

## X線自動露出 制御裝置에 관한 檢討

智山看護保健專門大學 放射線科  
金正敏

峨山財團 서울中央病院 診斷放射線科  
金健中

高麗大學校 保健專門大學 放射線科  
許俊

### Abstract

#### Evaluation of Automatic Exposure Control Systems

Chung Min Kim

*Dept. of Radiotechnology, Jisan Junior College*

Keon Chung Kim

*Dept. of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center*

Jun Huh

*Dept. of Radiotechnology, Junior College of Allied Health Sciences*

Automatic exposure control systems are now readily available and widely used in radiography. A device that automatically determines the amount of radiation required to produce an acceptable level of film blackness is called a phototimer, or automatic exposure control.

There are limitations in the use of phototimers; however, equipment can be used much more effectively if one recognizes these limitations, and the goal of obtaining a properly exposed, reproducible radiography can be achieved.

We have some results in this experimental study. The variations of film density due to kVp are in proportion to below 80 kVp range. But indicate constant level above 80 kVp to 120 kVp.

The characteristic density variation by phantom thickness shows the higher the thinner in exit type.

AEC system have a density control that is designed to make adjustments increase or decrease the density 10% per step or 25% per step.

The automatic exposure control circuits must meet the several regulations of the HEW.

Some forms of technique chart is recommended for use of AEC.

## I. 緒 論

X線撮影에서 自動露光制御裝置는 거의 대부분의 間接撮影에 사용되고 있으나, 胸部·腹部 등의 直接撮影에도 이용되고 있으며 그 보급은 증대되고 있다.

자동노출기구(automatic exposure control), 포토타이머는 1942년 Morgan에 의해 소개되었는데 Morgan은 Heinrich Franke(1923)의 이론을 전개 발전시킨 것이다. 1950년대에는 間接撮影裝置에 실용화 되었으며 1955년 이후 直接撮影裝置에도 적용하였으나 만족할만한 특성을 얻지 못하여 좀체로 사용되지 않다가 본격적으로 사용하게 된 것은 여러부품의 精度가 향상된 1970년 이후이다<sup>1)</sup>.

자동노출제어기구는 두 가지가 있다. 먼저 형광체를 검출기로 하여 X선에 의해 발생하는 형광을 광전관(photo tube) 등의 광전변환소자를 사용하여 출력전류를 검출하여 X선을 차단하는 것으로 phototimer가 있고, 다른 하나는 전리조(ionization chamber)를 사용하여 X선에 의한 전리전류를 검출하여 제어하는 방법으로 iontimer가 있다.

현재 phototimer라 하면 이 두 가지 방식을 모두 phototimer라 하여 특별히 구별하지 않는 경우가 많다.

自動露出制御裝置는 撮影時間을 自動制御함으로써 寫眞濃度を 일정하게 유지할 수 있게 작동하는 것으로 被寫體를 투과한 X線량을 電氣信號로 변환하고 이 전기량이 일정치가 될 때에 X線を 차단하여 필요로 하는 寫眞濃도가 될 수 있게 하는 것으로 되어 있으니 일상 임상응용에서 被寫體의 두께와 管電壓을 변환시키는데 따라 X線寫眞의 濃도는 심한 변화가 있어 診斷가치가 전혀 없는 寫眞이 되는 수가 있다. 따라서 사용하고 있는 自動露光制御裝置에 대해서는 그 특성을 충분히 이해하고 효율있게 사용하는 것이 바람직하다<sup>2,3)</sup>.

이에 著者は 서울中央病院에서 가동되고 있는 胃腸檢査를 주로 하고 있는 Hitachi DH-1513 HM와 Toshiba KXO-15에 대해서 몇 가지 특성을 알기 위해서 실험을 한 바 있어, 그 결과를 보고한다.

## II. 實驗器機 및 材料

장치 A : 增感紙—Fuji G6, 後面檢出方式

장치 B : 增感紙—Fuji G4, 前面檢出方式

필름 : Konica MG

Phantom : 아크릴(30×30 cm), 두께 5 cm~20 cm

濃度計 : Konica PDA-81 U

現像機 : Fuji FPM-4200 35°C 90 sec 現像

Timer : RMI digital x-ray timer 231

## III. 實驗方法 및 結果

### 1. 管電壓 特性

두께 18 cm의 아크릴판을 쓰고 管電壓을 60 kV에서 120 kV 사이에서 변화시키고 撮影한 결과는 그림 1과 같이 濃度變化는 두 장치 모두 管電壓 80 kV 以下에서는 큰 變動을 보이고 있으나, 80 kV부터의 濃度變化는 0.1 정도로서 그 차이는 거의 없었다. 즉 일상 사용하는 管電壓 80 kV 以上부터의 依存性은 없었으나, 그 이하에서는 심한 변동이 있어 臨床應用에서 유의해야 할 것이다.

### 2. 被寫體의 두께특성

보통 撮影에서 體位の 변화, 즉 정면에서 斜位, 側面 등으로 변화할 때 또는 피사체의 두께가 변화될 때에 設定條件을 변화시키지 않고 撮影할 경우에 사진의 농도는 심한 변화가 있다. 따라서 동일한 설정조건에서 피사체의 두께가 변화될 때에 농도의 변화를 調査하기 위해서 管電壓과 管電流를 일정하게 설정하고 phantom의 두께를 5, 10, 15, 20 cm로 변화시키고 실시하였다.

그 결과는 그림 2와 같이 管電壓이 높아질수록 즉, 線質이 硬하게 될수록 phantom의 두께가 얇아질수록 농도는 심한 上昇을 보이고 있었다. 그러나 裝置 B는 이에 따르지 않고 있으며 phantom의 두께 10 cm, 15 cm에서 농도가 올라가고 있는데 대해서 그 두께가 50 cm와 20 cm에서는 濃度低下를 보이고 있어 裝置 A와는 反對現象을 나타내고 있다.

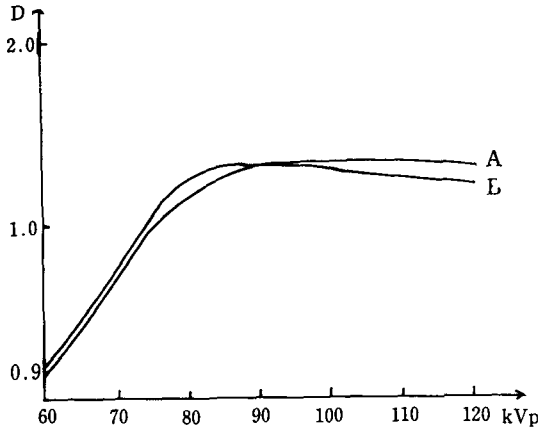


그림 1. 管電壓 特性

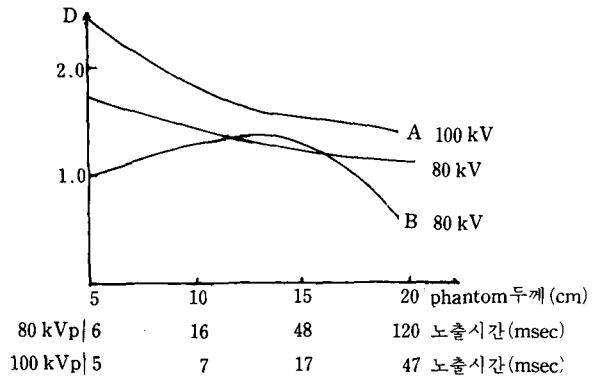


그림 2. 被寫體의 두께 特性

### 3. 濃度調節 裝置의 特性

濃度調節裝置의 特性을 調査하기 위해서 管電壓 80 kV에서 두께 15 cm의 아크릴 phantom을 쓰고 標準 step에서 -1, -2, -3의 3단계, 그리고 +1, +2, +3으로 변화시키고 撮影한 結果는 그림 3과 같다.

裝置 A에서는 1 step을 조절하는데 따라 각각 10% 정도의 濃度增減이 있었으며 標準에서 一定比率로 增減시킬 수 있었다. 그러나 裝置 B에서는 一定치 못하며 +3에서 24%의 增減이 있었으나, -3으로 調節할 경우에 62%의 심한 減少가 있어 不規則한 상태를 나타내고 있었다.

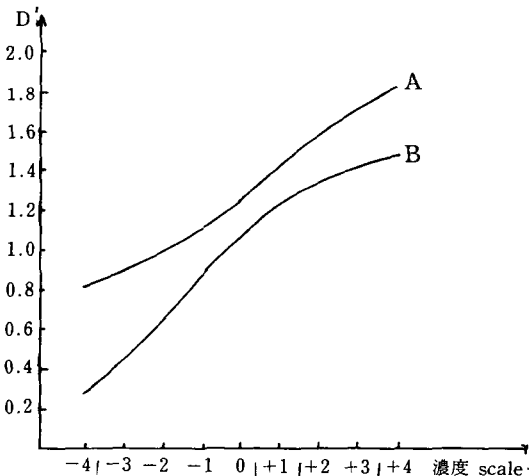


그림 3. 濃度調節裝置 特性

### IV. 考 察

Phototimer의 原理는 현재에도 기본적으로 Morgan의 방식과 같지만 X선을 카세트 전면에서 검출하는 것과 후면에서 검출하는 방식으로 나눈다. 또한 동작원리에 따라 관전압, 관전류를 고정하고 time만을 변화시키는 conventional 방식이 있으며 auto shot방식이라 하여 X선 폭사 중에 관전압을上昇시키고 관전류를 低下시켜 피사체의 흡수가 적은 경우는 비교적 낮은 관전압으로 촬영하고 흡수가 큰 경우에는 관전압을 높게 해서 조사시간이 너무 길어지지 않게 한 것으로 주로 소화기계 촬영에 사용한다. 최근에는 피사체 두께와 선질에 따라 X선 노출량을 直線의으로 변화시키지 않고 투시 kV에 따라 X선량을 기억시켜 노출하는 memory shot 방식도 채택되고 있다.

여하간 phototimer 특성은 線質依存성과 X선 開閉응답특성(시간특성)에 따라 크게 좌우되며 장치메이커와 형식에 따라서도 크게 차이가 있다<sup>4,5)</sup>.

이 실험에서는 관전압, 관전류를 고정하고 time을 변화시키는 conventional 방식의 특성을 실험하였다.

실험 1의 관전압 특성을 살펴보면 60 kVp부터 80 kVp까지의 관전압 영역에서는 장치 A, B 모두 관전압이 낮을수록 농도가 저하되고 있으며 관전압 依存性이 적으며 농도 차이도 0.1정도로 임상적으로 문제가 되지않는 범위이다. 이때 장치 A는 후면검출방식이고 장치 B는 전면검출방식이다. 두

방식에는 특성 차이가 있는데 후면검출방식은 카세트 후면의 흡수와 검출용 형광지의 자기흡수 특성에 영향을 미쳐 관전압이 낮아지면 후면증감지 및 카세트 후면의 흡수가 커지기 때문에 검출용 형광지의 형광량은 저하된다. 관전압이 비교적 피사체의 흡수가 적어져서 농도의 均一性을 기할 수 있다.

후면검출방식의 일반적인 특성으로는 낮은 관전압일수록, 피사체의 흡수가 적을수록 사진농도는 높아지는 경향이 있다고 하였으나 여기서는 I.I phototimer이므로 반드시 그렇지만은 않고 mAs 제어 방식에서 개폐기 방식에 따른 관전압 특성은 저관전압에서 농도가 저하되고 관전압이 상승할수록 농도가 증가되는 특성이 있다고 하였다<sup>4)</sup>.

이 경우 실험에 사용된 phantom의 두께가 18 cm로 비교적 두꺼워 후면검출방식의 일반적 특성은 낮은 관전압에서 농도 상승은 찾아 볼 수 없고 mAs 제어방식의 특성을 따르는 것을 알 수 있다.

장치 B는 카세트 전면검출법으로 검출용 형광지의 에너지 의존성에 영향을 받는다. 즉, 검출용 형광지와 증감지의 감도 차이가 선질에 따라 명확해지며 관전압이 상승할수록 검출용 형광지의 형광량이 일정해도 사진농도는 증가하게 된다. 회토류 증감지일 경우에는 이 특성이 더욱 현저해지고 장치 B에는 60 kVp~80 kVp까지 이 특성에 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 80 kVp 이상 120 kVp까지의 관전압 범위에서는 이러한 관전압 의존성이 없어 교정이 양호한 것으로 나타났다.

직접촬영용 phototimer의 검출용 형광지와 촬영에 사용되는 증감지 형광체가 동일 종류의 것이면 문제는 없었지만 형광체의 종류나 두께 등이 다르면 상호간의 에너지 의존성의 차이가 사진농도 차이로 나타나게 되므로 그 특성을 명확하게 해 둘 필요가 있다.

실험 2의 피사체 두께 특성은 응답시간 특성과 밀접한 관계가 있다. 실험에 사용된 phototimer는 선량제어이며 관전류는 일정하므로 조사시간을 제어하여 농도를 일정하게 하고 있다. 따라서 피사체의 흡수에 따라 조사시간은 대폭적으로 변화한다. 전자개폐기를 사용한 장치인 경우 차단신호가 발생하고 실제로 동작하기까지는 0.03 sec 정도가 지연되며(minimum respons time) 0.04 sec 이하

에서는 再現性이 급격히 저하한다.

따라서 이보다 단시간에 遮斷될 수 있는 조건을 設定할 경우 농도는 급격히 증가한다. 짧아져서 싸이리스타 제어방식인 경우 조사시간 짧아지는데 따른 사진농도의 증가는 많이 개선이 되었다. 두께 특성에서도 카세트 전면검출법과 후면검출법에는 특성 차이가 있는데 후면검출방식 장치 A의 경우 200 mA, 80 kVp 또는 100 kVp에 5 cm phantom의 동작시간은 실제로 5~6 msec로 싸이리스타 제어인 경우에도 최소응답시간의 한계에 이른다. 따라서 이때의 농도는 많이 증가될 것이고 실제로 실험 2에서 보는 바와 같이 phantom 두께 5~10 cm에서는 80 kVp에서 1.75, 100 kVp에서 2.45로 급격히 높아짐을 알 수가 있다(그림 2). 전자개폐기 방식일 경우 中村 등<sup>5)</sup>은 약 0.12 sec 이하의 동작시간에서도 흑화도가 증가하고 있다고 보고하고 있으며<sup>6)</sup>, 靑柳<sup>6)</sup>는 후면검출방식에서 피사체 흡수가 적을수록 농도가 높아진다고 하여 본 실험의 결과와 경향이 일치하고 있다. 피사체 두께가 10 cm~20 cm 범위에서는 80 kVp에서 농도 변동치가 0.2정도이고, 100 kVp에서는 0.4 정도로 관전압이 상승함에 따라 농도 변동폭은 약간 증가하나 피사체 두께가 10 cm 이하의 농도 변화폭보다 매우 안정되고 있음을 보여준다. 한편 전면검출방식의 두께 특성은 피사체가 얇아져 흡수가 적어지면 검출부의 自己吸收가 영향을 미쳐 형광지의 형광량에 대해 카세트 내의 증감지 형광량은 저하된다. 따라서 사진농도는 저하 된다고 알려져 있다<sup>6)</sup>. 본 실험에서도 장치 B는 전면검출 방식이고 피사체 두께 10 cm 이하에서는 이와같이 특성과 일치하여 농도가 감소되고 있으며, 피사체 두께가 20 cm로 두꺼워지면 다시 농도가 저하되는데 이는 phototimer 시간 특성에 의해 농도가 감소하는 것으로 여겨진다(그림 2 B). 이와같이 피사체 두께 특성은 많은 특성의 종합평가라고 고려할 수가 있고 형광체 자기흡수와 시간특성과 맞물려 사용자 쪽에서 보면 가장 중요한 특성 중 하나이다.

Phototimer는 인위적으로 농도를 조절할 필요는 없지만 여러 가지 특성에 따라 필름농도를 증가시키거나 감소시킬 수 있는 농도조절장치(density control switch)가 있다.

농도조절장치는 메이커 따라 무단조절이 가능한 것과 3단계조절, 5단, 7단, 9단조절이 가능한 것이 있다.

실험 3에서는 80 kVp에서 -1, -2, -3, 0, +1, +2, +3 각각의 step에서 농도를 조사하였다.

장치 A에서는 1step 변화에 의하여 10% 정도의 농도차를 보이며, 농도치로는 0.15 정도씩 증감하고 있다.

장치 B는 +3에서 24%씩 증감하였으나 -3계단에서는 62%로 불규칙 하였다. 이는 각 step에서 약 25%의 선량 증감을 이루도록 한 것 같으나 보정이 불량한 것으로 사료된다. 일단 한 번 phototimer가 補正되어 적절 농도를 낼 수 있다면 가능한 농도조절장치는 움직이지 않는 것이 좋다. 만약 농도조절장치를 + 또는 -로 맞추어 사용해야 한다면 이 농도조절장치는 다시 補正해야 한다.

Phototimer는 사용하는데 있어 몇가지 규정이 있어 이 규정 내에서 작동하는가 하는 것도 장치의 특성과 함께 알아 주어야 할 것이다. HEW, Publiclaw 90-602, FDA 등에서는 50 kVp나 그 이상의 관전압에서 600 mAs에서 자동 차단되어야 하며 50 kVp 이하에서는 2000 mAs에서 遮斷되도록 규정하고 있다. 그 이유는 phototimer가 이상이 있을 경우에도 환자를 과노출에서 보호하기 위해서이다.

자동노출장치의 再生性(reproducibility)은 10% 이내이어야 하고, 직선성(linearity)은 millirads/milliampere-second 값이 연속 두 exposure의 합에 10% 이내이어야 한다고 규정하고 있다. 실제적으로 mAs의 변동량이  $\pm 10\%$ 를 넘어서는 안된다.

재현성(repeatability)은 short-time exposure와 long-time exposure로 나누어 규정하고 있는데 short time exposure는 Al step wedge를 검출기 위에 놓고 약 50 msec 정도로 촬영하고, long-time exposure는 약 1 sec 정도의 노출시간이 되도록 조정한다.

이를 5회 노출하여 두 경우 모두  $\pm 10\%$ 의 농도 범위 안에 있도록 하고 있다.

환자 두께 변화에 따른 농도 변동치도 규정하고 있으며 90 kVp~120 kVp 범위에서 두께에 따른

농도변동치가 10~15%를 넘지 않도록 되어 있다<sup>9)</sup>.

이와 비슷한 여러 규정이 따로 마련되어 있으며 phototimer 특성과 함께 어느 한 가지 규정을 준수할 수 있다면 그 밖에 고려해야 하는 문제점도 기억하여 촬영 실패율을 줄여야 할 것이다.

몇가지 예를 들면 collimation을 너무 크게 하면 underexposure의 원인이 될 수 있고 grid 중심선 속 이탈은 cut off 현상을 일으켜 일부는 과노출이 되고 일부는 과소노출이 되는 경우도 있으며, 카세트 후면의 재질이 달라 흡수가 다르면 농도차를 피할 수 없을 것이다. 또한 병리학적 조건이 다른 환자일 경우 농도가 달라질 수 있다. 따라서 자동노출장치를 사용할 경우에도 technique chart를 작성할 것을 권고하고 있다<sup>10)</sup>.

이번 실험에서는 phototimer를 사용하는 사용자 입장에서 몇가지 특성을 파악하고자 하였으며, 앞으로 시간동작 특성, 조사야 특성, 조영제 점유율에 의한 농도특성 등을 연구하여야 할 것이다.

## V. 結 論

Phototimer가 간접촬영장치에는 물론 직접촬영장치에도 널리 쓰이게 되었으며 그 방식도 복잡해지고 있다. 사용자는 자신이 이용하는 자동노출장치의 특성을 파악하여 자동노출장치의 본래 목적인 재촬영율의 감소에 노력해야 할 것이다.

저자들은 사용자 입장에서 우선 파악하여야 할 몇가지 실험을 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 관전압에 의한 농도변화 특성은 전면검출법과 후면검출법 모두 저관전압(60 kVp~80 kVp) 범위에서는 관전압에 비례하여 사진농도가 증감하고 80 kVp 이상의 관전압 범위에서는 관전압 의존성이 없었다. 따라서 80 kVp 이상에서 촬영하는 것이 바람직하다(회트류계 증감지).

2. 피사체 두께 변화에 의한 특성은 전면검출법과 후면검출법에서 약간의 차이를 보이고 있으며, 후면검출법은 두께가 얇아질수록 농도는 급격히 상승하고 10 cm가 넘으면 안정되고 있다. 전면검출법은 두께가 얇을 때 농도도 감소하고 있었으며 역시 10 cm 이상에서 안정되고 15 cm 이상에서는

다시 농도가 감소하였다.

3. 농도조절 특성은 장치마다 다르나 1 step당 10% 변화하는 것과, 25%씩 변화시킬 수 있는 것이 있었고 線形성을 유지하고 있었다.

4. 자동노출장치에 관한 국제적 규약을 준수할 수 있도록 恒常 裝置특성을 把握하고 較訂하여야 할 것이다.

5. 자동노출기구는 萬能이 아니며 裝置특성과 규정이 優秀하여도 여러가지 要因에 의하여 撮影失手が 일어날 수 있다. 따라서 各種 撮影보조기구의 특성과 病理學的 所見에 따라 撮影條件表를 만들 것을 勸告 한다.

#### 參 考 文 獻

1. 李海龍 : 醫療用 X線裝置. 大學書林. 359~387, 1985.
2. Jaundrell-Thompson : X-ray Physics and Equipment. Philadelphia. 534~538, 1970.
3. Bushong SC : Radiologic Science for Technologists. St. Louis. CV Mosby. co.
4. Cullinan JE : Illustrated Guide to X-ray Technics. Philadelphia. 74~86, 1980.
5. Jenkins D : Radiographic Photography and Imaging Process. Baltimore University Park Press. 110~126, 1981.
6. 青柳泰司 : 診斷用 X線裝置. コロナ社. 327~354, 1980.
7. 中村 實 : Photo timer의 諸特性について. 中村實博士業績集, 67~73, 1977.
8. 田中 仁 外 : 醫用放射線技術實驗. Phototimer의 特性. 共立出版株式會社. 282~286, 1978.
9. Thompson : A Practical Approach to Modern X-ray Equipment. Boston. 125~134, 1978.
10. Seymour Sterling : Automatic Exposure Control A Primer. Radiologic Technology. 59 (5) : 421~427, 1988.