

자동현상기 지능화에 필요한 연산처리 기법의 개발을 위한 방사선 필름의 영상 지수의 분석

울산대학교 의과대학 · 서울중앙병원 진단방사선과
박성태 · 윤종현 · 박광보 · 오용호 · 이형진 · 인경환 · 김건중

- Abstract -

Analysis of Image Factors of X-ray Films: Study for the Intelligent Replenishment System of Automatic Film Processor

Sung Tae Park M.D., Chong Hyun Yoon M.D., Kwang Bo Park M.D., Yong-Ho Auh M.D.,
Hyoung Jin Lee M.T., Kyung Hwan In M.T., Keon Chung Kim M.T.
Department of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center University of Ulsan College of Medicine

We analyzed image factors to determine the characteristic factors that need for intelligent replenishment system of the auto film processor. We processed the serial 300 sheets of radiographic films of chest phantom without replenishment of developing and fixation replenisher. We took the digital data by using film digitizer which scanned the films and automatically summed up the pixel values of the films. We analyzed characteristic curves, average gradients and relative speeds of individual film using densitometer and step densitometry. We also evaluated the pH of developer, fixer, and washer fluid with digital pH meter. Fixer residual rate and washing effect were measured by densitometer using the reagent methods. There was no significant reduction of the digital density numbers of the serial films without replenishment of developer and fixer. The average gradients were gradually decreased by 0.02 and relative speeds were also gradually decreased by 6.96% relative to initial standard step-densitometric measurement. The pHs of developer and fixer were reflected the inactivation of each fluid. The fixer residual rates and washing effects after processing each 25 sheets of films were in the normal range. We suggest that the digital data are not reliable due to limitation of the hardware and software of the film digitizer. We conclude that average gradient and relative speed which mean the film's contrast and sensitivity respectively are reliable factors for determining the need for the replenishment of the auto film processor. We need more study of simpler equations and programming for more intelligent replenishment system of the auto film processor.

Index word : Acceptance testing · Auto-film processor · Images, processing · Images, quality
· Radiography · Quality assurance

I. 서 론

1955년에 처음으로 자동현상기(Kodak M6A-N roller type, USA)가 출현한 이래 X선 현상기는 소형화, 단순화, 지능화를 목표로 여러 제조 회사의 연구 개발에 의해 많은 형식으로 변천 과정을 거쳐 현재에 이르고 있다. 40년 동안의 기술적 발전은 전반적인 산업 과학의 발달에

영향을 받으면서 현재는 반도체 제어 방식을 채택한 장비가 개발되어 시판되고 있다.¹⁾ 그 중 필름 현상 후 최종화질을 결정하는 현상 및 정착 처리제의 최적 활성도를 유지하는데 직접적인 영향을 주는 보충 시스템의 선택은 최적 현상조건을 지속 유지하는데 결정적인 역할을 담당하고 있다. 자동현상기 보충시스템은 필름을 현상할 때에 현상처리 과정 중 현상을 억제하는 브롬화칼륨(potassium bromide)의 지속적인 축적과 현상 주체이며 환원제 역할을 하는 하이드로퀴논(hydroquinone), 현상보조제인 아황산나트륨(sodium sulfite, 보호제) 그리고 탄산나트륨(so-

* 이 논문은 97년도 선도기술(G7) 의료공학 기술개발 사업연구비(HMP-96-G-1-22) 지원에 의해 이루어진 것임

dium carbonate, 촉진제)의 감소 현상에 의한 활성화도 저하를 방지할 목적으로 일정량의 신선한 현상 및 정착 처리제를 보충하는 구도를 뜻한다.²⁾ 기본적인 보충시스템으로 고전적인 방법이지만 매 필름을 삽입할 때마다 진입 시간 동안만 보충하는 시간 보상형 보충시스템(time replenishment system)을 외국의 제조회사는 채택하고 있으며 기본형 자동현상기에는 대부분 이 방법을 장착하고 있다. 최근에는 필름을 삽입할 때마다 보충하지 않고 필름 처리량과 삽입 시간을 적산하여 설정 적산량과 시간을 초과하면 보충하는 시간 적산형 보충시스템(time integrated replenishment system)을 고급형 자동현상기에 설치하여 판매하고 있다. 그러나 위 두 시스템은 삽입하는 필름의 길이에 따른 시간 측정으로 보충을 결정하는 공통점이 있다. 여기서 한 걸음 더 나아가 매 회 필름 면적을 산출하여 보충하는 면적 보상형 보충시스템(area replenishment system)을 개발 적용한 경우도 있다. 미국과 일본의 대표적인 자동현상기 제조회사 제품들은 위 세 종류의 보충시스템 중 하나를 선택하여 품종에 따라 적용하고 있는데 보급형에는 시간 보상형을, 고급형에는 시간 적산형 또는 면적 보상형 보충시스템 중 하나를 설치하여 제품을 출하하고 있다. 이상적인 보충시스템은 현상처리제의 노화율 또는 현상 처리된 필름의 흑화도에 따라 결정되어야 할 것으로 생각되나 현재까지 상용화 된 제품이나 연구보고는 전무한 상황이다. 이에 본 연구에서는 자동현상기의 현상, 정착에 소요되는 보충액 양을 결정하기 위해 현상된 필름의 영상지수들(image factors)을 분석하여 이 지수들이 자동현상기 보충시스템의 지능화에 기여할 수 있는 결정 요소인지 알아 보고자 한다.

II. 실험방법

흉부 팬텀(chest phantom, Victoreen, Long Beach, CA USA)을 HD150B-30 X-선 발생 장치(Shimadzu, Tokyo, Japan)를 사용하여 필름(film type: HR-C, 14×14", screen type: FG-4, Fuji, Tokyo, Japan) 300매를 연속 촬영하였다. 필름현상은 자동현상기(JP-903N, 정원 정밀, 서울, 한국)에 현상 보충액과 정착 보충액을 공급하는 보충 펌프를 작동시키지 않고 연속 현상하였다. 흉부팬텀의 촬영조건은 관전압 120 kVp, 관전류 150 mA, 조사시간 0.02 seconds로써 mAs는 3 mAs였으며 촬영거리는 180 cm이었고 자동현상기 자동조건으로는 현상시간 90초, 현상액의 온도는 35°C, 건조온도 55°C이며 보충펌프는 작동시키지 않았으며, 수세수는 일정속도로 순환되게 하였고 그 유속은 8 l/min였다. 현상액은 RD-3(Fuji, Tokyo, Japan), 정착액은 F(Fuji, Tokyo, Japan) 그리고 현상 개시액은 RD-III (Fuji, Tokyo, Japan)를 사용하였다.

현상된 필름을 필름 디지털라이저(Lumiscan 200, Lymisys, USA)를 사용하여 14×14" 필름의 각 픽셀(pixel) 값(0~4095)에 대한 전체적인 필름 농도값의 합을 내장된 프로그램에서 구하였다. 또한 각각의 팬텀 촬영 필름 현상의

처음과 마지막 그리고 매 25매 현상 사이에 농도 계단표(21-step sensitometric pattern)를 사용하여 센시토메터(X-Rite 383, Grandville, Michigan, USA)로 노광시킨 후 이를 현상하여 농도계(Victoreen 07-424, Long Beach, CA, USA)로 계단 농도를 측정하였으며 이를 기초로 특성곡선(characteristic curve)을 작성한 후 이어서 평균 계조도(average gradient) 그리고 비감도(relative speed)를 계산하였다. 평균 계조도는 base plus fog 위의 0.25~2.0 광학 농도 위의 두 점에서의 기울기로 구하였다. 감도는 정의상 base plus fog보다 광학 농도 1.0 이상을 노광 시킬 수 있는 X-선 조사량을 의미하나 이 연구에서는 기준 필름에서 base plus fog보다 광학 농도 1.0 이상의 흑화도가 측정되는 계단 농도표의 한 단계(제 10단계)를 정한 후 그 농도를 100%로 간주하여 대조필름의 계단 농도표에서 동일 단계의 광학 농도를 백분율로 표시하였으며, 이 백분율 값을 정의상의 비감도에 역비례 하는 값이다. 평균 계조도와 비감도의 증감 여부를 SPSS for windows(release version 7.5.1, SPSS Inc)를 사용하여 선형 회귀분석(linear regression analysis)으로 무보충 연속 필름현상 시의 영상지수 변화를 알아 보았다.

상기 광학적인 방법과 병행하여 일상적인 현상 질 관리의 일부로 실시되고 있는 정착액의 피로도 및 수세효과를 현상시작과 각 25매 현상간격으로 시행하였다. 정착액 피로도 측정은 필름의 투명한 노광 되지 않은 부분을 측정 시약(물 100 cc + 황산나트륨 2 gm)에 약 3분간 담근 후 10분간 수세하여 건조한 후 필름의 색조를 농도계로 측정하여 시작 시점과의 측정치의 차이가 0.03~0.05 이하인 경우 정상 정착과정을 거친 것으로 판단하였다. 또한 수세효과 측정은 마찬가지로 현상된 필름의 투명 부분을 시약 [물 700 cc + 글라시알 아세트산(glacial acetic acid) 35 cc + 질산화 은(silver nitrate) 7 gm으로 시약 구성 후 1000 cc가 되도록 물을 첨가한 것]에 3분간 침전 시킨 후 약 5초 동안 가볍게 수세하고 농도계로 측정하여 시작 시점과의 차이가 0.07~0.08 이하이면 완전한 수세가 이루어진 것으로 판단하였다. 또한 디지털 pH 측정기(HANNA Hi 8424, Kallang Way Singapore)를 사용하여 현상액, 정착액 그리고 수세액의 pH를 마찬가지로 현상 개시점과 매 25매 마다 그리고 300매 현상 후 각각 측정하였다³⁾.

III. 연구결과

필름을 필름 디지털라이저로 스캐닝(Fig. 1)한 후 각각의 픽셀 값의 합을 구하였을 때 그 각각의 값들은 1,383,532,205에서 1,316,004,478의 범위에 분포하였으며 각각의 필름을 연속적으로 측정하였을 때 측정편차의 굴곡이 심하였고 그 값들의 증감 양상도 일정하지 않았다. 또한 필름의 광학농도 값(log값)과도 일치하지 않는 결과를 보였다.

센시토메터로 농도 계단표를 시작 점을 포함한 매 25매 단위로 얻은 후 각 계단 농도를 농도계로 측정한 후 얻은 특성곡선(Fig. 2)에서 기준 필름과 비교할 때 의미 있는

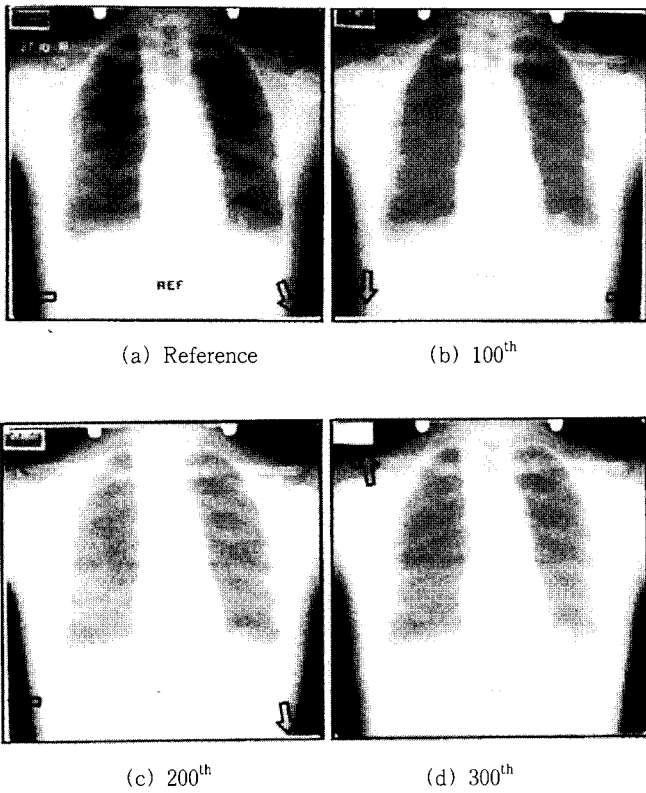


Fig. 1. Scanogram of the radiography of chest phantom by using film digitizer. The summation of digital data of each film density contains irregularly scanned film margins, name tags and letters on the films

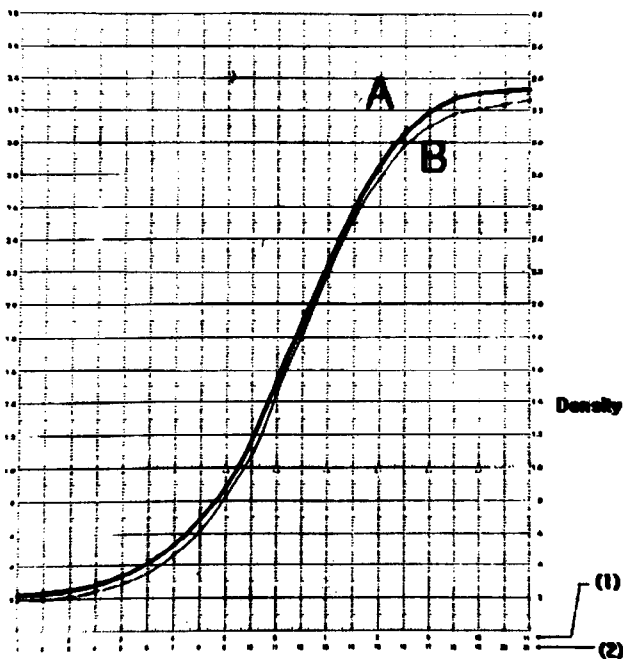


Fig. 2. Characteristic curves of the standard film (A) and the 300th film (B)
 (1) log Relative Exposure 0.30, (2) log Relative Exposure 0.15

표 1. 평균 계조도와 비감도의 변화

	Average gradient	Relative speed
Reference	1.94	100
25 Sheet	1.94	99.13
50 Sheet	1.92	98.26
75 Sheet	1.92	99.13
100 Sheet	1.92	97.39
125 Sheet	1.92	97.39
150 Sheet	1.92	99.13
175 Sheet	1.92	98.26
200 Sheet	1.92	97.39
225 Sheet	1.92	97.39
250 Sheet	1.92	95.65
275 Sheet	1.92	96.52
300 Sheet	1.9	93.04

평균계조도(average gradient)의 허용범위는 ± 0.2
 비감도(relative speed)의 허용범위 $\pm 20\%$

영상의 질 저하는 없는 것으로 판단되며, 이 곡선과 수식에서 기준 필름을 포함한 매 25매 단위 필름들의 평균 계조도 및 비감도(표 1)를 얻었다. 기준 필름의 평균 계조도는 1.94이었으며, 300매제의 필름은 1.90으로써 일차함수적 감소 즉, 대조도의 감소를 보였다. 평균 계조도의 변화를

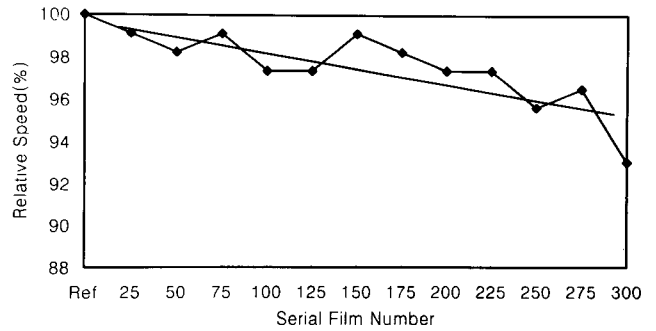


Fig. 3-A. Changes of average gradient.
 Average gradient = $-0.00007 N + 1.937$ (N=serial film number),
 R=0.737

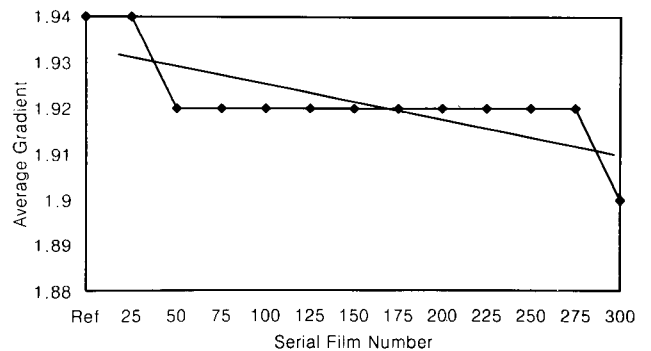


Fig. 3-B. Changes of relative speed.
 Relative Speed = $-0.0513 N + 99.8853$ (N=serial film number),
 R=0.820

선형 회귀분석하여 일차방정식을 구하였을 때 기울기(회귀계수)는 -0.00007이고 y 절편값은 1.937이었으며, 상관계수 R은 0.737, 결정계수 R²은 0.543으로 강한 상관관계(strong relationship)를 보였다.

평균 계조도 = - 0.00007 N + 1.937(N = 필름 현상매수), R = 0. 737(Fig. 3-A)

기준 필름의 비감도를 100%로 하여 비교하였을 때 비감도는 점차적으로 감소하여 300매 현상 후에는 93.04%였다. 비감도의 변화를 선형 회귀분석 하였을 때 기울기는 -0.0153이고 y 절편값은 99.8853이었으며, 상관계수 R은 0.820, 결정계수 R²은 0.673으로 역시 강한 상관관계를 보였다.

비감도 = -0.0153N + 99.8853(N=필름현상매수), R = 0.820(Fig. 3-B)

현상액과 정착액 그리고 수세수를 현상 전, 후 그리고 매 25매 현상 후 디지털 pH 측정기를 사용하여 pH를 측정(표 2) 하였을 때 현상액의 pH는 현상 개시점에서 10.37의 중등도알칼리에서 10.11로 감소하고, 정착액의 pH

표 2. 현상, 정착 보충액 무보충시 현상처리액 pH 변화

	Developer pH	Fixer pH	Water pH
Reference	10.37	4.65	6.5
25매 현상 후	10.36	4.35	6.85
50매 현상 후	10.32	4.43	6.9
75매 현상 후	10.29	4.46	6.93
100매 현상 후	10.24	4.52	6.83
125매 현상 후	10.22	4.53	6.85
150매 현상 후	10.18	4.56	6.79
175매 현상 후	10.17	4.63	6.84
200매 현상 후	10.16	4.66	6.71
225매 현상 후	10.14	4.67	6.76
250매 현상 후	10.12	4.7	6.76
275매 현상 후	10.11	4.77	6.8
300매 현상 후	10.11	4.77	6.78

pH meter:HANNA Hi 8424

자동현상기 현상 Tank용량:21 l, Starter첨가량:220cc/l

표 3. 수세효과 및 정착액 잔존율 측정 결과

	정착액 잔존율	수세효과
Reference	0.19	0.21
25매 현상 후	0.17	0.18
50매 현상 후	0.17	0.221
75매 현상 후	0.17	0.21
100매 현상 후	0.17	0.19
125매 현상 후	0.17	0.19
150매 현상 후	0.17	0.19
175매 현상 후	0.17	0.21
200매 현상 후	0.17	0.2
225매 현상 후	0.17	0.2
250매 현상 후	0.17	0.2
275매 현상 후	0.17	0.19
300매 현상 후	0.17	0.19

는 4.65에서 4.77로 증가하여 현상, 정착액의 노화를 반영하였다. 수세수의 pH는 큰 변화가 없는 것으로 판단하였다. 또한 정착액 잔존율과 수세효과를 시약 측정을 통한 덴시토미터 측정(표 3)에서도 각각 허용범위(정착액 잔존율: 기준 필름 대비 농도차 0.03~0.05 이하, 수세효과: 기준 필름 대비 농도차 0.07~0.09 이하) 내에 있어서 현상 질 관리의 범주 내에 들어 있었다⁴⁾.

IV. 고 찰

현재 많이 사용되고 있는 자동현상기의 현상, 정착액 보충시스템은 사용 시간의 누계에 따라, 사용 시간 및 필름 현상 양에 따라, 혹은 필름의 면적에 따라 보충량을 결정하는 구도이다. 그러나 상기 방법만으로 정착, 보충액의 자동 보충이 될 경우 사지골 촬영에서와 같은 비교적 현상 필름의 흑화도가 높아 현상, 정착액의 피로도가 급격히 증가할 수 있는 경우와 흉부촬영에서와 같은 상대적으로 필름 흑화도가 떨어져 현상, 정착액의 피로도 증가가 적은 경우에 대한 고려가 되지 않는다. 또한 비록 필름 면적에 따라 보충하는 시스템의 경우에서도 필름 삽입 길이만을 적산하므로 실질적인 다양한 크기의 필름 면적에 대한 고려가 되지 않고 있다. 따라서 여러 자동현상기 제조사들은 정해진 프로토콜에 의해 주기적인 필름의 영상 지수 분석을 통한 질 관리를 권고하고 있으나 이 또한 주관적인 방법에 의해서 인위적인 현상, 정착액의 보충이 이루어지거나, 주기적인 점검이 잘 시행되지 않는 상황이다.

자동현상기 정도 관리적 측면의 필름 질 관리에 대한 영상 지수분석 및 보충방법에 대하여는 관련 논문 및 제조회사의 권장사항에 기술이 되어 있으나 이는 보충시스템의 작동하에서의 정도관리로 실제로 현상, 정착 보충액의 보충이 없는 상태에서의 영상 지수 분석에 대한 보고는 없었다. 이 연구는 자동현상기의 현상, 정착 보충액의 보충이 없는 상태에서 영상지수의 변화를 분석하였다.

이 연구에서는 300매 무보충 연속 촬영시 현상, 정착액의 pH 변화는 허용범위 내에 있었으나 방사선 필름의 영상의 대조도 및 민감도를 반영하는 지수들인 평균 계조도와 비감도는 각각 감소와 증가의 변화가 있었다. 또한 이들 영상지수들의 변화는 선형 회귀분석에서 강한 상관관계를 가지는 일차 함수적 변화를 보이고 있어서 간편 화학분석 보다는 광학적인 방법이 예민하고 신뢰성 있는 지수라 생각된다.

필름의 영상 대조도를 나타내는 영상지수인 평균 계조도는 특성곡선에서 두 개의 특정한 필름 농도(흑화도)에서의 경사도를 의미하며, 의학에서 이용되는 방사선 필름의 경우는 base plus fog위의 0.25~2.0 사이의 흑화도 범위에서 결정된다⁵⁾. 필름의 감도를 나타내는 지수인 비감도는 base plus fog보다 1.0 optical density 위의 흑화도를 만드는데 필요한 X-선 조사량을 의미하며, 비감도의 증가는 필름감도의 증가를 의미한다⁴⁾. 이 연구에서 평균 계조도는 일차함수적으로 감소하여서 필름 대조도의 감소를

통계적으로 유의하게 표현하였으며, 비감도(실제 측정값은 정의상의 비감도와 역비례)는 역시 일차함수적으로 일정 비율 증가하는 경향을 보여서 필름 민감도의 저하를 나타냈으며 이 역시 일차방정식으로 표현하였을 때 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었다.

이 연구에서는 특성곡선의 작성 그리고 특성곡선에서 평균 계조도의 측정과정이 모눈종이 위에서 수작업으로 이루어 졌다. 이 결과 평균 계조도 변화의 경우 선형 회귀 분석에서 일차함수적 상관관계가 통계학적 의미($R^2 = 0.543$)가 있었으나 이를 일차함수 관계로 선형 회귀분석을 하였을 때 그 결정계수($R^2 = 0.564$)가 좀 더 의미 있는 값을 보였다. 이는 수작업 측정에 의한 오차(bias)로 생각되며 자동화된 디지털 측정 방법으로 교정될 수 있으리라 기대되며 또한 두 측정치와의 비교를 통하여 실제로 보충 시스템의 지능화에 실용화할 수 있는 디지털 측정 방법에 신뢰성을 재고할 수 있으리라 생각된다.

일반적으로 영상의 질에 영향을 미치는 기술적 요소에 근거한 진단 영상의 질을 예측할 수 있는 객관적인 단일 요인은 알려져 있지 않으나⁴⁾ 상기 영상지수와 함께 화학적 보정을 병행할 경우 보충시스템의 지능화에 이용될 수 있을 것이라 판단된다.

반면, 필름 디지털라이저를 사용한 영상지수, 그 중 필름 흑화도의 합을 계산한 방법은 스캐닝시 불규칙한 필름 주변부의 배경(background)의 포함과 필름 명찰부(name tag) 면적 및 기록문자 등(Fig. 1, arrows)이 흑화도 계산에 포함되어 있기 때문의 하드웨어 그리고 소프트웨어적인 제약으로 예측하기 어려운 증감을 보여서 실질적인 이용에는 제약이 있을 것으로 생각된다. 그러나 디지털 계측 방법은 수작업을 대체하여 실질적인 자동현상기 보충시스템의 지능화에 필수 단계이므로 계단 농도표를 흥부촬영

을 포함한 일반 촬영시 추가하여 매 필름마다 직접 평균 계조도와 비감도의 측정에 응용될 수 있으리라 생각되며 이에 대한 연구가 앞으로 시행되어야 할 것으로 판단된다.

V. 결 론

결론적으로 평균계조도와 비감도 등의 영상지수들이 현상, 정착액의 보충 없이 연속 촬영 시 비교적 일정한 비율로 각각 감소 그리고 증가하는 경향을 보여 상기 작업의 자동화가 이루어짐으로써 자동현상기 보충시스템의 지능화에 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Arthur G. Haus, John E Cullinan : Screen Film Processing Systems for Medical Radiography : A Historical Review, Radiographics 9, 1203-1224,1989
2. Earle L. Kitts : Physics and Chemistry of Film and Processing. The AAPM/RSNA Physics : Tutorial for Residents, Radiographics, 16:1467-1479,1996
3. Joel E. Gray : Technical Aspects of Screen-Film Radiography, Film Processing, and Quality Control. The AAPM/RSNA Physics : Tutorial for Residents, Radiographics 17, 177-187,1997.
4. 박수성, 김건상 외. 진단 방사선 원리: X-선 필름의 사진 특성, 대학서림, 209-227,1985
5. Arthur G. Haus : Measures of Screen-Film Performance. The AAPM/RSNA Physics : Tutorial for Residents, Radiographics 16, 1165-1181,1996