



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년03월13일
(11) 등록번호 10-1958032
(24) 등록일자 2019년03월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B29C 70/38 (2006.01) *B25J 13/08* (2006.01)
B25J 15/00 (2006.01) *B25J 15/06* (2006.01)
B25J 19/02 (2006.01) *B25J 9/16* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7026689
(22) 출원일자(국제) 2012년05월16일
심사청구일자 2017년02월21일
(85) 번역문제출일자 2013년10월10일
(65) 공개번호 10-2014-0033351
(43) 공개일자 2014년03월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/038139
(87) 국제공개번호 WO 2012/177340
국제공개일자 2012년12월27일
(30) 우선권주장
13/166,306 2011년06월22일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문현
US05290386 A*
US20060260751 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
더 보잉 컴파니
미국, 일리노이스 60606, 시카고, 100 노스 리버
사이드 플라자
(72) 발명자
산가리, 삼라 에스.
미국, 워싱턴 98109, 시애틀, 크로켓 스트리트
655, 아파트먼트 에이505
월든, 커티스 에스.
미국, 워싱턴 98042, 켄트, 사우스이스트 231가
스트리트 16115
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김윤배

전체 청구항 수 : 총 2 항

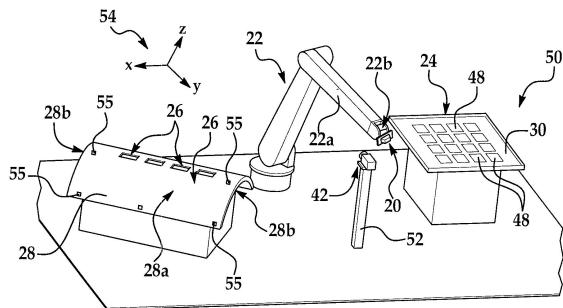
심사관 : 이진아

(54) 발명의 명칭 자동화된 플라이 적층 시스템 및 적층 방법

(57) 요 약

자동화된 플라이 적층 시스템 및 방법은 컷으로부터 플라이(48)들을 선택하고 툴(28) 상의 미리 결정된 지점들에 플라이들을 배치하기 위해 로봇(22) 및 엔드 이펙터(20)를 이용한다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

콥, 제임스 앤.

미국, 워싱턴 98146, 베리언, 사우스웨스트 134가
658

버쿠스, 게리 앤.

미국, 워싱턴 98011, 보셸, 노스이스트 175가 스트
리트 10615

크레스포, 카로스

미국, 워싱턴 98036, 런우드, 209가 플라이스 5716

페디고, 사무엘 애프.

미국, 워싱턴 98155, 시애틀, 노스이스트 49가 플
라이스 18748

명세서

청구범위

청구항 1

툴(tool) 상에 플라이들(plies)을 자동으로 적층하기 위한 방법으로서,

플라이들의 킷(kit)을 툴(tool) 상에 미리 결정된 순서로 배치되게 제공하는 단계 – 상기 플라이들 중의 적어도 하나는 필러(filler) 플라이들, 더블러(doubler) 플라이들, 열가소성(thermoplastics) 플라이들, 프리프레그(prepreg) 플라이들, 및 금속 포일(metal foil) 플라이들 중의 하나로부터 선택됨 –;

제1 카메라를 가지고 제1 플라이의 이미지를 기록하는 것 및 플라이들의 킷에서의 다른 플라이들로부터 제1 플라이를 인식하기 위하여 이미지 인식 소프트웨어 및 기록된 이미지를 이용하는 것을 포함하여, 플라이들의 킷에서 제1 플라이를 선택하고, 플라이들의 킷으로부터 제1 플라이를 들어올리기 위해 로봇으로 제어되는 (robotically controlled) 엔드 이펙터(end effector)를 이용하는 단계;

엔드 이펙터 상에서의 제1 플라이의 이미지를 기록하기 위해 제2 카메라를 이용하는 단계, 및 엔드 이펙터 상에서의 제1 플라이의 제1 위치를 결정하기 위해 엔드 이펙터 상에서의 제1 플라이의 이미지를 이용하는 단계;

엔드 이펙터 상의 제1 플라이의 제1 위치를 기초로 하여 엔드 이펙터를 제어하는 로봇에 의해 이용되는 3-D 공간 좌표계에서 제1 플라이의 제2 위치를 결정하는 단계;

제1 플라이를 상기 툴의 영역으로 이동시키기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계;

제1 플라이가 배치될 상기 툴 상의 원하는 지점의 특징(feature)을 검출하기 위해 3-D 레이저 스캐너를 이용하는 단계 – 상기 원하는 지점은 상기 툴에 있는 포켓(pocket)을 포함하고, 상기 포켓은 복수의 모서리들(edge s)을 가지고, 상기 특징은 상기 복수의 모서리들 중의 하나 이상을 포함함 –;

3-D 공간 좌표계에서 상기 포켓의 지점 및 상기 툴 상에서 상기 포켓의 지점을 결정하기 위해 플라이 배치 전에 상기 원하는 지점을, 3-D 레이저 스캐너를 이용해서 사전에 검사하는 단계;

3-D 레이저 스캐너에 의한 상기 원하는 지점의 사전 검사 측정을 기초로 하여 상기 포켓의 상기 복수의 모서리들과 정렬되게, 상기 포켓의 경계들 내에서 제1 플라이를 정밀하게 삽입 및 배치하도록 엔드 이펙터의 이동을 제어하는 단계, 및 상기 툴에 대해 제1 플라이를 압착하기 위해서 엔드 이펙터를 이용하는 단계;

를 포함하고,

제1 플라이를 압착하는 것은, 힘 센서를 이용해서 압착 동안 제1 플라이에 적용되는 압착력(compaction force)을 감지하는 것 및 힘 센서에 의해 감지된 상기 압착력을 기초로 하여 제1 플라이에 적용되는 압착력을 조절하는 것을 포함하는, 툴 상에 플라이들을 자동으로 적층하기 위한 방법.

청구항 2

툴(tool) 상에 복합재 플라이(composite ply)들을 자동으로 적층하기 위한 시스템으로서,

미리 결정된 순서로 툴 상에 적층되도록 요구되는 플라이들의 킷 – 상기 플라이들 중의 적어도 하나는 필러 플라이들, 더블러 플라이들, 열가소성 플라이들, 프리프레그 플라이들, 및 금속 포일 플라이들 중의 하나로부터 선택됨 –;

엔드 이펙터;

엔드 이펙터를 조작하기 위한 로봇;

플라이를 그립하고, 플라이들을 상기 툴의 영역으로 이동시키기 위한 엔드 이펙터 상의 진공 그립퍼(vacuum gripper);

상기 킷에 있는 플라이들의 이미지를 기록하기 위한 엔드 이펙터 상의 제1 카메라 – 엔드 이펙터는 제1 카메라를 가지고 제1 플라이의 이미지를 기록하는 것 및 플라이들의 킷에서의 다른 플라이들로부터 제1 플라이를 인식하기 위하여 이미지 인식 소프트웨어 및 기록된 이미지를 이용하는 것을 포함하여, 플라이들의 킷에서 제1 플라

이를 선택하고, 플라이들의 깃으로부터 제1 플라이를 들어올리기 위해 이용됨 –;

엔드 이펙터에 의해 깃으로부터 들어올려진 진공 그립퍼 상의 플라이의 이미지를 기록하고, 엔드 이펙터 상의 제1 플라이의 제1 위치를 결정하기 위해 엔드 이펙터 상의 제1 플라이의 이미지를 이용하고, 엔드 이펙터 상의 제1 플라이의 제1 위치를 기초로 하여 엔드 이펙터를 제어하는 로봇에 의해 이용되는 3-D 공간 좌표계에서 제1 플라이의 제2 위치를 결정하기 위한 제2 정지 카메라;

제1 플라이가 배치될 상기 툴 상의 원하는 지점의 특징을 검출하기 위한 엔드 이펙터 상의 레이저 스캐너 – 상기 원하는 지점은 상기 툴에 있는 포켓을 포함하고, 상기 포켓은 복수의 모서리들을 가지고, 상기 특징은 복수의 모서리들 중의 하나 이상을 포함하고, 상기 레이저 스캐너를 이용해서 3-D 공간 좌표계에서 상기 포켓의 지점 및 상기 툴 상에서 상기 포켓의 지점을 결정하기 위해 플라이 배치 전에 상기 원하는 지점을 사전에 검사함 –;

엔드 이펙터가 상기 툴 상에 플라이를 배치할 때 엔드 이펙터에 의해서 플라이에 적용되는 힘을 감지하기 위한 엔드 이펙터 상의 힘 센서; 및

제1 카메라에 의해 기록되는 플라이들의 이미지들을 인식하기 위한 이미지 인식 소프트웨어를 포함하여, 로봇, 진공 그립퍼, 제1 카메라, 및 제2 정지 카메라를 제어하고, 상기 툴에 대해 제1 플라이를 압착하기 위해서 엔드 이펙터를 이용하기 위한 제어기(controller)

를 포함하고,

상기 제어기는 상기 레이저 스캐너에 의한 상기 원하는 지점의 사전 검사 측정을 기초로 하여 상기 포켓의 상기 복수의 모서리들과 정렬되게, 상기 포켓의 경계들 내에서 제1 플라이를 정밀하게 삽입 및 배치하도록 엔드 이펙터의 이동을 제어하게 구성되고,

제1 플라이를 압착하는 것은, 힘 센서를 이용해서 압착 동안 제1 플라이에 적용되는 압착력을 감지하는 것 및 힘 센서에 의해 감지된 상기 압착력을 기초로 하여 제1 플라이에 적용되는 압착력을 조절하는 것을 포함하는, 툴 상에 복합재 플라이들을 자동으로 적층하기 위한 시스템.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 일반적으로 라미네이트된 구조물(laminated structure)들, 특히 복합재들로 이루어진 것들의 제작에 관한 것이고, 더욱 구체적으로는 툴(tool) 상에서 플라이(ply)들의 자동화된 적층(automated layup)을 위한 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

대형 라미네이트 구조물(laminate structure)들의 제작 동안, 구조물을 강하게 하거나(strengthen), 강화하거나(stiffen), 이와 달리 원하는 구조적 또는 성능 특성을 구조물에 제공하기 위하여, 컷(kit)으로서 배열된 그룹의 플라이들이 툴 상의 특정 지점(location)들 연속적으로 적층될 수 있다. 자동화된 테이프 적층 장비는 플라이 컷을 이용함으로써 다수의 상대적으로 작은 플라이들을 국지적 영역(localized area)들에 적층하지(laying up) 않아도 되기 때문에, 플라이 컷의 이용은 몇몇 애플리케이션들에서 효율적일 수 있다. 예를 들어, 제한 없이, 복합재 필러(filler)를 이용해서 기체(airframe)의 프레임(frame)들과 스트링거(stringer)들 사이의 갭(gap)들을 채우는 것이 바람직한 경우에, 플라이 컷들이 이용될 수 있다. 필러는, 전체 플라이들이 필러 위에 적층되기 전에 툴 상에 연속적으로(sequentially) 배치되는 한 세트의 라미네이트된 필러 플라이들을 포함한다. 필러 플라이들은, 포켓이 플라이들로 채워질 때 형상화된 필러(shaped filler)를 형성하도록 배치되고 특별하게 형상화된 툴에서의 포켓들 내에 배치될 수 있다. 과거에는, 적층 프로세스는 사람 손으로 수행되었다.

[0003]

손 적층(hand layup) 기술들은 다른 애플리케이션들에서 요구될 수 있다. 예를 들어, 서로에 대해 기판 상의 정밀한 지점에 더블러(doubler)들과 같은 플라이들을 적층할 필요가 있을 수 있다. 손 적층 기술들을 이용하는 경우에, 기술자는 기판 상에서 다른 플라이들에 대해 정밀한 지점에 각각의 개개의 플라이를 배치해야 한다. 게다가, 손 적층 기술은 한 번에 하나씩(one-at-a-time) 플라이들을 배치하는 것을 요하고, 플라이들의 사이즈는 기술자들이 손으로 다룰 수 있는 것으로 제한된다. 다른 애플리케이션들에서, 플라이 물질이 상대적으로 덜리케이트(delicate)하고, 및/또는 AFP 기계에 의해서 처리될 때 주름지거나(wrinkling), 구겨지거나(creasing), 또는 찢어지기(tearing) 쉬운 경우에, 손 적층이 필요할 수 있다. 예를 들어, 낙뢰(lightning strike)들에 대한 항공기의 보호는 항공기의 외피(exterior skin)에 격자 모양의 얇은 구리 호일 시트(a grid of thin copper foil-sheet)를 부착함으로써 달성될 수 있다. 격자들은, 적층 프로세스 동안 주름지거나, 찌그러지거나(denting), 구겨지거나, 및/또는 찢어지기 쉬울 수 있는 상대적으로 얇은 구리 호일 시트들의 수백 개의 조각들의 손 적층에 의해서 한 번에 하나씩 조립된다.

[0004]

상술한 손 적층 기술들은 시간소모적이고, 노동집약적이며, 더 높은 수준의 생산 환경들에 잘 맞지 않을 수 있다. 따라서, 손 노동 및 적층 시간을 감소시키고, 툴과 같은 기판 상에 물질 플라이들의 신뢰할만한 정밀한 배치를 제공하는 자동화된 적층 시스템에 대한 필요성이 존재한다. 또한, 구조물을 형성하기 위해 적층될 필요가

있는 플라이들의 총수를 감소시키기 위하여 더 큰 플라이들의 배치를 가능하게 하는 적층 프로세스의 필요성이 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005]

본 발명은 상술한 필요성을 충족시킬 수 있는 자동화된 플라이 적층 시스템 및 자동화된 플라이 적층 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006]

본 발명의 실시 예들은, 컷으로 된(kitted) 필러들, 더블러들 뿐 아니라 다양한 애플리케이션들을 위한 다른 타입의 플라이들과 같이 플라이들의 그룹들을 적층하기 위해 잘 맞는 자동화된 적층 시스템을 제공한다. 플라이 컷으로부터 차례대로 원하는 플라이를 선택하고, 선택된 플라이를 툴로 전송하고, 툴 상의 올바른 지점에 플라이를 배치하는 프로세스는 로봇으로 제어되는(robotically controlled) 엔드 이펙터에 의해 자동으로 수행된다. 엔드 이펙터는 컷으로부터 들어올려질 올바른 플라이를 시각적으로 인식하고, 플라이 배치 및 압착 동안 플라이의 위치를 파악하기 위해 이용되는 툴 상의 특징들을 검출한다. 본 시스템은 플라이 주름(wrinkling)을 감소시키거나 제거할 수 있고, 적층 프로세스의 더욱 정밀한 제어를 제공할 수 있다. 몇 개를 열거하자면, 제한 없이 열가소성 수지, 프리프레그(prepreg)들, 금속 포일들, 및 접착제들과 같은 다양한 플라이들이 엔드 이펙터에 의해 꽉 엮이고 배치될 수 있다. 엔드 이펙터는 플라이들이 툴 상에 배치되기 전에 툴의 국지적 영역을 사전에 검사하도록(pre-inspect) 채용되거나, 적절한 정렬을 보장하기 위하여 배치된 플라이를 사후에 검사하도록(post inspect) 채용될 수 있다.

[0007]

본 발명의 하나의 실시 예에 따라서, 미리 선택된 지점들에 복합재 플라이들을 놓기(lay) 위한 시스템이 제공된다. 로봇 상의 엔드 이펙터는 플라이를 들어올리고, 미리 선택된 지점에 플라이를 배치한다. 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 기록하기 위한 장치가 제공되고, 기록 장치와 연결된 제어기는 플라이를 배치하기 위해 로봇과 엔드 이펙터를 제어한다. 엔드 이펙터는 플라이가 배치를 위한 준비에서 들어올려질 때 플라이를 그립하기 위한 진공작동 그립퍼(vacuum operated gripper)를 포함할 수 있다. 기록 장치는 엔드 이펙터 상의 플라이를 관찰하기(viewing) 위한 정지 카메라를 포함할 수 있다. 본 시스템은 플라이가 엔드 이펙터에 의해 들어올려지기 전에 플라이를 관찰하기 위해 제어기와 연결된 엔드 이펙터 상의 카메라를 더 포함할 수 있고, 제어기는 복수의 플라이들로부터 플라이를 인식하고 선택하기 위한 소프트웨어를 포함할 수 있다. 본 시스템은 또한 플라이의 배치를 조절하기 위해 이용되는 배치 지점에서의 특징들의 지점을 검출하기 위한 엔드 이펙터 상의 검출기를 또한 포함할 수 있다. 하나의 실시 예에서, 검출기는 3-D 레이저 스캐너를 포함할 수 있다. 플라이가 배치될 때 플라이에 압착력을 인가하기 위하여 로봇 상의 엔드 이펙터가 이용되고, 본 시스템은 압착력의 양을 감지하기 위한 엔드 이펙터 상의 센서를 더 포함한다.

[0008]

다른 실시 예에 따라서, 기판 상에 플라이들을 자동으로 적층하기(lay up) 위한 시스템이 제공된다. 본 시스템은 플라이들의 각각을 기판 상에 배치하기 위한 엔드 이펙터 및 엔드 이펙터를 조작하기 위한 로봇을 포함한다. 툴 상의 특징들을 검출하기 위한 검출기가 엔드 이펙터 상에서 제공된다. 로봇 상의 검출기와 연결된 제어기는 기판 상에서 기판 상의 검출된 특징들을 기초로 한 지점에 플라이를 배치하도록 엔드 이펙터를 제어한다. 하나의 실시 예에서, 검출기는 기판의 표면을 스캐닝하도록 구성된 레이저 스캐너이다. 본 시스템은 플라이가 들어올려지기 전에 플라이의 이미지를 기록하기 위한 엔드 이펙터 상의 카메라를 더 포함할 수 있고, 제어기는 카메라에 의해서 기록되는 이미지를 인식하기 위한 물체(object) 인식 소프트웨어를 포함할 수 있다. 본 시스템은 엔드 이펙터 상의 플라이의 이미지를 기록하기 위한 카메라를 더 포함할 수 있고, 제어기는 들어올려진 이후의 플라이의 엔드 이펙터 상의 위치를 결정하도록 동작한다.

[0009]

또 다른 실시 예에 따라서, 기판 상의 미리 결정된 지점들에 플라이들을 적층하는 방법이 제공된다. 본 방법은 플라이를 꽉 엮는(picking up) 단계, 기판 상의 미리 결정된 지점에 인접한 영역으로 플라이를 이동시키는 단계, 플라이가 배치될 미리 결정된 지점에 대해 플라이를 지향시키는(orienting) 단계, 및 기판 상의 미리 결정된 지점에 플라이를 배치하는 단계를 포함한다. 플라이를 꽉 엮고, 플라이를 기판에 인접한 영역으로 이동시키기 위하여 엔드 이펙터가 이용된다. 플라이가 배치될 미리 결정된 지점을 나타내는 기판 상의 특징들을 검출하

기 위해 엔드 이펙터가 이용된다. 또한, 검출된 특징들을 기초로 하여 기판 상에 플라이를 배치하기 위해 엔드 이펙터가 이용된다. 플라이를 꾹업하는 단계는 진공으로 엔드 이펙터에 대해 플라이를 붙잡음으로써 엔드 이펙터 상에서 플라이를 그립하는 것을 포함한다. 엔드 이펙터를 툴에 인접한 영역으로 이동시키는 것은 자동으로 제어되는 로보틱 매니퓰레이터(robotic manipulator)를 이용해서 수행된다. 기판 상에서 특징들을 검출하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 것은 기판의 표면을 스캔하기 위하여 비접촉(non-contact) 스캐너를 이용하는 것을 포함한다. 본 방법은 기판에 대해 플라이를 압착하기 위해서 엔드 이펙터를 이용하는 단계 및 엔드 이펙터에 의해 플라이에 인가되는 압착력을 감지하기 위해 엔드 이펙터 상의 센서를 이용하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0010] 추가적인 실시 예에 따라서, 복합재 항공기 구조물(composite aircraft structure)을 제작하는 방법이 제공된다. 본 방법은 복수의 복합재 플라이들을 제공하는 단계 및 플라이들 중의 하나를 꾹업하기 위해 로봇으로 제어되는 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 포함한다. 본 방법은 또한 엔드 이펙터 상에서 플라이의 위치를 결정하는 단계 및 툴의 영역으로 플라이를 이동시키기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 포함한다. 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 기초로 하여 툴 상에 플라이를 배치하기 위해서 엔드 이펙터가 이용된다. 또한, 꾹업될 플라이를 식별하기 위하여 엔드 이펙터가 이용될 수 있다.

[0011] 또 다른 실시 예에 따라서, 멀티-플라이(multi-ply) 복합재 구조물을 제작하기 위해 요구되는 시간을 감소시키는 방법은 복합재 테이프 형성 플라이들의 코스(course)들을 툴 상에 적층하기 위해 자동으로 제어되는 테이프 적층 기계를 이용하는 단계 및 플라이들을 툴 상의 국부적 영역들에 배치하기 위해 로봇으로 제어되는 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 포함한다.

[0012] 또 다른 실시 예에 따라서, 기판 상에 플라이를 적층하기 위한 방법이 제공되며, 본 방법은 플라이를 그립하기 위하여 전기접착 그립퍼를 이용하는 단계 및 그립된 플라이를 기판 상에 배치하는 단계를 포함한다. 플라이를 그립하기 위하여 전기접착 그립퍼를 이용하는 단계는 그립퍼와 플라이 사이에 정전기 접착력을 생성함으로써 플라이를 그립퍼에 부착시키는 단계를 포함한다. 그립된 플라이를 기판 상에 배치하는 단계는 그립된 플라이를 기판과 접촉하도록 이동시키기 위하여 로보틱 매니퓰레이터를 이용하는 단계 및 전기접착 그립퍼로부터 플라이를 해제하는 단계를 포함한다. 플라이를 해제하는 단계는 그립퍼와 플라이 사이에서 정전기 접착력을 제거하는 단계를 포함한다. 정전기 접착력을 생성하는 것은 그립퍼 상에 정전기장들을 생성하는 것 및 플라이 상에 정전기 전하들(electrostatic charges)을 유도하기 위하여 정전기장들을 이용하는 것을 포함한다.

[0013] 또 다른 실시 예에 따라서, 항공기 표피 상에 전도성 금속 포일의 플라이들을 적층하는 방법이 제공된다. 본 방법은 플라이들을 그립하기 위하여 정전기 접착력을 이용하는 것을 포함하여 플라이들을 꾹업하기 위하여 엔드 이펙터를 이용하는 단계, 및 표피 상의 영역으로 엔드 이펙터를 이동시키는 단계를 포함한다. 본 방법은 표피 상에 플라이들을 배치하기 위하여 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 더 포함한다. 표피 상에 플라이들을 배치하는 것은 엔드 이펙터 상에서 플라이들을 그립하는 정전기 접착력을 해제하는 것을 포함한다. 플라이들을 그립하는 것은 그립퍼 상에 정전기장들을 생성하는 것 및 플라이 상에 정전기 전하들을 유도하기 위하여 정전기장들을 이용하는 것을 포함한다.

[0014] 또 다른 실시 예에 따라서, 기판 상에 플라이들을 적층하기 위한 시스템이 제공되고, 본 시스템은 정전기 접착력을 이용해서 플라이들을 해제가능하게 그립하기 위한 정전기 그립퍼를 포함하는 엔드 이펙터 및 엔드 이펙터를 조작하기 위한 로보틱 매니퓰레이터를 포함한다. 본 시스템은 로보틱 매니퓰레이터 및 정전기 그립퍼의 동작을 자동으로 제어하기 위한 프로그램된 제어기(programmed controller)를 더 포함한다. 정전기 그립퍼는 전력의 소스(source)와 연결되도록 구성된 복수의 교류의 포지티브 및 네거티브 전극 패드들을 포함한다. 그립퍼는 백킹 플레이트를 포함하고, 전극 패드들은 백킹 플레이트 상에 위치한다. 폴리머 코팅(polymeric coating)은 전극 패드들을 보호하도록(protectively) 덮는다. 본 시스템은 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 기록하기 위한 장치 및 플라이들이 적층될 기판 상에서의 특징들을 검출하기 위한 엔드 이펙터 상의 검출기를 더 포함한다.

[0015] 본 발명의 일 태양에 따라서, 미리 선택된 지점에 복합재 플라이들을 놓기 위한 시스템이 제공되고, 본 시스템은 로봇; 플라이를 들어올리고 플라이를 미리 선택된 지점에 배치하기 위한 로봇 상의 엔드 이펙터(end effector); 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 기록하기 위한 장치; 및 플라이를 상기 지점에 배치하도록 로봇 및 엔드 이펙터를 제어하기 위한 위치 기록 장치와 연결된 제어기(controller)를 포함한다.

[0016] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 엔드 이펙터는 플라이를 그립하기 위한 진공작동 그립퍼(vacuum operated gripper)를 포함한다.

[0017] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 엔드 이펙터는 플라이를 그립하기 위한 전기접착 그립퍼(electroadhesive

gripper)를 포함한다.

[0018] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 전기접착 그립퍼는 플라이 상에서 정전기 전하들(electrostatic charges)을 유도하기 위해 전력원(electrical power source)과 연결되도록 구성된 한 세트의 전극 패드(electrode pad)들을 포함한다.

[0019] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 위치 기록 장치는 엔드 이펙터 상에서의 플라이를 촬영하기(imaging) 위한 정지 카메라(stationary camera)를 포함한다.

[0020] 바람직하게는, 본 시스템은 플라이가 엔드 이펙터에 의해 들어올려지기 전에 플라이를 관찰하기(viewing) 위한 제어기와 연결된 엔드 이펙터 상의 카메라를 더 포함하고, 제어기는 복수의 플라이들로부터 플라이를 인식하고 선택하는 소프트웨어를 포함한다.

[0021] 바람직하게는, 본 시스템은 플라이가 배치될 지점과 관련된 특징들을 검출하기 위한 엔드 이펙터 상의 검출기를 더 포함한다.

[0022] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 특징 지점 검출 장치는 레이저 스캐너이다.

[0023] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 플라이가 툴 상에 배치될 때, 엔드 이펙터와 로봇은 플라이에 압착력(compaction force)을 인가하고, 상기 시스템은 압착력의 양을 감지하기 위한 엔드 이펙터 상의 센서를 더 포함한다.

[0024] 본 발명의 추가적인 태양에 따라서, 기관 상에 플라이들을 자동으로 적층하기 위한 시스템이 제공되고, 본 시스템은 기관 상에 플라이들의 각각을 배치하기 위한 엔드 이펙터; 플라이가 배치될 지점과 관련된 기관 상의 특징들을 검출하기 위한 엔드 이펙터 상의 검출기; 엔드 이펙터를 조작하기 위한 로봇; 및 기관 상에서 기관에서의 검출된 특징들을 기초로 한 지점에 플라이를 배치하도록 엔드 이펙터를 제어하기 위한 로봇 및 검출기에 연결된 제어기를 포함한다.

[0025] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 검출기는 기관의 표면을 스캐닝하도록 구성된 레이저 스캐너이다.

[0026] 바람직하게는, 본 시스템은 플라이가 들어올려지기 전에 플라이의 이미지를 기록하기 위한 엔드 이펙터 상의 카메라를 더 포함하고, 제어기는 카메라에 의해 기록되는 이미지를 인식하기 위한 물체 인식 소프트웨어를 포함한다.

[0027] 바람직하게는, 본 시스템은 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 이미지를 기록하기 위한 카메라를 더 포함하고, 제어기는 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 결정하도록 동작한다.

[0028] 바람직하게는, 본 시스템은 플라이를 그립하기 위한 엔드 이펙터 상의 진공 그립퍼; 및 진공 그립퍼와 연결된 진공 시스템을 더 포함한다.

[0029] 바람직하게는, 본 시스템은 정전기 접착력을 이용해서 플라이를 그립하기 위한 엔드 이펙터 상의 전기접착 그립퍼를 더 포함한다.

[0030] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 엔드 이펙터는 기관에 대해 플라이를 압착하도록 동작하고, 본 시스템은 플라이에 적용되는 압착력을 감지하기 위한 엔드 이펙터 상의 힘센서를 더 포함한다.

[0031] 본 발명의 추가적인 태양에 따라서, 기관 상의 미리 결정된 지점들에 플라이들을 적층하는 방법이 제공되고, 본 방법은 플라이를 꾹꾹하는 단계; 플라이가 배치될 미리 결정된 지점에 인접한 영역으로 플라이를 이동시키는 단계; 플라이가 배치될 미리 결정된 지점에 대해 플라이를 지향시키는 단계; 및 지향된 플라이를 기관 상의 미리 결정된 지점에 배치하는 단계를 포함한다.

[0032] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 플라이를 꾹꾹하는 단계는 플라이를 그립하기 위해 정전기 접착력을 이용해서 수행된다.

[0033] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 플라이를 꾹꾹하는 단계는 엔드 이펙터를 가지고 플라이를 그립함으로써 수행되고, 플라이를 이동시키는 단계는 미리 결정된 지점에 인접한 영역으로 엔드 이펙터를 이동시킴으로써 수행되고, 플라이를 배치하는 단계는 엔드 이펙터를 이용해서 수행된다.

[0034] 바람직하게는, 본 방법은 플라이가 배치될 지점과 관련된 특징들을 검출하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 더 포함하고, 플라이를 배치하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 것은 검출된 특징들을 기초로 하고, 미리 결정된 지점에 인접한 영역으로 엔드 이펙터를 이동시키는 것은 자동으로 제어되는 로보틱 매니퓰레이터(robotic

manipulator)를 이용해서 수행된다.

- [0035] 바람직하게는, 본 방법에 있어서 특징들을 검출하기 위해서 엔드 이펙터를 이용하는 것은 기판의 표면을 스캔하기 위해서 비접촉 스캐너를 이용하는 것을 포함한다.
- [0036] 바람직하게는, 본 방법은 기판에 대해 플라이를 압착하기(compact) 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계; 및 엔드 이펙터에 의해 플라이에 적용된 압착력을 감지하기 위해 엔드 이펙터 상의 센서를 이용하는 단계;를 더 포함한다.
- [0037] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 기판은 틀이고, 기판 상의 지점은 틀에서의 포켓이다.
- [0038] 바람직하게는, 본 방법은 꺽여되고 이동될 플라이를 식별하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 더 포함한다.
- [0039] 본 발명의 다른 추가적 관점에 따라서, 복합재 항공기 구조물을 제작하는 방법이 제공되고, 본 방법은 복수의 복합재 플라이들을 제공하는 단계; 플라이들 중의 하나를 꺽여하기 위해 로봇으로 제어되는 엔드 이펙터를 이용하는 단계; 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 결정하는 단계; 및 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 기초로 하여 미리 결정된 지점에 플라이를 배치하기 위해서 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 포함한다. 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 결정하는 것은 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 이미지를 기록하는 것을 포함한다. 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 플라이를 틀로 이동시키기 위해서 엔드 이펙터를 이용한다. 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 플라이를 꺽여하는 것은 정전기 접착력을 이용해서 엔드 이펙터 상에서 플라이를 그립하는 것을 포함한다.
- [0040] 바람직하게는, 본 방법은 꺽여될 플라이들 중의 하나를 식별하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 더 포함한다.
- [0041] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 꺽여될 플라이들 중의 하나를 식별하는 것은 플라이의 이미지를 기록하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 것 및 기록된 이미지를 인식하기 위해 이미지 인식 소프트웨어를 이용하는 것에 의해서 수행된다.
- [0042] 본 발명의 또 다른 추가적인 태양에 따라서, 멀티-플라이(multi-ply) 복합재 구조물을 제작하기 위해 요구되는 시간을 감소시키는 방법이 제공되고, 본 방법은 복합재 테이프 형성 플라이들의 코스(course)들을 틀 상에 적층하기 위해 자동으로 제어되는 테이프 적층 기계를 이용하는 단계; 및 틀의 국부적 영역들 상에 플라이들을 배치하기 위해 로봇으로 제어되는 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 포함한다.
- [0043] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 엔드 이펙터에 의해 배치되는 플라이들은 더블러 및 필러 중의 하나를 형성한다.
- [0044] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 엔드 이펙터는 테이프 적층 기계가 테이프의 코스들을 적층하기 전에 플라이들을 틀 상에 배치한다.
- [0045] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 테이프 적층 기계는 엔드 이펙터에 의해 배치된 플라이들 위로 테이프의 코스들을 적층한다.
- [0046] 본 발명의 다른 추가적인 태양에 따라서, 기판 상에 플라이를 적층하는 방법이 제공되고, 본 방법은 플라이를 그립하기 위해 전기접착 그립퍼를 이용하는 단계; 및 그립된 플라이를 기판 상에 배치하는 단계를 포함한다.
- [0047] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 플라이를 그립하기 위해 전기접착 그립퍼를 이용하는 단계는 그립퍼와 플라이 사이에 정전기 접착력을 생성함으로써 플라이를 그립퍼에 부착시키는 것을 포함한다.
- [0048] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 그립된 플라이를 기판 상에 배치하는 단계는 그립된 플라이를 기판과 접촉하도록 이동시키기 위해 로보틱 매니퓰레이터를 이용하는 단계 및 전기접착 그립퍼로부터 플라이를 해제하는 단계를 포함한다.
- [0049] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 플라이를 해제하는 단계는 그립퍼와 플라이 사이에서 정전기 접착력을 제거하는 것을 포함한다.
- [0050] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 정전기 접착력을 생성하는 것은 그립퍼 상에 정전기장들을 생성하는 것 및 플라이 상에 정전기 전하들을 유도하기 위해 정전기장들을 이용하는 것을 포함한다.
- [0051] 바람직하게는, 항공기 표피 상에 전도성 금속 포일의 플라이들을 적층하는 방법은 플라이들을 그립하기 위해 정

전기 접착력을 이용하는 것을 포함하여, 플라이들을 꽉 업하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계; 엔드 이펙터를 스킨 상의 영역으로 이동시키는 단계; 및 스킨 상에 플라이들을 배치하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계를 포함한다.

- [0052] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 스킨 상에 플라이들을 배치하는 것은 엔드 이펙터 상에서 플라이들을 그립하는 정전기 접착력을 해제하는 것을 포함한다.
- [0053] 바람직하게는, 본 방법에 있어서, 정전기 접착력을 이용해서 플라이들을 그립하는 것은 그립퍼 상에 정전기장들을 생성하는 것 및 플라이 상에 정전기 전하들을 유도하기 위해 정전기장들을 이용하는 것을 포함한다.
- [0054] 본 발명의 다른 추가적인 태양에 따라서, 기판 상에 플라이들을 적층하기 위한 시스템이 제공되고, 본 시스템은 정전기 접착력을 이용해서 플라이들을 해제가능하게 그립하기 위한 정전기 그립퍼를 포함하는 엔드 이펙터; 및 엔드 이펙터를 조작하기 위한 로보틱 매니퓰레이터를 포함한다.
- [0055] 바람직하게는, 본 시스템은 로보틱 매니퓰레이터와 정전기 그립퍼의 동작을 자동으로 제어하기 위한 프로그램된 제어기를 더 포함한다.
- [0056] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 정전기 그립퍼는 전력의 소스와 연결되도록 구성된 복수의 교류의 포지티브 및 네거티브 전극 패드들을 포함한다.
- [0057] 바람직하게는, 본 시스템에 있어서, 그립퍼는 백킹 플레이트를 포함하고, 전극 패드들은 백킹 플레이트 상에 위치하고, 그립퍼는 전극 패드들을 보호하도록 덮는 폴리머 코팅을 더 포함한다.
- [0058] 바람직하게는, 본 시스템은 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 기록하기 위한 장치, 및 플라이들이 적층될 기판 상의 특징들을 검출하기 위한 엔드 이펙터 상의 검출기를 더 포함한다.
- [0059] 본 발명의 또 다른 추가적인 태양에 따라서, 툴 상에 플라이들을 자동으로 적층하는 방법이 제공되고, 본 방법은 플라이들의 컷을 제공하는 단계; 플라이의 이미지를 기록하는 것 및 컷에서의 다른 플라이들로부터 플라이를 인식하기 위하여 이미지 인식 소프트웨어 및 기록된 이미지를 이용하는 것을 포함하여, 컷에서의 플라이들 중의 하나를 선택하고, 선택된 플라이들 컷으로부터 들어올리기 위해 로봇으로 제어되는 엔드 이펙터를 이용하는 단계; 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 이미지를 기록하기 위해 카메라를 이용하는 단계; 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 위치를 결정하기 위해 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 이미지를 이용하는 단계; 선택된 플라이를 툴의 영역으로 이동시키기 위해 엔드 이펙터를 이용해서 엔드 이펙터 상에서의 플라이의 결정된 위치를 기초로 하여 엔드 이펙터를 제어하는 로봇에 의해 이용되는 3-D 공간 좌표계에서 플라이의 위치를 결정하는 단계; 플라이가 배치될 툴의 원하는 지점과 관련된 툴 상의 특징들을 검출하기 위해 3-D 레이저 스캐너를 이용하는 단계; 툴에 대해 플라이를 압착하기 위해 엔드 이펙터를 이용하는 단계; 압착 동안 플라이에 적용되는 힘을 감지하는 단계; 및 힘 센서에 의해 감지된 힘을 기초로 하여 플라이에 적용되는 압착력을 조절하는 단계;를 포함한다.
- [0060] 본 발명의 또 다른 추가적인 태양에 따라서, 툴 상에 복합재 플라이들을 자동으로 적층하기 위한 시스템이 제공되고, 본 시스템은 미리 결정된 순서로 툴 상에 적층되도록 요구되는 플라이들의 컷; 엔드 이펙터; 엔드 이펙터를 조작하기 위한 로봇; 플라이를 그립하기 위한 엔드 이펙터 상의 진공 그립퍼; 컷에서의 플라이들의 이미지를 기록하기 위한 엔드 이펙터 상의 제1 카메라; 엔드 이펙터에 의해 컷으로부터 들어올려진 진공 그립 상에서의 플라이의 이미지를 기록하기 위한 제2, 정지 카메라; 툴을 스캐닝(scanning)하고 플라이가 배치될 툴 상의 지점과 관련된 툴 상의 특징들을 검출하기 위한 엔드 이펙터 상의 레이저 스캐너; 엔드 이펙터가 플라이를 툴 상에 배치할 때 엔드 이펙터에 의하여 플라이에 인가되는 힘을 감지하기 위한 엔드 이펙터 상의 힘센서; 및 제1 카메라에 의해 기록된 플라이들의 이미지들을 인식하기 위한 이미지 인식 소프트웨어를 포함하여, 로봇, 진공 그립퍼, 제1 및 제2 카메라들을 제어하기 위한 제어기;를 포함한다.
- [0061] 본 발명의 실시 예들의 다른 특징들, 이점들, 및 장점들은 첨부된 도면들 및 청구항들에 따라서 살필 때, 실시 예들에 대한 이하의 설명으로부터 명확하게 될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0062] 도 1은 본 발명의 실시 예들에 따른 자동화된 플라이 적층 시스템의 기능적인 블록도의 도면이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 자동화된 플라이 적층 시스템의 투시도의 도면이다.

도 3은 도 1 및 2에 도시된 시스템의 일부를 형성하는 엔드 이펙터의 투시도의 도면이다.

도 4는 툴 포켓의 특징들을 식별하기 위하여 툴의 표면을 스캐닝하는 엔드 이펙터를 도시하는 투시도의 도면이다.

도 5는 필러 플라이들의 자동화된 적층을 위한 방법의 흐름도의 도면이다.

도 6은 도 5와 유사하되, 더블러 플라이들의 자동화된 적층을 위한 방법의 흐름도의 도면이다.

도 7은 플라이들을 적층하기 위한 장치의 기능적인 블록도의 도면이다.

도 8은 도 7에 도시된 장치를 이용하여 플라이들을 적층하는 방법의 흐름도의 도면이다.

도 9는 도 7에 도시된 장치의 일부를 형성하는 엔드 이펙터의 투시도의 도면이다.

도 10은 도 9 및 10과 유사하되, 엔드 이펙터에 의해 꺽임되고(picked up) 그립된(gripped) 플라이를 도시하는 투시도의 도면이다.

도 11은 도 10에서 선 11-11을 따라 취해진 단면도의 도면이다.

도 12는 도 7에 도시된 전기접착 그립퍼의 대안적 실시 예의 단면도의 도면이다.

도 13은 도 9와 유사하되, 전자기적 그립퍼에 의해 그립된 세 개의 플라이들을 도시하는 투시도의 도면이다.

도 14는 도 13과 유사하되, 기판 상의 배치에 대한 준비를 갖춘 엔드 이펙터에 의해 꺽임된 전도성 금속의 스트립들을 도시하는 도면이다.

도 15는 항공기 제조 및 서비스 방법의 흐름도의 도면이다.

도 16은 항공기의 블록도의 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0063]

우선, 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시 예들은, 툴(tool, 28)과 같은 기판(substrate, 21)에, 또는 툴(28) 상에 앞서 배치된 플라이(도시되지 않음)에 자동으로 플라이(ply, 48)들을 배치하는(25), 참조번호 18에 의해 일반적으로 표시되는 자동화된 플라이 적층 시스템에 관한 것이다. 플라이(48)들은, 복합재 구조물(composite structure)(도시되지 않음)상에서 더블러(doubler)(도시되지 않음) 또는 필러(filler)(도시되지 않음)와 같은 특징(feature)을 형성하기 위해서 미리 결정된 시퀀스(sequence)로 툴(28) 상에 적층되도록 의도된 동일한 또는 상이한 파이버 방향(orientation)들을 갖는 미리 선택된 수의 플라이(48)들을 포함하는 플라이 키트(ply kit, 24)의 일부를 형성할 수 있다. 플라이(48)들은 적층 프로세스 동안 툴(28) 상의 특정 지점들에 배치된다(25). 도시된 실시 예에서, 플라이(48)들은 툴의 하나 이상의 포켓(pocket, 26)들에 연속적으로 배치된다(25). 도시된 예들에서 복합재(composite) 플라이(48)들의 적층이 설명되지만, 본 발명의 실시 예들은 다른 물체들, 특히, 제한 없이, 전기적으로 전도성(conductive)이거나 비전도성(non-conductive)일 수 있는, 다양한 형태의 플라스틱들, 세라믹들, 및 금속들, 및 복합재들을 포함하는 플렉서블(flexible)하거나 논-플렉서블(non-flexible)한 시트형(sheet-like) 또는 평평한 물질들의 형태의 것들을 적층하거나 배치하기 위해 채용될 수 있다. 따라서, 본 명세서에서 사용될 때 "플라이(ply)"라는 용어는 광범위한 형상들 및 물질들을 포함하는 것으로 의도된다.

[0064]

자동화된 플라이 배치 시스템(automated ply placement system, 18)은 대체로 로봇(robot, 22) 또는 유사한 자동으로 제어되는 매니퓰레이터(manipulator) 상에 설치된 엔드 이펙터(end effector, 20), 정지 카메라(stationary camera, 42) 및 제어기(controller, 44)를 포함한다. 엔드 이펙터(20)는 스캐너(36), 카메라(30), 진공 그립퍼(vacuum gripper, 32), 및 힘센서(force sensor, 34)를 포함한다. 카메라(30)는 절절한 적층 시퀀스로 개개의 플라이(48)들을 인식하고 선택하기 위하여(27), 제어기(44)의 일부를 형성하는 이미지 인식 소프트웨어(image recognition software, 45)에 의해 처리되는, 키트(24)에서의 플라이(40)들의 이미지를 기록하도록 기능한다. 진공 그립퍼(32)는 진공 시스템(vacuum system, 40)과 연결될 수 있고, 툴(28) 상의 배치(25)를 위한 준비가 될 때까지 엔드 이펙터(20) 상에서 플라이(48)를 붙잡기(hold)(29) 위하여 개개의 플라이(48)들을 해제 가능하게(releasably) 그립(grip)(29)하도록 기능한다. 진공 그립퍼(32)는 또한 가압 공기 공급기(pressurized air supply, 43)에 연결될 수 있다. 공기 공급기(43)는 그 배치 후에 플라이(48)를 해제하는 데 도움이 될 수 있는 포지티브 압력(positive pressure)을 플라이(48)에 인가하기 위해 이용될 수 있다. 엔드 이펙터(20)는 후술할 바와 같이 다른 타입의 플라이 그립퍼들을 가지고 구비될 수 있다.

[0065] 스캐너(36)는, 예컨대, 제한 없이, 포켓(26)들과 같은 특징 지점을 식별하기 위하여 툴(28)의 표면을 스캔하는 2-D 또는 3-D 레이저 스캐너를 포함할 수 있다. 툴(28)에 대해 플라이(48)들을 압착하기(compact)(31) 위해 엔드 이펙터(22)가 이용되는 애플리케이션들에서, 엔드 이펙터(20) 상의 힘센서(34)는 플라이(48)에 적용되고 있는 압착력(compaction force)의 양을 감지하도록 기능한다. 이 감지된 압착력은 로봇(22)에 의해 적용되는 압착력을 조절함으로써 반응할 수 있는 제어기(44)로 피드백된다. 정지 카메라(42)는, 엔드 이펙터(20) 상의 플라이(48)의 위치(position), 즉, 배치 및/또는 방향을 결정하기 위해 제어기(44)에 의해 이용되는 엔드 이펙터에 의해 그립된 플라이(48)의 이미지를 기록하도록 기능한다. 엔드 이펙터(20) 및 로봇(22)은, 엔드 이펙터(20) 및 로봇(22)의 동작을 제어하도록 기능하고 스캐너(36), 카메라(30), 힘센서(34), 및 정지 카메라(42)로부터 입력들을 수신하는 제어기(44)와 연결된다.

[0066] 사용시, 로봇(22)은, 플라이 컷(24)의 플라이(48)들이 카메라(30)의 시야(field-of-view) 내에 있도록 트레이(tray, 30)가 위치해 있는 작업셀(work cell, 50)로 엔드 이펙터(20)를 이동시킨다. 이미지 인식 소프트웨어(45)를 이용해서, 제어기(44)는 툴(28) 상에 적중될 다음 플라이(48)를 인식하고 선택한다(27). 몇몇 실시 예들에서, 카메라(30)는 하나 이상의 플라이(48)들의 사이즈 및/또는 형상과 같은 다른 정보를 반영하는 작업셀(50) 내의 이미지들을 기록할 수 있다. 다른 실시 예들에서, 엔드 이펙터(20)는, 제한 없이, RFID 태그(tag)(도시되지 않음) 또는 다른 장치에 저장될 수 있는 플라이(48)들의 선택 및/또는 배치와 관련이 있는 유용한 정보를 감지하는 RFID(radio frequency identification) 리더(reader)(도시되지 않음)와 같은 다른 센싱(sensing) 장비를 포함할 수 있다.

[0067] 플라이 선택(25)을 기초로 하여, 로봇(22)이 선택된 플라이를 정지 카메라(42)의 시야 내의 지점으로 이동시키는 동안, 엔드 이펙터(20)는 엔드 이펙터(20) 상에서 선택된 플라이(48)를 들어올리고(lift) 붙잡기(29) 위하여 진공 그립퍼(32)를 이용한다. 정지 카메라(42)는 엔드 이펙터(20)에 의해 그립된 플라이(48)의 이미지를 기록함으로써 엔드 이펙터(20) 상에서의 플라이(48)의 위치(배치 및/또는 방향)를 기록하기 위한 장치로서 기능한다. 플라이(48)의 기록된 이미지는 엔드 이펙터(20) 상에서의 플라이(48)의 위치를 결정하기 위하여 기록된 이미지를 이용하는 제어기(44)로 전달된다. 이후, 제어기(44)는, 플라이(48)의 기록된 위치에 오프셋(offset)들을 적용함으로써 또는 다른 기술들을 이용해서, 플라이(48)의 기록된 위치를 로봇(22)에 의해 이용되는 3-D 공간 좌표계(54)(도 2)로 번역한다.

[0068] 로봇(22)은 엔드 이펙터(20)를 정지 카메라(42)에서부터, 전형적으로 툴(28)을 향하는 툴(28)의 영역 내의 지점으로 이동시킨다. 이후, 엔드 이펙터(20) 상의 스캐너(36)는, 선택된 플라이가 툴(28) 상에 배치될 지점을 결정하기 위해 이용될 수 있는 포켓(26)과 같은 특징들을 식별하기 위하여 툴(28)을 스캔하는 데 이용된다. 본 예에서, 스캐너(36)는 포켓(26)의 모서리들(edges, 26a)(도 4 참조)의 위치를 파악하는 데 이용될 수 있다. 도시된 예에서, 포켓(26)에 상응하는 툴(28) 상의 원하는 지점에 플라이(48)를 배치하기 위해서, 선택된 플라이(48)가 위치할 때까지 엔드 이펙터(20)를 이동시키는 로봇(22)을 제어하기 위하여 제어기(44)에 의해 모서리들(26a)의 지점(location)이 이용된다. 이후, 엔드 이펙터(20)는, 모서리들(26a)과 정렬된 또는 포켓(26)의 다른 특징들과 정렬된, 포켓(26) 내의 툴(28) 상에 선택된 플라이(48)를 배치한다(25). 이후, 엔드 이펙터(20)는, 엔드 이펙터(20) 상에서 힘센서(34)에 의해 측정되는 원하는 힘의 양을 가지고 툴(28)에 대해 플라이(48)를 압착한다(31). 엔드 이펙터(20) 상의 스캐너(36)는 또한 플라이 배치 전에 툴(28)의 국지적 영역들을 사전에 검사하기 위하여 이용될 수 있을 뿐 아니라, 더블러들 및 필러들과 같은 적중된 특징들이 다른 적중 특징들에 대해 및/또는 툴(28) 상에 올바르게 위치하고 있는지를 확인하기 위하여 플라이(48)들이 배치된 후에 플라이(48)들 및/또는 툴(28)의 사후 검사(post inspection)를 수행하기 위해 이용될 수 있다. 특정한 툴 특징들의 지점에서 차이(variation)들이 일어날 수 있는 경우에 툴(28)의 사전 검사(pre-inspection)가 바람직할 수 있다. 예를 들어, 제한 없이, 차이들은 툴의 라이프-사이클(life-cycle) 동안 툴의 재작업(rework) 또는 유지보수로 인하여 및/또는 원래의 툴 제조 공차(manufacturing tolerance)들로 인하여, 툴마다 포켓(26)들의 정밀한 지점에서 일어날 수 있다. 그래서, 엔드 이펙터(20) 상에서의 스캐너(36)의 이용은, 플라이 배치 지점을 위한 기준으로서 포켓(26)들의 공칭(nominal) (설계된 대로의) 지점에 의존하는 것과는 달리, 특정한 툴(28) 상의 포켓(26)들의 실제(측정된) 지점이 결정되는 것을 가능하게 한다.

[0069] 상술한 바와 같이, 플라이(48)를 압착하기(31) 위해 로봇(22)에 의해 적용되는 힘의 양은 힘센서(34)에 의해 측정된 힘을 피드백(feedback) 신호로서 이용하여 제어기(44)에 의해 제어된다. 일단 플라이(48)가 배치되고(25) 압착되면(31), 진공 그립퍼(32)가 플라이(48)를 해제하고(release), 엔드 이펙터(20)는 컷(24)에서의 다음 차례의(next-in-sequence) 플라이(48)를 꺽여하기 위하여 툴(28)로부터 멀어져서 작업셀(50)로 돌아가도록 이동한다. 엔드 이펙터가 툴(28)로부터 멀어지게 이동하기 전에, 그립퍼(32)로부터의 플라이(48)의 포지티브 해

제(positive release)를 수행하기 위하여 공기 공급기(43)가 이용될 수 있다.

[0070] 도 2는 도 1에 도시된 자동화된 플라이 적층 시스템(18)의 하나의 전형적인 구현을 도시한다. 참조번호 54는 플라이(48)들을 들어올리고, 운송하고, 툴(28) 상의 원하는 지점들에 플라이(48)들을 배치하기 위해 로봇(22)에 의하여 이용되는 3-D 공간 좌표계를 표시한다. 로봇(22)은 컨베이어(conveyor)들 및 트랜스포터(transporter)들을 포함하여 이에 한정되지 않는 임의의 적절한 자동화된 매니퓰레이터를 포함할 수 있으나, 도시된 예에서 배치 프로세스 동안 툴(28) 상의 지점을 가지고 플라이(48)를 지향시키는 데 도움이 될 수 있는 관절 암(articulating arm, 22a)을 가진 관절형인 것으로 도시된다. 암(22a)에는 엔드 이펙터(20)가 설치될 수 있는 회전가능한 손목(rotatable wrist, 22b)이 제공된다. 로봇(22)은 작업셀(50)에서부터 툴(28)까지 뻗어있는 범위(reach)를 가지며, 여기에서부터 플라이(48)들이 적층될 것이다. 도시된 예에서, 플라이 컷(24)은 착탈가능한(removable) 트레이(30) 상에 배치된 플라이(48)들의 어레이(array)를 포함하고, 플라이(48)들은 로봇(22)의 범위 내에서 위로 향한다.

[0071] 정지 카메라(42)는 작업셀(50)과 툴(28) 사이에서 지지체(52) 상에 설치되지만, 카메라(42)의 다른 지점들이 가능하다. 작업셀(50)과 툴(28) 사이의 카메라의 배치는 작업셀(50)에서부터 툴(28)까지 원호(arc) 형태로 엔드 이펙터(20)가 스윙하고(swing) 로봇(22)이 회전할(pivot) 때 로봇(22)으로 하여금 플라이(48)를 카메라(42)의 시야 내로 이동시키도록 하는 것을 가능하게 한다. 카메라(42)는 엔드 이펙터(20)에 의해 들어 올려진 플라이(48)의 디지털 이미지를 생성할 수 있는 임의의 적절한 이미징(imaging) 장치를 포함할 수 있다. 몇몇 실시 예들에서, 하나 이상의 카메라(42)의 이용이 바람직할 수 있다.

[0072] 도시된 예에서, 툴(28)은 툴 표면(28a)에 복수의 정렬된 포켓(26)들을 갖는 굽은형 멘드렐(curved mandrel)로서 도시될 수 있다. 플라이(48)가 배치되기 이전에 툴(28) 위로의 엔드 이펙터(20)의 근사적인 배치에 도움이 되도록 하기 위하여 하나 이상의 광 반사체(optical reflector, 55)들이 툴(28)의 표면(28a) 상에 배치될 수 있다. 반사체(55)들은 레이저 스캐너(36)(도 1)에 의해서 검출될 수 있지만, 레이저 스캐너(36)는 툴(28)의 모서리들(28b)을 검출하는 것과 같이 엔드 이펙터(20)의 근사적 배치(approximate positioning)를 위한 목적으로 툴(28)의 다른 특징들을 감지할 수 있다.

[0073] 도 3은 엔드 이펙터(20)의 추가적인 세부사항들을 도시한다. 레이저 스캐너(36), 진공 그립퍼(32), 및 카메라(30)가 설치판(mounting plate, 58)의 하나의 면(58a)에 설치된다. 진공 그립퍼(32)는, 진공 시스템(40)(도 1)과 연결되고 플라이(48)를 붙잡을 수 있도록 구성된 구멍뚫린 면(32a)을 포함할 수 있다. 플라이가 그립퍼(32)로부터 해제될 때 포지티브 공기 압력이 플라이(48)에 인가되는 것을 가능하게 하기 위해서, 구멍뚫린 면(32a)은 또한 도 1에 도시된 공기 공급기(43)와 연결될 수 있다. 힘센서(34)는 판(58)의 반대쪽 면(58b)에 설치되고, 예컨대, 제한 없이, 압전(piezoelectric) 장치를 포함할 수 있다. 판(58)에 고정된 어댑터(adapter, 56)는 엔드 이펙터(20)가 로봇(22)의 손목(22b)과 연결되도록 적용된다.

[0074] 도 4는 플라이(48)를 포켓(26)에 배치하기 위한 준비에서 툴(28)에서의 포켓(26)들 중의 하나의 위에 근사적으로 위치한 엔드 이펙터(20)를 도시한다. 이 예에서, 포켓(26)은 경사진 측벽들(inclined side walls, 26a)을 포함할 수 있다. 레이저 스캐너(36)는 3-D 공간 좌표계(54)에서 툴(28) 상에서 포켓의 지점을 결정하기 위해 포켓(26a)을 스캔하는 데 이용된다. 상술한 바와 같이, 레이저 스캐너(36)는 포켓(26)의 모서리들(26a)뿐 아니라 경사진 측벽들(26b)을 포함하는 포켓(26)의 삼차원 모델을 생성하는 3-D 스캐닝 탑입으로 이루어질 수 있다. 레이저 스캐너(36)에 의해 생성된 포켓(26)의 3-D를 기초로 하여, 제어기(44)(도 1)는 포켓(26)의 모서리들(26a)과 정렬된 포켓(26)의 경계를 내에서 플라이(48)를 정밀하게 배치하도록 엔드 이펙터(20)의 움직임을 제어할 수 있다.

[0075] 이제, 필터 플라이들과 같은 플라이(48)들을 적층하는 자동화된 방법의 전체 단계들을 도시하는 도 5를 참조한다. 단계 64에서 시작하면서, 오퍼레이터(operator)는 플라이(48)들의 컷(24)을 가진 트레이(30)를 작업셀(50)에 배치한다. 다음으로, 66에서, 오퍼레이터는 제어기(44)를 이용해서 로봇 사이클(robot cycle)을 개시한다. 단계 68에서, 로봇(22)은 작업셀(50)에서의 트레이(30) 위의 위치로 엔드 이펙터(20)를 이동시킨다. 70에서, 엔드 이펙터(20) 상의 카메라(30)는 적층될 다음 차례의 컷(24)에서의 특정 플라이(48)를 선택한다(27). 72에서, 로봇(22)은 선택된 플라이(48)와 접촉하도록 진공 그립퍼(48)를 이동시켜서, 로봇(20)이 엔드 이펙터(20)로 하여금 작업셀(50)로부터 멀어지도록 이동시키고 정지 카메라(42)를 향하도록 이동시킴에 따라, 플라이(48)를 그립하고(29) 이를 들어올린다. 단계 74에서, 로봇(22)은 엔드 이펙터(22)에 대한 플라이(48)의 위치를 나타내는 이미지를 기록하는 정지 카메라(42)에 선택된(27) 플라이(48)를 제시한다(present). 76에서, 정지 카메라(42)는 제어기(44)와 협동하여 로봇(22)의 3-D 참조 좌표계(54) 내에서 플라이(48)의 위치를 찾는다.

[0076]

단계 78에서, 로봇(22)은 툴링(tooing, 28) 위의 위치로 선택된 플라이(48)를 이동시키고, 레이저 스캐너(36)는 반사체(35)들을 검출함으로써 또는 툴링(28)의 모서리들(28b)과 같은 다른 특징들을 검출함으로써 포켓(26)들의 근사적 지점을 측정한다. 다음으로, 80에서, 로봇(22)은 포켓(26)과 근접하게 레이저 스캐너(36)를 이동시키고, 이후, 스캐너(36)는 도 4와 관련하여 상술한 바와 같이, 포켓(26)을 스캔한다. 포켓(26)의 정밀한 지점은 3-D 참조 좌표계(54) 내에서 알려져 있으며, 이후, 로봇(22)은 단계 82에서 나타난 바와 같이 포켓(26)에서 툴(28) 상에 또는 포켓(26)에서 이전에 배치된 플라이(48) 상에 플라이(48)를 정밀하게 배치한다(25). 84에서, 플라이가 툴(28) 상에서 압착되고(29) 있을 때, 로봇에 의해 플라이(48)에 인가될 힘의 양을 결정하기 위하여 제어기(40)에 의해 이용되는 압착 프로세스 동안 피드백 신호를 전개시키기(develop) 위하여 힘센서(34)가 이용된다. 플라이(48)가 그립퍼(32)로부터 해제되는 것을 보장하기 위하여, 포지티브 공기 압력(positive air pressure)이 공기 공급기(42)(도 1)에 의해서 플라이(48)에 적용될 수 있다. 도 86에서 도시된 바와 같이, 단계들(66-84)은 필러가 완성될 때까지 플라이(48)들의 각각에 대해서 차례대로 반복된다.

[0077]

도 6은 플라이 더블러들의 자동화된 적층을 위한 방법의 전체 단계들을 도시한다. 단계 88에서 시작하면서, 복합재 테이프 적층 기계(composite tape layup machine: CTLM) 또는 자동화된 파이버 배치(automated fiber placement: AFP) 기계(도시되지 않음)는 도 2에 도시된 툴(28)과 같은 멘드렐 상에 최초의(initial) 플라이들을 배치한다. 다음으로, 90에서, 더블러 플라이(48)들의 깃이 작업셀(50)에 배치된다. 단계 92에서, 오퍼레이터는 로봇 사이클을 개시하고, 94에서, 로봇(22)은 엔드 이펙터(20)를 깃(30) 위로 이동시킨다. 단계 96에서, 카메라(30)는 깃(30)에서 다음 차례의 더블러 플라이(48)를 찾아서 선택한다(27). 이후, 98에서, 로봇(22)은 더블러 플라이(48)와 접촉하도록 엔드 이펙터(20) 상의 진공 그립퍼(32)를 이동시키고, 100에서, 로봇(22)은 진공 그립퍼(32)를 이용해서 깃(30)으로부터 선택된 더블러 플라이(48)를 들어올린다. 단계 102에서, 로봇(22)은 정지 카메라(42)에 더블러 플라이(48)를 제시하고, 104에서, 정지 카메라(42)는 진공 그립퍼(32)의 면(32a) 상에서 정밀하게 더블러 플라이(48)의 위치를 찾는다.

[0078]

106에서, 로봇(22)은 멘드렐 툴(28) 위의 위치로 엔드 이펙터(20)로 이동시키고, 레이저 스캐너(36)는 더블러 플라이(48)가 배치될 정확한 지점을 결정하기 위하여 이용되는 특징들을 검출하는 데 이용될 수 있다. 검출된 특징들은, 제한 없이, 툴(28) 상의 반사체(55)들, 툴(28)의 모서리들(28b), 또는 이전에 배치된 플라이(48)의 모서리들(도시되지 않음)을 포함할 수 있다. 108에서, 로봇(22)은 툴 표면(28a) 상에 또는 이미 배치된 더블러 플라이(48) 상에 더블러 플라이(48)를 배치한다(25). 110에서, 로봇(22)은 압착 프로세스(29) 동안 더블러 플라이(48)에 인가되고 있는 압착력의 양을 나타내는 피드백을 제어기(44)에 제공하기 위하여 힘센서(34)를 이용한다. 112에서, 모든 더블러 플라이(48)들이 멘드렐 툴(28) 상에 배치될 때까지 단계들(92-110)이 반복된다. 114에서, 복합재 테이프 적층 기계 또는 자동화된 파이버 배치 기계는 더블러 플라이(48)들 위로 전체 플라이들의 적층 프로세스를 계속하고, 116에서, 필요한 만큼, 또는 미리 결정된 플라이 스케줄(schedule)에 의해서 지시되는 바와 같이, 더블러 플라이(48)들의 배치가 반복된다.

[0079]

이제, 도 2에 도시된 시스템(54)과 같은 자동화된 플라이 적층 시스템에서 이용될 수 있는 장치(107)를 개략적으로 도시하는 도 7을 참조한다. 장치(107)는 플라이(48)들을 꾹 업 및 전송하기 위해 이용될 수 있고, 이들을 툴(28)(도 2), 이전에 적층된 플라이(48), 또는 다른 기관들(도시되지 않음)과 같은 기관(21) 상에 배치하기(23) 위해 이용될 수 있다. 장치(107)는 도 1-3과 관련하여 상술한 것과 유사할 수 있는 로봇(22)에 의해 조작되는 엔드 이펙터(20)를 포함한다. 엔드 이펙터(20)는, 툴(28) 위에서 전송되고 배치되는 동안 엔드 이펙터(20) 상에서 하나 이상의 플라이(48)들을 그립하기 위해 가역적인 정전기 접착(reverse electrostatic adhesion)을 이용하는 전기접착 그립퍼(electrostatic gripper, 108)를 포함한다. 전기접착 그립퍼(108)는 전력 공급기(electrical power supply, 110)에 의해 전력을 공급받고(powered), 플라이(48)를 엔드 이펙터(20)에 해제가능하게 부착시키는 데 이용되는 정전기 접착력(electrostatic adhesive force) "F"을 생성한다.

[0080]

도 8은 도 7에 도시된 장치(107)를 이용해서 플라이(48)들을 적층하는 방법의 단계들을 개략적으로 도시한다. 112에서 시작하면서, 엔드 이펙터(20)는, 트레이(30) 상에서 플라이 깃(24)의 일부를 형성하는 도 1에 도시된 것들과 같은, 하나 이상의 플라이(48)들과 접촉하게 된다. 114에서, 플라이(48)들은 플라이들을 그립퍼(108)에 부착시키는 정전기 접착력 "F"을 이용해서 그립퍼(108)에 의해 꾹 업되고 그립된다. 116에서, 엔드 이펙터(20) 및 로봇(22)은 그립된 플라이(48)를 도 2에서 도시된 툴(28)과 같은 기관(21)으로 이동시킨다. 단계 118에서, 기관(21) 상의 원하는 지점에 플라이(48)를 배치하기(23) 위하여 엔드 이펙터(20)가 이용된다. 예를 들어, 엔드 이펙터(20)는 도 2에 도시된 툴(28)의 포켓(26)들 중의 하나에 플라이(48)를 배치할 수 있다. 단계 120에서, 플라이를 그립퍼(108)에 부착시키는 정전기 접착력 "F"를 제거함으로써, 플라이(48)는 단계 118에서 배치된(23) 후에 엔드 이펙터(20)로부터 해제된다. 정전기 접착력 "F"는 그립퍼(108)에 공급되는 전력을 턴 오프(turn off

f)함으로써 제거된다.

[0081] 상술한 바와 같이, 도 7에 도시된 장치(107) 및 도 8에 도시된 방법은 도 1에 도시된 자동화된 적층 시스템(50)에서 이용될 수 있으며, 적층을 위해 플라이(48)들을 잘 인식하고, 연속적으로 선택하고, 꾹업하기 위하여, 그리고 배치되기 전에 엔드 이펙터(20) 상의 플라이들의 방향을 결정하기 위하여 카메라들(30, 42)이 이용된다. 하지만, 도 7에 도시된 장치(107) 및 도 8에 도시된 방법은 기판(21) 상에 플라이(48)들을 자동으로 배치하기 위하여 로봇(22)에 의해 조작되는 엔드 이펙터(20)가 이용되는 다른 자동화된 적층 시스템들에서 채용될 수 있다.

[0082] 도 9 및 10은 도 7에 도시된 장치의 하나의 실시 예의 추가적인 세부사항들을 도시한다. 전기접착 그립퍼(108)는 복수의 교류의 포지티브 및 네거티브 세장형(elongate) 전극 패드(electrode pad)들(122, 124)을 각각 포함한다. 전극 패드들(122, 124)은, 제한 없이, 구리 또는 다른 적절한 금속들과 같은 전기 전도성 물질로 이루어진 이격되고(spaced apart) 실질적으로 평행한 스트립들을 포함할 수 있다. 전극 패드들(122, 124)은 엔드 이펙터(20) 상의 연장부(extension, 128)에 설치된 백킹 플레이트(backing plate, 126)를 가로질러 뻗어 있고, 백킹 플레이트에서 지지된다. 포지티브(positive) 및 네거티브(negative) 전극 패드들(122, 124)은 각각, 엔드 이펙터(20)에 탑재되거나(on-board) 탑재되지 않게(off-board) 위치하는 DC 전력 공급기일 수 있는 전력 공급기(110)(도 7)에 연결된다. 도시된 예에서, 백킹 플레이트(126) 및 전극 패드들(122, 124)은 실질적으로 평평하지만, 이들은 플라이(48)들 및/또는 플라이(48)들이 배치될 틀(28) 또는 다른 기판(21)에 따라서 단순한 또는 복잡한 윤곽(contour)들을 포함하는 다른 기하구조들을 가질 수 있다.

[0083] 도 11을 참조하면, 전극 패드들(122, 124)은 실질적으로 직사각형의 단면을 가지지만, 다른 단면 구조의 전극들도 가능하다. 도시된 실시 예에서, 전극 패드들(122, 124)은 백킹 플레이트(126)에 부착된 폴리머(polymer)와 같은 적절한 비전도성 물질의 층을 포함하는 클램프(clamp, 115)에 내장된다. 클램프(115)는 실질적으로 단단한(rigid) 물질을 포함할 수 있고, 또는 그립된 플라이(48)의 표면 불균일성(irregularity)(도시되지 않음)에 클램프(115)의 표면(135)을 대체로 맞추는 것을 가능하게 하는 다소 변형가능한(deformable) 물질일 수 있다.

[0084] 전력이 전기접착 그립퍼(108)에 공급될 때, 교류의(alternating) 포지티브 및 네거티브 전극 패드들(122, 124)은 플라이(48)의 표면(137) 상에 정전기 + 및 - 전하(charge)들을 유도하는 정전기장(electrostatic field)들(120)을 생성한다. 플라이(48) 상의 + 및 - 전하들의 극성들은 전극 패드들(122, 124)의 극성들에 대해 반대이고, 그립퍼(108)의 표면(135)으로 플라이(48)를 끌어당겨서 그립퍼(108)의 표면(135)에 플라이(48)를 부착시키는 정전기 접착력 "F"의 생성을 놓는다. 전기접착 그립퍼(108)는 상대적으로 적은 양의 전력을 이용해서 상대적으로 큰 정전기 접착력 "F"를 생성할 수 있다. 예를 들어, 제한 없이, 전력 요구사항들은 대략 근사적으로 20 마이크로와트/뉴톤 웨이트(microwatts/Newton weight) 가량일 수 있다. 정전기 접착력 "F"는 전극 패드들(122, 124)에 공급되는 전력을 제어함으로써 조절되고, 턴 온(turn on) 및 턴 오프(turn off)될 수 있다. 온-오프(on-off) 스위칭 시간은 대략 근사적으로 50 밀리초(milliseconds) 보다 적을 수 있다.

[0085] 전기접착 그립퍼(108)는, 표면 상의 먼지(dust) 및/또는 파편(debris)을 갖는 및/또는 거칠거나 부드러운 표면들을 갖는 임의의 다양한 물질들로 형성된 전도성 또는 비전도성 플라이(48)들을 그립하기 위해서 이용될 수 있다. 예를 들어, 제한 없이, 몇 개만 열거하자면 열가소성 수지(thermoplastic)들, 프리프레그(prepreg)들, 금속 포일(foil)들, 금속 및 비금속 메쉬(mesh)들, 및 접착층(adhesive layer)들과 같은 플라이 물질들을 그립하기 위해 전기접착 그립퍼(108)가 이용될 수 있다.

[0086] 도 12는 그립퍼(108)의 대안적 형태를 도시하며, 여기서 전극 패드들(122, 124)은 비전도성 백킹 플레이트(126)에 직접 부착되는 패드(pad)들이다. 폴리머의 또는 다른 타입의 코팅(coating, 132)이 전극 패드들(122, 124)을 보호하도록(protectively) 덮는다. 이와 달리, 도면들에서 도시되지는 않았지만, 전극 패드들(122, 124)은 개별적으로 폴리머와 같은 비전도성 물질의 보호용 코팅에 의해 둘러싸이거나 보호용 코팅 내에 캡슐화될(encapsulated) 수 있다.

[0087] 상술한 바와 같이, 전기접착 그립퍼(108)를 갖는 본 발명의 엔드 이펙터(20)는 단일한 플라이(48)를 꾹업하고, 그립하고, 전송하고, 배치하기 위해 이용될 수 있으며, 또는, 도 13에 도시된 바와 같이, 엔드 이펙터(20)에 의해서 복수의 플라이들(48a, 48b, 48c)이 동시에 꾹업되고, 그립되고, 배치될 수 있다. 복수의 플라이들(48a, 48b, 48c)은 스테이션(station, 50)의 일부를 형성하는 트레이(40)(도 1) 상에서 또는 다른 표면들 상에서 서로에 대해 정교한 관계를 가지고 미리 배열될 수 있다. 전기접착 그립퍼에 의해서 동시에 그립되고 꾹업될 때, 한번에 하나씩 하는 자동화 또는 손 적층 배치 프로세스에 비하여, 플라이들이 엔드 이펙터(20)에 의해서 틀(28) 또는 다른 기판(21) 상에 미리 배열된 그룹으로서 배치되고 압착되는 동안 플라이들(48a, 48b, 48c)은 이들의

미리 배열된 관계로 유지된다.

[0088] 도 14는 엔드 이펙터(20)에 의해 항공기 윙(wing)(도시되지 않음)과 같은 기판(21) 상에 개별적으로 또는 그룹으로서 배치될 수 있는 얇은 금속 포일로 이루어진 복수의 스트립(strip, 134)들을 꽉 업하고 그립하기 위한 전기접착 그립퍼(108)의 이용을 도시한다. 이와 달리, 상술한 진공 그립퍼(32)(도 1)는 금속 포일 스트립(134)들을 꽉 업하고 그립하기 위하여 엔드 이펙터(20) 상에서 이용될 수 있다. 하지만, 항공기 표피(skin)(도시되지 않음)에 금속 메쉬(도시되지 않음)의 시트들을 부착함으로써 낙뢰 보호가 구현되는 몇몇 애플리케이션들에서, 엔드 이펙터(20) 상에서 정전기 그립퍼(108)를 이용하는 것이 바람직할 수 있다.

[0089] 본 발명의 실시 예들은 다양한 잠재적인 애플리케이션들, 특히 예컨대, 우주항공, 해양, 자동차 애플리케이션들 및 자동화된 적층 장비가 이용될 수 있는 다른 애플리케이션을 포함하는 운송산업(transportation industry)에서 이용될 수 있다. 그래서, 이제, 도 15 및 16을 참조하면, 본 발명의 실시 예들은 도 15에서 도시된 항공기 제조 및 서비스 방법(136) 및 도 16에서 도시된 항공기(138)의 맥락에서 이용될 수 있다. 본 발명의 실시 예들의 항공기 애플리케이션들은, 예컨대, 제한 없이, 몇 개만 열거하자면, 동체 스킨(fuselage skin)들, 윙 스킨(wing skin)들, 제어 표면(control surface)들, 해치(hatch)들, 바닥 패널(floor panel)들, 도어 패널(door panel)들, 액세스 패널(access panel)들, 및 미익(empennage)들과 같은 강화된 부재들(stiffened member)의 적층, 접착층들의 적층, 및 낙뢰 애플리케이션들을 위한 금속 포일의 얇은 시트들의 적층을 포함할 수 있다. 생산(production) 동안, 예시적인 방법(108)은 항공기(138)의 사양 및 설계(specification and design, 140)와 재료 조달(142, material procurement)을 포함할 수 있다. 제조 동안, 구성요소 및 서브어셈블리 제조(component and subassembly manufacturing, 144) 및 항공기(138)의 시스템 통합(system integration, 146)이 일어난다. 그 후에, 항공기(138)는 운행 중(150)에 놓이기 위하여 인증 및 납품(certification and delivery)(148)을 거칠 수 있다. 고객에 의해 운행 중에 있는 동안, 항공기(138)는 일상적인 유지보수 및 서비스(maintenance and service, 152)(이것은 변형(modification), 재구성(reconfiguration), 재단장(refurbishment) 등을 또한 포함할 수 있다)에 대한 스케줄이 잡힌다.

[0090] 방법(108)의 프로세스들의 각각은 시스템 통합자(integrator), 제3자(third party), 및/또는 오퍼레이터(operator)(예컨대, 고객)에 의해서 실시되거나 수행될 수 있다. 이 설명의 목적을 위해서, 시스템 통합자는 제한 없이 임의의 다수의 항공기 제조자들 및 메이저-시스템(major-system) 하청업자들을 포함할 수 있고; 제3자는 제한 없이 임의의 수의 판매자(vendor)들, 하청업자(subcontractor)들, 및 공급자(supplier)들을 포함할 수 있고; 오퍼레이터는 항공사(airline), 리스회사(leasing company), 군사 단체(military entity), 서비스 기구 등일 수 있다.

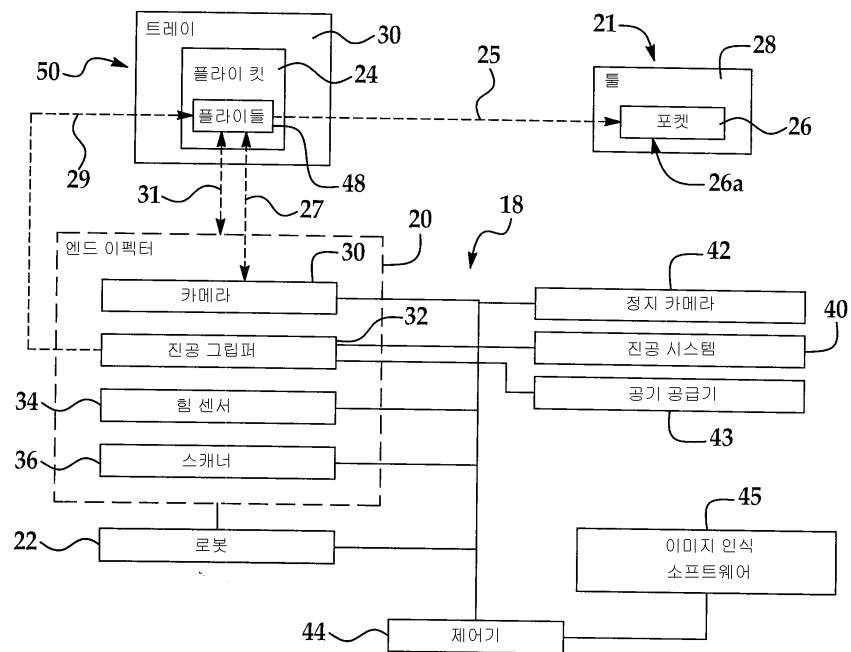
[0091] 도 16에서 도시된 바와 같이, 예시적인 방법(136)에 의해 생산된 항공기(138)는 복수의 시스템들(156)을 가진 기체(airframe)(154) 및 인테리어(interior)(158)를 포함할 수 있다. 하이-레벨(high-level) 시스템들(156)의 예들은 하나 이상의 추진(propulsion) 시스템(160), 전기(electrical) 시스템(162), 유압(hydraulic) 시스템(164), 환경(environmental) 시스템(166)을 포함한다. 임의의 다수의 다른 시스템들이 포함될 수 있다. 우주항공적인(aerospace) 예가 도시되지만, 본 발명의 원리들은 해양 및 자동차 산업들과 같은 다른 산업들에 적용될 수 있다.

[0092] 본 명세서에서 구체화된 시스템들 및 방법들은 제조 및 서비스 방법(136)의 하나 이상의 단계들 동안 채용될 수 있다. 예를 들어, 제조 프로세스(144)에 상응하는 구성요소들 또는 서브어셈블리들은 항공기(110)가 운행 중인 동안 생산되는 구성요소들 또는 서브어셈블리들과 유사한 방식으로 제작되거나 제조될 수 있다. 또한, 하나 이상의 장치 실시 예들, 방법 실시 예들, 또는 이들의 조합은, 예컨대, 항공기(138)의 비용을 감소시키거나 조립을 현저하게 가속화함으로써 제조 단계들(144 및 146) 동안 이용될 수 있다. 유사하게, 하나 이상의 장치 실시 예들, 방법 실시 예들, 또는 이들의 조합은 항공기(138)가 운행 중에 있는 동안, 예컨대, 제한 없이, 유지보수 및 서비스(152)에 이용될 수 있다.

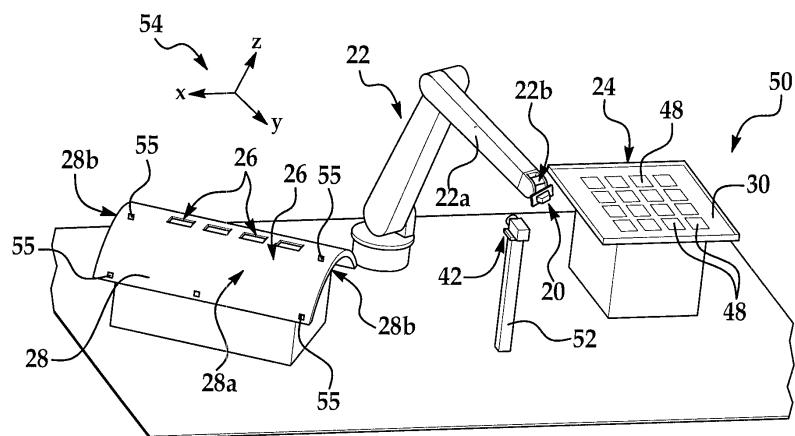
[0093] 본 발명의 실시 예들이 특정한 예시적인 실시 예들의 관점에서 설명되었지만, 다른 변형들이 당해 기술분야의 통상의 기술자들에게 떠오를 때 구체적인 실시 예들은 설명의 목적을 위한 것이고, 제한의 목적이 아니라는 점이 이해되어야 한다.

도면

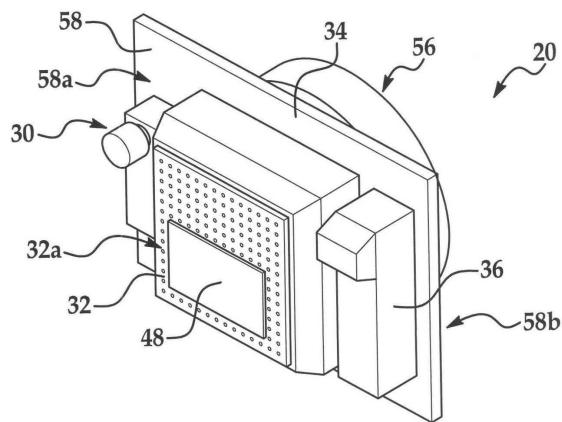
도면1



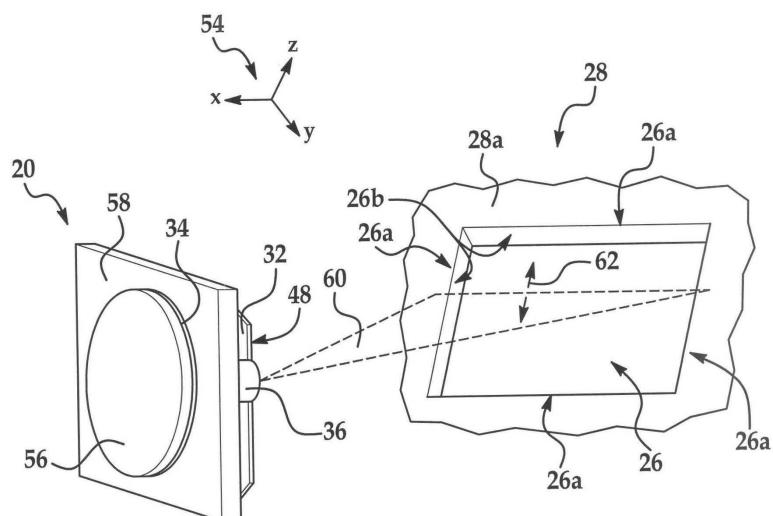
도면2



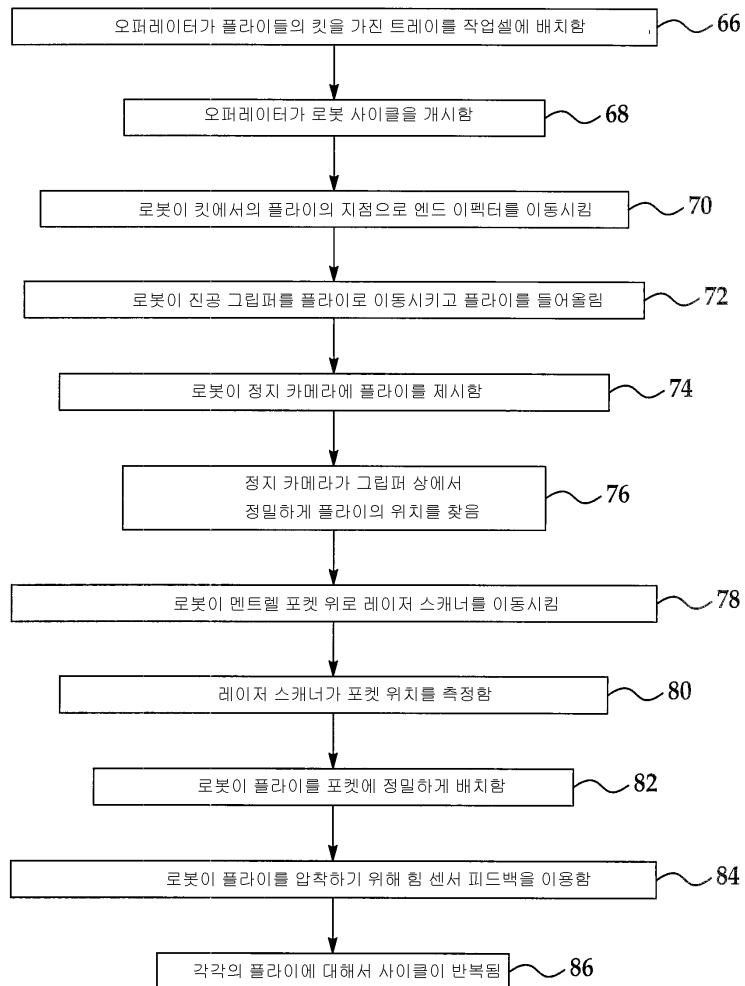
도면3



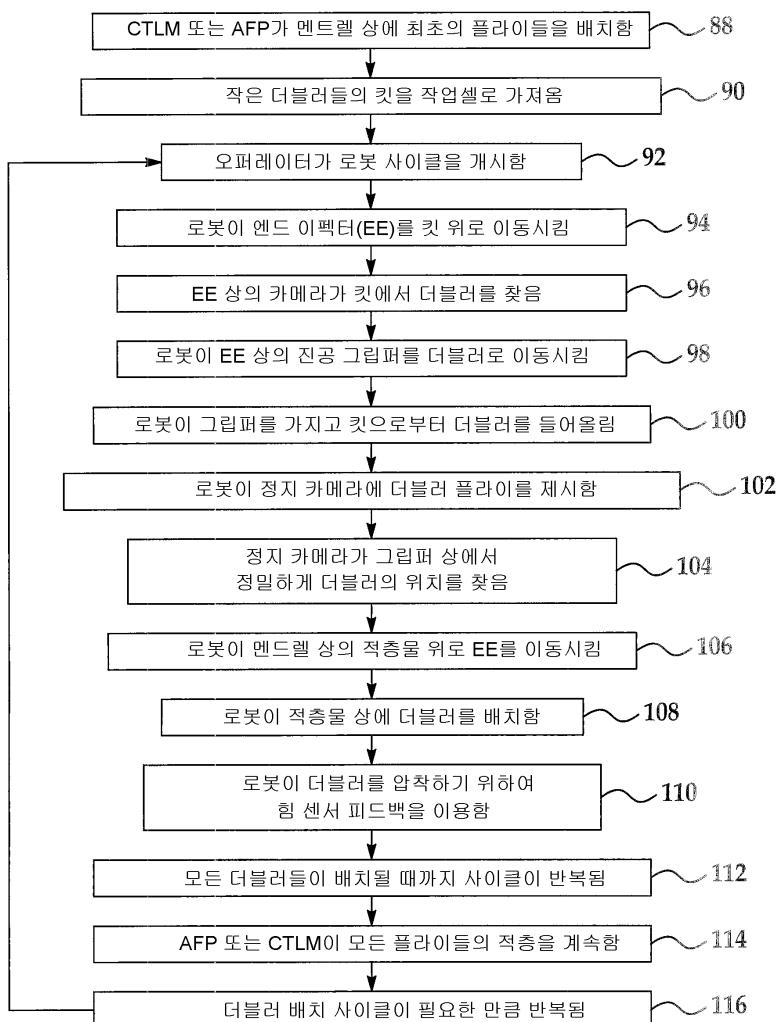
도면4



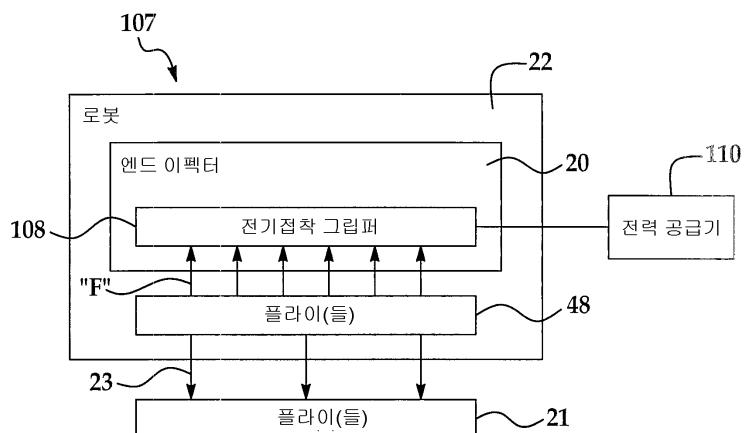
도면5



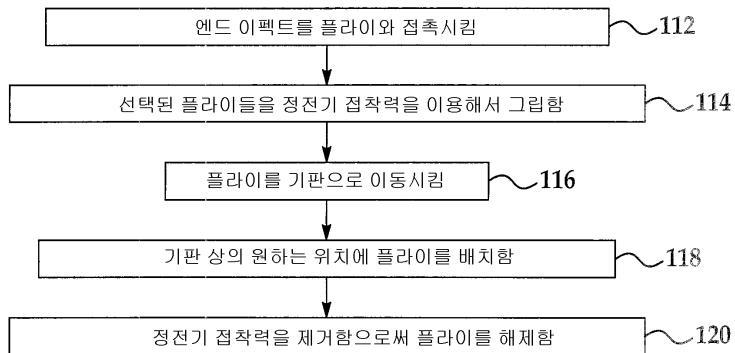
도면6



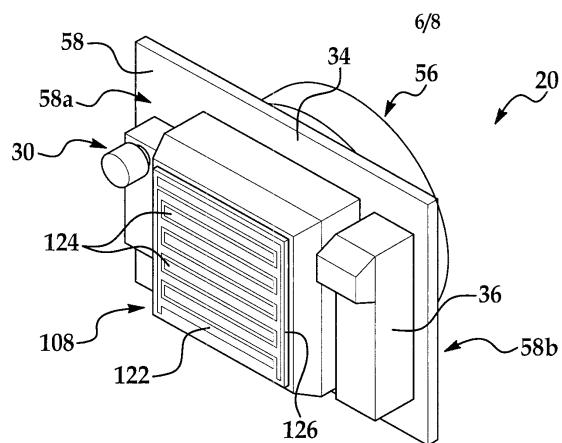
도면7



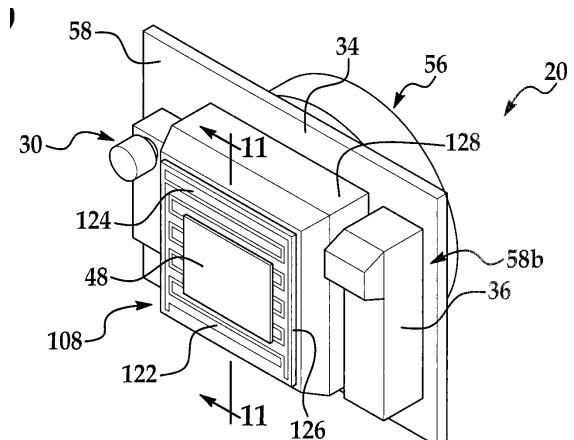
도면8



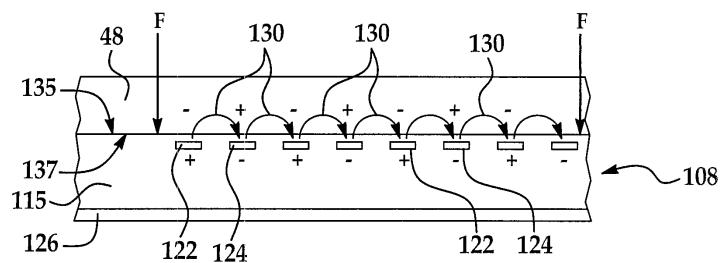
도면9



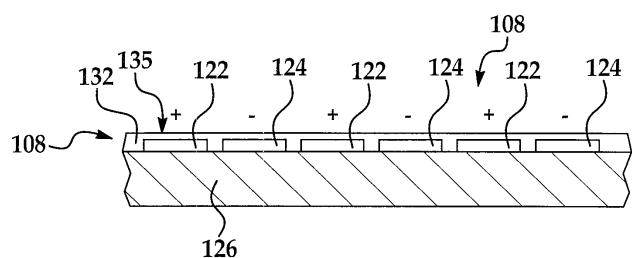
도면10



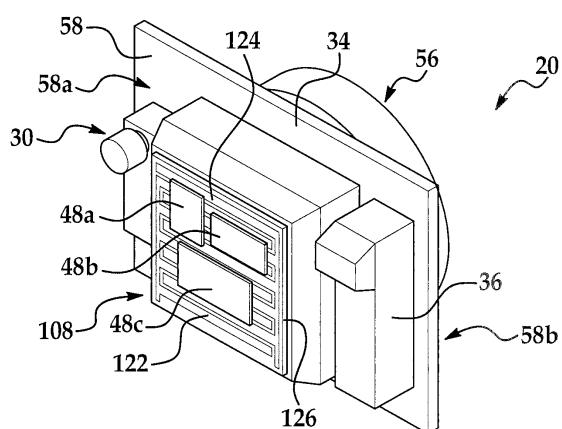
도면11



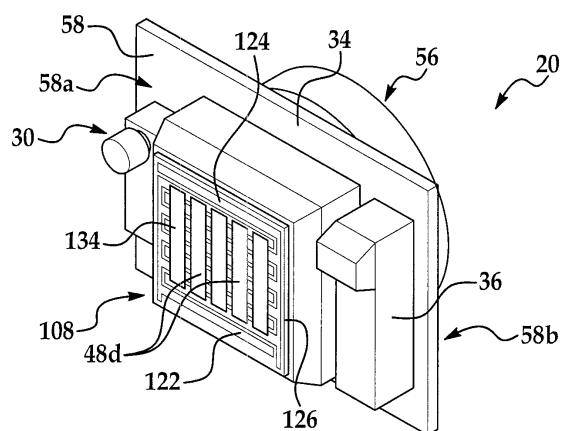
도면12



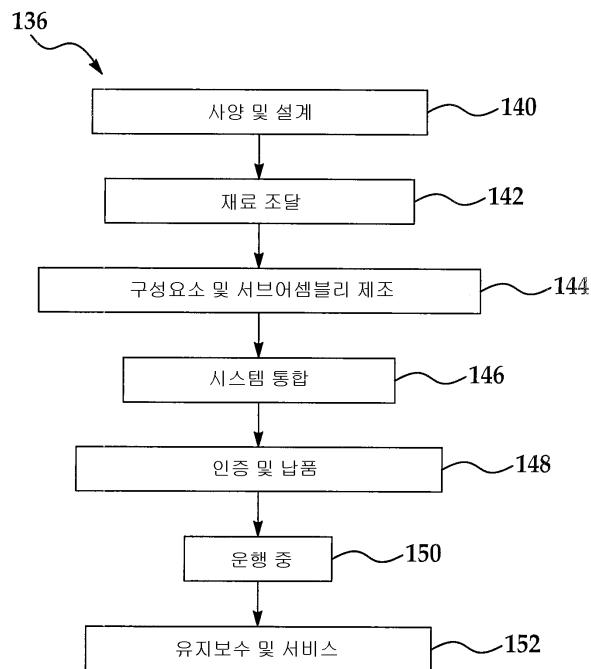
도면13



도면14



도면15



도면16

