韓放技學誌, Vol.11, No.1, 1988.

新開發된 Σ-粒子技術에 의한 直接撮影用 超高鮮銳度 Orthochromatic Film HR Series에 대하여

日本 富士寫眞필름株式會社 足柄研究所

占部茂治 · 岩崎信之 · 山田澄人

(株式會社 新起社 金壽洪 訳)

Ⅰ. 서 론

1986년에 Tomas Edison이 텅그스텐산칼슘($CaWO_4$)을 형광체로 하여 처음 X선 사진촬영이 시작된 이래, X선 투시촬영기술은 X선필름-형광증감지 시스템(이하, film/screen system이라고 칭함)에 있어서 수많은 개량이 되어 오늘에 이르렀다. 즉, 1913년 Eastman Kodak社는 사진유제를 얇은 필름베이스의 양면에 도포한 X선 전용필름을 개발하여 이 필름을 2枚의 형광 증감지 사이에 샌드위치 방식으로 사용하는 현재의 직접촬영법, 즉 film/screen system을 완성했다. 이것에 의하여 감도와 화질은 대폭 향상되고 X선 피폭선량이 급격히 줄었다.

더우기, 제2차 세계대전 후 사진유제 기술에 있어서 획기적인 金增感기술이 X선 필름에 응용되어 사진성능이 크게 향상되었다. 한편, X선필름의 현상에서 건조까지의 필름 현상처리에 있어서 사람의 손으로 약 1시간 정도가 걸렸지만 1965년에는 X선필름의 개량과 자동현상기의 개발에 의해 약 90초로 건조된 사진을 꺼내볼 수 있기까지 진보 되었다.

근년에는 촬영장치의 자동화 또는 고속 연속촬영이 행하여지고 이런것에 적응하는 기술, 예를들면 필름의 耐상처성, 耐屈曲性, 帶電防止性, 耐接着性 등 취급성의 향상이 이루어져 왔다.

한편, X선사진상의 화질평가에 대한 연구가 정보이론을 이용하여 1960년 경부터 행하여지게 되었다. 더우기 컬러 TV용 형광체의 급속한 개발에 의하여 稀土類형광체(Gd_2O_2S : Tb, La_2O_2S : Tb, LaOBr : Tb 등)이 출현하여 1970년경에 화질을 거의 똑같이 유지하고, X선 피폭선량을 대폭 저감(低減)시키는 film/screen system이 개발되었다.

그리고, 이 희토류 형광체의 발광 스펙트럼상에 있는 感光域을 가진 感光材料를 만들 필요가 생겨, 그때까지의 Regular type에서 녹색 光에 감광하는 정색성의 X선 필름이 출현하기에 이르렀다. 이 희토류계 형광체 증감지와 정색성 타입 필름을 조합시킨 시스템은 높은 감도를 이용하여 노출시간을 단축하고 소초점에 의한 확대촬영의 가능화에 의하여 보다 좋은 화질을 얻도록 시도된 것이 그후 감도가 낮은 미립자 Orthochromatic필름과의 조합으로 좋은 화질을 얻는 방향으로 발전하였다.

이상 기술한 것과 같이, X선촬영 진단시스템은 다각적인 발전을 이룩해 왔지만 궁극적인 목적은 「診斷能力의 向上, 診斷精度의 向上」이고, X선 피폭선량의 증가없이 화질을 향상시키는 것에 있는 것은 명백하다.

Ⅱ. Ortho system(희토류 screen/ortho film)의 특징

1. 희토류 형광체의 성질

희토류 형광체가 종래의 형광체 $CaWO_4$에 대하여 우수한 점은 다음의 두 가지에 있다.

表－1

Absorption Efficiency of Screens Composed of 100 mg/cm² Phosphors[a]

Phosphor	Absorption,[b] %
$CaWO_4$	26.7
Y_2O_2S	27.0
Gd_2O_2S	37.7
BaFCI	39.7
LaOBr	41.5

[a] Adapted from Venema[11]

[b] The absorption was calculated at 80kV, with 20cm of water filtration.

① X선 흡수율이 높다.

② X선에서 빛으로의 변환효율이 좋다.

희토류 형광체는 표 1과 같이 높은 X선 흡수율이 있고 이것에 의하여 선예도와 X선양자를 악화시키는 것이 보다 많은 光出力을 얻을 수 있다.

더우기, 희토류 형광체의 제2의 잇점은 흡수된 量子當 發光量이 많은 것이다. 흡수된 X선 에너지에 대하여 발생한 光에너지의 비율로 정의된 변환효율(conversion efficiency)은 $CaWO_4$에서 약 5%이지만, 희토류 형광체에서는 20%에 도달한다[2].

2. 선예도

Modulation Transfer Function(MTF) curve는 필름/스크린계에 대한 빛의 산란에 의한 흐려짐의 평가에 사용된다. 이 측정법에 의하면, 희토류 형광체 시스템에서는 $CaWO_4$에 비하여 거의 같은 sharpness에서 약 2배의 감도가 실현되었다[3].

또한 희토류 형광체층의 薄膜化와 多重構造 및 染色技術 등의 채택에 의해 Regular system과 동일 감도의 경우는 선예도가 뚜렷하게 개선되었다. 또, 스크린의 선예도는 형광체의 입자 크기와 형태에도 의존한다[4].

한편 光散亂에 의한 선예도의 저하는 거의 증감지 형광체에 의해 일어나고 필름 중의 유제 입자에 기인하는 것은 얼마되지 않는다. 그러나, 필름에 기인하는 선예도의 저하의 한가지 원인은 Crossover光에 의한 像의 흐려짐이다[5]. 이것은 한쪽의 스크린에서 발광한 빛이 인접한 유제층에서 흡수하지 못하고 필름 베이스를 통과하여 반대측의 유제층을 감광시켜, 그때에 빛은 散亂光이 되어 현저한 선예도의 저하를 초래한다. 이제까지의 感光材料에서는 전체필름흑화의 약 40%가 이 Crossover光에 의하여 만들어지고[5] 감도는 그것에 의해 크게 상승하고 있지만 선예도의 손실도 컸다.

3. 선예도의 향상

이제까지 기술한 바와같이 희토류 형광체는 $CaWO_4$에 비해 X선 흡수율과 빛 변환효율이 향상되고, 같은 감도에 있어서는 보다 높은 선예도를 가져온다. 여기에서 희토류 형광체의 선예도를 향상시키기 위해서는 Crossover光을 극한까지 감소시키는 것이 필수가 된다. 금번 HR Series에 대해서는 이 Crossover光을 대폭 감소시켜 희토류 형광체 증감지 시스템과의 조합으로 지금까지 없었던 최고의 선예도를 실현하는 것을 개발의 목표로 하였다.

이 과제를 달성하기 위해서는 다음의 기술적 문제를 해결하는 것이 필요했다.

① Crossover 光의 대폭 감소, ② Crossover 光의 감소에 의한 感度低下의 보상, ③ 유제입자의 光散亂 特性의 개량, ④ 유제의 粒狀性의 향상.

Fuji사진필름주식회사에서는 상기의 과제를 전혀 새로운 Σ-입자의 개발과 이제까지 개발하여온 表面改質技術(SMG技術)[6]을 더욱더 발전시킨 新 SMG 기술의 개발에 의해 해결하고, 최고의 선예도를 갖는 ortho film series인 HR-A, HR-S, HR-L, HR-C를 제품화했다.

Ⅲ. Σ-입자(Σ-Grain)

Σ-粒子는 Fuji Film社가 새롭게 독자적으로 개발한 감광성 유제 입자이다. Σ-입자는 그 내부에 특수한 구조가 짜여져 있고 넓은 육각형 평면과 특징적인 端部에 의해 둘러쌓인 명확한 형태를 갖는 할로겐화 銀結晶이다.

노광시에 그 육각형 평면에 의해 유효하게 흡수된 빛은 내부구조의 작용에 의하여 Σ型에 깊이 들어가 있는 粒子端部에 집중적으로 潛像(現像을 開始하는 점)을 형성한다. 이와같이 표면과 내부구조와의 작용을 통합한 Σ-입자는 빛을 더없이 유효하게 이용하기 때문에 높은 光感度를 실현했다.

한편, 필름속의 입자는 입사광에 수직으로 규칙적으로 배열하고 빛을 산란없이 흡수하기 때문에 번짐이 적은 선명한 화상을 형성할 수 있다.

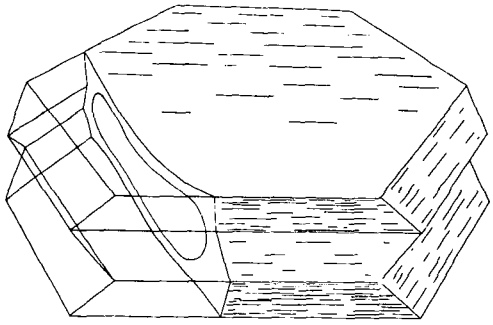
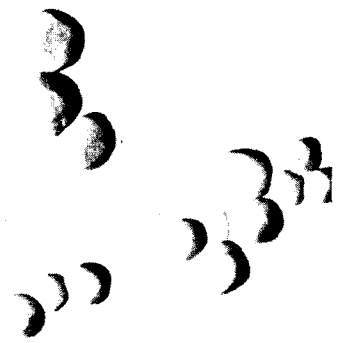


그림 1. Σ-입자의 형태

Σ-입자
(6,600배)



종래의 입자
(6,600배)

Σ-입자의 사진

Σ-입자는 Fuji Film社가 먼저 개발한 이중구조 입자 기술(세계 최초의 초고감도 Color-Nega HR-1600에 채용)의 발전으로서 태어났기 때문에 이것에 의해 빛의 이용율과 화상의 선예도는 한층 향상 되었다. 이 기술은 이번 HR Series만이 아니고 각종의 감광재료의 개발에 응용되는 것이 충분히 기대된다.

1. Σ-입자의 감도

할로겐화은 乳劑粒子의 표면에는 빛 照射에 의해생긴 光電子를 포획하는 site (感光核)로 작용한다. AgAus의 微小核이 형성되어 있고, 한편 입자내에는 비교적 자유로 움직이며 도는 銀이온(格子間銀이온이라고 부른다)이 상당히 존재한다. 빛 조사에 의해 우선 입자내에 光電子와 正孔이 발생하여, 음전하를 갖는 광전자는 감광핵에 포획되고(trap 過程), 그 site에 양전하를 가진 格子間銀이온이 움직여 와서 (이온 過程), 결합하고 銀原子를 생성한다. 이런 과정을 반복하는 것에 의해 銀의 集體가 성장한다[8]. 4개 이상의 銀原子 集體가 潛像이라고 생각되고 있다. 이 潛像形成過程에 있어서 그 효율을 올리기 위한 중요한 인자는 다음과 같다.

① 電子와 正孔의 재결합을 없애는 것으로 銀 集體의 형성효율을 올리는 것.

② 잠상의 複數個所에서 형성되지 않도록 잠상의집중을 도모하는 것,

③ 粒子의 빛 흡수량을 늘려 보다 많은 광전자를생성시키는 것,

우선, ①의 재결합 방지는 이미 개발된 이중구조입자 기술을 발전시켜 입자에 특수한 내부구조를 갖게 하는 것에 의하여 빛조사에 의해 발생한 正孔은 입자 내부에서 trap되고, 電子는 表面에 trap되어 전자구조(밴드 구조)를 만드는 것에 의하여 달성했다.

②의 潛像 集中化는 감도를 올리는 중요한 인자이고, 또한 現像活性이 높고 큰 潛像[9]을 얻기 위해서도 필수적인 기술이 된다. Σ-粒子에 대해서는 그 독특한 형태를 갖는 粒子端部(Σ구조)가 화학적 물리적으로 活性인 것을 이용하여 독특한 화학 증감기술을 개발하고 感光核을 그 端部에 집중시켰다. 더우기 육각형 평면에 의해 흡수된 光은 粒子內部의 電子와 格子間銀이온의 움직임에 의해 粒子內部에 집중적으로 潛像形成을 하게된다.

③의 빛吸收量을 늘리는 것은 Σ-粒子에 있어서 그 육각형 평면(受光面)을 필름 속에서 입사광에 수직으로 배열하는 것 및 그 평면에 아주 많은 증감색소를 흡착시키는 기술(新 SMG技術)에 의해 달성되었다.

Σ-粒子는 ①, ②, ③의 기술결합에 의해 하나의 입자속에서 빛흡수와 잠상형성이라 하는 두 가지의 기능을 명확하게 분리한 입자를 만들었다.

Σ-粒子를 만드는 데에는 그 독특한 形體와 치밀한 내부구조를 얻기 위해 상당히 섬세한 結晶成長의 제어를 필요로 한다. 이 때문에 新乳劑의 실용화는 유제구조기술의 혁신으로 처음 달성되었다.

2. Σ-입자와 新表面改質粒子(신 SMG) 기술과의 결합

Ortho film은 할로겐화은 粒子에 증감색소를 흡착시켜 희토류 형광체가 발광하는 녹색광에 감광 되도록 하고 있다. SMG기술이란 할로겐화은粒子의 표면에 색소를 흡착하는 장소를 늘리고 색소를 효율좋게 흡착시키는 것에 의하여 할로겐화은의 빛 흡수율을 현저하게 높이기 위한 기술이다. 이 기술은 먼저 New ROX-G에 적용되어 대폭적인 선예도 향상이 되었지만, 이번에 더욱더 이 SMG 기술을 발전시킨 것이 新SMG기술이다.

일반적으로 증감색소는 할로겐화은 표면에서 규칙바른 배열을 가진 2次元 凝集體[10]의 밀도를 높여 이 凝集體의 형성을 대폭 촉진하도록 色素吸着法과 입자표면의 改質을 하는 것으로 다량의 증감색소를 흡착하는 것이 가능하게 되었다.

Ⅳ. Ortho film HR Series의 선예도와 입상성

신 개발의 Σ-粒子와 여기에 新 SMG技術을 적용하는 것에 의해 이제까지 없던 Crossover 光 Cut를 達成했다(그림 2).

또한 Σ-粒子는 위에 기술한 바와 같이 필름내에서 입사광에 대해 수직으로 배열하고 있기 때문에 빛의 산란이 적고, 그것에 의해 Crossover 光의 확산이 감소하고, 또 유제층의 Irradiation도 동시에 防止된다. Ⅱ-3항에서 記述한 기술적 문제를 해결하는 것이 가능하여 비약적으로 선예도를 향상시킨 HR Series의 제품화가 가능하게 되었다.

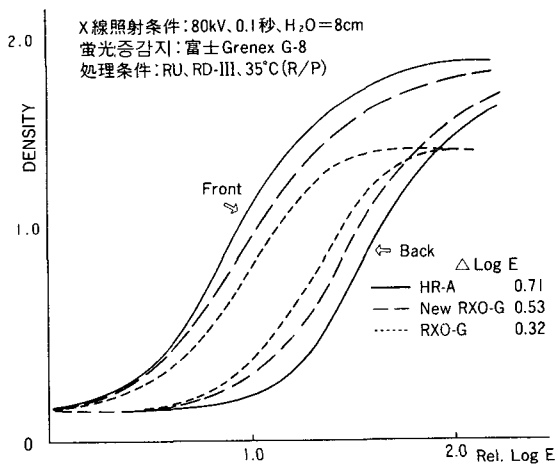


그림 2. Crossover光 Cut

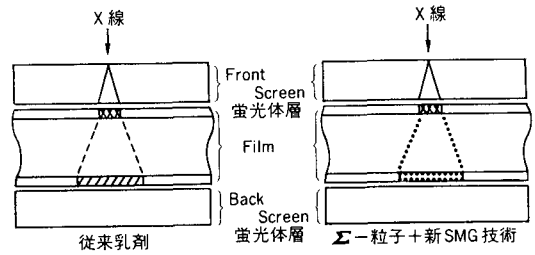


그림 3. Crossover光 Cut 狀況

그림 4～5에 HR-A(HR-S) 및 HR-L의 MTF 値를 표시했다.

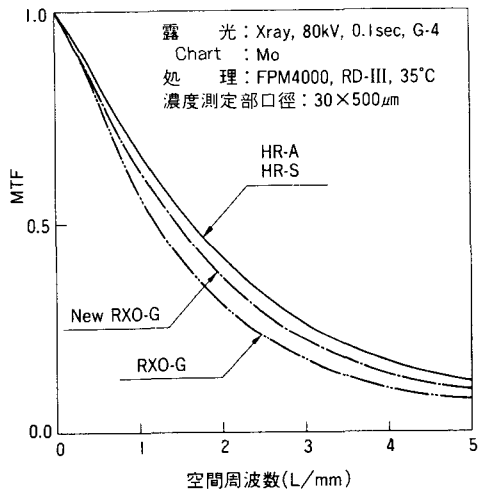


그림 4. MTF 곡선

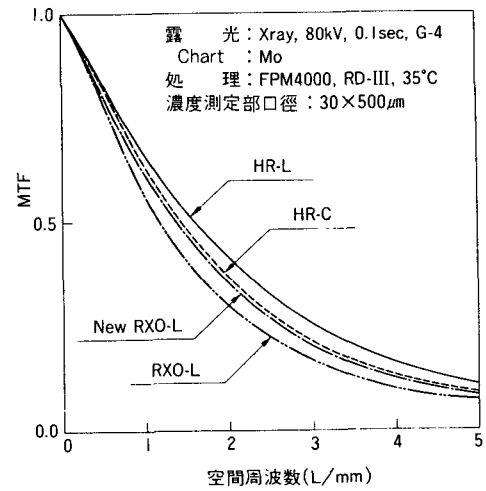


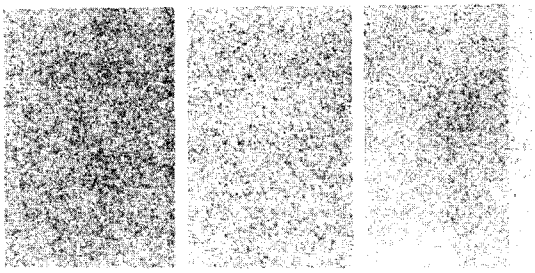
그림 5. MTF 곡선

그리고 Crossover 光 Cut에 의한 감도 저하는 Σ-입자에 의한 고감도에 의하여 보충되었다. 또 동시에 유제의 입자 크기를 더욱 작게 해도 감도 유지가 가능했기 때문에 필름의 粒狀性은 대폭 좋아졌다(表 2).

그림 6에 빛露光한 경우의 필름 粒狀性을 표시했다. 表 2에 표시한 것과 같이 이번 HR-Series 에서는 극단적으로 미립자화 되어 있고, 따라서 필름의 粒狀性은 현저하게 좋아지고 있다.

表-2 分光感度와 粒子크기

	청색광 감 도	녹색광 감 도	입자크기 (입자體積)
HR-A	68	98	0.08 μ^3
New RXO-G	100	100	0.19 μ^3
RXO-G	120	80	0.33 μ^3



HR A *New* RXO G RXO G

그림 6. 필름의 입상성 (10배)

V. 진단부위별 계조도의 適性化

이번 HR-Series의 종류는 4種이다.

- High contrast type HR-A
- Standard contrast type HR-S
- Latitude type HR-L
- Wide latitude type HR-C

직접 X선촬영 System에 대해서 X선 필름의 階調度는 진단부위별로 아주 중요하고 다음에 記述 하는 것과 같이 實質上 중요한 因子이다.

1. 계조도와 선예도

X선 촬영에 사용되는 X선 量子의 energy는 보통 20~80 kev의 범위이고, 이 X선量子가 인체를 통과할 때에 흡수되는 것은 X선量子의 energy, 인체 내부조직의 組成(특히 실효원자번호), 그리고 그 量에 의존한다. 각 조직의 실효원자번호[11]는 예를들면,

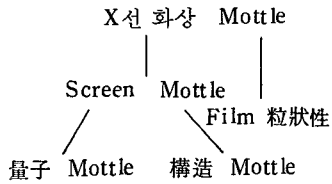
脂肪(成人脂肪組織) 6·3, 筋肉(横紋筋) 7·4, 물 7·4, 骨(大腿骨) 11·6이다.

骨과 體內 中의 gas를 제외하면 소위 연부조직간의 흡수차는 극히 적다. 더우기 피사체가 두꺼운 경우에는 산란선이 다량으로 발생하고 noise 成分이 되어 증감지에 入射한다. 이 산란성분은 원래 흡수차가 적은 인체의 조직 정보의 信號/雜音比를 더욱 저하시켜[12] 光學像으로 번환시킨 X선 상의 contrast를 저하시키고 진단가치를 감소시킨다. 따라서, 보다 많은 진단 정보를 얻기 위해서는 산란선의 존재하에서도 적은 흡수차를 검출하도록 contrast를 될 수 있는 한 높일 필요가 있다.

HR-A는 먼저 기술한 대폭적인 Crossover 光 Cut에 의한 선예도의 향상과 높은 contrast에 의해서 비약적인 선예도의 향상이 달성된 필름이고 보다 높은 진단 능력을 제공한다.

2. 계조도와 입상성

X선 촬영에 있어서 필름의 화상에 나타나는 noise는 다음과 같이 정리된다.



여기에서 量子 Mottle은 X선 촬영 system에 特有한 것이고, noise를 지배하는 중요한 因子이다. 예를들면 Fuji Grenex G-4 (Gd_2O_2S : Tb 형광체) 증감지의 경우 1개의 入射 X-線量子(平均 energy : 40 kev)에서 5500 Å의 평균파장(녹색)의 光量子가 약 1400개 발생한다고 생각되고 이 결과는 Film/screen System에서 만들어지는 X線 화상이 통상의 빛露光像에 비해 약 1/1400의 극히 적은 정보 擔體(X선 量子)에서 만들어지고 있는 것을 표시하고 있다. 따라서, 일반의 빛露光에서는 문제되지 않는 量子의 흔들림에 의한 얼룩(量子 Mottle)이 X선 사진에서는 중요한 영향을 미치는 것이 된다.

이 量子 Mottle은 film에 기록되는 때에 film의

contrast가 높으면 눈에 띄기 쉽고, Contrast가 낮으면 시각에 눈에 띄기 어렵게 된다. 그러나 이 Contrast에 의한 量子 Mottle의 조절은 선예도와 언제나 상반된다. 이번의 HR-Series 중에서 HR-L에서는 Contrast는 낮고 이것에 의해 量子 Mottle은 양호하지만 선예도는 약간 감소한다. 그러나 Crossover 光의 대폭적인 Cut로 그 선예도는 높은 수준을 유지한다. 한편, 필름 粒狀性에 관해서 HR-Series는 먼저 기술한 바와 같이 대폭적인 개선이 이루어져 있고, 육안으로는 전혀 인식할 수 없는 수준에 도달하고 있다.

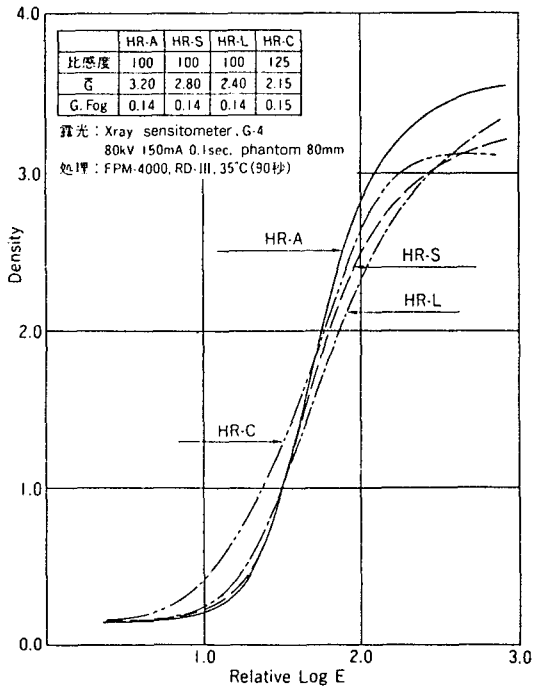


그림 7. HR시리즈의 特性曲線

3. 계조도와 latitude

지금까지의 X-선 필름에서는 V-1항에서 기술한 바와 같이 선예도를 확보하기 위해 꼭 높은 contrast가 필요했다. 그렇지만, 진단 부위에 따라서는 보다 넓은 latitude를 갖고 軟調의 特性曲線을 갖는 필름이 정보량이 많은 경우도 있다.

이번의 HR Series에서는 대폭적인 Crossover 光의 Cut에 의한 선예도의 향상이 되었기 때문에 latitude를 넓게하기 위해서 階調度를 낮게 해도 선예도는 상당히 높은 수준을 유지한다. HR-L HR-C와 같은 軟調 感光材料에 있어서도 latitude와 선예도의 兩立이 가능하게 되었다.

HR-C의 階調度設計에 있어서는 이미 Fuji Medical Forum에 報告[14]되었다.

HR-Series 4種의 特性曲線을 그림 7에 표시했다.

Ⅵ. 결 론

이 報告에서는 Fuji 醫療用 X선 필름 HR Series (HR-A, HR-S, HR-C, HR-L)의 발매에 즈음하여 그 설계 내용을 소개했다. 지금까지 기술한 畫質의 向上(선예도, 粒狀性, latitude)에 추가하여 이번의 HR-Series는 다음과 같은 특징도 함께 갖추고 있다.

① 안정된 畫像의 완성

潛像의 집중화에 의해 現像活性의 높은 潛像을 형성하기 때문에 현상온도에 의한 변동을 받기 어렵고 안정된 階調度의 화상을 완성하게 된다.

② 殘色이 없는 투명한 화상

處理過程에서 빠지기 쉬운 증감색소를 사용하는 한편 光散亂이 적은 mat劑를 채용하고 있기 때문에 殘色이 적은 투명성이 좋은 밝은 화상이 얻어진다.

③ 우수한 取扱性

독특한 입자의 내부 구조와 潛像의 집중 형성에 의해 압력성에 대해 상당히 우수하고 특히 진단상 문제가 되는 減感을 없애는 것이 가능했다.

극한까지 Crossover 光을 감소하는 것에 의해 超高鮮銳度를 갖추었고, 4種의 HR Film에 의해 「診斷能力의 向上, 診斷精度의 向上」이 모든 진단 부위에 있어서 가능하게 되었다고 생각한다.

참 고 문 헌

1) Venema H.W. Radiology 130, 765-771 (1979).
2) Buchanan, R.A., S.I. Finkelstein, & K.A. Wickersheim Radiology, 105, 185-190 (1972).
3) J. Gorski & J. Skucas, J. Appl, Photogr. Eng. 9: 177-183 (1983).
4) Rao, G.U. & P. Fatouros, Med. Phys. 5: 202-

208 (1978).

5) Doi, K.L. Loo, T.H. Anderson & P.H. Frank: Radiology, 139, 707-714 (1981).

6. 新井直樹，岩崎信之，古川克治，萩野谷透：Fuji Medicak Forum，145，20～26，1984.

6) P.A. Faelens, R. Berendsen & B.H. Tavernier: Photgr. Korresp. 102, 53 (1966).

7) C.E. Mees, T.H. James ed. The Theory of The Photographic Process, 3rd ed. Macmillan, London, 1969, Chap. 5.

8) H.E. Spencer & R.E. Atwell: J. Opt. Soc. Am. 54, 498 (1964).

9) C.E. Mees, T.H. James ed. The Theory of The Photographic Process, 3rd ed. Macmillan, London, 1969, Chap. 12.

11. ターボゴシアン：「放射線診断の物理」，朝倉書店，1970.

10) J.W. Molz & C.E. Dick: Medical. Physics 2, 259-267 (1975).

11) K. Rossman: Amer, J. Roentgen 90, 864-869 (1963).

14. 關口伸永，古川克治，萩野谷透：Fuji Medical Forum.