



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0014751
(43) 공개일자 2020년02월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 17/00 (2020.01) G01N 21/3563 (2014.01)
G01N 22/02 (2006.01) G01N 25/72 (2006.01)
G01R 27/28 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01N 17/00 (2013.01)
G01N 21/3563 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7034106
- (22) 출원일자(국제) 2018년05월25일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2019년11월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2018/034561
- (87) 국제공개번호 WO 2018/226433
국제공개일자 2018년12월13일
- (30) 우선권주장
15/616,535 2017년06월07일 미국(US)

- (71) 출원인
사우디 아라비안 오일 컴퍼니
사우디 아라비아, 31311, 다란, 이스턴 애비뉴 1
- (72) 발명자
쉬히리, 알리
사우디 아라비아, 뜨왈 23955-6900, 브릿지. 24(알픽-3), 룸 1-355, 킹 압둘라 유니버시티 오브 사이언스 앤드 테그놀로지
에이머, 에이맨
사우디 아라비아, 뜨왈 23955-6900, 브릿지. 24(알픽-3), 룸 1-355, 킹 압둘라 유니버시티 오브 사이언스 앤드 테그놀로지
- (74) 대리인
허용특

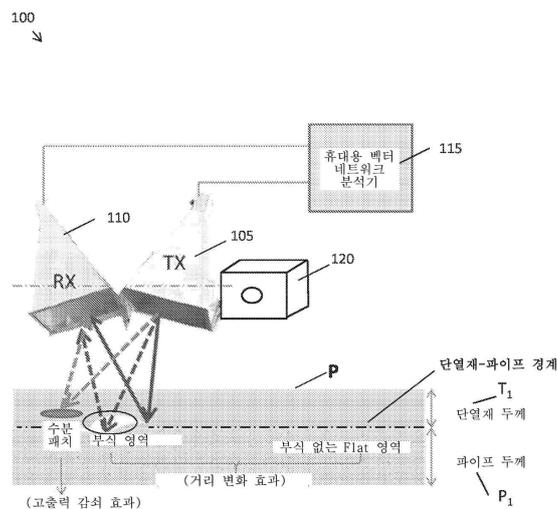
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 발명의 명칭 단열재 제거 없는 CUI 검사를 위한 마이크로파 혼 안테나 기반 트랜스듀서 시스템

(57) 요약

본 개시는 단열 설비의 임의의 단열재 하부부식(CUI)을 검사하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다. 본 시스템은 송신기 및 수신기 혼 안테나들, 안테나들에 동작 가능하게 연결된 벡터 네트워크 분석기, 및 적외선 검출기를 포함하는 장치를 포함한다. 본 방법에서, 설비의 검사를 위한 위치가 식별된다. 해당 위치를 둘러싸는 금속 자켓은 단열재를 벗겨내지 않고 제거된다. 마이크로파는 해당 위치에서 송신기 혼 안테나에 의해 송신되고, 해당 위치에서 가열을 제공한다. 마이크로파는 설비로부터의 반사 이후에 수신기 혼 안테나에 의해 수신된다. 벡터 네트워크 분석기는 마이크로파를 분석한다. 적외선 검출기는 해당 위치로부터 방출되는 적외선을 검출하고, 설비의 내부 표면의 적외선 이미지를 생성한다. 프로그래밍된 프로세서는 마이크로파의 분석 및 생성된 이미지에 기초하여, CUI가 해당 위치에 존재하는지 여부를 판단한다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류

G01N 22/02 (2013.01)

G01N 25/72 (2013.01)

G01R 27/28 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

적외선 검출기, 송신기 혼 안테나 및 수신기 혼 안테나 - 상기 2개의 혼 안테나들은 벡터 네트워크 분석기에 동작 가능하게 연결된 -, 명령들을 코드 형태로 저장하는 메모리 및 상기 명령들을 실행함으로써 구성되는 프로세서를 갖는 컨트롤러를 포함하는 휴대용 이중 검출 장치를 사용하여, 단열 설비의 단열재 하부부식을 검사하기 위한 방법으로서,

단열재 하부부식이 의심되는 상기 단열 설비 상의 위치를 식별하는 단계;

상기 설비로부터 상기 단열재를 벗겨내지 않고 식별된 상기 위치에서 상기 단열 설비를 둘러싸는 금속 자켓을 제거하는 단계;

상기 송신기 혼 안테나를 이용하여, 식별된 상기 위치에서 상기 단열 설비를 향해 마이크로파를 송신하는 단계 - 송신된 상기 마이크로파는 식별된 상기 위치에서 가열을 제공함 - ;

상기 수신기 혼 안테나를 이용하여, 상기 단열 설비로부터의 상기 마이크로파의 반사 이후에 송신된 상기 마이크로파를 수신하는 단계;

상기 벡터 네트워크 분석기를 이용하여, 송신된 상기 그리고 반사된 마이크로파를 분석하는 단계;

상기 적외선 검출기를 이용하여, 상기 단열 설비의 식별된 상기 위치로부터 방출되는 적외선 파를 검출하는 단계;

상기 적외선 검출기를 이용하여, 검출된 상기 적외선 파에 기초하여 식별된 상기 위치에서 상기 단열재 아래의 상기 단열 설비의 내부 표면의 이미지를 생성하는 단계; 및

상기 프로세서를 이용하여, 송신된 그리고 반사된 상기 마이크로파의 분석 및 생성된 상기 이미지에 기초하여, 식별된 상기 위치에 임의의 단열재 하부부식이 존재하는지 여부를 판단하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 분석하는 단계는,

상기 송신기 혼 안테나에 의한 송신 시, 그리고 상기 수신기 혼 안테나에 의한 수신 시에, 상기 마이크로파의 출력을 측정하는 단계; 및

상기 송신 시의 상기 마이크로파 대비 상기 수신 시의 상기 마이크로파의 출력 차이를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 분석하는 단계는,

상기 송신기 혼 안테나로부터 상기 수신기 혼 안테나까지의 상기 마이크로파의 신호 경로의 길이를 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

식별된 상기 위치에서의 결정된 상기 출력 차이 및 상기 신호의 길이를, 보정된 기준 단열 설비에 대한 출력 차이 및 신호의 길이 와 비교하여, 식별된 상기 위치에서의 벽 두께 손실의 양을 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 2개의 상기 혼 안테나들은 상기 송신 및 수신 단계들 동안 상기 단열 설비 상의 식별된 상기 위치로부터 고정된 거리로 유지되는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 단열 설비는 파이프인, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 송신, 수신 및 분석 단계들은 상기 검출 및 생성 단계들과 동시에 발생하는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

식별된 상기 위치에서 상기 단열 설비 주위에 금속 자켓을 재설치하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 마이크로파는 전파인, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 마이크로파는 대략 30 MHz 내지 대략 300 GHz의 범위의 주파수를 갖는, 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 수신된 상기 마이크로파의 출력은 상기 송신기 혼 안테나와 상기 수신기 혼 안테나 사이의 거리, 송신된 상기 마이크로파의 주파수, 상기 송신기 혼 안테나의 출력, 및 상기 송신기 혼 안테나의 이득의 함수인, 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 식별된 상기 위치에서 상기 단열 설비의 표면의 생성된 상기 이미지는 상기 단열재 아래의 상기 단열 설비의 내부 표면의 기하학적 형상을 나타내는, 방법.

청구항 13

단열 설비의 단열재 하부부식을 검사하기 위한 휴대용 이중 시스템으로서,

상기 단열 설비 상의 선택된 위치에서 상기 단열 설비를 향해 마이크로파를 송신하도록 구성되는 송신기 혼 안테나;

상기 선택된 위치에서 상기 단열 설비로부터 반사된 이후에 송신된 상기 마이크로파를 수신하도록 구성되는 수신기 혼 안테나;

상기 송신기 및 수신기 혼 안테나들에 동작 가능하게 연결된 벡터 네트워크 분석기 - 상기 벡터 네트워크 분석기는 송신되고 수신된 상기 마이크로파의 출력을 분석하도록 구성됨 - ;

상기 단열 설비로부터 방출되는 적외선 파를 검출하고, 검출된 상기 적외선 파에 기초하여 상기 선택된 위치에서 상기 단열 설비의 내부 표면의 이미지를 생성하도록 구성되는 적외선 검출기; 및

명령들을 코드의 형태로 저장하는 메모리와, 상기 명령들을 실행함으로써 구성되는 프로세서를 갖는, 컨트롤러를 포함하고,

상기 컨트롤러는 상기 송신기 및 수신기 혼 안테나들, 상기 벡터 네트워크 분석기, 및 상기 적외선 검출기의 동작들을 가능하게 하도록 구성되는, 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 송신기 및 수신기 혼 안테나들은 도파관 케이블을 통해 상기 벡터 네트워크 분석기에 동작 가능하게 연결되는, 시스템.

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 벡터 네트워크 분석기는 지향성 커플러를 포함하며, 상기 지향성 커플러는 상기 선택된 위치에 송신된 상기 마이크로파를 포커싱하도록 구성되는, 시스템.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 송신기 혼 안테나로부터 이동 중인 마이크로파를 포착하고, 상기 포착된 마이크로파에 기초하여 시간-분해된 이미징 및/또는 3D 이미징을 생성하도록 구성된 전파 시간 마이크로파 카메라를 더 포함하는, 시스템.

청구항 17

제13항에 있어서,

상기 송신기 및 수신기 혼 안테나들에 동작 가능하게 연결되고, 상기 선택된 위치로부터의 각각의 고정된 거리에 상기 송신기 및 수신기 혼 안테나들을 유지하도록 구성되는 스캐닝 홀더를 더 포함하는, 시스템.

청구항 18

제13항에 있어서, 상기 시스템 구성요소들은 무인 항공기(UAV) 상에 수용되는, 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 무인 항공기는, 상기 무인 항공기의 깊이를 측정하고 상기 무인 항공기를 상기 선택된 위치에 대해 고정된 위치에 유지하도록 구성된, 거리 측정 장치를 포함하는, 시스템.

청구항 20

제13항에 있어서, 상기 벡터 네트워크 분석기는 상기 송신기 혼 안테나로부터 상기 수신기 혼 안테나까지의 상기 마이크로파의 신호 경로의 길이를 결정하도록 더 구성되는, 시스템.

청구항 21

제13항에 있어서, 상기 단열 설비는 파이프인, 시스템.

청구항 22

제13항에 있어서, 상기 마이크로파는 전파인, 시스템.

청구항 23

제13항에 있어서, 상기 마이크로파는 대략 30 MHz 내지 대략 300 GHz의 범위의 주파수를 가지는, 시스템.

청구항 24

제13항에 있어서, 상기 송신기 및 수신기 혼 안테나들은 가시선 구조를 형성하도록 서로 마주보게 정렬되고, 상기 벡터 네트워크 분석기는 상기 선택된 위치에서 상기 단열 설비 상의 자유 공간 유전체 측정을 수행하도록 구성되는, 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 단열 설비의 단열재 하부부식을 검사하기 위한 시스템 및 프로세스에 관한 것이며, 보다 구체적으로는, 단열 설비의 임의의 단열재 하부부식을 평가하기 위한 비파괴 검사 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 단열재 하부부식(corrosion under insulation, CUI)은 단열 설비의 외부 표면 상의 수분 축적으로 인해 단열 설비(예: 파이프)에서 발생할 수 있는 부식의 특정한 유형이다. 검출되지 않고 남아있는 CUI는 설비에 심각한 손

상(예: 설비 고장)을 야기할 수 있고, 이로 인해, CUI가 특히 중요한 위치에서 발생한 경우에는 손상된 설비 또는 전체 설비의 폐쇄를 특징으로 하는 프로세스 유닛의 폐쇄를 초래한다. CUI의 전조 증상은 설비의 단열층 아래에서의 수분의 축적 및 수분 패치(water patch)의 발달이다.

[0003] 단열 파이프의 경우, 파이프의 구조는 일반적으로 (안쪽으로부터 시작하여 바깥쪽으로 이동하며) 호환 가능한 코팅, 단열 재료, 및 금속 자켓 클래딩을 포함하는 여러 층들을 포함한다. 설비 내의 단열 재료는 일반적으로 섬유질 재료(예: 유리/미네랄 울) 및/또는 셀룰러 물질(예: 칼슘 실리케이트, 폴리우레탄, 폴리스티렌)을 포함한다. 클래딩은 파이프의 외부에서 보호 장벽으로서 작용하여, 외부 요소(예: 날씨)로부터 파이프를 보호한다. 예를 들어, 클래딩은 단열재가 비 또는 물리적 손상에 노출되는 것을 방지하도록 돕는다.

[0004] 통상적으로, 단열 설비의 CUI를 검사하기 위해서, 검사될 설비의 일부에서 그 클래딩 및 단열재가 벗겨지고, 이어서 CUI가 존재하는지 확인하기 위해 시각적으로 검사된다. 그러나, 이러한 현재의 관행은, CUI가 외부에서 표시되지 않는 경우가 종종 있어 설비를 따른 위치들이 무작위로 또는 스케줄에 따라 검사되어야만 하기 때문에 시간 소모적이다. 또한, 현재의 관행은 CUI가 발견되었는지 여부에 상관없이, 단열재가 모든 검사 위치에서 교체되어야 하기 때문에, 비용이 많이 든다. 따라서, 단열 설비의 CUI 검사를 위한 더 시간 효율적이고 비용 효과적인 프로세스가 필요하다. 본 발명은 이들 및 다른 필요성 중 하나 이상을 기술한다.

발명의 내용

[0005] 본 발명의 일 측면에 따르면, 단열 설비(예: 파이프)에 대해 단열재 하부부식을 검사하기 위한 시스템 및 방법이 제공된다. 본 시스템 및 방법은 단열 설비의 검사를 가능하게 한다.

[0006] 제1 측면에서, 시스템은 송신기 혼 안테나 및 수신기 혼 안테나를 포함하는 휴대용 이중 검출 장치를 포함한다. 송신기 혼 안테나는 단열 설비 상의 선택된 위치에서 상기 단열 설비를 향해 마이크로파를 송신하도록 구성되고, 수신기 혼 안테나는 상기 선택된 위치에서 상기 단열 설비로부터의 반사 이후에 송신된 상기 마이크로파를 수신하도록 구성된다. 본 발명의 일 측면에 따르면, 마이크로파는 전파(radio wave)이다. 다른 측면에 따르면, 마이크로파는 약 30 MHz 내지 약 300 GHz의 범위의 주파수를 갖는다.

[0007] 일 구현예에서, 시스템은 또한 송신기 및 수신기 혼 안테나들에 동작 가능하게 연결된 벡터 네트워크 분석기를 포함하거나 이와 통신한다. 벡터 네트워크 분석기는 송신 및 수신된 마이크로파의 출력을 분석하도록 구성된다. 상기 시스템은, 단열 설비로부터 방출된 적외선 파를 검출하고, 검출된 적외선 파에 기초하여 상기 선택된 위치에서 단열 설비의 내부 표면의 이미지를 생성하도록 구성되는, 적외선 검출기를 더 포함한다. 상기 시스템은 또한 코드 형태로 명령어들을 저장하는 메모리를 갖는 컨트롤러, 및 상기 명령어들을 실행함으로써 구성되는 프로세서를 포함한다. 컨트롤러는 송신기 및 수신기 혼 안테나들, 벡터 네트워크 분석기, 및 적외선 검출기의 동작들을 가능하게 하도록 구성된다.

[0008] 일 측면에 따르면, 송신기 및 수신기 혼 안테나들은 도파관 케이블을 통해 벡터 네트워크 분석기에 동작 가능하게 연결된다. 다른 측면에 따르면, 벡터 네트워크 분석기는 상기 설비 상의 선택된 위치에서 송신된 상기 마이크로파를 포커싱하도록 구성되는 지향성 커플러를 포함한다. 또다른 측면에 따르면, 벡터 네트워크 분석기는 송신기 혼 안테나로부터 수신기 혼 안테나까지의 상기 마이크로파의 신호 경로의 길이를 결정하도록 더 구성된다.

[0009] 다른 측면에 따르면, 상기 시스템은, 송신기 혼 안테나로부터 이동 중인(in flight) 마이크로파를 포착하도록 구성되고, 포착된 마이크로파에 기초하여 시간-분해된 이미징 및/또는 3D 이미징을 생성하도록 구성되는, 전파 시간(time-of-flight) 마이크로파 카메라를 더 포함할 수 있다.

[0010] 다른 측면에 따르면, 상기 시스템은, 송신기 및 수신기 혼 안테나들에 동작 가능하게 연결되고, 상기 선택된 위치로부터의 각각의 고정된 거리에서 상기 송신기 및 수신기 혼 안테나들을 유지하도록 구성되는, 스캐닝 홀더를 포함한다.

[0011] 다른 측면에 따르면, 시스템 구성요소들은 무인 항공기(unmanned aerial vehicle, UAV) 상에 수용된다. 또다른 측면에 따르면, 무인 항공기는, 무인 항공기의 깊이를 측정하고, 선택된 위치에 대해 무인 항공기를 고정된 위치에 유지하도록 구성되는 거리 측정 장치(range finder)를 포함한다.

[0012] 다른 측면에 따르면, 송신기 및 수신기 혼 안테나들은 가시선(line-of-sight)을 형성하도록 서로 마주보게 정렬될 수 있고, 벡터 네트워크 분석기는 선택된 위치에서 단열 설비 상의 자유 공간 유전체 측정을 수행하도록 구성될 수 있다.

- [0013] 다른 측면에 따르면, 단열 설비의 단열재 하부부식을 검사하기 위한 방법이 제공된다. 상기 방법에서, 단열재 하부부식이 의심되는, 단열 설비 상의 위치가 식별된다. 식별된 상기 위치에서 단열 설비를 둘러싸는 금속 자켓은 단열재를 벗겨내지 않고 상기 설비로부터 제거된다. 마이크로파는 식별된 상기 위치에서 단열 설비를 향해 송신기 혼 안테나에 의해 송신되어, 송신된 마이크로파가 상기 위치에 가열을 제공한다. 이후, 송신된 상기 마이크로파는 상기 단열 설비로부터 멀어지는 마이크로파의 반사 이후에 수신기 혼 안테나에 의해 수신된다. 이후, 벡터 네트워크 분석기는 송신되고 반사된 마이크로파를 분석한다. 적외선 검출기는 단열 설비의 상기 위치로부터 방출되는 적외선 파를 검출하고, 이후, 검출된 적외선 파에 기초하여 식별된 상기 위치에서의 단열재 아래에 있는 단열 설비의 내부 표면의 이미지를 생성한다. 송신된 그리고 반사된 마이크로파 분석 및 생성된 상기 이미지에 기초하여, 프로세서에 의해, 상기 위치에서 단열재 하부부식이 존재하는지 여부에 대한 결정이 이루어진다.
- [0014] 다른 측면에 따르면, 송신 및 반사된 마이크로파의 분석에서, 송신기 혼 안테나에 의한 송신 시에 그리고 수신기 혼 안테나에 의한 수신 시에, 마이크로파의 출력이 측정된다. 또한, 송신 시의 마이크로파 대비 수신 시의 마이크로파의 출력 차이가 결정된다. 다른 측면에 따르면, 송신 및 반사된 마이크로파의 분석에서, 송신기 혼 안테나로부터 수신기 혼 안테나까지의 마이크로파의 신호 경로의 길이가 결정된다.
- [0015] 다른 측면에 따르면, 식별된 위치에서의 결정된 출력 차이 및 신호의 길이는, 보정된 기준 단열 설비에 대한 출력 차이 및 신호의 길이와 비교되어, 식별된 위치에서의 벽 두께 손실의 양이 결정된다.
- [0016] 다른 측면에 따르면, 상기 2개의 혼 안테나들은 마이크로파의 송신 및 수신 동안에 단열 설비 상의 식별된 위치로부터 고정된 거리로 유지된다. 다른 측면에 따르면, 마이크로파의 송신, 수신, 및 분석은 적외선 파의 검출 및 적외선 이미지의 생성과 실질적으로 동시에 발생한다.
- [0017] 다른 측면에 따르면, 금속 자켓은 식별된 위치에서 단열 설비 주위에 재설치된다. 다른 측면에 따르면, 수신된 마이크로파의 출력은, 송신기 혼 안테나 및 수신기 혼 안테나 사이의 거리, 송신된 마이크로파의 주파수, 송신기 혼 안테나의 출력, 및 송신기 혼 안테나의 이득의 함수이다. 다른 측면에 따르면, 식별된 위치에서 단열 설비의 표면의 생성된 이미지는 단열재 아래에 있는 단열 설비의 내부 표면의 기하학적 형상을 나타낸다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 본 개시의 다른 측면들은 첨부된 도면들과 함께 이하 설명되는 다양한 실시예들의 상세한 설명을 검토할 때 보다 쉽게 이해될 것이다.
 - 도 1a는 하나 이상의 실시예에 따른 단열 설비를 검사하기 위한 예시적인 시스템의 도면이다.
 - 도 1b는 하나 이상의 실시예에 따른 단열 설비를 검사하기 위한 다른 예시적인 시스템의 도면이다.
 - 도 2는 하나 이상의 실시예에 따른 단열 설비를 검사하기 위한 시스템의 예시적인 구성을 도시하는 블록도이다.
 - 도 3은 하나 이상의 실시예에 따른 단열 설비의 단열재 하부부식을 검사하기 위한 방법의 포괄적인 측면을 도시한 루틴을 나타내는 흐름도이다.
 - 도 4는 하나 이상의 실시예에 따른 단열 설비의 단열재 하부부식을 검사하기 위한 방법의 일 측면을 도시한 루틴을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 개요 및 소개를 통해, 본 개시는 마이크로파 혼 안테나-기반 트랜스듀서 시스템을 사용하여 단열 설비의 단열재 하부부식(corrosion under insulation, CUI)을 검사하기 위한 시스템 및 방법을 상세히 설명한다. CUI가 단열 설비에 엄청난 손상을 야기할 수 있는 해당 분야에서의 이해에도 불구하고, CUI에 의해 손상된 설비의 영역을 식별하고 보수하기 위한 통상적인 프로세스는, 시각적 검사를 위한 단열재 제거 없이는 손상된 설비 영역을 정확하게 식별할 수 없기 때문에 시간 소모적이고 비용이 많이 든다. 이와 같이, 검사의 효율성 및 비용 효율성을 개선하기 위한 노력의 일환으로, 본원에 설명된 바와 같은 시스템 및 방법은 설비에서 단열재를 제거할 필요없이 가능한 CUI 손상에 대해 단열 설비를 평가하는 일련의 동작들을 제공한다.
- [0020] 보다 구체적으로, 본원의 적어도 일 실시예에 따르면, 선택된 위치에서의 단열 설비를 검사하기 위한 마이크로파 혼 안테나-기반 트랜스듀서 시스템이 제공된다. 상기 시스템은 일반적으로 한 쌍의 혼 안테나들, 구체적으로, 송신기 혼 안테나(horn antenna) 및 수신기 혼 안테나를 포함한다. 송신기 혼 안테나는 단열 설비

를 향해 마이크로파를 송신하는 반면, 수신기 혼 안테나는 단일 설비로부터 반사된 이후의 송신된 상기 마이크로파를 수신한다. 시스템은 또한, 혼 안테나들에 연결된 벡터 네트워크 분석기를 포함하거나 이와 통신하며, 상기 송신되고 수신된 마이크로파의 출력을 분석하도록 구성된다. 시스템은 또한, 단일 설비로부터 송신된 적외선 파를 검출하는 적외선 검출기를 특징으로 할 수 있으며, 이는 단일 설비의 내부 표면의 이미지를 생성하는 데에 사용된다.

[0021] 따라서, 벡터 네트워크 분석기는 송신 및 반사된 마이크로파(신호들)를 분석하고, 적외선 검출기는 선택된 위치들에서 단일 설비를 동시에 이미징한다. 송신된 마이크로파는 또한, 선택된 위치들에 열을 제공하며, 이는 매우 감도 높은 적외선 촬영을 가능하게 하고, 이에 따라 단일 설비 내에 숨겨진 수분 축적의 검출을 가능하게 한다. 따라서, 송신 및 수신된 마이크로파의 분석 및 설비 내부 표면의 이미지에 기초하여, 시스템은 CUI(또는 CUI의 전조 증상)가 설비 상의 선택된 위치들에 존재하는지를 결정할 수 있다. 특히, 시스템은 마이크로파 분석을 통해 단일 설비(CUI의 증상이 있는 곳)에서의 벽 두께 손실의 직접적 검출을 제공하고, 적외선 이미징을 통해 수분 지점(water spot) 및 습기와 같은 CUI의 전조 증상의 간접적 검출을 제공할 수 있다.

[0022] 하나 이상의 실시예에서, 시스템은, 송신기 혼 안테나로부터 이동 중인 마이크로파를 포착하고, 포착된 마이크로파에 기초하여 시간-분해된 이미징 및/또는 3D이미징을 생성하도록 구성되는 전파 시간(time-of-flight) 마이크로파 카메라를 더 포함할 수 있다. 이러한 실시예의 적어도 하나의 구현예에서, 마이크로파의 버스트들을 방출하는 데에 하나의 조명원이 사용될 수 있다. 이후, 전파 시간 카메라는 마이크로파가 물체(예: 파이프의 일부)에 반사되어 카메라로 되돌아오는 데에 걸리는 시간을 추적한다. 조명원에 의해 송신된 신호는 일정하게 변하는 주파수를 갖고 퍼져 나갈 수 있다. 그 후, 반사된 신호의 주파수는 그 순간에 송신된 신호의 주파수와 비교된다. 이러한 주파수들 사이의 차이는 센서로부터 설비의 표면까지의 거리에 비례한다. 송신된 마이크로파의 신호 레벨들은, 수분 흡수 영역들 및 파이프 표면 형상으로부터의 반사 변화들로부터의 결과 스펙트럼과 비교하여, 측정되고 분석될 수 있다.

[0023] 이하의 상세한 설명은 마이크로파 혼 안테나 기반 트랜스듀서 시스템과, 단일 설비의 CUI를 검사하기 위해 이러한 시스템을 사용하는 방법에 관한 것이다. 이하의 상세한 설명은 부분적으로는, 설비의 CUI를 검사하는 방법을 설명하지만, 이들 방법은 누출 또는 다른 수분 손상과 같은 다른 유형의 부식 또는 손상에 대해 설비를 검사하는 데에도 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 참조된 시스템들 및 방법들은 이제 하나 이상의 예시된 실시예들 및/또는 시스템과 방법들의 방안들이 도시되어 있는 첨부된 도면들을 참조하여 보다 완전히 설명된다. 본원에 설명된 예시된 실시예들 및/또는 방안들은 통상의 기술자에 의해 인식되는 바와 같이 다양한 형태로 구현될 수 있는 본 시스템들 및 방법들의 단지 예시일 뿐이므로, 본 시스템들 및 방법들은 어떤 식으로든, 예시된 실시예들 및/또는 방안들로 제한되지 않는다. 따라서, 개시된 임의의 구조적 및 기능적 세부사항은 본 시스템 및 방법을 제한하는 것으로 해석되지 않고, 오히려 본 시스템 및 방법을 구현하기 위한 하나 이상의 방법을 통상의 기술자에게 교시하기 위한 대표적인 실시예 및/또는 방안으로서 본원에서 제공된다는 것을 이해해야 한다.

[0024] 따라서, 본 시스템들 및 방법들의 측면들은 전체적으로 하드웨어 실시예의 형태를, 또는 소프트웨어와 하드웨어를 조합한 실시예의 형태를 취할 수 있다. 통상의 기술자는 소프트웨어 프로세스가 균등한 하드웨어 구조로 변환될 수 있고, 하드웨어 구조 자체가 균등한 소프트웨어 프로세스로 변환될 수 있음을 이해할 수 있다. 따라서, 하드웨어 구현에 대 소프트웨어 구현예의 선택은 구현자에게 남겨진 하나의 설계 선택사항이다. 또한, 본원에서 사용되는 용어 및 어구는 제한하고자 하는 것이 아니라, 본 시스템 및 방법들의 이해할 수 있는 설명을 제공하기 위한 것이다.

[0025] 하나 이상의 실시예들에 따른 단일 설비를 검사하기 위한 예시적인 시스템(100)이 도 1a에 도시되어 있다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 시스템(100)은 송신기 혼 안테나(105) 및 수신기 혼 안테나(110)를 포함할 수 있다. 송신기 혼 안테나(105)는 검사될 단일 설비(이 실시예에서는 파이프라인 "P") 상에서 특정한 사이트 또는 위치를 향해 마이크로파를 송신하도록 구성된다. 유사하게, 수신기 혼 안테나(110)는, 마이크로파가 설비 상의 검사된 영역으로부터 반사된 후에, 송신기 안테나(105)로부터 송신된 마이크로파를 수신하도록 구성된다. 송신기 및 수신기 혼 안테나들은, 검출된 마이크로파 신호의 변화들이 정확하고, 이에 따라 단일 설비 표면의 변화를 나타냄을 보장하기 위해, 검사 프로세스 동안 파이프로부터 고정된 거리로 유지된다. 다른 실시예에서, 시스템은 다수의 송신기 및 수신기 혼 안테나들을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 구현예에서, 혼 안테나들은 검사된 설비를 향해 마이크로파의 높은 지향성(directionality)을 제공한다. 하나 이상의 구현예에서, 혼 안테나들에 의해 송신 및 수신되는 마이크로파는 전파(radio wave)이다. 하나 이상의 구현예에서, 송신되는 마이크로파의 주파수 범위는 약 30 MHz 내지 약 300 GHz이다. 적어도 하나의 구현예에서, 송신되는 마이크로파의 주파수 범위는 약 2 GHz 내지 약 300 GHz이다. 특정 구현예에서, 송신되는 마이크로파의 주파수 범위는 약 2 GHz 내지 약 3 GHz이다. 적

어도 하나의 구현예에서, 송신되는 마이크로파의 주파수는 약 2.4 GHz이다.

- [0026] 혼 안테나들(105 및 110)은 모두, 백터 네트워크 분석기(115)에 동작 가능하게 연결된다. 예를 들어, 특정 구현예에서, 혼 안테나들(105, 110)은 도파관 케이블을 통해 백터 네트워크 분석기(115)에 각각 연결된다. 백터 네트워크 분석기(115)는 송신되고 반사되는 마이크로파 신호들의 출력을 분석하도록 구성된다. 특히, 백터 네트워크 분석기(115)는 송신기 안테나(105)로부터의 송신 시의 마이크로파 출력이 비하여 수신기 안테나(110)에 의해 수신되는 반사된 마이크로파에서의 출력의 손실을 측정하도록 구성될 수 있다. 반사된 마이크로파와 송신된 마이크로파 간의 출력의 차이는 부식 또는 습기가 검사 영역에 존재하는지 여부를 판단하는 데에 도움을 주기 위해 사용된다.
- [0027] 도 1a는 파이프라인(P)에 대한 예시적인 파이프 구성을 도시하며, 여기서 단열재는 두께 T_1 를 갖고, 단열재 아래의 파이프는 두께 P_1 를 갖는다. 파이프 및 단열재는 점선으로 표시된 단열재-파이프 경계에서 만난다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 마이크로파는 송신기 혼 안테나(105)로부터 파이프라인(P)으로 송신된다. 파이프라인(P)의 좌측 멀리에서, 마이크로파는 발견될 수분 패치를 향해 송신되는 것으로 도시되는데, 이는 단열재 아래에 그리고 단열재 내에 위치된다. 일반적으로, 마이크로파는 물 매질 내에서 상당히 흡수되고, 에너지 보존이 일어난다. 물이 마이크로파를 흡수할 경우, 마이크로파가 설비로부터 반사되어 수신기 혼 안테나로 되돌아가는 것이 방지된다. 이와 같이, 수신기 혼 안테나에 의해 수신되는 마이크로파의 감소는 단열재 내의 수분 지점을 나타낸다. 즉, 물 매질이 마이크로파 에너지를 흡수할 수 있기 때문에, 높은 감쇠 효과가 관찰되고, 이에 따라 송신된 마이크로파 및 반사된 마이크로파 사이의 출력의 상당한 감소는 검사 영역에 수분 패치가 존재한다는 것을 나타낼 수 있다.
- [0028] 송신되고 반사된 마이크로파의 출력을 분석함에 있어서, 백터 네트워크 분석기(115)는 또한, 분석할 때, 송신된 마이크로파의 주파수, 파이프의 금속 표면에서의 변형, 무선 주파수(RF) 전파 손실 방정식들(송신기 혼 안테나(105) 및 수신기 혼 안테나(110) 사이의 거리의 함수인 방정식들), 및 송신기 혼 안테나(105)의 이득을 포함하는 다른 요인들을 고려할 수 있다. 예를 들어, 도 1a를 계속 참조하면, 마이크로파는 단열재-파이프 경계 근처에서 파이프의 부식 영역을 향해 송신되는 것으로도 도시되어 있다. 파이프 상의 부식은 파이프의 부식되지 않은 영역에 비해 파이프의 표면에서의 변형을 야기할 수 있다. 따라서, 부식되지 않은 영역 대비 부식된 영역을 향해 송신되는 경우 송신되는 마이크로파가 수신기 안테나(110)까지 이동해야 하는 거리가 다르기 때문에, 파이프의 부식된 영역 및 부식되지 않은 영역 사이의 거리 변화 효과가 측정된다. 예를 들어, 도 1a에 도시된 바와 같이, 파이프의 부식된 영역에서의 변형부(단열재-파이프 경계 근방에 도시된 원)로 인해, 부식 영역(점선)으로 송신된 마이크로파는 부식되지 않은 영역(실선)으로 송신된 마이크로파에 비해 수신기 안테나(110)를 향해 파이프의 표면으로부터 반사되기 전에 더 긴 거리를 이동해야 한다. 이와 같이, 송신기 안테나(105)로부터 수신기 안테나(110)까지 마이크로파에 의해 이동된 거리는 특정 위치에서의 파이프 상의 부식(예: 변형)의 양에 따라 달라지고, 이를 프로그래밍함으로써 상기 시스템은 이러한 변형들 및 차이들을 계산한다.
- [0029] 하나 이상의 실시예들에서, 백터 네트워크 분석기(115)는 송신 및 반사된 마이크로파를 획득하도록 구성될 수 있고, 그 결과 데이터는 컴퓨팅 장치(예: 프로세서를 갖는 컨트롤러)에 전달되고 이에 저장될 수 있다. 단열 설비 상의 마이크로파의 반사에 관한 데이터는 기준 샘플 또는 테스트된 표면과 비교될 수 있다. 설비 및 기준 샘플로부터 수집된 데이터 사이의 변화는 부식으로 인해 설비(예: 파이프)의 벽 손실 및 벽 박화(thinning)에 관련된 이상현상을 나타낼 수 있다. 이러한 유형의 부식은 외적인 것이고, 단열재 바로 아래에 있는 외부 표면에 영향을 미친다. 기준 보정 샘플의 경우, 물리적 치수 및 전기적 특징(예: 유전 상수 및 유효 유전 상수)이 알려져 있다. 예를 들어, 단열재 및 공기의 유전 상수(= 1)를 포함한 특징은 유효 유전 상수를 형성한다. 따라서, 특정 실시예에서, 검사되는 설비의 분석은, 검사되는 설비 및 기준 설비 사이의 임의의 차이를 평가함으로써 검사되는 설비에 부식이 존재할 가능성이 있는지를 판단하기 위해, 부식되지 않거나 손상되지 않은 기준 설비(기준 샘플)의 측정치와 비교될 수 있다.
- [0030] 전술한 바와 같이, 하나 이상의 실시예에서, 백터 네트워크 분석기(115)는, 벽 두께 손실이 CUI 또는 다른 부식을 나타내기 때문에, 선택된 검사 위치에서 벽 두께 손실(존재하는 경우)의 양을 판단하기 위해 송신 및 반사된 마이크로파 신호를 분석하도록 구성된다. 백터 네트워크 분석기(115)는 송신기 혼 안테나(105)로부터 수신기 혼 안테나(110)까지의 마이크로파의 신호 경로의 길이에 기초하여 벽 두께 손실이 발생했는지를 판단할 수 있다. 즉, 벽 두께 손실(존재하는 경우)은 송신된 마이크로파의 이동 거리의 함수로서의 반사된 신호 진폭 감쇠를 분석함으로써 결정된다. 그 후, 선택된 검사 위치에서의 신호 경로 측정치들은 벽 두께 손실이 발생했는지를 판단하기 위해 기준 단열 설비(보정된 통제 표본)의 측정치들과 비교될 수 있다. 이러한 비교에서, 선택된 위치에

있는 마이크로파의 신호 경로가 기준 설비에 비해 더 길다면, 이는 선택된 위치에서의 벽 두께 손실을 의미한다. 반대로, 선택된 위치에서의 마이크로파에 대한 더 짧은 신호 경로는 기준 설비에 비해 더 큰 벽 두께를 나타낸다. 기준 단일 설비(보정된 통제 표본)의 경우, 공기의 유전상수(예: 1)와 단열재의 유전상수의 합이 기준 설비의 보정에서 고려되어야 한다는 점을 유의해야 한다.

[0031] 도 1a에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 실시예에서, 송신기 혼 안테나(105) 및 수신기 혼 안테나(110)는 단일 설비를 따른 선택된 위치의 검사 동안에 서로 인접할 수 있다. 다른 실시예에서, 송신기 및 수신기 혼 안테나들은 가시선(line-of-sight) 구조를 형성하도록 서로 마주할 수 있다. 이 실시예에서, 백터 네트워크 분석기는 선택된 위치에서 단일 설비 상의 자유 공간(free space) 유전체 측정을 수행하도록 구성된다.

[0032] 하나 이상의 실시예에서, 시스템(100)은 단일 설비로부터 방출되는 적외선 파를 검출하도록 구성되는 적외선 파 검출기(120)("적외선 검출기"(120))를 더 포함할 수 있다. 적외선 검출기(120)는 또한, 검출된 적외선 파에 기초하여 검사 위치에서 단일 설비의 적외선 이미지를 생성하도록 구성된 카메라를 특징으로 할 수 있다. 카메라는 적외선 검출기(120)의 일부일 수 있거나, 또는 적외선 검출기(120)에 작동 가능하게 연결되는 별도의 구성요소일 수 있다. 하나 이상의 구현예에서, 적외선 검출기(120)는 이하 더 상세히 설명되는 바와 같이, 주변 온도와 단일 설비의 온도를 구별할 수 있는 점에서 높은 감도 및 정확도를 갖는다.

[0033] 일반적으로 말하면, 적외선 파(적외 복사)는 모든 물체(예: 단일 설비)에 의해 방출되며, 물체의 온도가 증가함에 따라 방출되는 복사량도 증가한다. 따라서, 적외선 검출기/카메라는 물체 온도와 그 배경 온도 사이의 검출된 차이에 기초하여 물체의 이미지를 생성할 수 있다(즉, 이미지에서 물체 및 배경은 그들의 온도차에 기초하여 상이한 색으로 도시됨). 물체 및 그 배경이 유사한 온도를 갖는 경우, 에너지 공급원을 사용하여 물체의 온도를 증가시킬 수 있고, 결과적으로 그 주변에 비해 물체에 의해 방출되는 복사선을 증가시킬 수 있다. 적외선 검출기/카메라(120)에 의해 생성된 이미지는 각각의 검출된 복사에 기초하여 물체와 그 배경 사이를 구별할 뿐만 아니라, 대조적인 복사선에 기초하여 물체의 상이한 부분들 사이의 차이를 구별시킨다.

[0034] 본 시스템(100)에서, 적외선 검출기/카메라(120)는 설비(P) 및 그 배경으로부터 방출된 복사를 검출하고, 이후, 설비(P)와 그 배경 사이의 방출된 복사의 차이에 기초하여, 자기 내부에 구현된 코드에 의해 구성되는 프로세서와 함께, 이미지를 생성한다. 단일 재료의 후면에 형성된 수분은 설비의 나머지 부분에 비해 상이한 속도로 열을 얻고(그리고, 잃고), 이에 따라 수분 또는 CUI가 존재하지 않는, 설비(P) 상의 다른 영역과 상이한 레벨로 복사선을 방출한다. 이와 같이, 생성된 적외선 이미지는 또한, 설비와 그 배경 사이에서만 아니라, 대조적인 복사선에 기초하여 설비(P)의 상이한 부분들 사이에서도, 차이를 나타낼 수 있다. 따라서, 적외선 검출기/카메라(120)는 가능한 CUI 또는 수분 축적의 위치를 검출하는 제2의 방식을 시스템(100)에 제공한다.

[0035] 상기 설비의 복사 레벨들은 종종 그 주변으로부터 구별될 수 있지만, 상기 설비의 상이한 부분들에서의 복사 레벨들의 차이들은 에너지 공급원(열원)이 없는 적외선 검출기/카메라를 통해서만 검출하기 어려울 수 있다. 예를 들어, 수분으로 가득찬 영역의 기본 온도는 설비의 나머지 부분들의 기본 온도와 크게 다르지 않을 수 있다. 이와 같이, 설비(P)에 에너지를 지향시키는 것은 선택된 검사 위치 전체에 걸쳐 다양한 지점들에서 단일 설비(P)의 온도를 증가시킬 수 있고, 그에 의해 설비의 상이한 부분들 내에서 상이한 복사 레벨을 인식하는, 적외선 이미지의 감도를 향상시킬 수 있다. 특정 구현예에서, 적외선 이미징을 위한 에너지원으로서 햇빛이 사용될 수 있고, 이는 대규모 수분 패치 또는 CUI를 효과적으로 검출하게 할 수 있다. 그러나, 햇빛 노출은 단열재 내의 작은 수분 패치가 신속하게 증발하게 하여, 단열재 내의 작은 수분 축적 영역을 검출하기 어렵게 할 수 있다.

[0036] 따라서, 적어도 하나의 실시예에서, 송신기 안테나(105)로부터 송신된 마이크로파는 전술된 바와 같은 마이크로파 분석들을 위해 사용될 뿐만 아니라, 적외선 이미징을 향상시키기 위한 에너지 공급원(열원)으로서도 사용된다. 송신된 마이크로파는 단열재 수분의 상당한 증발을 야기하지 않고, 따라서 적외선 검출기/카메라가, 설비 내의 작은 수분 축적 영역을 검출하고, 낮 동안 구별하기 어려울 수 있는 단열재의 젖은 패치를 검출함에 있어, 더 큰 감도를 가질 수 있게 한다. 전술한 바와 같이, 마이크로파는 물 매질 내에서 상당히 흡수되고, 에너지 보존이 일어난다. 물이 가열되고 마이크로파를 흡수하는 경우, 마이크로파가 설비로부터 반사되어 수신기로 되돌아가는 것이 방지된다. 이와 같이, 수신기 혼 안테나에 의해 수신된 마이크로파의 감소는 수분 지점을 나타낸다. 이러한 가열 공정은(예: 열 전도 메커니즘을 통해) 단일 설비의 주위 영역으로 전파되고, 이는 작고, 숨겨진 습윤 영역을 더 크게 하고, 따라서 적외선 검출기/카메라를 통해 더 잘 검출될 수 있게 한다.

[0037] 예를 들어, 혼 안테나(105)에 의한 마이크로파의 송신 동안, 마이크로파는 설비 상의 작은 영역에 지향되어, 해당 작은 영역에 열을 제공할 수 있다. 일단 이러한 작은 영역이 가열되면, 열은 주변 단열재 내로 전달될 것이며, 이는 적외선 이미징에 의해 많은 수분 지점들이 검출될 수 있게 한다. 설비(P)가 외부에 있는 상황에서는,

검사 중에 햇빛이 존재할 수 있고, 따라서 설비(P)에 의해 방출되는 복사 및/또는 설비(P)에서의 증발 수준에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 하나 이상의 실시예에서, 단일 설비의 검사는 햇빛 노출로 인한 증발이 적외선 검출 및 이미징에 현저한 영향을 미치지 않는 시간, 예를 들어 이른 아침 또는 밤에, 스케줄링될 수 있다.

[0038] 하나 이상의 구현예에서, 시스템(100)은, 사용자가 단일 설비를 따른 선택된 검사 위치들 사이에서 시스템(100)을 용이하게 이동시킬 수 있도록, 한 손 크기(handheld)를 가질 수 있다. 적어도 하나의 구현예에서, 시스템(100)은 파이프 상의 검사 위치로부터 각각의 고정된 거리에서 혼 안테나들(105 및 110)을 유지하도록 구성되는 지지부(예: 스캐닝 홀더)를 더 포함할 수 있다. 송신기 및 수신기 혼 안테나들은, 마이크로파 신호의 검출된 분산이 정확하고, 이에 따라 단일 설비에서의 표면 변화를 나타내는 것을 보장하기 위해, 검사 프로세스 동안 파이프로부터 고정된 거리로 유지된다.

[0039] 도 1b는 본 시스템의 다른 구현예를 도시하는데, 여기서 시스템(100)은 모듈형 드론(또는 무인 항공기)(125)의 모듈로서 통합된다. 드론(125)은 사용자로 하여금 시스템(100)을 사용하여 파이프라인을 따른 위치의 CUI를 원격으로 검사할 수 있게 한다. 특정 실시예에서, 드론(125)은 또한, 정확하고 일관된 측정치를 보장하기 위해, 검사 동안에 파이프로부터 고정된 거리에 드론을 유지하고 드론의 깊이를 측정하도록 구성되는 거리 측정 장치(고도계)를 특징으로 할 수 있다. 거리 측정 장치는 시스템(100)과 동일한 모듈의 일부일 수 있거나, 또는 드론(125)에 부착된 별도의 모듈의 일부일 수 있다.

[0040] 하나 이상의 실시예에서, 시스템(100)은 마이크로파 빔 초점기(지향성 커플러)를 더 포함할 수 있다. 마이크로파 빔 초점기는 혼 안테나들(105 및 110)에 결합될 수 있고, 단일 설비 상의 특정 중요한 위치에 마이크로파를 포커싱하도록 구성된다. 벡터 네트워크 분석기(115)는 반사 계수를 측정하도록 구성될 수 있다. 벡터 네트워크 분석기(115)는 전압 정재파비(voltage standing wave ratio, VSWR)를 결정하기 위해 마이크로파의 입사 및 반사된 출력을 측정하고, VSWR을 검사 위치에서의 수분 존재 및/또는 벽 두께 손실과 상관시키도록 더 구성될 수 있다.

[0041] 적어도 하나의 다른 실시예에서, 시스템(100)은 수신기 혼 안테나 대신에 마이크로파에 민감한 카메라를 특징으로 할 수 있으며, 여기서 카메라는 송신된 마이크로파의 수신기로서 기능한다. 이 실시예에서, 카메라는, 프로그램된 프로세서에 의해, 전파 시간(time-of-flight) 계산을 위해 이동 중인(in flight) 마이크로파를 포착하는, 시간-분해된 이미징을 제공한다. 이 실시예에서 카메라는 또한, 3D 이미징을 단독으로 또는 프로그램된 프로세서와 함께 제공할 수 있다.

[0042] 또한, 이 실시예의 적어도 하나의 구현예에서, 마이크로파의 버스트(burst)를 방출하는 데에, 주파수 변조 연속파(FMCW) 센서와 같은 하나의 조명원이 사용된다. 이어서, 전파 시간 카메라는 마이크로파가 어떤 것으로부터 반사되어 카메라로 되돌아오는 데에 걸리는 시간을 추적한다. FMCW 센서에 의해 송신되는 신호는 일정하게 변하는 주파수로 퍼져 나간다. 그 후, 반사된 신호의 주파수는 그 순간에 송신된 신호의 주파수와 비교된다. 이러한 주파수들 사이의 차이는 센서로부터 설비의 표면까지의 거리에 비례한다. 짧은 결합(즉, 표면 결합 또는 피상적 결합)은 단지 짧은 파장만을 반사하는 반면, 더 긴(더 깊은) 결합은 전체 대역폭에 걸쳐 반사하므로, 전파 시간 카메라의 조명 대역폭은 이러한 더 긴(더 깊은) 결합을 식별할 수 있다. 즉, 더 짧은 결합들은 더 긴 파장들만큼 반사적이지는 않으므로, 이들은 전파 시간 카메라에서 보다 더 "청색"으로 나타나게 된다. 하나 이상의 구현예에 따르면, 적색, 녹색, 및 청색의 원색은 조명의 하부, 중간 및 상부 주파수 대역을 각각 나타낸다. 송신된 마이크로파의 신호 레벨들은, 수분 흡수 영역들 및 파이프 표면 형상으로부터의 반사 변화들로부터의 결과 스펙트럼과 비교하여, 측정되고 분석될 수 있다.

[0043] 하나 이상의 실시예에서, 시스템(100)은 벡터 네트워크 분석기(115), 전원(135)(예: 배터리), 및 컨트롤러(140)를 포함하는 하우징(130)을 포함할 수 있다. 전원(135)은 벡터 네트워크 분석기(115) 및 혼 안테나들(105, 110)에 출력을 전달하도록 구성될 수 있다. 적어도 하나의 구현예에서, 혼 안테나들(105 및 110)은 별개의 전원을 가질 수 있다.

[0044] 컨트롤러(140)는 하드웨어 프로세서(145), 메모리(150), 및 스토리지(155)를 포함하여, 시스템(100)의 다양한 동작을 가능하게 하는 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 구성요소로 배열될 수 있다. 프로세서(145)는 메모리(150)에 로드될 수 있는 소프트웨어 명령들을 실행한다. 프로세서(145)는 특정 구현예에 따라, 다수의 프로세서, 멀티-프로세서 코어, 또는 일부 다른 유형의 프로세서를 포함할 수 있다. 하나 이상의 실시예들에서, 컨트롤러(140)는 송신기 및 수신기 혼 안테나들(105, 110)뿐만 아니라, 벡터 네트워크 분석기(115) 및 적외선 검출기(120)에 동작 가능하게 접속(예: 유선 또는 무선 접속)되어, 컨트롤러(140)가 혼 안테나들(105/110), 벡터 네트워크 분석기(115) 및 적외선 검출기(120)의 다양한 동작들을 가능하게 할 수 있다.

- [0045] 하나 이상의 구현예들에서, 메모리(150) 및/또는 스토리지(155)는 비밀시적이고 프로세서(145)에 의해 접근 가능하며, 이에 의해 프로세서(145)가 메모리(150) 및/또는 스토리지(155)에 저장된 명령들을 수신하고 실행할 수 있게 한다. 메모리(150)는, 예를 들어 랜덤 액세스 메모리(RAM) 또는 임의의 다른 적절한 휘발성 또는 비휘발성 컴퓨터 판독가능 저장매체일 수 있다. 또한, 메모리(150)는 고정되거나 제거 가능할 수 있다. 스토리지(155)는 특정 구현예에 따라 다양한 형태를 취할 수 있다. 예를 들어, 스토리지(155)는 하드 드라이브, 플래시 메모리, 재기록 가능한(rewritable) 광 디스크, 재기록 가능한 자기 테이프, 또는 상기의 어느 조합과 같은 하나 이상의 구성요소 또는 장치를 포함할 수 있다. 또한, 스토리지(155)는 고정되거나 제거 가능할 수 있다.
- [0046] 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)은 (도 2에 도시된 바와 같이) 스토리지(155) 및/또는 메모리(150) 내에 인코딩된다. 소프트웨어 모듈들은 프로세서(145)에 의해 구현되거나 프로세서(145)에서 실행되는 명령들의 세트 또는 컴퓨터 프로그램 코드를 갖는 하나 이상의 소프트웨어 프로그램들 또는 애플리케이션들을 포함할 수 있다. 본원에 개시된 시스템들 및 방법들의 동작을 수행하고 측면들을 구현하기 위한 그러한 컴퓨터 프로그램 코드 또는 명령들은 하나 이상의 프로그래밍 언어들의 임의의 조합으로 작성될 수 있다. 프로그램 코드는, 독립(stand-alone) 소프트웨어 패키지로써 시스템(100) 상에서 전체적으로, 또는 시스템(100) 상에서 부분적으로 그리고 원격 컴퓨터/장치 상에서 부분적으로, 또는 그러한 원격 컴퓨터/장치 상에서 전체적으로, 실행될 수 있다. 후자의 시나리오에서, 원격 컴퓨터 시스템들은 근거리 네트워크(LAN) 또는 광역 네트워크(WAN)를 포함하는 임의의 유형의 네트워크를 통해 시스템(100)에 접속될 수 있거나, 또는 이러한 접속은 외부 컴퓨터(예: 인터넷 서비스 제공자를 사용하여 인터넷을 통해)를 통해 이루어질 수 있다.
- [0047] 하나 이상의 실시예에서, 소프트웨어 모듈들(160) 중에는 통신 모듈(165), 마이크로과 측정 모듈(170), 적외선 검출기 모듈(175), 및 프로세서(145)에 의해 실행되는 거리 측정 모듈(180)이 포함될 수 있다. 소프트웨어 모듈들(160)의 실행 동안, 프로세서(145)는 시스템(100)의 구성에 관한 다양한 동작들을 수행하도록 구성된다. 또한, 본 시스템들 및 방법들의 동작과 관련된 다른 정보 및/또는 데이터가, 예를 들어, 시스템(100)의 구성에 사용되는 다양한 제어 프로그램들이, 스토리지(155)에 저장될 수 있음에 유의해야 한다.
- [0048] 유사하게, 다른 실시예에서, 시스템(100)은, 시스템(100)의 다양한 기능들을 실행하기 위해 프로세서, 메모리, 통신 모듈, 마이크로과 측정 모듈, 적외선 검출기 모듈, 거리 측정 모듈(180), 및 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함하는 시스템의 동작을 가능하게 하는 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 구성요소들로 배열될 수 있는 컨트롤 모듈을 (컨트롤러(140) 대신에) 포함할 수 있다.
- [0049] 이제 도 3을 참조하면, 하나 이상의 실시예에 따른 단일 설비의 CUI를 검사하는 방법의 넓은 측면을 나타내는 루틴(300)(단계들 305-355)을 도시한 흐름도가 설명된다. 여기에 설명된 여러 논리적 동작들은 (1) 시스템(100) 상에서 실행되는 일련의 컴퓨터 구현예 동작들 또는 프로그램 모듈들로서, 및/또는 (2) 시스템(100) 내의 상호 접속된 기계 로직 회로들 또는 회로 모듈들로서 구현됨을 이해해야 한다. 구현예는 장치의 요구사항들(예: 크기, 에너지, 소비, 성능 등)에 따라 달라지는 선택의 문제이다. 따라서, 여기 설명된 논리적 동작들은 동작들, 단계들, 구조적 장치들, 작동들, 또는 모듈들로서 다양하게 지칭된다. 앞서 언급된 바와 같이, 이러한 동작들, 단계들, 구조적 장치들, 작동들 및 모듈들은 소프트웨어, 펌웨어, 특수 목적 디지털 로직, 및 이들의 임의의 조합으로 구현될 수 있다. 도면에 도시되고 여기 설명된 것보다 더 많거나 적은 동작들이 수행될 수 있음을 이해해야 한다. 이러한 동작들은 또한 여기 설명된 것들과 상이한 순서로 수행될 수 있다. 또한, 일부 동작들은 다른 동작들과 실질적으로 동시에 수행될 수 있다.
- [0050] 프로세스는 단일 설비 상의 검사를 위한 하나 이상의 위치가 식별되는 단계(305)에서 시작된다. 설비 상의 위치들은 예를 들어, 단일 설비 상에서 가장 취약한 영역들을 식별하기 위한 위험 평가 프로세스를 통해서와 같이, 다양한 방법으로 식별될 수 있다. 예를 들어, 수분이 축적된 "데드레그(dead leg)" 및/또는 그 근처의 연결부와 같은, 설비 상의 중요한 영역들이 검사를 위한 위치들로서 식별될 수 있다. 특정 구현예에서, 부식 엔지니어는 어디에서 부식을 검사할 지에 대한 도움을 제공할 수 있다.
- [0051] 단계(310)에서, 단일 설비의 금속 자켓 또는 클래딩은 검사를 위해 선택된 위치에서 제거된다. 특히, 선택된 위치에서 클래딩이 제거되는 동안, 제거된 클래딩 아래에 놓인 단열재는 제거되지 않으며, 따라서 선택된 위치에서 손상되지 않은 상태로 유지된다. 하나 이상의 구현예에서, 조작자 또는 검사자는 검사 전에 금속 클래딩을 기계적으로 제거할 수 있다.
- [0052] 단계(315)에서, 시스템(100)은 단일 설비 상의 선택된 위치에 위치된다. 특히, 송신기 및 수신기 혼 안테나들은 검사에 대비하여, 선택된 위치로부터 고정된 거리에 위치된다. 시스템(100)이 한 손 크기(handheld)인 구현예에서, 혼 안테나들은 스캐닝 홀더를 사용하여 선택된 위치로부터 고정된 거리에 유지될 수 있다. 시스템이 무인

항공기(드론) 상의 모듈로서 통합되는 구현예에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 거리 측정 모듈(180)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는, 단일 설비 상의 선택된 위치로부터 미리 결정된 거리에 유지되도록 드론을 구성시킨다.

- [0053] 단계(320)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는, 검사를 위해 선택된 위치를 향해 마이크로파를 송신하도록 송신기 혼 안테나(105)를 구성시킨다. 하나 이상의 구현예에서, 마이크로파는 약 1초/10 cm 로 송신된다. 전술한 바와 같이, 하나 이상의 구현예에서, 송신된 마이크로파는 전파(radio wave)이다. 또한, 적어도 하나의 실시예에서, 송신된 마이크로파는 약 30 MHz 내지 300 GHz의 범위의 주파수를 갖는다.
- [0054] 단계(325)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는, 선택된 위치에서 단일 설비로부터 반사된 후에 마이크로파를 수신하도록 수신기 혼 안테나(110)를 구성시킨다.
- [0055] 단계(330)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 송신 및 수신된 마이크로파를 분석하도록 벡터 네트워크 분석기(115)를 구성시킨다.
- [0056] 하나 이상의 실시예에서, 단계(330)는 도 4의 루틴에 도시된 바와 같이 하나 이상의 동작들을 포함할 수 있다. 도 4를 참조하면, 단계(330)는 단계들(405-420) 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 특히, 단계(405)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 송신기 안테나(105)에 의한 송신에서 마이크로파의 출력을 측정하도록 벡터 네트워크 분석기(115)를 구성시킨다. 단계(410)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 수신기 안테나(110)에 의한 수신 시에 마이크로파의 출력을 측정하도록 벡터 네트워크 분석기(115)를 구성시킨다. 그 후, 단계(415)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 송신된 마이크로파와 수신된(반사된) 마이크로파 사이의 출력 차이를 결정하도록 벡터 네트워크 분석기(115)를 구성시킨다.
- [0057] 전술한 바와 같이, 반사된 마이크로파와 송신된 마이크로파 간의 출력의 차이는 부식 또는 습기가 검사 영역에 존재하는지 판단하는 데에 도움을 주도록 사용된다. 특히, 물 매질은 마이크로파 에너지를 흡수할 수 있기 때문에, 송신된 마이크로파와 반사된 마이크로파 사이의 출력의 상당한 감소는 검사 영역에 물이 존재하는 신호인 것으로 판단될 수 있다. 이러한 신호는 사용자에게 표시될 수 있거나, 또는 시스템에 의한 부가적인 조치를 야기하여 CUI를 수리 및 예방하거나 교정하게 할 수 있다.
- [0058] 단계(420)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 송신기 혼 안테나(105)로부터 수신기 혼 안테나(110)까지 송신된 마이크로파의 신호 경로의 길이를 결정하도록 벡터 네트워크 분석기(115)를 구성시킨다. 송신된 마이크로파의 신호 경로의 길이는 선택된 검사 위치에서 유지되는 벽 두께 손실(만일 존재하는 경우)의 양을 결정하는 데에 사용되며, 여기서 벽 두께 손실은 CUI 또는 다른 부식을 나타낸다. 벡터 네트워크 분석기(115)는 송신된 마이크로파의 이동 거리의 함수로서 상기 반사된 신호 진폭 감소를 분석함으로써, 신호 경로의 길이를 결정하도록 구성된다. 그 후, 선택된 검사 위치에서의 이러한 측정들은 벽 두께 손실이 발생했는지를 판단하기 위해 (이하 더 설명되는 바와 같이) 기준 단일 설비의 측정치들과 비교될 수 있다.
- [0059] 도 3을 다시 참조하면, 단계(330)에서 송신되고 반사된 마이크로파의 출력을 분석함에 있어서, 벡터 네트워크 분석기(115)는 또한, 송신된 마이크로파의 주파수와 같은, 마이크로파의 다른 측면들을 분석하도록 구성될 수 있다. 벡터 네트워크 분석기(115)는 단계(330)에서, 선택된 위치에서의 파이프 표면의 변화, 송신기 안테나(105)와 수신기 안테나(110) 사이의 거리, 무선 주파수 전파 손실, 및 안테나 이득을 포함하는, 마이크로파의 측정에 영향을 미칠 수 있는 시스템(100) 및/또는 단일 설비의 특징들을 분석하도록 더 구성될 수 있다.
- [0060] 단계(335)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 적외선 검출기 모듈(175)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는, 단일 설비의 선택된 위치로부터 방출된 적외선을 검출하도록 적외선 검출기/카메라(120)를 구성시킨다. 단계(340)에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 적외선 검출기 모듈(175)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 적외선 검출기/카메라(120)로부터의 검출된 적외선 파에 기초하여 선택된 위치에서 단일 설비의 내부 표면의 적외선 이미지를 생성시킨다. 단일 설비 상의 선택된 위치의 적외선 이미지는 설비의 다른 부분에 비해 단일 설비의 특정 부분의 다양한 온도들(적외선 이미지 내에서 상이한 색상으로 도시됨)에 기초하여 잠재적인 CUI 및/또는 수분 축적의 검출을 허용할 수 있다. 특정 구현예에서, 단계들(335-340)은 단계들

(320-330)과 실질적으로 동시에 발생할 수 있다.

- [0061] 단계(345)에서, 단일 설비의 선택된 위치에서의 마이크로파 측정 및/또는 적외선 이미지는 물에 의해 부식되거나 손상되지 않은 보정된 기준 단일 설비의 마이크로파 측정 및/또는 적외선 이미지와 비교된다. 구체적으로, 하나 이상의 실시예에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 선택된 검사 위치에 대해, 반사된 마이크로파와 송신된 마이크로파 사이의 출력 차이를 기준 설비에 대한 동일한 출력 차이와 비교하도록 구성된다. 또한, 하나 이상의 실시예에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 마이크로파 측정 모듈(170)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는, 선택된 검사 위치에서 송신된 마이크로파의 신호 경로의 길이를 보정된 기준 설비의 신호 경로의 길이와 비교하도록 구성된다. 이러한 비교에서, 선택된 위치에 있는 마이크로파의 신호 경로가 기준 설비에 비해 더 길다면, 이는 선택된 위치에서의 벽 두께 손실을 의미한다. 반대로, 선택된 위치에서의 마이크로파에 대한 더 짧은 신호 경로는 기준 설비에 비해 더 큰 벽 두께를 나타낸다.
- [0062] 단계(345)에서, 하나 이상의 실시예에서, 하나 이상의 소프트웨어 모듈(160)(바람직하게는 적외선 검출기 모듈(175)을 포함)을 실행하는 프로세서(145)는 선택된 검사 위치의 적외선 이미지를 기준 설비의 적외선 이미지와 비교하도록 구성된다. 특정 구현예에서, 단계(345)는 컴퓨터로 구현되지 않으며, 따라서 보정된 기준 설비에 대한 비교는 사용자에 의해 완료될 수 있다.
- [0063] 단계(350)에서는, 선택된 위치에 CUI가 존재하는지에 대한 판단이 이루어진다. 이러한 판단은, 마이크로파의 분석(단계 330), 선택된 위치의 생성된 적외선 이미지(단계 340), 및/또는 선택된 위치에서의 측정들과 기준 설비의 측정들 간의 비교에 기초할 수 있다(단계 345).
- [0064] 단계(355)에서, 금속 자켓은 단일 설비 상의 선택된 위치에 재 설치된다. 하나 이상의 구현예에서, 조작자 또는 검사자는 검사 후에 금속 클래딩을 기계적으로 재설치할 수 있다. 특정 실시예에서, 재설치되는 금속 자켓(클래딩)은 단계(305)에서 제거된 금속 자켓과는 반대로, 다른(예: 새로운) 금속 자켓이다. 적어도 하나의 실시예에서, 재설치되는 금속 자켓은, 금속 자켓이 제거되는 동안 손상되지 않은 이상, 단계(305)에서 제거된 금속 자켓과 동일한 금속 자켓이다. 금속 자켓이 다시 설치된 후에, 단계(305)에서 검사를 위한 단일 설비 상의 다른 위치가 식별되면, 루틴은 단계(310)로 되돌아갈 수 있다.
- [0065] 전문한 설명의 대부분은 단일 설비의 CUI를 검사하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것임에도 불구하고, 본 명세서에 개시된 시스템 및 방법은 참조된 시나리오(예: 다른 유형의 손상에 대한 단일 설비의 검사)를 훨씬 뛰어넘는 시나리오, 상황, 및 설정에서 유사하게 배치 및/또는 구현될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 임의의 이러한 실행 및/또는 배치는 본 명세서에서 기재된 시스템 및 방법의 범위 내에 있음을 추가로 이해해야 한다.
- [0066] 도면들에서 유사한 숫자들은 여러 도면들을 통해 유사한 구성요소들을 나타내고, 도면들을 참조하여 설명되고 예시된 모든 구성요소들 및/또는 단계들이 모든 실시예들 또는 배열들에 대해 요구되는 것은 아님을 이해해야 한다. 여기에 개시된 시스템들 및 방법들의 실시예들, 구현예들, 및/또는 배열들은 여기 설명된 기능들 또는 동작들을 수행하도록 프로세서 및/또는 다른 구성요소들을 구성시키기 위해 컴퓨터 시스템 또는 컴퓨팅 장치의 프로세서에서 실행될 수 있는, 하드웨어, 펌웨어 및/또는 컴퓨터 사용가능 매체 상에 존재하는 소프트웨어 알고리즘, 어플리케이션, 프로그램, 모듈, 또는 코드(소프트웨어 모듈들 및 브라우저 플러그인을 포함)로서 포함될 수 있다. 적어도 하나의 실시예에 따르면, 실행되는 경우 본 개시의 방법들을 수행하는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램들, 모듈들, 및/또는 어플리케이션들은 단일 컴퓨터 또는 프로세서 상에 존재할 필요가 없고, 여기에 개시된 시스템들 및 방법들의 다양한 측면들을 구현하기 위해 다수의 상이한 컴퓨터들 또는 프로세서들 사이에 모듈 방식으로 분배될 수 있음을 알아야 한다.
- [0067] 따라서, 본 시스템들 및 방법들의 예시적인 실시예들 및 방안들은 부분적으로, 단일 설비의 CUI를 검사하기 위한 컴퓨터 구현 방법, 컴퓨터 기반 시스템 및/또는 컴퓨터 프로그램 제품을 제공한다. 도면들에서의 흐름도 및 블록도는 다양한 실시예들 및 배열들에 따른 시스템들, 방법들 및 컴퓨터 프로그램 제품들의 가능한 구현예들의 구조, 기능, 및 동작을 예시한다. 이와 관련하여, 흐름도 또는 블록도 내의 각각의 블록은 지정된 논리적 기능(들)을 구현하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 명령을 포함하는 모듈, 세그먼트, 또는 코드 부분을 나타낼 수 있다. 또한, 일부 다른 구현예에서, 블록에 기록된 기능들은 도면들에서 기록된 순서와 다르게 발생할 수 있음에 유의해야 한다. 예를 들어, 연속으로 도시된 2개의 블록은 사실상 실질적으로 동시에 실행될 수 있거나, 또는 관련된 기능성에 의존하여 블록이 때때로 역순으로 실행될 수 있다. 또한, 블록도 및/또는 흐름도 예시의 각각의 블록 및 블록들의 조합은 특정한 기능 또는 동작을 수행하는 특수 목적의 하드웨어 기반 시스템, 또는 특수 목적의 하드웨어 및 컴퓨터 명령어의 조합에 의해 구현될 수 있음을 유의해야 할 것이다.

[0068] 본 명세서에서 사용된 용어는 단지 특정 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 개시를 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 본원에 사용되는 바와 같이, 단수 형태 "a", "an" 및 "the"는 문맥상 명백하게 달리 나타내지 않는 한, 복수의 형태를 포함하는 것으로 의도된다. 본 명세서에서 사용될 때 "포함하는(comprising)" 및/또는 "포함한다(comprises)"이라는 용어는 언급된 특징들, 정수들, 단계들, 동작들, 요소들, 및/또는 컴포넌트들의 존재를 명시하지만, 하나 이상의 다른 특징들, 정수들, 단계들, 동작들, 요소들, 컴포넌트들, 및/또는 그들의 그룹의 존재 또는 부가를 배제하는 것은 아님을 또한 이해해야 할 것이다.

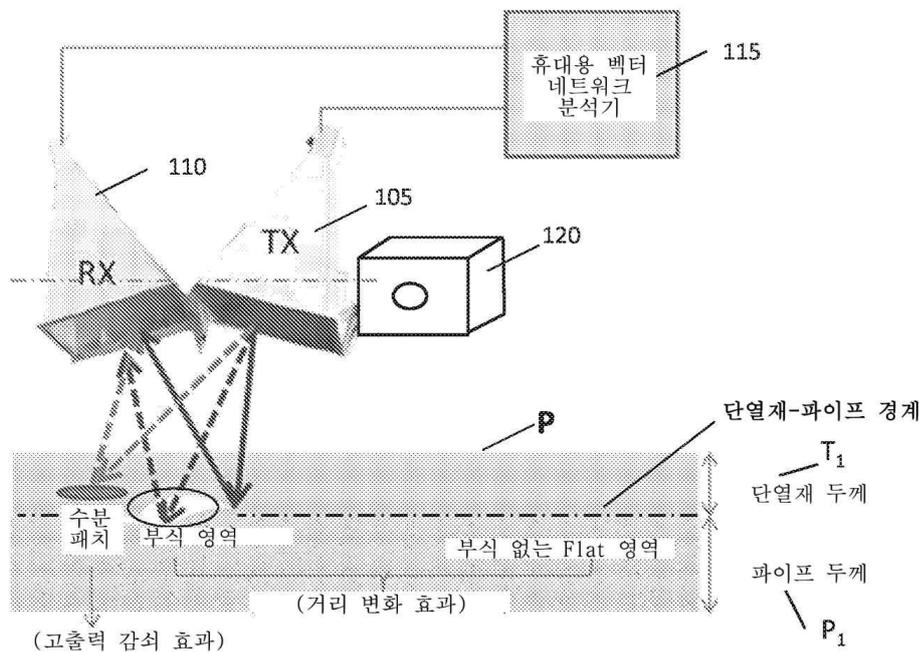
[0069] 또한, 본원에서 사용되는 어구 및 용어는 설명을 위한 것이며, 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다. 본원에서 "포함하는(including)", "포함하는(comprising)", "가지는(having)", "포함하는(containing)", "포함하는(involving)", 및 그 변형들을 사용하는 것은 그 뒤에 나열된 요소들과, 부가적인 요소들뿐만 아니라 그 균등물들을 포함(encompass)하는 것을 의미한다.

[0070] 전술된 주제는 단지 예시로서 제공된 것이며, 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 예시되고 설명된 예시적인 실시예들 및 응용들을 따르지 않고, 그리고 이하의 청구항들에 제시되는 본 개시의 진정한 사상 및 범위를 벗어남 없이, 여기에 설명된 주제에 다양한 수정들 및 변경들이 이뤄질 수 있다.

도면

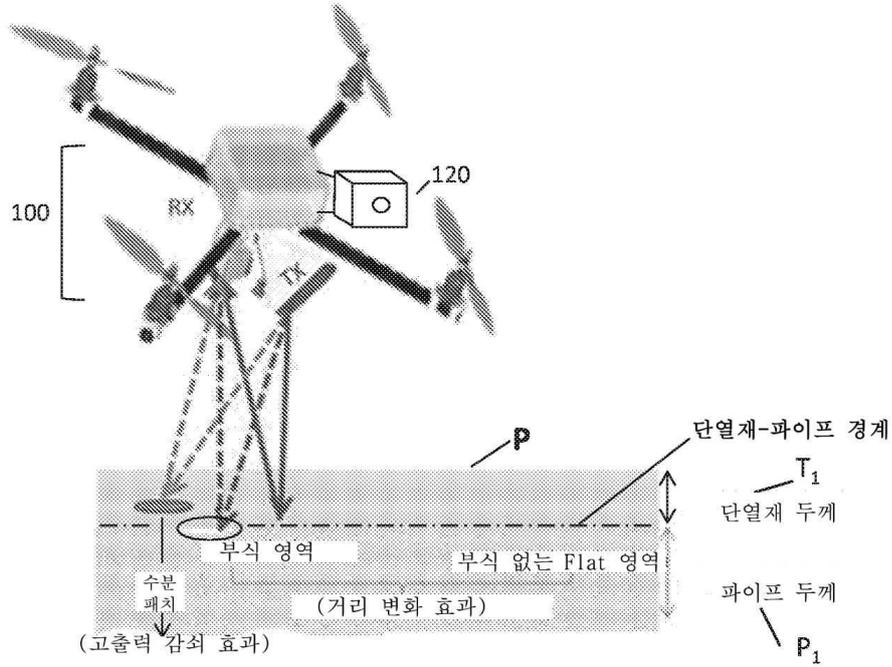
도면1a

100
↘



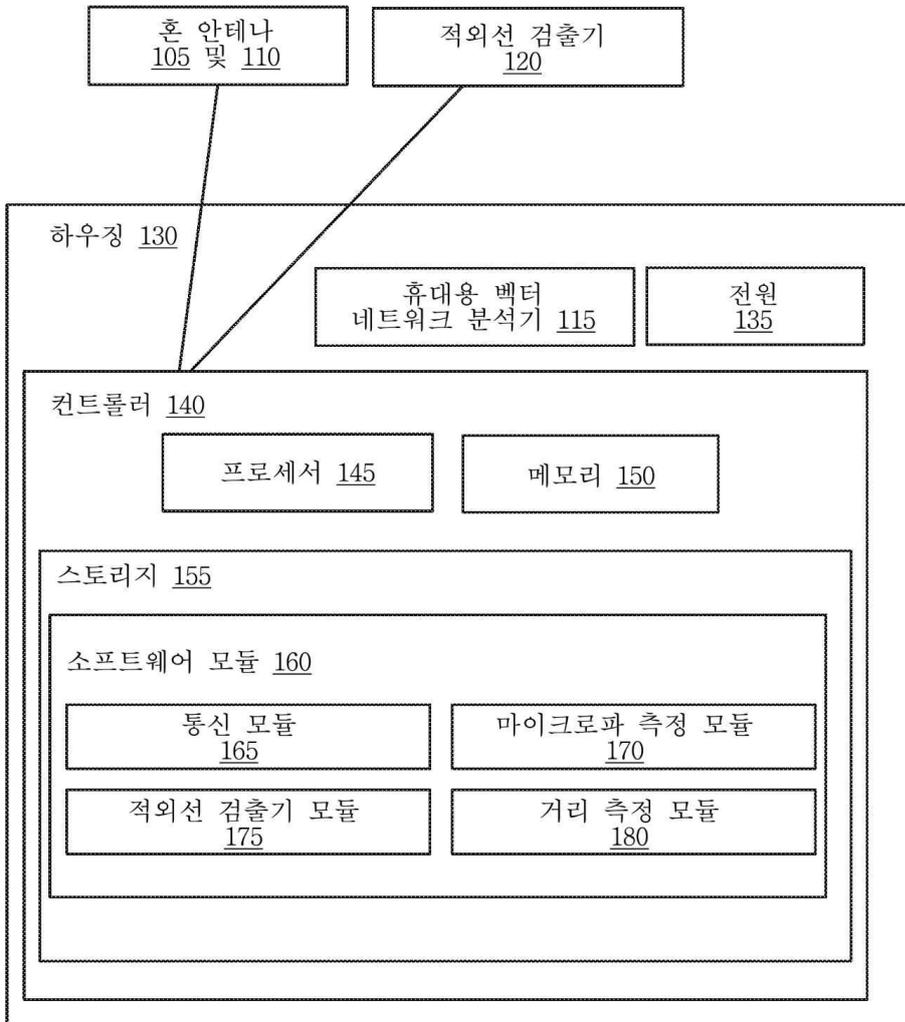
도면1b

125
↓

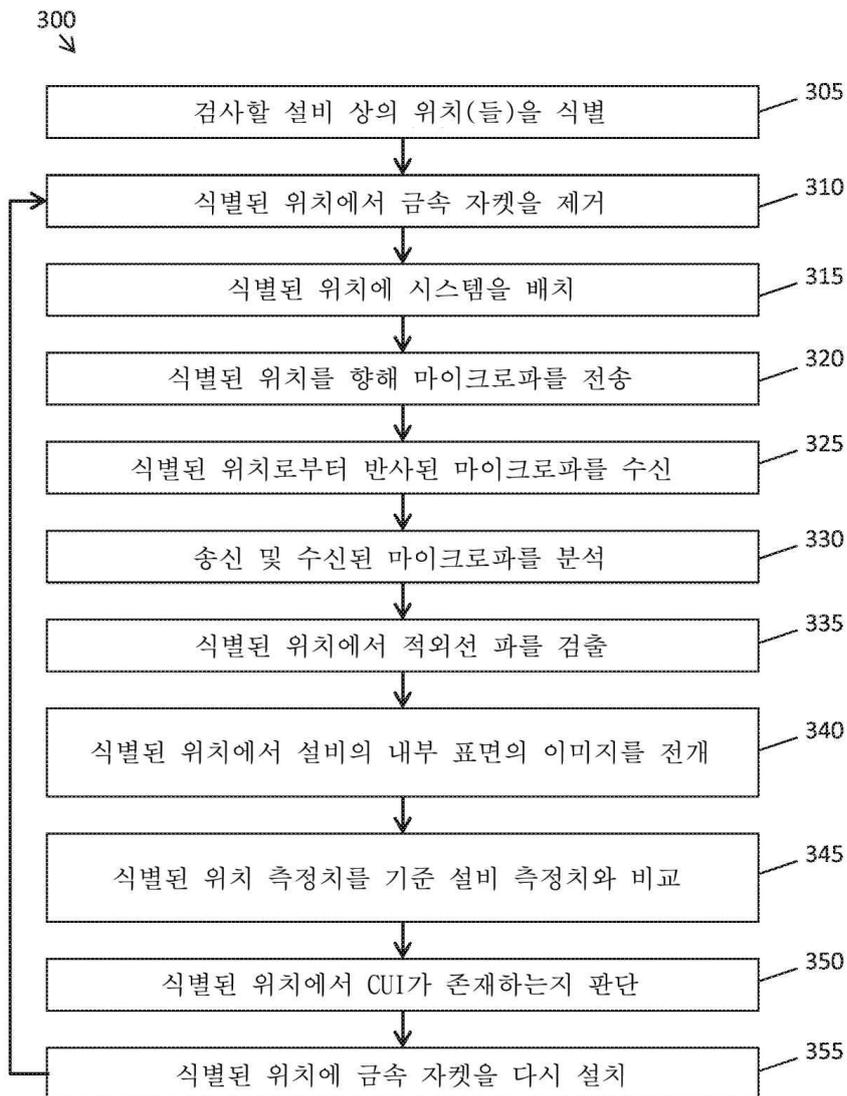


도면2

100
↓



도면3



도면4

330
↓

