



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년10월16일
(11) 등록번호 10-2590461
(24) 등록일자 2023년10월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 6/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

A61B 6/5217 (2020.08)

A61B 6/4007 (2020.08)

(21) 출원번호 10-2021-0073702

(22) 출원일자 2021년06월07일

심사청구일자 2021년06월07일

(65) 공개번호 10-2022-0165117

(43) 공개일자 2022년12월14일

(56) 선행기술조사문헌

JP2019030663 A*

JP2019162358 A*

CN103824281 A

KR1020190092299 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김규범

서울특별시 노원구 노원로 29, 8동 105호(공릉동, 우성아파트)

김규석

서울특별시 강서구 강서로47다길 48-21, 202호(내발산동, 다솔하이츠빌)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 11 항

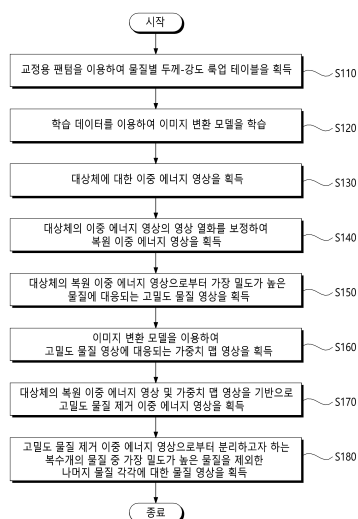
심사관 : 유현석

(54) 발명의 명칭 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법 및 장치는, 대상체의 이중 에너지 영상으로부터 2개의 물질만이 아닌 3개 이상의 물질을 분리하여 영상화함으로써 추가적인 정보 제공을 통한 진단 및 검사의 정확도를 향상시킬 수 있고, 영상 열화를 보정하는 과정과 가장 밀도가 높은 물질의 영향을 제거하는 과정을 통해 보다 정확한 물질 분리를 수행할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

A61B 6/4241 (2020.08)

A61B 6/505 (2013.01)

A61B 6/5258 (2020.08)

A61B 6/583 (2020.08)

(72) 발명자

이수환

서울특별시 용산구 이촌로54길 5, 302호(이촌동,
코스모스맨션)

박정현

서울특별시 강남구 논현로85길 52, 1506호(역삼동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345330844
과제번호	2018R1A6A3A11050877
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학개인지초연구지원사업
연구과제명	머신러닝 기반의 방사선 영상시스템 위치추적 및 위치오차 보정방법 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2021.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	9991007100
과제번호	202011B26-04
부처명	다부처
과제관리(전문)기관명	(재단)범부처전주기의료기기연구개발사업단
연구사업명	범부처전주기의료기기연구개발사업(R&D)
연구과제명	(참여3)급만성 폐질환 치료를 위한 생체신호 분석기반 스마트 호흡치료기 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단(의료원)
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

대상체에 대한 이중 에너지 영상을 획득하는 단계;

상기 대상체의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상을 획득하는 단계;

분리하고자 하는 복수개의 물질 중 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 룩업 테이블(look-up table)을 기반으로 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상으로부터 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 고밀도 물질 영상을 획득하는 단계;

미리 학습된 이미지 변환 모델을 이용하여 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 획득하는 단계;

상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 및 상기 가중치 맵 영상을 기반으로 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하는 단계; 및

분리하고자 하는 복수개의 물질 중 상기 가장 밀도가 높은 물질을 제외한 나머지 물질에 대응되는 교정용 패턴을 통해 획득한 물질별 두께-강도 룩업 테이블(look-up table)을 기반으로, 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득하는 단계;

를 포함하고,

상기 가중치 맵 영상 획득 단계는,

상기 고밀도 물질 영상을 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델에 입력하고, 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델로부터 출력되는 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 영상과 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 영상을 통해, 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 상기 가중치 맵 영상을 획득하는 것으로 이루어지는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 2

제1항에서,

상기 두께-강도 룩업 테이블은,

상기 교정용 패턴의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 복원 이중 에너지 영상 및 상기 교정용 패턴에 대응되는 물질의 두께를 기반으로 획득되며,

상기 교정용 패턴에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정과 상기 대상체에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정은 서로 동일한 영상 열화 보정 방법을 이용하는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에서,

실제 환자의 컴퓨터 단층 촬영(Computed Tomography, CT) 영상을 포함하는 학습 데이터를 이용하여 상기 이미지 변환 모델을 학습하는 단계;

를 더 포함하는 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 5

제4항에서,

상기 이미지 변환 모델 학습 단계는,

상기 학습 데이터에 포함된 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상 각각에 대하여,

상기 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 방사선 영상(Digitally Reconstructed Radiography, DRR)과 상기 제2 에너지에 대한 제2 방사선 영상(DRR)을 획득하고, 상기 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 특업 테이블을 기반으로 상기 제1 방사선 영상(DRR)과 상기 제2 방사선 영상(DRR)을 이용하여 고밀도 물질 학습 영상을 획득하고,

상기 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 상기 가장 밀도가 높은 물질이 제거된 상기 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상과 상기 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 획득하며,

상기 제1 방사선 영상(DRR)과 상기 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 영상을 획득하고, 상기 제2 방사선 영상(DRR)과 상기 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 이용하여 상기 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 영상을 획득하며,

상기 고밀도 물질 학습 영상과 상기 제1 고밀도 물질 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 학습 영상을 획득하고, 상기 고밀도 물질 학습 영상과 상기 제2 고밀도 물질 영상을 이용하여 상기 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 학습 영상을 획득하며,

상기 학습 데이터에 포함된 상기 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상 각각에 대해 획득한 상기 고밀도 물질 학습 영상, 상기 제1 가중치 맵 학습 영상 및 상기 제2 가중치 맵 학습 영상을 기반으로, 상기 고밀도 물질 학습 영상을 입력 데이터로 하고, 상기 제1 가중치 맵 학습 영상과 상기 제2 가중치 맵 학습 영상을 정답 레이블(label)로 하여, 상기 이미지 변환 모델을 학습하는 것으로 이루어지는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 6

제1항에서,

상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상 획득 단계는,

상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 중 상기 제1 에너지에 대한 제1 복원 이중 에너지 영상으로부터 상기 제1 가중치 맵 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하고,

상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 중 상기 제2 에너지에 대한 제2 복원 이중 에너지 영상으로부터 상기 제2 가중치 맵 영상을 이용하여 상기 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하는 것으로 이루어지는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 7

제6항에서,

상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상 획득 단계는,

상기 나머지 물질에 대응되는 물질별 두께-강도 특업 테이블을 기반으로, 상기 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상과 상기 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 이용하여 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득하는 것으로 이루어지는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 8

제7항에서,

상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상 획득 단계는,

상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 분리하고자 하는 상기 나머지 물질의 밀도가 높은 물질에서

낮은 물질의 순서에 따라, 대상 물질에 대응되는 두께-강도 록업 테이블을 기반으로 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 대상 물질 분리 영상을 획득하고, 상기 대상 물질 분리 영상을 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상에서 제거하며, 상기 대상 물질 분리 영상이 제거된 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로 다음 물질 분리를 수행하는 과정을, 반복적으로 수행하여 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득하는 것으로 이루어지는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 9

제1항에서,

상기 교정용 팬텀은,

분리하고자 하는 물질이 n 개인 경우, n 개의 물질 중 가장 밀도가 낮은 물질인 제1 물질과 나머지 물질 중 하나인 제2 물질의 조합으로 이루어지는 $n-1$ 개의 서브 팬텀을 포함하며,

상기 서브 팬텀은,

상기 제1 물질로 이루어지는 계단식 형태의 제1 서브 팬텀 및 상기 제1 서브 팬텀의 일면에 위치하고 상기 제2 물질로 이루어지는 계단식 형태의 제2 서브 팬텀을 포함하는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법.

청구항 10

제1항, 제2항, 제4항 내지 제9항 중 어느 한 항에 기재된 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위하여 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 11

이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하는 다중 물질 분리 장치로서,

이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하기 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 상기 하나 이상의 프로그램에 따라 이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서;

를 포함하고,

상기 프로세서는,

대상체에 대한 이중 에너지 영상을 획득하고,

상기 대상체의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상을 획득하며,

분리하고자 하는 복수개의 물질 중 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 록업 테이블(look-up table)을 기반으로 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상으로부터 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 고밀도 물질 영상을 획득하고,

미리 학습된 이미지 변환 모델을 이용하여 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 획득하며,

상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 및 상기 가중치 맵 영상을 기반으로 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하고,

분리하고자 하는 복수개의 물질 중 상기 가장 밀도가 높은 물질을 제외한 나머지 물질에 대응되는 교정용 팬텀을 통해 획득한 물질별 두께-강도 록업 테이블(look-up table)을 기반으로, 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득하고,

상기 프로세서는,

상기 고밀도 물질 영상을 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델에 입력하고, 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델로부터 출력되는 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 영상과 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 영상을 통해, 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 상기 가중치 맵 영상을 획득하는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 장치.

청구항 12

제11항에서,

상기 두께-강도 특업 테이블은,

상기 교정용 팬텀의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 복원 이중 에너지 영상 및 상기 교정용 팬텀에 대응되는 물질의 두께를 기반으로 획득되며,

상기 교정용 팬텀에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정과 상기 대상체에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정은 서로 동일한 영상 열화 보정 방법을 이용하는,

이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 장치.

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 물질을 분리하는, 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적인 디지털 방사선 촬영(digital radiography, DR) 영상의 경우 3차원의 물체 내부를 통과하여 감약된 방사선 정보가 2차원의 디텍터로 감지되어 영상화 하는 작업으로, 감약의 정도가 다르게 나타나는 성질을 이용하여 물체 내부 장기 및 물질이 구분된 영상이 나타난다. 이때, 방사선이 통과하는 경로에 다양한 물질이 위치하면서 복합적인 감약이 일어나게 되고, 감약이 작은 물질들(예컨대, 연조직 등)의 경우 낮은 대조도로 인해 다른 물체와 구별하기가 어렵다는 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여, 연구자들은 연부조직만 분리된 영상을 만들고자 하였으며 그중에서 두 가지 다른 에너지를 가지는 방사선의 감약 차이를 이용하여 영상에서 밀도가 높은 물질과 밀도가 낮은 물질의 신호를 감쇄시키거나 증폭시켜 제거함으로써 영상의 물질 구분력을 증가시키는 이중 에너지 기법을 연구 중에 있다.

[0003] 이중 에너지 기법을 사용한 경우 기존 디지털 방사선 촬영(DR) 영상에 비해 물질 구분력이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 특히 고밀도 물질(예컨대, 뼈 등) 뒤에 숨겨져 식별하기 어려운 병변이나 이물질의 경우 이중 에너지 기법을 사용하여 물질 대조도를 증가시킴으로서 진단 정확성이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

[0004] 하지만, 기존 이중 에너지 방법의 경우 이중 촬영 및 양자 노이즈 보상을 위한 과선량 조사에 따른 환자 피폭선량 증가와 이중 촬영 시 발생하는 모션블러로 인한 영상 왜곡은 큰 문제점이다.

[0005] 최근, 이중 에너지 엑스선 흡수법(dual energy x-ray absorptiometry, DEXA) 등과 같은 광자 계수 검출기 기반 영상 장치의 보급화를 통해 위의 문제점을 극복할 수 있으며, 3차원 영상에서 기존 두 가지의 물질을 분리하는 것을 넘어서 세가지 이상의 물질을 분리하고자 하는 연구가 진행중이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 이루고자 하는 목적은, 영상 열화를 보정하는 과정과 가장 밀도가 높은 물질의 영향을 제거하는 과정을 통해, 이중 에너지 기법을 기반으로 대상체의 이중 에너지 영상으로부터 다중 물질을 분리하여 물질별 영상을 획득하는, 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

[0007] 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

- [0008] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법은, 대상체에 대한 이중 에너지 영상을 획득하는 단계; 상기 대상체의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상을 획득하는 단계; 분리하고자 하는 복수개의 물질 중 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 룩업 테이블(look-up table)을 기반으로 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상으로부터 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 고밀도 물질 영상을 획득하는 단계; 미리 학습된 이미지 변환 모델을 이용하여 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 획득하는 단계; 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 및 상기 가중치 맵 영상을 기반으로 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하는 단계; 및 분리하고자 하는 복수개의 물질 중 상기 가장 밀도가 높은 물질을 제외한 나머지 물질에 대응되는 교정용 팬텀을 통해 획득한 물질별 두께-강도 룩업 테이블(look-up table)을 기반으로, 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득하는 단계;를 포함한다.
- [0009] 여기서, 상기 두께-강도 룩업 테이블은, 상기 교정용 팬텀의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 복원 이중 에너지 영상 및 상기 교정용 팬텀에 대응되는 물질의 두께를 기반으로 획득되며, 상기 교정용 팬텀에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정과 상기 대상체에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정은 서로 동일한 영상 열화 보정 방법을 이용할 수 있다.
- [0010] 여기서, 상기 가중치 맵 영상 획득 단계는, 상기 고밀도 물질 영상을 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델에 입력하고, 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델로부터 출력되는 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 영상과 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 영상을 통해, 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 상기 가중치 맵 영상을 획득하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0011] 여기서, 실제 환자의 컴퓨터 단층 촬영(Computed Tomography, CT) 영상을 포함하는 학습 데이터를 이용하여 상기 이미지 변환 모델을 학습하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 여기서, 상기 이미지 변환 모델 학습 단계는, 상기 학습 데이터에 포함된 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상 각각에 대하여, 상기 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 방사선 영상(Digitally Reconstructed Radiography, DRR)과 상기 제2 에너지에 대한 제2 방사선 영상(DRR)을 획득하고, 상기 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 룩업 테이블을 기반으로 상기 제1 방사선 영상(DRR)과 상기 제2 방사선 영상(DRR)을 이용하여 고밀도 물질 학습 영상을 획득하고, 상기 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 상기 가장 밀도가 높은 물질이 제거된 상기 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상과 상기 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 획득하며, 상기 제1 방사선 영상(DRR)과 상기 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 영상을 획득하고, 상기 제2 방사선 영상(DRR)과 상기 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 이용하여 상기 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 영상을 획득하며, 상기 고밀도 물질 학습 영상과 상기 제1 고밀도 물질 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 학습 영상을 획득하고, 상기 고밀도 물질 학습 영상과 상기 제2 고밀도 물질 영상을 이용하여 상기 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 학습 영상을 획득하며, 상기 학습 데이터에 포함된 상기 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상 각각에 대해 획득한 상기 고밀도 물질 학습 영상, 상기 제1 가중치 맵 학습 영상 및 상기 제2 가중치 맵 학습 영상을 기반으로, 상기 고밀도 물질 학습 영상을 입력 데이터로 하고, 상기 제1 가중치 맵 학습 영상과 상기 제2 가중치 맵 학습 영상을 정답 레이블(label)로 하여, 상기 이미지 변환 모델을 학습하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0013] 여기서, 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상 획득 단계는, 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 중 상기 제1 에너지에 대한 제1 복원 이중 에너지 영상으로부터 상기 제1 가중치 맵 영상을 이용하여 상기 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하고, 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 중 상기 제2 에너지에 대한 제2 복원 이중 에너지 영상으로부터 상기 제2 가중치 맵 영상을 이용하여 상기 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0014] 여기서, 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상 획득 단계는, 상기 나머지 물질에 대응되는 물질별 두께-강도 룩업 테이블을 기반으로, 상기 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상과 상기 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 이용하여 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0015] 여기서, 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상 획득 단계는, 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터

터 분리하고자 하는 상기 나머지 물질의 밀도가 높은 물질에서 낮은 물질의 순서에 따라, 대상 물질에 대응되는 두께-강도 록업 테이블을 기반으로 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 대상 물질 분리 영상을 획득하고, 상기 대상 물질 분리 영상을 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상에서 제거하며, 상기 대상 물질 분리 영상이 제거된 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로 다음 물질 분리를 수행하는 과정을, 반복적으로 수행하여 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득하는 것으로 이루어질 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 교정용 팬텀은, 분리하고자 하는 물질이 n 개인 경우, n 개의 물질 중 가장 밀도가 낮은 물질인 제1 물질과 나머지 물질 중 하나인 제2 물질의 조합으로 이루어지는 $n-1$ 개의 서브 팬텀을 포함하며, 상기 서브 팬텀은, 상기 제1 물질로 이루어지는 계단식 형태의 제1 서브 팬텀 및 상기 제1 서브 팬텀의 일면에 위치하고 상기 제2 물질로 이루어지는 계단식 형태의 제2 서브 팬텀을 포함할 수 있다.

[0018] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 저장되어 상기한 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법 중 어느 하나를 컴퓨터에서 실행시킨다.

[0020] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 장치는, 이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하는 다중 물질 분리 장치로서, 이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하기 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리; 및 상기 메모리에 저장된 상기 하나 이상의 프로그램에 따라 이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서;를 포함하고, 상기 프로세서는, 대상체에 대한 이중 에너지 영상을 획득하고, 상기 대상체의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상을 획득하며, 분리하고자 하는 복수개의 물질 중 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 록업 테이블(look-up table)을 기반으로 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상으로부터 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 고밀도 물질 영상을 획득하고, 미리 학습된 이미지 변환 모델을 이용하여 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 획득하며, 상기 대상체의 복원 이중 에너지 영상 및 상기 가중치 맵 영상을 기반으로 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득하고, 분리하고자 하는 복수개의 물질 중 상기 가장 밀도가 높은 물질을 제외한 나머지 물질에 대응되는 교정용 팬텀을 통해 획득한 물질별 두께-강도 록업 테이블(look-up table)을 기반으로, 상기 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 상기 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득한다.

[0021] 여기서, 상기 두께-강도 록업 테이블은, 상기 교정용 팬텀의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 복원 이중 에너지 영상 및 상기 교정용 팬텀에 대응되는 물질의 두께를 기반으로 획득되며, 상기 교정용 팬텀에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정과 상기 대상체에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정은 서로 동일한 영상 열화 보정 방법을 이용할 수 있다.

[0022] 여기서, 상기 프로세서는, 상기 고밀도 물질 영상을 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델에 입력하고, 상기 미리 학습된 이미지 변환 모델로부터 출력되는 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 영상과 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 영상을 통해, 상기 고밀도 물질 영상에 대응되는 상기 가중치 맵 영상을 획득할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법 및 장치에 의하면, 대상체의 이중 에너지 영상으로부터 2개의 물질만이 아닌 3개 이상의 물질을 분리하여 영상화함으로써, 부가적인 정보 제공을 통한 진단 및 검사의 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0024] 또한, 영상 열화를 보정하는 과정과 가장 밀도가 높은 물질의 영향을 제거하는 과정을 통해, 보다 정확한 물질 분리를 수행할 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명은 기존 3차원 영상 기반 방법에 비해 빠른 촬영 시간으로 환자의 편의성 증대를 기대할 수 있으며, 환자가 받는 피폭선량을 저감시킬 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명은 엑스선 파노라마 촬영 기기, 디지털 단층 영상 합성 기기(digital tomosynthesis), 단일 광자 방출 컴퓨터 단층 촬영 기기(single-photon emission computed tomography), 양전자 방출 단층 촬영 기기(positron emission tomography) 등과 같은 다양한 방사선 영상 기기에 적용할 수 있다.

[0027] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법을 설명하기 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 교정용 패턴의 일례를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 두께-강도 록업 테이블의 획득 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 도 4에 도시한 두께-강도 록업 테이블의 획득 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이미지 변환 모델의 학습 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7은 도 6에 도시한 고밀도 물질 학습 영상의 획득 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 도 6에 도시한 가중치 맵 학습 영상의 획득 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 대상체의 이중 에너지 영상의 일례를 설명하기 위한 도면으로, 도 10의 (a)는 시뮬레이션 기반 수학적 대상체 정보를 나타내고, 도 10의 (b)는 도 10의 (a)에 따른 대상체의 이중 에너지 영상을 나타낸다.
- 도 11은 도 10에 도시한 대상체의 이중 에너지 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 나타내는 도면이다.
- 도 12는 도 10에 도시한 대상체의 이중 에너지 영상에서 다중 물질 분리를 수행한 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [0030] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0031] 본 명세서에서 "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예컨대, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소도 제1 구성 요소로 명명될 수 있다.
- [0032] 본 명세서에서 각 단계들에 있어 식별부호(예컨대, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별 부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0033] 본 명세서에서, "가진다", "가질 수 있다", "포함한다" 또는 "포함할 수 있다" 등의 표현은 해당 특징(예컨대, 수치, 기능, 동작, 또는 부품 등의 구성 요소)의 존재를 가리키며, 추가적인 특징의 존재를 배제하지 않는다.
- [0036] 이하에서 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법 및 장치의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.
- [0038] 먼저, 도 1을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 장치에 대하여 설명한다.

- [0039] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0040] 도 1을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 장치(이하 '다중 물질 분리 장치'라 한다)(100)는 영상 열화를 보정하는 과정과 가장 밀도가 높은 물질의 영향을 제거하는 과정을 통해, 이중 에너지 기법을 기반으로 대상체의 이중 에너지 영상으로부터 다중 물질을 분리하여 물질별 영상을 획득할 수 있다.
- [0041] 여기서, 이중 에너지 영상은 대상체에 30 keV ~ 60 keV의 저 에너지 방사선을 조사하여 획득한 저 에너지 영상과, 대상체에 80 keV ~ 144 keV의 고 에너지 방사선을 조사하여 획득한 고 에너지 영상을 말한다.
- [0042] 즉, 본 발명은 엑스선 및 감마선을 이용한 디지털 방사선 촬영(digital radiography, DR) 및 이중 에너지 엑스선 흡수법(dual energy x-ray absorptiometry, DEXA) 영상 시스템에서, 이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리함으로써, 기존 이중 에너지 기법과 동일한 조건에서 더 많은 물질의 정보를 획득함으로써, 진단 및 검사의 정확도를 향상시킬 수 있다.
- [0044] 이를 위해, 다중 물질 분리 장치(100)는 하나 이상의 프로세서(110), 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130) 및 통신 버스(150)를 포함할 수 있다.
- [0045] 프로세서(110)는 다중 물질 분리 장치(100)가 동작하도록 제어할 수 있다. 예컨대, 프로세서(110)는 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 하나 이상의 프로그램(131)을 실행할 수 있다. 하나 이상의 프로그램(131)은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(110)에 의해 실행되는 경우 다중 물질 분리 장치(100)로 하여금 이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하기 위한 동작을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0046] 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)는 이중 에너지 기법을 기반으로 다중 물질을 분리하기 위한 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 프로그램(131)은 프로세서(110)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 다중 물질 분리 장치(100)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적절한 조합일 수 있다.
- [0047] 통신 버스(150)는 프로세서(110), 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)를 포함하여 다중 물질 분리 장치(100)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.
- [0048] 다중 물질 분리 장치(100)는 또한 하나 이상의 입출력 장치를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(170) 및 하나 이상의 통신 인터페이스(190)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(170) 및 통신 인터페이스(190)는 통신 버스(150)에 연결된다. 입출력 장치(도시하지 않음)는 입출력 인터페이스(170)를 통해 다중 물질 분리 장치(100)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다.
- [0051] 그러면, 도 2 내지 도 8를 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법에 대하여 설명한다.
- [0052] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 방법을 설명하기 흐름도이고, 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 교정용 팬텀의 일례를 설명하기 위한 도면이며, 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 두께-강도 룩업 테이블의 획득 과정을 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 도 4에 도시한 두께-강도 룩업 테이블의 획득 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이며, 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이미지 변환 모델의 학습 과정을 설명하기 위한 도면이고, 도 7은 도 6에 도시한 고밀도 물질 학습 영상의 획득 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이며, 도 8은 도 6에 도시한 가중치 맵 학습 영상의 획득 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이다.
- [0053] 도 2를 참조하면, 다중 물질 분리 장치(100)의 프로세서(110)는 교정용 팬텀을 이용하여 물질별 두께-강도 룩업 테이블(look-up table)을 획득할 수 있다(S110).
- [0054] 여기서, 두께-강도 룩업 테이블은 교정용 팬텀의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 복원 이중 에너지 영상 및 교정용 팬텀에 대응되는 물질의 두께를 기반으로 획득될 수 있다.

- [0055] 그리고, 교정용 팬텀은 분리하고자 하는 물질(또는 분리하고자 하는 물질과 유사한 선형 감약 계수값을 가지는 물질)로 이루어지는 계단식 형태로 이루어질 수 있다. 즉, 교정용 팬텀은 두께가 서로 상이한 영역들의 조합으로 이루어지도록 계단식 형상으로 이루어질 수 있다.
- [0056] 이때, 교정용 팬텀은 분리하고자 하는 물질이 n개인 경우, n개의 물질 중 가장 밀도가 낮은 물질인 제1 물질과 나머지 물질 중 하나인 제2 물질의 조합으로 이루어지는 n-1개의 서브 팬텀을 포함할 수 있다.
- [0057] 이때, 하나의 서브 팬텀은 도 3에 도시된 바와 같이 제1 물질로 이루어지는 계단식 형태의 제1 서브 팬텀 및 제1 서브 팬텀의 일면에 위치하고 제2 물질로 이루어지는 계단식 형태의 제2 서브 팬텀을 포함할 수 있다. 이때, 제1 서브 팬텀과 제2 서브 팬텀은 제1 서브 팬텀의 계단 방향(즉, 제1 물질의 두께가 상이해 지는 방향)과 제2 서브 팬텀의 계단 방향(즉, 제2 물질의 두께가 상이해 지는 방향)이 서로 직교하도록 배치될 수 있다. 이와 같은 서브 팬텀에 방사선을 조사하여 이중 에너지 영상(제1 이중 에너지 영상 및 제2 이중 에너지 영상)을 획득할 수 있다.
- [0058] 보다 자세히 설명하면, 도 4에 도시된 바와 같이, 프로세서(110)는 분리하고자 하는 복수개의 물질에 대응되는 교정용 팬텀에 포함된 각각의 서브 팬텀을 통해 두께-강도 록업 테이블을 획득할 수 있다.
- [0059] 즉, 프로세서(110)는 서브 팬텀에 대한 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다. 여기서, 이중 에너지 영상은 제1 에너지(30 keV ~ 60 keV의 저 에너지)에 대한 제1 이중 에너지 영상 및 제2 에너지(80 keV ~ 144 keV의 고 에너지)에 대한 제2 이중 에너지 영상을 포함할 수 있다.
- [0060] 그리고, 프로세서(110)는 이중 에너지 영상(제1 이중 에너지 영상 및 제2 이중 에너지 영상)의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다. 여기서, 복원 이중 에너지 영상은 제1 에너지에 대한 제1 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 제1 복원 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대한 제2 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 제2 복원 이중 에너지 영상을 포함할 수 있다.
- [0061] 일반적으로 방사선 영상은 산란, 노이즈와 같은 영상 열화가 발생되며, $D = I + S + N$ 으로 모델링할 수 있다. 여기서, D는 획득한 이중 에너지 영상을 나타내고, I는 이상적인 이중 에너지 영상을 나타내며, S는 산란선 성분이 포함된 영상을 나타내고, N은 노이즈 성분이 포함된 영상을 나타낸다. 산란선의 경우 하드웨어적인 방법(Grid technique, Air-gap technique, Narrow-detector technique 등), 소프트웨어적인 방법(Hybrid-cassette technique, De-convolution technique, Prior-information technique 등) 또는 하드웨어적인 방법과 소프트웨어적인 방법을 혼합한 형태의 방법(T. Kawamura et al, Improvement in image quality and workflow of x-ray examinations using a new image processing method, "virtual grid technology", FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT, 60, 2015, 21-27 참고)을 통해 산란선의 영향을 제거할 수 있다. 노이즈의 경우 소프트웨어적인 방법(mean filter, average filter, wiener filter, moving average filter, median filter 등을 이용한 Filtering technique, Domain transformation technique, machine learning, deep learning 등을 이용한 Prior-information technique 등)을 통해 노이즈의 영향을 제거할 수 있다. 본 발명에 따른 이중 에너지 영상의 영상 열화는 종래의 다양한 기법을 통해 수행될 수 있으며, 특정 기법에 한정되지는 않는다. 다만, 본 발명에 따른 교정용 팬텀에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정과 대상체에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정은 서로 동일한 영상 열화 보정 방법(영상 열화 보정 기법과 관련 파라미터)을 이용할 수 있다.
- [0062] 그리고, 프로세서(110)는 복원 이중 에너지 영상(제1 복원 이중 에너지 영상 및 제2 복원 이중 에너지 영상)과 해당 서브 팬텀에 대응되는 물질의 두께를 기반으로 해당 물질에 대한 두께-강도 록업 테이블을 획득할 수 있다.
- [0063] 예컨대, 물질 분리 알고리즘은 아래의 [수학식 1]과 같이 분리하고자 하는 물질의 두께와 이중 에너지 영상 간의 관계식을 나타내는 방정식일 수 있다.

수학식 1

$$t_d = a_0 + a_1 P_L + a_2 P_H + a_3 P_L^2 + a_4 P_H^2 + a_5 P_L P_H$$

[0064]

$$t_s = b_0 + b_1 P_L + b_2 P_H + b_3 P_L^2 + b_4 P_H^2 + b_5 P_L P_H$$

[0065]

[0066] 여기서, t_d 는 분리하고자 하는 제1 물질의 두께를 나타낸다. t_s 는 분리하고자 하는 제2 물질의 두께를 나타낸다. P_L 은 이중 에너지 영상 중 제1 에너지(저 에너지)에 대한 제1 이중 에너지 영상을 나타낸다. P_H 은 이중 에너지 영상 중 제2 에너지(고 에너지)에 대한 제2 이중 에너지 영상을 나타낸다.

[0067] 즉, 아래의 [수학식 2]와 같은 선형 감약 계수와 두께에 따른 저 에너지 및 고 에너지 강도 산출 식을 이용하여, 위의 [수학식 1]과 같은 방정식을 도출할 수 있다.

수학식 2

$$[0068] \quad I_L = I_{L0} e^{-\mu_s t_s - \mu_d t_d}, \quad P_L = \ln(I_{L0}/I_L) = t_s \mu_{sL} + t_d \mu_{dL}$$

$$[0069] \quad I_H = I_{H0} e^{-\mu_s t_s - \mu_d t_d}, \quad P_H = \ln(I_{H0}/I_H) = t_s \mu_{sH} + t_d \mu_{dH}$$

[0070] 그리고, 위의 [수학식 1]과 같은 물질 분리 알고리즘의 상수값($a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$)을 사전에 계산하여, 해당 물질에 대한 두께-강도 룩업 테이블을 획득할 수 있다. 이때, 프로세서(110)는 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD), 신경망(neural network) 등과 같은 딥러닝 기법, 최소 제곱법 등의 다양한 분석법을 통해 물질 분리 알고리즘의 상수값을 획득할 수 있다.

[0071] 프로세서(100)는 위와 같은 과정을 교정용 팬텀에 포함된 각각의 서브 팬텀에 대하여 수행하여, 분리하고자 하는 복수개의 물질 각각에 대응되는 두께-강도 룩업 테이블을 획득할 수 있다.

[0072] 예컨대, 3개의 물질(뼈, 근육, 지방)을 분리하는 경우, 3개의 물질 중 가장 밀도가 낮은 물질(지방)을 제1 물질로 하는 계단식 형태의 제1 서브 팬텀과 다른 물질(뼈)을 제2 물질로 하는 계단식 형태의 제2 서브 팬텀을 도 5의 (a)의 좌측과 같이 배치하여 서브 팬텀 1을 제작하고, 도 5의 (b)의 좌측과 같이 이중 에너지 영상(Low kV_p (bone-fat) 및 High kV_p (bone-fat))을 획득할 수 있다.

[0073] 아울러, 3개의 물질 중 가장 밀도가 낮은 물질(지방)을 제1 물질로 하는 계단식 형태의 제1 서브 팬텀과 다른 물질(근육)을 제2 물질로 하는 계단식 형태의 제2 서브 팬텀을 도 5의 (a)의 우측과 같이 배치하여 서브 팬텀 2를 제작하고, 도 5의 (b)의 우측과 같이 이중 에너지 영상(Low kV_p (muscle-fat) 및 High kV_p (muscle-fat))을 획득할 수 있다.

[0074] 그런 다음, 서브 팬텀 1에 대한 이중 에너지 영상(Low kV_p (bone-fat) 및 High kV_p (bone-fat))의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상(보정된 Low kV_p (bone-fat) 및 보정된 High kV_p (bone-fat))을 획득할 수 있다.

[0075] 아울러, 서브 팬텀 2에 대한 이중 에너지 영상(Low kV_p (muscle-fat) 및 High kV_p (muscle-fat))의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상(보정된 Low kV_p (muscle-fat) 및 보정된 High kV_p (muscle-fat))을 획득할 수 있다.

[0076] 그런 다음, 서브 팬텀 1에 대응되는 물질(뼈-지방)의 두께, 서브 팬텀 1에 대응되는 복원 이중 에너지 영상(보정된 Low kV_p (bone-fat) 및 보정된 High kV_p (bone-fat)), 서브 팬텀 2에 대응되는 물질(근육-지방)의 두께 및 서브 팬텀 2에 대응되는 복원 이중 에너지 영상(보정된 Low kV_p (muscle-fat) 및 보정된 High kV_p (muscle-fat))을 이용하여, 뼈에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{뼈}}(P_L, P_H)$, 지방에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{지방}}(P_L, P_H)$ 및 근육에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{근육}}(P_L, P_H)$ 을 획득할 수 있다.

[0078] 그리고, 프로세서(110)는 학습 데이터를 이용하여 신경망(neural network)을 포함하는 이미지 변환 모델을 학습할 수 있다(S120).

[0079] 여기서, 학습 데이터는 실제 환자의 컴퓨터 단층 촬영(Computed Tomography, CT) 영상을 포함할 수 있다.

[0080] 보다 자세히 설명하면, 도 6에 도시된 바와 같이, 프로세서(110)는 훈련 데이터 획득 과정과 가중치 맵 예측 훈

런 과정을 수행할 수 있다. 프로세서(110)는 학습 데이터에 포함된 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상 각각에 대하여 방사선(Digitally Reconstructed Radiography, DRR) 영상 획득 과정, 고밀도 물질 학습 영상 획득 과정, 고밀도 물질 제거 방사선 영상 획득 과정, 고밀도 물질 영상 획득 과정 및 가중치 맵 학습 영상 획득 과정을 수행하여, 훈련 데이터 획득 과정을 수행할 수 있다. 그리고, 프로세서(110)는 학습 데이터에 포함된 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상 각각에 대해 획득한 고밀도 물질 학습 영상 및 가중치 맵 학습 영상(제1 가중치 맵 학습 영상 및 제2 가중치 맵 학습 영상)을 기반으로, 고밀도 물질 학습 영상을 입력 데이터로 하고, 가중치 맵 학습 영상(제1 가중치 맵 학습 영상과 제2 가중치 맵 학습 영상)을 정답 레이블(label)로 하여, 이미지 변환 모델을 학습할 수 있다. 예컨대, 프로세서(110)는 머신러닝/딥러닝 기반의 이미지 변환 모델에 고밀도 물질 학습 영상을 입력하고, 이미지 변환 모델로부터 출력되는 가중치 맵 예측 영상(제1 가중치 맵 예측 영상 및 제2 가중치 맵 예측 영상)과 정답 레이블인 가중치 맵 학습 영상(제1 가중치 맵 학습 영상과 제2 가중치 맵 학습 영상)과 비교하여 오차를 계산하며, 계산한 오차를 피드백하여 이미지 변환 모델의 과라미터를 수정하는 과정을, 이미지 변환 모델의 출력인 가중치 맵 예측 영상(제1 가중치 맵 예측 영상 및 제2 가중치 맵 예측 영상)과 정답 레이블인 가중치 맵 학습 영상(제1 가중치 맵 학습 영상과 제2 가중치 맵 학습 영상)이 서로 실질적으로 동일할 때까지 반복적으로 수행하여 이미지 변환 모델을 학습할 수 있다.

- [0081] 즉, 프로세서(110)는 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 제1 에너지에 대한 제1 방사선 영상(DRR)과 제2 에너지에 대한 제2 방사선 영상(DRR)을 획득할 수 있다.
- [0082] 그리고, 프로세서(110)는 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 룩업 테이블을 기반으로 제1 방사선 영상(DRR)과 제2 방사선 영상(DRR)을 이용하여 고밀도 물질 학습 영상을 획득할 수 있다.
- [0083] 또한, 프로세서(110)는 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 가장 밀도가 높은 물질이 제거된 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상과 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 획득할 수 있다.
- [0084] 그리고, 프로세서(110)는 제1 방사선 영상(DRR)과 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 이용하여 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 영상을 획득하고, 제2 방사선 영상(DRR)과 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상을 이용하여 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 영상을 획득할 수 있다.
- [0085] 그리고, 프로세서(110)는 고밀도 물질 학습 영상과 제1 고밀도 물질 영상을 이용하여 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 학습 영상을 획득하고, 고밀도 물질 학습 영상과 제2 고밀도 물질 영상을 이용하여 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 학습 영상을 획득할 수 있다.
- [0086] 예컨대, 도 7에 도시된 바와 같이, 실제 환자의 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 통해 제1 방사선 영상(저 에너지(L)에 대한 DRR 영상)과 제2 방사선 영상(고 에너지(H)에 대한 DRR 영상)을 획득할 수 있다. 그런 다음, 뼈에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{map}}(P_L, P_H)$ 을 기반으로 제1 방사선 영상(저 에너지(L)에 대한 DRR 영상 P_L)과 제2 방사선 영상(고 에너지(H)에 대한 DRR 영상 P_H)을 이용하여 고밀도 물질 학습 영상을 획득할 수 있다.
- [0087] 아울러, 도 8에 도시된 바와 같이, 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 제1 방사선 영상(저 에너지(L)에 대한 DRR 영상)과 제2 방사선 영상(고 에너지(H)에 대한 DRR 영상)을 획득하고, 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 뼈 정보가 제거된 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상(뼈 정보가 제거된 저 에너지(L)에 대한 DRR 영상)과 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상(뼈 정보가 제거된 고 에너지(H)에 대한 DRR 영상)을 획득할 수 있다. 그런 다음, 제1 방사선 영상(저 에너지(L)에 대한 DRR 영상)과 제1 고밀도 물질 제거 방사선 영상(뼈 정보가 제거된 저 에너지(L)에 대한 DRR 영상)을 이용하여 제1 고밀도 물질 영상(저 에너지(L)에 대한 Bone 영상)을 획득하고, 제2 방사선 영상(고 에너지(H)에 대한 DRR 영상)과 제2 고밀도 물질 제거 방사선 영상(뼈 정보가 제거된 고 에너지(H)에 대한 DRR 영상)을 이용하여 제2 고밀도 물질 영상(고 에너지(H)에 대한 Bone 영상)을 획득할 수 있다. 그런 다음, 고밀도 물질 학습 영상과 제1 고밀도 물질 영상(저 에너지(L)에 대한 Bone 영상)을 이용하여 제1 가중치 맵 학습 영상(저 에너지(L)에 대한 Weight map 영상)을 획득하고, 고밀도 물질 학습 영상과 제2 고밀도 물질 영상(고 에너지(H)에 대한 Bone 영상)을 이용하여 제2 가중치 맵 학습 영상(고 에너지(H)에 대한 Weight map 영상)을 획득할 수 있다.
- [0089] 이후, 프로세서(110)는 대상체에 대한 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다(S130).
- [0090] 즉, 프로세서(110)는 대상체에 방사선을 조사하여 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다.
- [0091] 여기서, 이중 에너지 영상은 제1 에너지(30 keV ~ 60 keV의 저 에너지)에 대한 제1 이중 에너지 영상 및 제2 에

너지(80 keV ~ 144 keV의 고 에너지)에 대한 제2 이중 에너지 영상을 포함할 수 있다.

- [0093] 그런 다음, 프로세서(110)는 대상체의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다(S140).
- [0094] 즉, 프로세서(110)는 대상체의 이중 에너지 영상(제1 이중 에너지 영상 및 제2 이중 에너지 영상)의 영상 열화를 보정하여 복원 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다.
- [0095] 여기서, 복원 이중 에너지 영상은 제1 에너지에 대한 제1 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 제1 복원 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대한 제2 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하여 획득한 제2 복원 이중 에너지 영상을 포함할 수 있다.
- [0096] 이때, 교정용 팬텀에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정과 대상체에 대응되는 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정은 서로 동일한 영상 열화 보정 방법(영상 열화 보정 기법과 관련 파라미터)을 이용할 수 있다.
- [0098] 그런 다음, 프로세서(110)는 대상체의 복원 이중 에너지 영상으로부터 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 고밀도 물질 영상을 획득할 수 있다(S150).
- [0099] 즉, 프로세서(110)는 분리하고자 하는 복수개의 물질 중 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 두께-강도 록업 테이블을 기반으로 대상체의 복원 이중 에너지 영상(제1 에너지에 대한 제1 복원 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대한 제2 복원 이중 에너지 영상)으로부터 가장 밀도가 높은 물질에 대응되는 고밀도 물질 영상을 획득할 수 있다.
- [0100] 예컨대, 뼈에 대한 두께-강도 록업 테이블 $t_{\text{bone}}(P_L, P_H)$ 을 기반으로 제1 복원 이중 에너지 영상(저 에너지(L)에 대한 복원 이중 에너지 영상 P_L)과 제2 복원 이중 에너지 영상(고 에너지(H)에 대한 복원 이중 에너지 영상 P_H)을 이용하여 고밀도 물질 영상을 획득할 수 있다.
- [0102] 그런 다음, 프로세서(110)는 미리 학습된 이미지 변환 모델을 이용하여 고밀도 물질 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 획득할 수 있다(S160).
- [0103] 즉, 프로세서(110)는 고밀도 물질 영상을 미리 학습된 이미지 변환 모델에 입력하고, 미리 학습된 이미지 변환 모델로부터 출력되는 제1 에너지에 대한 제1 가중치 맵 영상과 제2 에너지에 대한 제2 가중치 맵 영상을 통해, 고밀도 물질 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 획득할 수 있다.
- [0105] 그런 다음, 프로세서(110)는 대상체의 복원 이중 에너지 영상 및 가중치 맵 영상을 기반으로 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다(S170).
- [0106] 즉, 프로세서(110)는 대상체의 복원 이중 에너지 영상 중 제1 에너지에 대한 제1 복원 이중 에너지 영상으로부터 제1 가중치 맵 영상을 이용하여 제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다.
- [0107] 그리고, 프로세서(110)는 대상체의 복원 이중 에너지 영상 중 제2 에너지에 대한 제2 복원 이중 에너지 영상으로부터 제2 가중치 맵 영상을 이용하여 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다.
- [0109] 마지막으로, 프로세서(110)는 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 분리하고자 하는 복수개의 물질 중 가장 밀도가 높은 물질을 제외한 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득할 수 있다(S180).
- [0110] 즉, 프로세서(110)는 분리하고자 하는 복수개의 물질 중 가장 밀도가 높은 물질을 제외한 나머지 물질에 대응되는 교정용 팬텀을 통해 획득한 물질별 두께-강도 록업 테이블을 기반으로, 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득할 수 있다.
- [0111] 보다 자세히 설명하면, 프로세서(110)는 나머지 물질에 대응되는 물질별 두께-강도 록업 테이블을 기반으로, 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상과 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상을 이용하여 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상으로부터 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득할 수 있다.
- [0112] 즉, 프로세서(110)는 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상(제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상)으로부터 분리하고자 하는 나머지 물질의 밀도가 높은 물질에서 낮은 물질의 순서에 따라, 대상 물질에 대응되는 두께-강도 록업 테이블을 기반으로 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상(제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대

한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상)으로부터 대상 물질 분리 영상을 획득할 수 있다.

- [0113] 그리고, 프로세서(110)는 대상 물질 분리 영상을 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상(제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상)에서 제거할 수 있다.
- [0114] 그리고, 프로세서(110)는 대상 물질 분리 영상이 제거된 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상(제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상)으로 다음 물질 분리를 수행하는 과정을, 반복적으로 수행하여 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상(제1 에너지에 대한 제1 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상 및 제2 에너지에 대한 제2 고밀도 물질 제거 이중 에너지 영상)으로부터 나머지 물질 각각에 대한 물질 영상을 획득할 수 있다.
- [0117] 그러면, 도 9 내지 도 12를 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 과정의 일례에 대하여 설명한다.
- [0118] 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 이중 에너지 기법 기반 다중 물질 분리 과정의 일례를 설명하기 위한 도면이고, 도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 대상체의 이중 에너지 영상의 일례를 설명하기 위한 도면으로, 도 10의 (a)는 시뮬레이션 기반 수학적 대상체 정보를 나타내고, 도 10의 (b)는 도 10의 (a)에 따른 대상체의 이중 에너지 영상을 나타내며, 도 11은 도 10에 도시한 대상체의 이중 에너지 영상에 대응되는 가중치 맵 영상을 나타내는 도면이고, 도 12는 도 10에 도시한 대상체의 이중 에너지 영상에서 다중 물질 분리를 수행한 결과를 나타내는 도면이다.
- [0119] 도 9를 참조하면, 3개의 물질(뼈, 근육, 지방)을 분리하는 경우, "지방"을 제1 물질로 하는 계단식 형태의 제1 서브 팬텀과 "뼈"를 제2 물질로 하는 계단식 형태의 제2 서브 팬텀을 포함하는 서브 팬텀 1을 통해 서브 팬텀 1에 대한 이중 에너지 영상을 획득하고, "지방"을 제1 물질로 하는 계단식 형태의 제1 서브 팬텀과 "근육"을 제2 물질로 하는 계단식 형태의 제2 서브 팬텀을 포함하는 서브 팬텀 2를 통해 서브 팬텀 2에 대한 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다. 그런 다음, 서브 팬텀 1에 대한 이중 에너지 영상과 서브 팬텀 2에 대한 이중 에너지 영상 각각의 영상 열화를 보정할 수 있다. 이때, 산란선의 영향을 제거하기 위해 De-convolution technique을 이용하였고, 노이즈의 영향을 제거하기 위해 Domain transformation technique을 이용하였다. 그런 다음, 서브 팬텀 1에 대응되는 물질(뼈-지방)의 두께, 서브 팬텀 1에 대응되는 영상 열화가 보정된 이중 에너지 영상, 서브 팬텀 2에 대응되는 물질(근육-지방)의 두께 및 서브 팬텀 2에 대응되는 영상 열화가 보정된 이중 에너지 영상을 이용하여, 뼈에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{뼈}}(P_L, P_H)$, 지방에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{지방}}(P_L, P_H)$ 및 근육에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{근육}}(P_L, P_H)$ 을 획득할 수 있다.
- [0121] 이후, 도 10에 도시된 바와 같은 대상체에 대한 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정할 수 있다. 이때, 교정용 팬텀에 대한 이중 에너지 영상의 영상 열화 보정에 이용된 기법(산란선의 영향을 제거하기 위한 De-convolution technique과 노이즈의 영향을 제거하기 위한 Domain transformation technique)과 파라미터를 이용하여, 대상체의 이중 에너지 영상의 영상 열화를 보정하였다.
- [0123] 그런 다음, 대상체에 대응되는 영상 열화가 보정된 이중 에너지 영상 및 뼈에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{뼈}}(P_L, P_H)$ 을 기반으로 고밀도 물질 영상(즉, 뼈 영상)을 획득할 수 있다.
- [0125] 그런 다음, 미리 학습되어 구축된 이미지 변환 모델을 이용하여, 도 11에 도시된 바와 같이, 고밀도 물질 영상(즉, 뼈 영상)에 대응되는 가중치 맵 영상을 획득할 수 있다.
- [0127] 그런 다음, 대상체에 대응되는 영상 열화가 보정된 이중 에너지 영상 및 가중치 맵 영상을 기반으로, 고밀도 물질(즉, 뼈)이 제거된 뼈 분리 이중 에너지 영상을 획득할 수 있다.
- [0129] 마지막으로, 고밀도 물질(즉, 뼈)이 제거된 고밀도 물질 분리 이중 에너지 영상, 지방에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{지방}}(P_L, P_H)$ 및 근육에 대한 두께-강도 룩업 테이블 $t_{\text{근육}}(P_L, P_H)$ 을 기반으로, 지방 분리 영상과 근육 분리 영상을 획득할 수 있다. 이에 따라, 도 12에 도시된 바와 같이, 이중 에너지 영상을 통해 뼈 분리 영상, 지방 분리 영상 및 근육 분리 영상을 획득할 수 있다.
- [0132] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어를 제공하는데 참여한 임의의 매체를 나타낸다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일,

데이터 구조 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예컨대, 자기 매체, 광기록 매체, 메모리 등이 있을 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수도 있다. 본 실시예를 구현하기 위한 기능적인(Functional) 프로그램, 코드, 및 코드 세그먼트들은 본 실시예가 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다.

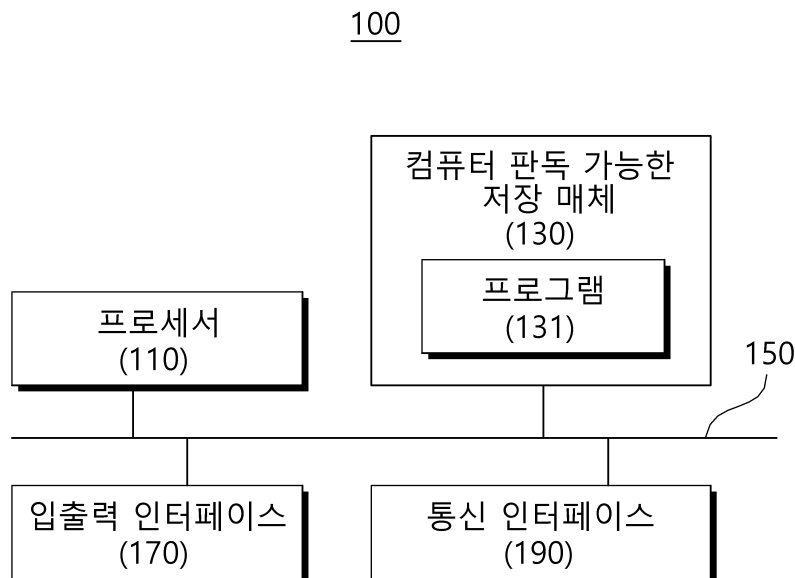
[0133] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

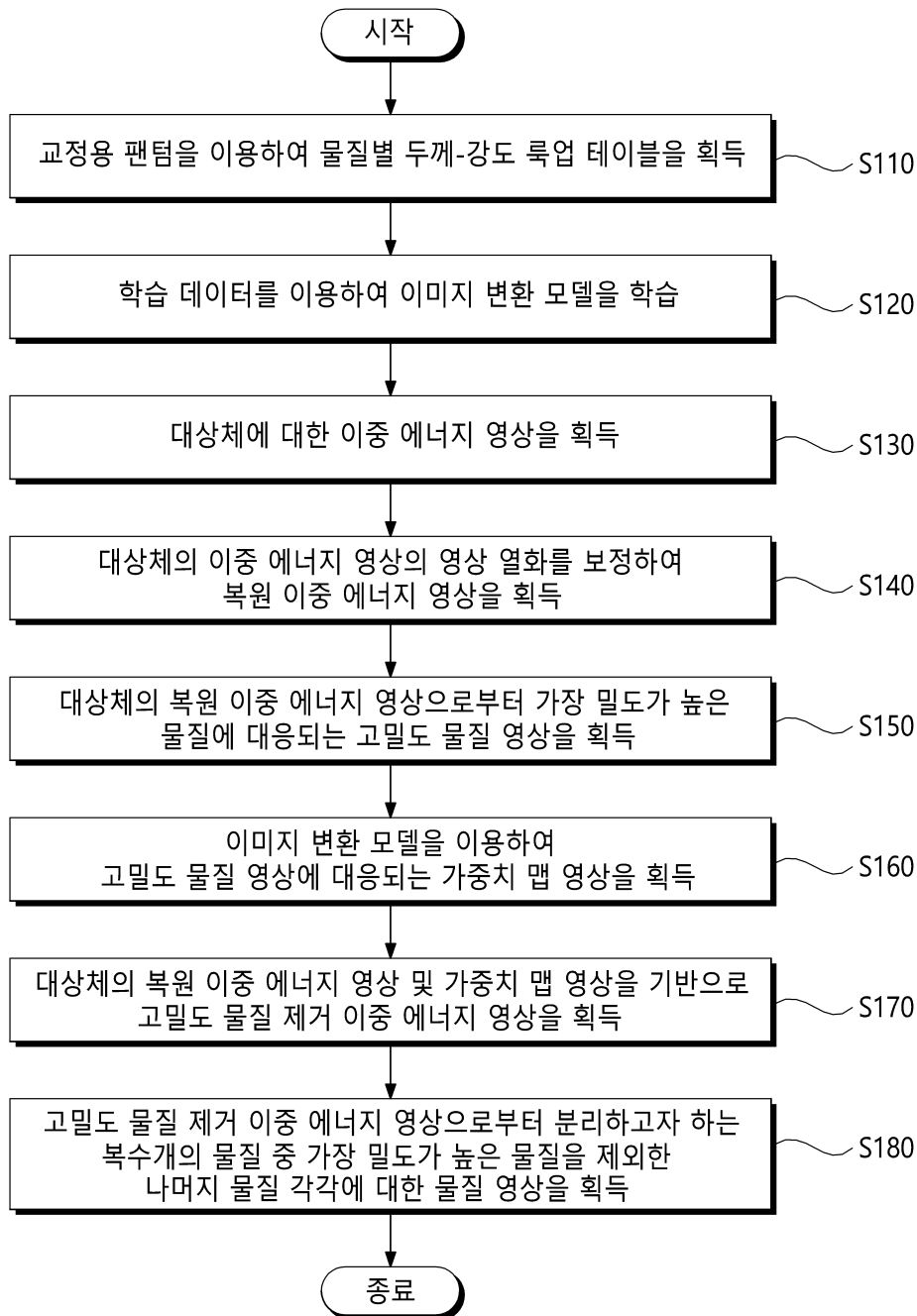
[0134] 100 : 다중 물질 분리 장치,
110 : 프로세서,
130 : 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체,
131 : 프로그램,
150 : 통신 버스,
170 : 입출력 인터페이스,
190 : 통신 인터페이스

도면

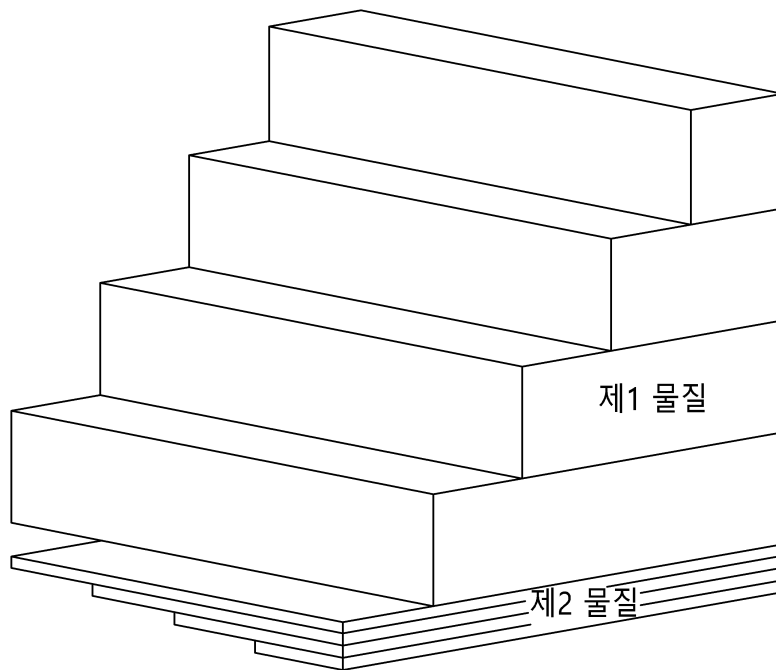
도면1



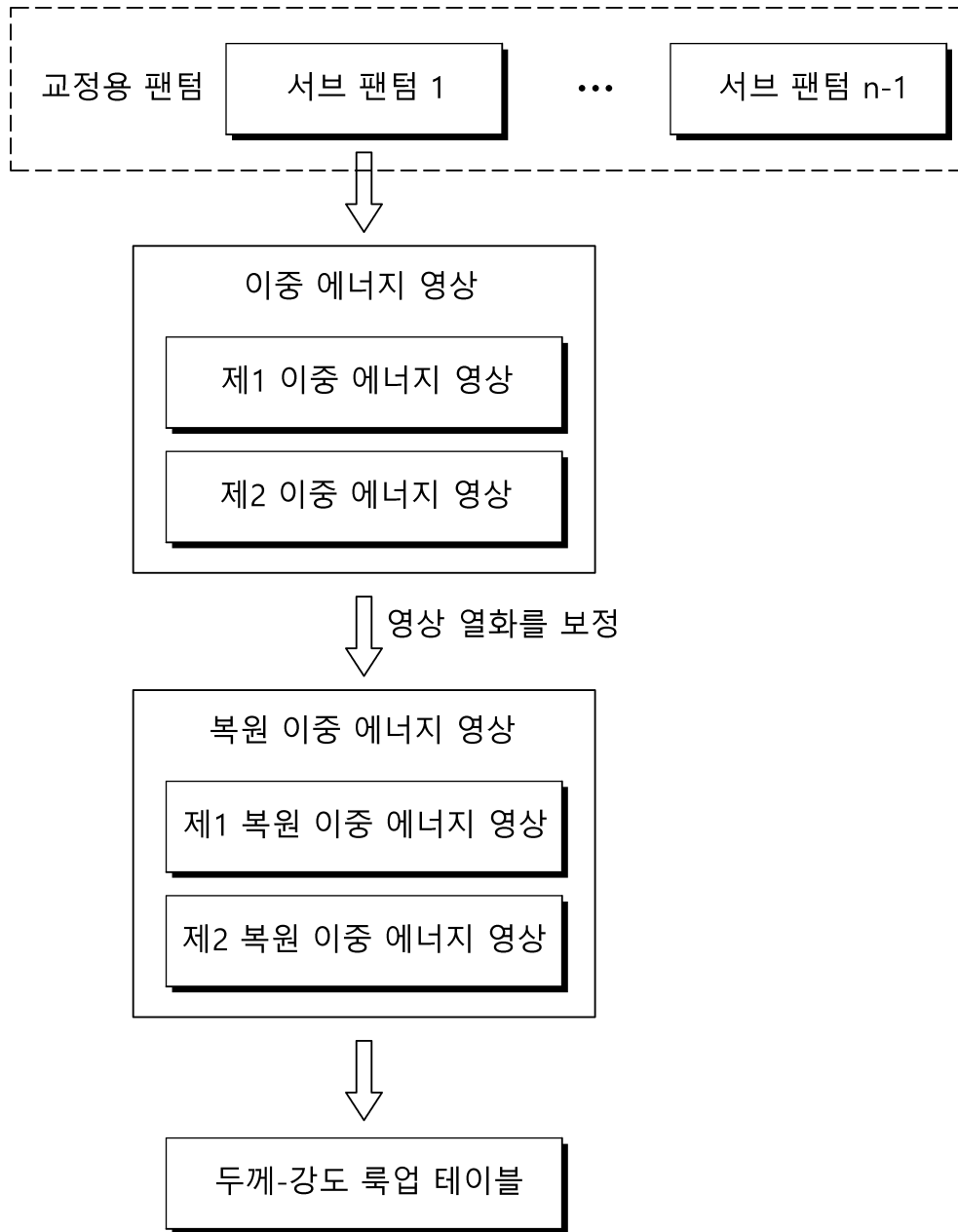
도면2



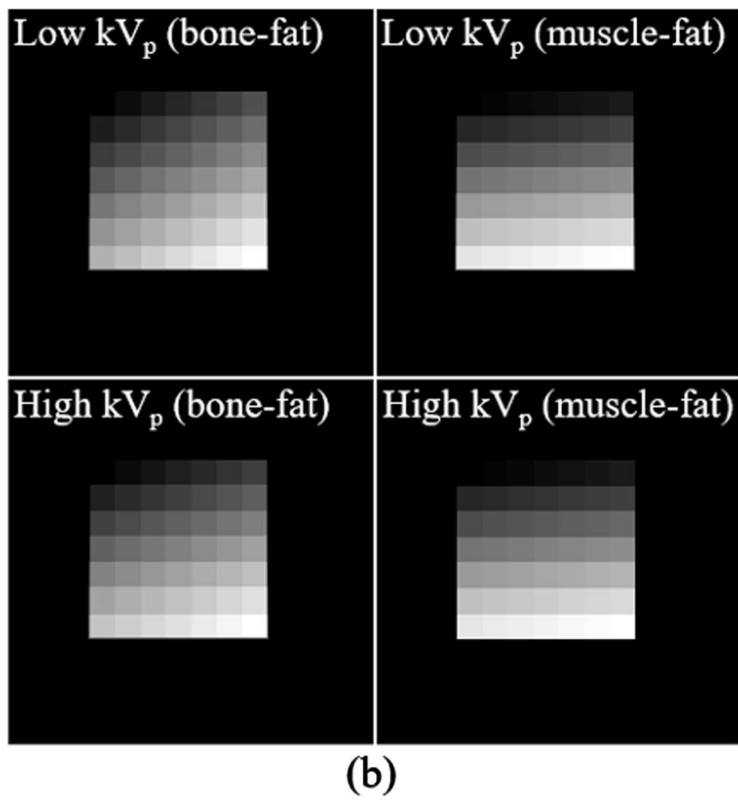
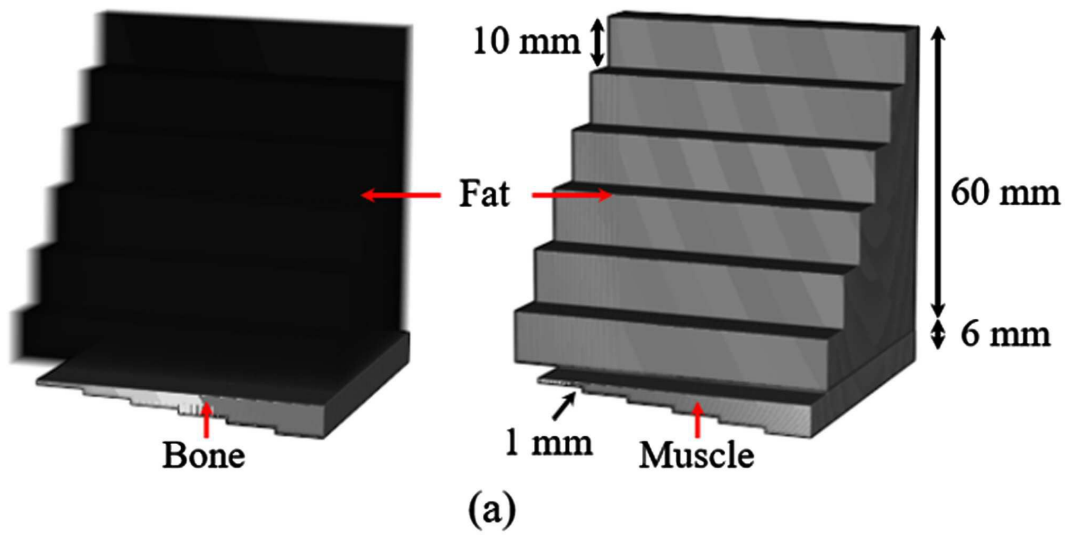
도면3



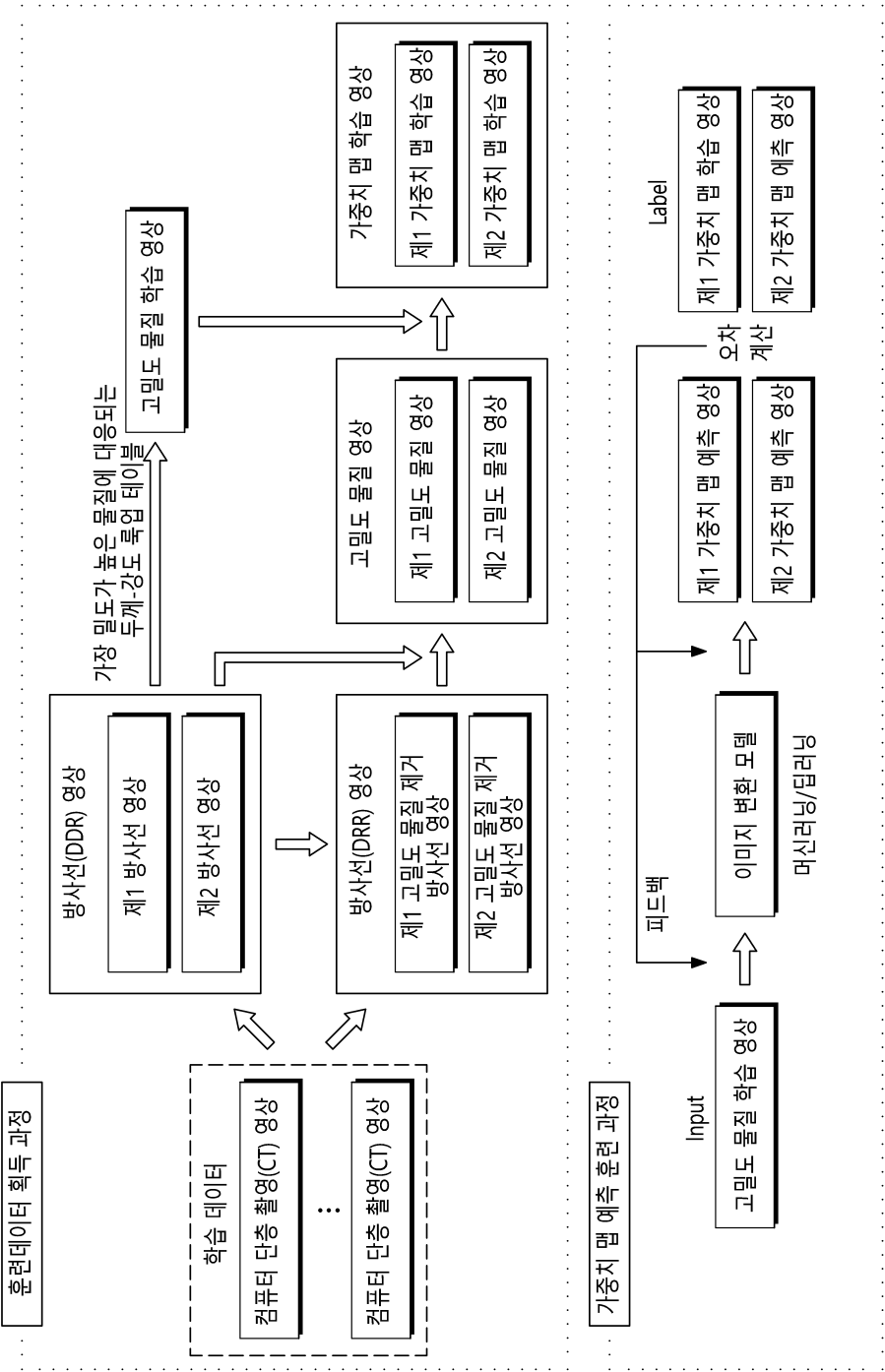
도면4



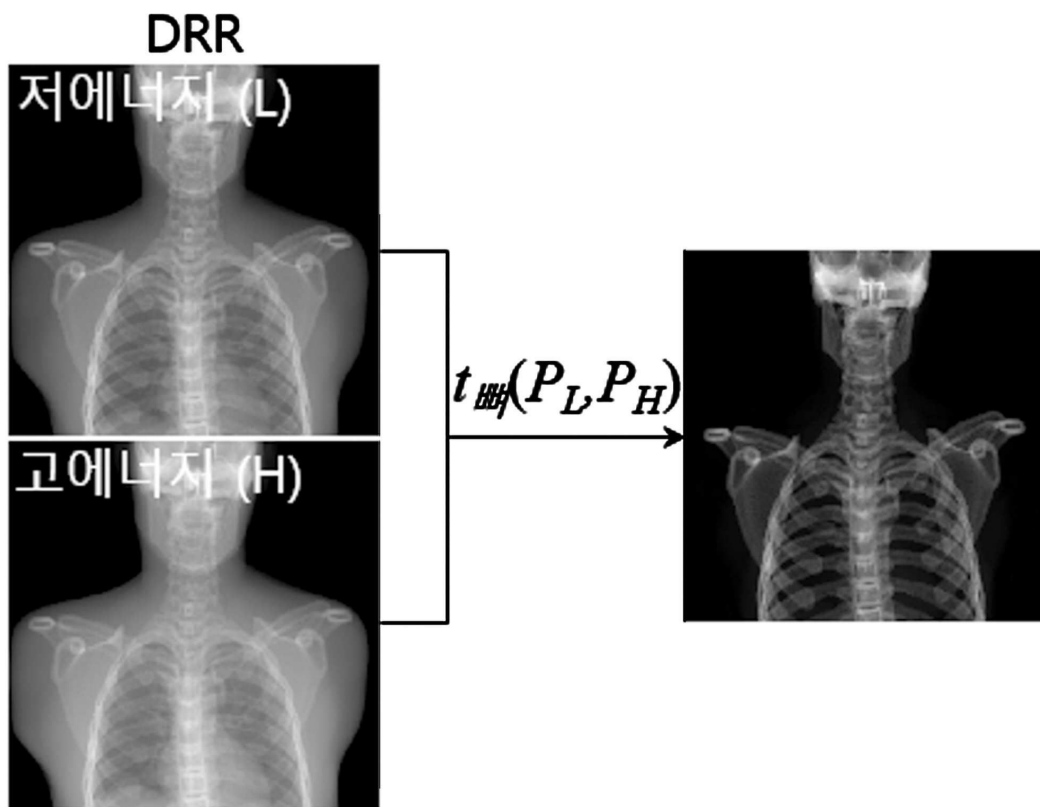
도면5



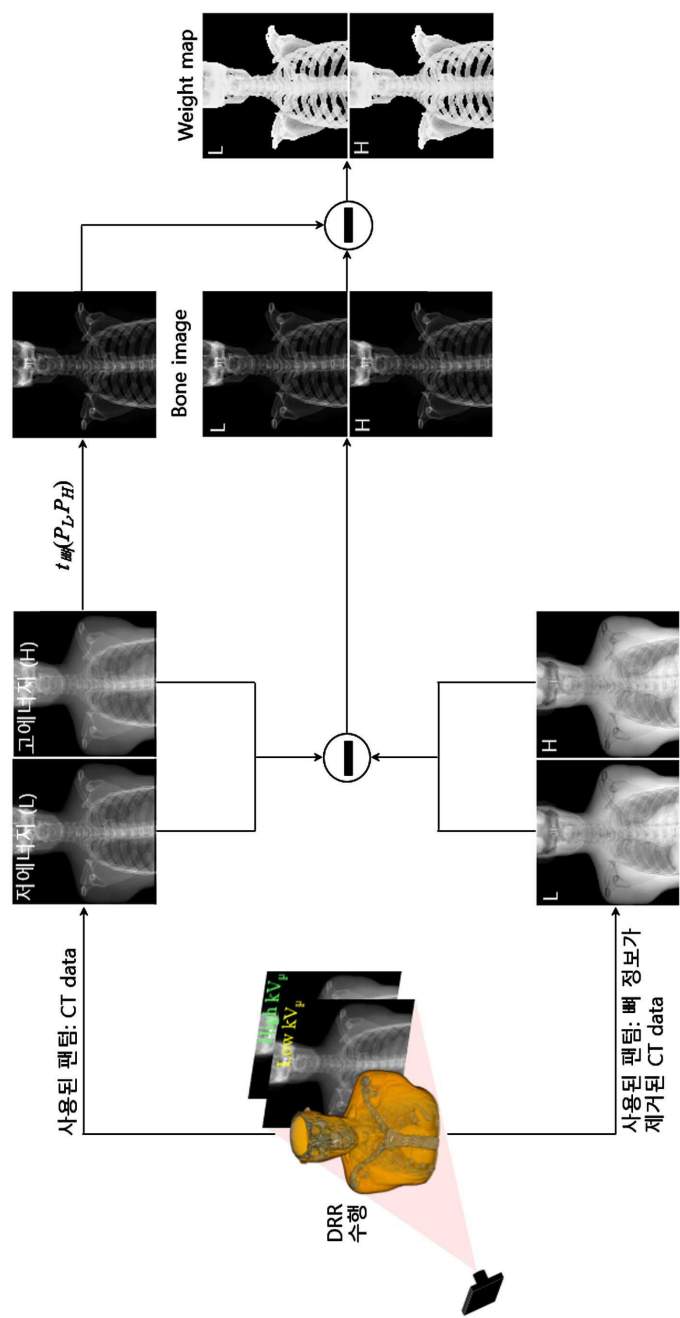
도면6



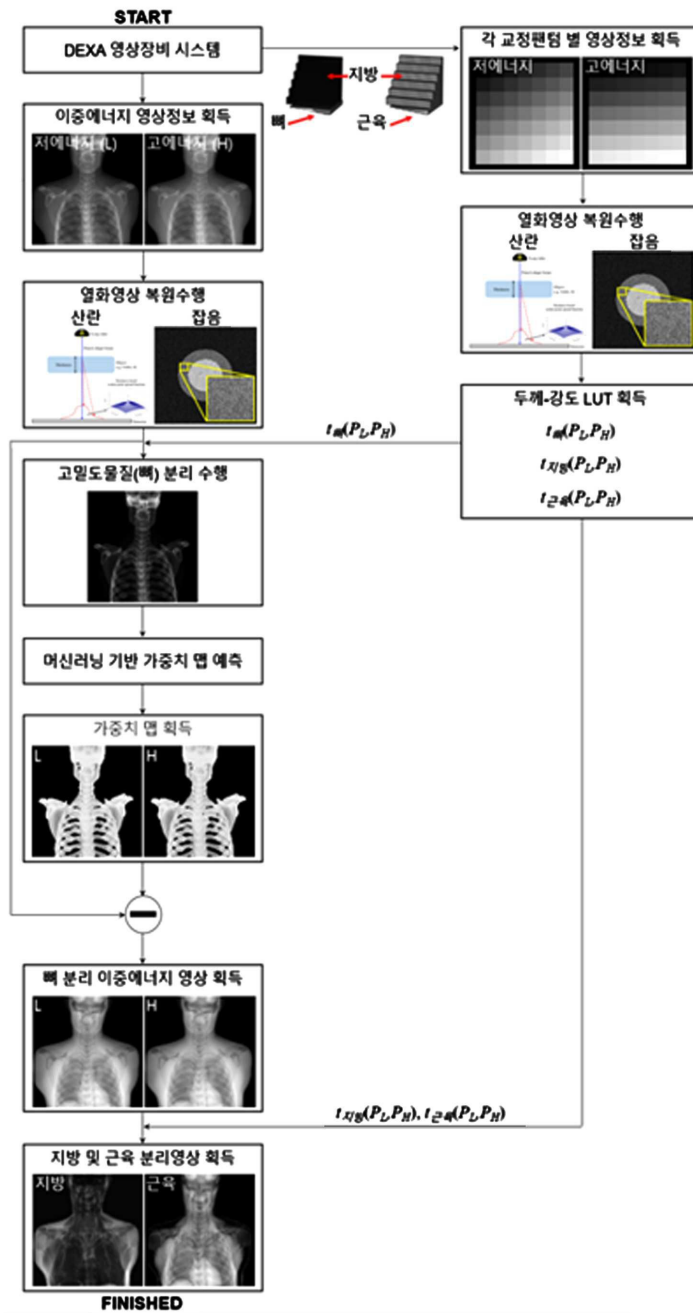
도면7



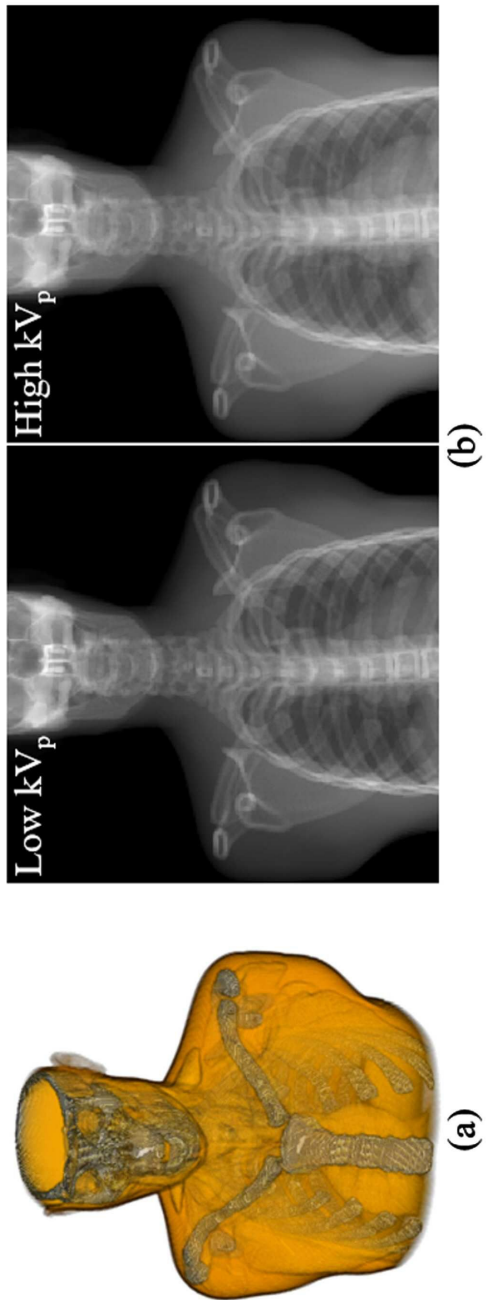
도면8



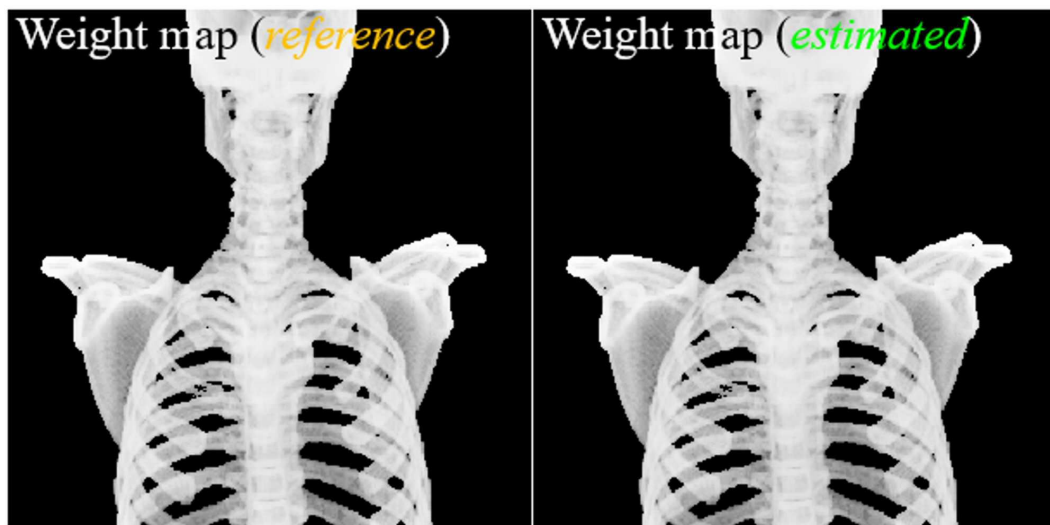
도면9



도면10



도면11



도면12

