



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2019년02월14일  
 (11) 등록번호 10-1947582  
 (24) 등록일자 2019년02월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 B32B 43/00 (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
 B32B 43/00 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2017-0033567  
 (22) 출원일자 2017년03월17일  
 심사청구일자 2017년03월17일  
 (65) 공개번호 10-2018-0106029  
 (43) 공개일자 2018년10월01일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 WO2011105540 A1\*  
 JP2014188994 A\*  
 JP2011025626 A\*  
 US4858853 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 경상대학교산학협력단  
 경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)  
 (72) 발명자  
 권진희  
 경상남도 진주시 가좌안골길21번길 5 (가좌동, 가좌제일풍경채) 102-801  
 최진호  
 경상남도 진주시 진주대로 1317 이현하이클래스웰  
 가야파트 106-2301  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 4 항

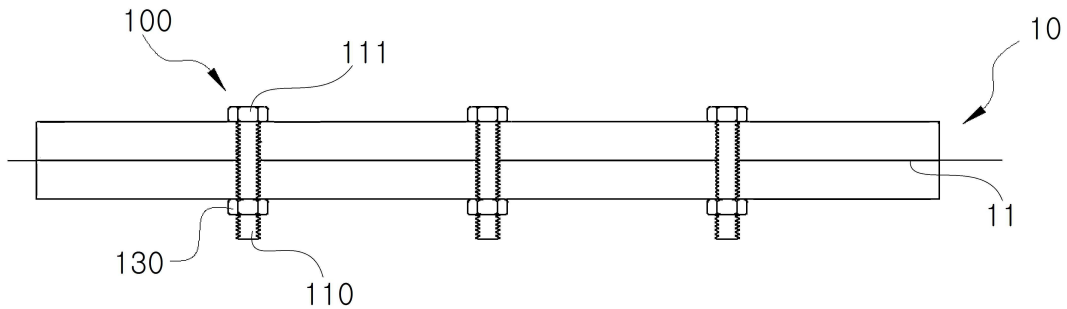
심사관 : 안영웅

(54) 발명의 명칭 **복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재 및 이를 채용한 복합재 수리 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 복합재의 프리프레그가 적층되는 방향에 수직으로 형성되며, 층간분리가 진행된 층간분리면의 양측에 형성된 복수의 레이어 내부를 관통하여 상기 복수의 레이어 사이에 형성되는 공간을 폐쇄시키는 체결부가 형성되되, 상기 체결부는 상기 복수의 레이어 내부를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재를 포함하는 복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재 및 이를 이용한 복합재 수리 방법이다.

**대표도** - 도2



(72) 발명자

**박상선**

경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 삼계2길 24 삼  
계2주공아파트 203-205호

**최현석**

경상남도 진주시 망경남길50번길 21, 2층

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

복수의 프리프레그가 적층된 상태에서 인접하는 섬유들이 경화됨으로써 상호 접촉되어 형성된 복합재(10)의 층간분리에 따른 층간분리면을 폐쇄시켜 상기 복합재(10)를 수리하기 위한 복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재에 있어서,

상기 복합재(10)의 프리프레그가 적층되는 방향에 수직으로 형성되며, 층간분리가 진행된 층간분리면(11)의 양측에 형성된 복수의 레이어(12,13) 내부를 관통하여 상기 복수의 레이어(12,13) 사이에 형성되는 공간을 폐쇄시키는 체결부(100);

가 형성되되,

상기 체결부(100)는,

상기 복수의 레이어(12,13) 내부를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재(110) 및,

층간분리가 진행된 상기 복합재(10)의 복수의 레이어(12,13)에 구조해석을 통해 도출된 좌굴하중에 따른 제1좌굴점(14) 및 제2좌굴점(15)을 연통하도록 형성된 통공(120),

을 포함하며,

상기 마이크로 체결재(110)는,

나사산이 형성된 마이크로 볼트로 형성되고, 상기 마이크로 볼트의 일측에 직경이 큰 헤드(111)를 형성하여 상기 제1레이어(12) 또는 상기 제2레이어(13)의 일면에 상기 헤드(111)가 접하도록 형성되며,

상기 제1레이어(12) 또는 제2레이어(13)의 일면에 형성되어 내주면이 상기 마이크로 볼트의 타측에 형성된 외주면과 결합되어 형성되는 마이크로 너트(130)를 더 포함하되,

하나의 상기 통공(120)에 하나의 상기 마이크로 볼트가 삽입되고, 상기 마이크로볼트의 타측의 외주면에 하나의 상기 마이크로 너트(130)가 체결되어, 단일 결합구조를 형성함으로써 상기 복합재(10)의 인장강도를 저하시키지 않고 층간분리에 따른 층간분리면을 폐쇄시키는 것을 특징으로 하는 복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 마이크로 체결재(110)는

직경이 0.8mm이하로 형성되어, 수리가 완료된 상기 복합재(10)의 물성치를 회복하고 증량증가를 최소화하는 것을 특징으로 하는 복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

제1항의 복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재를 이용한 복합재 수리 방법에 있어서,  
 상기 복합재(10)가 충격을 받아 층간분리가 발생하는 손상 발생 단계(S100);  
 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)의 층간분리 영역을 파악하는 비파괴 검사 단계(S200);  
 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)의 좌굴하중을 도출하고, 좌굴이 발생하는 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)에 형성되는 상기 제1좌굴점(14) 및 제2좌굴점(15)위 위치를 추적하는 좌굴점 위치 추적 단계(S300);  
 상기 제1좌굴점(14) 및 제2좌굴점(15)를 연통하며, 상기 복합재(10)의 두께방향에 수직으로 관통하는 상기 통공(120)을 형성하여 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하는 체결재 체결 단계(S400);  
 상기 복합재(10)의 좌굴하중과 좌굴모드의 회복 여부를 점검하는 1차 점검 단계(S500);  
 상기 통공(120)에 삽입된 상기 마이크로 체결재(110)의 파손 여부를 점검하는 2차 점검 단계(S600); 및  
 복수의 상기 마이크로 체결재(110)를 추가로 체결하는 추가 체결 단계(S700)  
 를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 복합재 수리용 마이크로 체결재를 이용한 층간분리 복합재 수리 방법.

**청구항 7**

제6항에 있어서,  
 상기 체결재 체결 단계(S500)는  
 상기 마이크로 체결재(110)를 상기 통공(120)에 삽입하였을 시, 상기 복합재(10)와 접하는 상기 헤드(111)의 일면에 고강도 접착제를 도포하는 것을 특징으로 하는 복합재 수리용 마이크로 체결재를 이용한 층간분리 복합재 수리 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 마이크로 체결재에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 층간분리가 발생한 복합재를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재와 이를 이용하여 경화가 이루어지고 층간분리가 진행된 복합재를 수리하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 복합재 구조물은 복수의 레이어(layer)로 형성된 프리프레그(prepreg)를 적층하여 제작된 구조물을 뜻한다. 프리프레그가 적층된 상태에서 인위적으로 고온, 고압을 형성하면, 프리프레그 내에 있던 에폭시 수지나 폴리테트라케톤과 같은 물질이 녹아서 복수의 레이어를 형성하는 섬유들을 상호 접합시킨다. 이렇게 단순히 복수의 레이어를 쌓아 올리는 적층 방식으로 형성되는 구조적 한계 때문에 레이어의 두께 방향(Z-방향)에 대한 기본 물성이 비교적 약하고, 운용 중에 충격을 받게 되면 층간분리가 발생되기 쉽다. 층간분리가 발생한 복합재 구조물의 경우 대부분의 하중을 섬유가 지지하기 때문에 인장강도와 같은 면내물성(in-plane property)은 거의 변하지 않게 되어, 양 끝단에 가해지는 인장력에 있어서는 큰 영향을 끼치지 않는다. 그러나 복합재 구조물은 일반적으로 두께가 매우 얇기 때문에, 좌굴에 취약하다. 특히 층간분리가 발생한 복합재는 레이어가 분리됨으로써 두께가 더 얇아지게 되어 좌굴에 취약하며, 좌굴이 진행되면 층간분리가 시작된다. 층간분리는 구조물의 수명을 단축시키는 주요 인자이며, 항공분야에서 사용되는 복합재의 경우 매우 작은 층간분리가 항공기의 안전에 치명적인 영향을 미칠 수 있다.

[0003] 층간분리를 수리하는 방법으로는 일반적으로 접착제 수리법을 채택하고 있고, 그 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 연마해야하는 번거로움이 발생하고, 평면이 아닌 곡면에서의 수리가 어렵다. 또한 패치 수리 후의 인장강도가 수리 전보다 현저하게 낮아지는 문제점이

발생한다.

[0004] 이러한 문제점이 발생하는데도 불구하고 패치 수리법을 사용하는 이유 중 하나는 앞서 말한 것과 같이 인장강도의 감소보다 복합재 구조물의 운용중 발생하는 압축하중에 따른 층간분리의 진전이 구조물 파손에 더 치명적이기 때문이다.

[0005] 상기한 문제점을 보완하고자 층간분리가 진행된 복합재의 수직방향으로 일반적인 직경을 가진 복수의 볼트를 체결하여 층간분리의 진행을 저지하는 방법을 고안해 봤으나, 볼트 체결을 위해 형성해야 하는 구멍 주변의 응력 집중이 발생하여 인장강도가 저하되고, 체결되는 볼트의 무게만큼 수리가 완료된 복합재의 무게가 늘어나게 됨에 따라, 중량의 절감이 필수적으로 요하는 분야에서 많이 사용되는 복합재의 수리방법으로는 적절치 못한 것으로 판단되어 오고 있었다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0006] (특허문헌 0001) 국내등록특허공보 제10-1394408호 ("Z-피닝 패치 및 이를 이용한 복합재 적층 구조물의 제조 또는 결합 방법")

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 수리 방법을 간소화함으로써, 복합재 수리에 집중하는 노력과 시간을 절약함과 동시에 강도를 회복시킬 수 있는 마이크로 체결재 및 이를 이용한 층간분리 복합재에 대한 수리 방법을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 본 발명은 복수의 프리프레그가 적층된 상태에서 인접하는 섬유들이 경화됨으로써 상호 집착되어 형성된 복합재(10)의 층간분리에 따른 층간분리면을 폐쇄시켜 상기 복합재(10)를 수리하기 위한 복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재에 있어서, 상기 복합재(10)의 프리프레그가 적층되는 방향에 수직으로 형성되며, 층간분리가 진행된 층간분리면(11)의 양측에 형성된 복수의 레이어(12,13) 내부를 관통하여 상기 복수의 레이어(12,13) 사이에 형성되는 공간을 폐쇄시키는 체결부(100)가 형성되며, 상기 체결부(100)는 상기 복수의 레이어(12,13) 내부를 관통하여 삽입되는 마이크로 체결재(110) 및 층간분리가 진행된 상기 복합재(10)의 복수의 레이어(12,13)에 구조해석을 통해 도출된 좌굴하중에 따른 제1좌굴점(14) 및 제2좌굴점(15)을 연통하도록 형성된 통공(120)을 포함하며, 상기 마이크로 체결재(110)는 나사산이 형성된 마이크로 볼트로 형성되고, 상기 마이크로 볼트의 일측에 직경이 큰 헤드(111)를 형성하여 상기 제1레이어(12) 또는 상기 제2레이어(13)의 일면에 상기 헤드(111)가 접하도록 형성되며, 상기 제1레이어(12) 또는 제2레이어(13)의 일면에 형성되어 내주면이 상기 마이크로 볼트의 타측에 형성된 외주면과 결합되어 형성되는 마이크로 너트(130)를 더 포함하되, 하나의 상기 통공(120)에 하나의 상기 마이크로 볼트가 삽입되고, 상기 마이크로볼트의 타측의 외주면에 하나의 상기 마이크로 너트(130)가 체결되어, 단일 결합구조를 형성함으로써 상기 복합재(10)의 인장강도를 저하시키지 않고 층간분리에 따른 층간분리면을 폐쇄시키는 것을 특징으로 한다.

[0009] 삭제

[0010] 삭제

[0011] 상기 마이크로 체결재는 직경이 0.8mm이하로 형성되어, 수리가 완료된 상기 복합재의 물성치를 회복하고 중량증가를 최소화하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 복합재 층간분리 수리용 마이크로 체결재를 이용하는 방법에 있어서, 상기 복합재가 충격을 받아 층간분리가 발생하는 손상 발생 단계, 층간분리가 발생한 상기 복합재의 층간분리 영역을 파악하는 비파괴 검사 단계,

층간분리가 발생한 상기 복합재의 좌굴하중을 도출하고, 좌굴이 발생하는 상기 제1레이어 및 제2레이어에 형성되는 상기 제1좌굴점 및 제2좌굴점위 위치를 추적하는 좌굴점 위치 추적 단계, 상기 제1좌굴점 및 제2좌굴점을 연통하며, 상기 복합재의 두께방향에 수직으로 관통하는 상기 통공을 형성하여 상기 마이크로 체결재를 삽입하는 체결재 체결 단계, 상기 복합재의 좌굴하중과 좌굴모드의 회복 여부를 점검하는 1차 점검 단계, 상기 통공에 삽입된 상기 마이크로 체결재의 파손 여부를 점검하는 2차 점검 단계 및 복수의 상기 마이크로 체결재를 추가로 체결하는 추가 체결 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0013] 삭제

[0014] 상기 체결재 체결 단계는 상기 마이크로 체결재를 상기 통공에 삽입하였을 시, 상기 복합재와 접하는 상기 헤드의 일면에 고강도 접촉체를 도포하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

[0015] 층간분리가 진행된 복수의 레이어로 형성된 복합재를 수리하는데 있어서, 접착면을 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 좌굴하중 회복률을 높일 수 있다.

[0016] 더 나아가 수리가 완료된 복합재의 중량과 수리 전 복합재의 중량차를 최소화함으로써, 중량 증가에 민감한 항공분야와 연비 절감 최소화를 주목적으로 하는 자동차 산업분야에서도 본 발명에서 기재하는 수리 방법을 사용할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0017] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 체결재를 이용하여 수리가 완료된 복합재를 도시한 예시도이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 볼트를 이용하여 수리가 완료된 복합재를 도시한 단면도이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 볼트를 이용하여 층간분리된 복합재가 수리되는 과정을 도시한 예시도이다.
- 도 4는 층간분리가 된 복합재와 본 발명의 일실시예에 따라 수리한 복합재를 나타낸 사진이다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 볼트를 이용하여 층간분리된 복합재를 수리하는 방법을 도시한 예시도이다.
- 도 6은 본 발명의 일실시예를 따른 복합재의 좌굴하중을 비교한 도표이다.
- 도 7은 본 발명의 일실시예를 따른 복합재의 좌굴하중을 비교한 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 일실시예를 따라 수리된 복합재의 하중을 비교한 도표이다.
- 도 9는 본 발명의 일실시예를 따른 복합재를 수리하는 마이크로 볼트의 직경에 해당하는 인장강도를 나타낸 그래프이다.

**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 따라 층간분리를 수리한 복합재(10)를 도시한 예시도이다. 일반적으로 복합재(10)는 복수의 레이어가 접합하여 형성되며, 도 1에 도시된 바와 같이 여러 개의 레이어가 동일한 단면적을 상호 접합함으로써 형성될 수 있다.
- [0022] 충격에 의해 층간분리가 발생한 복합재(10)의 경우, 양 끝단에 낮은 외력(운동하중)이 작용하게 되더라도 복수의 레이어가 각각 반대방향으로 좌굴됨에 따라 층간분리가 진전됨으로써 층간분리 영역이 발생된다. 상기 층간분리 영역이 증대되는 것을 방지하기 위하여 상기 복합재(10)를 관통하여 결합시키는 복수의 체결부(100)를 형성함으로써 상기 복합재(10)의 물성치를 회복하게 된다.
- [0023] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 마이크로 체결재(110)를 이용하여 층간분리 수리가 완료된 상기 복합재(10)를 도시한 단면도이다. 가상의 층간분리면(11)을 중심으로 양 방향에 위치한 복수의 레이어들이 서로 반대방향으로 좌굴되어 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)를 관통하는 체결부(100)를 형성함으로써 상기 복수의 레이어의 좌굴모드를 변경시킴으로써 좌굴하중을 회복한다.
- [0024] 상기 체결부(100)는 상기 복수의 레이어에 연통되는 통공이 형성되고, 상기 통공에 마이크로 체결재(110)가 삽입됨으로써, 상기 마이크로 체결재(110)가 상기 복합재(10)를 관통하게 되는 방식으로 형성될 수 있다. 상기 마이크로 체결재(110)는 일측의 직경이 비교적 큰 헤드(111)가 형성되어, 상기 복합재(10)의 일면에 접함으로써 상기 복합재(10)의 좌굴모드를 변경시킨다. 또한 상기 마이크로 체결재(110)는 도 2에 도시된 바와 같이 나사산이 형성된 볼트로 형성될 수 있으며, 이 때 너트(130)의 내주면이 상기 마이크로 체결재(110)가 상기 통공에 삽입되는 반대방향으로 상기 복합재(10) 외부로 돌출된 부분의 외주면과 결합되어 형성될 수 있으며, 상기 너트(130)를 회전시켜 조여주게 되면서, 조임 토크에 의하여 상기 복합재(10)의 좌굴을 방지하는 데 일조한다.
- [0025] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로 체결재(110)를 이용하여 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)의 수리되는 과정을 도시한 예시도이다. 먼저 상기 복합재(10)가 충격을 받게 되면, 층간분리면(11)을 기준으로 좌, 우 복수의 레이어(12,13) 사이가 벌어지는 층간분리가 일어나게 된다. (a)에 도시된 바와 같이, 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)가 서로 다른 방향을 향하여 좌굴됨으로써, 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13) 간에 형성되었던 수직 결합이 떨어지며 간격이 벌어지게 된다.
- [0026] 이후에 (b)에 도시된 바와 같이, 좌굴이 진행된 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)가 좌굴되는 복수의 좌굴점(14,15)을 프로그램을 이용한 구조해석을 통해 추적하고, 상기 복수의 좌굴점(14,15)에 통공을 가공한다. 상기 통공은 드릴가공, EDM 가공 등 0.8mm 이하의 직경을 가지는 통공을 형성할 수 있는 가공이라면 어떠한 방식으로든 가공될 수 있다. 향후 가공을 거친 상기 복합재(10)는 (c)와 같이 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)를 수직으로 연통하는 상기 통공(120)을 형성하게 된다. 이 때 상기 통공(120)의 직경은 0.8mm이하의 범위를 벗어나지 않는 한도 내로 형성된다. 이는 상기 통공(120) 주변이 작용하중에 따른 강도저하를 받게 되는 이유에서 비롯된다.
- [0027] 이렇게 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)를 수직으로 연통하여 형성된 상기 통공(120)에, (d)에 도시된 바와 같이 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하고, 볼트 형식의 상기 마이크로 체결재(110)의 끝부분에 상기 너트(130)가 체결되어 상기 헤드(111) 및 너트(130)가 상기 복합재(10)의 좌굴하중과 좌굴모드를 층간분리가 없는 복합재와 동일한 형태로 만든다.
- [0028] 도 4는 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)에 수리를 하지 않았을 경우, 압축하중에 의해 발생하는 좌굴모드와 본 발명의 일실시예에 따라 수리한 상기 복합재(10)의 좌굴모드를 나타낸 사진이다. 상기 복합재(10)가 충격을 받게 된다면, 상기 복합재(10)를 형성하는 복수의 레이어 중 상기 층간분리면(11)의 좌,우에 형성되는 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)가 분리되는 층간분리가 발생한다. 층간분리가 발생한 상태에서 수리공정을 거치지 않은 상기 복합재(10)가 운용되어 압축하중을 받게 되면, 기존에 발생했던 층간분리가 건전부로 더 진전되어 좌굴 발생과 동시에 상기 복합재(10)가 파손되는 상태에 이르게 된다. 그림 (a)는 기존에 처음 발생한 층간분리를 방지한 상태에서 운용되어 건전부까지 크랙이 진전된 상태를 나타낸다.
- [0029] 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)를 도 3에 도시된 바와 같이 상기 드릴(200)로 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)를 수직으로 연통하는 상기 통공(120)을 형성하고, 상기 통공(120)에 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하여 상기 너트(130)로 체결하게 되어 완성된 그림이 (b)이다. (b)와 같이, 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)를 상기한 방법으로 수리하는 경우에 있어서 층간분리가 발생하지 않은 구조물과 동일한 좌굴모드를

보인다.

- [0030] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 상기 마이크로 체결재(110)를 이용하여 층간분리가 발생한 상기 복합재(10)를 수리하는 방법을 도시한 예시도이다. 먼저 상기 복합재(10)에 충격하중으로 인하여 상기 복합재(10)의 일부에 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.
- [0031] 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.
- [0032] 상기 비파괴 검사 단계(S200)를 진행함에 따라 층간분리 영역 파악이 완료되면, NASTRAN이나 ABAQUS와 같은 유한요소해석 상용프로그램을 이용하여 좌굴하중을 도출하고, 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)가 좌굴됨에 따라 형성되는 상기 제1좌굴점(14) 및 제2좌굴점(15)을 추적하는 좌굴점 위치 추적 단계(S300)를 거친다.
- [0033] 상기 좌굴점 위치 추적 단계(S300)가 진행됨에 따라 각 좌굴점(14,15)의 위치를 파악하였다면, 상기 복수의 좌굴점(14,15)을 수직으로 연통하게 되는 상기 통공(120)을 형성하고, 상기 통공(120)에 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하는 체결 단계(S400)를 진행한다. 이 때 상기 복합재(10) 내부에 형성되는 상기 통공(120)의 직경은 0.8mm 이하의 범위를 벗어나지 않는다면, 상기 드릴(200)로 가공하거나 EDM가공 등을 통하여 상기 통공(120)을 형성할 수 있으며, 상기 마이크로 체결재(110)의 형상이 나사산이 형성된 볼트 형상으로 형성될 시에 상기 너트(130)가 상기 마이크로 체결재(110)의 돌출 부분과 결합하여 상기 너트(130)를 회전시켜 조임으로써, 상기 복수의 레이어(12,13) 사이 형성된 층간분리 간극을 좁히는 방식으로든 형성될 수 있다. 또한 상기 제1레이어(12) 또는 제2레이어(13)의 일면과 접하는 상기 헤드(111)의 일면에 고강도 점착제를 도포함으로써, 체결력을 강화할 수 있다.
- [0034] 상기 체결재 체결 단계(S400)를 수행한 후, 상기 마이크로 체결재(110)가 삽입된 상기 복합재(100)의 좌굴하중이 회복되었는지 확인하는 1차 점검 단계(S500)를 진행한다. 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(S600)를 수행한다.
- [0035] 상기 2차 점검 단계(S600)는 상기 통공(120)에 삽입된 상기 마이크로 체결재(110)에서 파손이 발생하는지 점검하게 된다. 이 때 파손이 발생된다고 해석이 된다면, 상기 체결재 체결 단계(S400)에서 삽입한 상기 마이크로 체결재(110)와 상기 복합재(100)의 끝단 중앙에 형성되는 위치에 추가적으로 상기 마이크로 체결재(110)를 삽입하는 추가 체결 단계(S700)를 수행하게 되고, 파손 발생이 일어나지 않는 것으로 해석된다면, 그대로 수리는 종료된다.
- [0036] 상기 1차 점검 단계(S500) 및 2차 점검 단계(S600)에서 상기 복합재(100)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.
- [0037] 도 6은 본 발명의 일실시예를 따라 상기 복합재(10)의 좌굴하중 회복률을 비교한 도표이고, 도 7은 이에 대한 그래프이다. 도 6(a)에 표시한 바와 같이, 도 7의 그래프의 X축 값은 사진에 좌굴이 일어나 기준에 좌굴이 일어나기 전 지점과의 거리를 나타내고, 그래프의 Y축 값은 상기 복합재(10)의 양 끝단에서 작용하는 압축력을 나타낸다. 도 6(b) 도표는 도 7의 그래프를 수치적으로 정리한 도표로써, 도 6(b)에서 알 수 있듯이 층간분리가 발생하지 않은 시편에 비해 층간분리가 발생한 복합재 시편의 좌굴하중은 약 74%밖에 미치지 못한다. 이 좌굴하중이 구조물의 제한하중 이하의 값이라면, 구조물의 안전에 치명적인 영향을 미치게 된다. 층간분리가 발생한 복합재 시편에 본 발명의 일실시예에 따른 수리 방법으로 수리를 완료했을 때의 좌굴 하중은 층간분리가 진행되기 전 복합재 시편의 좌굴하중의 약 98%의 회복률을 보여 기준에 설계된 구조물의 극한하중과 거의 일치하여 좌굴에 의한 구조물의 파손을 막을 수 있다. 약 2%에 해당되는 손실율은 복합재의 시편을 제작하는 데에서 발생한 시편 제작오차로써, 실제 층간분리가 발생한 복합재에 수리를 시행할 경우에는 직경 0.6mm의 체결재가 체결됨으로써 좌굴하중의 100%가 회복되는 것으로 해석된다.
- [0038] 도 8은 본 발명의 일실시예를 따라 수리된 상기 복합재(10)의 무게를 비교한 도표이다. 기록한 바와 같이 종래 층간분리가 진행된 시편을 수리하는 데 있어서 상용화된 패치 수리법을 시행한 시편은 663mg의 중량이 증가했다

면, 동일한 시편에 본 발명에 따른 상기 마이크로 체결재 수리법으로 9개의 직경 0.6mm의 상기 마이크로 체결재 (110)를 체결하여 수리하였을 시에는 56.7mg에 불과한 중량이 추가되며, 약 623.4mg의 중량 차이를 기록하였다. 이론상 0.6mm의 체결재 105개를 체결한 복합재의 중량이 패치 수리법에 의해 수리된 복합재의 중량과 일치되는 값으로써, 이는 중량의 영향을 최소화하며 층간분리 수리가 가능하다.

[0039] 도 9는 본 발명의 일 실시예를 따른 복합재를 수리하는 마이크로 체결재(110)의 직경에 해당하는 인장강도를 나타낸 그래프이다. (a)와 (b)에서 알 수 있듯이, 상기 제1레이어(12) 및 제2레이어(13)를 수직으로 연통하는 상기 통공(120)의 직경에 따라 구조물의 강도는 현저히 달라짐을 나타내며, 특히 0.8mm 이하의 직경에 해당하는 상기 마이크로 체결재(110)가 체결되었을 시에 급격히 증가한다. TS-Dx에서 x는 상기 통공(120)의 직경(mm)를 의미한다.

[0040] 도 9에 나타난 바와 같이 상기 직경의 크기가 클수록 구조물의 강도는 작아지게 되는데, 이는 상기 통공(120)의 크기가 작을수록 응력집중이 파손에 영향을 미치지 않음을 뜻한다. 구조물의 형상에 급격한 변화가 일어나는 부분에서, 작용하는 하중이 집중이 되는 응력집중 현상이 발생된다. 응력집중은 상기 통공(120)의 크기가 작아질수록 높아지지만, 상기 통공(120)의 직경이 0.8mm 이하로 작아지면 응력집중이 발생하는 구역 또한 좁아져, 구조물의 파손에 직접적인 영향을 미치지 않게 된다.

[0041] 이러한 이유로 상기 통공(120)의 직경을 최대한 작게 형성하여 수리하는 것을 원칙으로 하며, 도 6에 나타난 바와 같이 직경이 0.6mm인 마이크로 체결재를 체결했을 시에 98%의 좌굴하중 회복률을 보이며, 92%의 인장강도 회복률을 기록한다. 이는 상기 통공(120)의 직경이 0.6mm일 때 기록한 회복률 수치로써, 직경이 작으면 작을수록 응력집중 현상으로 인하여 파손에 끼치는 영향이 작으므로 인장강도의 회복률은 더 상승하게 된다.

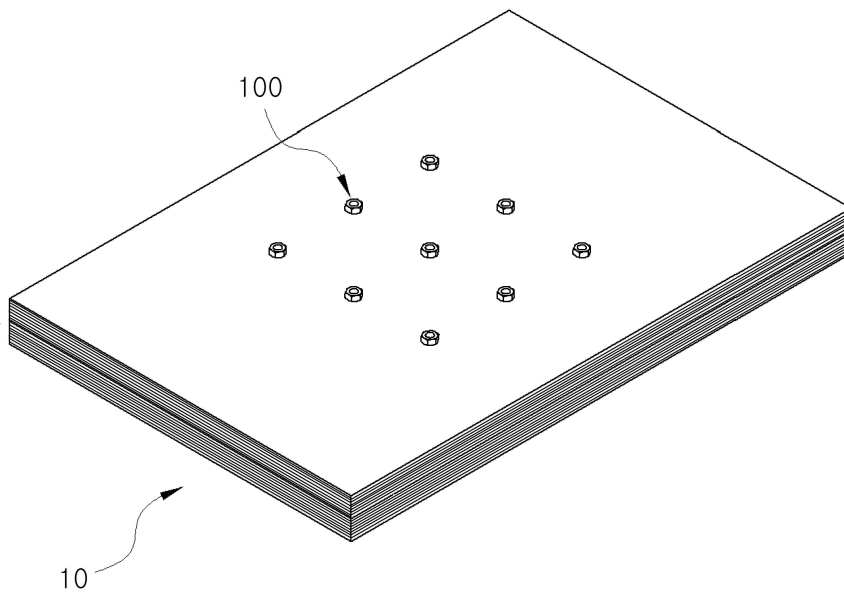
[0042] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

**부호의 설명**

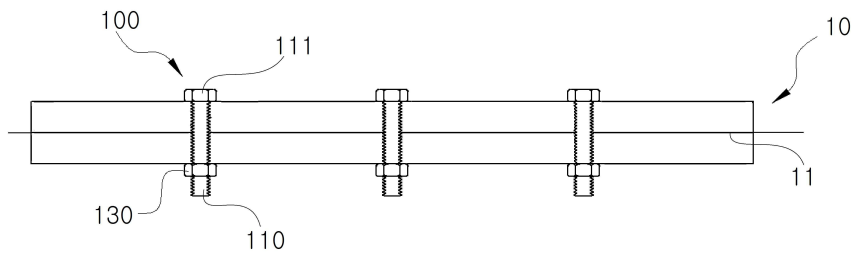
- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| [0043] 10 : 복합재  | 11 : 층간분리면       |
| 12 : 제1레이어       | 13 : 제2레이어       |
| 14 : 제1좌굴점       | 15 : 제2좌굴점       |
| 100 : 체결부        |                  |
| 110 : 마이크로 체결재   | 111 : 헤드         |
| 120 : 통공         | 130 : 너트         |
| 200 : 드릴         |                  |
| S100 : 손상 발생 단계  | S200 : 비파괴 검사 단계 |
| S300 : 좌굴점 추적 단계 | S400 : 체결재 체결 단계 |
| S500 : 1차 점검 단계  | S600 : 2차 점검 단계  |
| S700 : 추가 체결 단계  |                  |

도면

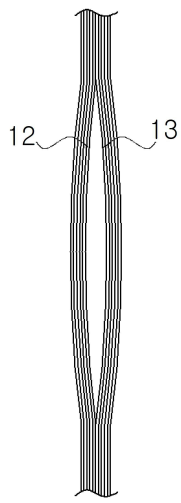
도면1



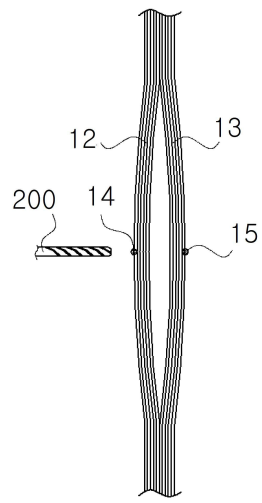
도면2



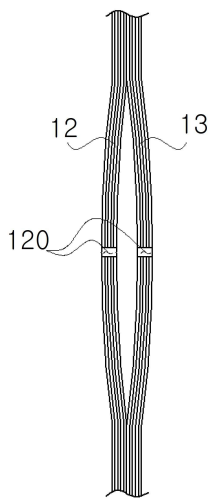
도면3



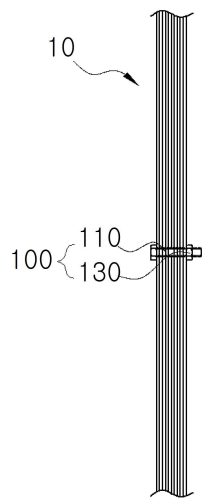
(a)



(b)

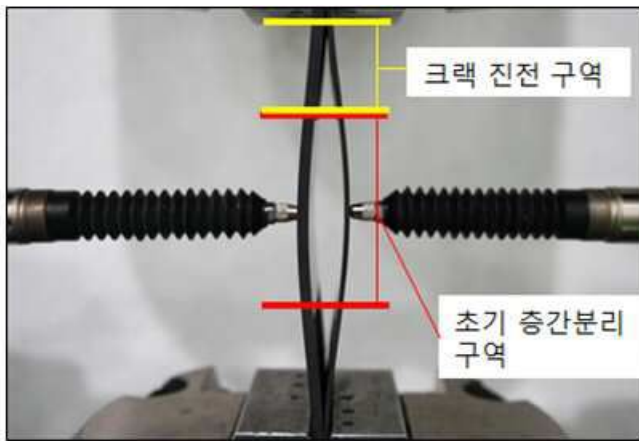


(c)

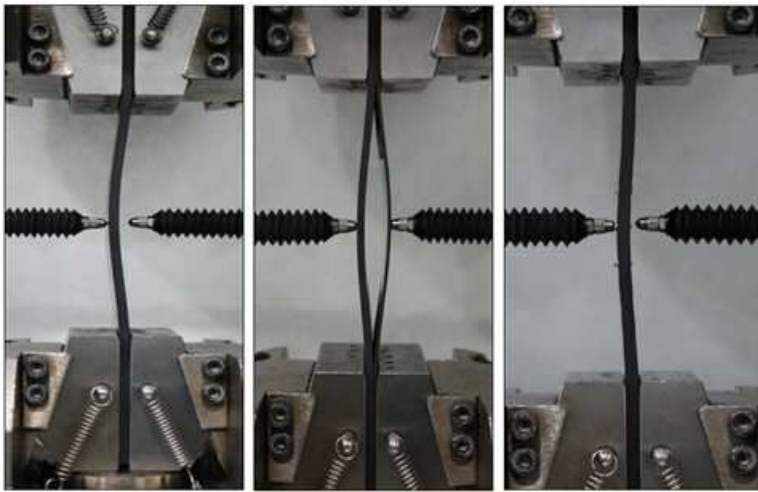


(d)

도면4

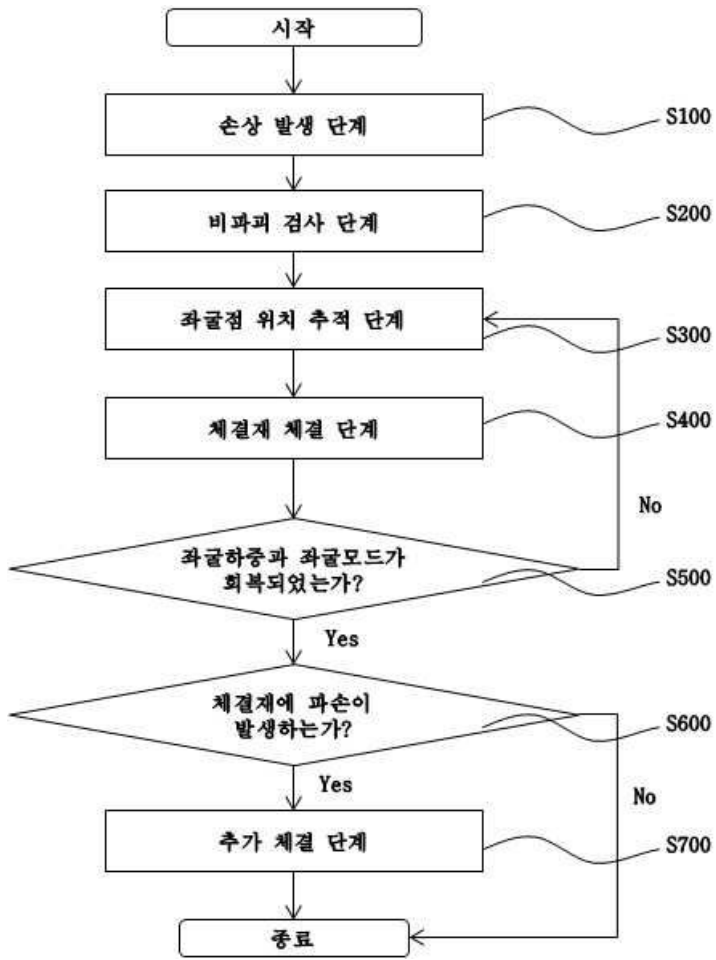


(a)

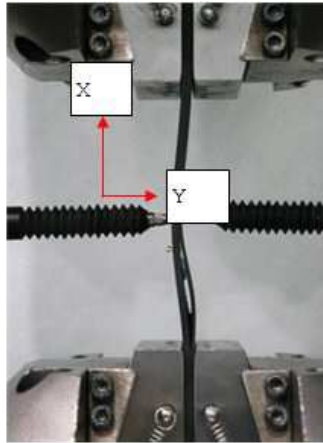


(b)

도면5



도면6

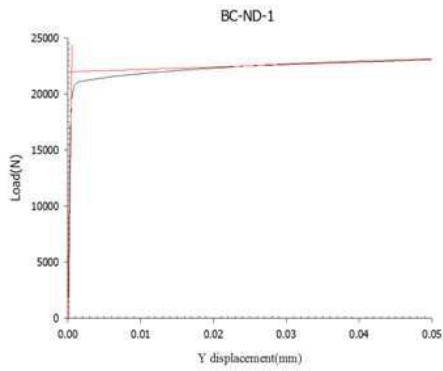


(a)

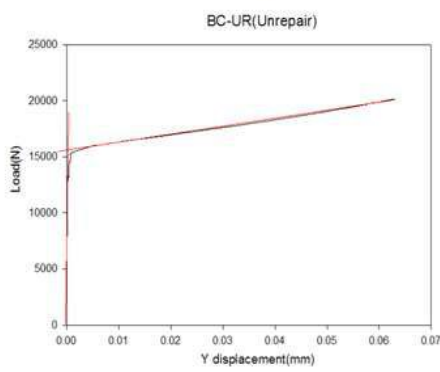
Specimen type	압축력 (kN)	회복률(%)
층간분리 진행 전	22.42	100
층간분리 진행 후	16.08	74
마이크로 볼트 체결 후	21.92	98

(b)

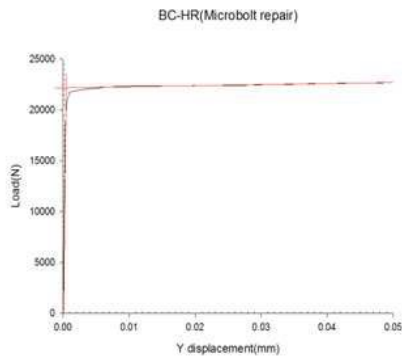
도면7



(a)



(b)

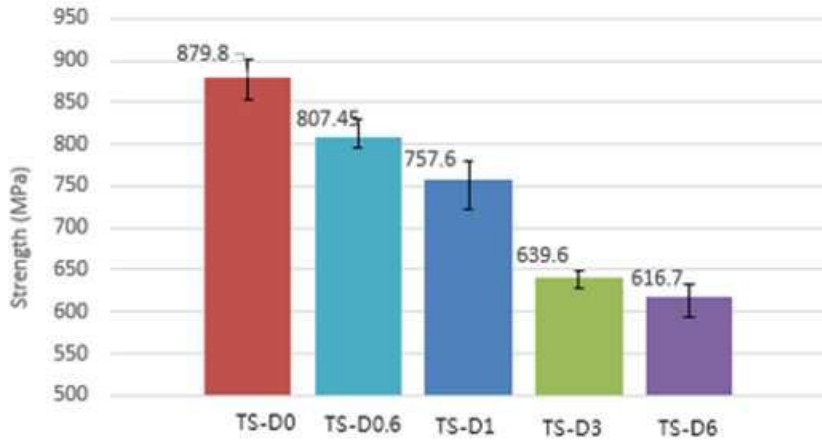


(c)

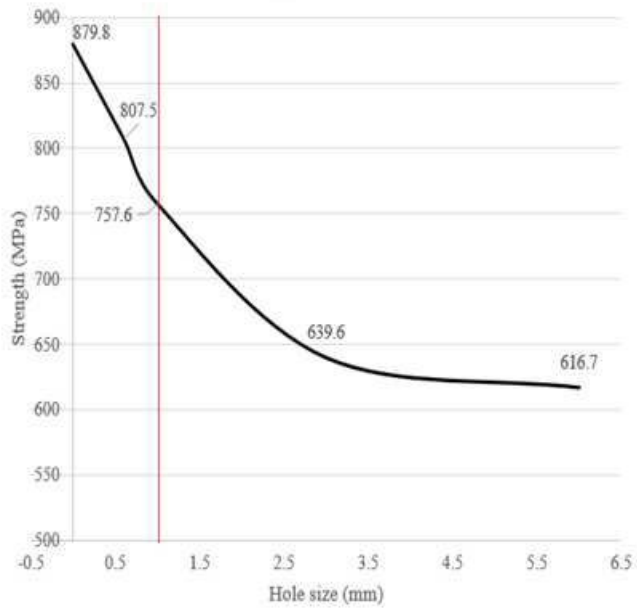
도면8

수리법	무게	비교
건전한 구조물	16.83 g	0 mg
패치 수리된 구조물	17.99 g	+663 mg
9개의 마이크로볼트로 수리된 구조물	16.87 g	+ 56.7 mg

도면9



(a)



(b)