



등록특허 10-2201552



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월12일  
(11) 등록번호 10-2201552  
(24) 등록일자 2021년01월06일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.) *B64F 5/00* (2017.01) *B64C 1/00* (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2014-0112160  
(22) 출원일자 2014년08월27일  
    심사청구일자 2019년07월11일  
(65) 공개번호 10-2015-0085770  
(43) 공개일자 2015년07월24일  
(30) 우선권주장  
    14/157,211 2014년01월16일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
    JP2011516694 A

- (73) 특허권자  
    더 보잉 컴파니  
    미국, 일리노이스 60606, 시카고, 100 노스 리버  
    사이드 플라자  
(72) 발명자  
    유진 에이. 덴-점보  
    미국, 일리노이 60606-2016, 시카고, 100 노스 리  
    버사이드 플라자  
(74) 대리인  
    강철중, 김윤배

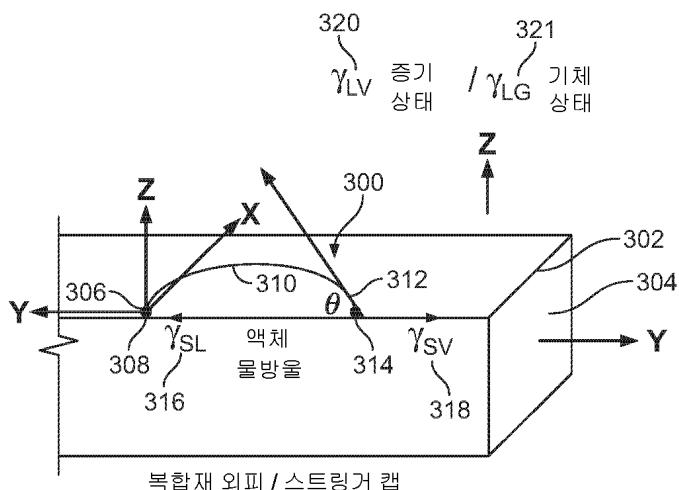
전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 오경흡

## (54) 발명의 명칭 복합재 구조물의 무결성을 결정하기 위한 방법 및 장치

**(57) 요 약**

복합재의 구조적 통합을 결정하기 위한 장치 및 방법이 여기에 개시된다. 항공기를 위한 복합재 구조물(202)의 구조적 통합의 충분성을 결정하기 위한 하나의 개시된 예시적 방법은, 복합재 구조물(202, 304)의 표면에 액체 물방울(300)을 인가하는 단계와, 표면과 물방울(300)의 부분 사이에서 3차원 접촉각(314, 342, 344)을 결정하는 단계, 3차원 접촉각(314, 342, 344)을 임계 각과 비교하는 단계, 및 비교를 기초로 복합재 구조물(202, 304)의 구조적 통합이 충분한가의 여부를 결정하는 단계를 포함한다.

**대 표 도** - 도3a

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법으로, 방법이:

복합재 구조물의 표면에 액체 물방울을 인가하는 단계와;

표면과 물방울의 부분 사이에서 3차원 접촉각을 결정하는 단계;

3차원 접촉각을 임계 각과 비교하는 단계; 및

비교를 기초로 본딩 강도가 충분한가의 여부를 결정하는 단계로서, 복합재 구조물의 표면과 액체 물방울의 부분 사이의 10도의 미리 결정된 임계 각 이하의 3차원 접촉각의 값이 미리 결정된 하중 지지 성능을 제공하도록 충분한 본딩 강도를 갖춘 복합재 구조물을 나타내는, 단계;를 갖추어 이루어지는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

본딩 강도가 충분할 때 어셈블리로 통합하기 위해 복합재 구조물을 선택하는 단계를 더 갖추어 이루어지는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

어셈블리로 복합재 구조물의 통합 후 본딩 강도가 충분할 때 복합재 구조물을 승인하는 단계를 더 갖추어 이루어지는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

#### 청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

임계 각 이하로 되는 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 충분한 본딩 강도를 나타내는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

#### 청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

임계 각 보다 더 크게 되는 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 불충분한 본딩 강도를 나타내는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

#### 청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

3차원 접촉각을 결정하는 단계가 물방울의 직경 및 체적을 측정하는 단계를 더 갖추어 이루어지는 것을 특징으

로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

### 청구항 7

제1항에 있어서,

물방울의 부분이 물방울의 머리 또는 꼬리를 구비하여 구성되는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

### 청구항 8

제7항에 있어서,

복합재 구조물이 비스말레이미드, 에폭시, 폴리아미드, 또는 열가소성을 갖추어 이루어는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

### 청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서,

임계 각 계산이 평형 상태에서 물방울의 증기 기체 상태에 기인하여 표면의 표면 장력의 구성요소를 포함하는 방정식을 이용해서 계산되는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

### 청구항 10

제1항에 있어서,

임계 각이 미리 결정된 하중 지지 성능을 기초로 계산되는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

### 청구항 11

제1항에 있어서,

액체 물방울을 인가하는 단계가 피펫(pipette) 또는 비행 증착(ballistic deposition)의 이용을 갖추어 이루어지는 것을 특징으로 하는 항공기를 위한 복합재 구조물의 본딩 강도를 결정하기 위한 방법.

### 청구항 12

항공기의 외피 표면 영역을 정의하는, 본딩된 복합재 구조물을 갖춘 외부 외피와;

지지 프레임; 및

지지 프레임에 대해 외부 외피를 부착하기 위해 복합재 구조물에 인가된 접착제;를 구비하여 구성되는 파스너를 요구하는 항공기 구성요소로서,

복합재 구조물이 외피 및 지지 프레임을 결합하는데, 외피 표면 영역의 제곱 피트 당, 평균하여, 0.50개 이하의 파스너로 지지 프레임에 대해 외부 외피의 접착제 부착을 가능하게 하도록 충분한 본딩 강도를 갖고, 복합재 구조물과 복합재 구조물의 표면에 인가된 액체 물방울의 부분 사이의 3차원 접촉각이 충분한 본딩 강도를 나타내는 10도의 미리-결정된 임계 각 이하인 것을 특징으로 하는 항공기 구성요소.

### 청구항 13

제12항에 있어서,

복합재 구조물이 항공기의 동체 바깥인 것을 특징으로 하는 항공기 구성요소.

### 청구항 14

저장된 명령을 갖춘 유형의 머신 판독가능 매체로서, 실행될 때, 머신이:

물방울의 측정된 직경 및 체적을 기초로 복합재 구조물의 표면 상에 위치된 물방울의 3차원 접촉각을 결정하고;

3차원 접촉각을 10도의 임계 각과 비교하고,

임계 각 이하로 되는 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 충분한 본딩 강도를 나타내고,

임계 각 보다 더 큰 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 불충분한 본딩 강도를 나타내며;

복합재 구조물이 충분한 본딩 강도를 갖는가의 여부를 출력하도록 하는; 것을 특징으로 하는 머신 판독가능 매체.

### 청구항 15

제14항에 있어서,

실행될 때, 머신이 추가로 물방울의 체적 및 직경을 측정하도록 하는 것을 특징으로 하는 머신 판독가능 매체.

### 청구항 16

제14항에 있어서,

실행될 때, 머신이 추가로 복합재 구조물의 문자간 표면 장력을 계산하도록 하는 것을 특징으로 하는 머신 판독가능 매체.

### 청구항 17

제16항에 있어서,

계산된 문자간 표면 장력은 평형 상태에서 물방울의 증기 기체 상태에 기인하여 표면의 표면 장력의 구성요소를 포함하는 방정식을 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 머신 판독가능 매체.

### 청구항 18

제16항에 있어서,

실행될 때, 머신이 추가로 문자간 표면 장력을 기초로 문자간 표면 장력 및 안전성의 팩터 중 하나 이상을 출력하도록 하는 것을 특징으로 하는 머신 판독가능 매체.

### 청구항 19

제14항에 있어서,

실행될 때, 머신이 추가로 3차원 접촉각이 충분한 본딩 강도를 나타낼 때 승인을 위한 구조적 사양을 발생시키

도록 하는 것을 특징으로 하는 머신 판독가능 매체.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 복합재에 관한 것으로, 특히 복합재 구조물(composite structures)의 무결성(integrity)을 결정하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0002] 운송수단(예컨대, 항공기, 자동차, 우주선, 미사일 등)에 이용된 복합재 구조물은 외피 층(skin layer)과 지지 층(support layer)(예컨대, 항공기에서의 보강재 층)으로 구성될 수 있다. 하중-지지 어플리케이션(load-bearing applications)에 있어서, 접착된 층 사이에서 구조적 통합의 충분함의 불확실성에 기인하여 외피 층 및 지지 층은 접착제(adhesive) 대신 또는 그에 부가하여 파스너(fasteners)를 매개로 주로 결합된다. 운송수단에서 복합재 구조물의 층을 결합하는데 파스너의 이용은 상당한 무게를 부가하고 및/또는 공기역학적 특성에 부정적으로 영향을 줄 수 있다(예컨대, 항력(drag)을 증가시킴). 부가적으로, 복합재 구조물에서 파스너의 이용은 상당한 제조 비용(예컨대, 시간, 부품 및 노동력)을 요구할 수 있다.

#### 발명의 내용

##### 해결하려는 과제

[0003] 본 발명은 상기한 점을 감안하여 발명된 것으로, 복합재 구조물의 무결성을 결정하기 위한 방법 및 장치를 제공함에 그 목적이 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0004] 본 발명은 항공기를 위한 복합재 구조물의 구조적 통합의 충분성을 결정하기 위한 예시적 방법을 제공하고, 이는 복합재 구조물의 표면에 액체 물방울을 인가하는 단계와, 표면과 물방울의 부분 사이에서 3차원 접촉각을 결정하는 단계, 3차원 접촉각을 임계 각과 비교하는 단계, 및 비교를 기초로 복합재 구조물의 구조적 통합이 충분한가의 여부를 결정하는 단계를 포함한다. 바람직하기는, 임계 각은 미리 결정된 하중 지지 성능을 기초로 계산되고, 액체 물방울을 인가하는 단계는 피펫(pipette) 또는 비행 증착(ballistic deposition)의 이용을 갖추어 이루어진다.

[0005] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 더 적은 파스너를 요구하는 개선된 항공기 구성요소가 제공된다. 항공기 구성요소는 항공기의 외피 표면 영역을 정의하는 본딩된 복합재 구조물을 갖춘 외부 외피와, 지지 프레임, 및 지지 프레임에 대해 외부 외피를 부착하기 위해 복합재 구조물에 인가된 접착제를 포함한다. 복합재 구조물은 외피 및 프레임을 결합하는데, 외피 표면 영역의 제곱 피트 당, 평균하여, 0.50개 이하의 파스너로 지지체에 대해 외부 외피의 접착제 부착을 가능하게 하도록 충분한 구조적 통합을 갖고, 복합재 구조물과 복합재 구조물의 표면에 인가된 액체 물방울의 부분 사이의 3차원 접촉각이 약 10도의 미리 결정된 임계 각 이하이다.

[0006] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 저장된 명령을 갖는 예시적 유형의 머신 판독가능 매체가 개시되고, 실행될 때, 물방울의 측정된 직경 및 체적을 기초로 복합재 구조물의 표면 상에 위치된 물방울의 3차원 접촉각을 계산하고, 3차원 접촉각을 임계 각과 비교하도록 머신을 야기시킨다. 임계 각 이하의 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 충분한 구조적 통합을 나타낸다. 임계 각 보다 더 큰 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 불충분한 구조적 통합을 나타낸다. 실행될 때, 명령은 또한 복합재 구조물이 충분한 구조적 통합을 갖는가의 여부를 출력하도록 머신을 야기시킨다. 바람직하기는, 실행될 때, 머신 판독가능 매체는 물방울의 체적 및 직경을 측정하도록 머신을 더욱 야기시키고, 복합재 구조물의 문자간 표면 장력을 계산하도록 머신을 더욱 야기시킨다. 계산된 문자간 표면 장력은 평형 상태에서 물방울의 증기 기체 상태(vapor gaseous phase)에 기인하여 표면의 표면 장력의 구성요소를 포함하는 방정식을 이용하여 결정된다. 특히, 실행될 때, 머신 판독가능 매체는 문자간 표면 장력을 기초로

분자간 표면 장력 및 안전성의 팩터 중 하나 이상을 출력하도록 머신을 더욱 야기시키고, 3차원 접촉각이 충분한 구조적 통합을 나타낼 때 승인을 위한 구조적 사양을 발생시키도록 머신을 더욱 야기시킨다.

## 도면의 간단한 설명

[0007]

도 1은 여기서 개시된 실시예가 구현될 수 있는 예시적 항공기를 나타낸다.

도 2는 여기에 개시된 예가 구현될 수 있는 복합재 구조물을 갖춘 예시적 항공기 날개의 절취도이다.

도 3a는 본 발명의 교시에 따른 복합재 구조물 상의 동적 물방울(dynamic droplet)의 전체 로프트(loft)의 도면이다.

도 3b는 도 3a의 물방울의 단면도이다.

도 4는 전형적인 복합재 외피(composite skin)의 예시적 분자 구조(molecular structure)를 나타낸다.

도 5는 비스말레이미드 복합재 구조물(bismaleimide composite structure) 내의 불소 오염(fluorine contamination)을 복합재 구조물의 표면 상에 증착된 물방울의 접촉각(contact angle)과 관련시키는 그래프이다.

도 6은 예폭시 복합재 구조물(epoxy composite structure) 내의 불소 오염을 복합재 구조물의 표면 상에 증착된 물방울의 접촉각과 관련시키는 다른 그래프이다.

도 7은 복합재 구조물의 표면 준비(surface preparation) 후 분자 구성(molecular composition)을 결합 에너지(binding energy)와 관련시키는 그래프이다.

도 8은 개시된 예를 구현하는데 이용될 수 있는 예시적 복합재 분석 장치(composite analyzing apparatus)이다.

도 9는 도 8의 복합재 분석 장치를 구현하는데 이용될 수 있는 예시적 방법을 나타내는 플로우차트이다.

도 10은 도 9의 방법을 구현하기 위해 기계 판독가능 명령(machine readable instructions)을 실행할 수 있는 예시적 프로세서 플랫폼(processor platform)의 블록도이다.

가능한한, 동일한 참조부호가 동일하거나 같은 부품에 대해 언급하도록 도면(들) 및 부수되는 설명을 통해 이용될 것이다. 본 발명에서 이용되는 바와 같이, 소정 부품(예컨대, 층(layer), 필름(film), 영역(area), 또는 판(plate))이 소정의 방법으로 다른 부품 상에 위치(예컨대, 위에 위치, 위에 설치, 위에 배치, 위에 형성 등)함을 언급하는 것은, 참조 부품이 다른 부품과 접촉에 있거나, 참조 부품이 그들 사이에 설치된 하나 이상의 매개 부품(들)(intermediate part(s))과 함께 다른 부품 위에 있음을 의미한다. 소정 부품이 다른 부품과 접촉에 있음을 언급하는 것은 2개의 부품 사이에서 매개 부품이 없음을 의미한다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008]

하중-지지 복합재 구조물의 접착 층(adhered layers)을 결합시키는 다수의 파스너를 제거하거나 상당히 감소시키기 위한 방법 및 장치가 여기에 개시된다. 여기에 개시된 예는 복합재 구조물의 층을 함께 유지하기 위해 주로 파스너에 의존하는 복합재 구조물에 비해 무게, 복잡성, 비용, 제조 시간, 및 관련된 수리/보증 비용의 감소를 허용한다. 복합재 구조물은 파스너 및/또는 접착제를 매개로 함께 결합된 2 이상의 재료(예컨대, 층 등)로 구성된다. 층을 결합하기 위해 접착제 단독의 이용은 층이 충분한 구조적 통합을 갖는가의 여부에 대해 불확실성을 초래할 수 있다. 예컨대, 층은 복합재 구조물이 하중-지지 어플리케이션에서 이용될 수 있도록 서로에 대해 충분하게 본딩되지 않을 수 있다. 예컨대, 불소(fluorine)와 같은 오염이 층의 구조적 통합을 감소시킬 수 있다. 하중-지지 어플리케이션(예컨대, 항공기 또는 다른 운송수단)에 있어서, 구조적 통합의 불확실성은 복합재 구조물 층의 충분한 전체 강도 및/또는 결합을 보증하기 위해 기계적 파스너(예컨대, 나사(screws), 리벳(rivets) 등)의 부가적 또는 대규모 이용을 필요로 할 수 있다. 파스너의 이용, 특히 복합재 구조물의 충분한 강도를 보증하기 위해 파스너가 매우 가까운 간격으로 공간지워지는 어플리케이션에서는, 복합재 구조물의 무게를 상당히 증가시킬 수 있다. 부가적으로, 파스너의 이용은 종종 상당한 어셈블리 시간, 부품 비용, 및/또는 제조 동안의 노력을 요구한다.

[0009]

어셈블리 이전에 각 복합재 구조물의 구조적 통합의 충분함을 결정하는 것은 이를 복합재 구조물이 파스너를 비교적 적게 갖거나 없음을 가능하게 하고, 예컨대 항공기 또는 다른 운송수단과 같은, 하중-지지 어플리케이션에

서 이용되어질 수 있도록 한다. 항공기에 있어서, 예컨대 항공기로 그들의 어셈블리 이전에 복합재 구조물 층의 구조적 통합의 충분함을 결정하는 것은 복합재 구조물의 층을 함께 유지하는 파스너를 적게 갖추거나 없는 본딩된(예컨대, 접착된) 외부 동체 바깥 복합재 구조물(예컨대, 날개, 펀(fins), 베텀대(struts) 등)의 이용을 가능하게 한다. 예컨대, 날개 구조물은 적거나 없는 파스너로 지지 구조(예컨대, 보강재)에 외부 외피(external skin)를 접착 결합시키는 것 또는 부착시키는 것을 갖을 수 있다. 예컨대, 각 날개 구조물을 위한 부착된 층의 구조적 통합을 테스트하는 것은 각 날개 구조물 또는 충분한 강도를 위한 개별적으로 소정의 다른 적절한 복합재 구조물을 승인하고, 따라서 최종 어셈블리 통합에 대한 용인에 대해 이용될 수 있다.

[0010] 본 발명의 교시에 따르면, 예시적 방법이 최종 어셈블리로 이들 복합재 구조물의 이용 및/또는 어셈블리 이전에 복합재 구조물의 부착 또는 본딩된 층의 구조적 통합의 충분함을 결정하는데 이용될 수 있다. 이 결정은 하중-지지 어플리케이션에 이용하기 위해 적거나 없는 파스너를 갖춘 개별 본딩된 복합재 구조물의 이용 및/또는 승인을 허용한다. 이러한 결정을 하기 위해, 평가되어지는 복합재 구조물의 표면 상으로 기본적으로 중착된 동적 물방울(dynamic droplet)은, 예컨대 피펫(pipette)에 의해 인가될 수 있다. 동적 액체 물방울(dynamic fluid droplet)의 표면 로프트(surface loft)의 3차원 벡터와 복합재 구조물의 표면 사이의 각도인, 물방울의 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 표면 장력(surface tension)을 나타낸다. 즉, 벡터는 복합재 구조물의 표면에 관하여 3차원으로 구성요소를 갖는다. 대안적으로, 접촉각(contact angle)은 물방울의 2차원 단면 측정에 의해 정의될 수 있다. 3차원 접촉각은, 예컨대 대응하는 강도 요구를 기초로 할 수 있는 임계 각(threshold angle)에 대해 결정되고 비교될 수 있다. 복합재 구조물의 구조적 통합의 충분함은 비교에 의해 나타내어질 수 있다. 예컨대, 3차원 접촉각이 임계 각 이하이면, 복합재 구조물의 충분한 구조적 통합이 있게 된다. 물방울의 3차원 접촉각은, 예컨대 복합재 구조물의 표면 상으로 최적된 물방울의 체적(volume) 및/또는 직경(diameter)을 측정하는 것에 의해 측정 및/또는 계산될 수 있다.

[0011] 이하 더욱 상세히 설명되는 바와 같이, 복합재 구조물 상의 3차원 물방울 접촉각의 결정은 최종 어셈블리 이전에 각 복합재 구조물의 구조적 통합의 충분함의 평가를 가능하게 한다. 항공기의 예에 있어서, 본딩된 복합재 구조물을 갖춘 외부 외피는 하중-지지 복합재 구조물을 정의하기 위해 지지 프레임(support frame)에 부착될 수 있고, 외부 외피의 복합재 구조물은 구조적으로 물방울을 매개로 검증될 수 있다. 이 검증(verification)은 복합재 구조물이 함께 복합재 층을 결합하는 적은 파스너를 갖거나 없도록 할 수 있다. 몇몇 예에 있어서, 복합재 구조물은 최종 어셈블리 통합 이전에 테스트된다. 따라서, 불충분한 구조적 통합을 갖도록 결정된 복합재 구조물은 최종 어셈블리 이전에 재가공 및/또는 거부될 수 있고, 그에 의해 어셈블리되는 것으로부터 불충분한 구조적 통합을 구비하는 복합재 구조물을 방지한다. 결과적으로, 불충분한 구조적 통합을 구비하는 복합재 구조물의 어셈블리 후 잠재적 수리 및/또는 재가공에 대한 절약이 실현될 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 테스트 물방울은 복합재 구조물의 강도(예컨대, 측정되거나 계산된 3차원 물방울 접촉각을 기초로 하는 수치값)를 양적으로 결정하는데 이용될 수 있다.

[0012] 여기에 개시된 예를 이용하는 것은, 복합재 층을 결합하는데, 외피 표면 영역(skin surface area)의 제곱 피트 당, 평균하여, 0.50개 이하의 파스너를 갖도록 프레임(frame)에 본딩된 외부 외피의 하중-지지 복합재 구조물을 가능하게 한다. 몇몇 예에 있어서, 복합재 구조물은 지지 프레임에 복합재 구조물을 단지 접착제 본딩(adhesive bonding)만으로 최종 어셈블리로 통합될 수 있다. 본딩된 날개 복합재 구조물의 예에 있어서, 복합재 구조물과 지지 프레임을 함께 결합시키는데 이용된 파스너의 수의 감소는 알려진 날개 어셈블리에 비해 60-70%의 대응하는 무게 감소를 초래할 수 있다. 부가적으로, 이용된 파스너의 수의 감소는 또한 외피 표면의 상당히 증가하는 평탄함(smoothness)(예컨대, 표면 평탄성(surface flatness))에 의해 공기역학적 어플리케이션(예컨대, 날개 등)에 이용된 복합재 구조물에 대한 항력 계수(drag coefficient)와 같은 공기역학적 팩터(aerodynamic factors)를 또한 개선할 수 있다.

[0013] 도 1은 여기에 개시된 예가 구현될 수 있는 동체(fuselage; 106)에 부착된 안정판(stabilizers; 102) 및 날개(wings; 104)를 갖춘 예시적 항공기(100)의 실례이다. 여기에 개시된 예는 안정판(102), 날개(104) 및/또는 동체(106)의 소정의 다른 외부 또는 동체 바깥 구조물(예컨대, 수평 안정판, 날개 베텀대, 엔진 베텀대, 커나드 안정판(canard stabilizer) 등) 중 어느 것에 적용될 수 있다. 예컨대, 날개(104) 및/또는 안정판(102)은 본딩 표면이 내부 지지 프레임에 부착될 수 있는 복합재 구조물로 이루어진 외부 외피를 갖출 수 있다. 상기한 바와 같이, 부착된 복합재 구조물은 주로 구조적 통합을 위해 파스너에 의존하는 복합재 구조물에 비해 상당한 무게 절약을 허용할 수 있다. 항공기가 도시되는 동안, 계시된 예는 하중-지지 복합재 구조물이 이용되는 소정의 운송수단 또는 소정의 다른 시나리오에 적용될 수 있다.

[0014] 도 2는 여기에 개시된 예가 구현될 수 있는 복합재 구조물(202)을 구비하는 예시적 항공기 날개(200)의 절취도

이다. 외부 외피(external skin; 204)는, 보강재(206)(예컨대, 지지 프레임)에 결합되고 그를 에워싸는, 복합재 구조물(202)을 지지하도록 패턴으로 배열된, 본딩된 복합재 구조물(202)을 포함한다. 보강재(206)가 대응하는 가로보(cross-beams)를 구비하는 규칙적 패턴으로 도시되는 한편, 불규칙적으로 공간지워진 패턴, 또는 각진 패턴(angled pattern) 등으로 배열될 수 있다. 전형적으로, 날개(200)에 의해 마주친 작동 부하(operational loads)를 견디는데 충분한 구조적 강성(rigidity)을 제공하기 위해, 보강재(206)가 다양한 파스너를 매개로 외부 외피(204)에 결합된다. 이들 파스너는 외부 외피(204)와 보강재(206) 사이에서 충분한 결합을 보증하기 위해 비교적 가까운 간격(close intervals)으로 일반적으로 공간지워지고, 그에 의해 복합재 구조물(202)이 충분한 전체 기계적 강도를 갖도록 할 수 있다. 그러나, 도 2의 예에 있어서, 외부 외피(204)를 형성하는 복합재 구조물(202)은 외부 외피(204)가 파스너 대신 접착제에 의해 주로 보강재(206)에 결합될 수 있도록 충분한 구조적 통합(또는 분자간 동적 힘(intermolecular dynamic forces))을 갖고, 따라서 무게에서 상당한 감소를 제공한다(예컨대, 구조물에서 60-70% 무게 감소). 복합재 구조물의 표면과 복합재 구조물의 표면에 인가된 액체 물방울의 부분 사이의 3차원 접촉각이 소정의 임계 각 이하일 때, 복합재 구조물(202)은 바람직하기는, 외피 표면 영역의 제곱 피트 당 0.50개 이하의 파스너로, 지지 프레임에 외부 외피의 접착제 부착을 가능하게 하기 위해 충분한 구조적 통합을 갖는다. 부가적으로, 파스너의 수의 감소는 또한 파스너에 의해 야기된 외피 마찰(skin friction)을 감소시키는 것에 의해 더 큰 공기역학적 성능을 허용할 수 있다. 파스너의 수의 이러한 감소 또는 그 제거는 또한 부품 비용, 제조 시간, 노동력 등을 절약하는 것을 허용할 수 있다.

[0015]

몇몇 경우에 있어서, 복합재 구조물의 형성은 복합재 구조물의 부분적인 또는 불충분한 구조적 통합을 초래할 수 있고, 이는 복합재 구조물의 본딩 표면의 오염(contamination)에 기인할 수 있다. 최종 어셈블리(예컨대, 통합) 이전에 복합재 구조물의 검증은 어셈블리되는 것으로부터 불충분한 구조적 통합 및 하중 지지 강도를 방지할 수 있고, 따라서 재가공 및/또는 수리에 대한 노력을 감소시키고 및/또는 제거한다. 예컨대, 검증은 날개(200)의 부착부(208)가, 예컨대 파스너, 본딩, 또는 소정의 다른 적절한 부착 방법의 이용에 의해 항공기의 동체 상으로 통합되어지기 이전에 야기될 수 있다. 복합재 구조물이 운송수단(예컨대, 항공기, 자동차 등)의 메인 또는 최종 어셈블리로 통합되기 이전의 검증은 운송수단의 하중-지지 복합재 구조물이 외피 및 프레임을 결합하는데, 외피에 의해 정의된 표면 영역의 제곱 피트 당, 평균하여, 0.50개 이하의 파스너를 갖도록 할 수 있다.

[0016]

도 3a는 본 발명의 교시에 따른 복합재 구조물(304)의 복합재 외피 표면(302) 상의 동적 물방울(300)의 전체 로프트(예컨대, 기하학적 배열)의 도면이다. 좌표 축(306)은 3차원 축을 도시한다. 물방울(300)은 복합재 구조물(304)이 복합재 층의 충분한 구조적 통합을 갖는가의 여부를 결정하는데 이용된다. 물방울(300)은 외피 표면(302) 상에 인가(예컨대, 증착)되고, 이는 퍼펫 또는 증착의 소정의 다른 적절한 수단을 통해 야기될 수 있다. 물방울(300)의 체적은 물방울(300)이 증착됨에 따라 측정될 수 있거나 인가된 액체의 알려진 양을 기초로 할 수 있다.

[0017]

물방울(300)의 기하학적 배열은 복합재 구조물(304)의 구조적 통합의 정도를 나타낸다. 물방울(300)은 머리(308), 중심(310) 및 꼬리(312)를 포함한다. 꼬리(312)는 꼬리(312)의 3차원 로프트의 벡터와 표면(302) 사이에서, 기호  $\Theta$ 에 의해 표시되는, 3차원 접촉각(314)을 정의한다. 3차원 접촉각(314)은 복합재 구조물(304)의 분자간 힘(intermolecular forces) 및/또는 복합재 구조물(304)의 안전 마진(margin of safety)(예컨대, 안전 팩터(factor of safety))을 결정하는데 이용될 수 있는 동적 각도(dynamic angle)이다. 대안적으로, 3차원 접촉각(314)은 물방울(300)의 2차원 단면 측정에 의해 정의될 수 있다. 물방울(300)은 물방울(300) 상에서 작용하는 여러 힘에 대응하는 표면 장력 힘 벡터(surface tension force vectors)를 갖는다. 기호  $\gamma_{SL}$ 에 의해 표시되는, 고체 액체 인장력 벡터(solid liquid tension force vector; 316)는 표면(302)과 물방울(300)간의 인장력(tension force)을 나타낸다.  $\gamma_{SL}$ 는 표면(302) 상의 물방울(300)의 계면 표면 장력 힘(interfacial surface tension force)이다. 기호  $\gamma_{SV}$ 로 표시되는, 고체 증기 인장력 벡터(solid vapor tension force vector; 318)는 표면(302)과 물방울(300)의 증기 성분(vapor component) 간의 표면 장력 힘(surface tension force)을 나타낸다. 각각  $\gamma_{LV}$  및  $\gamma_{LG}$ 로 표시된 인장력 벡터(320, 321)는 액체 증기(liquid vapor) 및 액체 가스 힘(liquid gas forces)을 나타낸다.  $\gamma_{LG}$ 는 액체 물방울(300)의 기체 상태(gaseous phase)와 평형으로 되는 물방울(300)에 기인하는 표면(302)의 표면 장력 힘이다. 더 보잉 컴파니(The Boeing Company)에 의해 개발된 변형된 영의 방정식(Young's equation)인, 이하의 식 1은 복합재 구조물과 물방울 간의 표면 장력 힘을 계산하기 위해 친수성 부분(hydrophilic portion)을 설명하도록 기체 상태(gaseous phase),  $\gamma_{LG}$ 를 포함한다.

[0018]

$$\gamma_{SV} = \gamma_{S} - \pi_S = \gamma_{LV} \cos \Theta + \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \quad (1)$$

[0019]  $\pi_s$ 는 복합재 표면(302) 상에 증착된 물방울(300)의 평형 확산 압력(equilibrium spreading pressure)을 나타내는 용어이다. 식 1이 상기한 인장력의 예시적 관계를 나타내는 한편, 다른 식이 표면 장력 힘 및/또는 3차원 접촉각을 관련시키는데 이용될 수 있다.

[0020] 도 3b는 도 3a의 물방울(300)의 단면도이다. 이 도면은 액체 물방울(300)의 9가지 자유도를 나타낸다.  $\gamma_{SL}$ 에 의해 표시된, 고체 액체 인장력 벡터(316)의 방향성 벡터 성분(324, 326, 328)은, 좌표 축(306)에 의해 나타내어진, 방향 x, y 및 z에 각각 대응한다.  $\gamma_{LG}$ 에 의해 표시된, 액체 가스 인장력 벡터(316)의 방향성 벡터 성분(330, 332, 334)은, 좌표 시스템(306)에 의해 나타내어진, 방향 x, y 및 z에 각각 대응한다.  $\gamma_{SG}$ 에 의해 표시된, 고체 가스 인장력 벡터(316)의 방향성 벡터 성분(336, 338, 340)은, 또한 방향 x, y 및 z에 각각 대응한다. 기호  $\Theta_c$ 에 의해 표시된, 3차원 접촉각(342)은 복합재 구조물(304)에서 기계적 통합의 충분함을 결정하기 위해 임계 각과 비교될 수 있는 물방울(300)의 꼬리(312)에서의 3차원 각도이다. 몇몇 예에 있어서, 약 10도 이하인 임계 각은 충분한 기계적 통합을 나타낸다. 3차원 접촉각(342)은 물방울(300)의 머리(308)에서 3차원 접촉각(344) 보다 더 크다. 3차원 접촉각(342, 344) 사이의 이 차이는 외피 표면(302) 상의 물방울(300)의 기하학적 및/또는 회전 견드림(rotational perturbation)에 기인하는 것이다. 식 2(예컨대, 비커먼 방정식(Bikerman equation))의 이용은, 서로 관련되어지도록, d에 의해 표시된, 직경(346)과, V에 의해 표시된, 상기한 물방울(300) 체적, 및  $\Theta_c$ 에 의해 표시된 3차원 접촉각(344)을 허용한다.

$$\frac{d^3}{V} = \frac{24 \sin^3 \theta_c}{\pi(2-3 \cos \theta_c + \cos^3 \theta_c)} \quad (2)$$

[0021]

[0022] 식 2는, 예컨대 물방울(300)의 직경(346) 및 알려진 체적을 기초로 3차원 접촉각(344)을 계산하는데 이용될 수 있다. 반대로, 3차원 접촉각(344)은 직경 또는 물방울 체적을 계산하는데 이용될 수 있다. 식 1 및 2는, 이에 한정되는 것은 아니지만, 3차원 접촉각, 임계 각, 액체 방울 직경(fluid drop diameter), 액체 방울 체적 및/또는 스트레스 기준(stress criteria) 등을 포함하는 변수(variables)의 소정 조합을 관련시키는데 이용될 수 있는 예시적 계산이다. 다른 식 및/또는 관련이 복합재 구조물의 충분한 구조적 통합에 상기한 변수를 관련시키는데 이용될 수 있다.

[0023] 몇몇 예에 있어서, 임계 각은 본딩된 복합재 구조물의 접합면(faying surface) 상으로 시뮬레이션된 액체 물방울의 증착을 모델링하는 것에 의해 결정될 수 있다. 시뮬레이션된 물방울의 머리 및 꼬리에서의 힘 성분 및/또는 복합재 구조물과 시뮬레이션된 물방울 사이의 표면 장력 힘은, 예컨대 작동력 요구(operational force requirement)에 대응하는 복합재 구조물의 필수적인 본딩된 강도를 이용해서 해결될 수 있다. 이 결정은, 예컨대 식 1과 같은 변형된 영의 방정식을 이용해서 이루어질 수 있다. 임계 각은, 이에 한정되는 것은 아니지만, 복합재 구조물의 스트레스 기준, 작동 부하(operational loads), 물방울의 형태, 물방울 테스트 조건, 식 1과 같은 변형된 영의 방정식, 비커먼 방정식(예컨대, 식 2) 등의 소정 조합을 이용하는 것에 의해 계산될 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 경험적 방법이 임계 각을 결정하는데 이용될 수 있다. 예컨대, 임계 물방울 접촉각은 (예컨대, 필수적인 강도 기준과 부합되도록 이미 결정된) 알려진 복합재 구조물 상에 증착된 물방울의 3차원 접촉각을 기초로 식 2와 함께 측정 및/또는 계산될 수 있다.

[0024] 도 4는 전형적인 복합재 외피의 예시적 분자 구조를 나타낸다. 비스말레이미드 구조가 도시되는 한편, 에폭시(epoxy), 폴리아미드(polyamide), 열가소성(thermoplastic) 등과 같은 소정의 적절한 분자 구조가 이용될 수 있다. 기계적 구조는 복합재 구조물 재료에서 보여진 전형적인 C-C(carbon carbon) 이중 본드(double bonds)를 나타낸다.

[0025] 도 5는 비스말레이미드 내의 불소 오염(fluorine contamination)을 복합재 구조물의 표면 상에 증착된 물방울의 접촉각에 관련지우는 그래프(500)이다. 수직 축(502)은 복합재 본딩 표면 내에 존재하는 원자 불소(atomic fluorine)의 양을 나타낸다. 수평 축(504)은 물 물방울(water droplets)의 대응하는 측정된 접촉 각을 나타낸다. 오염으로서 기능하는, 불소는 복합재 층의 구조적 통합에 영향을 미칠 수 있다. 그래프(500)에 도시된 바와 같이, 복합재 구조물 내의 원자 불소 오염의 페센트가 약 0-3%를 넘어 증가할 경우, 물 접촉각은 포인트(506)를 그룹화시키는 것에 의해 보여질 수 있는 것과 같이 예리하게 증가한다. 데이터 포인트(508)는 물 접촉각의 영역(510)이 불소 오염의 비교적 더 낮은 양으로 상당하게 더 낮음을 나타낸다.

[0026] 도 6은 에폭시 복합재 구조물 내의 불소 오염을 복합재 구조물의 표면 상에 증착된 물방울의 접촉각에 관련지우

는 다른 그래프(600)이다. 수직 축(602)은 복합재 본딩 표면 내에 존재하는 원자 불소의 양을 나타낸다. 수평 축(604)은 복합재 표면 상의 물 물방울의 대응하는 측정된 접촉각을 나타낸다. 도 5의 그래프(500)와 마찬가지로, 비교적 높은 물 물방울 접촉각을 그룹화시키는 것(606)은 더 높은 불소 함유량을 갖춘 복합재 본딩 표면에 대응하여 보여진다. 그래프(500 및 600)의 그룹화시키는 것(506, 606)의 유사성은 여기에 개시된 예가 다양한 여러 복합재에 적용될 수 있고 오염 존재의 양이 복합재 본딩 표면의 구조적 통합에 영향을 미칠 수 있음을 증명한다.

[0027] 도 7은 복합재 본딩 표면의 준비 후(예컨대, 본딩 표면 상에서 30분의 시간 통합 후) 분자 구성(molecular composition)을 본딩 에너지에 관련지우는 그래프(700)(예컨대, X-선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy) 또는 "XPS" 그래프)이다. 수직 축(702)은 복합재 본딩 표면 상에 존재하는 분자 구조(molecular structures)의 전자 크라우드 계수(electron cloud counts)를 기초로 하는 계수(count)를 나타낸다. 수평 축(704)은 복합재 구조물 상의 결합 에너지(binding energy)(예컨대, 분자간 힘)를 나타낸다. 피크(706, 708, 710, 712)는 복합재 본딩 표면 사이(예컨대, 본딩된 층 사이)에 존재할 수 있는 특징적 분자간 오염을 나타낸다. 피크(706)는 특히, 복합재 층 통합 동안 존재하는 통상적인 오염인, 불소에 대응한다. 피크(706)는 약 700 일렉트론 볼트(EV)의 대응하는 결합 에너지(binding energy)를 갖는다. 피크(708)는 산소(oxygen)에 대응하고 약 540 EV의 대응하는 결합 에너지를 갖는다. 피크(710)는, 존재할 수 있고 약 400 EV의 결합 에너지를 갖는 다른 오염인, 질소(nitrogen)에 대응한다. 더 높은 오염 결합 에너지는 복합재 구조물의 분자간 결합력에 대해 더 큰 부작용을 갖춘 오염에 대응한다. 따라서, 불소는, 예컨대 질소 보다 분자간 결합력(intermolecular binding force)에 대해 더 큰 부정적 영향을 갖을 수 있다. 기본적으로, 여러 오염이 복합재 본딩 구조적 강도에 대해 영향의 정도를 변화시키는 것을 갖을 수 있다. 수직 하강(714)이 피크(712)에 인접하는데, 이는 카본을 나타내고 복합재 구조물의 일부로 되는 카본에 대응한다.

[0028] 도 8은 여기에 개시된 예를 구현하는데 이용될 수 있는 예시적 복합재 구조물 분석 장치(800)이다. 분석기(802)는 계산기(804) 및 비교기(808)를 포함한다. 계산기(804)는 입력 장치(807)(예컨대, 키보드, 마우스, 터미널, 모바일 장치 등)에 통신적으로 결합된다. 비교기(808)는, 예컨대 물방울 직경 센서(812), 3차원 물방울 접촉각 센서(813), 및/또는 물방울 체적 센서(814)를 포함할 수 있는, 센서(810)에 통신적으로 결합된다. 대안적으로, 물방울 직경 및/또는 물방울 체적과 같은 정보는 입력 장치(807)를 통해 수동으로 입력될 수 있다. 비교기(808)는 센서(810)로부터, 예컨대 물방울 3차원 접촉각 측정, 물방울 직경 측정 및/또는 물방울 체적 측정을 수신할 수 있고, 측정된 3차원 접촉각을 계산기(804)에 의해 계산될 수 있는 미리-정의된 임계 각과 비교한다. 미리-정의된 임계 각은 입력 장치(807)에 제공된 입력을 기초로 할 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 물방울 3차원 접촉각 측정, 물방울 직경 측정, 및/또는 물방울 체적 측정은 입력 장치(807)로부터 수신(예컨대, 사용자로부터 제공)될 수 있다. 센서(810)는, 예컨대 측정된 물방울 직경 및/또는 물방울 체적을 기초로 3차원 접촉각 계산 결과가 비교기(808)에 제공될 수 있도록 하기 위해 계산기(804)에 통신적으로 결합될 수 있다. 비교기(808)는 출력 장치(816)에 물방울의 3차원 접촉각을 기초로 임계 각과 측정된 3차원 접촉각 및/또는 계산된 스트레스 사이의 비교 결과를 또한 제공할 수 있다. 출력 장치(816)는 계산기(804)에서의 계산을 기초로 복합재 구조물의 실제 계산된 스트레스 및/또는 비교 결과를 출력하거나 디스플레이할 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 출력 장치(816)는 안전성(safety)의 계산된 팩터를 출력할 수 있다. 출력 장치(816)는 또한 출력 장치(816) 및/또는 비교기(808)로부터의 결과를 기초로 승인 사양(approval specification)을 발생시키기 위해 사양 발생기(specification generator; 818)를 트리거할 수 있다. 몇몇 예에 있어서, 사양 발생기(818)는 각 개별 복합재 구조물에 대한 승인 사양을 발생시킬 수 있다.

[0029] 여기에 개시된 예를 구현하는 예시적 방식이 도 8에서 예시되는 한편, 도 8에서 예시된 프로세스 및/또는 장치는 조합, 분할, 재배열, 생략, 제거 및/또는 소정의 다른 방식으로 구현될 수 있다. 더욱이, 도 8의 예시적 분석기(802), 예컨대 입력 장치(807), 예시적 센서(810), 예시적 출력 장치(816), 예시적 사양 발생기(818) 및/또는 더욱 일반적으로, 예시적 복합재 구조물 분석 장치(800)는 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 및/또는 하드웨어, 소프트웨어 및/또는 펌웨어의 소정 조합에 의해 구현될 수 있다. 따라서, 예컨대, 예시적 분석기(802), 예시적 입력 장치(807), 예시적 센서(810), 예시적 출력 장치(816), 예시적 사양 발생기(818) 및/또는 더욱 일반적으로, 예시적 복합재 구조물 분석 장치(800) 중 어느 것은 하나 이상의 아날로그 또는 디지털 회로(들), 논리 회로, 프로그래머블 프로세서(들), ASIC(들)(application specific integrated circuit(s)), PLD(들)(programmable logic device(s)) 및/또는 FPLD(들)(field programmable logic device(s))에 의해 구현될 수 있다. 단지 소프트웨어 및/또는 펌웨어 구현을 커버하도록 본 특허의 장치 또는 시스템 청구항들 중 어느 것을 해석할 때, 예시적 분석기(802), 예시적 입력 장치(807), 예시적 센서(810), 예시적 출력 장치(816) 및/또는 예시적 사양 발생기(818)인, 예 중 적어도 하나는 이에 의해 소프트웨어 및/또는 펌웨어를 저장하는 유형의

컴퓨터 판독가능 저장 장치 또는 메모리, DVD(digital versatile disk), CD(compact disk), 블루레이 디스크(Blu-ray disk) 등과 같은 저장 디스크를 포함하도록 명확하게 정의된다. 더욱이, 예시적 복합재 구조물 분석 장치(800)는 도 8에 도시된 것에 부가하여, 또는 대신하여 하나 이상의 엘리먼트, 프로세스 및/또는 장치를 포함할 수 있고, 및/또는 예시된 엘리먼트, 프로세스 및 장치의 어느 것 또는 전부 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0030] 복합재 구조물 분석 장치(800)를 구현하는데 이용될 수 있는 예시적 방법의 플로우차트 표현이 도 9에 도시된다. 본 예에 있어서, 방법은 도 10과 관련하여 이하 논의된 예시적 프로세서 플랫폼(1000)에 도시된 프로세서(1012)와 같은 프로세서에 의한 실행을 위한 프로그램을 갖추어 이루어지는 머신 판독가능 명령을 이용해서 구현될 수 있다. 프로그램은 프로세서(1012)와 관련된 CD-ROM, 프로피 디스크, 하드 디스크, DVD, 블루레이 디스크, 또는 메모리와 같은 유형의 컴퓨터 판독가능 저장 매체 상에 저장된 소프트웨어로 구체화될 수 있지만, 그 전체 프로그램 및/또는 부품은 프로세서(1012) 외의 장치에 의해 대안적으로 실행될 수 있고 및/또는 휴웨어 또는 전용 하드웨어로 구체화된다. 더욱이, 예시적 프로그램이 도 9에 도시된 플로우차트를 참조하여 설명됨에도 불구하고, 예시적 복합재 구조물 분석 장치(800)를 구현하는 많은 다른 방법이 대안적으로 이용될 수 있다. 예컨대, 블록의 실행의 순서는 변경될 수 있고, 및/또는 설명된 몇몇 블록은 변경, 제거, 또는 조합될 수 있다.

[0031] 도 9의 예시적 방법은 도 8의 복합재 구조물 분석 장치(800)와 관련하여 이하 설명된다. 도 9의 예시적 방법은 블록(900)에서 시작하고, 여기서 예컨대, 접착제를 이용하는 것에 의해 복합재 층을 본딩함으로써 복합재 층이 집합되고 준비된다(예컨대, 형성된다)(블록 900). 복합재 구조물의 표면 상에 증착된 물방울의 직경 및/또는 체적이 측정된다(블록 902). 이어 물방울의 3차원 접촉각이 물방울의 측정된 직경 및/또는 측정된 체적과 함께, 예컨대 식 2를 이용해서 계산된다(블록 904). 3차원 접촉각은, 예컨대 비커먼 방정식(예컨대, 식 2)을 이용해서 계산될 수 있다. 측정된 직경 및 측정된 체적이 개시됨에도 불구하고, 소정의 다른 적절한 변수가 3차원 접촉각을 결정하는데 이용될 수 있다. 대안적으로, 3차원 접촉각이 측정될 수 있다. 물방울의 3차원 접촉각은, 문자간 표면 장력 값(intermolecular surface tension value)이 예컨대 식 1과 같은 변형된 영의 방정식에 의해 계산되어질 수 있도록 한다(블록 906). 3차원 접촉각은 이어 임계 각과 비교된다(블록 908). 임계 각 이하로 되는 3차원 접촉각은 복합재 구조물의 충분한 구조적 통합을 나타내고 해당 복합재 구조물은 통합을 위해 허용가능하고(블록 910), 승인을 위한 서면상 구조적 사양이 발생될 수 있다(블록 912). 따라서, 충분한 구조적 통합을 나타내고 및/또는 문자간 표면 장력 값을 디스플레이하는 출력 메시지가 발생 및/또는 디스플레이될 수 있고(블록 914), 프로세스가 종료될 수 있다(블록 916). 출력 메시지는 또한 복합재 구조물의 문자간 표면 장력 기반을 기초로 안전성의 팩터를 포함할 수 있다. 대안적으로, 임계 각 보다 더 크게 되는 물방울의 3차원 접촉각(블록 908)은 충분한 구조적 통합을 갖지 않는 복합재 구조물을 나타내고 제품 통합을 위해 허용불가능한 것으로 간주될 수 있다(블록 918). 따라서, 충분한 구조적 통합을 나타내고 및/또는 문자간 표면 장력 값을 디스플레이하는(블록 920) 출력 메시지가 발생될 수 있고, 프로세스가 종료될 수 있다(블록 916).

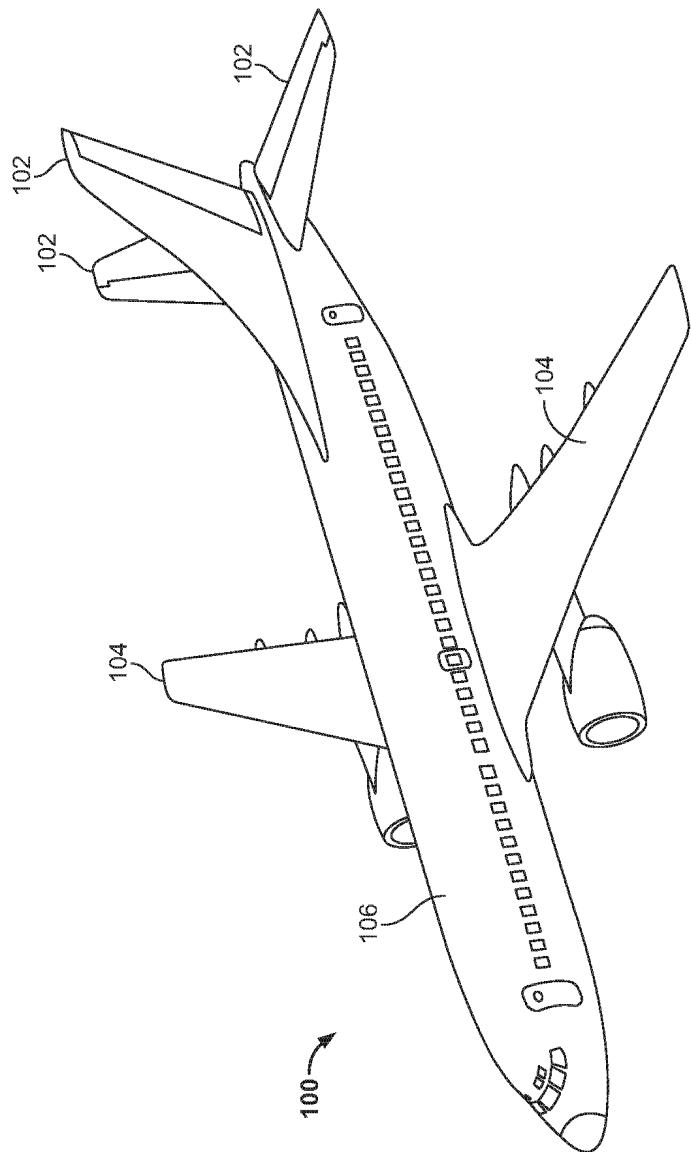
[0032] 상기한 바와 같이, 도 9의 예시적 프로세스는 하드 디스크 드라이브, 플래시 메모리, ROM(read-only memory), CD(compact disk), DVD(digital versatile disk), 캐시(cache), RAM(random-access memory) 및/또는 소정의 다른 저장 장치와 같은 유형의 컴퓨터 판독가능 저장 매체 또는 정보가 소정 지속기간 동안(예컨대, 연장된 시간 기간 동안, 영구적으로, 간단한 경우를 위해, 잠정적으로 버퍼링하기 위해, 및/또는 정보의 캐싱을 위해) 저장되는 저장 디스크 상에 저장된 부호화 명령(coded instructions)(예컨대, 컴퓨터 및/또는 머신 판독가능 명령)을 이용해서 구현될 수 있다. 여기서 이용된 바와 같이, 용어 유형의 컴퓨터 판독가능 저장 매체(tangible computer readable storage medium)는 소정 형태의 컴퓨터 판독가능 저장 장치 및/또는 저장 디스크를 포함하고, 신호를 전파하는 것을 배제함과 더불어 전송 매체(transmission media)를 배제하도록 명확히 정의된다. 여기서 이용되는 바와 같이, "유형의 컴퓨터 판독가능 저장 매체(tangible computer readable storage medium)" 및 "유형의 머신 판독가능 저장 매체(tangible machine readable storage medium)"는 교환가능하게 이용된다. 부가적으로 또는 대안적으로, 도 9의 예시적 프로세스는 하드 디스크 드라이브, 플래시 메모리, ROM, CD, DVD, 캐시, RAM 및/또는 소정의 다른 저장 장치와 같은 비-일시적 컴퓨터 및/또는 머신 판독가능 매체 및/또는 정보가 소정 지속기간 동안(예컨대, 연장된 시간 기간 동안, 영구적으로, 간단히 경우를 위해, 잠정적으로 버퍼링하기 위해, 및/또는 정보의 캐싱을 위해) 저장되는 저장 디스크 상에 저장된 부호화 명령(예컨대, 컴퓨터 및/또는 머신 판독가능 명령)을 이용해서 구현될 수 있다. 여기서 이용되는 바와 같이, 용어 비-일시적 컴퓨터 판독가능 매체(non-transitory computer readable medium)는 소정 형태의 컴퓨터 판독가능 저장 장치 및/또는 저장 디스크를 포함하고 신호를 전파하는 것을 배제함과 더불어 전송 매체를 배제하도록 명확히 정의된다. 여기서 이용되는 바와 같이, 문구 "적어도(at least)"가 청구항의 서두에서 전환 용어로서 이용될 때, 용

어 "구비하여 구성되는(comprising)"이 제한 없이 이용되는 것과 동일한 방식으로 제한이 없다.

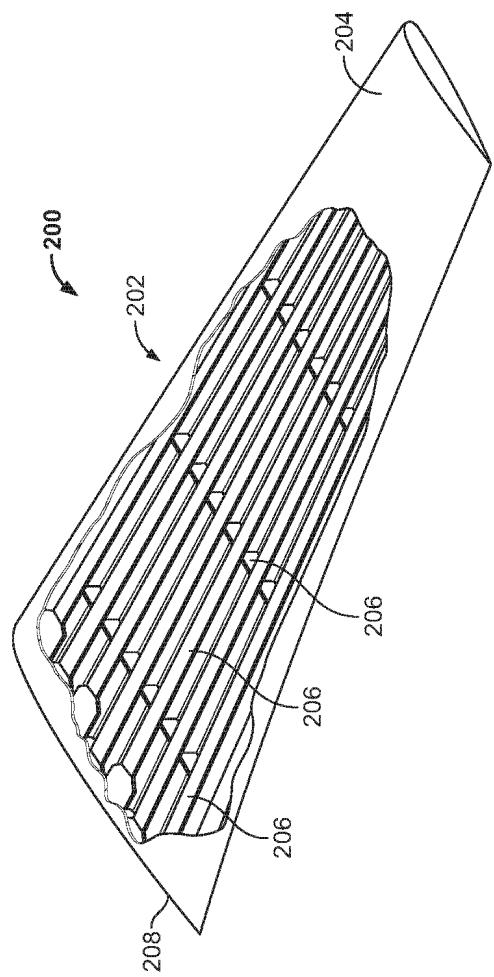
- [0033] 도 10은 도 8의 복합재 구조물 분석 장치(800)를 구현하기 위해 도 9의 명령을 실행할 수 있는 예시적 프로세서 플랫폼의 블록도이다. 프로세서 플랫폼(1000)은, 예컨대 서버, 개인용 컴퓨터, 모바일 장치(예컨대, 셀 폰, 스마트 폰, iPad™와 같은 태블릿), PDA(personal digital assistant), 인터넷 기기(Internet appliance), DVD 플레이어, CD 플레이어, 디지털 비디오 레코더, 블루레이 플레이어(Blu-ray player), 게임 콘솔(gaming console), 개인용 비디오 레코더(personal video recorder), 셋톱 박스(set top box), 또는 소정의 다른 형태의 계산 장치일 수 있다. 예시된 예의 프로세서 플랫폼(1000)은 프로세서(1012)를 포함한다. 예시된 예의 프로세서(1012)는 하드웨어이다. 예컨대, 프로세서(1012)는 소정의 원하는 제품군 또는 제조업체로부터 하나 이상의 접적 회로, 논리 회로, 마이크로프로세서 또는 콘트롤러에 의해 구현될 수 있다.
- [0034] 예시된 실시예의 프로세서(1012)는 로컬 메모리(1013)(예컨대, 캐시)를 포함한다. 예시된 실시예의 프로세서(1012)는 버스(1018)를 매개로 휘발성 메모리(1014) 및 비-휘발성 메모리(1016)와 통신에 있게 된다. 휘발성 메모리(1014)는 SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory), DRAM(Dynamic Random Access Memory), RDRAM(RAMBUS Dynamic Random Access Memory) 및/또는 소정의 다른 형태의 RAM 장치에 의해 구현될 수 있다. 비-휘발성 메모리(1016)는 플래시 메모리 및/또는 소정의 다른 원하는 형태의 메모리 장치에 의해 구현될 수 있다. 메인 메모리(1014, 1016)에 대한 역세스가 메모리 콘트롤러에 의해 제어된다.
- [0035] 예시된 실시예의 프로세서 플랫폼(1000)은 또한 인터페이스 회로(1020)를 포함한다. 인터페이스 회로(1020)는, 이더넷(Ethernet) 인터페이스, USB(universal serial bus), 및/또는 PCI 익스프레스 인터페이스(express interface)와 같은, 소정 형태의 인터페이스 표준에 의해 구현될 수 있다.
- [0036] 예시된 예에 있어서, 하나 이상의 입력 장치(1022)가 인터페이스 회로(1020)에 연결된다. 입력 장치(들)(1022)는 사용자가 프로세서(1012)로 데이터 및 명령(commands)을 입력할 수 있도록 한다. 입력 장치(들)는, 예컨대 오디오 센서, 마이크로폰, 카메라(스틸 또는 비디오), 키보드, 버튼, 마우스, 터치스크린, 트랙 패드, 트랙볼, 아이소포인트(isopoint) 및/또는 음성 인식 시스템에 의해 구현될 수 있다.
- [0037] 하나 이상의 출력 장치(1024)는 또한 예시된 예의 인터페이스 회로(1020)에 연결된다. 출력 장치(1024)는, 예컨대 디스플레이 장치(예컨대, LED(light emitting diode), OLED(organic light emitting diode), 액정 디스플레이(liquid crystal display), CRT(cathode ray tube display), 터치스크린, 촉각 출력 장치(tactile output device), LED(light emitting diode), 프린터(printer) 및/또는 스피커)에 의해 구현될 수 있다. 예시된 예의 인터페이스 회로(1020)는, 따라서 전형적으로 그래픽 드라이버 카드(graphics driver card)를 포함한다.
- [0038] 예시된 예의 인터페이스 회로(1020)는 또한 네트워크(1026)(예컨대, 이더넷 연결(Ethernet connection), DSL(digital subscriber line), 전화선, 동축 케이블, 셀룰러 전화 시스템 등)를 매개로 외부 머신(예컨대, 소정 종류의 계산 머신)과 데이터의 교환을 용이하게 하기 위해 전송기, 수신기, 송수신기, 모뎀 및/또는 네트워크 인터페이스와 같은 통신 장치를 포함한다.
- [0039] 예시된 예의 프로세서 플랫폼(1000)은 또한 소프트웨어 및/또는 데이터를 저장하기 위한 하나 이상의 대용량 저장 장치(mass storage devices; 1028)를 포함한다. 이러한 대용량 저장 장치(1028)의 예는 플로피 디스크 드라이브, 하드 드라이브 디스크, 컴팩트 디스크 드라이브, 블루레이 디스크 드라이브, RAID 시스템, 및 DVD 드라이브를 포함한다.
- [0040] 여기에 개시된 방법을 구현하기 위한 부호화 명령(1032)은 대용량 저장 장치(1028)에, 휘발성 메모리(1014)에, 비-휘발성 메모리(1016)에, 및/또는 CD 또는 DVD와 같은 제거 가능한 유형의 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체 상에 저장될 수 있다.
- [0041] 소정의 예시적 방법, 장치 및 제조의 항목이 여기에 설명됨에도 불구하고, 본 특허의 적용범위는 이에 한정되지 않는다. 반대로, 본 특허는 본 특허의 청구항의 범위 내에 명백히 속하는 모든 방법, 장치, 및 제조의 항목을 커버한다. 항공기가 설명되는 한편, 예시적 장치는 운송수단, 공기역학 구조 등에 적용될 수 있다.

도면

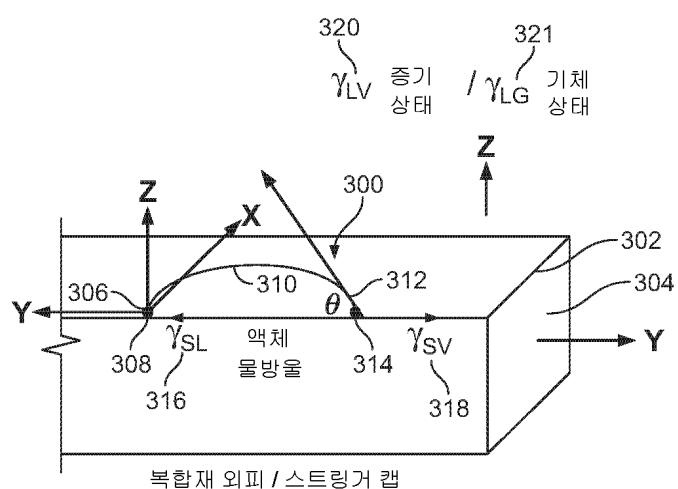
도면1



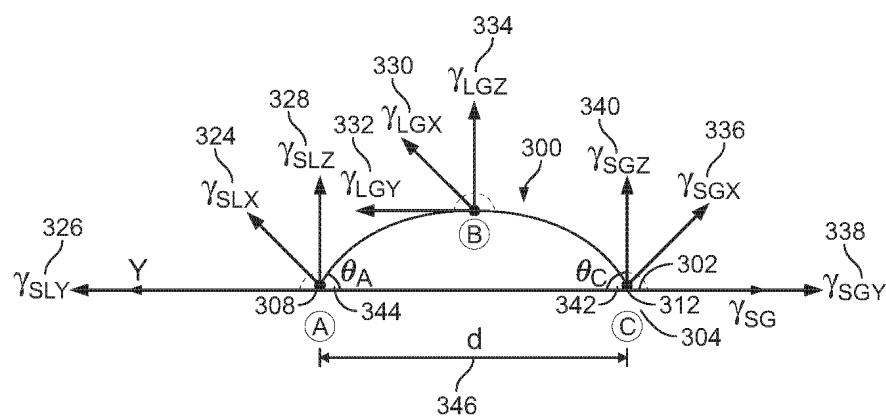
도면2



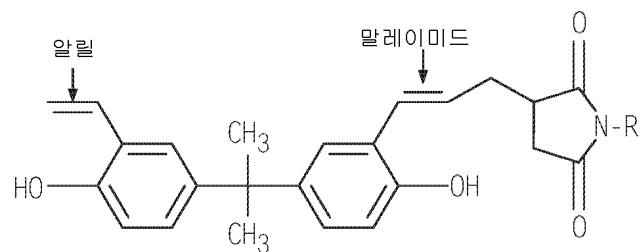
도면3a



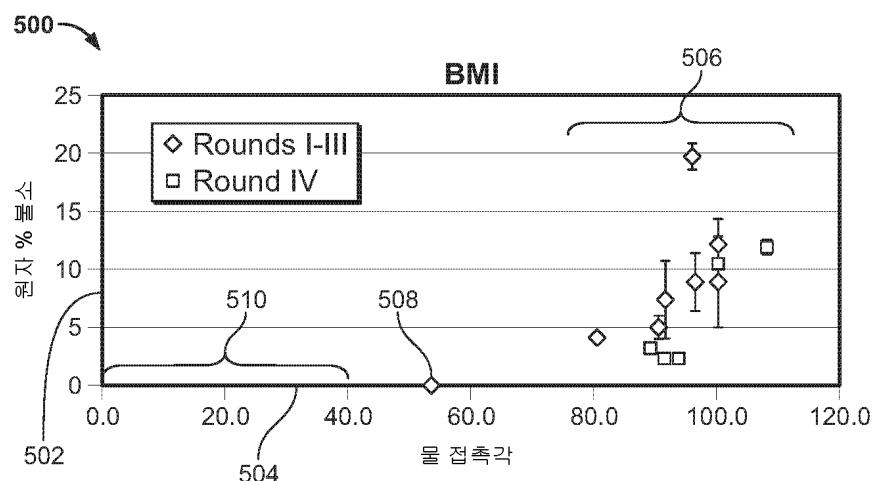
## 도면3b



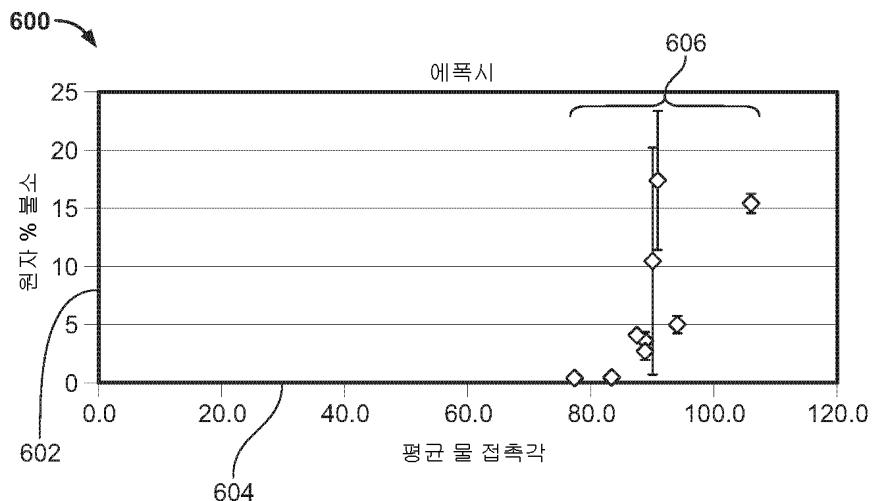
## 도면4



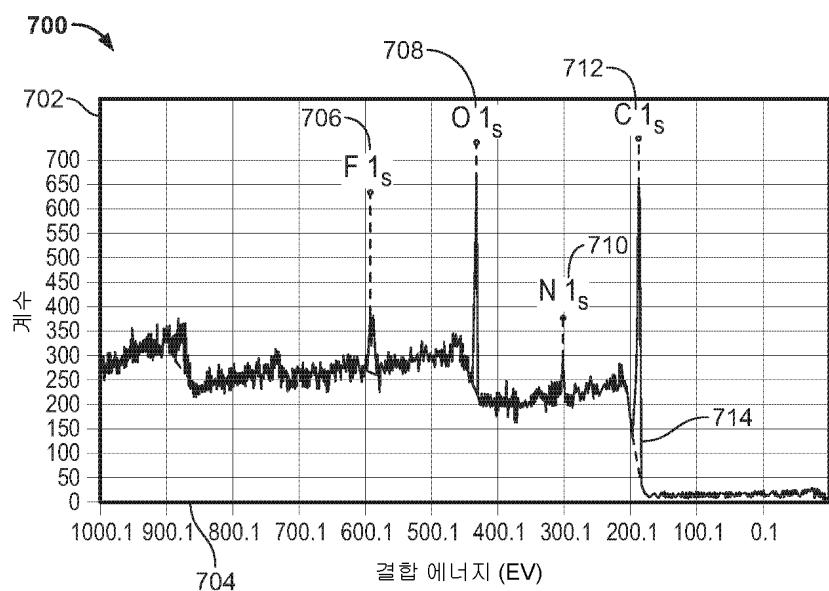
## 도면5



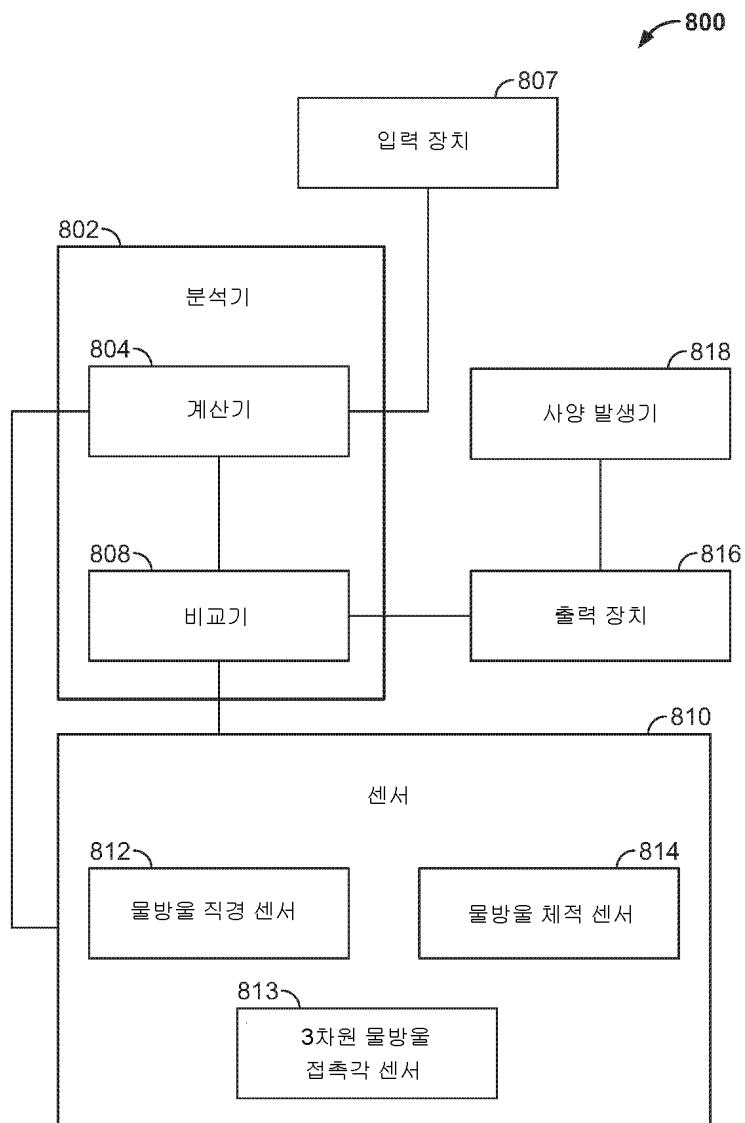
도면6



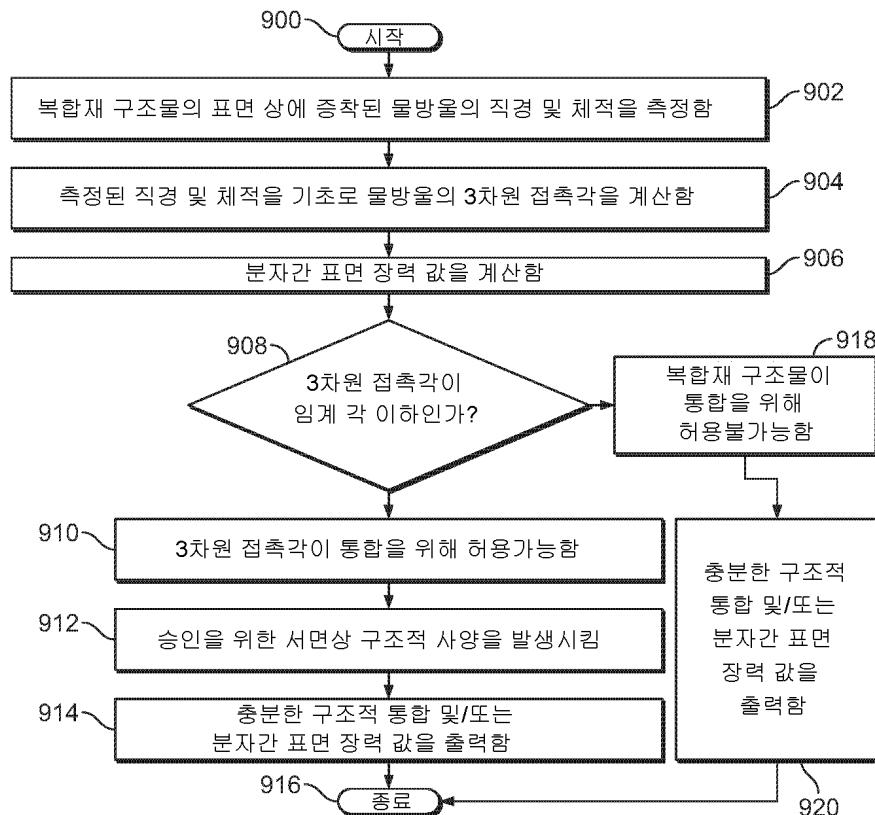
도면7



## 도면8



## 도면9



도면10

