

자체 제작한 자기공명영상 고주파 차폐체의 유용성 평가

이진회¹, 이보우^{2*}

¹건양대학교병원 영상의학과 방사선사
²김천대학교 방사선학과 교수

Evaluation of the Utility of Self Produced MRI Radiofrequency Shielding Material

Jin-Hoe Lee¹, Bo-Woo Lee^{2*}

¹Radiologist, Department of Radiology, Konyang University Hospital
²Professor, Department of Radiological Science, Gimcheon University

요약 자기공명영상 고주파를 차단할 수 있는 금속물질 중 자장에 영향을 받지 않으며 가격이 저렴하고 주위에서 쉽게 구할 수 있는 알루미늄 호일을 이용하여 차폐체를 제작하였다. Phantom 실험 결과 over-sampling 기법을 적용한 경우 적용 전보다 aliasing artifact가 약 94% 감소하였고, 알루미늄 차폐체를 적용한 경우도 적용 전 보다 약 92% 감소하였다. 그리고 scan time도 over-sampling 기법의 경우 적용 전보다 약 3배이상 증가한 반면, 알루미늄 차폐체의 경우는 적용 전과 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 알루미늄 호일을 이용한 차폐체도 기존의 흡수재 및 차폐체들과 마찬가지로 scan time의 증가 없이 aliasing artifact를 효율적으로 제거할 수 있는 것을 확인하였다.

주제어 : 자기공명영상, 고주파, 차폐체, 관심영역, 인공물

Abstract This paper proposes a better shielding method to over sampling technique. The new method uses aluminum foil for RF shielding. As a result of the phantom test, when the over-sampling technique was applied, the aliasing artifact was reduced by about 94% compared to before the application, and the case where the aluminum shielding band was applied was also reduced by about 92% compared to before application. In addition, the scan time also increased by more than 3 times in the case of the over-sampling technique, while it was found that there was no change from before the application of the aluminum shielding band. Therefore, it was confirmed that the shielding band using aluminum foil can effectively remove aliasing artifacts without increasing the scan time..

Key Words : Magnetic Resonance Imaging, Radiofrequency, Shielding Material, Field of View, Artifact

1. 서론

자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; MRI)은 고주파(Radiofrequency; RF)를 이용하여 영상을 획득하는 방법으로, 핵 자기모멘트를 가진 입자의 에너지 준위가 정자기장 속에서 분리 되어 있을 때, 그 간격에

대응하는 진동수의 진동자기장 또는 전자파와의 사이에 생기는 공명현상을 이용한 것이다[1-3]. 특히 정상조직과 병변은 서로 다른 T1과 T2 이완 시간을 갖기 때문에 병변과 주위 조직 간의 신호 강도 차이를 이용하여 병변을 진단하고 기술하는데 있어 자기공명영상의 중요성은 다양한 논문들을 통하여 보고되고 있다[4-7].

*This paper was supported by the fund of Gimcheon University research grants in 2019.

*Corresponding Author : Bo-Woo Lee(moobbo@hanmail.net)

Received September 29, 2020

Accepted November 20, 2020

Revised October 26, 2020

Published November 28, 2020

자기공명영상은 대부분, 국소영역을 자세하게 영상화하는 검사이다. 그러나 자기공명영상화 과정에서 보고자하는 관심영역(Field of view; FOV)에만 국한되게 RF pulse를 부여하는데 한계가 있어, 전신에 인가된 RF로 인하여 다양한 인공물(Artifact)들이 발생하게 된다. 특히 RF pulse를 받는 범위에는 포함되어 있지만 FOV 밖에 있는 대상물은 FOV를 벗어났다 해도 해당부위에서의 신호는 위상부호화 방향이나 주파수부호화 방향으로 모두 발생되어 맞은편에 이와 동일한 신호를 생성하는 aliasing artifact를 발생시키게 된다. 그리고 이 artifact를 어떻게 제거할 것인가 하는 문제는 자기공명영상의 질을 좌우하는 중요한 요소이다[8-10].

Aliasing artifact를 제거하는데 사용되는 방법으로는 over sampling 기법의 적용, phase-encoding 방향의 변경, FOV의 증가, 그리고 pre-saturation slab 적용 등이 있다[11-13]. 그러나 이러한 방법들은 환자의 검사 시간을 증가시키는 단점을 가지고 있어, 이를 해결하고자 RF를 인위적으로 차단시킬 수 있는 물리적인 차폐물질들이 다양하게 제작되어 사용되고 있다[14-17]. 하지만 이 또한 시판되어 있는 차폐물질들의 높은 가격 때문에 대부분의 병원에서 이러한 물리적 방법을 선택할 수 없는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 자장 균일성에 영향을 주지 않으면서도 RF를 차단시킬 수 있는 물질 중 주위에서 쉽게 구할 수 있는 알루미늄 호일을 이용하여 자체 제작한 RF 차폐체가 기존 방법의 단점인 검사시간의 증가와 영상의 질 저하 없이 aliasing artifact 발생을 감소시킬 수 있는지를 실험을 통하여 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 실험장비

본 연구는 3.0T MR 장비(Ingenia, Philips Medical System, Best, the Netherlands)를 사용하였고, coil은 32-channel phased array & receive (SENSE) Anterior coil을 사용하였다. 자기공명영상에서 Aliasing artifact의 발생 정도를 측정하기 위하여 ACR(American college of radiology)-PH1 MRI Phantom(JM Specialty Parts Inc.)과 원통형 fluid phantom을 이용하였다. ACR-PH1 MRI Phantom은 물 3.8 L에 NaCl 17g NiCl₂·6H₂O 11 g을 첨가한 용액으로 채워져 있으며 크기는 직경이 190 mm, 길이

148 mm이다. 원통형 fluid phantom은 5000cc 용량으로 1000ml demi water에 CuSO₄·5H₂O 770mg, NaCl 2000 mg, 1 ml arquad, 0.15ml H₂SO₄-0.1N solution이다.

2.2 RF 차폐체 제작

RF를 차폐할 수 있는 물질 중 일반적으로 쉽게 구할 수 있는 알루미늄 호일을 이용하여 RF 차폐체를 자체 제작하였다. 두께 15 μm인 알루미늄 호일 6장을 서로 겹쳐서 가로 55cm, 세로 35cm 크기로, phantom과 직접 접촉하지 않도록 천으로 겹을 감싸고 Fig. 1과 같이 제작하였다.



Fig. 1. Self produced shielding material

2.3 실험방법

자기공명영상 검사 시 aliasing artifact 발생을 감소시키는데 자체 제작한 RF 차폐체의 성능을 평가하기 위하여, ACR-PH1 MRI phantom과 fluid phantom을 SENSE anterior coil의 장축에 평행하게 나란히 위치시킨 후 ACR phantom이 중심이 되도록 FOV를 설정하여 영상을 획득하였다. 동일한 조건에서 FOV 밖의 fluid phantom에 over sampling 기법을 적용한 경우, 자체 제작한 RF 차폐체를 적용한 경우로 총 세 가지 경우로 나누어 실험하였다. 각각 5회씩 phantom의 횡단면(axial image)의 T1강조영상(SE T1WI)과 T2강조영상(TSE T2WI)을 Table 1과 같이 획득하여 비교분석 하였다.

Table 1. Parameters of experimental method

Sequence	FOV(mm)	TR(ms)	TE(ms)	NEX
T1 WI	300	500	20	1
T2 WI	300	3000	80	1

2.4 영상분석

영상의 분석은 획득된 11개의 영상 중 가운데 영상인 6번째 영상을 선택한 후 영상에서 aliasing artifact가 나타난 background를 포함 한 4개의 부위를 선택한 후 ROI를 설정하여 신호강도를 측정하였다. artifact 감소

기법을 사용하지 않았을 경우의 신호강도를 기준으로 실험방법 각각의 신호강도를 비교하여 Aliasing artifact 감소 정도를 평가하였다. 그리고 MRI 정도 관리 항목 중 고스트 신호백분율(Percent signal ghosting) 측정 방법을 이용하여, artifact가 발생한 경우와 over-sampling을 적용한 경우, RF 차폐체를 적용한 경우 각각에서의 Aliasing artifact 감소 정도를 정량적으로 Fig. 2와 같이 평가하였다. 모든 영상은 영상 측정 프로그램(Image J ver. 1.6.0, NIH, USA)를 이용하여 분석하였다.

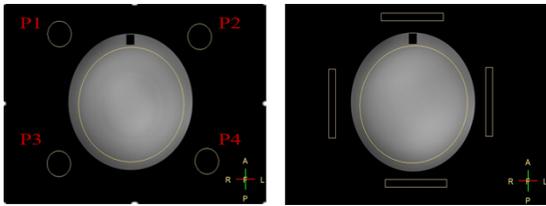


Fig. 2. Method of Image analysis

3. 연구결과

3.1 제작한 차폐체의 성능평가 결과

자기공명영상 검사 시 aliasing artifact 발생을 감소 시키는데 자체 제작한 알루미늄 차폐체의 성능을 평가하기 위하여 phantom을 이용하여 실험한 결과는 다음과 같이 나타났다. background 4개의 부위를 선택한 후 ROI를 설정하여 신호강도를 측정한 결과, aliasing artifact 감소 기법을 사용하지 않은 T1과 T2 영상 모두에서 FOV를 벗어난 곳에 구조물이 있는 반대방향의 background(Point 3) 신호강도가 나머지 3곳보다 월등히 높게 나타나 aliasing artifact가 발생한 것을 확인

할 수 있었다. 그러나 over-sampling 기법과 RF 차폐체를 적용시킨 경우에는 T1과 T2 영상 모두에서 4곳 모두 noise 수준의 신호강도가 측정되어 artifact가 제거된 것을 Table 2, 3에서 확인 할 수 있다.

Table 2. Signal strength measurement result of T1 weighted image

T1 WI	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
Aliasing artifact	1.54 ±0.01	1.54 ±0.01	259.48 ±51.75	2.47 ±1.02
Over-sampling	1.87 ±0.01	0.00 ±0.00	1.31 ±0.86	1.50 ±0.75
Aluminum shielding	2.07 ±0.01	2.07 ±0.01	3.31 ±1.01	2.07 ±0.01

Table 3. Signal strength measurement result of T2 weighted image

T2 WI	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
Aliasing artifact	1.69 ±0.01	1.69 ±0.01	381.17 ±0.54	2.88 ±0.78
Over-sampling	1.67 ±0.01	1.50 ±0.50	1.67 ±0.01	1.67 ±0.01
Aluminum shielding	2.21 ±0.77	2.37 ±0.79	4.41 ±0.63	3.00 ±0.47

3.2 인공물 발생 비교평가 결과

각 기법에 따른 artifact 감소 정도를 평가하기 위하여 MRI 정도 관리 항목 중 하나인 고스트 신호 백분율을 측정한 결과, artifact 감소기법을 사용하지 않은 영상에서는 T1은 4.33±0.04%, T2는 6.17±0.37%로 기준인 2.5%를 넘는 수치로 산출되어 aliasing artifact가 발생된 것을 확인 할 수 있다. 그러나 over-sampling 기법

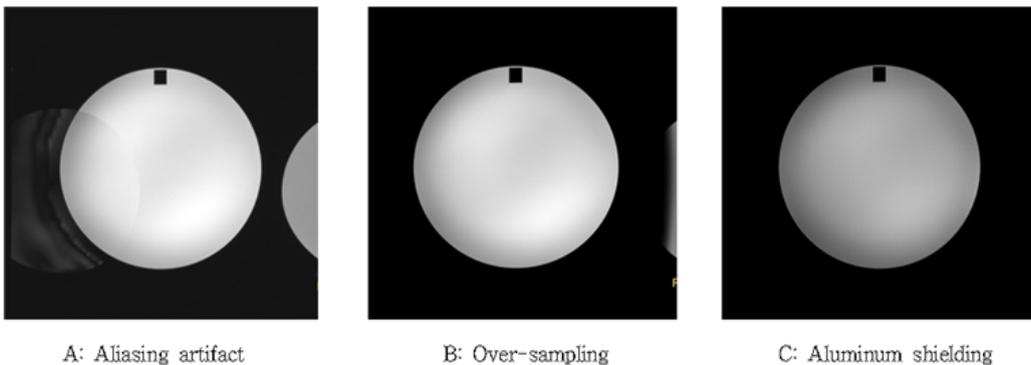


Fig. 3. The comparison of phantom scan images

에서는 T1은 약 95%, T2는 약 94%로 감소하였고, 알루미늄 차폐체의 경우 T1은 약 93%, T2는 92%가 감소되는 것으로 나타나 두 기법 모두 aliasing artifact의 발생을 감소시킨다는 것을 Fig. 3과 같이 확인 할 수 있다. 그러나 over-sampling 기법에서는 scan time이 기존보다 약 3배 이상 증가하였으나, 알루미늄 차폐체를 적용시킨 경우에는 scan time의 변화가 나타나지 않았으며, Table 4와 같았다.

Table 4. Ghost rate measurement result

Classification	Ghost rate	Scan Time
T1 WI		
Aliasing	4.33±0.04	152sec
over-sampling	0.19±0.07	503sec
RF Shielding	0.27±0.02	152sec
T2 WI		
Aliasing	6.17±0.37	63sec
over-sampling	0.31±0.37	102sec
RF Shielding	0.49±0.02	63sec

4. 고찰

신체를 자기공명영상화 할 때, 부분 촬영을 위해 상지(Upper extremity)나 하지(Lower extremity)의 한쪽 부분만을 영상화하는 경우가 많아 반대편 구조물로 인한 aliasing artifact가 빈번히 발생을 한다. FOV 내 위치한 구조물들은 RF pulse에 의해 위상이 $360 \times n^\circ$ 만큼 전이가 된다. 하지만 FOV 밖에 위치한 구조물들은 1phase를 초과하는 위상전이(phase shift)를 가지기 때문에 위상부호화 방향으로 영상의 반대방향에 위상전이 되어 FOV 내 구조물 위에 겹쳐 보이게 되는 aliasing artifact가 되는 것이다.

artifact를 제거하기 위해 사용되는 방법으로는 over sampling 기법의 적용, phase-encoding 방향의 변경, FOV의 증가, 그리고 pre-saturation slab 적용 등이 있다. 하지만 이러한 방법들은 환자의 검사시간을 증가시킨다.

그리고 RF를 인위적으로 차단시킬 수 있는 차폐물질을 이용하여 artifact를 제거하는 방법이 있다. 전자파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 특성을 가진 흡수재나 차폐체로 제작되어 사용되고 있다. RF가 인체와 반응하지 않으면 영상의 신호도 생성되지 않는다는 가정 하에, RF와 인체와의 상호작용을 사전에 차단하여 artifact를 제거하게 되는 것이다. 기존의 방법들 보다 검사시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있지만 가격이 비싸 쉽게 사용

할 수 없다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 RF 흡수재 및 차폐체의 단점을 개선시킬 수 있는 새로운 차폐체를 제작하여 aliasing artifact를 제거하는데 있어 그 유용성을 평가하였다. 기존의 RF 흡수재 및 차폐체들은 RF pulse를 차단하는 방법으로 artifact 발생을 억제한다. 이점을 이용하여 RF를 차단할 수 있는 금속물질 중 자장에 영향을 받지 않으며 가격이 저렴하고 주위에서 쉽게 구할 수 있는 알루미늄 호일을 이용하여 차폐체를 제작하였고, 실험을 통하여 알루미늄 호일을 이용한 차폐체도 기존의 흡수재 및 차폐체들과 마찬가지로 scan time의 증가 없이 aliasing artifact를 효율적으로 제거할 수 있는 것을 확인하였다.

Phantom 실험 결과 over-sampling 기법을 적용한 경우 적용 전보다 aliasing artifact가 약 94% 감소하였고, 알루미늄 차폐체를 적용한 경우도 적용 전 보다 약 92% 감소하였다. 그리고 scan time도 over-sampling 기법의 경우 적용 전보다 약 3배이상 증가한 반면, 알루미늄 차폐체의 경우는 적용 전과 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 스테인레스와 니켈 합금 mesh를 이용한 기존 차폐체와 마찬가지로 알루미늄 차폐체도 기존 artifact 감소 기법의 단점인 scan time의 증가 없이 aliasing artifact를 감소시킬 수 있다는 점을 의미한다. 더불어 저렴한 가격과 주위에서 쉽게 구할 수 있다는 장점은 많은 병원들에서 실제 검사에 적용시키는 면에서 기존의 흡수재나 차폐체보다 활용 가치가 높을 것으로 생각된다.

그러나 알루미늄 차폐체가 실제 검사에 상용화되기 위해서는 더 많은 연구와 실험이 필요할 것이다. 먼저 알루미늄 차폐체가 RF를 차단할 때 금속 표면에 생기는 와전류가 열로 변화되어 온도가 상승되는 문제이다. 본 연구에서 시행하지는 않았지만, 기존 연구들을 통하여 기존의 흡수재나 차폐체가 온도를 상승시키므로 온도변화에 대한 정확한 측정이 필요하다는 문제점들이 야기되었다. 이는 자칫 검사자에게 화상을 일으키는 원인이 될 수도 있다. 따라서 차폐체가 적용된 부위의 시간에 따른 온도변화에 대한 정량적인 실험이 필요할 것이다. 그리고 금속성 차폐체에 의한 자화율 변화에 대한 문제이다. 자화율이란, 물질이 자기장에 놓였을 때 부분적으로 자화되어 금속을 둘러싸고 있는 자기장의 분포에 변화가 생기는 것을 말한다. 이것을 공식화하면 $M = xH$ (M : magnetization, x : magnetic susceptibility, H : magnetic field strength)로 금속의 자화율이 클수록

강한 자화를 일으켜 영상을 왜곡시키고, 급격한 온도 상승이 일어나게 한다.

본 연구에서 사용된 T1 WI와 T2 WI는 금속에 의한 자화를 변화에 상대적으로 영향이 적은 sequence이다. 그러나 실제 임상에서는 Fat-suppression 기법, gradient 기법, EPI 기법 등 자화를 변화에 큰 영향을 받는 다양한 Sequence들이 사용되고 있다. 따라서 알루미늄 차폐체에 의한 자화를 변화가 이러한 Sequence에 어떠한 영향을 미치는지 추가적인 연구가 필요할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 자기공명영상 고주파를 차단할 수 있는 금속물질 중 자장에 영향을 받지 않으며 가격이 저렴하고 주위에서 쉽게 구할 수 있는 알루미늄 호일을 이용하여 차폐체를 제작하였다. 결론적으로 over-sampling 기법을 적용한 경우 적용 전보다 aliasing artifact가 약 94% 감소하였고, 알루미늄 차폐체를 적용한 경우도 적용 전보다 약 92% 감소하였다. 그리고 scan time도 over-sampling 기법의 경우 적용 전보다 약 3배 이상 증가한 반면, 알루미늄 차폐체의 경우는 적용 전과 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 알루미늄 호일을 이용한 차폐체도 기존의 흡수재 및 차폐체들과 마찬가지로 scan time의 증가 없이 aliasing artifact를 효율적으로 제거하였다.

REFERENCES

- [1] Korean Society of Magnetic Resonance Imaging. (2019). *Textbook of Magnetic Resonance Imaging*. Seoul : Chung Ku Publisher
- [2] J. C. Sharp, S. B. King, Q. Deng, V. Volotovskyy & B. Tomanek. (2013). Highresolution MRI encoding using radiofrequency phase gradients. *NMR in Biomedicine*, 26(11), 1602-1607. DOI : 10.1002/nbm.3023
- [3] J. H. Kim. (2010). Introduction to high field strength magnetic resonance imaging. *Korean Medical Assoc*, 53(12), 1055-1058. DOI : 10.5124/jkma.2010.53.12.1055
- [4] E. H. Goo. (2016). Assesment Of Image Quality in the Abdominal Magnetic Resonance Imaging: Comparison with 1.5 T and 3.0 T. *Journal of the Korea Society of Radiology*, 10(5), 367-373. DOI : 10.7742/jksr.2016.10.5.367
- [5] M. A. Bernstein, K. F. King & X. J. Zhou. (2004). *Handbook of MRI Pulse Sequences*. Burlington USA : Elsevier Academic Press.
- [6] L. M. White & K. A. Buckwalter. (2002). Technical Considerations: CT and MR Imaging in the Postoperative Orthopedic Patient. *Semin Musculoskelet Radiol*, 6(1), 005-018. DOI : 10.1055/s-2002-23160
- [7] G. Iannucci, L. Minicucci, M. Rodegher, M. P. Sormani, G. Comi & M. Filippi. (1999). Correlations between clinical and MRI involvement in multiple sclerosis: assessment using T1, T2 and MT histograms. *Journal of the Korea Convergence Society*, 1(1), 83-91. DOI : 10.15207/JKCS.2010.1.1.083
- [8] K. Katarzyna & B. F. Monika. (2015). Artifacts in Magnetic Resonance Imaging. *Polish Journal of Radiology*, 80, 93-106. DOI : 10.12659/PJR.892628
- [9] S. J. Ko. (2010). Metal Artifact Caused by Magnetic Field Strength and Sequence on T1WI-MRI. *Journal of Korea Contents Association*, 10(9), 302-308. DOI: 10.5392/JKCA.2010.10.9.302
- [10] H. H. Hu, A. J. Madhuranthakam, D. G. Kruger, J. F. Glockner & S. J. Riederer. (2005). Variable Field of View for Spatial Resolution Improvement in Continuously Moving Table Magnetic Resonance Imaging. *Magn Reson Med*, 54(1), 146-151. DOI : 10.1002/mrm.20509
- [11] W. J. Choi & D. H. Kim. (2019). Reduction of Artifacts in Magnetic Resonance Imaging with Diamagnetic Substance. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 13(4), 581-588. DOI : 10.7742/jksr.2019.13.4.581
- [12] L. Chen, L. Bao, J. Li, S. Cai & C. Cai, Z. Chen. (2013). An aliasing artifacts reducing approach with random undersampling for spatiotemporally encoded single-shot MRI. *Journal of Magnetic Resonance*, 237, 115-124. DOI : 10.1016/j.jmr.2013.10.005
- [13] S. B. Lee & G. R. Choi. (2012). Evaluation of UTE Signal Acquisition Efficacy in Molecular MRI. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 6(4), 305-311. DOI : 10.7742/jksr.2012.6.4.305
- [14] L. Kang, K. W. Choi, H. B. Lee, S. Na, S. W. Yang & D. K. Seo. (2017). An Effectiveness of Radio Frequency(RF) Shielding Fibers and Customized RF Protective Clothing Applied to the Whole Body in Partial Area Imaging Working as a RF Absorber. *Journal of the Korean Society of MR Technology*, 27(2), 45-57. DOI : 10.31159/ksmrt.2017.27.2.45
- [15] A. H. Brian, W. W. Pauline, B. P. Kim, M. P. John, M. K. Kevin & E. G. Garry. (2011). Metal-Induced Artifacts in MRI. *American Journal of Roentgenology*, 197(3), 547-555. DOI : 10.2214/AJR.11.7364
- [16] L. Wenmiao, B. P. Kim, E. G. Garry, M. P. John & A. H. Brian. (2009). SEMAC: Slice encoding for metal artifact correction in MRI. *Magnetic Resonance in*

Medicine, 62(1), 66-76. DOI : 10.1002/mrm.21967

- [17] G. P. James. (1995). Spatial Encoding and Reconstruction in MRI with Quadratic Phase Profiles. *Magnetic Resonance in Medicine*, 33(1), 24-33. DOI : 10.1002/mrm.1910330105 Health Survey. *The Korean Journal of Health Service Management*, 7(3), 95-109. DOI: 10.12811/kshsm.2013.7.3.095.

이진회(Jin-Hoe Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 전북대학교 방사선과학기술학과(이학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 건양대학교병원 영상의학과 근무
- 2020년 2월 ~ 현재 : 대전보건의대학교 방사선학과 겸임교수
- 관심분야 : 전산화단층촬영학, 자기공명영상학, 디지털방사선학

· E-Mail : dark4782@kyuh.ac.kr

이보우(Bo-Woo Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 건양대학교 보건학과(보건학석사)
- 2014년 2월 : 건양대학교 보건학과(보건학박사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 김천대학교 방사선학과 교수
- 관심분야 : 방사선영상학, 자기공명영상학, 보건통계학

· E-Mail : moobbo@hanmail.net