

|| 합성구조의 최근 기술 ||

섬유 보강 폴리머 합성구조의 기술동향 - Technical Trends of Composite Structures with FRP -



정상모*
Sang-Mo, Jeong

1. 머리말

FRP(Fiber Reinforced Polymer)가 건설 분야의 신소재로 활용되기 시작한 1980년대 이후, 범세계적으로 이에 대한 관심이 고조되었고 많은 연구가 진행되어왔다. 국내에서도 FRP가 1990년대 중반부터 기존 구조물의 보수·보강에 시도된 이래, 그 활용 빈도가 폭발적으로 증가하고 있다. 외국에 비해 다소 늦었던 신설구조에 대한 적용에서도 이미 FRP 교량 바닥판을 개발하였으며, 최근에는 소형교량의 상부구조를 FRP로 제작 설치한 바 있다³⁾. 우리 「콘크리트학회지」에서도 FRP에 대하여 2000년 11월호에 특집으로 다양한 관점에서 심층적으로 논의하였으며, 학회 논문집에서도 이에 관한 연구가 상당부분을 차지하고 있는 실정이다.

FRP의 구조적인 활용형태를 구분하면, ① 기존 구조물에 대한 보수·보강, ② 신설 구조물에서 일부 구조부재의 대체, ③ 구조물 전체를 FRP로 축조하는 것으로 대별할 수 있다. 이에 대한 사례로서 한국건설기술연구원에서 2002년도부터 교량에 관한 5개년 장기 연구과제로 수행하고 있는 ④ 노후교량의 성능향상 기술개발, ⑤ 장수명 합리화 바닥판 개발, ⑥ 승용차전용 도심 고가도로 개발 과제들은 각각 위의 활용형태 ①, ②, ③에 해당한다. 위의 연구개발과제에 대한 연구보고서를 참조하면 FRP관련 제반 기술현황 및 향후전망에 관하여 총체적으로 파악할 수 있다.^{1,2)}

본고에서는 이번 호 특집의 한 주제로서 FRP 합성구조에 초점을 맞추어 2000년대 이후 최근의 신기술 및 연구동향을 기술하

고자 한다. 이러한 관점에서 기존 구조물에 대한 보강이나, 신설 구조물에서 일부 FRP 부재로의 대체는 합성작용을 전제로 함으로 본고의 논의대상이 된다. 그러나 소재로서 FRP 자체에 대한 것이나, 전체구조물의 FRP 활용사례는 다른 구조재료와의 합성에 직접적인 관계가 적으므로 제외하였다.

2. 구조물에 대한 보수·보강

FRP의 기존구조물에 대한 보수·보강공법은 시트/판, 패널, 띠 형태의 FRP를 기존 구조물의 표면에 부착하는 외부부착공법이 주종을 이룬다. 이외의 보강공법에는 기존 구조물 표면에 홈을 내거나 표면처리 후 봉(rod) 또는 격자(grid) 형태로 내부에 보강하는 NSM(Near Surface Mount) 공법이 있다.

2.1 외부부착 공법

외부부착공법의 적용에는 ① 보와 슬래브에 대한 휨 및 전단보강, ② 기둥 등의 압축부재에 대한 시트, 띠 형상의 감싸기(wrapping) 또는 재킷(jacket) 형상 보강, ③ 보-기둥 연결부 보강 등이 있다.

FRP 외부부착 보강은 기존 구조물과의 합성작용에 의해 효력을 발휘하며, 이때 기술적인 주요 문제점은 계면(interface)에서의 부착파괴이다. 이러한 부착파괴에 대하여 현재까지 크게 두 가지 방향으로 연구가 진행되어왔다. 첫째는 부착파괴를 방지하거나 부착성능을 개선하고자 하는 공법적인 연구이며, 다른 하나는 계면에서의 응력분포분석, 부착파괴의 파괴모드, 지지능력평

* 정회원, 한동대학교 공간시스템공학부 교수

가 등에 대한 해석적인 연구이다.

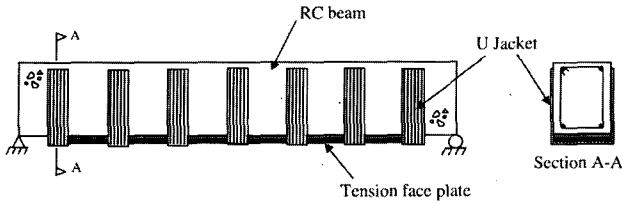


그림 1. FRP의 인장면 보강과 단부 부착파괴를 방지하기 위한 U형 재킷의 복합적 활용

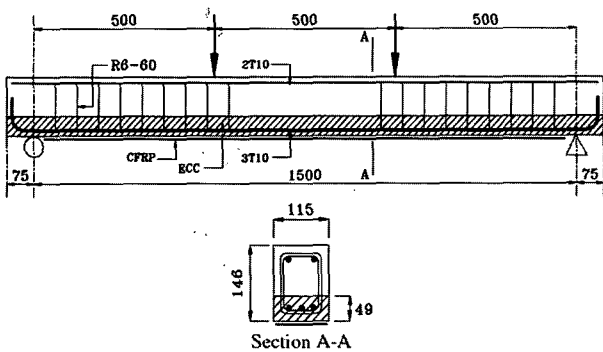


그림 2. 시험체 기하형상과 보강 상세

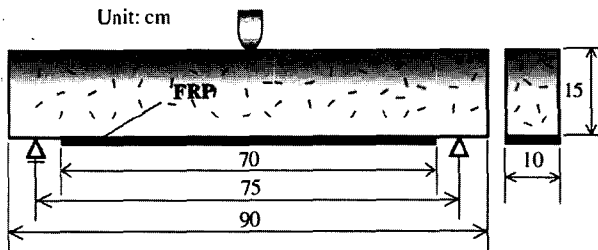


그림 3. 전단면 섬유보강 콘크리트에 FRP 외부부착

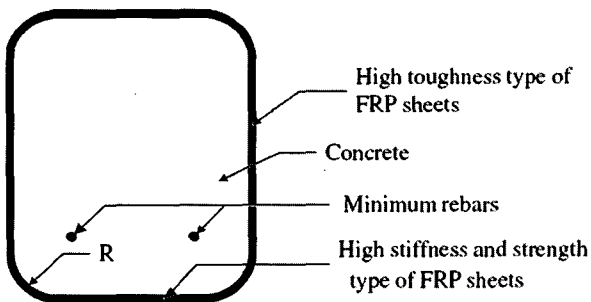


그림 4. 혼합적인 FRP로 외부 부착된 콘크리트 보

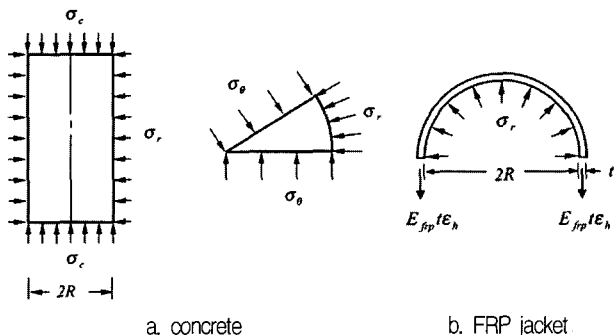


그림 5. FRP 재킷의 콘크리트에 대한 구속 작용

2.1.1 성능개선 공법연구

부착성능을 개선하기 위하여 다양한 신기술 신공법이 연구 개발되었으며 그중 몇 가지 예를 들면 다음과 같다.

우선적으로 휨 보강용 FRP와의 접착면 단부 등 전단응력이 집중되어 부착파괴가 우려되는 부위를 FRP로 감싸는 공법이 있다. 이러한 기본 개념을 토대로 세부적인 배치에 대한 여러 아이디어들이 제안되었으며, 그중 하나를 제시하면 <그림 1>과 같다⁴⁶⁾. 같은 개념으로서 FRP를 부착할 콘크리트에 홈을 내어 FRP 단부를 삽입하는 안도 제안된 바 있다.

부착성능을 개선하기 위하여 접착단면의 일부 또는 전부를 일반 콘크리트가 아닌 섬유보강콘크리트(FRC-Fiber Reinforced Concrete)를 사용하는 공법도 제시되었다. <그림 2>에서 빗금 부분은 FRC를 나타내며, <그림 3>에서는 내부단면이 모두 FRC이다.^{20,42)}

기존 구조물의 보강개념은 아니지만 <그림 4>와 같이 철근콘크리트 보의 모든 표면을 Hybrid-FRP로 완전히 감싸서 외부 부착한 합성형 구조부재도 발표되었다.²²⁾

이외에도 접착제로서 파괴인성이 큰 고무개량수지(rubber modified resin)를 사용하여 단부의 응력집중 현상을 완화하므로 부착파괴를 방지하기 위한 방안이 제시하기도 하였다.^{25,47)}

기타의 성능개선으로써 보강공사의 긴 양생시간에 따른 경제적 손실을 막기 위하여 자외선(UV-ultra violet) 양생으로 1시간 동안에 소기의 성능을 발휘할 수 있는 기법이 제안되었다.^{26,48)} 또한 길이를 짧게 자른 섬유(chopped fiber)를 활용한 뿔은 섬유(sprayed fiber)를 사용하는 손쉬운 보강공법 등도 제안되었다.³⁶⁾ 계면의 부착파괴 문제점을 원천적으로 해결하는 방안으로 FRP 단부를 정착하되, 중앙부에서는 아예 비부착하는 공법이 최근에 국내에 개발되기도 하였다.^{10,11)}

기둥의 보강효과는 FRP 자체의 직접적인 지지능력 보다는 주로 FRP의 구속효과에 의한 극한강도증가 및 내진성능 향상에 있다^{4,12,14,45)}. <그림 5>는 압축부재의 보강에서 구속효과를 보여주고 있다. 최근에는 팽창성 그라우트를 사용하여 FRP를 부착하므로 그라우트의 팽창에 의해 FRP가 프리스트레스를 받아 접착효과와 구속효과를 증가시키는 신공법이 소개되었다.^{40,43)}

2.1.2 거동해석 연구

FRP의 외부부착공법 도입 초기에는 실험결과를 토대로 계면파괴에 대한 거시적인 파괴모드와 지지능력을 추정하였으며, 정밀한 해석은 불가능하였다.

이후 현재까지 계면파괴에 대한 해석 및 거동평가에 대한 연구가 지속되고 있으며, 이러한 연구의 결실로 이제는 신뢰도 높은 정밀해석이 가능해졌다.^{6,8,9,13,15,17,19,21,23,24,27,29)}

계면의 거동해석에 대한 최근의 연구사례를 열거하면, ① 계면의 부착파괴에 대한 해석 모델링 개발, ② 다양한 정밀 FEM 해

석기법개발, ③계면파괴실험의 통계자료에 대한 확률적 분석 평가, ④기타 내열실험, 피로실험 등에 의한 특성평가 등이 있다.

또한 FRP 부재내부 및 계면에서의 응력을 측정할 수 있는 광섬유(fiber optic) 센서의 정착기법들이 발표되고 있으며, SI(system identification) 기법에 의한 성능평가 관련 연구도 수행되어왔다.

2.2 NSM 공법

FRP 외부부착에 따른 계면부착파괴의 문제점 해결방안으로 부착표면을 증가시키는 NSM 공법이 개발되었다. 최근 국내에서는 NSM 공법의 장점을 최대한 활용하면서도, FRP 재료의 취성과 파괴를 피하여 연성과파괴로 개선할 수 있는 부분 비부착 공법을 연구하여 신기술을 획득한 바 있다. 이의 기본개념은 <그림 6>과 같이 단부의 소요길이 만큼만 부착정착하고 중앙부는 비부착하므로 강재보강과 대등한 연성을 구현할 수 있음을 실험 및 해석을 통하여 밝혔다.^{16,18)}

3. 신설 구조물에서의 FRP 합성

신설 콘크리트구조에서의 FRP 활용방안으로는 우선적으로 보강철근의 대체재로서 철근(bar) 또는 격자(grid) 형태로 사용되었다. 또한 FRP의 고강도를 효율적으로 활용할 수 있는 프리스트레싱 긴장재로 사용되었다.

여기에서는 위와 같은 강재보강 대체재의 경우는 제외하고, ① 거푸집 기능의 FRP에 콘크리트를 타설한 합성형 구조부재와, ② 순수 FRP 부재를 타 재료의 구조부재와의 연결에 의한 합성으로 구분하여 논하고자 한다.

3.1 콘크리트와의 합성구조 부재

FRP와 콘크리트의 합성구조 부재에는 현재로는 주로 원형 FRP Tube에 콘크리트를 타설한 파이프 등의 압축부재의 활용이 주종을 이룬다. 이때 FRP는 거푸집의 및 보강재로 작용하므로 이상적인 합성부재이며, 이러한 원형 합성부재는 휨모멘트를 받는 보로 활용되기도 한다. <그림 7~9>는 이러한 원형 합성부재로서 각각 순수 압축, 압축과 휨, 순수 휨을 받는 사례를 보여주고 있다.^{32,44)} 이러한 원형 합성부재에서 내부 콘크리트를 충전할 때 다짐이 필요 없는 자체압밀콘크리트(SCC, self consolidating concrete)를 사용한 원형 합성구조 압축부재도 발표된 바 있다.²⁴⁾

합성형 부재로서 <그림 10>과 같이 H형상을 갖는 FRP 부재의 압축 측에 콘크리트를 타설하여 합성한 부재를 개발하여 실험한 연구가 발표되었다.³⁸⁾

합성형 교량 상부구조로서 박스형 거더에 바닥판 콘크리트를

타설한 합성구조가 <그림 11>과 같이 제안되었다.³¹⁾

3.2 FRP 부재의 합성연결

현재 가장 활발히 연구가 진행되면서 활용성이 높은 FRP 구조

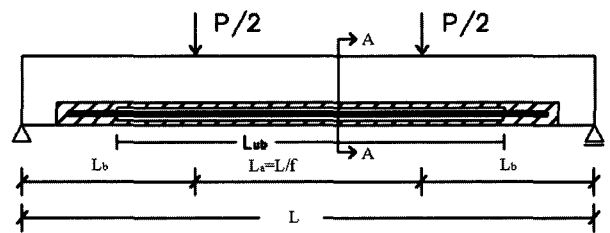
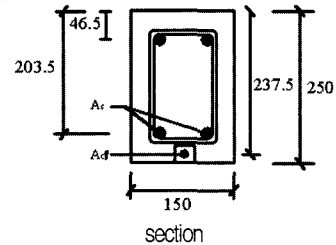


그림 6. NSM에 의한 부분 비부착 보강공법

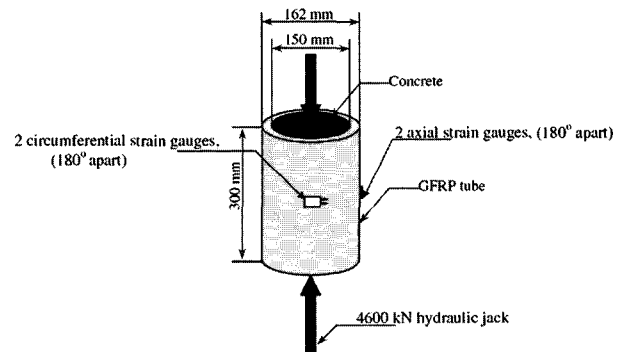


그림 7. 원형 합성 부재의 압축실험

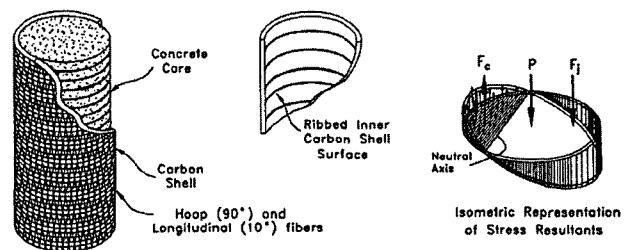


그림 8. 원형 합성 부재의 압축 및 휨 거동

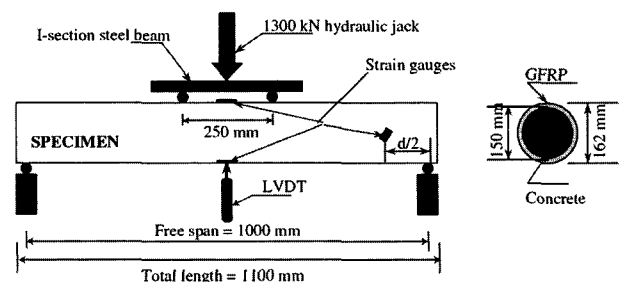
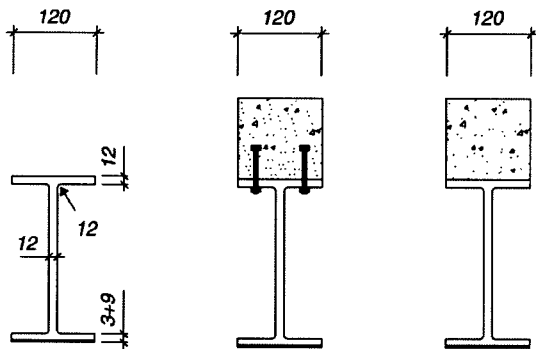
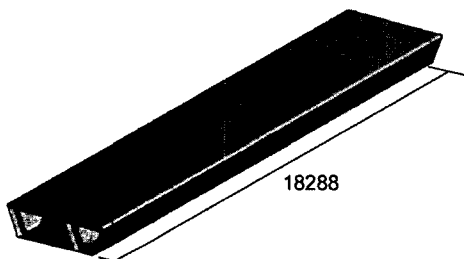


그림 9. 원형 합성 부재의 휨하중 재하 실험

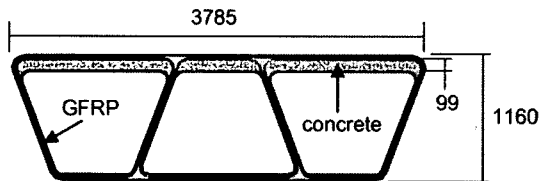
부재로는 교량의 바닥판이 있다. 이는 교량의 바닥판이 갖은 교체가 요구되는 단위부재로서, FRP의 특성인 가볍고 내구성이 높으며 고강도로서 FRP의 활용에 적합하기 때문이다. 이렇게 개발된 FRP 바닥판과 기존의 강재 또는 PSC 거더와 연결방법도 연구되고 있으며 그 사례를 <그림 12>에 나타내었다¹⁾. 거더는 바닥판과의 합성에 의해 그 단면성능이 증가하는데, FRP 바닥판을 사용한 경우에도 이러한 합성효과의 평가에 대한 연구도 수행된 바 있다.



a. beam A b. beam B c. beam C
그림 10. FRP 부재와 압축 콘크리트를 합성한 부재 사례



a. overall configuration



b. cross section

그림 11. Hybrid FRP-concrete 교량 상부구조

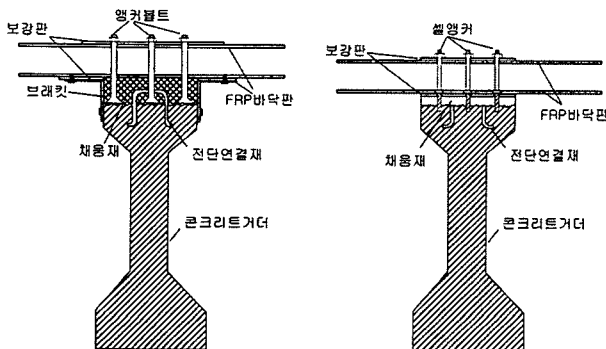


그림 12. FRP 교량 바닥판과 PSC 거더의 연결

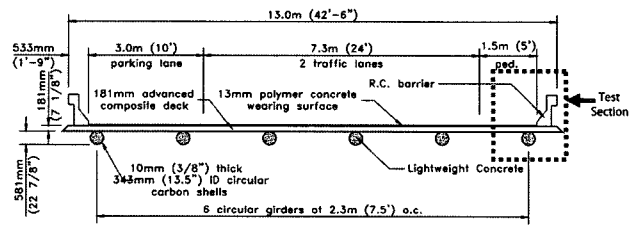
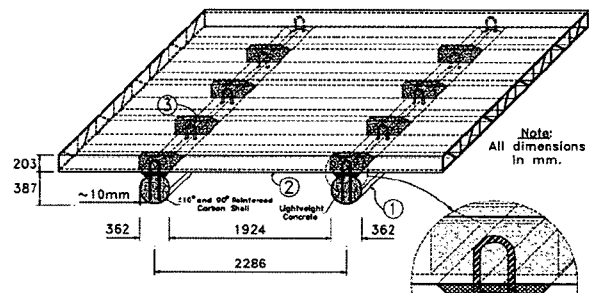
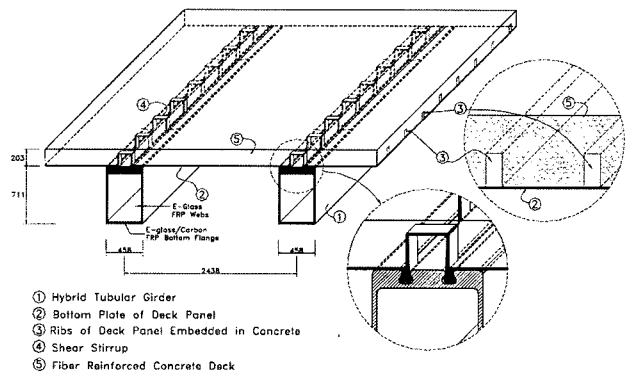


그림 13. FRP 바닥판과 원형 합성 빔의 소형교량단면 사례1



- ① Concrete Filled Carbon Shell Girder
- ② Advanced Composite E-glass Deck
- ③ Shear Connector

그림 14. FRP 바닥판과 원형 합성 빔의 소형교량단면 사례2



- ① Hybrid Tubular Girder
- ② Bottom Plate of Deck Panel
- ③ Ribs of Deck Panel Embedded in Concrete
- ④ Shear Stirrup
- ⑤ Fiber Reinforced Concrete Deck

그림 15. Hybrid tube bridge system 사례

소형 교량의 FRP 바닥판과 원형 FRP 합성부재를 연결한 교량단면의 개발 사례들이 있으며 그중에는 <그림 13>과 <그림 14> 등이 있다.^{27,28,39)}

합성구조 단면의 다른 개념으로서 바닥 슬래브 재료로 FRC를 사용하고 FRP 구조부재를 거더로 합성한 개발사례가 <그림 15>에 제시되어 있다. 기타 FRP 구조부재를 다른 재료의 구조와 합성 연결한 사례로서 이미 사장교 또는 현수교의 지지 케이블로 사용되기도 한다.

4. 맺음말

본고에서는 FRP 합성구조에 대한 신기술을 개략적으로 기술하였다. 이상과 같이 FRP는 그 다양성이 장점인 반면 통일된 설계기준 적용이 곤란한 문제점으로 지적되고 있다. 일부 보강에 대하여 ACI 440이나 유럽 Code 등에 설계지침형식으로 제정되었을 뿐, 아직은 국내에서는 보수보강, 신설구조 모두 설계기준이

미흡한 실정이다. 하지만 가까운 장래에 FRP 관련 연구의 축적으로 공감대가 형성되면, 우리도 FRP에 대한 설계기준의 제정이 가능할 것으로 예상된다.^{5,7,33,41)}

그동안 FRP 활용의 현실적인 장애요인이었던 경제성 면에서도 우수한 내구성을 고려한 생애주기비용을 기준으로 평가하면 이제 어느 정도 경쟁이 가능한 수준에 올라왔다. FRP는 이제 더 이상 건설 분야의 신소재가 아니며, 생산기술의 획기적인 발달과, 중국 등의 저렴한 생산기반시설, 건설시장의 수요증가추세 등을 감안할 때 수년 이내에 경제적인 일상화된 구조재료로 자리매김할 전망이다. □

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "장수명 합리화 바닥판 개발(II)", 연구보고서, 2002, 2003.
2. 한국건설기술연구원, "노후 교량의 성능향상 기술 개발", 연구보고서, 2002.
3. 지효선, 손병직, 천경식, 장석운, "복합신소재 소형교량 상부구조의 특성 및 현장적용성", 대한토목학회 논문집, 24권 6A호, 2004, pp.1137~1144.
4. 최영민, 황윤국, 권태규, 김정호, "FRP 보강내용에 따른 기존 원형 교각의 내진보강 효과 고찰", 대한토목학회 논문집, 24권 6A호, 2004, pp.1167~1172.
5. 정우태, 박종섭, 유영준, 박영환, "탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보의 추가강도 감소계수에 대한 연구", 대한토목학회 논문집, 24권 6A호, 2004, pp.1193~1202.
6. 조근희, 조정래, 이영호, 김병석, "FRP-콘크리트 계면의 파괴 역학적 부착 보틀", 대한토목학회 논문집, 24권 4A호, 2004, pp.653~662.
7. 강성후, "섬유보강에포시판넬을 이용한 철근콘크리트 구조물의 보강 설계", 대한토목학회 논문집, 24권 3A호, 2004, pp.573~584.
8. 염광수, 이영호, 박영준, 이학은, "탄소섬유시트(CFS)로 보강된 콘크리트의 거동", 대한토목학회 논문집, 24권 2A호, 2004, pp.259~266.
9. 양동석, 공병순, 박선규, 유영찬, "콘크리트와 탄소섬유판 계면의 본드-슬립모델 산정", 한국콘크리트학회 2004년도 가을 학술발표회 논문집, Vol.16 No.2, 2004, pp.635~638.
10. 박종섭, 박영환, 정우태, 신재민, 정대성, 김철영, "외부 긴장 보강을 위한 탄소섬유 복합재료용 썬기형 정착구 거동", 한국콘크리트학회 2004년도 가을 학술발표회 논문집, Vol.16 No.2, 2004, pp.477~480.
11. 유영준, 박종섭, 박영환, 정우태, 강재운, "외부긴장 보강을 위한 CFRP판의 정착부 거동 실험", 한국콘크리트학회 2004년도 가을 학술발표회 논문집, Vol.16 No.2, 2004, pp.17~20.
12. 권태규, 최영민, 황윤국, 윤순중, "기존 원형교각의 내진성능 향상을 위한 FRP 보강에 대한 이론적 연구", 콘크리트학회 논문집, Vol.16 No.1, 2004, pp.61~69.
13. 조정래, 조근희, 방영환, 김병석, "수치 모델을 사용한 콘크리트-FRP 부착면의 거동 특성", 한국콘크리트학회 2003년도 가을 학술발표회 논문집, Vol.15 No.2, 2003, pp.219~222.
14. 황윤국, 윤순중, 김정호, 최영민, 박경훈, 권태규, "기존 교각의 FRP 원통관을 이용한 내진보강의 실험연구", 한국콘크리트학회 2003년도 봄 학술발표회 논문집, Vol.15 No.1, 2003, pp.973~978.
15. 조근희, 조정래, 김병석, 이영호, 진원중, 김성태, "FRP-콘크리트 계면의 부착모델 I : 이론적 연구", 한국콘크리트학회 2003년도 봄 학술발표회 논문집, Vol.15 No.1, 2003, pp.853~858.
16. 정상모, 이차돈, 원종필, 황윤국, 김정호, "FRP보강관을 이용한 표면매립 및 단면확대공법의 실험적 성능평가", 한국콘크리트학회 2003년도 봄 학술발표회 논문집 : Vol.15 No.1, 2003, pp.549~554.
17. 심종석, 오홍섭, 최장환, 김언경, "성능향상된 교량 바닥판의 확률론적 해석 및 수명연장 분석", 콘크리트학회 논문집, Vol.15 No.5, 2003, pp.635~342.
18. 이차돈, 정상모, 원종필, 이승환, "부분 비부착 NSM Hybrid FRP 보강관에 의한 철근콘크리트보의 연성보강", 콘크리트학회 논문집, Vol.15 No.1, 2003, pp.143~135.
19. X. Z. Lu, L. P. Ye, J. G. Teng, J. J. Jiang, "Meso-scale finite element model for FRP sheets/plates bonded to concrete," Engineering Structures, accepted Nov. 2004.
20. M. Maalej, K. S. Leong, "Engineered cementitious composites for effective FRP-strengthening of RC beams," Composites Science and Technology, accepted Nov. 2004.
21. M. Maalej, K. S. Leong, "Effect of beam size and FRP thickness on interfacial shear stress concentration and failure mode of FRP-strengthened beams," Composites Science and Technology, accepted Nov. 2004.
22. Zhishen Wu, Wenxiao Li, Naoki Sakuma, "Innovative externally bonded FRP/concrete hybrid flexural members," Composite Structures, Dec. 2004.
23. Bo Gao, Christopher K. Y. Leung, Jang-Kyo Kim, "Prediction of concrete cover separation failure for RC beams strengthened with CFRP strips," Engineering Structures 27, 2005, pp.177~189.
24. H. El Chabib, M. Nehdi, M.-H. El Naggar, "Behavior of SCC confined in short GFRP tubes," Cement & Concrete Composites 27, 2005, pp.55~64.
24. L. Ascione, V. P. Berardi, L. Feo, G. Mancusi, "A numerical evaluation of the interlaminar stress state in externally FRP plated RC beams," Composites : Part B 36, 2005, pp.83~90.
25. Bo Gao, Jang-Kyo Kim, Christopher K. Y. Leung, "Experimental study on RC beams with FRP strips bonded with rubber modified resins," Composites Science and Technology 64, 2004, pp.2557~2564.
26. Guoqiang Li, Amanuel Ghebreyesus, "Fast repair of damaged RC beams using UV curing FRP composites,"



- Composite Structures, Oct. 2004.
27. Rebecca Atadero, Luke Lee, Vistasp M. Karbhari, "Consideration of material variability in reliability analysis of FRP strengthened bridge decks," Composite Structures, Sept. 2004.
 28. Thomas Keller, Herbert Gürtler, "Quasi-static and fatigue performance of a cellular FRP bridge deck adhesively bonded to steel girders," Composite Structures, Sept. 2004.
 29. Huy Pham, Riadh Al-Mahaidi, "Assessment of available prediction models for the strength of FRP retrofitted RC beams," Composite Structures 66, 2004, pp.601~610.
 30. Abhijit Mukherjee, Mangesh Joshi, "FRPC reinforced concrete beam-column joints under cyclic excitation," Composite Structures, Aug. 2004.
 31. Amjad J. Aref, Yasuo Kitane, George C. Lee, "Analysis of hybrid FRP-concrete multi-cell bridge superstructure," Composite Structures, Jul. 2004.
 32. Yutian Shao, Amir Mirmiran, "Nonlinear cyclic response of laminated glass FRP tubes filled with concrete," Composite Structures 65, 2004, pp.91~101.
 33. Oded Rabinovitch, "Fracture-mechanics failure criteria for RC beams strengthened with FRP strips-a simple approach," Composite Structures 64, 2004, pp.479~492.
 34. Q. S. Yang, X. R. Peng, A. K. H. Kwan, "Finite element analysis of interfacial stresses in FRP-RC hybrid beams," Mechanics Research Communications 31, 2004, pp.331~340.
 35. H. Yuan, J. G. Teng, R. Seracino, Z. S. Wu, J. Yao, "Full-range behavior of FRP-to-concrete bonded joints," Engineering Structures 26, 2004, pp.553~565.
 36. H. K. Lee, L. R. Hausmann, "Structural repair and strengthening of damaged RC beams with sprayed FRP," Composite Structures 63, 2004, pp.201~209.
 37. Alessandra Aprile, Andrea Benedetti, "Coupled flexural-shear design of R/C beams strengthened with FRP," Composites: Part B 35, 2004, pp.1~25.
 38. Håkan Nordin, Björn Täljsten, "Testing of hybrid FRP composite beams in bending," Composites: Part B 35, 2004, pp.27~33.
 39. Lei Zhao, V. M. Karbhari, G. A. Hegemier, F. Seible, "Connection of concrete barrier rails to FRP bridge decks," Composites: Part B 35, 2004, pp.269~278.
 40. J. Li, M. N. S. Hadi, "Behaviour of externally confined high-strength concrete columns under eccentric loading," Composite Structures 62, 2003, pp.145~153.
 41. Antonio Nanni, "North American design guidelines for concrete reinforcement and strengthening using FRP: principles, applications and unresolved issues," Construction and Building Materials 17, 2003, pp.439~446.
 42. J. Yin, Z. S. Wu, "Structural performances of short steel-fiber reinforced concrete beams with externally bonded FRP sheets," Construction and Building Materials 17, 2003, pp.463~470.
 43. Ali A. Mortazivi, Kypros Pilakoutas, Ki Sang Son, "RC column strengthening by lateral pre-tensioning of FRP," Construction and Building Materials 17, 2003, pp.491~497.
 44. Amir Fam, Sami Rizkalla, "Large scale testing and analysis of hybrid concrete/composite tubes for circular beam-column applications," Construction and Building Materials 17, 2003, pp.507~516.
 45. Chin-Tung Cheng, Jyh-Csyang Yang, Yeong-Kae Yeh, Shen-En Chen, "Seismic performance of repaired hollow-bridge piers," Construction and Building Materials 17, 2003, pp.339~351.
 46. Ninoslav Pešić, Kypros Pilakoutas, "Concrete beams with externally bonded flexural FRP-reinforcement: analytical investigation of debonding failure," Composites Part B 34, 2003, pp.327~338.
 47. Bo Gao, Jang-Kyo Kim, Christopher K. Y. Leung, "Effect of rubber modifier on interlaminar fracture toughness of CFRP-concrete interface," Composites Science and Technology 63, 2003, pp.883~892.
 48. Guoqi Li, Scott Hedlund, Su-Seng Pang, Walid Alaywan, John Eggers, Christopher Abadie, "Repair of damaged RC columns using fast curing FRP composites," Composites: Part B, 2003, pp.261~271.

신간소개 : 콘크리트의 재활용

◆ 소개

: ... 이 시리즈는 그간 각 분야별로 학회지 특집기사에 참여한 전문가들의 경험과 축적된 연구결과 및 국내외에서 개발된 각종 기술 등에 대하여 체계적이고 깊이 있는 내용을 수록하고 있어 관련분야에 종사하는 실무자나 학생들에게 매우 유익한 도서가 될 것이다.

- 저 자: 한국콘크리트학회
- 출판사: 기문당
- 발행일: 2004년 12월 30일
- 정 가: 14,000원(회 원: 12,000원)
- ISBN: 89-7086-632-9
- 총쪽수: 230 쪽(판형: B5)

