



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0101408
(43) 공개일자 2022년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G16C 20/10 (2019.01) G06F 30/23 (2020.01)

G16C 20/30 (2019.01) G16C 20/70 (2019.01)

(52) CPC특허분류

G16C 20/10 (2019.02)

G01L 5/0028 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0003384

(22) 출원일자 2021년01월11일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

현대자동차주식회사

서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)

기아 주식회사

서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

김민수

경기도 수원시 장안구 이목로 24, 115동 1103호(정자동, 수원 SK SKY VIEW)

남병균

경기도 화성시 동탄순환대로20길 31, 2107동 1603호(목동, e편한세상 동탄)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 접착 구조물 해석 방법 및 그 시스템

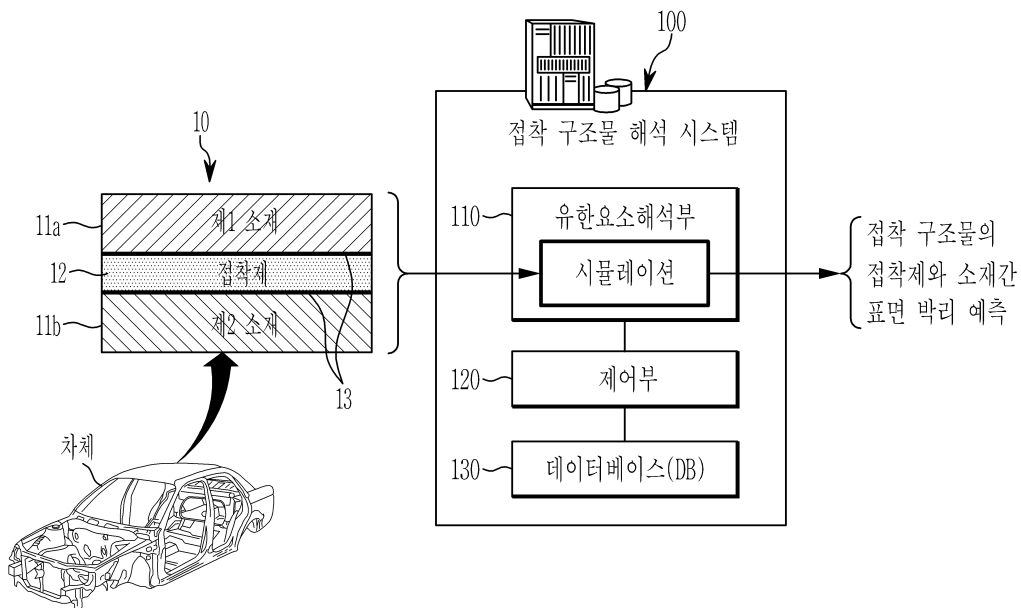
(57) 요약

접착 구조물 해석 방법 및 그 시스템이 개시된다.

본 발명의 실시 예에 따른, 복합소재를 포함하는 접착 구조물 해석 시스템의 접착 구조물 해석 방법은, a) 접착제에 의해 일체로 접착된 접착 구조물의 비선형 변형 거동에 대한 구조해석을 위한 구성방정식을 설정하는 단계,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



b) 상기 접착 구조물에 대한 유한요소 모델링을 수행하는 단계, c) 상기 접착 구조물을 이루는 소재의 물성치 및 상기 유한요소 모델링에 의한 소재별 특성 파라미터에 따른 소재 특성치를 설정하는 단계, d) 상기 유한요소 모델링의 경계조건(boundary condition)과 초기조건(initial condition)을 정의하는 구속조건 정의 단계를 포함하여, 다양한 접착제와 적어도 하나가 복합소재로 구성된 판재의 접착 실험 및 모델링을 통해 소재 특성치가 정의된 유한요소해석부를 구축하는 단계 및 e) 상기 유한요소해석부를 이용한 시뮬레이션을 통해 차체를 이루는 접착 구조물의 상기접착제와 피착되는 상기 판재 간에 표면 박리 발생을 예측하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G01N 3/14 (2013.01)
G06F 30/15 (2020.01)
G06F 30/23 (2020.01)
G16C 20/30 (2019.02)
G16C 20/70 (2019.02)
G06F 2111/10 (2020.01)
G06F 2119/02 (2020.01)

김희수

서울특별시 마포구 백범로 35, 서강대학교

(72) 발명자

김동철

서울특별시 마포구 백범로 35, 서강대학교

남궁한별

서울특별시 마포구 백범로 35, 서강대학교

명세서

청구범위

청구항 1

복합소재를 포함하는 접착 구조물 해석 시스템의 접착 구조물 해석 방법에 있어서,

- a) 접착제에 의해 일체로 접착된 접착 구조물의 비선형 변형 거동에 대한 구조해석을 위한 구성방정식을 설정하는 단계;
- b) 상기 접착 구조물에 대한 유한요소 모델링을 수행하는 단계;
- c) 상기 접착 구조물을 이루는 소재의 물성치 및 상기 유한요소 모델링에 의한 소재별 특성 파라미터에 따른 소재 특성치를 설정하는 단계;
- d) 상기 유한요소 모델링의 경계조건(boundary condition)과 초기조건(initial condition)을 정의하는 구속조건 정의 단계를 포함하여, 다양한 접착제와 적어도 하나가 복합소재로 구성된 판재의 접착 실험 및 모델링을 통해 소재 특성치가 정의된 유한요소해석부를 구축하는 단계; 및
- e) 상기 유한요소해석부를 이용한 시뮬레이션을 통해 차체를 이루는 접착 구조물의 상기접착제와 피착되는 상기 판재 간에 표면 박리 발생을 예측하는 단계;

를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 a) 단계는,

상기 접착 구조물의 인장 실험(Cross Tension Test, CTT) 및 전단 실험(Lap Shear Test, LST)을 통해 각각 횡방향 및 종 방향에 대한 하중 실험을 진행하는 단계를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 a) 단계는,

상기 접착제와 판재의 계면 박리를 모두 예측하기 위한 응집 영역 모델(Cohesive Zone Model, CZM)의 구성방정식을 설정하는 단계를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 a) 단계는,

전단 하중이 가해지는 시편 및 인장 하중이 가해지는 시편을 각각 제작하여 하중 방향 별 최대 인장응력(σ_{max}) 및 최대 전단응력(τ_{max})을 통합한 복합하중에 따른 상기 접착제 및 판재 계면의 최대 응력을 예측하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 접착 구조물은

차체의 루프와 사이드 아웃터를 2액형 에폭시 접착제 혹은 2액형 우레탄 접착제를 활용하여 접착되는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 2액형 우레탄 접착제를 활용하는 경우 최대 전단응력 도달 후 유지되는 최대 전단응력 유지 구간을 적용하여 상기 소재 특성치를 도출하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 b) 단계는,

복수개의 유한요소와 절점(node)으로 이루어진 셸 요소(shell element)와 솔리드 요소(solid element)의 집합으로 상기 접착 구조물을 모델링하는 단계를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 c) 단계는,

범용 유한 요소 해석 프로그램(LS-DYNA)을 이용하여 상기 접착 구조물의 접착제 및 판재 계면의 물성치, 상기 구성 방정식 및 유한요소 모델링에 의한 각종 소재 파라미터를 정의하는 단계를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 c) 단계는,

상기 a) 단계에서 도출된 상기 접착제 소재 파라미터 탄성계수, 푸아송 비, 최대 인장응력, 인장 파단에너지, 최대 전단응력 및 전단 파단에너지를 정의하는 단계를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 c) 단계는,

최적화 프로그램(LS-OPT)을 활용하여 실험을 통한 하중-변위 곡선을 구하고, 상기 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통해 소재 특성치를 반복적으로 변화시켜 실험 결과인 하중-변위 곡선을 예측할 수 있는 소재 특성치를 도출하는 단계를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 c) 단계는 상기 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통한 최적화 기법을 반복(Iteration) 시작하되,

c-1) 상기 접착제 및 판재의 소재 파라미터를 업데이트 하는 단계;

c-2) 실험과 동일한 시편 형상을 복수개의 유한요소와 절점으로 이루어진 요소(mesh) 집합으로 모델링하여 접착 구조물 해석 모델을 생성하는 단계;

c-3) 상기 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통한 실험 결과인 하중-변위 곡선과 소재 특성치를 반복적으로 변화시킨 해석 결과인 하중-변위 곡선 간 그래프 면적을 비교하는 단계; 및

c-4) 수렴 여부가 확인된 상기 실험과 해석의 하중-변위 곡선 면적이 최소가 되는 소재 특성치를 상기 접착제 및 판재 계면의 소재 파라미터로 결정하는 단계;

를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 c-1) 단계는,

접착제 및 판재의 계면 거동을 표현하는 탄성계수, 최대 응력 및 파단에너지를 포함한 소재 특성치에 판재에 변위를 가하는 초기조건을 입력한 해석 결과에 따른 하중-변위 곡선과 실험을 통해 얻은 하중-변위 곡선을 서로 비교하는 단계; 및

상기 접착제 및 판재의 계면에 대한 실험 결과를 가장 정확히 예측하는 소재 특성치 범위 설정에 따른 소재 파라미터를 업데이트 하는 단계;

를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 13

제2항에 있어서,

상기 d) 단계는,

상기 전단 실험(LST)의 경계조건 설정 시 고정 판재는 x , y , z 변위 및 회전 모두 구속하고, 이동 판재는 횡 방향의 x 변위를 제외한 y , z 변위와 x , y , z 회전을 구속하는 단계; 및

시간에 따른 상기 횡 방향의 x 변위 증가를 통해 상기 전단 실험(LST) 시 상기 이동 판재에 변위를 가하는 초기조건을 설정하는 단계;

를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 d) 단계는,

상기 인장 실험(CTT)의 경계조건 설정 시 고정 판재는 x , y , z 변위 및 회전 모두 구속하고, 이동 판재는 종 방향의 z 변위를 제외한 x , y 변위와 x , y , z 회전을 구속하는 단계; 및

시간에 따른 상기 종 방향의 z 변위 증가를 통해 인장 실험(CTT) 시 이동 판재에 변위를 가하는 초기조건을 설정하는 단계;

를 포함하는 접착 구조물 해석 방법.

청구항 15

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 기재된 접착 구조물 해석 방법을 실현하기 위한 프로그램을 포함하는 접착 구조물 해석 시스템에 있어서,

다양한 접착제와 판재의 접착 실험 및 모델링을 통한 특성치가 정의된 유한요소해석 프로그램이 구축된 유한요소해석부;

상기 유한요소해석부를 이용하여 차체를 이루는 접착 구조물의 상기 접착제와 피착되는 판재 간에 표면 박리가 발생하는 것을 시뮬레이션을 통해 예측하는 제어부; 및

상기 접착 구조물 해석 방법을 위한 각종 프로그램 및 데이터를 저장하는 데이터베이스;

를 포함하는 접착 구조물 해석 시스템.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 접착 구조물 해석 방법 및 그 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 유한요소법을 기반으로 접착 구조물의 접착제 및 표면 박리를 예측하는 접착 구조물 해석 방법 및 그 시스템에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 자동차의 강화된 연비 규제에 따른 연료 효율의 증가 요구가 높아지고 있으며, 이에 따른 차체 경량화를 통해 연료 효율을 증가시키기 위한 연구가 지속되고 있다.
- [0003] 차체 경량화를 위해서는 스틸(금속)보다 가벼운 복합소재(비금속)의 사용이 증가되고 있지만 복합소재와 스틸을 접합하는 이종소재 접합의 경우 전통적인 용접이 불가하고 기계적 하드웨어(예; 볼트, 리벳 및 마찰 교반 접합 등)의 체결을 적용하는데 접합공간이 필요하고, 접합 공정의 복잡도 증가 및 수밀성 문제 등의 한계가 존재한다.
- [0004] 이에 따라, 최근에는 에폭시, 폴리우레탄 등의 접착재료(이하, 접착제라 명명함)를 이용하여 산업용 구조물을 이루는 구성들을 서로 접착시키는 기술 활용도가 늘어나고 있다.
- [0005] 그러나, 접착제를 이용한 이종소재 접착의 경우 기존 용접이나 기계적 접합에 비해 낮은 접착강도를 가지는 문제점이 있다.
- [0006] 특히, 접착 구조물을 이루는 접착제 및 피착되는 판재의 조합에 따라 박리되는 부위에 차이가 발생하고 이에 따라 접착 구조물의 접착강도에 차이가 발생하는 문제점이 있다.
- [0007] 이는 접착 구조물의 거동 변형에 따라 접착제가 접착 구조물로부터 떨어져 나가는 박리 현상이 발생되거나 피착되는 판재의 표면이 박리되는 경우가 발생할 가능성이 높음을 말한다. 따라서, 차체의 구조안전 설계를 위해서는 접착 구조물을 이루는 접착제 및 판재의 표면 박리 발생과 접착강도를 예측하고 평가하는 작업이 반드시 선행되어야 한다.
- [0008] 그러나, 종래 접착 구조물을 이루는 접착제의 박리 발생/진전 평가는 실험을 통해 이루어지는 것이 일반적이었으나 작업절차가 번거롭고, 특히 접착 구조물의 형태가 복잡해지는 경우 작업에 따르는 비용과 시간이 증대되는 문제점이 있다.
- [0009] 한편, 특허문헌 한국등록특허 제120869호에는 유한요소법에 의한 접합 구조물의 접합재료 박리 예측방법을 개시하고 있다.
- [0010] 특허문헌 한국등록특허 제120869호에서는 연속체 손상 역학(Continuum damage mechanics, CDM)에 의한 점소성 손상 모델(Viscoplastic-damage model)의 구성방정식을 설정하는 것을 특징으로 하고 있다. 그러나, 솔리드 요소를 사용하는 연속체 손상 역학 모델의 특성상 접착제 두께 증가에 따라 추가적인 요소가 필요한 단점이 있으며, 따라서 시편단위 해석 시 접착제 두께 증가에 따라 최대 24 시간의 추가 해석시간이 발생하는 문제점이 있다.
- [0011] 이 배경기술 부분에 기재된 사항은 발명의 배경에 대한 이해를 증진하기 위하여 작성된 것으로서, 이 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 종래기술이 아닌 사항을 포함할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0012] (특허문헌 0001) 특허문헌 1 : 한국등록특허 제1207869호 (2012.12.04. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명의 실시 예는 다양한 접착제와 판재의 접착 실험 및 모델링을 통한 특성치가 정의된 유한요소해석 프로그램 마련하여 접착 구조물의 접착제와 피착되는 판재 간에 표면 박리가 발생하는 것을 시뮬레이션을 통해 예측하는 접착 구조물 해석 방법 및 그 시스템을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명의 일 측면에 따르면, 복합소재를 포함하는 접착 구조물 해석 시스템의 접착 구조물 해석 방법은, a) 접

착제에 의해 일체로 접착된 접착 구조물의 비선형 변형 거동에 대한 구조해석을 위한 구성방정식을 설정하는 단계; b) 상기 접착 구조물에 대한 유한요소 모델링을 수행하는 단계; c) 상기 접착 구조물을 이루는 소재의 물성치 및 상기 유한요소 모델링에 의한 소재별 특성 파라미터에 따른 소재 특성치를 설정하는 단계; d) 상기 유한요소 모델링의 경계조건(boundary condition)과 초기조건(initial condition)을 정의하는 구속조건 정의 단계를 포함하여, 다양한 접착제와 적어도 하나가 복합소재로 구성된 판재의 접착 실험 및 모델링을 통해 소재 특성치가 정의된 유한요소해석부를 구축하는 단계; 및 e) 상기 유한요소해석부를 이용한 시뮬레이션을 통해 차체를 이루는 접착 구조물의 상기접착제와 피착되는 상기 판재 간에 표면 박리 발생을 예측하는 단계;를 포함한다.

- [0015] 또한, 상기 a) 단계는, 상기 접착 구조물의 인장 실험(Cross Tension Test, CTT) 및 전단 실험(Lap Shear Test, LST)을 통해 각각 횡 방향 및 종 방향에 대한 하중 실험을 진행하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 a) 단계는, 상기 접착제와 판재의 계면 박리를 모두 예측하기 위한 응집 영역 모델(Cohesive Zone Model, CZM)의 구성방정식을 설정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 a) 단계는, 전단 하중이 가해지는 시편 및 인장 하중이 가해지는 시편을 각각 제작하여 하중 방향별 최대 인장응력(σ_{max}) 및 최대 전단응력(τ_{max})을 통합한 복합하중에 따른 상기 접착제 및 판재 계면의 최대 응력을 예측할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 접착 구조물은 차체의 루프와 사이드 아웃터를 2액형 에폭시 접착제 혹은 2액형 우레탄 접착제를 활용하여 접착될 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 2액형 우레탄 접착제를 활용하는 경우 최대 전단응력 도달 후 유지되는 최대 전단응력 유지 구간을 적용하여 상기 소재 특성치를 도출할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 b) 단계는, 복수개의 유한요소와 절점(node)으로 이루어진 쉘 요소(shell element)와 솔리드 요소(solid element)의 집합으로 상기 접착 구조물을 모델링하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 c) 단계는, 범용 유한 요소 해석 프로그램(LS-DYNA)을 이용하여 상기 접착 구조물의 접착제 및 판재 계면의 물성치, 상기 구성 방정식 및 유한요소 모델링에 의한 각종 소재 파라미터를 정의하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 c) 단계는, 상기 a) 단계에서 도출된 상기 접착제 소재 파라미터 탄성계수, 푸아송 비, 최대 인장응력, 인장 파단에너지, 최대 전단응력 및 전단 파단에너지를 정의하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 c) 단계는, 최적화 프로그램(LS-OPT)을 활용하여 실험을 통한 하중-변위 곡선을 구하고, 상기 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통해 소재 특성치를 반복적으로 변화시켜 실험 결과인 하중-변위 곡선을 예측할 수 있는 소재 특성치를 도출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0024] 또한, 상기 c) 단계는 상기 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통한 최적화 기법을 반복(Iteration) 시작하되, c-1) 상기 접착제 및 판재의 소재 파라미터를 업데이트 하는 단계; c-2) 실험과 동일한 시편 형상을 복수개의 유한요소와 절점으로 이루어진 요소(mesh) 집합으로 모델링하여 접착 구조물 해석 모델을 생성하는 단계; c-3) 상기 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통한 실험 결과인 하중-변위 곡선과 소재 특성치를 반복적으로 변화시킨 해석 결과인 하중-변위 곡선 간 그래프 면적을 비교하는 단계; 및 c-4) 수렴 여부가 확인된 상기 실험과 해석의 하중-변위 곡선 면적이 최소가 되는 소재 특성치를 상기 접착제 및 판재 계면의 소재 파라미터로 결정하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0025] 또한, 상기 c-1) 단계는, 접착제 및 판재의 계면 거동을 표현하는 탄성계수, 최대 응력 및 파단에너지를 포함한 소재 특성치에 판재에 변위를 가하는 초기조건을 입력한 해석 결과에 따른 하중-변위 곡선과 실험을 통해 얻은 하중-변위 곡선을 서로 비교하는 단계; 및 상기 접착제 및 판재의 계면에 대한 실험 결과를 가장 정확히 예측하는 소재 특성치 범위 설정에 따른 소재 파라미터를 업데이트 하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0026] 또한, 상기 d) 단계는, 상기 전단 실험(LST)의 경계조건 설정 시 고정 판재는 x, y, z 변위 및 회전 모두 구속하고, 이동 판재는 횡 방향의 x 변위를 제외한 y, z 변위와 x, y, z 회전을 구속하는 단계; 및 시간에 따른 상기 횡 방향의 x 변위 증가를 통해 상기 전단 실험(LST) 시 상기 이동 판재에 변위를 가하는 초기조건을 설정하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0027] 또한, 상기 d) 단계는, 상기 인장 실험(CTT)의 경계조건 설정 시 고정 판재는 x, y, z 변위 및 회전 모두 구속하고, 이동 판재는 종 방향의 z 변위를 제외한 x, y 변위와 x, y, z 회전을 구속하는 단계; 및 시간에 따른 상

기 중 방향의 z 변위 증가를 통해 인장 실험(CTT) 시 이동 판재에 변위를 가하는 초기조건을 설정하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0028] 한편, 본 발명의 일 측면에 따른, 위의 항 중 어느 한 항에 기재된 접착 구조물 해석 방법을 실현하기 위한 프로그램을 포함하는 접착 구조물 해석 시스템은, 다양한 접착제와 판재의 접착 실험 및 모델링을 통한 특성치가 정의된 유한요소해석 프로그램이 구축된 유한요소해석부; 상기 유한요소해석부를 이용하여 차체를 이루는 접착 구조물의 상기 접착제와 피착되는 판재 간에 표면 박리가 발생하는 것을 시뮬레이션을 통해 예측하는 제어부; 및 상기 접착 구조물 해석 방법을 위한 각종 프로그램 및 데이터를 저장하는 데이터베이스;를 포함한다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 실시 예에 따르면, 접착 구조물을 이루는 판재의 계면에 형성된 도장 페인트 및 섬유강화 플라스틱 등을 정의하기 위한 추가적인 요소를 생성하지 않고 접촉 조건만을 통해 소재 특성을 정의함으로써 완성 차 수준의 해석이 가능한 효과가 있다.

[0030] 또한, 다양한 차체 부품이 결합되는 완성차 수준 해석을 위해 추가 요소 없이 접촉 조건만을 통해 접착제 및 판재의 계면 박리를 모델링하여 해석 시간을 최소화 할 수 있는 효과가 있다.

[0031] 또한, 접착제와 판재의 계면에 대한 표면 박리를 동시 적용한 해석을 통해 박리 예측이 가능하여 최적화 기법을 통한 최대 접착강도 및 구조적 안정성을 확보할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 시스템을 개략적으로 나타낸다.
 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프와 사이드 아웃터 접착 구조물을 나타낸다.
 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 구조물 해석 방법을 개략적으로 나타낸 흐름도이다.
 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 인장/전단 실험의 소재 형상 및 하중 방향을 나타낸 모식도이다.
 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물에 발생된 변위를 통한 접착제 거동을 나타낸다.
 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 인장/전단 방향 최대 응력 및 파단에너지 정의 방법을 나타낸다.
 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 유한요소 모델링 수행 상태를 나타낸다.
 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 구속조건 정의 상태를 나타낸다.
 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프와 사이드 아웃터 접착 구조물의 경계 조건을 나타낸다.
 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프와 사이드 아웃터 접착 구조물의 하중 조건을 나타낸다.
 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프 및 사이드 아웃터의 접착 시 접착제 접착 두께 및 폭을 최적화한 결과를 나타낸다.
 도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 대한 유한요소 해석과정을 나타낸개념도이다.
 도 13은 본 발명의 실시 예에 따른 최적화 기법을 이용한 접착제 및 판재 계면의 소재 파라미터 결정 방법을 나타낸 흐름도이다.
 도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 인장 및 전단 실험을 통한 박리 발생 및 접착강도 평가 상태를 나타낸다.
 도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 인장 및 전단 실험을 통한 각 최대 응력 및 파단 에너지 도출 상태를 나타낸다.
 도 16은 본 발명의 실시 예에 따른 최적화 프로그램의 초기 파라미터 설정 화면을 나타낸다.
 도 17은 본 발명의 실시 예에 따른 소재 파라미터 업데이트 방법을 나타낸다.
 도 18은 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 모델 생성 방법을 나타낸다.
 도 19는 본 발명의 실시 예에 따른 실험과 해석의 하중-변위 그래프 면적 비교 방법을 나타낸다.
 도 20은 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 방법과 종래 기술의 차이점을 비교하여 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0034] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0035] 명세서 전체에서, 제1, 제2, A, B, (a), (b) 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다.
- [0036] 명세서 전체에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결된다'거나 '접속된다'고 언급되는 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '직접 연결된다'거나 '직접 접속된다'고 언급되는 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 아니하는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0037] 명세서 전체에서, 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0038] 명세서 전체에서, '포함한다', '가진다' 등과 관련된 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0039] 명세서 전체에서, 접착제는 접착재료를 의미하고, 소재 혹은 피착 소재는 접착 구조물을 이루는 판재의 재료를 의미하며, 계면은 판재와 접착제가 접착되는 표면을 의미한다.
- [0040] 이제 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 시스템 및 그 방법에 대하여 도면을 참조로 하여 상세하게 설명한다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 시스템을 개략적으로 나타낸다.
- [0042] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 시스템(100)은 다양한 접착제(12)와 판재(11a, 11b)의 접착 실험 및 모델링을 통한 특성치가 정의된 유한요소해석 프로그램이 구축된 유한요소해석부(110), 상기 유한요소해석부(110)를 이용하여 차체를 이루는 접착 구조물(10)의 접착제(12)와 피착되는 판재(11b) 간에 표면 박리가 발생하는 것을 시뮬레이션을 통해 예측하는 제어부(120) 및 상기 접착 구조물 해석을 위한 각종 프로그램 및 데이터를 저장하는 데이터베이스(Data Base, DB)(130)를 포함한다.
- [0043] 이러한, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 컴퓨팅 장치로 구성될 수 있으며 이는 데스크톱, 노트북 및 서버 등 그 형태에 제한되지 않고, 구축된 유한요소해석 프로그램을 처리할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어를 포함하는 장치를 의미한다.
- [0044] 접착 구조물(10)은 적어도 하나가 복합소재로 구성된 제1 판재(11a)와 제2 판재(11b)를 접착제(12)로 접착한 구조물이다. 따라서, 상기 제1 판재(11a)와 제2 판재(11b)는 용접이 불가능한 금속과 비금속의 이종소재이거나 혹은 동종의 비금속 소재로 구성될 수 있다. 그리고 접착제(12)와 피착되는 판재(11) 사이에는 계면(13)이 형성된다. 또한, 접착제는 2액형 에폭시 접착제 및 2액형 우레탄 접착제 등 이종소재의 접착을 위해 공지된 접착재료를 활용할 수 있다.
- [0045] 한편, 최근 차체 경량화를 위해 스틸보다 가벼운 복합소재의 사용에 따른 이종소재의 접착 구조물(10)이 증가하고 있으며, 예컨대, 차체의 부품 중 루프 및 사이드 아웃터에 동종 혹은 이종의 복합소재가 적용되고 있다.
- [0046] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프와 사이드 아웃터 접착 구조물을 나타낸다.

- [0047] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른, 차체 경량화를 위한 루프와 사이드 아웃터 접착 구조물의 경우 루프 및 사이드 아웃터를 제1 판재(11a)와 제2 판재(11b)라 할 때 둘 중 적어도 하나는 복합소재의 한 종류인 섬유강화 플라스틱(GF-SMC)를 적용하여 접착제(12)로 접착한다. 그리고, 접착제(12)가 적용되지 않는 그 이외 스킵 부품은 용접을 통해 결합할 수 있다.
- [0048] 이처럼 복합소재가 포함된 차체의 접착 구조물의 경우 과도한 하중이 가해질 때 접착제 및 판재의 계면 박리가 복합적으로 발생한다. 특히, 복합소재에 계면 박리가 발생하는 경우 기존 스틸을 사용한 접착 구조물보다 낮은 접착강도를 보일 수 있는데, 이는 판재에 접착제를 도포 시 접착제 도포 폭 및 두께에 따라 접착 구조물의 접착강도가 변하는 특성이 있기 때문이다.
- [0049] 그러므로, 완성차의 구조안전 설계를 위해서는 복합소재에 접착제를 적용 시 최대 접착강도 및 구조적 안정성을 갖기 위하여 접착제 도포 폭 및 두께에 따른 특성의 최적화 방안이 요구된다.
- [0050] 즉, 적어도 하나가 복합소재로 구성된 루프와 사이드 아웃터의 접착 시 접착제(12)와 접착 두께 및 그 폭을 최적화하기 위해서는 완성차 수준 접착 구조물(10)에 대하여 접착제(12)와 각 판재(11)간 표면 박리 발생과 접착강도 해석이 가능한 계면 박리 모델이 필요하다.
- [0051] 이에, 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 시스템(100)은 유한요소해석부(110)를 구축하고, 제어부(120)를 통해 이를 실행하여 접착 구조물(10)의 접착제(12)와 피착되는 판재(11b) 간에 표면 박리가 발생하는 것을 시뮬레이션을 통해 예측하는 방법을 제공한다.
- [0052] 제어부(120)는 접착 구조물 해석 시스템(100)의 유한요소해석부(110) 구축 및 접착 구조물 해석을 위한 전반적인 동작을 제어하는 중앙처리장치로 구성된다.
- [0053] 제어부(120)는 설정된 프로그램에 의하여 동작하는 하나 이상의 프로세서로 구현될 수 있으며, 상기 설정된 프로그램은 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 방법의 각 단계를 수행하도록 프로그래밍 된 것일 수 있다. 이러한 접착 구조물 해석 방법은 아래의 도면을 참조하여 더욱 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0054] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 구조물 해석 방법을 개략적으로 나타낸 흐름도이다.
- [0055] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 시스템(100)의 제어부(120)를 통해 접착 구조물 해석 방법을 수행하는 방법은 다양한 접착제와 판재의 접착 실험 및 모델링을 통한 특성치가 정의된 유한요소해석부(110)를 구축하는 단계(S1), 그리고, 상기 유한요소해석부(110)를 이용한 시뮬레이션을 통해 차체를 이루는 접착 구조물(10)의 접착제(12)와 피착되는 판재(11b) 간에 표면 박리 발생을 예측하는 단계(S2)로 구분하여 설명할 수 있다. 즉, 사전에 다양한 실험 및 모델링을 통해 판재에 접착제를 도포 시 접착제 도포 폭 및 두께에 따라 접착 구조물의 접착강도가 변하는 특성치가 정의된 유한요소해석부(110)를 구축하고, 실제 컴퓨팅 시스템에서 유한요소해석부(110)를 실행하여 대상 접착 구조물을 해석하는 것이다.
- [0056] 여기서, 상기 유한요소해석부(110)를 구축하는 단계(S1)는, 세부적으로 접착제에 의해 일체로 접착된 접착 구조물의 비선형 변형 거동에 대한 구조해석을 위한 구성방정식을 설정하는 단계(S11), 상기 접착 구조물에 대한 유한요소 모델링을 수행하는 단계(S12), 상기 접착 구조물을 이루는 소재의 물성치 및 상기 유한요소 모델링에 의한 소재별 특성 파라미터에 따른 소재 특성치를 설정하는 단계(S13) 및 상기 유한요소 모델링의 경계조건(boundary condition)과 초기조건(initial condition)을 정의하는 구속조건 정의 단계(S14)를 포함하여 이루어진다.
- [0057] 이후, 접착 구조물 해석 시스템(100)의 제어부(120)가 상기 유한요소해석부(110)를 구동에 따른 시뮬레이션을 수행하여 상기 접착 구조물에 대한 유한요소 해석을 수행할 수 있다.
- [0058] 한편, 상기 유한요소해석부(110)를 구축하는 단계(S1)의 상세 과정을 아래의 도면을 통해 좀더 구체적으로 설명한다.
- [0059] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 인장/전단 실험의 소재 형상 및 하중 방향을 나타낸 모식도이다.
- [0060] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물에 발생된 변위를 통한 접착제 거동을 나타낸다.
- [0061] 도 4 및 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 구성방정식을 설정하는 단계(S11)에서는 접착 구조물(10)의 인장 실험(Cross Tension Test, CTT) 및 전단 실험(Lap Shear Test, LST)을 통해 각각 전단 방향 및 인장 방향에 대한 하중 실험을 진행한다. 그리고, 접착제와 판재의 계면(표면) 박리를 모두 예측하기 위하여 응집 영

역 모델(Cohesive Zone Model, CZM)의 구성방정식을 설정한다.

- [0062] 접착 구조물(10)의 인장 및 전단 실험 시 접착되어 있는 판재의 접착면 사이에서 크랙 발생 후 두 면이 점진적으로 분리되어 두 개의 새로운 면이 생성되며, 상기 새로운 면이 생성되는데에는 외부에서 가해지는 하중방향의 에너지가 사용된다. 이 때, 접착제 접착의 파단 메커니즘은 상기 새로운 면이 생성되는데 부과된 에너지가 접착제의 임계 파단에너지를 초과하였을 때 접착제의 파손이 발생되며, 이는 본 발명의 접착 구조물(10)의 접착제와 판재의 계면(표면) 박리 예측에 동일하게 적용될 수 있다.
- [0063] 따라서, 접착제 및 판재의 계면 거동 모델을 통해 하중을 받는 접착 구조물(10)의 변형 발생, 접착제 및 판재의 계면이 받는 하중과 파단을 예측할 수 있다.
- [0064] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 인장/전단 방향 최대 응력 및 파단에너지 정의 방법을 나타낸다.
- [0065] 도 6을 참조하면, 인장/전단 실험 시 가해지는 하중 방향에 따라 접착제 및 판재의 계면이 건딜 수 있는 하중 및 파단에너지는 다르다. 예를 들어, 접착제는 전단 방향 하중이 가해질 때 더 높은 하중을 견딜 수 있다. 따라서, 접착제 및 판재 계면에 전단 하중이 가해지는 시편 및 인장 하중이 가해지는 시편을 각각 제작하여 하중 방향 별 최대 인장응력(σ_{max}) 및 최대 전단응력(τ_{max})을 도출한 후 식
$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{max}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{max}}\right)^2 = 1$$
 을 통합한 복합하중에 따른 접착제 및 판재의 계면 최대 응력을 예측한다. 또한, 상기 최대 응력 및 파단 변위를 통해 하중 방향 별 파단에너지를 도출할 수 있다.
- [0066] 한편, 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 유한요소 모델링 수행 상태를 나타낸다.
- [0067] 도 7을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 유한요소 모델링을 수행하는 단계(S12)는 복수개의 유한요소와 절점으로 이루어진 요소(mesh) 집합으로 접착 구조물(10)을 모델링 한다.
- [0068] 예컨대, 전단 실험(LST)의 경우 길이 100 mm, 너비 25 mm 인 판재 2개를 접착제를 통해 길이 방향으로 12.5 mm 가 겹치도록 접착한다. 유한요소 해석 시 전단 실험(LST)은 절점(node) 300개, 쉘 요소(shell element) 200개, 솔리드 요소(solid element) 15개를 통해 모델링 할 수 있다.
- [0069] 또한, 인장 실험(CTT)의 경우 길이 150 mm, 너비 50 mm 인 판재 2 개를 접착제를 통해 중심부에 겹치도록 접착한다. 유한요소 해석 시 인장 실험(CTT)은 절점(node) 872개, 쉘 요소(shell element) 532개, 솔리드 요소(solid element) 100개를 통해 모델링 한다.
- [0070] 또한, 차체의 루프 해석 모델을 구성을 위하여 복수개의 유한요소와 절점으로 이루어진 요소(mesh) 집합으로 접착 구조물을 모델링 할 수 있다. 이 때, 루프 해석 시 절점(node) 336,095 개, 쉘 요소(shell element) 194,011개, 그리고, 솔리드 요소(solid element) 20,941개를 통해 모델링 할 수 있다. 또한, 복합소재로 구성된 루프를 사이드 아웃터와 접착할 때 필요한 접착제 길이는 약 10,000mm, 접착 두께는 1.0 ~ 3.0mm, 접착 폭은 5.0 ~ 20.0 mm로 도포 가능하다.
- [0071] 여기서, 종래의 상기 한국등록특허 제120869호의 경우 판재 계면 박리를 모델링하기 위해 추가 요소(element)가 필요하고 이에 따라 해석 시간이 증가하는 단점이 존재한다.
- [0072] 이러한 종래 기술과는 달리 본 발명의 실시 예에 따르면 수 많은 차체 부품이 결합되는 완성차 수준 해석을 위해 추가 요소 없이 접촉 조건만을 통해 접착제 및 판재의 계면 박리를 모델링 할 수 있는 이점이 있다.
- [0073] 한편, 본 발명의 실시 예에 따른, 상기 소재 특성치를 설정하는 단계(S13) 접착 구조물(10)을 이루는 접착제 및 판재의 계면 물성치, 상기 구성 방정식 및 유한요소 모델링에 의한 각종 소재 파라미터를 정의할 수 있다. 이 때, 접착 구조물용 접착제 해석 모델로서 범용 유한 요소 해석 프로그램(LS-DYNA)의 MAT_ARUP_ADHESIVE 모델(MAT_169)을 활용한다.
- [0074] 상기 소재 특성치를 설정하는 단계에서는 상기 구성방정식을 설정하는 단계(S11)에서 도출된 접착제 소재 파라미터 탄성계수, 푸아송 비, 최대 인장응력, 인장 파단에너지, 최대 전단응력 및 전단 파단에너지를 정의한다.
- [0075] 또한, 판재의 도장 페인트 및 섬유강화 플라스틱에 따른 계면 해석 모델로서 상기 프로그램(LS-DYNA)의 접촉조건 MAT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE_TIEBREAK 모델을 적용한다.
- [0076] 본 발명은 소재 특성치 정의를 위해 LS-OPT(최적화 소프트웨어)를 적용하였다. 실험을 통해 하중-변위 곡선을 구하고 LS-OPT를 통해 소재 특성치를 반복적으로 변화시켜 실험 결과인 하중-변위 곡선을 예측할 수 있는 소재

특성치를 도출한다.

- [0077] 본 발명은 소재 특성치 정의를 위한 최적화 프로그램(LS-OPT)을 활용한다. 이 때, 실험을 통해 하중-변위 곡선을 구하고, 상기 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통해 소재 특성치를 반복적으로 변화시켜 실험 결과인 하중-변위 곡선을 예측할 수 있는 소재 특성치를 도출한다.
- [0078] 한편, 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 구속조건 정의 상태를 나타낸다.
- [0079] 도 8을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 구속조건 정의 단계(S14)는 유한요소 모델링의 경계조건(boundary condition)과 초기조건(initial condition)을 정의하는 단계이다.
- [0080] 전단 실험(LST)의 경계조건 설정 시 고정 관재는 x, y, z 변위 및 회전 모두 구속시킨다. 이동 관재는 횡 방향의 x 변위를 제외한 y, z 변위와 x, y, z 회전을 구속시킨다. 또한, 시간에 따른 횡 방향의 x 변위 증가를 통해 전단 실험(LST) 시 이동 관재에 변위를 가하는 초기조건을 설정할 수 있다.
- [0081] 인장 실험(CTT)의 경계조건 설정 시 고정 관재는 x, y, z 변위 및 회전 모두 구속시킨다. 이동 관재는 종 방향의 z 변위를 제외한 x, y 변위와 x, y, z 회전을 구속시킨다. 또한, 시간에 따른 종 방향의 z 변위 증가를 통해 인장 실험(CTT) 시 이동 관재에 변위를 가하는 초기조건을 설정할 수 있다.
- [0082] 예컨대, 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프와 사이드 아웃터 접착 구조물의 경계 조건을 나타낸다.
- [0083] 도 9를 참조하면, 적어도 하나가 복합소재로 구성된 루프 및 사이드 아웃터의 접착 시 접착제의 접착 두께 및 폭을 최적화하기 위해 실제 루프 실험과 동일한 경계조건을 적용한다. 적어도 하나가 복합소재로 구성된 루프 및 사이드 아웃터 그리고 이들을 접착하는 접착제를 각 하중방향 별로 분석하기 위해 상기 루프 위에서 아래로 힘을 가하는 고하중 조건 및 비틀림 조건을 적용한다. 이 때, 상기 루프에 가해지는 하중을 지지하기 위해 아래 A, B, C 필러의 하부 영역은 x, y, z 방향 변위 및 회전 모두를 구속한다. 단, 필러 하부 영역을 제외한 모든 부품은 자유도 구속 조건이 없어 가해지는 하중에 따라 자유롭게 변형할 수 있다.
- [0084] 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프와 사이드 아웃터 접착 구조물의 하중 조건을 나타낸다.
- [0085] 도 10을 참조하면, 적어도 하나가 복합소재로 구성된 루프 및 사이드 아웃터의 접착 시 접착제의 접착 두께 및 폭을 최적화하기 위해서는 다양한 하중방향을 고려할 필요가 있다. 이에 본 발명은 루프 및 사이드 아웃터 대각선 방향으로 하중을 가하는 고하중 조건과 비틀림 조건을 적용할 수 있다.
- [0086] 상기 고하중 조건의 경우 루프 및 사이드 아웃터 대각선 방향으로 하중을 가하고 z 방향으로 100 mm까지 해석을 진행할 수 있다. 상기 비틀림 조건의 경우, 루프 후방부는 y 방향으로 2 mm, 루프 전방부는 각각 z 방향으로 +1.5 mm 및 -1.5 mm 이동시킬 수 있다.
- [0087] 상기 적어도 하나가 복합소재로 구성된 루프 및 사이드 아웃터의 접착 시 접착제 접착 두께 및 폭을 최적화하기 위한 해석결과 중 하중-변위 곡선과 하중을 가하는 시간에 따른 루프 및 사이드 아웃터에 적용된 접착제 파단 시점을 비교한 결과를 설명한다.
- [0088] 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 차체의 루프 및 사이드 아웃터의 접착 시 접착제 접착 두께 및 폭을 최적화한 결과를 나타낸다.
- [0089] 도 11을 참조하면, 고하중 조건에서 접착 폭에 따른 하중-변위 곡선 및 접착제 파단 시점을 비교하여 상기 적어도 하나가 복합소재로 구성된 루프 및 사이드 아웃터의 접착제 접착 폭 최적화를 진행한 결과를 보여준다.
- [0090] 상기 접착제 접착 폭을 5.0 mm에서 20.0 mm까지 증가시켰을 때 하중-변위 곡선 및 루프 센터 레일 No.1 접착제 파단 시점은 차이가 작게 나타났다. 하지만, 접착 폭 10.0 mm 이하 도포 시 프론트 레일(모히칸 부) 접착제 파단 시점이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 그러므로, 위의 해석 결과를 통해 접착 폭 10.0 mm 이하 도포 시 완성 차의 구조 안정성이 감소하는 것을 알 수 있다.
- [0091] 따라서, 단순 멤버 2점 접착 수준 해석만 가능한 기존 특허와 달리, 본 발명은 완성 차 수준 해석이 가능하고 복합재를 포함한 루프 및 사이드 아웃터 접착제 접착 두께 및 폭에 따른 분석이 가능하다.
- [0092] 한편, 도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 대한 유한요소 해석과정을 나타낸개념도이다.
- [0093] 도 12를 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 제어부(120)는 유한 요소 해석 프로그램(LS-DYNA)을 실행하여 상기 구성방정식의 수치해석 알고리즘을 통해 접착제 및 관재의 계면 변형 거동을 해석한다. 그리고, 그 해석 결

과를 화면에 표시할 수 있다.

- [0094] 한편, 도 3의 상기 소재 특성치 설정 단계(S13)에 있어서, 본 발명의 실시 예에 따른 최적화 기법을 이용한 접착제 및 판재 계면의 소재 파라미터 결정 방법을 아래의 도 13을 통해 설명한다.
- [0095] 도 13은 본 발명의 실시 예에 따른 최적화 기법을 이용한 접착제 및 판재 계면의 소재 파라미터 결정 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0096] 도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 인장 및 전단 실험을 통한 박리 발생 및 접착강도 평가 상태를 나타낸다.
- [0097] 도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 인장 및 전단 실험을 통한 각 최대 응력 및 파단 에너지 도출 상태를 나타낸다.
- [0098] 도 13 내지 도 15를 참조하면, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 접착 구조물(10)의 인장 실험(CTT) 및 전단 실험을 통한 박리 발생 및 접착강도를 평가한다(S131).
- [0099] 이 때, 상기 인장 실험(CTT)을 통해 접착제 인장방향 거동 실험을 진행하여 판재(11)의 특성치인 탄성계수, 최대 인장응력, 그리고 인장 파단에너지를 도출할 수 있다. 또한, 상기 전단 실험(LST)을 통해 접착제 전단방향 거동 실험을 진행하여 접착제(12)의 재료 특성치인 푸아송비, 최대 전단응력, 그리고 전단 파단에너지를 도출할 수 있다. 본 발명의 실시 예에서는 2액형 에폭시 접착제, 2액형 우레탄 접착제의 재료 특성치를 도출할 수 있으며, 이 때, 상기 2액형 우레탄 접착제의 경우 최대 전단응력 도달 후 유지되는 최대 전단응력 유지 구간을 적용하여 소재 특성치를 도출할 수 있는 특징을 갖는다(도 14참조).
- [0100] 또한, 접착 구조물(10)의 인장 실험(CTT) 및 전단 실험을 통해 하중-변위 곡선의 최대 하중을 통해 최대 응력을 도출할 수 있고, 하중-변위 곡선의 총 면적을 통해 파단에너지를 도출할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시 예는 판재 표면의 도장 페인트 및 섬유강화 플라스틱 소재에 따른 특성치를 도출할 수 있다(도 15참조).
- [0101] 도 16은 본 발명의 실시 예에 따른 최적화 프로그램의 초기 파라미터 설정 화면을 나타낸다.
- [0102] 도 16을 참조 하면, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 접착제 및 판재의 계면에 대한 소재 파라미터 초기조건을 정의하여 최적화 프로그램(LS-OPT)에서 최적화가 필요한 변수들의 초기값을 설정한다(S132).
- [0103] 도 17은 본 발명의 실시 예에 따른 소재 파라미터 업데이트 방법을 나타낸다.
- [0104] 도 17을 참조하면, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 최적화 프로그램(LS-OPT)을 통한 최적화 기법을 반복(Iteration) 시작한다(S133).
- [0105] 접착 구조물 해석 시스템(100)은 접착제 및 판재의 계면 거동을 표현하는 탄성계수, 최대 응력 및 파단에너지를 포함한 소재 특성치에 상기 초기조건을 입력한 해석 결과에 따른 하중-변위 곡선과 실험을 통해 얻은 하중-변위 곡선을 서로 비교한다. 이 때, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 접착제 및 판재의 계면에 대한 실험 결과를 가장 정확히 예측하는 소재 특성치 범위 설정에 따른 소재 파라미터를 업데이트 할 수 있다(S134).
- [0106] 도 18은 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 모델 생성 방법을 나타낸다.
- [0107] 도 18을 참조하면, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 실험과 동일한 시편 형상을 복수개의 유한요소와 절점으로 이루어진 요소(mesh) 집합으로 모델링하여 접착 구조물 해석 모델을 생성한다(S135). 또한, 실험과 동일한 구속조건(경계조건 및 초기조건)을 정의할 수 있다.
- [0108] 도 19는 본 발명의 실시 예에 따른 실험과 해석의 하중-변위 그래프 면적 비교 방법을 나타낸다.
- [0109] 도 19를 참조하면, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 실험과 해석의 하중-변위 곡선 그래프 면적을 비교한다(S136). 이 때, LS-OPT를 통한 실험 결과인 하중-변위 곡선과 소재 특성치를 반복적으로 변화시킨 해석 결과(하중-변위 곡선) 간 그래프 면적을 비교할 수 있다.
- [0110] 그리고, 접착 구조물 해석 시스템(100)은 수렴 여부가 확인에 따른(S137; 예), 실험과 해석의 하중-변위 곡선 면적이 최소가 되는 소재 특성치를 접착제 및 판재 계면의 소재 파라미터로 결정할 수 있다(S138)
- [0111] 한편, 도 20은 본 발명의 실시 예에 따른 접착 구조물 해석 방법과 종래 기술의 차이점을 비교하여 나타낸다.
- [0112] 도 20을 참조하면, 특허문헌 한국등록특허 제120869호에 따른 종래기술은 집합 구조물의 집합소재(접착제) 박리 예측방법에 관한 것으로서, 연속체 손상 역학(Continuum damage mechanics, CDM)에 의한 점소성 손상 모델(Viscoplastic-damage model)의 구성방정식을 설정하는 것을 특징으로 하는 유한요소법에 의해 집합소재의 박리

를 예측하는 내용을 개시하고 있다.

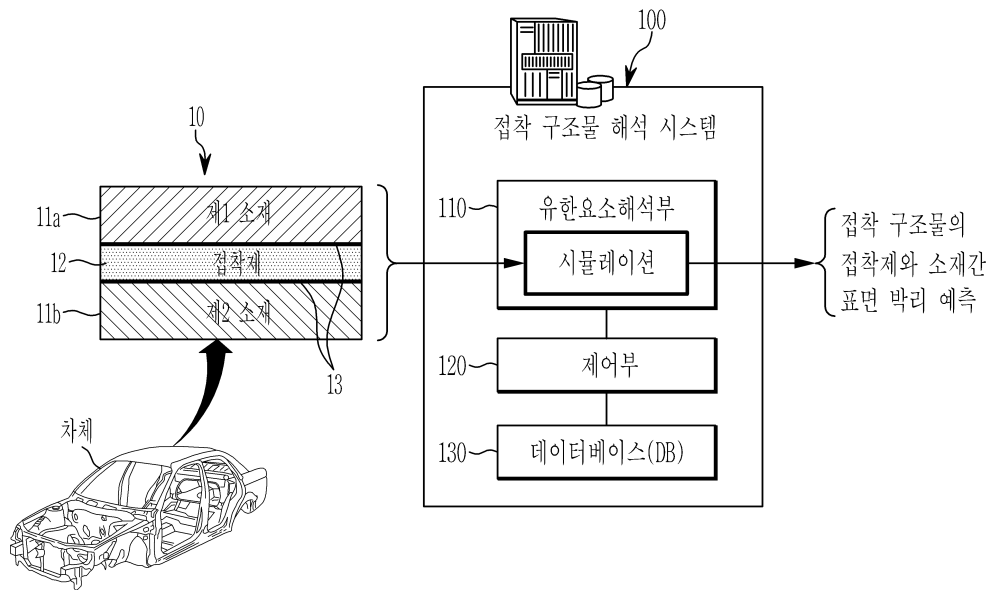
- [0113] 이러한 종래기술과 본 발명을 비교하면 다음과 같이 다양한 차이점과 효과가 있다.
- [0114] 1. 종래기술은 접착제의 박리만을 예측하지만, 본 발명은 접착제와 판재 계면 박리를 모두 예측할 수 있는 차이점이 있으며, 따라서 보다 정확한 접착 구조물을 해석으로 완성차 수준 해석과 예측이 가능한 효과가 있다.
- [0115] 2. 종래기술은 연속체 손상 역학(Continuum Damage Mechanics, CDM)의 구성방정식을 사용하지만, 본 발명은 응집 영역 모델(Cohesive Zone Model, CZM)의 구성방정식을 사용하는 차이점이 있다.
- [0116] 3. 여기서, 종래기술과 같이 솔리드 요소를 사용하는 연속체 손상 역학(CDM) 모델의 경우 접착제 두께 증가에 따라 추가적인 요소가 필요하며, 따라서, 시편단위 해석 시 접착제 두께 증가에 따라 최대 24 시간의 해석시간이 소요되는 단점이 있다.
- [0117] 4. 반면에, 본 발명과 같이 쉘 요소를 사용하는 응집 영역 모델의 경우 접착제 두께 증가에 따라 추가적인 요소가 불필요하며, 시편 단위 해석 시 접착제 두께 증가에 따라 약 1 분의 해석시간이 소요되는 차이점이 있으며, 완성차 수준 해석시 해석 시간을 감소시킬 수 있는 효과가 있다.
- [0118] 이와 같이, 본 발명의 실시 예에 따르면, 접착 구조물을 이루는 판재의 계면에 형성된 도장 페인트 및 섬유강화 플라스틱 등을 정의하기 위한 추가적인 요소를 생성하지 않고 접촉 조건만을 통해 소재 특성치를 정의함으로써 완성 차 수준의 해석이 가능한 효과가 있다.
- [0119] 또한, 다양한 차체 부품이 결합되는 완성차 수준 해석을 위해 추가 요소 없이 접촉 조건만을 통해 접착제 및 판재의 계면 박리를 모델링하여 해석 시간을 최소화 할 수 있는 효과가 있다.
- [0120] 또한, 접착제와 소재의 계면에 대한 표면 박리를 동시 적용한 해석을 통해 박리 예측이 가능하여 최적화 기법을 통한 최대 접착강도 및 구조적 안정성을 확보할 수 있는 효과가 있다.
- [0121] 본 발명의 실시 예는 이상에서 설명한 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시 예의 구성에 대응하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시 예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.
- [0122] 이상에서 본 발명의 실시 예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

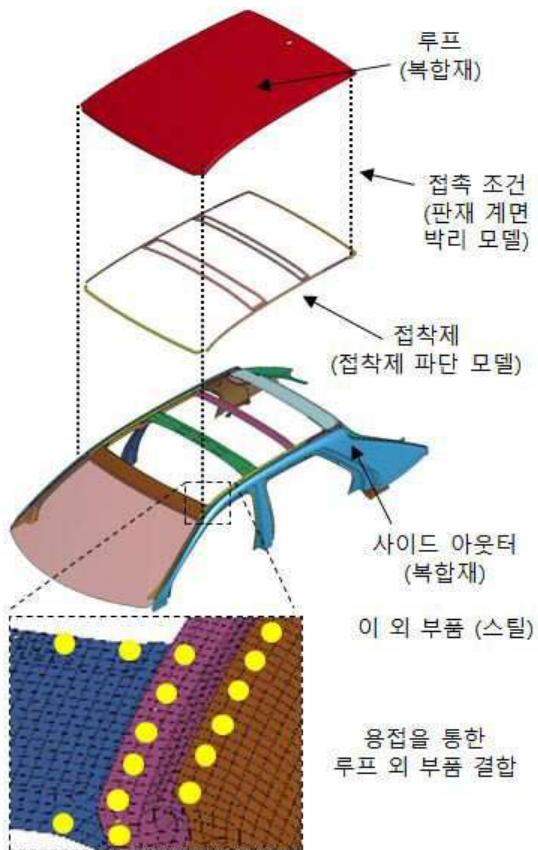
- [0123] 10: 접착 구조물
- 11: 판재
- 12: 접착제
- 13: 계면
- 100: 접착 구조물 해석 시스템
- 110: 유한요소해석부
- 120: 제어부
- 130: 데이터베이스(DB)

도면

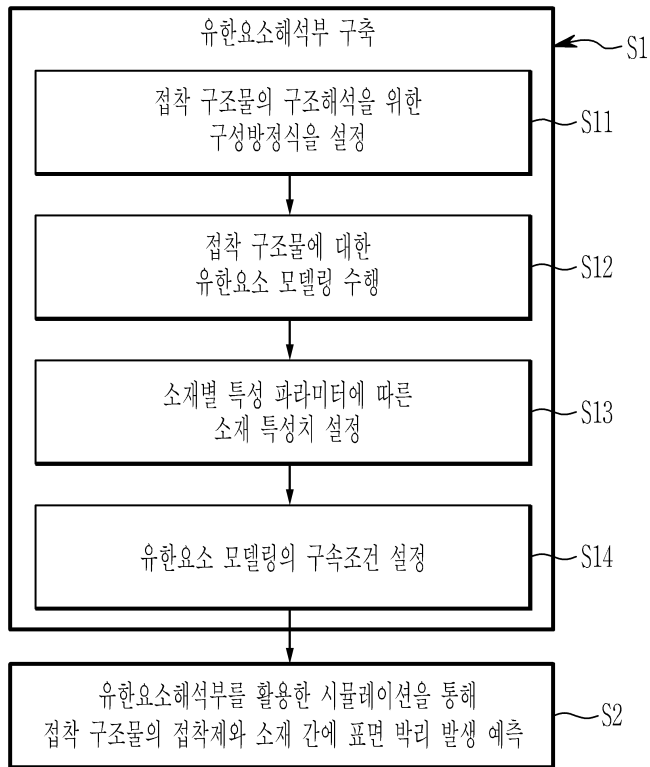
도면1



도면2

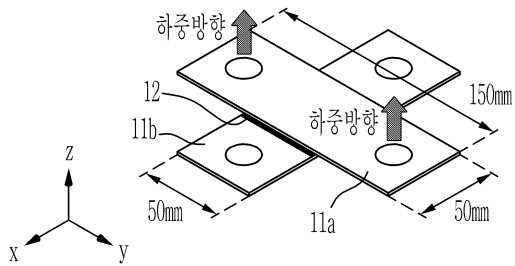


도면3

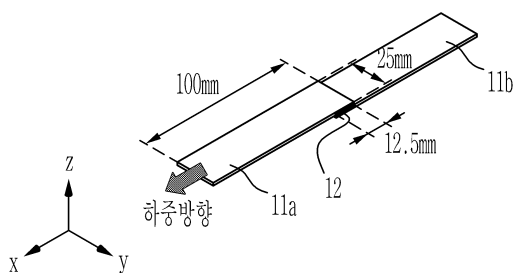


도면4

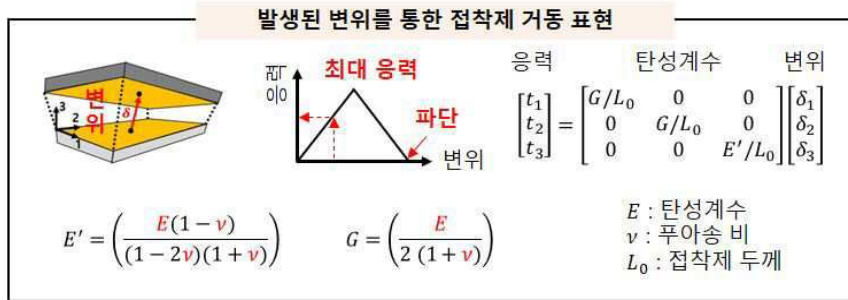
· 인장 실험(Cross tension test)



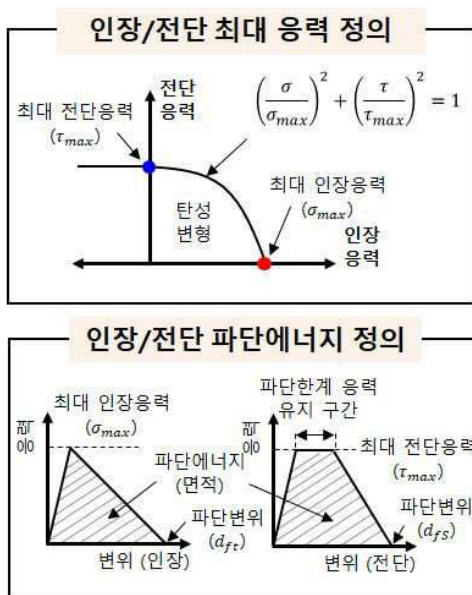
· 전단 실험(Lap shear test)



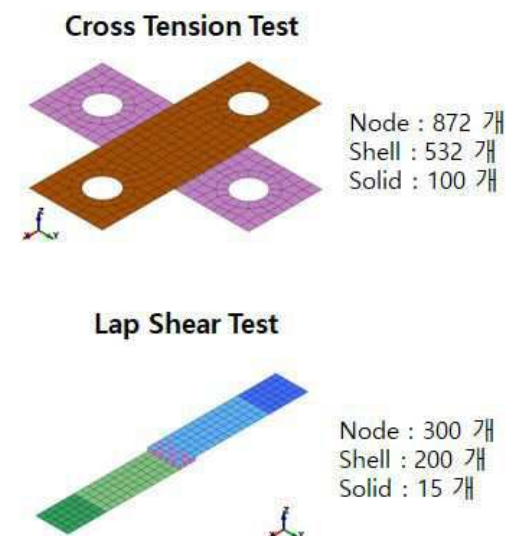
도면5



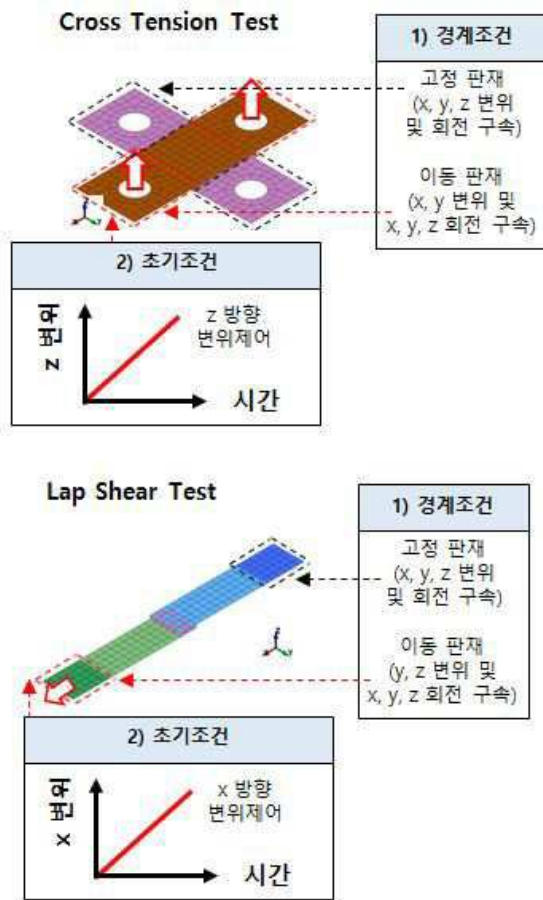
도면6



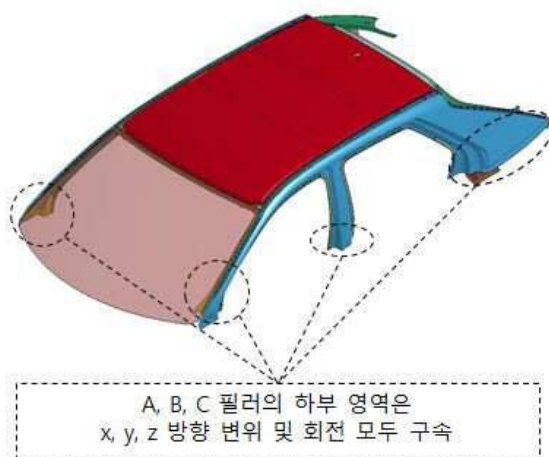
도면7



도면8



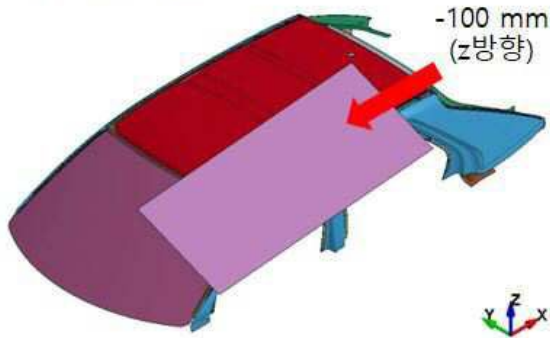
도면9



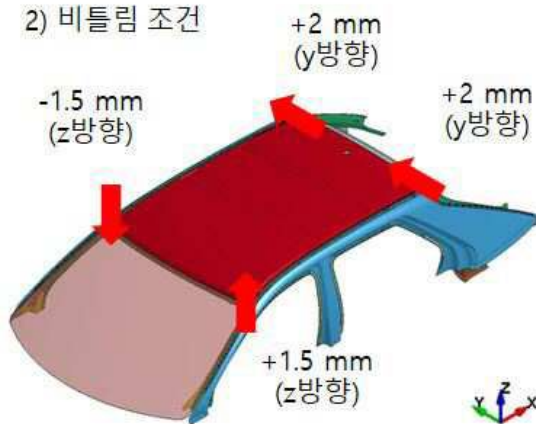
단, 필러 하부 영역을 제외한 모든
부품은 자유도 구속 조건 없음

도면10

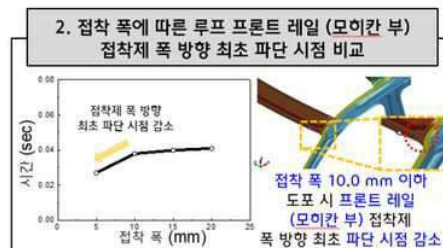
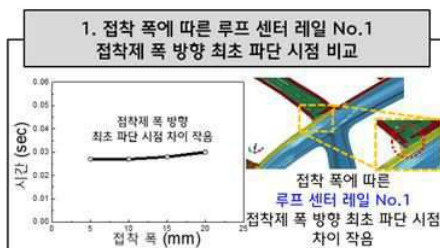
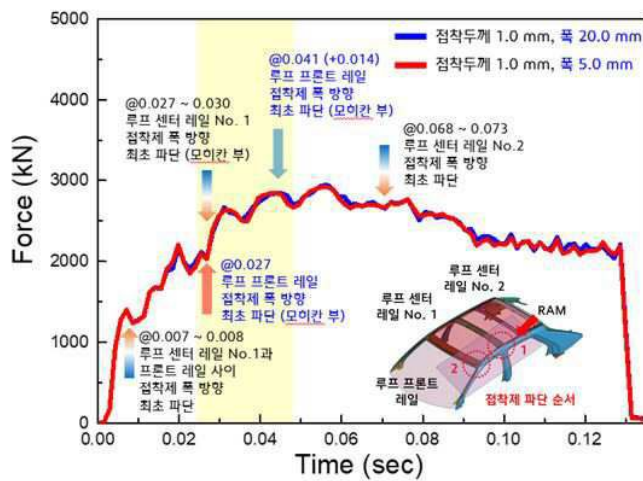
1) 고하중 조건



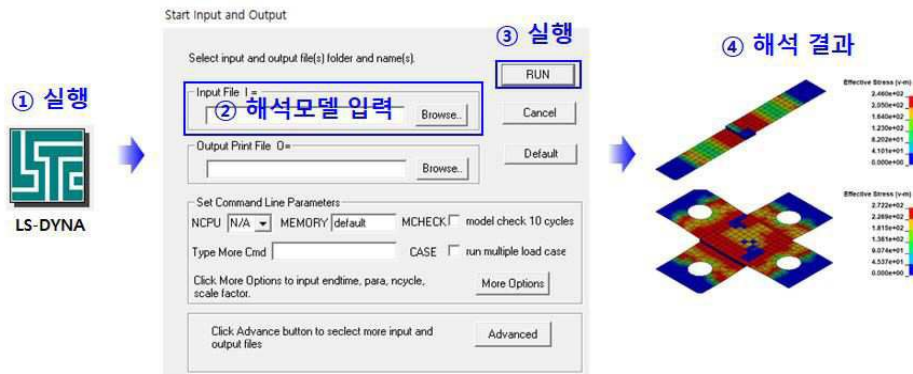
2) 비틀림 조건



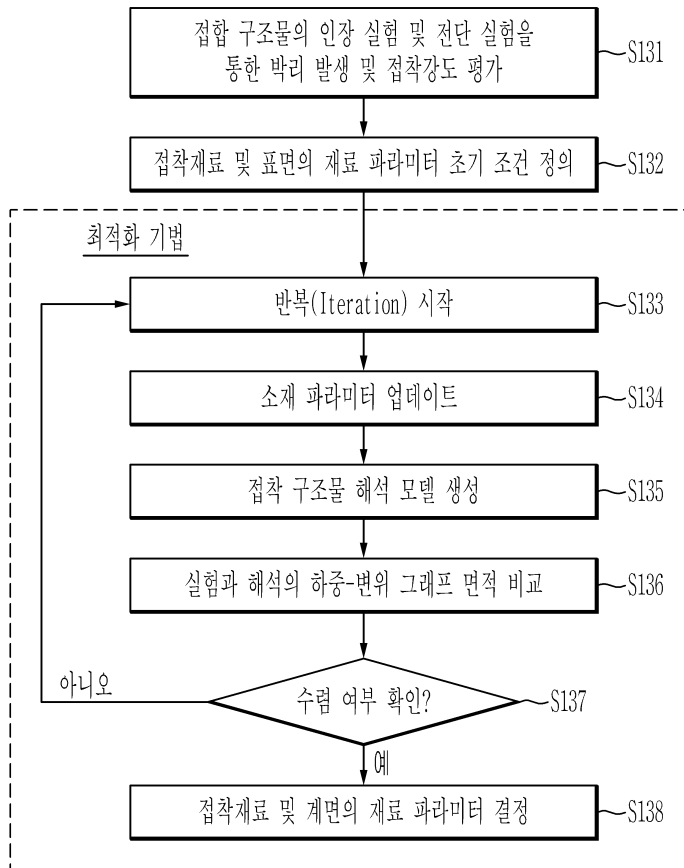
도면11



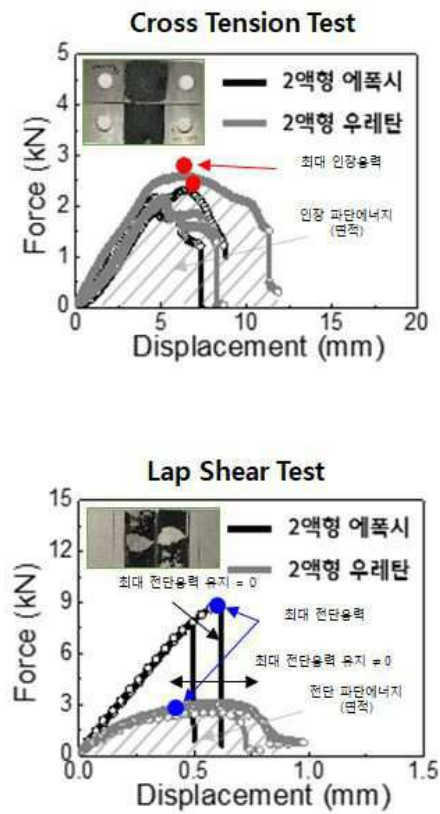
도면12



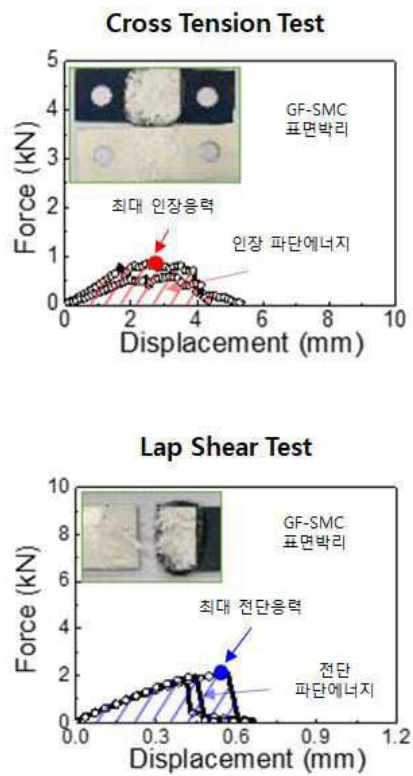
도면13



도면14



도면15



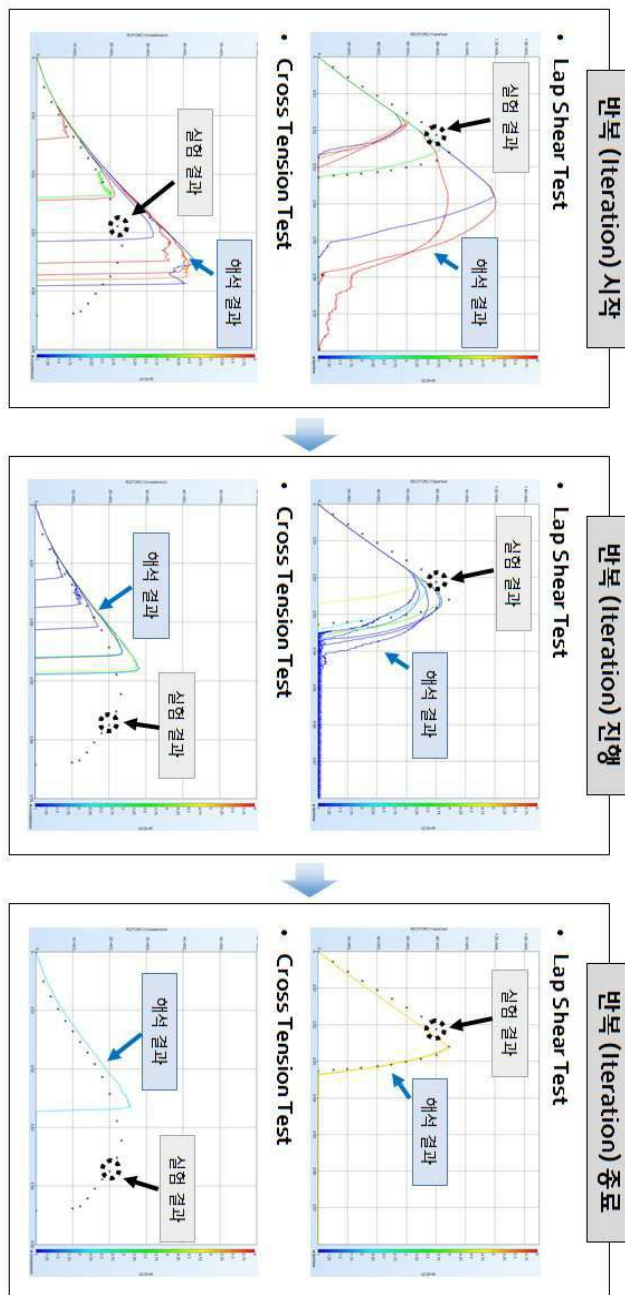
도면16

LS-OPT Parameter Setup

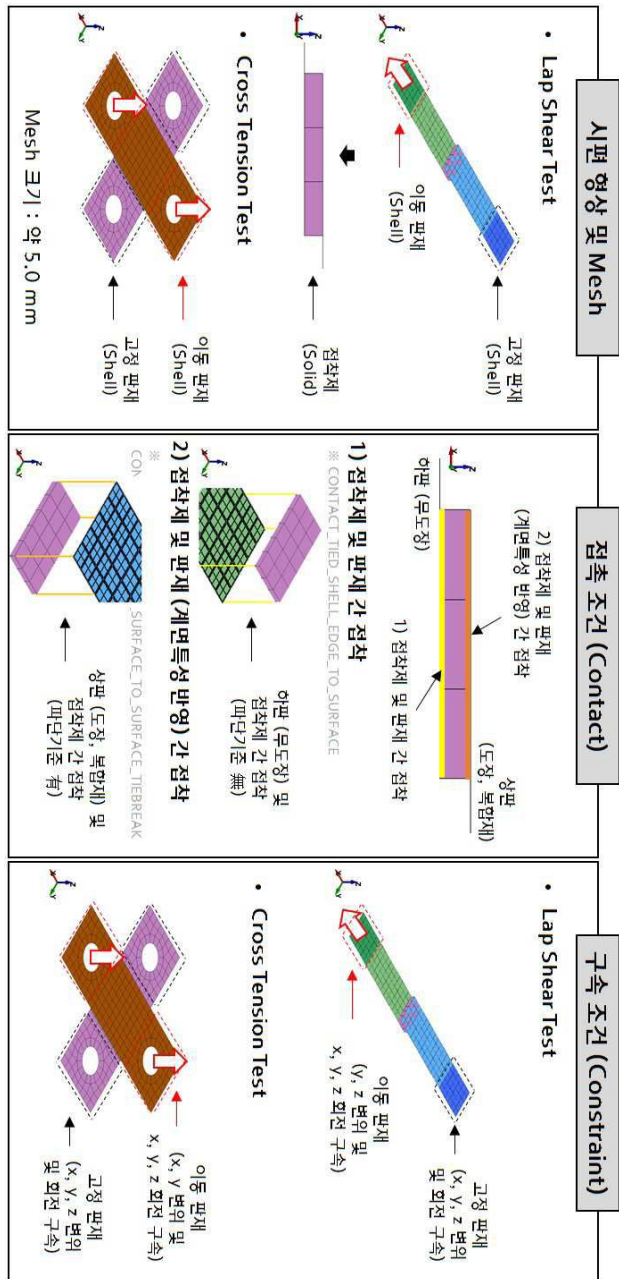
Type	Name	Starting	허용 범위	
			Minimum	Maximum
Continuous	E			
Continuous	PR			
Continuous	GCSHR			
Continuous	GCTEN			
Continuous	SHRMAX			
Continuous	TENMAX			

Technical Data 참고하여 초기 값 설정
(ex. 탄성계수, 푸아송비, 전단강도, 인장강도)

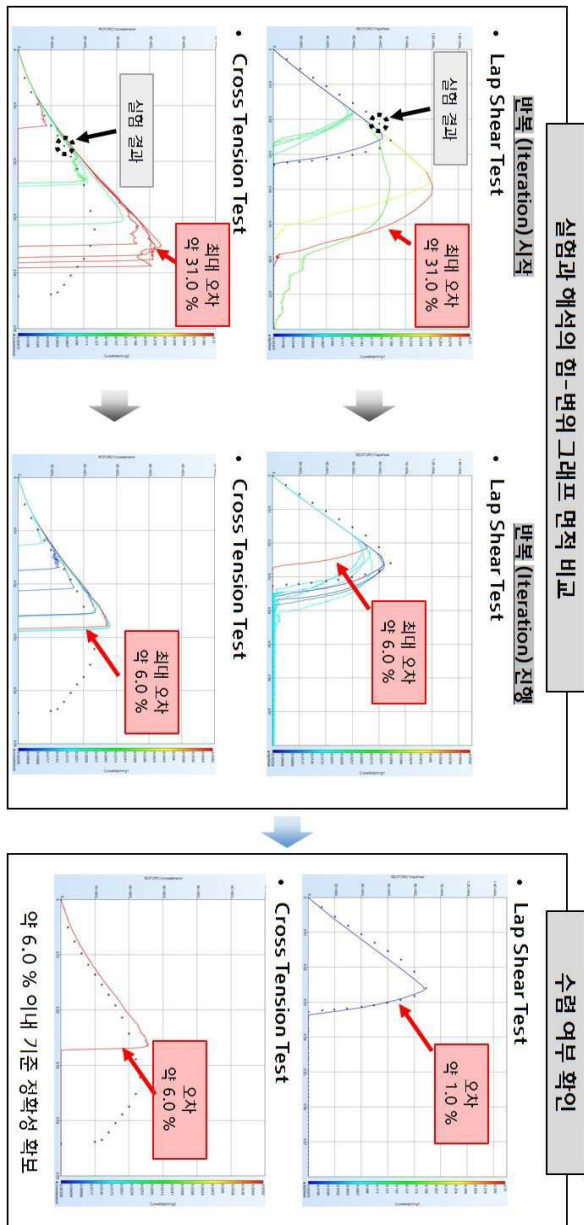
도면17



도면18



도면19



도면20

