

Fiber Reinforced Plastics을 이용한 橋梁 Bridges Constructed Using Fiber Reinforced Plastics



정 영 수*

1. 머리말

최근들어 橋梁의 품질 저하로 인한 構造的 안정성 문제, 그리고 이에 따른 보수비용은 주된 관심사가 되어왔다. 대부분의 경우 콘크리트의 품질저하는 대단히 습한 기후나 海水에 노출된 철근의 부식에 기인한 것이다. 이러한 당면한 문제를 극복하기 위하여 많은 방안들이 제시되어 왔으며 그중 가장 신뢰할 수 있는 해결 방법중의 하나는 새로운 材料의 사용이라 할 수 있다. 즉 최근에 섬유보강 플라스틱(FRP)과 같은 複合 材料등이 종래의 긴장재 및 보강재등의 대체 材料로서 개발되고 실험되고 있다.

우수한 복합재료의 개발은 약 40년 전부터 시작되어 왔으며 FRP는 Polymer Matrix 안에 서로 부착된 고강도의 섬유들로 구성되며, 最大強度는 부재의 길이 방향으로 섬유를 配置함으로써 얻을 수 있다. 우주항공 산업분야는 일부 構造材料에 高價의 금속 및 합금등의 대체 材料로서 유리섬유보강 플라스틱(GFRP)과 같은 複合材料를 사용

하는데 선두주자였으며 자동차와 스포츠 산업등도 또한 複合材料 개발에 많은 노력을 傾注하여 왔다.

GFRP는 서독에서 약 10년전에 프리스트레스트 橋梁에 實驗的으로 처음 사용되었으며, 아라미드 섬유 보강 플라스틱(AFRP) 및 Carbon 섬유 보강 플라스틱(CFRP)을 이용한 다른 FRP 製品등도 또한 개발되었다. 경량성, 고강도 긴장력, 탁월한 부식저항성 및 유연성의 장점으로 FRP는 많은 構造物에 다양하게 사용될수 있으며 각종 구조 부재의 대체 材料로서 提示되어 왔다. 특히 잔교 두부, 안벽, 인공섬, 현수교 및 사장교 등과 같은 海水 및 물에 노출되는 構造物들은 FRP의 부식저항성의 잇점을 살릴수 있으며, 레이다 기지, 원거리 통신시설 그리고 지하철의 상부구조물등은 FRP의 전자기적 저항성의 잇점을 얻을 수있다.

본 소고는 ACI에서 발행된 1993년 6월호의 Concrete International에 Magdi A. Khalifa, Sharon S.B. Kuska 그리고 James Krieger에 의해서 투고된 기술논문 "Bridges Constructed Using Fiber Reinforced Plastics"을 翻譯 설명한 것으로서 최근 국내에서도 노후화된 콘크리트 橋梁의 안전성 및 보수에 관해 고조되고 있는 관심사에 畧興하고자 한다.

* 정희원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

GFRP, AFRP와 CFRP를 이용한 보도교, 도로 교등이 전세계 도처에서 건설되어 왔으며, 이들은 단순 슬라브형태에서 사상교와 같은 복잡한 형태의 橋梁등에 널리 사용될 수있다.

2. 歩道橋

Westminster Cathedral GRP(유리 보강 폴리에스테르) 인도교는 24.4m(80ft)길이의 U형 단면인 2경간 구조물이며 1970년대 영국의 런던에 건설되었다.⁽¹⁾

1978년에 建設된 Viginia 육교는 그림 1에 보인 바와 같이 4.9m 길이의 3개의 GFRP 삼각 트리스거더로 폭 2.1m 의 GFRP 덮개판으로 연결되어 있다. 웨브는 40cm 높이이고 전체 상부구조물의 무게는 대략 3.5kN이다. 콘크리트 슬라브는 거더의 上部 플랜지의 일부분으로 舉動하며, 웨브에 있는 긴장재는 GFRP로 만들어져 있다.⁽²⁾

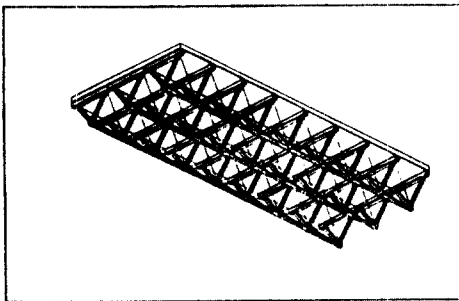


Fig. 1 Virginia 보도교

독일의 베를린에 1980년말에 건설된 Adolf Kiepert 육교는 그림 2와 같이 27.61m과 22.96m의 2개의 경간을 가지고 있다. 上部構造物은 附着없이 부분적으로 외적 Prestressing을 하였다. 橋梁의 이중 T형 단면은 높이 1.1m로서 폭 4.8m의 슬라브를 갖는다. 7개의 외적 Prestressing 긴장재 각각은 19개의 GFRP봉으로 만들어져 있으며, 각 봉은 직경 7.5mm의 60,000개의 단일 섬유로 구성되어 길이방향으로 配置되어 있다. 긴장재들은 검사와 교체를 할 수 있도록 시공되어 있으며, 팽심유 감지기와 구리선 감지기등이 긴장재과 橋梁 전

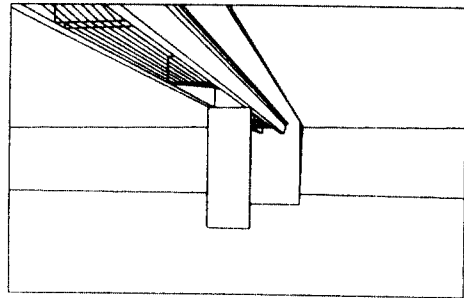


Fig. 2 Adolf Kiepert 보도교

체의 舉動을 통제하기 위하여 設置되었다.⁽³⁾

GFRP긴장재는 1980년에 유럽, 즉 독일의 뒤셀돌프에서 陸橋인 Lünen'sche Gasse 陸橋에 실험적으로 사용되었다. 포스트 텐션 콘크리트 橋梁으로서 6.55m길이의 短徑間으로서 직경 127.5mm의 GFRP긴장재의 각각은 70kN의 극한 하중을 갖는다. 긴장재들은 4종류의 다른 정착 방식으로 附着없이 設置되어 있다.^(9,10)

중국에 있는 Chongqing 보도용 현수교는 1986년에 完工되었는데 GFRP상자형 거더를 갖고 있다. 이 구조는 비대칭으로서 11m높이의 탑 하나와 한쪽면이 하프악기형태로 구성된 7개의 케이블로 되어있다. 지지 케이블은 폴리에틸렌으로 감싸져 있는 19개의 강선으로 만들어져있다. 주 徑間은 길이 27.4m, 폭4.3m로서, 덮개판을 갖는 GFRP상자형 거더이다. 상자형 거더는 하나의 조각으로 運搬 및 架設되었으며, 측면 徑間과 주탑은 철근 콘크리트로 만들어져있다.⁽⁴⁾

1988년에 완공된 중국의 Chongqing에 있는 Guanyinqiao 보도용 橋梁은 고강도 강선에의해 鐵筋 콘크리트 강절점 프레임으로 부터 지지되는 8개의 GFRP 상판거더를 갖고 있다. 橋梁의 전길이는 157m이고 강절점 프레임 徑間은 70m이다. 8개의 거더 모두는 4.3m 폭과 0.9m 깊이로, 19m 徑間 4개와 9m 徑間 4개로 되어 있다.

일본의 Funabashi시에 있는 Chiba현은 Nagatsugawa 보도교를 1989년에 만들었다. 폭 2.5m, 길이8.0m의 단순 슬라브로서 CFRP강선으로 Pretension되었고, 일체로 제조된 후 현장에 옮겨졌다. 표면에 리브와 돌기가 있는 CFRP봉은

鐵筋과 스테럽들을 分布, 配置하기 위하여 사용되었다.⁽⁵⁾

미국의 Delaware, Wilmington에 있는 DuPont Country Club 보도교는 1990년에 건설되었다. (그림 3) 橋梁의 徑間은 9.14m로서 시공후의 무게는 4.44kN정도 이었다. 橋梁 상판은 압축처리된 목재로 되어 있으며, 거더는 Pultruded 섬유유리로 만들어져 있고 지지 케이블은 아라미드섬유로 되어 있다.⁽⁶⁾

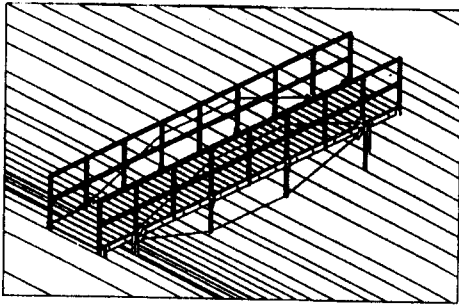


Fig. 3 Dupont Country Club 보도교

일본, Mito시의 Birdie 보도교는 1990년에 완공되었다. (그림 4) 포스트텐션 콘크리트로 사장된 슬라브교로서 폭 2.1m에 46.5m의 純徑間을 갖는 徑間길이 54.5m의 橋梁이다. 橋梁의 sag은 1.25m이며, 직경 8mm(0.3in)의 CFRP봉의 묶음은 교대의 지반 앵커로서 사용되었다. 4.86 x 19.5mm (0.19 x 0.77in)의 단면을 갖는 16다발의 직사각형의 AFRP 케이블은 8개는 Pretensioning을 8개는 Post-tensioning을 위하여 사용되었다.^(5,7)

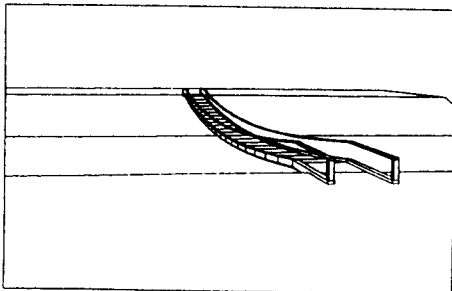


Fig. 4 Birdie 보도교

일본의 Ishikawa현은 새로운 재료로 프리텐션된 중공슬라브형태의 3개의 자전거용 교량을 건설하였다. 15, 16, 17번째 Hakui 자전거 橋梁은 1989. 3월, 1992. 2월, 1992. 4월에 각각 建設되었다. (그림 5) CFRP Prestressing 긴장재는 海水로부터의 클로라이드 이온으로 인한 부식을 방지하기 위하여 사용되었다. 직선의 CFRP선은 외부 거더의 절반에 스테럽 정착을 위하여 사용되었다.

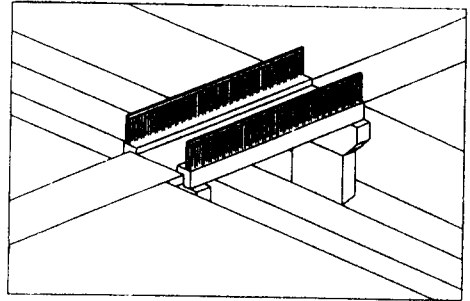


Fig. 5 Hakui 자전거교

영국, 스코틀랜드의 Tay강 상에 Aberfeldy Golf Club 陸橋는 1992년에 완공되었다. 현수교형태의 교량으로서 2개의 A자형 탑을 갖고 있으며 섬유 복합재료로 시공된 최초의 교량이다. (그림 6) 케이블은 Parafil(kevlar 섬유)로 만들어졌다. 최장 길이는 31m이고 최단 길이는 13m이다. 탑의 높이는 17.5m이다. 주 徑間은 63m로서 全橋梁 길이는 113m이나 상판폭은 2.23m이다.⁽⁸⁾

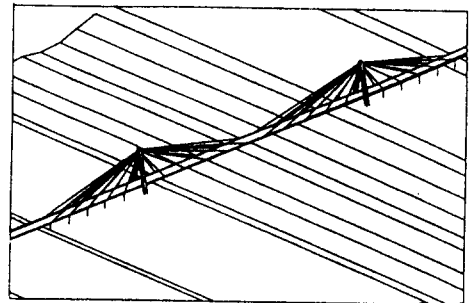


Fig. 6 Aberfeldy Gold Club 육교

3. 道路橋

최초의 종이 보강 플라스틱 橋梁은 1971년 이전에 미국에서 건설되었다. 얇은 적층판의 종이로 보강된 플라스틱 재료로 만들어져있고, 10m의 短徑間으로 되어있다. 橋梁은 5개의 종방향거더와 8개의 유사한 횡방향거더를 갖고 있고, 높이는 대략 1.3m, 300kN의 트럭하중을 지지할수 있다.⁽⁹⁾

불가리아에 있는 Ginizi 고속도로 橋梁은 1982년에 완공 되었으며 12m길이의 하나의 單純徑間으로 되어있다. 단면은 평행한 CFRP-I보로 구성 되어 있다.⁽¹¹⁾

단순지지 단일 徑間의 Miyun CFRP 고속도로 橋梁은 중국에서 1982년에 완공되었다. 길이 20.6m, 폭 11.38m로 별집모양의 상자형 거더 6개를 갖고 있다. 거더는 폭 1.6m,높이 1.67m, 무게 52kN이다. 橋梁은 총 822kN의 트럭 4대의 실험하중에 대해 단지 27mm, 즉 徑間길이의 1/756의 처짐을 발생하였다.^(9,10)

Ulenbergstrasse 橋梁은 독일 최초의 道路橋로서 GFRP prestressing 긴장재를 사용하여 건설 되었으며, 1986년 듀셀돌프에 완공되었다. (그림 7) 2차선의 2徑間 橋梁이다. 한 徑間은 길이 21.3m이고 다른 것은 25.6m이며, 폭은 모두 15m이다. 높이 1.75m의 슬라브는 현장타설 콘크리트이다. 鐵筋 보강을 하였으며, 59개의 複合 prestressing 긴장재가 각각의 徑間에서 길이 방향으로 사용되었다. 각각의 긴장재는 단위 포스트 텐션 600kN의 허용인장력을 위하여 직경 197.5mm의 봉으로 되어있다. 이 橋梁은 橋梁 구조의 변화를 측정하기 위하여 콘크리트안에 직접 묻힌 감지기에 추가하여 광섬유 감지기를 설치했다.

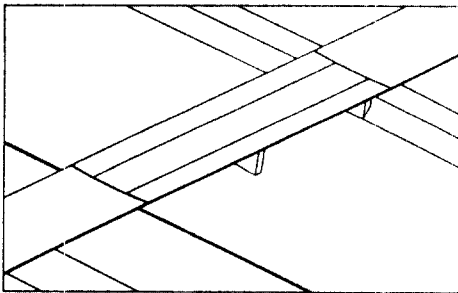


Fig. 7 Ulenbergstrasse 도로교

8개의 직경 8mm의 CFRP봉이 단순 2徑間 prestressed 콘크리트 橋梁이 일본, Kitakyusyu 시의 고속도로상 Bachi강위에 1989년에 건설되었다. (그림 8) 橋梁은 길이 35.8m, 폭 12.3m이다. 한 徑間은 17.55m의 거더로 포스트텐션되어있고, 다른 徑間은 18.25m로 프리텐션되어 있다.⁽⁵⁾

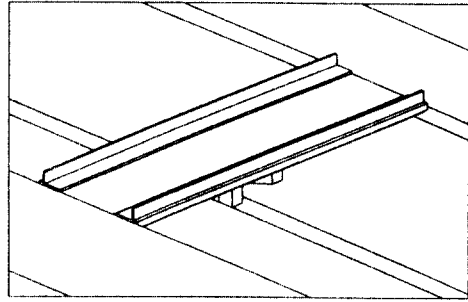


Fig. 8 Bachi River 도로교

독일의 Ludwigshafen에 건설된 길이 85m의 Oststrasse 橋梁은 2차선으로, 20m길이의 4徑間으로 되어있는데, 2개는 직선이고 2개는 반경 62.8m의 곡선형태이다. 상부구조물은 높이 1.12m, 폭 11.2m로 슬라브와 보로 구성된 골조형태이다. 16개의 강 긴장재와 각각이 1912.5mm 직경의 Strand로 구성된 4개의 카본 섬유 보강 복합 케이블 긴장재가 prestressing을 위하여 사용되었다. 각각의 Strand는 케이블강도의 50%를 사용하기 위하여 70kN로 긴장되었다. 포스트텐션된 긴장재는 추후에 검사와 데이터수집을 위하여 그라우팅이 되지 않았다.⁽¹⁴⁾

중차량 하중에 저항할 수 있고 지하 탱크를 덮기위하여 설계된 프리스트레스트 조립식 콘크리트 슬라브-보 형태의 橋梁이 GFRP 긴장재를 사용하여 1987년 독일의 Dormagen에 건설되었다. 이 방식은 각각 길이 10.0m의 2徑間으로 구성되며, 매우 부식성이 강한 chloride 수증기로 인하여 품질이 저하된 구조물에 대체하였다. HLV-prestressing 긴장재는 600kN의 허용하중을 갖고 있다.⁽¹³⁾

프리텐션된 콘크리트 슬라브형태의 고속도로교인 Shinmiya 橋梁은 1988년에 일본, Hakui County, Fuki Town에 건설되었다. 높이 325mm, 폭 200mm의 上部 플랜지와 폭 320mm의 하부 플

랜지인 24개의 프리텐션된 콘크리트 I형 거더를 갖고 있다. 徑間은 5.76m이고 폭은 7.0m이다. 8개의 CFRP Strand가 하부 플랜지에 6개, 上部 플랜지에 2개로, 각각의 거더에 사용되었으며, 각각 총 직경 12.5mm를 갖는 7개의 철선으로 구성되어 있다. Epoxy로 코팅된 철근이 스테럽의 정착을 위하여 사용되었다.^(7,14)

영국, Middlesbrough에 있는, A19 Tees-Viaduct는 117m의 最長 徑間에 GFRP로 만들어진 enclosure를 갖고 있다. enclosure는 판거더의 부식 속도를 줄이고 검사와 유지관리를 위한 追後의 補修作業이 가능하도록 1989년에 만들어졌다. Enclosure의 구조적 바닥들은 내부 보강재로서 중공의 pultruded GFRP 판넬로 되어 있다.⁽¹⁰⁾

Aramid 섬유 보강 플라스틱(AFRP) 긴장재가 일본, Nasu현에 프리텐션된 콘크리트 슬라브橋梁에 사용되었다. 橋梁은 1990년에 完工되었는데, 각각 길이11.98m, 폭 2.4m로 3개의 徑間으로 되어 있다. AFRP 긴장재는 직경 14.0m로 21개의 거더중 단지 3곳에만 사용되었다. 설계하중은 극한 강도의 50%인 94.1kN이다.⁽⁵⁾

독일, 레비쿠젠의 Schiessbergstrasse 교는 1990년에 완공되었다. (그림 9) 3徑間 슬라브 콘크리트 橋梁으로서, 각각 16.3m인 2개의 외부 徑間과 20.4m의 중간 徑間이 있다. 슬라브는 폭 9.7m이고, 上板은 두께가 1.12m이다. 27개의 유리 섬유 prestressing 긴장재는 post-bonding 과정에서 600kN의 허용하중으로 긴장되었다. 광섬유 감지기가 원거리 응력관찰을 위하여 또한 設置되었다.⁽¹³⁾

오스트리아, Kärnten의 Nötsch 道路橋는 1990년에 착공되었다. (그림 10) 橋梁은 Schiessberg-

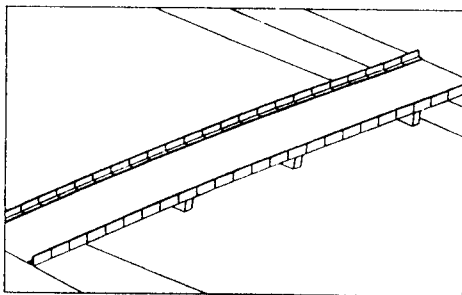


Fig. 9 Schiessbergstrasse 도로교

strasse 교와 매우 類似하지만, 徑間길이가 다르고 27개의 유리 섬유 긴장재를 사용하여 부분적으로 프리스트레싱하도록 설계되어 있다. 양 외부 徑間은 13m이고, 주 徑間은 18m이며, 슬라브 두께는 0.75m이다. 교량은 화학적 감지기 뿐만 아니라 광섬유 감지기등을 갖추었다.

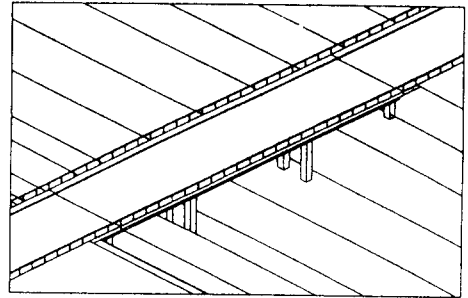


Fig. 10 Nötsch Road 도로교

Meier⁽¹⁾는 지브랄타 해협을 가로지르는 초장경간의 현수교 400m 이상을 위한 가장 경제적인 解決方案으로서 CFRP의 사용을 提案하였다. 그는 강철과 GFRP와 CFRP의 사용을 위하여 설계하중에 대한 suspension 橋梁의 徑間길이 제한에 대한 (구조물이 자기 스스로 지탱할수 있는 徑間) 차이점을 보이는 그래프를 提示하였다. 그는 또한 다른 徑間에 대해서도 複合 材料와 강철과의 가격 차이를 보였으며, 4,000m 이상의 徑間에 대하여 카본 複合材料가 경제적이라고 결론지었다. 그렇지만, 경량의 FRP를 이용하여 만들어진 이들 長徑間 橋梁의 동력학적인 면에서는 좀더 주의와 신중함이 要求된다.

4. 결 론

지난 20년간, FRP와같은 새로운 재료는 토목공학분야에 많이 적용되어 왔었다. 특히 고속도로 교량에서 유리 섬유 보강 플라스틱(GFRP)은, Aramid 섬유 보강 플라스틱(AFRP), 카본 섬유 보강 플라스틱(CFRP)과 같은 섬유 보강 플라스틱(FRP)의 사용은 점점 증가되어 왔었다. 대부분의 GFRP와 AFRP 構造物들은 유럽, 중국, 미국에서 건설되었지만 반면에 CFRP 재료는 일본에서, 그리고 最近에는 독일에서 광범위하게 연구되

고 있다.

비록 FRP 재료는 鋼材에 비해 비싸지만 鋼材腐蝕을 해결함으로써 콘크리트 橋梁의 품질저하를 防止하기 위한 解決方案을 제시할 수 있다. 부식 저항성에 추가하여, FRP는 큰 프리스트레싱에 저항할수 있는 고강도의 긴장재이다. 또 다른 장점은 탁월한 전자기적 저항성을 갖고 있다는 것이다. 이로 인하여 항공우주산업, 자동차산업, 스포츠산업으로부터 토목공학의 교량에 이르기까지 FRP의 사용은 급속히 擴散되리라 생각되며, 다음 세기에는 아마도 FRP는 각종 교량에 필수적으로 사용되리라 思料된다.

참 고 문 헌

1. Meier, U., "Proposal for Carbon Fiber Reinforced Composite Bridge Across the Strait of Gibraltar at its Narrowest Site," Proceedings, Institute of Mechanical Engineers, V.201(B2), 1987, pp.73-78.
2. McCormick, F.C. "Laboratory and Field Studies of a Pedestrian Bridge Composed of Glass Reinforced Plastic," Transportation Research Board 665, Bridge Engineering (2), National Academy of Science, Washington, D.C., 1978, pp.99-107.
3. Hatton, John L., "Study of Pre-Stressed Bridge Structures Using FRP Tendons," Final Report, National Research Council of Canada, Canadian Plastic Institute, Don Mills, 1989, pp.19.
4. Bruce, R.N., Jr., "Fiber Reinforced Plastic Bridge in Chongqing 1983-1988," 68th Annual TRB Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1989.
5. Minosaku, K., "Using FRP Materials in Prestressed Concrete Structures." Concrete International, American Concrete Institute, Detroit, V.14, No.8, 1992, 41-44.
6. Creative Pultrusions, inc., "Shapes the Future," News of Fiberglass Pultruded Structures, Alum Bank, Pennsylvania, 1990.
7. Mufti, A.A. : Erki, M-A. : and Jaeger, L.G "Advanced Composite Materials in Bridges and Structures in Japan," State-of-the-Art Report, Technical Committee on Advanced Composite Materials in Bridge and Structures, CSCE, 1992.
8. Head, P.R., "Design Methods and Bridge Forms for the Cost Effective Use of Advanced Composites in Bridge," Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Sherbrooke, Quebec, Canada, 1992, pp.15-30.
9. Meier, U., "Advanced Composite Materials with Application to Bridges," State-of-the-Art Report, Technical Committee on Advanced Composite Materials in Bridge and structures, CSCE, 1991, pp. 274-284.
10. Mufti, A.A. : Erki, M-A. : and jaeger, L.G., "Advanced Composite Materials with Applications to Bridges," State-of-the-Art Report, Technical Committee on Advanced Composite Materials in Bridge and structures, CSCE, 1991, pp.1-20.
11. yao, S., "Chinese Crossing First Plastic Pioneers." New Civil Engineer, April 14, 1983.
12. Ballinger, C.V., "Structural FRP Composites," Civil Engineering, ASCE, V.60, No.7, 1990, pp.63-65.
13. Miesslerer, H-J., and Wolff, R., "Experience with Fiber Composite Material and Monitoring with Optical Fiber Sensors," Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures : Proceedings of the Specialty Conference, ASCE, Las Vegas, Nevada, D.C., 1991.
14. Zoch, P. : Kimura, H. : Iwasaki, T. : and Heym, h., Carbon Fiber Composite cables, A New Class of Prestressing Members transportation Research Board, Washington, D.C., 1991.
15. Khalifa, Magdi A., "Dynamic Vibration of Cable-Stayed bridges using Carbon Fiber Composite Cables," Proceedings, 1st International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Sherbrooke, Quebec, Canada, 1992, pp. 465-477. 