

외부 프리스트레스트 탄소섬유판 정착장치의 콘크리트에 대한 정착성능

Behavior of Mechanical Anchorage Surface-Embedded in Concrete for Post-tensioning CFRP Strips

유영찬* 최기선** 박영환* 박종섭*** 김금환****
You, Young Chan Choi, Ki Sun Park, Young-Hwan Park, Jong-Sup Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

Strengthening with externally post-tensioned CFRP strips is more effective in increasing load carrying capacity of existing structures as well as reducing crack width and deflection. This study developed concrete embedded anchorages system for externally post-tensioned CFRP strips, and carried out experimental study to verify anchoring performance quantitatively. Through experimental results, anchoring strength of concrete embedded anchorages were quantified into shear strength of anchor bolt, bearing strength of concrete at the front of anchor plate and bond strength between anchor plate and concrete surface. In addition, overall anchoring performances according to combination of each unit force are examined in this study.

1. 서 론

외부 프리스트레스트 탄소섬유판에 의한 구조물 보강공법은 FRP의 재료적 장점을 충분히 활용하면서 내하력 뿐만 아니라 균열 및 처짐의 사용성 보강이 가능한 유일한 대안으로 고려되고 있다. 이와 같은 보강시스템이 충분한 보강성능을 발휘하기 위해서는 탄소섬유판의 긴장 및 정착하기 위한 정착시스템의 개발 및 검증이 매우 중요한 핵심요소로 등장하게 된다. 그러나 탄소섬유판에 프리스트레스를 도입하기 위한 긴장장치 및 정착장치의 개발이 난해하여 세계적으로 상용화에 성공한 사례가 드문 실정이다.

외부 프리스트레스 긴장재에 의한 보강 시스템에서 전단형으로 설치되는 기존의 정착장치에서는 정착장치의 내력을 주로 앵커, 매립강봉 등의 전단요소의 내력에 근간함에 따라 요구되는 전단내력이 증가될 경우에는 기존 콘크리트 부재에 전단요소를 지나치게 많이 설치해야하는 불합리성이 존재하였다. 이와 같은 불합리성을 개선하기 위하여 본 연구에서는 콘크리트 표면 매립형 정착장치를 개발하였으며, 상기의 정착장치를 콘크리트 내에 매립하였을 때의 정착내력을 볼트 전단내력, 매립된 정착장치의 콘크리트에 대한 지압력 및 정착장치의 부착력 등의 요소로서 정량적으로 파악하기 위한 실험적 연구를 수행하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구원
**** 정회원, 한국건설기술연구원, 연구위원

2. 연구내용 및 방법

본 연구에서 고려된 콘크리트 표면 매립형 정착장치는 탄소섬유판 인장력에 대하여 그림 1과 같이 콘크리트에 매립된 앵커볼트의 전단내력, 정착장치 전면의 콘크리트의 지압내력, 정착장치와 콘크리트 사이의 접착내력에 의해 저항하는 것으로 모델화할 수 있다. 이와 같이 플레이트형 정착장치의 정착성능을 상기의 3가지 내력조건이 조합되어 전체 정착성능을 결정짓는 것으로 가정하면, 개개 요소내력에 대한 검증실험 및 요소내력의 조합에 따른 정착성능의 변화를 검토할 필요성이 있다. 본 연구에서는 선행연구에서 외부 프리스트레스트 탄소섬유판 보강공법을 위해 개발된 정착장치 체원에 대해서 콘크리트와의 정착성능에 영향을 미치는 응력조건을 도출하고, 각 단위 응력조건과 조합응력에 대한 검증실험을 통하여 전체 정착성능을 정량적으로 파악하기 위한 실험을 실시하였다.

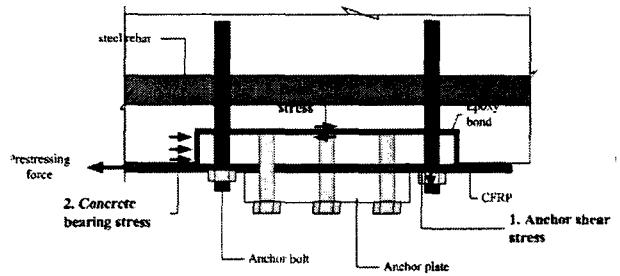


그림 1 정착장치의 콘크리트 정착 메커니즘

3. 실험

매립형 정착장치의 콘크리트에 대한 정착내력 평가실험은 우선적으로 각 요소별 정착내력을 파악할 수 있도록 단일 정착내력에 대한 실험을 계획하였으며, 각각의 요소별 정착성능이 2개 이상 조합되었을 경우, 중첩되는 정착성능의 산술적 합산 가능성 여부를 판단하도록 조합요소에 대한 실험을 실시하였다. 탄소섬유판의 재료물성은 표 1과 같으며, 실험변수를 정리하면 표 2와 같다.

앵커 전단내력 측정 실험은 M12와 M16 볼트를 대상으로 하며, 정착장치 설치시 가장 문제가 되는 철근 간섭에 대하여 적용할 수 있도록 변형능력이 있는 HSA type 제품을 선택하였다. 또한 보 부재와 같이 철근이 과밀하게 배근되어 콘크리트에 매립되는 앵커볼트와 간섭을 피할 수 없는 경우에는 피복 콘크리트 깊이(50mm)까지만 매설하는 화학식 앵커(chemical anchor)의 적용 가능성을 판단하기 위하여 주입식 접착앵커를 조합하여 실험을 실시하였다. 상기 실험은 그림 2에 나타내 바와 같이 정착장치를 앵커볼트에 의해서만 콘크리트 블록에 고정하도록 계획하였다.

정착장치의 콘크리트에 대한 지압내력 측정 실험은 그림 3에서 보는 바와 같이 정착장치와 맞닿는 콘크리트의 지압면적에 대하여 측정하도록 하며, 정착장치의 접착내력 측정실험은 정착장치 전면의 콘크리트 지압내력과 에폭시 수지의 접착내력이 조합된 경우로 각 단위 정착내력의 합과 조합내력의 차이를 비교하도록 하였다. 또한 보부재의 제한된 폭을 고려하여 그림 4와 같이 축소모형 보에 매설하여 실험하였다.

표 1 탄소섬유판 재료특성

종 류	두께 (mm)	인장강도(kgf/cm ²)		탄성계수(kgf/cm ²)	
		설계값	실험값	설계값	실험치
CFRP	1.2	30,000	34,740	1.50×10 ⁶	1.63×10 ⁶

표 2 실험변수

실험내용	앵커개수		접착	매립
	기계식	주입식		
앵커 전단내력	4-M12	-	-	-
	-	4-C12	-	-
	2-M12	2-C12	-	-
	2-M16	-	-	-
지압내력	-	-	-	2cm
접착+지압	-	-	접착	2cm

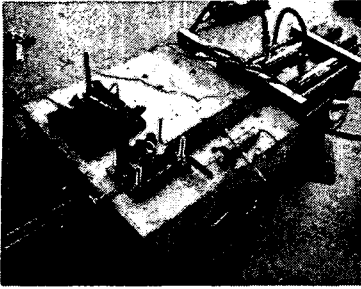


그림 2 앵커 전단내력 실험

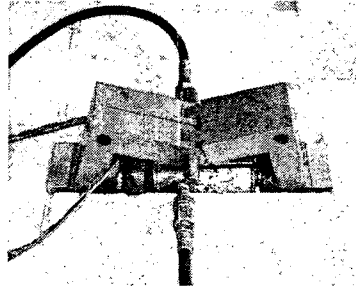


그림 3 콘크리트 지압내력 실험

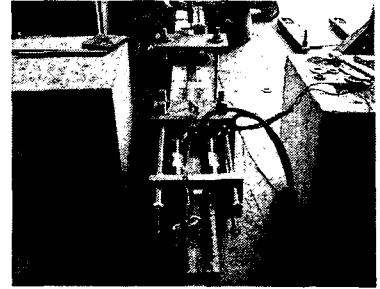


그림 4 정착+지압내력 실험

4. 실험결과

4.1 앵커 전단내력의 정량화

기계식 및 주입식, 두 종류의 혼합식에 대한 앵커 전단내력에 대한 실험결과를 나타내면 그림 5와 같다. 그림 5에서 보는 바와 같이 탄소섬유판에 인장력에 작용함에 따라 초기에 정착장치의 변위는 발생되지 않고 하중만 증가지만, 탄소섬유판에 작용하는 인장력이 앵커볼트의 콘크리트에 대한 지압내력을 초과하면 앵커볼트의 전단변형에 의해 수평변위가 증가하며, 동시에 하중은 전단파괴까지 지속적으로 증가한다.

실험을 통하여 얻어진 최종파괴시 앵커볼트의 전단내력은 계산된 앵커볼트의 극한 전단내력과 유사한 것으로 나타났다. 최대하중을 앵커볼트의 개수로 나누어 앵커볼트 1개당 전단내력을 계산하면, M12 기계식 앵커는 3.5tonf으로 제조사에서 제시하는 앵커볼트의 극한전단강도와 동일하며, M12 주입식 정착앵커의 전단내력은 대략 3.0tonf으로 재료강도를 상회한다. 특히 M12 기계식과 주입식 앵커를 혼용한 경우는 기계식과 주입식 평균 전단내력이 3.2tonf으로 두 종류를 조합하여도 재료강도를 모두 발휘하는 것으로 나타났다. 즉, 매립깊이를 주철근의 깊이로 제한한 주입식 앵커볼트도 전단내력의 감소없이 극한 전단내력을 발휘하는 것으로 나타났으며, 4개의 앵커군이 동일한 전단내력을 발휘하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 앵커볼트에 의한 정착 성능은 앵커의 극한전단내력과 앵커볼트의 개수에 의해 정량적으로 계산이 가능하며, 철근 간섭 발생시 주입식 앵커의 적용을 적극 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

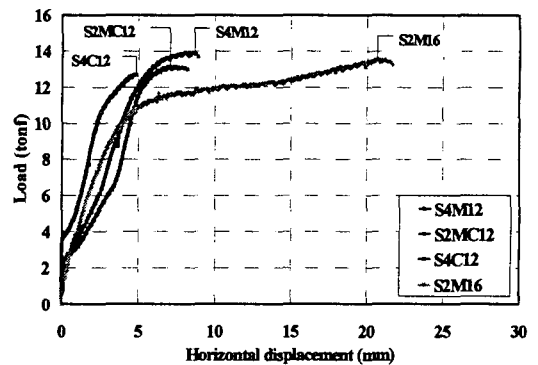


그림 5 앵커종류에 따른 전단력-수평 변위 곡선

4.2 콘크리트 지압내력의 정량화

두께 20mm의 정착장치를 모사하여 가력플레이트에 의한 단순 콘크리트 지압내력 실험을 실시한 결과, 최종파괴는 가력플레이트 전면부의 콘크리트가 대각선 방향으로 압축파괴되었으며, 횡방향으로 확장된 파괴면적은 매우 적은 것으로 관측되었다. 실험결과에 의하면 콘크리트의 순수 지압강도는 약 300kgf/cm²로 재료실험에서 측정된 콘크리트 압축강도의 1.5배에 해당한다. 따라서, 정착설계에서 콘크리트의 지압내력은 콘크리트 압축강도의 1.5배로 가정할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 정착장치의 정착내력과 지압내력 조합

콘크리트 단순 지압내력 실험으로부터 단위 폭당 콘크리트 지압내력은 300kgf/cm^2 가 작용하는 것으로 나타났다. 또한 선행연구의 인장전단 접착실험결과에 의하면 에폭시 수지의 콘크리트 접착응력은 평균 25kgf/cm^2 으로 나타났다. 이를 바탕으로 지압내력과 접착내력의 조합력을 계산하면 최대하중이 12.6tonf일 것으로 예상된다. 그러나 그림 6에서 보는 바와 같이 정착장치의 정착내력과 지압내력을 조합한 실험결과에 의하면 최대하중은 21.5tonf으로 약 1.7배 증가한 것으로 나타났다. 즉, 접착내력과 지압내력의 조합은 단위내력의 합산에 비해 내력이 증가된 것을 확인할 수 있었으며, 이는 접착에 의해 콘크리트에 전달되는 지압면적이 확대되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 콘크리트 지압내력과 접착내력의 조합만으로 최대하중은 21.5tonf까지 증가하며, 탄소섬유판 재료강도의 130% 이상 정착성능을 확보한 것으로 관측되었다. 따라서 앵커 전단내력을 추가할 경우 탄소섬유판의 인장력에 대하여 충분한 안전율을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

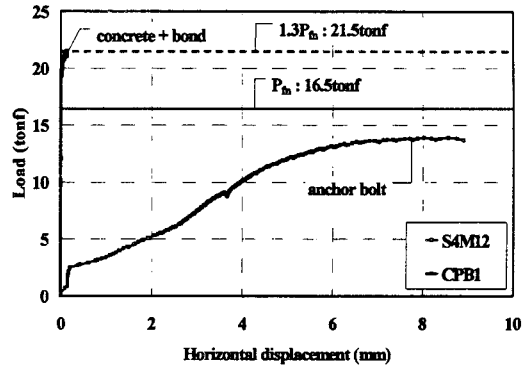


그림 6 정착장치 정착에 따른 하중-변위 곡선

5. 결 론

본 연구에서는 표면매립형 정착장치의 각 요소별 정착내력과 단위 정착요소의 조합에 의한 효과를 정량적으로 파악하기 위한 실험을 실시하였으며, 본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 탄소섬유판의 인장력에 저항하는 앵커볼트는 재료의 극한 전단강도에서 전단파괴되는 것으로 나타났다. 또한 주철근의 피복두께로 매립된 M12 화학식 앵커도 극한 전단강도에서 최종 전단파괴되므로 철근간섭 발생시 기계식 앵커와 동일하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 단순 콘크리트 지압실험으로부터 순수 콘크리트의 지압강도는 300kgf/cm^2 로 콘크리트 압축강도의 1.5배로 가정할 수 있다.
- 정착장치의 지압내력과 접착내력의 조합으로도 탄소섬유판 재료강도의 130% 이상 정착성능을 확보할 수 있으며, 앵커 전단내력이 추가될 경우 높은 안전율을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2002 건설핵심기술연구개발사업 R&D/2002-E01-01 “외부 프리스트레스트 탄소섬유판에 의한 구조물 보강공법 개발”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 유영찬 외, 2004. “외부프리스트레스트 탄소섬유판에 의한 RC 구조물 보강공법의 정착시스템 기본형상 결정시험”, 대한건축학회추계학술발표회논문집, 대한건축학회, pp143~146
- 한국건설기술연구원, “외부프리스트레스트 탄소섬유판에 의한 구조물 보강공법 개발-2차년도연차보고서”, 2005