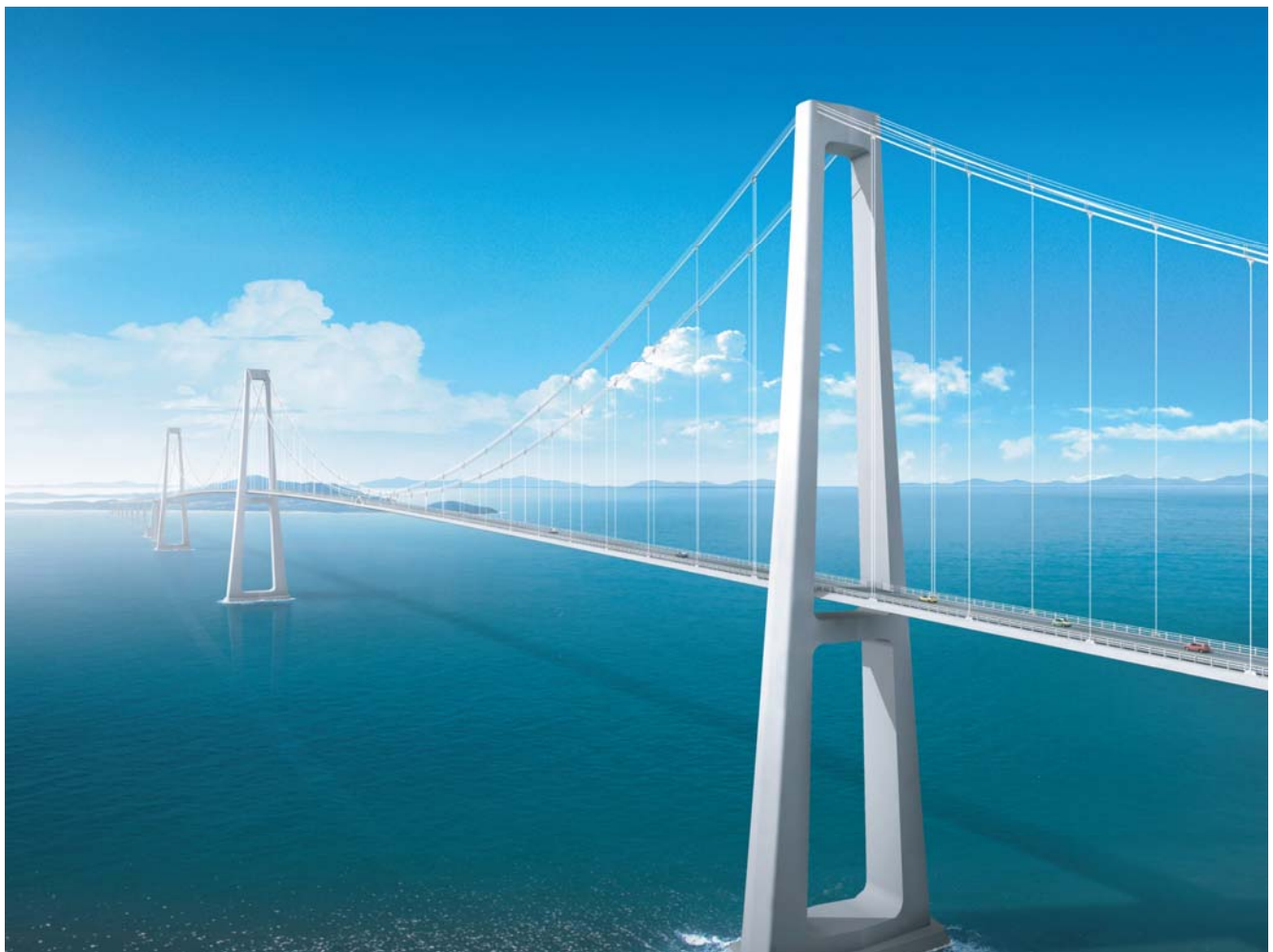


# 압해-암태 2공구 새천년대교의 설계 - 교량형식 선정과 내풍설계 -







# Contents

- I 사업개요
- II 교량형식 선정
- III 다경간현수교의 특징점
- IV 내풍설계
- V 결언



## 1 개요 및 목적

## I. 사업개요

### ▶ 사업개요

사업명	압해-암태(2공구) 도로건설공사
발주처	익산지방 국토관리청
위치	전라남도 신안군 압해면 송공리
사업시행방법	설계 / 시공 일괄 입찰방식
공사기간	2010. 6. ~ 2018. 6.(예정)

### ▶ 사업목적

새천년대교의 건설은

- 목포시와 신안군 도서지역을 연결하는 국도 2호선 미개통 구간을 연도교로 연결
- 육로를 통한 생활권간 연계 강화 및 지역간 균형발전을 도모
- 아름다운 해상교량 건설로 교량의 관광상품화를 통한 문화관광사업 활성화

## 2 위치도

### 1. 사업개요



## 3 사업현황 및 규모

### 1. 사업개요



전체연장	교량연장	도로연장	교량폭원
5.75 km	3.64 km (주항로교:1.75 km , 접속교:1.89 km)	2.11 km	12.5 m (2차로)

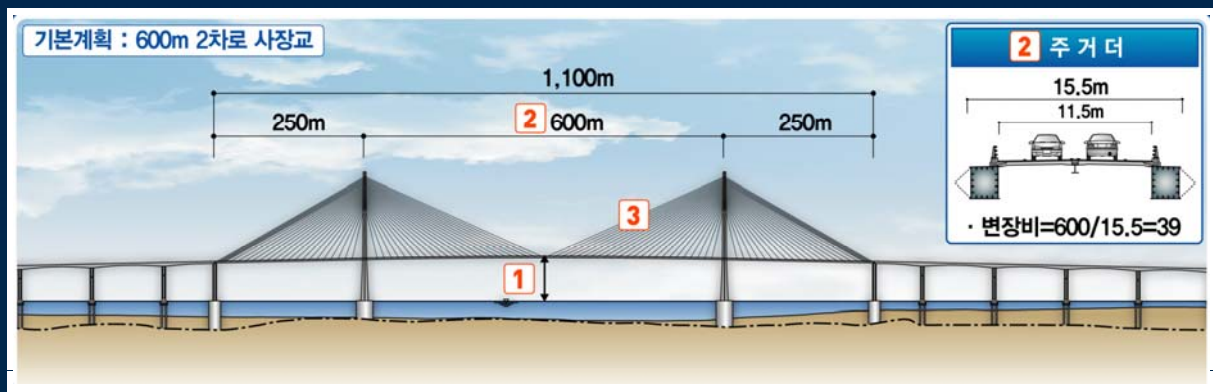


## II. 교량형식 선정



### 1 가설여건

### II. 교량형식 선정

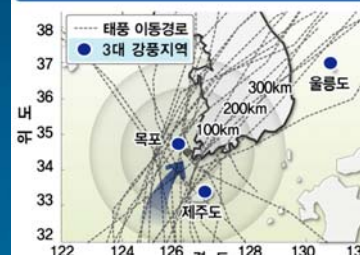


#### 기본계획 분석

- |                |            |
|----------------|------------|
| 1 거더높이 70m     | 풍속증가 대응 필요 |
| 2 600m / 15.5m | 변장비 대책 필요  |
| 3 케이블길이 300m   | 대규모 댐퍼 필요  |

세장한 계획을 극복하는 교량형식 필요

#### 태풍 현황



#### 반경별 발생빈도

반경	연평균빈도
100km	0.40
200km	0.84
300km	1.14

바람에 강하고 안전한 형식 필요

## 2 현수교 VS 사장교 변장비 (1)

## II. 교량형식 선정



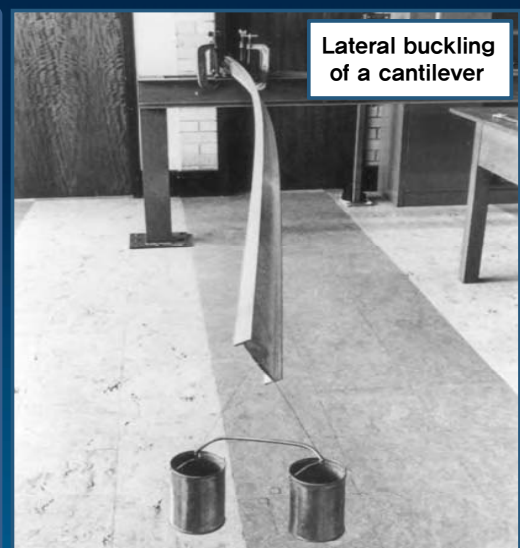
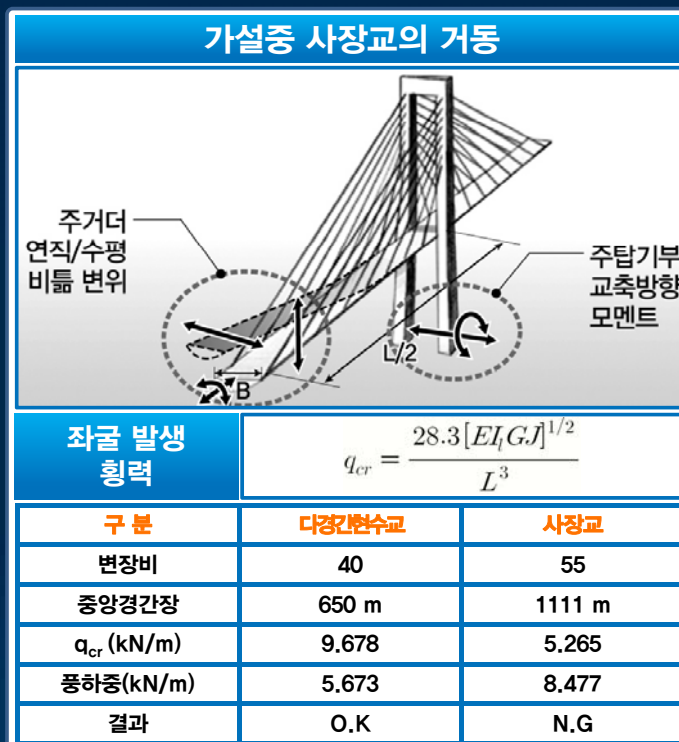
### ▶ 세장한 2차로 장대 현수교 현황

교량명	중앙경간장	폭원	변장비
Askoy br.	850 m	15.5 m	55
Storda br.	677 m	13.5 m	50
Hardanger br.	1324 m	20.0 m	66
새천년 대교	650 m	16.5 m	39

세장한 2차로 장대교량에 적합한 형식

## 3 현수교 VS 사장교 변장비 (2)

## II. 교량형식 선정



### ‘변장비’에 관한 석학들의 의견

- 석학들이 제시하는 사장교 최대 변장비
  - ▷ Leonhardt = 35~40
  - Gimsing = 40

변장비 40을 초과하는 사장교는 안전성과 경제성을 위협함

▶ 사장교는 앵커리지에 의해 축력영향에서 자유로운 현수교에 비해 다음의 이유로 중앙지간 증가에 민감하다.

1. 사장교는 중앙지간 증가에 따라 **주거더의 축력이 증가**하며, 이러한 축력은 다시 거더의 중량을 증가시킨다.
2. 사장교의 경우 **캔틸레버 상태로** 가설되며, 이때 거더의 **교축직각방향으로 큰 강성이 필요하다**. 반면 현수교는 Pendulum effect로 인해 횡방향 안정성의 확보에 유리하다.
3. 사장교의 최대 길이 케이블은 현수교 행어보다 매우 길어 **현수교 보다 케이블 진동 차원에서 불리하다**.

## 5 가설안정성

## II. 교량형식 선정

**2차로 사장교**

거더 가설기간	10개월
강풍 노출확률	53%
내 풍 대 책	벤트, 내풍케이블 등

↓

별도의 대규모 내풍시설 필요

**2차로 현수교**

거더 가설기간	3개월
강풍 노출확률	16%
내 풍 대 책	보강거더 비대칭 가설

↓

별도의 내풍시설 불필요

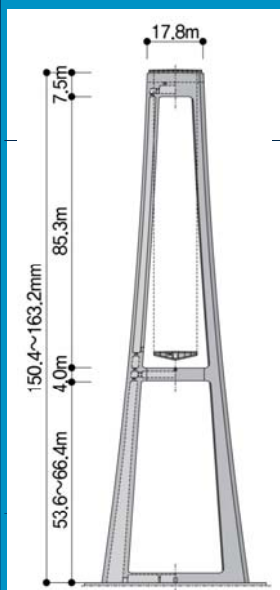
**가설중 내풍안정성 확보가 유리한 형식**



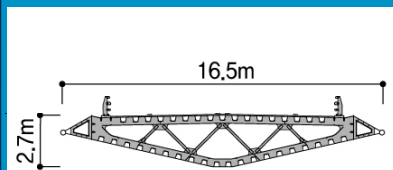
## 다 경 간 현 수 교



**주 답**



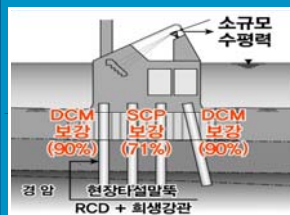
## 보강 거 더



케이블



## 앵 커 리 지



## 케이블 및 앵커리지 규모 최적화로 경제성 향상

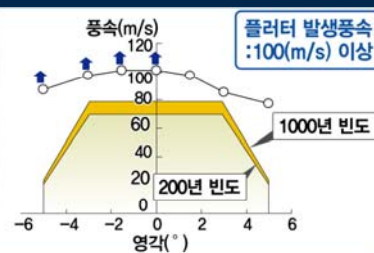
## 7 주요부재 계획

## II. 교량형식 선정

▶ **다이아몬드형 보강거더**



· 독창적 경관미 부각과 내풍 안정성 동시 실현

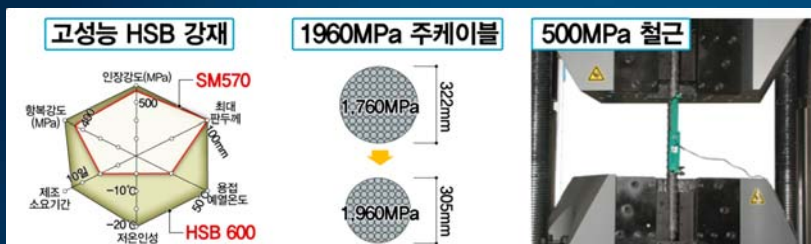


## ▶ 고무래핑 시스템



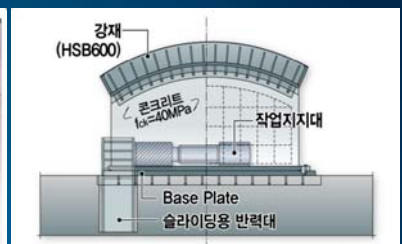
• 주케이블 내구성 향상

▶ 고성능/고강도 재료 적용



· 구조성능 개선과 경제성 향상 동시 추구

## ▶ 콘크리트 탐정 새들



· 시공성/경제성 향상

## 선진 기술 도입으로 미래지향 다경간 현수교 완성



### Ⅲ. 다경간현수교의 특징점



#### 1 다도해와 조화

#### Ⅲ. 다경간 현수교의 특징점

##### 장경간 사장교

- 과도하게 돌출된 주탑으로 다도해 스카이라인과 부조화
- 1공구와 동일 형식으로 전체구간의 반복되는 교량 구성



##### 1공구 사장교

##### 사장교

##### 다경간 현수교

- 부드러운 현수선으로 주변 다도해와 아름답게 조화
- 1공구와 차별화된 형식으로ダイナミック한 교량 구성



##### 1공구 사장교

##### 다경간 현수교

1공구와 차별화된 다이내믹한 교량

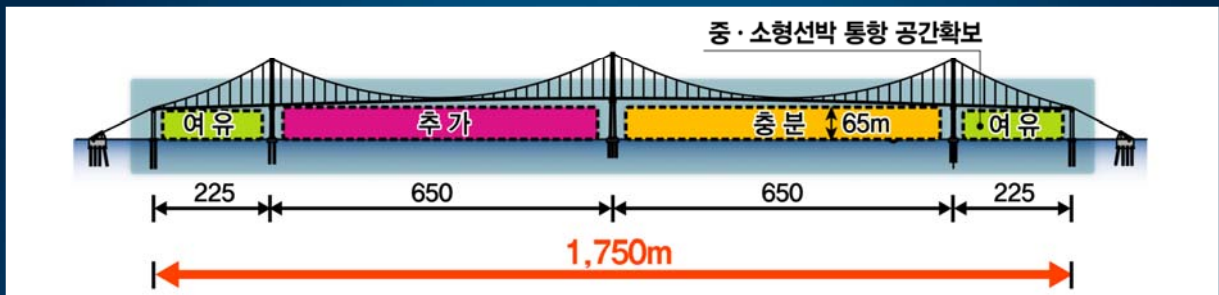
## 2 충분한 항로공간

## Ⅲ. 다경간 현수교의 특징점

### ▶ 관계기반 경간장요구 ▶ 3차원 선박운항 시뮬레이션 결과 (한국해양대학교)

입찰안내서	600m	기본계획	선박 '편도운행'에 문제 없음
C&중공업	500m	650m	선박 '교향운행'에 문제 없음
도선사회	600m	650m + 650m	추가항로 제공으로 안전성 배가
해운 항만청	800m	225m + 650m + 650m + 225m	중·소형 선박 항로 추가 제공

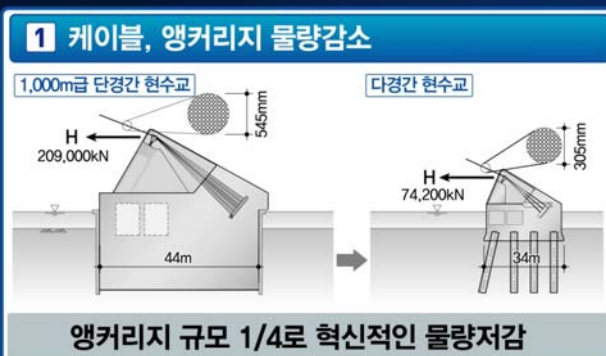
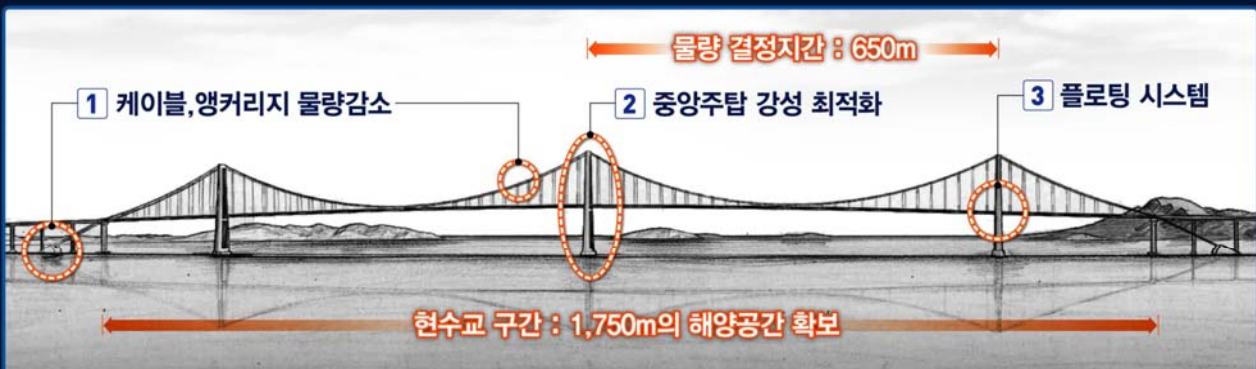
· 전문가의견 수렴  
· 선박운항 시뮬레이션



대형 선박 교향 및 중·소형 선박의 통행 공간 확보

## 3 기술적 차별성

## Ⅲ. 다경간 현수교의 특징점



구조적 효율성 및 차별화된 기술 적용



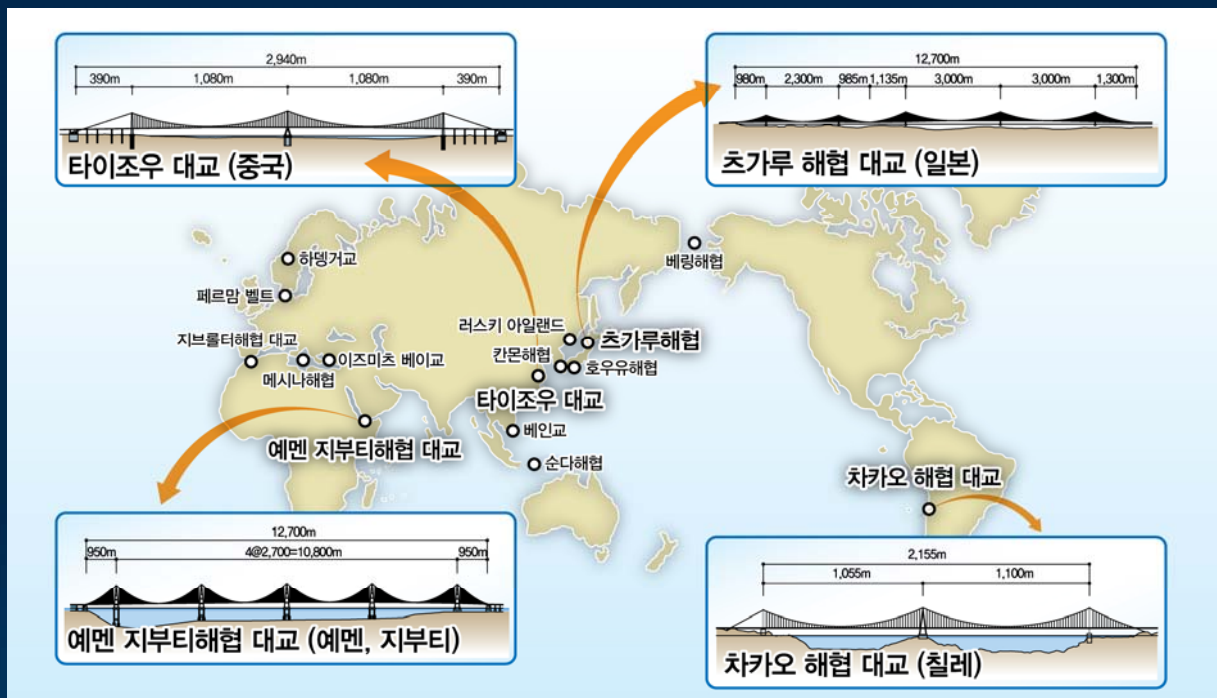
다경간 현수교의 특징점

- 두개의 앵커리지만으로 장경간화 가능
- 연속경간 적용으로 케이블 물량의 최적화 가능
- 장경간 교량에서의 내풍안정성 확보가능

세계 각국에서 해협횡단 초장대 교량형식으로 검토 중

해결 과제

- 유연한 구조로 활하중에 의한 처짐변위 제어 필요
- 중앙주탑 강성확보 필요



선도기술 확보로 국가경쟁력 강화에 기여

## IV. 내풍설계



### 1 설계개요

### IV. 내풍설계

#### 내풍 설계의 필요성

- 폭원 16.5M, 변장비 39의 강상자형으로 자중 및 감쇠율이 낮음
- 내풍공학적으로 충분한 검토가 필요한 교량형식임

#### 검토 방법

풍환경 분석	단면선정 및 2차원 단면실험	3차원 풍동실험	고등전산해석
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기상자료수집</li> <li>• 극치분석</li> <li>• 몬테카를로 시뮬레이션</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selberg식에 의한 검토</li> <li>• 문헌 및 사례조사</li> <li>• 예비 단면실험</li> <li>• 부분 모형실험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 독립주탑실험</li> <li>• 전교모형실험 (공용중, 가설중)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 완성계버페팅해석</li> <li>• 3차원플러터해석</li> </ul>
기존풍속산정	보강거더 형상선정 및 각종계수 추출	내풍안정성 평가	풍동실험 검증

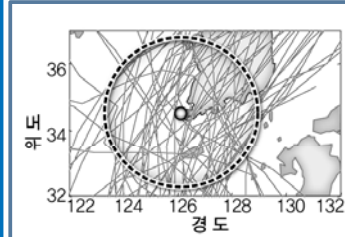


기상자료 수집



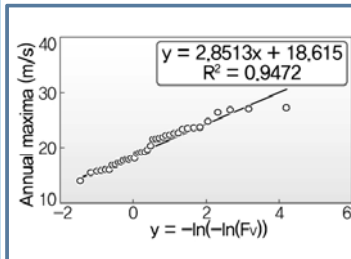
인근기상대,  
AWS, 공항 등  
각종 기상자료  
철저 조사

태풍 몬테카를로 시뮬레이션



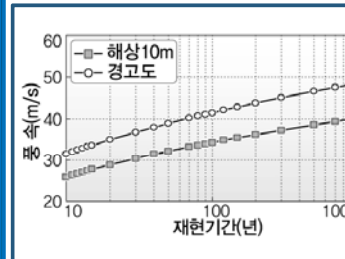
압해암태 반경  
250km를  
통과한  
태풍자료 구분

Gumbel 극치분석



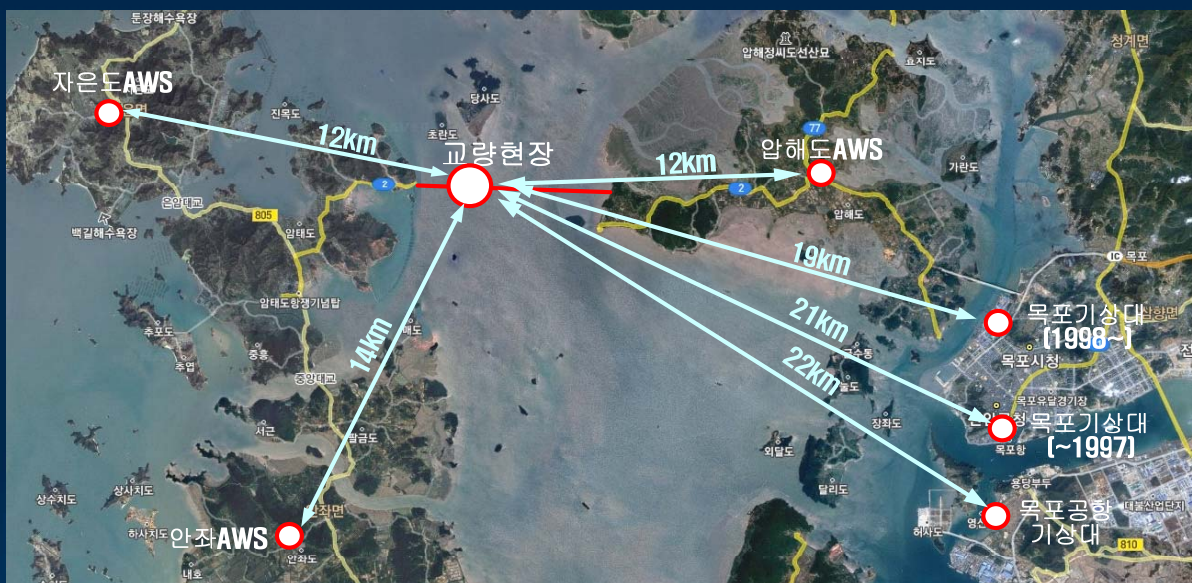
태풍 및 강풍  
발생빈도를  
기상자료로  
부터 추정

재현주기별 풍속산정



재현기간 200년  
고도 10m  
분석결과  
 $V_{10}=34.7\text{m/s}$

현지 풍환경 분석을 통한 설계기본풍속 산정



현지 풍환경 분석을 통한 설계기본풍속 산정

▶ 극치분석 및 태풍 시뮬레이션 결과

재현기간	극치 분석 (지상 10m)	태풍시뮬레이션	
		해상 10m	지상 10m
10년	26.2 m/s	25.9 m/s	21.5 m/s
20년	28.2 m/s	28.8 m/s	23.9 m/s
100년	32.7 m/s	34.2 m/s	28.4 m/s
200년	34.7 m/s	36.2 m/s	30.1 m/s

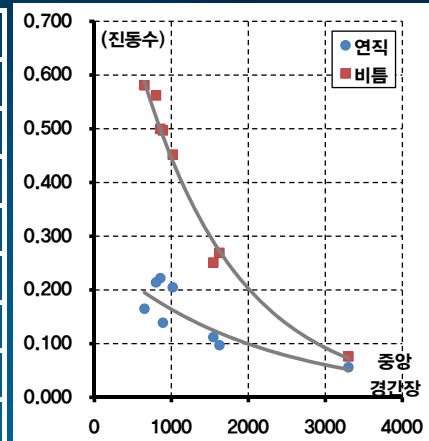
극치분석에 의한 기본풍속  $V_{10}$  34.7m/s 선정 ▶ 35m/s 적용

4 사례조사를 통한 단면형상 검토 [1]

▶ Selberg식에 의한 단면형식 선정

Selberg식	
$V_f = 3.72 f_t B C_{DB} \sqrt{\frac{mI}{\rho B^3} \left(1 - \left(\frac{f_b}{f_t}\right)^2\right)}$	$C_{DB} = 1 + 0.7332 \left(\frac{D}{B}\right)^{1.4211}$ <p><math>f_b</math> = 연직진동수 <math>f_t</math> = 비틀림진동수</p>

형식	교량명	연직진동수	비틀림진동수	진동수비
사장교	Stonecutters	0.205	0.452	2.20
	Tatara	0.139	0.497	3.58
	Normandie	0.222	0.500	2.25
	인천대교	0.214	0.562	2.63
현수교	새천년대교	0.165	0.581	3.52
	이순신대교	0.112	0.251	2.24
	Great Belt	0.097	0.269	2.77
	Messina	0.056	0.076	1.36



진동수비 검토를 통한 플러터 발생풍속 추정 ▶ 개략단면 선정



## ▶ Selberg식에 의한 단면형식 선정

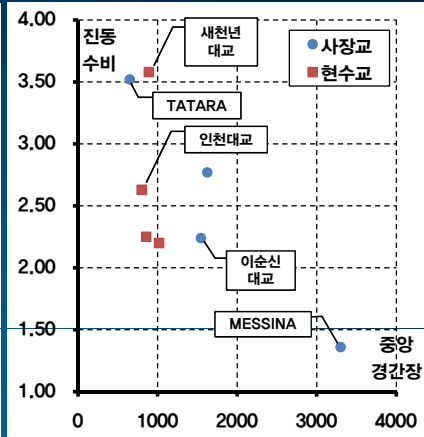
Selberg식

$$V_f = 3.72f_tBC_{DB}\sqrt{\frac{mI}{\rho B^3}\left(1 - \left(\frac{f_b}{f_t}\right)^2\right)}$$

$$C_{DB} = 1 + 0.7332\left(\frac{D}{B}\right)^{1.4211}$$

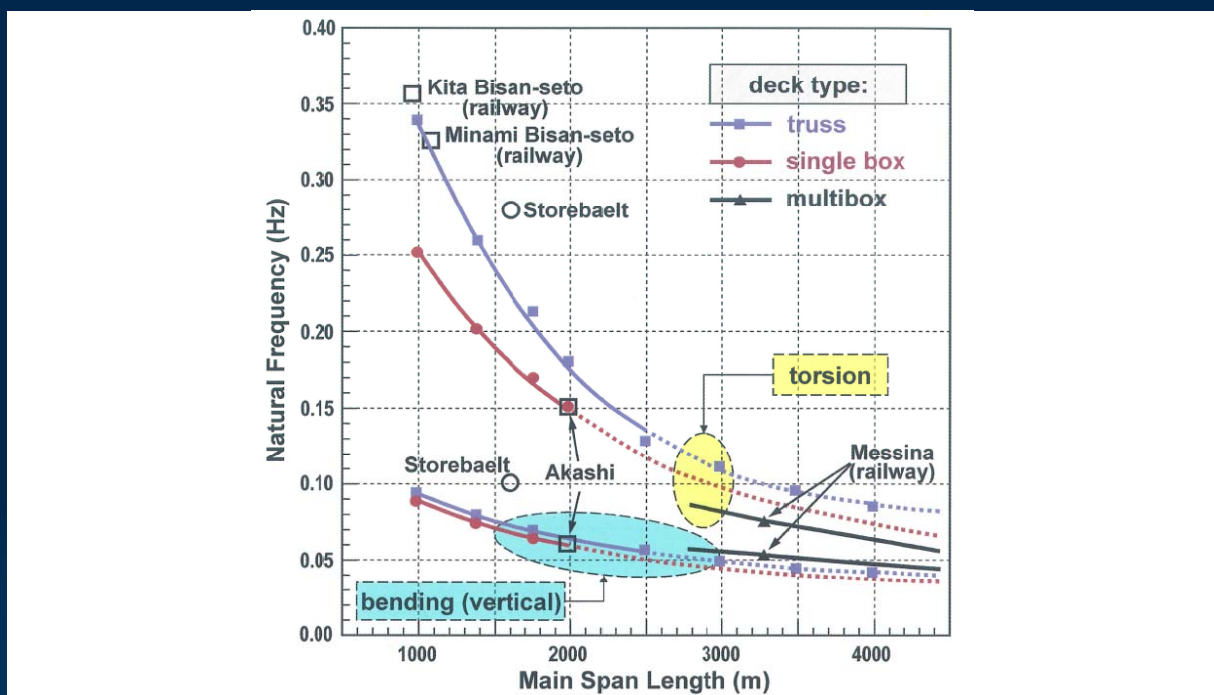
$f_b$  = 연직진동수  
 $f_t$  = 비틀림진동수

형식	교량명	연직진동수	비틀림진동수	진동수비
사장교	Stonecutters	0.205	0.452	2.20
	Tatara	0.139	0.497	3.58
	Normandie	0.222	0.500	2.25
	인천대교	0.214	0.562	2.63
현수교	새천년대교	0.165	0.581	3.52
	이순신대교	0.112	0.251	2.24
	Great Belt	0.097	0.269	2.77
	Messina	0.056	0.076	1.36

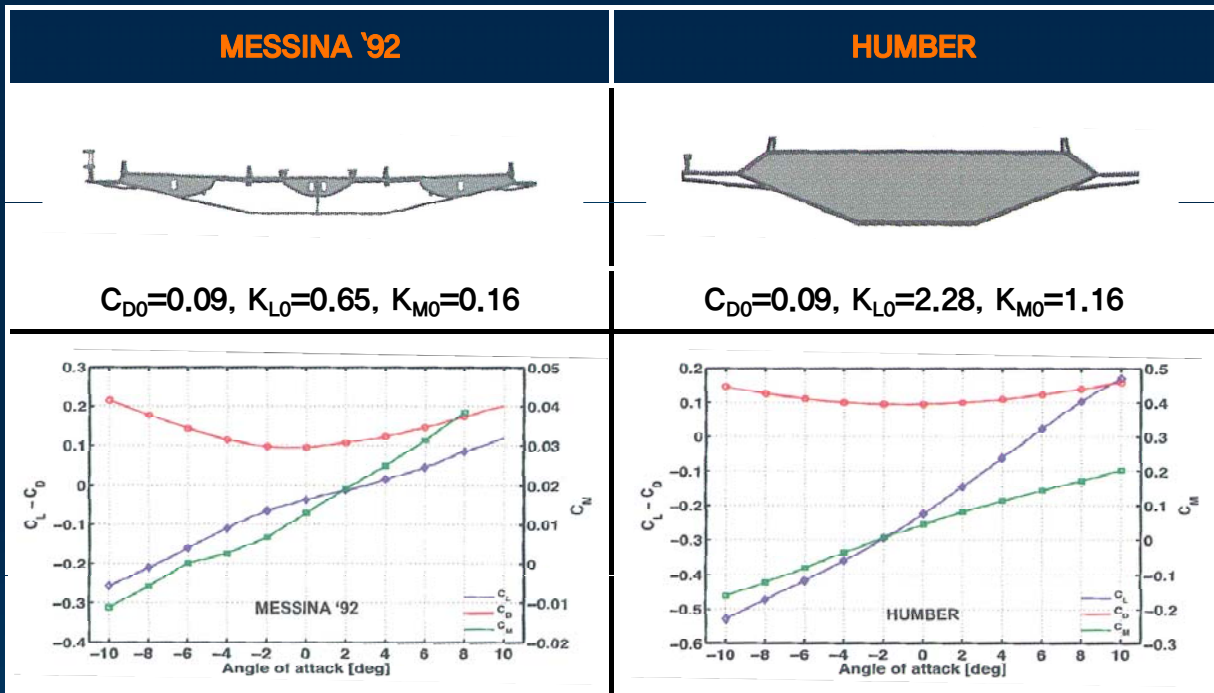


진동수비 검토를 통한 플러터 발생풍속 추정 ▶ 개략단면 선정

## ▶ 거더형상에 따른 고유진동수

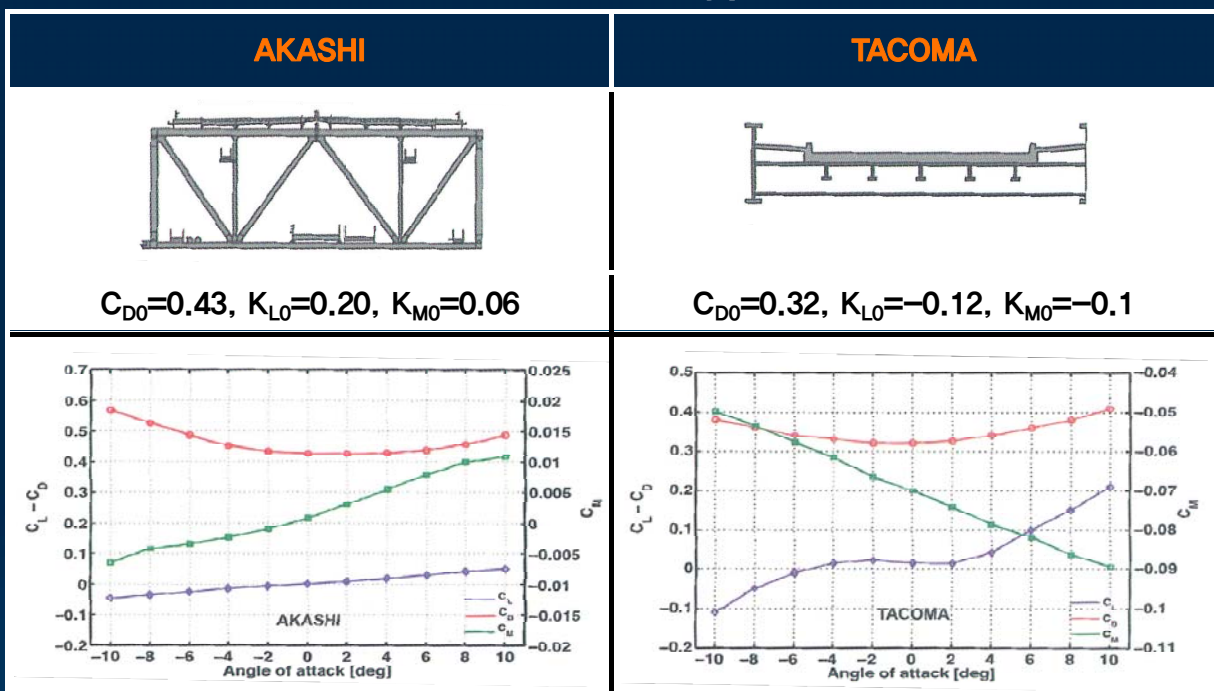


▶ 거더형상에 따른 공기력계수 (Airfoil Type)



유선형 강박스의 경우 공기력계수 최소화에 유리

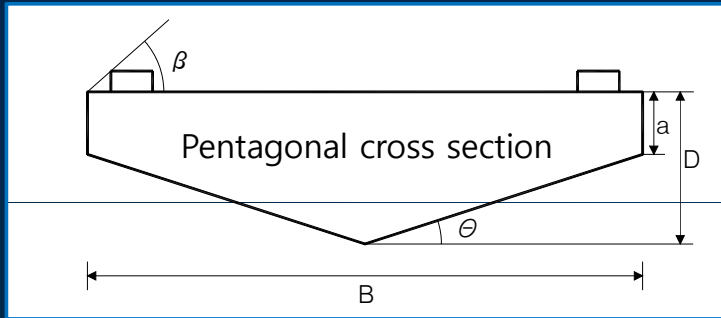
▶ 거더형상에 따른 공기력계수 (Froniel Type)



트러스 및 판형교의 경우 공기력계수가 높음



▶ Yoshinobu Kubo 장경간 교량에서의 거더단면 연구



구분	최적치	적용치
$\theta$	12°	13°
$\beta$	27°	30°
B/D	3.5 이상	6.11
문헌조사를 이용한 단면구성으로 내풍효율 향상		

▶ 강상판 박스형교 항력계수 사례비교

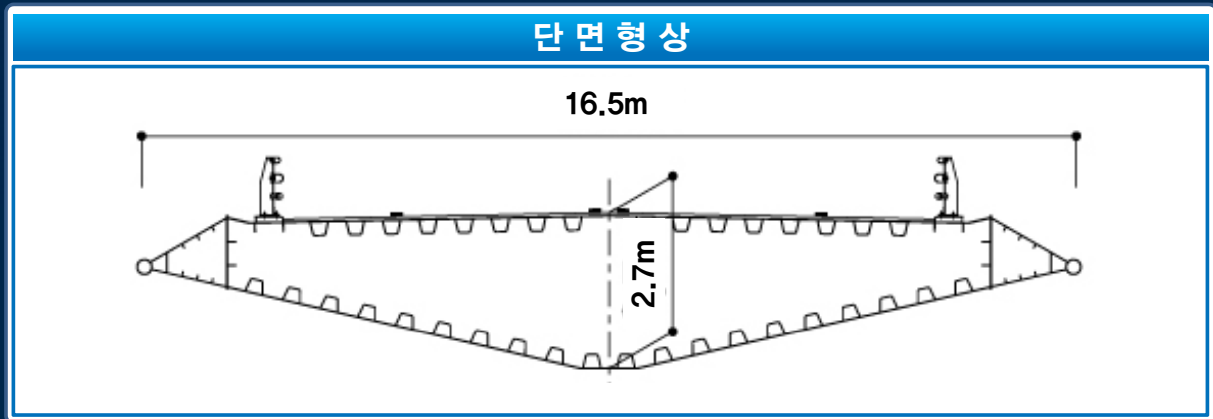
교량명	중양 경간장	폭원	변장비	항력계수
적금영남	850 m	19.7 m	43.1	0.910
목포대교	500 m	27.1 m	18.5	1.300
광양대교	1545 m	29.1 m	53.1	0.788
새천년대교	650 m	16.5 m	39.4	0.654

기존 사례 대비 항력계수 최적화 가능

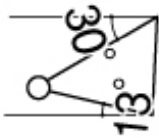
▶ 페어링 및 점검차 레일 기존사례 및 개선사항

적금영남	광양대교	새천년대교(실시설계)
<p><math>C_D=0.910</math></p>	<p><math>C_D=0.788</math></p>	<p><math>C_D=0.654</math></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 점검차 레일 돌출</li> <li>• 항력계수 증가</li> <li>• 플러터 제어에 불리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 점검차 레일 페어링 내부에 설치</li> <li>• 항력계수 다소 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 별도의 점검차 레일 없이 구조체 단부 원형강관 이용</li> <li>• 항력계수 저감에 유리</li> </ul>

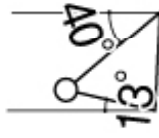
항력계수 저감 및 내풍안정성 향상에 유리한 페어링 단면계획 수립



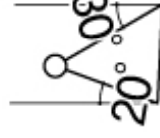
비교 1안



비교 2안



비교 3안



비교 4안

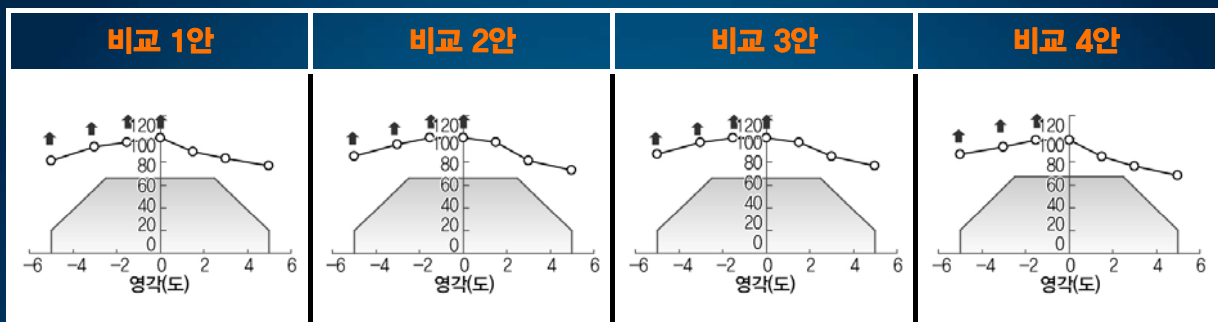


4가지 형태의 페어링을 부착하여 영각별 플러터 발현 풍속 확인

▶ 페어링 모형 사진



▶ 실험결과



4종류 모두 한계풍속 69.8m/s 기준을 만족 ▶ 비교 1안 채택

## 12 2차원 단면 실험 [1]

## IV. 내풍설계

### ▶ 실험 시설



### ▶ 실험 시설 규모

형 식	Eiffel Type
측정부 크기	1.0m(폭) 1.5m(높이) 5m(길이)
풍속 범위	0.3~20 m/s
난류 강도	1.0% 이하

### ▶ 실험 조건

등 류	• 영각 -5, -3, -1.5, 0, +1.5, +3, +5 에 대해 측정
난 류	• 영각 0도로 변화시키며 응답 측정
감 쇠 비	• 수직 0.45% , 비틀 0.41%

## 13 2차원 단면 실험 [2]

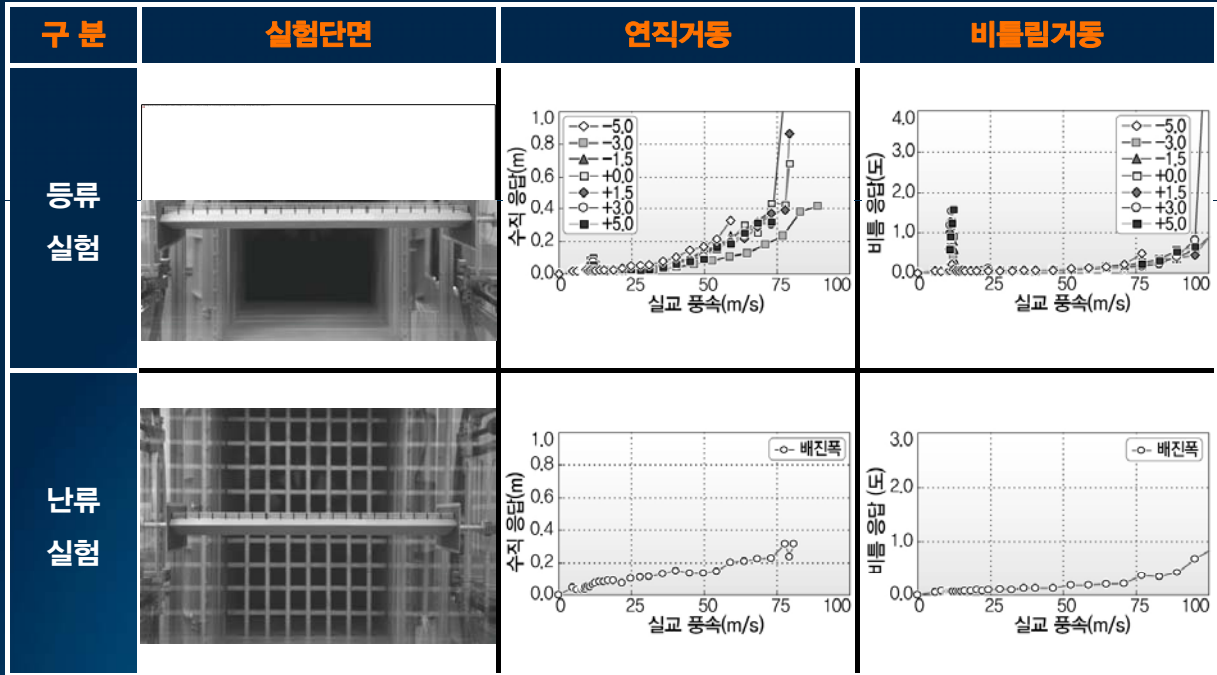
## IV. 내풍설계

### ▶ 모형의 제원 (스케일 1/50)

구 분		원 형	모형 (목표)	모형 (실제)
단면 폭		16.5 m	0.330 m	0.330 m
단면 높이		2.7 m	0.054 m	0.054 m
길이		45 m	0.900 m	0.900 m
진동수	수직 1차	0.165 Hz	1.165 Hz	1.290 Hz
	비틀 1차	0.581 Hz	4.110 Hz	4.065 Hz
	진동수 비	3.528	3.528	3.151
질량		9.8 t/m	3.542 kg	3.628 kg
질량관성 모멘트		222.7 t.m <sup>2</sup> /m	0.0321 kg.m <sup>2</sup>	0.0367 kg.m <sup>2</sup>
감쇠비	수직 1차	—	—	0.45 %
	비틀 1차	—	—	0.41 %



▶ 2차원 단면 실험 결과

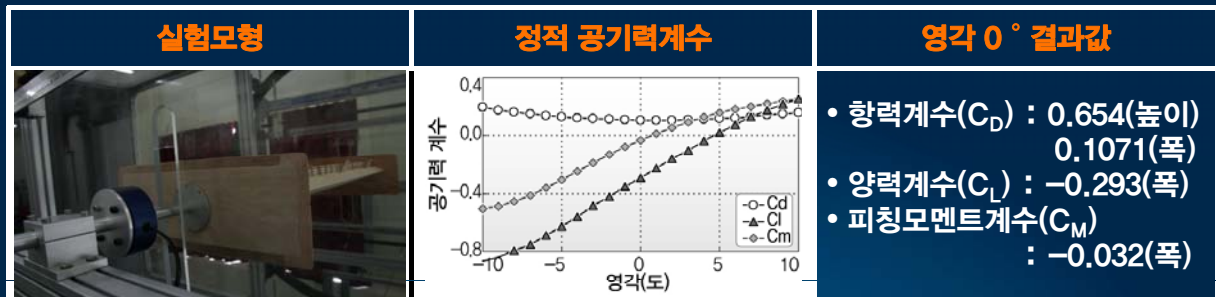


한계풍속 내에서 유해진동 없음 / 등류시 비틀림진동 난류에서 소멸

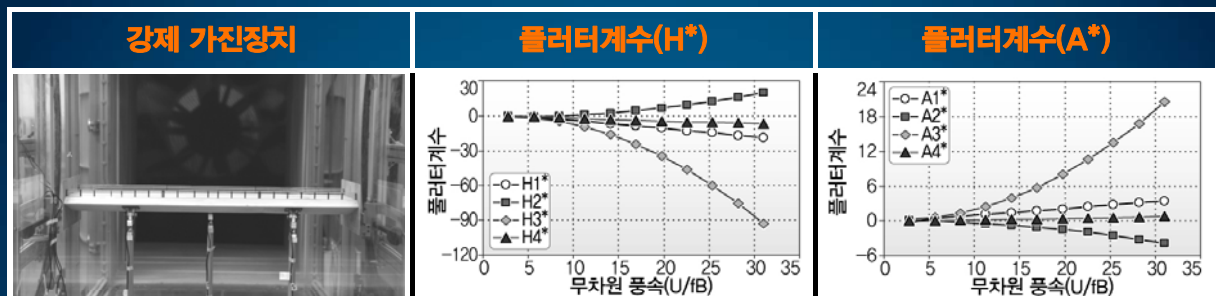
15 공기력계수 및 플러터계수 측정

▶ 공기력계수 측정

– 기류조건은 등류로 한정하였고, 풍속은 15m/s로 고정



▶ 플러터계수 측정

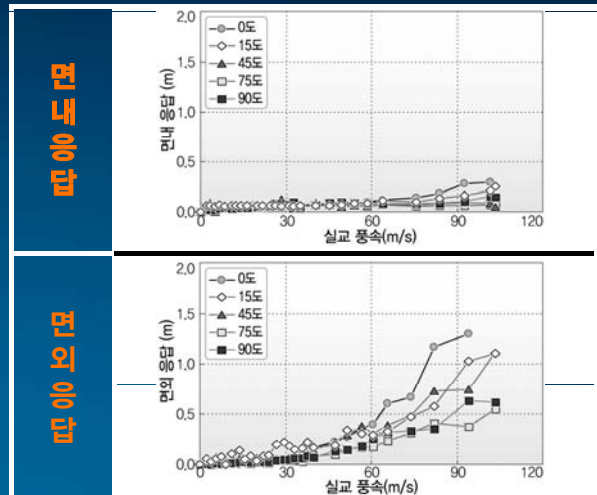


공기력계수 ▶ 정적설계적용 / 플러터계수 ▶ 공탄성해석에 적용

▶ 실험조건 (스케일 1/180)

- 강성을 구현하는 강성봉은 알루미늄 합금으로 제작, 외형은 목재 사용
- 완성계에 대해 등류 및 난류 영각  $0^\circ$ ,  $+15^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $+75^\circ$ ,  $+90^\circ$  적용

▶ 실험결과 (난류시)



모든 입사각에 대하여 겔로핑, 와류진동 발견되지 않음

17 3차원 전교모형 실험 (1)

▶ 실험 시설 (전북대학교)



▶ 실험 시설 규모

항 목	규 모
순환 형식	수직 순환 폐회로 방식
실험구간의 크기	폭×높이×길이 12m×2.5m×40m 5m×2.5m×20m
풍속범위	0.3 m/s ~ 13 m/s 0.5 m/s ~ 31 m/s
난류강도	1.5% 이하

경계층을 충분히 모사할 수 있는 규모 / 풍속 0.3m/s~13m/s 가능

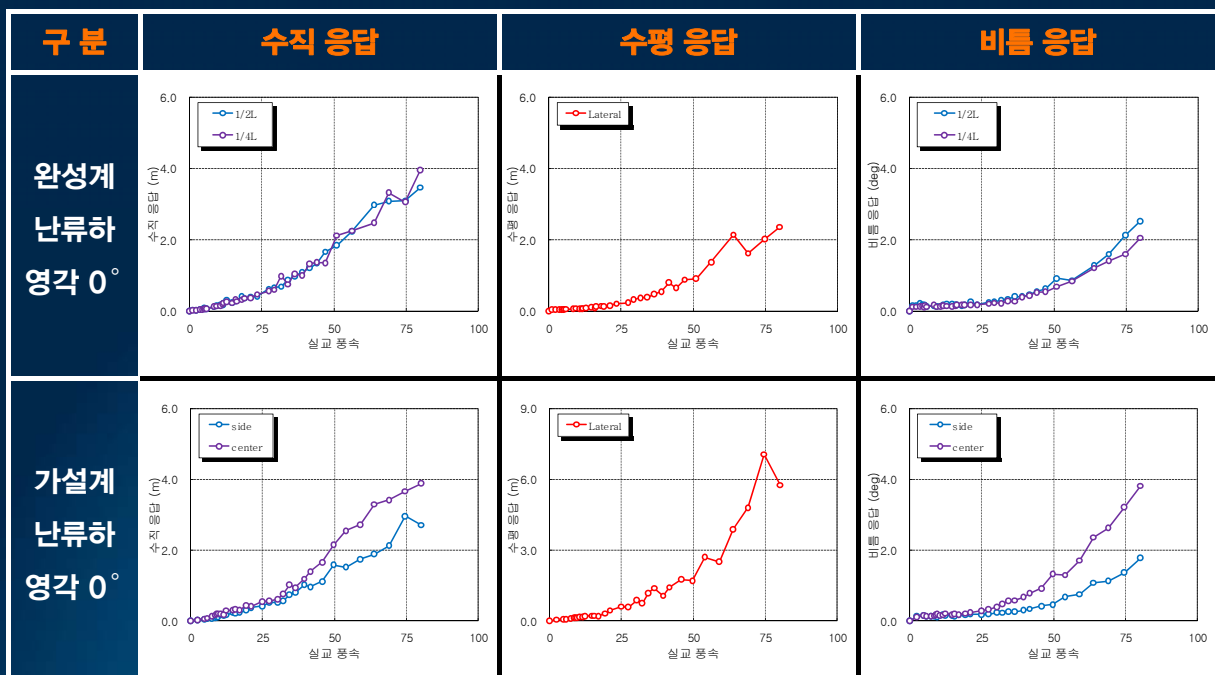
▶ 실험조건 (스케일 1/180)

등 류	• 완성계 상태에서 영각 0°에 대한 응답측정
난 류	• 완성계 : 영각 0°와 30°, 가설계 : 영각 0°에 대한 응답측정
난류에서 응답측정시 조도블럭을 이용 해안지역의 고도별 풍속분포와 난류강도를 재현한 대기경계층 생성	

실험 모형



▶ 실험결과



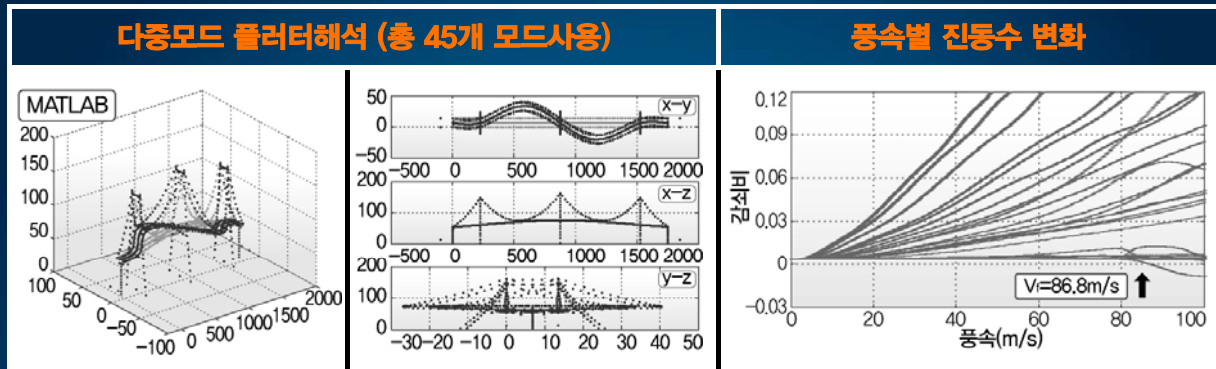
한계풍속 내에서 와류진동 및 플러터 발생 없음



## ▶ 해석개요

- 3차원 유한요소 구조해석모델과 플러터계수를 결합한 공탄성해석 수행
- 구조적 3차원 효과가 공기역학적 거동에 미치는 영향을 해석적으로 파악
- 복소고유치해석 수행 : 바람과 교량의 상호작용에 의한 진동수 및 감쇠비 변화추적

## ▶ 해석결과

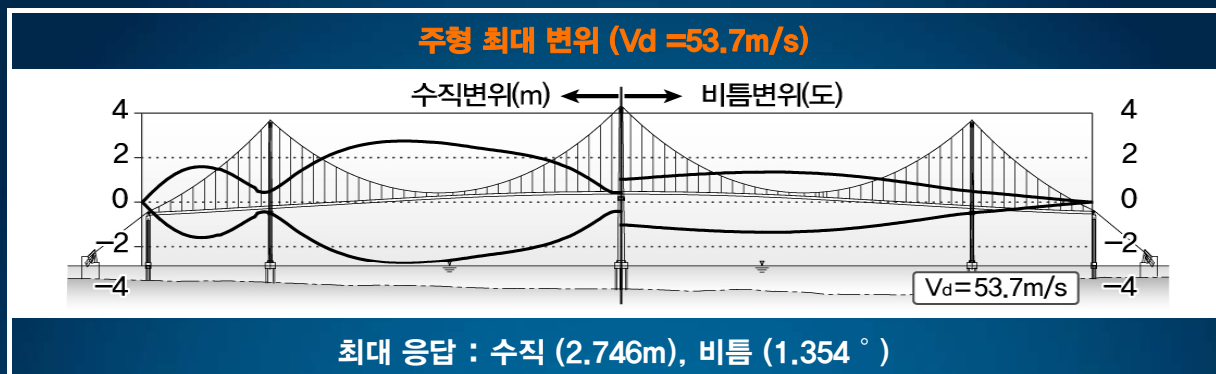


플러터 발생풍속은 86.8m/s로 한계풍속 69.8m/s 이상으로 안정성 확보

## ▶ 해석개요

- 완성계에 대한 버페팅해석을 수행하여 동적풍하중에 대한 내풍안정성 검증
- 다중모드 버페팅해석(고유치 해석결과 중 45개 모드사용)
- 버페팅 하중은 주형에만 재하, 난류강도 12.1%(기류) 6.0%(수직)

## ▶ 해석결과



최대 수직진폭 2.746m로 활하중 진폭(3.43m)이하로 안정성 확보

▶ 새천년대교의 내풍안정성 평가를 위한 풍환경 분석 , 2차원 단면실험, 3차원 풍동실험 , 고등전산해석을 수행하였음

1. 합리적인 내풍설계 방안 도출을 위한, 풍환경 분석을 통해 압해도의 기본풍속 (200년 빈도, 고도10m)을 35.0m/s로 추정
2. 한계풍속의 산정을 위해 신뢰성 해석을 수행하여 파괴확률  $3 \times 10^{-5}$  (신뢰성 지수 4.0)에 대한 안전계수 1.3을 결정하고, 이를 근거로 거더의 한계풍속은 69.8m/s로 신뢰성 높은 설계풍속을 산정
3. 예비단면 실험 및 2차원 단면실험 결과 플러터 발생풍속 100m/s 이상으로 안정성 확보
4. 시공 및 공용중에 대한 3차원 풍동실험 및 고등전산해석을 통해 새천년대교 내풍 안정성 확인

