

1. 머리말

1970년대 초기에 완성된 남해대교와 1980년대에 완성된 진도대교 및 돌산대교를 시작으로 국내의 장대교량은 지속적으로 증가하고 있다. 영종대교, 서해대교, 영흥대교 등이 최근에 개통되었고 광안대교, 삼천포대교 등이 개통을 앞두고 있다. 또한 제2진도대교, 거금대교, 북항대교, 금가대교, 경안대교 등이 공사중이며 2거금대교, 제2성산대교, 완도대교, 청풍대교 등은 설계중에 있다. 이와 같이 국내의 장대교량은 그 어느 때 보다도 전성기를 맞고 있으며 국토가 비좁고 섬이 많은 우리나라의 지형조건을 감안한다면 장대교량의 건설은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

주지하는 바와 같이 교량이 장대화되면 일반적으로 감쇠율과 고유진동수가 낮아지게 되어 풍공학적으로는 불리하게 된다. 장대교량의 내풍안정성은 일반적으로 풍동실험을 통하여 검증하게 되는데 내풍안정성 및 사용성에 문제가 되는 진동이 발생하게 되면 이에 대한 대책을 마련하게 된다. 우선 구조시스템의 변경을 고려할 수 있는데 이 경우, 고유진동수의 증가를 기대할 수 있다. 그러나 강성증가에 의한 고유진동수의 증가는 생각보

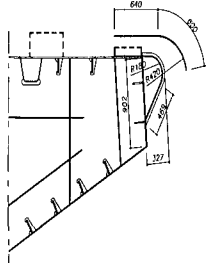
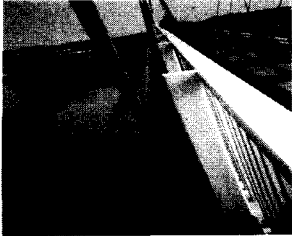
다 크지 않으며, 실제로 이에 대한 적용사례도 드물다. 다음으로는 댐퍼(damper)를 적용하여 구조감쇠를 증가시키는 방법이 있다. 이 경우 진동을 감소시키는 효과가 비교적 확실한 반면, 설치공간의 확보, 유지관리 등이 부담으로 작용하는 경우가 있다. 마지막으로 교량 주형의 단면형상을 약간 변화시켜 기류의 흐름을 안정화시키는 방법이 있다. 이는 내풍설계 측면에서 가장 많이 사용하는 방법으로 공기역학적 방법이라고 한다. 일반적으로 교량 주형의 단부 또는 일부분의 형상변화를 통하여 기류의 박리를 가능한 억제시키고 주형 단면의 표면압력의 차이를 완화시켜 진동발생을 억제 또는 축소시키는 것이 목적이며, 상대적으로 저비용으로 유지관리가 필요없으며 구조시스템의 변경도 불필요하다는 장점이 있다. 본 고에서는 국내교량에 적용된 공기력제진대책의 사례를 소개하며 그 효과에 대해서도 기술한다.

2. 공기력제진대책 사례

2.1 진도대교

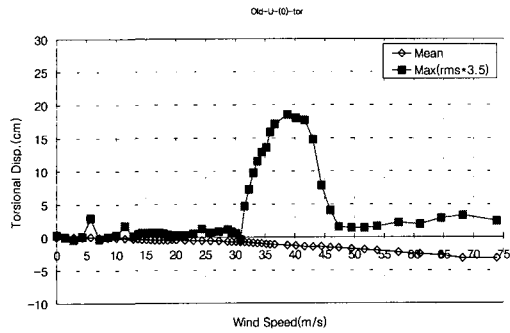
1984년에 완공된 진도대교의 경우, 설계당시 국내에는 풍동설비가 없었다. 따라서 진도대교에 대한 풍동실험은 외국에서 수행하였으며 그 결과 그림 1과 같은 vane을 주형 단부에 부착하여 와류진동을 감소시켰다. 그림 2는 바람의 수평면에 대

* E-mail : yskim@hdec.co.kr

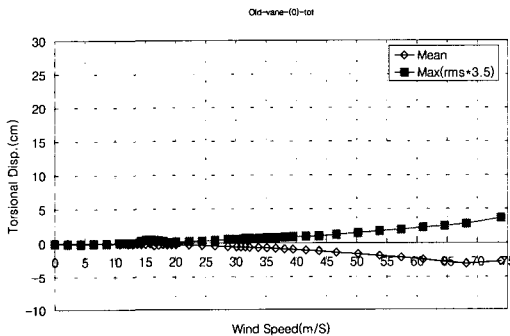


[진도대교에 설치된 vane] [곡면 vane의 상세]

그림 1 진도대교에 설치된 vane의 형상



[기본단면, 등류, 영각 = 0°]



[Vane단면, 등류, 영각 = 0°]

그림 2 Vane에 의한 진도대교의 제진효과

한 각도(영각)가 0도일 경우에 비틀림거동에 대한 vane의 제진효과를 나타내고 있으며 실험조건은 등류와 감쇠율은 0.019이다. 비록 등류에서의 실험 결과이나, vane에 의해 와류진동이 억제됨을 알 수 있다. 참고로 진도대교와 인접하여 가설되고

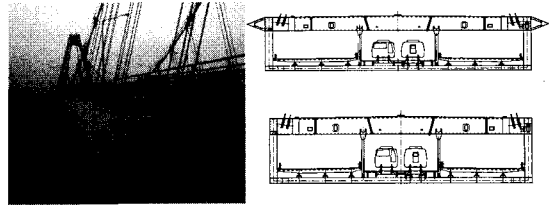


그림 3 Fairing이 설치된 영종대교(左)와 단면의 형상(右)

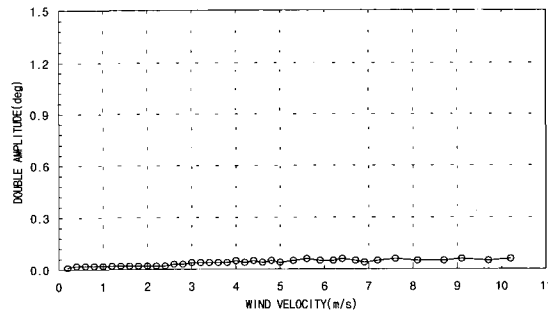
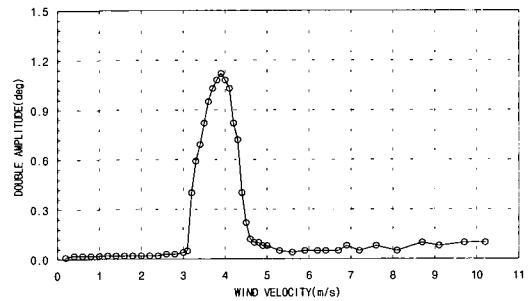


그림 4 Fairing 설치전(左)과 설치후(右)의 비틀림 거동

있는 제 2 진도대교의 경우도 동일한 vane이 설치 된다.

2.2 영종대교

인천국제공항의 관문인 영종대교의 경우, 국내에서 수행된 최초의 장대교량 풍동실험이라 할 수 있다. 1992년도에 풍동실험을 수행하였으며 실험 결과 그림 3과 같은 삼각형 fairing을 설치하여 내풍안정성을 확보하였다. 그림 4는 등류에서 영각 = -5도에서의 비틀림거동을 나타낸 것이며 X축의

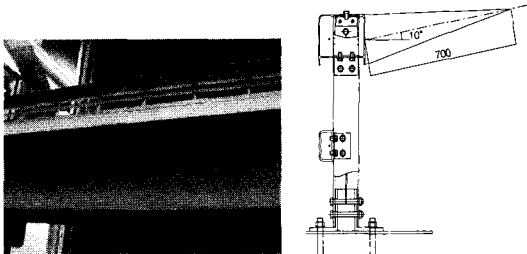


그림 5 완도-신지도간 연육교에 설치된 flap의 실험모형(左)과 상세(右)

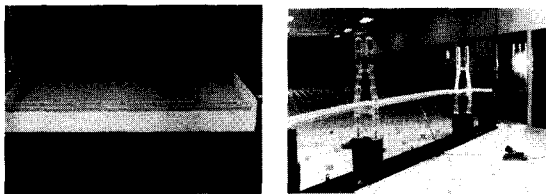


그림 6 삼천포대교 주형실험(左)과 전교실험모습(右)

풍속은 풍동풍속을 나타내고 있으며 Y축의 진폭은 비틀림각도를 나타낸다. 풍동실험결과와 실험결과에 의하면, fairing의 설치에 의해 비틀림 와류진동이 효과적으로 제어됨을 알 수 있다.

2.3 완도-신지도간 연육교

전라남도 완도와 신지도간을 연결하는 연육교로 총연장 840 m의 7 경간 연속교이며 주형의 형식은 steel box-girder이다. 풍동실험결과, 저풍속에서 연직와류진동이 발생하였는데 그림 5와 같은 flap을 방호책상단에 설치한 결과, 연직방향은 물론 비틀림방향의 거동에도 제진효과가 나타났다. 현재 flap을 적용하여 시공중이다.

2.4 삼천포대교

최근에 공사가 완료된 삼천포대교의 경우, 설계 단계에 있어서 8종류의 공기력제진대책에 대하여 풍동실험을 수행하였다. 실험결과, 그림 7과 같은 삼각형 fairing이 가장 효과적으로 진동을 제어할

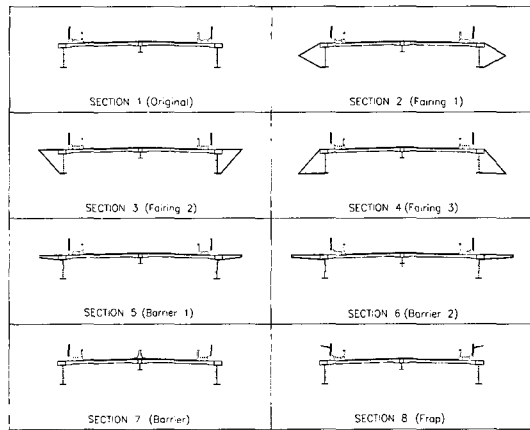


그림 7 삼천포대교의 초기설계단면과 fairing이 부착된 단면

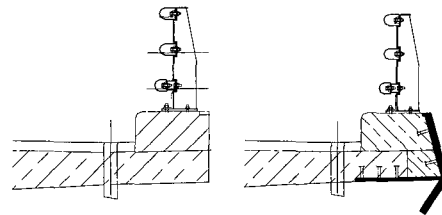
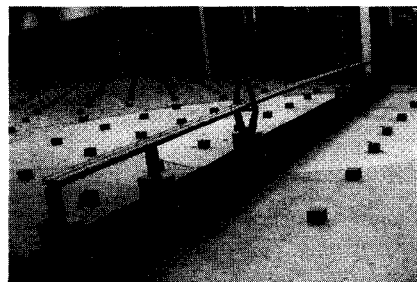


그림 8 교량 A의 풍동실험모습(左) 및 fairing 상세(右)

수 있다는 것이 확인되어 그대로 적용하여 가설완료하였다.

2.5 교량 A (국내 최장의 사장교)

현재 설계중인 교량 A는 국내 최장의 사장교로서 중앙경간이 480 m이다. 해안가에 가설되며 왕복 2차선교량으로 상대적으로 가볍기 때문에 설계

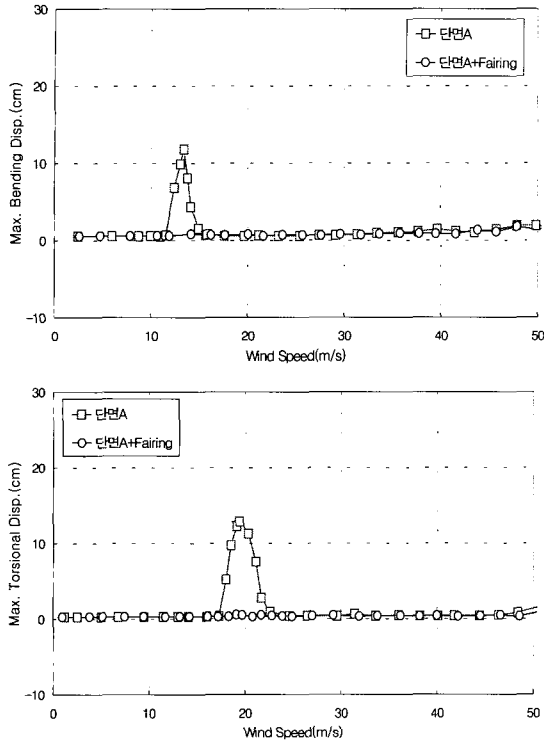


그림 9 Fairing에 의한 연직거동(左)과 비틀림거동(右)

과정에서 내풍안정성에 많은 노력을 하였다. 보강형의 형식도 풍동실험에 의해 선정하였으며 그림과 같은 소규모 fairing을 채택하여 바람에 의한 진동을 제어하였다.(그림 8 참조) 실험결과, 그림 9와 같이 연직 및 비틀림에 있어서 와류진동이 억제됨을 알 수 있다.

2.6 교량 B (two-cell box-girder)

현재 설계중인 교량 B의 내풍설계의 사례는 매우 특별한 경우이다. 설계기본단계부터 내풍안정성을 고려하여 그림 10과 같이 교량중앙부에 통풍구를 만들어 설계하였고 그 효과를 확인하기 위해서 풍동실험을 수행하였다. 실험결과 오히려 중앙부에 통풍구가 있는 경우, 바람에 의한 진동이 증폭되는 결과가 나타났다.(그림 11참조) 그 원인을

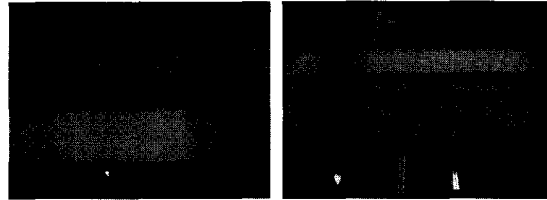


그림 10 교량 B 중앙부의 개폐에 따른 실험모형

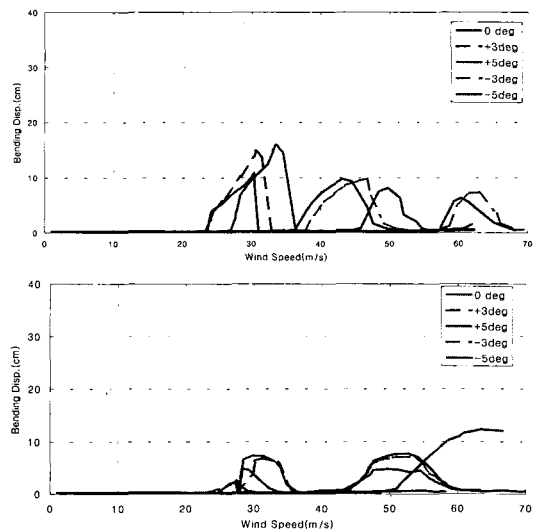


그림 11 통풍구가 있는 경우(左)와 없는 경우(右)의 진동특성

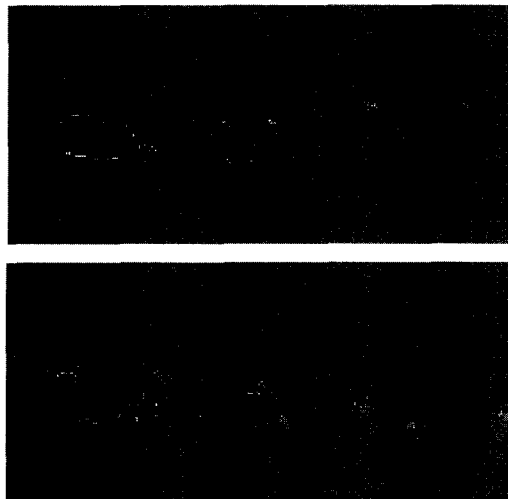


그림 12 교량 B의 CFD해석 결과

가시적으로 고찰하기 위하여 computational fluid dynamics(CFD) 해석을 수행한 결과, 그림 12와 같이 통풍구에 의해 어느 정도 압력차의 완화는 기대할 수 있으나, 하류측에서의 와류방출은 오히려 증가함을 알 수 있었다. 공기역학적인 배려가 전혀 효가가 없었으며 그림 10과 같이 통풍구를 막은 상태가 내풍안정성 측면에서 유리하였다.

3. 맺음말

이상으로 국내 장대교량의 공기력 제진대책의 사례를 소개하였다. 이외에도 영흥대교, 북항대교 등의 장대교량에도 공기역학적 제진장치가 적용되어 있다. 적용사례에서 알 수 있듯이 교량의 경우, 약간의 단면형상의 변화로 효과적인 진동제어를 기대할 수 있으며 TMD와 같은 기계적 제진장치에 비해 비용도 저렴하며 유지관리의 필요성도 거

의 없다. 물론 풍동실험을 거쳐 최적의 형상을 찾아야 하는 노력은 필요하지만, 구조물의 내풍 안정성 측면에서 본다면 최선의 방법이 될 수 있다고 사료된다.

참고 문헌

- (1) 현대건설 기술연구소, “삼천포대교 풍동실험보고서”, 1996.
- (2) 교통부, “수도권 신국제공항 연육교 풍동실험보고서”, 1992.
- (3) 현대건설 기술연구소, “거금대교 풍동실험보고서”, 2001.
- (4) 현대건설 기술연구소, “제2진도대교 풍동실험보고서”, 2000.
- (5) 현대건설 기술연구소, “완도-신지도간 연육교 풍동실험보고서”, 1996.