

기둥의 내진성능 향상을 위한 섬유보강 복합체의 적용성에 대한 해석적 연구

Numerical Study for Seismic Strengthening of RC columns Using Fiber Reinforced Plastic Composite

장 준 호¹⁾ 권 민 호^{2)*} 김 진 섭³⁾ 주 치 흥⁴⁾
Chang, Chun Ho Kwon, Min Ho Kim, Jin Sup Joo, Chi Hong

Abstract

As increasing number of large-size earthquake around Korean peninsula, many interests have been focused to the earthquake strengthening of existing structures. Fiber reinforced plastic composite material is one of strengthening material widely used to increase seismic performance of structures. It should have high stiffness as well as large ductility to provide best strengthening result. Thus selection of stiffener and fiber in composite is of important. In this study, the optimal combination of fiber and stiffener is selected with variety of tensile tests. In order to investigate performance of chosen composite material, several finite element analyses are performed with proposed FRP composite material for existing RC columns. It is discussed that the seismic performance of strengthened columns through the load-displacement relationship. It is shown that the proposed composite material can increase the strength as well as ductility of exiting RC columns.

Keywords : Seismic retrofitted, FRP composite, Fiber, Column retrofitted, Push-Over Analysis(NSA), Finite element

1. 서론

2011년 3월 일본 동북부 지역에 규모 9.0의 강력한 지진이 발생했다. 또한 일본 대지진이후(3월 11일) 4월 18일까지 규모 5.0 이상의 여진이 437회 발생한 것으로 조사된 연구보고도 있다. 국내에서는 2005년 경남 거제 동남쪽 약 54km 해역에서 규모 4.0의 지진이 발생하였으며, 2007년 강원 평창군 도암면과 경계지역에서 규모 4.8의 지진이 발생하였다. 이 밖에도 규모 4.0 이상의 지진 발생이 짧은 기간 내에 계속되어 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 지진에 대한 발생빈도의 증가와 규모의 증가에 따라 시설물 전반의 내진보강에 관하여 사회적 관심도가 증대하고 있다. 국내 지진 발생빈도가 증가함에 따라 비내진 기둥에 대한 내진성능평가 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 구조물에서 기둥부재는 설계 시 휨모멘트와 전단력에 대하여 저항하는 부재로 축방향 압축력에 대하여 저항하도록 설계되어 있다. 내진설계를 반영하

지 않은 기둥은 지진에 의한 횡력에 저항하지 못하고 결국 구조물 전체의 파괴를 유도하게 된다. 최근에 건설되는 콘크리트 철골 구조물에는 내진설계법이 적용되고 있다. 하지만 과거 내진설계법을 도입하기 이전의 구조물은 내진설계가 적용되지 않아 내진에 대한 저항능력을 평가하여야 한다. 따라서 비내진 구조물에 대한 내진성능에 관한 많은 연구가 진행되고 있고 그에 따라 새로운 보강법과 보강재료에 대한 연구가 많이 진행되고 있다(심종성 등, 2000).

내진성능보강공법 중의 하나인 섬유보강공법은 재료가 경량이며 시공이 용이하고 내부식성 등으로 인하여 강판 부착공법에 비해 선호되고 있는 공법이다. 특히 탄소섬유와 유리섬유를 사용한 FRP(Fiber reinforced polymer)를 적용한 콘크리트 구조물의 보수·보강공법은 1990년대부터 많은 국내의 연구가 진행되어 왔다(조하나 등, 1998). 현재 복합재료를 이용한 실용화 기술은 이러한 연구 성과들에 비해 많이 부족한 실정이다. 보강재 사용

1) 정회원, 계명대학교 토목공학과 조교수
2) 정회원, 경상대학교 토목공학과 공학연구원, 부교수, 교신저자
3) 정회원, 경상대학교 토목공학과 박사수로
4) 정회원, ㈜넥스컴스 대표이사

* Corresponding author : kwonm@gnu.ac.kr 055-772-1796
• 본 논문에 대한 토의를 2012년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2012년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

에 따른 보강효과의 예측에 관한 연구 또한 폭넓게 이뤄지지 않고 있다.

본 연구에서는 중요 구조부재인 기둥의 내진성능을 증대시키기 위한 최적의 복합재료를 선정하고자 하였다. 선정된 복합재료 보강재의 보강효과를 유한요소해석을 통하여 내진성능을 평가하였다.

2. 섬유강화 복합재료 보강재

2.1 섬유강화 복합재료 보강재의 개요

섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)는 재료의 역학적 성질이 뛰어난 섬유(Fiber)와 섬유를 구속, 성형하고 응력을 전달하는 매트릭스(Matrix)의 복합체를 말한다. FRP는 최근 강재나 콘크리트를 대체할 수 있는 신소재 건설재료로 각광받으며, 건설 분야에서 이를 활용하고자 하는 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다(유영찬 등, 2008). 그러나 아직까지 토목 및 건설 분야의 적용에 있어서 복합재료 전용 시방규정 및 지침의 부재, 재료의 성질에 관한 규격과 신뢰성 미비로 인하여 그 사용량은 기존의 건설재료와 비교하여 매우 적은 상태이다.

탄소섬유로 구성된 FRP 복합재료는 높은 강성과 인장 강도를 갖고 있어 구조물 보강에 많이 적용되고 있다. 하지만 높은 강성에 따른 취성과파괴를 유도하여 내진보강에 대한 보강재로서의 활용은 안전성을 부여하지 못한다. 유리섬유로 구성된 FRP 복합재료는 취성적 거동보다는 연성적 거동을 하는 재료로 잘 알려져 있다. 하지만 유리섬유 복합체는 연성이 좋은 반면 강성이 적은 단점이 있다. 이에 연성과파괴를 유도하는 유리섬유와 적절한 강성을 유지하는 알루미늄 강성재를 혼합한 새로운 소재의 섬유복합재료 즉, 연성에 기여하는 복합재료를 적절히 매트릭스화하여 구조물의 내진성능보강을 효율적으로 개선할 수 있는 복합재료 보강재를 개발하였다.

2.2 실험개요

본 실험은 FRP 복합체의 인장 거동 특성에 대한 실험적 해석을 하기 위하여 수행하였으며, 실험에 사용된 복합체는 구조용 일반섬유와 강성재를 레이어 적층 혼합을 통하여 제작되었다. 시험변수는 섬유의 종류, 섬유의 상

Table 1 Specimen Type

Specimen	Fiber Type	Fiber Elongation	Layer Mesh Type
CBS	Carbon	Best	Steel
CBA			Aluminum
CBP			Punched-Aluminum
CNS		Normal	Steel
CNA			Aluminum
CNP			Punched-Aluminum
CWS		Worst	Steel
CWA			Aluminum
CWP			Punched-Aluminum
GBS	Glass	Best	Steel
GBA			Aluminum
GBP			Punched-Aluminum
GNS		Normal	Steel
GNA			Aluminum
GNP			Punched-Aluminum
GWS		Worst	Steel
GWA			Aluminum
GWP			Punched-Aluminum
HBS	Hyper-Glass	Best	Steel
HBA			Aluminum
HBP			Punched-Aluminum
HNS		Normal	Steel
HNA			Aluminum
HNP			Punched-Aluminum
HWS		Worst	Steel
HWA			Aluminum
HWP			Punched-Aluminum

대적 늘임량, 강성재의 종류로 하였다. 섬유는 Carbon, Glass, Hyper-Glass를 사용하였다. 섬유의 늘어남의 성질이 상대적으로 우수한 것부터 Best, Normal, Worst로 정하였다. 강성재는 Steel, Aluminum, Punched-Aluminum을 사용하였다. 각 실험 변수별 인장거동을 응력-변형율의 관계로 정리 하고자 하였다. 각 실험변수는 동일한 조건의 제작으로 총 27개의 복합체 시편으로 구성하였다. 다음 Table 1은 각 인장 시험체의 제원 및 재료 구성을 나타낸 것이다.

2.3 실험방법

실험방법은 KS M 3381 유리섬유 강화 플라스틱의 인장시험 방법에 의하여 수행되었다. 인장시험 시 시편의 위·아래 부분을 고정하는 그림의 압력을 적절히 하여 인

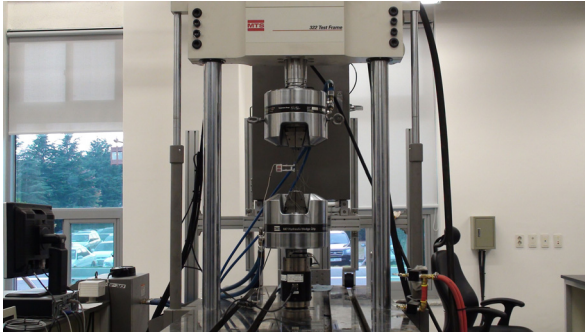


Photo 1 FRP Composite Test

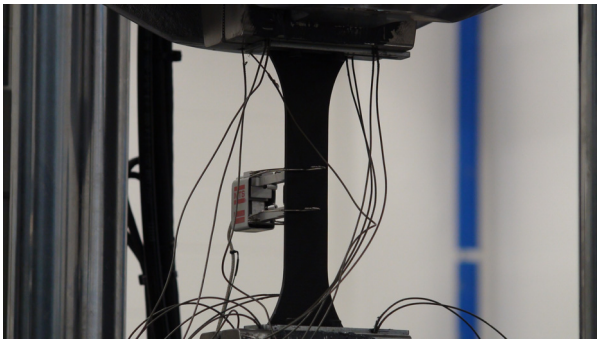


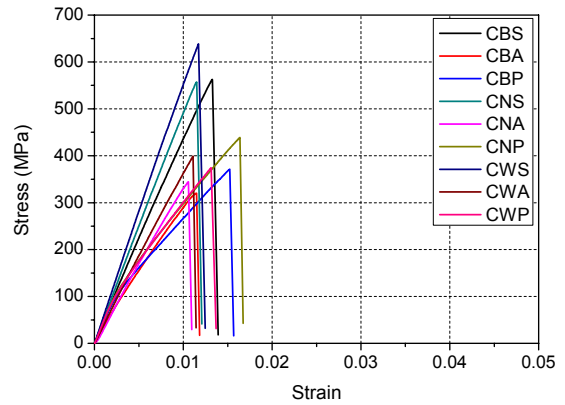
Photo 2 Extensometer Set-up

장력을 가할 시 슬립의 발생을 최소화 하여 실험을 수행하였다. 그리고 시편의 규격은 유리섬유 강화 플라스틱 인장시험 B형-II에 맞춰 제작되었다.

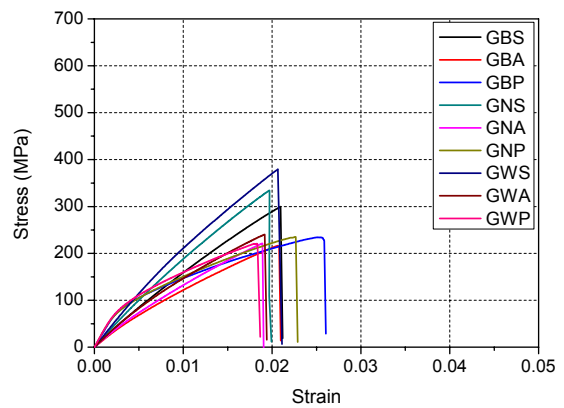
인장시험을 수행하기 위하여 Photo 1과 같이 대구광역시 소재 계명대학교 첨단건설재료실험센터의 MTS사 250kN 복합재료인장피로시험기와 TestWork4가 사용되었다. 변형량 측정은 Photo 2와 같이 MTS사의 Extensometer계를 이용하여 변형량을 측정하였다(ASTM, 2008). 하중가속은 2mm/min의 제어로 인장을 가하면서 시험기의 로드셀과 변위계에서 각각 작용하중과 변위값을 획득하였다.

2.4 섬유강화 복합재료 보강재의 실험결과

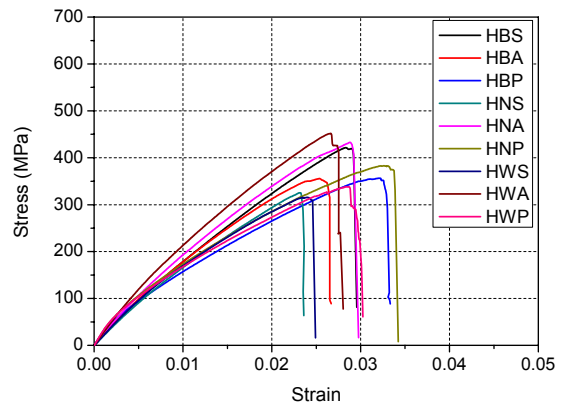
섬유의 종류와 섬유의 상대적 늘임량 그리고 강성계의 종류에 따른 인장시험을 수행하였다. 시편별 응력-변형률 관계를 섬유종류별로 나타내었다. Fig. 1 (a)는 카본섬유의 사용에 대한 시편실험결과이다. 카본섬유의 경우 파단시 변형률이 약 0.010에서 약 0.016정도의 분포로 나타났다. 최대 인장응력은 약 320MPa에서 약 638MPa의 분포를 나타내었다. Fig. 1(b)는 유리섬유의 사용에



(a) Carbon Fiber



(b) Glass fiber



(c) Hyper-Glass Fiber

Fig. 1 Test Result of Fiber Type

대한 시편실험결과이다. 유리섬유의 경우 파단시 변형률이 약 0.018에서 약 0.025정도의 분포로 나타났다. 최대 인장응력은 약 216MPa에서 약 379MPa의 분포를 나타내었다. Fig. 1(c)는 고성능 유리섬유의 사용에 대한 시편실험결과이다. 고성능 유리섬유의 경우 파단시 변형률이 약 0.023에서 약 0.033정도의 분포로 나타났다. 최대

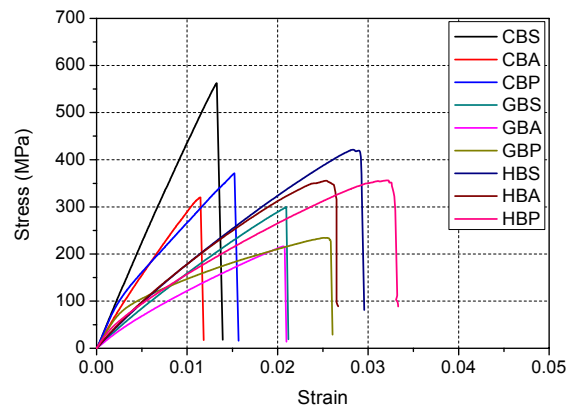
Table 2 Tension Test Result

Specimen	Maximum Stress (MPa)	Strain at Brittle	Elastic Modulus (N/mm ²)
CBS	562.79	0.0139335	40391
CBA	320.10	0.0114758	27894
CBP	371.36	0.0152143	24408
CNS	557.01	0.0114949	48457
CNA	344.47	0.0105768	32568
CNP	439.05	0.016376	26810
CWS	638.57	0.0117065	54548
CWA	398.84	0.0111005	35929
CWP	374.57	0.0131264	28535
GBS	299.68	0.0209213	14324
GBA	216.19	0.0206042	10492
GBP	234.34	0.0252386	9285
GNS	334.11	0.0196991	16960
GNA	221.30	0.0189133	11700
GNP	235.01	0.0226351	10382
GWS	379.50	0.0206543	18373
GWA	240.27	0.0191662	12536
GWP	220.71	0.0182322	12105
HBS	421.42	0.0283531	14863
HBA	355.50	0.0253383	14030
HBP	356.41	0.0320641	11115
HNS	325.31	0.0231367	14060
HNA	433.07	0.0288434	15015
HNP	382.97	0.0326214	11740
HWS	315.64	0.0240045	13149
HWA	451.91	0.0266394	16964
HWP	338.13	0.0285725	11834

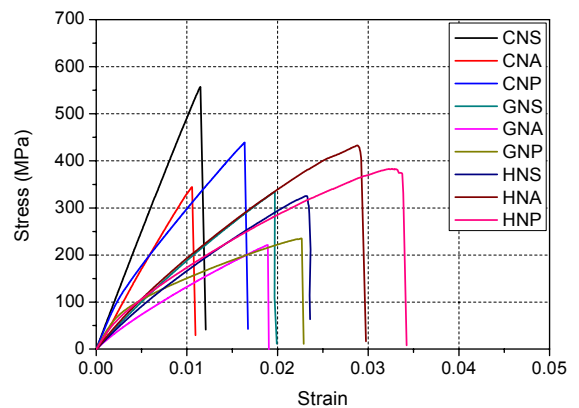
인장응력은 약 315MPa에서 약 451MPa의 분포를 나타내었다.

카본섬유를 사용한 복합체의 경우 비교적 강성이 크기 때문에 그래프의 기울기가 유리섬유와 고성능 유리섬유보다 크게 나타나고 있다. 고성능유리섬유를 사용한 시편의 경우 최대 인장응력은 카본섬유를 사용한 시편보다는 작지만 유리섬유보다는 큰 것으로 나타났다. 고성능 유리섬유를 사용한 복합체의 파단시 변형율은 카본섬유를 사용한 시편과 유리섬유를 사용한 시편보다 큰 것으로 나타났다.

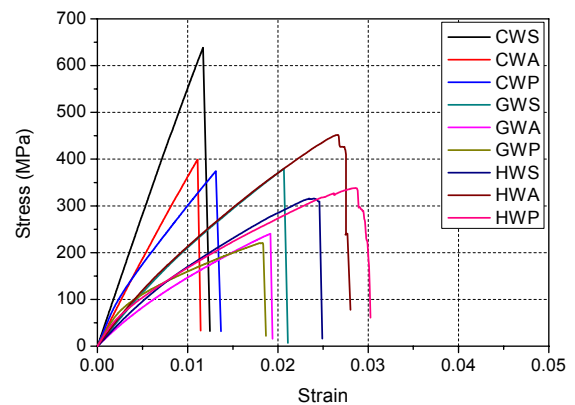
섬유의 종류와 섬유종류별 상대적 늘임량에 따른 강도 및 변위 증가의 경향을 검토하였다. 강성재를 강재로 사용할 경우(Fig. 2(a))에서는, 섬유의 늘임량이 작을수록 강도는 비교적 크게 나타났다. 카본섬유를 사용할 경우 강도의 증가가 우수한 것으로 나타났다. 유리섬유를 사용



(a) Best Elongate Fiber



(b) Normal Elongate Fiber



(c) Worst Elongate Fiber

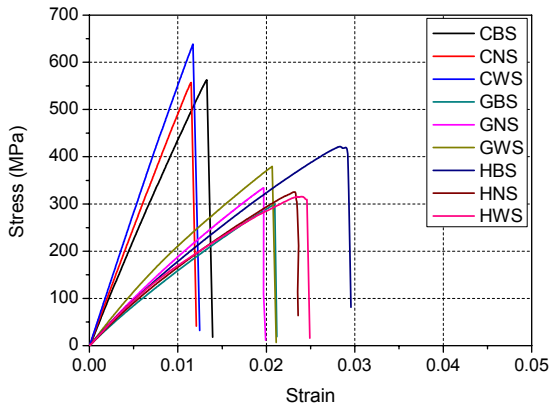
Fig. 2 Test Result of Fiber Elongate

할 경우 변위의 증가가 우수하였다. 강성재를 알루미늄으로 사용할 경우(Fig. 2(b))는, 고성능 유리섬유를 사용한 경우에서 강도와 변위의 증가가 우수한 것으로 나타났다. 강성재를 알루미늄 다공판으로 사용할 경우(Fig. 2(c))는 카본섬유와 고성능 유리섬유의 조합이 강도 증가에 유리하였다. 또한 고성능 유리섬유를 조합한 경우는 변위의

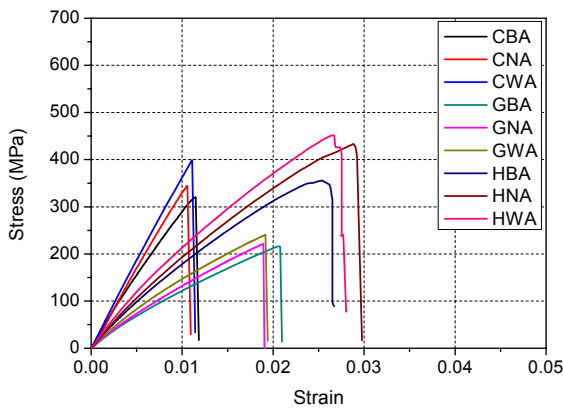
증가도 우수하였다.

강성재의 종류에 따른 보강재의 강성 및 강도 증가와 변위증가의 경향을 검토하였다(Fig. 3). 강재를 사용할 경우 강성증가 효과가 가장 뚜렷하였다. 알루미늄 또는 알루미늄 다공판을 사용 할 경우 변위증가에 효과적이었다.

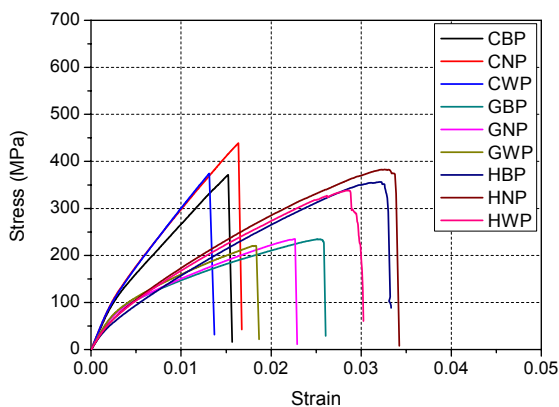
섬유보강 복합재료 보강재의 개발을 위하여 섬유종류



(a) Steel



(b) Aluminum



(c) Punched-Aluminum

Fig. 3 Test Result of Layer Mesh Type

와 강성재를 변수로 인장테스트를 수행하였다. 테스트결과 구조물의 연성보강을 위하여 강도의 증가와 동시에 변위의 증가 효과를 나타내는 고성능 유리섬유와 알루미늄 다공판의 조합이 최적인 것으로 판단된다.

3. 복합재료 보강재의 내진성능평가

일방향 가력해석(Pushover analysis, NSA)은 다양한 구조요소가 단계적 하중의 증가에 따라서 연속적으로 항복하는 구조물의 비선형 응답연구에 효과적으로 사용할 수 있는 방법으로 잘 알려져 있다(ACI 437). 가장 많이 사용되는 형태는 일정한 분포를 가지고 증가하는 정적하중을 사용한 일방향 정적가력해석이다. 이러한 정적가력해석은 변위 증가에 따른 구조물의 거동을 효과적으로 반영한다. 해석을 위하여 상용프로그램인 ABAQUS를 사용하였다(Kwon 등, 2011).

3.1 재료모델링

콘크리트의 솔리드 요소에 적용시킨 구성 모델은 압축과 압축 상태의 콘크리트의 파괴 거동을 알 수 있는 콘크리트 손상소성모델(Concrete Damaged Plasticity Model)을 사용하였다. 이 모델은 손상-소성 구성모델로 Lubliner et al (Lubliner 등, 1989)에 의해서 처음 제안되었고 Lee와 Fenvas (Lee 등, 1998)에 의해서 개선된 모델이다. 이 모델은 콘크리트의 손상 거동을 예측하는데 적합한 모델로 구속압력상태의 인장강화, 압축연화, 강성손상과 소성팽창의 특성을 포함하고 있다. 철근의 트러스 요소에 적용된 구성모델은 철근의 비선형을 고려하여 완전소성 모델(Perfectly plasticity model)을 사용하였다. 고성능 유리섬유 복합재료 보강판은 항복 후의 취성거동

Table 3 Concrete Material Parameter

Concrete	Compressive Strength (MPa)	Young's Modulus (N/mm ²)	Poisson's Ratio
	21	21538	0.2

Table 4 Rebar Material Parameter

Rebar	Compressive Strength (MPa)	Young's Modulus (N/mm ²)	Poisson's Ratio
	300	200000	0.3

Table 5 FRP Composite Material Parameter

FRP Composite	Yield Stress (MPa)	Young's Modulus (N/mm ²)	Elongation (%)	Elastic Strain	Plastic Strain
	356.41	29887	3.33	0.01	0.02

을 포함하여 선형모델과 취성모델을 사용하였다.

3.2 유한요소 모델링

유한요소 해석을 위하여 실제 사회 중요시설물의 기둥 부분을 선정하였다. 선정된 기둥 단면의 제원은 가로세로의 크기가 750mm×300mm이다. 기둥부재의 일방향 가력해석을 수행하기 위해 콘크리트와 철근을 모델링 하였다. 콘크리트는 20절점 솔리드요소로 모델링하였고, 철근은 2절점 트러스요소로 모델링하였다. 콘크리트와 철근은 완전부착된 것으로 가정하였다. 복합재료 보강재의 높이는 260mm이고 두께는 6mm로 하였다. 복합재료 보강재는 20절점 솔리드 요소로 모델링하였고, 복합재료 보강재와 기둥은 완전부착된 것으로 가정하였다. 복합재료보강재의 보강위치는 단곡률 해석에서는 기둥과 기초 지지대 접합면부터 보강한 것으로 가정하였고, 복곡률 해석에서는 소성힌지가 이동함을 고려하여 기초와 상부 지지대에서 각각 5cm의 간격을 두고 기둥에 보강한 것으로 가정하였다(권민호 등, 2011).

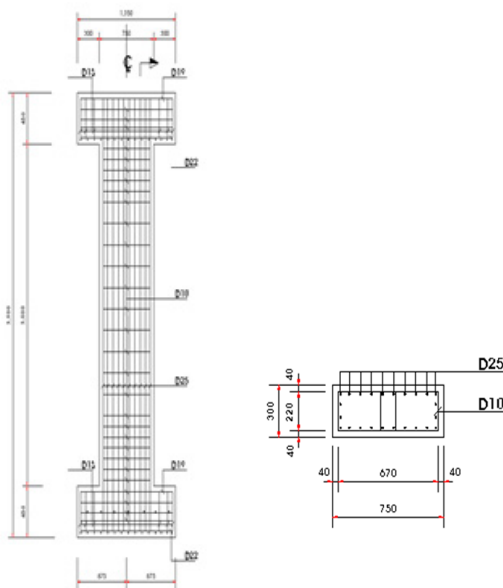


Fig. 4 Contact Structure

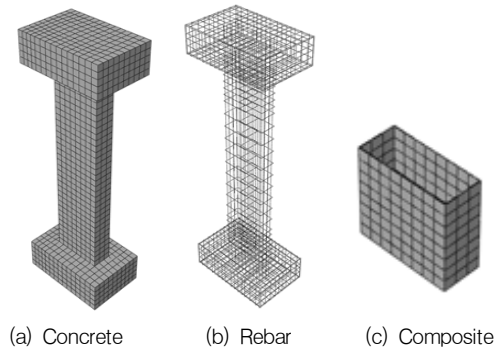


Fig. 5 Concrete, Rebar Modeling

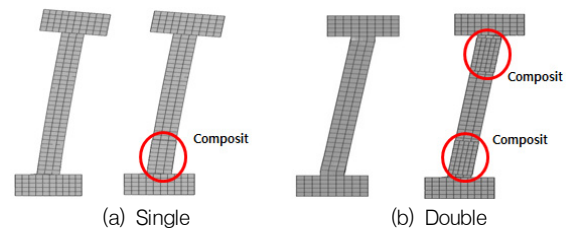


Fig. 6 FRP Composite Retrofitted Position

3.3 유한요소 해석결과

복합재료 보강재의 내진성능 향상 성능을 평가하기 위하여 구조물의 상부에 수평하중을 점진적으로 증가시켜 구조물이 불안정해지거나 한계상태를 설정하여 한계상태에 도달할 때까지 해석을 수행하였다. 상부 수평하중의 형태에 따라 거동특성이 다르게 나타나게 된다. 단곡률의 경우 한계상태가 한 단에서 발생하게 되고, 복곡률의 경우 양단에 발생하도록 가력하는 방법이다. 일방향 가력해석을 통한 기둥의 내진성능을 평가하기 위하여 상단부 가력부의 변위와 기둥의 반력을 사용한 하중-변위 관계 그래프와 콘크리트균열과 철근의 응력 분포를 사용하였다.

단곡률 해석결과 보강전의 경우 변위 약 53mm 부터 주철근의 항복이 진행되어 변위 약 96mm에서 전단철근이 항복함과 동시에 기둥의 항복이 발생하였다. 항복강도는 약 115kN으로 나타났다. 주철근의 항복은 기둥의 위험단면 내에서 항복이 시작되어 상부로 진행되었다. 하지만 콘크리트의 균열은 기둥 위험단면이 아닌 기둥과 기초 지지대의 접합부에서부터 균열이 발생되어 전단철근이 항복할수록 상부로 균열이 진행되었다. 기둥과 기초지지대 접합부의 균열이 지지대 내부로 파고드는 전단균열로 진행되어 응력이 기둥으로 전달되지 못하고 기둥과 지지대 접합부에서 응력이 집중되었다.

보강후의 단곡률 해석결과 변위 약 50mm부터 주철근의 항복이 진행되어 변위 약 78mm에서 전단철근이 항복하기 시작하였다. 변위 약 224mm에서 복합재료의 항복이 시작되었다. 보강후의 기둥부재는 항복이후의 강도 감소현상이 발생하지 않았다. 따라서 복합재가 항복하면 기둥의 콘크리트가 항복한 것으로 가정하고 항복강도를 약 130kN으로 결정하였다. 그리고 주철근과 전단철근은 항복이후 응력이 크게 증가하지 않았다. 이것은 응력이 기둥과 기초 지지대 접합부에 집중되어 파괴됨으로써 기둥의 보강성능이 크게 증가 되지 않은 것으로 사료된다.

복합재료 보강재의 효과로 인하여 철근의 응력이 보강재 상부와 하부에 분산되어 집중되는 것을 알 수 있다. 콘크리트의 균열도 보강재의 영향으로 인하여 보강재의 상부와 하부에 집중되는 것을 알 수 있다. 하지만 기초 지지대 부근의 균열이 진행됨에 따라 콘크리트의 균열은 기둥 위험단면이 아닌 기둥과 기초 지지대의 접합부에서부터 균열이 발생되었다. 보강전과 마찬가지로 기둥과 기초 지지대 접합부의 균열이 지지대 내부로 파고드는 전단균열

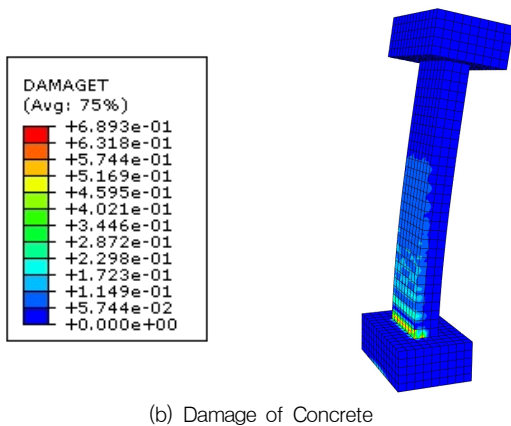
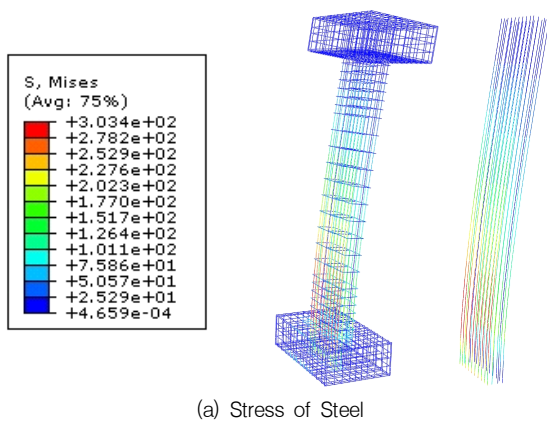


Fig. 7 Unretrofitted Result of Single Curvature

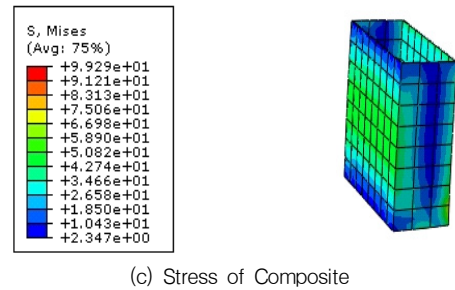
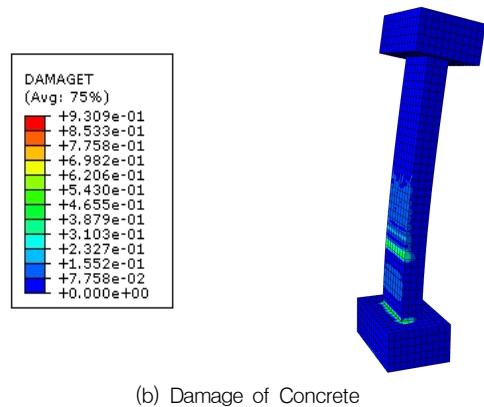
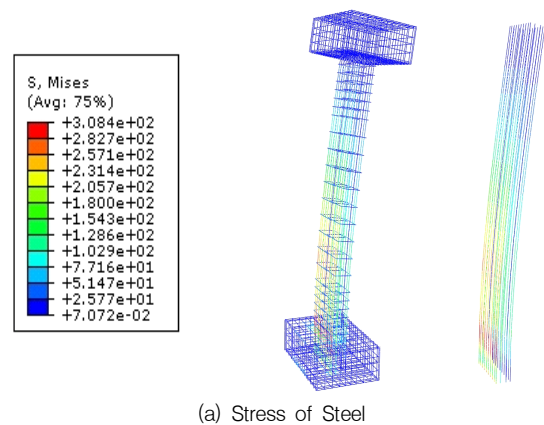


Fig. 8 Retrofitted Result of Single Curvature

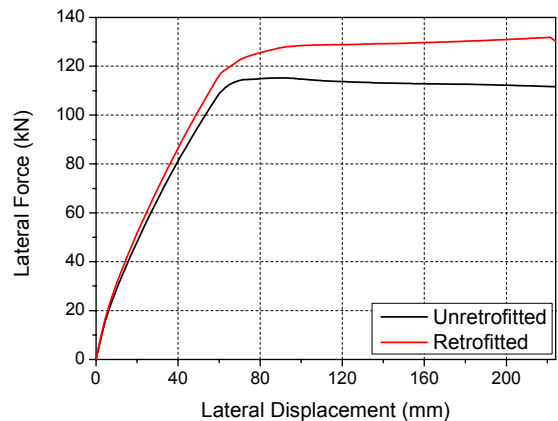


Fig. 9 Load-Displacement Relation(Single Curvature)

로 진행되어 응력이 기둥으로 전달되지 못하고 기둥과 지지대 접합부에서 응력이 집중되었다.

복곡률 해석결과 보강전의 경우 변위 약 28mm부터 주철근의 항복이 진행되어 변위 약 56mm에서 전단철근이 항복함과 동시에 기둥의 항복이 발생하였다. 기둥의 항복 강도는 약 271kN으로 나타났다. 단곡률의 해석과 달리 복곡률 해석에서 철근의 응력집중지점은 상하부의 두 지점에서 발생하고 항복지점이 기둥의 중앙부로 이동함을 알 수 있다. 콘크리트의 균열도 기둥 상부와 하부의 양단부에서 균열이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 기둥과 기초와 상부의 지지대 접합부의 균열이 각각 발생한 지점의 지지대 내부로 파고드는 전단균열로 진행되어 응력이 기둥으로 전달되지 못하고 기둥과 지지대 접합부에서 응력이 집중되어 균열이 심하게 분포됨을 알 수 있다.

보강후의 복곡률 해석결과 변위 약 25mm부터 주철근의 항복이 진행되어 변위 약 56mm에서 전단철근이 항복하기 시작하였다. 변위 약 75mm부터는 압축측 주철근이 항복하기 시작하였다. 변위 약 164mm에서 복합재료의 항복이 시작되었고 항복강도는 약 291kN으로 나타났다.

복곡률 해석에서는 보강재의 설치높이를 단곡률의 해석의 보강높이와 달리 지지대에서 5cm간격을 두고 보강재를 설치함으로 보강전과 비교하여 기둥의 주철근 중 압축측 철근의 항복이 발생하고 복합재의 항복이 발생함을 알 수 있었다.

복합재료 보강재의 효과로 인하여 철근의 응력이 보강재 상부와 하부에 분산되어 집중되는 것을 알 수 있다. 콘

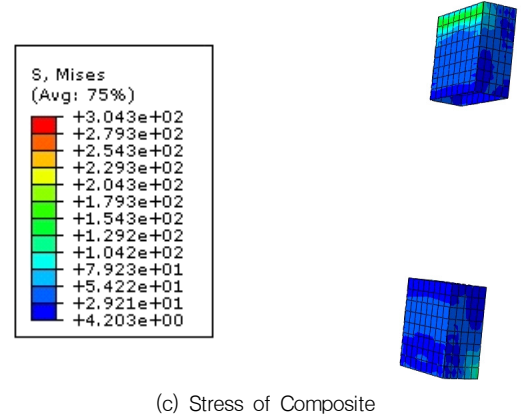
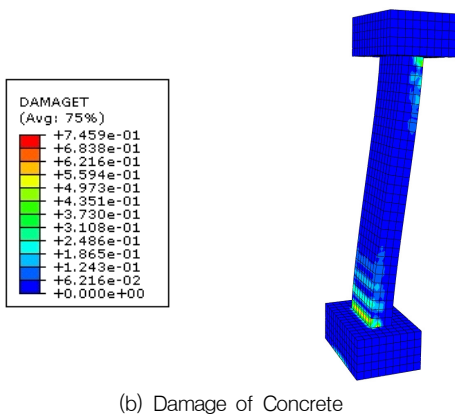
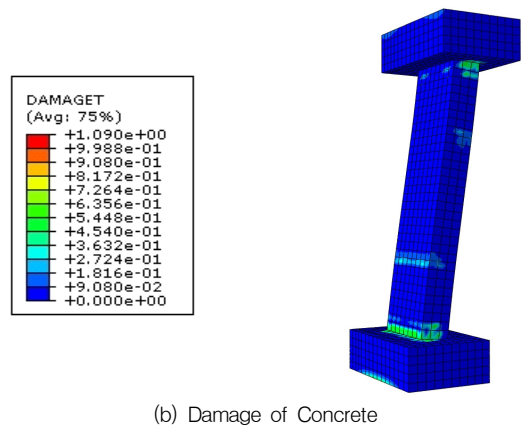
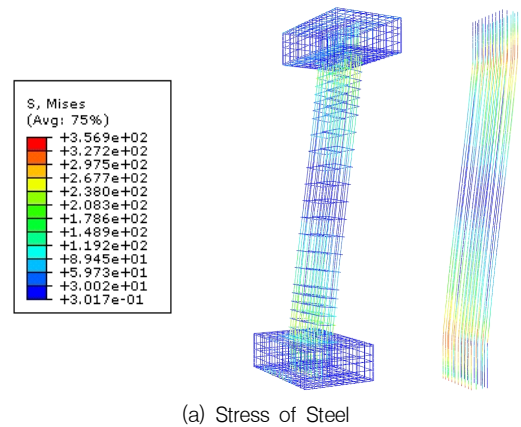
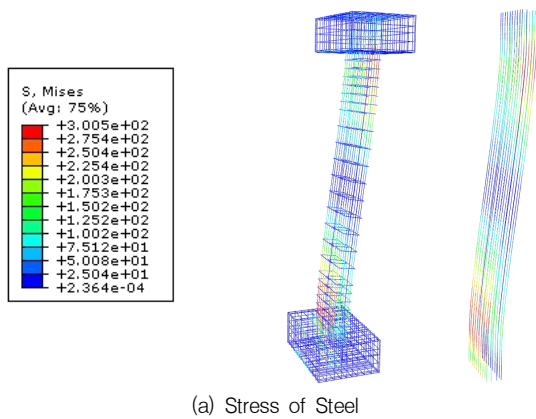


Fig. 10 Unretrofitted Result of Double Curvature

Fig. 11 Retrofitted Result of Double Curvature

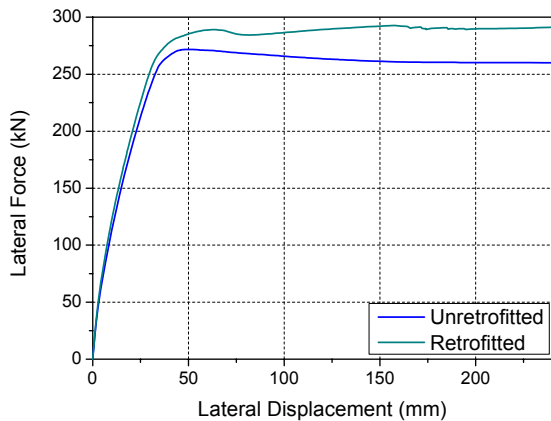


Fig. 12 Load-Displacement Relation(Double Curvature)

크리트의 균열도 보강재의 영향으로 인하여 보강재의 상부와 하부에 집중되는 것을 알 수 있다. 하지만 기둥과 지지대 접합부 부근의 균열은 하중의 증가에 따라 기둥 위험단면이 아닌 기둥과 지지대 접합부의 균열이 지지대 내부로 파고드는 전단균열로 진행되어 응력이 기둥으로 전달되지 못하고 기둥과 지지대 접합부에서 응력이 집중되었다.

3.4 해석결과 고찰

기둥 구조물에 대하여 복합재료 보강재의 내진성능 향상효과를 평가하기 위하여 단곡률과 복곡률 상태에 대하여 해석을 수행하였다. 단곡률 해석에서의 최대강도는 약 120kN이고 복곡률 해석에서 최대강도는 약 280kN으로 나타났다. 이러한 강도차이는 가력방법에 따른 거동이 가정과 일치하는 결과로 복곡률 해석의 경우 단곡률 해석과는 다르게 두 지점에서 항복이 발생하기 때문이다. 해석 결과 그래프에서 항복 후의 거동은 재료에 대한 수치모델의 경향을 잘 나타내고 있어서 해석이 이론에 부합하는 결과임을 알 수 있다. 항복강도와 항복변위에 대한 이러한 수치적 결과는 구조물의 거동을 예측가능하게 할 수 있지만 실제적인 거동은 실험을 통하여 확인하여야 한다.

단곡률 해석에서 보강전후의 최대강도는 보강전 약 115kN에서 보강후 약 130kN으로 강도에서 약 13% 증가되었다. 또한 항복변위는 보강전 약 96mm에서 보강후 약 224mm로 134% 증가되었다. 복곡률 해석에서 보강전후의 최대강도는 보강전 약 271kN에서 보강후 약 291kN으로 강도에서 약 7% 증가되었다. 또한 항복변위는 보강전 약 56mm에서 보강후 약 165mm로 195% 증

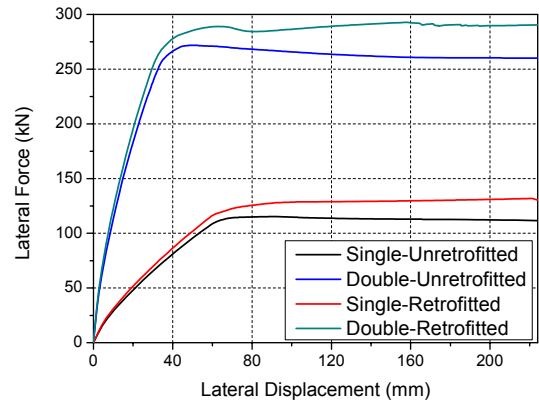


Fig. 13 Load-Displacement Relation

Table 6 Single Curvature Result

	Yield Strength (kN)	Yield Displacement (mm)	Strength Ratio	Displacement Ratio
Unretrofitted	115.05	96	1	1
Retrofitted	130.36	224	1.13	2.34

Table 7 Double Curvature Result

	Yield Strength (kN)	Yield Displacement (mm)	Strength Ratio	Displacement Ratio
Unretrofitted	271.29	56	1	1
Retrofitted	291.39	165	1.07	2.95

가되었다. 이러한 결과는 유한요소법에 근거한 수치적 결과로 실제적인 거동실험전 실험의 주요 목적인 최대강도와 변위를 예측하는데 중요한 자료로 활용 될 수 있다.

복합재료 보강재료를 사용함으로써 단곡률과 복곡률거동에서 항복강도와 항복변위가 증가되었다. 철근의 응력분포특성도 보강전에는 위험단면부근에서 최대 응력이 발생하였으나 보강후 복합재료 보강재의 상하단으로 응력이 분산되어 위험단면의 파괴위험이 감소되었다.

4. 결론

본 연구에서는 구조물의 내진성능 개선을 목적으로 최적의 복합재료 보강재를 선정하였다. 선정된 보강재의 내진성능 평가를 위한 해석적인 평가를 위하여 기둥구조물에 대한 유한요소 해석을 수행하였다. 유한요소 해석은 실제크기의 구조물을 3차원 모델링하였고, 철근 및 콘크리트의 재료비선형을 고려하여 해석을 수행하였다. 해석

결과 복합재료 보강재의 내진성능평가에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 섬유강화 복합재료의 성능개선시 강성재를 사용하는 경우 강성보강은 강재가 유리하고 연성보강은 알루미늄 다공판이 유리하다.
- (2) 본 연구에서 수행한 섬유보강 복합재료 시험시편 결과로 미루어 고성능 유리섬유와 알루미늄 다공판을 사용한 섬유강화 복합재료가 강도의 증가와 함께 변위의 증가가 우수한 것으로 나타났다. 두 재료를 사용한 섬유보강 복합재료 보강재가 내진성능 보강재의 최적의 조합으로 판단된다.
- (3) 복합재료 보강재를 사용한 기둥에 대한 내진성능 보강효과를 평가하기 위하여 유한요소 해석을 수행하였다. 해석결과 고성능 유리섬유와 알루미늄 다공판 복합재료를 사용하여 보강할 경우 구조물의 내진성능이 향상되는 것으로 나타났다.
- (4) 고성능 유리섬유 복합재료 보강재의 사용에 관한 충분한 연구가 이루어진다면 보강재를 사용한 기둥보강법은 국부적인 응력집중의 분산과 균열을 제어하여 구조물의 내진성능개선을 이룰 수 있는 효과적인 보강법이 될 것으로 판단된다.
- (5) 복합재료 보강재를 선정하고 기둥구조물에 보강을 가정하여 유한요소 해석한 이론적인 결과는 실험을 통하여 그 효과를 검증할 필요가 있어 향후 연구 과제로 계속 연구할 가치가 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 2011년도 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호 : 11첨단도시C10)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 권민호, 정우영, 정재훈, “비부착 철근 여부에 따른 RC 보-기둥 저합부의 성능평가”, 한국구조물진단학회 논문집, 제15권 6호, 2011, pp.201-211.
2. 심종성, 김규선, “건설 분야에서의 FRP활용”, 콘크리트학회지, 제12권, 6호, 2000, pp.37-43.
3. 유영찬, 최기선, 강인석, 김궁환, “구조보강용 FRP 복합체의 역학적 특성치 분석을 위한 인장시험방법 평가 연구”, 한국구조물진단학회 논문집, 제12권 1호, 2008, pp.73-80.
4. 조하나, 신영수, “유리섬유 보강재의 특성 및 적용”, 구조물진단학회지, 제2권 3호, 1998.
5. ABAQUS, Dassault Systems Simulia Corp. (2011). Abaqus Analysis User's Manual. Version 6.10, 2011.
6. ACI Committee 437, “Load Tests of Concrete Structures : Methods, Magnitude, Protocols, and Acceptance Criteria (ACI 437.1R-07)”.
7. ASTM, D638, “Tensile Properties of Plastic Materials with Automatic Extensometry”, 2008.
8. C. M. Renaud, M. E. Greenwood, “Effect of Glass Fibers and Environments on LongTerm Durability of GFRP Composites”, RP-Asia 2002, Kuala-Lumpur.
9. L. C. Hollaway and P. R. Head, “FRP strengthening and repair of reinforced concrete systems. Advanced Polymer Composites and Polymers in the Civil Infrastructure”, 2001, pp.109-159.
10. Lee, J. and Fenbas, G. L., “Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, vol. 124, 1998, pp.892-900.
11. Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S. and Onate, E., “A plastic-damage model for concrete”, Int. J. Solids Struct., vol. 25, No. 3, 1989, pp.299-326.
12. M. Kwon, P. B. Shing, C. Mallare and J. Restrepo, “Seismic Resistance of RC Bent Caps in Elevated Mass Transit Structures”, Earthquake Spectra vol. 27, 2011, pp.67-88.

(접수일자 : 2012년 1월 30일)

(수정일자 : 2012년 4월 12일)

(심사완료일자 : 2012년 4월 19일)

요 지

최근 발생한 대규모 지진으로 구조물의 내진보강에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 내진성능 향상을 목적으로 FRP 복합재료의 사용성에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다. 복합재료를 사용한 내진보강재는 강성과 연성을 가진 재료이어야 하므로 복합재료 보강재 설계 시 강성재와 섬유 선택이 중요한 변수이다. 내진성능 향상을 위한 섬유보강 복합재료의 최적조합을 인장 테스트를 통하여 선정하였다. 선정된 섬유보강 복합재료 보강재를 실제 구조물에 적용하기 위하여 실제 기둥부재에 보강하는 것을 가정하여 유한요소 해석하였다. 유한요소 해석을 통하여 구조물의 내진성능 향상효과를 변위-하중 관계를 통하여 평가하였다. 섬유보강 복합재료 보강재를 사용할 경우 구조물의 내진성능이 증가한다는 해석적인 연구 결과를 도출하였다.

핵심 용어 : 내진보강, FRP 복합재료, 섬유, 기둥보강, Push-Over 해석, 유한요소
