

외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량에 관한 연구

신금철*, 이정주**

Tensile load bearing capacities of co-cured single and double lap joints

Kum Cheol Shin and Jung Ju Lee

KEY WORDS : Co-cured joining method(동시경화 접합방법), Tensile load bearing capacity(인장하중 전달용량), Surface roughness(표면조도), Stacking Sequence(적층각도), Manufacturing pressure(제조압력)

ABSTRACT

Co-cured joining method is an efficient joining technique because both curing and bonding processes for the composite structures can be achieved simultaneously. It requires neither an adhesive nor a surface treatment of the composite adherend because the excess resin, which is extracted from composite materials during consolidation, accomplishes the co-cured joining process. In this paper, we considered three bond parameters, affecting tensile load bearing capacity of the co-cured single and double lap joints. Finally, we have presented optimal bonding conditions for co-cured single and double lap joints with steel and composite adherends under tensile loads.

1. 서 론

탄소섬유-에폭시 복합재료는 높은 비강성, 비강도뿐 아니라 좋은 기계적 특성 때문에 항공, 우주용 재료, 자동차의 부품재료로써 많이 사용되고 있다. 그러나 산업전반에 걸쳐 사용되고 있는 기계부품 및 구조물은 강철재료로 제작되고 있으므로 복합재료와 강철재료 간의 접합에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 일반적으로, 복합재료를 이용한 구조물의 효율은 구조물 자체보다는 접합부의 품질에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

동시경화 접합방법은 접착제를 이용한 접합방법의 일종으로서 복합재료의 경화공정과 피접합물

간의 접합공정이 동시에 이루어지기 때문에 매우 유용한 접합방법이다. 동시경화조인트는 복합재료의 경화 중 흘러나오는 레진(Resin)을 접착제로 사용하기 때문에 따로 접착제가 필요하지 않을 뿐 아니라 복합재료 피접합물의 경화공정과 접합공정이 동시에 이루어지기 때문에 복합재료 피접합물의 접합면을 표면처리(Surface Treatment)할 필요도 없다.

이와 같이 동시경화조인트의 여러 가지 장점으로 인해 최근에 많은 연구자들에 의해 연구가 진행 중에 있다. Kim 등은 복합재료 피접합물로 이루어진 동시경화조인트를 제작하여 정적 및 동적 실험을 수행하였다[1]. Choi 와 Lee 는 원통형 동시경화조인트를 제작할 때 접합면을 널링 가공한 접합면(Knurlled Surface)과 그렇지 않은 접합면으로 제작하여 실험하여 강도를 비교하였다[2]. Lee 등은 접합길이, 표면조도, 복합재료 피접합물의 적층각

* 한국과학기술원 기계공학과

** 한국과학기술원 기계공학과

도와 같은 다양한 접합인자의 변화에 따른 원통형 동시경화조인트의 강도변화에 대해 조사하였고[3], Cho 등은 복합재료와 알루미늄 재료를 이용한 하이브리드 샤프트를 동시경화 접합방법으로 이용하여 설계, 해석 및 제작하였다[4-5]. Shin 과 Lee 는 인장하중을 받는 외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량에 영향을 미치는 설계인자(Design Parameters)들에 관하여 연구하였다[6-8]. 후지 중공업과 보잉사에서는 보잉 777 프로그램에 동시경화조인트를 응용하였고[9], 미쓰비시에서는 전투기 FS-X 의 날개에 동시경화조인트에 의한 접합방법을 사용하였다[9].

본 연구에서는 인장하중을 받는 강철재료와 탄소섬유-에폭시 복합재료를 이용한 외면 및 양면접치기 동시경화조인트(Co-cured single and double lap joints)의 인장하중 전달용량이 조인트의 설계인자들, 즉 강철재료 피접합물 접합면의 표면조도, 복합재료 피접합물의 적층각도, 제조공정 시 가해지는 압력의 크기에 따라 어떠한 영향을 받는지에 관하여 실험적으로 연구하였다. 최종적으로 동시경화 조인트의 설계 시 가장 효과적인 기계적 특성을 얻기 위한 설계 조건을 제시하고자 한다.

2. 시험편 제조 공정

동시경화조인트의 제조공정은 크게 5 단계로 나눌 수 있다. 첫번째 단계는 강철재료의 가공공정으로서 조인트의 설계에 맞게 가공한다. 가공된 강철재료의 접합면을 사포를 이용하여 표면처리하는데 이렇게 함으로써 접합강도를 높일 수 있다고 알려져 있다. Fig. 1 은 강철재료의 표면을 사포로 표면처리하였을 때 사포의 메쉬와 표면조도와의 관계를 나타내고 있다.

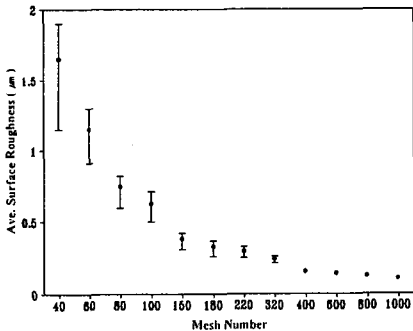


Fig. 1 Relationship between the average surface roughness and the mesh number of the abrasive sandpapers for the steel adherend.

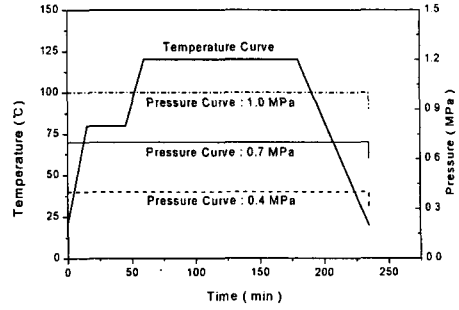


Fig. 2 Cure cycle for the co-cured lap joint specimen.

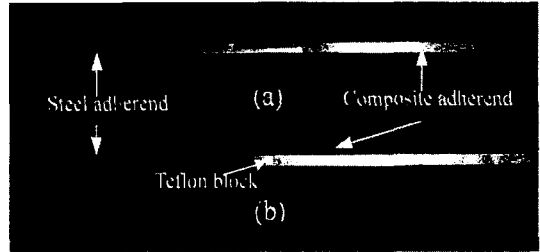


Fig. 3 Photograph of the co-cured lap joint specimens. (a) Co-cured single lap joint specimen; (b) co-cured double lap joint specimen.

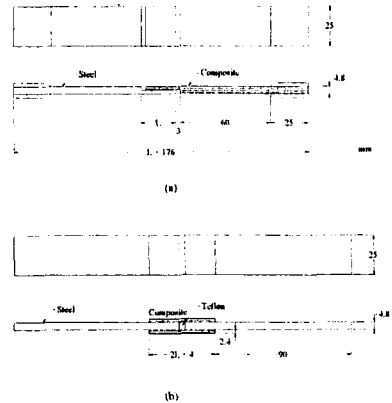


Fig. 4 Shape and dimensions of the co-cured lap joint specimens. (a) Co-cured single lap joint specimen; (b) co-cured double lap joint specimen.

두번째 단계로는 복합재료 피접합물을 만드는 것인데 크기에 맞게 재단한 프리프레그를 적층한다. 이렇게 적층된 완전히 경화되지 않은 복합재료 피접합물은 강철재료에 가접합하여 세번째 단계를 완료한다. 가접합된 조인트는 오토클레이브에 넣어 고온, 고압하에서 경화시키는데 이때 접합공정도 함께 진행된다. Fig. 2 에 복합재료의 경화싸이클을 나타내었다. 최종 단계로서, 완전히 경화된 조인트의 날카로운 모서리와 흘러나온 레진

을 고온 사포를 이용하여 제거하면 동시경화조인트의 제작이 마무리된다. Fig. 3 과 4 는 위의 5 단계에 따라 제작된 외면 및 양면접치기 동시경화조인트를 나타낸 사진과 형상 및 크기를 각각 나타낸 그림이다. 양면접치기 동시경화조인트에는 중앙에 테플론 블록(Teflon Block)이 삽입되어 있는데 이것은 두 강철재료 피접합물간의 접합을 막기 위해 삽입된 것이다.

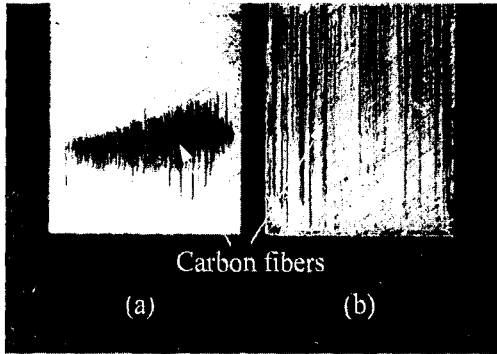


Fig. 5 Photograph of the typical failure surfaces obtained from the failed tensile test specimens. (a) Co-cured single lap joint; (b) co-cured double lap joint.

3. 실험방법 및 실험결과

제작된 외면 및 양면접치기 동시경화조인트 시험편을 100kN 용량의 인장시험기(MTS: Materials Testing System)를 이용하여 1.27 mm/min 의 속도로 인장 실험하였다. Fig. 5 는 외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 전형적인 파단면을 보여준다. 외면접치기 동시경화조인트의 경우에는 부분적 접합부 파괴 메커니즘(Partial cohesive failure mechanism) 형태로 파괴되었음을 알 수 있지만 양면접치기 동시경화조인트의 경우에는 레진층과 복합재료 피접합물의 첫번째 플라이의 사이에서 파괴가 일어난 것을 볼 수 있다. 이것은 두 형태의 조인트의 형상의 차이로부터 비롯된 것인데 외면접치기 동시경화조인트의 경우에는 하중선을 중심으로 대칭구조가 아니어서 접합부의 계면에서 필응력(Peel Stress)이 발생할 가능성이 높기 때문이다. 이에 반해 양면접치기 동시경화조인트는 하중선을 중심으로 대칭구조를 가지고 있기 때문에 필응력의 발생이 매우 낮다. 이러한 필응력의 존재는 조인트의 강도를 낮게 하므로 필응력의 크기를 낮게 설계하는 것이 유리할 것이다.

Fig. 6 은 외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량을 표면조도에 따라 표시한 것

으로 필응력이 발생할 가능성이 높은 외면접치기 동시경화조인트의 경우에는 기계적 맞물림 현상(Mechanical Interlocking)이 적어서 표면조도가 인장하중 전달용량에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 하지만, 양면접치기 동시경화조인트의 경우에는 필응력의 발생이 매우 낮아서 기계적 맞물림 효과가 외면접치기 동시경화조인트의 경우보다 크게 나타나 표면조도가 다소 영향을 미치는 것으로 나타났다.

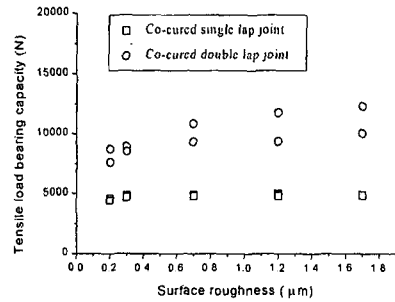


Fig. 6 Tensile load bearing capacity of the co-cured lap joints with respect to the surface roughness of the steel adherend.

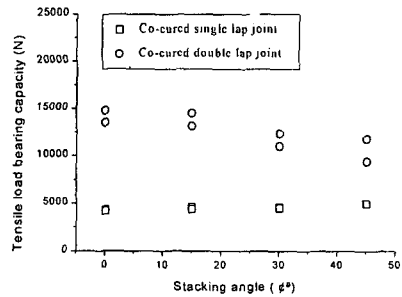


Fig. 7 Tensile load bearing capacity of the co-cured lap joints with respect to the stacking sequence of the composite adherend.

Fig. 7 은 외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량을 복합재료의 적층각도에 따라 표시한 것으로 조인트의 형상이 대칭이 아닌 외면접치기 동시경화조인트의 경우에는 적층각도가 증가할수록 인장하중 전달용량이 커지지만 양면접치기 동시경화조인트의 경우에는 감소하는 것을 확인할 수 있다. 외면접치기 동시경화조인트의 경우에는 복합재료 피접합물의 적층각도가 증가하면 복합재료 피접합물과 강철재료와의 강성의 차이가

커짐에 따라 유연해지는 조인트 형상 때문에 접합면에서의 응력집중이 줄어들기 때문이다. 반면에 양면접치기 동시경화조인트의 경우에는 접합면에서의 대칭적구조 때문에 오히려 복합재료 피접합물과 강철재료간의 강성의 차이가 적을수록 유리하다.

Fig. 8 은 외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량을 복합재료의 경화시 제조압력에 따라 표시한 것으로 대체적으로 제조압력이 증가할수록 인장하중 전달용량이 증가하나 그 증가량은 줄어드는 것을 알 수 있다.

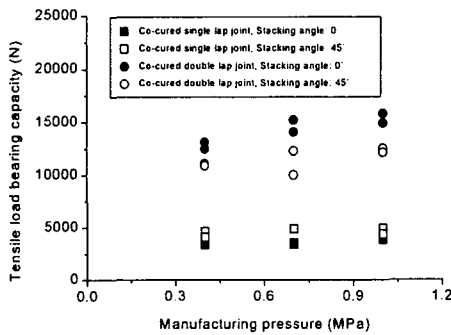


Fig. 8 Tensile load bearing capacity of the co-cured lap joints with respect to the manufacturing pressure in the autoclave during curing process. (a) Co-cured single lap joint; (b) co-cured double lap joint.

4. 결론

본 연구에서는 인장하중을 받는 강철재료와 탄소섬유/에폭시 복합재료를 이용한 외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량이 조인트의 설계 인자들, 즉 강철재료 피접합물 접합면의 표면조도, 복합재료 피접합물의 적층각도, 제조공정 시 가해주는 압력의 크기에 따라 어떠한 영향을 받는 지에 관하여 실험적으로 연구하였는데 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 외면접치기 동시경화조인트의 파괴메커니즘은 부분적 접합부 파괴 형태(Partial cohesive failure mechanism)로 파괴되었음을 알 수 있지만 양면접치기 동시경화조인트의 경우에는 레진층과 복합재료 피접합물의 첫번째 플라이의 사이에서 파괴가 일어난 것을 알 수 있었다.
2. 외면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량은 표면조도에 크게 영향을 받지 않지만 양

면접치기 동시경화조인트의 경우에는 기계적 맞물림현상의 영향으로 다소 영향을 받았다.

3. 복합재료 피접합물의 강성의 변화에 따른 영향과 조인트의 형상의 차이로 인해 복합재료 피접합물의 적층각도가 증가할수록 외면접치기 동시경화조인트의 인장하중전달용량은 증가하였지만 양면접치기 동시경화조인트의 경우에는 감소하였다.
4. 외면 및 양면접치기 동시경화조인트의 인장하중 전달용량은 경화압력이 증가할수록 대체적으로 증가하나 그 증가량은 줄어드는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) H. S. Kim, S. J. Lee and D. G. Lee, Development of a strength model for the co-cured stepped lap joints under tensile loading, *Composite Structures*, 32(1995), pp. 593-600.
- (2) J. H. Choi and D. G. Lee, Torque capacity of co-cured tubular lap joints, *Journal of Composite Materials*, 31(1997), pp. 1381-1396.
- (3) S. W. Lee, D. G. Lee and K. S. Jeong, Static and dynamic torque characteristics of composite co-cured single lap joint, *Journal of Composite Materials*, 31(1997), pp. 2188-2201.
- (4) D. H. Cho, D. G. Lee and J. H. Choi, Manufacture of one-piece automotive drive shafts with aluminum and composite materials, *Composite Structures*, 38(1997), pp. 309-319.
- (5) D. H. Cho and D. G. Lee, Manufacturing of co-cured composite aluminum shafts with compression during co-curing operation to reduce residual thermal stresses, *Journal of Composite Materials*, 32(1998), pp. 1221-1241.
- (6) K. C. Shin, J. J. Lee and D. G. Lee, A study on the lap shear strength of a co-cured single lap joint, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 14(2000), pp. 123-139.
- (7) K. C. Shin and J. J. Lee, Tensile load bearing capacity of co-cured double lap joints, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 14(2000), pp. 1539-1556.
- (8) K. C. Shin and J. J. Lee, Prediction of the tensile load bearing capacity of a co-cured single lap joint considering residual thermal stresses, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 14(2000), pp. 1691-1704.
- (9) D. J. Wilkins etc., *Japanese Research and Development in the Manufacturing of Polymer Composite Skin-Stringer Debonding*, NASA Langley Research Center, Hampton, VA, 1995.