

인간의 시각특성에 의거한 디지털 흉부 X-선 영상의 처리 기법

*.**** 김 종효, ** 박 광석, **민 병구, *** 임 정기, ***한 만청, ****이 충웅

*서울의대 의공학 연구소, **서울의대 의공학교실, ***서울의대 방사선학교실, ****서울대학교 전자공학과

A New Image Processing Method for Digital Chest Radiographs based on Human Visual System

*.**** Jong Hyo Kim, ** Kwang Suk Park, ** Byoung Goo Min, *** Jung Gi Lim, *** Man Cheong Han, **** Choong Woong Lee

*Institute of Medical Engineering College of Med.,
**Dept. of Medical Engineering College of Medicine
***Dept. of Radiology College of Medicine,
****Dept. of Electronics, Seoul National University.

ABSTRACT

In this paper, a new adaptive image processing method based on human visual system has been presented.

The basic idea behind the proposed method is to improve the efficiency of the information transfer channel regionally by manipulating the displayed image in order to compensate the regional inefficiency of the information transfer channel.

The proposed method consists of two parts; the first part reallocates pixel values corresponding to high X-ray attenuation to that of more intense X-ray exposure by multiplying the pixel values with the local adaptive multiplication factor, and the second part adjusts the pixel values of dark area of displayed image such as overexposed lung area to be more bright.

The processed image with the proposed method shows significantly increased visibility of mediastinal and subdiaphragmatic area, and also the lung area of overexposed case without any artifact.

1. 서론

흉부 X-선 촬영은 방사선학 검사중 가장 빈도가 높고 또 흉곽내 병변의 표출에 민감하므로 그 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않으며 많은 질병의 기초적인 진단과정으로 사용되고 있다. 그러나 흉부는 부위별로 X-선 투과율의 차이가 크기 때문에 투과 X-선의 다이내믹 레인지가 대단히 넓어 촬영하기가 까다로운뿐 아니라 촬영된 영상에서 부위별로 너무 어둡거나 밝은 영역이 자주 발생하여 적은 대조도를 갖는 초기병변을 시각적으로 본별하기가 어려운 경우가 많다.

이러한 점은 임상적으로 심각한 문제가 될수 있는데, 폐암등의 X-선 영상상 표출인 노출식별의 경우 최고 판독시 식별가능한 노출의 약 30 X 정도가 처음 판독시 식별치 못한 상태에서 지나치고 있는 실정이어서 가시도가 좋은 흉부 X-선 영상을 획득하는 것이 대단히 중요한 문제로 지적되고 있다^{1).}

최근 디지털 영상기술이 의학영상분야에 성공적으로 적용됨에 따라 흉부 X-선영상에도 디지털 영상 기법들이 도

입되기 시작하였고, 흉부 X-선 영상이 갖고 있는 제약점을 영상처리 기법으로 극복하고자 여러가지 방법들이 제안되어 왔다.

가장 일반적으로 적용되고 있는 방법은 unsharp masking 기법으로서 이는 주파수 성분의 고역을 강조함으로써 극부 대조도를 향상시키는 효과를 가져온다. 그러나 이 방법은 폐 영역에 있는 폐 혈관과 폐 조직, 늑골의 골소조각등과 같은 고역 주파수 성분이 많은 정상 구조물들을 모두 강조시키기 때문에 노즐등의 병변의 가시도(visibility)를 오히려 악화시키는 경향이 있고, 때로 정상구조물이 지나치게 강조되어 병변으로 잘못 인식되는 경우도 유발한다^{2).}

Sezan 등은 이와같은 점을 개선하고자 흉부 X-선 영상에서의 히스토그램 톤값을 이용하여 영상을 폐 영역과 그 밖의 영역으로 구분한후 폐 영역에서는 작은값, 그 외 영역은 큰 값이되는 비 선형 강조계수를 갖는 개선된 적응형 unsharp masking 방법을 제안하였다^{3).}

한편 Sherrier와 Johnson등은 극부 히스토그램 등화 기법을 흉부 X-선 영상에 적용하였는데, 이 방법에서는 폐 영역에서의 지나친 대조도의 증강을 막기 위해 단지 종격동 영역과 횡경막 하부 영역에서만 극부 히스토그램 등화를 실시하였는데, 이때의 영역의 구분은 극부 평균 화소값과 극부 누적 히스토그램을 사용하여 이루어 졌다. 이 방법으로 처리된 영상은 종격동과 횡경막 하부의 영상의 가시도를 훌륭히 증가시키지만 폐 부위의 가시도 향상은 이루어지지 않는다^{4).}

이와같은 흉부 X-선 영상처리 방법들의 기본 목적은 은 흉부 X-선 영상을 진단함에 있어서 진단에 필요한 정보가 도중에서 손실됨이 없이 충실히 전달되게 함으로써 궁극적으로 진단의 정확도를 향상시키는 것이다. 이를 위해서는 촬영과정의 물리적 특성, 그리고 영상 표시기와 사람의 시각 인식계통으로 이어지는 정보 전달경로의 종합적인 체널 특성을 고려한 영상처리가 이루어져야 할 것이다.

이러한 점에서 이제까지 시도되었던 영상처리 방법들은 단순히 영상의 극부 대조도를 증가시키는 점에만 치중함으로써 보다 효과적인 가시도의 개선을 이룩하지 못하였다 하겠다.

본 논문에서는 X-선 촬영과정의 물리적 특성과 영상표시기 및 사람의 시각 인식계통의 특성을 고려하여 X-선 영상의 판독시 진단적 정보의 전달효율을 극대화하도록 하는 새로운 영상처리 방법을 제시한다. 이 방법에서는 X-선 촬영과정의 물리적 특성을 고려하여 종격동과 횡경막 하부위와 같이 중 감쇠된 비임에 노출된 영상에 대해서는 극부적으로 증강된 X-선 비임으로 촬영된 것처럼 최소값을 재 할당함으로써 이 영역에서의 극부 콘트라스트의 증가와 함께 다이내믹 레인지의 축소효과를 얻고, 또한 부분적으로 너무 강한 비임에 노출된 폐 영역등의 영상에 대해서는 사람의 시각 인식계통의 시별특성에 적절한 밝기를 갖도록 밝기를 재조정함으로써 종격동이나 횡경막 하부위뿐 아니라 폐 영역의 가시도를 개선 한다. 이 방법으로 처리된 영상은 전 부위에 걸쳐서 그 가시도가 개선될 뿐 아니라 기존의 방법으로 처리된 영상에 비해 시각적으로 자연스러워 보임으로써 정상적인 구조물의 오인도 방지 할 것으로 여겨진다.

II. 이론

1. 흉부 X-선 영상의 물리적 특성

흉부 X-선 영상은 본질적으로 X-선에 대한 흉부의 2차원적인 투과특성을 나타낸 것이며, 진단자가 이로부터 진단에 유용한 정보를 최대한 효율적으로 추출하도록 돕는 것이 영상처리의 목적이다. X-촬영시 검출기 평면에 대한 흉부의 투과율은 흉부각 부위의 감쇠계수와 X-선 진행방향에 대한두께, 그리고 입사 X-선의 에너지등과 관련되는데, X-선이 단일 파장을 갖는다고 가정했을 경우 식(1)과 같이 나타내어진다.

$$T(x,y) = \exp(\alpha(x,y)) \text{-----}(1)$$

$$\alpha(x,y) = -\int \mu(x,y,\ell) d\ell$$

여기서 ℓ 은 X-선 진행방향의 축이며 μ 는 투과 진행방향의 경로에 있어서 각 점의 총 감쇠계수이고, α 는 각위치에서의 투과지수이다.

전형적인 흉부의 부위별 감쇠지수의 분포5,와, 이 범위의 감쇠지수에 대한 필름 디지털이저6, 및 광전검출식 디지털 촬영시스템의 계조도 응답특성7,을 그림 1의 (a), (b)에 각각 보였다.

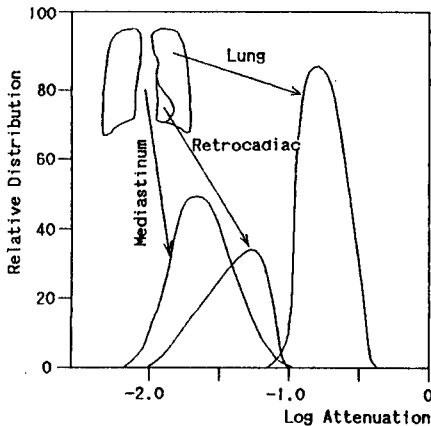


그림 1(a)
Fig. 1(a)

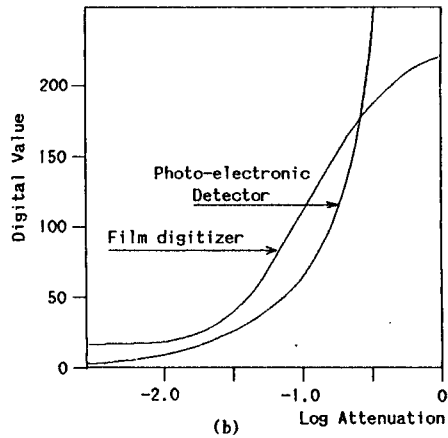


그림 1. 전형적인 흉부의 부위별 투과지수의 분포(a)와 이 범위의 투과지수에 대한 필름 디지털이저 및 광전검출 방식 디지털 촬영시스템의 계조도 응답특성(b).

Fig. 1. The distribution of log transmission of typical chest(a) and grey level response of film digitizer and photo-electronic digital imaging system for that range of log transmission.

두가지 경우 모두에 있어서 투과지수가 큰 부분에 대해서는 비교적 감도가 크고, 투과지수가 작은 부분에 대해서는 비교적 낮은 감도를 갖고 있는 것을 알 수 있다.

흉부의 어떤 부위에 병변이 발생했을시 그 부위에는 병변에 의한 투과지수의 변화 $\Delta\alpha$ 가 생기는데 이 변화량은 발생부위에 관계없이 일정하다고 볼 수 있다. 그런데 X-선 영상에서 폐영역은 횡경막하 또는 심장후위등과 같이 중 감쇠된 부분에도 겹쳐보이므로 이 부분에 병변이 발생한 경우 이에 의한 투과지수의 변화량은 촬영된 X-선 영상에서 더 작은 계조도의 변화를 일으키며 결과적으로 검출률이 저하될것을 짐작할수 있는데, 임상적으로 이와같은 일은 자주 발생한다.

2. 영상표시기 및 인간의 시각인식 특성

흉부 X-선 영상의 정보 전달경로에 있어서 그 최종적인 연결은 영상표시기와 시각계통의 사이에서 일어난다. 현재 디지털 영상의 표시기로는 음극선관 모니터가 가장 널리 쓰이고 있는데 디지털 흉부 X-선 영상의 표시에 사용되는 고 해상도 음극선관 모니터의 휘도 응답 특성의 일례를 그림 2에 보였다. 사용된 음극선관 모니터는 필립사의 모델 FEB90인 고해상도 모니터이며 1024 x 1280의 해상도를 표시할수 있고 순차 주사방식으로 초당 60프레임을 주사한다.

그림에서 보이는 바와 같이 음극선관의 전압-전류 특성으로 인하여 누승의 응답특성을 가지며 그 지수 값은 대체로 2보다 약간 높은 정도이다. 따라서 음극선관 모니터는 입력 계조도 값이 클수록 높은 밝기 차이를 갖도록 반응한다는 것을 알 수 있다.

시각계의 감지특성에 관하여는 많은 연구가 진행되어 있으나 여기서는 그중에 흉부 X-선 영상의 관찰에 관련된 것

만족 삼피기로 한다. 시각계의 감지특성에 관한 가장 오래된 연구중의 하나는 배경휘도에 따른 휘도차 본간특성에 관한 것으로서8, 그림 3에 나타난 바와 같이 사람의 시각계통은 배경휘도가 10mL 정도로 적당히 밝은 곳에서는 감도도 높고 일정한 수준으로 유지되지만 배경휘도가 그 이하로 어두워지면 감도가 급격히 떨어진다.

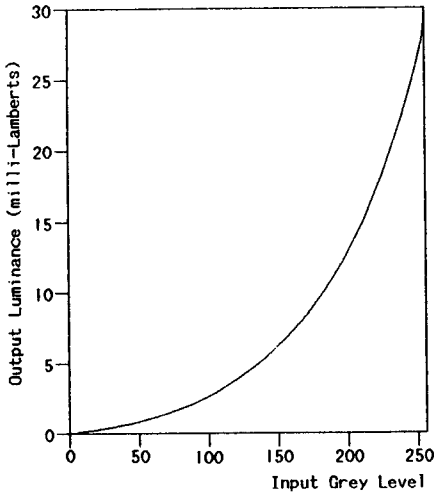


그림 2. 고해상도 음극선관 모니터의 휘도응답특성의 일례.

Fig. 2. An example of luminance response of high resolution CRT monitor.

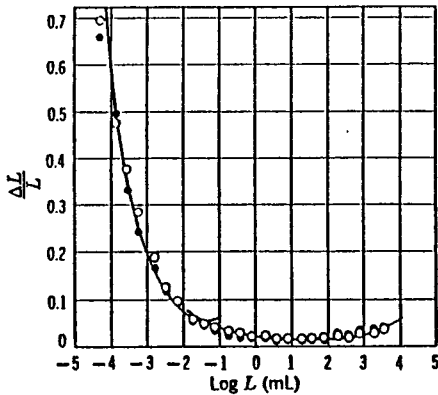


그림 3. 배경휘도에 따른 사람의 휘도차 본간 곡선 (Hecht의 결과를 따랐음).

Fig. 3. Human brightness discrimination curve for various background luminance(after Hecht).

그림 2에서의 모니터의 휘도 응답특성과 그림 3과 같은 시각계의 감지특성을 종합한 인식특성을 알아보기 위한 실험을 수행하였는데 그 자세한 내용은 다른 문헌에 기술 것이며 여기서는 그 결과만을 그림 4에 표시한다. 단 이때의 식별 목표물은 직경 1 cm의 원이었다.

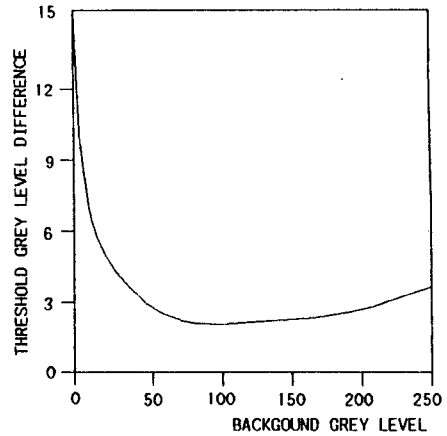


그림 4. 음극선관 모니터에 표시된 직경 1 cm의 목표물 본간실험결과. 수평축은 배경계조도를 나타내고 수직축은 목표물과 배경과의 계조도차이를 나타낸다.

Fig. 4. The experimental result about visual discriminability of 1 cm round target displayed on CRT monitor. Abscissa represents background grey level, and ordinate represents grey level difference between grey levels of target and background.

그림 4에서 음극선관 모니터에 영상을 표시할 경우 인간의 시각계는 계조도 50 미만의 낮은 계조도의 배경하에서는 그 감지특성이 상당히 열화됨을 알 수 있다.

다음으로 인간시각계는 안구의 광학계에서 발생하는 광본산으로 인해 배경의 밝기차이가 큰 부분에서는 어두운 쪽에 해당하는 광수용세포의 감도가 떨어지는 현상을 보인다. 그림 5에 이에관한 Baxter등의 시각인식 실험결과9, 를 보았다.

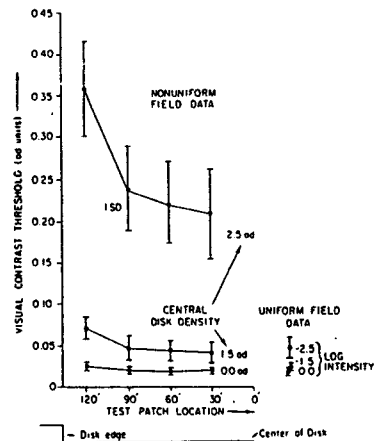


그림 5. Baxter 등에 의해 행해진 불균일한 배경상에서 어두운 쪽에 해당하는 광수용세포의 감도저하를 보여주는 실험결과.

Fig. 5. The results of psychophysical experiment by Baxter et al. showing desensitization of photoreceptor cell corresponding to dark part in non uniform background.

3. 제안된 영상처리기법

이상의 결과들로부터 흉부 X-선영상이 음극선관 모니터에 표시되었을 경우 다음과 같은 문제가 발생함을 알수 있다.

1) 종격동이나 횡경막하 등과 같이 투과지수가 작은 부분에 대해서는 검출기의 응답특성 및 시각계의 감지특성에 의해 이중적인 정보의 전달효율의 저하요소가 발생함으로 인해 이 부위에 대한 가시도가 상당히 저하되며 따라서 이 부위에 대한 질병의 진단이 곤란하게 된다.

2) 폐 영역에 대해서는 부분적으로 투과지수가 아주 높거나 또는 전체적으로 노출량이 컸을 경우 이 부분에 대한 음극선관 모니터의 응답특성의 불량으로 인해 정보전달효율이 저하되고 따라서 이 부위에 대한 가시도 및 진단효율이 낮아진다.

3) 표시된 영상에서 폐 영역과 주변영역과의 밝기차이가 큰 경우 폐영역 특히 인접부위의 가시도가 저하되는데 이러한 효과는 신체가 비만할수록 폐 영역과 주변영역과의 투과도의 차이가 커짐으로써 더욱 커진다.

따라서 흉부 X-선 영상의 처리는 위와같은 경우 저하되는 정보전달의 효율을 개선할수 있도록 설계되어야 한다. 본 논문에서 제안된 영상처리기법은 위와같은 문제를 해결하기 위하여 다음과 같은 목표를 두고 설계되었다.

a) 종격동등 증강된 부위에 대해서는 선별적으로 강화된 X-선 비임에 노출된 것과 등가한 영상을 얻도록 함으로써 이 부위에 대한 가시도의 개선과 함께 폐영역과의 밝기의 차이를 줄인다.

b) 폐 영역중 노출이 심한 부위에 대해서는 선별적으로 그 밝기를 증가시킴으로써 가시도를 개선한다.

c) 처리된 영상은 정상구조물의 병변으로의 오인을 유발하지 않도록 시각적으로 자연스러워야 한다.

제안된 영상 처리기법의 수학적 표현은 식(2)와 같다.

$$G'_{i,j} = A_{i,j} \cdot F'_{i,j} + B_{i,j} \quad \text{-----}(2)$$

$$F'_{i,j} = 255 - F_{i,j}$$

$$G'_{i,j} = 255 - G_{i,j}$$

$$A_{i,j} = k_1 \exp(-c_1 F'_{i,j}) + b$$

$$B_{i,j} = k_2 \exp(-c_2 F'_{i,j})$$

위식에서 $F_{i,j}$ 와 $G_{i,j}$ 는 각각 원 영상 및 결과 영상의 1번째 열, j번째 행 화소의 계조도이며, $F'_{i,j}$ 와 $G'_{i,j}$ 는 각각의 계조도가 투과선량에 대해 단조 증가하는 값을 갖도록 하기 위해 반전된 값이다.

$A_{i,j}$ 와 $B_{i,j}$ 는 각각 위의 (a), (b)문항의 효과를 얻어 내도록 하는 증강 계수 및 바이어스 항이며 $F'_{i,j}$ 는 $F_{i,j}$ 에 대해 극부평균을 취한 것으로서 영상의 개선이 극부적인 투과특성에 따라 적응적으로 이루어지도록 한다.

$A_{i,j}$ 는 약한 강도의 X-선에 해당하는 계조도에 대해 최대 k_1 배의 증강을 시켜주며 그 증강의 정도는 입사강도에 따라 지수적으로 감소하여 적정수준 이상의 입사강도에 해당하는 계조도에 대해서는 그 값이 1로 유지되어 영향을 미치지 않는다. c_1 은 이 증강계수의 감소곡선의 경사를 기술기를 결정짓는 지수이며 b 는 증강계수의 최저치가 1로 유지되도록 한다.

바이어스 항 $B_{i,j}$ 는 과노출된 강도에 해당하는 계조도에 대해 시각적으로 적절한 밝기를 유지할수 있도록 최대 k_2 만큼 이동을 시켜주며 그 이동의 정도는 지수함수적으로 감소하는데 그 감소의 경사는 c_2 에 의해 결정된다.

III. 실험 및 결과

본 연구에서 사용한 영상은 서울대학교 병원에 설치된 DR-1000 디지털 흉부 X-선 촬영기로 획득한 것인데, 이 디지털 흉부 X-선 촬영기는 본 연구진에 의해 자체 개발된 것으로서 광전 검출소자를 사용한 선주사식 촬영기이다.

이 시스템의 최대해상도는 1024 x 1024 이나 본 연구에서는 그중 중요부위 800 x 700만을 위한 영상을 사용하였다. 이와같이 획득한 디지털 영상을 식(2)와 같은 방법으로 처리하여 고해상도 모니터에 표시하였다. 영상처리에 사용된 컴퓨터는 PC/386기종으로서 25MHz clock을 사용하고 387 부동소수점 연산처리기를 내장하고 있는 것이었다.

프로그램은 DR 시스템의 운용을 위하여 Turbo-C를 사용하여 자체 개발한 'DRPRO' 라고 명명된 패키지에 포함된 영상처리 모듈을 사용하였는데 위의 각 파라미터를 조절할수 있으며 관심부위만을 따로 처리하여 비교해볼수 있도록 되어있다. 영상처리에 소요되는 시간은 20 초 내외로서 그다지 지루함을 느끼지는 않았다. 각 파라미터를 조절하여 관찰해본 결과 k_1, k_2 는 각각 5와 0.75가 적당했으며 b 는 0.9998, 그리고 c_1, c_2 는 각각 0.04와 0.0067이 적절했고 극부평균의 창의 크기는 25 - 50사이에서 크게 차이가 없었는데 본 논문에 제시된 영상들은 모두 창의 크기를 35로 놓은 것이다.

그림 6의 (a), (b)에 정상인에 대한 원 영상 및 처리영상의 예를 보였다. 종격동과 심장후위 그리고 횡경막하 부위등에서 뚜렷한 가시도의 개선을 볼수 있으며 그 효과는 각 영상의 하단에 표시된 계조도의 선도에서 뚜렷이 나타난다. 그러나 적절히 노출된 폐 영역에는 거의 영향을 주지 않고 있음을 알수 있는데 이는 영상의 자연스러움을 유지하는데 좋은 효과를 주고 있다.

그림 7의 (a), (b)에는 오른쪽 폐에 결절을 가진 환자의 원 영상 및 처리영상을 보였다. 원 영상에서는 과다노출로 인해 폐영역의 가시도가 전반적으로 좋지 않으나 처리영상에서는 종격동뿐만 아니라 폐 영역에서도 모두 가시도가 개선되었고 오인을 유발할만한 부작용스러움도 없었다.

그림 8의 (a), (b)에는 오른쪽 폐에 전반적으로 이상이 있는 환자에 대한 원 영상 및 처리영상을 보였다. 폐 영역과 종격동 모두에서 가시도가 개선되었고 폐 영역의 전반적인 이상도 쉽게 인식할수 있었다. 특히 우측상부 폐영역에서 침식된 부분내부의 세부적인 구조물의 가시도의 증가는 주목할만 하다.

IV. 고찰

이상과 같은 실험결과로부터 제안된 영상 처리기법은 종격동과 심장후위 그리고 횡경막 하부위등과 같이 증강된 영역과 과다 노출된 폐영역에 대해 훌륭한 가시도의 개선을 이룩하는 것을 알수 있었으며 처리후에도 영상의 자연스러움을 유지함으로써 관찰자에게 거부감을 주지 않으며 정상구조물의 오인효과도 적을 것으로 판단되었다.

그러나 이와같은 효과가 진단에 미치는 영향에 대한 객관적인 평가를 위해서는 다수의 임상례에 대한 ROC(receiv-

ver operating characteristic) 테스트 등을 통한 통계적인 검증이 뒤따라야 할 것이며 이에 관한 실험도 앞으로 실시할 계획으로 있다.

V. 결론

디지털 흉부 X-선 영상의 진단효율의 개선에 도움이 될 수 있는 영상처리 기법을 개발하기 위하여 영상촬영과정의 물리적 특성과 영상표시기의 특성과 시각계의 인식특성을 고찰하였으며 이에 기초하여 정보전달의 효율을 극대화 할 수 있는 영상처리 기법을 제안하였다. 제안된 방법에 의해 처리된 영상은 종격동등 중감쇠된 영역과 과다노출된 폐 영역 모두에 대해서 가시도가 개선되었을 뿐 아니라 다이내믹 레인지의 축소에도 불구하고 그 자연스러움이 유지되고 있음을 알 수 있었다.

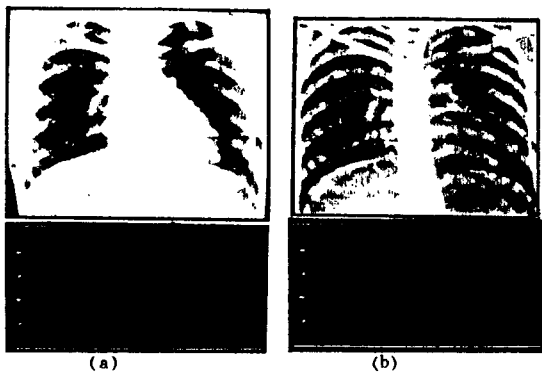


그림 6. 전형적인 흉부 영상에 대해 제안된 방법의 영상처리 효과를 보여주는 예. 원 영상(a)에 비해 처리된 영상(b)에서 종격동과 횡경막하 부위에 대한 가시도가 뚜렷이 개선되었다. 영상의 하단에 표시된 계조도의 선도는 이와같은 개선효과를 잘 보여주고 있다.

Fig. 6. Demonstration of image processing effect of the proposed method for a typical chest image. The improved visibility of mediastinum and subdiaphragm in the processed image(b) is notable compared to the original one(a). The line plots of grey levels in the lower part of images demonstrates this effects.

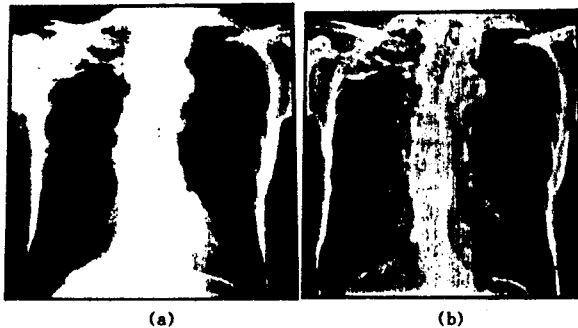


그림 7. 과다 노출된 영상에 대해 제안된 방법에 의한 영상처리의 효과를 보여주는 예. 원 영상(a)에 비해 처리된 영상(b)에 있어서 폐 영역에 대한 가시도의 개선이 인상적이다.

Fig. 7. An example showing the image processing effect of the proposed method for an overexposed image. The increased visibility of the lung area of the processed image(b) is impressive compared to the original one(a).

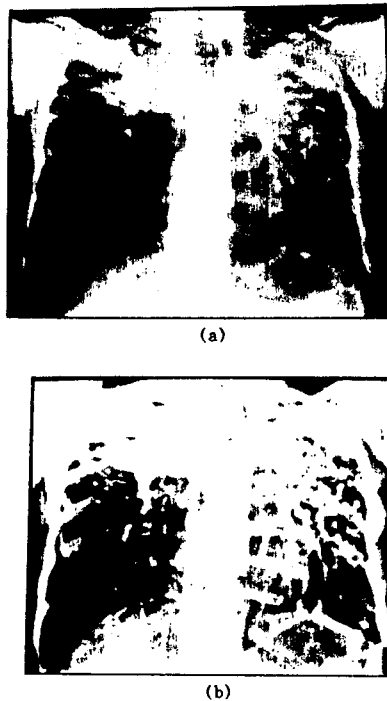


그림 8. 좌측 폐 영역에 전반적인 이상이 있는 환자의 원 영상(a)과 처리한 영상(b). 좌측 폐 상부의 세부 구조물들이 더 잘 보이고 전반적인 폐의 이상도 인식할 수 있다.

Fig. 8. The original(a) and processed image(b) of a patient having diffuse lung disease in the left lung. The small structures in the upper area of the left lung are well visualized in the processed version. And the overall change in the lung can also be perceived.

* 참고문헌

1. L.W. Guiss and P. Kuentler, "A retrospective view of survey photofluorograms of persons with lung cancer", *Cancer*, vol. 13, pp.91-95, 1960.
2. G.Revesz and H.L. Kundel, "The psychophysical studies of detection error in chest radiology", *Radiology*, vol.123, pp.559-562, 1977.
3. M.Ibrahim Sezan, A.Murat Tekalp, Ralph Sxhaetzing, "Automatic anatomically selective image enhancement in digital chest radiography", *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol.8, pp.154-162, 1989.
4. Robert H. Sherrier, G.A. Johnson, "Regionally adaptive histogram equalization of the chest", *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol.6, pp.1-7, 1987.
5. H.E.A.S.J.Lemmers, L.J.Schultze Kool, H.Van Elburg, R.Van Metter, "Low frequency transmission of the chest in an out-patient population: Implications for the AMBER imaging system", *SPIE* vol.1231, pp.437-441, 1990.
6. Bruce.R.Whiting, Edward Muka, Thomas E.Kocher, Michael J.Flynn, "High-resolution, high-performance radiographic film scanner", *SPIE* vol.1231, pp.295-305.
7. 김종효, 이태수, 박광석, 한만청, 이충용, 민병구, "디지털 X-선 촬영 시스템의 영상 및 물리적 특성 분석", 전자공학회 논문지, 제 26권, 제 7호, 1989.
8. Hecht.S, "A theory of visual intensity discrimination", *J. gen. Physiol.*, 1935, 18, pp.767-789.
9. Brent Baxter, H.Ravindra, R.A. Norwamm, "Changes in lesion detectability caused by light adaptation in retinal photoreceptors", *Invest. Radiol.*, vol.17, pp.394-401, 1982.