

유리 섬유시트로 보강된 실제크기 철근 콘크리트 보의
휨 거동에 대한 실험적 연구
An experimental study for bending behavior of RC beams
strengthened with glass fiber sheet

김성도*
Kim, Seong-Do

성진욱**
Seong, Jin-Wook

ABSTRACT

To investigate the flexural behavior of real size RC beams strengthened with glass fiber sheets, 9 strengthened beams of real size are experimented and the results are compared with those of existing experimental studies. Experiments are considered glass fiber sheets, the number of fiber sheets, and the existence of U-wrap.

By the results of experiments, the failure behavior and crack types of real size RC beams are almost equal to those of the small size RC beams, and the debonding and not the concrete cover delamination are occurred. It can be found from the load-deflection curves that as the number of fiber sheets is increased, the ductility of real size RC beam is more decreased than that of the small size RC beam. For the strengthening method with glass fiber sheets of the real size RC beams, it can be confirmed that the finding a solution to the bonding problem is required

1. 서 론

철근 콘크리트 구조물에 대한 섬유시트 보강 공법은 건물, 교량, 터널 등 구조물 전반에 걸쳐 시공성, 안전성이 우수한 보강공법으로서 강판접착공법, 철근콘크리트 증타설공법 등의 대체공법으로서 주목되고 있다^{1,3,9}.

철근콘크리트 보에 휨 보강이 요구될 경우 섬유시트를 보의 인장측에 부착하여 필요한 내력을 확보하게 되며, 이때 섬유시트로 보강된 철근 콘크리트 보(이하 “섬유시트 보강보”)의 휨성능은 섬유시트 종류 및 섬유시트 양, 섬유시트의 정착장치, 섬유시트와 콘크리트 모체의 부착성능 등 보강시스템에 따라 다르게 산정된다^{2,4-8}.

지금까지 많은 연구 성과가 있는 작은 크기의 섬유시트 보강보와는 다르게 실험 실적이 거의 없는 실제 크기의 섬유시트 보강보에 대한 휨실험을 수행하여 그 결과를 바탕으로 섬유시트 보강보의 휨성능을 엄밀하게 파악하고자 한다.

본 연구에서는 실제크기의 섬유시트 보강보의 휨 특성을 파악하기 위하여 9개의 철근 콘크리트 보를 제작하였으며, 보강 겹수, U 밴드 유무에 따라 시험체를 구분하여 시험을 실시하였다. 섬유시트는 유리섬유를 사용하였으며, 섬유시트양의 변화에 대한 이론식의 타당성 검증을 위하여 2겹, 4겹, 6겹, 8겹의 보강겹수를 선택하였다. 그리고 U 밴드 유무에 따른 휨 성능을 비교하였다. 섬유시트 보강보의 하중-처짐 선도, 파괴형태, 콘크리트 인장성능의 고려 등을 규명하고자 보에 대한 휨 실험을 수행하였다.

* 저자1 경성대학교 건설·환경공학부 교수, 철도학회정회원

E-mail : sdkim@ks.ac.kr

TEL : (051)620-4754 FAX : (051)621-0729

** 저자2 경성대학교 토목공학과 석사과정

2. 섬유시트 보강보

섬유시트 보강보를 구성하는 재료들의 특성치는 다음 표 1과 같다.

표 1. 구성재료의 특성치

구성 재료	재료의 특성치	
콘크리트	압축강도(MPa)	30
	탄성계수(MPa)	2.64×10^4
유리 섬유 시트	인장강도(MPa)	575.8
	탄성계수(MPa)	3.22×10^4
	파괴변형률	0.0167
	설계두께(mm)	0.77
에폭시 수지	인장강도(MPa)	52.2
	압축강도(MPa)	81.1
	휨강도(MPa)	63.8
	인장전단 부착강도(MPa)	11.6

철근콘크리트 보는 400mm×600mm의 단면크기와 6,000mm 길이로 제작되었다. 모든 실험보는 전단에 의한 파괴를 방지하기 위하여 스테리프(D16)를 인장철근(D25)과 직각방향으로 전단구간에 배근하였으며, 실험보 단면과 철근 배근도를 그림 1에 나타내었다.

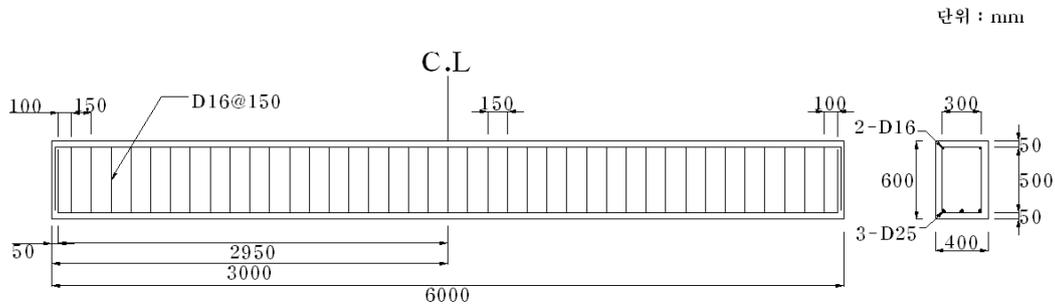


그림 1. 시험체 단면 및 철근 배근도

보강재로 사용된 유리 섬유시트를 철근콘크리트 보의 하부에 폭 150mm, 길이 5,000mm로 보강하였다. 섬유시트 보강보는 섬유시트의 정착 및 모체와의 부착거동을 향상시키기 위해 보의 양단부에 폭 500mm의 U 밴드(휨 보강용 섬유시트와 동일한 겹수 적용)를 시공한 보강보(이하 ‘U 보강보’)와 U 밴드 없이 휨 보강용 섬유시트만 부착한 보강보(이하 ‘NU 보강보’)로 구성되어있다. 그림 2는 U 보강보를 보여주고 있다.

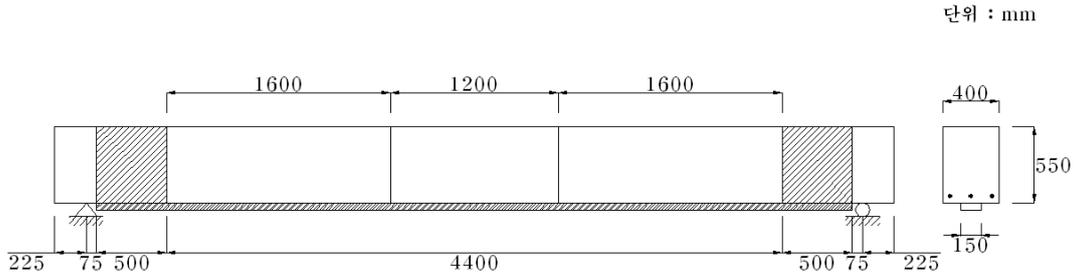


그림 2. 섬유시트 보강보의 보강상태

9개의 실험보는 1개의 control 보, 8개의 유리섬유시트 보강보로 이루어져 있으며, 다음의 기호를 사용하여 보들을 구분하였다.

CON

G-(2, 4, 6, 8)-(NU, U)

여기서, CON은 기준보(무보강)를, G는 유리섬유시트를, (2, 4, 6, 8)은 섬유시트 보강 겹수를, NU 는 U 밴드를 적용하지 않은 것, U 는 U 밴드를 적용한 것을 의미한다. 단순지지 경계조건을 만족하도록 실험보의 양쪽 단부에서 각각 100mm씩 떨어진 곳에 강제 롤러를 설치하였고, 실험보의 순지간이 5,550mm가 되도록 하였다. 하중 가력점은 실험보의 중앙에 두어 3가력(그림 3)이 되도록 실험을 수행하였다.

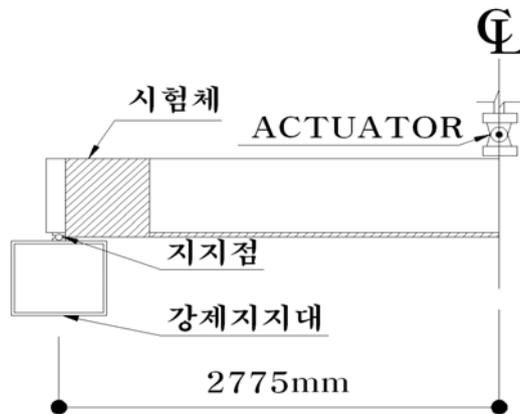


그림 3. 시험체의 설치 및 가력상황

작용하중은 2.0mm/min의 속도로 가해지며, 하중 크기는 actuator에 부착된 하중계(load cell)를 통해 측정된다. 실험보의 처짐은 보의 중앙 하부에 설치된 변위계(LVDT)를 이용하여 측정되며, 섬유시트의 인장변형률을 측정하기 위해 보의 중앙과 중앙에서 좌우로 600mm 떨어진 지점에 3개의 전기저항식 변형률 게이지를 부착하였다. 또한, 실험보의 콘크리트 압축 변형률을 측정하기 위해 콘크리트 상단에 2개의 전기저항식 변형률 게이지를 보하단 중앙에서 좌우로 설치된 섬유시트 변형률 측정 게이지와 동일한 위치에 부착하였다(그림 4 참조).

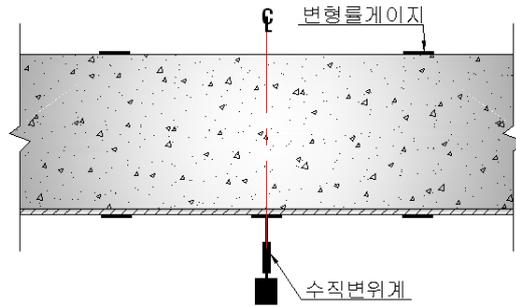


그림 4. 보 중앙부에 부착한 변형률게이지와 수직 변위계

3. 실험결과 및 분석

8개의 보들 중 G-6-NU, G-8-U 보강보가 다소 뚜렷한 파괴형태 및 균열 양상을 보여주었으며, 그림 5, 6을 통해 보강보의 초기균열 및 항복 전·후의 균열형태를 나타내었다. NU 보강보와 U 보강보 모두 초기 균열의 발생 양상은 비슷하나, 항복하중 시점에서는 NU 보강보에 비해 U 보강보에서 새로운 균열이 많이 발생하였고, 균열의 분포가 광범위하게 나타났었다. 항복이후에는, NU 보강보의 경우 시트 탈락으로 인하여 균열의 성장이 미미하였으나, U 보강보는 초기 주인장 균열들의 확대 및 성장이 확연하게 나타났으며, 재하점 부근에 압축 균열이 발생하였다.

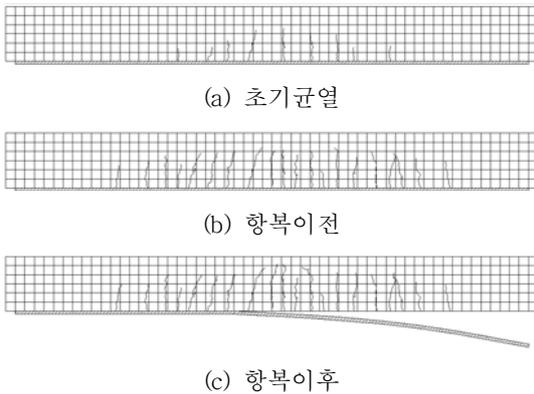


그림 5. G-6-NU의 균열양상

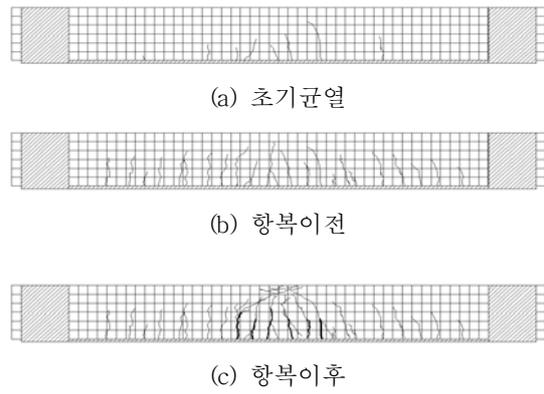


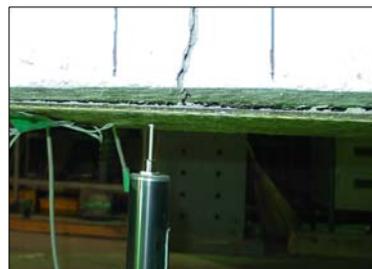
그림 6. G-8-U의 균열양상

두 보강보 모두 재하점에서 가장 가까운 위치에 있는 균열에서 콘크리트 모체와 섬유시트 사이에 계면박리가 발생하여 섬유시트 단부방향으로 박리가 진행되었지만, 박리파괴는 나타나지 않았다.

NU보강보는 항복이후 시트의 정착력 부족으로 인하여 시트가 탈락하면서 뚜렷한 균열진전이 없이 파괴되었다. 그리고 U 보강보는 U 밴드의 도입으로 인한 정착력 증가로 하중이 증가하면서 재하점 직하 콘크리트의 파쇄로 인하여 파괴되었다.



(a) G-4-NU



(b) G-4-U

그림 7. 보강보의 파괴형상

그림 7은 대표적인 G-4-NU, G-4-U 보강보의 파괴 형상을 나타낸 것으로, 그림 7 (a)의 G-4-NU는 완전한 시트탈락을 보여주며, 그림 7 (b)의 G-4-U에서는 U밴드의 효과로 인해 박리양상이 보이지만 완전히 탈락되지 않는 결과를 보이고 있다. 또한 U보강보는 박리가 진행되는 과정에서도 하중과 변위가 꾸준히 증가하는 연성적인 거동을 보이는 것으로 나타났다.

표 2는 유리섬유시트 보강보의 하중, 처짐 및 휨 강성의 실험결과를 수치적으로 나타낸 것이고, U 보강보의 경우 보강 겹수 증가에 따라 최대 하중이 증가하는 기존의 모형보 실험 결과5,7와 동일한 경향을 보였다.

표 2. 유리섬유시트 보강 실험보의 하중, 처짐 및 휨강성 실험결과

보 종류	보 강 겹수	균열이전구간			항복이전구간			항복이후구간		
		균열하중 (P_{cr} , kN)	처짐 (mm)	휨강성 (kN/mm)	항복하중 (P_{cr} , kN)	처짐 (mm)	휨강성 (kN/mm)	최대하중 (P_{cr} , kN)	처짐 (mm)	휨강성 (kN/mm)
CON	-	90.6	5.15	17.6	213.4	21.23	7.6	220.0	35.19	0.5
G-2-NU	2	86.0	3.11	27.6	216.8	15.18	10.84	241.1	38.93	1.0
G-4-NU	4	29.8	1.25	23.8	286.8	20.81	13.14	325.1	34.50	2.8
G-6-NU	6	72.5	1.97	36.8	248.7	16.52	12.11	274.8	24.38	3.3
G-8-NU	8	72.3	2.10	34.4	262.5	16.76	12.98	298.1	23.42	5.3
G-2-U	2	70.1	2.13	32.9	227.0	16.94	10.6	252.9	40.20	1.1
G-4-U	4	73.1	2.87	25.5	241.3	18.60	10.7	269.6	28.42	2.9
G-6-U	6	43.9	1.17	37.5	216.5	15.07	12.4	283.8	28.65	5.0
G-8-U	8	73.7	2.43	30.3	259.4	17.91	12.0	301.1	26.70	4.7

NU 보강보의 경우 유리 섬유시트 겹수에 따른 보강효과의 증대가 비례적으로 상승하지 않았으며, 4겹의 경우 최대하중이 325.1kN으로 6겹과 8겹보다 많은 하중을 받았다.

이는 겹수의 증가로 인한 시트의 과보강이 취성파괴를 빠르게 유도한 것으로 판단되며, NU 보강보의 경우 4겹보강 일때 오히려 효율성이 좋은 것으로 생각할 수 있다.(그림 8 참조)

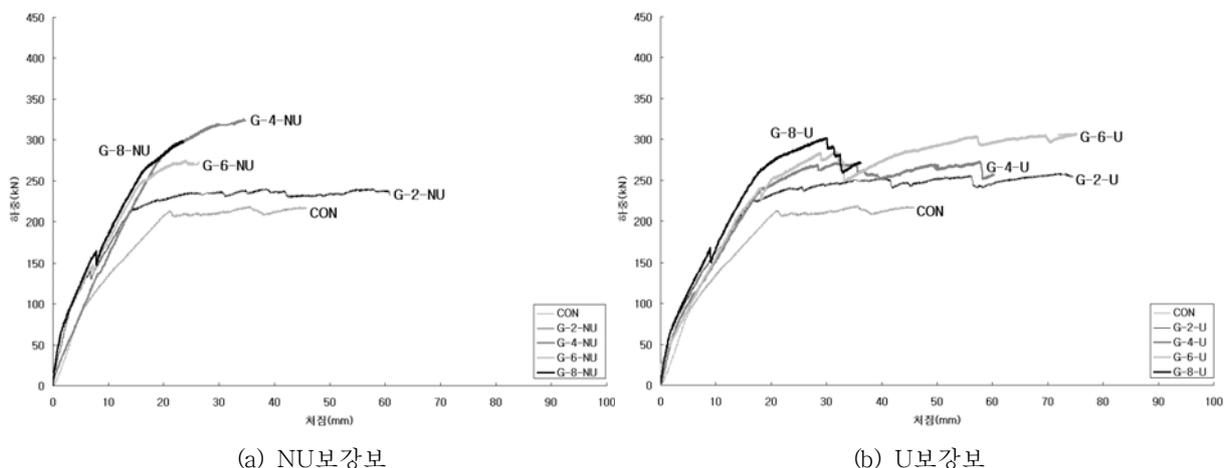


그림 8. 유리섬유시트 겹수에 따른 실제크기의 보강보의 하중-처짐 곡선

기준 시험체(CON보)와 섬유시트로 보강된 실제크기의 보의 실험에서 측정된 하중-처짐 선도를 섬유시트 겹수에 따라 그리고 U 밴드의 유무에 따라 그림 8에 나타내었다. 섬유시트 보강보의 하중-처짐 곡선은 보의 압축측에 콘크리트가 압축파괴를 일으키거나, 최대하중에 도달했을 때까지의 처짐을 도시하였다.

실험된 실제크기 섬유시트 보강보는 기준의 작은 크기의 섬유시트 보강보5,7와는 다르게 겹수 증가에 따른 연성의 감소가 더 크게 나타났으며, NU 보강보의 경우 6겹 이상, U 보강보는 8겹 이상의 보강이

과보강으로 인하여 취성거동을 보였다. U 밴드에 의하여 섬유시트의 정착력을 향상시킴으로 인해 좀 더 큰 연성을 가질 수 있는 것으로 판단된다.

항복이전구간에서 하중-처짐 선도의 기울기 감소는 인장측 콘크리트의 균열로 보강보의 휨강성이 감소하였기 때문이며, 항복이후구간에서는 철근의 항복에 의한 휨강성의 감소로 하중-처짐 선도의 기울기가 급변한 것으로 나타났다.

일반적으로 섬유시트로 보강보는 보강량이 증대될수록 연성이 작아지는 것으로 알려져 있다. 그림 9에서 보는 바와 같이 연성은 보강량이 증가됨에 따라 감소하는 추세를 보이고 있다. 유리섬유시트로 보강된 실제크기의 보는 연성 감소 추세를 확연하게 보이고 있다.

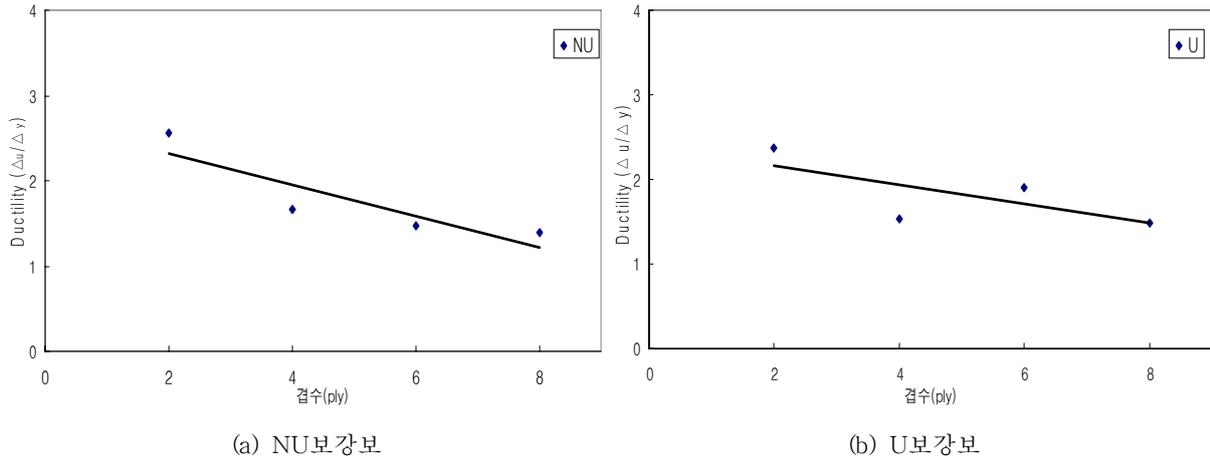


그림 9. 유리섬유시트 보강보의 보강접수에 따른 연성지수

4. 결론

지금까지 실험 실적이 거의 없는 실제 크기의 철근콘크리트 보에 유리 섬유 시트를 보강하여 휨 실험을 수행하였다. 섬유시트 종류 및 보강접수에 따른 휨성능을 확인하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. NU 보강보와 U 보강보 모두 초기 균열의 발생 양상은 비슷하나, 항복하중 시점에서는 U 보강보가 NU 보강보에 비해 새로운 균열이 많이 발생하였고, 보 전기간에 걸쳐 균등하게 나타났다. 항복하중 이후, NU 보강보는 시트 탈락으로 균열의 성장이 미미하였고, U 보강보의 경우는 재하점 하부의 주인장 균열들이 성장하고 확대되었다.
2. 두 보강보 모두 재하점 부근의 균열에서 콘크리트 모체와 섬유시트 사이에 계면박리가 발생하여 섬유시트 단부방향으로 박리가 진행되지만 박리파괴는 나타나지 않았다. NU 보강보는 항복이후 시트의 정착력 부족으로 인하여 시트가 탈락하면서 파괴되었다. 그리고 U 보강보는 U 밴드의 도입으로 인한 정착력 증가로 하중이 증가하면서 재하점 아래 압축 측 콘크리트의 파쇄로 인하여 파괴되었다.
3. NU 보강보에서 6접 이상의 섬유시트 보강은 정착력보다 접수의 증가로 인한 시트의 과보강으로 취성파괴 거동을 보였다. 따라서 오히려 4접보강 경우가 보강 효율이 적당한 것으로 판단된다. U 보강보는 8접 이상의 보강이 과보강으로 인하여 취성거동을 보였다. 그러나 U 밴드에 의하여 섬유시트의 정착력을 향상시킴으로 인해 NU 밴드보다 더 큰 연성을 가질 수 있는 것으로 판단된다. 실제보는 모형보와 달리 접수 증가에 따른 연성의 감소가 더 크게 나타났다.

참고문헌

1. 홍영균, 최완철(1995.12), “철근콘크리트 보수·보강 재료 및 공법”, 콘크리트학회지, 제7권 6호,

pp.4~13

2. 박대효, 부준성(2002.9), “밀면 및 옆면 섬유시트로 보강된 철근콘크리트보의 휨해석”, 대한토목학회논문집, 제22권, 제5-A호, pp.1045~1057
3. 최완철, 정원용(2002.9), “콘크리트 구조물의 보수·보강기술의 발전방향”, 콘크리트학회지, 제14권 5호, pp.6~8
4. 이우철, 정진환, 김성도, 조백순(2002), “탄소섬유시트 RC보의 공칭 휨모멘트 산정에 대한 실험적 연구”, 콘크리트학회, 2002년도 가을 학술발표회 논문집, 제14권 2호, pp.587~592
5. 정진환, 김성도, 조백순, 이우철(2003.9), “탄소섬유시트로 보강된 RC 보의 공칭휨모멘트 - I, 2, 실험적 연구-”, 대한토목학회 논문집, 제23권 제5A호, pp.921~929, pp.931~938
6. 박주현, 이우철, 정진환, 조백순(2003), “탄소섬유시트 보강 철근콘크리트보의 계면박리에 관한 연구”, 콘크리트학회, 2003년도 가을 학술발표회 논문집, pp.355~358
7. 서석영, 정진환, 김성도, 조백순, 박정용(2005), "유리 섬유 시트로 보강된 RC보의 휨거동 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 2005년도 가을 학술발표회 논문집, pp.161~164
8. 유영찬, 최기선, 김궁환(2005), “유리섬유시트에 의한 실물모형 RC보의 보강매수별 휨 보강효과”, 한국콘크리트학회 2005년도 가을 학술발표회 논문집, pp.177~180
9. ACI Committee 440(2000), “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, pp.79