

골밀도 측정을 위한 Digital X-Ray 영상 처리 방법

한기서* · 염진수* · 류광렬* · 허창우*

*목원대학교, IT공학과

Digital X-Ray Image Processing Method for Bone Mineral Density Measurement

Ki-seo Han* · Jin-su Yeom* · Kwang-ryol Ryu* · Chang-wu Hur*

*Mokwon University, Dept. of IT Engineering

E-mail : chang@mokwon.ac.kr

요 약

골다공증은 해면골의 골소주 두께 감소 및 파단에 기인한 전체적인 골질이 저하되는 질병이다. 골다공증을 예방과 조기진단을 하기 위해서는 골밀도를 측정하여야 한다. 보다 나은 이미지를 얻기 위해 Digital X-Ray로 골밀도를 측정하여 영상 처리하기 위한 방법을 제시한다. 먼저 디지털 센서에서 증감지와 렌즈간 거리가 가까워서 증감지의 중심과 주변부의 광 경로차이가 발생하므로 왜곡이 발생하는데 이를 균일화하여야 한다. 그리고 X-Ray장비의 조건에 따라 영상에 많은 차이를 보이므로 영상의 밝기를 보정하는 과정이 필수적이다.

키워드

Digital X-Ray영상진단, Gray Level, 골밀도 진단, 골다공증

I. 서 론

고령화의 증가로 인하여 골다공증 환자는 계속 늘어나고 있으나 아직까지 확실한 치료방법이 없으므로 조기 진단에 의한 골다공증의 예방이 더욱 중요시되고 있다. 이러한 골다공증은 해면골과 소주골의 두께 감소 및 파단에 기인하여 전체적인 골질이 저하되는 질병이다. 즉, 이것은 대사성 골질환의 일종으로 골 형성의 감소 및 골 흡수의 증가로 골량의 전반적인 감소를 일으키는 질환으로 일단 발병하고 나면 가벼운 충격에도 쉽게 골절이 발생하는 것으로 해면골 및 피질골이 모두 감소되는 고령층, 해면골의 감소가 주로 발생하는 폐경 후의 여성, 칼슘의 양이 적은 임산부에게 많이 나타나고 있는 질병이다.

골다공증의 진단을 위해서는 골량을 측정해야 하는데 이때 사용되는 방법이 골밀도측정이다. 즉 골밀도 측정이란 일정한 부피 내에 있는 뼈의 밀도를 측정하는 방법인데, 이를 위해서는 뼈의 기질과 양과 칼슘의 양을 모두 측정하여야 한다. 밀도측정기로 소주와 피질골을 동시에 측정하는 것이 가능하고, 뼈의 무기질 밀도를 확인하고, 더 나아가 골질의 위험성까지 예견하고 골다공증 치

료의 성공여부를 확인하기 위해 뼈의 밀도 변화들을 측정한다. 밀도 측정하는 방법은 초음파 및 SPA (single-photon absorptiometry), DPA(dual-photon absorptiometry), DXA(dual-energy X-ray absorptiometry), QCT(quantitative computerized tomography) 기본적인 기술들이 개발되어 활용하고 있다.

본 논문에서는 골다공증 진단을 위하여 보다 정확한 골밀도 영상을 획득하기 위해서 CCD 카메라로 촬영된 X-Ray 센서 영상의 처리방법을 서술하고자한다.

II. Digital X-Ray 센서 영상 균일화 방법

증감지와 렌즈 간 거리가 가까워서 증감지의 중심과 주변부의 광 경로차이가 발생한다. 따라서 CCD에 잡힌 영상의 밝기에 있어 위치에 따른 왜곡이 생긴다. 즉, CCD 중심부가 상대적으로 어둡게 표시되고, 주변부는 밝게 표시된다.

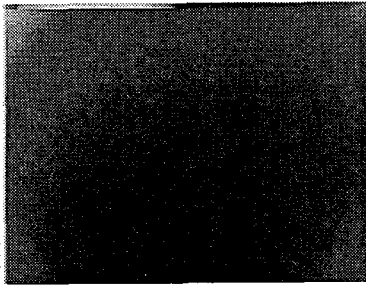


그림 1 디지털 센스 영역

기본적으로 센서는 선형 광학이 적용될 구조로 되어있어 밝기 왜곡을 보정하는 것은 어렵지 않다. 먼저, 위 그림에서 중심을 가로지르는 횡단선을 따라서 그레이레벨(Gray Level)을 도시하면 아래 그림과 같다.

몇 가지 kVp 조건(48, 50, 52kVp)으로 촬영한 결과를 도시하였다. x-축은 횡단선의 픽셀 인덱스이고, y-축은 그레이레벨(Gray Level)이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 조건에서 중심부와 주변부의 그레이레벨 차이가 크다.

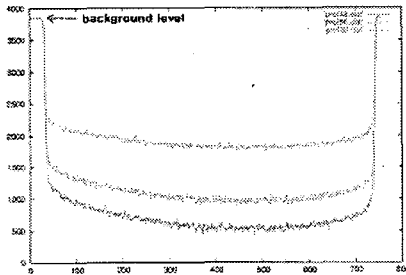


그림 2 각 조건별 그레이 레벨 프로 파일

왜곡을 보정하기 위해서는 모든 그레이레벨 프로파일을 일의적인 방법으로 적절히 변환하여 일치시킬 수 있어야 한다.

그러므로 먼저 각 프로 파일을 평행이동 하는 것이다. 그러나 위 그림에서 보는 바와 같이 평행 이동만으로 모든 프로파일을 일치시키기가 어렵게 되어있다. 증감지 영상이 전체적으로 밝아지거나 어두워지면 CCD 영상도 그것에 비례하여 밝아지거나 어두워진다.

그래서 CCD 영상 간 BL(Background Level)을 서로 맞추고, 각 CCD 영상에서 BL(Background Level)과 그레이레벨의 차이를 전체적으로 조절하면 모든 영상의 그레이레벨 프로파일을 일치시킬 수 있는 가능성이 있다.

III. 골밀도 측정을 위한 영상 보정 방법

단순 엑스선 촬영은 고정된 엑스선 방출 조건에서도(kVp 및 mA 조건)엑스선 장비의 안정성, 노출시간, 필름 종류, 증감지 종류, 현상조건 등의 변화에 의하여 제공하는 엑스선 영상의 특성에 있어서 많은 차이를 보인다.

따라서 단순 엑스선 촬영을 이용하여 골밀도를 정량적으로 측정하기 위해서는 엑스선 영상의 밝기(Gray Level)를 보정(Calibration)하는 과정이 필수적이다. 엑스선 영상을 보정하기 위하여 사용되는 엑스선 촬영용 팬텀 제작하여 엑스선 영상을 보정하기 위한 것이다.

엑스선 영상의 각 픽셀은 엑스선이 그 위치에 도달하기까지 신체 조직에 의하여 흡수된 엑스선 양에 의하여 결정되는 그레이레벨로 이루어져 있다.

따라서 엑스선 영상의 그레이레벨은 엑스선 촬영조건, 엑스선경로상의 신체조직의 성분, 두께, 분포 등에 의하여 결정된다. 그러나 엑스선촬영 조건 및 센서조건이 항상 일정하게 유지되는 것은 아니기 때문에, 동일한 신체부위라 할지라도 얻어진 엑스선 영상의 밝기는 다를 수 있다.

즉, 엑스선 영상의 각 픽셀의 그레이레벨은 흡수된 엑스선량에 대한 절대정보를 제공하지 못한다. 따라서 획득한 엑스선 영상의 그레이레벨로부터 골량의 정량적 정보를 얻기는 어렵다.

그러므로 그레이레벨의 정량화를 위한 적절한 팬텀을 제작하고, 제작된 팬텀을 이용하여 엑스선 영상을 보정하는 과정을 거쳐서 그레이레벨을 정량화 하고, 이로부터 골량을 정량화해야 한다. 팬텀은 병원의 일상적인 용골 촬영조건, 팬텀에 의한 엑스선의 흡수 및 산란 조건, 팬텀 제작의 기술적 한계, 팬텀 제작비용, 팬텀을 이용한 엑스선 영상 보정 소프트웨어의 제작 용이성 등을 종합적으로 고려하여 제작하여야 한다.

IV. 결과 및 고찰

1. Digital X-Ray 영상 균일화

먼저 피사체가 없는 X-Ray 영상으로(그림 1) 각 조건별 Gray level의 프로파일을 나타내보았다(그림 2). CCD영상간의 Background level을 맞추고 CCD영상에서 gray level과 Background level의 차이를 조절하면 아래 그림과 같이 Gray level 프로파일을 일치시켰으므로 이를 바탕으로 센서 영상을 균일화하는 방법을 쉽게 찾을 수 있다. 먼저 피사체가 없는 상태에서 엑스선 촬영을 실시하여 기준 엑스선 영상을 얻은 후 이 영상으로부터 그레이 레벨의 균일화를 위한 Scale 함수 $S(x, y)$ 를 얻는다:

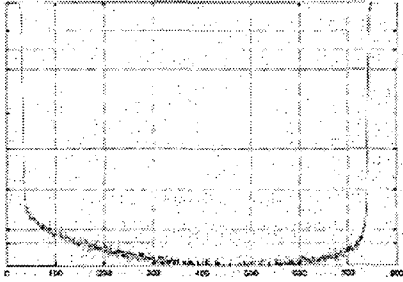


그림3. 그레이레벨 프로파일 일치화

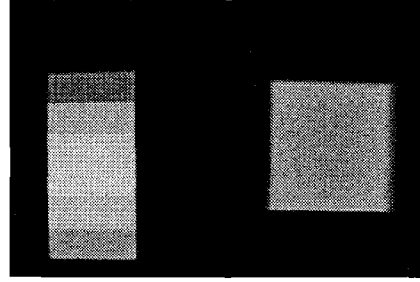


그림 5 엑스선 영상

그런 다음 영상을 확인해본 결과 아래 그림과 같이 불균형성이 없어지는 것을 볼 수 있었다.

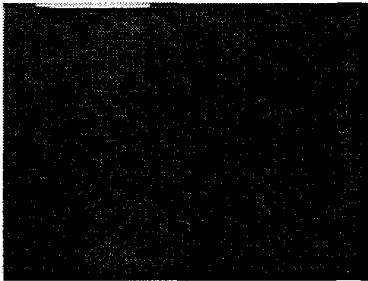


그림4. 균일화한 디지털 센서 영상

엑스선 영상 보정용 팬텀의 높이를 크기 순서로 나열하였다.

- 0단계 : 0.00mm
- 1단계 : 3.00mm
- 2단계 : 5.00mm
- 3단계 : 7.00mm
- 4단계 : 9.00mm
- 5단계 : 11.00mm
- 6단계 : 13.00mm

팬텀의 각 단계에서 평균 그레이레벨을 측정하여 각 단계의 평균 그레이레벨을 사각형으로 도시하였다.

0 단계의 평균 그레이레벨은 팬텀 주위의 백그라운드 레벨을 측정하여 설정하였다.

여기서는 12-비트 그레이레벨 영상을 가정하기로 한다.

2. 골밀도 측정을 위한 영상 보정

(1) 요골용 팬텀 제작 방법

일반적으로 엑스선용 팬텀은 알루미늄이나 골염 등가 물질을 이용한다. 팬텀의 최대 두께는 엑스선 촬영할 부위에 의하여 흡수되는 최대 엑스선량이 팬텀에 의하여 흡수되는 최대 엑스선량보다 약간 적게 되는 선에서 결정하면 된다. 팬텀의 최대 두께가 너무 크면 상대적으로 골영상의 변별력이 줄어든다.

반면, 팬텀의 최대 두께가 너무 작으면 영상의 최대 밝기가 팬텀 영상을 이용하여 보정할 수 없는 영역으로 진입한다. 요골용 엑스선 팬텀의 최대 두께를 결정하기 위하여 기존의 엑스선 촬영결과를 분석해보면 알루미늄 팬텀의 최대 두께를 13.00mm로 설정하는 것이 적당함을 알 수 있다.

요골 촬영용 엑스선 센서의 크기는 4*5"이다. 여기서는 사용자 편의성과 엑스선 영상처리의 효율성을 고려하여 아래 그림의 좌측 나타나 모양의 알루미늄 팬텀을 제작하여 사용한다.

팬텀 밑면의 직사각형이며 크기는 30mm* 60mm이다.

팬텀은 6개의 계단으로 가공한다.

(2) 엑스선 영상 보정 방법

팬텀과 아르킬을 동시에 촬영한 엑스선 영상을 그림에 나타내었다.

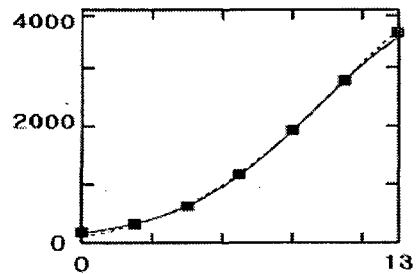


그림6. 팬텀 그레이레벨 프로파일

일반적으로, 엑스선 영상을 보정할 때, 각 픽셀의 그레이레벨을 읽은 후 그 값에 해당하는 팬텀 두께를 찾아내는 과정을 거친다. 이렇게 하기 위해서는, 임의의 팬텀 두께에 해당하는 그레이레벨을 알아야 한다. 이를 위하여 7개의 이산 데이터를 적절한 연속 함수로 만들어야 한다. 그러나 정확한 모형함수의 형태는 알 수가 없으므로 최대한 비슷한 경향을 갖는 함수를 사용한다. 팬텀의 두께가 증가하면서 평균 그레이레벨의 증가율은 0에서부터 점점 커지다가 최종적으로는 다시 줄어서 0으로 수렴하는 경향을 보여 준다. 이러한 경

향을 보이는 함수중의 하나가 탄젠트 하이퍼볼릭 (tanh) 함수이다. 따라서 여기서는 모델함수로서 다음과 같은 탄젠트하이퍼볼릭 함수를 사용한다.

$$f(t) = a + b \cdot \tanh(ct + d)$$

여기서 t 는 팬텀의 두께(mm 단위), a , b , c , 와 d 는 피팅 매개변수이다. 이후, 매개변수를 설정하기 위하여 7개 데이터를 상기 함수에 피팅한다. 이 방법에 의한 엑스선 영상의 보정결과를 아래 그림에 나타내었다. 영상 보정의 영향으로 전체 영상의 밝기가 많이 변화하였다.

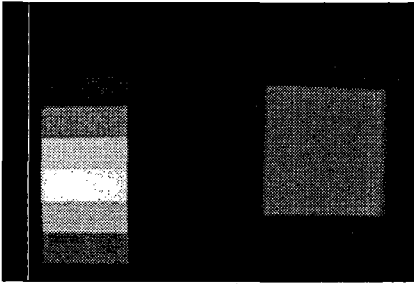


그림 7 보정 후 엑스선 영상

V. 결 론

본 논문에서는 Digital X-Ray 로 골밀도 영상을 획득하여 보았다. 보다 정확한 골밀도 측정을 위하여 획득한 영상을 균일화 하고 그 영상을 보정하는 방법을 제시하였다.

Gray level과 Background level을 일치시킴으로 영상이 균일하게 되었다. 또한 영상을 보정할 때 필요한 요골용 알루미늄 팬텀을 제작하여 보았고, tanh을 사용하여 데이터를 피팅한 결과 보다 나은 영상을 획득하게 되었다.

향후 Digital X-Ray 영상의 디지털화는 자료를 전산화, 정보화 하는데 매우 유익하고 여기에 영상의 대조도 증강과 경계 강조 등 여러 가지 영상처리기법을 적용함으로써 미세 음영의 가시도 개선과 정량적인 측정과 분석 등에 따른 진단 능력의 향상을 기대할 수 있다.

또한 디지털 X-Ray 영상 진단기기는 영상획득부의 감도를 별도로 최대화함으로써 우수한 화질을 얻을 수 있어 신체의 피폭량을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 영상의 획득, 저장, 전송, 표시 등을 일원적으로 관리하는 PACS의 개발과 발달에 따라 획득된 영상을 실시간으로 컴퓨터에서 관리할 수 있으므로 효율적으로 병원 내 진료의 질적 향상을 가져 올 수 있다.