

X線 필름의 感度 測定法

高麗大學校醫學技術初級大學 放射線科

許 俊

I. 緒 論

特性曲線은 필름에 주는 노광량과 현상處理를 한 다음에 나타나는 필름의 特性을 알 수 있으며, 現在 사용되고 있는 特性曲線은 Hurter와 Driffield에 의해서 考案된 것으로서 H. D 曲線이라 한다.^{1,2)}

이것은 노광량의 對數 (橫軸) 와 濃度 (縱軸) 와의 關係를 나타내는 曲線으로서, 나타낼수 있는 數值로서는 感度, 감마, 平均階調度, Fog density, 最高濃度, 露光域等이 있으며 필름이나 增感紙와 같은 感光재료의 여러 特性의 檢索을 위시하여 필름 黑化度法에 의해서 解決할 수 있는 여러 가지 問題는 特性曲線을 求하는 過程이 그 대부분을 차지하고 있다.^{3,4)}

따라서 特性曲線은 필름의 感度測定法 (Sensitometry) 의 唯一한 方法으로서 感光材料에 對해서 그것이 받은 露光量과 그로써 생긴 濃度와의 關係를 定性定量的으로 測定하는 方法이다.

즉 線量 또는 線量分布를 黑化度の 크기나 分布에 따라 檢出할 경우에는 黑化度 對 線量の 特性에 따라서 黑化度로서 線量을 알수가 있다.

또 撮影系의 レスポンス를 求할 경우에도 黑化度 對 X線露出量 特性으로서 黑化도가 有効露光量으로 變換된다.

필름의 대조도, 相對感度を 알기 위해서도 特性曲線은 그 自身이 구하는 成績이 된다. 그 외에 既知의 感光材料와 既知의 處理液를 使用해서 照射 에너지源의 特性을 求할 경우에도 Sensitometry 는 利用되고 있다.

II. X線 필름의 感度測定法

1. X線 필름의 特性曲線

X線 필름에는 醫療用과 工業用이 있으며 醫療用에도 直接撮影用과 間接撮影用의에 複製用 映画用등이 있다.

가장 많이 사용되는 直接撮影用에는 Screen type의 X線 필름과 Non screen type의 X線 필름이 있다.

患者의 被曝線量の 輕減이 강력하게 요구되는 現實情에 따라서 특수한 경우를 除外하고는 Screen type의 X線 필름이 쓰여지고 있다.

特性曲線은 필름에 對한 露光量の 對數值와 寫眞濃度와의 關係를 나타낸 것이다.

濃度を 對數值로 나타내는 理由로서는 첫째로 작은 變化量도 큰 差로서 나타낼수가 있다.

그 例로서 濃度 1은 10%의 透過光量이며 濃度 2는 1%, 濃度 3은 0.1%의 透過光量이다.

즉 透過光量の 10배가 基準으로 된다.

둘째 理由로서는 肉眼의 빛 強度에 對한 生理學的인 レスポンス가 對數的인 反應을 나타낸다.

세번째 理由로서는 2枚의 필름 또는 X線 필름과 같이 兩面乳劑의 경우에는 對數表示를 하면 各各의 濃度の 加算만으로서 全體의 濃度表示를 할 수있어 便利하다.

露光量を 對數值로 잡은 理由로서는 첫째로 露光量の 眞數值를 잡으면 그 値가 너무 많아져서 그 軸이 길어지는고로 作圖上 不便하며, 둘째로는 濃도와 같은 理由가 되나 肉眼에 感知되는 빛의 強度는 照度の 絕對值나 照度の 差異보다는 도리어 視覺이 露光量の 對數에 근사하므로 對數表示를 하고 있다.

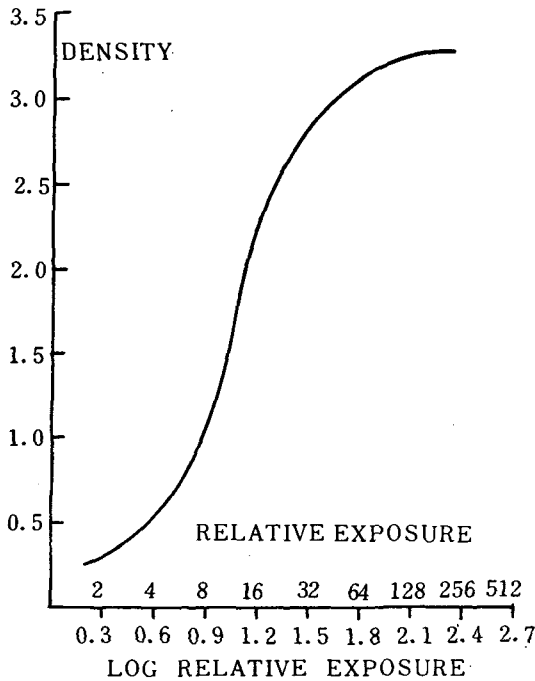


Figure 1. The relationship between relative exposure and the corresponding log relative exposure.

이와 같은 이유로서 特性曲線을 作成하는데는 絕對值의 眞數表示가 아니며 對數表示의 比露光量으로 하고 있다.^{5,6)}(그림 1 參照)

一般用네가 필름은 感光計로서 露光을 하고 露光量의 單位는 (lux. sec) 로서 나타내고 있으나. 增感紙를 사용하는 X線 필름에 있어서는 X線의 線量을 一定하게 해도 X線의 線質, 增感紙의 性能에 따라서 濃度가 變化되므로 露光量의 絕對值를 나타내기가 곤란하다.

따라서 어떤 條件을 基準으로 하는 相對值로 나타내게 되며 그 特性曲線에 나타나는 感度는 어떤 필름을 基準으로 하는 比感度가 된다.

2. 露光方法

一定한 比率로서 露光量을 變化하기 위해서는 빛의 強度를 一定하게 하고 照射時間을 變更시키는 時間露光法 (Time scale method) 과 強度露光法 (Intensity Scale method) 이 있다.^{3,5,6)}

a. 時間露光法

X線強度는 一定하게 固定을 하고서 照射時間을 變化시키는 方法으로서 X線裝置의 Timer를 利用하면 되나 그 正確度가 問題로 되고 있다.

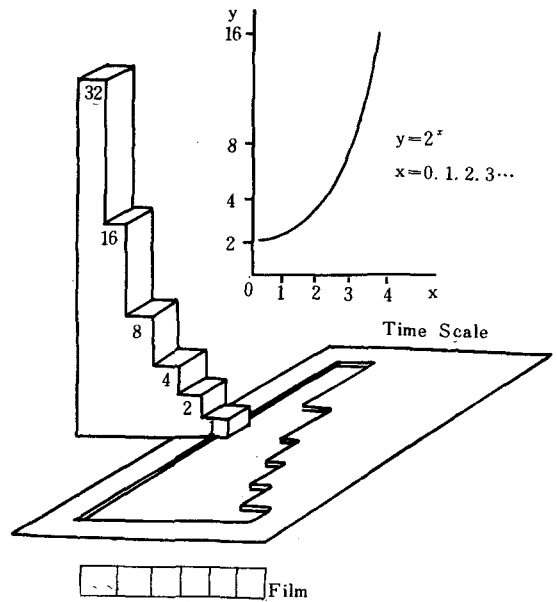


Figure 2. Time Scale method

Time scale method用의 X線感光計로서는 같은 공비 2의 等比級의 段階露光을 하기 위해서 그림 2와 같은 길이를 變化한 Slit가 있는 遮蔽鉛板의 밑에서 필름을 等速度運動을 시킴으로서 1回의 照射로서 各段의 露光量의 對數의 公差가 $\log_{10} 2 = 0.301$ 의 等差級數로 되어있다.^{8,9)}

그러나 Time scale method는 相反則이 成立되는 Non screen type X線필름에 있어서는 黑化法則이 成立되는고로 別問題가 없으나 增感紙를 使用하는 Screen type X線필름에 있어서는 相反則不軌의 影響을 받게 되는고로 問題가 있다.

b. 強度露光法

露光時間은 一定하고 X線強度를 變化 시키는 方法으로써 相反則不軌에 의한 誤差를 피할 수 있으나 X線強度를 變化시키는 方法에는 여러가지 問題點이 있다.

即 X線管焦點-필름間距離를 變化시킴으로써 X線強度를 等比級의 方法으로써 距離逆自乘의 法則을 利用한 것으로서 原理의 正確성은 좋으나 焦點의 크기나 距離의 測定, 散亂線 Heel effect 등에 의한 誤差가 生길 수도 있다.

빛에 의해서 露光할 경우에는 Optical wedge가 使用되고 있으나 X線에 있어서 가장 簡單한 方法으로서 알루미늄 階段에 의한 X線의 減弱을 利用하는 測定法이 있다.

알루미늄은 人體의 吸收과 비등하며 또한 工作하기가 容易해서 널리 利用되고 있으나 人體와

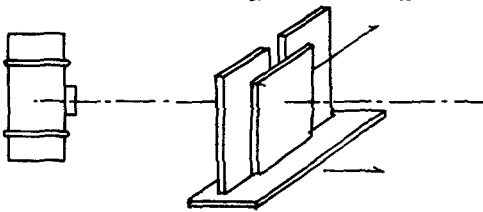
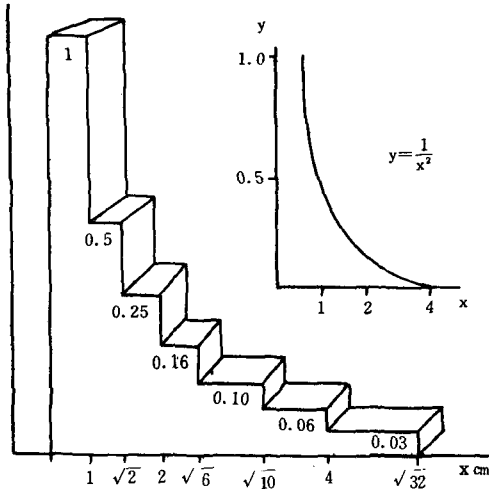


Figure 3. -A Distance Method.

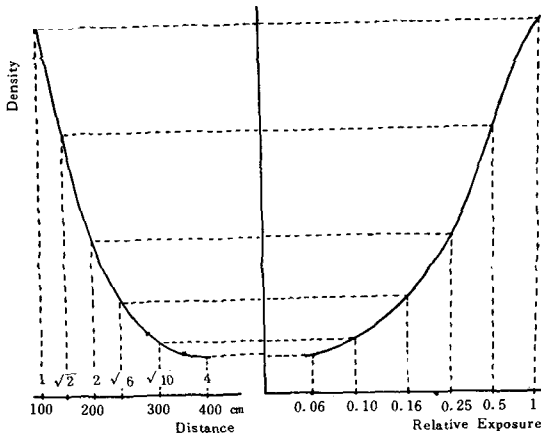


Figure 3-B

再現性이 같다는 점에서 보면 물이나 아크릴階段等도考慮할 必要가 있다.

이 方法에 있어서는 露光軸의 Scale은 알루미늄階段의 두께를 等間隔으로 잡는다.

X線減弱의 法則에 따라서 減弱係數가 一定하면階段의 두께와 露光量의 對數사이에는 直線關係가 成立된다.

그러나 撮影에 使用되는 連續X線에서는 物質을 透過하는 減弱係數가 變化되므로 直線關係는 期

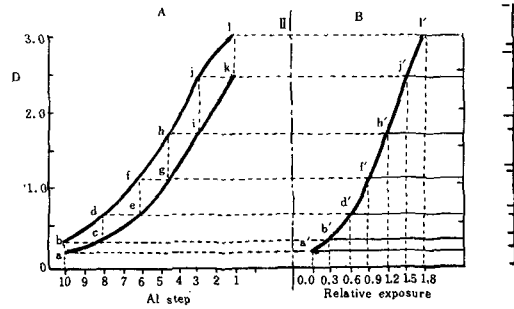


Figure 4. Boot strap method

待할 수가 없다.

또한 管電壓 整流派形에 減弱係數는 따라서 變化되며 더욱 알루미늄으로 부터 發生되는 散亂線도影響이 있으므로 알루미늄階段에 의해서 作成되는 特性曲線은 어떤 條件 아래 에서의 필름의 特性을 概念的으로 把握할 수 있으나 定量的으로 測定할 수는 없다. 따라서 2種類의 필름의 比較나 撮影條件 等の 變化를 比較할 경우에 그 경향을 아는데 도움을 줄 수 있다.

c. 알루미늄 계단에 의한 定量法^{5,10)}

알루미늄階段을 利用해서 定量的으로 測定하는 方法이 試圖되고 있으며 그 代表的인 것으로 Boots-trap法을 들 수 있다. (그림 4 參照)

1枚의 필름을 2等分하고 한쪽에 알루미늄階段을 놓고 照射하고 다음 한쪽에는 前圖와 똑 같은 照射條件으로 2倍의 X線量을 照射하고 現像을 하면 그림 4와 같은 알루미늄階段과 濃度の 曲線이 作成된다. 卽, II에 나타나는 曲線의 2倍의 X線量의 特性曲線으로서 露光軸에서는 0.3씩 增加시키는 것을 利用한 것이다.

그림 4와 같이 알루미늄階段의 두께에 대한 濃度 曲線을 그린 다음 別途로 縱軸에 寫眞濃度 橫軸에 露光量의 對數를 표시하는 方眼紙를 準備하고 그림 A의 a點의 寫眞濃度를 그림 B의 露光軸의 零에 對한 寫眞濃度를 a'點으로 한다.

다음에 그림 A의 b의 點을 b'로 한다. (log 2 = 0.3) 더욱 그림 A의 b點을 水平으로 移動 하고 曲線 I과의 交點을 c點으로 하고 이것을 垂直으로 移動하여 曲線 II에 交點되는 點을 d로 하면 d點

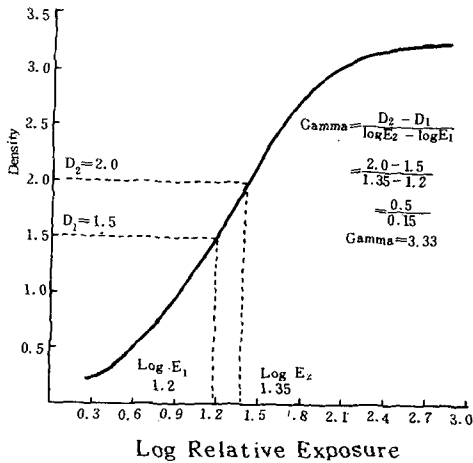


Figure 5. The gamma of an x-ray film

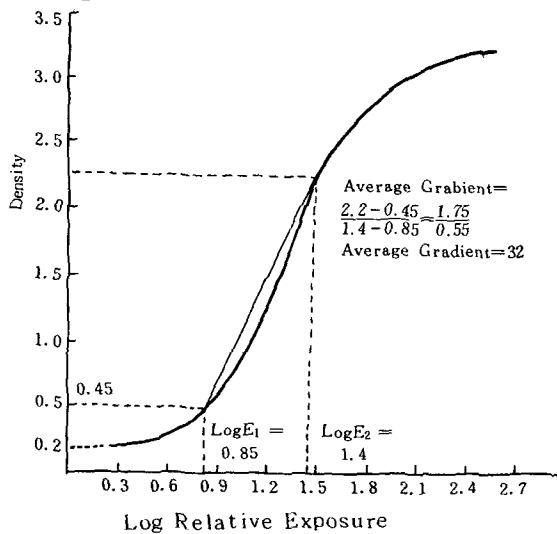


Figure 6. The average gradient of an x-ray film

은 b 點의 2 倍의 露光을 받게 되므로 d 點의 寫眞濃度를 그림 B의 露光軸上에서 0.6에 對한 寫眞濃度의 點 d'로 한다. 이와 같이 反復하면 特性曲線 a', b', d', f'....., l로 된다.

이 方法을 正確하게 하기 위해서는 最初의 露光과 다음 2 回의 反復露光의 精度에 따라 차이가 있으므로 몇 回 露光하고 그 平均値를 가지고 하면 比較的 正確하다. 그러나 알루미늄階段과 散亂線, 測定點等에 問題가 있어 正確하게 決定하지 않으면 안된다.

III. 實驗方法

1. 露光

필름의 特性을 實驗할 경우에는 標準形 高感度形, 低感度形等 各種 X線필름을 裁斷하고 한개의 Cassette에 나열시킨다.

增感紙의 感度を 實驗할 경우에는 各種 增感紙를 裁斷하고 한개의 Cassette에 나열 부착시키고 1 枚의 필름으로 階段露光을 시킨다.

이때에 Base density + Fog density를 測定하기 위해서 필름의 一部를 鉛板으로 遮蔽시킨다.

2. 現像

感度測定法에 指定된 現像液을 使用하고 現像處理 中の 液溫, 攪拌等의 條件은 一定하게 한다.

現像處理法이 寫眞의 特性에 미치는 影響을 시험할 때에는 그 試驗目的에 따라서 現像液 現像溫度 現像時間等을 變化시킨다.

X線필름의 特性을 試驗할 때에는 그 필름에 指定된 現像液을 使用함으로써 適合한 特性이 나타나게 된다.

3. 濃度測定

寫眞處理가 끝난 各試料의 필름을 各階段에 따라서 寫眞濃度を 濃度計로서 測定하고 그 測定値를 記錄한다

4. 特性曲線의 作成

濃度を 測定한 結果에 따라서 特性曲線을 그린다. 方眼紙의 縱軸을 寫眞濃도로 하고 1mm 간격을 寫眞濃度 0.02로 하고 0에서 부터 3.0까지 표시한다.

橫軸에 比露光量의 對數를 1mm 간격마다 0.02로 하고 必要範圍를 나타낸다. 階段露光方法으로서 Time scale 方法으로써 Timer를 利用할 경우에는 그 時間의 對數를 표시하면 되며 X線感光計를 利用할 경우에는 그 Slit의 길이의 對數를 잡는다.

Intensity scale 法에서는 距離를 變化할 경우에는 距離의 自乘의 逆數의 對數를 표시하며 알루미늄階段을 使用할 경우에는 그림 4와 같이 補正을 한다.

5. Gamma와 平均階調

필름의 Contrast 表示方法으로서는 階調 Contrast 傾斜度 平均階調等 表現方法에는 여러가지 있으나 이것 등이 혼돈되는 수가 많았으며 原因으로서는 Contrast의 定義를 確實하게 理解 못하는데 있다.

Film Contrast를 表現하는데는 傾斜度 또는 Gradient를 使用하며

Gradient는 特性曲線에 있어서의 接線의 $\tan \theta = dD / d \log E$ 로써 그 傾斜度가 最大로 되는 點 卽 特性曲線의 直線部의 傾斜度를 Gamma (G)로 나타낸다.

$$\text{Gamma} = \frac{D_2 - D_1}{\log E_2 - \log E_1}$$

그러나 X線필름의 경우에는 特性曲線에 對해서 露光域이 클 경우나 特性曲線의 直線部가 相對的으로 짧게될 경우에는 Gamma 値로서 傾斜度를 表示하는 것은 適當치 못하다. (5, 10, 11)

平均階調 (\bar{G})는 다음 式으로 表現된다.

$$\bar{G} = \frac{1.75}{\log E_2 - \log E_1}$$

但, E_2 는 濃度 Fog + 2.0의 露光量

E_1 는 濃度 Fog + 0.25의 露光量

Fog는 base density 0.06 + fog density 0.11, 卽 Fog와 0.25와 2.0間의 濃度の 2點을 連結한 直線의 傾斜角을 平均階調로 하고 있다.

平均階調가 1보다 큰것은 Object contrast가 增幅되는 것이며 Film contrast의 增幅器로서의 役割을 하는 것으로 된다.

平均階調가 1 또는 1보다 작을 경우에는 Object contrast의 無變化 또는 減少를 의미한다.

平均階調를 求하는 方法은 그림 6, 7에 나타내고 있으며 그림 7은 두개의 필름을 比較함으로써 感度를 알수 있다.

基準이 되는 필름의 特性曲線을 A라 하면 比較하는 필름 AⅡ의 比感度를 나타낼수 있다.

그 方法으로서서는 두개의 필름의 特性曲線에서 Base density + Fog 濃度에서 濃度 1.0이 생기는데 必要한 露光量을 各各 E_I 과 E_{II} 라 하면 필름 I를 基準으로 하는 필름 II의 比感度 S_{RII} 는

$$S_{RII} = E_I / E_{II} \times 100 \%$$

로 나타낸다.

6. 濃度

腹部를 撮影한 사진을 例로 들면 2點의 透過 X線量의 差가 1.6倍 있는 部位의 濃度差는 그림 8과 같이 된다.

透過 X線量에서 1.6倍의 差는 $\log 1.6 = 0.2$ 인 고로 橫軸上에서 0.2의 差異를 의미한다. 萬一에 撮影條件이 過少, 適正, 過大의 各各에 있어서는 特性曲線上에서 足部, 直線部, 肩部에 該當된다.

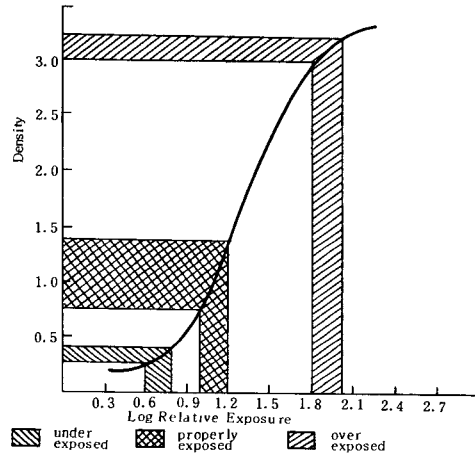
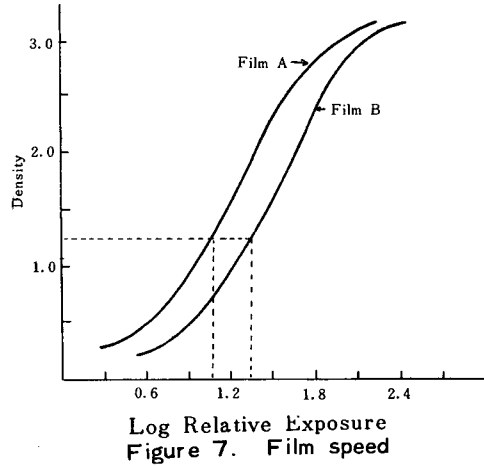


Figure 8. Incorrect exposures result in loss of contrast.

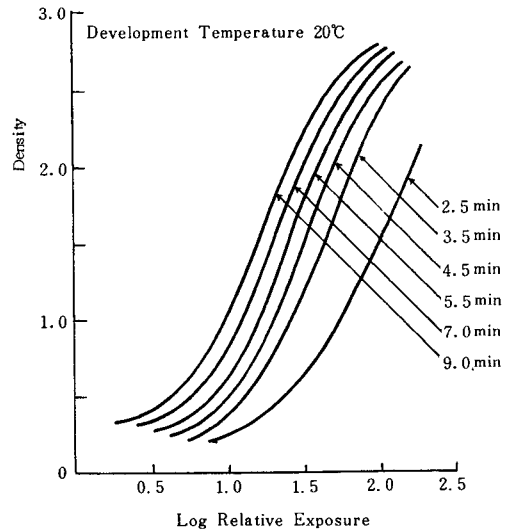


Fig 9. As development time increases, changes occur in the sharp and relative position of the characteristic curve

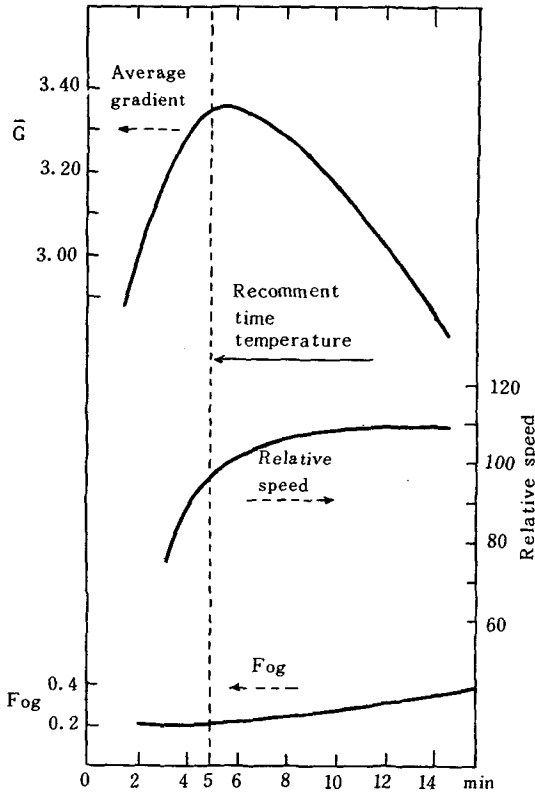


Figure 10. Development time influences average gradient, speed and fog.

對數에서 X線比가 0.2인 것은 過少의 경우에는 濃度差는 0.13으로서 Illuminator의 透過光量比는 1.35對 1이 된다.

適正의 경우에는 濃度差는 0.60으로서 Illuminator의 透過光量比는 1.59對 1이 된다. 이와 같이 特性曲線에서 濃度領域을 選擇하는데 따라서 寫眞對照度는 크게 左右된다.

7. 필름의 現像條件

a. 現像時間의 影響

現像에 있어서 現像時間은 寫眞對照度에 크게 影響을 미친다.

그림 9는 標準 X線 필름에 對해서 現像時間을 變更할 경우의 特性曲線으로서 그림 10은 이와 같은 特性曲線에서 現像時間에 의한 比感度, 平均階調度, Fog의 變化를 求한 것으로서 現像進行特性을 알 수 있다.

現像溫度와 其他 條件을 一定하게 固定하고 現像時間을 增加시키면 比感度は 增加된다. 平均階調度는 어느 程度까지는 增加되나 더욱 時間을 增

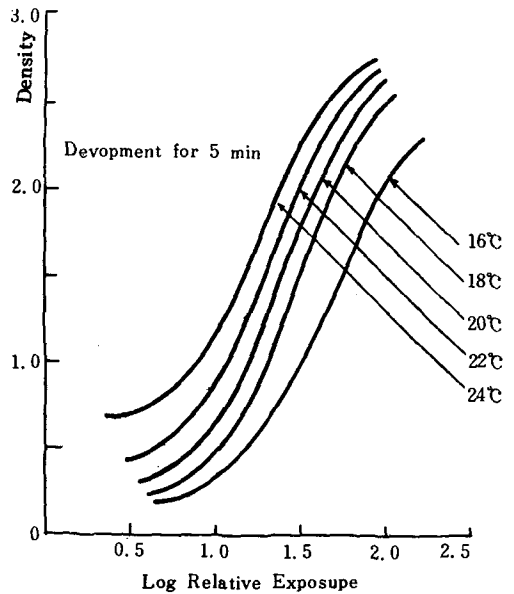


Figure 11. As development temperature increases changes occur in the sharp and relative position of the characteristic curve.

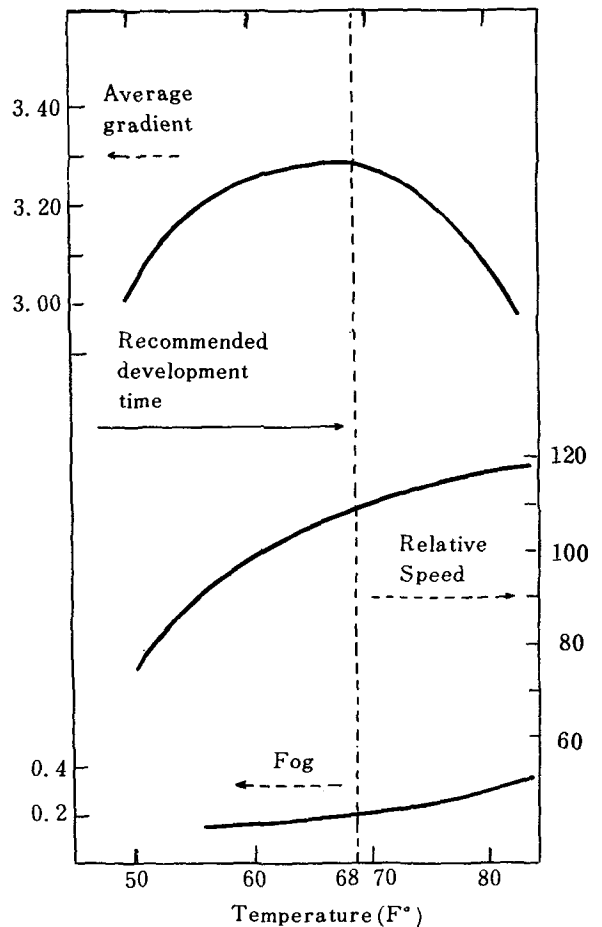


Figure 12. Development Temperature influence average gradient speed and fog.

加시키면 도리어 減少된다.

이것은 Fog가 現像時間의 延長과 함께 急激하게 增加되는 까닭이다.

b. 現像溫度의 影響

現像溫度가 미치는 影響은 그림 11과 같이 現像時間의 影響과 비등한 傾向을 나타내고 있으며 그 影響의 程度는 現像液의 組成에 따라 틀린다.

溫度係數가 큰 Hydroquinon을 많이 사용한 X線필름用現像液은 溫度의 影響을 잘 받으며 溫度가 低下되면 Metol에 比해서 Hydroquinon의 作用이 低下되어 16°C以下로 使用하면 좋지 못하며 反對로 溫度가 上昇되면 乳劑가 軟化되어 取扱上 支障이 있게 된다.

現像溫度에 따르는 特性의 變化는 그림 12과 같다.

IV. 結 論

特性曲線은 X線攝影 및 寫眞技術의 基礎가 되며 各 필름의 比感度, 平均階調度, Fog와 같은 特性을 알수 있어서 攝影目的에 적합한 필름을 選擇할 수 있다.

撮影條件에 있어서 各種 增感紙의 相對的感度, 管電壓과 Contrast, 管電流와 濃度等を 實驗할 수 있어 放射線教育의 基礎實驗은 勿論이고 病院等の 現場에서 必要하며 相當히 高度의 技術이 있어야 實驗에 正確을 기할 수 있다.

또한 特性曲線은 現像條件과 現像特性을 檢出할 수 있어서 最近에는 X線필름 自動現像機에 使用되는 現像液의 管理에 利用되고 있다.

參 考 文 獻

1. John B. Cahoon: Formulating X-ray Techniques, Duke University press, 14.

- 1970
2. Michel M. Ter-pogossian: The physical Aspects of Diagnostic Radiology, Hoeber & pow, publishers 1969.
 3. D. Noreen Chesney. Muriel O. Chesney: Radiographic photography, Blackwell Scientific publications, 30 ~ 60, 1969
 4. W. J. Meredith, J. B. Massey: Fundamental physics of Radiology, Bristol: John wright & Sons LTD 166-181, 1972
 5. X線寫眞의 画質을 左右する 因子: 日本放射線技師會雜誌, 23-27 Vol 22. No. 10. 1975
 6. 許 俊: 放射線寫眞技術, 新光出版社, 24-35. 1976
 7. 八谷禎紀, 森 健治, 富田明雄, 中村實: 斷層裝置を用いたタイムスケールの考案, 日本放射線技師會雜誌, 8~15, Vol. 21. No6
 8. 越村與三, 加藤外榮, 猪本考, 金子 淳人, 西 克機: タイムスケールの試作, 日本放射線技術學會雜誌, 396-397, Vol. 23, No. 5. 1966
 9. Stewort C. Bushong: Radiologic Science for Technologists, The C. V. Mosby Company, 218 - 231, 1975
 10. 田中 仁, 齊藤 勲, 山本千秋, 山田勝彦: 醫用放射線技術實驗, 共立出版, 246 ~ 252, 1978
 11. Edward E. Christensen, Thomas S. Curry, James Nunnally: An Introduction to the physics of Diagnostic Radiology, Lea & Febiger, 115-127, 1973