(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0125696
(43) 공개일자 2011년11월22일

(51) Int. Cl.
A61B 6/03 (2006.01) *G01N 23/04* (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0045187
(22) 출원일자 2010년05월14일
심사청구일자 2010년05월14일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제캠퍼스내
(72) 발명자
이수열
경기도 성남시 분당구 구미동 111 (33/1) 그랜드빌 304-304
엠디캄룰하산
방글라데시 다카-1000 방글라데시공학기술대학교 전기전자공학과

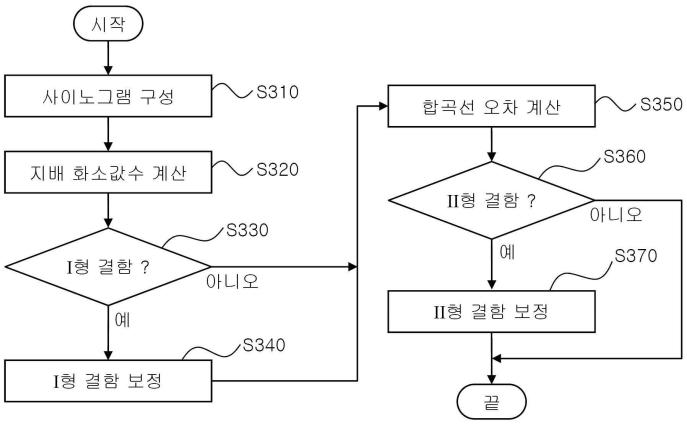
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 엑스선 씨티에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치

(57) 요 약

본 발명은 엑스선 CT의 단면영상에서 발생하는 링 아티팩트를 효과적으로 제거하여 단면영상의 화질을 손상시키지 않고 단면영상의 정확도를 향상시킬 수 있는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법은 엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램을 구성하는 단계와, 상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값수를 계산하는 단계와, 상기 지배 화소값수에 따라 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하는 단계와, 상기 감지소자가 I형 결함소자인 경우 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계와, 상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선 오차를 계산하는 단계와, 상기 합곡선의 오차에 따라 상기 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하는 단계와, 상기 감지소자가 II형 결함소자인 경우 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램을 구성하는 단계와,

상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값수를 계산하는 단계와,

상기 지배 화소값수에 따라 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하는 단계와,

상기 감지소자가 I형 결함소자인 경우 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계와,

상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선 오차를 계산하는 단계와,

상기 합곡선의 오차에 따라 상기 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하는 단계와,

상기 감지소자가 II형 결함소자인 경우 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계를 포함하는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 지배 화소값수를 계산하는 단계는,

상기 사이노그램(P(n, j))의 세로축 크기(N)와 가로축 크기(J)를 구하는 단계와,

상기 엑스선 디텍터 감지소자의 소자번호(j_0)를 1로 초기화하는 단계와,

상기 지배 화소값수의 변수(k)를 0으로 초기화하는 단계와,

선택된 소자번호(j_0)에서의 전체 회전각도의 투영데이터로 이루어진 사이노그램(P(n, j_0))의 히스토그램(h(m))을 구하는 단계와,

상기 히스토그램(h(m))을 내림차순으로 정렬한 히스토그램($h_s(m_s)$)을 구하는 단계와,

상기 지배 화소값수의 변수(k)를 1 만큼 증가시키는 단계와,

상기 정렬한 히스토그램($h_s(m_s)$)에 대한 누적 빈도수(S)를 구하는 단계와,

상기 누적 빈도수(S)가 0.5N보다 크거나 같은 경우를 판단하는 단계와,

상기 누적 빈도수(S)가 0.5N보다 크거나 같은 경우의 지배 화소값수의 변수(k)를 선택된 소자번호(j_0)에서의 지배 화소값수(H(j_0))로 결정하는 단계와,

상기 선택된 소자번호(j_0)에 1을 더하는 단계와,

상기 선택된 소자번호(j_0)가 최대 소자번호(J)가 될 때까지 반복 루프를 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하는 단계는,

상기 지배 화소값수를 고역통과필터에 통과시킨 필터통과신호가 음의 문턱치보다 작을 때 상기 I형 결함소자로 판단하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 필터통과신호가 음의 문턱치보다 작은 값이 연속적으로 다수개가 출현할 경우 상기 다수개의 개수만큼 필터통과신호를 분리한 후 상기 I형 결함소자로 판단하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법.

청구항 5

엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램을 구성하고,

상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값수를 계산하고,

상기 지배 화소값수에 따라 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하고,

상기 감지소자가 I형 결함소자인 경우 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하고,

상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선 오차를 계산하고,

상기 합곡선의 오차에 따라 상기 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하고,

상기 감지소자가 II형 결함소자인 경우 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 제어부를 포함하는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거장치.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 엑스선 CT의 단면영상에서 발생하는 링 아티팩트를 효과적으로 제거하여 단면영상의 화질을 손상시키지 않고 단면영상의 정확도를 향상시킬 수 있는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 엑스선(x-ray) CT(computed tomography)는 물체의 단면을 자르지 않고 물체의 단면을 촬영하는 기계이다. 종래의 엑스선 CT 시스템은 도 1에 도시한 바와 같이, 일반적으로 엑스선 빔(110)을 투사하는 엑스선관(120)(x-ray tube)과 촬영대상 물체(130)를 통과하여 나오는 엑스선을 감지하는 엑스선 디텍터(140), 상기 엑스선 디텍터에서 획득한 신호들로부터 단면영상을 계산하는 컴퓨터, 그리고 엑스선관과 엑스선 디텍터를 회전축(150)을 중심으로 회전시키는 회전장치로 구성된다. 상기 엑스선 디텍터(140)에서 획득한 신호는 엑스선이 촬영대상 물체(130)에 투영(projection)되어 물체의 고유한 엑스선 감쇠특성에 의해 감쇠된 투영데이터이다. 상기 투영데이터를 여러 각도에서 얻은 후 엑스선 투사방향의 역방향으로 투영하는 역투영(back-projection)을 수행하면 단면영상을 계산할 수 있으며, 상기 단면영상을 계산하는 과정을 영상 재구성(reconstruction)이라고 한다. 상기 엑스선 디텍터(140)는 엑스선 감지소자들이 고밀도로 집적되어 있으며, 상기 엑스선 감지소자로는 주로 섬광체(scintillator)에 광다이오드(photo diode)를 접합한 방식을 많이 쓰고 있다. 상기 섬광체는 엑스선을 가시광선으로 변환하며 광다이오드는 가시광선을 전기신호로 변환한다. 일반적인 인체 촬영용 CT는 수백 내지 수천 개의 섬광체-광다이오드 쌍으로 이루어진 엑스선 감지소자를 사용하고 있다. 좋은 화질의 단면 영상을 얻기 위해서는 상기 엑스선 감지소자의 감도가 매우 균일해야 한다. 그렇지 않을 경우, 도 2에 도시한 바와 같이, 상기 엑스선 디텍터(140)의 특정 감지소자의 결함으로 인하여 투영데이터의 모양이 원래 형상에서 바뀌게 된다. 여기서, 엑스선 디텍터 감지소자의 소자번호(j)의 범위를 1부터 J까지 표기하였다. 상기 투영데이터에 발생하는 결함의 양상은 양의 방향으로 생기는 양의 첨두(peak) 혹은 음의 방향으로 생기는 음의 첨두의 형태로 발생할 수 있다. 첨두가 양의 방향으로 생기는 경우는 디텍터 감지소자가 정상 이상으로 감도가 좋은 경우이며, 음의 방향으로 생기는 경우는 그 반대인 경우이다. 상기 감지소자의 결함은 엑스선 CT의 단면영상에서 원 모양의 링 아티팩트(ring artifact)로 나타난다. 상기 링 아티팩트는 일반적으로 여러 개가 함께 나타난다. 상기 링 아티팩트는 영상을 통해 정확한 진단을 하는데 있어서 심각한 문제를 유발할 수 있다. 상기 링 아티팩트를 제거하기 위해 엑스선 감지소자의 감도를 균일하게 하는 것이 중요하다. 그러나 수많은 감지소자를 일일이 물리적으로 보정하는 것은 어려운 일이며, 보정을 한 후에도 시간에 따라 감지소자의 상태가 변화하기 때문에 추가적인 보정이 필요하다. 따라서 소프트웨어적인 영상처리를 통하여 상기 링 아티팩트를 제거하는 것이 필요하다.

[0003] 엑스선 디텍터 기술의 발달로 엑스선 감지소자가 고밀도 또는 대면적의 2차원 배열로 집적된 디텍터가 출현하였는데, 상기 2차원의 엑스선 디텍터를 통상 엑스선 평판 디텍터(flat panel detector; FPD)라 한다. 상기 평판 디텍터는 사용목적에 따라 다양한 면적으로 생산되고 있으며, 유방 촬영용의 18cm × 24cm, 폐 촬영용의 35cm × 43cm 등이 있다. 상기 평판 디텍터는 일반적인 엑스선 촬영장치와 CT 시스템에 모두 사용된다. 특히 엑스선 씨암(c-arm) 촬영장치에도 상기 평판 디텍터가 사용되고 있으며 씨암을 200도 정도 회전하여 획득한 투영데이터

로부터 단면영상을 재구성하는 콘빔(cone beam) CT도 출현하였다. 상기 콘빔 CT는 2차원 투영데이터를 획득하기 때문에 엑스선관과 평판 디텍터 쌍을 1회전만 하여도 3차원 영상을 만들 수 있다. 상기 3차원 영상은 2차원 영상에 비해 인체 내부 정보를 더 정확히 제공하기 때문에 상기 콘빔 CT의 의학적 응용은 크게 늘어나고 있다. 상기 콘빔 CT의 평판 디텍터는 수백만 개 이상의 2차원 배열로 이루어진 엑스선 감지소자로 구성되어 있다. 상기 평판 디텍터의 엑스선 감지소자의 일부는 완전히 기능을 상실하여 엑스선의 유무에 상관없이 일정한 값을 내보낼 수 있으며, 일부는 입력 엑스선량에 비례하지 않는 오류 신호를 출력할 수 있다. 일반적으로 많은 2차원 배열의 엑스선 감지소자로 구성된 평판 디텍터는 1차원 배열의 엑스선 감지소자로 구성된 디텍터보다 결함소자의 수가 많기 때문에 출력 균일도가 낮고 단면영상에서의 링 아티팩트도 더 심하다. 따라서 상기 평판 디텍터를 사용하는 상기 콘빔 CT도 일반 엑스선 CT에 비해 링 아티팩트가 더 심하게 나타나는 문제점이 있다. 또한 상기 평판 디텍터의 감지소자의 감도도 시간에 따라 변하는 특성이 강하므로 상기 콘빔 CT에서 링 아티팩트가 나타나는 문제점이 있다.

[0004] 상기 링 아티팩트를 제거하기 위한 종래의 기술로는 재구성한 후의 단면영상에서 영상처리를 통하여 링 아티팩트를 제거하는 방법과 재구성하기 전의 투영데이터에서 링 아티팩트를 제거하는 방법이 있다. 재구성한 후의 단면영상에서의 링 아티팩트 제거를 위한 종래의 기술은 통상적으로 단면영상을 극좌표로 변환하여 원형의 링 아티팩트를 직선 형태로 변환한 후 필터링으로 제거하고 다시 직교 좌표계로 변환하는 방법을 사용한다. 그러나 상기 좌표계 변환을 이용한 단면영상에서의 링 아티팩트 제거방법은 좌표계 변환에서 필수적으로 수반되는 계산량 오차 문제가 있으며, 따라서 링 아티팩트의 정확한 위치를 알 수 없는 문제점이 있다. 재구성하기 전의 투영데이터에서의 링 아티팩트 제거를 위한 종래의 기술은 투영데이터를 디텍터의 회전 방향으로 누적시킨 데이터에서 특정한 문턱치(threshold)를 기준으로 하여 상기 문턱치보다 큰 값을 가진 위치를 결함이 있는 엑스선 감지소자의 위치로 판정한 후, 상기 결함이 있는 위치에서 필터링으로 링 아티팩트를 제거하는 방법이다. 그러나 상기 문턱치를 기준으로 하는 방법은 문턱치가 너무 높거나 낮을 경우 과대평가 또는 과소평가되어 결함이 있는 감지소자의 정확한 위치를 찾아내기가 어려운 문제점이 있다. 또한 상기 결함이 있는 감지소자의 위치를 정확하게 찾지 못하고 잘못된 위치에서 필터링을 수행하면 단면영상의 화질을 손상시키는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출한 것으로서, 엑스선 CT의 단면영상에서 발생하는 링 아티팩트를 효과적으로 제거하여 단면영상의 화질을 손상시키지 않고 단면영상의 정확도를 향상시킬 수 있는 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치를 제공하는 데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법은 엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램을 구성하는 단계와, 상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값수를 계산하는 단계와, 상기 지배 화소값수에 따라 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하는 단계와, 상기 감지소자가 I형 결함소자인 경우 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계와, 상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선의 오차를 계산하는 단계와, 상기 합곡선의 오차에 따라 상기 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하는 단계와, 상기 감지소자가 II형 결함소자인 경우 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계를 포함한다.

[0007] 본 발명에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거장치는 엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램을 구성하고, 상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값수를 계산하고, 상기 지배 화소값수에 따라 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하고, 상기 감지소자가 I형 결함소자인 경우 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하고, 상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선의 오차를 계산하고, 상기 합곡선의 오차에 따라 상기 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하고, 상기 감지소자가 II형 결함소자인 경우 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 제어부를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0008] 본 발명에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치는 다음과 같은 효과가 있다.

[0009] 엑스선 디텍터의 결함소자에 의한 결함화소의 위치를 찾아 그 위치에서만 화소값을 보정하므로 엑스선 CT의 단면영상에서 발생하는 링 아티팩트를 효과적으로 제거하여 단면영상의 화질을 손상시키지 않고 단면영상의 정확도를 향상시킬 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 종래 기술에 따른 엑스선 CT 시스템의 구성도.

도 2는 종래 기술에 따른 엑스선 CT의 투영데이터를 나타낸 도면.

도 3은 본 발명에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법의 흐름도.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 사이노그램 구성방법을 나타낸 도면.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 지배 화소값수를 계산하는 과정을 나타낸 흐름도.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 히스토그램을 나타낸 도면.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 지배 화소값수와 필터통과신호를 나타낸 도면.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 연속적인 결함소자의 처리방법을 나타낸 도면.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 I형 결함의 보정 전후의 합곡선을 나타낸 도면.

도 10a과 도 10b는 본 발명의 일 실시예에 따른 링 아티팩트 제거 전과 제거 후의 단면영상을 나타낸 참고도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치를 상세히 설명하기로 한다.

[0012] 도 3은 본 발명에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법의 흐름도를 나타낸 도면이다. 도 3에 도시한 바와 같이, 본 발명에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법은 엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램(sinogram)을 구성하는 단계(S310)와, 상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값수(number of a dominant pixel-value)를 계산하는 단계(S320)와, 상기 지배 화소값수에 따라 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하는 단계(S330)와, 상기 감지소자가 I형 결함소자인 경우 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계(S340)와, 상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선(sum curve) 오차를 계산하는 단계(S350)와, 상기 합곡선의 오차에 따라 상기 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하는 단계(S360)와, 상기 감지소자가 II형 결함소자인 경우 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계(S370)를 포함한다. 각 단계에 대하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0013] 상기 엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램을 구성하는 단계(S310)는 엑스선 CT에서 링 아티팩트를 제거하는 첫 번째 단계로, 도 4에 도시하여 설명하기로 한다. 상기 사이노그램은 여러 회전각도 n(1, 2, …… , N)에서 받은 투영데이터(P(1, j), P(2, J), …… , P(N, j))에 대하여, 가로축을 엑스선 디텍터의 감지 소자번호 j(1, 2, …… , J)의 축으로 하고, 세로축을 상기 회전각도(n)의 축으로 하고, 상기 투영데이터를 그레이 레벨(gray level)로 표시하여 2차원 영상으로 나타낸 것을 말하며, P(n, j)로 표시된다. 여기서, 상기 소자번호(j)는 1에서 J까지의 값을 가지며, 보통 1000에서 2000 사이의 값을 갖는다. 상기 회전각도(n)는 1에서 N까지의 값을 가지며, 보통 300에서 1000 사이의 값을 갖는다. 상기 투영데이터의 하나의 값은 엑스선 디텍터의 하나의 감지소자로부터 받은 값이며, 상기 사이노그램의 하나의 화소(pixel)를 이룬다. 상기 엑스선 디텍터의 특정 감지소자에 결함이 있는 경우 투영데이터에서 상기 감지소자의 소자번호 위치에서 첨두로 그 영향이 나타나기 때문에 사이노그램 상에서는 결함이 있는 감지소자의 영향이 도 4의 사이노그램에 화살표로 도시한 수직선 결함(410)의 형태로 나타난다. 상기 결함이 있는 사이노그램을 이용하여 단층영상을 만들 경우 링 아티팩트가 나타나게 된다.

[0014] 상기 엑스선 디텍터의 결함은 두 가지 형태로 분류할 수 있다. 첫 번째는, 입력되는 엑스선량에 상관없이 일정한 출력값을 내놓는 경우인데 이를 I형 결함이라 칭한다. 두 번째는, 입력된 엑스선량에 비례하는 출력값을 내지만 그 출력값에 일정 크기의 옵셋(offset) 값이 더해지는 경우로 이를 II형 결함이라 칭한다. 상기 I형 결함과 II형 결함은 다른 성격의 링 아티팩트를 만들기 때문에 이를 구별하여 보정해야만 링 아티팩트를 효과적으로 제거할 수 있다. 그러나 종래의 링 아티팩트 제거 방법에서는 I형과 II형을 구별하지 않았다. 상기 I형 결함이

있는 사이노그램, $P_I(n, j)$는 아래의 수학식 1과 같이 정의된다.

수학식 1

[0015]
$$P_I(n,j)=\begin{cases} A_j & ;\text{I형 결함이 있는 경우} \\ P(n,j) & ;\text{I형 결함이 없는 경우} \end{cases}$$

[0016] 즉, I형 결함이 없는 디텍터 감지소자 위치에서의 사이노그램 값은 정상값이지만 I형 결함이 있는 결함소자 위치에서는 입력 엑스선량과 무관하게 일정한 값 A_j를 출력한다.

[0017] 상기 II형 결함이 있는 사이노그램, $P_{II}(n, j)$는 아래의 수학식 2와 같이 정의된다.

수학식 2

[0018]
$$P_{II}(n,j)=\begin{cases} a_j+P(n,j) & ;\text{II형 결함이 있는 경우} \\ P(n,j) & ;\text{II형 결함이 없는 경우} \end{cases}$$

[0019] 즉, II형 결함이 없는 디텍터 감지소자 위치에서의 사이노그램 값은 정상값이지만 II형 결함이 있는 결함소자 위치에서는 정상적인 사이노그램 화소값에 부가되어 일정 크기의 옵셋값 a_j가 나타난다.

[0020] 상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값수를 계산하는 단계(S320)는 I형 결함을 가진 결함소자의 위치를 찾기 위한 단계이다. 도 5는 본 발명에 따른 지배 화소값수를 계산하는 과정을 나타낸 흐름도이다. 상기 지배 화소값수를 계산하는 과정은 상기 사이노그램(P(n, j))의 세로축 크기(N)와 가로축 크기(J)를 구하는 단계(S511)와, 상기 엑스선 디텍터 감지소자의 소자번호(j_0)를 1로 초기화하는 단계(S512)와, 상기 지배 화소값수의 변수(k)를 0으로 초기화하는 단계(S513)와, 선택된 소자번호(j_0)에서의 전체 회전각도의 투영데이터로 이루어진 사이노그램($P(n, j_0)$)의 히스토그램(h(m))을 구하는 단계(S514)와, 상기 히스토그램(h(m))을 내림차순으로 정렬된 히스토그램($h_s(m_s)$)을 구하는 단계(S515)와, 상기 지배 화소값수의 변수(k)를 1만큼 증가시키는 단계(S516)와, 상기 정렬된 히스토그램($h_s(m_s)$)에 대한 누적 빈도수(S)를 구하는 단계(S517)와, 상기 누적 빈도수(S)가 0.5N보다 크거나 같은 경우를 판단하는 단계(S518)와, 상기 누적 빈도수(S)가 0.5N보다 크거나 같은 경우의 지배 화소값수의 변수(k)를 선택된 소자번호(j_0)에서의 지배 화소값수($H(j_0)$)로 결정하는 단계(S519)와, 상기 선택된 소자번호(j_0)에 1을 더하는 단계(S520)와 상기 선택된 소자번호(j_0)가 최대 소자번호(J)가 될 때까지 반복 루프를 수행하는 단계(S521)를 포함하는 것을 특징으로 한다. 여기서, m은 화소값(pixel value), m_s는 내림차순으로 정렬된 히스토그램($h_s(m_s)$)의 독립변수를 나타낸다.

[0021] 상기 지배 화소값수를 계산하는 흐름도를 상세히 설명하면 다음과 같다. 상기 사이노그램(P(n, j))의 세로축 크기(N)와 가로축 크기(J)를 구하는 단계(S511)는 상기 지배 화소값수를 계산하는 과정 중에서 판단하는 단계(S518와 S521)에서 사용되는 판단지표가 되는 0.5N과 J를 구하기 위한 단계이다. 상기 엑스선 디텍터 감지소자의 소자번호(j_0)를 1로 초기화하는 단계(S512)부터 상기 소자번호(j_0)가 최대 소자번호(J)가 될 때까지 반복 루프를 수행하는 단계(S521)까지의 과정은 엑스선 디텍터 감지소자의 소자번호(j_0)를 1부터 J까지 하나씩 증가시키면서, 각각의 선택된 소자번호(j_0)에 대한 지배 화소값수($H(j_0)$)를 계산하기 때문에 상기 반복 루프를 수행하는 단계(S521)가 끝나면 전체 소자번호(j)에 대한 지배 화소값수(H(j))를 구할 수 있다. 상기 선택된 소자번호(j_0)에 대한 지배 화소값수($H(j_0)$)를 계산하기 위해 소자번호(j_0)에서의 전체 회전각도의 사이노그램($P(n, j_0)$)에 대한 히스토그램(h(m))을 구하는 단계(S514)를 수행한다. 상기 히스토그램은 화소값(pixel value)을 가로축으로 하고, 상기 화소값의 빈도수(frequency)를 세로축으로 하여, 각 화소값에 대한 빈도수를 나타낸 것이다.

상기 엑스선 디텍터 감지소자의 디지털 출력값이 B 비트(bit)로 이루어진다면 상기 화소값의 범위는 0에서 2^B-1로 총 2^B 개의 경우의 수가 생긴다. 결함이 없는 소자 위치에서의 화소값들은 다양한 값을 가지는 반면 I형의 결함을 가진 소자 위치에서의 화소값들은 아주 적은 경우의 수를 가질 것이다. 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 히스토그램을 나타낸 도면이다. 여기서, 선택된 소자번호(j_0)는 888번째 소자와 바로 인접한 889번째 소자이다. 도 6에 도시한 바와 같이, 888번째 소자에서는 3개의 화소값만이 월등히 큰 빈도수를 나타내는 반면, 889번째 소자에서는 다양한 화소값들이 비슷한 수준의 빈도수를 나타내고 있다. 상기 888번째 소자의 히스토그램에서 나타난 소수의 화소값만이 월등히 큰 빈도수 갖는 특징은 전형적인 I형 결함소자의 특징이다. 상기 889번째 소자의 히스토그램에서 나타난 다양한 화소값들의 비슷한 수준의 빈도수는 정상적인 소자의 특징이다. 따라서 바로 인접한 소자들 사이에서도 히스토그램의 특징으로부터 I형 결함의 여부를 명확하게 구분할 수 있다.

[0022] 상기 정렬된 히스토그램($h_s(m_s)$)을 구하는 단계(S515)부터 상기 지배 화소값수 $H(j_0)$를 결정하는 단계(S519)까지는 상기 지배 화소값수를 결정하는 판단기준에 의해 명시적이고 수학적인 방법으로 상기 지배 화소값수를 결정하기 위한 과정이다. 먼저, 상기 히스토그램 (h(m))을 큰 값에서 작은 값의 순서인 내림차순으로 정렬하여, 상기 정렬된 히스토그램($h_s(m_s)$)을 만든다. 상기 정렬된 히스토그램($h_s(m_s)$)이 내림차순으로 정렬되었기 때문에 h_s의 독립변수 m_s도 화소값 m의 순서로부터 h_s의 순서에 맞게 재정렬되며, 계산의 편리를 위해 1부터 시작되어 1씩 증가하는 자연수로 매핑시킨다. 상기 지배 화소값수의 변수(k)를 1 만큼 증가시킨 후, 상기 정렬된 히스토그램($h_s(m_s)$)에 대하여 m_s= 1부터 m_s= k까지의 $h_s(m_s)$의 값을 모두 더하여 상기 누적 빈도수(S)를 구한다. 여기서, 상기 누적 빈도수(S)의 최대값은 최대 회전각도(N)과 같다. 상기 지배 화소값수 $H(j_0)$를 결정하는 판단기준을 0.5N으로 하여 상기 누적 빈도수 S가 0.5N보다 크거나 같은 경우의 지배 화소값수의 변수 k를 상기지배 화소값수 $H(j_0)$로 결정한다. 여기서, 상기 판단기준이 되는 0.5N는 전체 회전각도 N의 50%에 해당되는 값이며, 지배적인 화소값이 되려면 S가 적어도 N의 50% 이상이 되어야 한다. 상기 누적 빈도수 S가 0.5N 이상인 경우의 k를 선택된 소자번호(j_0)에서의 지배 화소값수 $H(j_0)$로 결정하고 j_0가 최대 소자번호 J가 될 때까지 S513 단계부터 S521 단계까지의 반복 루프를 수행하여, 전체 소자번호 j에 대한 지배 화소값수 H(j)를 계산할 수 있다.

[0023] 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하는 단계(S330)에서는 상기 지배 화소값수 H(j)의 특성을 이용한다. 상기 I형 결함소자의 위치에서 상기 지배 화소값수는 주변값에 비해 뚜렷하게 작은 값을 갖기 때문에 상기 I형 결함소자의 위치를 알 수 있다. 상기 작은 값은 엑스선 디텍터의 상태에 따라 달라질 수 있으며, 통상적으로 1에서 20정도의 범위에서 결정될 수 있다. 일 실시예로, 총 회전각도의 빈도수가 360일 때 H(j)가 100이면 사이노그램의 화소값들이 다양한 값을 가지고 있으므로, j번째 소자가 정상소자임을 의미하며, H(j)가 5이면 화소값이 5개 정도의 특정한 값들만을 가지고 있으므로, 즉 j번째 소자가 결함소자임을 의미한다.

[0024] 상기 결함소자의 위치를 쉽게 찾기 위해, 아래의 수학식 3과 같이, 지배 화소값수 H(j)를 고역통과필터(high pass filter)에 통과시켜 얻은 필터통과신호 $H_d(j)$를 추가적으로 사용할 수 있다.

수학식 3

[0025] $$H_d(j) = 2H(j) - H(j-1) - H(j+1)$$

[0026] 상기 필터통과신호 $H_d(j)$는 상기 H(j)의 음의 방향으로의 첨두를 더 강화시켜 강한 음의 값을 갖도록 한다. 따라서 $H_d(j)$ 값이 적당한 음의 문턱치보다 작을 때의 소자번호 j의 위치를 I형 결함소자의 위치로 결정할 수 있다. 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 지배 화소값수 H(j)와 필터통과신호 $H_d(j)$를 타나낸 도면이다. 도 7의 아래쪽 확대영역에 도시한 바와 같이, 결함소자의 위치에서 H(j)는 음의 방향으로의 첨두를 나타내며, $H_d(j)$는 상기 첨두가 더 강화되어 강한 음의 값을 나타낸다.

[0027] 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하는 단계(S330)에서 결함소자가 단독으로 나타나지 않고 연속적으로 나타나는 경우에도 상기 지배 화소값수 H(j)와 필터통과신호 $H_d(j)$의 특징으로부터 I형 결함소자의 위치를 결정할 수 있다. 상기 결함소자가 연속적으로 나타날 경우, 링 아티팩트도 연속으로 나타나 두꺼운 링 아티팩트, 혹은

띠 아티팩트가 나타난다. 상기 결함소자가 연속적으로 발생할 경우, 연속적인 결함소자의 개수만큼 H(j)와 $H_d(j)$를 분리하여 결함소자인지 판단할 수 있다. 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 연속적인 결함소자의 처리 방법을 나타낸 도면이다. 도 8에 도시한 바와 같이, 887번째와 888번째의 소자가 연속적인 결함을 가지고 있다. 상기 연속적인 결함소자가 2개일 경우, H(j)의 홀수와 짝수 위치를 분리하여 새로운 $H_1(j)$, $H_2(j)$를 만든다. 즉, $H_1(j)= H(2j-1)$, $H_2(j)= H(2j)$로 분리하여 $H_1(j)$, $H_2(j)$ 각각에 상기 고역통과필터를 통과시켜 $H_{1d}(j)$, $H_{2d}(j)$를 얻는다. 이와 같이 분리하여 얻은 홀수 소자번호에 대한 $H_1(j)$와 $H_{1d}(j)$의 그래프에서는 887번째의 하나의 소자만 유일하게 결함소자의 특성을 보이고 있으며, 짝수 소자번호에 대한 $H_2(j)$와 $H_{2d}(j)$의 그래프에서는 888번째의 하나의 소자만 유일하게 결함소자의 특성을 보이고 있기 때문에 결함소자의 위치를 더 정확하게 결정할 수 있다. L개의 결함화소가 연속적으로 나타난다면 H(j)를 L개로 분할한 $H_1(j)$, $H_2(j)$,……, $H_L(j)$로부터 각각 결함소자의 위치를 찾을 수 있다.

[0028] 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계(S340)는 상기 I형 결함소자의 위치를 찾은 상기 사이노그램 상에서 이루어진다. 상기 I형의 결함소자 위치의 불량 화소값들을 인접한 정상 화소값으로부터 추정하여 채우는 과정을 통해 상기 사이노그램을 보정할 수 있다. 상기 불량 화소값을 주위의 정상값을 이용해 채우는 방법을 인페인팅(inpainting)이라 한다. 상기 인페인팅은 인페인팅 행렬과 결함화소를 중심으로 하는 부분 사이노그램의 컨볼루션(convolution)으로 수행되며, 아래의 수학식 4와 같이 정의된다.

수학식 4

[0029]
$$c = \sum_{a=1}^{A}\sum_{b=1}^{B} H_{ab} P_{ab}^{1}$$

[0030] 여기서, c는 보정된 화소값, H는 인페인팅 행렬, P^1은 결함화소를 중심으로 하는 부분 사이노그램, a와 b는 행렬의 행과 열을 각각 나타내며, a는 1에서 A, b는 1에서 B의 범위를 갖는다. 상기 H와 P^1의 행렬의 크기는 서로 동일하며, 상기 결함화소가 하나의 결함소자에 의해 한 줄의 수직선 형태로 나타날 경우는 A=3, B=3의 3×3 행렬이 필요하며, 두 개 이상의 연속적인 결함소자에 의해 두 줄 이상의 연속적인 수직선 형태로 나타날 경우는 5×5 이상의 행렬이 필요하다. 상기 컨볼루션은 결함화소값을 주위의 정상값에 인페인팅 행렬만큼 웨이팅(weighting)을 가하고 더하는 가중평균(weighted average)을 계산하는 과정이다. 여기서, 인페인팅 행렬의 모든 성분의 합은 1이 되어야 한다. 상기 컨볼루션은 2차원적으로 시행되는데 상기 결함화소의 위치에서만 수행되므로 연산 속도는 크게 문제가 되지 않는다. 상기 결함화소가 한 줄의 수직선 형태일 때의 인페인팅 행렬의 일 실시예는 아래의 수학식 5와 같다.

수학식 5

[0031]
$$H = \begin{pmatrix} 1/6 & 0 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 1/6 \\ 1/6 & 0 & 1/6 \end{pmatrix}$$

[0032] 상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선 오차를 계산하는 단계(S350)는 상기 II형 결함소자의 위치를 찾기 위한 단계이다. 상기 II형 결함소자에 의한 결함화소는 정상화소에 작은 비정상적 옵셋이 첨가되어 나타나므로 일반적인 사이노그램 상에서 찾기가 어렵다. 상기 사이노그램(P(n, j))를 회전각도(n)의 방향인 수직방향으로 더한 합곡선(sum curve), y(j)를 구하면 상기 비정상적 옵셋이 누적되어 나타날 수 있다. 상기 합곡선의 정의는 아래의 수학식 6과 같다.

수학식 6

[0033] $$y(j)=\sum_{n=1}^{N}P(n,j)\ ,\quad y'(j)=\sum_{n=1}^{N}P'(n,j)$$

[0034] 여기서, 상기 합곡선 y(j)는 디텍터 감지소자의 소자번호 j의 함수이다. 상기 디텍터 감지소자에 결함이 있는 경우 일반적으로 연속적인 모양을 갖는 합곡선에 뾰쪽한 모양의 첨두가 나타난다. 이 첨두는 양의 방향 또는 음의 방향일 수 있다. 즉, 결함소자가 정상적인 값보다 큰 값을 내보낼 때는 첨두의 방향이 양이 되고, 반대의 경우에는 첨두의 방향이 음이 된다. 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 I형 결함 보정 전후의 합곡선을 나타낸 도면이다. 여기서, y(j)는 I형 결함을 보정하기 전의 사이노그램 P(n, j)에 대한 합곡선이고, y'(j)는 I형 결함을 보정한 후의 사이노그램 P'(n, j)에 대한 합곡선이다. 그리고 $y_s'(j)$는 y'(j)를 평활화(smoothing)시켜 만든 합곡선이다. 상기 평활화는 이동평균필터(moving average filter)나 저역통과필터(low pass filter)를 적용하여 구현할 수 있다. I형 결함을 보정하기 전과 후의 합곡선, y(j)와 y'(j)를 비교해 보면, 매우 큰 첨두를 보인 I형 결함이 보정된 것을 확인할 수 있다. 상기 I형 결함이 보정된 합곡선 y'(j)에는 큰 첨두가 나타나지 않지만, 도 9에의 확대영역에 도시한 바와 같이, II형 결함소자에 의한 오류가 여전히 존재한다.

[0035] 상기 II형 결함소자의 위치를 찾기 위해 상기 합곡선 오차를 이용하며, 상기 합곡선 오차 e(j)는 아래의 수학식 7과 같이 정의된다.

수학식 7

[0036] $$e(j)=y'(j)-y_s'(j)$$

[0037] 도 9의 우측 확대영역에 도시한 바와 같이, II형의 결함소자가 있는 위치에서 y'(j)과 $y_s'(j)$의 두 파형간신호 차이가 상대적으로 크게 나타남을 볼 수 있다. 따라서 상기 엑스선 디텍터의 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하는 단계(S360)는 상기 합곡선 오차(e(j))를 이용할 수 있다. 상기 합곡선 오차의 크기가 특정 문턱치보다 클 경우 II형 결함소자의 위치로 판단한다. 상기 문턱치는 디텍터의 특성에 따라 달라질 수 있다.

[0038] 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 단계(S370)는 상기 I형 결함화소를 보정한 사이노그램의 상기 II형 결함소자의 위치에서 이루어진다. 상기 II형 결함소자 위치의 결함화소값을 보정한 사이노그램 P"(n, j)는 상기 I형 결함화소를 보정한 사이노그램 P'(n, j)에서 평균 합곡선 오차 e(j)/N을 차감하는 계산으로 이루어지며, 아래의 수학식 8과 같이 정의된다.

수학식 8

[0039] $$P''(n,j)=P'(n,j)-e(j)/N$$

[0040] 여기서, N은 총 회전각도의 수를 나타내는 것으로, 상기 사이노그램의 수직방향의 수와 같다. 합곡선 오차 e(j)는 상기 수직방향으로 누적된 오차이므로 N으로 나눈 평균 합곡선 오차 e(j)/N을 차감한다.

[0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거장치는 도 1의 종래 기술에 따른 엑스선 CT 시스템에 아래의 특징을 갖는 제어 부를 더 구비한다. 상기 제어부는 엑스선 디텍터를 통하여 획득한 다수의 투영데이터로부터 사이노그램을 구성하고, 상기 사이노그램으로부터 상기 엑스선 디텍터의 감지소자별로 지배 화소값 수를 계산하고, 상기 지배 화소값수에 따라 상기 감지소자가 I형 결함소자인지 판단하고, 상기 감지소자가 I형 결함소자인 경우 상기 I형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하고, 상기 I형 결함소자의 화소값이 보정된 사이노그램에서 합곡선 오차를 계산하고, 상기 합곡선의 오차에 따라 상기 감지소자가 II형 결함소자인지 판단하

고, 상기 감지소자가 II형 결함소자인 경우 상기 II형 결함소자로부터 획득한 화소값을 보정하는 것을 특징으로 한다.

[0042] 이상, 본 발명의 일 실시예에 따른 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치를 설명하였다. 참고로, 도 10에 도시한 바와 같이, 본 발명의 엑스선 CT에서의 링 아티팩트 제거방법 및 장치는 효과적으로 링 아티팩트를 제거함을 알 수 있다. 도 10a는 본 발명의 일 실시예에 따른 링 아티팩트 제거 전의 단면영상이고, 도 10b는 본 발명의 일 실시예에 따른 링 아티팩트 제거 후의 단면영상이다. 상기 단면영상을 획득한 실험은 실험용 쥐의 복부를 촬영한 것이다. 상기 실험에서 사용한 엑스선 CT는 일본의 하마마쯔사가 생산한 1248×1248개의 화소를 가진 평판 디텍터(모델명: C7943CP-02)를 사용한 것이며, 평판 디텍터의 화소 크기는 100㎛, 섬광체 판은 CsI로 이루어져 있다. 엑스선관은 20kV에서 150kV 사이의 대역에서 동작하는 마이크로 초점 튜브이며 초점 크기는 5㎛에서 50㎛의 범위이다. 엑스선관의 최대 전류는 0.5mA이다. 상기 링 아티팩트 제거 전의 단면영상과 제거 후의 단면영상을 비교해 보면, 링 아티팩트가 효과적으로 제거되어 영상의 해상도 및 대조도가 크게 개선됨을 알 수 있다.

부호의 설명

[0043] <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

110 : 엑스선 빔

120 : 엑스선관

130 : 촬영대상 물체

140 : 엑스선 디텍터

150 : 회전축

410 : 수직선 결함

<수학식에 대한 부호의 설명>

n : 회전각도 (1, 2, ……, N)

N : 최대 회전각도

j : 감지소자의 소자번호 (1, 2, ……, J)

J : 최대 소자번호

P(n, j) : 사이노그램

$P_I(n, j)$: I형 결함이 있는 사이노그램

$P_{II}(n, j)$: II형 결함이 있는 사이노그램

A_j : I형 결함값

a_j : II형 결함에 의한 옵셋값

j_0 : 선택된 소자번호

k : 지배 화소값수의 변수

m : 화소값

h(m) : 히스토그램

m_s : 정렬된 히스토그램의 독립변수

$h_s(m_s)$: 정렬된 히스토그램

S : 누적 빈도수

$H(j_0)$: 선택된 소자번호 j_0에 대한 지배 화소값수

$H(j)$: 전체 소자번호 j에 대한 지배 화소값수

$H_d(j)$: 필터통과신호

$H_1(j)$: 홀수 소자번호에 대한 $H(j)$

$H_{1d}(j)$: 홀수 소자번호에 대한 $H_d(j)$

$H_2(j)$: 짝수 소자번호에 대한 $H(j)$

$H_{2d}(j)$: 짝수 소자번호에 대한 $H_d(j)$

c : 보정된 화소값

H : 인페인팅 행렬

P^1: 부분 사이노그램

a : 행렬의 행

b : 행렬의 열

$y(j)$: $P(n, j)$에 대한 합곡선

$P'(n, j)$: I형 결함을 보정한 후의 사이노그램

$P''(n, j)$: II형 결함을 보정한 후의 사이노그램

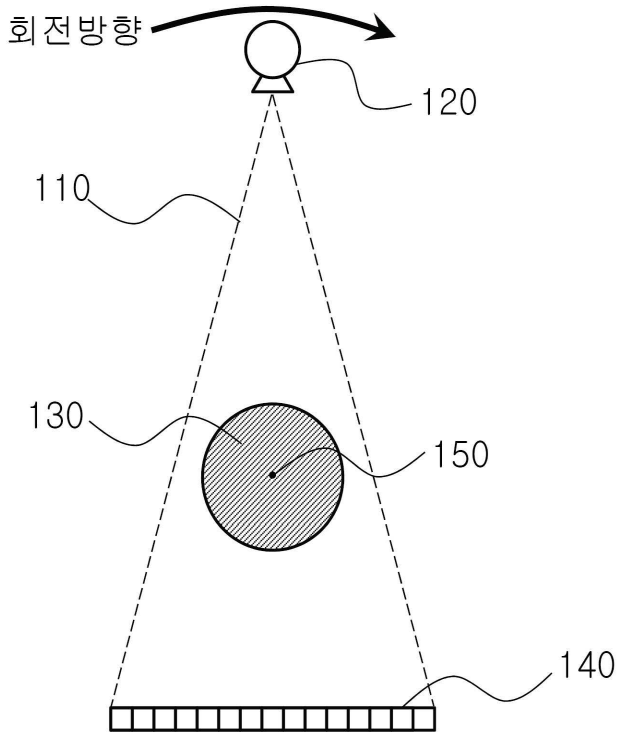
$y'(j)$: $P'(n, j)$에 대한 합곡선

$y_s'(j)$: $y'(j)$를 평활화한 합곡선

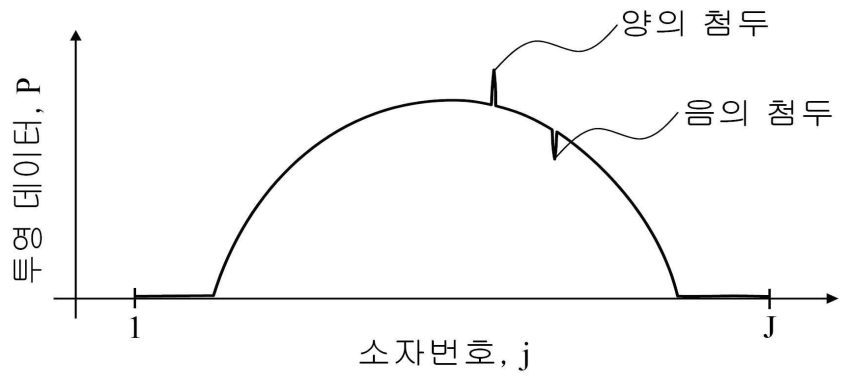
$e(j)$: $y'(j)$에서 $y_s'(j)$를 뺀 오차

도면

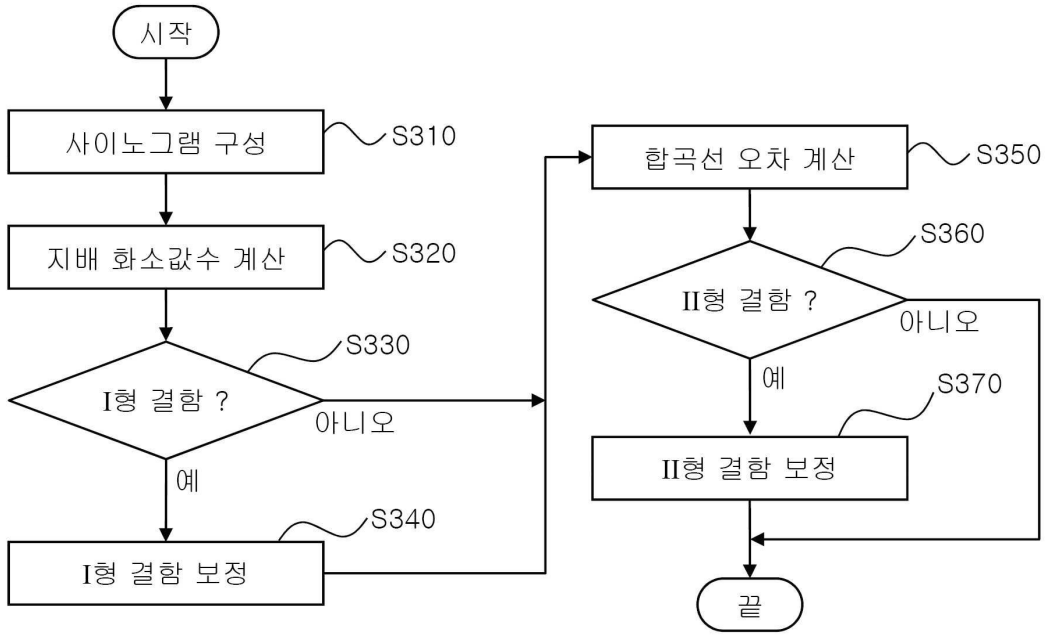
도면1



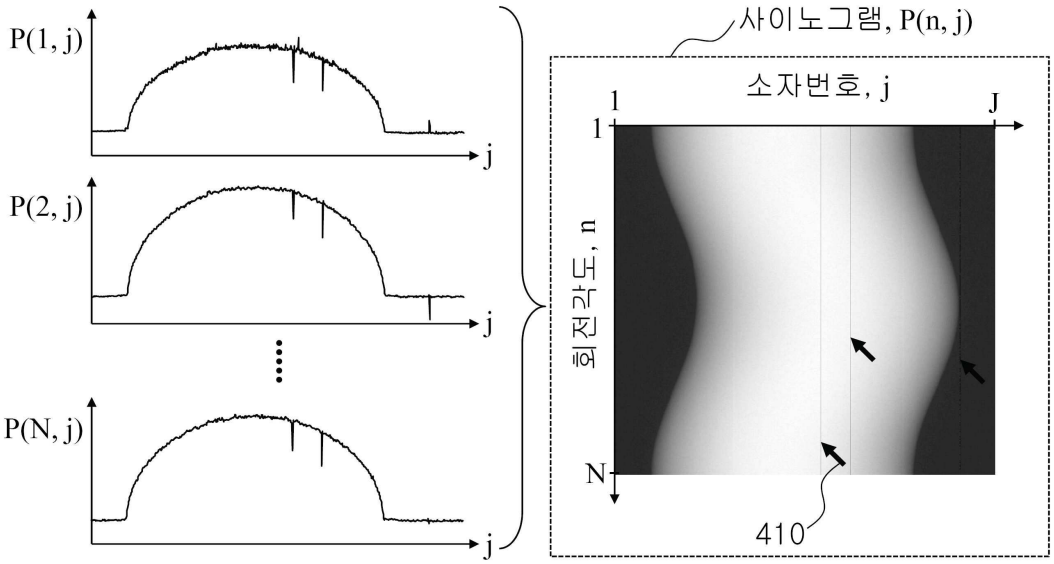
도면2



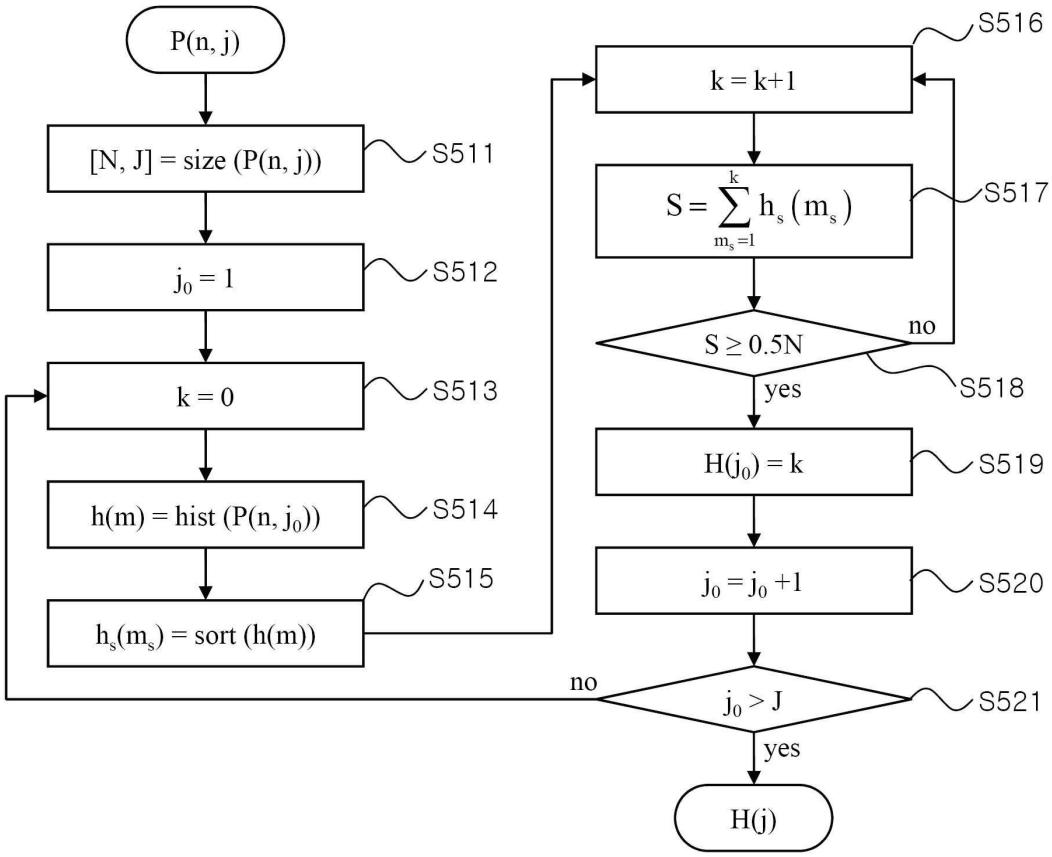
도면3


시작
사이노그램 구성
S310
지배 화소값수 계산
S320
I형 결함 ?
S330
아니오
예
I형 결함 보정
S340
합곡선 오차 계산
S350
II형 결함 ?
S360
아니오
예
II형 결함 보정
S370
끝

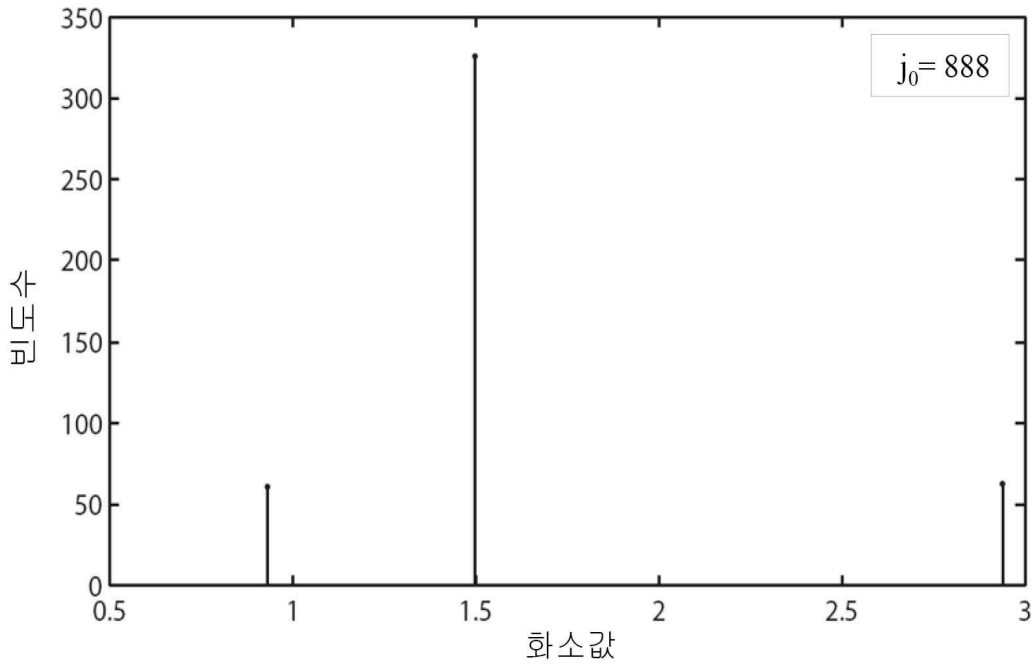
도면4

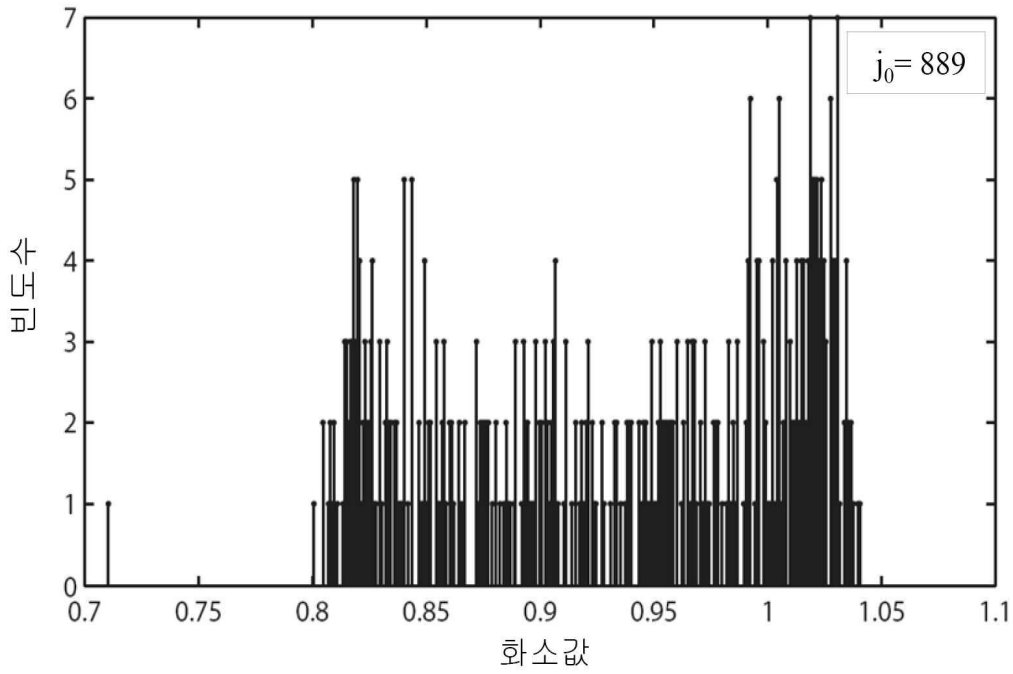

P(1, j)
j
P(2, j)
j
P(N, j)
j
사이노그램, P(n, j)
소자번호, j
1
J
1
회전각도, n
N
410

도면5

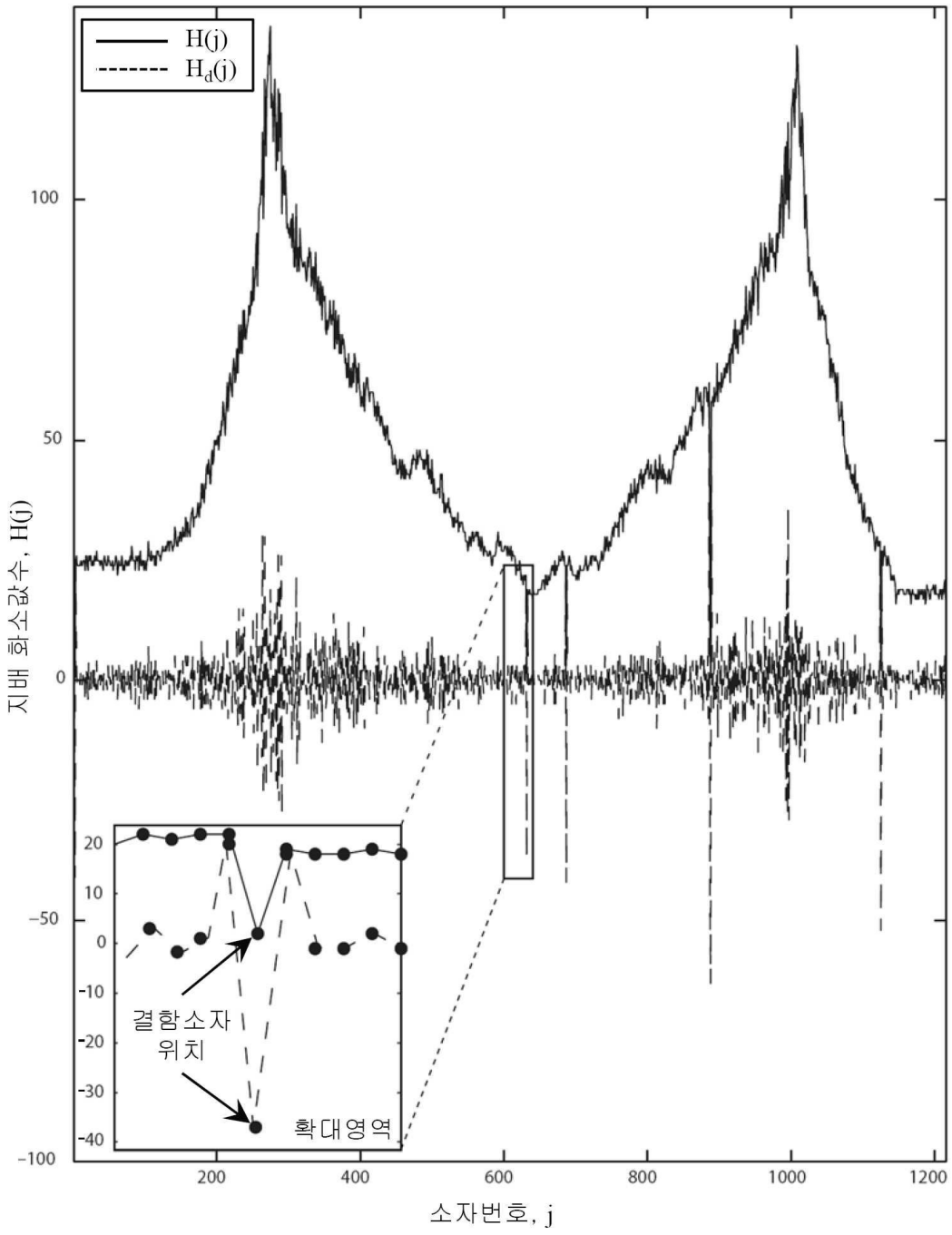

P(n, j)
[N, J] = size (P(n, j))
S511
j0 = 1
S512
k = 0
S513
h(m) = hist (P(n, j0))
S514
hs(ms) = sort (h(m))
S515
k = k+1
S516
S = Σ hs(ms)
S517
S ≥ 0.5N
S518
no
yes
H(j0) = k
S519
j0 = j0 +1
S520
j0 > J
S521
no
yes
H(j)

도면6

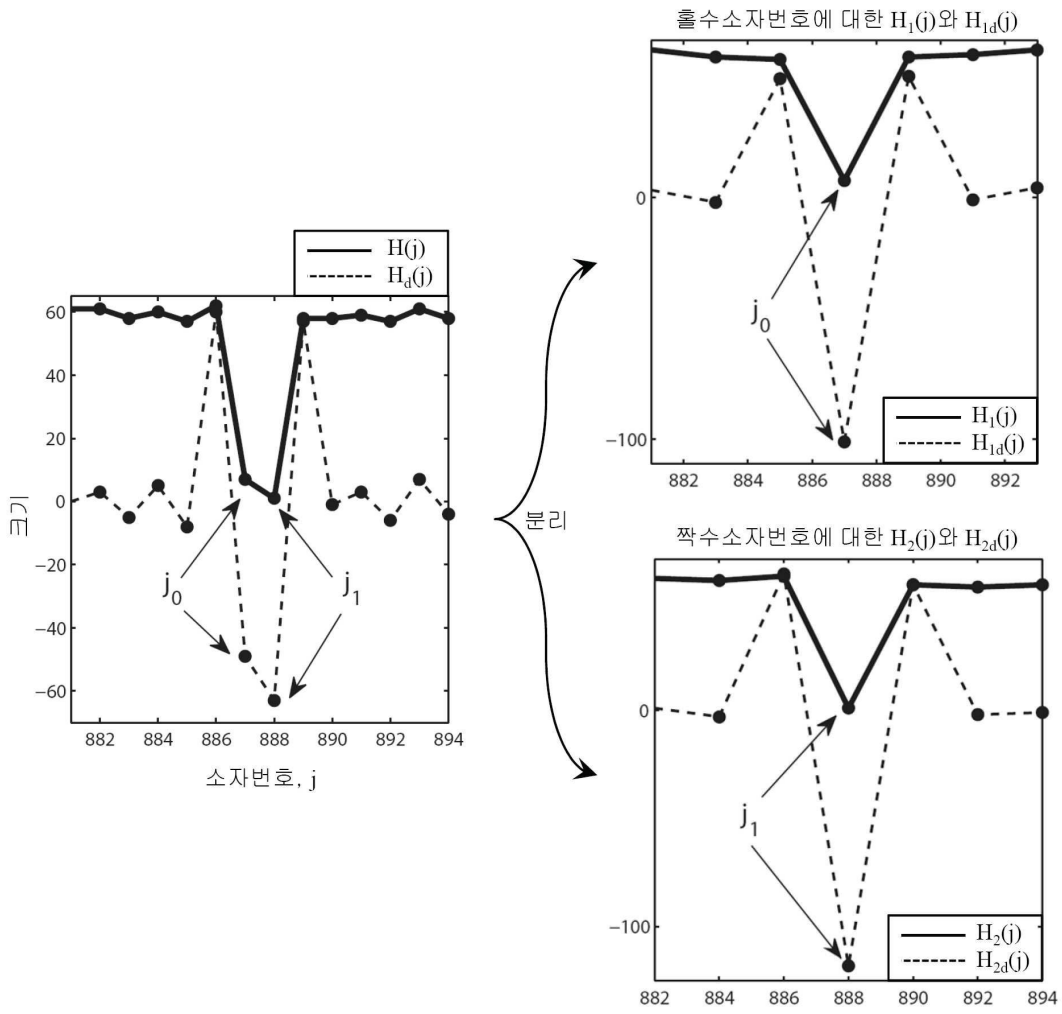

j_0= 888
빈도수
화소값
0
50
100
150
200
250
300
350
0.5
1
1.5
2
2.5
3


j_0= 889
빈도수
화소값
0
1
2
3
4
5
6
7
0.7
0.75
0.8
0.85
0.9
0.95
1
1.05
1.1

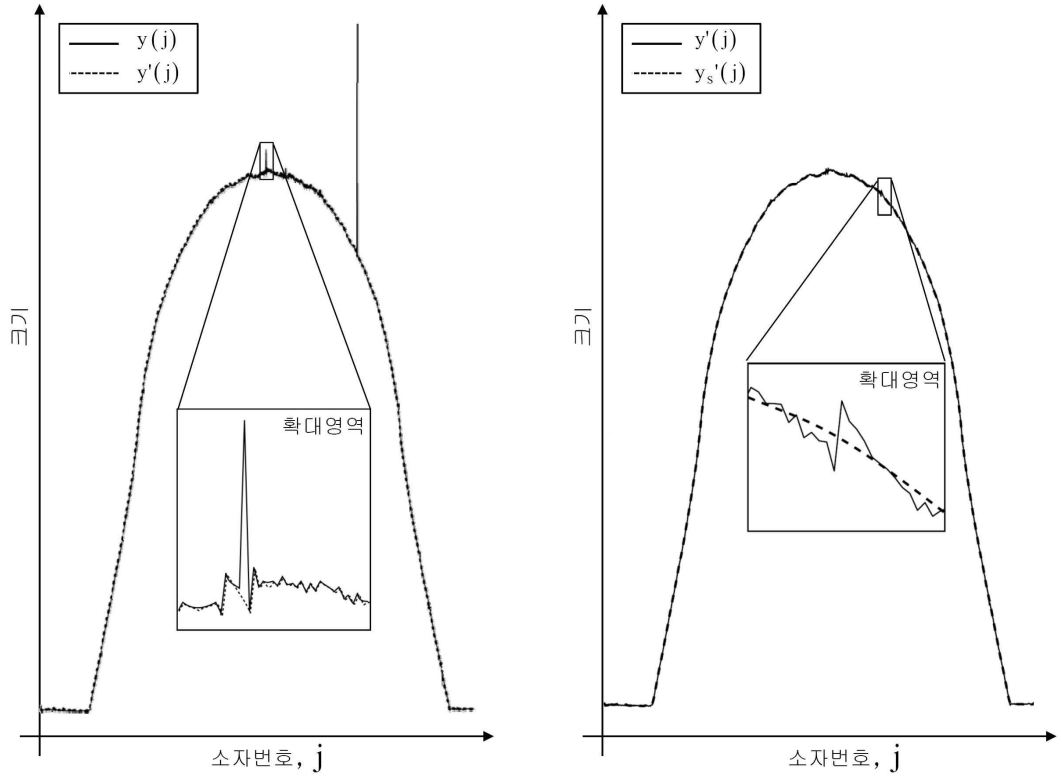
도면7


H(j)
$H_d(j)$
100
50
0
-50
-100
200
400
600
800
1000
1200
지배 화소값수, H(j)
소자번호, j
20
10
0
-10
-20
-30
-40
결함소자
위치
확대영역

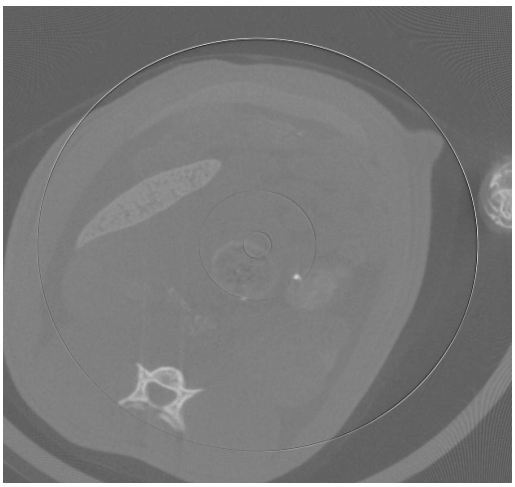
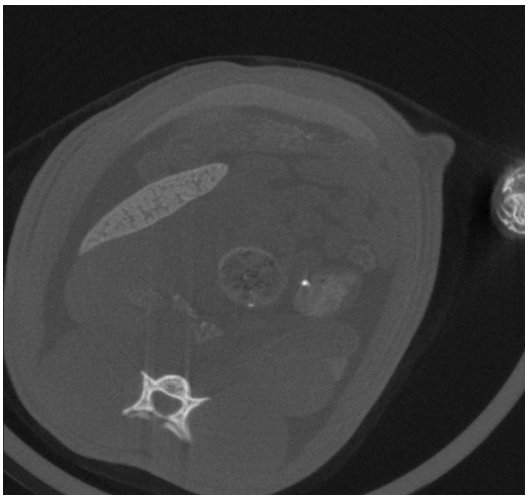
도면8


H(j)
$H_d(j)$
크기
소자번호, j
j_0
j_1
분리
홀수소자번호에 대한 $H_1(j)$와 $H_{1d}(j)$
$H_1(j)$
$H_{1d}(j)$
짝수소자번호에 대한 $H_2(j)$와 $H_{2d}(j)$
$H_2(j)$
$H_{2d}(j)$

도면9



도면10a



도면10b