

# 아라미드섬유를 적용한 철근콘크리트 구조물의 보수·보강 공법소개



**황보석**  
교육정보위원회 위원장  
(주)ES건축구조엔지니어링, 대표이사  
**노광근** (주)희상라인포스, 대표이사  
**유호진** (주)ES건축구조엔지니어링, 이사

## 1. 개요

현재 우리나라에서는 기존에 지어졌던 구조물에 대한 리모델링 수요가 증가하고 있다. 특히 구조에 관련된 전문가는 물론이고 비전문가인 일반인들도 지진에 대한 관심이 대폭 증가하면서, 기 시공되었던 구조물에 대한 내진성능확보를 위해 보강하는 사례도 나타나고 있다.

국내에 많은 종류의 보강공법과 보강재료가 소개되고 있으며, 그중 내진성능확보에 유리한 연성능력과 시공성이 우수한 보강재인 아라미드섬유에 대한 특징과 보강사례를 소개하고자 한다.

아라미드 섬유는 1971년 미국 듀폰사에서 개발한 상품으로 방향족 폴리아미드 섬유 나일론에 속한다. 현존하는 섬유 중에서 가장 강한 섬유소재의 하나로 강철보다 강도가 7~10배 높고 300℃에서도 산화하지 않는 내열성과 화학약품에 대해 강한 내화학성을 지닌 고기능성 소재다. 이 섬유는 금속에 비해 가볍고 가공이 편리해 고성능 타이어, 호스, 광케이블 보강재 및 방탄소재 등 다양한 산업 분야에 적용되고 있으며 특히 IT 관련 소재 및 광케이블, 마찰제 적용 분야에서 수요가 크게 늘고 있는 추세이다. 현재 미국 『듀폰』과 일본 『데이진』만이 생산 기술을 보유하고 있다.

아라미드 섬유를 이용한 아스팔트콘크리트의 혼합물로 건설용 자재에 대한 연구가 진행되고 있으며, 건축물 보강용 섬유로는 『듀폰』에서 고강도, 고탄성의 케블라(kevlar)29와 49를 생산하고 있고 이중 케블라(kevlar) 49를 사용하여 아라미드 슈트와 rod 제품, 그리고

스트립 제품이 개발되어 철근콘크리트 건축물 또는 구조물에 보수 보강재로 사용되고 있다.

최근까지 철근콘크리트 보수 보강재분야에서는 상대적으로 가격이 고가인 아라미드섬유를 이용한 제품보다는 탄소 섬유 슈트를 이용한 제품이 널리 사용되어 왔으나, 최근에는 아라미드 섬유의 가격이 저렴해짐으로써 아라미드 섬유를 이용한 제품이 경쟁력을 가지게 되었다.

특히 아라미드 섬유가 탄소섬유에 비해 신율이 커서 연성능력이 우수하고, 순간 충격에 견디는 방폭 성능이 우수한 장점이 있어 방폭 및 내진보강에 적합한 소재로 평가 되고 있다.

## 2. 아라미드 섬유 및 섬유보강재의 특성

### 1) 일반적인 철근콘크리트 보강 공법의 종류

#### (1) 부재 단면 증가 공법

기존 철근콘크리트 보 또는 기둥에 앵커 등을 이용하여 일체성을 확보하고 여기에 철근을 보강하여 콘크리트를 덧치는 습식공법으로 공사기간이 길고 시공이 어려울 뿐만 아니라 부재의 단면적이 증가하는 단점이 있다. 단면적이 증가하면 건축 법규상의 제약(주차장 기둥의 경우 주차면적 확보곤란, 외부기둥의 경우 건축선에 의한 제약등)이 수반되며 건축물 내부의 설비와 간섭이 발생하여 천정고가 낮아지며, 기둥 보강의 경우에는 실사용 면적을 현저히 감소시킨다.

〈 표2-1 여러 가지 섬유소재의 물리적 특성 비교 〉

재원	탄소섬유				Aramid 섬유			Glass 섬유		폴리비닐알콜섬유	강섬유
	PAN계		Pitch계		Kevlar	Twaron	Technora	E-Glass	내알카리 Glass		
	고강도품	고탄성율품	범용품	고탄성율품							
인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	350	250~400	78~100	300~350	290		350	350~360	180~350	230	40~200
탄성계수 (kgf/mm <sup>2</sup> )	20,000~24,000	35,000~65,000	3,800~4000	40,000~80,000	11,100		7,400	7,400~7,500	7,000~7,600	6,100	20,000
신율(%)	1.3~1.8	0.4~0.8	2.1~2.5	0.4~1.5	2.4		4.6	4.8	2~3	5.0	2~20
밀도(g/cm <sup>3</sup> )	1.7~1.8	1.8~2.0	1.6~1.7	1.9~2.1	1.45		1.39	2.6	2.27	1.30	7.8
지름(μm)	5~8		9~18		12		12	8~12	8~12	14	200~700

(2) 강판을 이용한 보강 공법

강판을 이용하여 필요 구조체에 덧대어 보강하는 방법으로써 부재의 단면적을 크게 증가시키지 않으면서 내력을 확보할 수 있는 공법이며 부재의 강성과 균질한 강판 재료의 특성상 가장 일반적인 보강 방법이다. 그러나 부재의 무게가 무겁고, 시공이 어려우며, 부식방지를 위하여 별도의 공정이 필요하다.

(3) 섬유를 이용한 보강 공법

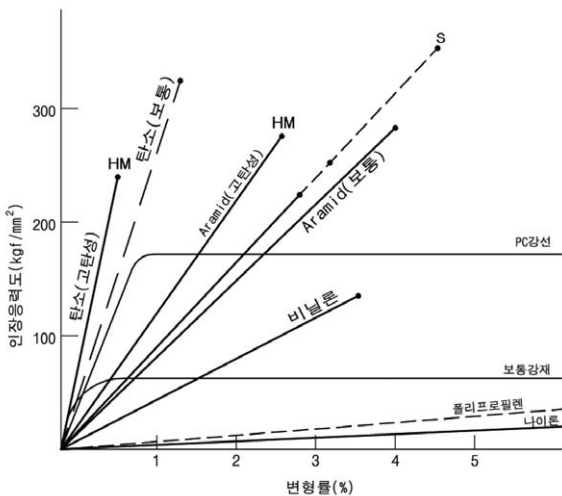
구조보강에 이용하고 있는 섬유 보강 재료로서는 탄소섬유, Aramid섬유, 유리섬유, 고강도·고탄성 폴리에스테릴렌섬유, 비닐론 섬유, 폴리프로필렌섬유, 아크릴섬유 등이 있다. 이들의 섬유는 강재와 비교할 때 작은 비중에도 불구하고 인장강도가 크며, 내식성도 우수하다. 이런 특성으로 합리적이고 효율성이 높은 콘크리트 구조물의 보강설계가 가능하며, 특히 콘크리트 열화요인중 염해 등에 의한 외

적요인을 차단하여 내구성을 확보할 수 있다.

현재 실용화를 위한 섬유로서는 탄소섬유, Aramid섬유, 유리섬유, 비닐론 섬유이다. 이들의 품질을 대략적으로 설명하면 〈표2-1〉과 같으며, 〈그림2-1〉은 섬유의 인장응력과 변형율과의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 강재를 제외한 모든 섬유의 응력과 변형율은 파단시까지 직선관계에 있으며, 철근과 같은 항복현상을 나타내지 않는 것을 알 수 있다.

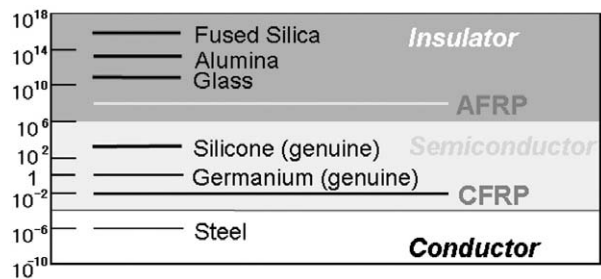
탄소섬유는 다른섬유에 비하여 탄성계수가 크며, 파단시 변형율인 신율이 1% 정도로 작다. 이 때문에 파괴인성이나 충격저항성이 떨어진다는 결점을 가지고 있다. 또한 탄소섬유는 유리섬유에 비하여 콘크리트 보강재로서 필요한 성질인 내수성, 내알카리성 등의 화학저항성이 우수한 반면 전도성이 있는 단점이 있다.

Aramid섬유는 화학저항성이 우수하고 전도성이 없으며, 신율이 약2%로 탄소섬유에 비해 연성능력이 우수하여 철근콘크리트구조 보강재와 내진보강재로 적합한 소재이다.



〈 그림2-1 인장응력-변형율 관계 〉

〈 표2-2 보강재료의 전기저항 비교표 〉



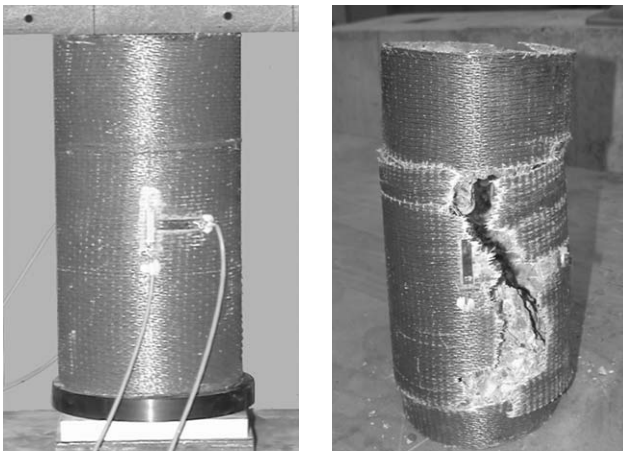
Fiber	Unit	AFRP	CFRP	GFRP
Vol. Resistibility	Log[Ω·cm]	>15.0	5.7	>15.0
Breakdown Voltage	kV/mm	20.9	*	17.6
Dielectric constant	-	3.9	*	5.1
Electromagnetic shield property	dB	0	45	0

## 2) 아라미드섬유를 이용하여 보강한 철근콘크리트 구조물의 물리적 특성

아라미드섬유를 이용한 보강공법의 물리적 특성과 특징을 국내연구 자료와 해외 연구 자료를 인용하여 소개한다.

### (1) 압축강도 시험

콘크리트를 아라미드 섬유로 보강한 후 콘크리트에 압축하중을 가하여 섬유의 인장 파괴를 유도하면 보강된 아라미드 섬유는 극한 하중에서 섬유가 찢어지는 형태로 파단이 진행되어 붕괴의 징후를 충분히 알 수 있으며 전면 붕괴로 이어지지 않는다. <그림 2-2> 아라미드 섬유 파단현상 참조.

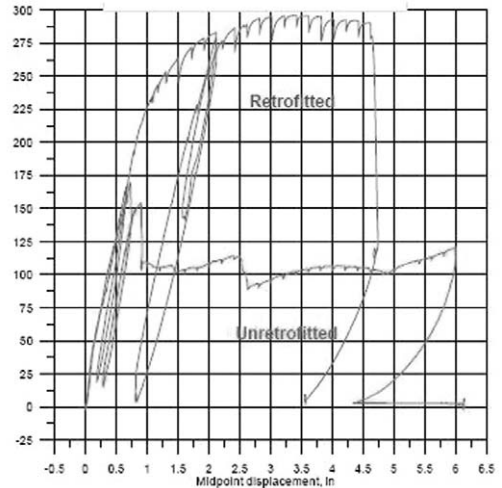


< 그림 2-2 아라미드섬유 파단시험 >

### (2) 기둥에 대한 수평변위 실험

보통의 철근콘크리트 기둥과 아라미드 섬유로 보강된 철근콘크리트 기둥을 제작하고 수평하중을 반복적으로 가하여 철근콘크리트 기둥

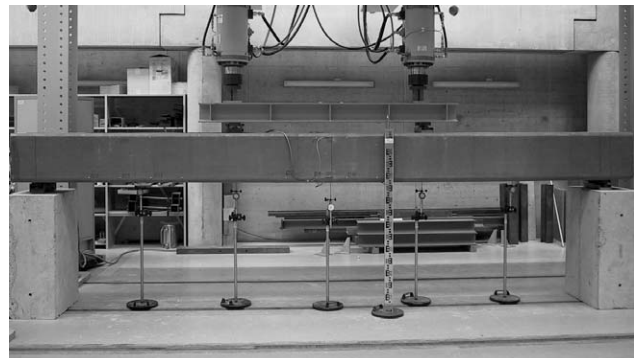
의 내력을 비교 시험하였다. 시험결과 아라미드 섬유로 보강된 철근콘크리트기둥의 휨인장력과 변위가 상당히 진행되어도 파괴되지 않는 것을 보여주고 있다. <그림 2-3>



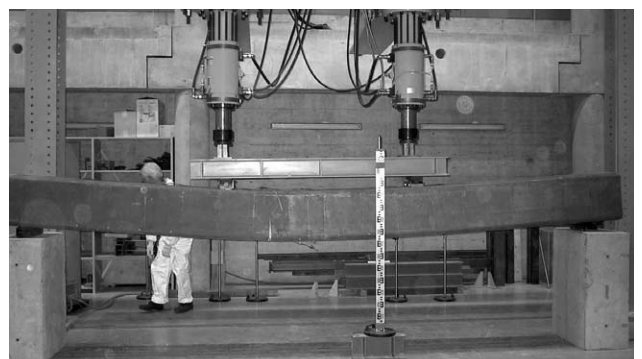
< 그림 2-4 반복수평하중에 의한 하중과 변위그래프 >

### (3) 보의 휨변형 실험

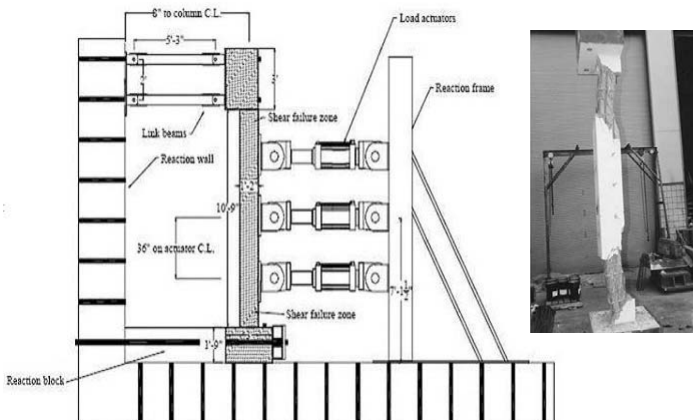
아라미드 섬유로 보강된 보의 휨변형을 시험한 결과 보강된 철근콘크리트보는 콘크리트와 철근이 항복하였음에도 불구하고 육안으로 구분할 수 있을 정도의 변위가 진행되어도 파괴되지 않았다.



< 그림 2-5 아라미드섬유 보강후 가력전 모형 >



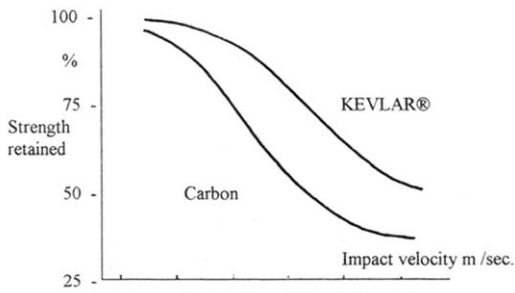
< 그림 2-6 아라미드섬유 보강후 가력후 변형 >



< 그림 2-3 수평 반복하중 시험장치 및 시험체 >

(4) 충격 및 내진성능 시험

아라미드 섬유로 보강한 기둥과 탄소섬유로 보강한 기둥을 Steel Ball로 충격을 가한 실험에서 아라미드섬유로 보강한 기둥의 보유내력이 우수한 것을 볼 수 있다.



〈 그림 2-7 Steel Ball 충격 실험 〉

또한 지진이 발생하면 1차적으로 붕괴되는 건물에 의한 피해가 발생되나 2차적으로는 화재와 위험물의 폭발에 의해 인명피해가 발생된다. 아라미드 섬유로 보강된 건물의 경우 폭발에 대한 저항성이 매우 우수하여 지진에 의한 폭발의 2차 피해를 줄일 수 있다. 〈그림 2-8〉은 아라미드섬유로 보강한 콘크리트기둥과 보강하지 않은 콘크리트 기둥에 폭파 실험 후 변형모습을 비교한 사진이다. 그림에서 보듯이 보강 후 폭파에 의한 내구성이 우수한 것으로 나타났다.



보강전

보강후

〈 그림 2-8 아라미드섬유 보강전 후 폭파시험에 의한 변형형상 〉

3. 아라미드섬유를 적용한 철근콘크리트 구조물의 보강방법

콘크리트 내구성 저하에는 여러 가지 요인이 있을 수 있으나 시간경과에 의한 내구성 저하요인으로는 콘크리트 중성화와 이것으로 인한 철근부식을 들 수 있을 것이다.

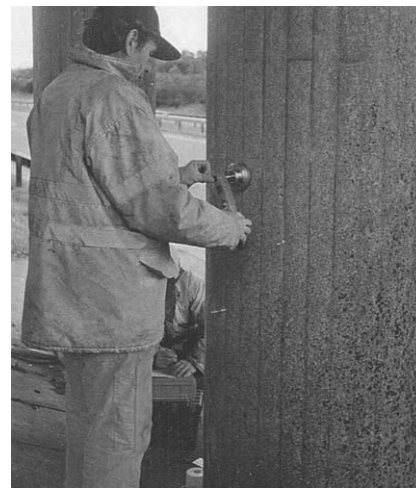
내구연한이 오래된 콘크리트 표면은 세월이 지남에 따라 외기에 노

출되고 열화된다. 콘크리트에 중성화가 진행되면서 대기중의 수분과 이산화탄소등이 콘크리트의 미세공극을 따라 침투하여 콘크리트 내부에 있는 철근에 녹을 발생시키며, 녹순철근의 체적이 2~4배로 팽창하여 콘크리트 표면에 균열을 발생시키고 균열속으로 공기와 물이 계속 침입하여 철근의 부식이 진행되면 철근 콘크리트 구조물은 내구성을 잃게 되는 것이다.

또한 콘크리트 시공시 부재 내부에 있는 주근 및 보조근에 의하여 콘크리트 재료가 충분히 채워지지 못하거나 시멘트와 골재가 잘 배합되지 않아 콘크리트 표면의 강도가 저하되는 경우가 있다. 이러한 구조물에 보강재를 부착하여 내진보강을 할 경우 보강재가 충분한 강성을 발휘하기전에 콘크리트표면이 탈락하게 됨으로서 보강재의 기능을 다 하지 못하게 된다.

따라서 아라미드 섬유를 적용한 철근콘크리트 구조물의 보강공법에서는 열화된 표면을 충분히 제거하는 바탕처리 공정이 매우 중요하며, 이에 대한 시공법을 간략하게 소개한다.

① 그라인더 등을 사용하여 강도가 높은 콘크리트 면을 노출시킨다. 아라미드섬유시트 시공시 적절한 표면 단차는 1mm 이내이다. 콘크리트 모서리부는 연마하여 R=10mm 이상으로 곡면화 한다. 표면 그라인딩은 아라미드 섬유시트의 충분한 접착력을 확보하기 위한 공정으로 시공할 콘크리트 표면의 도장, 오염, 열화층 등을 그라인더 등을 사용하여 제거하여야 한다.



〈 그림 3-1 표면처리 모습 〉

② 콘크리트 표면의 결손부위는 기존 콘크리트 이상의 강도를 가지고 있는 고강도 몰탈, 에폭시 몰탈 등으로 원형 복구한다. 이 때 몰탈면 단차는 1mm 이내로 평활하게 마감한다

③ 적당한 배분용기로 혼합된 프라이머를 윗면 다음 시공면에 도포롤러로 균일하게 도포하며, 도포량은 시공면의 상태에 따라 다르지만

일반적으로 250g/m<sup>2</sup>이다.



〈 그림 3-2 프라이머 도포 〉

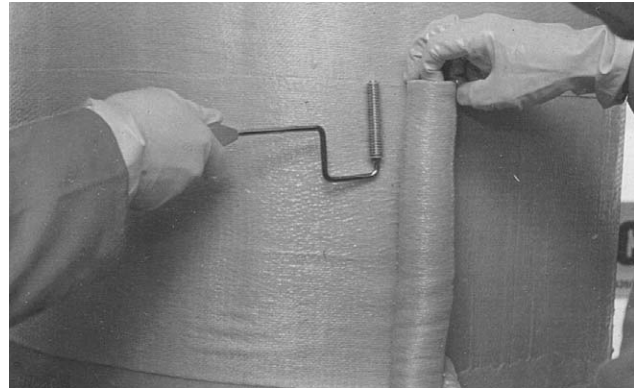
④ 프라이머가 완전히 건조된 후 시공면의 구멍과 요철부위를 고무 또는 플라스틱 주걱을 사용하여 에폭시 페티로 메워 매끈하게 마감한다.

⑤ 아라미드 섬유시트의 섬유방향으로 탈포롤러를 강하게 문질러 레진이 아라미드섬유시트에 배어나올 때까지 함침작업을 수행한다. 함침은 중앙부에서 양끝단 방향으로 진행하는 것이 바람직하며, 주의 깊은 함침작업을 통해 레진이 반드시 섬유 위쪽으로 배어 나오는 것을 확인하여야 한다.



〈 그림 3-3 아라미드 섬유시트 함침 - 1차 〉

⑥ 함침이 완료된 아라미드섬유시트를 시공면으로 옮겨 부착시킨 후 손이나 고무주걱 등을 사용하여 강하게 밀착시켜 시공면과 시트 사이의 기포와 과량의 함침용레진을 제거하여 준다. 함침작업 장소와 시공면과의 거리가 멀거나 이동이 불편한 경우에는 함침이 완료된 아라미드 섬유시트를 적당한 크기로 접어서 옮길 수 있다.



〈 그림 3-4 아라미드 시트 부착 및 공극 제거 〉

⑦ 함침 및 아라미드섬유시트 부착작업을 반복한다. 함침 및 시트 부착 작업시 한 번 혼합한 함침용 레진의 사용이 완료되면 함침판에 남아 있는 레진을 제거한 후 새로운 레진을 혼합하여 함침작업에 사용한다.



〈 그림 3-5 아라미드 시트 함침 - 2차 〉

⑧ 섬유길이 방향으로 10cm 이상의 겹침 길이를 확보하면서 아라미드섬유시트를 부착시키며 섬유 폭 방향의 겹침은 필요하지 않다.

⑨ 아라미드섬유시트 시공 후 설계강도가 발현되기까지는 다음의 양생기간을 필요로 한다.

레진 종류	SKRW (겨울용)	SKRN (표준형)	SKRS (여름용)
적용온도 (°C)	5 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 35
양생기간 (일)	14	7	7

⑩ 아라미드섬유시트 시공 후 필요에 따라 적절한 마감도장을 수행한다. 마감도장 시공방법은 각 도료의 표준시공법에 준한다.

#### 4. 아라미드 섬유 구조보강 공법의 특성 및 특징

지금까지 아라미드 섬유를 이용한 보강공법의 물리적 특성과 보강 방법을 알아보았다. 이제부터 아라미드섬유 시트로 보강한 철근콘크

리트 구조물의 특징과 경제성, 적용성, 유지관리성 등에 대하여 알아보고자 한다.

1) 아라미드 섬유 보강재 및 보강공법의 특징

아라미드 섬유 보강재의 철근콘크리트 보강공법의 성능은 다음과 같다.

- ① 강재의 5배의 인장강도를 가지며, 보강량이 작아서 보강이 완료된 후 구조물의 형상에는 변화를 주지 않는다.
- ② 비중이 강재의 1/5정도로 가벼우며, 보강후에도 중량의 증가가 없어서 구조물의 기초에 영향을 주지 않는다.
- ③ 부식에 대하여 충분히 안정되어 있고 피로에 대한 저항성도 크다.
- ④ 부도체로서 전기가 통하지 않으며, 공사중 또는 공사후에도 전기적인 문제를 일으키지 않는다.
- ⑤ 가벼우며, 작업성이 우수한 동시에 좁은 공간에서도 시공이 가능하다. 또한 숙련을 필요로 하는 작업이 거의 없으며, 유기섬유이므로 수지의 함침이 용이하다.
- ⑥ 순간적인 폭발에 견딜 수 있는 방폭 성능이 우수하다.
- ⑦ 아라미드 섬유는 신율이 약2%로서 일시에 전면적으로 파단되어 지지 않고 찢어지는 형태의 파단으로 파단의 징후를 육안으로 확인할 수 있어 대피 시간을 확보할 수 있다
- ⑧ 아라미드 스트립부재는 통상 섬유 쉬트 보강재 두께(thickness)의 열배이상의 두께로 제작할 수 있어 큰 설계하중에도 단일 부재로 보강이 가능하다.

2) 경제성 및 현장적용성

(1) 경제성

본 보강공법과 유사한 철근콘크리트 보강방법으로는 탄소섬유 보강방법이 있다. 탄소섬유 쉬트의 경우 유사한 보강내력을 갖는 아라미드 스트립 보강공법이 탄소 섬유보다 약간 저렴하나 큰 차이가 없으며, 아라미드 섬유쉬트가 탄소섬유에 비하여 취급이 용이하고 신율과 전기 절연성 등이 우수한 점을 감안하면 철근콘크리트 구조 보강재 및 내진보강재로서는 다소 경제적인 것으로 평가된다.

철판을 이용하여 보강하는 방법과 비교하면 강도와 물성에 큰 차이가 있어 단순 비교하기에 어려움이 있으며, 실제 적용하는 현장 여건에 따라 설계가 달라질 수 있고, 공사비 측면으로 보면 일반적으로 철판으로 보강하는 방법이 경제적으로 평가되고 있다. 그러나 아라미드 섬유 보강공법의 경우 시공방법이 용이하고 협소한 장소에서도 시공이 가능하여 공기를 단축시킬 수 있으며, 또한 건물의 자중을 증가

시키지 않으며, 방청페인트 등이 필요 없기 때문에 시공비로 계량되지 않은 경제성이 있다고 할 것이다.

(2) 현장 적용성

아라미드섬유는 꺾임에 의한 손실이 거의 없어 취급이 용이하고 협소한 장소에서도 적용이 가능하며 기간이 경과하여도 화학적으로 안정되어 물성의 변화가 거의 없다. 또한 강도 저하가 없어 특별한 유지 보수 없이 반영구적으로 사용이 가능하다. 이런 특성으로 철근콘크리트 건축물 등 구조물의 보강에 대하여 광범위 하게 적용이 가능하며 다음과 같다.

- 열화된 철근 콘크리트 건물 또는 구조물의 보, 기둥의 내진보강
- 교각, 연돌, 쿨링타워, 교량의 내진보강
- 철근콘크리트 건축물의 슬라브, 개구부, 조적조 벽체의 내진보강

3) 안정성 및 유지관리 편리성

아라미드 섬유는 내후성이 우수하여 장기간 노출 하였을 때 오랜 기간이 지나도 강도의 저하가 작다.

< 표 4-1 Aramid 섬유의 내후성 >

Exposure Year on The Seashore	Retention of Strength
0	100
1	98
5	95
7	92

또한 인장력이 가해진 상태에서 장기간 노출된 경우에도 강도저하가 작으며 아라미드 섬유를 resin 이나 몰탈로 피막을 형성해 주면 강도 저하가 없이 매우 안정된 내력을 유지한다.

< 표 4-2 Aramid 섬유의 피로에 대한 저항성 >

Natural Exposure Year Corresponding to Accelerated Period	Retention of Breaking Strength (%)		
	Without Finish	Fluorine Resin Coated	Mortar Coated
0	100	100	100
7	98	-	-
15	95	104	101

콘크리트구조물에 내진 보강을 할 경우 콘크리트는 물과 알칼리성을 함유하고 있으므로 보강재의 내수성과 알칼리에 대한 저항성이 매우 중요하다. 아라미드 섬유는 물에 의한 영향을 받지 않으며 알칼리

에 대한 저항성도 매우 안정적이다.

〈 표 4-3 Aramid 섬유의 화학적 저항성 〉

Dipped Time Day	Retention of Breaking Strength (%)	
	Water, 60°C	Alkaline ph=13, 60°C
0	100	100
40	100	100
90	100	100
200	100	100
400	100	98

내진 보강재가 건축물 및 구조물에서 시공될 경우 화재에 대한 저항성은 필수적이다. 아라미드 섬유는 난연성이 있으며 내열성도 우수하여 소방복의 소재로 사용되고 있으며 300°C까지는 산화되지 않는다.

〈 표 4-4 Aramid 섬유의 내화성능 〉

Temperature (°C)	Retention of Breaking Strength (%)	
	아라미드 섬유	겸침 아라미드 섬유
room	100	100
180	99	100
220	96	-
230	92	100
250	84	-
260	85	77
280	84	-

## 5. 보강 사례

해외에서는 이미 오래전부터 다양한 구조물에 아라미드섬유를 이용한 보수보강 공법을 적용하고 있으며, 원자로 또는 변전소 같은 특수 부위에 적용되고 있는 사례를 아래 사진을 통해 소개하고자 한다.

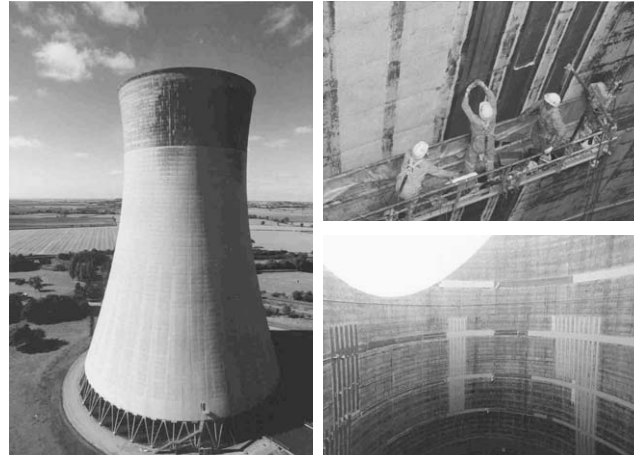
### 1) 아라미드 섬유를 이용한 내진보강사례

#### (1) 주차장 기둥 보강



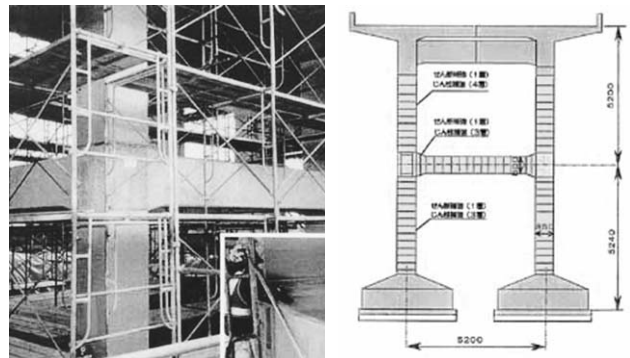
〈 그림 5-1 Harbour City Car Park Manchester (UK) 〉

#### (2) 콜링타워 보강



〈 그림 5-2 West Burton(UK): Cooling tower 〉

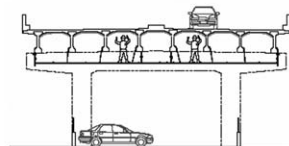
#### (3) 철도 교각 내진보강



〈 그림 5-3 Central Japan Railway Company(내진보강) 〉

#### (4) 고속도로 슬래브 보강

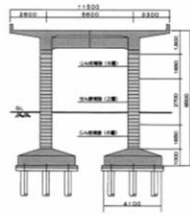
Retrofit of Concrete Highway Road Slab with Cross ply Sheets



Lower surface of Concrete Road Slab

〈 그림 5-4 HighWay Road Slab(내진보강) 〉

(5) 철도 및 고속도로 교각 내진보강



Railway Columns



Highway Columns

< 그림 5-5 RailWay Column, HighWay Column(내진보강) >

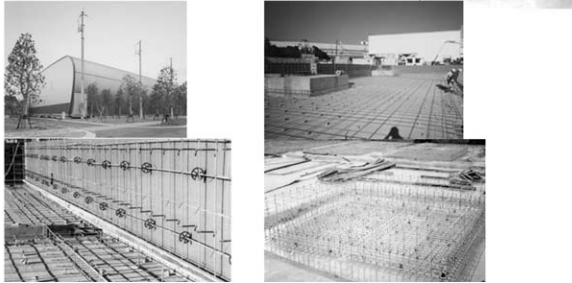
2) 아라미드 Rod 시공사례

(1) 일본 해양 과학기술센터

수퍼컴퓨터 사용으로 철근대신에 아라미드 ROD를 적용하여 시공함.

Applications of Rebar

◆ Non-electric conductive

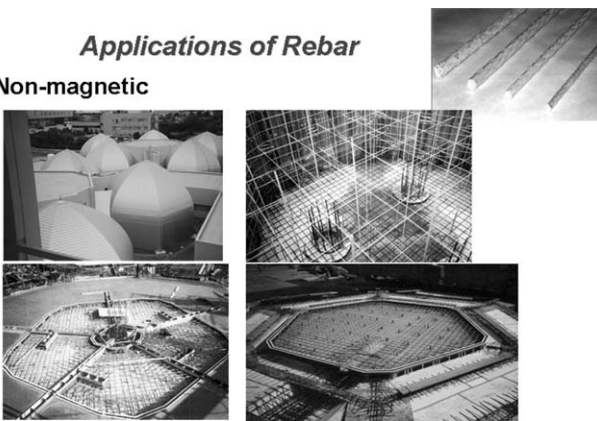


< 그림 5-6 Japan Marine Science and Technology Center >

(2) Genomic Sciences Center의 핵자기공명장치기 설치된 연구소

Applications of Rebar

◆ Non-magnetic



< 그림 5-7 Nuclear Magnetic Resonance >

6. 결론

이 글에서는 아라미드섬유 보강재의 특징과 선진국에서 개발되어 상용화되고 있는 아라미드 보강재의 보강공법이 적용된 사례를 소개 하였다.

구조물을 보강하는데 있어서 보강공법의 선택과 재료의 선택은 보강성과 경제성에 매우 중요할 것이다. 경제적인 보강이란 공사현장의 시공여건과 발주자의 경제적인 능력, 향후 유지보수에 대한 사항 까지 고려하여 보강계획을 세울 때 합리적인 결과로 경제성이 확보된다고 할 수 있다.

보강재료써의 아라미드섬유는 시공성이 좋고 연성능력이 우수하여 내진성능 증진은 물론 사용성 측면에서도 우수한 보강 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

내진설계가 반영되지 않은 국가 중요시설물들에 대해서는 내진설계 기준에 적합하도록 내진보강을 하는 추세이며, 민간소유 시설물에 대하여는 내진평가와 이에 따른 보강이나 보안을 권장하고 있다. 따라서 이러한 여건에 맞추어 시공성과 내진성능이 우수한 아라미드섬유를 이용한 공법이 실용화될 것으로 판단되며, 그 수요가 점점 증가될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 김은겸 외, 수성저온조강경화성 폴리머시멘트계 및 Aramid 섬유를 사용한 콘크리트 구조물의 보수보강 신공법 개발에 관한 연구보고서, 서울산업대학교, 1998.
2. Dr. Karl Chang, Kevlar for Structural Reinforcement, DuPont AFS, 2007
3. 탄소판을 이용한 구조물 내하력 보강을 위한 홈 삽입공법 및 보강량 설계기법, 건설신기술제295호.
4. 지진방재종합대책, 소방방재청 지진방재종합개선기획단, 2005
5. 기존철근콘크리트 골조의 리모델링을 위한 내진보강 기술의 구조성능 평가 및 개선, 한국구조물진단학회지, vol.5 no.2 2001.