

전산화단층영상장비에서 패각을 이용한 방사선 융합차폐체의 표면 방사선량 감소율과 방사선 인공물 영상 평가

성열훈

청주대학교 방사선학과

Evaluation of Surface Radiation Dose Reduction and Radiograph Artifact Images in Computed Tomography on the Radiation Convergence Shield by Using Sea-Shells

Youl-Hun Seoung

Department of Radiological Science, Cheongju University

요약 본 실험에서는 전산화단층영상장비에서 패각을 이용하여 제작한 방사선 융합차폐체의 표면 방사선 감소율과 방사선 인공물 영상을 평가하고자 하였다. 방사선 융합차폐체는 실리콘, 패각, 바륨분말을 이용하여 직경 50 mm, 두께 3.5 mm의 원형 차폐체 5종 (실리콘 차폐체, 바륨 차폐체, 실리콘과 패각 혼합 차폐체, 실리콘과 바륨 혼합 차폐체, 실리콘과 패각 그리고 바륨 혼합 차폐체)을 제작하였다. 방사선발생과 획득은 4 다중채널 전산화단층영상장비를 이용하였다. 그 결과 실리콘과 패각 혼합 차폐체가 영상의 인공물 발생 없이 5.3%의 표면 방사선 감소 효과가 있었다. 향후 다양한 형태를 만들 수 있는 실리콘의 장점과 패각의 재활용으로 인한 친환경적인 소재로 방사선 융합차폐체 제작에 도움을 줄 수 있으리라 기대한다.

• **주제어** : 패각, 방사선융합차폐체, 표면방사선, 방사선인공물영상, 전산화단층영상장비

Abstract The purpose of this present study was to evaluate the surface radiation dose reduction and radiograph artifact images in computed tomography (CT) for the manufactured radiation shields by using sea-shells. The radiation convergence shields were made from silicons, sea-shells, barium powders, produced circle types of diameter 50 mm, thickness 3.5 mm for 5 kinds (only silicon shield, only barium shield, mixed sea-shells with silicon shield, mixed barium with silicon shield, mixed sea-shells with barium and silicon shield). Radiation generation and acquisition were used 4-channel multi-detector CT. The results of this study showed that mixed sea-shells with silicon shields could reduce the surface dose of 5.3% without radiograph artifact images. In the future, we will expect the radiation convergence shield as environmentally friendly materials by using the recycling of sea-shells with the advantages of silicon which can make various shapes.

• **Key Words** : Sea-shells, Radiation convergence shields, Surface radiation, Radiograph artifact images, Computed tomography

*Corresponding Author : 성열훈(radimage@cju.ac.kr)

Received January 3, 2017

Revised February 6, 2017

Accepted February 20, 2017

Published February 28, 2017

1. 서론

1895년 X선이 발견된 이후 방사선은 인류 발전에 큰 이바지를 하고 있다. 그러나 의료기술의 발전으로 사용 빈도는 증가하고 있으며 방사선의 활용은 인체의 피폭에 대해 항상 주의를 해야 한다[1]. 우리나라 식품의약품안전처(식약처)는 2007년부터 2011년까지 의료기관에서 실시한 방사선검사 건수 및 검사종류별 피폭량을 조사·분석한 결과, 연간 진단용 방사선검사 건수는 2007년 1억 6천만 건에서 2011년 2억2천만 건으로 5년간 약 35% 증가하였고, 국민 일인당 연간 방사선검사 건수는 2007년 3.3회에서 2011년 4.6회로 꾸준히 증가하고 있는 추세이며 국민 일인당 연간 진단용 방사선 피폭량은 2007년 0.93 mSv에서 2011년 1.4 mSv로 5년간 약 51% 증가하고 있다고 보고하였다[2]. 비록 의료분야에서의 방사선 이용은 진단 및 치료의 정당성으로 선량 한도(dose limitation)의 범위가 정해져 있지는 않지만 환자의 방사선방어 최적화를 위한 진단참고준위(diagnostic reference level) 수립을 권고하고 있다[3]. 특히 2007년 Brenner 연구팀은 의료방사선의 사용 증가로 인해 전산화단층영상(computed tomography, CT) 검사가 암을 유발할 수 있음을 밝혔다[4]. 이로 인해 상대적으로 안전하다고 생각했던 영상의학분야의 방사선 안전관리 및 방사선저감화 연구가 최근에 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 CT 검사로 인한 의료방사선의 비중이 크게 증가하고 있어 이에 대한 방사선저감화 대책이 필요하다[5,6]. 그러나 CT 검사는 X선을 이용하는 영상의학 진단장비 중 진단능력이 가장 우수하기 때문에 무작정 X선을 차폐하거나 감소시킨다면 영상정보획득에 제한이 생기 때문에 영상의 진단적 가치를 유지하면서 방사선량을 줄이는 것이 중요하다. 특히 방사선감수성이 높은 소아환자나 안구, 갑상선, 생식선과 같은 표재성 장기를 회피할 수 있는 방법이 강구되어야 한다[7,8]. 그래서 CT 검사 시 X선 조사각도를 변형하거나 피치(pitch)를 조정하여 피폭을 최소화하는 노력이 있으나 오히려 검사부위를 놓치거나 영상품질의 저하를 초래하는 문제가 발생한다[9]. 또 다른 방법으로 높은 원자번호를 가지고 있는 납(Pb)을 이용하여 차폐할 수 있는 방법이 있지만 X선속의 경화현상으로 방사선영상에 인공물이 묘출되는 단점이 있다[10,11]. 이를 극복하기 위해 비스무스(bismuth)를 이용한 차폐체를 사용하기도 하지만 주로 수입산 이면서 고가이고 다양한 굴곡을 가지고 있는 체형에 밀착되지 않는 한계점을 가지고 있

다[12]. 본 연구에서는 생산단가를 줄이고 방사선을 차폐할 수 있는 후보 물질을 생활주변에서 찾아보고자 하였다. 그 중 다양한 형태 구현이 가능한 실리콘과 혼합할 수 있는 차폐물질을 구하고자 하였다. 차폐물질로는 바다가 3면으로 둘러싸여 있는 우리나라의 지리적 특성을 고려하여 폐각(폐류 껍데기)을 착안하게 되었다. 특히, 폐각은 2005년 기준으로 국내에서 연간 28만톤 폐각이 발생하며 10만톤이 방치되어 악취 발생과 수질오염의 원인이 되고 있다. 이를 해결하기 위해서 건축벽체, 가축사료, 시멘트, 토양 개량제 등으로 이용하고 있지만 더 많은 재활용 분야 탐색이 필요하다[13,14]. 일반적으로 폐각은 탄산칼슘(CaCO_3)과 소량의 콜라겐 등의 단백질이 교대로 층형에 겹쳐진 구조를 가지는 무기 유기 복합물이다. 이중 칼슘(Ca)은 원자번호가 20번으로 방사선 차폐의 가능성이 있는 물질이다.

따라서 본 실험에서는 흔히 구할 수 있는 폐각에서 방사선차폐가 우수한 후보 폐각을 선별하여 CT 검사 시 방사선 융합차폐체로서의 방사선 감소율과 방사선 인공물 영상을 평가하고자 하였다.

2. 대상 및 방법

2.1 실험기기 및 재료

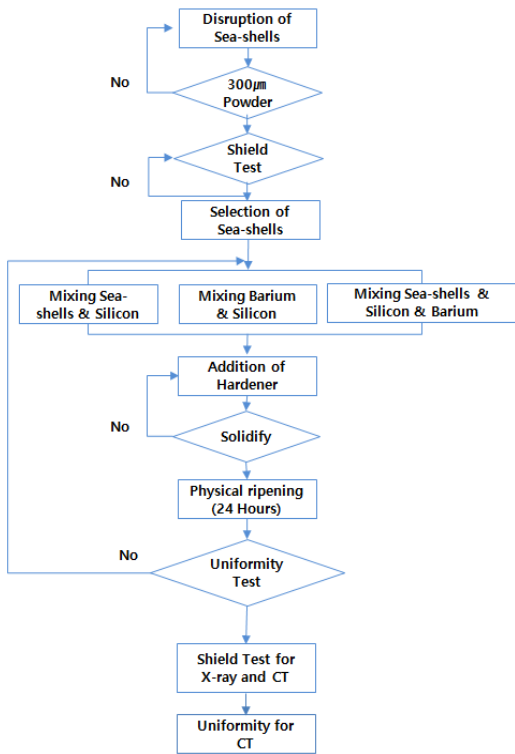
실험에 사용한 X선 발생 및 획득 장비는 4-채널 다중검출기 CT(MX8000, PHILIPS, USA), 일반 X선 촬영장비(MCM-901R, MIS, Korea)를 사용하였다. 선량측정은 CT 선량측정용 머리팬텀(76-414, Fluke, USA), 이온챔버(Biomedical 06-526, Fluke, USA), 관전압측정기(330, Gammex, USA)를 이용하였으며 영상품질 평가는 ImageJ(ver. 1.47, NIH, USA) 프로그램을 사용하였다. 방사선 차폐체 제작 재료는 액상실리콘(mold master, mk-silicone, China), 폐각(바지락, 가리비, 전복), 바륨분말을 이용하였다.

2.2 차폐체 제작

차폐체의 직경은 안구 크기를 충분히 차폐할 수 있는 50 mm로 설계하였으며, 두께는 실험적으로 제작이 용이한 3.5 mm로 동일하게 설계하였다.

바지락, 가리비, 전복의 3종 차폐 후보 폐각을 분쇄하고 300 μm 크기로 분말화 하였다. 그리고 동일한 두께로 후보 폐각에 대한 방사선 차폐성 실험을 통해 가장 우수

한 패각을 선정하였다. 그리고 선정된 패각 분말을 일정한 비율로 액상실리콘, 바륨분말과 배합하였다. 배합비율은 액상실리콘에 패각을 혼합한 차폐체와 액상실리콘에 바륨분말을 혼합한 차폐체는 각각 2 : 1의 비율로 혼합하였고 액상실리콘과 바륨분말, 패각을 모두 혼합한 차폐체는 2 : 1 : 1의 비율로 혼합하였다. 그리고 경화제를 모두 0.4의 비율로 첨가한 후 24 시간동안 물리적 숙성을 통해 고형화를 시켰다. 제작된 융합차폐체 내 분말들이 균일하게 분포되었는지를 평가하기 위해 X선을 조사하여 영상의 균일도를 측정하였다. 이때 상대적 균일도가 5% 이하이면 분말 혼합과정부터 다시 실시하였다. 최종 제작된 융합차폐체는 CT 장비에서 방사선차폐율과 인공물 방사선영상에 대한 노이즈를 평가하였다[Fig. 1].

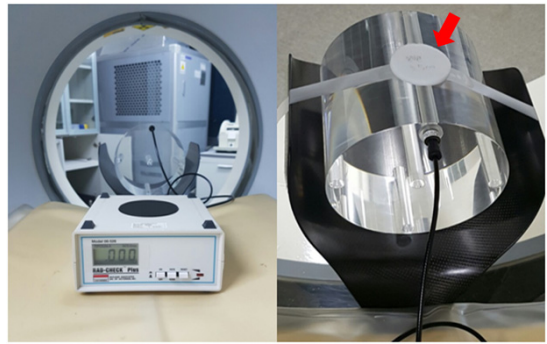


[Fig. 1] Radiation convergence shield manufacturing process by using sea-shells

2.3 방사선량 측정 및 인공물 영상 평가

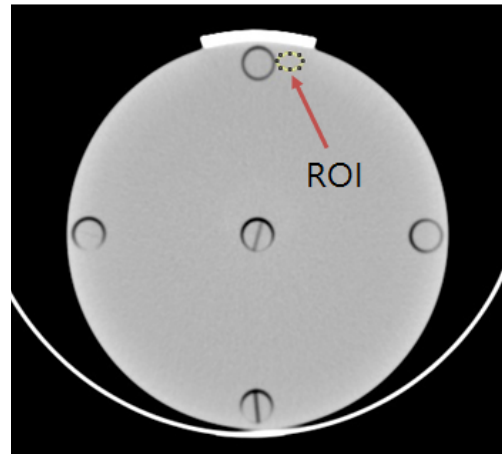
후보 패각에 대한 차폐율 평가는 일반 X선 촬영장비를 이용하여 식약처에서 권고하는 복부검사 조건인 72 kVp, 24 mAs로 각 3 회씩 조사하여 투과선량을 측정하여 차폐율이 우수한 패각을 선정하였다. 최종 선정된 패

각으로 제작된 융합차폐체는 X선을 단방향으로 72 kVp, 24 mAs 조건으로 조사하여 방사선 차폐율을 평가하였다. 이때 차폐율 기준은 차폐체가 없어 차폐되지 않는 경우를 0%로 하였다. 또한 CT 장비를 이용하여 X선을 360° 회전조사하여 방사선 차폐율과 인공물 영상을 평가하였다. CT 검사 조건은 FOV (field of view) 250 mm, 입사각도는 팬텀과 수직이 되게 하였고 1 회 360°를 0.75 초 동안 조사하였다. 검출기의 조합은 2×5 mm으로 실시하여 10 mm의 Z-축 길이가 되었으며, 관전압은 120 kVp, 관전류량은 250 mAs로 실시하였다.



[Fig. 2] Dose evaluation for radiation convergence shield (red arrow) by ion chamber holes located at 12 o'clock from the CT head phantom

방사선 차폐율은 [Fig. 2]과 같이 CT 선량측정용 머리 팬텀의 12시 방향에 위치한 구멍에서 이온챔버를 이용하여 4회 반복 측정하였다.



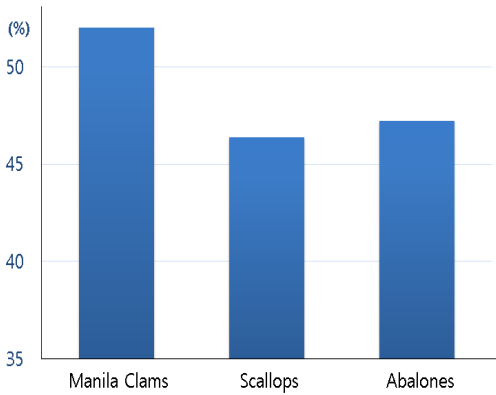
[Fig. 3] The regions of interest (ROI) for evaluation of pixel values was area outside ion chamber holes located at 12 o'clock

또한 방사선영상의 인공물 평가는 [Fig. 3]와 같이 CT 선량측정용 머리팬텀의 12시 방향 바로 옆 영역에 관심 영역(regions of interest, ROI)을 설정하고 픽셀 강도의 표준편차 값으로 노이즈를 측정하였다.

3. 결과

3.1 후보 패각들의 방사선 차폐율 결과

일반 X선 촬영장비를 이용한 차폐체 후보 패각 분말에 대한 방사선 차폐율은 [Fig. 4]와 같이 바지락이 53.22%, 가리비가 46.38%, 전복이 47.21%로 바지락의 차폐율이 가장 높아 최종 바지락 껍데기를 방사선 차폐체로 선정하였다.

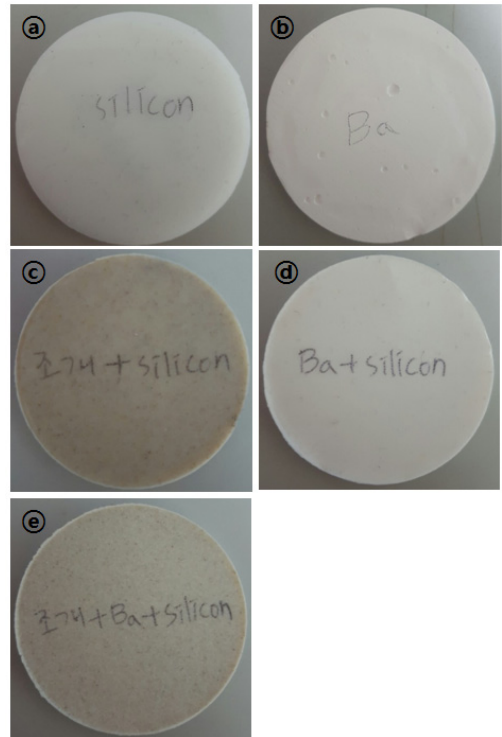


[Fig. 4] Results of radiation shield for sea-shells by using X-ray

3.2 제작된 방사선 융합차폐체와 균일도

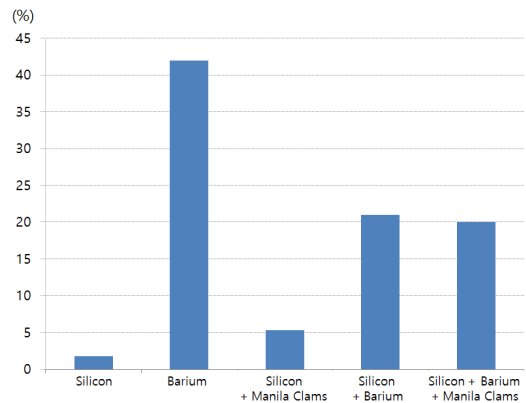
후보 패각군에서 선정된 바지락 껍데기 분말과 실리콘, 바륨분말을 이용하여 제작된 방사선 융합차폐체는 [Fig. 5]과 같이 직경은 50 mm, 두께는 3.5±0.2 mm로 5종이 동일하게 제작되었다.

또한 제작과정에서 융합되는 물질들의 분산정도를 일반 X선 촬영장비에서 영상의 균일도로 측정한 결과 실리콘 차폐체가 11.3%, 바륨 차폐체가 8.3%, 바륨, 패각, 실리콘 혼합 차폐체가 11.8%, 실리콘 혼합 차폐체가 11.9%, 패각, 바륨, 실리콘 혼합 차폐체가 11.9%의 균일도를 보였으며 제작된 방사선 차폐체간의 상대적 균일도가 5% 이하로 첨가 물질의 분포가 잘 분산되었다고 판단하였다.



[Fig. 5] Manufactured radiation convergence shield (a) only silicon shield (b) only barium shield (c) mixed sea-shell(manila clams) with silicon shield (d) mixed barium with silicon shield (e) mixed sea-shell(manila clams) with barium and silicon shield

3.3 단방향 X선 조사에 대한 방사선 융합차폐체의 차폐율 결과

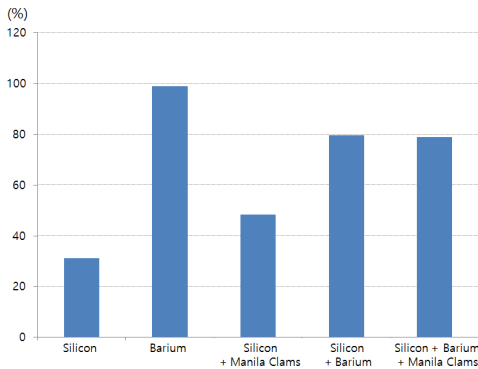


[Fig. 6] Results of radiation shielding for manufactured radiation convergence shields by using X-ray

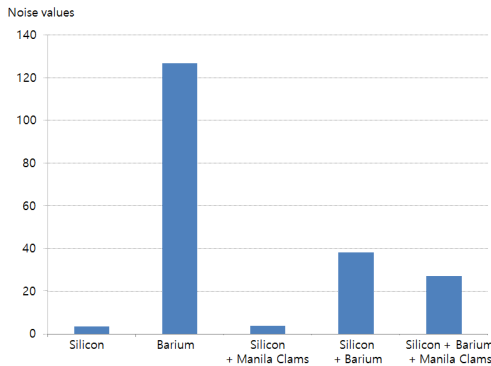
제작된 방사선 융합차폐체의 방사선 차폐율을 평가하기 위해 일반 X선 촬영장비에서 단방향으로 X선을 조사한 결과 [Fig. 6]와 같이 바륨 차폐체가 99.0%, 바륨, 실리콘 혼합 차폐체가 79.7%, 패각, 바륨, 실리콘 혼합 차폐체가 78.9%, 패각, 실리콘 혼합 차폐체가 48.8% 그리고 실리콘 차폐체가 31.1%의 방사선 차폐율을 보였다.

3.4 X선 회진조사에 대한 방사선 융합차폐체의 표면 선량 차폐율과 인공물 영상 결과

X선을 회진 조사되는 CT 장비에서 방사선 융합차폐체에 의한 표면 선량 차폐율을 평가하기 위해 CT 선량측정용 머리 팬텀의 12시 방향에서 선량을 측정된 결과 [Fig. 7]과 같이 바륨 차폐체가 42.0%, 바륨, 실리콘 혼합 차폐체가 21.0%, 패각, 바륨, 실리콘 혼합 차폐체가 20.0%, 패각, 실리콘 혼합 차폐체가 5.3% 그리고 실리콘 차폐체가 1.8%의 방사선 차폐율을 보였다.



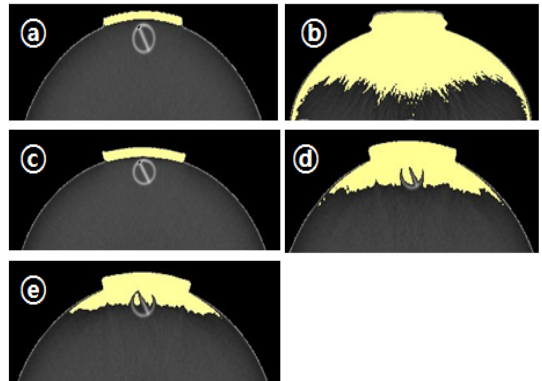
[Fig. 7] Results of radiation shielding for manufactured radiation convergence shields by using CT



[Fig. 8] Results of noise values on cross section images in CT under manufactured radiation convergence shields

또한 방사선 융합차폐체에 의한 인공물 발생 정도를 평가하기 위해 [Fig. 8]와 같이 CT 선량측정용 머리팬텀의 12시 방향 바로 옆 영역에 노이즈를 측정된 결과, 바륨 차폐체 밑 영역에서 3.5, 바륨, 실리콘 혼합 차폐체 밑 영역에서 127.0, 패각, 바륨, 실리콘 혼합 차폐체 밑 영역에서 3.8, 패각, 실리콘 혼합 차폐체 밑 영역에서 38.3, 그리고 실리콘 차폐체 밑 영역에서 27.0 노이즈 값이 도출되었다.

[Fig. 9]는 제작된 차폐체에 대해서 CT 단면영상을 획득한 사진이며 노란색으로 표시된 부분이 X선속 경화작용으로 인해 발생한 인공물이다. [Fig. 9-b]는 원자번호가 높고 차폐율이 높은 바륨 차폐체에 의해서 발생한 인공물로 인하여 차폐체 아래의 단면영상이 보이지 않지만 [Fig. 9-c]에서는 제작된 방사선 융합차폐체 아래의 단면영상이 선명하게 관찰할 수 있음을 육안적으로 확인할 수 있었다.



[Fig. 9] Cross section images of CT head phantom (a) only silicon shield (b) only barium shield (c) mixed sea-shell(manila clams) with silicon shield (d) mixed barium with silicon shield (e) mixed sea-shell(manila clams) with barium and silicon shield

4. 결론 및 고찰

현대 의학에서 방사선을 이용한 검사는 진단에 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 방사선 선량 한도가 없는 의료 영역에서의 방사선사용의 정당화와 최적화 판단은 신중하게 고려해야하고 진단과 치료에 필요한 최적의 영상을 구현하는 범위에서 환자의 노출 선량은 최소화하는 노력이 동반되어야 한다. 이를 위해서 최근에는 관전류량을 체형에 따라 변되는 자동노출방법(auto

exposure control, AEC)이 사용되거나 중요 장기를 선택적으로 X선량을 줄이는 장기기반선량변조(organ-based tube-current dose modulation) 방식이 등장하여 사용되고 있다[15,16]. 그러나 이러한 기능들은 제조사 별로 장착 유무의 차이가 있고 환자의 검사자세가 변경되었을 때 오류를 범할 수 있다. 또한 반복적재구성방법(iterative reconstruction technique)을 이용하여 일정 통계적 노이즈 모델링 값을 설정하여 선량을 줄이는 방법도 있다. 그러나 계산량이 방대하고 영상처리 시간이 오래 걸린다는 단점을 가지고 있다[17]. 이와 같이 CT 장비에서 선량을 줄이는 노력은 영상의 품질 저하 없이 실시한다는 대전제를 만족해야 한다. 따라서 일반적으로 알려져 있는 물리적 차폐방법으로는 금속성 물질인 납 차폐체를 사용하는 것이지만 CT 검사에서 직접적으로 사용하지 못하는 이유는 X선속 경화작용으로 인한 인공물이 발생하기 때문이다. 본 실험에서도 원자번호가 납보다 낮은 바륨(원자번호 56)만을 가지고 차폐체를 제작했을 때 일반 X선의 차폐율은 99%, CT의 X선 차폐율은 42%의 높은 차폐효율이 있었지만 X선 회전 조사에 의한 X선속 경화작용으로 인한 인공물 발생도 가장 높아 영상의 품질을 저하시켰다. 1997년 처음 소개된 비스무스는 환자의 표재성 장기에 대한 선량을 40% 이상 감소시키면서 영상의 질에는 크게 영향을 주지 않는다는 점이 발표되어 CT장비에서의 방사선저감화 방법으로 많이 사용되고 있다[12]. 최근에는 방사선의 차폐효율을 증가시키고 영상품질을 유지할 수 있도록 비스무스와 나노바륨을 융합시킨 차폐체도 등장하였지만 제조 방법이 쉽지 않고 고가인 단점이 있다[18]. 특히 기존의 CT 선량 차폐체들은 고무 시트 형식이어서 유방, 갑상선, 안구, 생식기 등과 같이 고민감도의 장기들에 밀착되지 못하는 한계점이 있다[19,20] 따라서 본 연구에서는 다양한 형태로 고형화가 가능하면서 방사선 차폐 효과가 있는 것으로 보고된 실리콘을 바탕으로 친환경적인 차폐 소재로 폐각을 대상으로 방사선차폐효율과 인공물 영상을 평가하였다. 폐각의 주요 화학적 성분은 원자번호가 20번인 칼슘(Ca)으로 구성되어 있다. 특히 본 실험에서 선정된 바지락은 CaCO_3 결정상 중의 하나인 아라고나이트(aragonite)가 주된 광물상이다[21]. 이러한 물질적 특성은 X선 차폐 효과를 보였다고 판단된다. 비록 일반 X선 촬영 장비를 이용한 본 실험에서 폐각은 바륨 차폐체에 비하여 차폐효과에는 미치지 못하였지만 48.8%의 차폐율을 보여주었

는데 이는 폐각의 주 성분인 칼슘의 원자번호가 바륨보다 낮았기 때문이지만 차폐체의 두께를 증가시키면 차폐효과도 높아질 것으로 기대한다. 또한 1차선에 대한 차폐효과이므로 상대적으로 낮은 에너지로 구성된 2차 산란선에 대한 차폐효율은 더 높을 것으로 예상된다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 우리는 CT 장비에 적용하였다. CT는 X선이 360도 회전 조사하는 기하학적 특징이 있기 때문에 360도로 차폐를 한다면 피사체에 투과하는 X선량이 궁극적으로 감소하므로 감약정보에 의한 진단정보를 획득하지 못한다. 따라서 기존의 비스무스 차폐체도 방사선의 완벽한 차폐가 아닌 영상정보와 품질을 유지하면서 차폐체 아래 부분의 표면선량을 최소화하는데 목적이 있다. 그러므로 본 실험에서 실시한 X선 회전 조사 시 평가한 방사선 차폐효율이 단방향 일반 X선 조사보다도 감소하는 이유는 차폐체 정면 조사 이외로 회전조사하면 선량측정기에 직접 조사되는 선량이 있었기 때문이며 차폐체의 원자번호가 높을수록 X선의 연선도 많이 여과(filtering)시켜 X선이 경화되어 인공물 영상이 발생하였음을 바륨 차폐체로 확인이 되었다. 그러나 본 실험에서 제안한 실리콘과 융합하여 제작된 차폐체는 실리콘만으로 제작된 차폐체의 차폐효율에 3배에 가까운 차폐효과가 있었고 인공물 발생이 거의 없었다. 특히 최근에는 납과 비스무스 등의 중금속성 물질에 대한 환경오염이 크게 대두되면서 대체 방사선 차폐물질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 시점에서 폐각의 활용은 친환경적이며 재활용으로 인한 가격경쟁력이 있음을 시사한다. 또한 폐각을 건축자재로 활용되고 있는 사례가 있어 방사선 차폐 건축자재로 이용할 수 있으리라 판단된다.

향후 본 연구결과로 폐각에 대한 방사선 차폐효율 증대방법과 인체 형태에 맞는 차폐체 디자인을 통해서 친환경적인 방사선 융합차폐체 개발에 대한 추가 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] B. S. Lim, "Radiation Exposure Dose on Persons Engaged in Radiation-related Industries in Korea", *Journal of Korean Society of Radiological Technology*, Vol. 29, No. 3, pp. 185-195, 2006.
- [2] <http://www.mfds.go.kr>

- [3] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP publication 60. Oxford: Pergamon Press, 1991.
- [4] D. J. Brenner, E. J. Hall, "Computed tomography—an increasing source of radiation exposure", *N Engl J Med*, Vol. 357, No. 22, pp. 2277-2284, 2007.
- [5] J. K. Lee, S. J. Jang, Y. I. Jang, "Medical Radiation Exposure in Children CT and Dose Reduction", *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 14, No. 1, pp. 356-363, 2014.
- [6] K. H. Do, "Strategies of computed tomography radiation dose reduction: justification and optimization", *J Korean Med Assoc*, Vol. 58, No. 6, pp. 534-541, 2015.
- [7] K. B. Kim, E. H. Goo, "Image Evaluation for A Kind of Patient Fixing Pad in 64 Multi-Channel Detector Computed Tomograph", *Journal of the Korea Convergence Society* Vol. 7, No. 1, pp. 89-95, 2016.
- [8] Y. Park, S. H. Kim, "The Study of Effectiveness of Volume Mode in Pediatric CT", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 12, No. 10, pp. 425-431, 2014.
- [9] Di. Zhang, Chris. H. Cagnon, J. Pablo Villablanca, Cynthia H. McCollough, D. D. Cody, M. D. Stevens, M. Zank, J. John, Demarco, C. A. Turner, Maryam. Khatonabadi, and F. Michael. Gray. McNitt, "Peak Skin and Eye Lens Radiation Dose From Brain Perfusion CT Based on Monte Carlo Simulation", *AJR Am J Roentgenol*, Vol. 198, No. 2, pp. 412-417, 2012.
- [10] F. E. Boas, D. Fleischmann, "Evaluation of two iterative techniques for reducing metal artifacts in computed tomography". *Radiology*, Vol. 259, No. 3, pp. 894-902, 2011.
- [11] B. De Man, J. Nuyts, P. Dupont, G. Marchal, P. Suetens, "Metal streak artifacts in X-ray computed tomography: a simulation study". *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 46, No. 3, pp. 691-696, 1999.
- [12] K. D. Hopper, S. H. King, M. E. Lobell, T. R. TenHave, J. S. Weaver, "The Breast : In-plane X-ray Protection during Diagnostic Thoracic CT-Shielding with Bismuth Radioprotective Garments." *Radiology*, Vol. 205, No. 3, pp. 853-858, 1997.
- [13] H. S. Koo, "An Experimental Study on the Engineering Characteristics of Perforated Reinforced Concrete Beams containing Shells". *The International Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, Vol. 15, No. 1, pp. 139-146, 2015.
- [14] Y. T. Kwon, J. H. Yun, S. H. Bae, "Assessment of the Casts of Earthworm (*Eisenia Andrei*) Feeding on the Mixture of Sewage Sludge and Oyster Shell Powder as Soil Improvement Materials". *Journal of Korea solid wastes engineering society*, Vol. 25, No. 2, pp. 161-171, 2008.
- [15] S. Singh, M. K. Kalra, J. H. Thrall, M. Mahesh, "Automatic Exposure Control in CT: Applications and Limitations". *Journal of the American College of Radiology*, Vol. 8, No. 6, pp. 446-449, 2011.
- [16] X. Duan, J. Wang, J. A. Christner, S. Leng, K. L. Grant, C. H. McCollough, "Dose reduction to anterior surfaces with organ-based tube-current modulation: evaluation of performance in a phantom study". *AJR Am J Roentgenol*, Vol. 197, No. 3, pp. 689-695, 2011.
- [17] A. K. Hara, R. G. Paden, A. C. Silva, J. L. Kujak, H. J. Lawder, W. Pavlicek. "Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study". *AJR Am J Roentgenol*, Vol. 193, No. 4, pp. 764-771, 2009.
- [18] Y. H. Seoung, "Evaluation of Radiation Dose Reduction During CT Scans by Using Bismuth Oxide and Nano-Barium Sulfate Shields" *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 67, No. 1, pp. 1-6, 2015.
- [19] S. C. Kim, M. H. Park, "Development of Radiation Shielding Sheet with Environmentally Friendly Materials; II: Evaluation of Barum, Tourmaline, Silicon Polymers in the Radiation Shielding Sheet", *Journal of Korean Society of Radiological Technology*, Vol. 34, No. 2, pp. 141-147, 2011.
- [20] S. C. Kim, M. H. Park, "Development of Radiation Shielding Sheet with Environmentally Friendly Materials; I: Comparison and Evaluation of Fiber, Rubber, Silicon in the Radiation Shielding Sheet", *Journal of Korean Society of Radiological Technology*, Vol. 33, No. 2, pp. 121-126, 2011.

- [21] C. W. Chung, "Possibility to Recycle Domestic Waste Shells-with Emphasis on Oyster Shells", Korean Recycled Construction Resources Institute, Vol. 11, No. 1, pp. 11-16, 2016.

저자소개

성 열 훈(Youl-Hun Seoung) [정회원]



- 2005년 8월 : 가톨릭대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 가톨릭대학교 일반대학원 의학물리공학과 (의학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선융합산업, 방사선안전관리, 의학물리