

R/C 라멘교에 적용된 CFRP의 보강효과

Strengthening Effect of CFRP on the R/C Rahmen Bridge

심 종 성⁽¹⁾ 정 영 수⁽²⁾ 윤 성 원⁽³⁾ 김 규 선⁽⁴⁾
Sim, Jong Sung Chung, Young Soo Yoon, Seong Won Kim, Gyu Seon

ABSTRACT

Concrete can be defective for several reasons, including an inadequate design, material selection or workmanship, failure to appreciate the hazards associated with prevailing environmental conditions. Concrete can also deteriorate or be damaged in use. Thus, it is necessary to evaluate the safety of existing concrete structures. On the basis of these reasons, they must be performed for repair or rehabilitation. Presently, strengthening methods of R/C structure used in Korea, are an enlargement of concrete member, strengthening with steel plate or CFRP on the R/C structure. It has been widely established that strengthening effect of CFRP is superior to steel plate in terms of its lighter unit weight and higher tensile strength. But there are no construction results of CFRP on the civil R/C structure in Korea. The strengthening design technique with CFRP, its construction, and its strengthening effect for deteriorated R/C Rahmen bridge is introduced in this paper.

1. 서론

통상 콘크리트 구조물은 시공상, 사용상 또는 환경적 요인으로 인해 노후화 또는 성능저하가 발생하며 이러한 구조체의 손상은 구조물의 균열, 과다처짐, 강도저하 등으로부터 내구성, 안전성, 미관, 기능상실 등 구조성능 및 사용성상의 문제를 야기시킨다[1,2]. 이러한 성능저하현상은 안전점검 및 정밀안전진단을 통해 그 정도 및 원인이 밝혀진다.

성능저하정도 및 원인에 의거해서 구조물은 보수 또는 보강이 실시되어야 한다. 현재 국내에서 이용되고 있는 철근콘크리트 부재보강 방법으로는 콘크리트 증타설, 강판공법 및 섬유보강판 공법 등이 있으며 이중 콘크리트 증타설 및 강판공법은 현재 널리 사용되고 있는 보강공법으로 실내실험 및 현장 검증시험을 통해 그 보강효과가 널리 입증되어 있는 실정이다[3,4,5]. 그러나 섬유보강판의 일종인 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)의 경우 국내 연구진들에 의해서 정·동적 성능시험이 활발히 수행되어 그 성능이 검증되어 왔으나[3,4], 토목구조물의 경우 실구조물에 보강실적이 전

-
- 1) 정희원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수
 - 2) 정희원, 중앙대학교 토목공학과 교수
 - 3) 정희원, T-S 본드건설공업 사장
 - 4) 한양대학교 토목공학과 박사과정

무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 성능저하된 철근콘크리트 라멘교를 대상으로 신소재 보강재인 CFRP를 적용한 CFRP보강설계, 시공 및 보강효과에 대해 소개하고자 한다.

2. CFRP 보강공법

2.1 개요

탄소섬유는 대단히 가볍고 강도가 높을 뿐 더러 탄성율도 강판과 거의 동등하나 소재에 따라 강판의 3~4배 높은 성질을 보유하고 있다. 따라서 탄소섬유를 플라스틱을 모체로 하여 힘의 전달방향으로 배열할 경우 구조적 성능을 발휘할 수 있다[6].

유사한 보강공법인 강판공법과 비교하여 재료자체는 고가이나 시공기간이 상당히 단축됨으로서 교량구조물의 경우 차량통제기간을 최소화할 수 있는 시공상의 잇점 및 교량의 외관이 손상되지 않는 장점이있다[6].

2.2 재료성질

이 공법에 사용하는 재료는 탄소섬유쉬트 자체와 이를 기존 콘크리트면에 접착시키는 에폭시수지가 있다. 이러한 재료들은 탄소섬유쉬트를 개발한 회사에서 자사의 탄소섬유쉬트에 적합한 프리이머 및 접착제를 동시에 제공하고 있다. 그러므로 탄소섬유쉬트공법을 사용할 경우에는 탄소섬유쉬트 제작회사의 특성에 맞는 그 회사의 제품을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

탄소섬유는 1방향으로 제작하는 도넨사 제

품과 2방향으로 제작하는 도레이 및 미쓰비시 제품이 있다. 국내 구조보강연구회에 의해 구조보강실험이 수행되었던[3,4] 도넨사 제품인 일방향탄소섬유쉬트 Forca Tow Sheet(FTS)의 단면구조 및 재료성질은 그림 2.1과 표 2.1과 같다.

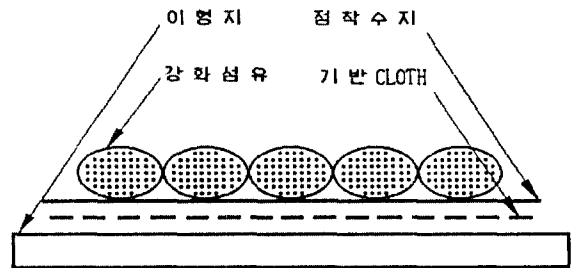


그림 2.1 탄소섬유쉬트의 단면구조

표 2.1 탄소섬유쉬트의 성질

품 목	FTS-C1-20	FTS-C1-30	FTS-C5-30
섬유종류	중탄성 CF	중탄성 CF	고탄성 CF
섬유중량 g/m^2	200	300	300
쉬트치수 $Wcm \times Lm$	500×100	500×100	500×100
표준시공두께 (mm)	0.45	0.60	0.60
설계-두께 (mm)	0.110	0.165	0.165
인장강도 kg/cm^2 (설계강도 kg/cm^2)	390 (35,500)	590 (35,500)	500 (30,000)
인장강성 kg/cm^2 (설계탄성률 kg/cm^2)	25,900 (2.35×10^6)	38,800 (2.35×10^6)	62,700 (3.80×10^6)

2.3 시공요령

탄소섬유슈트의 시공은 국내에서는 아직까지 보편화되어 있지 않아 특별한 주의가 요구되며, 시공과정별 요령을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

1) 열화층 제거

부착콘크리트 표면의 열화층(풍화, 레이턴스, 발기, 모르터, 페인트, 오염물질)을 완전히 제거한다. 연마에 의한 미립분은 압축공기로 제거하고 만약 물로 청소하는 경우는 충분히 건조시키도록 한다.

2) 철근방청처리

철근의 노출이 있는 경우에는 방청처리를 하고 콘크리트강도 이상의 폴리머 모르터 또는 폴리머시멘트 모르터를 완전히 복구시킨다. 그리고 균열부위에는 에폭시 수지를 주입하여 보수하고 표면의 평활도가 1mm이내가 되도록 한다.

3) 모서리마감

부재의 면이 만나는 모서리의 경우에는 반경 10mm이상이 되도록 모서리 부분을 마감처리하여야 한다.

4) 프라이머 도포

프라이머의 주제와 경화제는 정해진 비율에 따라 약 2분간 잘 혼합한다. 이때 진동믹서를 이용하는 것이 유리하며 1회의 혼합량은 시공 가능한 양 만큼만 한다. 필요한 경우에는 2회 도포하고 3시간~12시간 정도 경화시킨다.

5) 탄소섬유슈트 접착

탄소섬유슈트를 절단하고 1)의 방법에 의해 수지를 도포한 후 탄소섬유 슈트를 부착시킨

다. 부착 후 30분 이상 경화시켜야 하며 들뜰 때는 롤러로 다시 압착시킨다.

6) 탄소섬유슈트 도포

접착수지를 탄소섬유 슈트 표면에 재도포하는 과정을 반복하여 슈트층을 증가시킨다.

7) 양생후 마감처리

탄소섬유 슈트 보강시는 자연상태에서 24시간 이상 양생시켜야 하고, 설계강도에 도달하는 데는 평균기온 10℃인 경우 2주일, 평균기온 20℃인 경우 1주일이 소요되며 마감처리는 완전 경화후 내후성 페인트 또는 특수 미장재료를 이용한다.

3. 대상교량현황

3.1 개요

본 연구의 대상교량은 김해국제공항 후문교량으로 노후화된 기존 활주로의 대체시설확보 및 대형항공기 취항을 가능토록 하기위한, 평행활주로신설공사의 부대공사로서 설계하중은 2등교 설계하중인 DB 18 하중으로 설계되었다. 대상교량의 일반도는 그림 3.1과 같으며 제원은 아래와 같다.

- 교 장 : 21m
- 교 폭 : 13m
- 형 식 : 철근콘크리트 라멘교
- 설계하중 : DB 18
- 준공년도 : 1995년

표 3.1 구조부재별 콘크리트 평균강도

구 분	구조부재별 평균강도(kg/cm ²)	
	슬래브	교 대
반발경도법	247	216
설계기준강도	280	280
확 보 율	88.2%	77.1%

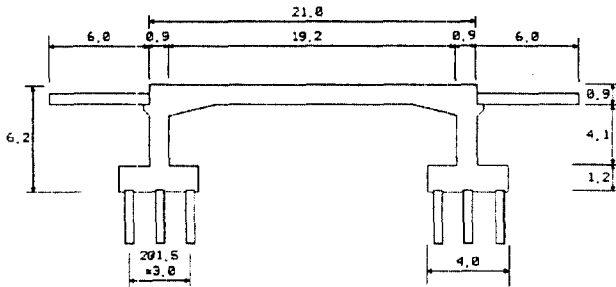


그림 3.1 대상교량 일반도

3.2 외관조사 및 비파괴시험

대상구조물은 외관조사 및 비파괴시험을 실시한 결과 콘크리트의 추정압축강도는 교대의 경우 216 kg/cm²이고 슬래브는 247kg/cm²으로 나타났으며 외관은 슬래브하면에 발생한 균열을 제외하고는 전반적으로 건전한 것으로 나타났다. 표 3.1에는 구조부재별 콘크리트의 추정 압축강도는 나타내었으며 그림 3.2에는 대상교량의 균열도를 나타내었다.

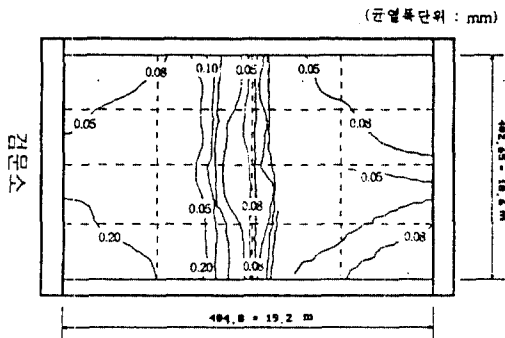


그림 3.2 대상교량의 균열도

3.3 내하력 검토

대상교량은 정·동적 재하시험 및 3-D Frame 구조해석에 의한 내하력검토를 수행하였으며 다음식에 의한 현 교량의 내하력은 표 3.2와 같다.

$$R.F = \left(\frac{\phi R_n - r_d \cdot D_n}{r_L \cdot L_n (1.0 + i)} \right)$$

$$P_n = R.F \cdot P_L$$

표 3.2 대상교량의 내하력

	최대정모멘트부위
공칭저항모멘트(R _n)	1298.9 t·m
사하중에 의한 모멘트(D _n)	538.5 t·m
활하중에 의한 모멘트(L _n)	154.2 t·m
내하율(R·F)	0.86
공용하중(P _n)	DB 15.5

4. 보강대책

4.1 개요

대상교량의 경우 표 3.2에 나타난 것처럼 현에 대한 내하력이 부족하므로 이에 대한 적절한 보강이 필요하다. 대상구조물의 경우 교량의 미관, 공기, 보강후 교량의 내하력 등을 고려하여 고성능탄소섬유슈트를 이용한 보강방법을 채택하였다.

4.2 보강설계

대상교량의 보강설계에는 도넨사의 탄소섬유쉬트인 FTS-C1-30을 사용하였다. 대상교량의 보강설계는 대상교량의 내하력을 설계하중인 DB 18하중에 저항할 수 있도록 내하율(R.F)을 1.0이 되도록 하였으며 설계방법은 강도설계법개념을 적용하였다. 현재 대상교량이 가지고 있는 내하율은 0.86이므로 내하율이 1.0이 되기 위해서는 대상교량의 공칭단면저항모멘트(Rn)이 1564.9 t·m가 되어야 하므로 대상교량의 단면의 보강에 필요한 저항모멘트는 265.9 t·m 이다.

표 2.1에서 FTS-C1-30, 탄소섬유 쉬트의 단위 폭당 인장강도는 590 kg/cm이며 항복강도는 재료시험결과 인장강도의 70%로 가정하고 설계를 수행한다.

$$R_{n,required} = 0.7 \times \text{인장강도} \times \text{쉬트폭(cm)} \times n \times (h-a/2)$$

여기서 n= 탄소섬유쉬트의 매수

h= 보의 높이

a= 콘크리트의 등가압축블럭의 깊이

표 4.1 보강설계시 각 단계 공칭저항모멘트

	보강전단면 ① (R.F=0.86)	보강후 단면 ② (R.F=1.0)	소요모멘트 ②-①
공칭 저항 모멘트(Rn)	1298.9	1564.9	256

그림 4.1에는 설계결과에 따른 탄소섬유쉬트의 보강도를 나타내었다. 보강길이는 활하중 및 사하중의 구조해석에 따른 정모멘트길이 및 정착길이를 고려하여 결정하였다.

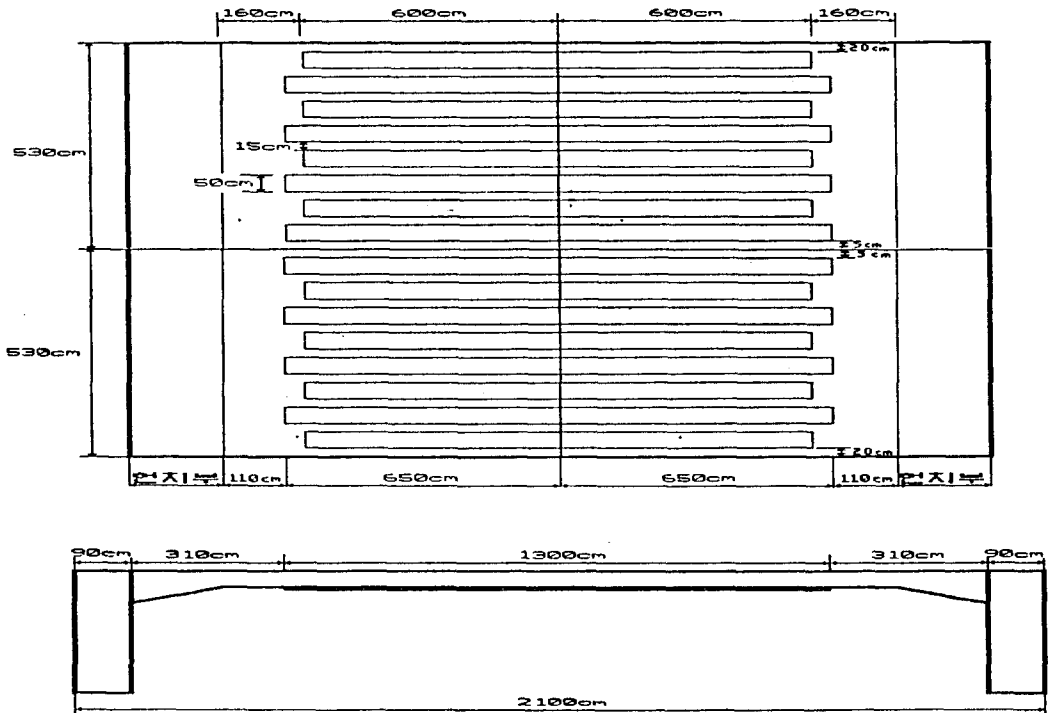


그림 4.1 대상교량의 탄소섬유쉬트 보강도

5. 향후 계획

본 연구에서는 향후 대상교량의 보강공사 완료 후 현장검증시험을 실시하여 CFRP 보강공법의 보강성능을 실구조물을 대상으로 확인하고자 한다. 그 결과를 토대로 현재 널리 사용되고 있는 강관공법보다 많은 잇점이 있는 CFRP 보강공법의 사용을 유도하여 철근콘크리트 구조물의 보강에 적용할 수 있는 보강공법의 폭을 넓히고자 한다.

6. 참고문헌

1. G.P.Mallett, "State of the Art Review : Repair of Concrete Bridges", 1994., pp.1~20.
2. R.T.L. Allen, S.C. Edwards, J.D.N.Show, "The Repair of Concrete Structure", Chapman & Hall, 1993., pp.1~33.
3. 심중성 외, "강관 및 탄소섬유Sheet로 보강된 RC보의 피로거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제7권, 제1호., 1995년 5월, pp.319~324.
4. 심중성 외, "강관 및 탄소섬유Sheet로 보강된 R/C보의 구조거동특성 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), 1995., pp.207~210.
5. 최완철 외, "에폭시접착강관으로 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동에 관한 연구," 한국콘크리트 학회 학술발표회 논문집, 제6권, 제7호, pp 25~29
6. 홍영관 외, "철근콘크리트 보수·보강재료

및 공법," 한국콘크리트 학회지, 제7권, 6호, 1995, pp 4~13