사전제작 T-Joint BFRP Plate로 보강된 조적벽체의 성능평가

김학현*, 정우영*
*강릉원주대학교 토목공학과
e-mail:khh7490@naver.com

Structural Evaluation of Masonry Wall Reinforced by Built-up T-Joint BFRP Plates

Hak-Hyun Kim*, Woo-Yeong Jung*
*Dept. of Civil Engineering, Korea University

요 약

최근 경주와 포항에서 발생한 지진피해 사례에서 보듯 조적벽체 및 필로티 구조물의 붕괴 위험이 사회적으로 큰 주목을 받고 있다. 본 여구는 명확한 내진설계지침이 없고 수평하중에 대한 내성이 구조적으로 매우 약하며 재난관리시설 중 지진붕괴 위험이 높은 조적조 구조물에 대한 보강 설계 및 성능평가를 조사하였다. 기존 선행연구에서 발표된 FRP Plate의 외부 접착시 부착파괴의 문제점을 반영하여 부착력이 개선된 매립형 T-Joint BFRP Plate를 개발하였으며, 시공 시 에폭시 계열의 연성페인트를 활용하여 보강구조물의 연성을 개선하는 방법을 제안하였다. 최종적으로 수행된 정적 및 반복가력 실험을 통하여 보강시험체의 강성 및 에너지 소산능력이 각 1.23과 1.39배 증가함을 확인하였다.l

1. 서론

최근에 발생한 경주, 포항지진을 겪으면서 우리나라도 더 이상 지진에 안전하지 않은 것이 증명되었다. 지난 2016년, 2017년에 발생한 이 지진들은 많은 재산피해를 가져왔으며 지금까지도 국내에서는 크고 작은 지진들이 계속 발생하고 있다.

현재 국내 내진설계 및 보강 현황을 보면 공항, 고속철도, 원자로 관계시설, 화력・수력설비, 댐 등 대형 SOC구조물이나 아파트를 포함한 건물 등은 대부분 내진설계가 적용되었으나 비교적 중저층 구조물인 노후 주거시설이나 학교 같은 경우 내진설계뿐 아니라 보강 또한 현재까지 미흡한 상황이다.

학교시설물의 경우 조적벽체로 시공된 경우가 많으며 이들 취약 시설물에 대한 보수・보강 방법은 크게 외부부착공법, 단면증설(복구)공법, 외부프리스트레싱공법 등이 있다. 단면증설(복구)공법은 공간적제약이 크고 많은 시간과 인력이 들어가며 외부프리스트레싱공법은 긴장재의 재료 및 시공 방법 등이 많은 변수로 작용한다. 따라서 현장에서는 시공이 용이하고 공간적 제약이 없는 외부부착공법을 가장 많이 사용하고 있으며 주요 보강재료로는 강판 보강재와 비교하여 많은 장점과 우수한 역학적 성질을 가지는 섬유강화복합재료(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)를 활용하고 있다. 하지만 이들 복합재료 외부부착공법의 가장 큰 문제는 보강재와 모체사이의 부착력 저하와 섬유의 종류에 따른 보강성능 의차이가 큰 변수로 작용한다.

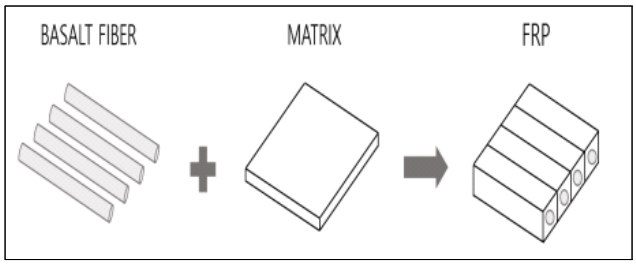
본 연구에서는 명확한 내진설계 지침이 부족하고 구조적으로 수평하중에 대한 저항능력이 매우 약하며 재난 관리 시설물 중에서도 지진에 대한 붕괴 위험이 클 것으로 예상되는 조적벽체 구조물에 대하여 적절한 내진보강 방법을 제시하고 이에 대한 성능평가를 수행하였다. 이를 위하여 기존 유리섬유 대신 환경적 제약이 비교적 자유로운 바잘트섬유를 활용하였으며 기존 Plate 형식의 보강재와 비교 시 부착력이 강화된 매립형 보강재를 제작하였다. 또한, 기존 Plate형 외부부착 보강재 적용에서 발생한 취성파괴를 보완하기 위하여 연성 확보가 가능한 마감용페인팅을 적용하는 방법을 제안하였다.

2. BFRP보강재의 설계 및 제작

2.1 바잘트섬유 보강 복합재료(BFRP)

복합재료(Composite Material)이란 두 가지 이상의 구성 성분이 결합한 소재로서 각각의 구성 성분들이 강화된 특성

을 가지고 서로 상호 보완적으로 작용하여 더 좋은 특성을 가지게 되는 소재를 말한다. 그림 1은 현무암 섬유복합재료의 구성을 나타내며 [표 1]은 보강 현무암 섬유의 제원 및 정보를 나타낸다.



[그림 1] 현무암 섬유복합재료의 구성

[표 1] 보강 현무암 섬유 제원 및 정보

형태	무게(g/m^2)	두께(mm)
Plain Weave	200±20	0.19±0.04

2.2 에폭시 및 경화제(Epoxy)

바잘트섬유의 함침용 수지로는 국내 제조업체에서 구매한 상용 에폭시수지인 Resoltech-1050(주제), 1056S(경화제)를 사용하였으며 함침에 앞서 적절한 배합에 따른 강도의 유효성 여부를 현장 전문가의 의견에 따라 본 연구에서 활용하였다. Table 2는 복합재료 제조 시 사용된 수지 정보를 나타낸다. 제원은 [그림 2] 및 [표 2]와 같다.

[그림 2] 사용 에폭시 및 수지

[표 2] 에폭시 및 수지 제원

Mixing Ratio (Resin : Hardener)	Density (g/mL)	Viscosity	Geltime on 2mm Thick at 23℃
100 : 35	1.10	462	3h 10min

2.3 콘크리트 계면 부착제

연구에서 제안한 BFRP보강재의 적합 부착제로는 석재용 에폭시를 고려하였다. 국내 제조사에서 생산된 본 제품은 습윤 면의 접착력이 우수하고 내수성, 내약품성, 내마모성이 뛰어나며 접착 강도 및 초기접착력이 뛰어나 실제 건식 시공용으로 활발히 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 본 제품을 줄눈부보수와 보강재의 부착제로 활용하였다.

2.4 연성 보강 페인트

조적벽체 보강재 시공 후 계면에서의 부착력을 증가시키고 전체 보강 구조물의 연성 효과를 개선하기 위하여 연성코팅 페인트를 마감재로 사용하였다. 본 연구에서 적용된 제품은 One-Shot Tan이라는 제품이며 공기 중 수분과 반응하여 건조되는 우레탄 수지를 주성분으로 하여 시공 시 탄성이 우수한 후도막이 형성되어 뛰어난 마감효과와 접착력이 우수한 우레탄 탄성 방수제이다. [표 3]은 연성 보강용 페인트의 물성치를 나타낸다.

[표 3] 연성 보강용 페인트의 물성치

항목	단위	결과값	시험 방법
인장강도	N/mm^2	4.4	KS F 3211 : 2008
파단시 변형률	%	567	KS F 3211 : 2008
장력	N/mm	17.5	KS F 3211 : 2008
접착성능 (처리X)	N/mm^2	1.8	KS F 3211 : 2008
접착성능 (동결)	N/mm^2	1.1	KS F 3211 : 2008

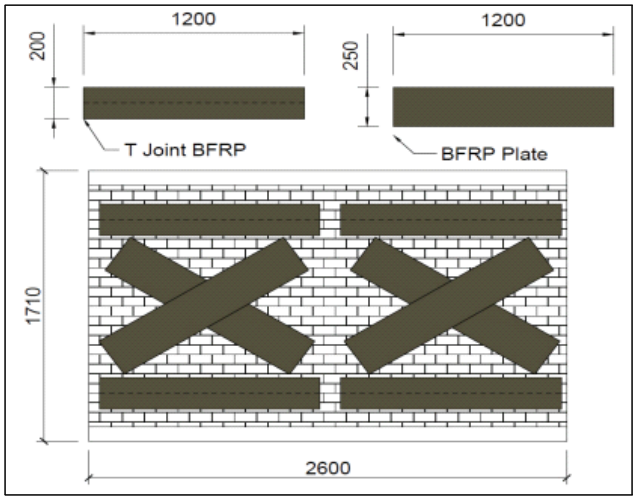
3. 시험계획 및 방법

3.1 보강 실험체의 설계 및 제작

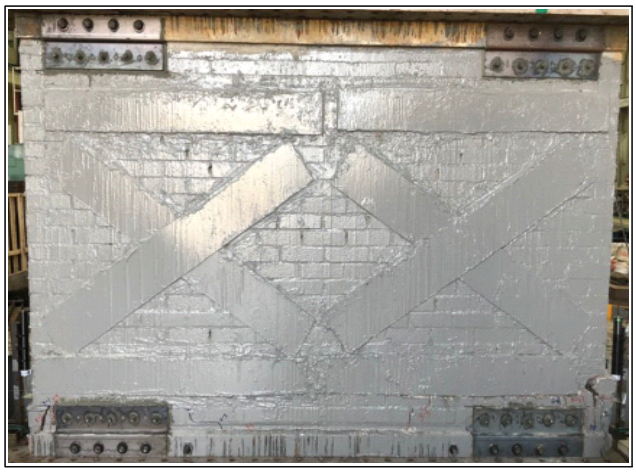
본 연구는 조적벽체가 시공된 실구조물에 적용, 그 성능을 평가하기 위하여 대부분 조적벽체로 시공된 학교 건물을 대상으로 고려하였다. 시험체 설계 및 제작 시 고려된 학교 시설물은 부산지역에 위치하고 있으며 그림 4는 실제 시공된 시험체 형상을 보여 준다. 효율적인 조적벽체의 보강위치를 선정하기 위하여 기존 연구들에서 제시된 조적벽체의 균열양상과 응력 집중부를 조사하였다. 초기균열이 시작되는 조적벽체의 위쪽과 아래쪽의 경우 앞서 제작한 T-Joint BFRP Plate를 조적벽체의 줄눈부 제거 후 생성되는 절단 홈에 삽입 후 석재용 에폭시를 충진하여 설치하였다. 조적벽체 중앙부의 경우, 기존 연구들과 동일하게 스터럽에 의한 응력집중 파

괴를 방지하고자 BFRP layer를 X자 형태로 부착하였다. 실제 현장 시 공조건을 고려하기 위하여 외부부착 보강은 한 면에 한하여 실시하였으며 벽체 양쪽에 연성페인트 도포를 통하여 조적벽체 자체의 연성 및 외부부착 보강재의 시공성을 증가되도록 고려하였다. 그림 5는 제안된 보강 방법에 대한 도식화를 나타내며 그림 6은 최종적으로 보강된 조적벽체를 나타낸다.

[그림 4] 실제 시공된 조적벽체 시험체 형상



[그림 5] 제안된 보강 방법에 대한 조적벽체 도식화



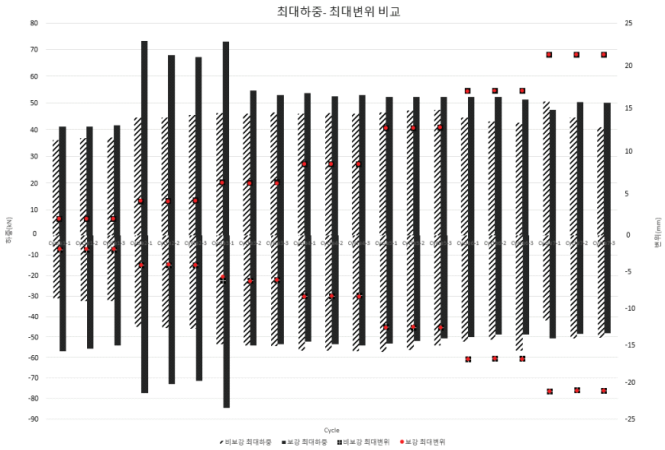
[그림 6] 보강된 조적벽체

4. 실험 결과 및 분석

보강하지 않은 조적벽체와 BFRP로 보강된 조적벽체에 대해 정적가력을 통한 평가를 진행하였다. 본 실험을 통하여 최대하중-최대변위와 강성에 대한 평가를 진행하였다. 그림 7로 결과값들을 막대그래프로 상대 비교하였다.

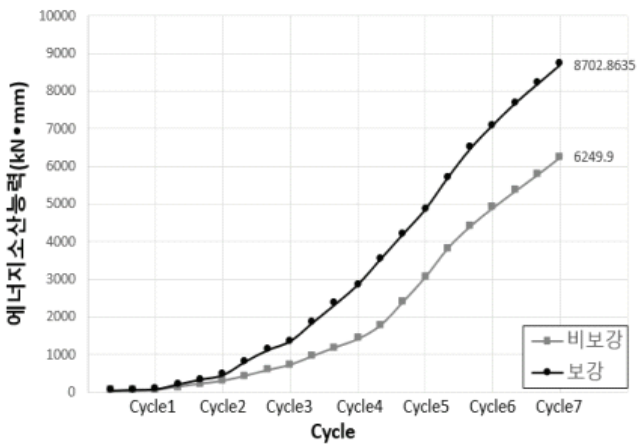
각 시험체에서 균열이 발생하기 전 나타난 최대하중 평균값의 경우, 보강 조적벽체의 경우 약 78kN이 발생하였으며 비보강 조적벽체의 경우 51.9kN이 발생하였다.

실험을 통하여 보강시험체가 비보강 시험체와 비교 시 약 1.23배 강성이 증가됨을 알 수 있었다.



[그림 7] 최대하중-최대변위와 강성에 대한 그래프 비교

그림 8에서는 반복가력실험을 통하여 조사된 보강벽체와 비보강벽체의 누적 에너지소산량을 분석하였다. 그 결과, 반복가력 싸이클이 증가할수록 비보강 조적벽체와 보강 조적벽체의 에너지소산량의 차이는 증가하였으며 최종 파괴 전 최대변위(21mm)에서의 누적 에너지소산량은 보강된 BFRP Plate 및 연성페인트의 효과로 인하여 약 39% 증가되는 것을 알 수 있었다.



[그림 8] 비보강 및 보강 실험체에 대한 누적 에너지소산량 비교

5. 결론

본 연구는 수평하중에 취약한 조적벽체에 대하여 BFRP 복합재료를 활용한 보강 설계와 이를 통한 성능평가를 수행하였다. 기존 선행기술에서 제시된 보강재의 외부부착 문제점을 각인하여 완전부착이 가능한 매립용 T-Joint BFRP Plate를 자체 개발하였으며 외부부착 시 부착 개선 및 연성 확보를 위하여 에폭시계 연성페인트를 적용하는 방법을 제안하였다. 대상시설물로는 실제 학교시설물 시공에 적용된 조적벽체를 고려하였으며 이에 대한 축소모델 실험을 통하여 성능평가를 수행하였다. 본 실험연구를 통하여 도출된 결과들은 다음과 같다.

1) 조적벽체의 외부부착용 보강재의 부착력 문제점을 방지하기 위하여 BFRP 복합재료로 제작된 매립용 T-Joint BFRP Plate를 개발하였으며 실제 조적벽체 내 줄눈부 제거를 통하여 삽입, 설치할 수 있도록 시공 방법을 제안하였다. T-Joint BFRP 매립 후 이탈 방지 및 일체화를 위하여 석재용 에폭시로 충진하였다. 실험평가를 통하여 조적벽체 내 설치된 매립형보강재의 이탈 및 부착파괴는 관찰되지 않았으며 이를 통하여 본 제안 보강기술이 현장적용성은 적절한 것으로 판단된다.

2) 정적가력시험을 통하여 T-Joint BFRP Plate로 보강된 조적벽체 보강 시험체의 경우, 무보강 조적벽체에 비해 최대하중은 약 1.48배, 강성은 약 1.23배 증가함을 알 수 있었다. 이는 줄눈부에 설치된 T-Joint BFRP Plate 보강재에 의한 강성 증가와 부착력 강화에 의한 효과로 판단된다.

3) 반복가력시험에 의하여 나타난 조적벽체의 누적 에너지 소산량을 비교, 평가한 결과 비보강 조적벽체 시험체를 BFRP 보강 Plate 및 연성페인트로 보강한 경우 약 1.39배 에너지 소산량이 증가함을 알 수 있었다. 반복가력에 의한 초기 유효강성의 경우, 보강 시험체가 비보강 시험체에 비하여 약 48% 증가함을 나타내었다.

4) 최종적으로 발생된 비보강 및 보강 조적벽체의 파괴패턴은 모두 동일하게 나타났다. 시험체 성능평가 시 수평하중이 증가할수록 조적벽체의 하부 지지부 반력 증가가 조적벽체 내부의 강성에 비하여 더욱 크게 증가함으로써 최종적으로 하부 지지부에서 조적벽체가 슬라이딩에 의한 취성파괴가 발생하였다. 이는 시험체 제작 시 기존 조적벽체의 줄눈 상태와 시험체 축소모델에 대한 변수 조건 등이 실제 실험에 중요한 영향인자로 고려되어야 함을 알 수 있었다.

5) 본 연구에서 제안한 보강기술의 경우, 기존 선행연구에서 제안된 기술과 비교 시 경제성 평가 또한 기술 상용화를 위하여 필요하다고 판단된다. 이를 위하여 실제 제안된 T-Joint BFRP Plate의 크기와 설치 위치 및 개수 등에 대한 추가적인 연구도 향후 필요하다.

본 연구는 초기연구로서 기존 보강재 대비 부착성능이 개선된 보강 Plate를 개발하고 에폭시 마감재 처리를 통한 연성효과 개선에 목표를 두어 연구를 진행하였다. 실험 후 나타난 보강재의 파괴패턴과 에너지 소산량 등을 고려할 때 보강재의 부착성능은 확실히 일체화되어 거동하는 것을 확인할 수 있었고 연성페인트에 대한 에너지 소산량은 선행기술과의 비교를 통하여 그 효과를 추가로 검증할 필요가 있는 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] 헌영진, “섬유보강 고강도콘크리트의 역학적 성능 향상 연구”, 박사학위논문, 중부대학교, 2월, 2016년.

[2] 고훈범, “연속섬유(FRP)시트와 콘크리트의 부착강도 영향 요인 검증”, 한국산학기술학회논문지, 제 21권 9호, pp. 414 - 423, 10월, 2020년

[3] 권민호, 서현수, 임정희, 긴진섭, 정우영, “FRP 내진보강재로 보강된 기둥에 대한 실험적 내진성능평가”, 복합신소재구조학회지, 제 6권 2호, pp. 25 - 30, 6월, 2015년.

[4] 안미경, 이상문, 정우영, “철근콘크리트 보의 성능개선을 위한 Hybrid FRP 보강재 연구”, 한국콘크리트학회 2010년도 춘계 학술대회, 제 22권 1호, pp. 243 - 244, 5월, 2010년

[5] 박준석, 주형중, 남정훈, 윤순종, “FRP로 휨보강된 FRP-콘크리트 합성압축재의 구조적 거동”, 복합신소재구조학회논문집, 제 1권 3호, pp. 10 - 16, 9월, 2010년.