

放射線畫質의 基礎理論과 應用

高麗大學校 保健專門大學 放射線科

許 俊 · 宋 在 寬*

Fundamental Knowledge of Image Quality in Radiograph

Joon Huh, Jae Kwan Song*

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

1. 緒 論

방사선과에서 취급하고 있는 X-ray film의 품질은 대체로 아래 그림 1에 나타내는 여러가지 조건으로 결정된다.

의료진단을 위한 화질에 대하여 이해하기 어렵다고 하는 말을 자주 듣게 된다. 이 「이해하기 어렵다」고 하는 내용은 다음과 같은 사항이라 사료된다.

① Data 중에 수학적인 수식이 많아서 이해하기 어렵다(Response function, Fourier transformation, autocorrection function 등).

② Data 상의 수치의 실제 X-선사진의 질이 잘 결부되지 않는다.

③ 화질을 구성하는 세 가지 요인의 상호연관에 대하여 상세히 해설을 한 책이 없다.

이에 대해서 수식을 피하고 될 수 있는 한 쉽게 해설 설명하고자 한다.

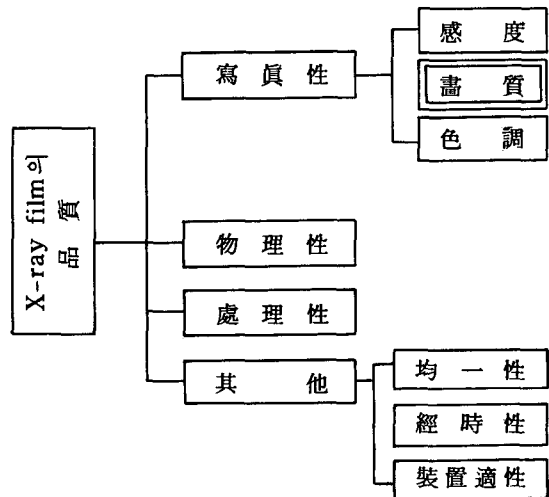


그림 1

* 大邱保健專門大學 放射線科 Dept. of Radiotechnology, Dae Ku Health Junior College

* 이 講座는「大韓放射線技術學會」주최 定例學術集談會(1985.2.23, 고려대부속 혜화병원 회의실) 및 「京畿道放射線士會」주최 放射線士補修教育(1985.4.28, 동남보건전문대학 강당)에서 발표되었음.

2. 畫質을 구성하는 因子

화질, 즉 화상의 질은 수많은 요인에 의하여 구성되고 있다. X-선사진인 경우에도 X-선이 필름의 銀像으로서 나타나기까지는 여러가지 공정 중에서 변형되므로 좋은 사진을 만들어내기 위해서는 각 공정의 하나 하나를 구분하여 그 개선을 도모해 나갈 필요가 있다. 일반적으로 畫質은 크게 분류해 볼 때 다음 세 가지 요인에 의해서 지배된다고 보겠다.

- 1) 階調度(Gradient)
- 2) 鮮銳度(Sharpness)
- 3) 粒狀性(Graininess)

이 세 가지 요인은 서로 각각 연관이 있어 어떤 영역에서는 比例하거나 反比例하기도 하지만 전체적으로 살펴보면 각각 개별적인 움직임을 나타내고 있다고 사료되므로 세 가지가 전적으로 독립된 인자라고 생각하는 것이 좋겠다.

제조도에 대해서는 자세한 설명이 이미 많이 있으므로 간단한 설명으로 그치고 주로 鮮銳도와 粒狀性에 대하여 상세하게 설명하고자 한다.

3. 肉眼的觀察結果와 畫質의 物理的인 表示

X-선사진을 진단하는 경우에는 사람의 눈은 앞서 말한 바와 같이 화질의 세 가지 요소를 하나하나 구분해서 보는 것이 아니라 전체적인 요소가 합성된 결과를 관찰하고 있는 까닭에, 全體的 畫質 또는 診斷的 價値라고 말할 수 있는 어떤 객관적인 표시방법이 있었으면 하고 아쉬움을 느끼게 된다.

현재 그러한 방법으로서 ROC(Receiver Operating Curve), Entropy 등 통계적 확률적 해석법이 시도되고 있기는 하지만, 적당한 방법이라고 말하기는 어렵다.

따라서 現在에는 세 가지 要素의 各各에 對한 物理的인 表示를 가지고 하여 세 가지 數値의 均형으로 화질을 평가하는 것이 가장 타당한 것으로 보고 있다.

물론 세 가지 數値가 모두 양호하다든가, 모두 나쁘다든가, 혹은 하나의 요소만이 유달리 나쁜 경우에는 전체 화질을 쉽게 판단할 수가 있다. 그러나 예를 들면 粒狀이 조금 나쁘지만 鮮銳度는 제법 좋은 사진과 粒狀은 좋지만 鮮銳度는 조금 나쁜 사진과는 어느 쪽이 좋으나 하면 진단상으로 취향의 문제도 있고, 또는 촬영하는 部位에 따라서도 평가가 바뀌기도 하기 때문에 전체로서는 어느 쪽이 좋은가는 간단하게 판단할 수 없는 일이다. 또 하나는 세 가지 요소를 표시하고 있는 물리적인 數値가 정말로 사람의 肉眼的인 觀察結果와 完全히 합치되고 있느냐의 여부에 대한 문제점도 남아 있어서 이 점은 금후의 연구 개량을 기다릴 수 밖에 없지만 어떻게 현재 사용되고 있는 표시법이 화질의 개량에는 크게 도움이 되고 있다는 것은 틀림이 없다.

4. 特性曲線

주로 곡선의 傾斜度(Contrast)가 문제된다.

Contrast 는

- ① 농도차의 識別 정도
- ② 識別可能한 濃度域의 크기에 관계된다.

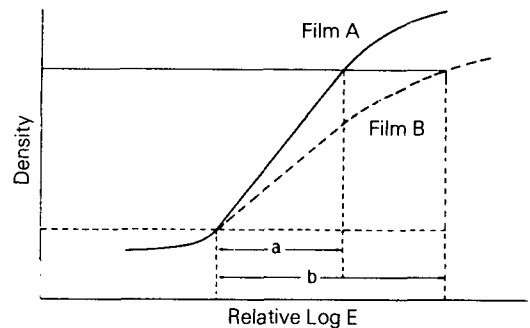


그림 2

예를들면 그림 2의 특성곡선에서 film A는 Contrast가 크기 때문에 識別은 하기 쉬우나 반대로 識別可能한 濃度域이 좁고, film B의 곡선에서는 識別은 약간 어렵지만 識別할 수 있는 濃度域은 넓어지게 된다. 사람의 눈의 식별곡선과 특성곡선을 결부시켜 評價하는 방법으로는 Per-

ceptibility Curve 가 사용되는 수가 있다.

5. 鮮銳度 (Sharpness)

사진상의 鮮銳度란 濃도가 다른 두 부분의 경계선이 흐려져 있는가 어떤가, 미세부분이 재현되어 있는가 어떤가 하는 능력을 나타내는 單位이다.

1) 鮮銳度を 形成하는 要因

그림 3처럼 불선에도를 일으키는 원인은 X선의 발생장치로부터 X선사진을 관찰하는 觀察燈에 이르기까지 매우 많다.

이 중에서 최종 X선사진의 鮮銳도에 커다란 영향력을 갖는 것은 다음 두 가지로 생각할 수 있다.

- ① 増感紙의 鮮銳度
- ② Film의 Contrast

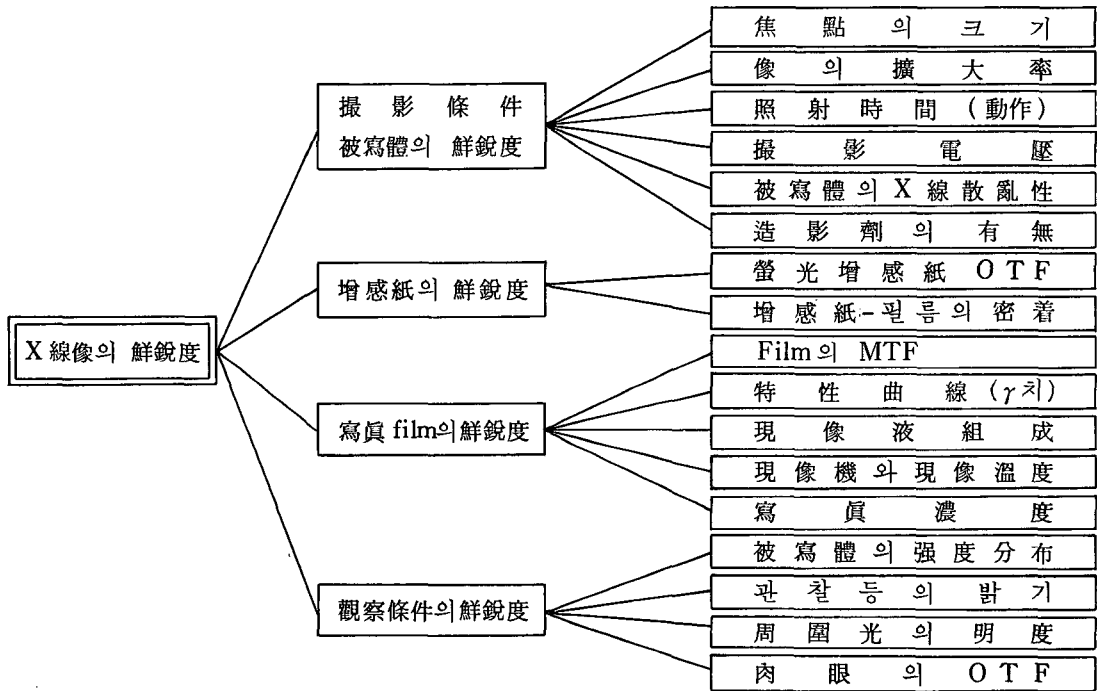


그림 3

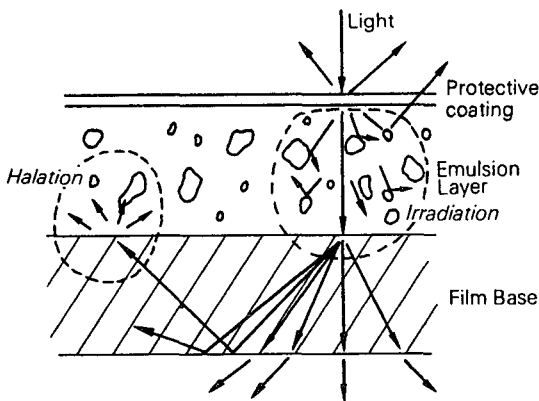


그림 4

鮮銳도가 나쁘게 되는 원인은 여러가지 있다. 예를들어 film에 대하여 생각해 보면 그림 4에서 보는 바와 같이 유체중에 입사된 빛이 halogen 化銀 粒子에 의해서 산란되거나(이 현상을 irradiation이라 함) 乳劑層을 透過해서 Base의 뒷면에서 反射되어(이 현상을 Halation이라 함), 또다시 乳劑層에 入射하는 등 여러가지 과정을 거쳐 halogen 化銀에 흡수된다. 그렇기 때문에 그림 5처럼 入射光의 形狀(혹은 分布)과 흡수된 빛의 形狀에 따라서 現像後에는 銀畫像의 形狀과는 현저하게 달라진다. 만약 入射光

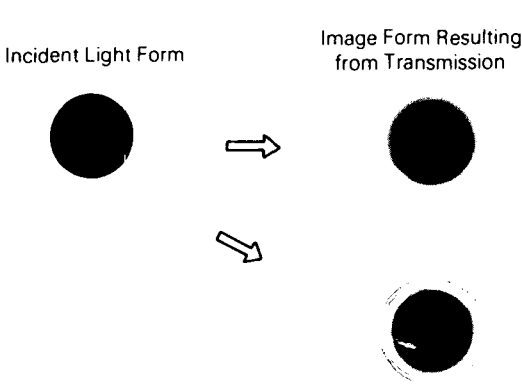


그림 5

의 形狀도 전적으로 同一하다면(즉 불선예도가 없다면) 빛의 信號는 100% 傳達되었다고 본다.

2) 鮮銳度を 測定하는 方法

선예도를 測定하는 方法을 열거하면 表1 과 같다.

이 중 解像力과 response function에 대하여 상세하게 說明하고자 한다.

3) 解像力

解像力이란 感光材料에 평행의 선으로 구

表 1

명 칭	방 법	응 용
解像力 測定	Chart 를 촬영해서 細線이 어디까지 분리되어 있는가를 조사한다.	全 體
Response function (MTF)	Chart 를 촬영하고, 空間周波數마다의 振幅의 감쇠율을 조사한다.	全 體
混濁度 測定	點 또는 slit 상에 노광해서, 노광량과 乳劑內의 빛의 “번짐” 을 測定한다.	film만
Halation 測定	미세한 strip 를 露光해서 빛의 “번짐” 을 除外한 Halation 만을 測定한다.	film만
Acudance 測定	境界가 分明한 H像을 film에 밀착해서 노광하여 境界分布의 濃度分布를 조사한다.	

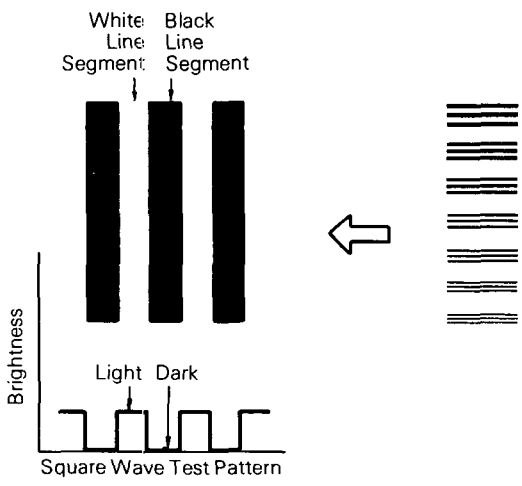


그림 6

성되고 있는 여러가지 像을 만들었을 때, 완성된 사진으로 단위幅당 분리할 수 있는 개수를 말한다. 增感紙나 film의 鮮銳度を 확인하는 가장 간단한 방법은 그 增感紙나 film을 사용해서 실제로 피사체를 촬영해 보는 것이다. 그런데 실제의 피사체는 千差萬別일 뿐만 아니라 촬영조건이 그때마다 달라지게 되므로 개별적인 實際結果를 比較해 보는 것이 不可能해진다.

따라서 실제의 피사체 대신에 적당한 test chart 를 대응하는 것이 고려된다. 이렇게 하면 실험실에서는 거의 一定한 조건하에서 실험할 수 있기 때문에 測定結果의 相互比較도 어느정도 가능해진다.

그림 6이 Test chart 의 一例이다. 보통 1 mm 당 흑백의 개수로 나타낸다. 예컨데 1 mm 당 4 개라 할 때는 白線과 黑線의 set 가 4組가 들어 있다는 것으로서, 黑白을 따로따로 계산하면 白線 4개 + 黑線 4개 = 8개로 된다. 따라서 黑線이나 白線 1개의 線의 크기는 $1/8\text{mm} = 0.125\text{mm}$ 가 된다. 이러한 chart 를 촬영한 다음 완성된 chart 像을 확대해서 관찰하고 몇 개까지 黑白이 분리되어 보이느냐 하는 限界點을 解像力值로 決定하고 있다. 表 2는 여러가지 感光材料의 해상력치를 제시하고 있다. 이 値는 어디까지나 film만의 値이므로 촬영系의 총 해상력치에서는 상당히 떨어진다.

따라서 단적으로 해상력치는 얼마나냐고 질문을 당한 경우에는 film 단독인가, X선에 의한 增感紙併用촬영한 경우인가를 확인할 필요가 있다.

表 2

	解像力 (개/mm)
HR-II	850
Minicopy	560
Neo-Pan F	120
그라비아 film	100
Neo-Pan SS	90
X선 間接用	65
X선 直接用	40

4) Test Chart 의 種類

Test Chart 에는 여러가지 종류나 形態가 있으며 대략 아래와 같이 분류할 수 있다.

目的別 分類

- ① 흰 종이에 黑線을 記入한 것……反射型 Camera 로 촬영하는 경우에 사용한다.
- ② 透明한 Base에 黑線을 記入한 것……透過型 film 만의 test 를 하는 경우에 사용된다.
- ③ 얇은 支持體에 금속판을 삽입한 것 ……X선 촬영제에서 X선 透過型으로서 사용한다.

形狀別 分類

- ① 矩形型 1方向만인 것
2方向組合한 것
- ② 扇形型…… Seamans star 라고 부른다.

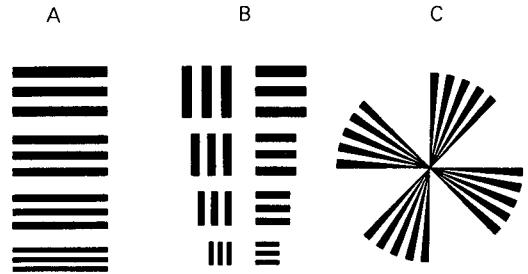


그림 7

濃度分布別 分類

- ① 矩形型 Square wave type
- ② 正弦波型 Sine wave type

현재 사용되고 있는 test chart 의 Pattern 은 그림 7 과 같다.

5) 解像力 표시의 문제점

鮮銳度를 나타내는데 解像力值는 오랫동안 사용되어 왔으나 정말 解像力이 畫像의 鮮銳性을 나타내고 있는가 어떤가에는 의문이 있다. 예컨데, 解像力值가 나쁜 film 쪽이 보기에는 鮮銳度가 좋거나, 카메라의 렌즈 등에서도 解像力이 가장 좋아지는 焦點位置와 鮮銳度가 가장 좋아지는 焦點位置가 맞지 않는 경우도 있다.

두 數值가 一致하지 않는다는 것은 어떻게 解像力值의 表示가 畫質을 表示하는 尺度로서는 부적당하다고 말할 수 있다. 또 한 가지 앞서 말한 바와 같이 test chart 를 사용함으로써 어느 정도 測定의 統一이 이루어졌으나 Chart 의 종류, 材質, 照明條件 등이 다양각색이어서 規格化되지 못하였기 때문에 측정 때마다 다른 Data 가 얻어지게 되는 결점이 남아있다. 이와 같은 결점을 어느 정도 보충하기 위해 사용된 것이 Response Function 이다.

6) Response Function

해상력치로 鮮銳度를 나타내는 대신에 사진이나 광학(Camera lens)의 분야에서는 지금으로부터 약 20년 전부터 response 함수라는 표시방법이 도입되고 있었다. 이 response 함수는 본디 通信工學쪽에서 사용된 평가단위로서 이 방법을 렌즈나 감광재료등 광학분야에 응용한 것이다. 최근 자료중에는 선예도의 표시방법으로는 OTF(Optical Transfer Function), MTF(Modulation Transfer Function), CTF(Contrast Transfer Function)등이 있으나, 이것은 모두 Response 함수와 거의 같은 것으로 여겨도 무방하다. 그 차이점에 대해 언급해 보기로 하겠다.

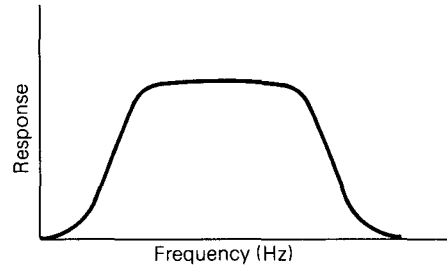


그림 9

는 response 함수치이다. 이상을 요약하면 어떤 系에 入力된 Energy가 어떤 出力으로 나타나게 되느냐 하는 그 각각의 入力値와 出力値의 比로 그 系의 응답도(response), 재현성을 나타내고자 하는 것이 response function의 原理이다.

• 광학사진계의 應用

이 原理를 렌즈나 사진계통에 응용한다면 어떻게 될 것인가? 먼저 音波와 같은 정현파형을 만들기 위해 그림 10과 같은 빛의 강도가 단계적으로 변화하는 test chart를 준비해야 한다.

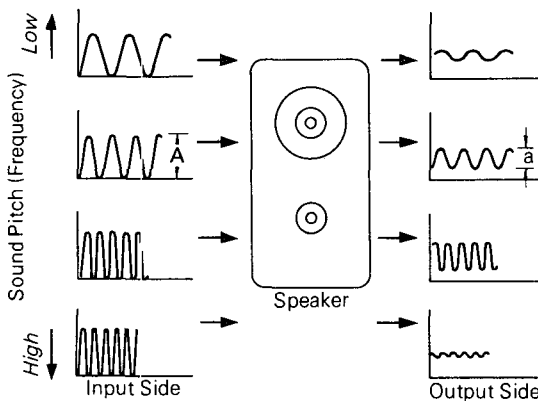


그림 8

• 통신관계에서의 使用方法

그림 8에서 보는 바와 같이 소리의 강도(진폭)는 같고 높이(周波數)만이 다른 여러가지 다양한 소리를 라디오의 스피커에 넣으면 出力쪽에서는 어떤 높이의 소리도 완전히 재생되지 않으며 특히 고음과 저음에서는 거의 再生되지 않는다. 바꾸어 설명하면 소리가 들리지 않게 된다.

그래서 횡축에 소리의 高低(周波數)를 나타내는 눈금을 그리고, 종축에 각각 소리의 진폭비(a/A)를 계산하고 이 値를 response라는 이름을 붙여 표시하면 그림 9와 같은 曲線이 된다. 이것이 스피커 따위의 주파수 특성이라 불리우

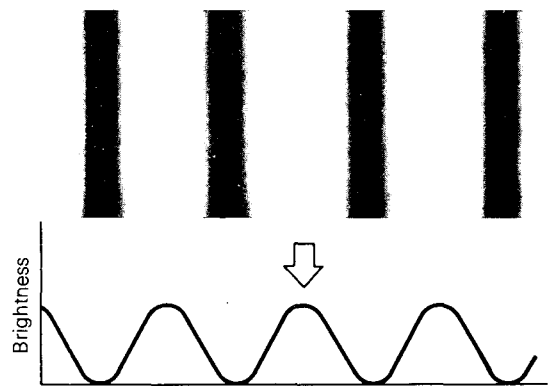


그림 10

소리인 경우 높이(주파수)에 상응하는 빛에서는 빛의 강약의 반복밀도(음파에서는 1초간에 반복되는 강약이지만, 빛에서는 몇 번의 반복이 있느냐?)로서 이것을 音波의 周波數와 混同하

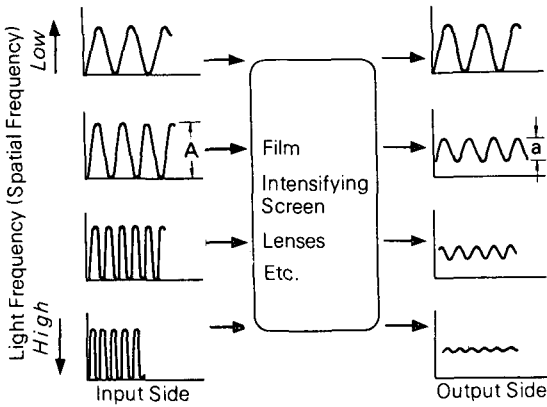


그림 11

지 않도록 空間周波數(Spatial Frequency) 라고 부르고 있다 한다.

여기에서 그림 11처럼 빛의 강도(진폭)는 같고 반복되는 밀도(空間周波數)만이 다른 여러 가지 빛을 측정하려고 하는 系에 넣어주면 出力 쪽에서는 앞서 말한 바와 같이 여러가지 理由로 완전 재생되지 않으며, 특히 높은 공간주파수에서는 흑백이 분리되지 않는 것처럼 나타나게 된다.

따라서 횡축에 공간주파수를 표시하고 각 빛의 振幅比(a/A)를 계산해서 종축에 나타내면 그림 12와 같은 曲線이 된다. 이것이 빛의 경우에 있어서의 response function이라고 하는 것이다.

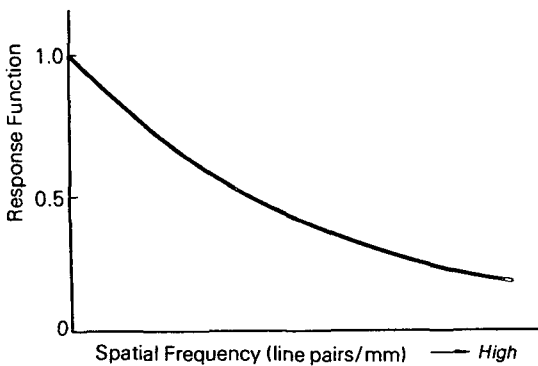


그림 12

횡축의 Response function의 수치는 본래 입력진폭에 대한 출력진폭비로 나타내는 수치이기 때문에, 완전히 재현된 100%에서부터 전혀 재현되지 않은 0%까지의 사이에 표시가 기록되어야 할 것이다. 그러나 100%를 1.0으로 보통 기록하고 있다. 그림 8와 그림 11를 비교해 보면 소리와 빛에서는 낮은 주파수의 形狀이 전혀 다르다.

• 位相差에 對하여

실제로 Response 함수라는 표시에는 첨가되어야 할 것이 하나 더 있다. 그것은 光學系에서 특히 문제가 되고 있는 「位相差」이다.

그림 13에 표시된 것처럼 空間周波數가 낮은 영역에서는 점선(1)처럼 振幅은 변하지만 位相은 변하지 않는다. 즉 入力쪽의 피크에 出力쪽의 피크가 있고, 저부와 저부는 어김없이 일치되고 있다. 그러나 렌즈나 X線管 등의 response 함수를 測定하였을 때 때때로 實線(2)처럼 位相差가 나타나는 수가 있다. 그림 14는 X線管的 Response를 扇形차아트로 촬영했을 때의 位相差를 나타낸 것이다. 이런 差가 發生하면 畫像 쪽도 再現이 異常해져서 畫面의 中心部에서는 별

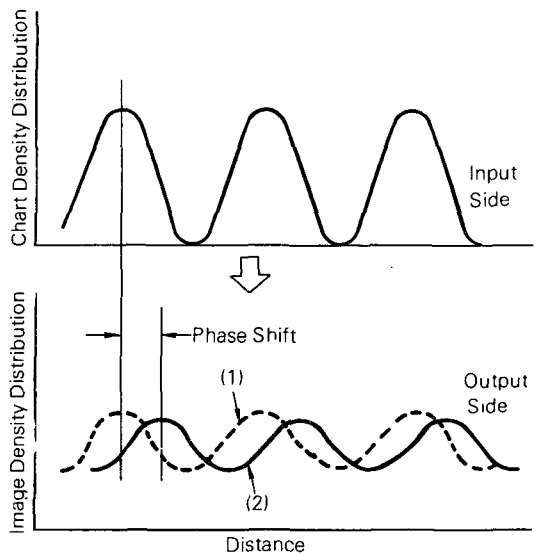


그림 13

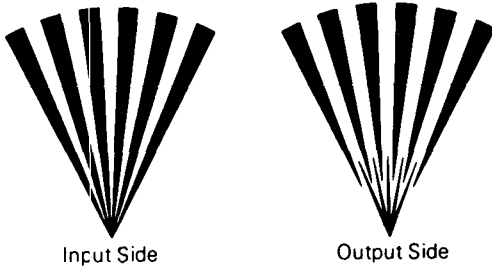


그림 14

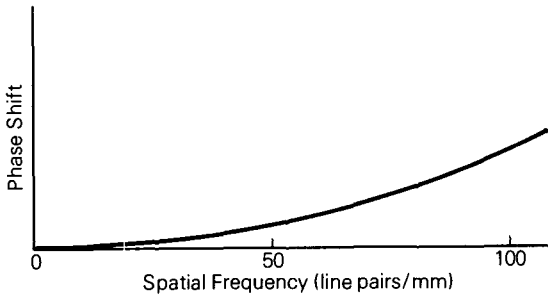


그림 15

문제가 없는데, 周邊쪽에서는 상이 흘러서 비뚤어지는 수가 있게 된다. 그래서 그림 15에서 보

는 바와 같이 횡축에 空間周波數를 종축에 各周波數마다의 位相差를 표시해서 그림 12의 response 함수치와 같이 표시하도록 되어 있다.

6. 要 約

Response 함수에서는 正弦波의 진폭과 位相의 양쪽을 취급 표시한다.

- 1) 正弦波차아트를 撮影하였을 때 일반적으로 진폭이 떨어지므로 그 比率를 測定해서 표시한다.
- 2) 正弦波차아트를 撮影하였을 때 일반적으로 位相差가 일어나게 되므로 그 差를 測定해서 표시한다.

• Response 함수와 MTF

感光材料의 Response 함수를 測定해 보면 위에서 설명한 바 位相差는 보통 거의 일어나지 않으므로 생략해도 무방하다.

따라서 感光材料쪽에서는 특히 MTF (변조전달함수)라는 명칭을 붙여서 진폭의 변화만을 취급토록 하고 있다.

表 3

	利 點	缺 點
正弦波 chart	<ol style="list-style-type: none"> ① 자연계에 존재하는 피사체는 거의 正弦波의 인 明暗分布를 나타내고 있어서, 이쪽이 실제적이다. ② 정현파를 이모저모로 조합시키면, 어떤 파형이라도 만들 수가 있다. ③ 그림 18-b처럼 정현파에서는 진폭이 변할 뿐으로 파형은 변하지 않으므로 진폭의 변화만 표시하면 화질을 알 수 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> ① 제조가 어렵다.
矩形波 chart	<ol style="list-style-type: none"> ① 제조가 용이하다. ② 그림 18-a처럼 파형이 변할지라도 수학적으로 정현파차아트에서 얻어진 response로서도 충분히 화질을 나타낼 수가 있다. (C.T.F) 	<ol style="list-style-type: none"> ① 明暗이 단형적으로 변화하는 피사체는 거의 존재하지 않는다. ② 그림 18-a처럼 진폭뿐만 아니라 파형이 변하고 만다.

• 정현파차아트와 구형파차아트

지금까지 response 함수測定에는 正弦波차아트를 사용한다고 설명해 왔다. 그런데 이 차아트는 제조하기가 힘들어서, 특히 X線系처럼 금속으로 가느다란 正弦波敎加工이 어렵기 때문에 解像力測定에서는 矩形波차아트를 代用하고 있다.

일반적으로 正弦波차아트와 단형파차아트의 장점과 단점을 열거해 보면 표3과 같다. 이 表를 보면 response 함수의 測定에도 矩形波차아트를 使用하는 쪽이 편리하다는 것을 알 수 있다.

현재 거의 모든 分野에서는 실제로는 矩形波차아트가 사용되고 있다.

• 구형파와 정현파의 關係

矩形波차아트의 利點은 正弦波차아트로 얻어진 response 함수에 數式을 使用해서 變換시킬 수 있다고 하였는데, 이것은 다음과 같은 사항에 따른 것이라고 생각하면 된다.

그림 16처럼 일반사진의 피사체이전, X선사진의 피사체이전 그 明暗分布는 복잡한 모양을 하고 있다. 그러나 이러한 分布曲線도 사실은 여러가지 空間周波數, 振幅, 位相을 갖는 正弦波로 分解할 수가 있다. 逆으로 空間周波數와 振幅과 位相을 적당하게 겹쳐주면 어떠한 波形(矩形, 3角形)이라도 合成할 수가 있다. 이와같이 合成하거나 分解하거나 하는 數學을 Fourier數

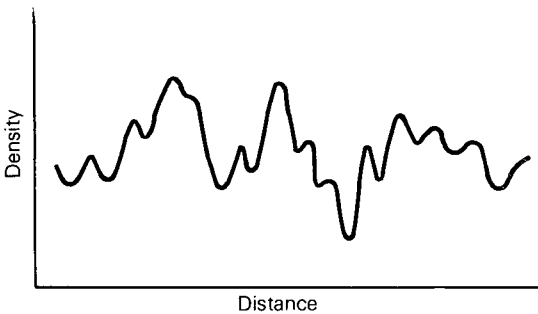
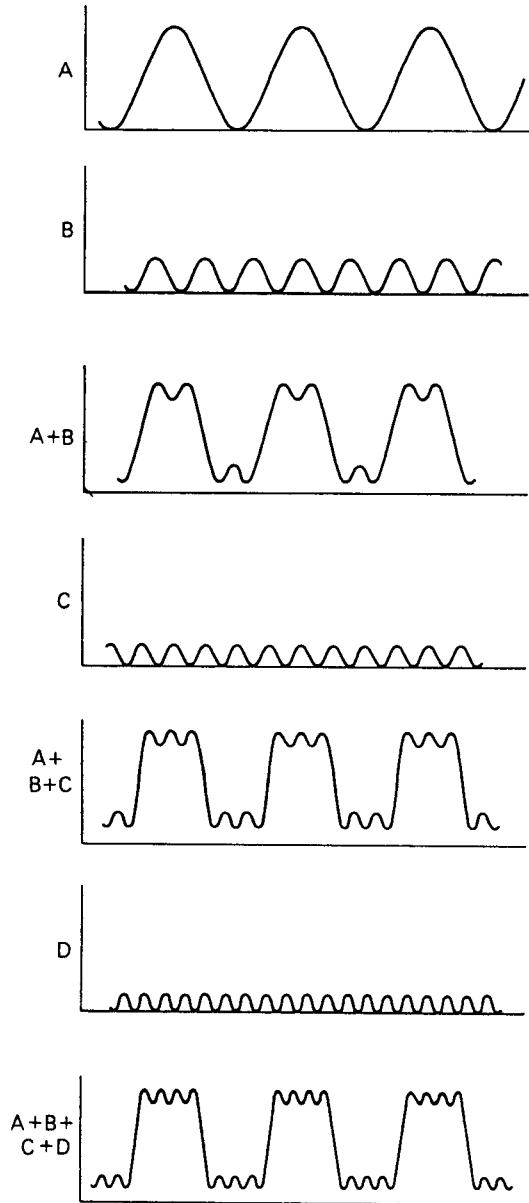


그림 16



If this process is repeated over and over again the final result would be the shape indicated below.

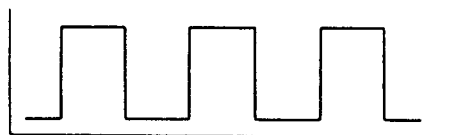


그림 17

學 또는 Fourier 적분이라고 한다.

그림 17은 여러가지 正弦波를 合成해 나가면 마지막에는 矩形波로 된다는 것을 表示한 圖表이다.

따라서 矩形波도 거슬러 올라가면 많은 正弦波로 合成된 것이기 때문에 서로의 사이에서 數式을 사용하면 어느 쪽으로도 變換시켜 줄 수 있으므로 正弦波차아트 대신에 矩形狀차아트를 사용할 수도 있다는 것이다.

• MTF 測定

이 項에서는 보통으로 取扱하고 있는 X선사진을 열거하고, 그 測定의 실제, 순서를 설명하면서 다시 상세하게 MTF에 대하여 설명하기로 한다.

① 矩形波차아트의 준비

먼저 적당한 차아트를 준비한다. X선용이므로 물론 엷은 合成수지와 같은 支持體에 납, tungsten, 金, Stainless 와 같은 금속片을 空間

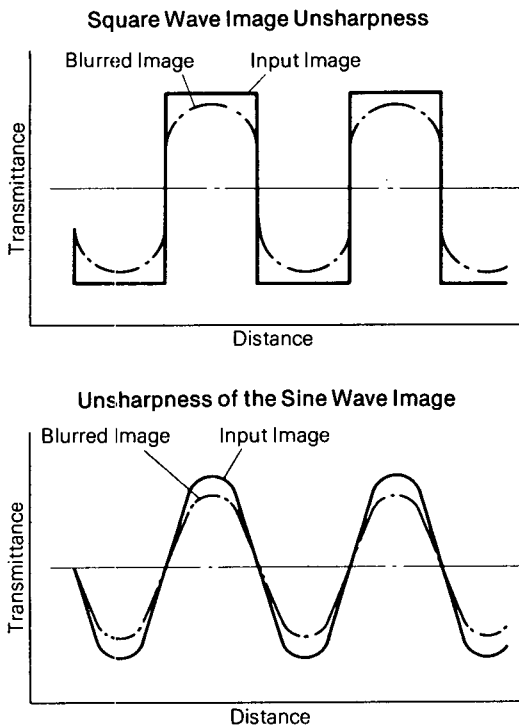


그림 18

周波數가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 차례로 된 것이나 금속판에 단형상의 Slit 를 잘게 나열시킨 X線투과용차아트가 필요하다.

② 이 차아트에 X선을 조사 撮影한다.

이 경우 가능한 한 실제의 피사체(人體)에 가까운 조건을 만들기 위해서 물의 散亂體 속에 차아트를 띄워서 撮影할 필요가 있다. 散亂體를 사용하지 아니하고 차아트를 카세트에 密着시켜 촬영하면 어떤 空間周波數인 곳에서라도 振幅이 거의 떨어지지 않는다. 그러므로 비교하고자 하는 Sample 사이에 차이가 거의 일어나지 않는다.

撮影條件

촬영조건은 실제로 사용되는 전압범위에서 임의로 결정되지만, 중요한 것은 지지체의 透過散光濃度가 1.2~1.5정도가 되도록 設定하는 것이다(따라서 금속부분을 투과해 오는 X선에 의한 사진농도는 다시 낮아진다). 왜 이와 같은 濃度가 되는 조건을 선택하느냐 하는 것은 될 수 있는 한 특성곡선의 直線領域을 사용하려고 하기 때문이다.

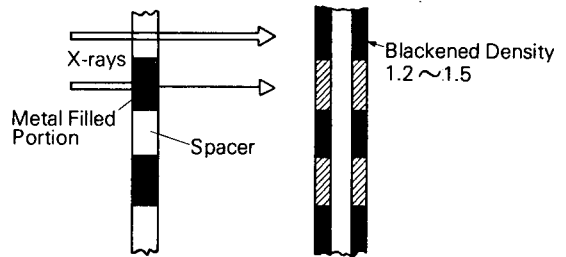


그림 19

X線管과 film의 거리는 2m 이상으로 할 필요가 있다. 너무 거리를 접근시키면 X線관에 의한 불선예도(焦點의 크기에 따라 일어나는 幾何學的 半影때문에)가 나타나서 바람직하지 못하다.

③ film을 現像한다.

④ 現像이 끝난 film을 Microphotometer 에 부착시켜 濃度를 연속적으로 해독해 나간다.

⑤ Microphotometer 에서 얻어진 各 周波數 마 다의 濃度幅 (振幅: $\Delta D_0, \Delta D_1 \sim \Delta D_n$) 을 미리 平行光濃度로 測定한 film의 特性曲線을 사용해서 露光 X線量幅으로 變換해 준다. $\Delta D_0 \sim \Delta D_n \rightarrow \Delta E_0 \sim \Delta E_n$ 왜 굳이 濃度幅을 露光量幅으로 고쳐야 하느냐 하는 理由는 다음과 같다.

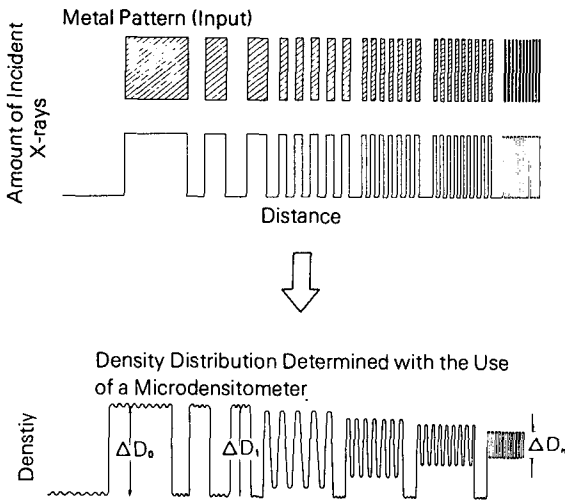


그림 20

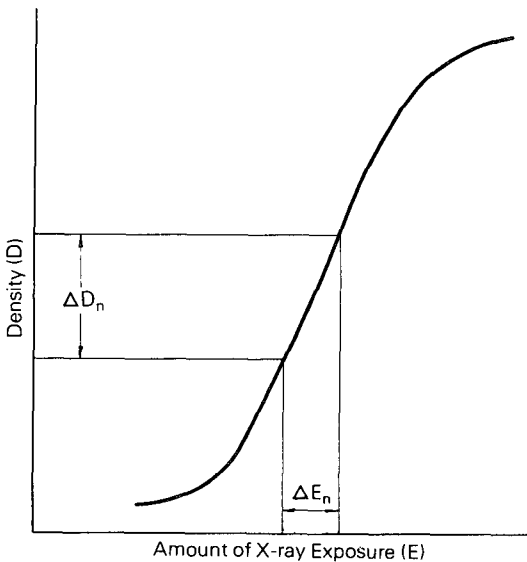


그림 21

入力 energy 와 出力 energy 의 관계

response 함수나 MTF는 앞서 설명한 바와 같이, 入力波의 진폭과 出力波의 진폭비 a/A 로 나타내고 있으나, 이 定義가 成立하는 것은 入力과 出力의 관계가 그림 22처럼 直線(1 缺式)이어야 한다.

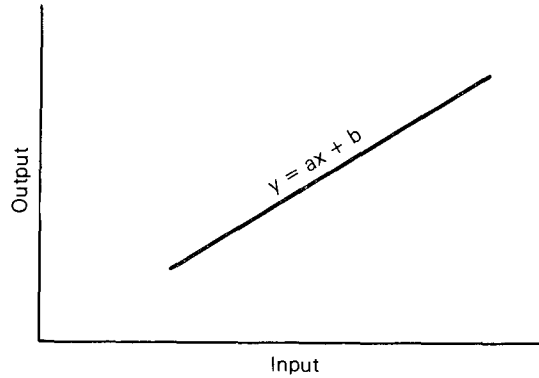


그림 22

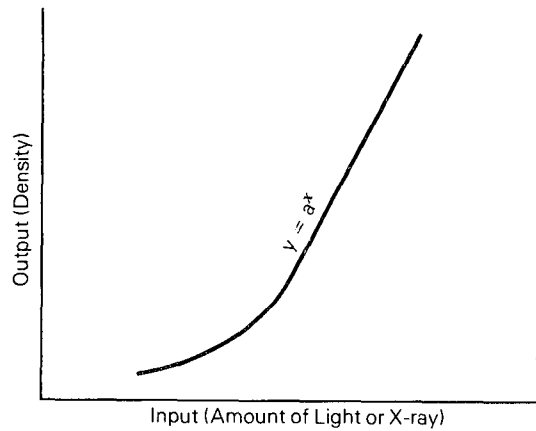


그림 23

그러나 사진쪽에서는 入力과 出力의 관계는 대단히 弱한 빛이나 強한 빛의 곳에서는 비례계수가 성립되지 않아서 指數함수와 같은 모양이 된다. 따라서 入力과 出力의 진폭비를 취한다고 할지라도 露光조건에 따라서는 MTF가 크게 바뀌게 된다. 이렇게 되면 좋지 않으므로, 보통은 film 쪽의 MTF는 濃度の 振幅比로 規定하지 않고, 入力되는 光量(또는 X線量)의 振幅과, 出力쪽

에 濃度를 나타내게 하기 위해 作用한 光量 (또는 X線量)의 幅의 比로 나타내도록 되어 있다. 이와같이 有效하게 作用한 露光量의 率을 有效 露光量이라고 부른다.

振幅과 Contrast

지금까지의 설명에서는 모두 진폭이라는 用語가 쓰여져 왔으나, 정확하게는 Contrast 라는 명칭이 붙여져 있다.

그림 24와 같이 MTF인 경우는 Contrast C

$$C = \frac{a-b}{a+b}$$

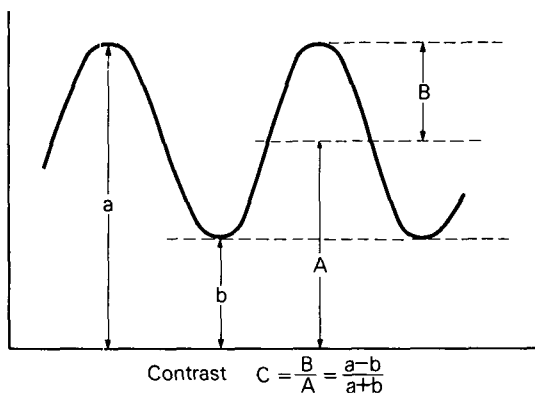


그림 24

로 결정 정의되고 있다. 따라서 入力波인 Contrast를 C, 出力波인 Contrast를 C'라 하면

$$MTF = \frac{C'}{C} = \frac{a'-b'}{a'+b'} \cdot \frac{a-b}{a+b}$$

로 나타내게 된다.

지금까지 설명한 진폭비와 위에서 정의한 Contrast 비로서는 다소 다르지 않겠느냐고 여길지 모르지만, 결국 기본 energy의 몇 %가再現되느냐 하는 비례치로 표시되기 때문에 결국은 같은 것이 된다.

⑥ 얻어진 有效露光量比를 계산한다.

$$MTF \text{ (square wave)} = \frac{\Delta E_1}{\Delta E_0} \cdot \frac{\Delta E_2}{\Delta E_0} \dots \frac{\Delta E_n}{\Delta E_0}$$

⑦, ⑥으로 얻어진 수치는 square wave pa-

tern으로 얻어진 MTF이기 때문에 數式을 사용해서 正弦波차아트로 부터 MTF로 變換한다.

⑧ 그래프用紙의 橫축에 공간주파수의 눈금을 잡고 縱축에 各 空間周波數마다 MTF를 표시한다(空間周波數値는 차아트에 표시되어 있다).

• MTF와 CTF

MTF는 이상과 같이 설명한 순서대로 하면 매우 번거롭겠지만, 실제의 작업은 거의 computer가 하게 되는 것이므로 번거롭지도, 시간이 걸리지도 않는다. 이 測定을 더욱 簡略하게 할 수는 없을까? 혹은 Computer의 조작을 빌리지 않고 간단한 입력계산으로 할 수 있는 方法은 없을까 하는 見解에서 고안된 것이 CTF 測定法이다.

간단히 설명하면 MTF測定인 경우 ⑤項의 露光量 變換, ⑥項의 正弦波차아트에 의한 MTF로의 變換이라는 두 가지 項目을 생략한 것이 CTF의 方法이라고 생각하면 틀림이 없다.

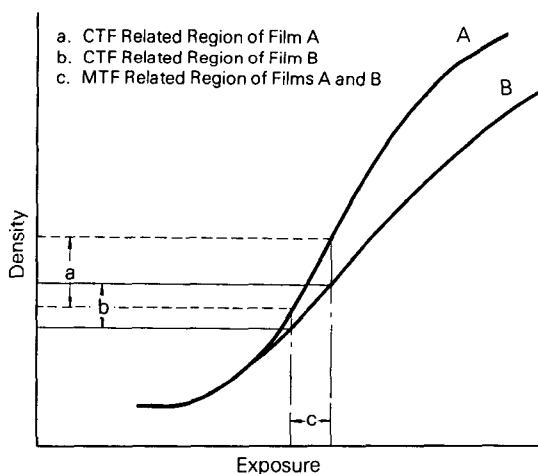


그림 25

즉, 그림 25에서 나타난 것처럼 MTF는 橫축의 光量으로 計算하고, CTF는 縱축의 濃度比로 計算하면 A,B와 같은 Contrast가 다른 film에서는 CTF의 計算濃度도 변하게 된다. 따라서 CTF가 Contrast를 포함한 함수, Cont-

rast transfer function의 약자임을 알 수 있게 될 것이다. 만약 撮影한 차아트(contrast)의 濃度域이 特性曲線의 거의 直線部에 들어온다고 한다면 MTF와 CTF는 거의 同値라고 생각해도 좋다고 여겨진다.

다만 다음과 같은 事項은 理解하고 있을 필요가 있다.

1) 다른 종류인 data를 비교를 하는 경우에는 MTF로 變換해 둔다. CTF 그대로는 應用이 되지 않기 때문이다.

2) 앞서 설명한 바와 같이 露光量과 濃度の 관계는 非直線型이므로, 測定하는 데는 濃度幅이 特性曲線의 直線部分으로 들어가도록 露光을 Control 하고, 다시 比較試料사이의 濃度도 구비해 둘 必要가 있다.

• 實際의 鮮銳度와 MTF의 관계

이제 그림 26과 같은 금속사이에 좁은 slit가 있다고 하고 이것을 X선으로 撮影하면 理想的으로는 B와같은 선예한 線像이 얻어질 터이지만 실제로는 여러가지 흐림의 要因이 개입되기 때문에

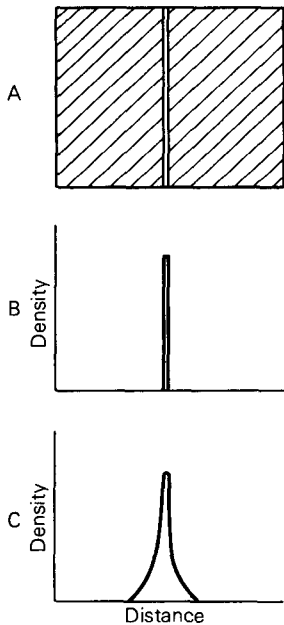


그림 26

實際像은 C처럼 濃도분포로 된다. 이와 같이 흐림 즉 鮮銳性을 나타내는데 film의 길이 方向에 대한 濃度分布를 표시하는 방법도 있다.

그림 26과 MTF처럼 空間周波數마다 振幅(또는 Contrast)의 減衰率을 잡은 곡선과의 관계를 요약하면

이 두 가지가 全的으로 같은 것은 앞과 뒤에 따라 달리 表現하고 있는 것이기 때문에 한쪽의 數値가 정해지면 다른 한쪽의 數値도 數學計算으로 간단하게 求할 수가 있다. 이러한 計算으로 사용되는 것이 Fourier 變換이라는 數學이다.

• 解像力과 MTF

이상과 같이 作成된 MTF曲線을 통해서 解像力의 數値를 求할 수가 있다. 그림 27처럼 空間周波數가 증대됨에 따라 MTF가 떨어져서 횡축과 교차한 점이 出力쪽의 진폭이 零이 된 곳, 바꾸어 말하면 사람의 눈으로도 黑線과 白線을 분리할 수 있는 곳 즉 解像力値가 될 것이다.

그림 27을 보면 15個/mm임을 알 수 있다. 그러나 실제로 사람의 눈은 흑백의 Contrast差가 MTF值로 0.1(10%정도 밖에 再現되지 않는다. 線 a, b의 곳) 이하에서는 이미 濃度差로서 判別하는 능력이 없으므로, 그림에서는 MTF경사와 a, b의 교차점에서 橫축으로 내린 곳(그림 27에서는 13개/mm)이 解像力値에 相當한다. 解像力의 문제점으로서 解像力이 높은 film이 꼭 良好한 鮮銳度를 나타내는 것이 아니라고 하였다. MTF值에서는 능히

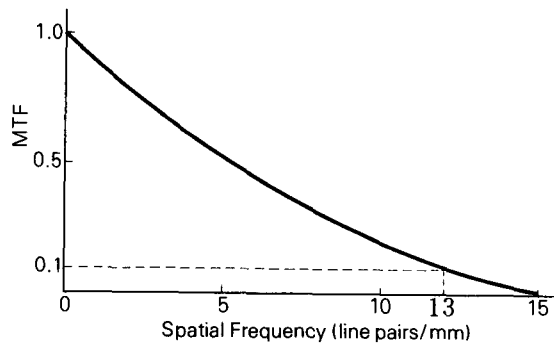


그림 27

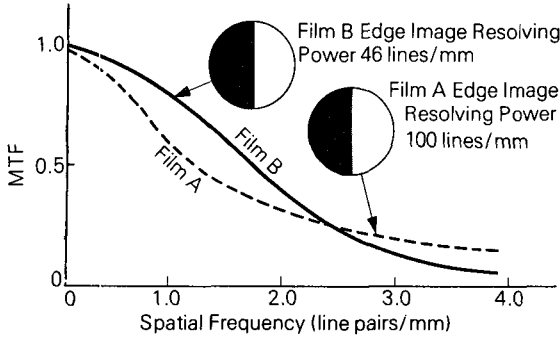


그림 28

說明이 될 수 있다. 실제의 鮮銳度の 좋고 나쁨은 주로 공간주파수가 적은(혹은 낮은) 영역에서의 MTF 値로 決定된다.

그림 28에서의 해상력은 film A 쪽이 양호하지만 낮은 周波數쪽의 特性이 좋은 B 쪽이 실제의 해상력이 鮮銳함을 알 수 있다. 한편, MTF의 이점의 하나는 종합적인 MTF는 각각의 단계…… 예컨대 X線撮影으로 말하면, X線管, 增感紙, 散亂線, X線 film 등 하나 하나의 MTF의 積으로 나타나게 된다는 點이다. 따라서 逆으로 各各의 成分의 MTF로 分解하는 것이 가능하게 된다. 그 이유는 다음과 같이 생각하면 좋다. 지금 X線管의 공간주파수 2개/mm 인 곳의 MTF 値가 0.5(즉 50%)이므로 다음 增感紙로 들어가게 되는 X선은 50% 흐림이 入力되는 勢이다. 그 50%의 入力値에 대하여 增感紙로서 MTF 値가 0.3 이라면 본래의 차아트에 대해서는 $0.5 \times 0.3 = 15\%$ 즉 MTF로는 0.15가 되는 것이다.

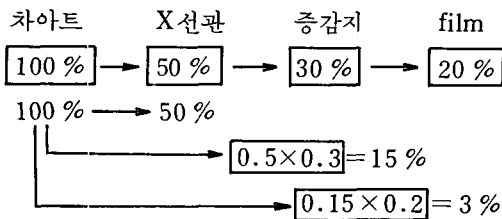


그림 29

7. 粒狀性 (Graininess)

X線사진을 육안으로 보면 전체적으로 무엇인가 반점이 있는 느낌을 받게 된다. 보통 사진이라도 밀착프린트(print)인 경우는 거의 알 수 없으나 어느 정도 크게 확대해 보면 반점이 두드러지게 나타난다. 이와 같은 반점을 입상성이라 부른다.

1) 粒狀性의 發生原因

이와같은 반점이 일어나는 원인은 그림 30과 같이 상당히 많은 因子가 복잡하게 얽혀 있으나 그중 X線사진의 粒狀性에 크게 影響력을 갖는 것은 다음 4가지로 생각된다.

1. X線양자반점(X-ray quantum mottle)
2. 필름의 입상성(size and distribution of silver halide grains in the film)
3. 필름의 콘트라스트(film contrast)
4. 형광체의 입상성(size and distribution of screen phosphors)

이상 상호간의 影響에 대해서는 다시 상세하게 설명하기로 한다.

그림 31은 이들 要因에 의해서 X線사진의 입상성이 組立되는 순서를 나타낸 것이다.

Mottle

X線사진을 육안으로 관찰한 경우의 반점은 film의 銀粒子나 螢光體의 粒子 하나 하나에 의한 것이 아니라 粒子가 몇개 모여서 집단을 이루고 있을때에 비로서 粒子로서 視覺된다. 이 集團을 Mottle 이라고 부른다. Hallogen 化銀粒子의 크기는 直徑 $1 \sim 2\mu$ 정도로서 어느 정도 Contrast가 형성되어 있지 않는 한 사람의 눈으로는 관찰하기 어렵다. 또한 Mottle을 구성하는 몇가지 要因중 X線의 광량자에 의해서 일어나는 것을 量子반점 또는 量子노이즈(或은 量子의 통계적 요동, 統計的 散亂)라고 부른다. 지금 film상에 있는 單位面積을 고려한 경우 이 부

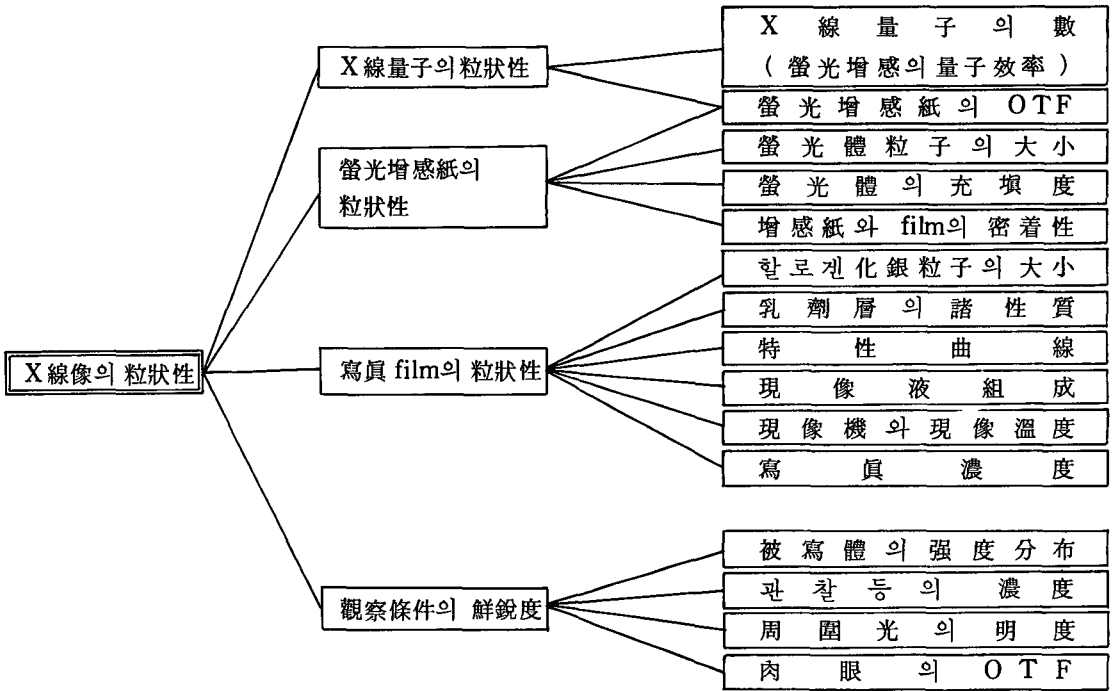


그림 30

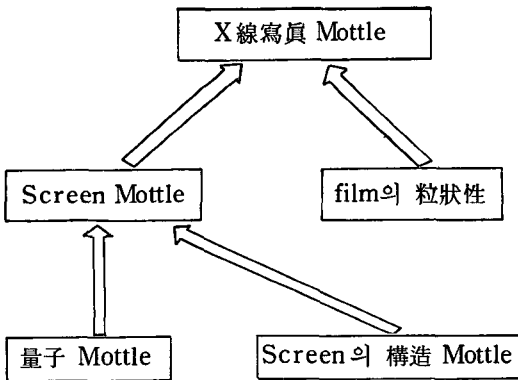


그림 31

感度系의 少量인 X선으로 撮影할 경우에 잘 나타나고, 低感度 System에서는 눈에 띄지 않게 된다.

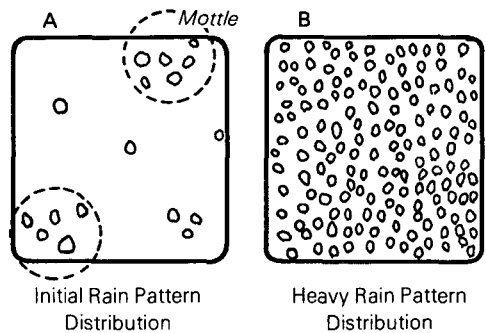


그림 32

분에 조사되는 光量子數나 分布는 결코 규칙적인 것이 아니라 사방으로 偏在하게 되어 이것이 量子반점의 原因이 된다. 그 예로 비가 내리기 시작했을 때는 그림 32-A처럼 빗방울이 땅에 떨어졌을 경우는 그 분포가 불규칙하지만, 강수량이 많아지면 빗방울은 平均化되어 mottle 은 눈에 띄지 않게 되는 것과 같이 量子 mottle 은 高

2) 粒狀性을 測定하는 方法

表 4는 粒狀性의 代表的인 測定方法으로 두 種類로 나누어서 생각할 수가 있다.

① 心理的 粒狀性(Graininess)..... 육안으로 관찰했을 때 느끼는 반점의 시각적 정도

表 4

種 類	名 稱	方 法
심리적 粒狀性 의 測定	粒狀點 消失거리 (확대율 測定)	Sample 을 확대 투영하고 粒狀이 보이지 않는 거리를 測定한다.
	확 대 법	Sample 을 확대하고 인화지와 확대상을 肉眼 으로 관찰한다.
물리적 粒狀性 의 測定	粒子數, size 測定	Sample 을 顯微鏡으로 확대해서 單位 면적당 입 자수와 size 를 測定한다.
	R.M.S 粒狀性	Sample 의 粒狀模樣에 의해 농도변화의 標準偏 차를 測定한다.
	Selwyn 의 粒狀性	上記의 표준편차를 測定하고 濃度計의 測定에 사 용했던 size 와 곱해서 加算한다.
	Wiener spectrum	各各의 空間周波數마다의 표준편차로 나타낸다.

② 物理的 粒狀性 (Granularity)……物理的인 또는 기계적인 수단으로 測定한 한점의 정도

우리들이 조잡하다든가 미세하다든가 하면서 평가하는 것은 어디까지나 육안으로 관찰한 관능적인 평가치이므로 본디 心理的粒狀性和 상관계가 많은 物理的粒狀性測定法을 利用하는 수가 많다. 위 表의 測定法中 현재 가장 많이 사용되는 것은 RMS 粒狀性和 Wiener Spectrum 이다.

3) Selwyn's Granularity

E.W.H Selwyn에 의해 確立된 方法으로서 이 方法에 의해 유도된 것이 RMS 粒狀性이다. 이 方法은 측정대상인 Sample 을 microphotometer 로 測定해서 그 平均濃도에 對한 RMS 値와 測定한 microphotometer 의 aperture 面積의 平方根의 積으로 粒狀을 나타내려고 하는 것이다. Selwyn의 입상성

$$(G) = RMS \times \sqrt{\text{aperture 面積}}$$

그러나 이 方法에서는 그림 33처럼 aperture 의 面積이 粒子의 面積보다도 적어진 경우, G치는 일정하게 되지 않는다. 따라서 최근에는 이 方法보다는 RMS 値 그 自體로서 粒狀性을 나타내고자 하는 경향이 많아지고 있다. 이것이 R.M.S 粒狀性이다.

한편 RMS 値는 그 自體가 aperture 面積의

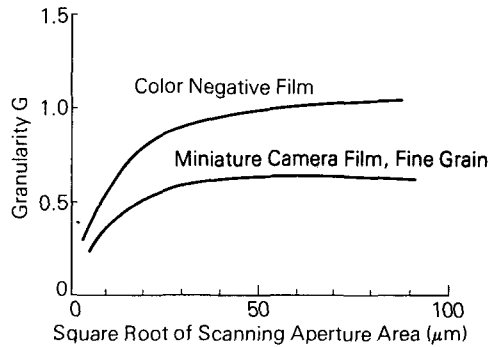


그림 33

크기에 좌우되는 것이므로, 각각 film의 종류나 使用目的에 따라서 aperture 面積을 決定해 줄 必要는 있다. 그림 34는 X-ray film의 aperture

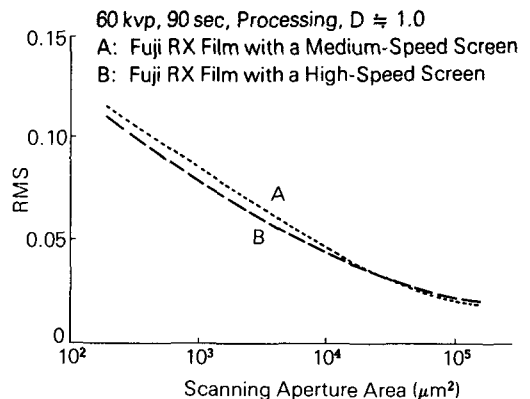


그림 34

re 面積과 RMS 値의 관계를 나타낸 것이다.

• RMS (Root Mean Square)

RMS는 統計學에서 使用하며 표준편차(standard deviation)와 같은 것이다. 표준편차란 어떤 集團의 측정치 차이의 정도를 나타내는 單位로써 간단히 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

標準偏差=

$$\sqrt{\frac{(\text{Gear ①의 무게}-\text{평균치})^2 + (\text{Gear ②의 무게}-\text{평균치})^2 + \dots + (\text{Gear n의 무게}-\text{평균치})^2}{\text{Sample}}}$$

아래 表를 代入시키면

$$\text{標準偏差} = \sqrt{\frac{(7.0-6.0)^2 + (7.3-6.0)^2 + \dots + (5.9-6.0)^2}{12}} \approx 0.72$$

表 5

1	7.0 g	7	5.3 g
2	7.3 g	8	5.5 g
3	5.8 g	9	5.4 g
4	5.6 g	10	6.3 g
5	6.5 g	11	5.7 g
6	6.1 g	12	5.9 g
平 均		6.0	

지금 여기에 12개의 Gear가 있다고 하자. 製品이기 때문에 表5처럼 무게에 상당한 差異가 있다. 이 差異의 정도를 나타내는 평균치로부터 어느 정도 무게의 편차가 있는가를 調査해서 그 편차의 平均値를 나타낸 것이 표준편차로서 다

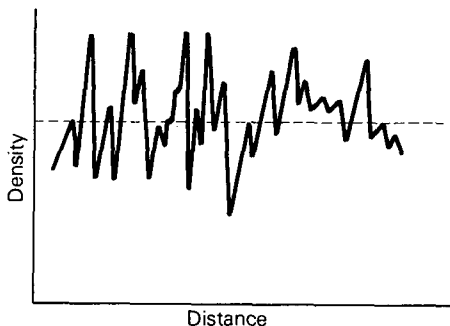


그림 35

음과 같은 수식으로 나타낸다.

따라서 이 數値가 크면 클수록 差異가 크게 된다. 한편 標準偏差에서 굳이 일단 제곱(square)하고 平均値를 取하고, 다시 平行根(Root)을 求하고 있는 것은 平均치로 부터의 차이에 (-) 値가 나오게 됨을 막기 위한 것이다.

RMS 粒狀性인 경우도 濃度가 같은 一定面積

을 microphotometer로 走査하고, 그 平均濃度의 편차를 測定하면 되는 것이다. 그림 35에 개념적으로 제시한 것처럼 粒狀性이 미세하다면 표준편차는 작고 逆으로 조잡하다면 표준편차 즉 RMS 値는 크게 된다.

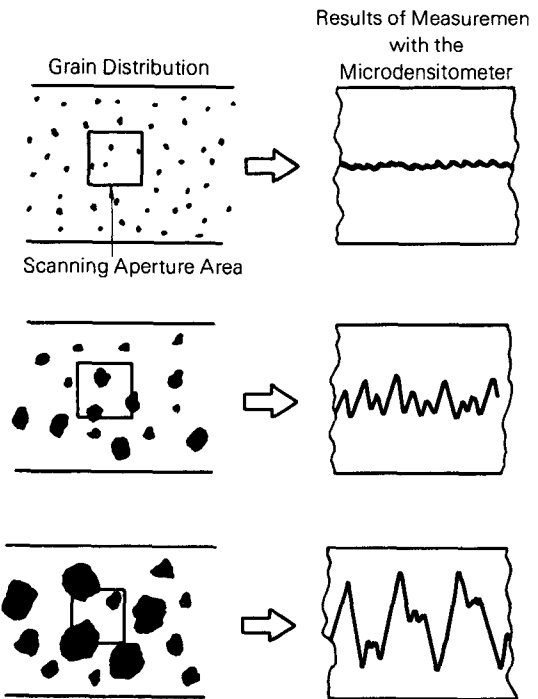


그림 36

4) RMS 粒狀性的 測定順序

① 먼저 測定할 試料를 준비한다.

일반적으로 입상성은 濃度가 높아지면 나빠지고 RMS도 각 濃度 정도에 따라 計算할 必要가 있기 때문에 適當한 方法으로 단계적 노광을 한다.

② 一定濃度의 部分을 microphotometer로 走

$$\text{표준편차(RMS)} = \sqrt{\frac{(\text{濃度}_1 - \text{平均濃度})^2 + \dots + (\text{濃度}_n - \text{平均濃度})^2}{\text{解讀濃度 Sample}}}$$

⑤ 그림 37 과 같이 횡축에 濃도를 잡고 종축에 各 濃度마다 RMS值를 표시한다. 한편, 얻어진 microchart 에서 실험으로 平均振幅을 求하는 Density Range 法 등이 있다.

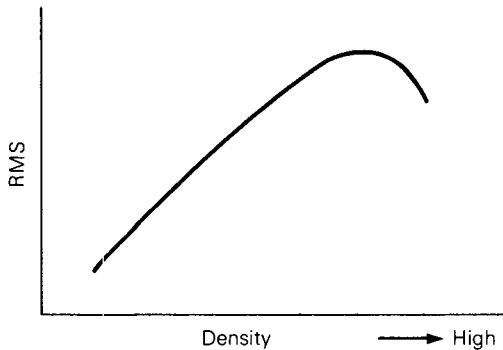


그림 37

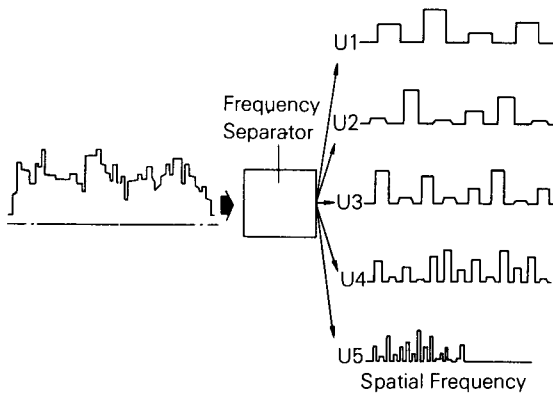


그림 38

査한다. 走査面積, 즉 aperture 의 크기는 각각 film 을 觀測하는 조건에 適當한 面積이 必要하다.

③ 完成된 microchart 를 일정간격(예, 14 micro 정도)마다 濃度를 읽어나간다. 이 작업은 계산기로 한다.

④ 이 해독농도에서 平均値를 算出하고, RMS 值를 計算한다.

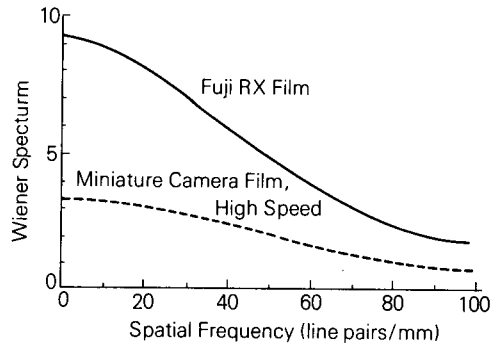


그림 39

다 粒狀性을 나타내고자 하는 方法이 Wiener Spectrum이다. MTF에서 아무리 복잡한 波形分布도 여러가지 주파수, 振幅, 位相을 가진 正弦波로 分解할 수 있다고 說明하였으나 microphotometer 에서 얻어진 濃度分布는 쉽게 空間周波數別分布로 分解할 수가 있다. 그 분리된 공간주파수마다의 표준편차를 計算하고, 표시한 것이 그림 39 와 같은 Wiener spectrum이다.

일단 Wiener spectrum을 測定해 두면, 이것에 의해서 RMS를 算出하는 것은 간단하므로 보통 RMS는 周波數의 全領域에 대하여 그 표준편차를 計算하고 있는 셈이 되기 때문에 Wiener spectrum 曲線의 표준편차를 구하면 RMS가 된다.

8. 畫質要因間의 關係

5) Wiener Spectrum

Response 함수나 MTF 와 같이 空間周波數

1) 鮮銳度와 粒狀性的 關係

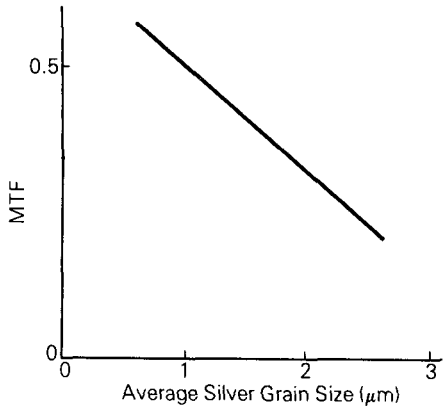


그림 40

선예도와 粒狀性 사이는 각 단계에서 매우 복잡한 상관관계가 있다. 다른 요인을 일절 고려치 아니하고 film 만의 粒狀性和 鮮銳度의 사이에서는 一般적으로 그림 40과 같은 關係가 成立한다. 즉 粒狀性이 미세해지면 선예도는 좋아지게 된다. 그러나 배오관F 등을 미립자 현상을 한 경우 粒子는 극히 미세함에도 불구하고 선예도는 반대로 저하됨으로 두 요인의 사이에는 무엇인가 다른 인자가 作用하고 있는 느낌이 든다.

한편, 이번에는 film의 조건은 일정하게 하고 증감지의 MTF와 RMS의 關係를 생각해보면 일반적으로 增感紙螢光體의 粒子가 미세해지면 鮮銳度も 좋아진다. 이 關係는 film과 같다. 그런데 高感度系가 되면 粒狀도 나쁘게 됨과 同時에 MTF도 나쁘게 된다는 公式이 성립되지 않

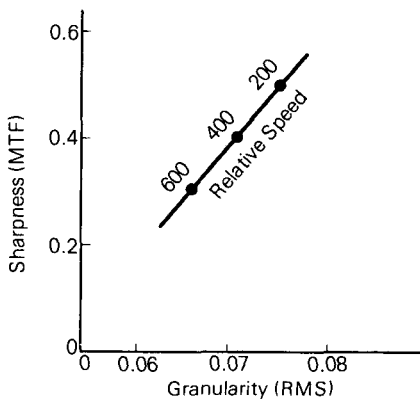


그림 41

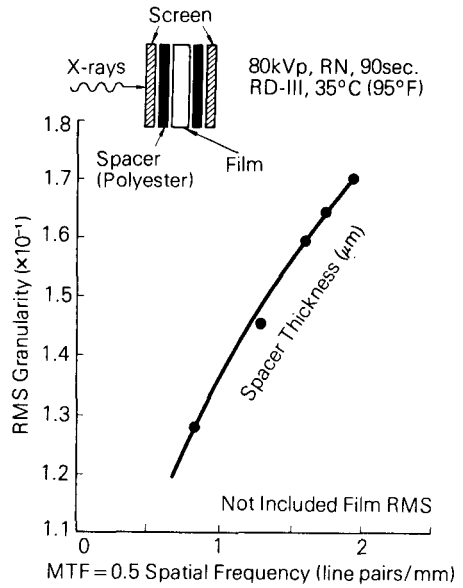


그림 42

는다. 실제로 입자 크기가 크고 거칠게 보이면 film상으로는 고감도가 되어 선예도가 惡化되었음에도 불구하고 도리어 粒狀性은 좋아진다. 눈에 띄지 않게 된다고 하는 쪽이 좋을지 모르겠다.

그림 41은 感度を 기준으로 하여 두 가지의 關係를 표시한 것이다. 또 한가지 같은 實驗이 있다. 그림 42에서 film과 增感紙의 사이에 중간 물질을 넣고(밀착을 나쁘게 하기 위하여) 鮮銳도를 나쁘게 해보면 粒狀은 좋아지는 것이 나타나 있다.

畫像이 흐려오면 증감지도 X線量子에 의한 mottle이 흐려져서 눈에 띄지 않게 되는 것은 당

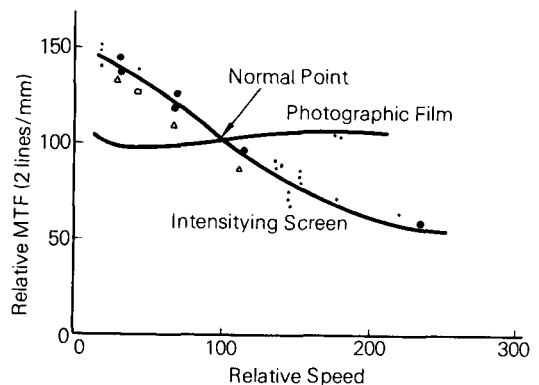


그림 43

연한 일이다(이 경우 주로 film의 粒狀만이 보인다). 増感紙와 film 感度の 관계를 참고로 그림 43에 제시하였다.

이 그림에서

- film의 感度が 차츰 상승할지라도 鮮銳度는 거의 알 수 없다.

- 増感紙로는 感도가 상승함에 따라 鮮銳度は 저하하게 된다.

増感紙의 感도를 높이기 위해서는 일반적으로

- (1) 큰 粒子의 螢光體를 사용한다.
- (2) 螢光體의 塗布두께를 크게 한다.
- (3) 支持體와 螢光體의 사이에 빛 반사층을 만들어서 感도를 증대 시킨다.

이 중 (2)와 (3)의 設計를 위해서 鮮銳도가 나빠지겠지만, 이것은 중간물질을 넣어서 기하학적으로 像을 흐리게 하는 것과 같다.

2) 鮮銳도와 Contrast의 關係

이 두 要因의 관계는 比較的 單純하다. film이나 増感紙의 Contrast가 상승하면 鮮銳度は 좋아진다. 반대로 Contrast가 低下되면 선예도는 나빠진다.

3) 粒狀性和 Contrast의 關係

이 관계 또한 뚜렷하다. Contrast가 상승하면 粒狀性은 나빠진다. 이것은 鮮銳도와는 전혀 逆關係이다. 그림 44에 現像溫度를 기준으로 해

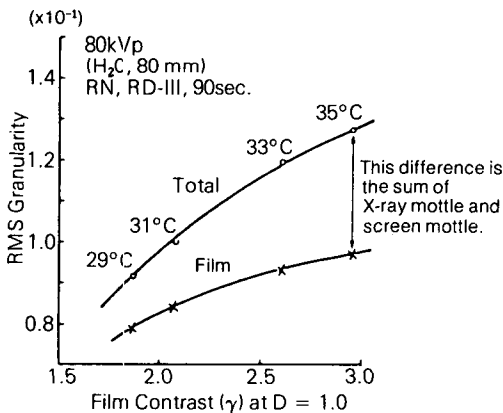


그림 44

서 film의 contrast를 바꾸어 測定했을 때의 RMS의 變化를 나타낸 것이다.

9. 高感度 System과 畫質

増感紙의 螢光體나 film유제가 高感度化解하면 必然적으로 선예도도 입상성도 나빠지는 경향이 있다. 화질을 惡化시켜서는 아무리 피폭선량이 경감되었다고 할지라도 별로 그 뜻이 없다. 하나의 해결법으로써 發見된 것이 稀土類螢光體이다. 앞서 설명한 바와 같이 螢光體의 感도를 上昇시키는 수단은 어느 것이나 畫質을 손상시키는 방향이겠지만 꼭 한가지 현재 쓰여지고 있는 CaWO_4 나 BaSO_4 등의 螢光體보다도 더욱 X線의 흡수율도 발광효율도 높은 螢光體가 發

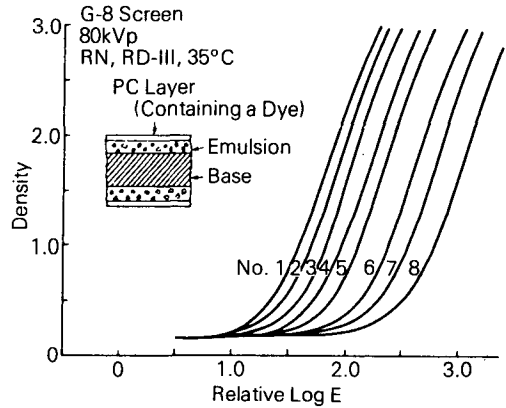


그림 45

見된다면, 막의 두께를 증가시키거나 큰 粒子의 螢光體를 使用하고 또한 光反射層을 設定하는것 등의 必要가 없어질 것이다. 이러한 要求를 충족시킨 것이 희토류계증감지 Grenex System이다. 그러나 여기에서 다시 또 새로운 문제가 발생하게 된다.

지금, film의 粒狀性, Contrast 기타를 고정시켜 感度만 틀리는 유제를 만들기 위해 그림 45처럼 유제층이 같고 protective coating 층에 염료를 첨가해서 감도를 바꾼 8종류의 film을 준비해서, 각각의 RMS 粒狀性を 測定한다. 그림 46에서 감도가 어느 정도 도달하면 급격하게

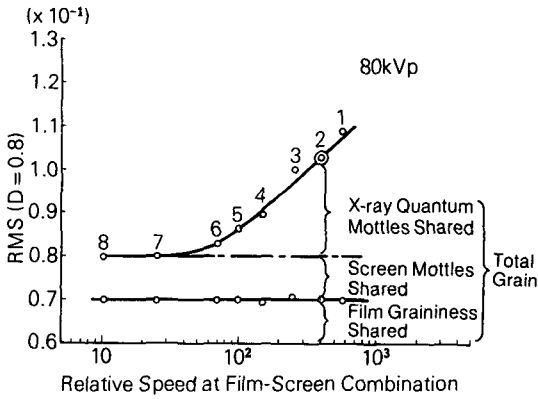


그림 46

粒狀性이 惡化됨을 알 수 있다. 이 RMS와 成分을 분리해서 생각해 보면 film, 増感紙, 電壓은 一定하기 때문에, 그것들에 의한 粒狀性에의 기여율은 변하지 않으며, 惡化部分은 X선量子 反점에 의한 것이라고 생각할 수가 있다.

지금 粒狀性을 구성하고 있는 各部分의 關係를 개념적으로나마 數式으로 표시하면

$$\begin{aligned} \text{全體의 粒狀性} &= (\text{film contrast})^2 \times (\text{X線量子反점}) \times (\text{増感紙의 선예도}) \dots\dots\dots ① \\ &+ (\text{film의 contrast})^2 \times (\text{増感紙反점}) \dots\dots\dots ② \\ &+ (\text{film의 粒狀性}) \dots\dots\dots ③ \end{aligned}$$

이 式에서 알 수 있는 것은 高感度 system 이 되면 (1)의 X선量子反점의 項이 크게 되기 때문에 (2), (3)項의 増感紙나 film의 입상성을 약간 개량한 정도로는 全體의 粒狀性은 별로 좋아지지 않는다. 다만 X선量子反점의 영향을 적게 하기 위해서는 (1)項에 係數로써 제시된 film contrast와 増感紙의 MTF를 相對적으로 내려주면 된다. 바꾸어 말하면 film을 軟調로 現像시키거나 増感紙의 鮮銳度を 약간 떨어뜨리는 것과 같은 구조로 해 주면 좋아지게 될 것이다.