

복합재료 접합부의 전단 강도에 미치는 공정 변수의 영향

Effect of Process Parameters on the Shear Adhesive Strength of the Joint between Composite Materials

소용신*, 김하근, 김대영
현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소

ABSTRACT This study was conducted to optimize adhesive joining procedure for epoxy resin composite materials through investigations on correlation of curing condition with shear adhesive strength, curing mechanism analysis and fracture position observation. It was found that shear adhesive strength ranged 4 to 6MPa and could be improved 50 to 70% by increasing curing temperature from 20 to 140°C. Based on FT-IR spectra analysis, formation of ether group(-O-) as an evidence of curing was remarkable at the heated curing condition.

1. 서 론

섬유강화 플라스틱을 포함한 복합재료는 개발 초기의 고비용과 기술적 어려움을 극복하고, 경량성의 확보와 내식성 및 구조 강도의 만족 등으로 최근 항공기, 우주산업, 구조물, 차체, 해수용 배관, 압력용기 등 산업 전반에 널리 이용되는 추세에 있다. 특히, 해수용 GRP (Glass-fiber Reinforced Plastics) 배관은 기존 금속 배관이 해수에 부식되는 사례가 빈번히 발생하자 금속 배관 내부에 PE (polyethylene) 코팅을 하는 방식을 사용하는 과도기를 거쳐 최근 선주사의 요구에 따라 해수용 금속 배관을 대체하고 있는 추세이다.

이에 따라 본 연구에서는 복합재료를 접합 시공할 때 접합부의 전단 강도에 미치는 경화 온도의 영향을 살펴보고, 경화 온도에 따른 접착제 분자 구조의 변화 등을 FT-IR 분석으로 규명하고자 하였다. 또한, 파면 위치 조사를 통하여 접합부의 파괴 양상을 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

접합 시공의 적정성을 확보하기 위하여 실제 내경이 210mm인 에폭시계 GRP 배관에서 축방향으로 밀링 가공하여 전단시험용 시편을 채취하였다. 시편의 두께는 5mm를 유지하기 위하여 polishing을 실시하였고 표면 조도의 확보 및 유

지를 위하여 #120 연마지 만을 사용하였다. 실제 시편은 Fig. 1과 같이 filament winding 공법을 이용하여 만든 것이기 때문에 유리섬유가 축을 기준으로 $\pm 45^\circ$ 방향으로 배향되어 있음을 확인할 수 있다. 이 single-lap joints 시편의 형상과 수치를 자세히 나타내면 Fig. 2와 같다.

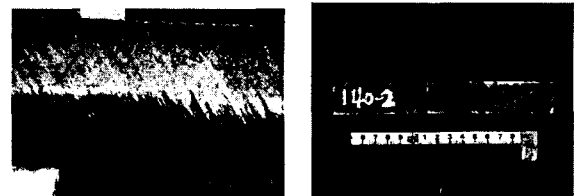


Fig. 1 Appearance of the GRP pipe and single-lap joints

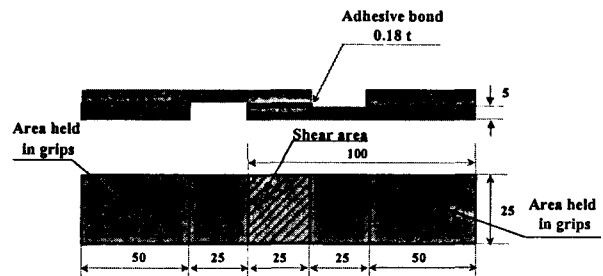


Fig. 2 Shape and dimensions of the specimen

경화 온도의 영향을 고찰하기 위하여 상온 경화형 및 고온 경화형 에폭시계 접착제를 이용하여 접합 시공한 후 20°C에서 75시간 유지시킨 시편을 제작하고 건조로에서 각각 80°C, 140°C로 1시

간 동안 유지시켜 상온에서 방냉시킨 경우와 상호 비교하였다. 또한, 경화 반응의 기구 (mechanism)를 파악하고자 FT-IR을 이용하여 각 band에서 나타나는 흡수 peak의 양상을 상호 비교하였다. 마지막으로, 인장 하중이 추가되는 조건의 전단시험에서 접합부 파단 위치를 관찰하여 접합부에서 예견되는 재료의 파괴 양상을 파악하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

상온 경화형 에폭시계 접착제를 이용하여 접합 시공한 시편의 경화 온도에 따른 접착강도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 4~6MPa 수준으로 경화 온도가 상승함에 따라 증가하는 양상을 보인다. 이 시험을 토대로 할 때, 80℃, 140℃에서 열경화시킨 시편은 20℃에서 75시간 경화시킨 시편에 비하여 전단 접착강도가 각각 50%, 72% 향상되었다.

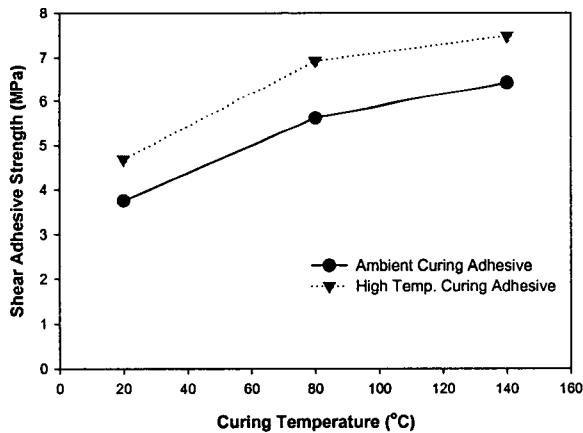


Fig. 3 Variation of the shear adhesive strength with curing temperature

고온 경화형 에폭시계 접착제를 사용하여 이상의 조건과 동일하게 20℃와 80℃, 140℃에서 경화시킨 시편의 전단 강도를 평가한 결과는 Fig. 3과 같다. 이 시험 결과를 토대로 할 때 80℃, 140℃에서 열경화한 시편이 20℃에서 상온 경화한 시편에 비하여 각각 48%, 60% 가량 전단 강도가 향상되었다.

고온 경화형 에폭시계 접착제의 전단 강도가 전반적으로 높은 것으로 나타났는데 20℃, 80℃,

140℃에서 상온 경화형 에폭시계 접착제의 전단 강도에 비하여 각각 25%, 23%, 16%씩 향상된 것으로 나타났다. 이는 접착제 내에 formulation 된 화학 성분과 함께 증량을 목적으로 하는 충전재(filler) 투입량에 절대 의존하기 때문으로 판단된다.

상온 경화형 에폭시계 접착제의 경화에도 가운을 하면 상온 경화에 비하여 반응 속도가 빨라 1시간 내에 대부분의 경화 반응이 완결됨을 FT-IR을 이용하여 확인하였다. 20℃에서 1.5시간 경화시킨 시료와 80℃, 140℃에서 각각 1시간씩 경화시킨 시료를 FT-IR로 분석한 결과 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다.

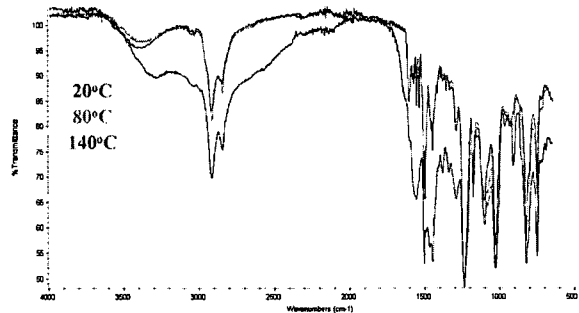


Fig. 4 FT-IR spectra of the adhesive as a function of curing temperatures

FT-IR 분석 결과, 상온에서 80℃, 140℃ 등으로 경화 온도를 상승시킴에 따라 3800~2700 cm⁻¹와 1600~1300cm⁻¹의 wavenumber 영역에 존재하는 지방족 탄화수소(aliphatic hydrocarbon)의 흡수 스펙트럼이 감소하고 상대적으로 1250~1000cm⁻¹ 영역에서 에폭시기 중에 존재하는 에테르 결합(-O-)이 증가하는 양상을 보이는 것으로 보아 에폭시 수지 경화 반응에는 시간과 함께 반응 온도가 변수가 될 수 있음을 시사하고 있다.

상온 경화형 에폭시계 접착제를 이용하여 전단 접착시험을 수행한 시편의 표면은 Fig. 5와 같다. 상온에서는 접착제와 피착재(GRP) 계면에서 파괴가 일어나는 것으로 나타나 적정 접착강도를 확보하지 못한 것으로 나타났다. 이에 비하여 80℃에서는 약 50% 정도가 접착제 층에서 나머지 약 50% 정도가 접착제/피착재 계면에서 파괴가 일어났다. 140℃에서는 더욱 접착력이 향상되어 일부 피착재 층에서 파괴가 일어났다.

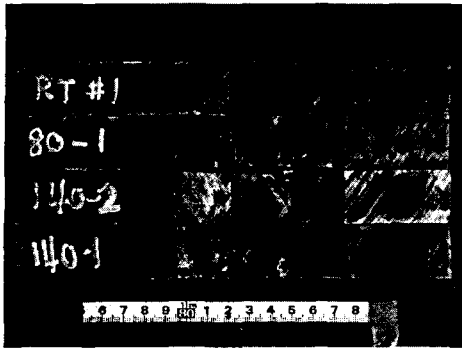


Fig. 5 Photograph of fracture location in a ambient curing specimen

고온 경화형 에폭시계 접착제를 이용하여 접합 시공한 후 상온, 80℃, 140℃에서 경화한 각각의 시편에서 나타난 파괴 거동을 살펴본 결과, Fig. 6에서 보는 바와 같이 상온 경화 조건에서는 접착제 층에서 파괴가 일어나 접착제의 경화 반응이 완결되지 않았음을 알 수 있었고, 80℃와 140℃ 경화 조건에서는 공히 피착재의 파괴가 관찰되었다.

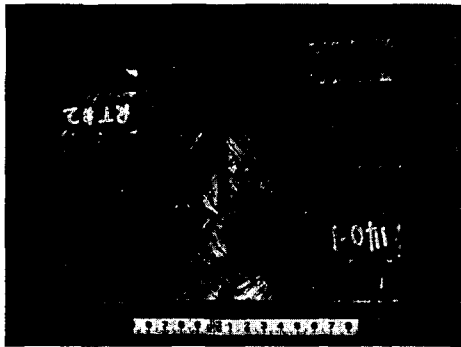


Fig. 6 Photograph of fracture location in a high temperature curing specimen

4. 결 론

복합재료 GRP 배관의 접합 시공 조건을 적정화하기 위하여 경화 온도에 따른 전단 강도의 변화, 경화 기구의 규명, 파단 위치에 대한 분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두 종류의 에폭시계 접착제를 사용하여 20℃에서 80℃, 140℃로 경화 온도를 증가시킨 결과 약 50~70%의 전단 강도 개선효과가 있었다.
2. FT-IR을 통하여 경화 반응을 조사한 결과,

지방족 탄화수소기들이 에폭시기로 전환되어 경화 반응이 일어남을 확인할 수 있었다.

3. 시료의 파단 위치에 대해 관찰한 결과, 약 6.4MPa 이하에서는 접착제 층 또는 접착제/피착재 계면에서 파괴가 일어나 이 이상에서는 대부분 피착재인 GRP의 층간에서 파괴되었다.

참고문헌

1. M. Li and C. L. Tucker III: Optimal Curing for Thermoset Matrix Composites: Thermochemical and Consolidation Considerations, Polymer Composites, Aug. 30, 2001, 1-32
2. M. J. Cowling et al.: Adhesive Bonding for Marine Structural Applications, Polymer in a Marine Environment, 1991, 59-67
3. ISO 4587: Adhesives-Determination of Tensile Lap-shear Strength of Rigid-to-rigid Bonded Assemblies, 2nd ed., 1995, 1-4