



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0066340
(43) 공개일자 2019년06월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B29C 73/04 (2006.01) B32B 7/08 (2019.01)
(52) CPC특허분류
B29C 73/04 (2013.01)
B32B 7/08 (2019.01)
(21) 출원번호 10-2017-0165978
(22) 출원일자 2017년12월05일
심사청구일자 2017년12월05일

(71) 출원인
경상대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
권진희
경상남도 진주시 가좌안골길21번길 5 (가좌동, 가좌제일풍경채) 102-801
최진호
경상남도 진주시 진주대로 1317 이현하이클래스웰가아파트 106-2301
(74) 대리인
특허법인 플러스

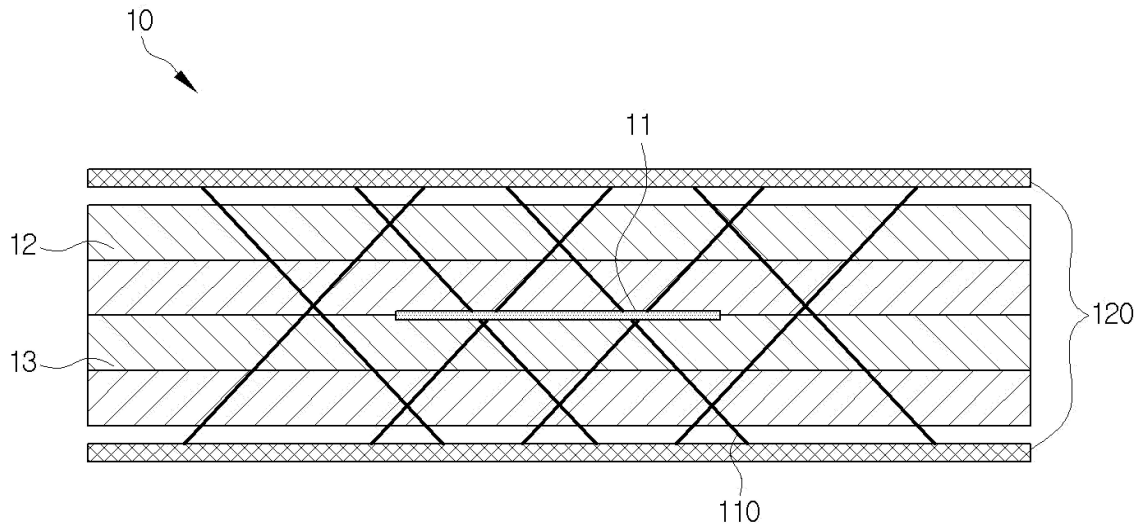
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 보강망과 마이크로 체결재를 이용한 복합재 층간분리 수리기법

(57) 요약

본 발명은 층간분리가 진행된 층간분리면의 양측에 형성된 복수의 라미나로 형성된 복합재 내부를 관통하는 체결부가 형성되되, 상기 체결부는 상기 복수의 라미나 내부를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재를 포함하는 복합재 층간분리 수리 보강재 및 이를 이용한 복합재 수리 방법이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

박상선

경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 삼계2길 24 삼계2주공아파트 203-205호

곽병수

부산광역시 북구 백양대로1050번길 16

장규석

경상남도 김해시 장유로334번길 76 장유e-편한세상아파트101-602

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2017R1A5A1015311

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학분야(S/ERC)

연구과제명 산업수요기반 고효율·안전 항공핵심기술 연구센터

기 여 율 1/2

주관기관 경상대학교 산학협력단

연구기간 2017.06.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015H1C1A1035655

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 지역혁신창의인력양성사업

연구과제명 전투기급 항공기의 고성능 복합재 레이돔핵심기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 경상대학교 산학협력단

연구기간 2015.07.01 ~ 2018.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

충간분리가 진행된 충간분리면(11)의 양측에 형성된 복수의 라미나(12,13)로 형성된 복합재(10) 내부를 관통하는 체결부;

가 형성되되,

상기 체결부는

상기 복수의 라미나(12,13) 내부를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재(110)를 포함하는 복합재 충간분리 수리 보강재.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 마이크로 체결재(110)는

양측에 보강망(120)이 집합하여 상기 제1라미나(12) 및 제2라미나(13)의 일면에 상기 보강망(120)이 접하는 것을 특징으로 하는 복합재 충간분리 수리 보강재.

청구항 3

제2항에 있어서,

충간분리가 진행된 상기 복합재(10)는

상기 복수의 라미나(12,13)를 일정각도 경사지도록 연통하는 통공(130)을 형성하고, 상기 통공(130)에 상기 마이크로 체결재(110)가 삽입되는 것을 특징으로 하는 복합재 충간분리 수리 보강재.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 마이크로 체결재(110)가 삽입된 상기 통공(130)의 빈 공간에 충전재를 삽입하는 것을 특징으로 하는 복합재 충간분리 수리 보강재.

청구항 5

제1항 내지 제4항의 복합재 충간분리 수리 보강재를 이용하여 복합재를 수리하는 방법에 있어서,

상기 복합재(10)가 충격을 받아 충간분리가 발생하는 손상 발생 단계(S100);

충간분리가 발생한 상기 복합재(10)의 충간분리 영역을 파악하는 비파괴 검사 단계(S200);

충간분리가 발생한 상기 복합재(10)의 좌굴하중을 도출하고, 좌굴이 발생하는 상기 제1라미나(12) 및 제2라미나(13)에 형성되는 상기 제1좌굴점(14) 및 제2좌굴점(15)의 위치를 추적하는 좌굴점 위치 추적 단계(S300);

상기 제1좌굴점(14)과 상기 제2좌굴점(15)에 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하는 체결재 체결단계(S400); 및
수리가 이루어진 상기 복합재(10)를 점검하는 점검 단계(S500);

를 포함하여 이루어지는 복합재 층간분리 수리 보강재를 이용한 복합재 수리 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 체결재 체결단계(S400)는

상기 제1좌굴점(14)과 상기 제2좌굴점(15)의 일정거리 범위 내 임의의 두 점을 서로 엇갈려 연통하여, 상기 복합재(10)의 두께 방향에 대하여 일정각도 경사지도록 관통하는 상기 통공(130)을 형성한 후, 상기 통공(130)에 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하는 것을 특징으로 하는 복합재 수리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 마이크로 체결재에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 층간분리가 발생한 복합재를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재와 좌굴하중에 따라 마이크로 체결재에 작용하는 힘을 분산시키는 보강망을 이용하여 층간분리가 진행된 복합재를 수리하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 복합재료란 성분이나 형태가 다른 두 종류 이상의 소재가 거시적으로 계면을 가지도록 조합된 구조용 재료를 일컫는다. 복합재는 일반적으로 금속과 차별화 되는 뛰어난 비강도, 비강성 등으로 다양한 분야에서 사용되고 있다. 대표적으로 보잉 787과 같은 여객기의 복합재료 사용비율은 전체 무게의 50%에 달한다.

[0003] 복합재료는 일반적으로 다수의 프리프레그(prepreg)를 적층 후 고온/고압에서 성형하여 제작한다. 프리프레그의 구성요소로는 섬유와 기지재로 크게 볼 수 있으며 이 중 섬유가 복합재에 가해지는 하중을 대부분 지지하게 된다. 복합재를 제작할 때 프리프레그 각각의 각도를 서로 다르게 적층하여 모든 방향에서의 면내 하중을 섬유가 지지하도록 한다. 따라서 복합재료는 면내 하중에는 높은 강도를 보이나, 두께방향으로 하중이 가해질 경우 그 방향으로 섬유가 없어 취약한 물성을 보이는 태생적 한계를 가진다. 두께방향으로 섬유를 보강하여 복합재료를 제작하기 위해 프리폼기반 3차원 직조 등의 기술을 사용하기도 하지만, 이 경우 면내 물성이 기존 프리프레그를 적층한 적층판보다 감소하는 단점을 가진다.

[0004] 특히 복합재료에 충격하중이 가해질 경우 두께방향으로 섬유가 없어 층간분리(delamination)가 발생한다. 층간분리는 항공기에 스텝카(step car) 부착, 작업자의 부주의로 인한 공구 추락(Tool drop) 등의 작은 충격에너지에도 발생하기 쉽다. 층간분리가 발생한 복합재 적층판은 일반적으로 섬유의 손상이 없기 때문에 인장하중이 가해질 경우 강도가 크게 저하되지 않는다. 그러나 압축하중이 가해질 경우 층간분리로 인해 얇아진 적층판에서 좌굴이 발생하기 쉽다. 좌굴은 구조물의 파손으로 이어지므로 반드시 수리해야 한다. 그러나 복합재료는 일반적으로 에폭시를 기지재로 사용하기 때문에 용접이 불가능하여 수리가 매우 힘들다.

[0005] 층간분리를 수리하는 방법으로는 일반적으로 접착제 수리법과 기계적 체결법을 채택하고 있고, 접착제 수리법 중 대표적인 방법이 패치 수리법이다. 그러나 패치 수리법은 별도의 패치가 복합재에 접착되어야 하는 수리법이기에 때문에, 손상을 입지 않은 복합재 부분을 포함하여 복합재 두께의 30배에 해당하는 반경을 모두 연마해야 하는 번거로움이 발생하고, 손상되지 않은 섬유를 제거하기 때문에 면내물성이 감소한다. 또한 평면이 아닌 곡면에서의 수리가 매우 어렵다.

[0006] 기계적 체결법의 경우 체결재를 이용하여 층간분리 된 적층판을 고정시키는 방법이다. 이 경우 수리가 간편하지만 체결재를 체결하기 위한 구멍에서 응력집중이 발생하여 강도가 구멍에 의해 감소된 Net-section에 비해 크게 감소된다. 또한 체결재로 인해 무게가 크게 증가하여 경량화를 위해 사용되는 복합재의 수리법으로 적당치 않다.

[0007] 마이크로 체결재를 이용한 수리의 경우 기계적 체결법의 단점인 무게증가가 작고 응력집중에 의한 강도감소가 작다. 그러나 체결재의 강도가 약하며, 수리 중 발생하는 공차로 인해 체결재로서 기능을 잃을 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 국내등록특허공보 제10-1345743호 ("경사진 방향틀로 핀을 박아 성능을 보강하는 복합재 적층 구조물의 제조장치")

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 경화가 완전히 이루어진 복합재의 층간분리를 수리할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명은 층간분리가 진행된 층간분리면의 양측에 형성된 복수의 적층판으로 형성된 복합재 내부를 관통하는 체결부가 형성되되, 상기 체결부는 상기 복수의 라미나(Laminar, 성형이 완료된 고형상태의 프리프레그) 내부를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재를 포함한다.
- [0011] 상기 마이크로 체결재는 양측에 보강망이 접합하여 상기 제1라미나 및 제2라미나의 일면에 상기 보강망이 접하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 상기 보강망은 상기 복수의 마이크로 체결재와 접합되어 상기 마이크로 체결재들 사이에서 발생하는 국부좌굴(Local buckling)을 막으며 힘을 분산시킬 수 있다.
- [0013] 층간분리가 진행된 상기 복합재는 상기 복수의 적층판 일정각도 경사지도록 연통하는 통공을 형성하고, 상기 통공에 상기 마이크로 체결재가 삽입되는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 상기 마이크로 체결재가 삽입된 상기 통공의 공차에 충전재를 삽입하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0015] 층간분리가 진행된 복수의 라미나로 형성된 복합재를 수리하는데 있어서, 접촉면을 전체적으로 연마하는데 평균적으로 일주일의 시간이 소요됨과 동시에 가공가격이 높은 패치 수리법을 지양하게 됨에 따라, 시간과 노력적인 측면에서 효율적인 수리를 수행할 수 있다. 또한 일반적인 볼트를 체결하는 것이 아닌 직경이 매우 작은 마이크로 체결재를 삽입함으로써, 복합재 내에 형성되는 통공에 의하여 발생할 수 있는 응력집중에 의한 파손을 최소화하여 면내 하중에 대한 강도회복률을 높일 수 있다.
- [0016] 마이크로 체결재는 강도가 약하나, 보강망을 통하여 마이크로 체결재에 가해지는 하중을 줄일 수 있다. 보강망을 이용하여 마이크로 체결재 사이에서 발생하는 국부좌굴을 방지할 수 있고, 기타패치에 비해 중량증가가 매우 작다. 패치가 무거울 경우 체결재가 패치의 무게를 추가로 지지해야 하므로 체결재에 더 큰 하중이 가해진다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 와이어를 이용하여 수리가 완료된 복합재를 도시한 단면도이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 와이어를 이용하여 수리가 완료된 복합재를 도시한 평면도이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 3개의 마이크로 체결재를 이용하여 수리된 복합재에 좌굴이 발생한 후 체결재 배열에 따라 "체결재에 가해지는 힘 - 복합재 처짐량" 선도를 각각 도시한 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 9개의 마이크로 체결재를 이용하여 수리된 복합재에 좌굴이 발생한 후 체결재 위치에 따라 "체결재에 가해지는 힘 - 복합재 처짐량" 선도를 각각 도시한 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 수리가 완료된 적층판에 체결재 수와 배열에 따른 좌굴하중을 도시한 표이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 마이크로 와이어를 이용하여 수리가 완료된 복합재의 좌굴 후 처짐량이 2 mm 일 때 면내 변위를 나타낸 그림이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 수리가 완료된 적층판에 좌굴이 발생하였을 때 좌굴영역을 나타낸 그림이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 보강망을 이용하여 수리가 완료된 적층판에 좌굴이 발생하였을 때 좌굴영역을 나타낸 그림이다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 수리를 진행 중 공차가 발생하였을 때 좌굴 후 복합재의 거동을 나타낸 단면도이다.

도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 복합재 수리 과정에서 충전재를 삽입한 상태를 도시한 단면도이다.

도 11은 본 발명의 실시예들에 따른 충전분리가 발생된 복합재를 수리하는 방법을 도시한 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하, 본 발명의 기술적 사상을 첨부된 도면을 사용하여 더욱 구체적으로 설명한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0019] 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0020] 이하, 본 발명의 기술적 사상을 첨부된 도면을 사용하여 더욱 구체적으로 설명한다. 첨부된 도면은 본 발명의 기술적 사상을 더욱 구체적으로 설명하기 위하여 도시한 일예에 불과하므로 본 발명의 기술적 사상이 첨부된 도면의 형태에 한정되는 것은 아니다.
- [0021] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 체결재를 이용하여 수리가 완료된 복합재를 도시한 단면도, 도 2는 평면도이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 복합재(10)는 여러 층의 라미나(12,13)가 서로 접합함으로써 형성된다.
- [0022] 이 때, 외부에서 상기 복합재(10)에 외력이 가해질 경우 상기 복합재(10)의 복수의 라미나(12,13)가 분리되는 충전분리 현상이 발생될 수 있다. 이는 상기 복합재(10)의 물리적인 성질을 변형시킴으로써 내구성을 저하시키게 된다.
- [0023] 도 1은 상기 복합재(10)가 충전분리면(11)을 기준으로 충전분리가 이루어져 수리가 완료된 상태를 도시한 것으로, 상기 복합재(10)의 복수의 라미나(12,13)를 관통하는 체결부에 의하여 충전분리가 수리된다.
- [0024] 가상의 충전분리면(11)을 중심으로 상, 하측에 배치되는 상기 복수의 라미나(12,13)에 충전분리가 발생한 상기 복합재(10)를 관통하는 체결부를 형성함으로써 상기 복수의 라미나(12,13)의 좌굴을 방지한다. 이는 곧 상기 복합재(10)의 좌굴하중을 회복하는 것을 의미한다.
- [0025] 이 때 상기 체결부는 직경이 매우 작은 마이크로 체결재(110)로 형성될 수 있다. 이는 상기 복합재(10)로 이루어지는 구조물 자체가 무게에 무척 민감한 항공 및 선박 분야에서 많이 사용되기 때문에, 수리 후 중량 증가를 최소화하기 위함이다. 또한 같은 단면적의 구멍을 가공할 경우, 큰 구멍을 하나 가공하는 것 보다 작은 구멍을 여러 개 가공하는 것이 강도 저하율이 낮다.
- [0026] 또한 상기 마이크로 체결재(110)는 마이크로 와이어, 마이크로 볼트 이외에도 형상 기억합금을 채택하여 충전분리를 수리할 수 있다. 충전분리면을 일정각도로 관통하는 기억합금에 형상을 변형시킬 수 있는 환경을 조성함으로써 상기 마이크로 체결재(110)의 형상이 변형되는데, 이는 체결할 수 있는 상기 마이크로 체결재(110)와 상기 복합재(10)를 결합시키는 별도의 접착을 수행하지 않아도 된다는 장점이 있다.
- [0027] 구조물은 반드시 좌굴이 발생치 않도록 설계되어야 한다. 그러나 수리설계 오차 및 여러 환경변수로 인해 좌굴이 발생할 경우를 대비해야한다. 구조물은 일반적으로 좌굴이 발생하면 이 후 처짐이 지속적으로 발생하게 되는데, 이 때 체결재에서 파손이 발생한다면 충전분리가 진전되며 구조물에 치명적인 영향을 끼칠 것이다. 특히 마이크로체결재는 강도가 약하므로 좌굴 후 체결재에 가해지는 힘을 검토할 필요가 있다. 도 3에 구체적으로 설명하기 위한 일시 예로, 충전분리가 발생한 복합재 구조물에 3개 하중방향, 3개 하중 직각방향으로 수리하였을 때 좌굴 후 체결재에 가해지는 힘을 각각 나타내었다. 도 4에 9개의 마이크로체결재로 수리하였을 때 좌굴 후 체결재에 가해지는 힘을 나타내었다. 도 5는 각 경우에 따른 좌굴하중이다.

- [0028] 도 3과 도 5를 참고하면 마이크로 체결재를 하중 직각방향으로 체결할 경우 볼트에 가해지는 힘은 낮으나 좌굴 하중을 더욱 회복하지 못함을 알 수 있다. 하중방향으로 체결할 경우 체결재가 전단력을 지지하며 좌굴하중이 더욱 회복됨을 알 수 있다. 따라서 하중이 가해지는 방향으로 체결재를 배열하여 수리하여야 더 높은 하중 회복률을 얻을 수 있다. 그러나 실제 구조물에 가해지는 힘의 방향은 불규칙적이므로 일렬로 볼트를 배열하여 수리할 수 없으며, 도 4에 표시된 것과 같이 사각형 또는 원형패턴으로 체결하여 수리해야 한다.
- [0029] 도 4의 처짐 후 인장력을 살펴보면 최대 20 N 이다. 마이크로 체결재의 단면지름이 0.5 mm인 원통이며 재질이 구조용 강(Steel)일 경우, 응력은 101.9 MPa 으로 인장력에 의해 파손이 발생되지 않음을 알 수 있다. 전단력을 살펴보면 처짐에 따라 지속적으로 증가한다.
- [0030] 따라서 도 3, 4, 5 로써 마이크로체결재가 전단력을 지지할 경우 좌굴하중을 더욱 회복함을 알 수 있다. 또한 좌굴이 발생한 수리적층판에 지속적으로 처짐이 발생할 때 전단력이 지속적으로 증가한다. 도 7은 층간분리가 발생한 복합재 구조물에 좌굴이 발생한 후 2 mm 의 처짐이 발생하였을 때 각 라미나의 면내변위이다. 좌굴이 발생하면 상기 라미나(12,13)는 탄성계수 및 단면계수가 상이하여 서로 다른 면내 거동을 보여 체결재에 상기 전단력을 발생시킴을 알 수 있다.
- [0031] 구조물에 좌굴이 발생하여 처짐이 지속적으로 발생할 경우, 일정 처짐량에서 좌굴이 발생한 구조물에 파손이 발생하거나 인근 구조물과의 연결부가 파손될 것이다. 따라서 좌굴 후 구조물의 안전성을 판단하기 위해서는 타 구조물과의 연결이 파손되는 처짐까지 마이크로체결재가 전단력을 지지하는지 확인해야 한다.
- [0032] 또한 보강망은 전단력을 인장력으로써 지지하여 마이크로 체결재의 단점인 체결재의 약한 강도를 극복할 수 있다. 근처 구조물과의 체결이 파손되는 처짐까지 체결재가 전단력을 지지할 수 있는지 구조해석을 통해 판단하여 보강망의 사용여부를 결정할 수 있다.
- [0033] 도 7은 본 발명의 일시예에 따른 마이크로 체결재를 이용하여 수리가 완료된 복합재에 좌굴이 발생하였을 때 좌굴모드를 도시한 평면도와 단면도이며, 도 8은 보강망과 마이크로 체결재를 이용하여 수리가 완료된 복합재에 좌굴이 발생하였을 때의 좌굴모드를 도시한 평면도와 단면도이다. 좌굴하중은 구조물의 세장비에 의해 결정되며, 특히 길이에 지배적인 영향을 받는다. 따라서 좌굴하중을 회복함은 좌굴이 발생하는 영역이 더 작아짐을 의미한다. 도 7과 도 8의 좌굴영역을 참조하면, 보강망을 이용할 경우 국부좌굴을 방지하여 같은 구멍개수에 대해 좌굴하중을 더욱 회복함을 알 수 있다.
- [0034] 상기 마이크로 체결재(110)의 양측을 상기 보강망(120)에 결합시키는 방법으로는 금속용접, 접착제를 이용한 접착 등이 가능하며, 금속 용접으로 상호 결합이 이루어지는 경우에는 고온으로 인해 상기 복합재(10)에 손상이 가해질 수 있으므로 도 2에 도시된 것과 같은 구조로 작은 금속 망(Mesh) 위에서 용접을 수행하여 상기 복합재(10)의 손상을 방지할 수 있다.
- [0035] 도 9는 마이크로 체결재를 위한 구멍에 공차가 발생한 경우를 도시한 것이다. 체결재를 체결할 경우 체결구멍은 반드시 체결재의 크기보다 커야한다. 도 3과 도 5를 참조하면 수리된 구조물의 좌굴하중 회복률을 더욱 증가시키기 위해 체결재가 전단력을 지지해야 함을 알 수 있다. 그러나 도 9의 (b)와 같이 공차가 발생할 경우 체결재는 전단력을 지지하지 못해 좌굴하중을 일정수준 이상 회복할 수 없다.
- [0036] 도 6을 참조하면 각 라미나의 면내변위가 다르며 A 지점에서 그 차이는 약 0.03 mm 이다. 이는 도 9의 상기 통공(130)의 공차가 0.03 mm일 경우 2 mm의 처짐까지 체결재가 전단력을 지지할 수 없음을 의미한다. 구조해석을 통해 어느 순간부터 전단력을 지지해야 할지 판단하여 구멍 공차를 결정할 수 있다. 그러나 그 공차가 너무 작아 실제 구조물에 적용하기 힘들다면 도 10과 같이 상기 마이크로 체결재(110)가 삽입된 상기 공차(130)에 별도의 충전재(200)를 삽입, 공차와 관계없이 전단력을 지지하여 좌굴하중을 더욱 회복하도록 할 수 있다. 상기 충전재(200)는 레진이나 접착제 등으로 이루어질 수 있으며, 상기 마이크로 체결재(110)와 화학적인 반응이 이루어지지 않는 물질로 형성될 수 있다.
- [0037] 도 11은 본 발명의 실시예들에 따른 층간분리가 발생된 복합재를 수리하는 방법을 도시한 예시도이다. 먼저 상기 복합재(10)에 충격하중으로 인하여 상기 복합재(10)의 일부분에 층간분리가 발생하는 단계(S100)가 진행된다. 이는 운용 중 정비자의 툴 드랍(tool drop), 스텝카(step car) 장착 등의 충격에 의하여 층간분리가 형성되는 단계로써, 정비자의 의도와 무관한 충격으로 인하여 상기 복합재(10)의 내구성을 떨어트리게 되는 단계를 뜻한다.
- [0038] 상기 하중 발생 단계(S100)를 거친 상기 복합재(100)는 비파괴 검사를 통하여 층간분리 영역을 파악하는 비파괴

검사 단계(S200)를 수행한다. 상기 비파괴 검사 단계(S200)에서는 방사선 투과법, 초음파 탐상법 등 층간분리가 발생한 영역을 파악할 수 있음과 동시에 상기 복합재(10)의 파괴가 이루어지지 않는 방법이라면 어떠한 방식으로든 수행이 가능하다.

- [0039] 상기 비파괴 검사 단계(S200)를 진행함에 따라 층간분리 영역 파악이 완료되면, NASTRAN이나 ABAQUS와 같은 유한요소해석 상용프로그램을 이용하여 좌굴하중을 도출하고, 상기 제1라미나(12) 및 제2라미나(13)가 좌굴됨에 따라 형성되는 상기 제1좌굴점(14) 및 제2좌굴점(15)을 추적하는 좌굴점 위치 추적 단계(S300)를 거친다.
- [0040] 상기 좌굴점 위치 추적 단계(S300)가 진행됨에 따라 각 좌굴점(14,15)의 위치를 파악하였다면, 상기 복수의 좌굴점(14,15)을 연통하게 되는 상기 통공(130)을 형성하고, 상기 통공(130)에 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하는 체결재 체결 단계(S400)를 진행한다. 이 때, 상기 제1좌굴점(14)과 상기 제2좌굴점(15)의 일정거리 범위 내 임의의 두 점을 서로 엮갈려 연통하여, 상기 복합재(10)의 두께 방향에 대하여 일정각도 경사지도록 관통하는 상기 통공(130)을 형성한 후, 상기 통공(130)에 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입한다. 이는 좌굴범위가 증가함에 따라 상기 체결재(110)가 받는 힘은 인장력보다 전단력이 크기 때문에, 이를 견딜 수 있도록 상기 체결재(110)를 45도로 삽입하여 내구성을 더욱 강화한다.
- [0041] 또한 상기한 바와 같이, 상기 체결재(110)가 체결된 상기 복합재(10)의 내구성을 향상시킬 수 있는 상기 보강망(120)을 상기 복합재(10)의 양 측에 접합시키는 보강망 접합 단계(S410)를 수행할 수 있다.
- [0042] 이후, 상기 마이크로 체결재(110)가 삽입된 상기 복합재(10)의 올바른 수리 유무를 판단하는 점검 단계(S500)를 진행한다. 이 때, 상기 점검 단계(S500)는 1차 점검 단계(S510) 및 2차 점검 단계(S520)로 세분화될 수 있으며, 상기 1차 점검 단계(S510)는 상기 복합재(10)의 좌굴하중과 좌굴모드의 회복 여부를 점검한다. 이 때 좌굴하중 또는 좌굴모드가 회복되지 않는다면, 다시 한 번 좌굴하중을 도출하는 상기 좌굴점 위치 추적 단계(S300)로 돌아가서 작업을 반복한다. 좌굴하중과 좌굴모드가 층간분리가 발생되기 전과 일치한다면, 2차 점검 단계(S520)를 수행한다.
- [0043] 상기 2차 점검 단계(S520)는 상기 통공(130)에 삽입된 상기 마이크로 체결재(110)에서 파손이 발생되는지 점검함과 동시에 상기 통공(130)의 공차를 판단한다..
- [0044] 이 때 파손이 발생되거나 상기 통공(130)의 공차가 너무 작다고 해석되거나 판단된다면, 상기 통공(130)에 상기 충전재(200)를 삽입하는 충전재 삽입 단계(S600)를 수행하게 되고, 그렇지 않다면 그대로 수리는 종료된다.
- [0045] 상기 1차 점검 단계(S510) 및 2차 점검 단계(S520)에서 상기 복합재(10)의 좌굴하중과 좌굴모드 및 상기 마이크로 체결재(110)의 파손 여부는 상기 좌굴점 위치 추적 단계(S300)에서 사용된 ABAQUS나 NASTRAN과 같은 유한요소 구조해석 프로그램을 활용하여 계산할 수 있다.
- [0046] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

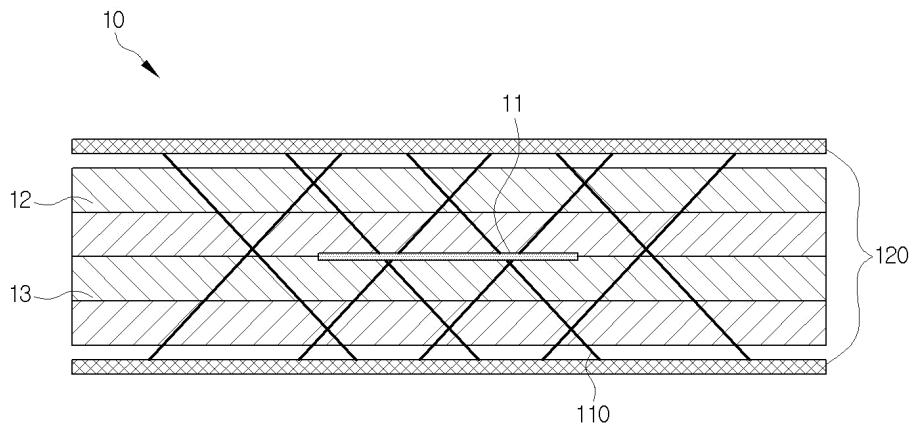
- [0047] 10 : 복합재 11 : 층간분리면
12 : 제1라미나 13 : 제2라미나
110 : 마이크로 체결재 120 : 보강망
130 : 통공
200 : 충전재
A : 보강망이 없는 복합재의 좌굴영역
B : 보강망이 설치된 복합재의 좌굴영역
S100 : 손상 발생 단계 S200 : 비파괴 검사 단계
S300 : 좌굴점 위치 추적 단계
S400 : 체결재 체결 단계 S410 : 보강망 접합 단계
S500 : 점검 단계

S510 : 1차 점검 단계 S520 : 2차 점검 단계

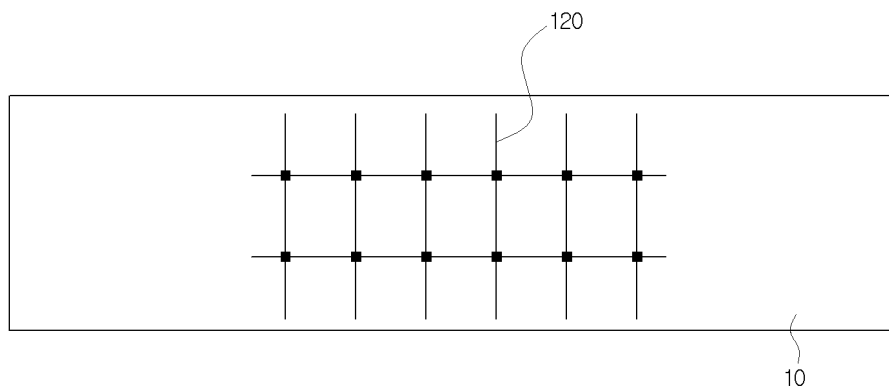
S600 : 충전재 삽입 단계

도면

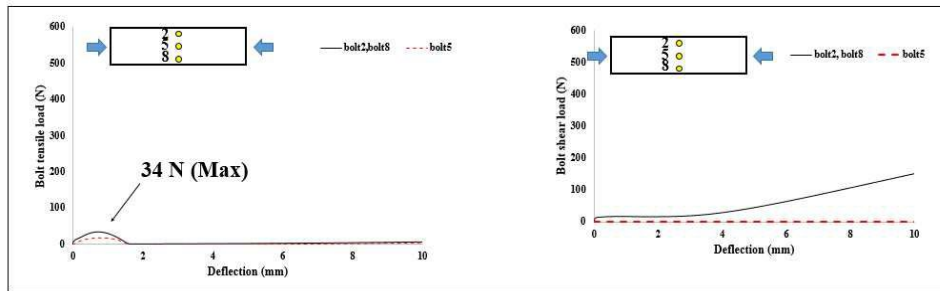
도면1



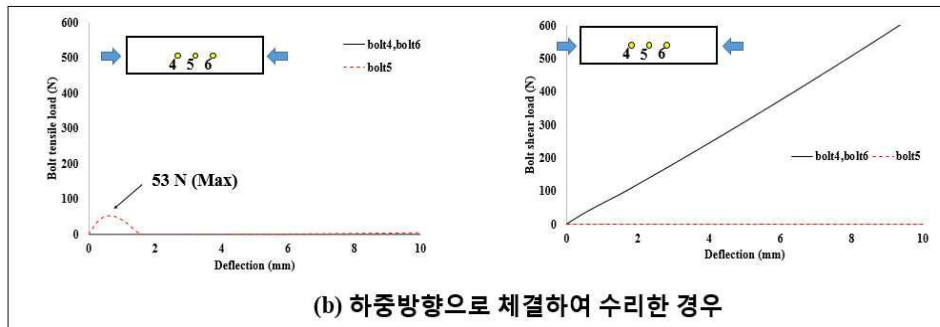
도면2



도면3

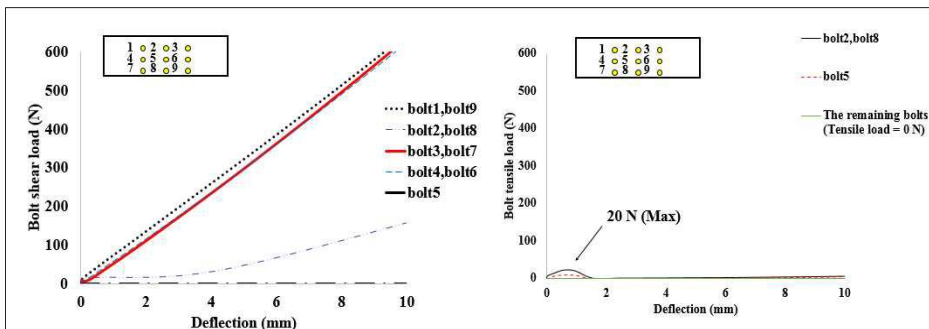


(a) 하중 직각방향으로 체결하여 수리한 경우



(b) 하중방향으로 체결하여 수리한 경우

도면4



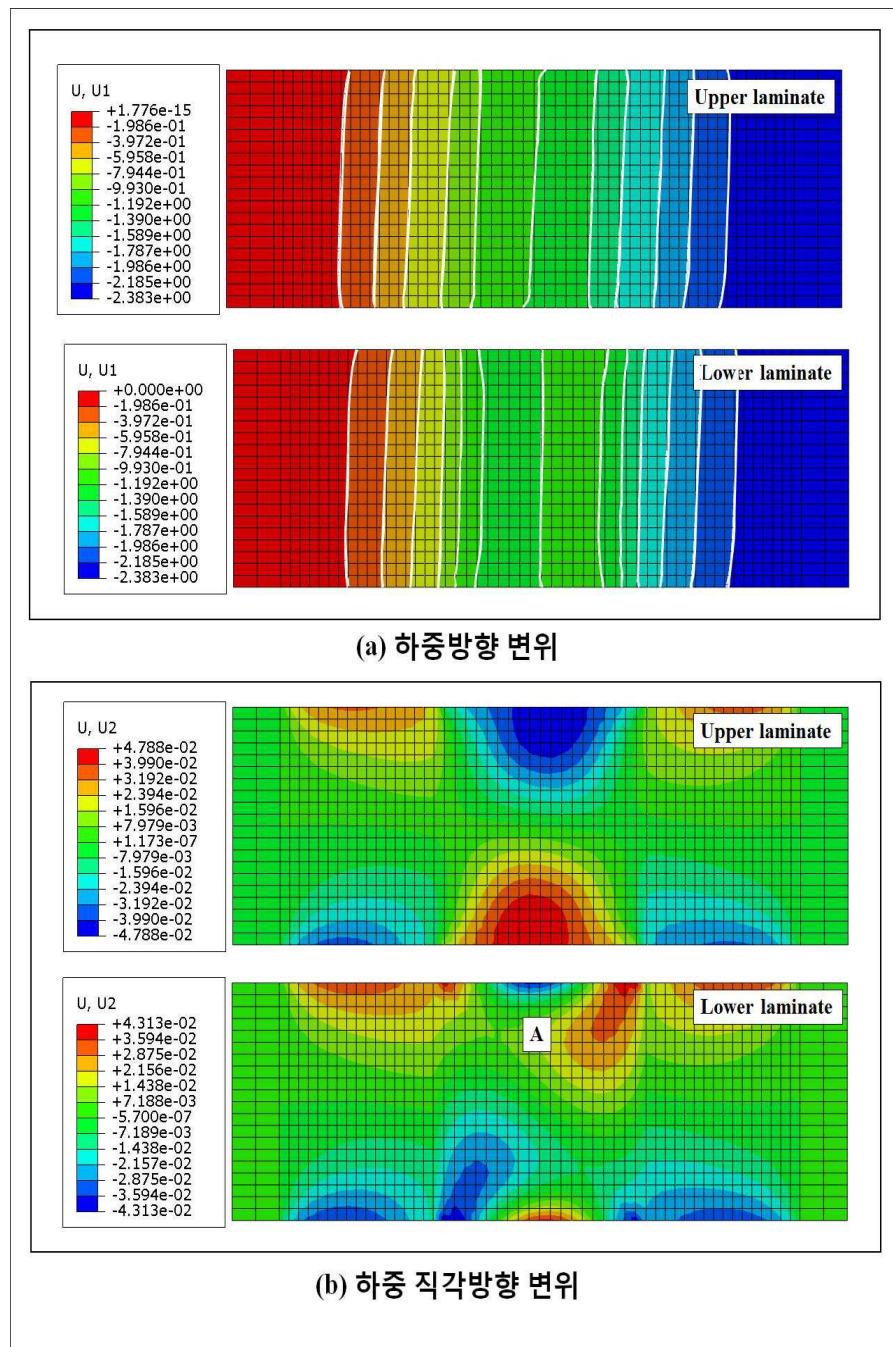
도면5

체결재 수 ↓	배열 ↓	좌굴하중 (좌굴하중 회복률) ↓
1 ↓	충간분리 중심 ↓	22.192 kN (89.5%) ↓
3 ↓	하중 직각방향 ↓	22.192 kN (89.5%) ↓
3 ↓	하중방향 ↓	22.353 kN (90.2%) ↓
9 ↓	3 × 3 사각형 패턴 ↓	22.665 kN (91.5%) ↓
25 ↓	5 × 5 사각형 패턴 ↓	23.164 kN (93.5%) ↓

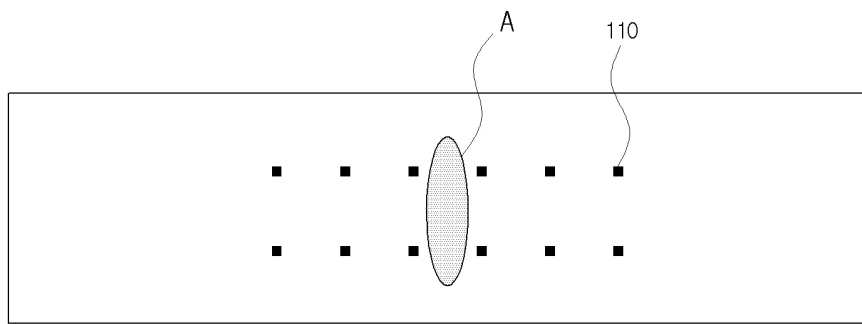
* 건전한 구조물 좌굴하중 : 24.783 kN ↓

* 수리되지 않은 구조물의 좌굴하중 : 16.7 kN ↓

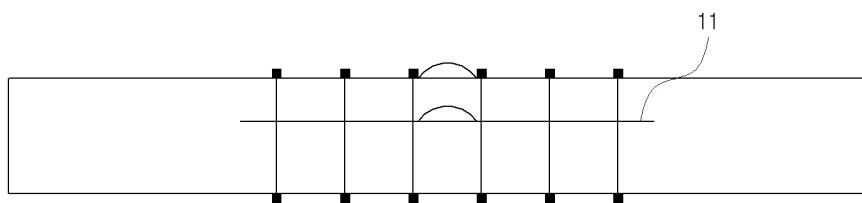
도면6



도면7

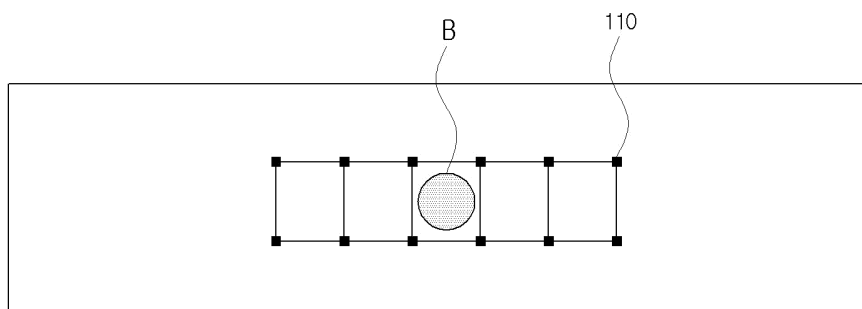


(a)

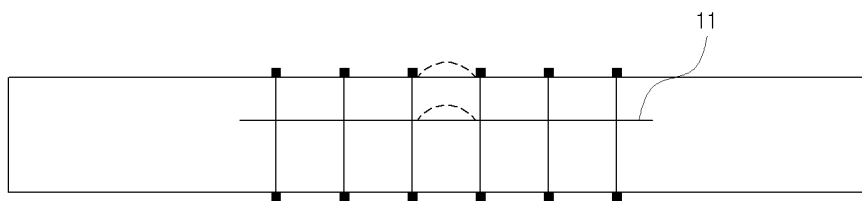


(b)

도면8

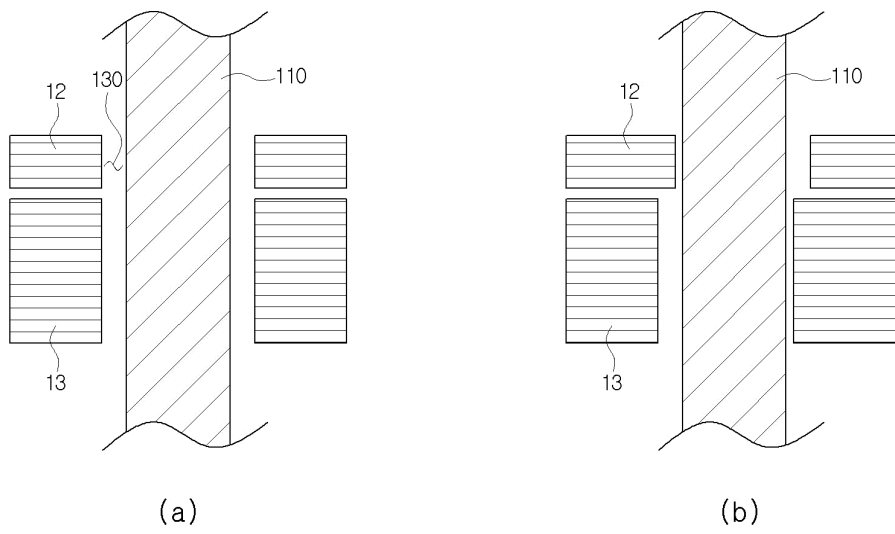


(a)

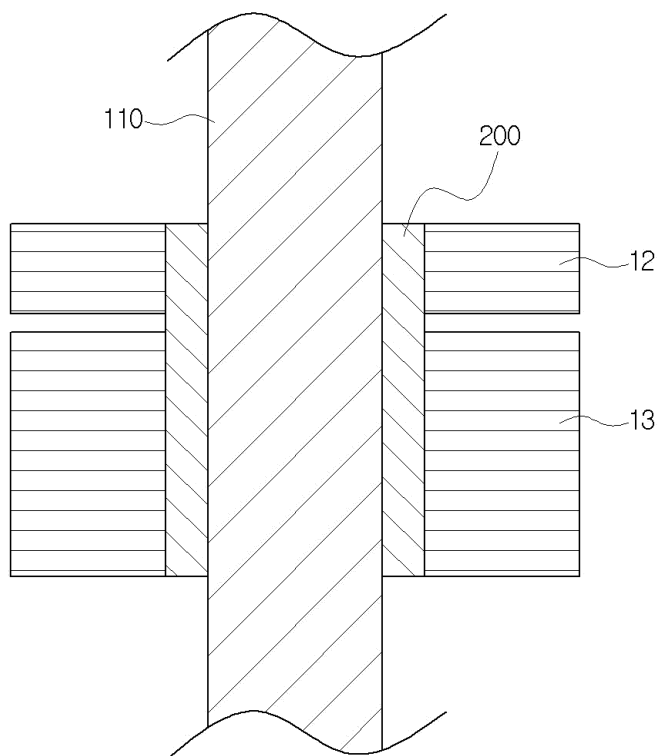


(b)

도면9



도면10



도면11

