

# Usefulness Evaluation of Application of Metallic Algorithm Reducing for Beam Hardening Artifact Occur in Typical Brain CT Image

Hyeon ju Kim

Department of Radiological Technology, Dongnam Health University

Received: April 06, 2018. Revised: June 25, 2018. Accepted: June 30, 2018

## ABSTRACT

The study attempted to use computed tomography images to determine the usefulness of the reduction in the axial reduction algorithm in the event of a metallic artifacts reduction in the image of the beam-hardening effect, which is known as the most effective method of reducing metallic artifact reduction in the image and the reduction of the metal produced in this study. As a result, the result is increased to 140 kVp to reduce the value of the CT value by 0.02 to 0.05 %, resulting in decreased axial effect ( $P > 0.05$ ). The CT value decreased from 12.4 to 26.9 % when applied to the reduction of the metallic. 12.4 to 26.9 % ( $p < 0.05$ ). In addition, in the qualitative assessment by the clinical trial evaluation, it was assessed as 1.8 points after applying the MAR algorithm, In the resolution of resolution and contrast evaluations, the estimation of the decrease in metallic artifact effects was assessed as the metal was assessed to be scored 7.2 points after the MAR algorithm was evaluated. Therefore, in case of artifacts due to irreversible beam hardening effect, it is useful to reduce artifacts caused by beam hardening effect by using various methods derived from existing researches and scanning by applying the metal artifact reduction algorithm proposed in this experiment.

Keywords: Beam hardening effect, Algorithm, Artifact, MAR, kVp

## I. INTRODUCTION

방사선 영상진단 분야에서 컴퓨터 단층 영상촬영(Computed Tomography: CT)은 인체 장기의 해부학적 구조를 정확하게 나타낼 수 있는 검사이며 특히, 정확한 질병을 진단 및 치료계획 영역에서 민감도와 특이도가 매우 높아 정확성을 요구하는 검사에 많이 이용되고 있다.<sup>[1]</sup> 정확한 진단을 위해서는 영상의 화질 관리는 매우 중요하며 영상의 질은 인체의 미세 구조를 얼마나 명료하고 정확한 구조의 영상으로 시각화 할 수 있는 것으로 정의 되어 있다.<sup>[2]</sup> CT영상의 질에 영향을 미치는 요소로는 CT 값의 정확도, 노이즈, 공간 분해능, 대조도 분해능, 인공물, 선량 그리고 장치의 정확성이다.<sup>[3]</sup> 위 요소 중 인공물(artifact)은 검사의 목적과는 상관없이 발

생되는 통계적인 오차로 정확한 CT영상의 구성을 교란하거나 방해하여 영상의 질을 저하시키고 미세부분의 관찰능력을 감소시키는 장애음영이라고 정의 되어있으며, 영상 내에 보여 지는 진단의 정확도를 저하시키는 요소로 CT검사 시 항상 고려되어야 하고 발생 원인의 규명을 통해 사전 예방이 필요하다.<sup>[4,5]</sup> 특히 인체에서 밀도차가 큰 장기가 인접해 있는 경우 선속경화현상(Beam-hardening effect)에 의해 인공물이 발생한다. 이는 의료용 X선 발생장치에서 발생된 X선 에너지의 경우 에너지 방향으로 폭을 가진 연속X선(continuous X-ray)이 피검체를 투과하면서 에너지가 낮은 X선이 많이 흡수되어 X선 강도가 높아져 X선 에너지가 상대적으로 상승하는 현상을 말한다. CT영상은 물질을 투과한 감약된 X선 검출기에 감약된 값만큼 농

\* Corresponding Author: Hyeon ju Kim

E-mail:gidoong75@dongnam.ac.kr

Tel: +82-31-249-6632

도차가 발생하며 이를 물을 기준(CT Number: 0)으로 대수화 시켜 CT Number(HU)로 계수화 하며 이 값을 이용하여 영상화와 정량적으로 영상분석이 가능하다. 따라서 인체 내에 X선원 감약 계수가 현저한 차이를 가진 뼈(+300 ~ +500 HU) 또는 인공 금속물(+500 ~ +1000HU)이 삽입되어 있는 경우라면 물체가 X선원을 약화시키고, 이로 인해 투사 측면에 증대한 오류를 일으켜 영상정보를 상실 하거나 선속 경화 인공물을 발생시킨다.<sup>[6,7]</sup> 이처럼 선속 경화현상에 의해 발생한 인공물의 경우 단층영상에서 패임(cupping)으로 나타나거나 감쇠 계수의 감소현상이 나타나 질환판독에 있어 매우 큰 혼란을 주기도 한다. 이러한 선속경화 인공물 발생을 방지하고자 CT개발 초창기부터 다양한 방법을 적용하고 있으며 그 방법으로는 bow-tie filter적용, Water bag사용, 얇은 단면두께(thin slice thickness)선택 그리고 상대적으로 높은 관전압(kVp) 등을 적용하고 있다.<sup>[8]</sup> 본 저자는 전 단락에서 언급한 방법 중 가장 효과적인 방법이지만 방사선 피폭의 한계로 적용하지 못하고 있는 고관전압 사용방법을 비교대상으로 선정 하고, 최근 금속인공물에 의해 발생한 선속경화 인공물을 감소시켜주는 방법인 금속인공물 감소(MAR; Metal Artifact Reduction)알고리즘을 적용하여 스캔 후 획득된 영상을 비교 분석하였으며, 일반 머리 후두부에서 발생하는 선속경화 인공물 감소에 있어 MAR 알고리즘 적용의 유용성을 알아보고자 하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

실험은 Fig. 1과 같은 두부전용팬텀을 이용하여 Table. 1의 스캔조건으로 스캔 후 팬텀에서 선속경화현상에 의해 발생한 인공물 부위에 임의로 관심영역을 선정 후 CT value측정 및 두부 임상영상 평가표를 기준 해당 구조물의 시각적 표시 유무에 따라 비교 분석하였다. 실험을 위해 사용한 CT장비는 Discovery 750 HD(GE Healthcare, Wisconsin, USA) 이고 인체 조직등가 물질로 구성된 Bone opaque head phantom(Supertech, Inc. USA. RS-109)을 이용하였다. 획득된 영상은 3D 프로그램인 Advantage Workstation 4.6 Volume Share 4(GE Healthcare Co.)를 사용하였고, 정량적 분석은 통계 프로그램인

SPSS 18.0(for Windows : SPSS. Chicago, IL)을 이용하였다.

Table 1. According to the Scan Protocol - Phantom study.

kVp	120	140
mA	200	200
Slice thickness(mm)	5	5
Slice increment(mm)	20	20
DFOV(cm)	23	23
Pitch	0.984:139.37	0.984:139.37
Rotation time(sec)	1	1
CTDI(mGy)	45.92	45.92

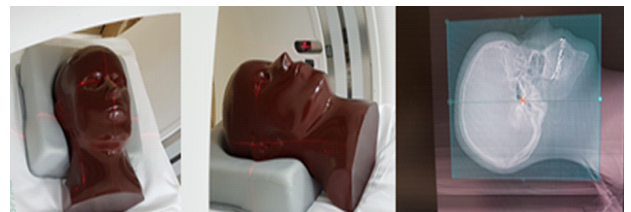


Fig. 1. Image of phantom scanned.

### 1. 정량적 화질평가

#### 1.1 관전압 변화에 따른 CT value 변화율

스캔 후 획득된 영상을 이용하여 두 개 저부의 뇌 실질부와 치아주변에서 발생한 인공물 영역에 동일크기의 3개의 관심영역(ROI)을 Fig. 2, Fig. 3와 같이 그려 CT value를 측정하였고 측정된 값을 비교하여 인공물의 증감정도를 알아보았다.

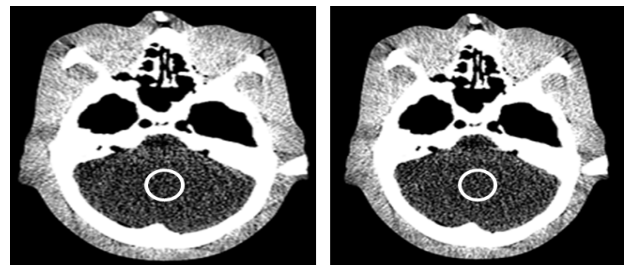


Fig. 2. Measured of CT value to skull base.

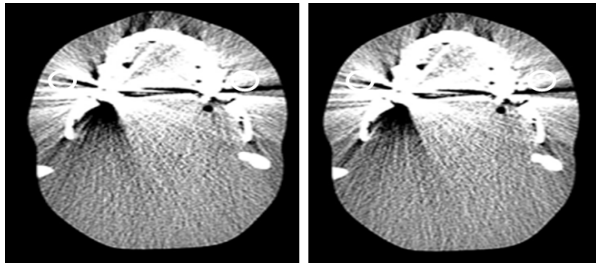


Fig. 3. Measured of CT value to dental region.

1.2 MAR 알고리즘 적용에 따른 CT value 변화율

일반적인 두부 CT 스캔 조건으로 고정 후 모든 조건은 동일한 상황에서 획득한 Raw data에 MAR 알고리즘을 적용하여 획득된 영상에 Fig. 4, Fig. 5 와 같이 동일영역, 동일크기의 3개의 관심영역 (ROI)을 그려 CT value를 측정하였고 측정된 값을 비교하여 인공물의 증감정도를 알아보았다.

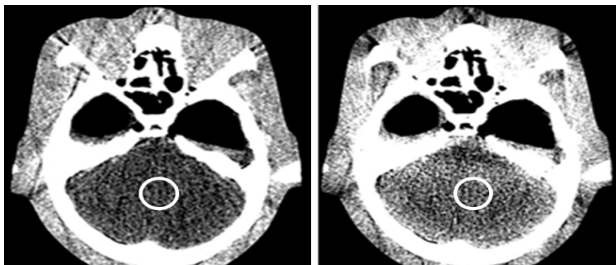


Fig. 4. Measured of CT value to skull base.

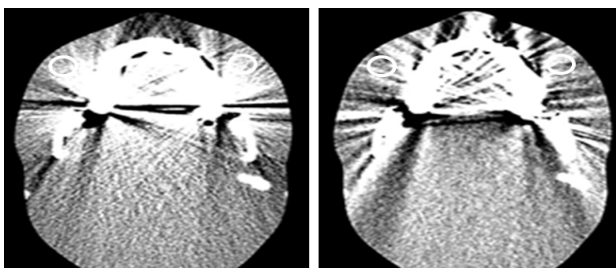


Fig. 5. Measured of CT value to dental region.

2. 정성적 화질평가

2.1 관전압 변화에 따른 화질평가

관전압을 120 kVp에서 140 kVp로 변경 후 획득된 영상데이터를 이용하여 Table 2와 같이 인공물 유무 및 해상도 및 대조도를 두부CT 임상영상 평

가표를 기준으로 두부 전문 판독의2명 CT실 근무 10년차 이상 방사선사3명에게 의뢰하여 화질평가를 받아 비교하였다.

2.2 MAR 알고리즘 적용에 따른 화질평가

일반적인 두부 CT 스캔 조건으로 설정 후 스캔하여 획득된 영상의 Raw데이터에 MAR알고리즘을 적용하여 획득된 영상을 Table 2와 같은 기준으로 동일 평가자에게 의뢰하여 화질평가를 받아 비교하였다.

Table 2. The clinical image evaluation table.

Evaluation list	Evaluation item	Score
Artifact	1. Beam-hardening artifact	2 point
	2. Other artifacts	
Resolution and Contrast	1. Classification of Gray and white matter	8 point
	2. Basal ganglia division	
	3. Sylvian fissure division	
	4. Identifying of brain furrow	
	5. Identifying of proximal part of middle cerebral artery	
	6. Identifying of vermis	
	7. Identifying of cerebello pontine cistern	
	8. Division of Cerebellar cortex and deep white matter	

III. RESULT

1. 정량적 화질평가

1.1 관전압 변화에 따른 CT value 변화율

관전압 변화에 따른 CT value를 측정한 결과 Table 3과 같이 ROI 1인 두 개 저부에서는 115.6 HU로 측정되었고, 140 kVp에서는 113.1 HU로 측정되었다. 또한 ROI 2, 3인 양쪽 치아부위에서 측정된 평균 CT value는 각각 291.8 HU, 327.6 HU로 측정 되었으며, 관전압을 140 kVp로 변경 시 평균 CT value는 각각 283.1 HU, 311.6 HU로 측정 되었다. 측정된 평균 CT value를 기준으로 감소율을 측정결과 관전압을 120 kVp에서 140 kVp로 변경 시 ROI 1에서 0.02 %, ROI 2에서 0.03 % ROI 3에서 0.05 %로 분석되었고 관전압 변화 시 인공물의 감소에는 상대적으로 큰 변화가 없는 것으로 분석되었다(P>0.05).

Table 3. Quantitative Analysis of CT value according to kVp variance by skull base & dental region.

	ROI 1	ROI 2	ROI 3	P
120 kVp	115.6	291.8	327.6	0.073
140 kVp	113.1	283.1	311.6	
Reduce rate(%)	0.02	0.03	0.05	

### 1.2 MAR 알고리즘 적용에 따른 CT value 변화율

MAR 알고리즘을 적용하여 획득된 영상에 동일 영역에 동일크기의 관심영역을 그려 평균 CT value를 측정된 결과 Table 4와 같이 MAR 알고리즘 적용 전 각 ROI에서 평균 CT value는 ROI 1에서 115.6 HU, ROI 2에서 291.8 HU, ROI 3에서 327.6 HU로 측정되었고, MAR 알고리즘 적용 시 평균 CT value는 ROI 1에서 101.3 HU, ROI 2에서 213.1 HU, ROI 3에서 265.3 HU로 측정되었다. 측정된 평균 CT value를 기준으로 감소율을 측정결과 MAR 알고리즘 적용 시 ROI 1에서 12.4 %, ROI 2에서 26.9 %, ROI3에서 19.1 %로 감소되었고 MAR 알고리즘 적용 시 인공물의 감소에는 상대적으로 변화가 있는 것으로 분석되었다(P<0.05).

Table 4. Quantitative Analysis of CT value according to MAR algorithm by skull base & dental region.

	ROI 1	ROI 2	ROI 3	P
Without MAR	115.6	291.8	327.6	0.001
With MAR	101.3	213.1	265.3	
Reduce rate(%)	12.4	26.9	19.1	

## 2. 정성적 화질평가

### 2.1 관전압 변화에 따른 화질평가

관전압 120 kVp와 140 kVp로 획득된 영상데이터를 이용하여 인공물 유무 및 해상도 및 대조도를 두부 임상영상평가표를 기준으로 평가한 결과 Table 5와 같이 120 kVp에서 인공물은 2점 만점에 평균1.0점, 140 kVp에서 1.6점으로 평가되었고 해상도 및 대조도 평가에서는 8점 만점에 관전압 120 kVp에서 6점, 140 kVp에서 7.2점으로 평가되었다.

Table 5. Qualitative Analysis of CT value according to kVp variance.

	120 kVp	140 kVp
Artifact	1.0(2)	1.6(2)
Resolution Contrast	6(8)	7.2(8)

### 2.2 MAR 알고리즘 적용에 따른 화질평가

일반적인 두부 CT 스캔 조건으로 검사 후 획득된 영상의 Raw데이터에 MAR 알고리즘을 적용한 영상을 이용하여 인공물 유무 및 해상도 및 대조도를 평가한 결과 Table 6과 같이 인공물의 경우 2점 만점에 MAR알고리즘 적용 전 1.4점, 적용 후 1.8점으로 평가되었고, 해상도 및 대조도 평가 8점 만점에 MAR알고리즘 적용 전 6.8, 적용 후 7.2점으로 평가되었다.

Table 6. Qualitative Analysis of CT value according to kVp variance.

	Without MAR	With MAR
Artifact	1.2(2)	1.8(2)
Resolution Contrast	6.8(8)	7.2(8)

## IV. DISCUSSION

X선을 이용하여 인체구조를 가시화 시키는 모든 장치에서는 선속을 각 광자에너지가 동일한 단색 X선(Monochromatic X-ray)으로 가정하여 계산한다. 또한 CT영상은 물질의 밀도차이를 투과한 X-ray양 또는 강도에 의해 영상정보를 보여준다.<sup>[9]</sup> 그러나 실제 X선의 광자에너지는 다색 X선(Polychromatic X-ray)의 특성을 가지므로 피사체를 투과하는 에너지가 낮은 광자는 쉽게 흡수되고 높은 에너지의 광자가 많아져 유효에너지가 높아진다. 즉, 피사체가 낮은 광자에너지를 흡수하여 여과(filtering) 역할을 하게 되어 결과적으로 투과된 선속의 평균에너지의 증가의 원인이 되고 있다.<sup>[10]</sup> CT검사를 통해 획득한 영상의 질은 인체의 미세 구조를 얼마나 명료하고 정확한 구조의 영상으로 시각화 할 수 있는

것으로 좌우되며 선속경화현상은 이러한 CT영상이 추구하는 궁극적인 질의 측면에 위배되는 현상으로 작용하여 영상을 왜곡시키는 인공물 형태로 나타난다.<sup>[11]</sup> 이번 연구에서는 선속경화현상이 인공물의 원인으로 실제 영상에서의 왜곡정도를 팬텀 연구를 통하여 확인할 수 있었으며, 특히 두 개 저부의 경우 Nicholas J의 실험에 의하면 Petrous ridge와 같은 뼈가 쌍으로 존재하는 부위 사이에서는 선속경화현상이 발생한다고 보고하고 있다. 이러한 현상을 최소화하기 위해서 교정이 시행되는데, 과거에는 각 Ray를 따라 bone과 연부조직의 양을 결정하기 위해서 최초의 재구성된 영상정보를 이용하여 IBO, BHC 등의 소프트웨어를 적용하였지만 이러한 전처리(Pre-processing)방법은 선속경화현상을 줄이는데 있어 만족할만한 수준은 아니라고 하였다.<sup>[2]</sup> 이에 본 실험에서는 금속인공물에 기인해 선속경화현상으로 발생한 인공물을 줄이는데 금속인공물 제거 기법인 MAR 알고리즘을 적용하였다. MAR 알고리즘은 후 처리(Post-processing)통해 선속경화현상을 감소시키는 것을 목적으로 개발되어 그 결과가 우수하여 다수의 논문에서 인용되었고 현재도 많은 추가실험이 진행되고 있다.<sup>[12,13]</sup> 결국, MAR알고리즘은 인체 주변조직과 밀도차가 큰 경우 밀도 차에 의해 발생한 인공물을 감소시키는 목적으로 두 개 저부의 두꺼운 뼈와 뇌 실질조직과의 밀도 차에 의해 발생한 선속경화현상도 감소시킬 수 있을 것으로 생각되어 본 연구를 진행하였다. 그 결과 관전압을 높여 선속경화현상을 감소시키는 방법은 평균 CT value의 감소율이 상대적으로 높지 않았으며 MAR 알고리즘 적용 시 평균 CT value의 감소율이 12.4 %, 26.9 %, 19.1 % 가 감소되어 상대적으로 인공물 발생률이 낮다는 것을 알 수 있었으며 관찰자에 의한 정성적 분석 결과 CT 영상의 해상력과 대조도 부분에서는 관전압을 높여 스캔한 영상과 큰 차이가 없었지만 인공물 감소 효과 면에서는 MAR 알고리즘 적용 시 상대적으로 높은 점수를 받은 것으로 평가되었다. 또한 두부 팬텀 영상에서 치아의 보철에 의한 검은색 인공물이 생기지 않아 유일하게 완전한 형태의 치아영상을 볼 수 있었으며, 관전압이 증가할수록 ROI의 CT Value값은 증가하면서 노이즈 또한 감소하는

양상을 보이고 있다. 이는 에너지 세기가 클수록 물질 투과정도가 커져 영상 대조도는 감소하지만 그만큼 산란 X-선원이 감소하므로 노이즈가 감소하게 됨을 알 수 있어 고관전압 사용이 권장됨을 알 수 있다.<sup>[14]</sup> 하지만 MAR 알고리즘 적용 시에도 ROI 설정 부위 외 구조적 밀도차가 급격히 변하는 부분에서는 CT value의 차가 많이 줄지 않았으며 오히려 MAR 알고리즘을 적용 시 영상에서의 CT value차가 큰 것으로 측정 되었다. 이러한 점은 실제 밀도차가 큰 위치를 설정하여 감소 방법에 따라 연구해 볼 필요하다고 생각 된다. 의료방사선은 방사선 피폭에 의한 위해보다 환자가 얻을 수 있는 이익이 더 크기 때문에 환자피폭에 대한 선량한도가 적용되지 않지만, 화질을 위해 피폭을 고려하지 않는 것은 의료인의 양심에 위배되는 것으로 생각한다.<sup>[15]</sup> 따라서 임상연구자 및 장비 개발자들은 방사선에 의한 피폭감소를 위해 지속적으로 노력하고 있다.<sup>[16]</sup> 우리는 이번 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다. 허용선량 한도 내에서 영상의 질과 환자의 피폭을 고려하여 정확한 영상정보를 제공해야하며 특히 두부 CT영상에서 금속물질이 아닌 두 개 저부의 밀도 차에 의해 발생한 인공물의 경우 다양한 화질개선 방법이 있지만 금속에 의해 발생한 인공물감소 알고리즘에서 적용하는 MAR를 적용하여 영상처리 시 적용한다면, 기존의 관전압을 높여 검사하는 방법보다 피폭선량감소 뿐만 아니라 보다 양질의 의료영상을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## V. CONCLUSION

두 개 저부에서 불가항력적으로 발생하는 선속경화 현상에 의한 인공물의 경우 기존 방법과 더불어 스캔 후 본 저자 실험을 통해 제시한 금속인공물 감소 알고리즘을 적용하여 재구성한다면 선속경화현상에 의한 인공물을 감소시켜 보다 질 좋은 의료 영상을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## Reference

- [1] B. G Yoo, J. S. Lee, K. J. Jang, S. H. Jeon, Y. S. Kim, D. C. Kweon, "Comparison radiation dose of Z

- Axis automatic tube current modulation technique with fixed tube current multi-detector row CT scanning of lower extremity venography," *Journal of radiation protection and research*, Vol. 32, No. 3, pp. 123-133, 2007.
- [2] N J Schneiders, S C Bushong, "CT quality assurance: computer assisted slice thickness determination," *Journal of Medical Physics*, Vol. 7, No. 1, pp. 61-64, 1990.
- [3] H. J. Kim, "A study of beam hardening effect reduction occur in brain CT," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 16, No. 12, pp. 8479-8486, 2015.
- [4] S H Lee, K H Yang, D Y Kim, S B Kim, "MAR method of study use to Dual Source CT," *Journal of Korean society of Computed Tomographic Technology*, Vol. 1, No. 15, pp. 97-103, 2013.
- [5] M. C. Kim, *The latest CT imaging technology studies theory QC*, Chung Ku Publishing CO, pp. 366-399, 2007.
- [6] S. H. Kim et al, "Development and Radiation Shield effects of Dose Reduction Fiber for Fiber for Scatter ray in CT Exams," *Journal of Korean Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 4, pp. 1871-1872, 2013.
- [7] C. H. Lee, and C. S. Lim, "A study on Added Filters for Reduction of Radiation Exposure Dose in Skull A-P Projection," *Journal of Korean Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 12, No. 7, pp. 3117-3122, 2011.
- [8] Mahnken, Andreas H. Raupach, Rainer, Wildberger, Joachim E. Jung, Bettina, Heussen, Nicole, Flohr, Thomas G. Günther, Rolf W. Schaller, Stefan., "A New Algorithm for Metal Artifact Reduction in Computed Tomography: In Vitro and In Vivo Evaluation After Total Hip Replacement," *A Journal of Clinical and Laboratory research*, Vol. 38, No. 12, pp 769-775, 2003.
- [9] G. J. Kim, S. H. Bae, K. J. Kim, H. K. Oh "Effect of Gamma Energy of Positron Emission Radionuclide on X-Ray CT Image," *Journal of Korean Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 12, No. 10, pp. 4418-4424, 2011.
- [10] M. Chabior, T. Donath, C. David "Beam hardening effects in grating-based x-ray phase-contrast imaging," *Journal of Medical Physics*, Vol. 38, No. 3, pp. 1189-1195, 2011.
- [11] Brown CL, Hartman RP, Dzyubak OP, Takahashi N, Kawashima A, Mc Collough CH, Bruesewitz MR, Primak AM, Fletcher JG., "Dual-energy CT iodine overlay technique for characterization of renal masses as cyst or solid a phantom feasibility study," *European Journal of Radiology*, Vol. 19, No. 5, pp. 1289-1295, 2009.
- [12] S. H. Kim et al., "Development and Radiation Shield effects of Dose Reduction Fiber for Fiber for Scatter ray in CT Exams," *Journal of Korean Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 4, pp. 1871-1872, 2013.
- [13] C. H. Lee, and C. S. Lim, "A study on Added Filters for Reduction of Radiation Exposure Dose in Skull A-P Projection," *Journal of Korean Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 12, No. 7, pp. 3117-3122, 2011.
- [14] Alberto Santamaria-pang, Sandeep Dutta, Sokratis Makroqiannis, Amy Hara, William Pavlicek, Alvin Silva, Brian Thomsen, "Automated liver lesion characterization using fast kvp switching dual energy computed tomography imaging," *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Conference*, Vol. 7624, pp. 76274, 2010.
- [15] ICRP, 1990., "Recommendation of the International Commission on Radiological Protection," Publication 60, *Annals of the ICRP*, Vol. 21, No. 1-3, Pergamon Press Oxford, 1991.
- [16] Y. H. Kim et. al., "patient exposure doses from medical X-ray examination in Korea," *Journal of Korean Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 28, No. 3, pp. 241-248, 2011.

# 머리 CT영상에서 흔히 발생하는 선속경화인공물 감소를 위한 금속인공물감소 알고리즘 적용의 유용성 평가

김현주

동남보건대학교 방사선과

## 요 약

본 연구는 두부 인체모형 팬텀을 컴퓨터 단층촬영 장치를 이용하여 스캔 후 영상에서 발생한 선속경화 현상을 고 관전압 적용 방법과 본 연구에서 적용한 금속인공물감소 알고리즘 적용 영상을 비교하여 금속인공물감소 알고리즘 적용의 유용성을 알아보려고 하였다. 그 결과 관전압을 140 kVp로 높여 스캔 시 CT value가 0.02~0.05 % 감소하여 선속경화현상 감소 효과가 상대적으로 낮았으며( $P>0.05$ ), 금속인공물감소 알고리즘 적용 시 CT value가 12.4~26.9 % 감소하여 선속경화현상 감소 효과에 상대적으로 의미가 있는 것으로 분석되었다( $p<0.05$ ). 또한 임상영상평가표에 의한 정성적 평가에서도 인공물의 경우 MAR알고리즘 적용 후 1.8점으로 평가 되었고, 해상도 및 대조도 평가에서 MAR알고리즘 후 7.2점으로 평가되어 선속경화현상 감소에 있어 금속인공물감소 알고리즘 적용이 의미가 있는 것으로 평가되었다. 따라서 불가항력적으로 발생하는 선속경화 현상에 의한 인공물의 경우 기존연구에서 도출한 다양한 방법과 더불어 본 실험을 통해 제시한 금속인공물 감소 알고리즘을 적용하여 스캔한다면 선속경화현상에 의해 발생한 인공물 감소에 유용할 것으로 사료된다.

중심단어: 선속경화현상, 알고리즘, 인공물, MAR, 관전압