

강철재료와 탄소섬유/에폭시 복합재료를 이용한 동시경화 조인트의 인장하중 전달용량에 미치는 설계변수에 관한 연구

신금철* · 이정주**

Design parameters on the tensile load bearing capacity of a co-cured lap joint with steel and carbon fiber/epoxy composite adherends

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

The co-cured joining method, which is regarded as an adhesively bonded joining method, is an efficient joining technique because both curing and bonding processes for the composite structures can be achieved simultaneously. It requires neither surface treatment onto the composite adherend nor an additional adhesive joining process because the excess resin, which is extracted from composite materials during consolidation, accomplishes the co-cured joining process. Since the adhesive of the co-cured joint is the same material as the resin of the composite adherend, the analysis and design of the co-cured joint for composite structures are simpler than those of an adhesively bonded joint, which uses an additional adhesive. In this paper, effects of the manufacturing parameters, namely surface roughness, stacking sequence of the composite adherend, and manufacturing pressure in the autoclave during curing process, on the tensile load bearing capacity of the co-cured single lap joint will be experimentally investigated.

1. 서론

접착제에 의한 접합방법(Adhesively-bonded joining method)의 일종인 동시경화 접합방법(Co-cured joining method)은 복합재료 피접합물(Composite Adherend)의 경화공정(Curing process)과 피접합물 간의 접합공정(Bonding process)이 동시에 이루어지기 때문에 효과적인 접합방법이다. 동시경화 접합방법에서는 복합재료 피접합물의 경화

시에 흘러나오는 여분의 수지(Resin)를 이용하여 두 피접합물 간의 접합공정을 수행하기 때문에 복합재료 피접합물의 접합면에 표면처리(Surface treatment)를 할 필요가 없을 뿐 아니라 두 피접합물을 접합하기 위해 접착제(Adhesive)가 따로 필요하지 않다. 게다가 복합재료 피접합물에서 흘러나오는 여분의 수지를 접착제로써 이용하기 때문에 동시경화 조인트의 제조공정 이후에도 복합재료의 모재(Matrix)의 성분과 접착제의 성분이 동일하여 새로운 접착제를 이용하여 접합공정을 수행하는 접착제에 의한 접합방법에 비해 해석 및 설계에 있어 유리한 장점이 있다[1].

동시경화 접합방법의 여러 가지 장점으로 인해

* 한국과학기술원 기계공학과

** 한국과학기술원 기계공학과

최근에 많은 연구자들에 의해 연구가 진행 중에 있다. Shin 과 Lee 는 인장하중을 받는 외면 및 양면 겹치기 동시경화 조인트의 인장하중 전달용량에 영향을 미치는 설계 인자(Design Parameters)들에 관하여 연구하였고[1-3], Lee 등은 원통형 동시경화 조인트의 비틀림 전달용량에 영향을 미치는 설계 인자들에 관하여 연구하였다[4-5]. Cho 등은 복합재료와 알루미늄 재료를 이용한 하이브리드 샤프트를 동시경화 접합방법으로 이용하여 설계, 해석 및 제작하였다[6-7].

본 연구에서는 인장하중을 받는 강철재료와 탄소섬유/에폭시 복합재료를 이용한 외면 겹치기 동시경화 조인트(Co-cured single lap joint)의 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 연구하였다. 최종적으로 동시경화 조인트의 설계 시 가장 효과적인 기계적 특성을 얻기 위한 설계 조건을 제시하고자 한다.

2. 시험편 제조 공정

접착제에 의한 접합 조인트의 경우에는 피접합물 표면의 표면조도에 따라 접합강도(Joint strength)가 영향을 받는 것으로 알려져 있고[8], 복합재료 피접합물의 적층방법에 따라 피접합물의 물성(Mechanical properties)이 크게 달라져서 강철재료 피접합물과의 강성의 차이가 달라진다고 알려져 있다[1]. 또한 접착제에 의한 접합방법의 경우에는 접착층의 두께에 따라 조인트의 접합강도가 영향을 받는 것으로 알려져 있다[9]. 동시경화 조인트의 경우에는 접착층이 복합재료 피접합물의 제조공정 중에 흘러 나오는 수지에 의해 형성되므로 조인트의 경화공정 중의 제조 압력을 조절함에 의해 수지층의 두께를 조절할 수 있을 것으로 생각된다.

외면 겹치기 동시경화 조인트 시험편은 복합재료 피접합물의 경화 중에 흘러 나오는 여분의 수지가 조인트 외부로 새지 않고 접합층을 형성하도록 하기 위해 레진 블리더(Resin bleeder)와 펠 플라이(Peel ply)를 사용하지 않고 제조하였다[4]. 복합재료 피접합물로는 SK 케미칼사에서 생산되는 USN150 탄소섬유/에폭시 복합재료를 사용하였는데 Fig. 1 에 제작된 외면 겹치기 동시경화 조인트 시험편을 나타내었다. 강철재료 피접합물의 표면에 형성된 표면조도는 0.2, 0.3, 0.7, 1.2, 1.7 μm 였고, 복합재료 피접합물의 적층각도는 $\{(\pm 0)_{4S}\}_s$ ($\theta=0, 15,$

30, 45°)였으며 접합길이는 20 mm로 결정하였다. 제조압력에 따른 영향을 고려하기 위하여 Fig. 2 와 같이 세 종류의 경화 사이클(Cure cycle)을 선택하였다. Fig. 2 에서 볼 수 있듯이 시험편의 제조공정 시 압력에 따른 영향만을 고려하기 위하여 온도 곡선(Temperature curve)은 동일하게 하였고 압력 곡선(Pressure curve)은 0.4, 0.7, 1.0 MPa 의 세 가지로 결정하였다.

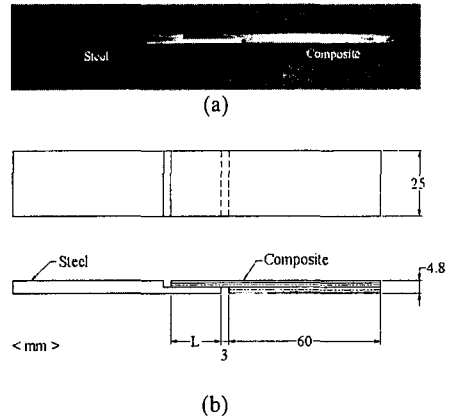


Fig. 1 Co-cured single lap joint specimen. (a) Photograph of the specimen; (b) shape and dimensions of the specimen

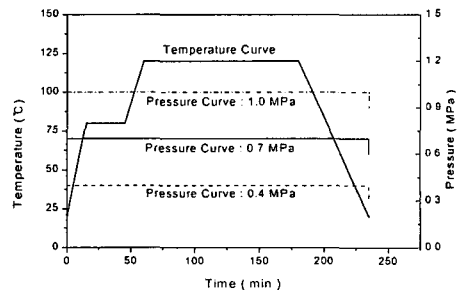


Fig. 2 Cure cycle for the co-cured single lap joint specimen

3. 피접합물 간의 계면 특성

Fig. 3 은 강철재료 피접합물과 복합재료 피접합물 간의 계면(Interface)을 보여주는데 제조압력이 커질수록 접합 수지층의 두께가 얇아지는 것을 관찰할 수 있다. 이로부터 동시경화 조인트의 제조 압력을 조절함으로써 접합 수지층의 두께를 조절할 수 있음을 알 수 있다. 관찰된 접합 수지층의

두께는 5-15 μm 로서 복합재료 피접합물의 한 플라이의 두께(125-150 μm)에 비해 매우 얇다는 것을 알 수 있다.

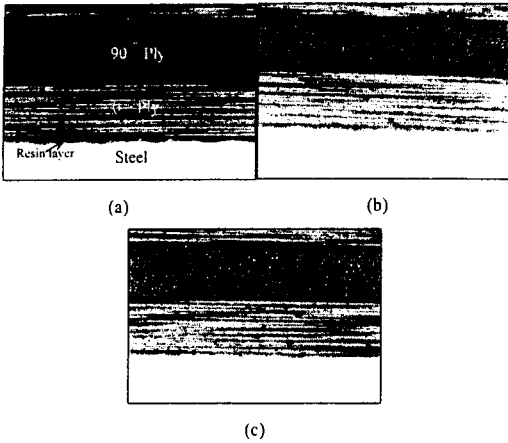


Fig. 3 Interface between steel and composite adherends with respect to various pressures in the autoclave during curing process. (a) 0.4 MPa; (b) 0.7 MPa; (c) 1.0 MPa

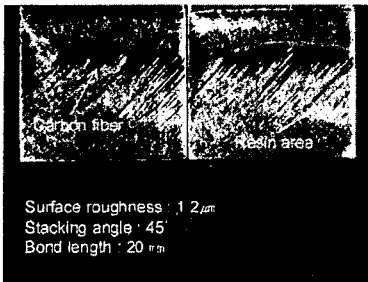


Fig. 4 Photograph of the typical failed surface on the steel adherend of the co-cured single lap joint

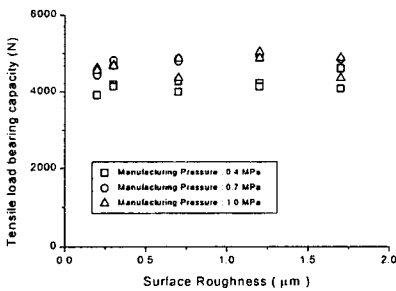


Fig. 5 Tensile load bearing capacity of the co-cured single lap joint with $\{[\pm 45]_4\}_s$ stacking sequence with respect to the surface roughness

4. 실험 결과

오토클레이브(Autoclave) 내에서 제조된 외면 겹치기 동시경화 조인트 시험편을 100kN 용량의 인장시험기(MTS: Materials Testing System)를 이용하여 1.27 mm/min의 속도로 인장 실험하였다[10]. Fig. 4는 외면 겹치기 동시경화 조인트의 전형적인 파단면을 보여주는데 부분적 접합부 파괴 메커니즘(Partial cohesive failure mechanism) 형태로 파괴되었음을 알 수 있다.

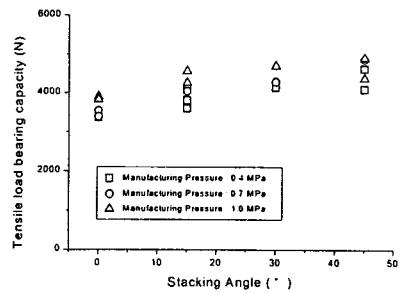


Fig. 6 Tensile load bearing capacity of the co-cured single lap joint with 1.7 μm surface roughness with respect to the stacking sequence of the composite adherend

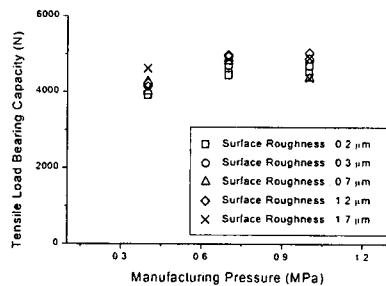


Fig. 7 Tensile load bearing capacity of the co-cured single lap joint with $\{[\pm 45]_4\}_s$ stacking sequence with respect to the manufacturing pressure in the autoclave during curing process

Fig. 5-7은 각각 강철재료 피접합물의 표면조도, 복합재료 피접합물의 적층각도, 제조압력의 변화에 따른 외면 겹치기 동시경화 조인트의 인장하중 전달용량을 나타내고 있다. Fig. 5-6에 따르면 외면 겹치기 동시경화 조인트의 인장하중 전달용량은 강철재료 피접합물의 표면조도에 크게 영향을 받지 않지만 복합재료 피접합물의 적층각도에는 영

향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또, Fig. 7 으로부터 제조압력이 증가함에 따라 외면 겹치기 동시경화 조인트의 인장하중 전달용량은 증가하지만 그 증가량은 감소한다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

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

1. 동시경화 조인트의 제조압력을 조절함으로써 접합 수치층의 두께를 조절하여 접합강도를 향상시킬 수 있음을 알았다. 접합 수치층의 두께는 매우 얇았으며 그 크기는 약 5-15 μm 로 측정되었다.
2. 외면 겹치기 동시경화 조인트의 인장하중 전달용량은 강철재료 피접합물의 표면조도에 크게 영향을 받지 않지만 복합재료 피접합물의 적층각도에는 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.
3. 제조압력이 증가함에 따라 외면 겹치기 동시경화 조인트의 인장하중 전달용량은 증가하지만 그 증가량은 감소한다는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) 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.
- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) J. H. Choi and D. G. Lee, Torque capacity of co-cured tubular lap joints, *Journal of Composite Materials*, 31(1997), pp. 1381-1396.
- (5) 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.
- (6) 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.
- (7) 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.
- (8) D. G. Lee, K. S. Kim and Y. T. Im, An experimental study of fatigue strength for adhesively bonded tubular single lap joints, *Journal of Adhesion*, 35(1991), pp. 39-53.
- (9) W. C. de Goeij, M. J. L. van Tooren and A. Beukers, Composite adhesive joints under cyclic loading, *Materials & Design*, 20(1999), pp. 213-221.
- (10) *Annual Book of ASTM Standards (General Products, Chemical Specialties, and End Use of Products)*, Vol. 15, pp. 205-208. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1995).