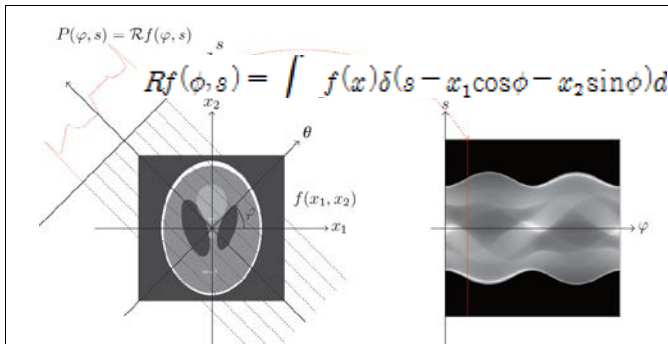


과제 제안서 샘플

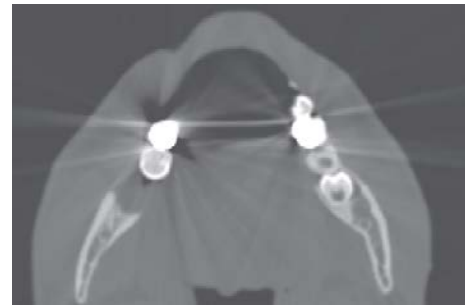
# Microlocal Analysis 를 통한 CT 영상에서 금속물에 의한 영상왜곡 해결 (CT Metal Artifact Reduction:Mathematical Analysis & Algorithm)

## 연구의 필요성

- CT 영상에서 인체 내 금속성 보철물 부위는 흰색-검은색 줄무늬의 Metal artifact 로 표현되어 금속과 인접 부위의 영상을 왜곡시킨다.(그림 2 참조) 이런 영상 왜곡의 근본적인 이유는 금속 물질 때문에 CT sinogram 이 라돈 변환의 Range 에 속하지 않기 때문이다. (그림 1 참조) 영상 재구성 과정에서 금속 물질 때문에 CT 역투영 알고리즘의 기반이 되는 데이터-영상간의 선형구조 (linearity)가 크게 mismatch 시키기 때문이다. 본 연구팀은 이러한 줄무늬의 영상왜곡을 Microlocal Analysis 이론(Hölmänder theory)의 Wavefront set 을 사용하여 분석하였다. 이러한 수학 이론을 바탕으로 Metal Artifact Reduction(MAR)을 가장 효과적으로 수행할 수 있는 핵심 이론 및 기반 기술을 개발하고자 한다.



(그림 1) 라돈 변환의 개념과 CT sinogram



(그림 2) 금속물에 의한 streaking artifacts

- 대표적인 수학 난제** : 수많은 수학자가 wavefront set 을 이용하여 라돈변환의 구조를 연구하였으나, 정작 가장 알려진 난제인 Metal streaking artifacts 에 관한 직접적인 결과는 없다. 난제인 이유는 금속물질의 기하학적인 구조에 따라 X-ray data 가 비선형적으로 변하고, CT backprojection 이 이에 매우 민감(instable)하기 때문이다.
- 기존의 방식** : 영상처리기법은 TV denoising, interpolation or inpainting 등을 이용한 방식으로 영상의 smoothness 또는 variation 에 제약을 가하는 방식으로 artifact 와 함께 중요 정보도 지우는 단점이 있다. 따라서, 기존의 Metal Artifact Reduction(MAR)에 대한 의사들의 부정적인 평가가 많다.
- 필요성** : 세계적인 다국적 기업의 특허 기반 기술 독점으로 인한 의료 장비 산업의 후진화, 노년층 진료에서의 인공 보형-보철물 소유자 급증, CT 영상에서 나타나는 metal artifact 는 영상의 정확한 판독 및 이용에 상당한 지장을 초래함. 금속 보형-보철물의 기하학적 구조를 반영하는 맞춤형 Metal Artifact Reduction 알고리즘 개발 필요함.

## 연구내용

**기존 기술의 문제점**: 현재 사용중인 CT 영상복원방식은 Filtered Backprojection (FBP)로 공식

$$f = \frac{1}{4\pi} R^* L_1 R f$$
에 기반을 두고 있다. 여기서,  $R^*$ 은  $R$ 의 adjoint이고  $L_1$ 은 Riesz potential이다.

이는 X-ray data  $P(\phi, s) = -\ln\left(\int_{E_{min}}^{E_{max}} \eta(E) \exp(-Rf_E(\phi, s)) dE\right)$ 가 Radon transform의 Range에 포함된다는 가정하에서 만들어진 복원공식이다. FBP 공식은 attenuation계수  $f_E$ 가 에너지 구간  $[E_{max}, E_{min}]$ 에서 변화가 적을 때 성립한다.  $f_E$ 가 인체조직에서는  $E$ 에 따라 크게 변하지 않으나, 금속물에서는 크게 변한다. 따라서, 인체에 금속물 존재시 (그림4,5)와 같이 심각한 영상 왜곡이 발생한다.

**본 연구팀의 핵심기술 및 차별화된 내용:** 인체에 금속물이 존재하는 경우 영상왜곡이 발생하는데, 이는 아래와 같이 금속물의 기하학적인 구조  $D$ 에 의해 결정된다.

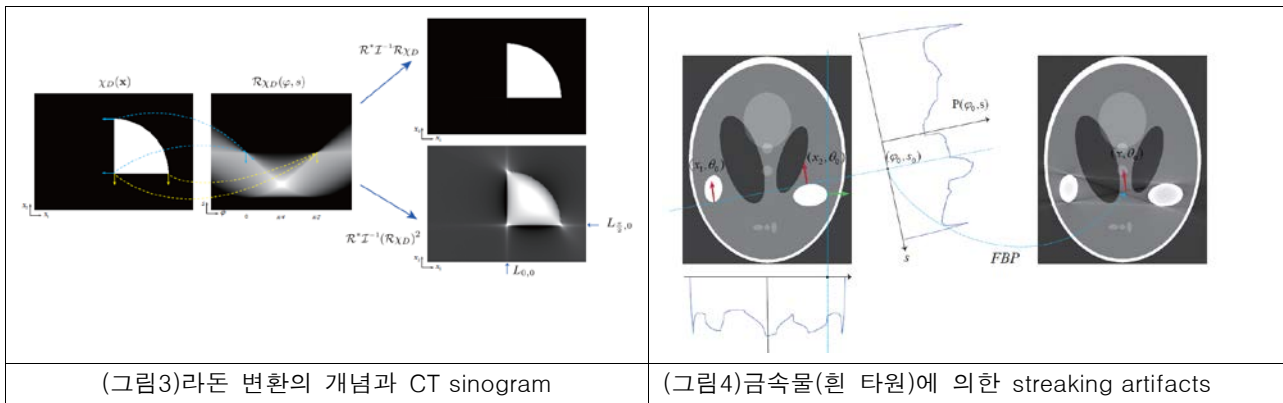
$$f_{MA}(x) = -\frac{1}{8\pi^2} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |w| FT \left[ \ln \left( \frac{\sinh(\alpha \delta R\chi_D(\phi, \cdot))}{\alpha \delta R\chi_D(\phi, \cdot)} \right) \right] (w) e^{iwx \cdot \theta} dw d\phi$$

여기서  $FT$ 는 Fourier transform,  $\theta = (\cos\phi, \sin\phi)$ ,  $x = (x_1, x_2)$ 이다.

본 연구팀은 Hölmader 이론의 wavefront set을 이용하여 아래와 같은 metal streaking artifact(MSA)에 관한 결과를 얻었다. (그림 3, 4 참조)

1. MSA가 존재하지 않기 위한 필요충분조건은  $WF((R\chi_D)^2) \subseteq WF(R\chi_D)$ 이다.
2.  $C_R$ 를 adjoint operator  $R^*$ 의 canonical relation이라 할 때, MSA는  $C_R \circ WF((R\chi_D)^2)$ 의 구조에 의해 완벽히 해석할 수 있다.
3. 금속영역이 strictly convex 이면 MSA는 존재하지 않는다.

위 결과의 의미는  $WF(\chi_D) = \{(x, a\theta) : a \neq 0, x \in \partial D, \theta \perp T_x(\partial D)\}$ 로부터 MSA를 쉽게 얻을 수 있다는 것이다. 여기서  $T_x(\partial D)$ 는 tangent space of  $\partial D$  at  $x$  임. 이 결과의 정당성은 수치실험을 통해 입증했으며 실제 CT 영상에서도 나타남을 발견하였다.



**최종목표:** 위 수학기론을 바탕으로 MAR 알고리즘 원천기술 확보. Metal의 재질, 형태, 삽입된 위치를 자동으로 분석하여 하나의 알고리즘(소프트웨어)으로 각 환자의 케이스별로 Metal artifact를 최소화할 수 있는 알고리즘 개발

연구 인력	연구기간	연구비
○ 명 (교수 ○명/연구원 ○명)	'00.00 ~ '00.00 (00개월)	○○○백만원