

탄소복합소재-철 구조물간 접착력 향상을 위한 레이저 표면처리 연구

정재훈*, 허몽영**, 김성종**, 강래형***

전북대학교 유연인쇄전자공학과, LANL-JBNU 한국공학연구소*,

한국탄소산업진흥원**,

전북대학교 유연인쇄전자공학과, 메카트로닉스공학과, LANL-JBNU 한국공학연구소***

Research on laser surface treatment for improvement of joining a CFRP-steel structure

Jae-Hun Jung*, MongYoung Huh**, SeongJong Kim**, Lae-Hyong Kang***

Dept. of Flexible and Printable Electronics, and LANL-JBNU Engineering Institute-Korea, Jeonbuk National University*, Korea Carbon Industry Promotion Agency**, Dept. of Flexible and Printable Electronics, Dept. of Mechatronics Engineering, and LANL-JBNU Engineering Institute-Korea, Jeonbuk National University***

서론

기술이 발전함에 따라 여러 산업분야에서 재료의 고강도화 및 고분자 소재로의 대체를 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 자동차 분야에서는 저항용접 및 아크용접 등의 고전적인 용접법에서 자동차산업 패러다임 변화로 인해 경량 고안전 차체 및 제조기술의 개발이 끊임없이 요구되고 있다. 따라서 비철 또는 고분자 소재와 금속을 결합하기 위하여 볼팅(Bolting), 리벳팅(Riveting), 클린칭(Clinching) 등의 기계적 체결과 본딩 접합(Adhesive bonding) 등의 강력한 접합/체결기술이 개발되고 있다[1].

접착력을 높이기 위한 방법으로는 크게 세 가지가 있는데 첫번째는 금속 표면에 접착제를 도포한 후 인서트 몰딩을 수행하는 방법이 있다. 이 방법에서는 사출성형 중에 발생하는 높은 온도에 의해 접착제의 기능이 저하되는 단점이 있어 큰 접착력을 얻는 것에는 한계를 가진다. 두번째는 재료 표면에 이물질 분자막이 형성되어 있는데 표면처리를 통하여 이부분을 제거하고 금속표면의 표면에너지(surface energy)를 높여 표면의 젖음성(wettability)을 높이는 방법이 있으며 세번째 방법은 재료 피착부의 표면을 거칠게 가공함으로써 금속의 표면적(surface area)을 증가시켜 접착 면적을 높이는 것이다. 에칭(Etching), 샌드 블라스팅(Sand blasting), 레이저 가공(laser machining) 등의 다양한 표면처리 방법을 통하여 접착력을 높이는 연구가 이루어지고 있으며 각 표면처리 방법들의 변수를 달리 하여 접착강도를 높이려는 시도들이 이루어지고 있다 [2].

경량화 부분에 있어 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)구조가 많이 사용되고 있고 타 부품과 연결하기 위해서는 필수적으로 접합공정이 필요하게 되는데 과거에는 볼트 또는 리벳을 체결하는 기술을 사용하였으나 국부적인 응력 증가, 제작시간 증가, 제대로 된 경량화가 이뤄지지 않는다는 단점 때문에 여러 연구자들은 순수한 접착제만으로 전단강도를 향상시키기 위한 방법을 찾고 있다. 이러한 접합부의 전단강도는 접착 두께와 특성, 접합 형상 및 표면처리에 의해 크게 좌우되는데 그 중 레이저 표면처리를 이용하는 방식은 CFRP의 수지를 없애면서 섬유 부분만을 남겨 탄소섬유 및 접착제 사이에 접촉면적을 넓혀 접착력을 증가시키기 때문에 결합 표면에 대한 레이저 표면처리 패턴이 많이 연구되고 있다. 특히, 레이저 장비 변수를 확정하기 위하여 레이저 조사 power와 spot 거리별 시험을 통하여 에너지 밀도를 조절하여 매개변수를 최적화하는 연구도 활발히 진행되고 있다[3].

본 연구에서는 1064nm급 레이저 표면처리를 사용하여 레이저의 조사 power, frequency, speed를 동일하게 설정하고 피착부 표면처리에 대한 각도별 레이저 표면처리가 접합강도에 어떻게 영향을 미치는지 확인하여 최적의 표면처리 각도를 찾아내고자 했다. 접합부 면적에 대하여 각도별 표면처리 길이를 계산하여 피착부에 대한 표면처리의 면적을 모두 동일하게 맞췄다. 실험 소재는 CFRP와 CR340을 사용하였으며 표면처리 전후로 에탄올 세척을 진행하고 ASTM D1002/D5868을 참조한 Single lap shear test를 5mm/min의 속도로 시험하여 표면처리 방향에 대한 전단강도를 측정하였다.

실험

시편의 구성

Fig. 1에서와 같이 시편은 ASTM D1002/D5868 규격에 따라 $100 \times 25 \times 2.5 \text{ mm}^3$ 의 능직 탄소섬유와 $100 \times 25 \times 2.5 \text{ mm}^3$ 의 CR340에 대하여 레이저 표면처리 진행하였다. 표면처리 면적은 $12.5 \times 25 \text{ mm}^2$ 이며 접착 두께를 균일하게 맞추기 위하여 피착부의 양 옆으로 2mm씩의 간격을 두고 두께 0.16mm의 테플론 테이프를 사용하였고 1액형 에폭시 접착제를 도포하여 180°C 오븐에서 30분 경화시켰다.

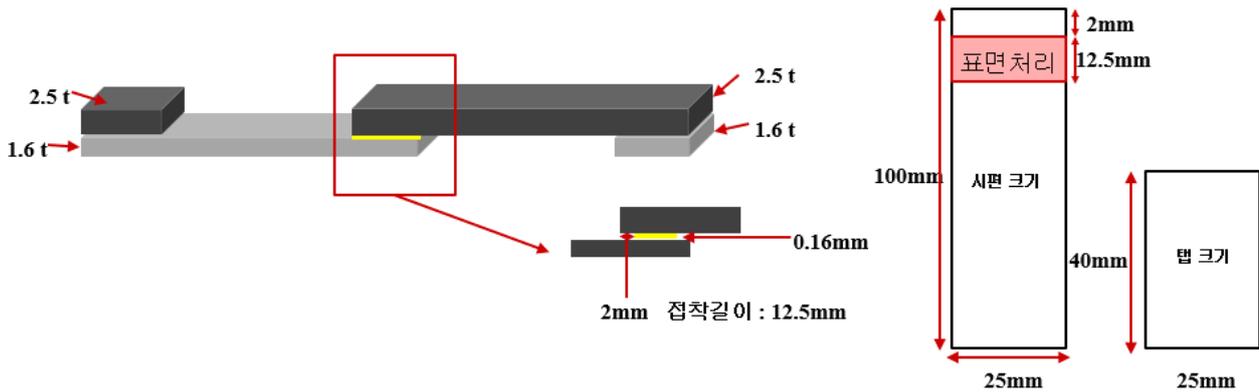


Fig. 1. Single lap shear test specimen.

시편의 표면처리 방법

시편은 CFRP와 CR340 모두 피착부에 대하여 Fig. 2와 같이 0°, 45°, 90°로 표면처리를 진행하였으며 표면처리 되는 면적의 총 길이를 500mm로 모두 동일하게 맞추었다. 이 때, 인장방향을 0°, 인장방향의 수직인 방향을 90°라고 설정하여 레이저 표면처리를 진행하였다. 레이저 표면처리 장치 변수는 Table 1과 같이 speed, power, frequency를 동일하게 맞추었으며 방향별 표면처리에 대한 결과를 명확히 알기 위하여 100회 반복하였다.

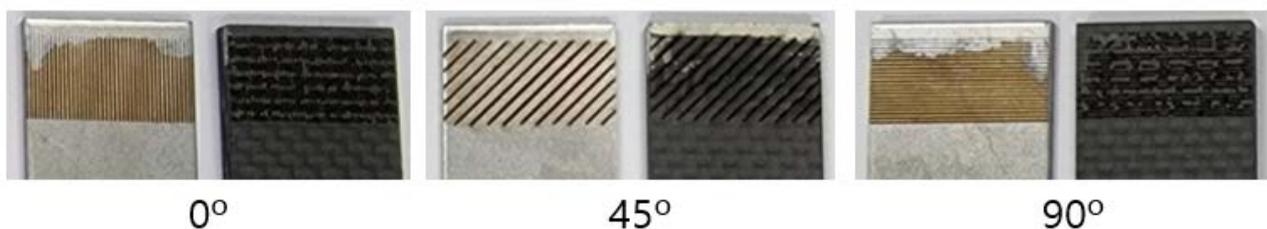


Fig. 2. Surface treatment by direction. Left: 0°; middle: 45°; right; 90°.

Table 1. Parameters in laser equipment

Parameter	Value
Marked Times	100times
Speed	1000mm/s
Power	20W
Frequency	40kHz

표면처리한 부분의 깊이는 CFRP의 경우 0.5mm, CR340의 경우 0.3mm로 나타났다.

결과 및 토론

시험 결과 모든 시편은 CFRP 부분에서 파단이 일어났으며, Fig. 3과 같이 0° 방향으로 표면 처리된 시편의 접착강도가 21.4MPa로 가장 높았다. 그 이유는 길이방향으로 당기는 시험에서의 섬유가 끊어지지 않는 방향으로 표면처리를 진행 한 반면 45°와 90° 방향으로 표면 처리된 시편의 경우 CFRP 평판 내부에서 섬유가 파단되어 온전한 강도를 내지 못하기 때문에 접착강도가 약해졌다고 판단된다.

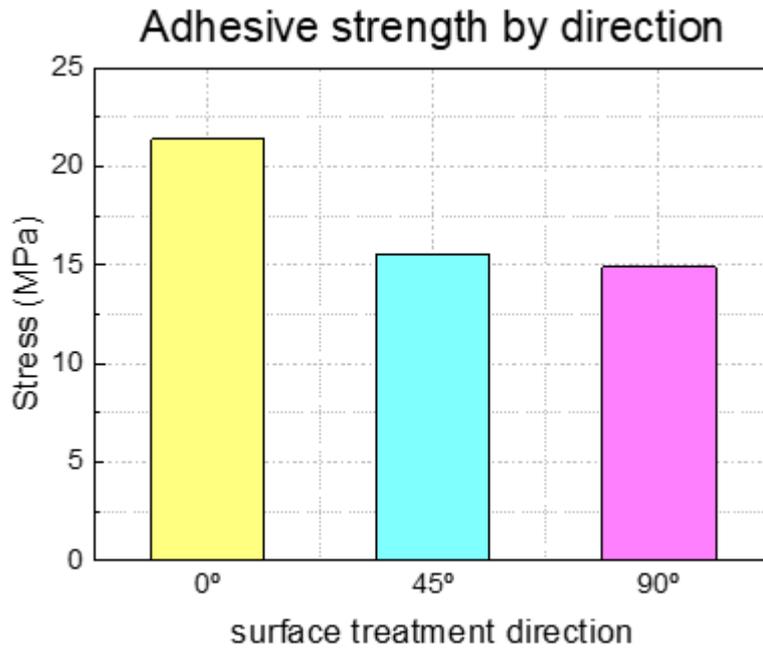


Fig. 3. Adhesive strength by direction.

이종소재로 이루어진 single lap shear 시편의 파단 구간은 Fig. 4와 같이 세개의 구간으로 나뉘어진다. 첫 번째는 CFRP와 접착제 사이 계면에서의 파단이고 두 번째는 접착제 내부에서의 자체 파단이며 세 번째는 CR340과 접착제 사이 계면에서의 파단이다. 위 실험을 통하여 시편 내부 파단이 일어날 수 있는 구간 중 제일 약한 구간은 CFRP와 접착제 사이 계면임을 확인할 수 있었다.

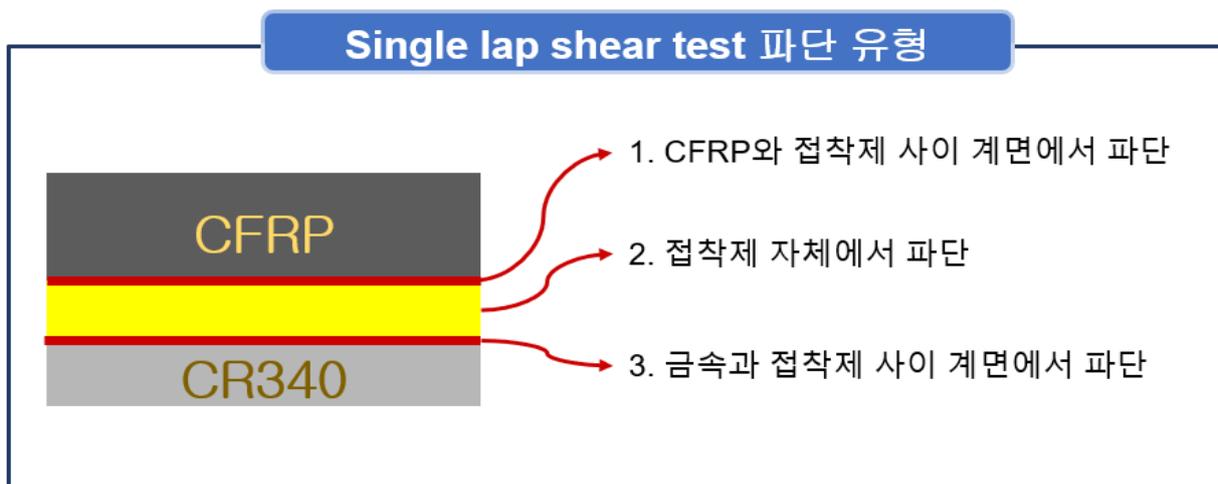


Fig. 4. Types of failure in single lap shear tests.

방향별 표면처리 시편의 파단면은 Fig. 5와 같이 나타났다. 레이저가 지나간 자리에 접착제가 제대로 도포되어 있음을 확인하였고 표면처리 방향에 따라 섬유가 같이 잘렸기 때문에 CFRP 부분이 떨어져 나간 양도 차이가 있음을 확인하였다.

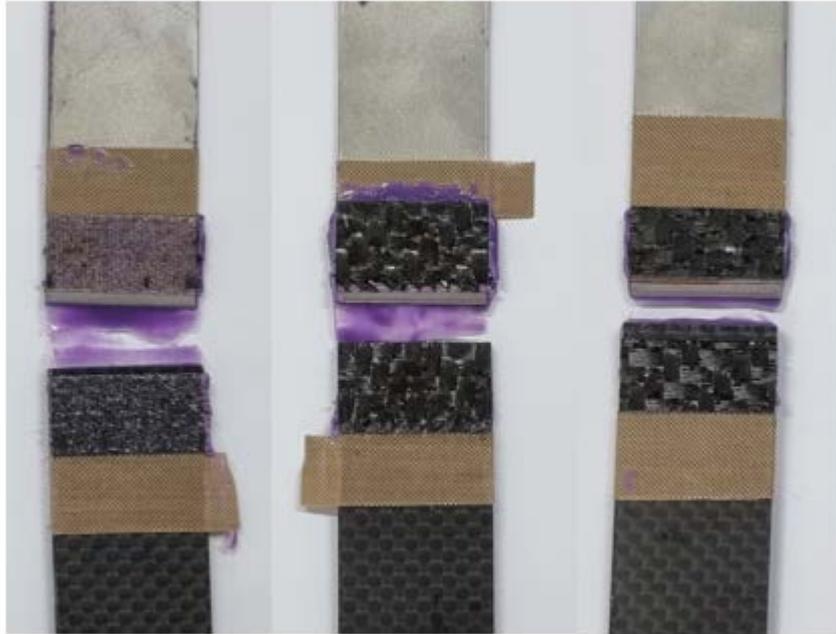


Fig. 5. Fracture shape of the specimen.

향후 표면처리 횟수를 줄여 섬유가 손상되지 않는 선에서 방향에 대한 접합강도를 추가로 비교할 계획이다.

후기

이 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(20010768)

참고문헌

1. 김용, 박기영, and 곽성복. "차체 소재 다변화에 따른 체결 및 접합기술." *대한용접·접합학회지* 33.3 (2015): 12-18.
2. 김세린, 류민영, and 장성웅. "금속 인서트 몰딩에서 금속의 표면처리에 따른 접착특성." *플리머* 41.4 (2017): 727-734.
3. Xie, Yingxi, et al. "Shear strength of bonded joints of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates enhanced by a two-step laser surface treatment." *Composite Structures* 232 (2020): 111559.