

탄소섬유 sheet를 이용한 콘크리트 구조물의 보강

Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures using Carbon Fiber Sheet



박 성 원*



홍 영 군**

1. 서 언

국내 건설업계는 70년도 고도 경제성장기 이래 구조물의 대형화와 함께 재개발사업, 신도시 개발 등의 대규모 건설사업이 단기간에 양적으로 급속히 팽창되었다. 이에 따라 인자재 과잉, 인력난 및 건설원가 부담에 따른 품질관리 부족 등 부실구조물이 양산될 잠재적 원인이 내재되어 왔다. 또한 경제성장과 더불어 교통량의 증가 및 공해발생 등의 영향으로 구조물의 성능저하 손상속도가 가속화되어 구조물의 수명이 현저히 단축되는 현상이 도처에 발생됨으로써 이에 대한 안전진단과 체계적인 보수·보강의 필요성이 최근에 들어 급속히 요청되고 있다.

이제 기존 콘크리트 구조물에 대한 보수·보강의 필요성은 국내 건설업계의 모든 기술자들이 감지할 수 있을 정도로 기존 구조물에서 여러 문제점들이 노출되고 있다. 그러나 구조물의 안전진단

과 관련한 비파괴검사 등 구조물의 유지·관리에 관해서는 많은 연구가 수행되고 있으나 정작 구조물의 내력을 증가시키는 보강설계 및 보강공법에 대해서는 전혀 기술개발이 이루어 지지 않고 있는 실정이다.

이미 해외 선진국에서는 보강설계에 관한 실험적 연구와 이론적 해석에 대한 많은 연구가 수행되었다. 이러한 연구의 대부분은 강판접착공법과 탄소섬유판(carbon fiber plate)의 응용에 대한 것이었으나 최근 일본에서는 탄소섬유 sheet를 개발하여 건설 보강재로 활용하기 위해 많은 연구가 수행되었으며 또한 계속 진행중에 있다.

이 기사에서는 이미 기술설명회^(주)를 통해 발표한 탄소섬유 sheet 보강공법에 관한 내용과 그 후 Tonen사 복합재 사업부의 M. Miyazaki, A. Kobayashi씨가 본 기사를 위해 정리한 내용을 함께 소개하고자 한다.

* 성희원, (주) T. S Bond 건설공업 대표이사

** 성희원, 홍익대학교 건축학과 조교수

(주) FORCA TOW SHEET(FTS)에 의한 콘크리트 구조물 보강공법, 롯데호텔, 1994년 6월 4일 / (株) T. S. BOND 건설공업

2. 탄소섬유 sheet와 보수·보강

2.1 탄소섬유 sheet

탄소섬유는 1965년 처음으로 역청(pitch)에서부터 추출하여 신소재로 탄생하게 되었다. 그 후 대량생산 설비를 갖추게 된 1970년 이후 레저 및 스포츠용품(낚시대, 골프채, 테니스 라켓 등)에 사용할 수 있는 제품으로 개발되었다. 이 기간에 해외 건설업계에서는 콘크리트의 인성을 강화하고 균열발생을 억제하기 위하여 Fiber Reinforced Plastics(섬유보강복합재)의 한 대상 소재로서 탄소섬유(carbon fiber)를 이용한 많은 실험과 연구가 수행되었다. 그러나 다른 소재(glass fiber, steel fiber)를 이용한 섬유보강복합재의 문제점과 동일하게 콘크리트 혼합의 어려움과 시공상의 곤란함으로 인해 그 사용에 여러 제약을 받아 현재는 이에 대한 연구개발이 소강상태로 접어들게 되었다.

탄소섬유 sheet는 탄소섬유의 직조기술과 고성능 탄소섬유의 개발이 이루어진 이래 우주항공산업 등 첨단 산업분야에 1방향 및 2방향 탄소섬유

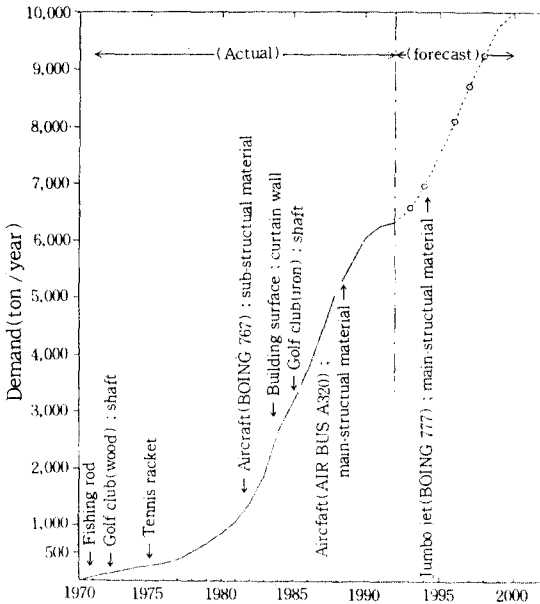


그림 1 CFS의 수요량 변화

sheet가 이미 사용되고 있으며 또한 1990년부터 건설용(구조물 보강용) 탄소섬유 sheet가 개발되어 현재 일본에서 활발하게 사용되고 있다. 1970년 이후 전세계적인 탄소섬유의 생산실적은 그림 1과 같다. 현재 국내에서는 연 700톤 정도를 사용하고 있으며 이중 약 70톤 정도를 국내업체가 생산하고 있다.

2.2 콘크리트 구조물의 보수·보강

철근 콘크리트는 철근이 콘크리트에 대하여 인장 보강효과를, 콘크리트는 압축력을 지탱하며 또한 알칼리성에 의하여 철근에 대한 방청효과를 발휘하기 때문에 내구성 및 내하력에 대한 성능이 우수한 구조부재로 사용되어 왔다. 그러나 일단 발생한 콘크리트의 균열은 철근의 부식을 가속화시키기 때문에 철근의 보강효과가 저하되어 콘크리트 구조물의 성능저하를 진행시킨다(그림 2). 콘크리트 성능저하의 원인은 다음과 같다(그림 3).

- 1) 콘크리트 및 배합재료의 자체문제등 사용전의 문제
- 2) 교통량의 증대, 운하중의 증가 및 기차의 고속화 등 설계하중을 초과하는 과재하중의 적용
- 3) 염화칼슘 및 오염물질에 의한 화학변화의 촉진 등 사용후의 요인

성능저하가 진행된 콘크리트 구조물에 대해서

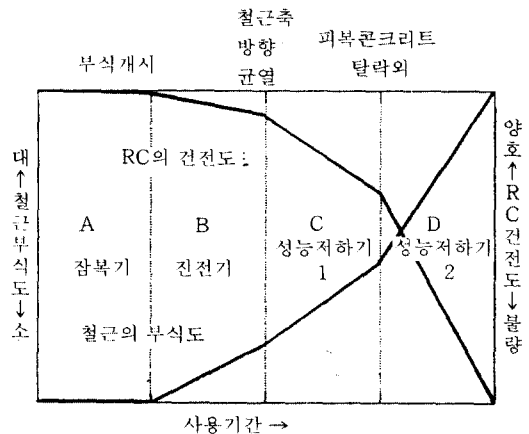


그림 2 콘크리트의 성능저하 과정

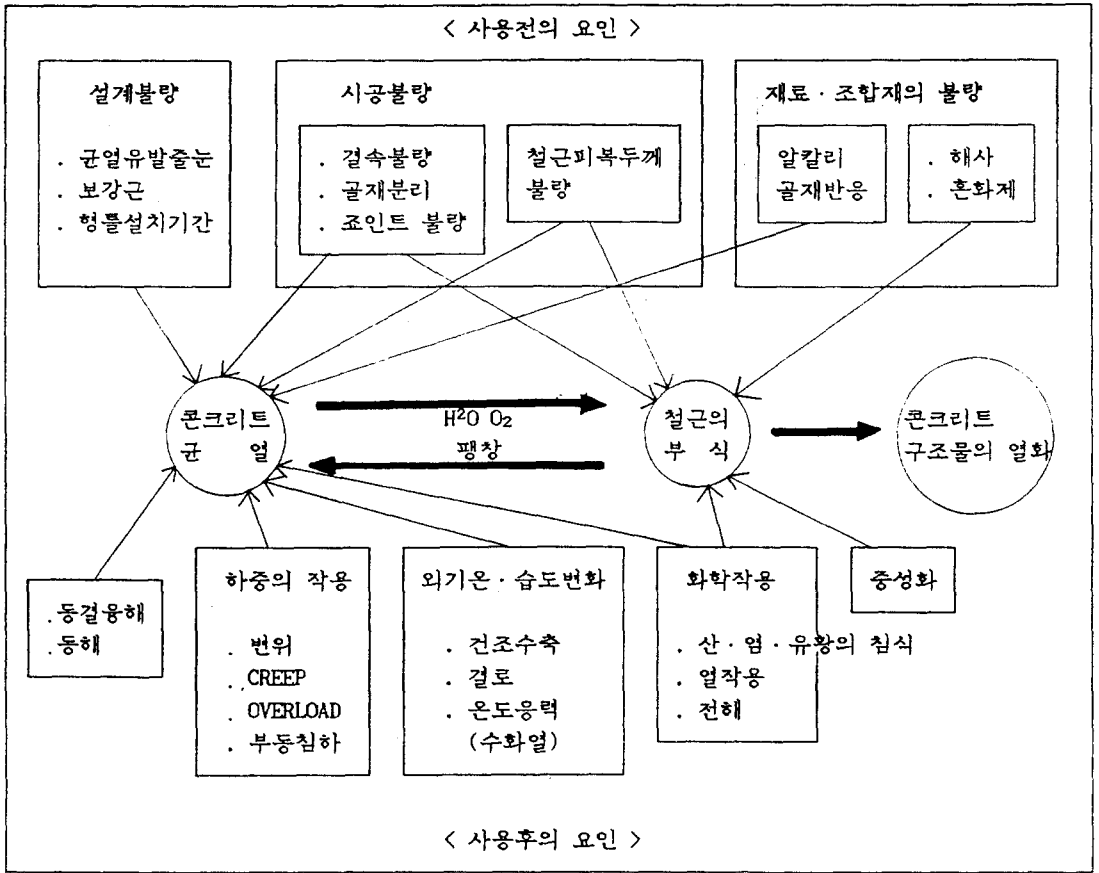


그림 3 콘크리트 구조물의 성능저하 요인

는 내구성, 내하력의 회복을 위하여 보수·보강공사가 필요하게 된다. 콘크리트 구조물의 성능저하를 방지한 상태로 두면 성능저하가 가속적으로 진행되어 구조물의 수명을 현저하게 단축시키게 된다.

보수·보강공사를 시행함에 있어서 성능저하의 원인, 정도, 환경, 사용상태, 구조물의 사용빈도 등에 따라 충분한 조사를 한 후 적절한 재료 및 공법을 선택하는 일이 중요하다. 보수공법으로서는 균열보수 예폭시 주입공법, 콘크리트 탈락부를 복원시키는 수지물탈공법, 표면도포 라이닝공법 등이 있다. 이러한 공법은 철근부식을 방지하는 등 재료의 열화억제에는 효과적이나 내하력의 향상은 기대할 수 없으므로 외력에 의한 열화에 대해서는 유효한 공법이 될 수 없다. 유리섬유(glass

fiber)를 이용한 공법도 사용되고 있으나 유리섬유의 탄성률이 강재의 1/3정도이므로 이 또한 내하력 향상의 관점에서는 유효한 공법이라 할 수 없다.

내하력의 향상을 목적으로 한 보강공법으로는 종래의 콘크리트 증타설공법, 강판접착공법 등이 사용되고 있다. 그러나 이들 공법은 내하력을 향상 시키기에는 유효한 공법이나 구조물의 중량 증가, 공사기간 및 강재의 부식에 따른 신뢰성의 저하나 시공후의 유지관리 문제, 시공공간확보 및 교통규제 문제 등 여러가지 시공상의 문제점을 내포하고 있다. 그러므로 탄소섬유 접착공법은 고강도, 고탄성, 내식성을 활용한 우수한 보강성능과 구조물의 계속 사용이 가능한 뛰어난 시공성으로 최근에 들어 주목받는 공법이 되고 있다.

3. 탄소섬유 sheet의 특성 및 시공절차

3.1 탄소섬유 sheet의 특성

탄소섬유 sheet는 기반층(base cloth) 위에 탄소섬유를 1방향으로 배열시킨 강화섬유 sheet이다. 상온경화형의 에폭시 수지를 사용하여 구조물에 접착시킴으로써 탄소섬유의 우수한 구조성능을 이용하여 콘크리트 구조물을 보강하는 소재이다.

그림 4는 탄소섬유 sheet의 구성형태를, 표 1은 특성을 나타내었다. Tonen사에는 2종류의 탄소섬유를 개발하였으며 Forca Tow Sheet 각각의 인장강도는 35,500kgf/cm²(FTS-C1), 30,000kgf/cm²(FTS-C5)로서 강재의 약 10배 정도가 된다. 탄성률도 강재보다 높으며 특히 FTS-C5는 강재보다 2배 정도의 탄성률을 나타내어 철근콘크리트 부재에 접착 보강시킨 경우 효과적으로 기존 철근의 응력을 저감시킬 수가 있다.

철근 콘크리트 구조물의 보강에서는 설계계산

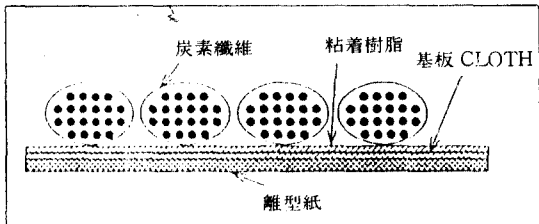


그림 4 FORCA TOW SHEET 構成圖

표 1 FORCA SHEET의 종류와 성능

TYPE 품 목	FORCA TOW SHEET		
	FTS-C1 20	FTS-C1 30	FTS-C5 30
섬유의 종류	고강도 CARBON	고탄성 CARBON	고탄성 CARBON
섬유중량(g/m ²)	200	300	300
섬유비중(g/m ²)	1.82	1.82	1.82
설계두께(mm)	0.110	0.165	0.165
인장강도(kg/cm ^幅)	390	590	500
설계강도(kg/cm ²)	35,500	35,500	30,000
인장탄성률(kg/cm ^幅)	29,500	38,800	62,700
설계탄성률(kg/cm ²)	2.35×10 ⁶	2.35×10 ⁶	3.8×10 ⁶
파단신도(%)	1.5	1.5	0.8

에 따라 필요한 방향으로 필요한 층(ply)을 접착시켜 보강을 시행하므로 불필요한 과잉보강을 배제하여 공사비를 최소화 할 수 있다.

3.2 탄소섬유 보강공법의 시공절차

탄소섬유 보강공법의 시공순서는 다음과 같다

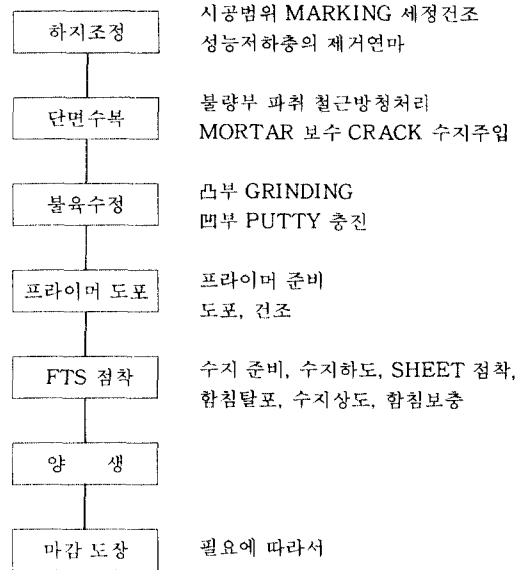


그림 5 FORCA TOW SHEET 시공순서

1) 하지처리를 실시, 콘크리트 표면의 레이턴스·오염을 제거한 후 접착면을 고르게 하여 시공면을 평활히 한다.

2) 프라이머를 콘크리트 표면에 도포한다. 그 후 접착수지를 도포한 직후에 탄소섬유 sheet를 수지 도포면에 접착시킨다.

3) 접착완료된 sheet 표면에 다시 접착수지를 도포하여 탄소섬유가 완전히 함침되도록 한다. 시공후 약 1일 양생으로 수지는 경화되며 대략 1주일후에는 완전경화되어 최대강도에 도달한다.(그림 5참조)

이와같이 탄소섬유 보강공법의 시공절차는 극히 간단하며 또한 중장비가 필요없으므로 매우 우수한 시공성을 특징으로 한다. 탄소섬유와 콘크리트는 접착수지에 의하여 일체화되어 보강효과를

발휘한다. 그러므로 접착성을 확보하기 위해서는 확실하게 하지처리를 시행하는 것이 중요하므로 철저한 시공관리가 이루어져야 한다.

3.3 탄소섬유 sheet 보강공법의 장점

탄소섬유 sheet 공법은 건물, 교량, 터널 등 콘크리트 구조물 전반에 걸쳐 시공성, 안정성이 우수한 보강공법으로서 강관접착공법, 철근 콘크리트 증타설공법 등의 대체공법으로서 주목되고 있으며 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 구조물을 계속 사용하면서 최소의 사용중단으로 보강공사가 가능
- 2) sheet 형태의 보강재로서 구조물의 형태에 맞추어 자유롭게 가공이 가능
- 3) 앵커볼트를 사용할 필요없이 에폭시 수지를 이용한 고정작업으로 접착, 함침이 간단
- 4) 중장비가 필요없으므로 시공 여유공간 확보가 곤란한 장소에서도 공사가 가능
- 5) 다른 보강공법에 비하여 접착결과 확인이 용이하며 공기단축
- 6) 다른 보강공법에 비하여 재도장공사 등 시공 후 유지관리가 필요없음
- 7) 재료는 에폭시 수지와 탄소섬유를 사용하므로 내부식성임
- 8) 방수효과가 높고, 콘크리트의 열화, 철근의 부식진행을 억제
- 9) 내후성이 우수하고 자외선에 의한 성능저하가 발생하지 않음

4. 구조성능 실험결과

여기에서는 일본에서 탄소섬유보강공법과 관련하여 수행된 실험결과를 다음과 같이 소개하고자 한다. 현재 국내에서는 숭실대학, 한양대학 그리고 홍익대학에서 이에 대한 확인 및 추가 실험을 수행중에 있다.

4.1 보의 휨시험

철근 콘크리트 보에 대한 보강효과를 확인하기

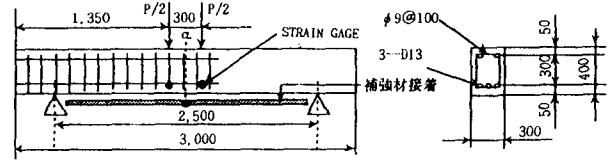


그림 6 보 휨 시험체

표 2 재료특성

	항복강도 (kgf/cm ²)	파단강도 (kgf/cm ²)	탄성율 ×10 ⁶ kgf/cm ²
콘크리트	-	σ_y (Comp.) =280~310	-
철근 SD30	$\sigma_y=3,500$ Spec. >3,000	$\sigma_t=5,300$ Spec. >4,500	$E_s=2.1$
강판 SS41	$\sigma_y=2,800$ Spec. >2,400	Spec. >4,100	$E_s=2.1$
탄소섬유 고강도	-	$\sigma_{cf}=46,300$ Spec. >35,500	$E_s=2.65$ Spec. >2.35
탄소섬유 고탄성	-	$\sigma_{cf}=43,200$ Spec. >30,000	$E_s=4.01$ Spec. >3.8

탄소섬유 SHEET 중량 300g/m² 설계두께 0.165mm

위하여 보 하부면에 여러가지 형태의 sheet를 접착 보강한 보를 제작하여 4점 휨시험을 실시하였다. 탄소섬유 sheet의 강성, 적층매수, 접착방법을 변화시켜 보강효과에 관하여 검토하였다. 사용된 콘크리트 시험체는 그림 6에 표시한 대로 300mm(W) × 400mm(D) × 3000mm(L)로서 콘크리트는 보통 포트랜드 시멘트($F_c = 240\text{kgf/cm}^2$)를 사용하였으며 주근은 SD30 D13을, 띠철근은 $\phi 9$ 를 사용했다. 콘크리트, 철근, 각종 보강재의 기계적 성질을 표 2에 나타낸다.

보강에 사용한 sheet는 표 1에서 보이는 고강도(FTS-C1-30)와 고탄성(FTS-C5-30)의 2종류를 사용했다. 시험은 2회에 나누어 시행되었으므로 각각의 콘크리트 강도 편차를 예상하여 각각 무보강 보 1개씩을 시험했다. 보강체는 강판, sheet의 종류, 층수, 단부 정착의 유무를 변화시켜 비교했다. 시험체의 종류는 표 3과 같다. 여기에서 No. 4는 중앙부의 최대 모멘트 부분을 탄소섬유 sheet를 3층으로 보강하고 단부 방향으로 적층수를 감소시켜 1층으로 시험한 것이다. No. 9의 보 양면 보강이란 FTS-C5-30을 보하면에 길이 방향으로 3층 보강한 후 보측면-보하면-보측면으로 sheet

표 3 보 휨 시험체의 종류

No.	보강재	보강재	두께/매수	정착방법
제1회째				
1	무보강 1	-	-	부
2	강판접착	SS41	t=2.6mm	
3	고강도 1	FTS-C1-30	1층	
4	고강도 2		1, 3층	
5	고강도 3		3층	
제2회째				
6	무보강 2	-	-	부
7	고탄성 1	FTS-C5-30	1층	
8	고탄성 2		3층	
9	고탄성 3			
10	고탄성 4		단부 ANCHOR	

표 4 휨 재하시험결과

No.	항복하중	증가비	최대하중	증가비	파괴MODE
제1회째					
1	9.2	1	9.5	1	
2	17	1.85	18.4	1.94	강판박리
3	10	1.09	13.2	1.39	SHEET 박리
4	13.5	1.47	16	1.68	SHEET 박리
5	13.5	1.47	20.1	2.11	SHEET 박리
제2회째					
6	8.4	1	9	1	
7	11	1.31	17.2	1.91	SHEET 박리
8	15	1.79	23.2	2.58	SHEET 박리
9	16.7	1.99	27.6	3.07	콘크리트전단
10	15	1.79	24.2	2.69	볼트 전단

하중단위 : TON

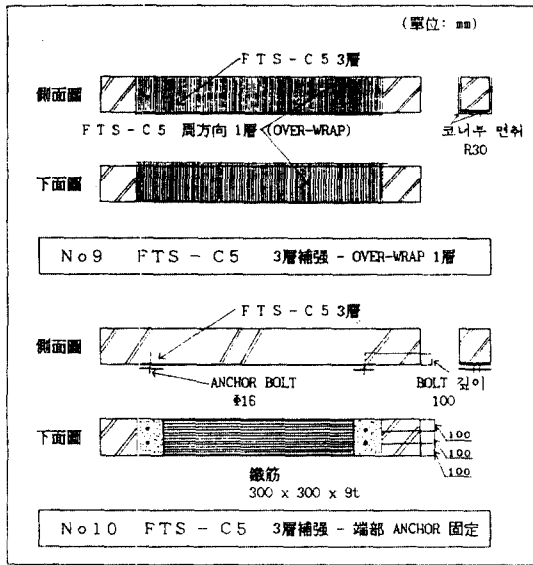


그림 7 FORCA TOW SHEET의 定着

를 1층 감아서 접착시켜 정착대책을 실시한 것이다. No. 10은 sheet 단부에 300mm × 300mm × 9mm(t)의 강판을 에폭시 수지로 시험체 양 단면에 접착시켜 각각의 강판에 직경 16mm의 앵커볼트를 2개씩 깊이 100mm로 삽입 고정시켰다(그림 7).

하중재하방법은 지지점간 거리 2,500mm, 부하점간 거리 300mm의 4점 휨으로써 하중부하는 500kgf씩 단계적으로 증가시켜 각 단계마다 변형, 변위량을 계측하였다. 주 철근 변위가 항복변위의 1, 2, 3 배로 3회 반복하여 재하한 후 매번 하중을

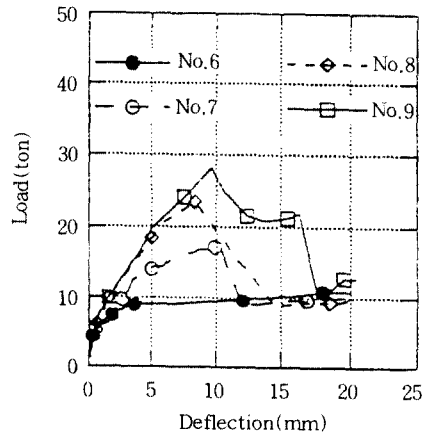


그림 8 보의 DEFLECTION

제거하였으며 4회째에는 최종 파괴에 도달될 때까지 하중을 작용시켰다.

표 4의 재하시험 결과는 항복하중과 최대하중을, 그림 8에는 6~10의 하중변위선을 표시하였다. 보강된 모든 시험체가 무보강의 시험체에 대하여 항복하중을 상승시키고 있는 사실로서 탄소 섬유에 의한 강성의 향상이 확인되었다. 주 철근의 항복하중 P_y 는 2.6t의 강판을 접착시킨 것이 최대가 됨으로서 sheet를 3층 접착시킨 case(No. 8~10)가 거의 근사치의 항복하중을 나타내고 있다. 이 항복하중의 증가는 휨 모멘트에 의한 인장력을 철근과 sheet가 공동으로 부담하기 때문이다. 그림 9에서는 보중앙에서의 보강재 변위(No. 6의 철근변위, No. 9의 sheet의 변위)와 하중의

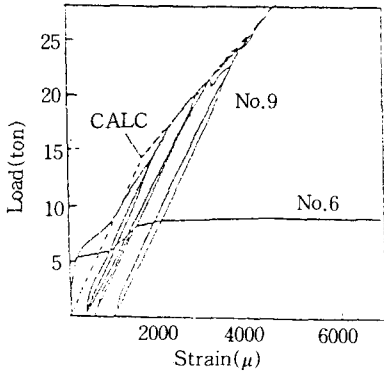


그림 9 補強材 STRAIN과 荷重

관계를 나타낸다. 그림의 실선은 계산치로서 실험 결과와 거의 일치되고 있다.

철근 항복후의 거동에 대해 고찰하면, 무보강 및 강판접착보강 시험체에서는 항복후에는 거의 하중이 증가되지 않고 변형되어 파괴되지만 탄소섬유 보강 시험체는 주철근의 항복후에도 변형과 동시에 하중이 증가한다. 이것은 강판이 0.16% 정도의 항복변형 이후에는 하중 증가분의 수용이 허용되지 않으나 탄소섬유 sheet는 1.5%의 파단 변형까지 항복되는 일이 없고 직선적으로 하중을 수용하기 때문이다. 그림 9에 보여지듯이 무보강 시험체에서는 철근의 응력 변형곡선과 마찬가지로 항복후에는 하중의 증가를 수반하지 않고 변형이 진행되는 경향이 있음에 반하여 보강 시험체는 철근 항복후에도 하중이 증가되고 있다. 최대 내력에 관해서 무보강과 비교해 보면 강판접착보강체는 약 1.9배, sheet 보강체에서는 FTS-C1-30 3ply는 약 2.1배, FTS-C5-30 3ply 및 보양면방향으로 1ply over-wrap시킨 보강체(No. 9)는 약 3.1배의 내력을 나타내어 탄소섬유 sheet 보강에 의한 보의 내력 향상이 명확하게 확인되었다. No. 9, 10을 제외하고는 강판접착을 포함시켜 파괴는 보강체의 박리에 의하여 발생되었다. sheet의 박리는 콘크리트 표층의 모르타르의 응집층의 돌출부에서 발생, 접착계면 및 접착층내에서는 발생되지 않았다. 정착법의 오류에 주목하면 접착만의 것은 전체적인 파괴 형상은 박리임에 대하여 No. 9의 over-wrap 접착보강체에서는 sheet의 박리가 발

생되지 않고 파괴는 콘크리트의 전단에 의하여 일어나 최대하중이 가장 높게 나타나고 있다. 앵커볼트로 고정시킨 것은 박리하중의 증가는 보여지지 않았다. 이러한 사실로서 보 양면방향 over-wrap 방식이 정착강화에 유효하고 주 철근 방향과 병용함으로써 가장 효과적인 철근콘크리트 보의 내력증가가 기대될 수 있다.

이상의 시험의 결과 철근 콘크리트 보의 보강에 대하여 탄소섬유 접착보강이 유효함이 확인되었고 강판접착과 마찬가지로의 설계계산이 가능함을 이해할 수 있다.

4.2 보의 전단시험

콘크리트 구조물의 전단보강에 탄소섬유가 검토되고 있다. 기동형태의 구조물에 대하여 탄소섬유를 감아서 보강하는 방식에 관하여 교각의 내진보강을 중심으로 많은 연구가 진행, 전단내력, 인성(안정성)향상에 유효한 사실이 보고되고 있다. (3,4) 다음에서는 大成建設 宇治公隆의 『탄소섬유에 의한 보 부재의 전단보강효과에 관한 연구』에 대해서 소개한다. (5,6,7) 탄소섬유 sheet로서 보강한 보

표 5 補強仕様

No.	STIRRUP 유 무	CFS에 의한 보강상황	비 고
1	없음	-	기준공시체(무보강)
2	있음	-	보강 : $\phi 6-7\text{cm}$ pitch (전단보강재비 0.81%)
3	없음	CFS 1PLY OVER-WRAP	CFS 175g/m ² : CF환산두께 0.0097cm (전단보강재비 0.194%)
4	있음	CFS 1PLY OVER-WRAP	STIRRUP+CFS (전단보강재비 1.004%)
5	없음	CFS 측면접착 (수직배열)	CFS 175g/m ² : CF환산두께 0.0097cm (전단보강재비 0.194%)
6	없음	CFS 측면접착 (경사 45° 배열)	단, CFS는 상정된 경사균열에 대하여 직각이 되도록 배열
7	없음	CFS 측면접착 (수직배열, 양 2배)	CFS 350g/m ² : CF환산두께 0.0194cm (전단보강재비 0.388%)
8	있음	CFS 측면접착 (수직배열)	STIRRUP+CFS (전단보강재비 1.00%)

공시체의 전단 재하실험을 수행, 탄소섬유 sheet의 접착방법의 영향, 띠철근과의 전단력의 분담에 관해서 검토하였다. 표 5에서 보여지는 8종의 시험체에 대해서 시험하였다. 형상, 띠철근 및 탄소

표 6 시험결과

공시체 No.	보강조건		경사균열 발생하중 (t f)	최대하중 (t f)	파괴형태
	STIRRUP	CFS			
1	없음	없음	4.35	5.0	전단파괴
2	있음	없음	4.75	13.0	휨 압축파괴
3	없음	IPLY OVER WRAP (4.4)*	11.9	11.9	전단파괴(코너부 CFS 파단)
4	있음	IPLY OVER WRAP (6.0)*	12.8	12.8	휨 압축파괴
5	없음	측면접착 (수직배열) (3.3)*	9.1	9.1	전단파괴 (CFS 박리)
6	없음	측면접착 (경사배열) (3.5)*	11.6	11.6	전단파괴 (CFS 박리)
7	없음	측면접착(수직 배열, 2배량) (3.2)*	9.1	9.1	전단파괴 (CFS 박리)
8	있음	측면접착 (수직배열) (3.9)*	13.0	13.0	휨 압축파괴

* AE측정으로 추정치

표 7 STIRRUP과 탄소섬유 SHEET의 분담력

공시체 No.	보강제	P=10t f시 인장력		P=12.5t f시 인장력	
		인장력	합 계	인장력	합 계
2	STIRRUP (0.81%) (1200 μ)	712kgf/개	712kgf/개	962kgf/개 (1200 μ)	962kgf/개
4.8	STIRRUP (0.81%) (600 μ)	356kgf/개	*675kgf/개	505kgf/개 (850 μ)	*904kgf/개
	CFS (0.19%) (2000 μ)	319kgf/7cm (2000 μ)		399kgf/cm (2500 μ)	

* CFS 7cm 폭에서 STIRRUP 1개에 상당하는 것으로서 계산

섬유 sheet의 배치상황을 그림 10에서 나타낸다. 재하는 전단지간비 a/d=2.5로 하여 2점 집중재하로 최대하중까지 증가시켰다.

실험결과를 표 6에서 보여준다. 띠철근과 탄소섬유 sheet 모두 경사균열의 발생하중에는 영향을 주지않지만 경사균열 발생후로부터 유효하게 전단력을 부담하여 취성적인 파괴를 억제시켜 종국 전단내력을 향상시킨다고 생각된다. 표 7에서 가르키듯이 띠철근이 있는 보에 탄소섬유 보강을 한 경우 경사균열 발생후의 기존 구조물 중의 띠철근

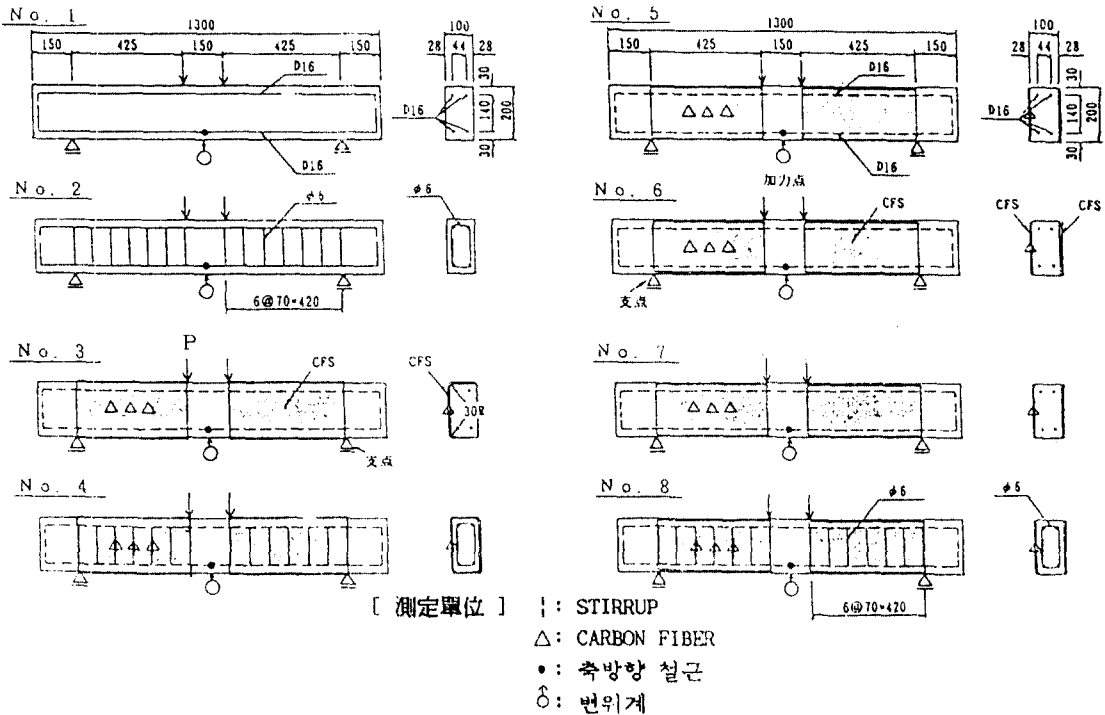


그림 10 供試體의 形狀 補強單位圖

의 수용 전단력을 저감시킬 수 있다. 탄소섬유 sheet를 측면에 접착시켜 보강한 경우 탄소섬유가 끊어지기 전에 sheet의 박리가 발생, 전단내력은 탄소섬유 sheet의 부착력에 의존한다.

4.3 콘크리트 홈관 보강시험

탄소섬유 sheet는 홈관과 같은 管狀구조물의 보강에 유효한 보강재이다. 管狀구조물의 외압에 대한 보강효과를 검토하기 위하여 홈관의 내외면을 sheet로 보강하여 재하시험 하였다.⁽⁸⁾ 홈관은 JIS A 5303의 외압관 B형·1종 호칭경 900의 것을 길이 70cm로 전단한 것을 사용하였다. 내면에 2개층 보강체를 1개, 외면에 2개층 보강체 1개를 각각 준비했다. 보강에 사용한 sheet는 표 1에 보이는 FTS-C1-20 상당 섬유무게 175g/m²의 소재를 사용하였다. 시험체의 사양을 표 8에 나타낸다. 재하는 그림 11에서 보이는 장치를 이용하였다. 무보강 상태에서 일단 균열까지 재하시킨 후 하중을 재하한 상태에서 보강하여 재차 파괴까지 재하하였다. 비교가 되도록 무보강 시험체에 대해서도 마찬가지로 파괴까지 재하하였다. 표 9에 보여지는 시험결과는, 파괴하중은 무보강 시험체와 비교하여 내측 보강체가 2.1배, 외측 보강체가 4.2배가

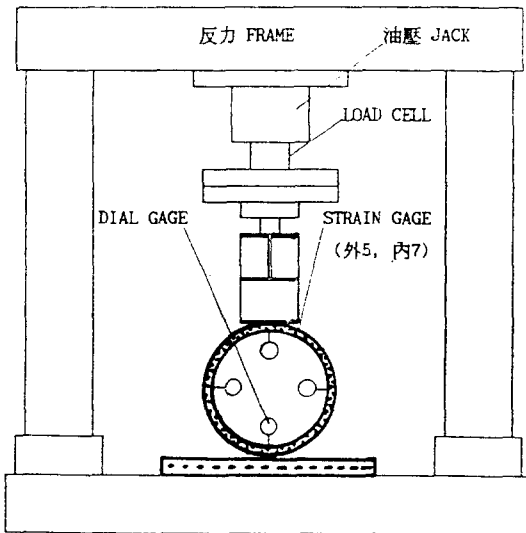


그림 11 外壓試驗方法

표 8 供試體仕様

관종	JIS A 5303 B형 1종	
촌범	내경	φ900
	두께	73mm
배근	주방향	φ5.0 @65
	종방향	φ4.5--8개
재료	철근	60kg/cm ² 이상
강도	콘크리트	500kg/cm ² 이상

표 9 外壓試驗結果

보강방법	균열하중 (kgf/m)	파괴하중 (kgf/m)	強度增加率
무보강	6,345	6,909	1.0
외부보강	5,846	28,964	4.2
내부보강	6,616	14,178	2.1

되어 외압에 대한 내력을 대폭 상승시켰다.

4.4 促進暴露시험

탄소섬유는 화학적으로 대단히 안정된 물질로서 수분, 자외선에 의한 열화가 없는 것으로 알려져 있으나 접착에 사용하는 에폭시 수지는 자외선에 의한 열화가 발생될 수 있다. 여기에서 FTS의 자외선에 대한 내구성을 확인하기 위하여 Sunshine Carbon Arc式 촉진폭로시험을 하였다.

탄소섬유 sheet의 강도, 콘크리트와의 접착강도에의 영향을 조사하기 위하여 2종류의 시험체(그림 12)을 준비하여 각각 촉진폭로를 처리한후 각각 인장시험, 접착시험을 하였다. 또한 도장의 영향을 검토하기 위하여 폭로면에 도장한 것과 미도

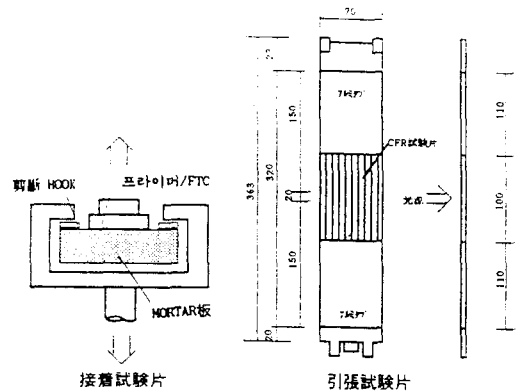


그림 12 促進暴露試驗

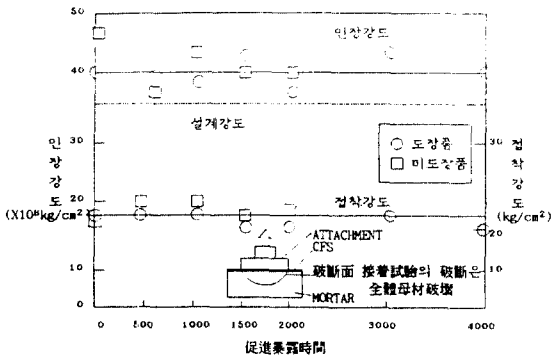


그림 13 促進暴露試驗結果

장의 2종류에 대해서 도장품은 4,000시간까지, 미도장품은 2,000시간까지 촉진폭로실험을 하였다. 탄소섬유는 FTS-C1-20을, 프라이머와 접착수지는 Tonen사의 상온경화형 에폭시수지로서 각각 FP-NS, FR-E3P를 사용하였다. 실험결과를 그림 13에 보여준다. 인장시험에서는 도장의 유무에 관계없이 폭로전후에 FTS의 인장강도의 저하는 발견되지 않았다. 촉진폭로의 2,000시간은 7~10년, 4,000시간은 14~20년의 일본 국내에서의 표준환경에서의 옥외폭로에 상당하나 인장강도, 접착강도 어느쪽도 저하되지 않고 자외선에 의한 열화는 관측되지 않았다. 이것은 탄소섬유가 자외선을 투과하지 않으므로 sheet 내부에 함침된 수지, 콘크리트와의 계면의 프라이머 및 수지에 대해서는 탄소섬유가 자외선을 차단시켜 열화를 방지시키기 때문이라고 판단된다.

5. 탄소섬유 sheet의 이용동향

FTS는 그의 우수한 보강성과 시공성능이 평가되어 1991년 이후 일본에서 급속히 시공실적이 증가되어 왔다.

건축분야에서는 노후화된 콘크리트 굴뚝의 보수·보강, 아파트나 창고 및 주차장 등의 슬라브나 보의 보수·보강에 사용되고 있다. 슬라브에는 과재하중, 콘크리트의 열화 등에 의하여 균열이 발생된 부위에 FTS를 접착하여 휨내력을 향상시키며 간단한 시공성을 이유로 공사실적이 증가되

고 있다. 콘크리트의 균열, 철근부식에 의해 내력이 저하된 굴뚝에 대해서는 축방향으로 FTS를 접착시켜 줌으로서 휨내력을, over-wrap 접착으로 전단내력을 향상시켜 안전성을 높이며 또한 성능저하에 의한 콘크리트의 박리, 탈락을 방지하는 등의 효과를 얻는다.

토목분야에서는 터널이나 교량의 보수·보강공사에서 탄소섬유 sheet 접착공법의 사용이 증가되고 있다. 그중에서도 도로교 상판에의 응용이 대단히 활발하게 진행되고 있다. 도로교의 상판은 과재차량에 의한 가혹한 반복하중을 받아 손상발생율이 높은 부재로서 교통량의 증대에 따른 열화축진이 현안문제로 제기되고 있다. 또한 대형차량의 증가에 따라 노후교량에 대한 조속한 보강대책이 필요하게 되었다. 상판보강에 관해서는 여러가지 공법이 사용되고 있으나 그중 탄소섬유접착공법은 교통규제를 수반하지 않고 하부에서 단기간에 시공 가능한 점, 부식이 없고 시공후의 정기적 도장작업 등의 유지관리가 필요없는 점 등의 여러가지 장점을 갖고있다.

터널의 피복 콘크리트에 대해서는 설계시에 예상되지 않았던 토압, 배면공동 등에 의한 변형에 대하여 탄소섬유 sheet 접착공법이 채용되고 있다. 균열이 발생된 피복내면에 탄소섬유 sheet를 접착시킴으로서 균열의 확산방지, 압력변화에 의한 모멘트의 인발력을 부담시켜 피복의 내력을 향상, 콘크리트의 탈락방지 등에 뛰어난 효과를 발휘한다. (財)철도종합연구소에서 모형을 사용한 실험에 의한 탄소섬유 sheet 접착공법의 보강효과가 확인되고 있다.^(9,10)

6. 결 언

앞에서 탄소섬유 sheet 접착공법의 특징과 그 동향에 대하여 소개하였다. 탄소섬유의 가격은 최근들어 상당히 싸졌으나 재료 가격 측면에서 종래의 자재에 비교하여 여전히 고가인 편이다. 그러나 공사 전체비용, 보강성능, 시공성능이 우수하게 평가되어 실제적인 토목, 건축구조물에의 응용이 급속히 확대되고 있다. 현재, 실제 시공에 따른 내구성의 확인, 설계기준의 확립, 시공기술력의

항상 등이 중요한 과제로 추진되고 있다. 사회자본의 보존과 그의 유지관리가 점차 중요시되고 있는 현실에서 탄소섬유 sheet 접착공법이 콘크리트 구조물의 유지, 일상생활의 안전과 편의성 확보에 도움이 될 수 있는 유용한 공법으로서 계속 연구 발전될 것을 기대한다.

참 고 문 헌

1. 成井信 他, “콘크리트 構造物의 維持と 補修” 鹿島出版會
2. 柿崎正義, 日本建築學會氏 Vol. 30 No. 6(1991)
3. 谷木 外, 土木學會第45回年次學術講演會
4. 松田, 村山, 大野, 土木學會第47回年次學術講演會
5. 宇治, 彬山, 橫田, 齊藤, 土木學會第45回年次學術講演會
6. 宇治, 彬山, 橫田, 齊藤, 土木學會第45回年次學術講演會
7. 宇治, 콘크리트工學論文集 第3卷第2號 1992年 7月
8. 小松, 田中, 土木學會第47回年次學術講演會
9. 朝倉, 小島, 安藤, トンネル工學研究發表會論文報告集 第1卷(1991)
10. 朝倉, 安藤 他, 第9回岩の力學國內シンポジウム講演論文集(1994) 