

방사광 X-선을 이용한 고해상도 영상획득과 응용

* 연세대학교 BK21의과학사업단, † 진단방사선과학교실, † 방사선의과학연구소,
‡ 포항공과대학교재료공학과

홍순일*†, 김희중*††, 정해조††, 홍진오*†, 정하규*†
김동욱*†, 제정호‡, 김보라‡, 유형식††

물질의 X-선 흡수도에 의해 영상을 얻는 일반 X-선 시스템과 달리 방사광 X-선은 위상이 일치하고 평행하며 진동방향이 일치하는 특성들을 이용하면 고 분해능, 고 대조도의 투사영상을 얻을 수 있다. 국내에서는 포항 방사광 가속기 연구소에 최근 건설된 5C1 빔라인에 미세구조 X-선 영상 획득을 위한 영상시스템을 구축하여 여러 기초 생물, 의학연구분야의 고 분해능 영상획득이 가능하게 되었다. 방사광 X-선을 이용하여 얻은 고 해상도 투사영상들 및 단층 재구성 영상들을 일반 X-선을 사용하는 유방촬영시스템, 치아 X-선 촬영시스템, 진신축정용 CT 시스템에서 각각 획득한 동일한 대상의 영상들과 비교하였다. 실험에 사용한 방사광 X-선은 6 ~ 30 keV 사이의 연속적인 에너지 분포를 가지며, 실험의 대상에 따라서 실리콘웨이퍼 필터들을 사용하여 빔의 세기와 에너지 스펙트럼 분포를 조절하여 사용하였다. 실험 대상 물체를 통과한 방사광 X-선의 투사영상은 형광판 (CdWO₄ scintillator)과 반응하여 가시광선으로 바뀐 후, 금도금된 거울을 통해 90° 반사되어 CCD 카메라로 획득하며, 이러한 디지털 영상정보는 PC로 전송되어 저장된다. 방사광 X-선의 공간 분해능 특성은 X-선 시험패턴(25 μm)과 초 고해상도 패턴 (13.5 μm)을 방사광 X-선 영상획득시스템과 일반 X-선을 사용하는 유방촬영시스템에서 획득하여 분석하였다. 영상획득 실험대상으로는 일반 구조물로 커피시터, 생체조직으로 성인치아, 유아치아, 생쥐 척추뼈 및 유방암조직을 대상으로 실험하였다. 단층영상은 각각의 샘플을 0.72° 간격으로 180° 회전시켜 250개의 투과영상들로부터 재구성한 후 컴퓨터 단층촬영기에서 얻은 영상과 비교하였다. 포항 방사광가속기연구소 5C1 빔라인에 간단하고, 경제적인 방사광 X-선 영상획득시스템을 성공적으로 구축할 수 있었고, 획득한 투사 영상과 재구성한 단층영상을 기존 X-선을 사용한 시스템으로 획득한 단층영상들과 분해능, 대조도의 특성들을 비교, 분석하였다. 방사광 X-선을 사용하여 획득한 영상들은 일반 시스템에서 얻은 영상보다 고 해상도의 영상 질을 보여주었고, 기초 의학영상 연구 측면에서 많은 정보를 제공해 주었다. 방사광 X-선을 이용한 영상획득시스템은 고 분해능과 고 대조도로 미세구조의 상세한 의학영상을 얻기 위한 유용한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 해부학적, 병리학적 및 임상학적 의료영상 분야에 효과적으로 응용하기 위하여 X-선 선량 정량 분석과 수치적 영상 해석연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

중심단어 : 방사광 X-선, 분해능, PLS

서 론

1895년 뢰트젠이 X-선을 발견한 이후, 기초 연구, 산업, 공학, 의학분야에 적용되어 물질 구조, 영상분야의 연구에 비약적인 발전을 거듭하여 이제는 실생활에서 X-선이 없어서는 안될 중요한 위치를 차지하게 되었다. 의료영상을 얻는 목적의 X-선 사용은

Correspondence Author: Hee-Joung Kim, PhD
Department of Radiology
Yonsei University College of Medicine
134 ShinchonDong SeodaemoonKu, Seoul 120-752, Korea
Tel) 822-361-5753, Fax) 822-313-1039
Email) hjkim@yumc.yonsei.ac.kr

일반촬영, 투시촬영, 콜밀도 측정, 유방촬영, 컴퓨터 단층 촬영 등의 다양한 분야에 적용되었고, 치료목적의 X-선 사용도 꾸준히 증가하여 질병의 진단과 치료에서 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 기존의 X-선관을 이용하여 얻는 영상은 X-선관의 유한한 크기의 초점(focal spot)으로 인한 공간 분해능의 한계와 주로 투과되는 물체의 X-선 흡수도 차이에 의한 대조도로 영상화하기 때문에 유방 촬영술에서와 같이 감쇠계수(attenuation coefficient)가 비슷한 연조직(soft tissue)에서는 상세한 영상정보를 제공하는데 한계가 있는 것으로 알려져 왔다 [1-2].

방사광(SR: Synchrotron Radiation)은 고진공의 원형 저장링(storage ring)에서 거의 빛과 같은 속도로 가속된 전자들을 강력한 휨자석(bending magnet)을 이용하여 급격하게 진로를 변화시킬 때 발생하는 백색광(white beam)으로 적외선 영역으로부터 고 에너지 X-선 영역까지의 연속적인 에너지 분포를 갖는 제동복사의 한 형태로 자석 제동복사(magnet bremsstrahlung)라고도 한다.

SR은 빔의 세기(intensity)가 크고, 퍼짐성이 작고(collimation), 파동의 진동방향이 일치하며(polization), 파동의 위상이 일치하는(coherence)등의 우수한 여러 특성을 가지고 있다[3-6]. 이런 특성으로 SR을 사용하여 고 분해능의 영상 획득과 연조직의 경계 부분에서 두드러지는 위상차 대조도(phase-contrast)효과에 의한 높은 대조도의 영상을 얻는 방법이 연구되고 있다[3-5].

위상차 대조도 효과는 X-선에 의한 굴절을 보다 물질 투과 후 발생하는 위상차에 의한 효과를 이용하는 방법이다. X-선 영역에서 매질 사이에 굴절률은 $n = 1 - \delta - i\beta$ 이다. 여기서 i 는 복소수를 나타내며, β 는 X-선의 흡수에 관련된 항(absorption term)을 나타내며, δ 는 위상에 관련된 항(phase term)으로서 물질을 투과한 후 굴절과 관련된 양이다[7]. X-ray의 에너지가 15~25 keV일 경우 위상차 항 δ 의 차수는 10^{-7} 정도이고 흡수에 관련된 항의 차수는 10^{-10} 정도로 위상차 항이 약 1000배정도 우세하게 나타난다[7-8]. δ 에 의한 효과는 굴절(refraction)에 의한 파면의 변형으로 나타나게 되고, 이러한 위상차이를 검출하기 위해 다양한 방법이 연구되고 있다. 이러한 위상 차이에 의한 영상정보를 획득하는 방법은 현재 크게 간섭계(interferometry), 회절계

(diffractometry), 위상차 대조도(phase-contrast) 또는 인라인 홀로그래피방법(in-line holography)이라고 불리는 세 가지 방법으로 분류할 수 있다[1-11]. 첫 번째 방법은 X-선의 간섭을 얻기 위한 3개의 완전히 일치하는 크리스탈을 서로 평행하게 배치하고 입사된 X-선은 각각의 크리스탈과 라우에 반사(Laue reflection)를 일으켜 분리되었다가 다시 합쳐지는데, 합쳐지기 전 한쪽에 측정하고자 하는 물체를 놓으면 물체를 투과한 쪽의 X-선은 위상차(phase shift)가 생기거나 찌그러지게(distortion)되고, 빔이 합쳐질 때 한쪽의 아주 작은 변화만으로도 간섭 무늬패턴(fringe pattern)이 민감하게 반응함을 영상으로 얻는 방식이다. 두 번째 방법은 회절(diffraction)을 이용한 방법으로 물체를 통과한 X-선은 분석기(analyzer)라 부르는 결정(crystal)으로 입사되어 반사되는데, 산란되고 위상이 변화한 X-선은 미세한 각도 차이를 가지고 분석기에 입사되고, 분석기의 반사각도와 일치하는 빔과 일치하지 않는 빔을 미세한 각도 변화로써 회절을 일으켜 영상을 얻는 방법이다. 세 번째 방법은 위상차 대조도를 이용한 방법이다. 홀로그래피(hologram)를 얻기 위한 방법과 유사한 이 방법은 물체를 투과하여 찌그러지고, 위상차가 생긴 파동이 서로 건드림(perturbation)을 일으키고 충분한 거리를 이동하면서 건드림이 확대된 영상정보를 얻는 방법이다.

연속적인 파장분포를 갖는 SR (polychromatic X-선 또는 unmonochromatic X-선)로부터 실리콘웨이퍼(monochromator)를 사용하여 브래그 반사(Bragg reflection)에 의한 특정한 파장(또는 에너지)을 선택할 수 있는 파장의 가변성 방법으로 얻은 단일파장($\Delta\lambda/\lambda \approx$ 수 % 이내)의 X-선을 사용한 영상획득 방법은 우수한 영상질을 획득하는 이상적인 방법으로 여겨지고 있으나 정밀한 고가장비가 필요하고 경우에 따라서 빔의 세기가 크게 줄어드는 단점이 있다.

본 실험에서는 포항가속기연구소 PLS (Pohang Light Source) 5C1 빔라인에서 unmonochromatic SR과 위상차 대조도 방법을 이용하여 경제적이고, 안정적이고, 간단한 영상획득 장치를 설치하였고, 이 SR 영상획득 장치를 이용하여 여러 물체를 실험 대상으로 고 분해능, 위상차 대조도 영상을 획득하여 그 특성을 비교, 분석 하고자 하

였다.

대상 및 방법

본 실험은 포항방사광가속기연구소 PLS 5C1 빔라인에서 실시되었다. 포항 방사광가속기는 전자총에서 발생한 전자들이 약 150 m 길이의 선형 가속기에 의해 2.0 GeV 에너지로 가속되어 총 둘레 280 m의 저장링(storage ring)에 갇히게 된다. 빛의 속도와 가깝게(0.99999997 c) 가속된 전자들이 각 빔라인의 시작 부위에 설치된 강력한 자석에 의하여 방향을 바꿀 때 발생하는 싱크로트론 방사광은 저장링과 휩자석(bending magnet)의 물리적 특성에 의하여 적외선 영역부터 수십 keV의 X-선 영역대까지 연속적인 에너지 분포를 갖는 강력한 백색광(whitebeam)을 발생시킨다. 빔의 시작 부분으로부터 약 15 m 떨어진 실험실에 도달한 SR X-선은 실리콘웨이퍼 필터(각 웨이퍼의 두께는 0.6 mm)들의 수를 변화시켜서 실험 목적에 알맞은 에너지 분포를 갖도록 조절한다. 이러한 X-선은 실험 물체를 투과한 후 얇은 CdWO₄ 형광판(300 μm 두께)과 반응하여 가시광 영상을 발생하게 되고, 변환된 가시광 영상정보는 금도금된 거울에 의해 90°로 반사되어 광학렌즈의 배율에 따라 확대되어 CCD 카메라에 도달하게 된다. 사용된 CCD 카메라는 각각의 샘플에 따라 다른 종류가 사용되었고, 카메라는 각각 KODAK MEGAPLUS Model ES 4.0/8-bit (total pixels: 2,112 H X 2,070 V, pixel size: 7.4 × 7.4 microns), MEDIA CYBERNETICS model COOLSNAP-PRO 12-bit (total pixels: 1391 H×1039 V, 4.65 × 4.65 microns), PHOTOMATRIX CH250 16bit (total pixels: 512×512, pixel size: 9.8 × 9.8 microns)를 사용하였으며, 각 샘플마다 노출시간(exposure time)과 유효시야(FOV: field of view)는 실험 목적에 따라서 다르게 하여 측정했다. 각각의 디지털영상은 CCD와 연결된 PC에 저장하고, Image-pro plus (Media Cybernetics, Baltimore, Maryland) 영상분석 프로그램을 이용하여 분석하였다. PLS 5C1 SR X-선을 사용하여 얻은 영상의 특성을 평가하기 위해서 현재 병원에서 진료목적에 사용하는 유방촬영시스템(GE senographe DMR), 치아 X-선촬영시스템(Siemens heliodent MD), 그리고 전신측정용 컴퓨터

단층촬영시스템(Siemens Somatom Plus-S)을 사용하여 투사영상과 단층영상을 얻었다. 우선 PLS 5C1 SR X-선 컴퓨터단층촬영(CT: Computed Tomography) 시스템의 유용성을 조사하기 위해서, 실험 대상으로 작은 크기이면서 내부 구조물이 복잡한 지름 4 mm 크기의 전기소자로 사용되는 캐패시터의 단층촬영영상을 재구성하기 위해서 투사영상을 얻었다. 영상획득조건으로 실리콘웨이퍼 필터 6장, 노출시간 150 msec, COOLSNAP-PRO CCD 카메라를 사용했다. 전신측정용 컴퓨터단층촬영시스템으로 영상을 얻은 조건은 Ultra high, 14.8배 줌, 120 kV, 165 mA, 2 sec 이었다. 다른 실험 대상으로 유방 암조직을 직경 3 mm로 샘플링 하고, 영상획득 동안 연조직 샘플을 고정하기 위하여 폴리에틸렌 튜브에 삽입하고, 컴퓨터 콘트롤할 수 있는 회전장치를 사용하여 0.72° 씩 180°에 대해 250개의 투사영상을 얻었다. 영상획득 조건은 필터는 사용하지 않고 노출시간 30 msec으로 COOLSNAP-PRO CCD 카메라를 사용하여 영상들을 획득하였다. 얻어진 투사영상들로부터 단층영상을 재구성하기 위해서 IDL ver. 5.4 (주) intersys 프로그램을 사용하여 역투사 알고리즘(backprojection algorithm)을 적용하여 얻었다. 경조직 실험 대상으로 성인치아(adult tooth), 유아치아(child tooth)와 생쥐 척추뼈(mouse lumbar vertebra)를 각각 0.6 mm 실리콘웨이퍼 필터 13장, 노출시간 1.0 sec, PHOTOMATRIX CH 250 CCD 카메라로, 생쥐 척추뼈는 0.6 mm 실리콘웨이퍼 필터 6장, 노출시간 130 msec으로 COOLSNAP-PRO CCD 카메라를 이용하여 영상들을 얻었다. SR 영상 획득 시스템의 분해능 특성을 조사하기 위하여 최대 20 line pairs mm⁻¹을 측정할 수 있는 고 분해능 X-선 시험 패턴과 특수 목적으로 제작된 최대 13.5 μm 분해능까지를 측정할 수 있는 시험 패턴을 평면 영상화하였다. 각 시스템의 분해능 측정을 위하여, 유방촬영시스템(GE senographe DMR)에서 28 kvp, 83 mAs, 치아촬영시스템(Siemens heliodent MD)에서 70 kvp, 노출시간 0.03 sec, 7 mA, PLS 5C1 빔라인에서는 실리콘웨이퍼 필터 2장과 노출시간 70 msec, COOLSNAP-PRO CCD를 사용하여 20 line pattern 영상들을 얻었다. 20 line pairs mm⁻¹ X-선 시험 패턴으로는 PLS 5C1 영상획득시스템의 분해능을 조사하기에 부족하여, 보다 더 정확한 결과를 얻

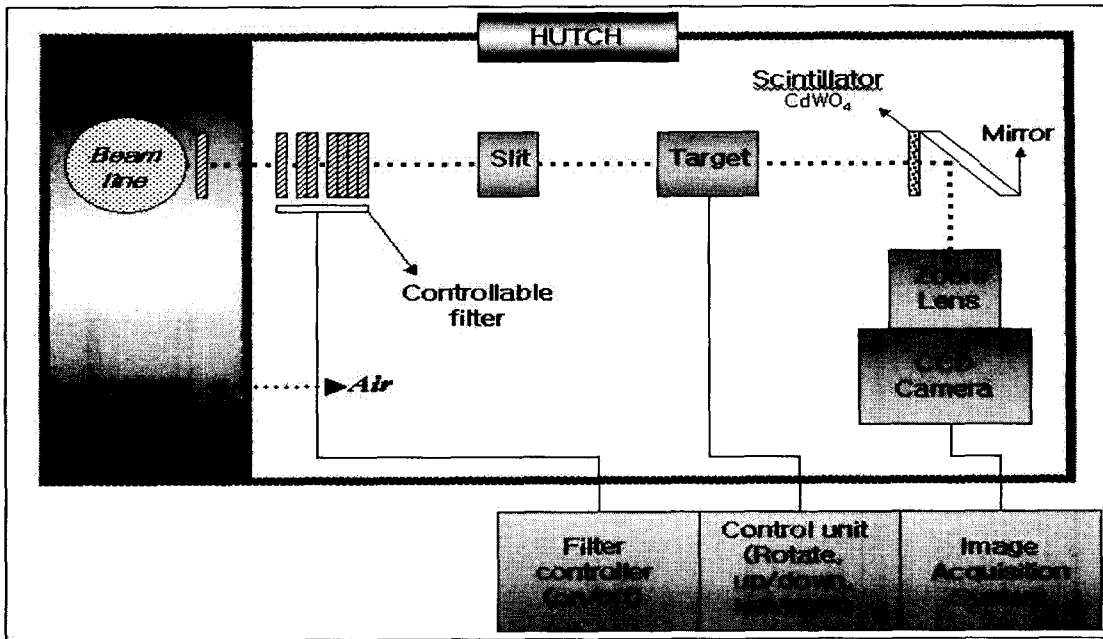


Fig. 1. Schematic diagram of the PLS 5C1 experimental system.

기 위해 주문, 제작한 초 고 분해능 X-선 시험패턴을 사용하였다. 이 시험패턴을 치아X-선촬영시스템(Siemens heliodent MD)에서 노출시간 0.03 sec, 70 kvp, 7 mA, PLS 5C1 빔라인에서는 실리콘웨이퍼 필터 2장, 노출시간 30 msec으로 영상들을 얻었다. PLS 5C1 X-선 영상획득 실험 동안, 실험 물체와 형광판사이의 거리는 대략 230 mm 거리이었고 형광판과 광학 시스템 사이의 거리는 미세한 초점거리 조절에 따라서 100 mm에서 110 mm까지 변화하였다. Fig. 1. 은 5C1 영상시스템 구성도 이다.

결과 및 고찰

방사광이 갖는 우수한 특성중의 하나는 레이저와 같이 빔의 퍼짐이 작아서 고 분해능의 영상획득을 가능하게 하는 것으로, PLS 5C1 X-선 영상획득시스템의 분해능 특성을 조사하기 위하여 상용화된 최대 20 line pairs mm⁻¹(25 μm)의 공간 분해능을 측정할 수 있는 X-선 분해능 패턴(Nuclear Associates an inovision Company, Resolution Test Pattern)을 유방촬영시스템(GE senographe DMR), 치아촬영시스템(Siemens heliodent MD), PLS 5C1 X-선 영상획득시스템을 사용하여 각각 영상획득 하였고 그 각각의 결과를 Fig. 2.에서 보여주고 있다. Fig. 2. (d)

는 PLS 5C1 X-선 영상획득시스템의 분해능 특성을 나타내주는 영상으로 20 line pairs mm⁻¹(25 μm)의 분해능패턴을 선명하게 나타내주고 있으며, 이것은 PLS 5C1 X-선 영상획득시스템이 25 μm이하의 분해능 특성을 갖는 것을 보여준다. 참고적으로 그림에서는 판별하기 어렵지만 유방촬영시스템의 공간 분해능은 14 line pairs mm⁻¹(35 μm)로 측정되었다. PLS 5C1 X-선 영상획득시스템의 정확한 분해능 특성을 조사하기 위하여 초 고 분해능 X-선 시험패턴(Optnics Precision Co., LTD, Japan)을 상용화된 X-선 진단장비로는 가장 고 해상도를 지니는 유방촬영시스템과 PLS 5C1 X-선 영상획득시스템을 사용하여 각각 영상화하였고 그 결과를 Fig. 3.에서 보여주고 있다. Fig. 3. (a), (b)는 초 고 분해능 X-선 시험패턴의 외관 모습이며, Fig. 3. (c)는 유방촬영시스템을 사용하여 얻는 초 고 분해능 X-선 시험패턴의 X-선 영상이다. Fig. 3. (d)의 초 고 분해능 X-선 시험패턴의 영상으로부터, PLS 5C1 X-선 영상획득시스템의 공간 분해능은 13.5 μm 이하임을 보여준다. 방사광과 같은 초 고 해상도 영상획득시스템의 분해능 측정에는 테스트 패턴을 사용하여 분석하는 방법에는 한계가 있고, 또한 판단자의 주관적인 해석에 의존하기 때문에 이를 정량적으로 분석할 수 있는 방법이 고려되어야 한다. Fig. 4.는 PLS 5C1 X-

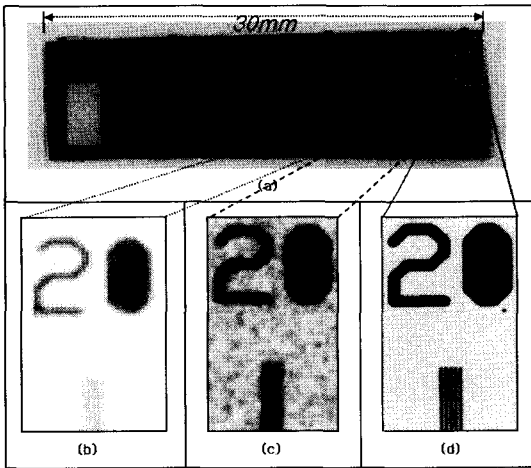


Fig. 2. Images of resolution test pattern: (a) photograph of resolution test pattern, (b) image obtained with GE senographe DMR mammography system, (c) image obtained with Siemens heliodent MD dental X-ray system, (d) image obtained with PLS SR imaging acquisition system.

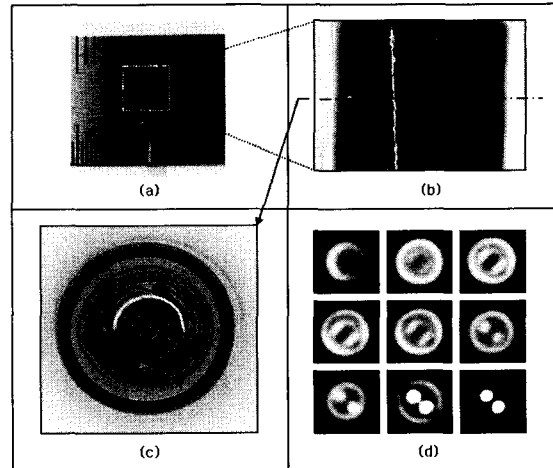


Fig. 4. Images of capacitor: (a) photograph of capacitor, (b) a projection image obtained with PLS 5C1 SR imaging acquisition system, (c) a tomographic image reconstructed with PLS 5C1 SR projection images, (d) tomographic images obtained with Siemens Somatom Plus-S CT.

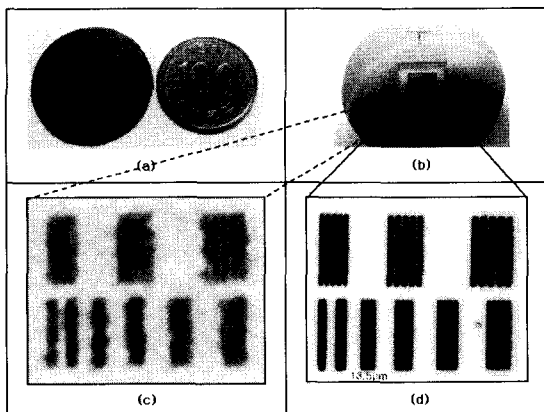


Fig. 3. Images of high-resolution test chart: (a) photograph of high-resolution test chart compared with a coin, (b) photograph of high-resolution test chart, (c) image obtained with Siemens heliodent MD dental X-ray system, (d) image obtained with PLS SR imaging acquisition system.

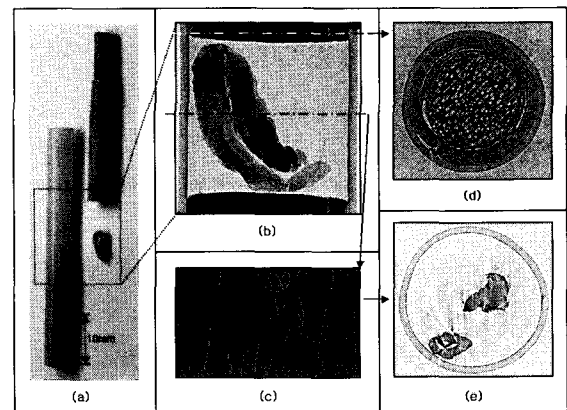


Fig. 5. (a) photographs of breast cancer, plastic tube, and wood rod (b) a projection image of breast cancer obtained with PLS 5C1 SR imaging acquisition system, (c) a sinogram, (d) a tomographic image of a piece of wood, (e) a tomographic image of breast cancer.

선 영상획득시스템을 사용하여 얻은 직경 4 mm 커패시터의 투사영상, 재구성된 단층영상과 진단에 사용되는 의료용 CT (Siemens Somatom Plus-S)를 사용하여 최대 분해능을 획득할 수 있는 조건에서 재구성된 단층영상들을 보여준다. Fig. 4. (a)는 실험에 사용된 커패시터의 외관의 모습, Fig. 4. (b), (c)는 SR X-선을 사용하여 얻은 투사영상과 재구성된

단층영상을 보여주며, (b), (c)영상들에서 하얀 줄무늬 부분들은 형광판의 결함에 의한 영향을 보여주며, Fig. 4. (d)는 의료용 CT를 사용하여 얻은 단층영상들을 3.2 μm 간격으로 보여준다. PLS 5C1 X-선 영상획득시스템을 사용하여 얻은 커패시터의 단층영상은 의료용 CT를 사용하여 얻은 영상에 비교하여 우수한 분해능 특성과 내부 구조를 상세하게 보여준

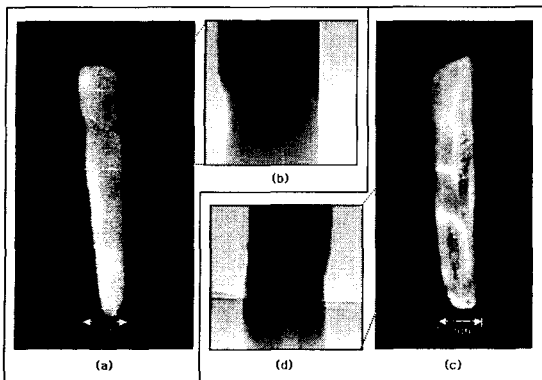


Fig. 6. Images of tooth: (a) photograph of adult tooth, (b) a projection image of adult tooth obtained with PLS 5C1 SR imaging system, (c) photograph of child tooth, (d) a projection image of child tooth obtained with PLS 5C1 SR imaging system.

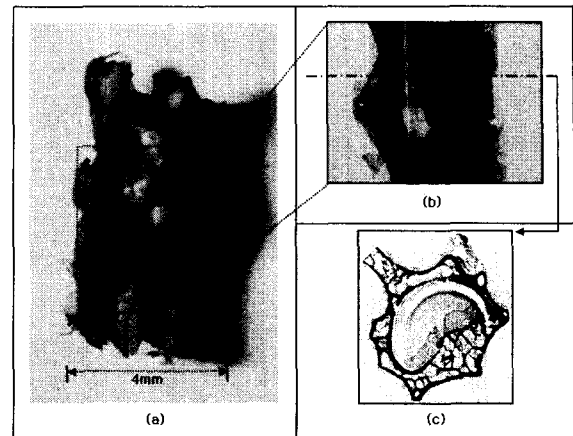


Fig. 7. Images of mouse lumbar vertebra: (a) a projection image obtained with PLS 5C1 SR imaging system, (b) a tomographic image reconstructed with PLS 5C1 SR projection images.

다. Fig. 5.는 유방 암조직을 포함하는 연조직을 PLS 5C1 X-선 영상획득시스템을 사용하여 얻은 영상의 결과로서, Fig. 5. (a)는 단층영상 재구성을 위하여 실험 준비 구성물을 보여주며, Fig. 5. (b)는 투사영상의 한 부분을 보여주며, Fig. 5. (c)는 투사영상들로부터 단면영상들로 영상재구성 과정중의 사이노그램(sinogram)을 보여주며, Fig. 5. (d)는 유방조직을 지지하였던 나무 막대의 단층영상을 보여주고, Fig. 5. (e)는 유방암조직의 영상재구성에 의한 단면영상을 보여준다. Fig. 5. (b), (d)의 유방암조직의 투사영상과 나무 막대의 단층영상은 고-분해능으로 많은 영상정보를 보여주었다. 연조직의 영상획득은 실리콘웨이퍼 필터를 사용하지 않는 낮은 에너지 영역대의 X-선을 주로 사용하여 짧은 노출시간으로 영상을 획득하였으며, 단층영상 재구성을 위하여 여러 투사영상을 얻는 동안 X-선 흡수에 의한 연조직의 건조 현상에 의한 조직의 변형은 분해능이 떨어지는 단층영상의 결과를 가져왔다. 효과적인 단층영상재구성을 위해서는 이러한 연조직의 건조 현상을 극복할 수 있는 방법이 연구되어야 한다. 경조직을 대상으로는 성인치아, 유아치아, 실험용 생쥐의 척추뼈(mouse lumbar vertebra)를 영상획득 실험에 사용하였다. Fig. 6. (a), (c)는 치아의 외관 모습이며 Fig. 6. (b), (d)는 PLS 5C1 X-선 영상획득시스템을 사용하여 얻은 투사영상들로 일반 치과용 X-선 촬영시스템으로는 얻을 수 없는 치아 내부의 상세한 해부학적인 정보를 보여준다. 치아와 같은 경조직의 영

상획득에는 여러 장(13장)의 실리콘웨이퍼 필터를 사용하여 상대적으로 고 에너지의 X-선 영역대를 선택하여 긴 노출시간을 적용하여 영상을 획득하였다. Fig. 7.은 생쥐의 척추뼈의 외관 모습, PLS 5C1 X-선 영상획득시스템을 사용하여 얻은 투사영상과 이들을 영상재구성하여 얻은 단면영상을 보여준다. Fig. 7. (b)는 생쥐 척추 뼈의 투사영상으로 해면골(trabecular bone)의 해부학적 구조가 선명하게 나타나 있으며, Fig. 7. (c)는 영상재구성된 단층영상으로 피질골(cortical bone)과 해면골(trabecular bone)이 고 해상도의 영상으로 뚜렷하게 구별된다.

결론

방사광 X-선을 이용하여 PLS 5C1 빔라인에 간단하고, 안정적이며, 경제적인 영상획득시스템을 구축하여 여러 종류의 샘플을 대상으로 고 분해능의 투사영상 및 단면영상을 획득하였다. Unmonochromatic 방사광 X-선을 이용하여 기존의 X-선 영상시스템에 비해 월등한 분해능과 대조도의 영상들을 얻을 수 있었다. SR 영상장치는 앞으로 X-선 영상획득분야 및 영상의학분야에 효과적으로 응용할 수 있을 것으로 기대되지만 의학분야에의 응용에 앞서 최적의 영상획득조건 확립, 영상획득 자동화시스템 구축, 선량 측정 및 노출시간을 정량적으로 조절할 수 있는 시스템연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgments

This study was supported by a grant from BK21 Project for Medical Sciences, Seoul, Korea.

참고문헌

1. D. Chapman, W. Thomlinson, R. E. Johnston, et. al.: Diffraction enhanced X-ray imaging, *Phys. Med. Biol.* 42:2015(1997)
2. S. W. Wilkins, T. E. Gureyev, D. Gao et. al.: Phase-contrast imaging using polychromatic hard x-rays. *nature.* 384:335(1996 nov 28)
3. J. O. Hong, H. J. Jung, H. K. Jeong, et. al.: Micrometer Spatial Resolution Imaging System Using Synchrotron X-ray. *J. Biomed. Eng. Res.* vol 22. num 2:165(2001)
4. H. J. Kim, H. J. Jung, J. O. Hong, et. al.: Micrometer Resolution Imaging Using Unmonochromatized Synchrotron X-rays: Phantom, Human Breast Tissue, and Live Animal Imaging Studies. *Physics of Medical Imaging (Proceedings of SPIE).* vol 4320:409(2001)
5. H. J. Kim, J. O. Hong, K. H. Lee, et. al.: Phantom and Animal Imaging Studies Using PLS Synchrotron X-Rays, *IEEE Transaction on Nuclear science*, vol 48: (2001)
6. Atsushi momose, Tohoru takeda, Yuji itai et. al.: Phase-contrast X-ray computed tomography for obserbing biological soft tissues. *Nature Medicine.* vol 2. num 4:473(1996)
7. Fulvia Arfelli, Valter Bonvicini, Alberto Bravin et. al.: Mammography with Synchrotron Radiation:Phase-detection techniques. *Radiology* 2000. 215:286(2000)
8. Tohoru takeda, Atsushi momose, Keiichi Hirano, et. al.: Human carcinoma:Early experience with phase-contrast X-ray CT with synchrotron radiation comparative specimen study with optical microscopy. *Radiology* 2000. 214:298(2000)
9. A. Snigirev, I. Snigireva, V. Kohn et. al.: On the possibilities of x-ray phase contrast microimaging by coherent high-energy synchrotron radiation. *Rev. Sci. Instrum.* 66: 5486(1995)
10. P. Spanne, C. Raven, I. Snigireva et. al.: In-line holography and phase-contrast microtomography with high energy x-rays. *Phys. Med. Biol.* 44: 741(1999)
11. M. Di Michiel, A. Olivo, G. Tromba et. al.: *Phase contrast imaging in the field of mammography:Medical applications of synchrotron radiation.* springer:pp.78(1998)

Acquisition of High Resolution Images and its Application using Synchrotron Radiation Imaging System

S.I. Hong^{*†}, H.J. Kim^{*††}, H.J. Jung^{††}, J.O. Hong^{*†}, H.K. Jeong^{*†},
D.W. Kim^{*†}, J.H. Je[§], B.R. Kim[§], H.S. YOO^{††}

^{*}*BK21 Project for Medical Science*, [†]*Department of Diagnostic Radiology*,
^{††}*Research Institute of Radiological Sciences*, [§]*Pohang University of Science
and Technology*

Synchrotron radiation (SR) has several advantages over conventional x-rays, including its phase, collimation, and high flux. A synchrotron radiation beamline 5C1 at Pohang Light Source (PLS) was recently built for imaging applications. We have shown that a SR imaging system is useful in imaging microscopic structures. SR with broad-band energy spectrum were adjusted to an object by Si wafers and their energy were approximately ranging from 6 keV to 30 keV. SR were passed through an object and finally transformed into visible lights by CdWO₄ scintillator screen. The visible lights which were reflected at an angle of 90 degrees by gold plated mirror were detected by a CCD camera and the image data were acquired using image acquisition system. A high-resolution phantom, capacitor, adult tooth, child tooth, cancerous breast tissue, and mouse lumbar vertebra were imaged with SR imaging system. The Objects were rotated within the field of view of the CCD detector, and their projection image data were obtained at 250 steps over 180 degrees rotation. Image reconstructions were carried out in a PC by using IDLTM(Research systems, Inc., US) program. The spatial resolution of the images acquired by the SR imaging system was measured with a high-resolution chart manufactured for several micrometer resolution.

The specimens were also imaged with conventional x-ray radiography system to compare the image quality of radiography obtained with the SR imaging system. The results showed more structural details and high contrast images with SR imaging system than conventional x-ray radiography system. The SR imaging system may have a potential for imaging in biological researches, material applications, and clinical radiography.

Keyword : synchrotron, x-ray, spatial resolution, PLS