

FRP 복합체의 동결융해 및 고온·고습 저항성에 관한 실험 연구

Experimental Study on Freezing-Thawing and Warm-Moisture Resistance of FRP Composites used in Strengthening RC Members

최기선* 유영찬** 이한승*** 김금환****
Choi, Ki Sun You, Young Chan Lee, Han-Seung Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

FRP composites which are used in strengthening existing structure are usually adhered to the concrete surface, their performance are directly affected by environmental condition such as freezing-thawing and moisture. Accordingly, it is required to evaluate bond durability between FRP composite and concrete as well as FRP materials itself.

The durability characteristics of FRP composite for freezing-thawing are evaluated in this study with the variables of concrete strength, type of FRP composite, freezing-thawing conditions and freezing-thawing cycle. In addition, material durability of GFRP sheet for high temperature/high humidity condition are examined in this experimental study.

1. 서론

FRP 복합체에 의한 보강공법은 공법의 특성상 기존 구조물의 표면에 부착되어 보강성능을 발휘하는 방식이다. 이에 따라서 외기에 대한 노출이 불가피하게 되며, 주변 환경으로부터 직접적인 영향을 피할 수 없다. 따라서 FRP복합체에 의한 보강공법에서는 보수·보강효과의 지속 및 구조물의 내구성 확보를 위하여 재료 자체뿐만 아니라 접착계면에서의 내구성에 대한 평가가 요구된다. 한편, 기존의 내구성 시험은 재료자체의 성능에 초점이 맞추어 설정되어 있으며, 그 외 콘크리트와의 부착특성과 같은 계면성능은 고려하지 못하고 있는 실정이다. 그러나 FRP 복합체를 이용한 보강공법에서는 FRP복합체가 콘크리트 구조물에 부착·일체화되어 성능을 발휘하는 것을 특징으로 하고 있으므로, 각 개별 재료에 대한 내구성뿐만 아니라 외부환경에 동일하게 노출되어 있는 콘크리트와 접착성능에 대한 검토도 수행되어야 한다. 특히 동결융해 및 습기에 의한 영향은 FRP 복합체 자체보다는 콘크리트에 영향을 주는 것으로 보고되고 있으므로 부착계면에 대한 성능저하를 검토하여야 한다.

본 연구에서는 외부환경에 노출된 FRP 복합체의 동결융해 및 고온·고습 조건에서의 재료내구성과 콘크리트와의 부착내구성을 평가하기 위한 일련의 실험을 통하여 FRP 복합체의 내구특성을 파악하고, FRP 복합체의 내구성 저하를 설계에 반영하기 위한 기본자료를 구축하고자 하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원, 공학박사

** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부 연구원

*** 정회원, 한양대학교, 건축학부 조교수, 공학박사

**** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부 연구위원, 공학박사

2. 연구내용 및 방법

동결융해 저항성에 대한 현행 KS규격 및 관련 시험방법(안)에서는 FRP복합체의 재료 자체에 대한 시험만을 규정하고 있으며, 습기저항성에 대한 규격은 전무한 상태다. 그러나 수분함량이 거의 없는 FRP 복합체의 특성상, 동결융해 및 습기에 대한 FRP 복합체의 재료강도 저하는 거의 없을 것으로 예상된다. 반면, 콘크리트 구조물에 부착되어 보강효과를 발휘하는 FRP 보강공법에서는 동결융해에 의해 표면 콘크리트의 성능저하가 발생할 수 있으며, 이로 인해 부착성능의 감소가 예상된다. 따라서 본 연구에서는 동결융해에 따른 FRP복합체 인장성능 및 콘크리트 부착성능에 대한 실험을 수행하였으며, FRP 복합체 보강공법의 습기에 대한 내구성능을 평가하기 위한 일환으로 고온·고습 조건에서의 촉진 노출시험을 통하여 FRP 복합체의 재료 내구성을 평가하도록 하였다. 또한 본 실험과정 및 실험결과에 대한 분석을 통하여 표준화된 시험방법 및 합리적인 평가항목을 설정하기 위한 연구를 계획하였다.

3. 실험

FRP 복합체의 동결융해 저항성을 평가하기 위한 실험은 FRP 복합체의 재료성능과 콘크리트와의 접착성능에 대하여 동결융해 조건, FRP의 종류, 동결융해 cycle을 변수로 수행하였다. FRP 복합체의 재료성능 변화를 평가하기 위한 실험은 기건동결-수중융해 조건에서 탄소섬유쉬트와 유리섬유쉬트를 대상으로 5단계의 동결융해 cycle 마다 시료를 채취하여 인장강도를 평가하였다. 콘크리트와의 접착성능을 평가하기 위한 실험은 KS F 2456에서 제시하는 콘크리트 휨강도 시험체에 탄소섬유쉬트 또는 유리섬유쉬트를 100×400mm의 4면에 부착하고, 나머지 양 단부는 에폭시로 마감한 공시체를 각각 기건동결-수중융해법과 수중동결-수중융해법에 대하여 콘크리트 강도, FRP 종류, 동결융해 cycle을 변수로 직접인발 접착강도 시험을 수행하였다.

FRP 복합체의 고온·고습 촉진 노출시험에 대해서는 아직까지 명확한 시험법을 제시하고 있는 규격이 없다. 본 연구에서는 EN에서 제안하는 시험법을 참고하여 FRP 복합체의 습기 저항성을 평가하기 위하여 상대습도 90%, 80℃의 고온으로 촉진 시험을 수행하였으며, 5단계의 노출기간에 대하여 FRP 복합체의 인장시험을 실시하였다.

표 1 FRP 복합체의 내구성 실험변수

시험항목	실험체	조건	콘크리트강도	FRP종류	Cycle	실험항목
동결융해	FRP복합체	기건동결-수중융해	-	CFS GFS	0,50,100,200,300(회)	인장강도
	콘크리트 접착성능	기건동결-수중융해 수중동결-수중융해	180 300			접착강도
고온·고습	FRP복합체	80℃-RH90%	-	GFS	0,60,90,120,150(일)	인장강도

4. 실험결과

4.1 동결융해에 따른 FRP 복합체의 인장강도

기건동결-수중융해 조건에서 동결융해 cycle에 따른 탄소섬유쉬트의 인장강도는 그림 1에 나타난 바와 같이 동결융해 cycle이 증가하여도 거의 변화되지 않는 것으로 나타났다. 반면 기건동결-수중융해 조건에 노출된 유리섬유쉬트의 인장강도는 200cycle까지는 인장강도 변화가 거의 없었으며, 300cycle에서 인장강도가 약 10% 감소하였다. 그러나 유리섬유쉬트 인장강도 시험의 강도편차를 고려

할 때 동결융해에 의한 영향으로 인장강도가 저하된 것보다는 시험환경에 의한 영향이 지배적이라고 판단된다. 따라서 근사적으로 FRP 복합체의 재료 성능은 동결융해에 의해 큰 영향을 받지 않을 것으로 판단된다.

4.2 동결융해에 따른 FRP복합체의 접착강도

콘크리트에 접착된 FRP 복합체에 대한 동결융해 저항성을 평가하기 위하여 탄소섬유슈트와 유리섬유슈트에 대하여 직접인발 접착시험을 실시하였다. 또한, 동결융해에 의한 인발접착성능에 영향을 미칠 것으로 판단되는 콘크리트 강도와 동결융해 조건에 대하여 5단계의 동결융해 cycle에 대하여 검토하였다.

시험변수의 영향을 검토해 보면, 그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같이 변수에 따라서 일부 강도변화가 관측되었으나, 강도저하에 일관성이 없으며 인발 접착강도 시험의 변동계수가 10~20% 이상임을 고려할 때 강도편차범위 내에서의 오차로 판단된다. 이러한 경향은 동결융해에 의한 영향보다는 측정 위치의 골재 입도 및 공극과 같은 콘크리트 구성요소에 따른 영향이 큰 것으로 보인다. 따라서, 제한된 실험결과에 의하면 동결융해가 콘크리트의 접착강도에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단된다. 한편, 위에서도 언급한 바와 같이 본 실험에서는 콘크리트 공시체의 4면을 FRP 복합체로 부착하였으며, 측면에 대해서도 수분의 침투를 방지하도록 에폭시 수지를 도포하였다. 결과적으로 콘크리트 공시체 전면에 대하여 에폭시 수지에 의한 방수층이 형성되었기 때문에 내부로의 수분 침투가 거의 차단되어 열화를 유발하는 동결수의 공급이 차단되었기 때문에 동결융해에 의한 영향이 적었던 것으로 판단된다. 향후 실험에서는 FRP 복합체로 접착된 콘크리트에 지속적인 동결수를 공급함으로써 동결융해에 의해 콘크리트의 열화를 안전측으로 모사할 수 있도록 공시체의 일부를 에폭시로 마감하지 않은 실험체에 대한 동결융해 실험을 추가적으로 수행할 예정이다.

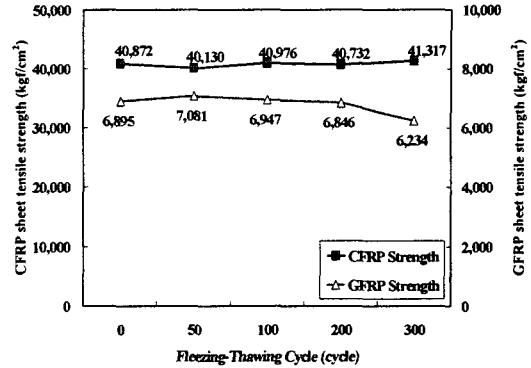


그림 1 FRP 복합체의 동결융해에 따른 인장강도

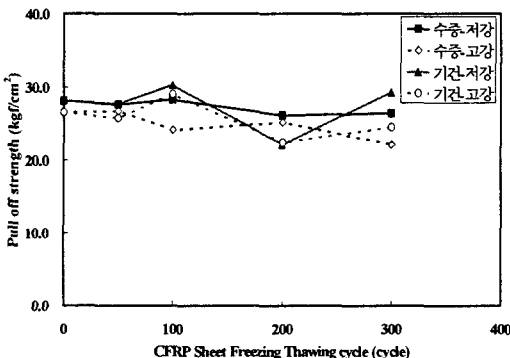


그림 2 동결융해에 따른 탄소섬유슈트의 인발강도

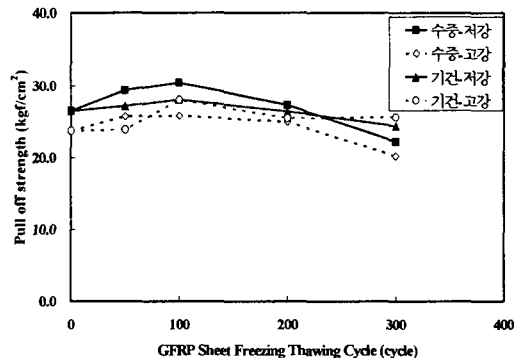


그림 3 동결융해에 따른 유리섬유슈트의 인발강도

4.3 고온·고습에 따른 FRP 복합체의 인장강도

FRP 복합체의 고온·고습 촉진노출 시간에 따른 영향을 평가하기 위하여 상대습도 90% 및 온도 80℃의 시험조건으로 5단계의 시간이력에 대하여 검토하였다. 시험결과에 의하면, 150일 경과 후까지

유리섬유쉬트의 인장강도 유지율은 93.8%로 측정오차 범위에 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 우선적으로 유리섬유쉬트 복합체의 함침제로 사용된 에폭시 수지의 내구성이 열경화성 수지중에서 가장 우수할 뿐만 아니라 현장함침 조건으로 시공되어 수지의 두께가 증가됨에 따라 유리섬유 자체의 손상이 적게 발생된 것에 기인하는 것으로 사료된다. 따라서, 제한된 시험결과에 의하면 GFRP 복합체의 고온·고습 조건에 의한 성능저하는 크지 않을 것으로 판단되나, 약 5개월에 걸친 장기 시험 과정에서 시험기의 오작동으로 인하여 80℃-RH90%의 시험조건을 엄격히 유지하기 어려운 가능성도 배제할 수 없어 추가적인 규명이 요구된다.

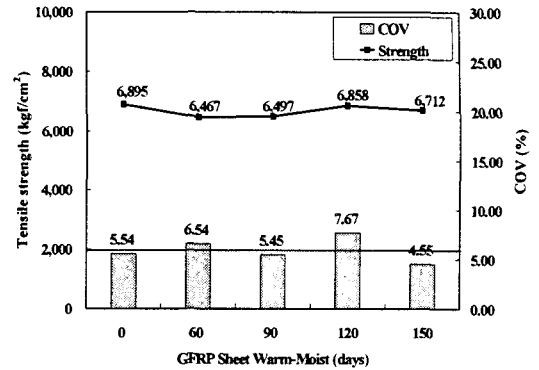


그림 4 고온·고습에 따른 유리섬유쉬트의 인장강도

5. 결론

FRP 복합체로 보강된 콘크리트 구조물의 동결융해 및 습기 저항성을 평가하기 위하여 적용가능한 시험규격을 검토하고, 일반적인 시험장비에 의해 평가가 가능한 시험방법에 따라 노출 전·후의 FRP 복합체의 인장강도 및 접착강도의 변화를 측정하기 위한 실험을 실시하였다. 이상의 실험으로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) KS F 2456 시험규격에 따라 실시된 동결융해 전·후의 FRP 복합체의 인장강도는 300cycle까지 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 제한된 실험결과에 의한 FRP 복합체의 동결융해에 대한 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.
- 2) 콘크리트 공시체의 전면을 에폭시 수지로 도포한 경우 동결융해에 따른 FRP 복합체의 접착성능 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 지속적인 동결수가 공급되는 상황에서는 상이한 결과가 나타날 수 있으므로 이에 대한 실험을 추가적으로 실시할 예정이다.
- 3) 80℃-RH90% 조건에서 축진노출에 의한 습기 저항성을 검토한 결과 유리섬유쉬트는 노출기간 150일 경과 후에 표면의 황변현상이 발생하였지만 인장강도에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004 건설기술기반구축사업 R&D/2004 기반구축 A13 “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정 연구”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. KS F 2456 “급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법”
2. EN 13733 “Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Tests methods - Determination of the durability of structural bonding agents”
3. 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2005. “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정연구” 한국건설기술연구원