

GSP와 CFRP 쉬트의 표면부착공법을 이용한 RC 슬래브의 보강성능 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Strengthening Performance of RC Slab
used of Surface Bonded Method of GSP and CFRP Sheet

안 기 만* 김 광 수** 박 선 규*** 이 영 재****
Ahn, Ki-Man Kim, Kwang-Soo Park, Sun-Kyu Lee, Young-Jae

Abstract

Recently, an improved capacity for RC bridges is required by their deterioration or necessary to carry traffic increase. Strengthening is known as a better way to improve capacity of bridges than reconstructing in terms of economy. The surface bonded method, which is normally used with FRP material, has some advantages related to convenient application and time-save among other strengthening methods. FRP material is light and has high tensile strength compared to steel. Therefore, this paper presents how structural capacity strengthened with CFRP sheet and Glass fiber-Steel Plate (GSP) is improved.

요 지

교량의 노후화와 교통량의 증가로 성능개선이 요구되어 질 경우, 경제적인 측면에서 신축 보다는 보수·보강을 통한 성능개선이 보다 바람직한 유지관리이다. 많은 보강공법중 시공방법의 편리와 빠른 시공 기간으로 교량의 성능향상을 위해 FRP 재료를 이용한 표면부착공법이 많이 이용되고 있다. 특히, FRP 재료는 철근보다 경량이고 인장강도는 약 10배정도 우수한 재료이다. 이를 이용한 보강성능을 평가하기 위하여 CFRP 쉬트와 GSP를 이용하여 실험을 수행하였다.

Keywords : Bonded strengthening method, CFRP sheet, Glass fiber-Steel plate(GSP)

핵심 용어 : 표면부착공법, CFRP 쉬트, GSP

* 학생회원, 성균관대학교 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 과학기술연구소 책임연구원

*** 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

**** 정회원, 국립상주대학교 토목공학과 교수

E-mail : whitesky@skku.edu 031-290-7530

• 본 논문에 대한 토의를 2007년 12월 31일까지 학회로 보내
주시면 2008년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다

1. 서 론

일반적으로 노후화, 균열, 활하중의 증가 등 여러 가지 원인에 의하여 철근 콘크리트 구조물은 원래의 성능을 다 발휘하지 못하게 되며, 내구성도 저하된다.⁽¹⁾ 특히, 차량이 이동하는 교량의 경우에는 과거에 비해 교통량이 늘어나고, 통행하중의 크기가 커짐에 따라 구조물의 성능개선을 필요로 하게 된다.⁽²⁾ 기존의 보수·보강 관련 연구가 활발히 진행되어 교량의 유지관리 측면에서의 성능개선은 신축 보다는 보수·보강이 경제적인 측면에서 장점을 갖고 있으며, 여러 가지 점에서 유리하게 되었다.⁽³⁾

단면 증설공법, 강판 보강공법, 프리스트레싱 공법, 에폭시 주입공법 등 다양한 보강재를 이용한 보강공법이 사용되어 왔다. 하지만 시공상의 불편함과 보강효과에 대한 신뢰성 저하 및 보강재의 부식에 의한 보강 성능 저하 등이 문제점으로 인식되게 되었다.⁽⁴⁾ 복합섬유(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)의 개발과 적용은 위에서 언급한 문제를 해결할 수 있는 개선된 재료로서 관심을 모으고 있다. FRP는 철근에 비해 경량인데다 인장강도는 약 10배정도 우수하며, 부식에 대한 염려가 없고, 또한 비전기·전자성 등 재료적인 장점과 함께 다양한 형태로 만들 수 있는 성형성을 가지고 있다.⁽⁵⁾ 이런 FRP의 장점에 대해 많은 연구가 이루어졌고 그 연구의 성과로 최근 일본, 유럽, 미국 등을 비롯한 선진국의 건설산업에서 FRP를 철근 콘크리트 구조물의 보수·보강에 많이 이용하고 있는 실정이다(Aprile, colotti, El-Mihilimy 등).⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 현재 국내 철근콘크리트 구조물의 보수·보강에서도 FRP 재료는 많이 이용되고 있지만, FRP 재료의 사용에 대한 전문적인 기술을 가진 보강업체가 부족하고 뚜렷한 보강기준이 제시되어 있지 않아 보강성능에 대한 신뢰성과 부실시공에 대한 문제점이 제시되고 있다.

본 연구에서는 기존의 취성적인 재료였던 고강도 유리섬유 재료의 한쪽면에 얇은 철판을 결합함으로써 고강도 유리섬유의 강도와 철근의 연성적 거동의 장점을 모두 갖고 있으며 보수·보강시 사용성이 증가되고 있는 GSP(Glass fiber-Steel composite Plate)와 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer, 이하

CRFP) 쉬트를 이용하여 표면부착공법으로 보강한 철근 콘크리트 슬래브의 실험을 통하여 보강성능에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 본 문

2.1 실험체의 제원 및 실험 변수

실험체는 총 5개를 제작하였으며, 실험체의 단면치수는 1000×300mm로 지지간 거리를 3200mm, 전체 실험체 길이는 3500mm로 제작하였다. 본 실험에서는 CFRP 쉬트와 GSP의 보강으로 인한 콘크리트 연단에서의 압축파괴를 방지하기 위하여 압축철근으로 H19 8본을 배근하였고, 인장철근으로는 H16 8본을 배근하였다. 다음의 Fig. 1, 2에 실험체의 종단면도와 횡단면도를 나타내었고, 실험변수로는 CFRP 쉬트와 GSP라는 재료와 보강량을 변수로 두었으며 Table 1에 실험체명과 실험변수를 나타내었다.

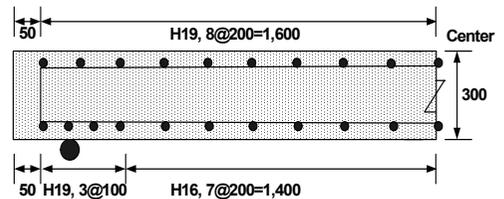


Fig. 1 실험체 종단면도(unit:mm)

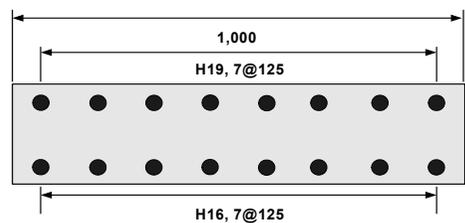


Fig. 2 실험체 횡단면도(unit:mm)

Table 1 실험 변수 및 실험체명

실험체명	보강재료	보강량
Control	-	-
FS1	CFRP 쉬트	55%
FS2	CFRP 쉬트	105%
GSP2	GSP	55%
GSP5	GSP	105%

2.2 실험체 보강

실험체와 보강재의 부착성능의 향상을 위해 실험체에 치핑기를 사용하여 부착부위의 면을 거칠게 한 후 Fig. 3에 나타난 바와 같이 실험체의 지간 중앙부 3m 길이에 걸쳐 CFRP 쉬트와 GSP를 사용하여 표면 부착공법으로 보강하였다. 실제 현장에서 보수·보강시 FRP 쉬트의 경우 겹보강을 많이 실시하므로 보강량에 따라 CFRP 쉬트는 55%와 105% 보강량으로 1겹과 2겹으로 폭 전체에 걸쳐 보강하였고, GSP의 경우는 55%와 105% 보강량으로 GSP 2개와 5개를 사용하여 보강하였으며, GSP 간격은 100mm로 하였다.

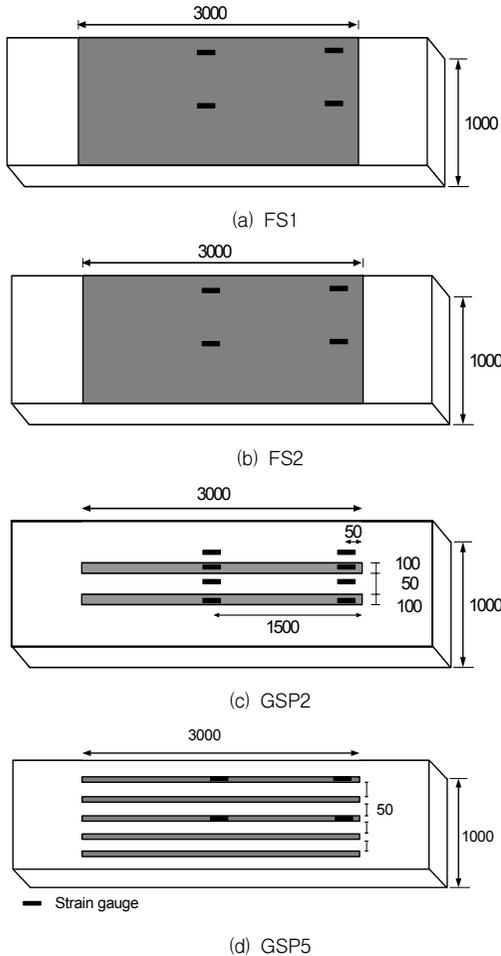


Fig. 3 보강 실험체 (unit:mm)

2.3 사용 재료

2.3.1 콘크리트

본 실험에서 사용된 콘크리트는 설계기준강도가 24MPa인 레미콘 제품을 사용하였고, 재료시험결과 나타난 재료의 성질은 Table 2와 같다. Table 2의 탄성계수는 압축강도 실험의 결과 값을 이용하여 철근 콘크리트 구조물에서 많이 사용되는 활선 탄성계수 방법으로써 구하였다.

Table 2 콘크리트 물성치

설계강도(MPa)	압축강도(MPa)	탄성계수(MPa)
24	36	2.17×10^4

2.3.2 철근

철근은 H16, H19 철근을 사용하였으며, 인장시험 결과를 이용하여 구한 항복강도와 탄성계수를 Table 3에 나타내었으며, 탄성계수는 2.0×10^5 MPa를 사용하였다.

Table 3 철근 물성치

종류	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)
H16	417	585.8
H19	423	600.8

2.3.3 보강재

보강재는 CFRP 쉬트와 GSP 2종류를 사용하였으며 재료시험결과 보강재의 재료적 성질은 Table 4에 나타내었다. GSP는 최근 많이 사용하는 FRP의 일종으로 GFRP의 밑면에 얇은 강판을 합친 재료로 GFRP와 스틸의 중간정도의 강도를 갖으며, 기존의 취성적인 GFRP에 연성적인 거동의 장점을 가진 재료이다.

Table 4 보강재 물성치

종류	두께 (mm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
CFRP 쉬트	0.11	3550	2.35×10^5
GSP	2.35	740	3.77×10^4

2.4 실험개요

양쪽 단부에서 각각 150mm 떨어진 지점에 강재 로울러를 설치하여 단순지지로 하였고, 1,000kN 용량의 실린더를 200×800mm의 재하판 위에 두고 면재하 방식으로 휨실험을 수행하였다. 보강재의 부착 위치는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 중앙부 3m 길이에 걸쳐 보강하였고, 중간지점과 보강재의 단부에서 50mm 떨어진 곳에 변형률의 변화를 계속하기 위해 변형률게이지를 설치하였다. 작용하중은 로드셀을 통하여 측정하였으며, EDX-1500A를 통해 데이터를 획득하였다. 실험체의 처짐은 보의 중앙부와 우측지점의 1/4 되는 곳에서 LVDT(변위계)를 이용하여 측정하였고, 실험체의 중립축변화를 관찰하기 위해 실험체의 중앙부 측면에 변형률게이지를 부착하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 파괴 양상

FRP를 사용하여 보강한 실험체의 일반적인 파괴 양상은 Fig. 5에 나타낸 것처럼 보통의 철근 콘크리트 구조물에서 볼 수 있는 콘크리트의 압축파괴, 휨파괴 전단파괴 이외에도 FRP의 파단으로 인한 휨파괴, 재료가 실험체에서 탈락되는 박리파괴가 있다.⁽⁷⁾ 박리파괴에도 FRP가 실험체에서 탈락의 위치와 원인에 따른 단부의 피복분리에 의한 박리파괴, 휨균열에 의해 중앙부에서부터 탈락이 발생하는 중간부 박리파괴, 휨과 전단에 의해 발생한 균열에 의해 탈락이 발생하는

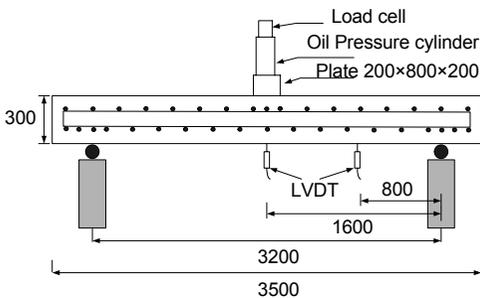


Fig. 4 재하방법 및 LVDT 설치위치(unit: mm)

박리파괴가 있다. 이러한 파괴양상중 FRP를 사용하여 보강한 실험체의 대부분은 휨균열에 의해 중앙부에서부터 재료가 탈락하는 박리파괴에 의해 지배된다. 이는 FRP 재료의 인장강도가 철근보다 약 10배이상 크기 때문에 FRP 재료가 인장파단에 도달하기 전에 보강재가 실험체에서 탈락하는 즉, 박리파괴가 먼저 발생한다.

본 실험에서 표준 실험체의 경우는 보의 중앙부에서 균열이 발생하여 균열이 서서히 상부로 진전된 후 실험체의 항복이후에 하중을 가하여도 하중의 증가 없이 처짐이 계속 증가하는 전형적인 연성적 휨파괴 양상을 보였고, CFRP 슈트와 GSP로 보강한 실험체의 경우는 중앙부에서 휨균열에 의해 중간부 탈락이 발생한 후 양쪽 끝단으로 진행되는 박리파괴가 발생하였다. CFRP 슈트의 경우는 취성적으로 한번에 박리파괴가 발생하였고 GSP의 경우는 순차적으로 GSP가 실험체에서 하나씩 떨어져 나가는 박리파괴가 발생하였다. 보강재가 실험체에서 탈락이 발생하기 직전의 CFRP 슈트와 GSP의 변형률은 인장파단 변형률에 도달하지 못한 상태였다.

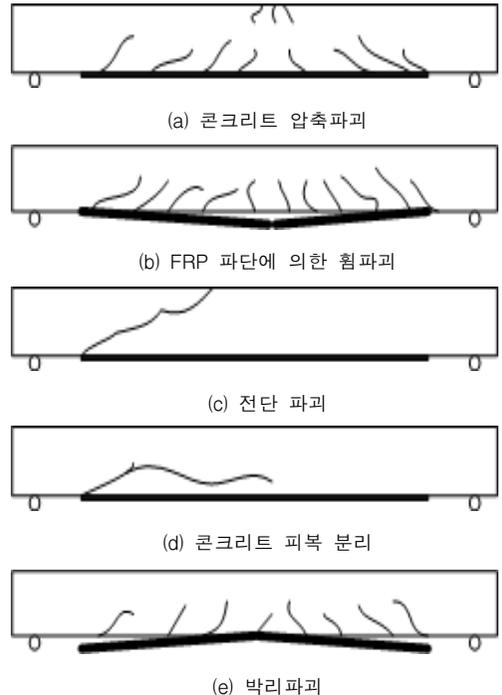


Fig. 5 파괴 양상

3.2 하중-변위 관계

3.2.1 CFRP 슈트 보강 실험체

CFRP 슈트 55%와 105%로 보강한 실험체 FS1, FS2의 하중 - 변위 관계를 Fig. 6에 각 단계별 하중을 Fig. 7에 나타내었다. 그리고 FS1과 FS2 실험체의 파괴 양상을 Fig. 8에 나타내었다.

표준실험체에 비하여 FRP 슈트로 보강한 실험체 FS1과 FS2는 동일 하중시 처짐이 10~30% 감소하는 경향을 보이고, 항복하중, 극한하중도 표준실험체에 비해 14~22% 정도 큰 것을 알 수 있다. FS1과 FS2는 이론적인 보강효과만 고려한다면 55%와 105%로 약 2배의 차이지만 Fig. 7에서도 볼 수 있

듯이 극한하중은 거의 동일함을 알 수 있다. 이는 FS2의 경우 겹보강을 한것으로 FS1과 동일 부착면적을 갖기에 나타난 결과이다.

극한하중하에서 파괴시 FS1과 FS2의 중앙부 변형률을 살펴보면 각각 재료 최대 변형률의 83%, 39%였다. 이는 보강재의 파단에 의한 것이 아니라 박리파괴에 의해 실험체가 파괴되었다는 것을 보여준다. 박리파괴가 파괴양상에 지배적이기 때문에 보강효과는 2배라도 부착면적은 동일하기에 극한하중이 같은 것이다. 처짐에 있어서는 보강량의 차이로 인해 극한 하중시의 처짐이 FS2가 FS1보다 10mm 더 작게 계속되었다.

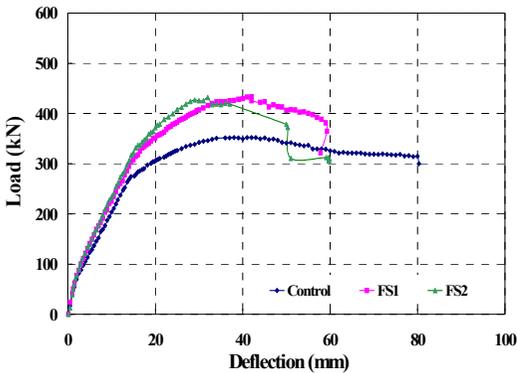


Fig. 6 CFRP 슈트로 보강한 실험체의 하중-변위 관계

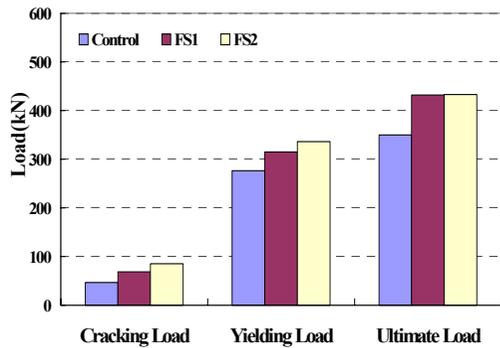


Fig. 7 CFRP 슈트 보강량에 따른 하중별 비교



(a) FS1



(b) FS2

Fig. 8 CFRP 슈트로 보강한 실험체의 파괴 모습

3.2.2 GSP 보강 실험체

표준 실험체에 비하여 55%와 105%로 보강한 GSP2와 GSP5의 실험체의 하중-변위 관계와 각 단계별 하중을 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다. 그리고 보강 실험체 GSP2와 GSP5의 파괴 양상을 Fig. 11에 나타내었다.

GSP로 보강한 실험체의 경우 표준실험체에 비하여 동일 하중시 처짐량이 4~16%가량 감소하는 경향을 보였고, 항복하중, 극한하중시에도 23~44%의 보강 효과를 보이고 있다. FRP 쉬트의 경우와 달리 GSP를 사용하여 보강한 실험체의 경우는 보강량의 차이와 함께 부착면적에서도 약 2.5배 차이가 발생하기 때문에 박리파괴에 대한 강성도 증가되어 휨성능에 대한

보강효과도 두 배 이상으로 나타났고, CFRP 쉬트로 보강한 실험체와는 달리 취성적으로 한번에 파괴가 발생하는 것이 아니라 GSP가 한개씩 순차적으로 박리 파괴가 진행되었다. GSP의 변형률을 살펴보면 실험체의 극한하중시의 변형률이 GSP2와 GSP5 모두 재료의 최대변형률의 50%로 보강재의 파단에 의한 파괴가 아닌 박리로 인한 파괴양상임을 알 수 있었다. 그 후, 실험체는 보강재의 보강기능을 상실했으므로 표준 실험체와 동일한 양상을 보였다.

3.2.3 하중 단계별 보강효과

실험체의 균열하중과 항복하중, 극한하중을 실험을 수행하여 얻은 값을 Table 5에 나타내었다.

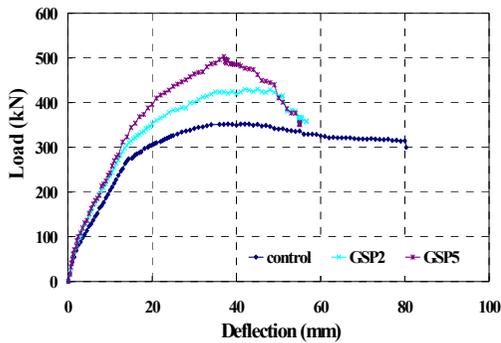


Fig. 9 GSP로 보강한 실험체의 하중-변위 관계

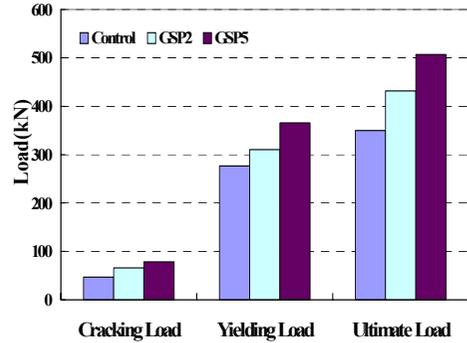


Fig. 10 GSP 보강량에 따른 하중별 비교



(a) GSP2



(b) GSP5

Fig. 11 GSP 보강 실험체의 파괴 모습

Table 5 실험체 하중별 비교

실험체명	균열하중		항복하중		극한하중		최종처짐	
	하중 (kN)	비율	하중 (kN)	비율	하중 (kN)	비율	처짐 (mm)	비율
Control	47	1	276.5	1	350	1	43	1
FS1	68.6	1.46	315	1.14	432	1.2	42	0.98
FS2	85.3	1.8	336.5	1.2	433	1.2	32.3	0.75
GSP2	65.7	1.4	310.5	1.12	431.8	1.2	45.5	0.95
GSP5	78.4	1.67	416	1.5	507	1.45	37.1	0.86

표준 실험체와 비교하였을 때 보강량이 증가할수록 균열하중, 항복하중, 극한하중 모두 증가하는 일반적인 양상을 보이고 있다. CFRP 슈트의 경우 FS1과 FS2는 보강량은 2배 차이로 항복하중까지 약 2배차이의 보강효과를 보이고 있다. 하지만, 극한하중에서는 보강재의 인장파단에 의해 파괴가 발생한 것이 아니라 박리파괴가 발생하였기에 동일 부착면적을 갖는 FS1과 FS2의 보강량의 차이에 따른 보강효과를 볼 수가 없었다.

극한하중에서는 동일 보강량에서 GSP를 사용하여 보강한 경우가 CFRP 슈트를 이용한 경우 보다 4%정도의 보강효과를 보이거나 처짐에 있어서는 CFRP 슈트가 GSP 보다 13%정도의 보강효과를 나타내었다.

4. 결 론

철근 콘크리트 슬래브의 하부에 보강 성능평가를 위하여 CFRP 슈트와 GSP로 보강된 실험체의 실험을 통해 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CFRP 슈트와 GSP로 보강한 실험체 모두 중앙부에서 휨균열이 발생한 후 그 위치에서의 콘크리트와 보강재 사이에 큰 계면응력이 작용하여 보강재가 실험체에서 탈락하는 박리파괴가 발생하였다.
- 2) CFRP 슈트 1겹으로 보강한 경우와 2겹으로 보강한 경우 보강량의 차이에 따라 균열하중과 항복하중을 지연시키고 처짐을 감소시키는 효과가 있었지만 극한하중은 같음을 알 수 있었고, GSP의 경우는 극한하중에서도 보강량의 차이에 따른 보강효과를

확인할 수 있었다.

- 3) CFRP 슈트 보다 GSP가 보강효과에서는 약 4% 정도 더 좋은 성능을 보이지만 처짐에서는 CFRP 슈트가 GSP 보다 약 13%의 더 좋은 효과를 보이고 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 건설기술기반 구축사업 05기반구축 D04-01과제('05~'08) 모형교량 상부구조물의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 정란, 이희경, 김성철, 유성훈, 김중구, "탄소섬유판으로 횡보강된 콘크리트 압축부재의 보강성능", 한국콘크리트학회지 제10권 6호, 1998, pp. 345-352.
2. 양동석, 황정호, 박선규, "강연선과 폴리머모르타르에 의해 보수·보강된 슬래브의 휨거동에 대한 실험적 고찰", 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 17, No. 2, 2005, pp. 171-177.
3. 양동석, "시멘트계열 보수재료로 보수·보강한 철근콘크리트 보의 휨 거동 특성" 성균관대학교, 1999.
4. 양동석, 박선규, 이용학, "강연선 및 탄소섬유슈트로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨거동 특성, 한국콘크리트학회 논문집, 제14권 제2호, 2002, pp. 216-222.
5. A. Aprile, E. Spacone, and S. Limkatanyu., "Role of bond in RC beams strengthened with steel and FRP plates." Journal of Engineering Mechnincs, ASCE, 127(12), 2002, pp. 1445-1452.
6. V. Colotti and G. Spadea, "Shear strength of RC beams strengthened with bonded steel or

FRP plates." Journal of Structural Engineering, ASCE, 127(4), 2001, pp. 367-373.

7. M. El-Mihilmy and J. W. Tedesco., "Analysis of reinforced concrete beams with bonded steel or FRP plates." Journal of Structural

Engineering, ASCE, 127(4), 2000, pp. 684-691.

(접수일자 : 2007년 1월 12일)