韓國産業應用學會論文集, 제12권, 제2호, 107-112, 2009.05
J. Korean Society of Industrial Application, Vol.12, No.2, 107-112, May, 2009

섬유시트 보강 구조체의 거동에 관한 해석적 연구
Analytical Study of Behavior on Structure Reinforced Fiber Sheet

서성탁*
Seung-Tag Seo*

<Abstract>

The effective reinforcement methods of structure is required to improve the durability of existing structures. Recently, the continuous fiber sheets to the concrete structures are widely used in the earthquake-proof reinforcement method. This study examines suitability and effect to concrete structure of fiber by FEM analysis. The result of analysis is as follows;

All specimens occurred bending tensile failure at the middle span. Ultimate strength of specimen in the RC and reinforced RC specimen were 53.9 kN, 56.3 kN respectively and it was some low by degree 0.89, 0.82 to compare with calculated result. The deflection of specimen at the middle span occurred in approximately 0.2 mm, and did linear behavior in load 20 kN by seat reinforcement. Stiffness did not decrease by occurrence in the finer crack and reinforcement beam's flexure stiffness was increased until reach in failure. To compare calculated value and analysis value, it almost equal behavior in the elastic reign and can confirm effectiveness of analysis. Crack was distributed uniformly by reinforcement of fiber seat at failure and it do not occurred stiffness decreases.

Keywords : FRP, FEM, Fiber, Strength, Fiber sheet, Flexure stiffness

1. 서 론

최근 콘크리트구조물의 내진 보강으로 연속 섬유 시트 부착에 의한 내진 보강 공법이 많이 이용되게 되고 있다. 특히, 기존 구조물에 내진 설계기준을 적용하지 않는 경우가 많으며, 또한 내진설계가 이루어 졌으나 구조물의 노화로 인한 변형이나 사용성에 많은 문제점을 갖고 있는 경우가 많다. 이러한 노화된 구조물의 내진 보강 뿐만 아니라 내진설계는 매우 중요하며, 여러 방면에서 각종의 제안이나 시책이 나왔다. 구조물의 내진성과 내구성 향상은 지진에 의한 구조물의 붕괴를 예방하여 인명을 지키며, 경제적 손실을 최소화 한다. 기존 노화된 구조물의 내구성 향상을 위해서는 각각의 구조물 환경에 적합하고 효과적인 보강 공법이 요구되며, 또한 간편하고 경제적이며 신속한 보강 공법이 필요하다.

CF시트에 의한 RC 조구조물의 보강 건수나 사용량은 최근의 방재에 대한 관심과 내진 보강의 필요성의 인식으로 보다 높은 신장율을 나타내고 있다. CF시트를 이용하는 공법 자체

* 교신저자, 정회원, 혜천대학교 도시건설과, 교수, 工博
E-mail : seosungtag@hcc.ac.kr

* Corresponding Author, Dept. of Civil Engineering, Hyechon University, Prof., Ph. D.

가 간편한 것도 성장률증가의 중요한 요인이다. 즉, 시공이 용이하고, 가격면의 우위성도 기대할 수 있으므로 CF시트를 이용한 공법의 보급에 크게 기여하고 있다.

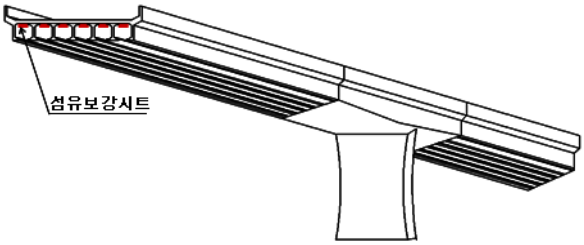

Fig. 1. Slab reinforced fiber sheet.

연속 섬유 시트를 폐쇄형을 설치하는 것이 곤란한 벽, 기둥이나 보 부재에 대해서 전단 보강을 실시하는 경우는 구조물체에 시트의 정착이 일반적으로 사용되고 있다. 정착 방법은 앙카볼트와 강철 제품의 앵글이나 각재, 연속 섬유의 다발을 사용하며, 보의 측면이나 슬라브 상하면에 시트를 정착하는 방법이 제안되고 있다.

섬유보강시트의 연구동향으로서는 2000년 이원호 외 2인[1] 탄소섬유 시트로 전단 보강된 철근콘크리트보의 보강효과에 대한 분석, 윤승조[2] 탄소섬유시트로 보강된 RC보의 구조내력에 관한 실험적 연구, 2001년 이한승[3] 실물모형 실험에 의한 탄소섬유시트 보강 RC 보의 휨 부착 거동에 관한 연구를 하였다.

본 연구는 연속 섬유 보강 공법으로서 가장 일반적이고 실적도 많이 공적 자료에도 표준적으로 채용되고 있는, 탄소섬유(carbon fiber) 시트를 이용한 공법을 중심으로 보강효과를 해석적 방법으로 확인한다. RC보의 CF시트보강구조의 휨 해석을 실시하여 보강 전후의 시트의 보강효과를 확인한다.

2. 연속섬유시트의 종류

연속 섬유 보강재는 1본의 지름이 5~20 μm의 충분히 긴 섬유의 소선을 수백개~수천 본 다발로한 스트랜드 또는 다수의 스트랜드를 일방향으로 혼합하여 시트 상으로 가공한 1방향 시트와 스트랜드를 종횡으로 짠 크로스시트가 있다. 대표적인 연속 섬유 재료는 탄소섬유, 아라미드 섬유(aramid fiber), 유리 섬유, 비닐론 섬유 등이다. 건설 구조 보강용 섬유로서는 탄소섬유가 가장 널리 이용되고 있으며, 그 다음에는 아라미드 섬유(aramid fiber), 유리 섬유가 사용되고 있다. 연속섬 보강재에 의한 분류를 하면, 무기에는 탄소섬유 및 유리 섬유가 있으며, 유기에는 아라미드섬유, 비니론섬유 등이 있다.

본 논문에서는 탄소섬유(carbond fiber)를 이용한 연속 섬유 보강 공법에 관한 연구를 한다.

2.1 탄소섬유 스트랜드

탄소섬유 스트랜드는 7~10 μm정도의 필라멘트로 불리는 탄소섬유를 묶은 것으로, 필라멘트 개수가 3,000개(3 k), 6,000개(6 k), 12,000개(12 k), 24,000개(24 k)의 다발이 사용된다. Fig.2 및 Fig.3에 탄소섬유 및 탄소섬유 스트랜드의 사진을 나타냈다.

12 k(단면적 0.462 mm^2, 직경 0.767 mm)와 24 K(단면적 0.87 mm^2)의 탄소섬유 스트랜드를 접착 수지를 침투시켜 탄소섬유(CF) 앵커로서 탄소섬유 시트의 정착 등에 이용한다. 또한 50~320 K(탄소섬유의 소선을 5~32만개 묶은 것)의 제품도 있다.

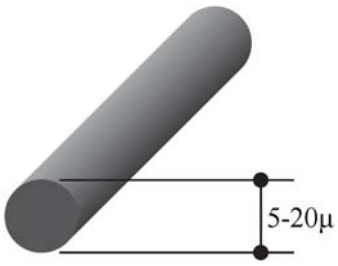

Fig. 2. Carbon fiber.

Fig. 3. Carbon fiber strand.

2.2 탄소섬유 시트

탄소섬유 시트는 두께가 0.2 mm 이하의 얇은 면상으로 가공된다. 탄소섬유 시트는 한방향에 소선을 깔아 늘어놓아 시트 상에 성형하는 것으로 그 방법은 다음과 같다.

(1) 탄소섬유를 시트 상에 성형하고, 미리 에폭시 수지를 침투시켜, 수지를 미경화 상태로 하는 방법

(2) 횡 방향에 보강 섬유로서 유리 섬유 등을 이용하여 성형한 것

(3) 탄소섬유를 한 방향에 혼합하고 접착제가 포함된 얇은 유리 섬유로 보강 성형

Fig.4에 탄소섬유 시트를 나타냈다. 탄소섬유 시트에는 공장에서 성형 판에 가공되는 것도 있지만, 일반적으로 공사 현장에서 인력에 의한 것도 있다.

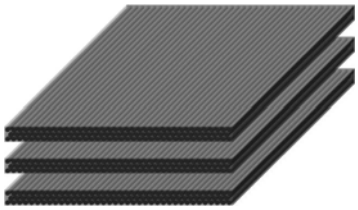

Fig. 4. Carbon fiber sheet.

2.3 연속섬유 보강 재료의 특징

연속 섬유 보강 공법으로 이용되는 주요 재료는 연속 섬유 시트와 접착 수지이다. 연속 섬유 시트는 탄소섬유나 아라미드 섬유(aramid fiber)를 시트형태로 가공한 것으로 수지를 이용하여 섬유강화 플라스틱을 형성해 콘크리트를 보강한다. 비중은 철의 1/4~1/5으로 매우 경량인 것이 특징이다.

연속섬유 보강 재료의 인장 특성은 보통 철근의 10배 이상의 강도를 가지며 완전 탄성체로 항복역이 없기 때문에 취성적으로 파단하는 성질을 가지고 있다. 접착 수지는 에폭시 수지가 일반적이지만 속경·저온 성능 등의 특징이 있는 MMA 수지도 이용되고 있다.

통상의 에폭시 수지는 5℃이하에서는 경화불량을 일으키기 쉽고, 또 점도나 경화 시간 등이 온도에 영향을 받으므로 시공 상의 유의가 필요하다. 연속섬유보강재와 강봉의 응력-변형률관계곡선을 Fig. 5에 나타냈다.[4~6)]

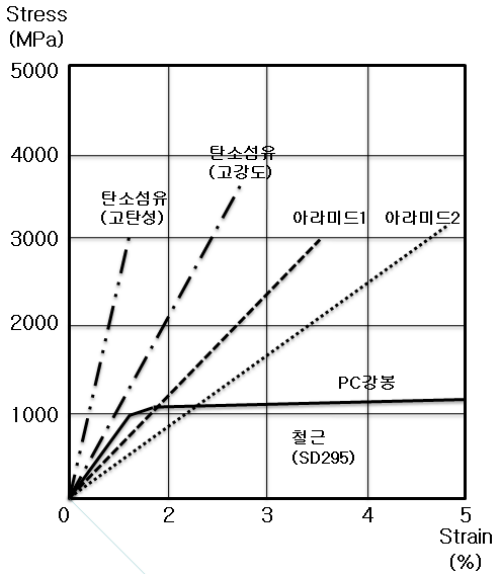

Fig. 5. Relation of stress-strain curve of fiber sheet and steel bar.

3. 시트보강 부재의 휨 해석

3.1 해석 개요

연속섬유시트의 철근콘크리트 보에 대한 보강효과를 확인하기 위하여 2가지의 케이스를 선정하여 해석을 실시하였다. 먼저, RC 보를 대상으로 섬유시트를 부착하지 않는 경우와 섬유시트를 부착하여 보강효과를 비교•검토한다.

Fig. 6에 공시체의 제원을 나타냈으며, 지간길이는 1200 mm, 단면 200×100, 철근비 0.32 %의 RC보를 대상으로 하였다. 또한, Fig. 7은 해석모델을 나타냈다. 모델은 공시체의 좌우 대칭성을 고려하여 1/2모델을 대하여 실시하였다. 또한, 콘크리트는 판 요소를 철근은 Bar 요소를 사용하며, 대칭면에 위치하는 절점에는 대칭 조건을 입력했다. 콘크리트, 철근 및 시트의 물리적 특성은 Table. 1에 각각 나타냈다.

하중의 재하방법은 지간중앙에서 300 mm 간격으로 2점 집중 재하를 하였으며, 시트보강은 시트의 두께가 0.25 mm 대하여 콘크리트의 Crack, 변위, 시트 등에 대하여 응력 및 변위 상태를 조사하였다.

3.2 재료의 모델화

해석에 이용한 콘크리트의 재료특성은 Fig. 8에 나타냈으며, 콘크리트의 압축변형율은 0.0035에서 파괴가 일어나는 것으로 한다. 또한, 강재의 재료특성을 Fig. 9에 나타냈다.

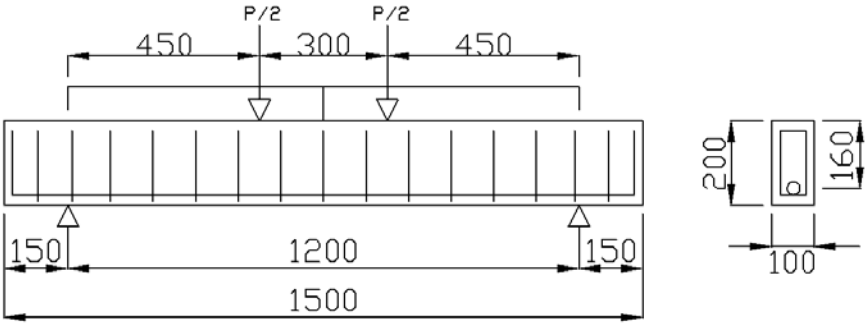

Fig. 6. Dimension of specimen.

Table 1. Physical property of material

항 목	단 위	수 량
철근비	%	0.32
주철근항복강도	MPa	350
콘크리트 압축강도	MPa	31.0
콘크리트 탄성계수	GPa	315
시트의 두께	mm	0.25
시트의 인장강도	MPa	2350
시트의 탄성계수	GPa	78.0

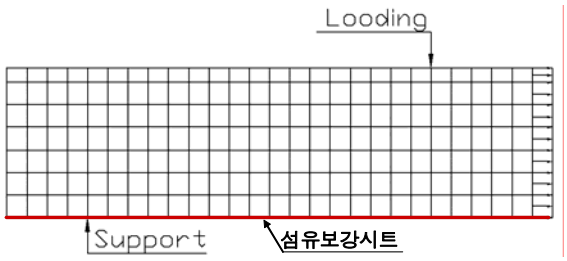

Fig. 7. Analysis model.

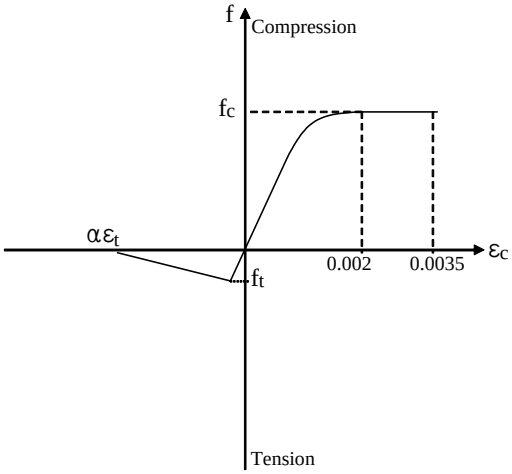

Fig. 8. Property of concrete material.

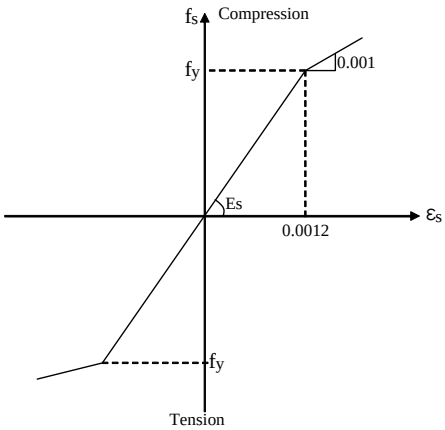

Fig. 9. Property of steel bar.

3.3 해석 결과

휨 내력(최대 하중)의 해석 및 계산결과를 Table. 2에 나타낸다. 모든 공시체는 콘크리트의 휨인장 파괴에 의하여 발생하였다. 비교용 RC 공시체와 보강RC보의 공시체의 해석치는 각각 53.9 kN, 68.6 kN으로 나타났으며, 계산 값과 비교하여 0.89, 0.82로 정도로 약간 낮게 나타났다.

(1) 보의 휨 강성

하중과 변위관계곡선을 Fig. 10에 나타냈다. 하중이 20 kN까지 처짐은 0.2 mm정도로 거의 선형적으로 증가하며, 보강유무에 관계없이 거의 동일한 거동을 나타내고 있다. 이는 아직 균열발생에 의한 영향이 없는 단계이다.

그 후 보강하지 않는 보는 변형이 급격히 증가하고 있으나, 보강보는 변형증가 폭이 매우 작으am로 파괴에 이르기까지 높은 강성을 보여 보강보의 휨 내력의 증대 효과를 확인할 수

있다. 또한 계산치는 RC단면과 전단면을 고려하여 각각 계산하였다. 휨 내력의 계산치는 전단면으로 계산한 값이 콘크리트의 인장력을 무시한 단면으로 계산한 값보다 다소 큰 값을 나타냈으며, 탄성역역에서는 해석 값과 거의 동일한 거동을 보이고 있으며, 해석의 타당성을 확인할 수 있다.

(2) 콘크리트의 응력

각 공시체의 종국 상태에 있어서의 파괴는 콘크리트 하단부의 균열에 의한 콘크리트 인장파괴로 일어났다. 특히, 섬유시트 보강 공시체도 콘크리트의 보강시트와의 접촉부의 이질재료에서 응력이 집중되고 있다.

Fig. 11에 시트 보강 전•후의 콘크리트 응력곡선을 나타냈다. 하중이 15 kN에서 콘크리트 하단부의 변형률이 160 μ로 거의 선형적으로 증가하며, 보강유무에 관계없이 거의 동일한 거동을 나타내고 있다.

그 후 보강하지 않는 보는 변형률이 급격히 증가하여 53.9 kN에서 파괴에 이르렀으나, 보강보는 변형율의 증가폭이 매우 작다. 68.6 kN정도에서 콘크리트 하단부가 파괴되었으며, 파괴에 이르기 까지 높은 강성을 보여 보강보의 휨내력의 증대 효과를 확인할 수 있다.

또한 계산 값은 RC단면과 전단면을 고려하여 각각 계산하였다. 휨 내력의 계산치는 전단면으로 계산한 값이 콘크리트의 인장력을 무시한 단면으로 계산한 값보다 다소 큰 값을 나타냈으며, 탄성영역에서는 해석 값과 거의 동일한 거동을 보이고 있으며, 해석의 타당성을 확인할 수 있다.

Fig. 12 및 Fig. 13에 단계별 하중 작용 시 보에 발생하는 균열 상태와 Fig. 14 및 Fig. 15에 공시체의 응력분포상태를 각각 나타냈다. 초기균열은 하중 14.7 kN에서 미세한 균열이 발생하고 있으나, 보의 변위곡선으로 부터 초기강성에는 크게 영향을 미치지 않고 있다.

종국상태에서 균열발생 상태로부터 하중이 증가함에 따라 보의 인장 측의 균열은 증가하여 지간 전면에 걸쳐서 균열이 균등하게 발생하고 있으며, 상단부의 압축균열을 유도하고 있다. 그러나, 섬유시트의 보강에 의해서 균열분포상태가 양호하며, 급격한 강성저하는 없는 것으로 확인된다.

Table 2. Result of test

공시체	휨내력(kN)			파괴형상
	계산치	해석치	계산치/실험치	
RC보 (보강무)	48.2	53.9	0.89	휨인장 파괴
RC보 (보강유)	56.3	68.6	0.82	휨인장 파괴

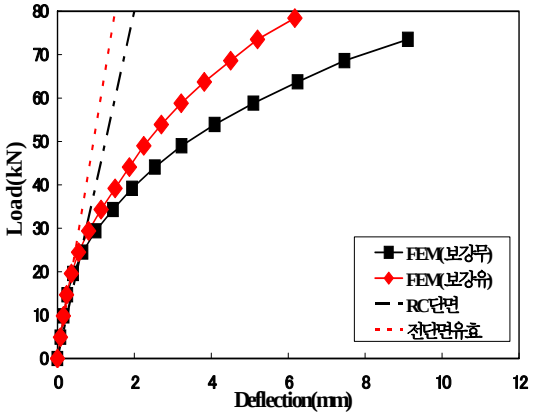

Fig. 10. Load-deflection curve.

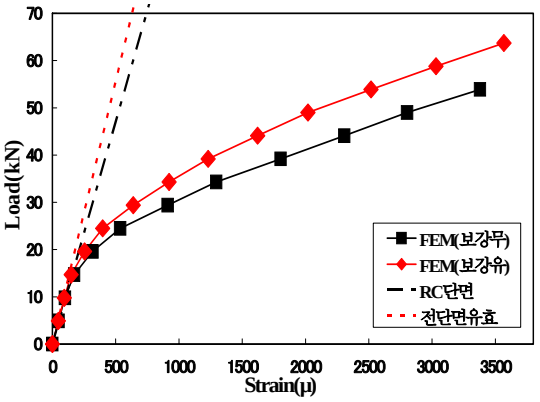

Fig. 11. Load-concrete deflection curve.

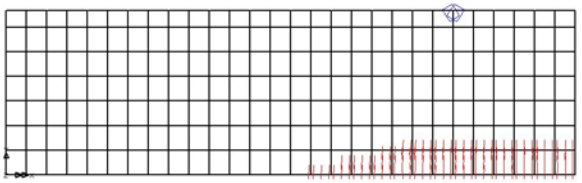

Fig. 12. Initial crack state (Load:14.7kN).

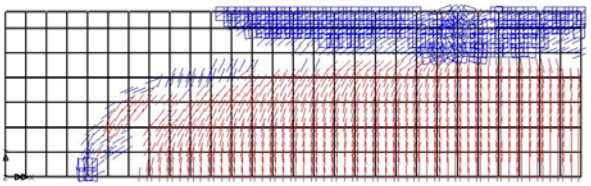

Fig. 13. Ultimate crack state (Load:68.6kN)

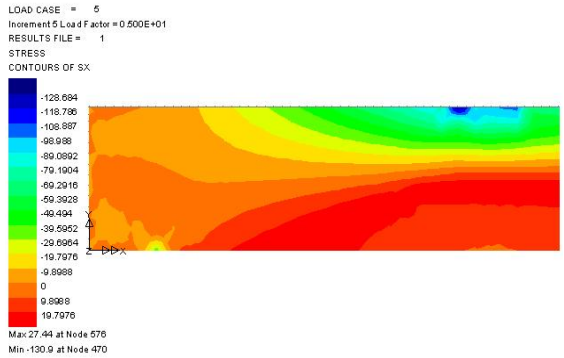

Fig. 14. Concrete stress curve reinforced sheet fiber.

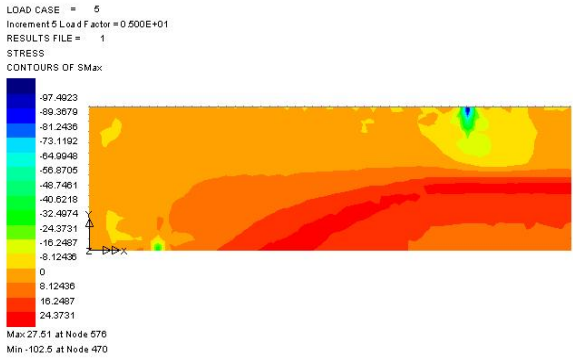

Fig. 15. Major principal stress(Load 49kN).

4. 결 론

본 연구는 연속섬유보강공법으로서 탄소섬유시트(carbon fiber) 시트를 이용한 공법을 중심으로 보강효과를 해석적 방법으로 확인한다. RC보의 CF시트보강구조의 휨 해석을 실시하여 보강 전후의 시트의 보강효과를 확인한다.

(1) 휨내력(최대 하중)의 해석 및 계산결과로 부터 모든 공시체는 콘크리트의 휨인장 파괴에 의하여 발생하였다. 비교용 RC공시체와 보강 RC보의 공시체의 해석 값은 각각 53.9 kN, 68.6 kN으로 나타났으며, 계산 값과 비교하여 0.89, 0.82로 정도로 약간 낮게 나타났다.

(2) 시트 보강에 의하여 하중이 20 kN까지 처짐은 0.2 mm정도로 탄성적 거동을 하고 있으며, 초기의 미세균열에 의한 강성저하는 없으며, 파괴에 이르기까지 높은 강성을 보여 보강보의 휨 내력의 증대 효과를 확인할 수 있다.

(3) 휨 내력의 계산 값은 전단면으로 계산한 값이 콘크리트의 인장력을 무시한 단면으로 계산한 값보다 다소 큰 값을 나타냈으며, 탄성영역에서는 해석 값과 거의 동일한 거동을 보이고 있으며, 해석의 타당성을 확인할 수 있다.

(4) 파괴시의 균열은 섬유시트의 보강에 의해서 균열분포상태가 매우 양호하며, 급격한 강성저하는 없다.

참 고 문 헌

1) 이원호, 임재형, 백영수, “탄소섬유시트로 전단 보강된 철근콘크리트보의 보강효과에 대한 분석”, *대한건축학회 학술발표논문집,* (2000)

2) 윤승조, 김성수 외, “탄소섬유시트로 보강된 RC보의 구조내력에 관한 실험 연구”, *대한건축학회 학술발표논문집,* (2000)

3) 이한승, 유영찬, 김긍환 외 “실물모형 실험에 의한 탄소섬유시트 보강 RC 보의 휨 부착거동”, *한국콘크리트학회 학술발표회 논문집,* (2001)

4) 신영수, 최완철, 홍기섭, 홍영균 “탄소섬유시트로 밑면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동”, 대한건축학회논문집, (1995)

5) P. F. Castro, *Journal of Composites for Construction, ASCE,* 2, 1, 17, (1998)

6) 윤순종, 가넷코팅한 FRP Rod와 고성능 폴리머 모르타르를 이용한 철근콘크리트 구조물용 보강공법의 성능 및 보강효과에 관한 연구, *연구보고서,* 홍익대학교 부설 과학기술연구소, (주)리폼시스템, (2004)

7) 한국건설기술연구원, 장수명 합리화 교량바닥판 개발(I), (2003)

(2009년 2월 21일 접수, 2008년 5월 22일 채택)