

특 집

|| 최신 프리스트레스트 콘크리트 ||

사장 케이블 및 새들의 종류와 구조적 특성

- The Structural Characteristic and Kind of Saddle and Stay Cable System -



김승익*
Kim, Seung Ik



김현겸**
Kim, Hyeon Kyeom

1. 서 론

콘크리트 교량 건설의 발전과정을 살펴보면, 18세기 중·후반에 철근콘크리트 구조를 기초로 본격적인 설계 및 시공이 시작되었다. 이후 19세기 초반에 접어들어 프리스트레스 개념의 등장으로 콘크리트 교량의 건설기술은 혁신적인 발전을 이루게 된다. 하지만, Eugene Freyssinet 이전에는 프리스트레스 구조로서 적절한 효과를 발휘하지 못했다. Eugene Freyssinet은 많은 시도와 실패를 거듭한 결과, 프리스트레스 개념을 성공적으로 실현시키려면 이론과 더불어 재료와 장치가 함께 발전되어야 한다는 것을 인식하게 된다. 이후 이론, 재료, 장비 및 자재, 시공방법 등이 지속적으로 발전하여 현재에는 100m 이상의 지간을 갖는 사장형교는 이미 대중화되었고, 수 백 미터에 달하는 현수교와 사장교 건설이 증가하고 있으며, 거더교와 사장교의 장점을 선택적으로 받아들인 Extradosed교(이하 E/D교)가 많이 등장하고 있는 추세에 있다.

시대의 변화와 맞물려 새마을 다리만 놓아주어도 고마워했던 시대는 이미 막을 내린지 오래 전이다. 경제성과 더불어 수려한 미관도 현대의 교량에서는 배제할 수 없는 중요한 요소이다. 특히, 최근 수요가 증가하고 있는 사장교나 E/D교는 설계 및 시공 기술의 발전과 더불어 장치 및 자재의 발달이 동시에 이루어져야 실현가능한 교량이다. 이렇듯 장치 및 자재가 설계이론을 뒷받침해 주지 못하면 설계기준은 단지 수식에 지나지 않게 된다.

프리스트레스트 콘크리트(이하 PSC) 교량을 구성하는 기본적

인 장비 및 자재로는 고인장을 가능케 하는 케이블, 이를 긴장시키는 잭, 긴장된 케이블을 구조물에 정착시키는 정착장치이다. 상기한 장비 및 자재와 더불어 HDPE 덕트, 새들 등의 최신 장비 및 자재가 사용되어 장지간의 교량 건설이 가능케 되었다. 본 기사에서 기술하는 장비 및 자재의 올바른 이해는 PSC 교량의 설계를 담당하는 엔지니어들에게 중요한 판단근거를 제공하게 될 것이다.

2. 장비 및 자재

이번 장에서는 PSC 교량을 구성하는 기본적인 장비 및 자재인 케이블, 정착구, 인장잭 등에 관한 이해를 돕고자 한다.

2.1 케이블

케이블은 통상 내부케이블(internal cable)과 외부케이블(external cable)로 구분되며, 내부케이블은 주형에 사용되는 텐던(tendon)을 칭하며, 외부케이블은 매달기식 교량의 사재케이블, 현수선, 행어케이블 등을 칭한다. 다시 말하면, 일반적으로 형교에 사용되는 내부 긴장재를 총칭하여 텐던이라 하고, 현수교, 사장교, E/D교의 외부 긴장재를 총칭하여 케이블이라 한다.

2.1.1 일반적인 특성

텐던이나 케이블 모두 긴장되는 단위체로 그 구성은 개별 혹은 다발의 와이어, 강봉, 강연선(strand)으로 이루어져 있다. 이들 중 가장 보편적으로 사용되는 것은 7연선(7-wired strand)이

* (주)후레씨네코리아 기술부 상무이사

** (주)후레씨네코리아 기술부 대리

표 1. 강연선의 일반적인 특성

설계기준	공칭인장강도(N/mm ²)	공칭직경(mm)	공칭단면적(mm ²)	공칭질량(kg/m)	절단하중(kN)	항복하중(kN)
Pr EN	1770	16	150	1170	265	228
10138-3	1860	16	150	1170	279	240
BS	1770	15.7	150	1180	265	225
5896 1980	1820*	15.2	165	1295	300	255
ASTM A416-96a	1860	15.24	140	1102	260.7	234.6
KDS 7002	1882	15.2	138.7	1101	261	222
SWPC 7B	1854	12.7	98.71	774	183	156

* Draw strand

표 2. 케이블 설계시 고려해야 할 사용기간의 분류

	무보수 사용기간	케이블 설계수명
정의	<ul style="list-style-type: none"> 내부식, 내열화, 내진동 시스템 등에 관해 어떠한 보수도 없는 가용기간 강구조물 보호 시스템의 부식 저항성의 보증기간으로서 케이블의 각 부위에 관한 정의 	<ul style="list-style-type: none"> 케이블이 보수될 시기에 구조적, 기능적, 혹은 외관적 손상이 없는 케이블의 전체 설계수명 피로나 물리화학적 손상의 해석이나 시험에 의한 설계상태 유지
교체 불가능한 케이블 요구사항	<ul style="list-style-type: none"> 일반사항과 일치성 - 접근 가능한 부분: 15년 - 접근 불가능한 부분: 100년 	<ul style="list-style-type: none"> 구조물의 기대되는 사용수명 - 별도로 규정하지 않았을 경우, 100년
교체 가능한 케이블 요구사항	<ul style="list-style-type: none"> 일반사항과 일치성 - 접근 가능한 부분: 15년 - 접근 불가능한 부분: 50년 	<ul style="list-style-type: none"> 유지관리에 의존하는 계약조건 - 기대되는 사용수명의 절반, 즉 50년

※ 근본적으로 케이블은 주요 구조부재이므로, 교량의 내구수명과 동일해야 한다.

며, 이 밖에도 2연선, 3연선, 19연선 등이 있다. 또한, 단면의 종류로는 12.7 mm, 15.2 mm, 15.7 mm가 있고, 이들 중 12.7 mm는 주로 소규모 형교에 많이 사용되며, 15.2 mm와 15.7 mm는 형교뿐만 아니라 비부착 상태로 사장교 등에 많이 사용되는 강연선이다. 그리고, 이들의 극한강도의 범위는 대체적으로 1,770 MPa에서 1,860 MPa를 갖는다. <표 1>은 강연선의 일반적인 특성을 설계기준별로 요약하고 있다.

2.1.2 케이블의 내구성 고려사항

매달기식 교량 구조에 사용되는 케이블의 내구성은 교량마다 독특한 특성을 갖으며, 설계법, 교량의 규모와 케이블의 길이, 사용조건, 시공환경 등의 인자에 지배되기 때문에 쉽게 정의 내릴 수 없다. "CIP recommendation"에서는 다음에 제시하는 사항들을 고려하여 <표 2>와 같이 설계시 고려해야 할 사용기간을 두 가지로 분류하여 추천하고 있다.

◎ 케이블의 내구성에 관한 영향인자

① 역학적인 영향

- 사용하중에 의한 단면력 변동
- 정착구 주변의 상판 회전(high amplitude and low frequency)
- 풍우에 의한 케이블의 휨(slight amplitude and high frequency)
- 정착구 위치의 오차에 따른 정적 휨

② 환경적인 영향

- 강우
- 바람 및 바람에 쓰러온 모래
- 자외선 및 적외선의 방사열
- 온도변화에 따른 전체 변형 및 온도변화에 따른 부위별 거동 변화
- 겨울철 염류 살포, 5 ~ 6 m 높이의 염분이 포함된 안개
- 산소나 부식을 촉진시키는 대기 (해안지방, 공장지역 등)
- 교량 위의 차량 화재
- 기타 잡다한 손상 (조류, 설치류, 차량의 불안정한 충돌 등)

③ 시공 중 영향

- 가설시 손상 (nick, bruise) 및 과도한 변형 등
- 시공단계 중 과도한 하중으로 인한 임시 정적응력

④ 케이블 주변의 화재

- 화염을 입은 상부 재료의 기능 소실
- 화재가 진압된 이후 주요 인장부재에 지연된 온도상승
- 탄화수소 화합물 차단을 위해 케이블에 도포한 가연성 화학 물질

2.1.3 케이블의 내구성 증진방안

매달기식 교량 구조에 사용되는 케이블은 절대적인 안전성을 확보해야 함에도 불구하고 외기에 노출되어 있기 때문에 품질관

리에 각별한 주의를 요하게 된다. 케이블의 내구성 확보를 위해 다양한 방법으로 케이블을 보호하는 방안이 제시되어 있다.

초기에는 강연선 다발을 보호하기 위한 HDPE 덕트 내부에 시멘트 그라우트를 충전하는 방법으로 케이블의 내구성 확보를 꾀하였다. <그림 1>은 초기의 내구성 증진방안에 관한 개념도와 열화상태를 보이고 있다.

<그림 1> 초기의 내구성 증진방안 및 열화상태 초기의 방안은 생각만큼 좋은 성과를 거두지 못하였다. 그라우트 재료의 품질에 관한 불확실성과 케이블의 진동문제로 그라우팅 부분에 균열이 발생되고, 점진적인 전파로 HDPE 덕트마저 균열이 발생하는 결과를 나타내었다. 또한, 강연선을 무피복상태의 알강선을 사용하여 발생된 균열사이로 수분 및 각종 염류의 침입으로 강연선이 부식되는 현상이 발생되었다. 초기 방안의 문제점은 HDPE 덕트 내부를 시멘트로 그라우팅한 것과 무피복상태의 강연선을 사용한 것이었다. 상기한 문제점을 해결하기 위해 개개의 강연선을 방청재와 함께 적절히 피복한 후 HDPE 덕트 내에 비부착상태로 두어 각각의 강연선이 덕트 내에서 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다. 결과적으로 강연선들이 독립적으로 유연하게 거동할 수 있고, 내부식성이 증진되었다. 이것을 개별방청시스템이라고 하며, <그림 2>는 개선된 내구성 증진방안을 보이고 있다.

각각의 강연선은 아연도금처리된 와이어를 꼬은 후 그리스, 왁스, 에폭시 계열의 본드를 충전하고, 최종적으로 HDPE로 코팅한다. 여기에 사용되는 충전재 중 그리스는 고온에서 유동성이 증진되어 와이어와 HDPE 코팅이 분리되는 현상을 나타낸다. 따라서, 최근에는 왁스나 에폭시 계열의 본드 충전재를 사용한다.

2.2 정착구

케이블에 소정의 프리스트레스를 도입하기 위해 사용되는 장치를 총칭하며, 일반적인 PSC 구조물에 사용되는 정착구들 이외에 최근에는 사장교용 정착구, 편지지형 정착구가 개발되어 사용되고 있다.

2.2.1 일반적인 정착구

기본적인 정착구 종류로는 인장정착구(live anchorage), 고정정착구(dead end anchorage), 연결정착구(coupler), 평판정착구(flat anchorage) 등이 있다. 일반적으로 정착구의 크기가 작을수록 콘크리트 단면을 감소시킬 수 있어 보다 경제적인 설계를 유도할 수 있다. 하지만, 정착구의 단면을 작을수록 정착구 주변의 응력집중이 증가하므로 이에 대한 적절한 대책이 요구된다. 예를 들어, 정착구 부근의 콘크리트에 발생하는 인장응력을 철근으로 보강하거나, 정착구 자체의 형상을 다중지압방식으로 조절하여 응력집중을 피할 수 있도록 해야한다.

2.2.2 사장교용 정착구

사장교용 정착구는 사장교에 전용으로 사용되는 정착구이다. 이 정착구는 사장교 거동특성에 적합하도록 설계되어 휨 전달축소(bending filtration), 피로 및 부식저항성을 증대시킨 것이다. 부식저항성 증진을 위해 채움박스(stuffing box)와 보호구(cap) 내에 왁스를 충전하여 케이블의 피복이 벗겨진 부분의 부식을 방지하는 구조로 되어있다. 사장교용 정착구에 관한 구조도를 <그림 3>에 나타내었다.

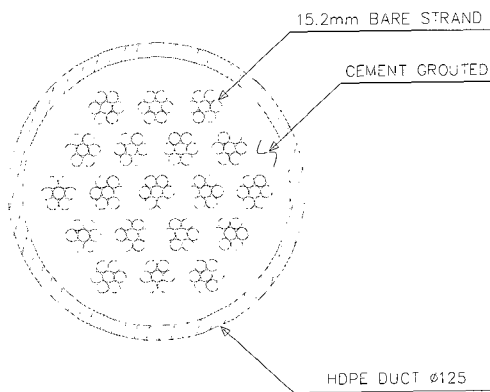


그림 1. 초기의 내구성 증진방안 및 열화상태

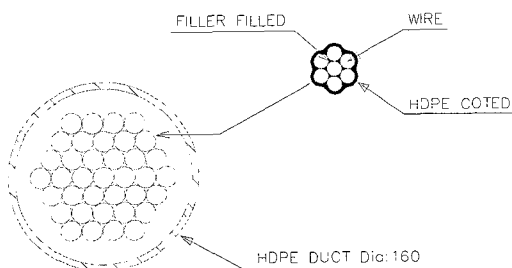
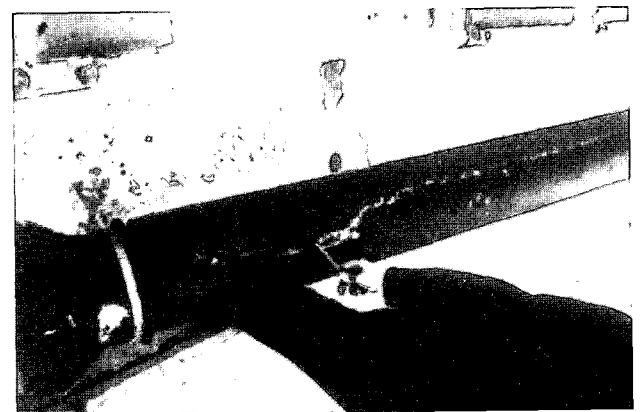


그림 2. 개별방청시스템



Bundle of Freyssinet Monostrand in a co-extruded HDPE sheath

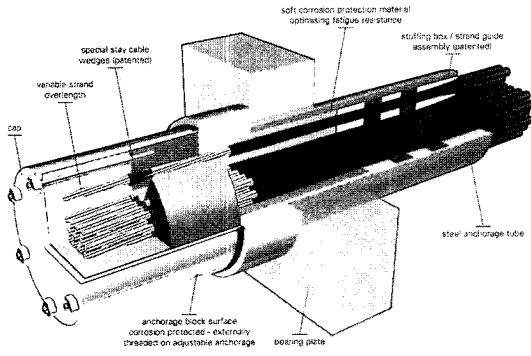


그림 3. 사장교용 정착구 구조도

2.2.3 핀지지형 정착구

핀지지형 정착구는 사장교용 정착구와 마찬가지로 매달기식 교량에 사용되며, 대형 교량에도 적용할 수는 있으나 주로 중·소형 교량 및 보도육교에 사용되는 정착구이다. 이 정착구의 특징은 구조물 외부에 부착되는 구조로 구성되어 있어 시공 및 유지관리가 매우 용이하고, 케이블과 정착구를 사전에 조립하여 일괄 거치하므로 공기를 단축할 수 있다. 또한, 채움박스와 보호구 내에 왁스를 충전하여 케이블의 피복이 벗겨진 부분의 부식을 방지하는 구조로 되어있고, 케이블 길이조절을 위해 조절나사(adjusting screw)가 있어 장력조절이 용이한 구조로 되어있다. 핀지지형 정착구에 관한 구조도를 <그림 4>에 나타내었다.

2.3 인장잭

소정의 프리스트레스 힘을 도입하기 위한 장치로 일반적인 잭은 긴장방식에 따라 front pull type jack, rear pull type

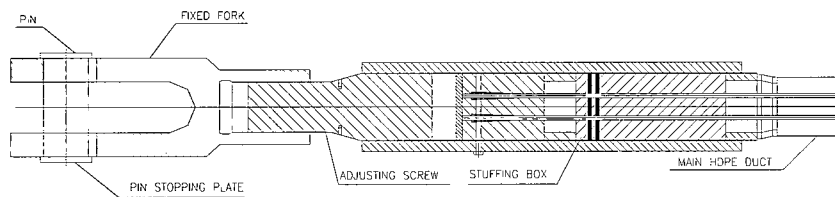


그림 4. 핀지지형 정착구 구조도

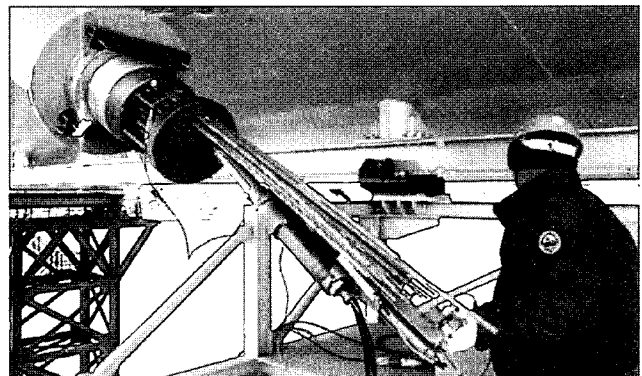
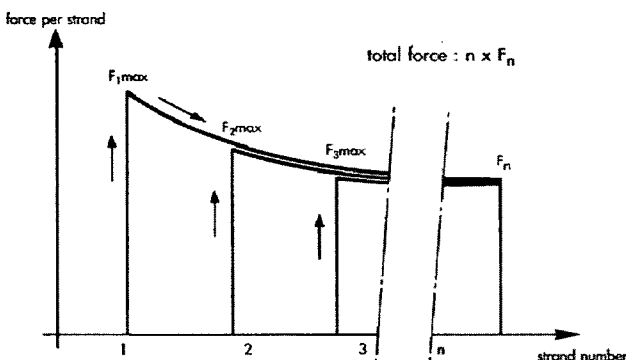
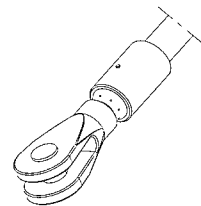


그림 5. iso-tensioning의 개념과 실제 측정상황

jack으로 구분된다. 이것과는 별도로 매달기식 교량에 설치된 케이블의 장력을 모두 동일하게 긴장할 수 있도록 해주는 iso-tensioning jack을 사용하여 시공시 최종적인 장력조정 회수를 대폭으로 감소시킬 수 있다. iso-tensioning jack은 이름에서 알 수 있듯이 모든 케이블이 같은 장력을 갖도록 하는 긴장장비이다. 재긴장과 이완작업의 소요시간을 대폭으로 감소시킬 수 있어 매달기식 교량의 공기를 상당히 축소시킬 수 있다. 또한, 긴장작업 중 실시간으로 케이블의 장력이 측정되므로 상판에 추가 하중이 재하되더라도 상황에 맞도록 케이블의 긴장이 가능하고, mono load cell에 의해 실시간으로 장력 측정이 가능하므로 시공 중 장력관리 및 이에 따른 선형관리를 세밀히 수행할 수 있도록 하는 긴장장비이다. <그림 5>는 iso-tensioning의 개념과 실제 측정상황을 보이고 있다.

3. 새들 정착부

사재의 주탑부 고정법은 분리고정방식과 관통고정방식으로 구분될 수 있다. 분리고정방식은 정착구의 배치, 재긴장, 케이블 교환 등의 공간 확보를 위해 주탑을 높게 하던가 폭을 넓혀야 할 필요가 있는 반면에, 관통고정방식은 통상 새들을 채용한 속이 짝 찬 RC구조로 되어 있으며 사재 사이의 콘크리트 내하력 범위로 사재 간격을 배치할 수 있기 때문에 장력을 가장 유리하게 이용할 수 있다. 새들 구조는 주탑의 시공성을 향상시키고 대편심 확보에 유리하지만, 좌·우 장력차에 의해 사재가 활동할 우려가 있다. 이 장에서는 보다 효과적인 관통보정방식인 새들 정착방식의 몇몇을 소개할 것이다.

3.1 재래식 구조

초기에 사용되었던 새들은 무피복 강연선(bare strand)과 새들 튜브 내에 채워진 시멘트 그라우트 간의 마찰로 정착되는 구조이다. 새들 내부의 강연선 간의 radial force가 직접 전달되므로 피로를 저감시킬 대책이 필요하다. 또한, 새들 튜브와 HDPE 덕트가 연결되는 부위의 마감을 위한 실링처리가 용이하지 못하며, 그라우팅 및 분력으로 인한 강연선의 부식에 의하여 임의의 강연선이 파단되어 교체가 필요할 경우에 내관과 전체 강연선을 교체해야 하는 구조이므로, 초기 공사비는 저가이나 구조적인 측면

면이나 유지관리 측면에서 모두 불리한 구조이다. 초기에 사용되었던 새들 구조와 케이블 단면을 <그림 6>에 나타내었다.

3.2 Unbonded Strand & Mono Coupler 조합구조

초기에 사용되었던 새들 구조의 문제점을 해결하고자 고안된 방안으로, 새들 양단을 미리 정착시킨 후 각각의 강연선을 단일 커플러를 이용하여 케이블과 연결시키는 구조이므로, 케이블 양쪽의 불평형 하중에 매우 안정적이다. 새들 튜브 속에 강연선 위치를 잡아주는 스텐리스관을 설치하고 무수축 시멘트를 충전하여 고정시키므로 강연선 간의 radial force가 전달되지 않는다. 공용 중 강연선의 파단 발생시 해당 강연선만 교체가 가능하므로 유지관리가 용이하나, 내측에 위치한 강연선이 파단된 경우 커플러의 간섭에 의해 교체가 힘들고 소요되는 장치가 많으므로 초기 공사비가 고가이다. "Unbonded Strand & Mono Coupler" 조합구조의 상세를 <그림 7>에 나타내었다.

3.3 Bond-coated Strand & Individual Tube 조합구조

초기에 사용되었던 새들 구조의 문제점을 해결하고자 고안된 또 다른 방안으로, 새들 내부에 설치된 individual tube와 예폭 시계 본드를 충전하여 특수제작한 강연선 간의 마찰로 정착되는 구조이다. 물론, individual tube는 새들 내부에 초고강도 시멘트 그라우트를 주입하여 고정된 상태이다. "Unbonded Strand & Mono Coupler" 조합구조와 마찬가지로 강연선 위치를 잡아주는 individual tube가 고정되어 있으므로 강연선 간의 radial force는 전달되지 않는다. 공용 중 강연선의 파단 발생시 해당 강연선만 교체가 가능하며, 내측에 위치한 강연선이 파단되어도 교체가 용이하다. 상기한 두 가지 방안과 비교하면 수평력 저항성, 피로 저항성이 우수하고, 재래식 구조보다는 다소 고가이나 "Unbonded Strand & Mono Coupler" 조합구조보다는 훨씬 경제적인 방안이다. "Bond-coated Strand & Individual Tube" 조합구조의 상세를 <그림 8>에 나타내었다.

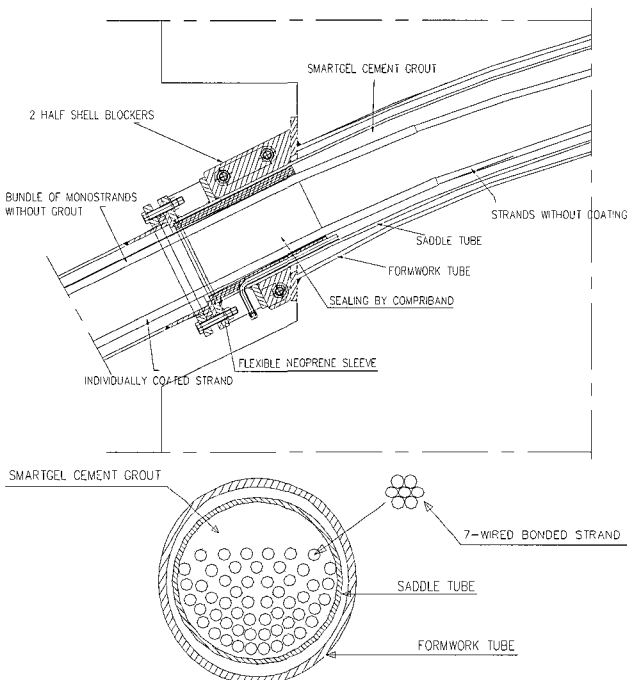


그림 6. 재래식 구조와 케이블 단면

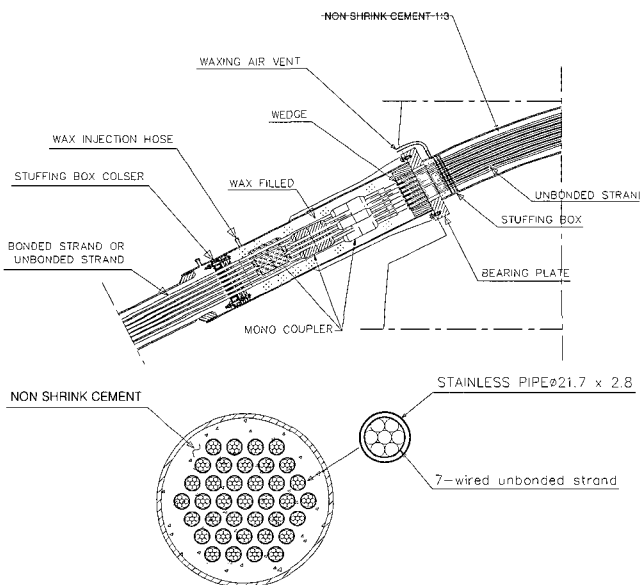


그림 7. Unbonded Strand & Mono Coupler 조합구조 및 케이블 단면

4. 진동 저감기술

매달기식 교량은 형교에 비해 매우 유연한 구조이므로 다양한 진동에 의해 많은 영향을 받게 된다. 그 중에서도 바람에 의한 여러 형태의 진동이 가장 많은 영향을 미치고 있다. 이 장에서는 바람에 의한 다양한 진동현상과 이에 대한 제어방안을 간략히 소개할 것이다.

4.1 Rainy-wind Induce Vibration

풍속 10 ~ 12 m/s 정도의 지속 하에서 이슬비가 내릴 때, 케

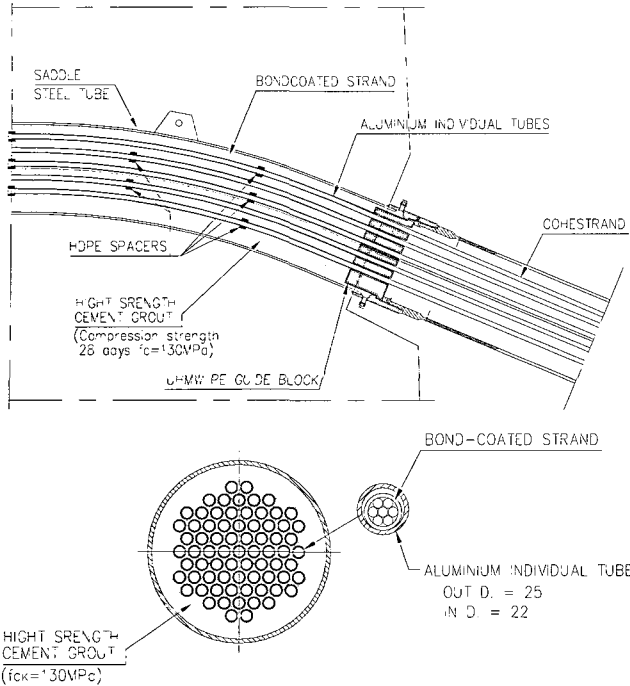


그림 8. Bond-coated Strand & Individual Tube 조합구조 및 케이블 단면

이들의 흡착수가 덕트 상·하에 2개의 물줄기를 형성하여 공기역학적으로 불안정 단면이 형성되어 발생하는 진동이다. 이에 대한 제어방안으로는 물줄기를 덕트 주위에 분산시켜 공기역학적으로 안정한 단면을 형성하기 위해 케이블 표면에 나선의 필렛 혹은 딥플 처리하는 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다. 이런 현

상에 관한 최대변위 분포와 제어방안을 <그림 9>에 보이고 있다.

4.2 Vortex-shedding Induce Vibration

비교적 긴 케이블에서 2 ~ 10 m/s 정도의 저속 하에서 와류에 의한 고주기, 저진폭 진동으로 Strouhal No.와 관련된 일정주기 하에서 발생하며 주로 동조질량댐퍼(Tuned Mass Damper)로 제어한다. <그림 10>은 케이블 후면의 와류발생과 케이블용 동조 질량 모식도를 보이고 있다.

4.3 Buffeting

바람의 변동에 기인하여 구조물에 불규칙적인 변동공기력 작용으로 발생한 강제진동현상을 일컫는다. 이러한 진동은 자연풍과 같이 변동을 수반하는 흐름 속에서 구조물의 형상과 풍속영역에 무관하게 발생되고, 피로문제 또는 사용성 문제 등을 야기할 수 있다. 특정 영역에 대해서 발생하는 현상이 아니므로 최대평균풍속에서의 응답을 중요한 변수로 적용하고 있다.

4.4 Flutter

일반적으로 풍속에 의존하는 비정상 공기력의 증가에 따라 진동계 전체의 감쇠가 (-)가 되는 일종의 부감쇠(negative damping) 효과에 의해 발생하는 파괴적인 진동현상이다. 구조물에 미

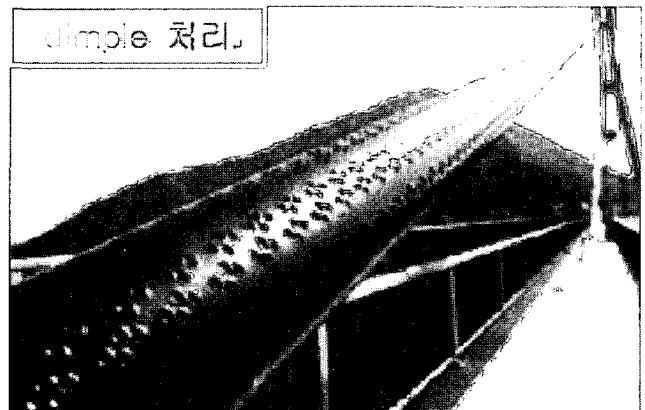
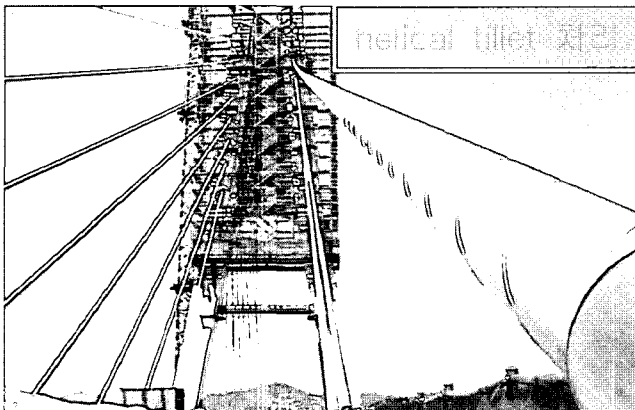
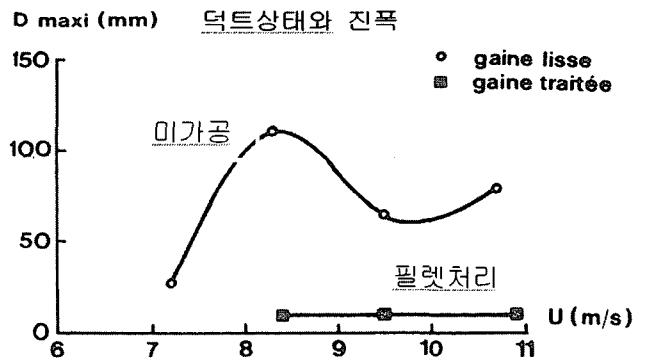
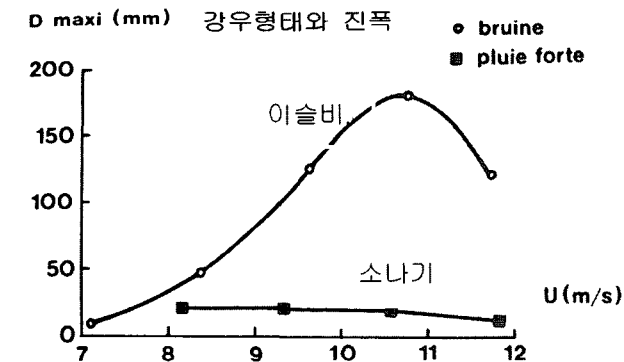


그림 9. 풍우진동에 관한 최대변위 분포 및 제어방안

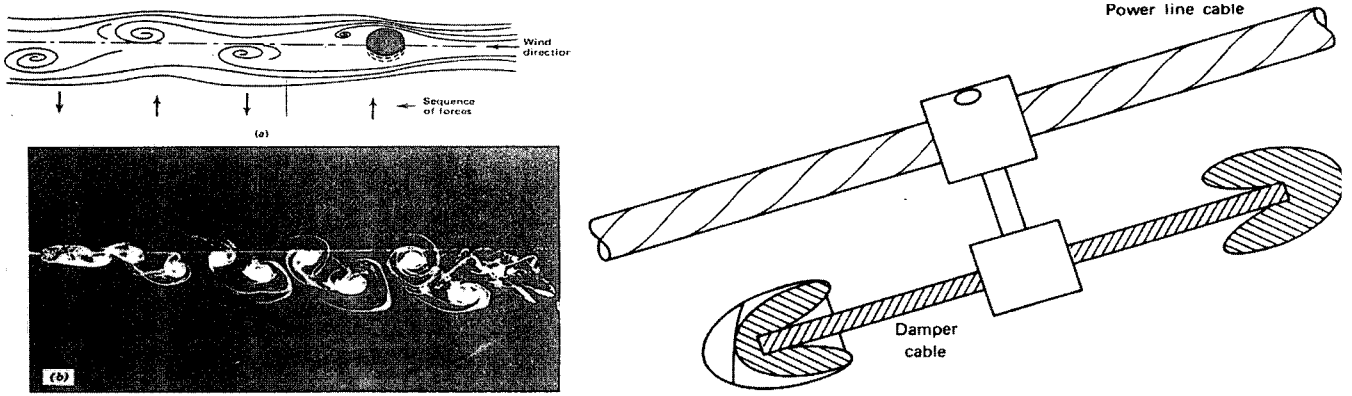


그림 10. 케이블 후면의 와류현상 및 케이블용 동조질량 모식도

치는 영향이 막대하므로 설계기준풍속 이하에서는 이러한 현상이 발생하지 않도록 플로터 한계풍속을 충분히 높여 풍동 안정성을 확보해야 한다. 플로터 현상은 진동모드에 따라 연직플로터(겔로 평), 비틀림플로터, 연계플로터(coupling flutter)로 구분된다. 이 중에서 비틀림플로터는 Tacoma Narrows Bridge 붕괴사고의 직접적인 원인으로 분석되었다.

4.5 Galloping(esp. Vertical Flutter)

플로터 중에서 연직 단자유도 발산진동으로 질량 및 감쇠 파라미터인 Scruton No.에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 네모난 단면, "D" 형 단면 또는 얼음이 부착된 케이블 등 가늘고 긴 구조에서 바람의 입사각 변화에 따라 양력 변화가 유발되며, 낮은 구조감쇠에서 바람의 직각방향으로 발생하는 지력진동 현상으로 큰 진폭을 유발시킨다.

4.6 Wake Galloping

일정거리가 떨어진 평행한 케이블에서 하류에 있는 케이블이 난류에 의한 간섭에 의해 진동이 유발되는 현상으로 케이블의 이격거리가 대략 직경의 5배(5D) 이하의 경우에 발생된다. 근접한 케이블 간의 상호간섭을 줄여주는 방안을 <그림 11>에 나타내었다.



그림 11. 근접한 케이블 간의 상호간섭 감소방안

4.7 Parametric Excitation

보강형과 케이블의 연계진동으로 보강형의 진동수와 케이블의

진동수가 일치하거나, 정수배가 되어 발생하는 진동현상으로 주로 긴 케이블에서 발생된다. 정확한 분석방법은 아직도 연구 중에 있다.

4.8 dampers

진동을 제어하는 방안은 크게 구조역학적인 대책과 공기역학적인 대책으로 대별될 수 있다. 구조역학적인 대책은 운동방정식 ($m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = p(t)$)에서 좌변에 속한 질량, 감쇠, 강성을 조절하는 것으로 이해될 수 있고, 공기역학적인 대책으로는 운동방정식의 우변에 속한 일종의 하중을 조절하는 것으로 이해될 수 있다. 본 기사에서는 각종 장비를 이용한 제진방안으로 비교적 많이 거론되는 감쇠기에 대한 몇몇을 소개할 것이다. 감쇠기는 내부감쇠기와 외부감쇠기로 분류될 수 있다.

내부 감쇠기는 고무의 전단변형을 이용한 제진장치로 규모가 작거나 케이블 길이가 짧은 교량의 케이블에 적용되는 IED (Internal Elastomeric Damper), 점성 오일(viscosity oil)을 이용한 제진장치로 케이블 길이가 다소 긴 교량의 케이블에 적용되는 IHD (Internal Hydraulic Damper), 큰 힘과 증폭 변위를 저항하도록 특별한 유압피스톤을 사용한 제진장치로 긴 케이블에 사용되는 IRD (Internal Radial Damper) 등이 있다. 이들은 적절한 성능을 보유하고 있으나, 사용재료의 특성상 빠른 손상과 잦은 보수를 경험 했다. 최근 이것을 보완하고자 피로파괴와 유지보수가 작은 IFD(Internal Frictional Damper)가 개발되어 사용되고 있다. 이것은 점성오일계의 감쇠기와는 다르게 금속 또는 복합금속체의 마찰감쇠 성능을 이용한 장치로 내구성은 양호하나 감쇠성능은 작은 값을 제공한다. <그림 12>는 순서대로 IED, IHD, IRD, IFD를 보이고 있다. 정착구 주변에 설치하는 내부감쇠기와는 다르게 정착구와 먼 거리에 설치될 수 있는 외부감쇠기가 있다. 이것은 거셋판을 가력하지 않고 큰 진폭과 힘에 저항할 수 있고, 직접적으로 상판에 연결할 수 있으며, 중앙 경간의 긴 케이블에 적용될 수 있는 EHD(External Hydraulic Damper)가 있으며 Fixed type과 Pendular type

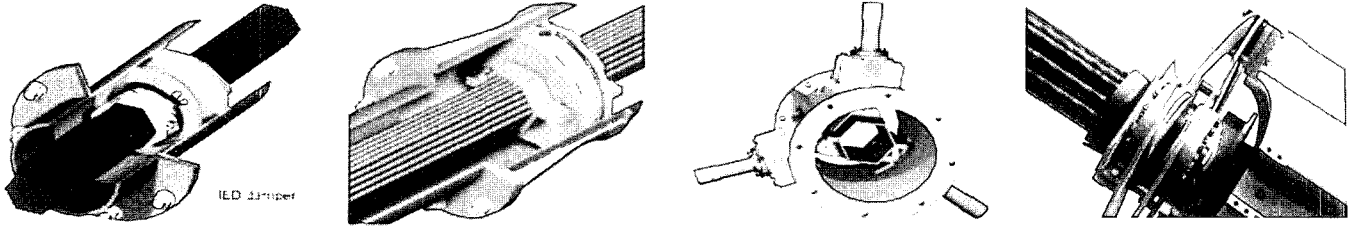
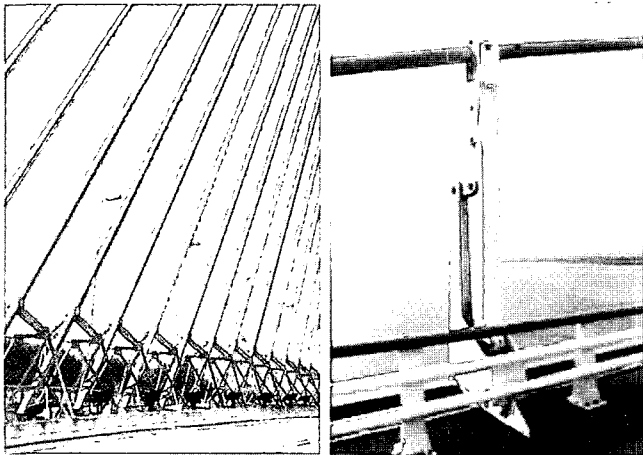


그림 12. 다양한 내부감쇠기

이 있다. <그림 13>은 EHD가 설치된 것을 보이고 있다.

4.9 Cross Ties (Aiguilles)

앞서 기술한 감쇠기로 제어하기 어려운 상황, 즉 케이블이 긴 경우에 발생하는 parametric excitation에 따른 불안정 문제를



(a) Fixed type (b) Pendular type

그림 13. 다양한 외부감쇠기

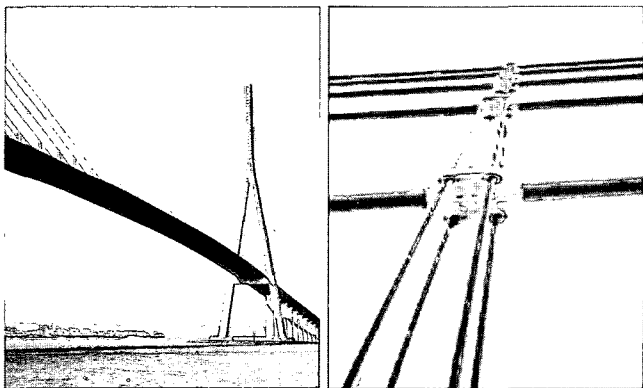


그림 14. 크로스 타이

해결하기 위한 진동저감 장치이다. 주요한 역할은 각각의 사재 케이블을 묶어서 주기를 줄여준다. <그림 14>는 크로스 타이이 설치된 것을 보이고 있다.

5. 결 언

인간이 탄생한 이후 삶을 영유하기 위해 토목은 끊임없는 발전을 거듭해왔다. 발전의 속도가 급격하지는 않더라도 발전할 기간이 너무나 길어 토목분야의 이론과 기술은 안정된 피라미드의 구성과 같다고 보아야 할 것이다. 이러한 피라미드를 조적을 통해 확장한다는 것은 시대를 역행하는 행위로 보아야 할 것이다. 따라서, 획기적인 확장을 위해 피라미드 위에 첨탑을 세워 하이 테크놀로지 시대에 발맞춰 나가야 할 것이다. 이것을 위해서는 획기적인 재료개발, 실현가능한 공법 및 장치개발이 이루어져야 할 것이다. 예로서 1930년대에 구상했던 지브롤터대교가 서서히 현실로 다가오고 있는 것도 신소재를 이용한 고강도 경량구조, 새로운 시공방법, 이들을 가능케 할 장치 및 자재가 개발되었기에 가시화될 수 있었던 것이다. 본 기사에서는 기본적인 장치 및 자재를 소개하고, 특히 사장재에 관한 내용을 조금 더 제시하였다. 이것을 계기로 설계이론에 못지 않게 장치 및 자재(특히, 케이블 구조)의 중요성을 인식할 기회가 되었으면 하는 것이 기고자의 바램이다. □

참고문헌

1. "Cable Stays : Recommendations of French interministerial commission on Prestressing," Setra, Republique Francaise, 2002. 6.
2. "Bridge : design & engineering," The definitive publication for bridge professional worldwide, second quarter 2003, issue No.31.
3. 대한토목학회, "장대교량의 설계·시공 및 유지관리", 기문당, 2001. 3.