



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년06월01일  
(11) 등록번호 10-1524406  
(24) 등록일자 2015년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01F 23/22 (2006.01) G01T 1/02 (2006.01)  
G21C 17/06 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2014-0060813  
(22) 출원일자 2014년05월21일  
심사청구일자 2014년05월21일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101349785 B1  
JP2013130542 A  
JP2012242192 A  
KR1020140031487 A

(73) 특허권자  
한국원자력연구원  
대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)  
(72) 발명자  
조재완  
대전 유성구 가정로 43, 110동 1605호 (신성동, 삼성한울아파트)  
최영수  
대전 유성구 배울2로 134, 101동 604호 (용산동, 대덕테크노밸리푸르지오하임1단지아파트)  
정경민  
대전 유성구 노은동로 219, 302동 402호 (지족동, 열매마을3단지)  
(74) 대리인  
특허법인이름

전체 청구항 수 : 총 8 항

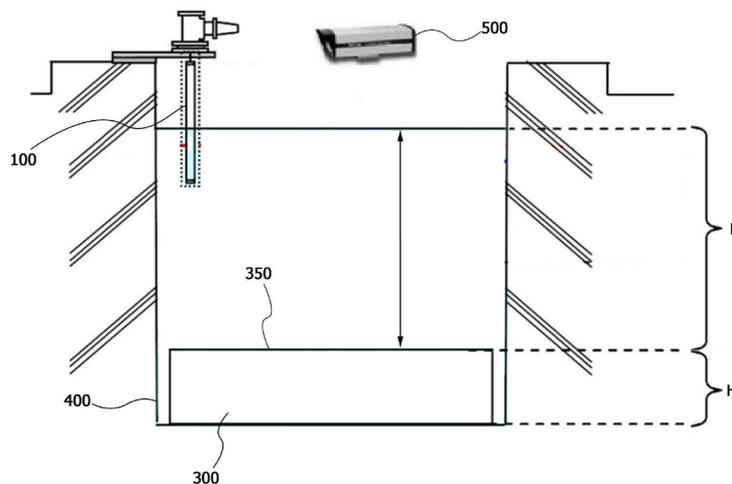
심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 **사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법**

(57) 요약

본 발명은 원자력발전소의 사용후 핵연료 저장수조의 보조 감시시스템에 관한 것으로서, 구체적으로는 사용후 핵연료 저장수조의 수심 변화를 계측하는 방법과 지진과 같은 외부 충격에 의해 나타나는 사용후 핵연료 저장수조의 수심의 급격한 변화를 계측하는 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법은 사용후 핵연료 저장수조(400)의 좌측에 설치된 제 1 감시카메라(510)의 관측 영상으로부터 추출되는 제 1 스펙클에 관한 정보와 사용후 핵연료 저장수조(400)의 우측에 설치된 제 2 감시카메라(520)의 관측 영상으로부터 추출되는 제 2 스펙클에 관한 정보를 이용함으로써, 사용후 핵연료 저장수조(400) 전체의 수위 변화를 정확하게 계측할 수 있고, 사용후 핵연료 저장수조(400) 수위의 급격한 변화를 신속하게 파악할 수 있는 효과가 있다.

대표도



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 53514-13

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국과학재단

연구사업명 원자력연구개발사업

연구과제명 원자력 비상상황 원격대응 핵심기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국원자력연구원

연구기간 2012.06.12 ~ 2017.05.31

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

사용후 핵연료 저장수조(400)에 설치된 감시카메라(500)의 관측 영상으로부터 스페클(speckle)에 관한 정보를 추출하는 단계(S11);

상기 스페클에 관한 정보를 이용하여 관측 지수(monitored index)를 산출하는 단계(S12);

상기 관측 지수와 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 감마선 선량율에 관한 상관 관계가 저장된 제 1 테이블에 상기 관측 지수를 입력하여 상기 감마선 선량율을 산출하는 단계(S13); 및

상기 감마선 선량율과 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 냉각수 차폐체의 두께(L)에 관한 상관 관계가 저장된 제 2 테이블에 상기 감마선 선량율을 입력하여 상기 냉각수 차폐체의 두께(L)를 산출하는 단계(S14)를 포함하는 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 관측 지수는 상기 관측 영상의 전체 픽셀 크기에 대해 상기 관측 영상에 나타나는 스페클의 분포를 백분율로 나타낸 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 테이블에서 상기 관측 지수와 상기 감마선 선량율은 선형적인 관계인 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 테이블에서 상기 감마선 선량율과 상기 냉각수 차폐체의 두께(L)는 선형적인 관계인 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**청구항 5**

사용후 핵연료 저장수조(400)의 좌측에 설치된 제 1 감시카메라(510)의 관측 영상으로부터 제 1 스페클에 관한 정보를 추출하고, 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 우측에 설치된 제 2 감시카메라(520)의 관측 영상으로부터 제 2 스페클에 관한 정보를 각각 추출하는 단계(S21);

상기 제 1 스페클에 관한 정보를 이용하여 제 1 관측 지수(monitored index)를 산출하고, 상기 제 2 스페클에 관한 정보를 이용하여 제 2 관측 지수를 산출하는 단계(S22);

상기 제 1 관측 지수와 상기 제 2 관측 지수를 비교하여, 더 큰 쪽을 관측 지수로 결정하는 단계(S23);

상기 관측 지수와 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 감마선 선량율에 관한 상관 관계가 저장된 제 1 테이블에 상기 관측 지수를 입력하여 상기 감마선 선량율을 산출하는 단계(S24); 및

상기 감마선 선량율과 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 냉각수 차폐체의 두께(L)에 관한 상관 관계가 저장된 제 2 테이블에 상기 감마선 선량율을 입력하여 상기 냉각수 차폐체의 두께(L)를 산출하는 단계(S25)를 포함하는 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서,

상기 관측 지수는 상기 관측 영상의 전체 픽셀 크기에 대해 상기 관측 영상에 나타나는 스펙클의 분포를 백분율로 나타낸 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**청구항 7**

제 5 항에 있어서,

상기 제 1 테이블에서 상기 관측 지수와 상기 감마선 선량율은 선형적인 관계인 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**청구항 8**

제 5 항에 있어서,

상기 제 2 테이블에서 상기 감마선 선량율과 상기 냉각수 차폐체의 두께(L)는 선형적인 관계인 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 원자력발전소의 사용후 핵연료 저장수조의 보조 감시시스템에 관한 것으로서, 구체적으로는 사용후 핵연료 저장수조의 수심 변화를 계측하는 방법과 지진과 같은 외부 충격에 의해 나타나는 사용후 핵연료 저장수조의 수심의 급격한 변화를 계측하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 사용후 핵연료는 그 속에 포함된 핵분열생성물 때문에 원자로에서 꺼낸 이후에도 오랜 기간 동안 방사선과 열을 발생시킨다. 따라서 발전소에서 근무하는 작업자와 환경을 방사선으로부터 보호하고, 계속해서 발생하는 열을 제거하기 위하여 사용후 핵연료를 발전소의 핵연료 건물 안의 수조에 저장하게 되는데, 이러한 사용후 핵연료를 저장하는 철근 콘크리트 구조물을 사용후 핵연료 저장수조라고 한다.

[0003] 일본 후쿠시마 체일 원자력발전소의 대지진/쓰나미에 이은 원자로 건물 수소폭발 사고의 수습과정에서 사용후 핵연료 저장수조에 보관되어 있는 사용후 핵연료의 안전문제가 대두되었다. 이에 대한 대책으로 사용후 핵연료 저장수조의 건전성을 감시하기 위해 수위계 및 감시카메라(적외선 열화상 카메라 및 pan/tilt/zoom 기능을 갖는 고성능 관측카메라)들을 설치하고 있다. 사용후 핵연료 저장수조의 감시수단에는 사용후 핵연료 저장수조의 수위 및 온도를 감시하기 위한 안전등급 수위계, 온도계 설치를 의무화하고 있고, 적외선 열영상 카메라 및 고성능 칼라 카메라에 의한 사용후 핵연료 저장수조의 감시를 권고하고 있다.

[0004] 도 1은 종래기술에 의한 사용후 핵연료 저장수조의 주 감시시스템을 도시하는 개략도이다.

[0005] 도 1에서 알 수 있듯이, 사용후 핵연료 집합체(30)는 고선량율의 감마선을 방출하기 때문에 이를 차폐하기 위해 사용후 핵연료 저장수조(40)에는 상당한 깊이의 냉각수가 들어 있다. 구체적으로, 사용후 핵연료 저장수조(40)에는 사용후 핵연료 집합체(30)의 방사선을 차폐하기 위해 일정한 높이(H)를 갖는 사용후 핵연료 집합체(30)의 유효상부(35, TAF, Top of Active Fuel)로부터 일정한 두께(L)를 갖는 냉각수 차폐체가 구비되어 있다. 수위계(10)는 사용후 핵연료 저장수조(40)의 일정한 위치에 설치되어 사용후 핵연료 저장수조(40)의 수위를 계측한다. 사용후 핵연료 저장수조(40)를 감시하는 주 제어실(미도시)은 일정한 샘플링 시간(sampling time) 간격으로 수위계(10)를 통해 사용후 핵연료 저장수조(40)의 수위 변화를 감시한다.

[0006] 그러나, 종래기술에 의한 사용후 핵연료 저장수조의 주 감시시스템은 다음과 같은 문제점을 갖는다.

[0007] 첫째로, 사용후 핵연료 저장수조(40)에 설치되어 있는 방사선 감시계통(미도시)은 계측범위가 한정되어 있다. 법령상 허용되는 사용후 핵연료 저장수조(40)의 중앙지점의 공기중에 존재하는 감마선 선량율은 0.15mSv/h이지만, 사용후 핵연료 저장수조(40)의 수위가 감소하여, 냉각수 차폐체의 두께(L)가 2m, 1m, 및 0m(사용후 핵연료의 노출)로 감소하게 되면, 사용후 핵연료 저장수조(40)의 감마선 선량율은 500mSv/h, 50Sv/h, 및 5kSv/h로 급격히 증가한다. 그러나, 종래기술에 의한 방사선 감시계통은 1uSv/h 내지 99.99mSv/h의 한정된 범위에서 감마선 선량율을 계측할 수 있을 뿐이고, 위 범위를 초과할 경우에는 감마선 선량율을 측정할 수 없게 된다.

[0008] 둘째로, 수위계(10)를 이용한 수위계측은 포인트 측정 방법이어서, 설치된 지점의 수위만 계측할 수 있다. 따라

서, 수면이 평온할 때는 수위계(10)의 계측 정확성이 높지만, 수면의 섭동이 클 때, 예를들면 지진과 같은 외부 충격에 따른 사용후 핵연료 저장수조(40) 전체의 수위 변화를 정확하게 파악하기 어렵다.

[0009] 셋째로, 수위계(10)는 샘플링 시간의 간격이 커서 수심의 급격한 변화를 계측할 수 없다. 즉, 지진과 같은 외부 충격에 의해 나타나는 사용후 핵연료 저장수조(40)의 수위의 급격한 변화(sloshing)를 신속하게 파악하기 어렵다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0010] (특허문헌 0001) 한국 공개특허공보 공개번호 제10-2014-0031487

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0011] 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명에서는 종래의 방사선 감지계통으로는 측정할 수 없는 범위의 감마선 선량율을 검출할 수 있는 사용후 핵연료 저장수조 보조 감시시스템을 제공하는데 목적이 있다.

[0012] 또한, 본 발명에서는 사용후 핵연료 저장수조 전체의 수위 변화를 정확하게 계측할 수 있는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법을 제공하는데 목적이 있다.

[0013] 또한, 본 발명에서는 사용후 핵연료 저장수조 수위의 급격한 변화를 신속하게 파악할 수 있는 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법을 제공하는데 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

[0014] 본 발명에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법은 사용후 핵연료 저장수조(400)에 설치된 감시카메라(500)의 관측 영상으로부터 스펙클(speckle)에 관한 정보를 추출하는 단계(S11); 상기 스펙클에 관한 정보를 이용하여 관측 지수(monitring index)를 산출하는 단계(S12); 상기 관측 지수와 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 감마선 선량율에 관한 상관 관계가 저장된 제 1 테이블에 상기 관측 지수를 입력하여 상기 감마선 선량율을 산출하는 단계(S13); 및 상기 감마선 선량율과 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 냉각수 차폐체의 두께(L)에 관한 상관 관계가 저장된 제 2 테이블에 상기 감마선 선량율을 입력하여 상기 냉각수 차폐체의 두께(L)를 산출하는 단계(S14)를 포함한다.

[0015] 또한, 본 발명에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법은 사용후 핵연료 저장수조(400)의 좌측에 설치된 제 1 감시카메라(510)의 관측 영상으로부터 제 1 스펙클에 관한 정보를 추출하고, 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 우측에 설치된 제 2 감시카메라(520)의 관측 영상으로부터 제 2 스펙클에 관한 정보를 각각 추출하는 단계(S21); 상기 제 1 스펙클에 관한 정보를 이용하여 제 1 관측 지수(monitring index)를 산출하고, 상기 제 2 스펙클에 관한 정보를 이용하여 제 2 관측 지수를 산출하는 단계(S22); 상기 제 1 관측 지수와 상기 제 2 관측 지수를 비교하여, 더 큰 쪽을 관측 지수로 결정하는 단계(S23); 상기 관측 지수와 상기 사용후 핵연료 저장수조의 감마선 선량율에 관한 상관 관계가 저장된 제 1 테이블에 상기 관측 지수를 입력하여 상기 감마선 선량율을 산출하는 단계(S24); 및 상기 감마선 선량율과 상기 사용후 핵연료 저장수조(400)의 냉각수 차폐체의 두께(L)에 관한 상관 관계가 저장된 제 2 테이블에 상기 감마선 선량율을 입력하여 상기 냉각수 차폐체의 두께(L)를 산출하는 단계(S25)를 포함한다.

**발명의 효과**

[0016] 상기한 바와 같이, 본 발명은 사용후 핵연료 저장수조에 설치된 감시카메라의 관측 영상으로부터 추출되는 스펙클(speckle)에 관한 정보를 이용함으로써, 종래의 방사선 감지계통으로는 측정할 수 없는 범위의 감마선 선량율을 검출할 수 있는 효과가 있다.

[0017] 또한, 본 발명에 의한 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법은 사용후 핵연료 저장수조의 좌측에 설치된 제 1 감시카메라의 관측 영상으로부터 추출되는 제 1 스펙클에 관한 정보와 사용후 핵연료 저장수조의 우측에 설치된 제 2 감시카메라의 관측 영상으로부터 추출되는 제 2 스펙클에 관한 정보를 이용함으로써, 사용후 핵연료 저

장수조 전체의 수위 변화를 정확하게 계측할 수 있고, 사용후 핵연료 저장수조 수위의 급격한 변화를 신속하게 파악할 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0018] 도 1은 종래기술에 의한 사용후 핵연료 저장수조의 주 감시시스템을 도시하는 개략도.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 보조 감시시스템을 도시하는 개략도.
- 도 3은 사용후 핵연료 저장수조의 냉각수 차폐체의 두께(L)와 감마선 선량율의 관계를 도시하는 그래프로서, 도 3a는 냉각수 차폐체의 두께(L)가 300cm 이하인 경우를 도시하는 그래프이고, 도 3b는 냉각수 차폐체의 두께(L)가 300cm 이상인 경우를 도시하는 그래프.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 이용되는 감시카메라의 관측영상을 나타내는 사진으로서, 도 4a는 감마선 선량율이 30mSv/h일 때의 스펙클의 분포를 나타내는 사진이고, 도 4b는 감마선 선량율이 150Sv/h일 때의 스펙클의 분포를 나타내는 사진.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 이용되는 제 1 테이블에 저장되는 상관 관계를 나타내는 그래프.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법을 도시하는 개략도로서, 도 6a는 제 1 감시카메라의 관측 영상을 선택하는 경우를 나타내는 도면이고, 도 6b는 제 2 감시카메라의 관측 영상을 선택하는 경우를 나타내는 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0019] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 의한 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법의 실시예들을 자세히 설명한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0020] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 보조 감시시스템을 도시하는 개략도이다.
- [0021] 도 2에서 알 수 있듯이, 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 보조 감시시스템은 사용후 핵연료 저장수조(400), 사용후 핵연료 집합체(300), 및 감시카메라(500)를 포함한다.
- [0022] 사용후 핵연료 저장수조(400)는 사용후 핵연료 집합체(300)의 방사선을 차폐하기 위해 일정한 높이(H)를 갖는 사용후 핵연료 집합체(300)의 유효상부(350, TAF, Top of Active Fuel)로부터 일정한 두께(L)를 갖는 냉각수 차폐체를 포함한다. 사용후 핵연료 집합체(300)의 높이(H)는 4m 이상일 수 있다.
- [0023] 도 3은 사용후 핵연료 저장수조의 냉각수 차폐체의 두께(L)와 감마선 선량율의 관계를 도시하는 그래프로서, 도 3a는 냉각수 차폐체의 두께(L)가 300cm 이하인 경우를 도시하는 그래프이고, 도 3b는 냉각수 차폐체의 두께(L)가 300cm 이상인 경우를 도시하는 그래프이다. 구체적으로, 도 3의 그래프는 국내의 원전과 동일한 유형인 PWR(pressurized water reactor) 모델인 Genkai 3호기에 대하여 조사된 것이다.
- [0024] 도 3에서, 가로축인 냉각수 차폐체의 두께(L)는 사용후 핵연료 집합체(300)의 방사선을 차폐하기 위한 냉각수의 수심을 나타내고, 세로축은 냉각수 차폐체의 두께(L)의 변화에 따른 감마선 선량율을 나타낸다.
- [0025] 도 3a를 참조하면, 냉각수 차폐체의 두께(L)가 300cm 이하인 경우에는 사용후 핵연료 집합체(300)가 수중에 잠겨 있는 경우(300cm 내지 0cm)와 사용후 핵연료 집합체의 유효상부(350)가 공기중에 노출되는 경우(0cm 내지 -400cm)로 구분된다.
- [0026] 도 3a에 도시된 바와 같이, 사용후 핵연료 집합체(300)가 수중에 잠겨 있는 경우(300cm 내지 0cm)에서, 냉각수 차폐체의 두께(L)가 100cm일 때 감마선 선량율은 50 Sv/h이고, 사용후 핵연료 집합체의 유효상부(350)가 공기중에 노출되는 수위(0cm)에서는 감마선 선량율이 약 5 kSv/h로 급격히 증가한다. 여기서, 냉각수 차폐체의 두께(L)와 감마선 선량율은 선형적인 관계를 갖고 있음을 알 수 있다.
- [0027] 또한, 사용후 핵연료 저장수조(400)의 수면이 계속 낮아져서 사용후 핵연료 집합체(300) 전체가 거의 공기중에

노출되면 감마선 선량율은 6 kSv/h로 완만하게 증가하나, 여기서도 냉각수 차폐체의 두께(L)와 감마선 선량율은 선형적인 관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

[0028] 도 3b를 참조하면, 냉각수 차폐체의 두께(L)가 300cm 이상인 경우에도, 도 3a의 핵연료 집합체(300)가 수중에 잠겨 있는 경우에서와 같이, 냉각수 차폐체의 두께(L)와 감마선 선량율은 선형적인 관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

[0029] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 이용되는 감시카메라의 관측영상을 나타내는 사진으로서, 도 4a는 감마선 선량율이 30mSv/h일 때의 스펙클의 분포를 나타내는 사진이고, 도 4b는 감마선 선량율이 150Sv/h일 때의 스펙클의 분포를 나타내는 사진이다.

[0030] 구체적으로 도 4a는 감마선 선량율이 30mSv/h일 때로서, 일본국 후쿠시마 사고원전에 투입된 Survey Runner 로봇에 탑재된 카메라의 관측영상이다. 일반적으로 감시카메라에 이용되는 CCD(또는 CMOS) 카메라는 고선량율의 감마선에 노출되면 관측 영상에 스펙클(speckle)로 불리는 백색 잡음들이 발생한다. 도 4a에서 알 수 있듯이, 노란색 원으로 표시된 부분에는 스펙클의 존재를 확인할 수 있다.

[0031] 도 4b는 감마선 선량율이 150Sv/h일 때 고성능 카메라(EVI-D100)의 관측영상이다. 도 4b에서도 역시, 관측영상에 나타난 스펙클의 존재를 확인할 수 있다. 고선량율의 감마선 환경에서 촬영된 도 4b는 저선량율의 감마선 환경에서 촬영된 도 4a에 비하여 훨씬 많은 스펙클이 발생되고 있음을 알 수 있다.

[0032] 표 1은 감마선 선량율의 세기에 따른 여러 종류의 CCD(또는 CMOS) 카메라의 관측영상에 나타나는 스펙클의 분포를 나타낸다. 표 1에 나타난 CCD(또는 CMOS) 카메라들은 신뢰성이 높은 고성능 카메라로서 원자력 발전소의 비안전계통의 감시카메라에 적용될 수 있다.

표 1

[0033]

CCD (또는 CMOS) 카메라 모델	감마선 선량율 (Sv/h)	관측 지수 (monitoring index)	스펙클	픽셀 [H x V]	*:High Performance
FCB-PV480	~1000	33.89	104,125	307,200	*
KP-D591	~1000	34.25	105,206.32	307,200	*
Super-Mini	150	21.93	75,787.75549	345,600	
Lip-stick	150	25.51	88,177.41852	345,600	
CMOS for Car	150	23.21	71,309.42938	307,200	
BW(Board)	120	16.7	57,728.1612	345,600	
Sony CCD Head	118	12.85	43,419.93986	337,920	
CMOS Cheap Model	95	29.4	101,591.8006	345,600	
FCB-EX1010	1000	39.29	120,712.3541	307,200	*
Bullet-1	10	1.24	3,796.969849	307,200	
Bullet-2	5	0.38	1,181.408654	307,200	
EVI-D100	150	13.35	41,020	307,200	*
SamSung	10	0.49	1,518.544118	307,200	*
SamSung	50	2.79	8,558.264977	307,200	*
Samsung	100	6.86	21,079.77579	307,200	*
SamSung	2.11	0.044	134.6305	307,200	*
Survey Runner	0.033	0.0085	26	307,200	*
Survey Runner-1	0.0465	0.0098	30	307,200	*
Survey Runner-2	0.055	0.013	40	307,200	*

[0034] 표 1에 나타나는 관측 지수(monitoring index)는 감시카메라의 관측영상이 갖는 전체 픽셀의 크기에 대해 관측

영상에 나타나는 스펙클의 분포를 백분율로 나타낸 것으로 정의한다.

$$\text{관측지수(monitoring index)} = \frac{\text{스펙클 분포}}{\text{픽셀 [H x V]}} \times 100[\%]$$

[0035]

[0036]

표 1에서 알 수 있듯이, 관측지수는 감마선 선량율의 세기가 증가함에 따라 선형적으로 증가한다.

[0037]

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 이용되는 제 1 테이블에 저장되는 상관 관계를 나타내는 그래프이다. 도 5는 표 1에서 별표(\*)로 표시된 고성능(High Performance) 카메라들을 대상으로 감마선 선량율과 관측지수의 상관 관계를 나타낸 것이다.

[0038]

비록 동일한 카메라들은 아니지만, 신뢰성이 높은 고성능 카메라들을 대상으로 측정한 스펙클의 분포이기 때문에, 감마선 선량율의 세기와 스펙클의 분포 사이의 상관 관계에 있어서 유사성이 높아 동일한 하나의 감시카메라에 의해 측정된 것으로 볼 수 있다.

[0039]

도 5에서 알 수 있듯이, 표 1에서와 마찬가지로, 본 발명에 의한 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 이용되는 감시카메라로부터 산출되는 관측 지수와 사용후 핵연료 저장수조의 공기중 감마선 선량율은 선형성을 갖는다.

[0040]

도 5를 참조하여, 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0041]

먼저, 사용후 핵연료 저장수조(400)에 설치된 감시카메라(500)의 관측 영상으로부터 스펙클(speckle)에 관한 정보를 추출한다(S11). 감시카메라(500)는 상술한 바와 같이 고선량율의 감마선에 노출되면 관측 영상에 스펙클이 발생하는 것이 일반적이다. 특히, 원자력 발전소 안전에 중대한 의미가 있는 사용후 핵연료 저장수조(400)의 수위의 변화, 법정 허용 최저 선량율 0.15 mSv/h 유지수위(일본 Genkai 3호기의 경우 4.18m)로부터 1m 이상 수위가 감소할 경우 등에서 감시카메라(500)에 스펙클이 발생될 수 있다.

[0042]

다음, 스펙클에 관한 정보를 이용하여 관측 지수(monitoring index)를 산출한다(S12). 상술한 바와 같이, 관측 지수는 감마선 선량율의 세기에 따른 스펙클의 분포를 정량적으로 표현하기 위한 성능 지수이다.

[0043]

다음, 관측 지수와 사용후 핵연료 저장수조(400)의 감마선 선량율에 관한 상관 관계가 저장된 제 1 테이블에 관측 지수를 입력하여 감마선 선량율을 산출한다(S13).

[0044]

다음, 감마선 선량율과 사용후 핵연료 저장수조(400)의 냉각수 차폐체의 두께(L)에 관한 상관 관계가 저장된 제 2 테이블에 감마선 선량율을 입력하여 냉각수 차폐체의 두께(L)를 산출한다(S14). 제 2 테이블은 사용후 핵연료 저장수조(400)의 구조에 의해 좌우된다. 제 2 테이블은 원자력 발전소의 운영자에 의해 제공될 수 있다.

[0045]

다음, 냉각수 차폐체의 두께(L)를 사용후 핵연료 집합체(300)의 높이(H)와 합산하여 사용후 핵연료 저장수조(400)의 수위를 계산한다.

[0046]

<실시예>

[0047]

도 4b에 나타난 관측 영상에서 관측 지수는 13.35로 계산되었으며, 표 1을 참조하면, EVI-D100 카메라 모델에 대한 자료에 의한 감마선 선량율은 150Sv/h로 산출된다. 도 3a를 참조하면, 일본국 Genaki 3호기의 경우 감마선 선량율이 150Sv/h일 때 냉각수 차폐체의 두께(L)은 약 70cm 정도로 계산된다.

[0048]

따라서, 사용후 핵연료 집합체가 그 유효상부로부터 약 70cm 수심 이내로 잠겨있다고 판단된다.

[0049]

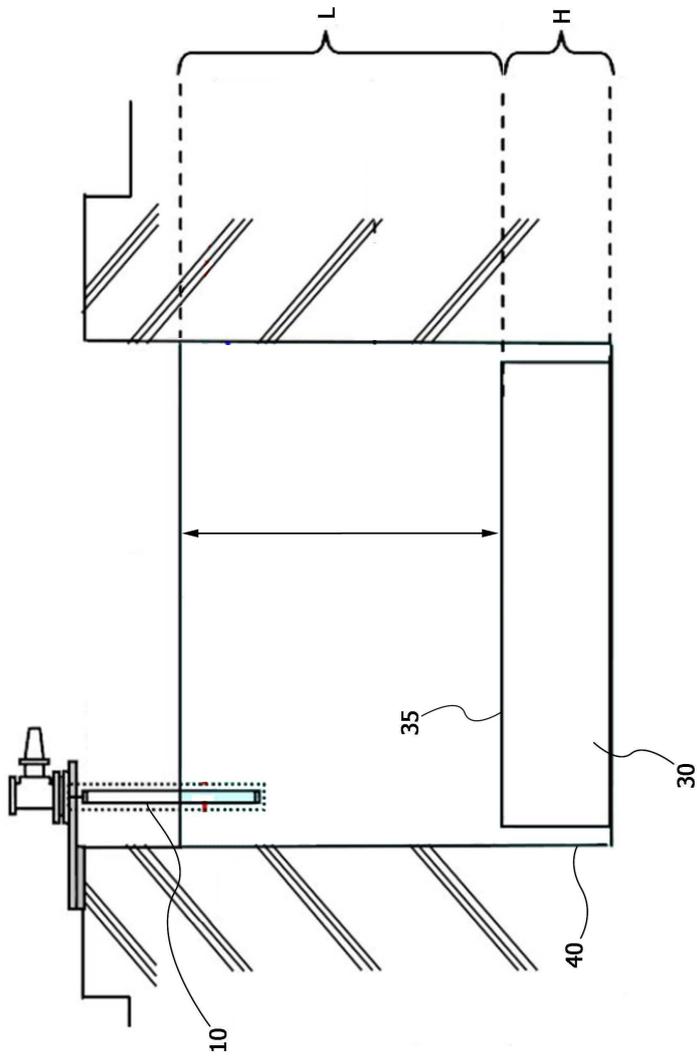
상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 의하면, 사용후 핵연료 저장수조에 설치된 감시카메라의 관측 영상으로부터 추출되는 스펙클(speckle)에 관한 정보를 이용함으로써, 종래의 방사선 감지계통으로는 측정할 수 없는 범위의 감마선 선량율을 검출할 수 있는 보조 감시시스템으로서, 종래의 사용후 핵연료 저장수조 주 감시시스템을 보조할 수 있는 효과가 있다.

- [0050] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 의하면, 수위계의 샘플링 시간의 간격에 비하여 감시카메라의 프레임 레이트(frame rate)가 높기 때문에(30 frames/sec), 수위계에 비해 고속으로 계측할 수 있어, 수위계의 수위계측을 보완할 수 있는 효과가 있다.
- [0051] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법을 도시하는 개략도로서, 도 6a는 제 1 감시카메라의 관측 영상을 선택하는 경우를 나타내는 도면이고, 도 6b는 제 2 감시카메라의 관측 영상을 선택하는 경우를 나타내는 도면이다.
- [0052] 구체적으로, 도 6a는 일본국 후쿠시마 4호기 원자로 건물에 위치한 사용후 핵연료 저장수조의 지진 충격에 따른 수위의 급격한 변화(sloshing) 현상으로서, 111.5초 후의 현상을 시뮬레이션한 것이고, 도 6b는 113.5초 후의 현상을 시뮬레이션한 것이다.
- [0053] 도 6을 참조하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0054] 먼저, 사용후 핵연료 저장수조(400)의 좌측에 설치된 제 1 감시카메라(510)의 관측 영상으로부터 제 1 스펙클에 관한 정보를 추출하고, 사용후 핵연료 저장수조(400)의 우측에 설치된 제 2 감시카메라(520)의 관측 영상으로부터 제 2 스펙클에 관한 정보를 각각 추출한다(S21).
- [0055] 다음, 제 1 스펙클에 관한 정보를 이용하여 제 1 관측 지수(monitoring index)를 산출하고, 제 2 스펙클에 관한 정보를 이용하여 제 2 관측 지수를 산출한다(S22).
- [0056] 다음, 제 1 관측 지수와 제 2 관측 지수를 비교하여, 더 큰 쪽을 관측 지수로 결정한다(S23).
- [0057] 도 6a를 참조하면, 감시카메라로부터 그 하부에 사용후 핵연료 저장수조(400)의 수면까지의 거리를 직선거리(LOS, light of sight)라고 정의하면, 제 1 감시카메라(510)에 관한 직선거리(L1)가 제 2 감시카메라(520)에 관한 직선거리(L2)보다 더욱 길다는 것을 알 수 있다(즉,  $L1 > L2$ ).
- [0058] 감시카메라와 사용후 핵연료 저장수조(400)의 수면과의 직선거리(LOS)가 길면, 사용후 핵연료 저장수조(400)의 수위가 낮아졌으므로, 냉각수 차폐체의 차폐특성이 감소하기 때문에, 감시카메라에는 이로 인한 스펙클이 더 많이 생기고, 결과적으로 관측지수는 높아지게 된다.
- [0059] 따라서, 도 6a의 경우는, 제 1 감시카메라(510)로부터 산출되는 제 1 관측 지수가 제 2 감시카메라(520)로부터 산출되는 제 2 관측 지수보다 더 크기 때문에, 제 1 관측 지수가 관측 지수로 결정된다(제 1 관측 지수 > 제 2 관측 지수).
- [0060] 도 6b를 참조하면, 도 6b의 경우는, 제 2 감시카메라(520)에 관한 직선거리(L2)가 제 1 감시카메라(510)에 관한 직선거리(L1)보다 더욱 길다(즉,  $L1 < L2$ ). 따라서, 제 2 관측 지수가 제 1 관측 지수보다 더 크기 때문에, 제 2 관측 지수가 관측 지수로 결정된다(제 1 관측 지수 < 제 2 관측 지수).
- [0061] 다음, 관측 지수와 사용후 핵연료 저장수조(400)의 감마선 선량율에 관한 상관 관계가 저장된 제 1 테이블에 관측 지수를 입력하여 감마선 선량율을 산출한다(S24).
- [0062] 다음, 감마선 선량율과 사용후 핵연료 저장수조(400)의 냉각수 차폐체의 두께(L)에 관한 상관 관계가 저장된 제 2 테이블에 감마선 선량율을 입력하여 냉각수 차폐체의 두께(L)를 산출한다(S25).
- [0063] 다음, 냉각수 차폐체의 두께(L)를 사용후 핵연료 집합체의 높이(H)와 합산하여 사용후 핵연료 저장수조(400)의 수위를 계산한다(S26).
- [0064] 상술한 바와 같이, 본 발명의 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 의하면, 사용후 핵연료 저장수조의 좌측에 설치된 제 1 감시카메라의 관측 영상으로부터 추출되는 제 1 스펙클에 관한 정보와 사용후 핵연료 저장수조의 우측에 설치된 제 2 감시카메라의 관측 영상으로부터 추출되는 제 2 스펙클에 관한 정보를 이용함으로써, 수위계의 샘플링 시간 간격보다 감시카메라의 프레임 레이트가 더 빠르기 때문에, 지진 충격에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위 변화를 실시간으로 신속하게 파악할 수 있는 효과가 있다.
- [0065] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료 저장수조의 수위계측 방법에 의하면, 복수의 감시카메라를

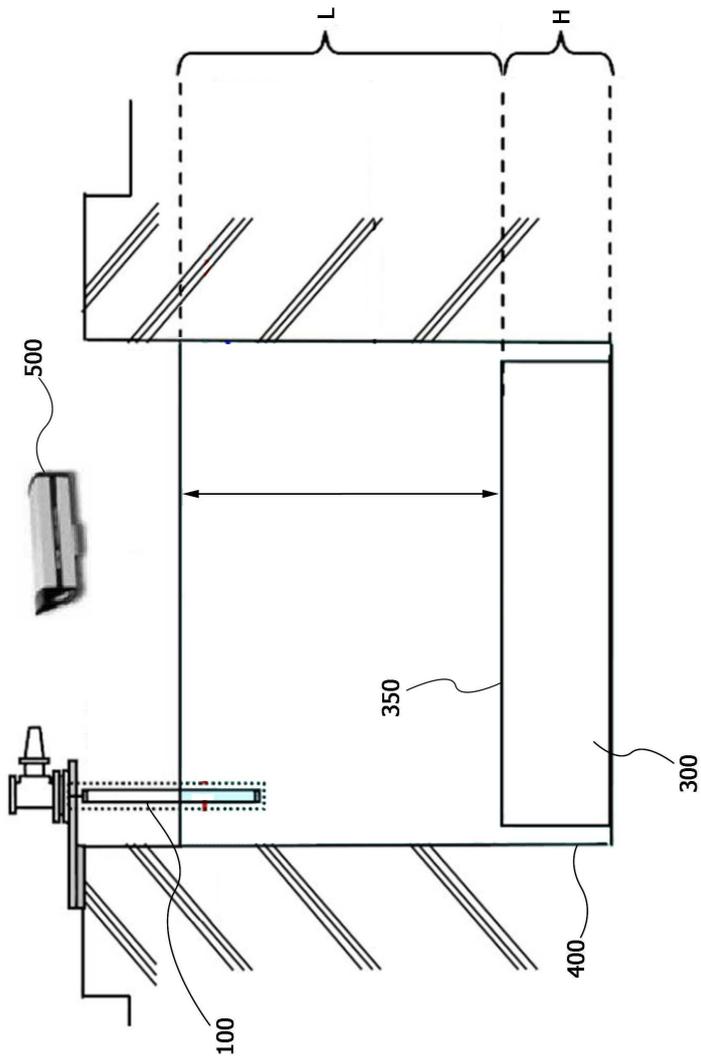


도면

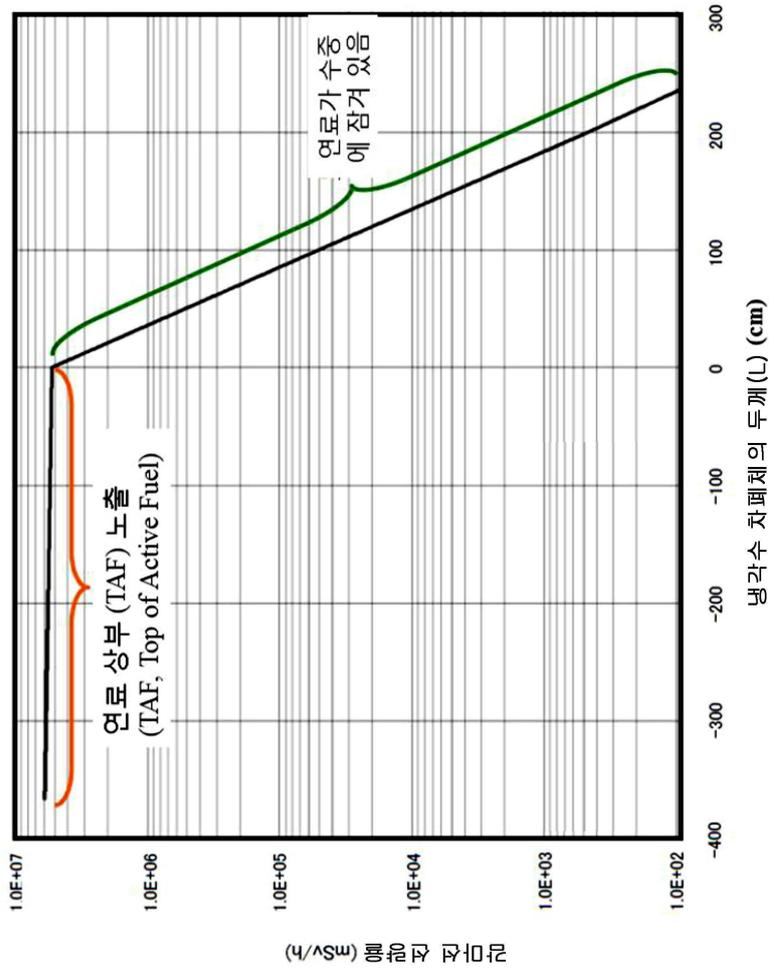
도면1



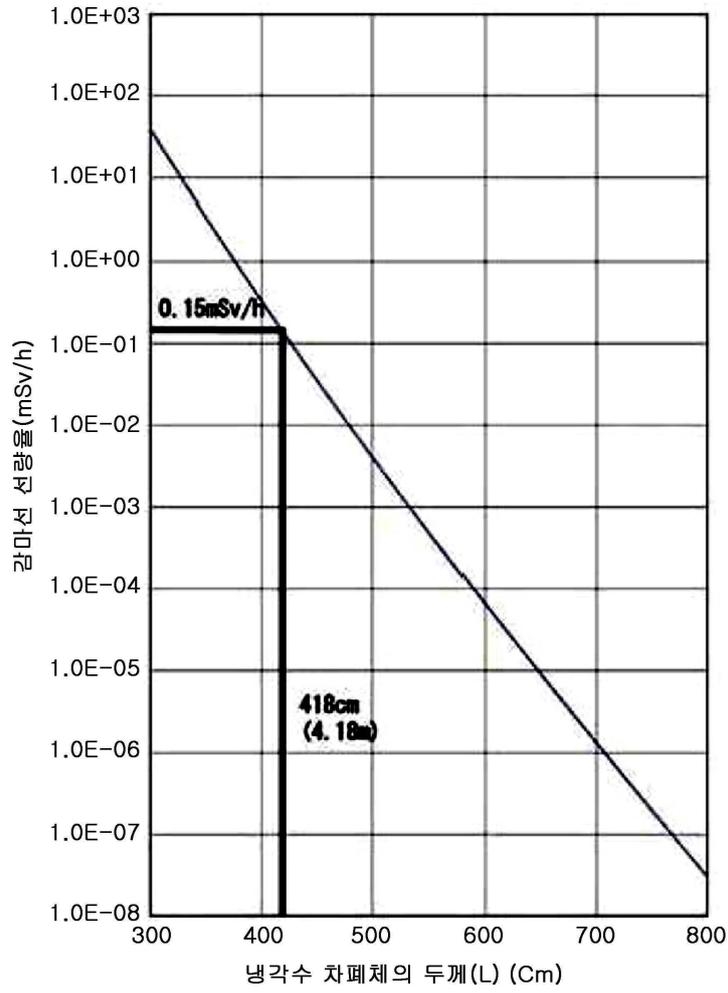
도면2



도면3a



도면3b



도면4a

通信 ON中	経過時間 134分17秒	非常停止 解除中	写真 撮影	クラス 低速	階段 モト OFF中	リハース OFF中	詳細 操作
ルール ON中	繰出長さ 131 m (ルール)	非常停止 解除中 (ルール)	録音 ON中	フリックパ 低速	右 55℃ 左 54℃	角度指令 画面	広角前 表示
バッテリー	28 V	前後(←前上)左右(←右↑)	積算 118.mSv	フリックパ 低速	右 34℃ 左 38℃	上昇+ 動作 ON中	無線 OFF中
放射線	30.0mSv/h	前進(←) 5	リセット	フリックパ 低速	前進(←) 16	下降- 動作 ON中	設定
				フリックパ 低速	リセット	リセット	終了

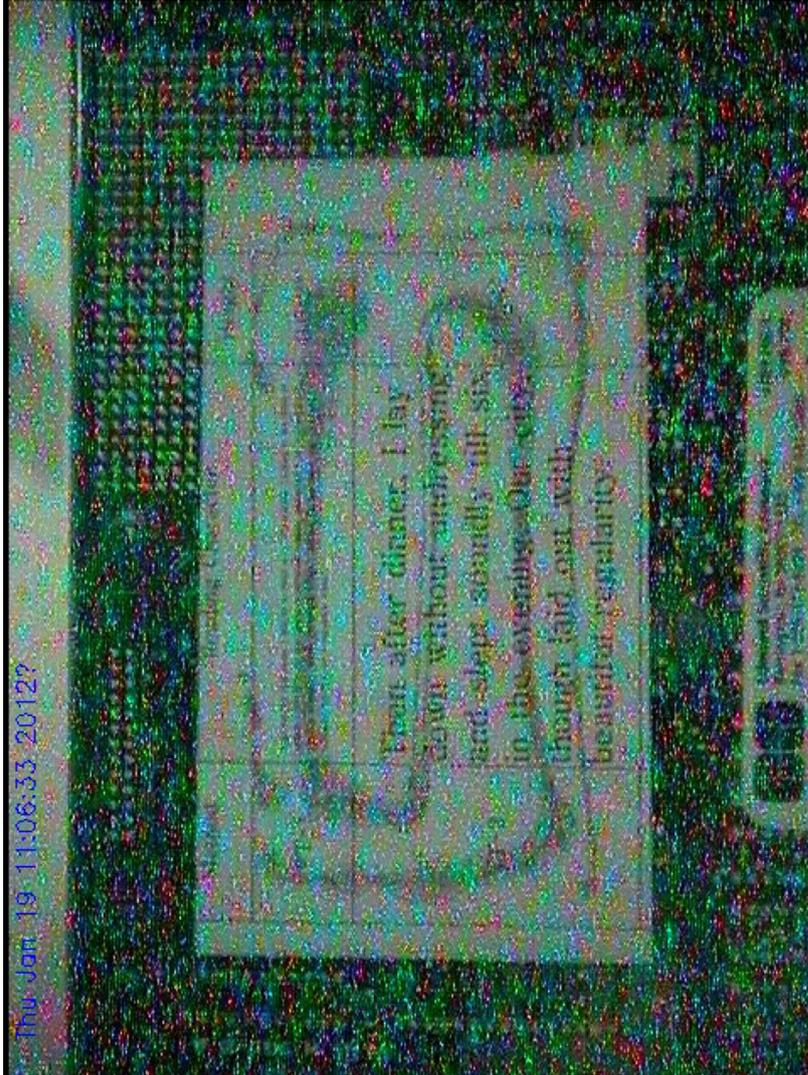
  

点検用 拡大	俯瞰前 拡大	俯瞰後 拡大	広角 拡大
-----------	-----------	-----------	----------

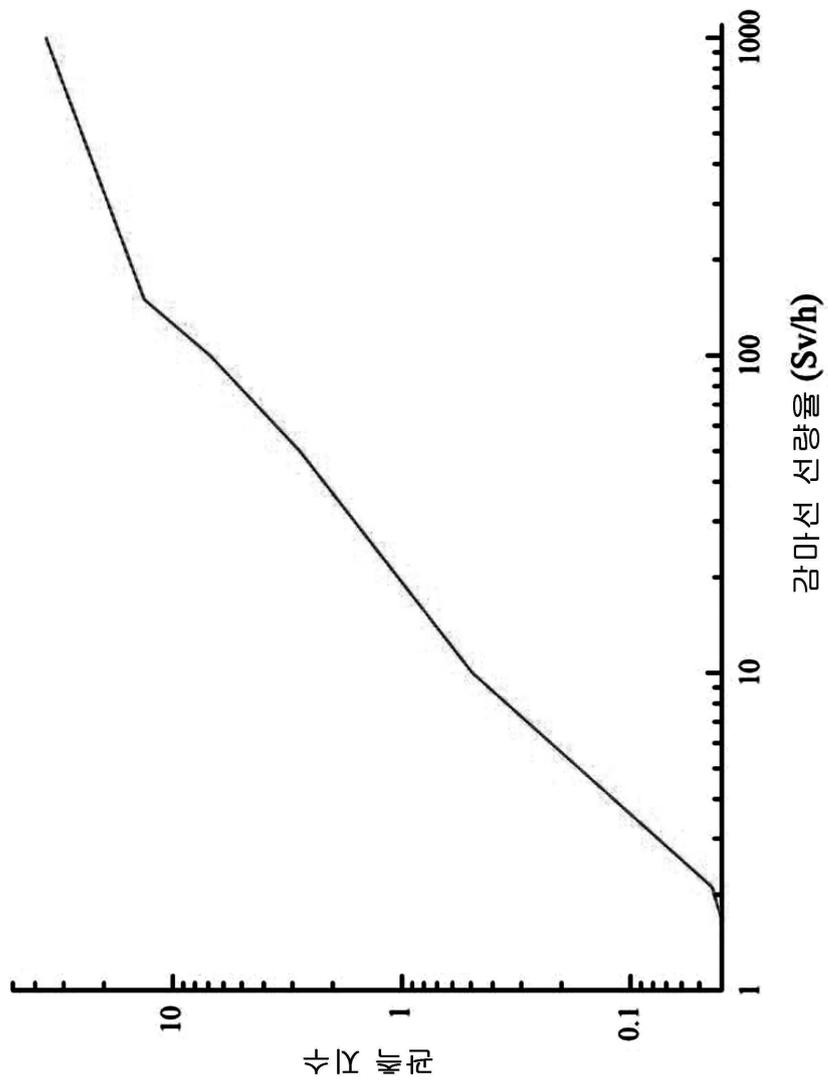
  

30.0mSv/h 118.mSv 2012-04-18 12:38:36

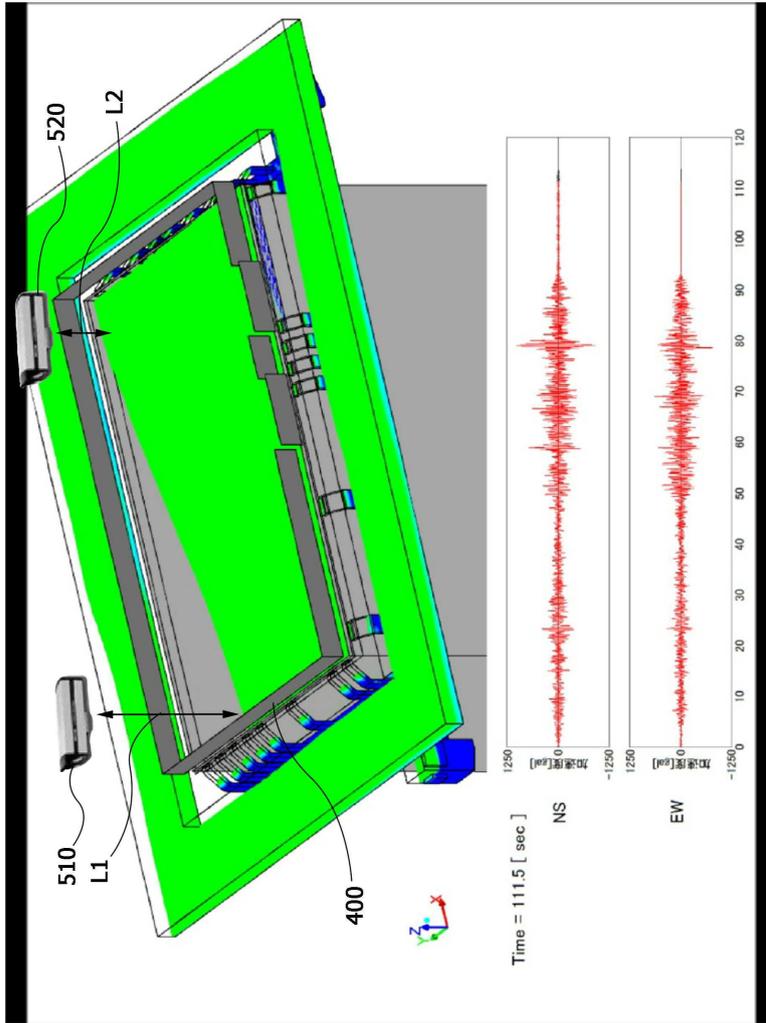
도면4b



도면5



도면6a



도면6b

