉부, 두개골, 골반, 사지골 등 각 부위에 대응되는 test phantom 및 선질을 규정하고 촬영한다.

촬영조건은 Table 8과 같이 촬영시간 산란선 contrast를 측정하기 위한 피사체의 두께 등을 규정하고 있다.

Table 8. X-ray beam incident on test objects

Technique	Half-Value Layer (mm Al)	Approximate kVp (single phase)	Exposure Time (milliseconds)	Modulator thickness (mm Al)	Exposure Conditions
Chest (high kVp)	3.8	125	20	3	low scatter
Chest (low kVp)	2.6	80	100	6	high scatter
Skull and pelvis	2.4	70	500	3	low scatter
Extremities	2.2	60	100	3	high scatter

기본이 되는 test phantom은 Fig.39와 같은 구성으로 이것은 흉부를 대상으로 하고 있다. 두 개골이나 골반은 50mm의 plastic판을 phantom 중앙에 부착시킨다. 또 사지골을 대상으로 할 경우에는 test phantom의 下側の 卍을 사용하게 규정되고 있다.

감도 · contrast의 측정

감도는 농도 $1.0 + D_{min}$ 를 내기 위한 선량(R)의 역수로 구하고 contrast는 test phantom과 함께 촬영된 aluminium판의 두께와 농도로 나타낸다.

기타 필름의 취급 현상처리, 선량의 측정, 선량계의 조정 등을 규정하고 있다.

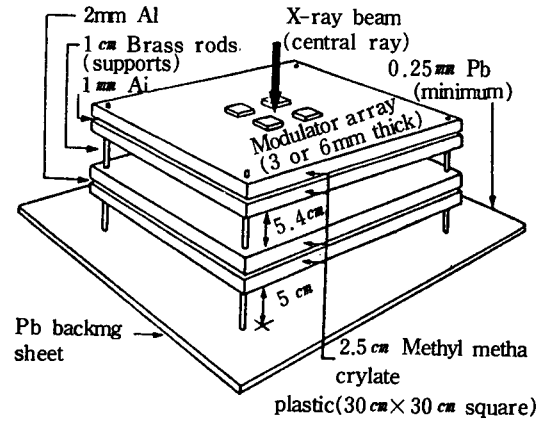


Fig.39. Test phantom