
토목·건축용 탄소섬유시트의 기술 및 연구동향

융복합섬유팀



ECO융합섬유연구원
Korea Institute of Convergence Textile

1. 국내 기술 동향

- 국내에서 탄소섬유를 이용한 보강공법은 1990년대 초부터 대학 및 보강회사를 중심으로 연구가 진행되었으며, 1994년 처음으로 건축물에 적용된 이후 유지관리 부분의 중요성이 강조되면서 보강공사 물량이 급격히 증가되었다. 1995년에 (주)한국 카본에서 일본 토레이(Toray)의 섬유원사를 사용하여 무수지 탄소섬유시트를 개발하였으며, 1996년에는 태광산업에서 탄소섬유 원사 및 시트를 자체 생산하게 되었고, 1997년에는 SK화학에서 일본 토렌(Toren)사 제품을 OEM 방식으로 생산을 시작하여 1998년에 자체 생산하게 되었다. 이외에도 미쓰비시, 토렌, 토레이 및 일본섬유 등의 탄소섬유시트 제조회사가 국내에 진출하여 탄소섬유시트의 사용량은 계속 증가되고 있다.

2. 국내 연구동향

표. 국내 보수보강 연구 동향

연구과제명 (발표논문명)	수행기관	수행년도	연구내용 요약
철근콘크리트 구조물의 구조보강을 위한 탄소섬유시트의 적용성 연구	극동건설, 고려대	1996	철근콘크리트 구조물에 구조보강재로 탄소섬유시트의 적용성 및 경제성 연구를 통하여 탄소섬유시트의 적용에 따른 구조설계는 적재하중만을 받는 것으로 하며 탄소섬유시트가 적게 소요되는 경미한 보강(2겹 이하)는 강판공법에 비해 경제적인
유리섬유와 탄소섬유로 보강한 합성보의 실험 및 비교분석 연구	홍익대, 이화여대	1997	유리섬유와 탄소섬유로 보강된 합성보의 구조내력 증가 효과를 검증하였으며, 보강 실험체는 휨내력, 강성 및 변형 측면에서 20% 정도의 보강 효과가 있음
철근콘크리트 보의 보수보강에 따른 구조성능 평가	경일대, 삼성물산	1997	균열이 발생한 철근 콘크리트 보의 보수 보강 후 구조성능을 평가하여, 강판 및 탄소섬유시트에 의한 보강 효과는 기존 실험체의 약 1.08~1.25배의 최대 내력이 상승함
탄소섬유시트에 의한 콘크리트 보의 휨보강 효과에 관한 실험적 연구	한양대	1997	콘크리트 보의 휨내력을 증진시키기 위한 탄소섬유시트의 보강 효과를 실험적으로 규명하였으며 보강량에 따라 최대 내력이 증가하며, 일반적인 파괴양상은 취성적이나 L/240 까지는 연성적인 거동을 나타냄

철근콘크리트 기둥-보 접합부의 보수-보강에 따른 구조성능 평가에 관한 연구	연세대, 조선대	1998	반복하중을 받는 철근 콘크리트 기둥-보 접합부의 보수-보강 재료에 대한 연구를 통하여 보강된 실험체의 강성은 강판, 탄소섬유판, 탄소섬유시트 순이며 보수-보강한 실험체의 최대하중은 109~141%의 내력 증가를 나타냄
---	-------------	------	---

3. 국외 기술동향

① 일본

- 탄소섬유(Poly-acrylonitrile)는 1959년에 대판공업시험소의 신등 박사에 의해 발명되고, 1963년에는 대국 교수가 pitch계 탄소섬유의 제작 방법을 발명한 것을 바탕으로 1970년대에 실용화가 시작되었으며, 이러한 탄소섬유를 철근 콘크리트 건축구조물에 적용시키기 시작한 것은 1989년 탄소섬유시트의 제작회사와 대림조건설과의 공동연구 결과를 바탕으로 하고 있다. 일본에서 탄소섬유시트 보강공법에 관한 연구는 미쓰비시, 토렌, 토레이 등의 재료 메이커 3사와 시공회사 4사를 중심으로 결성된 CF에 의한 건축구조물의 내진보강 보수공법 개발 추진협의회를 주축으로 광범위하게 수행되고 있다.
- 현재 일본에서는 각 건설회사별로 독자적인 보수 보강 공법(AF 공법, SR-CF 공법, CRS-CL 공법, MARS 공법 등)에 대한 설계 시공 지침서가 완료되어 이를 바탕으로 현장적용이 활발히 진행되고 있다. 따라서, 일본에서의 기술개발 역사는 탄소섬유시트에 의한 보수 보강 공법의 개발역사라고 해도 과언이 아닐 정도로 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 특히, 1996년에는 일본 건설성 프로젝트인 “신기술에 의한 기존 건축물의 내진성 향상기술의 개발”이라는 연구과제가 5년간의 연구기간으로 시작되었다. 본 프로젝트에서는 일본 건설성 건축연구소와 CF 건협이 주축이 되어 전국적인 연구체계를 구축하고 연속섬유시트 공법 검토위원회를 발족하여 탄소섬유 및 아라미드 섬유 등의 연속섬유를 이용한 기존 건축물의 내진 성능향상에 관한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 본 검토위원회는 연속섬유시트에 의한 철근 콘크리트 건축물의 보강 공법을 재료와 시공 측면에서 구체적으로 정리하여 표준화, 기준화를 도모하는 동시에 현장에서 시공품질의 신뢰성을 확보하기 위한 공사시방의 표준화 방안과 시공 계획, 시공 요령의 기초적인 고려 방안이 제시될 예정이다. 또한, 부가적으로 연속섬유시트에 의한 보강 공법의 시, 검사, 연수 등의 기술 기능의 고도화와 안정화에 필요한 시스템이 제안될 예정이다. 아

래의 표에 일본 보수 보강 관련 연구를 나타내었다.

표. 일본의 보수 보강 연구 동향

연구과제명 (발표논문명)	수행기관	수행년도	연구내용 요약
탄소섬유에 의한 철근 콘크리트 교각의 보강공법 설계 시공요령(안)	일본도로 공단시험 연구소	1995	탄소섬유를 이용한 철근 콘크리트 교각의 보강공법 적용을 위한 설계 및 시공요령(안)을 작성하였으며 철근 콘크리트 교각에 대한 탄소섬유 보강공법 적용을 위한 실무 지침을 제시함
탄소섬유시트를 이용한 철근 콘크리트 보의 전단에 관한 실험적 연구	加藤博文	1996	탄소섬유시트를 전단보강재로 사용한 경우, 전단보강근의 유무에 관계없이 전단 내력이 증가되고 전단 보강근과 같이 보강되었을 경우, 전단 내력에 대한 전단 보강근의 부담은 경감되고 그 비율은 시트의 탄성계수에 의해 영향을 받음
탄소섬유시트에 의해 횡보강된 RC보의 유한요소 해석	이한승	1996	콘크리트 모재와 보강재의 부착 응력의 크기에 따른 보강된 구조 부재의 역학적 거동을 파악하였으며 탄소섬유시트로 보강한 R보에서 박리가 일어날 때 최대 부착응력을 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 추정했으며 부착 강도가 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이면 콘크리트 압괴에 의해 내력이 결정된다고 제시함
Strengthening in shear of reinforced concrete members by FRP sheet	Yoshino Kakuta	1997	탄소섬유시트를 strip type과 patch type으로 보강한 경우의 보강 효과를 실시하여 탄소섬유시트의 변형도 분포는 중앙부에서 최대를 지지점과 하중가력점 방향으로 감소하였으며 보강 시 실험체의 양측 및 밑면에 탄소섬유시트를 부착할 경우 효과적임을 제시함
CFRP시트와 콘크리트의 부착 거동	木村耕三	1997	CFRP(Carbon Fibers-Reinforced Plastics) 시트와 콘크리트의 부착 거동에 대한 연구로서 최대 부착응력도 y 및 유효부착길이 l_u 에 대한 해석적 및 실험적 연구를 통하여 최대 부착 응력도 및 유효부착 길이를 4.56 MPa, 45.2 mm로 제안함

② 구미

- 탄소섬유시트 보강 공법은 일본에서 개발되어 실용화된 기술이다. 따라서, 구미지역에서 탄소섬유시트에 의한 보수 보강 공법에 관한 연구 결과는 일본에 비하여 부족하나 탄소섬유시트 보강 공법에 관한 국제회의 (Non-metallic FRP reinforcement for concrete structures)가 매 2년마다 개최되면서 연구가 진행되고 있다. 아래의 표에 국외 보수 보강 관련 연구를 나타내었다.

표. 국외 보수 보강 연구 동향

연구과제명 (발표논문명)	수행기관	수행년도	연구내용 요약
External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber Reinforced Plastics	Philip A. Ritchie 외 3인	1991	탄소섬유보강판(Carbon Fiber Reinforced Plastics, FRP)을 이용한 외부 보강효과를 연구하기 위하여 16개의 실험체를 대상으로 보의 휨보강 성능을 실험으로 평가하였다. 보강보의 강도 및 강성의 증가를 확인하였으며 단부에 앵커를 설치하거나 보강재 부착을 웹 부분으로 꺾어지게 하여 보강재 단부의 부착 파괴를 방지하는 기법을 실험
Reliability of RC Members Strengthened with CFRP Laminates	Nikolaos Plevris 외 4인	1995	10가지의 형상적, 재료적인 변수를 바탕으로 탄소섬유보강판 (Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP),으로 휨보강한 RC보의 신뢰성을 연구하였다. 콘크리트의 강도, CFRP의 파괴 변형도, CFRP의 보강비가 부재의 강도에 큰 영향을 준다고 분석했으며 해석상으로는 전체적인 강도저감계수로 =0.85, 섬유강 복합강도에 대한 부분저감계수로 =0.95를 사용할 것을 제안
Shear and Flexural Strengthening of RC Beams with	Tom-Norris 외 2인	1997	탄소섬유시트를 콘크리트 보의 인장측 밑면과 웹에 다양한 방향으로 부착하여 실험하였다. 탄소섬유시트의 보강된 섬유방향과 보강효과를 검토하였으며 보의 강

Carbon Fiber Sheets			도와 강성을 증진시키는 방안으로 섬유의 방향성을 이용할 것을 제안하였으며, 그 방향성은 힘균열이나 전단균열에 대하여 45인 것이 연성 능력이 우수한 것으로 발표하였음
---------------------	--	--	--

4. 최근 기술 동향

- 최근까지 주로 개발되고 있는 분야는 탄소섬유의 기계적 강도를 이용한 재료연구가 주종을 이루었으나 복합화를 통하여 성능개선이 이루어지면서 다양한 산업분야에서 응용하는 시도가 확산되고 있다. 특히 외국의 경우 탄소섬유의 기술이 고도화 되면서 1차적인 강화 목적 외에 기능성을 부여한 개발 연구에 주력하고 있으며 국가적인 차원에서 보호, 지원하는 첨단 재료 기술로 우주항공산업, 군수산업, 자동차산업, 선박산업, 토목건축 분야에서 큰 성과를 거두고 있다.
- CFRP 복합재료가 몇가지 확고한 기술적인 이유들로 건설시장을 천천히 잠식하고 있다. 그 복합 재료들은 철처럼 부식하지도, 콘크리트처럼 부서지지도 않는다. 또한 나무처럼 썩지 않으며 높은 강도와, 경량이면서도 높은 강성을 가지고 있다. 건설업은 복합재료를 위한 시장으로서, 자동차산업과 트럭산업에 이어 2번째 시장에 해당된다. 지난 10년동안 건설 분야에서의 복합재료 판매는 43% 증가했다.
- 이처럼 플라스틱재료의 새로운 세대인 탄소섬유강화 복합재료는 경량성, 고강도, 내부식성, 범용성의 특징들을 가지고 있어 가격과 시공 면에서 획기적인 변화를 가져왔으며, 전세계의 건설 환경을 변화시키고 있다. 그러나 이러한 복합재료의 문제점은 주재료로 사용하기에는 시방서의 부재와 사용 역사가 짧은 이유로 보수적인 건설 관계자들이 아직은 시기상조라 생각하고 있다. 그러나 이런 위험 요소들에도 불구하고 복합재료 관계자들은 생산자, 연구자들, 복합재료 시장을 가열시켜 확대 보급 국면으로 전환하고자 도모하고 있다.
- 건설과 사회 간접시설에 있어 복합재료의 시장 점유율이 현재는 전 시장의 20% 정도에 머물고 있지만, 점점 그 비율이 증가할 것으로 보인다. 건설 재료의 출하량은 1996년에 2.5% 증가한 것으로 발표되었으며, 주요한 시장은 항공산업, 국방산업을 제외하고 모두 타 분야에서 괄목할만한 성장을 이루고 있다. 방위산업에서의 소비량이 감소함에 따라, 수지 및 섬유산업체인 듀폰사와 히드마틴사는 거대한 사회간접시설 시장 확보를 위한 마케팅에 열을 올리고 있다. 특히, 토목·건축 환경이

좋은 목표이다. 왜냐하면 사회기반시설의 노후화로 현재 시설물을 양호하게 유지하기 위한 보수 보강이 필요하기 때문이다.

- 그러나 복합재료의 확대 보급에 큰 장애물은 경제적인 문제이다. 강재와 콘크리트는 탄소섬유보다 1파운드당 20~30달러 가량 저렴하며, 유리섬유는 1파운드당 3달러가 싸다. 그러나 곧, 몇 년 안에 신소재, 고급복합재료가 목재, 강재, 콘크리트에 이어 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 건축재료로 자리매김하게 될 것이며, 향후 건설 재료 시장에서 가장 큰 성장은 복합재료 분야에 있을 것이며 특히 건설 부문에 획기적인 장을 열 것이다.
- 위와 마찬가지로 우리나라에서도 토목·건축 분야의 탄소섬유 수요는 계속 증가할 것으로 예상되나, 정부나 대기업의 지원 없이 중소기업에서 투자할 수 있는 제품이 아니기 때문에 수급에 어려움이 예상된다. 따라서 국내에서도 장기적으로는 일본의 독점을 막을 수 있는 yarn 생산 공장이 필요한 실정이다.

5. 향후 전망

- 탄소섬유강화 복합재료는 역학적, 물리적 특성 측면에서 우수한 재료임에도 불구하고 단가가 높아 초기에는 항공 분야와 같은 특수한 분야에서 사용되었지만 점차 군수사업을 비롯한 산업시설, 섬유공장, 폐수처리 시설 등으로 사용 범위가 확대되었으며 최근 들어 생산 단가가 내려가면서 토목·건축 분야에도 사용되게 되었으며 앞으로 무한한 잠재력을 가지고 있는 재료이다.
- 특히 토목·건축 분야에서 탄소섬유를 보강섬유로 사용한 콘크리트 구조물의 건설 및 성능 복구를 위한 효과적인 사용은 탄소섬유의 제조 기술의 고도화에 따른 철근 콘크리트 건축물의 수명 연장과 추가적인 보수 보강 지양으로 직접적인 비용 절감 및 보수 보강 공사 주기 연장에 의한 효율적인 건설 및 보수 보강 품질 관리가 가능하게 되어 예산 절감, 유지관리 수월, 보수 보강 관련 신기술 및 신제품 개발 기반 기술 제공 등으로 외국 기술 및 전자재에 대한 수의 대체 효과를 크게 높여줄 것이다.

참고문헌

1. Carbon Materials
2. SK 탄소섬유시트 공법 기술 자료