



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월27일
(11) 등록번호 10-2414094
(24) 등록일자 2022년06월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/00 (2006.01) A61B 6/03 (2006.01)
G06T 11/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 6/5258 (2020.08)
A61B 6/032 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0103371
(22) 출원일자 2020년08월18일
심사청구일자 2020년08월18일
(65) 공개번호 10-2022-0022328
(43) 공개일자 2022년02월25일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020190115638 A*
KR1020190120756 A*
KR1020200086919 A
JP2016112248 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
이호
서울특별시 강남구 언주로 211(도곡동)
신영길
서울특별시 서초구 효령로 84, 106동 804호(방배동, 대우효령아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 12 항

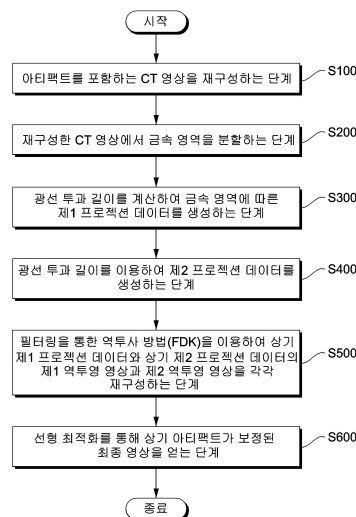
심사관 : 유현석

(54) 발명의 명칭 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명에 따르면, 제1 프로젝션 데이터와 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계 및 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감쇠된 영상을 생성하는 단계를 포함하여 비효율적인 반복적 재구성 구조를 탈피하여 연산량을 줄이는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법 및 장치가 개시된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06T 11/008 (2013.01)

G06T 2207/10081 (2013.01)

(72) 발명자

김동준

서울특별시 마포구 도화길 28, 106동 1404호(도화동, 삼성아파트)

허진

경기도 용인시 수지구 광교마을로 62, 4207동 2301호(상현동, 광교상록자이아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345312599
과제번호	2019R1I1A1A01062157
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	과학기술분야 기초연구사업
연구과제명	딥 콘빔형 전산화 단층촬영 영상 생성을 위한 핵심 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.06.01 ~ 2022.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711113344
과제번호	2017-0-01815
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	혁신성장동력프로젝트(R&D)
연구과제명	AR기반 수술용 개발툴킷 및 응용개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	서울대학교 산학협력단
연구기간	2017.08.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

프로세서가, 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계;

상기 재구성된 CT 영상에서 금속 영역을 분할하는 단계;

상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 금속 영역에 따른 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계;

상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성하는 단계;

상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계; 및

상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감소된 영상을 생성하는 단계;

를 포함하며,

상기 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계는, CT(컴퓨터단층촬영)을 통해 측정된 프로젝션 데이터들의 집합인 로(Raw) 사이노그램을 입력 받아 필터링을 통한 역투사 방법(FDK)을 이용하여 CT 영상을 재구성하는 것으로 이루어지고,

상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계는, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하는 단계; 및 상기 선형 형태로 도출된 투영 오차에서 상기 광선 투과 길이를 이용하여 제1 프로젝션 데이터를 구하는 단계;를 포함하는,

CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성하는 단계는,

상기 광선 투과 길이와 에너지에 따른 물질 감쇠 계수를 이용하여 제2 프로젝션 데이터를 계산하는 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하는 단계는,

물질을 투과하는 길이에 연관된 감쇠 계수를 이용하여 추정 모델을 모델링 하는 단계; 및

상기 추정 모델을 이용하여 상기 프로젝션 데이터의 상기 광선 투과 길이에 따른 감쇠 계수 변화량을 산출하고, 상기 감쇠 계수 변화량을 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 도출하는 단계;를 포함하는

것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 물질을 투과하는 길이에 연관된 감쇠 계수를 이용하여 추정 모델을 모델링 하는 단계는,

상기 측정된 프로젝션 데이터들의 한 픽셀에서의 측정된 감쇠 값을 고려하여 일정 길이만큼 상기 물질을 투과한 시점의 다색 X선 감쇠 계수를 산출하고,

상기 일정 길이의 변화에 따른 상기 다색 X선 감쇠 계수의 변화를 추정하여 추정 모델을 모델링하는 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계는,

상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터를 각각 역투영하고, 제1 프로젝션 계수와 제2 프로젝션 계수를 곱하는 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 프로젝션 계수는, 제1 파라미터와 제2 파라미터의 차로 계산되며,

상기 제1 파라미터는, 다색 X선의 스펙트럼이고, 상기 제2 파라미터는, 에너지에 따른 물질 감쇠 계수인 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 제2 프로젝션 계수는, 상기 아티팩트에 대한 스케일을 의미하는 값인 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감쇠된 영상을 생성하는 단계는,

상기 제2 프로젝션 계수를 변경하여 상기 금속 영역 내부의 컵핑(cupping) 아티팩트가 최소화되는 경우에 상기 아티팩트가 감쇠된 영상을 얻는 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법.

청구항 11

하나 이상의 인스트럭션을 저장하는 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 하나 이상의 인스트럭션을 실행하는 프로세서;를 포함하고,

상기 프로세서는, 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계, 상기 재구성된 CT 영상에서 금속 영역을 분할하는 단계, 상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 금속 영역에 따른 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계 및 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감쇠된 영상을 생성하는 단계를 수행하며,

상기 프로세서는, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 CT(컴퓨터단층촬영)을 통해 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하는 단계 및 상기 선형 형태로 도출된 투영 오차에서 상기 광선 투과 길이를 이용

하여 제1 프로젝션 데이터를 구하는 단계를 수행하는 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치.

청구항 12

삭제

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 프로세서는, 상기 광선 투과 길이와 에너지에 따른 물질 감쇠 계수를 이용하여 제2 프로젝션 데이터를 계산하는 단계를 수행하는 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 프로세서는, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터를 각각 역투영하고, 제1 파라미터와 제2 파라미터의 차로 계산되는 제1 프로젝션 계수와 상기 아티팩트에 대한 스케일을 의미하는 값인 제2 프로젝션 계수를 곱하는 단계를 수행하고,

상기 제1 파라미터는, 다색 X선의 스펙트럼이고, 상기 제2 파라미터는, 에너지에 따른 물질 감쇠 계수인 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 프로세서는, 상기 제2 프로젝션 계수를 변경하여 상기 금속 영역 내부의 컵핑(cupping) 아티팩트가 최소화 되는 경우에 상기 아티팩트가 감쇠된 영상을 얻는 단계를 수행하는 것을 특징으로 하는 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 CT영상의 아티팩트 보정 방법 및 장치에 관한 것으로, 특히 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] CT영상의 아티팩트(artifact) 영역에 대해 처리하는 방법으로 프로젝션(projection) 영상에서 임의의 값으로 채워 넣거나(inpainting), X-ray의 물리적 특성을 분석하여 이를 통해 직접적으로 금속 영역의 값을 교정하는(correction) 방법이 있다.

[0003] Inpainting 방법론들은 제약과 계산 비용이 적어서 효율적이라는 장점이 있으나 실제 X-ray의 물리적 특성을 고려하지 않았기에, 추가적인 artifact가 발생하거나 영상의 일부 정보가 손실되는 경우가 발생한다.

[0004] correction 방법론의 경우, 처리 결과가 효과적이거나 교정에 필요한 여러 제약 조건들이 요구되어, 이를 회피하기 위해 반복적으로 CT 재구성을 수행하면서 해당 값을 추정해 나가는 구조를 갖게 되고, 이로 인해 계산 비용이 매우 비효율적이게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법 및 장치에 관한 것으로 제1 프로젝션 데이터와 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계 및 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감쇠된 영상을 생성하는 단계를 포함하여 비효율적인 반복적 재구성 구조를 탈피하여 연산량을 줄이는데 그 목적이 있다.

[0006] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법은, 프로세서가, 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계, 상기 재구성된 CT 영상에서 금속 영역을 분할하는 단계, 상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 금속 영역에 따른 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계 및 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감소된 영상을 생성하는 단계를 포함한다.

[0008] 여기서, 상기 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계는, CT(컴퓨터단층촬영)을 통해 측정된 프로젝션 데이터들의 집합인 로(Raw) 사이노그램을 입력 받아 필터링을 통한 역투사 방법(FDK)을 이용하여 CT 영상을 재구성한다.

[0009] 여기서, 상기 순방향 투영을 통해 상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계는, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하는 단계 및 상기 선형 형태로 도출된 투영 오차에서 상기 광선 투과 길이를 이용하여 제1 프로젝션 데이터를 구하는 단계를 포함한다.

[0010] 여기서, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성하는 단계는, 상기 광선 투과 길이와 에너지에 따른 물질 감쇠 계수를 이용하여 제2 프로젝션 데이터를 계산한다.

[0011] 여기서, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하는 단계는, 물질을 투과하는 길이에 연관된 감쇠 계수를 이용하여 추정 모델을 모델링 하는 단계 및 상기 추정 모델을 이용하여 상기 프로젝션 데이터의 상기 광선 투과 길이에 따른 감쇠 계수 변화량을 산출하고, 상기 감쇠 계수 변화량을 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 도출하는 단계를 포함한다.

[0012] 여기서, 상기 물질을 투과하는 길이에 연관된 감쇠 계수를 이용하여 추정 모델을 모델링 하는 단계는, 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 한 픽셀에서의 측정된 감쇠 값을 고려하여 일정 길이만큼 상기 물질을 투과한 시점의 다색 X선 감쇠 계수를 산출하고, 상기 일정 길이의 변화에 따른 상기 다색 X선 감쇠 계수의 변화를 추정하여 추정 모델을 모델링한다.

[0013] 여기서, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계는, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터를 각각 역투영하고, 제1 프로젝션 계수와 제2 프로젝션 계수를 곱한다.

[0014] 여기서, 상기 제1 프로젝션 계수는, 제1 파라미터와 제2 파라미터의 차로 계산되며, 상기 제1 파라미터는, 다색 X선의 스펙트럼이고, 상기 제2 파라미터는, 에너지에 따른 물질 감쇠 계수이다.

[0015] 여기서, 상기 제2 프로젝션 계수는, 상기 아티팩트에 대한 스케일을 의미하는 값이다.

[0016] 여기서, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감소된 영상을 생성하는 단계는, 상기 제2 프로젝션 계수를 변경하여 상기 금속 영역 내부의 컵핑(cupping) 아티팩트가 최소화되는 경우에 상기 아티팩트가 감소된 영상을 얻는다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치는, 하나 이상의 인스트럭션을 저장하는 메모리 및 상기 메모리에 저장된 하나 이상의 인스트럭션을 실행하는 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계, 상기 재구성된 CT 영상에서 금속 영역을 분할하는 단계, 상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 금속 영역에 따른 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계 및 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감소된 영상을 생성하는 단계를 수행한다.

- [0018] 여기서, 상기 프로세서는, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 CT(컴퓨터단층촬영)을 통해 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하는 단계 및 상기 선형 형태로 도출된 투영 오차에서 상기 광선 투과 길이를 이용하여 제1 프로젝션 데이터를 구하는 단계를 수행한다.
- [0019] 여기서, 상기 프로세서는, 상기 광선 투과 길이와 에너지에 따른 물질 감쇠 계수를 이용하여 제2 프로젝션 데이터를 계산하는 단계를 수행한다.
- [0020] 여기서, 상기 프로세서는, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터를 각각 역투영하고, 제1 파라미터와 제2 파라미터의 차로 계산되는 제1 프로젝션 계수와 상기 아티팩트에 대한 스케일을 의미하는 값인 제2 프로젝션 계수를 곱하는 단계를 수행하고, 상기 제1 파라미터는, 다색 X선의 스펙트럼이고, 상기 제2 파라미터는, 에너지에 따른 물질 감쇠 계수이다.
- [0021] 여기서, 상기 프로세서는, 상기 제2 프로젝션 계수를 변경하여 상기 금속 영역 내부의 컵핑(cupping) 아티팩트가 최소화되는 경우에 상기 아티팩트가 감쇠된 영상을 얻는 단계를 수행한다.

발명의 효과

- [0022] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 제1 프로젝션 데이터와 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계 및 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감쇠된 영상을 생성하는 단계를 포함하여 비효율적인 반복적 재구성 구조를 탈피하여 연산량을 줄일 수 있다.
- [0023] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치의 블록도이다.
- 도 2 내지 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법의 추정 모델을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에 따른 재구성된 CT 영상을 예로 들어 도시한 것이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에 따른 전체 과정을 예로 들어 도시한 것이다.
- 도 8 내지 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에 따른 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 본 발명에 관련된 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법 및 장치에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0026] 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다.
- [0027] 본 발명은 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법 및 장치에 관한 것이다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치의 블록도이다.
- [0029] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치(1)는 프로세서(10), 메모리(20), 영상 촬영부(30), I/O 인터페이스(40)를 포함한다.
- [0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치(1)는 X-ray의 물리적 특성을 분석하여 이로부터 프로젝션(projection) 영상의 정확한 교정을 통해 금속 아티팩트(metal artifact)를 효과적으로 감소시키기

위한 장치이다.

- [0031] CT 영상에서 금속 아티팩트(metal artifact)의 원인에는 여러 가지가 있지만, 가장 핵심적인 요인은 바로 빔 하드닝(beam hardening)이다. CT 영상을 만드는 대표적인 방법인 Filtered Back-projection(FBP)는 사용되는 X-ray가 단일 에너지로 구성된 monochromatic X-ray 를 가정하는데, 실제 장비에서는 물리적 구현의 한계로 인하여 polychromatic X-ray 를 사용한다. 여기서 beam hardening 이라는 변수가 발생하게 되고, metal artifact 라는 결과를 초래한다.
- [0032] Beam hardening에 의하여 각 프로젝션(projection)상에서 촬영 시 금속과 같은 고밀도 물질을 통과한 영역에서 실제 측정된 감쇠 정도가 기대보다 낮게 측정되는 것이 artifact를 일으키는 직접적인 요인이다. 이러한 영역에 대해 처리하는 여러가지 방법론들이 연구되어 왔고, 대표적으로 projection영상에서 임의의 값으로 채워 넣거나 (inpainting), X-ray 의 물리적 특성을 분석하여 이를 통해 직접적으로 금속 영역의 값을 교정하는(correction) 방법들이 있다. Inpainting 방법론들은 기본적으로 correction 방법론들에 비해 제약과 계산 비용이 적어서 효율적이라는 장점을 갖는다. 허나 이들은 실제 X-ray 의 물리적 특성을 고려하지 않았기에, 추가적인 artifact 가 발생하거나 영상의 일부 정보가 손실되는 경우가 발생한다. 반면에 correction 방법론의 경우, 처리 결과가 매우 효과적이다. 다만 교정에 필요한 여러 제약 조건들이 요구되어, 이를 회피하기 위해 반복적으로 CT 재구성을 수행하면서 해당 값을 추정해 나가는 구조를 갖게 되고, 이로 인해 계산 비용이 매우 비효율적이게 된다.
- [0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 장치(1)는 Constrained beam-hardening estimator(CBHE)를 통해 이상적인 CT 결과와 실제 계산된 결과와의 차이를 계산하는데, 고정된 횟수의 CT 재구성을 수행하고 난 후 선형 최적화(linear optimization)를 통하여 CBHE의 unknown parameter를 식별함으로써 비효율적인 반복적 재구성 구조를 탈피하여 보다 효율적인 구조를 가지게 된다.
- [0034] 프로세서(10)는 상기 피검자를 촬영한 CT 영상으로부터 상기 피검자의 3D 모델링 영상을 생성하는 방법을 수행한다.
- [0035] 프로세서(10)는 기능에 따라 복수 개의 모듈들로 구분될 수도 있고, 하나의 프로세서에서 기능들을 수행할 수도 있다.
- [0036] 프로세서(10)는, 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계, 상기 재구성된 CT 영상에서 금속 영역을 분할하는 단계, 상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 금속 영역에 따른 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성하는 단계, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터 각각의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성하는 단계 및 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감쇠된 영상을 생성하는 단계를 수행한다.
- [0037] 메모리(20)는 프로세서(10)의 처리 및 제어를 위한 프로그램들(하나 이상의 인스트럭션들)을 저장할 수 있다.
- [0038] 영상 촬영부(30)는 팬텀 또는 진단하고자 하는 피검자의 CT 영상을 촬영하여, 프로세서로 전송한다.
- [0039] I/O 인터페이스(40)는 시스템 또는 장비를 연결 할 수 있는 연결매체를 장착할 수 있는 장치로서 본 발명에서는 영상 촬영부와 프로세서를 연결한다.
- [0040] 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법은 하기 도 2 내지 도 4에서 상세히 설명한다.
- [0041] 도 2 내지 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0042] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법은 프로세서가, 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계(S100)에서 시작한다.
- [0043] 아티팩트를 포함하는 CT 영상을 재구성하는 단계(S100)는, CT(컴퓨터단층촬영)을 통해 측정된 프로젝션 데이터들의 집합인 로(Raw) 사이노그램을 입력 받아 필터링을 통한 역투사 방법(FDK)을 이용하여 CT 영상을 재구성한다.
- [0044] 단계 S200에서 상기 재구성된 CT 영상에서 금속 영역을 분할한다.
- [0045] 이 때 사용될 수 있는 금속 추출 알고리즘은 임계값(threshold) 기반의 알고리즘과 액티브 컨투어(active contour) 기반의 알고리즘 등을 사용할 수 있다.
- [0046] 단계 S300에서 순방향 투영을 통해 상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 금속 영역에 따른 제1 프

로젝션 데이터를 생성한다.

- [0047] 단계 S400에서 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 금속 영역 주변의 아티팩트와 관련된 제2 프로젝션 데이터를 생성한다.
- [0048] 구체적으로, 상기 선형 형태로 도출된 투영 오차에서 상기 광선 투과 길이와 에너지에 따른 물질 감쇠 계수를 이용하여 제2 프로젝션 데이터를 계산한다.
- [0049] 단계 S500에서 필터링을 통한 역투사 방법(FDK)을 이용하여 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터의 제1 역투영 영상과 제2 역투영 영상을 각각 재구성한다.
- [0050] 구체적으로, 상기 제1 프로젝션 데이터와 상기 제2 프로젝션 데이터를 각각 역투영하고, 제1 프로젝션 계수와 제2 프로젝션 계수를 곱한다.
- [0051] 여기서, 상기 제1 프로젝션 계수는, 제1 파라미터와 제2 파라미터의 차로 계산되며, 상기 제1 파라미터는, 다색 X선의 스펙트럼이고, 상기 제2 파라미터는, 에너지에 따른 물질 감쇠 계수이다.
- [0052] 상기 제2 프로젝션 계수는, 상기 아티팩트에 대한 스케일을 의미하는 값이다.
- [0053] 단계 S600에서 선형 최적화를 통해 상기 제1 역투영 영상 및 제2 역투영 영상을 이용하여, 상기 재구성된 CT영상에 포함되는 아티팩트가 감쇠된 영상을 생성한다.
- [0054] 구체적으로, 상기 제2 프로젝션 계수를 변경하여 상기 금속 영역 내부의 컵핑(cupping) 아티팩트가 최소화되는 경우에 아티팩트가 감쇠된 영상을 얻는다.
- [0055] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에서 순방향 투영을 통해 상기 금속 영역을 따라 광선 투과 길이를 계산하여 제1 프로젝션 데이터를 생성하는 단계(S300)는, 단계 S310에서 상기 광선 투과 길이를 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출한다.
- [0056] 단계 S320에서 상기 선형 형태로 도출된 투영 오차에서 상기 광선 투과 길이를 이용하여 제1 프로젝션 데이터를 구한다.
- [0057] 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에서 광선 투과 길이를 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하는 단계(S310)는, 단계 S311에서 물질을 투과하는 길이에 연관된 감쇠 계수를 이용하여 추정 모델을 모델링한다.
- [0058] 구체적으로, 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 한 픽셀에서의 측정된 감쇠 값을 고려하여 일정 길이만큼 상기 물질을 투과한 시점의 다색 X선 감쇠 계수(Polychromatic X-ray attenuation coefficient)를 산출하고, 상기 일정 길이의 변화에 따른 상기 다색 X선 감쇠 계수의 변화를 추정하여 추정 모델을 모델링한다.
- [0059] Beam hardening 은 물질을 통과하는 중간에 지속적으로 발생하는 것이기에, 감쇠 계수는 물질을 통과하는 길이에 연관되어 있고, 이에 따라 모델링이 가능하다.

수학식 1

[0060]
$$P = \int_0^l \widehat{\mu}_m(l') dl' = -\ln\left(\frac{\int I(E, l) dE}{\int I(E, 0) dE}\right)$$

수학식 2

[0061]
$$\widehat{\mu}_m(l) = \frac{dP}{dl} = -\frac{\int I(E, 0) * \exp\{-\mu_m(E)l\} (-\mu_m(E)) dE}{\int I(E, 0) * \exp\{-\mu_m(E)l\} dE} = -\frac{g'_m(l)}{g_m(l)}$$

[0062] 상기 수학적 식 1과 수학적 식 2에서 P 는 projection 영상의 한 pixel 에서의 측정된 감쇠 값을 의미한다. 그리고 $\widehat{\mu}_m(l)$ 은 물질 m 을 길이 l 만큼 통과한 시점의 다색 X선(polychromatic X-ray)의 감쇠 계수이다. 여기서, l 은 광선 투과 길이이다.

[0063] $I(E, l)$ 은 물질 m 을 길이 l 만큼 통과한 시점의 polychromatic X-ray 에서 에너지 E 를 갖는 광자들의 양(intensity)를 나타내는 것으로 Beer-Lambert law 에 의해 $I(E, l) = I(E, 0) * \exp\{-\mu_m(E)l\}$ 로 표현된다. 여기서 $\mu_m(E)$ 는 물질 m 에 대한 에너지 E 를 갖는 X-ray 의 감쇠 계수이다.

[0064] 여기에서, 광선 투과 길이 l 에 따라 모델화한 다색 X선 감쇠 계수 (polychromatic X-ray attenuation coefficient)를 이용하여 감쇠 계수의 변화를 추정한다. 먼저 $\widehat{\mu}_m(l)$ 의 모습을 나타내면 하기 도 5와 같다.

[0065] 단계 S312에서 상기 추정 모델을 이용하여 상기 프로젝션 데이터의 상기 광선 투과 길이에 따른 감쇠 계수 변화량을 산출하고, 상기 감쇠 계수 변화량을 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 도출한다.

[0066] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법의 추정 모델을 설명하기 위한 도면이다.

[0067] 도 5를 참조하면, $\widehat{\mu}_m(l)$ 은 $\widehat{\mu}_m(0)$ 에서 시작하여 투과 길이 l 이 증가함에 따라 $\mu_m(E_M)$ 으로 수렴하는 형태를 보인다.

[0068] 이때 E_M 은 polychromatic X-ray 를 구성하는 광자들이 갖는 에너지 중에 가장 최대값을 의미한다. 여기서 $e_m(l)$ 은 감쇠 계수 변화량으로, 투과 길이 l 인 시점에서 감쇠 계수의 감소된 정도를 나타낸다. 이로부터 projection 상의 오차인 투영 오차 $\psi_m(l)$ 는 수학적 식 3을 이용하여 계산할 수 있다.

수학적 식 3

$$\psi_m(l) = \int_0^l e_m(l')dl' = \widehat{\mu}_m(0)l + \ln\left(\frac{g_m(l)}{g_m(0)}\right)$$

[0069] 여기서 $\ln\left(\frac{g_m(l)}{g_m(0)}\right)$ 은 polychromatic X-ray 의 스펙트럼과 물질의 감쇠 계수 $\mu_m(E)$ 에 종속되어 있으므로 이들 없이는 계산이 불가하다. 이러한 종속 구조에서 벗어나기 위해, 몇 가지 가정을 통해 상기 수학적 식 3을 수학적 식 4와 같이 근사(approximation)한다.

수학적 식 4

$$\begin{aligned}\psi_m(l) &= \beta\psi_{m,1}(l) + \alpha\psi_{m,2}(l) \\ \beta &= \widehat{\mu}_m(0) - \mu_m(E_M) \\ \psi_{m,1}(l) &= l \\ \psi_{m,2}(l) &= \ln\left(\frac{1 - \exp\{-\mu_m(E_M)l\}}{\mu_m(E_M)l}\right)\end{aligned}$$

[0071]

[0072] 여기서, $\Psi_{m,1}(1)$ 는 제1 프로젝션 데이터, $\Psi_{m,2}(1)$ 는 제2 프로젝션 데이터이다.

[0073] 광선 투과 길이 1를 이용하여 상기 측정된 프로젝션 데이터들의 투영 오차를 선형 형태로 도출하고, 상기 선형 형태로 도출된 투영 오차에서 상기 광선 투과 길이를 이용하여 제1 프로젝션 데이터를 구하게 된다.

[0074] 또한, 광선 투과 길이 1와 에너지에 따른 물질 감쇠 계수 $\mu_m(E)$ 를 이용하여 제2 프로젝션 데이터를 계산한다.

[0075] 교정된 projection 인 $P+\Psi_m(1)$ 을 이용하여 CT 재구성을 수행하면 수학식 5와 같이 정리된다.

수학식 5

$$f_{CT} + \beta R^{-1}(\psi_{m,1}(l)) + \alpha R^{-1}(\psi_{m,2}(l))$$

[0077] 여기서, R^{-1} 는 FBP 연산자를 나타내며, f_{CT} 는 $R^{-1}(P)$ 로 교정하기 전의 CT 영상(uncorrected CT)를 의미한다.

[0078] 여기서 $\beta R^{-1}(\psi_{m,1}(l)) + \alpha R^{-1}(\psi_{m,2}(l))$ 가 constrained beam-hardening estimator 이다.

[0079] β 는 제1 프로젝션 계수이고, α 는 제2 프로젝션 계수이다.

[0080] 상기 제1 프로젝션 계수는, 제1 파라미터와 제2 파라미터의 차로 계산되며, 상기 제1 파라미터는, 다색 X선의 스펙트럼이고, 상기 제2 파라미터는, 에너지에 따른 물질 감쇠 계수이다.

[0081] 상기 제2 프로젝션 계수는, 상기 아티팩트에 대한 스케일을 의미하는 값이다.

[0082] 상기 수학식 5의 각 요소들에 대한 예시는 하기 도 6에 나타난다.

[0083] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에 따른 재구성된 CT 영상을 예로 들어 도시한 것이다.

[0084] 도 6의 (a), (b), (c)는 각각 f_{CT} , $R^{-1}(\Psi_{m,1}(1))$, $R^{-1}(\Psi_{m,2}(1))$ 를 의미하며, 각 요소의 특성을 보여준다.

[0085] 여기서, f_{CT} 는 아티팩트가 포함된 재구성된 CT 영상을 의미하고, $R^{-1}(\Psi_{m,1}(1))$ 는 제1 역투영 영상, $R^{-1}(\Psi_{m,2}(1))$ 은 제2 역투영 영상을 의미한다.

[0086] 도 6의 (c)의 경우 금속 인공물 모양이 거꾸로 되어 있다. 이는 금속 영역 주위의 줄무늬 아티팩트 및 금속 영역 내부의 컷팅 아티팩트의 수정과 직접 관련이 있다.

[0087] 도 6의 (b)는 균일한 금속 영역의 모양을 가지며 금속 영역에서 $R^{-1}(\Psi_{m,2}(1))$ 만큼 감소된 강도를 보상한다.

[0088] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에 따른 전체 과정을 예로 들어 도시한 것이다.

[0089] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법의 MAR 알고리즘의 순서를 나타낸 것이다.

[0090] MAR 알고리즘의 순서는 상기 도 2 내지 도 4에 나타난 바와 같다.

[0091] 상기 수학식 5에서 주어지야 하는 파라미터(parameter)는 $\widehat{\mu_m}(0)$, $\mu_m(E_M)$, 1, α 이다.

[0092] 여기서 1은 물질 m 에 대한 투과 길이로, 분할된 금속 영역을 이용하여 각 projection 상의 광선 투과 길이를 계산하는 단계에서 획득한다. $\widehat{\mu_m}(0)$ 와 $\mu_m(E_M)$ 는 실제로는 polychromatic X-ray의 spectrum과 에너지에 따른 물질 감쇠 계수 정보가 주어지야 계산이 되지만, CT 영상에서 금속 영역의 최대값과 최소값으로 대체가 가

능하다.

[0093] 마지막 α 는 CBHE로부터 실제 artifact에 대한 scale을 의미하는 값으로, CT영상의 금속 영역 내에 발생하는 cupping artifact (CT결과 영상에 균일한 물질에 대해 내부로 갈수록 값이 낮아져 profile 상으로 움푹 패인 컵 모양처럼 나타나는 허상물)가 가장 최소화되는 경우를 찾음으로써 식별할 수 있다. 아래는 cupping artifact가 최소가 되는 경우에 값이 최소가 되는 비용 함수 (cost function)이다.

수학식 6

[0094]
$$SD\left(f_{CT}(x) + \alpha R^{-1}\left(\psi_{m,2}(l)\right)(x)\right) \text{ for } M(x) > 0$$

[0095] 여기서, SD는 표준편차를 나타내는 연산자이고, $M(x)$ 는 금속 영역은 1, 기타 영역은 0으로 되어있는 mask 영상이다.

[0096] 도 8 내지 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 CT영상의 금속 아티팩트 보정 방법에 따른 결과를 설명하기 위한 도면이다.

[0097] 도 8은 소프트웨어 팬텀의 아티팩트 감소를 보여준다. 도 8의 첫 번째 열은 비교를 위한 ground-truth 이미지이다.

[0098] 맨 윗줄은 각각의 비금속, 2개의 구리(Cu) 임플란트, 2개의 철(Fe) 임플란트 및 2개의 티타늄(Ti) 임플란트에 대한 보정되지 않은 이미지를 보여준다.

[0099] 맨 아래 줄에는 제안된 아티팩트 축소 방법을 적용하여 수정된 각 이미지가 표시된다. 모든 결과는 흰색 줄무늬와 어두운 그림자 밴드가 있는 인공물이 명확하게 제거되고 인공물에 의해 가려진 형태학적 정보가 완전히 드러난 것을 확인할 수 있다.

[0100] 표 1은 각 방법의 품질 (NRMSD) 및 속도 (시간)를 보여준다. 제안된 방법은 FBP 반복 횟수가 낮아 BCMAR보다 최상의 품질과 속도를 보여준다.

표 1

Methods	Uncorrected	LIMAR	BCMAR	Proposed
NRMSD (%)	23.40	22.91	14.39	3.13
Time (sec)	2.62	5.39	35.57	8.73
# of FBP	1	2	11	3

[0101]

[0102] 도 9는 LIMAR, BCMAR 및 제안된 Cu 임플란트 팬텀 방법을 비교한 것이다.

[0103] 상단 행은 각 방법의 재구성 결과를 보여주고, 두 번째 행은 참조 이미지에 대한 각 결과의 차이 이미지를 보여준다. FDK를 제외한 모든 방법은 참조 이미지에 표시된 빔 경화 아티팩트를 줄였다. 그러나 LIMAR의 경우 금속 영역 주변의 형태 학적 정보가 손실되고 2 차 아티팩트가 새로 도입된 것을 확인할 수 있다.

[0104] 제안된 방법은 FBP 반복 횟수가 낮아 BCMAR보다 최상의 품질과 속도를 보여준다.

[0105] 도 10은 TriTiPhantom (위)과 JawEquivPhantom (아래)의 두 가지 하드웨어 팬텀에 대해 제안된 방법을 사용한

실험 결과를 보여준다. 왼쪽 열에는 수정되지 않은, 수정 된 $R^{-1}(\Psi_{m,1}(1))$, $R^{-1}(\Psi_{m,2}(1))$ 가 표시된다.

[0106] 도 11 및 도 12는 LIMAR, BCMAR 및 TriTiPhantom 및 JawEquivPhantom에 대해 제안 된 방법 간의 비교 결과를 각각 보여준다. LIMAR의 경우 확대 결과(도 13)에서 볼 수 있듯이 금속 영역 주변의 정보를 신뢰할 수 없으므로 MAD를 평가하지 않았다.

[0107] 표 2 및 3은 BCMAR의 정량적 결과 및 제안 된 방법을 보여준다. 보정되지 않은 이미지의 균일 한 rROI (도 11 및 12의 제1 박스 표시)를 참조하여 ROI (도 11 및 12의 제2 박스 표시)에 대해 MAD를 계산하였다. 두 결과 모두에서 제안된 방법은 BCMAR보다 품질이 약간 우수하다. CNR은 도 13에서 원으로 표시된 부분으로 계산된다. LIMAR의 CNR 값은 수정되지 않은 CT보다 낮다. 관련된 금속 유형의 수가 증가함에 따라, 수행 될 FBP 작업의 수가 증가하여 BCMAR의 실행 시간 및 제안 된 방법이 증가됨을 확인할 수 있다. 시간은 Intel i7-6700 3.4GHz CPU, 32GB RAM 및 NVIDIA GeForce GTX 1080으로 구성된 시스템에서 측정된 것이다.

표 2

Methods	Uncorrected	LIMAR	BCMAR	Proposed
MAD (HU)	469.99	-	109.60	97.89
Time (sec)	3.91	8.63	43.41	10.49
# of FBP	1	2	11	3

[0108]

표 3

Methods	Uncorrected	LIMAR	BCMAR	Proposed
MAD (ROI1, HU)	482.16	-	326.24	325.37
Time (sec)	4.43	12.03	134.31	32.56
# of FBP	1	2	21	5
CNR (ROI2)	36.54	32.84	48.98	49.74

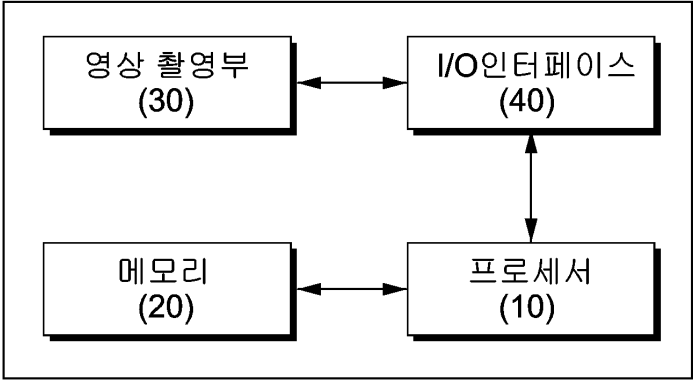
[0109]

[0110] 이상의 설명은 본 발명의 일 실시예에 불과할 뿐, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 범위는 전술한 실시예에 한정되지 않고 특허 청구 범위에 기재된 내용과 동등한 범위 내에 있는 다양한 실시 형태가 포함되도록 해석되어야 할 것이다.

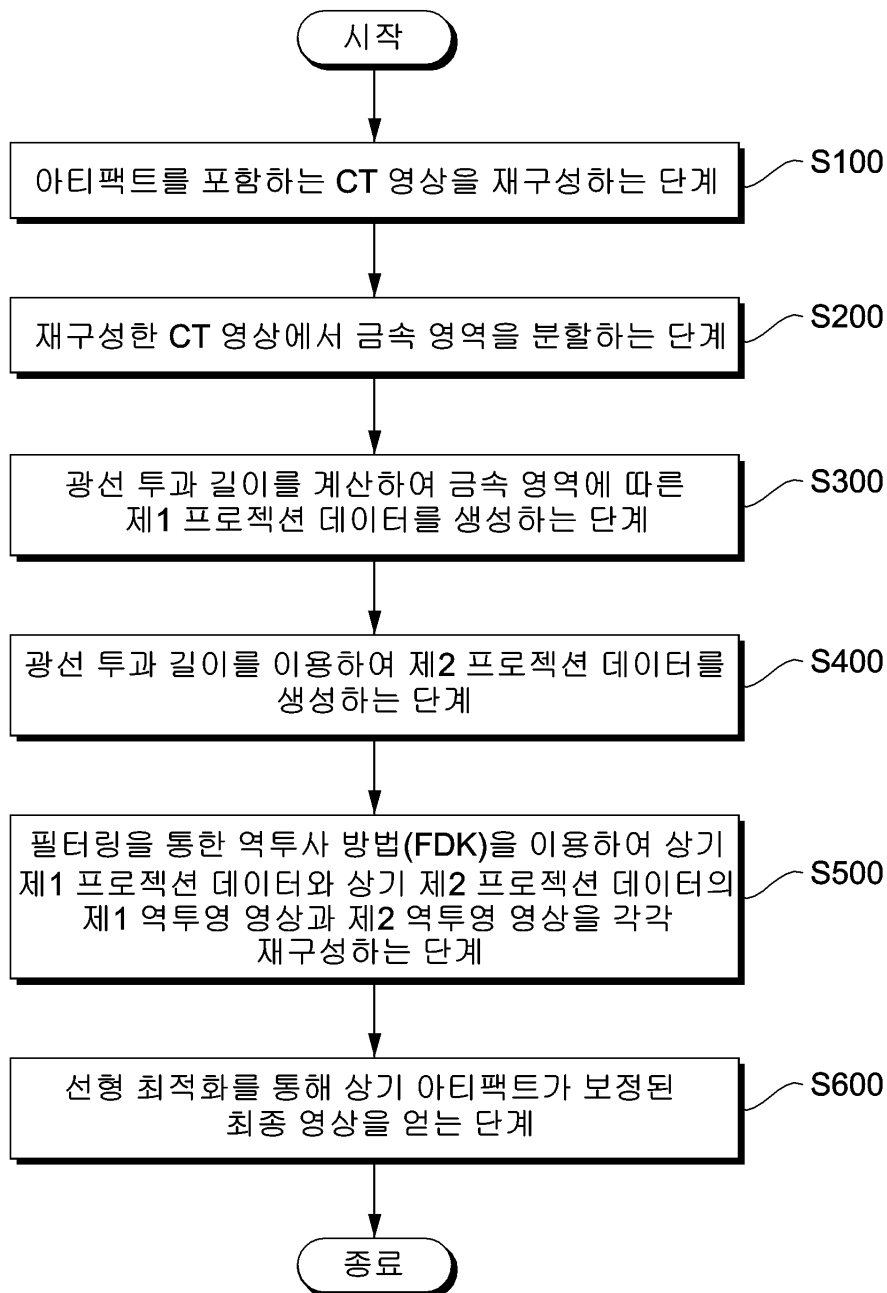
도면

도면1

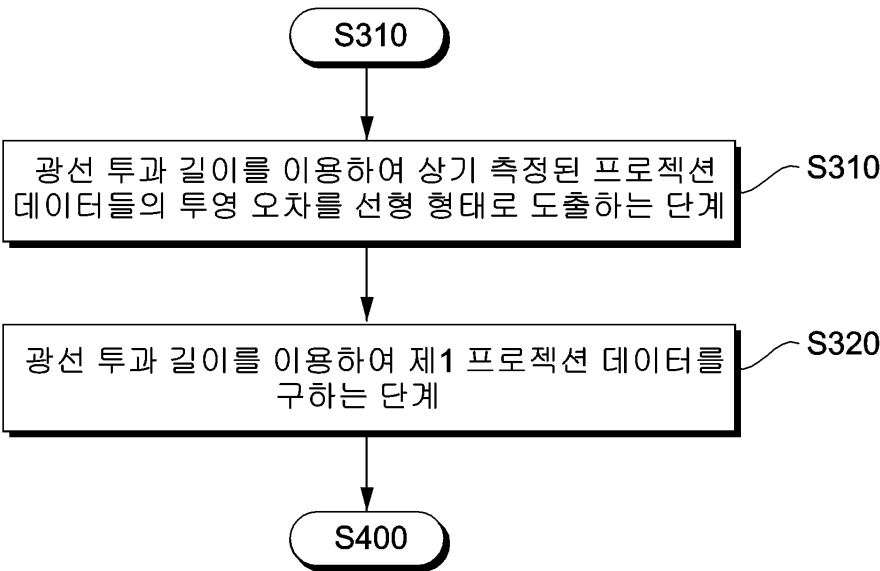
1



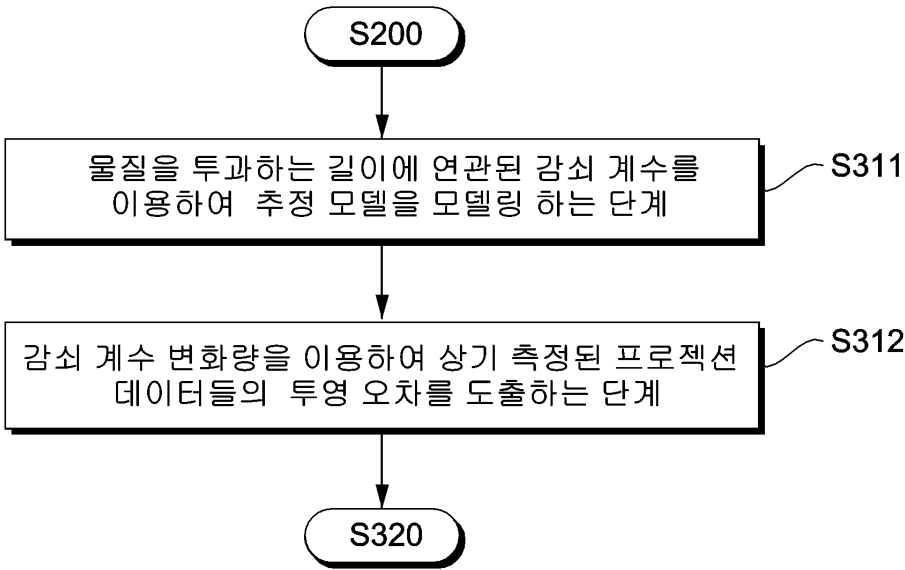
도면2



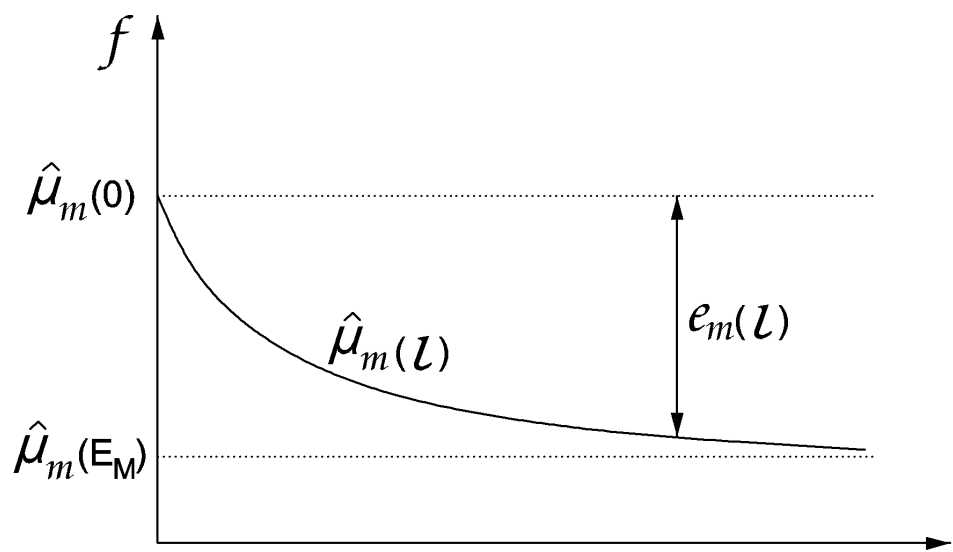
도면3



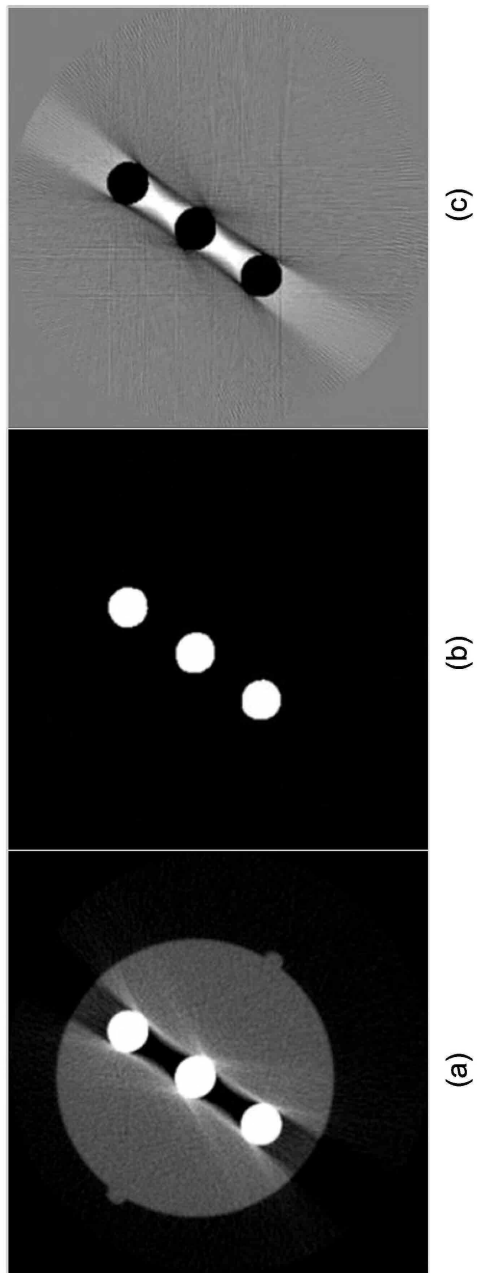
도면4



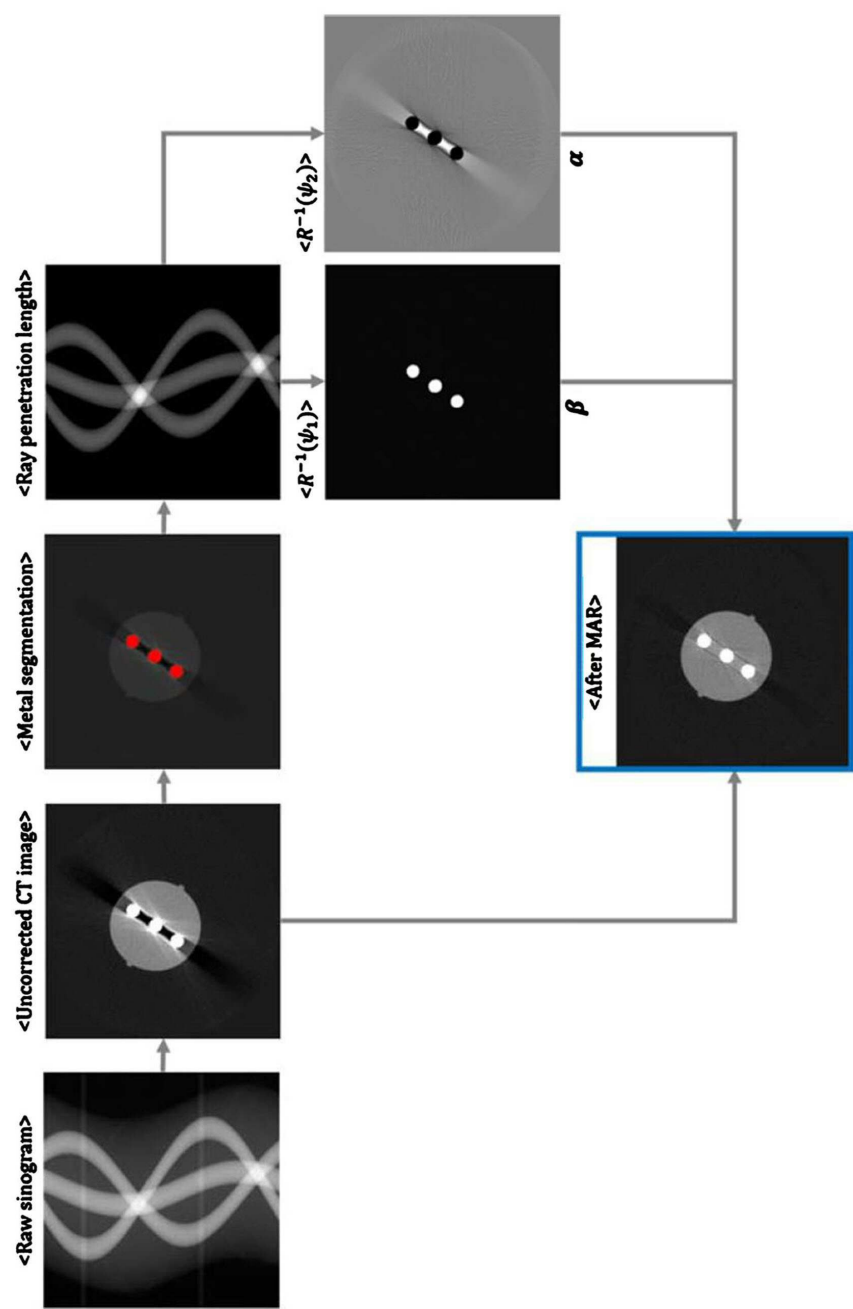
도면5



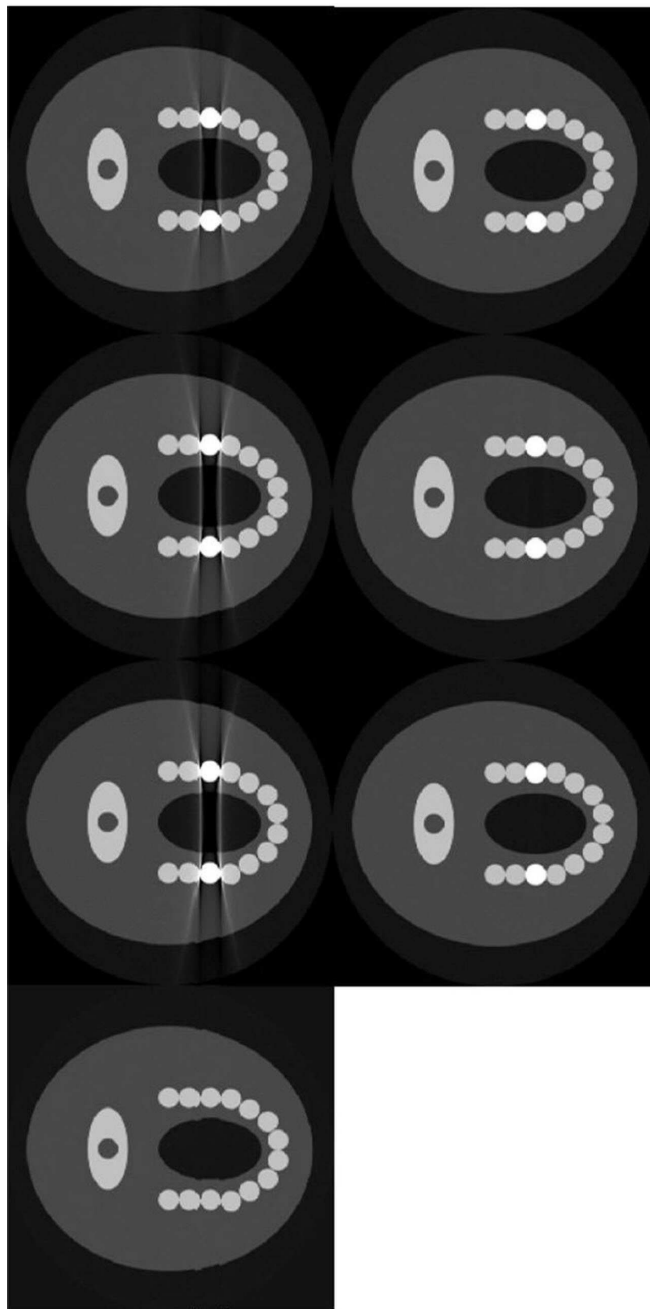
도면6



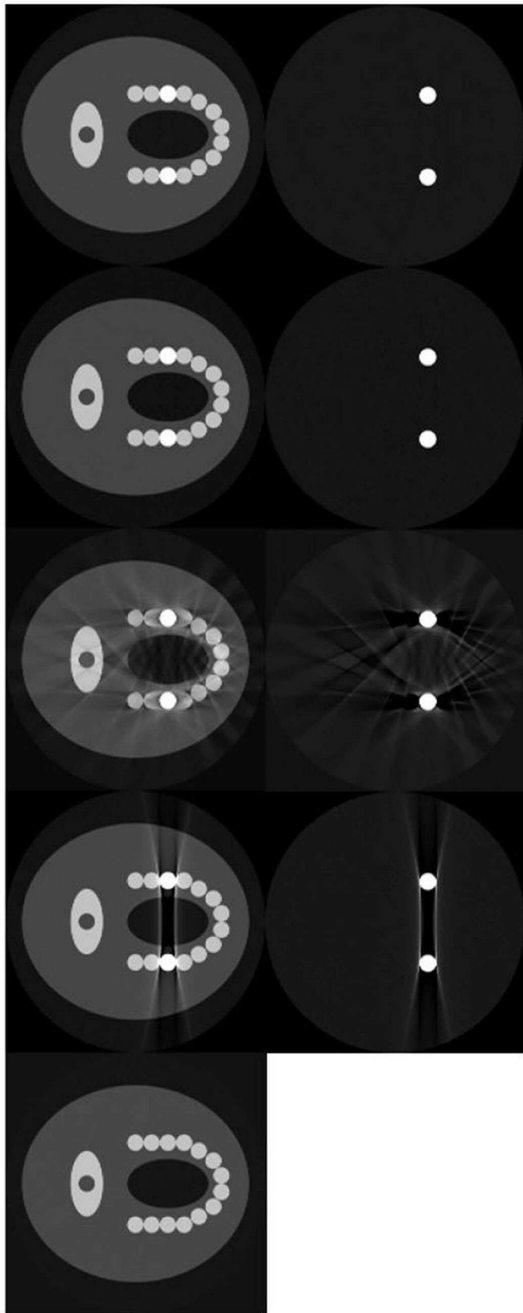
도면7



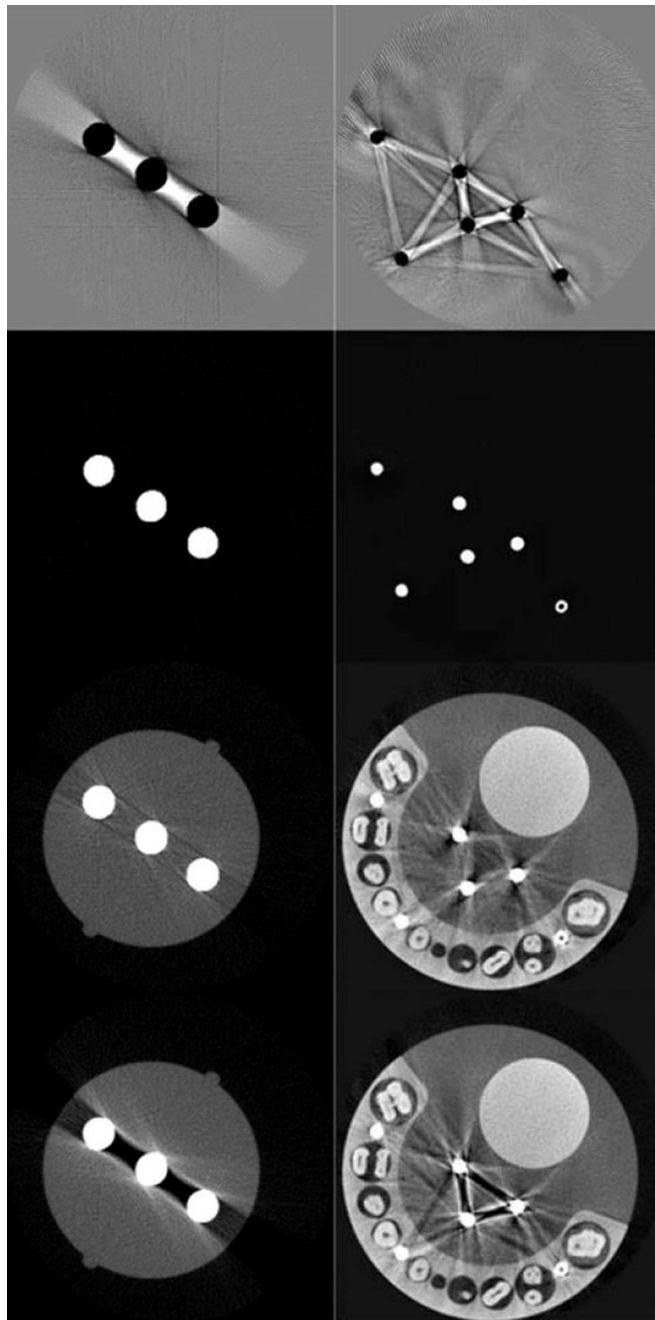
도면8



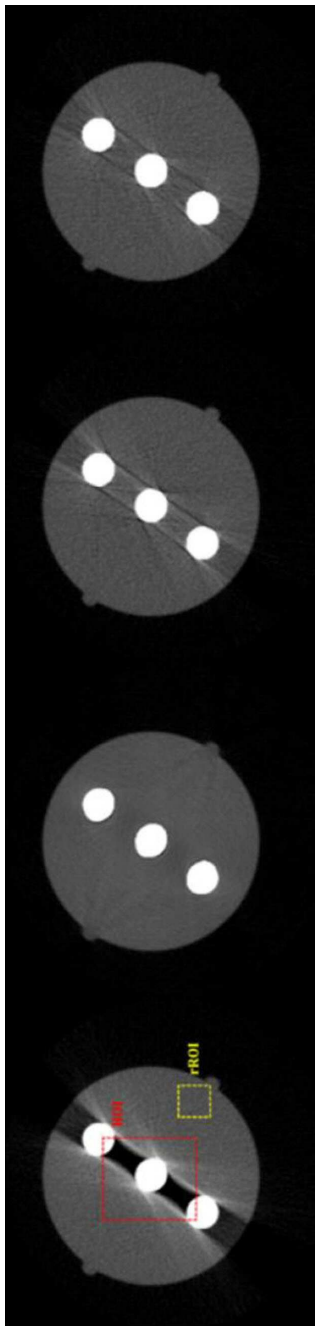
도면9



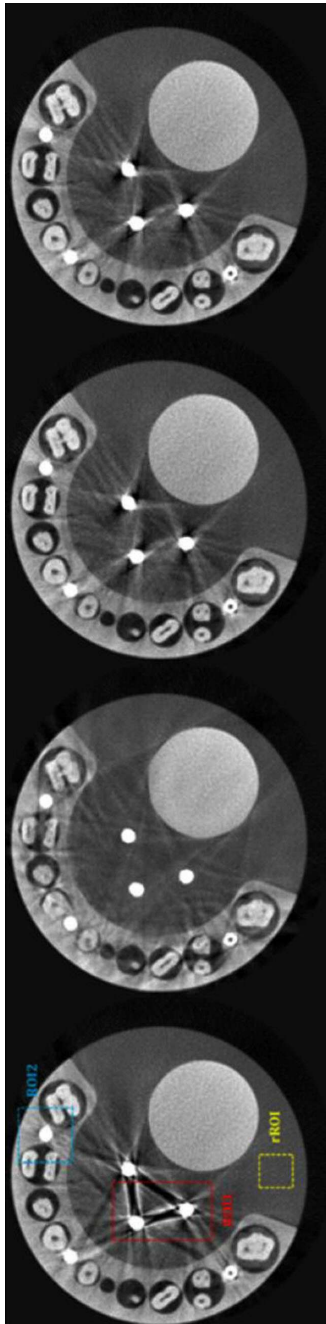
도면10



도면11



도면12



도면13

