

|| 콘크리트 교량에 적용된 신기술 ||

프리스트레스트 콘크리트 교량 상부 구조의 신기술

- New Trend of Technology for Prestressed Concrete Bridge Superstructures -



강원호*
Kang, Won Ho

1. 머릿말

1.1 국내의 프리스트레스트 콘크리트 교량 상부 구조에 관한 신기술 현황

1990년 이후 우리나라에서는 건설 신기술 제도가 시행되어 1990년 12월에 '교량 신축이음장치'가 신기술로 지정된 이후 2004년 1월 현재 총 402건의 신기술이 지정되었다. 현재까지 지정된 신기술 중 교량분야는 총 25개로 전체의 6.2%이며, 토목 구조 및 시공분야에서 지정된 47개 신기술 중 교량 관련 신기술 4개를 포함하면 총 29개로 전체의 7.2%가 된다. 이 중 콘크리트 교량 상부 구조 관련 신기술을 정리한 것이 <표 1>이다.

이들을 관련 가설 공법에 따라 분류하면 프리캐스트 관련 기술이 4개, ILM 공법 관련 기술이 2개, 합성 구조 관련 기술이 1개, 외적 프리스트레싱 기술이 1개, 외부 긴장(보강) 관련 기술이 1개, 기타 기계장치 기술 1개이다. 이러한 신기술 동향은 교량공사에서 품질관리의 요구수준이 높아지고, 시공기간의 절약에 따른 경제성 확보를 위하여 기계화 시공이 증가하는 현재의 교량 기술 발전의 추세와 무관하지 않다. 본고에서는 외국의 프리스트레스트 콘크리트 교량 상부구조 관련 기술 발전의 동향을 개관하고자 한다. 우리나라에서도 세계의 기술 발전의 흐름에 맞추어 많은 새로운 기술이 계속하여 개발되기를 바란다.

1.2 국외의 프리스트레스트 콘크리트 교량 상부 구조에 관한 신기술 동향

프리스트레스트 콘크리트 교량 실용화의 시점을 1941년에 Freyssinet가 건설을 시작한 Marne교로 하면, PSC 교량의 역사는 대략 60년가량이 된다. 그간에 2차 세계대전과 전후의 복구 작업, 경제 성장에 따른 PSC 교량 기술의 비약적인 발전 시기가 있었다. 1960 ~ 1970년대에 선진국 특히 유럽에서 PSC 교량은 초기의 단경간 교량 형식에서 강교와 경쟁하는 중장경간 교량 기술로 급격하게 발전하였고, 이러한 기술 발전은 재료의 품질향상, 기계화 시공 기술의 향상, 부재 거동에 대한 이해의 증진이 밑바탕이 되어 가능하였다. 프리스트레스트 콘크리트 교량의 기술이 대략 1990년대 이후 어떻게 발전하고 있는지는 보는 관점에 따라서 다를 수 있으나, 2002년에 M. Virlogeux¹⁾가 PSC 교량 기술의 새로운 경향을 분석한 글이 도움이 된다. 이에 따르면 현대 PSC 교량 기술 발달의 중요한 경향은 다음과 같은 키워드로 요약할 수 있다.

- 외부 프리스트레싱의 사용 확대
- 합성 구조의 발전
- 새로운 재료의 사용
- 케이블의 자유로운 사용
- 중량 구조 가설

본고에서는 이들 각각에 대하여 그 적용 예를 살펴보았다.

* 정회원, 동아대학교 토목해양공학부 교수

표 1. 콘크리트 교량 상부구조 관련 신기술 목록

지정 분야	신기술 지정 번호	신기술 명	지정일자	적용 분야의 설명
교량	55	ㄷ형 정착 자켓을 이용한 교량 보의 보강공법	1997. 3. 13	교량의 외부 긴장 보강 공법
	66	자동 기록 장치를 이용한 PSC 인장 기법	1997. 6. 26	PS 강선 긴장 장치
	81	예폭시 콘크리트를 연결부에 사용한 조립식 교량 상판 공법	1997. 11. 22	precast교량 상판의 조립 가설 공법
	90	타워 크레인을 이용한 교량 상판의 시공법	1998. 1. 17	교량 상판 가설의 기계화 시공법
	247	장경간용 DB-TEE 거더의 분절 제작 및 시공 방법	2000. 8. 29	프리캐스트 PSC 거더의 제작 및 조립 공법
	270	신설 연속 합성 교량에 있어 주형의 상승 하강에 의한 프리스트레싱 도입	2003. 8. 6	지점 승강에 따른 외적 프리스트레스 도입 방법
토목 구조 및 시공	281	PC Box Girder(ILM) 공법에서의 벽체 케이싱 일괄 조립 및 벽체·바닥 동시 타설 거푸집 시스템	2001. 5. 15	ILM공법의 거푸집 시스템
	366	부분 U형 형태로 보강된 ILM 교량 추진코의 설계방법	2003. 3. 18	ILM공법의 추진 코의 개량
	371	I형상의 강재로 구축된 프리스트레스트 콘크리트 충전 합성 거더의 시공	2003. 4. 3	강 콘크리트 합성 프리스트레스트 거더
	399	고속철도 프리캐스트 PSC 박스 거더 교량의 경간 일괄가설 및 연속화 공법	2003. 10. 28	PC교량 일괄 가설 및 연결

2. 외부 프리스트레싱의 사용 확대

1930년 이후 사장되어 있던 외부 프리스트레싱 기술의 부활은 방식기술의 향상과 고강도 강선의 사용으로 인한 강선 개수의 감소, 교통하중의 증가에 따른 교량 보강의 필요성, 내부 프리스트레싱 강선의 부식으로 인한 교량의 사고 등에 기인한다.^{2,3)}

이 기술은 특히 프리캐스트 세그멘탈 시공(precast segmental construction) 방법과 결합하여 매우 빨리 확산되었다. 외부 강선 긴장 방법을 이용한 최초의 시공은 경간 별 가설 공법(span by span erection)에서 시작되었으나, 평형 캔틸레버 가설 공법(cantilever balanced cantilever method), ILM(incremental launching method) 등에서 그 활용 영역을 넓히고 있다. 경간별 가설 공법에서는 미국 최초의 외부 긴장 교량인 Long Key Bridge(1980, 미국, Florida)에서는 경간에 가설 트러스를 먼저 설치하고 세그먼트(segment)를 운반한 뒤 이를 긴장하였으나(그림 1), 이 후 가설 트러스가 이미 완성된 교량 위를 이동하거나, 사장교 형태로 지지되어 세그먼트를 조립하는 다양한 가설 공법으로 발전하였다(사진 1, 2). 캔틸레버 공법에 의해 가설되는 교량은 초기에는 가설 중에는 내부 강선을 사용하고 시간이 완성된 상태에 외부 강선을 지점에 정착하여 사용하는 것이 일반적이었다(그림 2). 그러나 프랑스의 고속철도 교량인 Avignon viaduct(1999, 프랑스)에서는 외부강선을 지간 중의 Blister에 정착하여 이 공법에서 흔히 보게 되는 교각 위 지점부의 높이를 크게 감소시킬 수 있었다(사진 3). ILM 공법에 있어서도(그림 3)과 같이 시공 중에 내부 또는 임시 외부 긴장 강선을 상하 플랜지 부에 정착하고 완성 후 이들 중 일부를 제거하고 절곡 강선을 배치하는 것이 초기에 시도되었으나, Normandie 교의 접속교에서는 상반 외부 강선(antagonist external tendon)을 시공 시 설치하여 부재에 축력을 가하고, 완성 시 일부를 제거하여 프리스트레스를 더욱 효과적으로 사용하는 것이

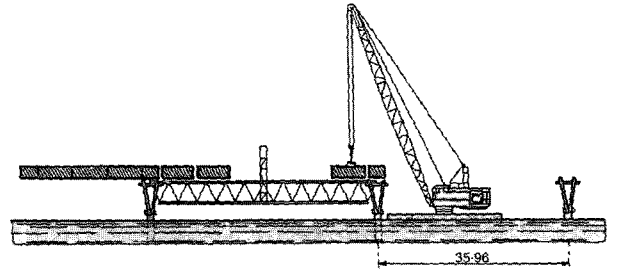


그림 1. Long Key Bridge(Florida, USA)의 가설



사진 1. Yatomi 교의 가설, 일본 사진 2. Re Island 교의 가설(프랑스)

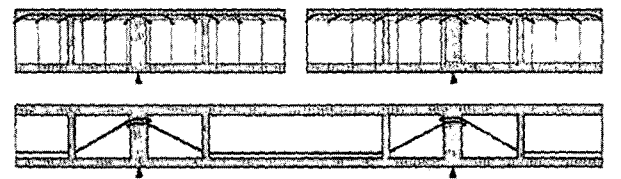
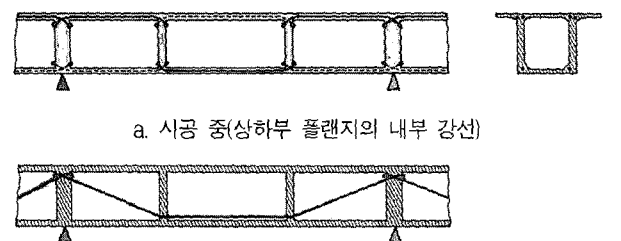


그림 2. 평형 캔틸레버 공법에서 시공 중의 내부 긴장 강선과 완성 후의 외부 긴장 강선의 배치



a. 시공 중(상하부 플랜지의 내부 강선)

b. 완성 (외부 강선 긴장)

그림 3. 전형적인 ILM 공법에서 강선 배치

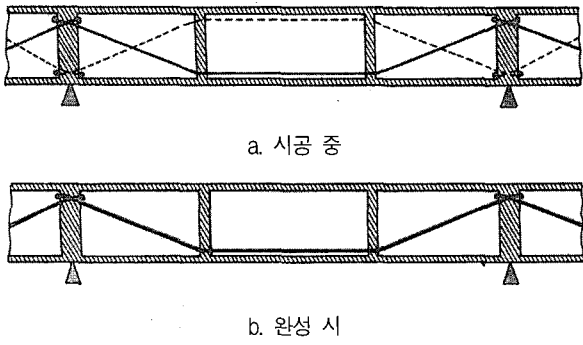


그림 4. ILM 공법에서 antagonist 강선의 배치와 제거



사진 3. Avignon viaduct 교의 지점부(프랑스)

사진 6. 강 절곡판을 사용한 Cognac 교의 복부(프랑스)



사진 4. Normandie 교의 접속 경간 가설(프랑스)

사진 7. Echingen 교의 프리캐스트 세그먼트(프랑스)



사진 5. Bras de la Plaine 교(프랑스)

가능하게 되었다.((그림 4), <사진 4> 참고)

최근에는 가설 기계의 발전으로 지간 내 연결부가 많은 짧은 프리캐스트 세그먼트를 한번에 한 경간을 프리캐스트 부재로 만들어 가설하는 방법으로 발전하고 있다. 이 경우에도 외부 긴장

방법은 지간을 연속화 할 때 유용하게 사용되고 있다(예 : Vasco da Gama bridge, 1998, 포르투갈). 한편, 외부 긴장 정착에 따른 과도한 응력 집중, 부착강재의 부족으로 인한 연성의 감소 등 이에 따라 파생하는 역학적 문제들이 해결을 기다리고 있다.^{4,5,6)}

3. 합성 구조의 발전

정통적인 의미에서의 합성교량 즉, 상부 콘크리트 슬래브와 강주형 교량은 강 후판의 사용에 따른 강주형 제작의 비용 감소와 제작기술의 발전에 따라 다시 각광 받고 있다. 그러나 이러한 제한적인 부재의 사용 이외에도 강재의 보다 대담한 사용, 복합적인 구조계의 사용 등이 새롭게 시도되고 있어 합성교량의 범위가 점점 넓어지는 추세이다. 합성교량의 새로운 시도는 콘크리트 복부를 강재로 대체하며 시작되었고 그 대표적인 경우를 분류하면 다음과 같다.

- 강 보강판으로 하는 경우 : La Ferté-Saint-Aubin 교(프랑스)
- 강 트러스(평면 트러스)로 하는 경우 : Arbois 교(1985, 프랑스), Bras de la Plaine 교(<사진 5>, 1999, 프랑스)
- 강 절곡판으로 하는 경우 : Cognac 교(<사진 6>, 1986, 프랑스), Maupré 교(1987, 프랑스) 등

이들 중 강 절곡판을 복부로 사용하는 경우를 제외하고는 경제적으로 다소 불리하여 계속하여 시도되지는 않았다. 그러나, 건설 기계의 발전과 강구조 가공의 가격 경쟁력에 따라 이러한 합성단면은 언제든지 다시 경쟁력을 회복할 수 있다. 즉 최근에 다시 강 절곡판을 복부로 한 교량들(Dole 교, 프랑스; Hontani 교, 1998, 일본)이 시도되고 있으며, 복부를 공간 트러스(강판 부재 사용)로 한 교량(Echingen viaduct, 1997, 프랑스, <사진 7>)이 등장하였다. 이들 교량은 가설 시 무게를 줄일 수 있는 장점이 있으나, 콘크리트의 크리프와 건조수축, 응력집중 등의 문제가 보다 심각해 질 수 있으므로 아직도 많은 연구가 필요하다⁷⁾. 개방형 복부 단면은 물론 콘크리트만으로 이루어진 경우에도 적용된다.(Vecchio 교, <사진 8>, 1999, 프랑스)

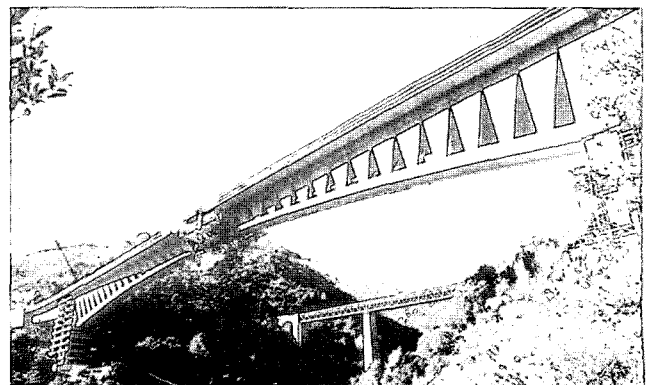


사진 8. Vecchio 교(프랑스)

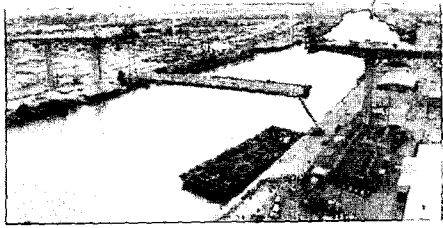


사진 9. Cheviré 교의 가설(프랑스)

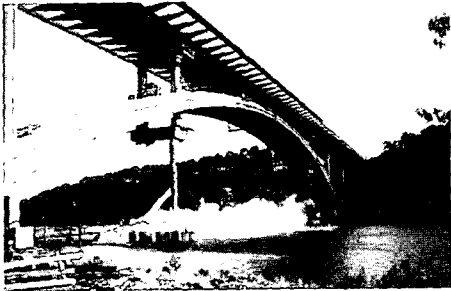


사진 10. Morbihan 교의 가설(프랑스)

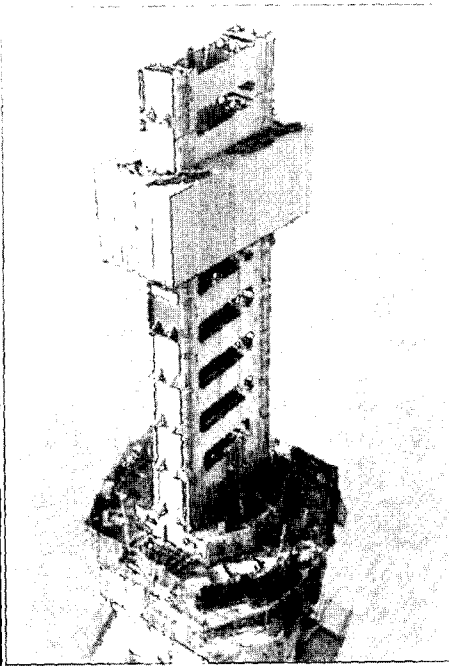


사진 12. Normandie 교의 주탑(프랑스)



사진 14. Rudisleben 보도교(독일)

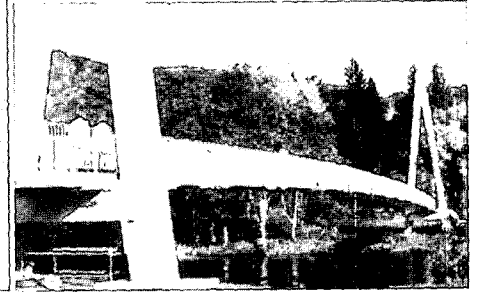


사진 15. Aberfeldy 보도교(영국)

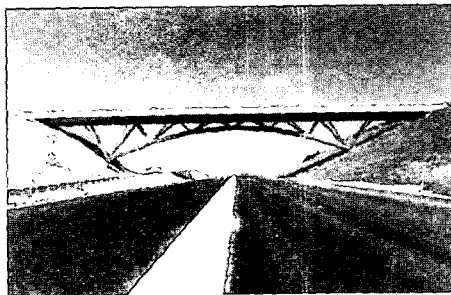


사진 11. Antrenas Overpass(프랑스)

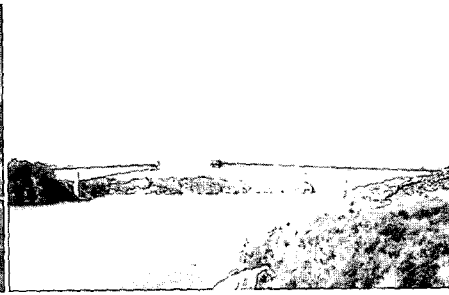


사진 13. Stolam 교의 가설(노르웨이)

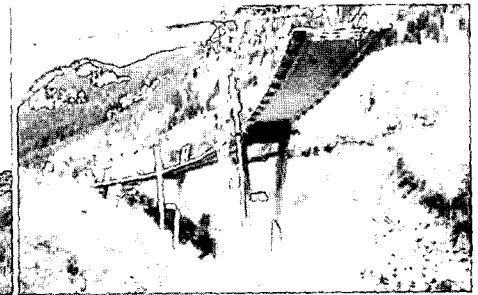


사진 16. Sunniberg 교의 가설(스위스)

합성 구조는 단면에서만 시도되는 것은 아니다. <사진 9>의 Cheviré 교(1990, 프랑스)는 FCM으로 가설된 지점부 캔탈레 버에 강상판 지간을 인양하여 완성하였다. 같은 시공 방법은 Guadalquivir 교(스페인), Ebro 강교(스페인)에도 적용되었다. 콘크리트 아치에 강상판(<사진 10>, Morbihan 교, 1995, 프랑스), 강 아치 트러스에 PSC 슬래브(<사진 11>, Antrenas 교, 1996, 프랑스)를 조합하는 것은 더 이상 새로운 일이 아니다. 사장교의 단면으로 강-콘크리트의 합성단면이 자주 사용되는 것은 이미 오래전의 일이지만 콘크리트 주탑의 정착부를 강재로 제작하여 응력 집중에 따른 복잡한 철근 상세의 문제를 해결한 것도 합성 구조의 자유로운 사용에 따라 가능하게 되었다.(<사진 12>, Normandie 교의 주탑, 1995, 프랑스)⁸⁾

4. 새로운 재료의 사용

많은 경우에 건설 기술은 새로운 재료의 개발에 따라 획기적으로 발전한다. 최근의 콘크리트 재료기술의 발전은 대단한 속도로

콘크리트의 중용기가 도래하지 않을까 하는 기대를 하게 한다. 재료 기술의 발전이 교량에 적용된 예를 살펴보면 다음과 같다.

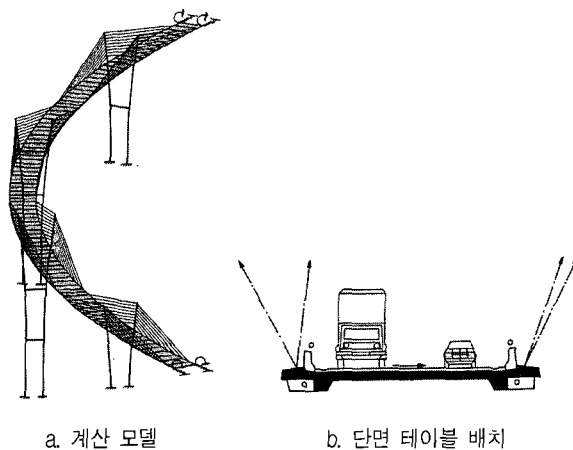
- 고강도, 고성능 콘크리트(high strength, high performance concrete) : 교량가설에서 콘크리트 강도 60 MPa은 이미 많은 시공 사례가 있으므로 일반화된 것으로 기술자들은 평가하고 있다. 고강도의 이점을 살려 장경간이 가능한가 보다 중요한 관심사가 된다. Stolma 교(<사진 13>, 1998, 노르웨이)은 경간장 311 m로 강도 80 MPa의 고강도 경량 콘크리트로 시공되었다⁹⁾. 물론 보도교에는 강도 200 MPa의 콘크리트가 사용된 Sherbrook 교(1997, 캐나다)와 선유교(2001, 한국)가 있으나, 도로교는 보다 기혹한 조건에 처하게 되므로 보다 신중하게 접근할 필요가 있다. 도로교에서의 적용을 위해서는 콘크리트 강도가 80 ~ 100 MPa 이상으로 증가함에 따라 발생하는 문제들, 예를 들어 충격하중 하의 동적 거동, 국부 응력이 집중되는 정착부의 취성, 복부가 얇아짐에 따른 2차 효과 등 향후 발생할 가능성이 있는 문제를 해결해야 한다. 고강도 콘크리트의 사용에 따

른 부산물로 고내구성을 이용하는 아이디어도 시도되고 있다. 즉, 프리스트레스 콘크리트 인장부재를 철근 대신 사용하여 내구성을 확보하려는 시도도 있다. 이를 이용하여 가설한 교량을 (사진 14)에 보였다(Rudisleben 보도교, 1997, 독일). 이러한 아이디어는 특히 높은 내구성이 필요한 환경 구조물, 지중 구조물 등에 광범위하게 적용될 수 있을 것이다.¹⁰⁾

-FRP의 사용: 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드 섬유는 이미 콘크리트 교량의 보강에 광범위하게 사용되고 있다. 이들 재료는 아직은 비싸고, 취성이 크며, 연결에 관한 기술적인 문제를 해결해야 하는 장벽이 있으나, 향후 주요한 건설 재료가 될 것이라는 것에는 대체로 기술자들의 의견이 일치한다. Aberfeldy Golf 장의 보도교(〈사진 15〉, 1992, 영국)는 일종의 시험 교량으로 유리섬유가 상판과 주탑에 사용되었으며, 케이블은 아라미드 섬유를 사용하였다. FCM으로 가설된 주 경간 185m의 Dintelhaven 교(2001, 네덜란드)에는 4개의 CFRP 외부 강선(tendon)이 사용되었다. 사용 강선의 인장강도는 3,086 MPa(축정값, 설계치는 2,400 MPa)으로 그 무게는 같은 크기의 인장력을 부담하는 강선의 약 1/8 에 불과하다. 향후 경제적인 문제와 기술적인 문제를 해결할 때 그 효과는 폭발적일 수 있다.

5. 케이블의 자유로운 사용

콘크리트 사장교가 나오면서 콘크리트 교량이 강교와 장경간 교량 부분에서도 경쟁을 시작한 것이 오랜 일도 아닌데, 이미 사장교 부분에서는 합성 사장교가 경쟁을 주도하고 있다. 새로운 재료가 하루가 다르게 개발되는 때에 콘크리트만으로 경간 경쟁을 하는 것 자체가 무의미할 수도 있다. 그 보다는 주탑의 높이를 획기적으로 낮추어 주탑의 휨 부담을 줄이는 동시에 거더에 압축력을 가한 Extradose 교량이나 거더 하부에 강선을 배치한 Under-stressed 교량이 콘크리트 교량에 더 어울릴 것이다. Extradose 교량은 산이 높고 지반 조건이 좋은 주위 환경을 감안하여 낮은 주탑, 주형과 주탑의 강결을 시도한 Ganter 교(1980, 스위스)를 최초의 시도로 간주할 수 있다. 이 교량을 설계한 Christian Menn은 최근에 다시 매우 아름다운 교량을 설계하여 완공하였다. Sunniberg 교(〈사진 16〉, 1998, 스위스)가 그것으로 5경간의 Extradose 교량은 그 형태에서 감탄을 자아낼 뿐만 아니라 구조적으로도 매우 세심한 배려가 숨어 있어 흥미할 만하다. 〈그림 5(a)〉에서 보는 바와 같이 교량은 평면 곡선 상에 있고, 〈그림 5(b)〉와 같이 비대칭으로 케이블이 배치되어 있다. 그 결과 원호를 그리는 평면 곡선에 따라 부재에 축력이 작용하게 된다. 주탑이 따로 가설되는 일반 사장교에서는 비대칭 케이블을 배치하는 주탑에 큰 휨 모멘트를 발생시키므로 효과적이지 않다. 그러나 Menn은 양쪽 주탑에 발생한 편심하중을 다시 〈그림 6〉과 같이 비대칭의 프리스트레싱으로 해결하였다. 주



a. 계산 모델
b. 단면 테이블 배치
그림 5. Sunniberg 교

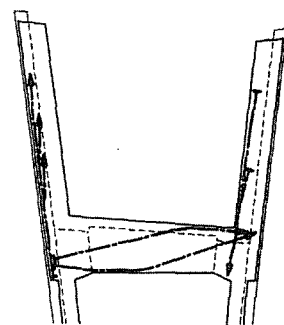
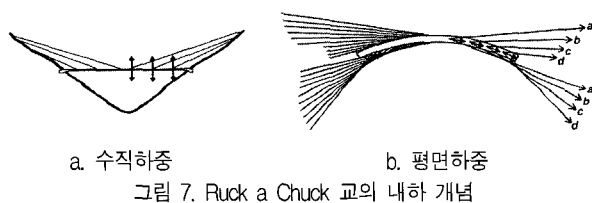


그림 6. Sunniberg 교의 주탑단면의 케이블과 프리스트레스 힘의 분포



a. 수직하중
b. 편심하중
그림 7. Ruck a Chuck 교의 내하 개념

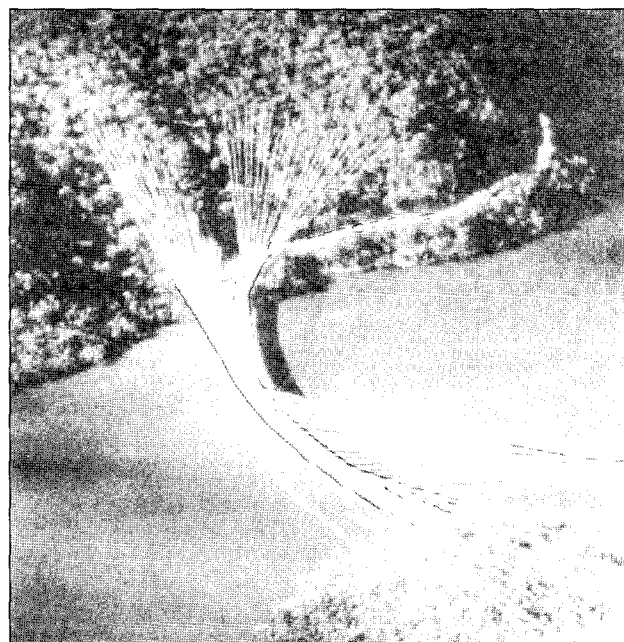
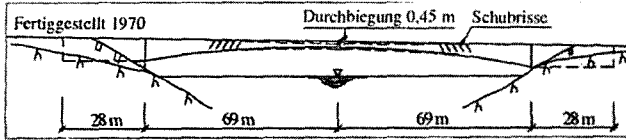


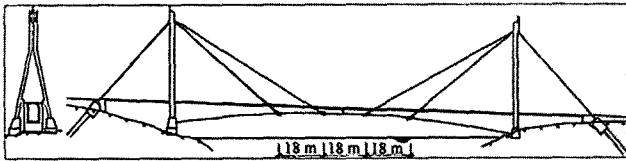
사진 17. Ruck a Chucky 교의 계획안(미국)



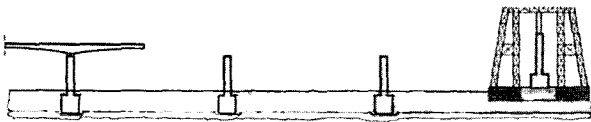
그림 8. Vltava강 교의 계획(체코)



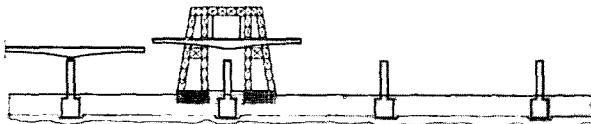
a. 1970년 가설, 30년 후 중앙점 처짐 45cm, 다수의 전단 균열 발견



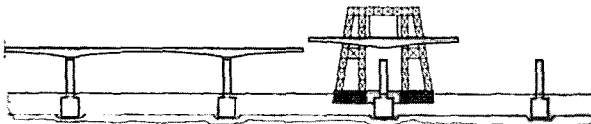
b. 주탑과 케이블을 가설하여 보강(2002)
그림 9. Puttesund 교의 보강



a



b



c

그림 10. Storebaelt Western 교(덴마크)의 가설 순서

탑을 부채 모양으로 하여 종방향 강성을 크게 한 것도 다경간 사장교에서 다른 경간에 작용하는 하중의 영향을 최소화하기 위한 것으로 눈여겨 볼 만 하다^{11,12,13}. 같은 개념은 Ruck a Chucky 교(사진 17), 1978, 미국, 계획), Kelheim 보도교(1988, 독일)에서도 적용되었다. Ruck a Chucky 교에서는 <그림 7(a)>와 같이 수직하중은 일반 사장교와 같이 케이블이 부담하지만, <그림 7(b)>에서 보는 것과 같이 케이블의 평면 배치를 이용하여 부채에 축력이 작용하게 하여 396.24m의 경간이 가능하였다.

교량에 케이블을 사용하는 방법도 더 이상 사장교, 현수교와 같이 분류하는 일반적인 분류가 불필요 할 수 있다. <그림 8>은

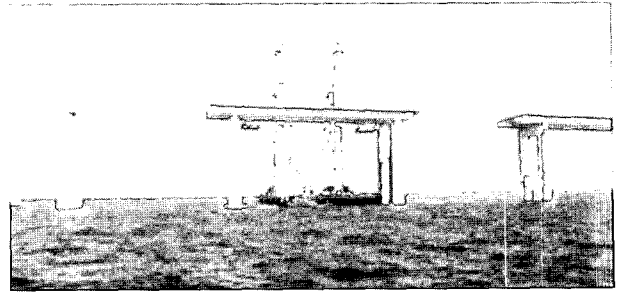


사진 18. Bahrain 해안도로 교량(바레인)의 가설

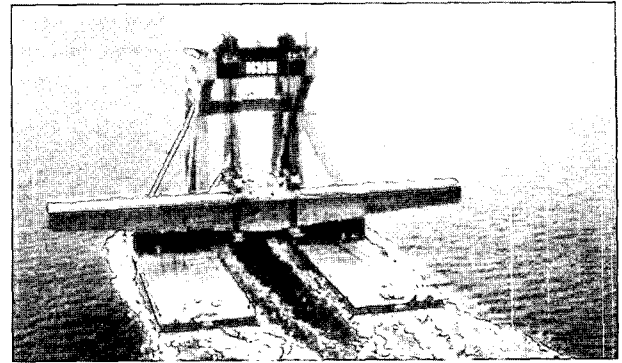
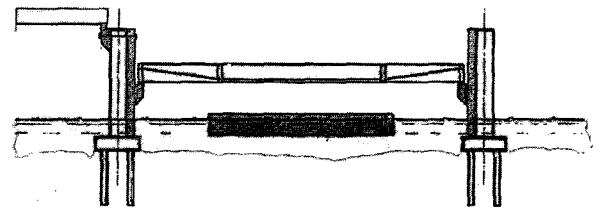
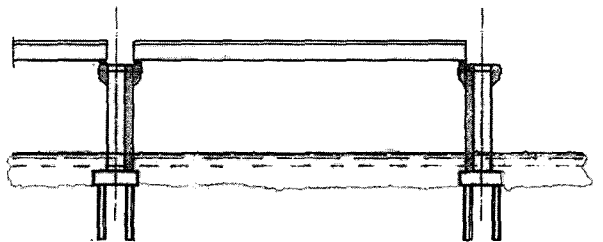


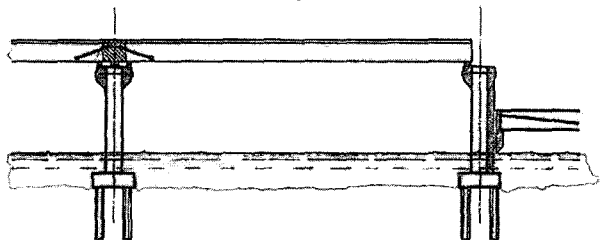
사진 19. Storebaelt Western 교(덴마크)의 segment 운반



a



b



c

그림 11. Vasco da Gama 교의 가설 계획안

Vltava강 교(체코, 계획)로 먼저 가설 사장교로 콘크리트 아치를 쉐틸레버 공법으로 완성한 뒤, 지점부에 외부 긴장 강선을 배

치하고 상관을 설치하여 자정식 아치(self anchored arch)를 완성하였다. FCM 공법에서 시야를 가로막는 육중한 지점부가 눈에 거슬린 사람들에게는 참고할 만한 해이다.

한편, 과거에 가설된 FCM 교량의 장기처짐에 골머리를 앓는 사람은 <그림 9>와 같이 Extradose 교 형식의 보강으로 이 문제를 해결한 Puttensund 교(1970, 노르웨이, 2002 보강)의 예를 참고할 수 있다.^{14,15)}

6. 종량 구조 가설

오늘날 사회기반 시설은 민간 자본의 참여에 의해 건설되는 경우가 늘어나고 있다. 민간 자본은 그 특성상 이윤을 추구하고, 이에 따라 공기를 단축하는 것이 이전 보다 중요하게 되었다. 최근에 진행된 대형 프로젝트들은 이전에 상상할 수 없던 규모로, 전통적인 방법으로는 사업이익을 기대하기 힘들다. 바다를 가로지르는 대형 프로젝트들에는 물론 장경간의 현수교와 같은 강교가 포함되어 있으나, 이에 따른 접속교, 기타 교량은 대부분 콘크리트 교량으로 가설되고 있다.

<사진 18>은 Bahrain 해안도로 건설 공사에서 게르버 교량(1985, 바레인)의 한 경간을 직접 들어 가설한 예를 보인 것이다. <그림 10>은 쉐틸레버 지간을 인양하여 가설한 Storebaelt Western 교량의 가설과정을 보인 것이다(<사진 19>, 1993, 덴마크)¹⁶⁾. <그림 11>은 인양 보조 장치를 교각에 미리 설치하고, 프리캐스트 지간을 운반하여 인양한 다음 현장 타설 콘크리트와 외부 긴장으로 연결한 공법의 예를 보인 것이다(Second Tagus Crossing, 계획). 인양하는 프리캐스트 부재의 무게는 이미 7,000 톤을 넘어섰고 앞으로도 필요에 따라 더 증가할 것으로 예상된다.

7. 맺음말, 기대

프리스트레스트 콘크리트 교량의 상부 구조에 관한 우리 신기술의 현황을 정리하고, 외국의 기술 발전 동향을 소개하였다. 우리 산업 전반에 걸쳐서 가장 필요한 것이 창조적 기술 혁신이며, 이제까지 우리가 발전을 계속할 수 있었던 이유가 잘 배끼기라고 한다면, 이제부터는 그것이 오히려 우리 산업의 족쇄가 될 수도 있다는 것이 많은 전문가들의 의견이다. 외국의 기술 동향을 소개한 것은 이들을 모방하기 위한 것이 아니라 기술 발전의 큰 흐름에 동참하면서 계속하여 새로운 기술이 개발되기를 바라는 때문이다. 프리스트레스트 콘크리트의 다양한 적용은 아직도 많은 기술자들에게 열려 있는 가능성이다. 우리의 기술자들이 가장 아름답고, 창조적인 구조물을 만드는 날을 기대한다.(본고에 실린 그림과 사진들은 참고문헌에서 재인용하거나, <http://www.structurae.de/> 얻은 것들이다.)

참고문헌

1. Michel Virlogeux, "New trends in prestressed concrete bridges", *Structural Concrete*, Vol.3, No.2, Jun. 2002, pp.67~97.
2. Michel Virlogeux, "External Prestressing : from Construction History to Modern Technique and Technology," *External Prestressing in Bridges*, A. Naaman and J. Breen, ACI SP-120, pp.1~60.
3. A. S. G. Bruggeling, "External Prestressing - a State of the Art," *External Prestressing in Bridges*, A. Naaman and J. Breen, ACI SP-120, pp.61~81.
4. M. Abel, W. Krautwald, "Ruhrtalbrücke Rumbeck," *Beton- und Stahlbetonbau*, Vol.96, H.7, 2001, pp.497~502.
5. C. Brockmann and S. Springer, "Externe Vorspannung im Brückenbau," *Beton- und Stahlbetonbau*, Vol.95, H.11, 2000, pp.438~645.
6. T. Baumann, "Vorspannen von Brücken," *Beton- und Stahlbetonbau*, Vol.95, H.11, 2000, pp.646~656.
7. M. Rosignoli, "Prestressed Composite Box Girders for Highway Bridges," *Structural Engineering International*, Vol.7, No.4, Nov. 1997, pp.278~283.
8. M. Virlogeux, "The Normandie Bridge, France : A new record for Cable-Stayed Bridge," *Structural Engineering International* Vol.4, No.4, November 1994, pp.208~213.
9. T. Ingebrigtsen, "Stolma Bridge, Norway," *Structural Engineering International* Vol.9, No.2, May, 1999, pp.100~102.
10. G. Koenig, J. Minnert and B. Novák, "The Footbridge over the Gera near Rudisleben - First Application of High Strength Concrete Bars," *LACER(Leibzig Annual Civil Engineering Report)*, No.2, 1997, pp.309~316. (attainable via <http://aspdin.wifa.uni-leipzig.de/>)
11. J. Strasky, "The power of prestressing," *Structural Concrete*, Vol.4, No.1, March 2003, pp.25~43.
12. C. Menn, "Functional Shaping of Piers and Pylons," *Structural Engineering International* Vol.8, No.4, Nov. 1998, pp.249~251.
13. M. Virlogeux, "Bridges with Multiple Cable-Stayed Spans," *Structural Engineering International* Vol.11, No.1, February, pp.61~82.
14. S. Ewert, "Seilverspannte Spannbetonbalken, extradosed bridges," *Beton- und Stahlbetonbau*, Vol.98, H.9, 2003, pp.559~561.
15. S. Ewert, "Extradosed Bridges - Schrägseilbrücken mit neuartigen Tragsystem," *Beton- und Stahlbetonbau*, Vol.95, H.5, 2000, pp.313~314.
16. N. Kjeldgaard and C. Fries, "Construction of the Great Belt West Bridge," *Structural Engineering International* Vol.5, No.4, November 1995, pp.214~215.