

알루미늄의 Silane 표면처리에 따른 Al/CFRP 이종재의 피로특성

김만태^a, 이경엽^{b*}, 지창현^c

^a경희대학교 기계공학과 대학원, ^b경희대학교 테크노공학 대학,

^c원광대학교 기계공학부

An Experimental Study on the Fatigue Characteristics of Silane-Treated Al/CFRP Composite Material

Man Tae Kim^a, Kyong Yop Rhee^{b*}, Chang Hun Chi^c

^aDepartment of Mechanical Engineering, KyungHee University

^bSchool of Mechanical and Industrial Engineering, KyungHee University

^cSchool of Mechanical System Design Engineering, Wonkwang University

(Received 12 January 2004 ; accepted 30 January 2004)

Abstract

In this study, we investigated the fatigue characteristics of silane-treated aluminum/CFRP composite material. Three different specimens of cracked aluminum, cracked aluminum repaired with CFRP patch, and silane-treated aluminum repaired with CFRP patch were used in the fatigue tests. Load ratio and the frequency applied in the fatigue tests were 0 and 10 Hz, respectively. The results showed that the specimen repaired by composite patch showed three times more improved fatigue life than aluminum specimen. Furthermore, the silane-treated specimen repaired by composite patch showed four times more improved fatigue life than the non-treated specimen.

Keywords : Composite patch, Fatigue crack growth, Silane treatment

1. 서 론

카본(carbon) 섬유 및 우수한 열경화성 수지의 개발로 인해 고성능 고분자 복합재료는 구조용 소재로 주목 받기 시작하였으며 특히 금속재료에 비해 커다란 무게 절감효과를 얻을 수 있어 최근에는 항공기용 재료로 응용분야가 확대되고 있다. 1970년 초 Australia에서 처음으로 고분자 복합재를 사용하여 금속 구조물에 대한 보수가 연구 되었고^{1,2)}, 80년대 들어 항공기의 보수 및 수명연장을 하기 위해 BCRT(Bonded Composite Repair Technology)라 불리는 기술이 개발되면서 복합재 패치를 이용한 구조물의 보수에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다³⁻⁶⁾. 복합재료를 이용한 보수방법에 대해 응용기술들이

활발히 연구 되는 가운데 실제 발생할 수 있는 결합부위나 손상된 기체에 대해 신속하고 효과적인 보수방법에 대한 관심이 증대되고 있다. 이러한 방법으로 대두되고 있는 기술이 복합재료를 금속 표면에 선택적으로 접착하는 기술이다⁷⁾. 복합재 패치를 접착하여 보수하는 기술에는 여러 가지 변수가 작용하지만 특히 보수 구조물과 복합재 패치간의 계면 결합력, 접착제의 특성, 복합재 패치 등이 보수 구조물의 성능 및 수명을 결정하는데 영향을 주는 변수이다. 이 중 계면 결합력은 표면상태와 접착처리방법에 의해 큰 영향을 받는다. 이 때 계면 결합력을 개선하기 위한 방법에는 기본적으로 두 가지 방법이 있다. 보수구조물의 표면을 더 거칠게 해줌으로서 계면의 표면적을 넓혀주는 방법과 표면의 활동성을 증가시켜주는 방법이다.

본 연구에서는 CFRP(carbon fiber reinforced plastic)

*Corresponding author. E-mail : rheeky@khu.ac.kr

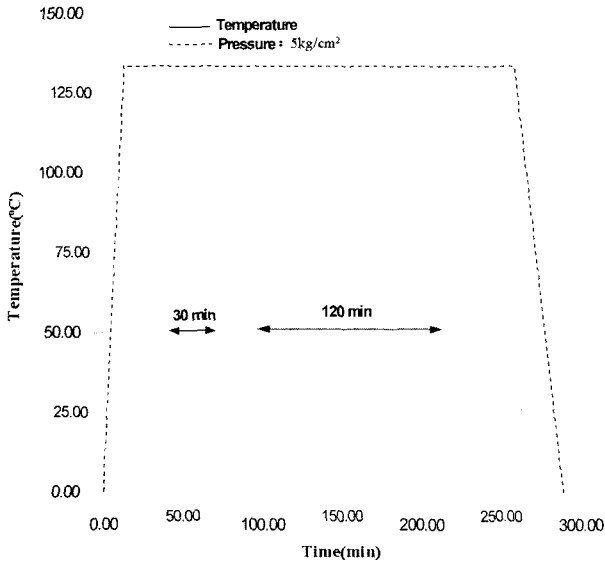


Fig. 1. Illustration of consolidation cycle of Al/CFRP composite.

로 보수된 알루미늄의 피로특성을 향상시키기 위한 기초적인 연구로 알루미늄을 실란(silane) 처리하였으며 실란처리에 따른 알루미늄/CFRP 이중복합재의 피로특성과 피로시험 후 피로파단면에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 CFRP 복합재의 성형

본 연구에 사용된 복합재 패치는 (주)SK 케미칼에서 생산되는 탄소섬유/에폭시 프리프레그(USN 150)를 사용하였으며, 성형은 프리프레그를 250 mm × 250 mm 크기로 절단후 0° 방향으로 4장 적층하여 오토클레이브(Autoclave) 내에서 성형하였다. 성형한 후 두께는 약 0.75 mm였다. 복합재 패치의 성형 조건은 그림 1에 나타내었다.

2.2 알루미늄 표면처리 및 알루미늄/CFRP 복합재 성형

알루미늄은 크기가 220 mm × 50 mm × 4 mm인 7075-T6를 사용하였고, 한 쪽에 20 mm의 V-형태의 노치를 가공하여 SEN(Single Edge Notched) 시편을 제작하였다. 알루미늄에 대한 실란처리는 다음과 같이 수행하였다. 알루미늄 시편에 알루미나 가루(입자크기: 75 μm)를 사용하여 표면을 브러싱(brushing) 한 후 5분간 초음파 세척으로 알루미늄 표면에 잔류하는 찌꺼기를 세척하였다. 이후 프라이머 법을 이용하여 실란처리하였다. 프라이머는 실란 커플링제를 용제로 희석한 것으로 접착제, 실링

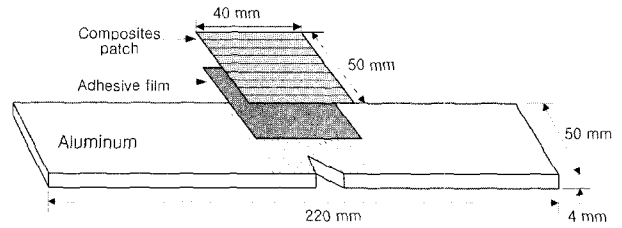


Fig. 2. Schematic diagram of SEN (single-edge notched) Al/CFRP composites specimen.

제 등과 각종 피착제질과의 접착성을 증진시키는 초벌처리제로 보통 용제로 1~20% 희석시켜 만든다. 용제로는 알콜류, 톨루엔, 아세톤, 알콜 수용액 등을 사용하는데 본 연구에서는 알콜수용액을 사용하여 1% 희석시킨 프라이머를 알루미늄 표면에 10분간 브러쉬로 도포한 후 상온에서 30~40분간 건조 경화하였다. CFRP의 전처리는 단순히 아세톤을 이용해 표면 세척하였다. 알루미늄/CFRP 성형은 CFRP 패치와 알루미늄 사이에 항공기용 접착 필름을 삽입하여 오토클레이브 내에서 성형하였다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 알루미늄/CFRP 시험편의 형상을 나타낸다.

2.3 피로균열전파 시험

피로균열전파 시험은 상온에서 완전 편진하중(응력비:0)을 정현파로 10 Hz의 하중 주파수로 시험편에 부과하여 수행하였다. 피로균열전파 시험에 사용된 시험기는 서보유압식 피로시험기인 Instron 8516을 사용하였고, 균열전파거동은 광학배율 100X의 이동 현미경을 이용하여 전파거동을 관찰하였다. 그림 3은 피로균열전파 실험에 사용된 시험기와 광학현미경 일체를 나타낸다. 균열전파 거동의 관찰이 용이하게 알루미늄 시험편 표면을 경면 연마하였다.

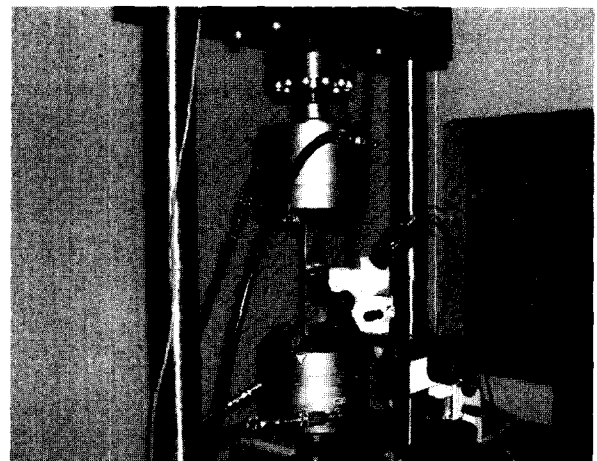


Fig. 3. Photograph of fatigue test of Al/CFRP composite and measuring devices.

3. 결과 및 고찰

균열전파거동을 해석하기 위해서는 균열길이 (a)에 대한 반복하중 수(N)가 필수적인 정보이다. 그림 4는 알루미늄, 표면처리하지 않은 알루미늄을 적용한 Al/CFRP, 표면처리된 알루미늄을 적용한 Al/CFRP의 반복하중 수에 대한 균열길이 진전을 나타낸다. 그림 4에서 나타나 있듯이 복합재 패치로 알루미늄의 균열을 보수할 경우 균열진전이 상당히 느린 것을 알 수 있다.

초기균열 진전 시 반복하중 수를 비교할 경우 알루미늄은 약 15000 cycle에서 균열이 발생하는 반면에 복합재 패치로 보수된 알루미늄의 경우는 약 18000 cycle 정도에서 균열이 발생하여 약 20% 정도의 피로수명이 증가되었다. 또한 10 mm의 균열 진전 시 균열누진을 비교한 결과 복합재 패치로 보수한 알루미늄의 경우 보수하지 않은 알루미늄 보다 약 3배 정도의 균열누진이 발생하였고, 실란처리를 한 알루미늄의 경우는 약 4배 정도의 더 큰 균열누진이 발생되었다. 완전파단까지의 피로수명을 비교한 결과 복합재 패치로 보수한 알루미늄의 경우는 약 470000 cycle인 반면에 보수되지 않은 알루미늄의 경우는 약 130000 cycle 정도에서 파단이 발생하였다. 또한 실란처리를 한 알루미늄의 경우에는 약 530000 cycle에서 파단이 발생하여 표면처리 하지 않은 경우에 비해 약 13% 피로수명이 증가하였다.

복합재 패치로 보수된 알루미늄의 경우에 발생하는 피로수명의 향상과 균열누진은 알루미늄의 균열

선단에 작용하는 집중하중이 복합재 패치로 인해 분산되어 작용하는 것이 가장 큰 원인으로 판단된다. 그리고 실란처리 유무에 따른 균열누진은 그림 4에서 나타나 있듯이 작용하는 반복하중수가 200000 cycle까지는 비슷한 균열진전을 보이지만 그 이후로는 실란처리를 한 알루미늄의 경우 더 큰 균열누진이 발생함을 알 수 있다. 이는 실란 커플링제의 polymer modification, sealant wet adhesion 및 filler dispersion 향상 등의 효과로 인해 알루미늄과 복합재 패치와의 접착력이 향상되어 균열누진이 발생한 것으로 판단된다.

그림 5는 세 경우에 대해 균열전파속도를 나타낸 그래프이다. 그림 5에 나타나있듯이 복합재 패치로 보수한 알루미늄은 보수하지 않은 알루미늄과 상당히 큰 차이의 균열전파속도를 나타낸다. 그러나, 표면처리를 한 알루미늄/CFRP와 하지 않은 알루미늄/CFRP의 경우 초기 균열진전속도는 비슷함을 알 수 있다. 그러나 어느 정도의 균열이 진전한 후에는 균열진전 속도에 차이가 나타난다. 이는 균열이 어느 정도 진전된 후에 표면처리 효과가 나타나는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다. 즉 초기에는 표면처리 유무에 상관없이 계면분리가 일어나지 않아 차이가 발생하지 않는다. 그러나 균열이 어느 정도 진전되면 (피로하중 수가 증가하면) 알루미늄과 CFRP 계면에서 미소크랙 등이 발생돼 계면분리가 일어난다. 이때 실란으로 표면처리 한 경우, 표면처리 하지 않은 경우에 비해 계면 접착력이 증가해 계면분리가 덜 발생하게 된다. 따라서 좀 더 큰 균열진전 속도의 누진이 발생하게 된다.

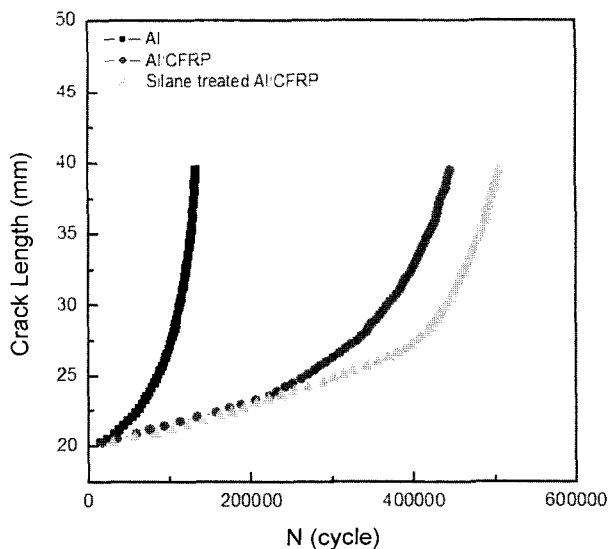


Fig. 4. Comparison of experimental data for the fatigue life of unpatched Al, patched Al/CFRP and silane-treated Al/CFRP.

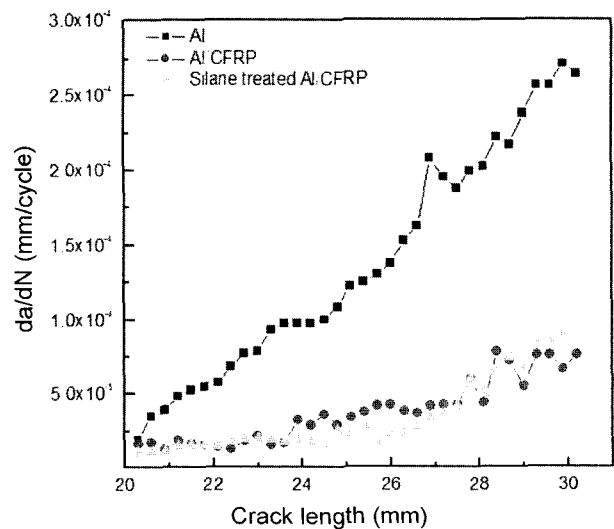


Fig. 5. Comparison of fatigue crack propagation rate for unpatched Al, patched Al/CFRP and silane-treated Al/CFRP.

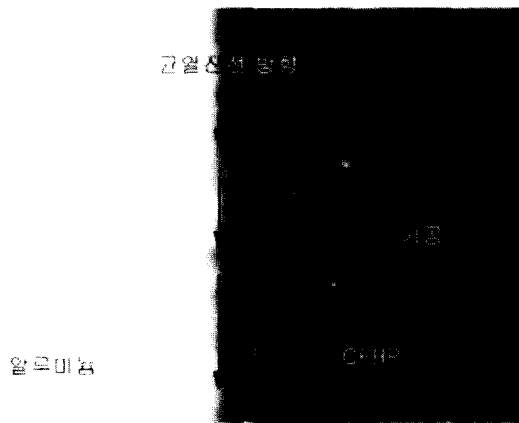


Fig. 6. Fracture surfaces of untreated Al/CFRP composite.

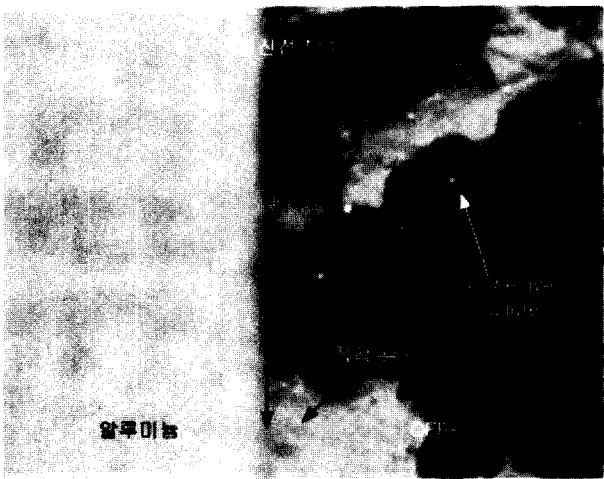


Fig. 7. Fracture surfaces of silane-treated Al/CFRP composite.

그림 6은 피로시험이 끝난 후 표면처리를 하지 않은 알루미늄/CFRP의 계면파단면을 나타낸 사진이고, 그림 7은 실란처리 된 알루미늄/CFRP의 계면파단면을 나타낸 사진이다. 그림 6에 나타나 있듯이 CFRP 패치의 계면에서 균열이 발생하는 경계선상에는 접착필름이 남아있지 않다. 그러나 표면처리 한 경우(그림 7) 균열이 발생하는 경계선상에 접착필름이 남아있는 것을 볼 수 있다. 이는 접착필름이 균열이 진전거동에 영향을 주어 균열누진을 발생하는 것으로 판단된다. 또한, 표면처리를 하지 않은 경우(Fig. 6) 표면에 미세한 기공들이 발생하였음을 볼 수 있다. 이러한 기공의 영향으로 계면의 접착력이 상대적으로 낮아지고, 기공들에 균열이 이어지면서 상대적으로 낮은 피로수명을 가져온 것으로 판단된다. 결과적으로 표면처리를 하지 않은 알루미늄/CFRP의 경우는 복합재 표면에서 계면파괴(adhesive failure)가 발생하고, 실란처리된 알루미늄/CFRP의 경우에는 부분적인 응집파괴(cohesive failure)가 발생한 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 실란처리에 따른 알루미늄/CFRP 이중복합재의 피로특성에 대해 연구하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 복합재 패치로 보수된 알루미늄/CFRP의 초기 균열진전 시 피로수명은 보수되지 않은 알루미늄/CFRP의 피로수명보다 약 20% 정도의 증가를 보이고 균열이 진전할수록 피로수명의 차이는 더욱 커진다는 것을 알 수 있다. 특히 실란 처리한 알루미늄/CFRP의 경우는 복합재 패치로 보수한 경우보다 약 13% 피로수명 증가를 보였다.

2) 표면처리하지 않은 알루미늄/CFRP의 경우 접착필름에 의한 영향보다 복합재 패치에 의한 영향으로 균열누진이 발생하지만, 실란 처리한 알루미늄/CFRP의 경우는 향상된 계면 결합력이 균열진전을 방해하여 표면처리 하지 않은 알루미늄의 경우보다 더 큰 균열누진이 발생하고, 계면의 파괴거동 또한 Cohesive Failure가 발생하는 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2003년도 원광대학교 교비지원에 의해 이루어진 논문임.

참고문헌

1. F. Christian, Jr., Do. Hammond, JB. Cochran, Composite Materials Repairs to Metallic Airframe Components, J. Aircraft, 29 (1992) 470-476.
2. TVRS. Umamaheswar, R. Singh, Modeling of a Patch Repair to a Thin Cracked Sheet, Eng. Fracture Mech, 62 (1999) 267-289.
3. A. A. Baker, Fiber Composite Repair of Cracked Metallic Aircraft Components, Composite, 18 (1987) 293-308.
4. A. A. Baker, A. A. Jones, Editors, Bonded Repair of Aircraft Structures, Martinus Nijhoff Publishers, 1988.
5. C. L. Ong, S. B. Shen, Repair of F-104 Aircraft Nosedome by Composite Patching, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 15 (1991) 75-83.
6. J. J. Denny, S. Mall, Characterization of Disbond Effects on Fatigue Crack Growth Behavior in Aluminum Plate with Bonded Composite Patch, Engineering Fracture Mechanics, 57 (1997) 507-525.
7. 항공산업동향, 대한항공(주) 항공우주사업본부 한국항공기술동향연구원, (1991) 119-133.