

외부 프리스트레스트 판소설유판에 의한 구조 보강공법

Strengthening of Reinforced Concrete Structures using Externally Prestressed CFRP plates



박 선 규*



유 영 찬**

*성균관대학교 토목환경공학과 교수
**한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원

1. 서 론

콘크리트 구조물에 대한 보강공법은 1950년도에 개발된 강판보강공법을 위시로 하여 강연선에 의한 외부프리스트레싱 공법으로 발전하고 있으며, 약 10년전부터는 신소재인 FRP(Fiber Reinforced Polymer)에 의한 보강공법이 본격적으로 개발되어 실용화되고 있다.

강판보강공법은 애폭시 등의 접착제를 이용하여 콘크리트 인장축에 강판을 접착함으로써 강도 및 강성을 증가시키는 공법으로 강판을 보강재로 이용함으로써 공법에 대한 인지도가 높은 장점이 있는 반면, 재료의 가공 및 취급이 어려우며 중량이 커 자중이 증가되는 단점이 있다. 또한, 강재의 부식위험이 상존하고 있어 이에 대한 세심한 배려 및 주기적인 유지관리를 필요로 한다.

외부 프리스트레싱 공법은 강연선을 이용하여 작용하중의 반대방향으로 프리스트레스를 도입함으로써 적재하중은 물론 고정하중에 대해서도 보강이 가능한 공법으로 구조물의 처짐 및 균열제어 등의 사용성 측면에서 유리할 뿐만 아니라 극한 설계내력을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

FRP에 의한 보강공법은 재료 자체의 고강도, 높은 강도/중량비, 피로 및 부식에 대한 높은 저항성 등의 특징으로 인하여 최근에 새로운 보강재료로서 각광을 받고 있다. 이 중에서 쉬트형의 FRP 보강공법은 현장가공형으로 재료의 설계강도를 충분히 이용할 수 있는 반면, 통기·통수성의

부족 및 현장에서의 품질관리의 어려움으로 인하여 적용성이 저하되고 있는 추세이다. FRP Plate형 보강공법이 개발되었으나, 상대적으로 작은 폭/두께 비로 인하여 보강재료가 설계강도에 이르기 전에 초기에 박리파괴되는 단점을 지니고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 현재 구조물의 보강공사에 적용되고 있는 공법은 각각 고유의 기술적인 장·단점을 지니고 있으며, 이러한 기존공법의 장·단점 분석을 통하여 요구되는 새로운 보강공법은 다양한 산업분야에서 개발된 기술의 융합(Fusion)을 통하여 신소재, IT(Intelligence Technology)기술을 응용할 뿐만 아니라 효율적인 관리가 용이하고 경제성이 우수하며, 안전 및 사용성 측면에서 방해를 최소화할 수 있어 곧 바로 사용이 가능한 공법의 개발이 필요하다고 하겠다.

2. 보강 기술동향

철근콘크리트 건축물의 보강공사에 일반적으로 사용되는 공법은 보강재와 모재의 합성형태에 따라 크게 부착·접착공법과 외부프리스트레스 공법으로 분류할 수 있으며, 보강재의 종류에 따라 강재를 이용한 보강공법 및 FRP 신소재를 이용한 보강공법으로 분류할 수 있다. 이러한 보강공법의 발전과정을 간단히 살펴보면, 1950년대에 접착력이 우수한 애폭시 수지가 실용화됨에 따라 고전적

인 단면증설공법에서 강판 접착공법으로 발전하였으며, 1980년대부터 건설분야에서 실용화되기 시작한 신소재 FRP의 등장으로 인하여 FRP 부착공법으로 발전하였다.

이와같은 신소재 FRP에 의한 보강공법은 섬유슈트를 현장에서 함침·접착하는 현장습식(wet lay-up)방식에서 프리프레그(pre-preg) 방식으로 진보하였으며, 1990년대에는 공장생산된 FRP laminate를 현장에서 접착하는 사전양생시스템(pre-cured system)으로 발전하였다. 또한 최근에는 FRP 보강재를 콘크리트 부재 내부에 매입하는 NSM(Near Surface Mounted) 방식 및 FRP를 긴장재로 대용하는 외부프리스트레스 FRP 보강공법이 개발되고 있다.

3. 프리스트레싱 방법

3.1 캠버 유도 방법

탄소섬유판에 프리스트레스를 도입하는 방법으로서 최초로 검토된 방법은 그림 1에서 보는 바와 같이 보강될 부재의 하부에 솟음이 발생되도록 캠버를 유도하고, 탄소섬유판을 부착하여 애폭시가 충분히 경화된 다음에 캠버를 제거함으로써 간접적으로 프리스트레스를 도입하는 방법이다.

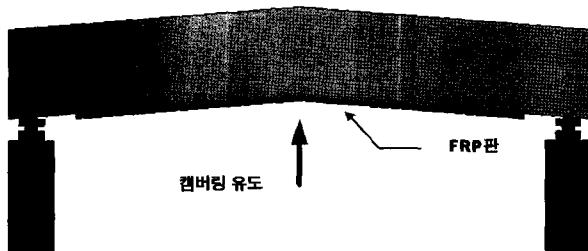


그림 1 캠버 유도 방법

3.2 간접 긴장 방법

주로 실험실에서 탄소섬유판에 프리스트레스를 도입하는 방법으로 검토된 방법으로서, 그림 2에서 보는 바와 같이 반력 프레임을 이용하여 탄소섬유판에 프리스트레스를 도입한 상태에서 보강될 부재에 정착하는 방법이다.

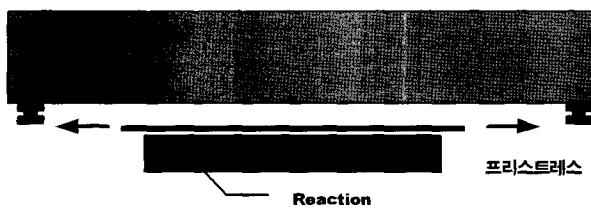


그림 2 간접 긴장 방법

3.3 직접 긴장 방법

대부분의 상용화된 공법에서 프리스트레스를 도입하는 방법으로 채택하고 있는 방법으로서, 그림 3에서 보는 바와 같이 보강될 구조물에 직접적으로 고정단 정착장치(dead anchor)를 설치하여 반력대를 구성하고, 탄소섬유판을 고정하고 있는 긴장장치(jacking anchor)에서 인장력을 도입함으로써 프리스트레스를 도입하며, 탄소섬유판에 인장력이 작용하고 있는 상태에서 이동단 정착장치(live anchor)를 콘크리트에 고정·정착하는 방법이다.

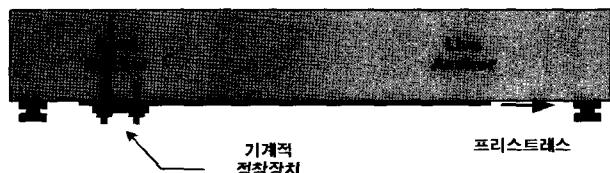


그림 3 직접 긴장 방법

4. 외부 프리스트레스 탄소섬유판의 보강공법 개발

본 연구에서 개발하고자 하는 탄소섬유판에 대한 프리스트레싱 방법은 가장 진보적인 프리스트레싱 방법으로 평가받고 있는 직접 긴장방법에 근간하여 개발하는 것을 기본 원칙으로 하였다. 탄소섬유판의 정착을 위한 고정단 정착장치(dead anchor), 이동단 정착장치 (live anchor) 및 긴장장치내의 잭킹 앵커 (jacking anchor)는 실험을 통하여 도출된 플레이트형 정착장치의 최적 제원을 근간으로 하여 결정한다.

4.1 직접 긴장 방법의 특징

4.1.1 장 점

- 1) 탄소섬유판에 대한 프리스트레스의 도입이 가장 용이하며, 프리스트레스의 레벨에 관계없이 목표로 하는 소정의 프리스트레스를 도입할 수 있다.
- 2) 시공이 상대적으로 용이하고, 정착장치 및 긴장장치가 간접긴장 방식에 비하여 간단하다.
- 3) 구조물의 입지조건 및 시공여건에 큰 영향을 받지 않는다.
- 4) 콘크리트 보를 직접적인 반력대로 사용하므로 외부프리스트레스의 도입시 콘크리트의 탄성 줄어듬과 관련된 프리스트레싱의 손실이 미미하다.

4.1.2 단 점

1) 긴장장치 및 정착장치의 제작 및 시공에 정밀도가 요구된다.

4.2 프리스트레스 도입 절차

4.2.1 프리스트레스 도입

1) 고정단 정착장치(dead anchor)의 설치 : 그림 4(a)에 나타낸 바와 같이 콘크리트 모재에 고정단 정착장치를 매설하고, 탄소섬유판을 삽입하여 정착장치에 고정한다. 이때, 탄소섬유판과 콘크리트를 부착하는 Bonded system으로 시공할 경우에는 고정단 정착장치에 탄소섬유판을 고정하기 전에 소정량의 접착용 애폭시 수지를 탄소섬유판에 도포하여 콘크리트 모재에 부착할 준비를 한다. 단, 외부 프리스트레스 탄소섬유판 보강공법을 비부착형으로 설계할 경우에는 탄소섬유판에 대한 애폭시 도포 공정을 생략한다.

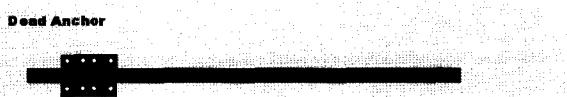
2) 긴장장치의 고정 : 그림 4(b)에 나타낸 바와 같이 고정단 정착장치의 반대쪽에 탄소섬유판의 긴장을 위한 긴장장치를 설치하고, 긴장장치 내의 잭킹 앵커를 이용하여 탄소섬유판을 고정한다. 이때, 긴장장치의 설치시에는 이동단 정착장치의 설치를 위하여 소정의 위치에 하부플레이트 및 지압볼트를 콘크리트에 사전 매설한다.

3) 긴장력 도입 : 그림 4(c)에 나타낸 바와 같이 긴장장치에 유압 잭을 설치하고 목표로 하는 소정의 신장량에 이를 때까지 탄소섬유판에 프리스트레스를 도입한다.

4) 이동단 정착장치(live anchor) 설치 : 3)의 공정에 의하여 소정의 신장량까지 탄소섬유판에 프리스트레스를 도입한 다음, 그림 4(d)에 나타낸 바와 같이 긴장장치의 전방에 기 설치되어 있는 이동단 정착장치의 지압볼트에 상부 플레이트를 설치하여 이동단 정착장치를 설치한다.

5) 오일 잭 철거 및 양생 : 긴장장치에 설치되어 있는 오일 잭을 철거하고 애폭시가 경화될 때까지 소정의 양생기간 동안 양생한다. 외부 프리스트레스 탄소섬유판 보강공법을 비부착형(unbonded system)으로 설계할 경우에는 애폭시 양생을 생략한다.

6) 긴장장치 제거 : 그림 4(e)에 나타낸 바와 같이 접착용 애폭시가 소정의 강도에 도달하면 긴장장치를 제거하여 보강공사를 완료한다.



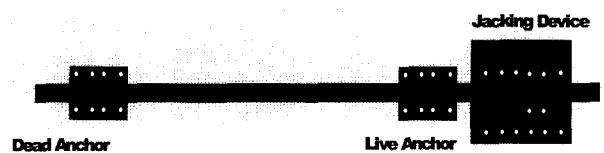
(a) 고정단 정착장치 (dead anchor) 설치



(b) 긴장장치 고정



(c) 긴장력 도입



(d) 이동단 정착장치 (live anchor) 설치



(e) 긴장장치 제거

그림 4 프리스트레스 도입 순서

4.3 정착장치

프리스트레스 탄소섬유판에 의한 구조물 보강공법에서는 보강재로 사용되는 탄소섬유판이 박판으로 생산되는 특징을 지니고 있으므로, 기존의 강연선 형상에 균간하여 개발된 FRP 프리스트레싱 정착장치 및 긴장장치는 직접적으로 적용하기 어려울 것으로 판단된다. 즉, 탄소섬유판의 정착장치도 기본적으로 플레이트 형상에 균간하여 개발되어야 할 필요성이 있다.

탄소섬유판은 박판으로 생산되는 특징을 지니고 있으므로, 본 연구에서 개발하고자 하는 탄소섬유판 정착장치의 형상은 그림 5에서 보는 바와 같이 플레이트형을 기본으로 하고, 탄소섬유판의 양 측면에 2개의 볼트를 한 개의 조(set)로 긴결함으로써 탄소섬유판과 정착 플레이트와의 마찰력에 의해 탄소섬유판을 정착하는 것으로 설정하였다. 그림 6, 7은 정착장치 상·하부 플레이트의 상세 제원을 나타내고 있다. 탄소섬유판의 긴장량에 따라 정착장치의 상부플레이트는 1 Unit, 2 Unit, 3 Unit, 4 Unit로 구분되어 있고, 하부 플레이트의 크기는 160mm × 200mm × 20mm이다.

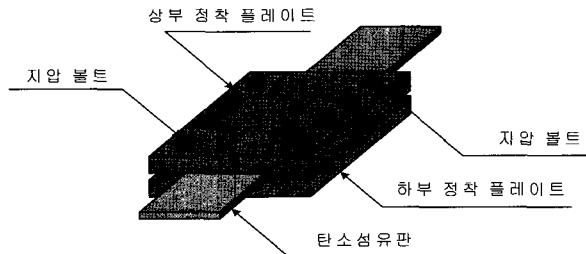


그림 5 정착장치의 기본형상

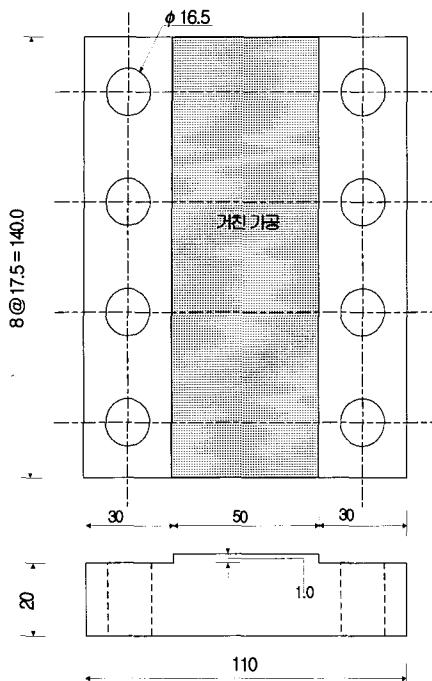


그림 6 상부플레이트 상세제원(4 Unit)

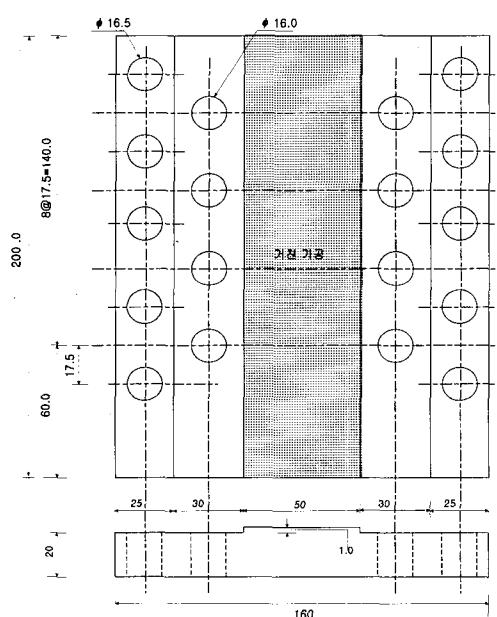


그림 7 하부플레이트 상세제원

5. 결 론

외부 프리스트레스 탄소섬유판의 보강공법은 기존의 탄소섬유보강공법과 프리스트레싱공법을 접목한 것으로 긴장장치 및 정착장치의 제작 및 시공에 정밀도가 요구되는 단점이 있으나, 기존 보강공법에서 많이 발생되고 있는 박리·박락의 문제점을 해소하여 보강효과를 극대화할 수 있고 기존의 프리스트레스를 도입시 사용되는 강연선에 비해 인장강도가 높아 효율적이며 경제적으로 콘크리트 구조물에 적용할 수 있다. 앞으로 본 공법을 구조물에 실용화하기 위하여 다양한 보강실험, 현장적용성 검토 및 구조물의 유한요소해석 등을 수행하여 프리스트레스된 FRP의 보강매커니즘을 규명하는 것이 중요하다.

참 고 문 헌

1. 심종성, 배인환 (1997), “강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트에 대한 해석적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 제 9권 제 6호, pp.129~137
2. 한만엽 (1997), “보수보강재료 및 공법개발 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제 9권, 제 1호, pp.592-597
3. 이리형, 이현호, 구은숙(1998), “탄소섬유시트로 휨보강한 RC보의 거동에 관한 실험적 고찰”, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 제14권 제6호, pp.77~84
4. 연길환, “탄소섬유를 사용한 RC보의 구조거동에 관한 기초적 연구”, 대한건축학회논문집, 제7권 6호, 1991. 12. pp229~236
5. 건설교통부, “교량구조물의 보수·보강편람”, 1994
6. 일본도로협회, “도로교 보수편람”, 1985
7. 中島規道, “アラミド繊維シートにより補強した鐵道高架橋のせん断性状”, コンクリート學年次論文報告集, 第19卷 第2号, 1997. 6.
8. 關島謙藏, “ガラス繊維を用いたH形FRPの曲げ性状に関する解析的研究”, コンクリート學年次論文報告集, 第20卷 第3号, 1998. 7.
9. Ehsani, M.R. and Saadatmanesh, H., (1990-a), “Fiber Composite Plate for Strengthening Bridge Beams”, International Journal of Composite Structures Vol. 15, No. 4, Elsevier Science Publishers, England, 1990, pp.343~355