

## 비대칭 콘크리트 사장교의 설계사례

Design Practice on Non-Symmetric Concrete Cable-Stayed Bridge

민영택\*  
Young-Taek Min김영상\*\*  
Young-Sang Kim이호근\*\*\*  
Ho-Keun Lee김정구\*\*\*  
Jung-Ku Kim

## 1. 서 언

최근의 교량 계획은 구조적 안정성, 사용성, 상징성 외에 친환경성이 차지하는 비중이 점점 증가하고 있고 특히 도심지 부근의 저수지 수변구역 및 호수공원을 통과하는 현황 특성인 경우는 저수지와 어울리는 랜드마크적 상징성 확보는 물론 공사 중·운영 중의 저수지 수질환경 보호와 호수공원 이용자들의 이용편의를 위해 소음·진동 최소화가 필수적인 사항이다.

본 교는 화성 동탄 신도시 택지개발사업에 따라 용인 ~ 서울간 민자고속도로와 오산시를 연계하기 위해 한국토지공사에서 대안공사로 발주한 영덕 ~ 오산간 광역도로 건설사업 2공구 내에 위치하는 연장 L = 1.335 km의 장대교량인 서천교 중 지역주민의 휴식공간인 신갈저수지와 용인시에서 2010년까지 개발예정인 기흥호수공원 예정 부지를 통과하는 구간에 적용한 독립주탑 비대칭 콘크리트사장교에 관한 설계사례로서 수질보호 및

소음·진동 등에 대한 친환경성 확보와 특히 신도시 발전의 이미지를 구현하는 역동적 구도미 창출을 위해 가능한 한 최대한의 비대칭비를 확보하려했던 사항 등을 간략히 소개하고자 한다.

## 2. 교량 계획

## 2.1 통과현황 특성

서천교는 지방도 343호선의 하갈교차로, 신갈저수지 및 수변구역, 기흥호수공원 예정 부지를 통과하는 현황특성을 가지고 있으므로 <그림 2>에서와 같이 4개 Zone으로 구분한 후 각 Zone별로 형식선정시의 주요 포인트를 선정하여 교량 형식을 결정하였고 교량전체의 일관성이 유지되도록 계획하였다.

Zone A구간은 일일교통량이 5만대나 되는 하갈교차로 및 지방도 343호선 통과구간으로 시공성과 개방감 확보가 양호한 복합트러스 거더교로 계획하였고, Zone B, D구간은 신갈저수지 및 수변구역 통과구간으로 수질 생태계 보존을 위해 채도장이 필요 없고 소음·진동 최소화가 가능한 P.S.C BOX거더교를 선정하였다. Zone C구간은 저수지 수변구역 및 기흥호수공원 예정부지 통과구간으로 본교에서 언급할 독립주탑 비대칭 콘크리트사장교 적용구간이다.

## 2.2 교량 형식 선정

Zone C구간은 독립주탑 비대칭 콘크리트 사장교, 2주탑 콘크리트 사장교, 2·3주탑 엑스트라 도즈드교, 하이브리드 중로 아치교 등을 비교 안으로 하여 1, 2차에 걸친 종합 비교·검토 결과<표 2>, 신갈저수지 위에 우뚝 솟은 존재감 확보를 위해 독립주탑 형식으로, 신도시 발전의 역동적 이미지 표출을 위해 비대칭 구도로, 친환경성 확보를 위해 보강형 및 주탑을 콘크리트로, 영덕 ~ 오산간 광역도로 건설사업의 랜드마크적 관문교량으로서 상징성 확보를 위해 교량 형식을 사장교로 하여 전체적으

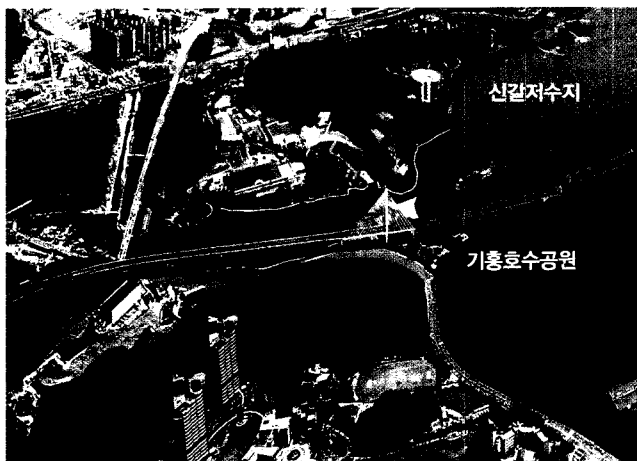


그림 1. 서천교 전체 조감도

\* 정희원, (주)태조엔지니어링 구조사업부 전무  
myt1981@hanmail.net

\*\* 정희원, (주)태조엔지니어링 구조사업부 과장

\*\*\* 정희원, (주)태조엔지니어링 구조사업부 대리

로는 독립주탑 비대칭 콘크리트 사장교로 계획하였다(그림 3).

서천교 전구간을 콘크리트로 계획하여 연속된 통일성 및 친환경성을 확보하였고 전체교량의 조화미와 균형감을 살려 저수지위에 떠 있는 배의 이미지를 형상화하는 경관계획을 수립하였다(그림 4).

### 2.3 경간장 계획

서천교 Zone C구간의 원설계안은 35 m PSC BEAM교 형식으로 상징성이 결여되고 기흥호수공원 시설물 및 주변경관과

부조화를 이루며 교각개소의 증가로 시각적 폐쇄감이 증가하여 부족함이 있었다.

대안설계의 경간구성은 호수공원의 진·출입로와 교량 설치구간에 존재하는 단층대를 고려함은 물론, 중간교각 설치를 배제하고 부반력에 대한 구조적 안정성 확보가 가능한 범위에서 역동성 확보를 위한 최대한의 비대칭비를 검토한 결과 1:1.5까지 가능할 수 있어 경간장은 80 m + 120 m로 계획하였고(표 3), 비대칭 구조로 인해 발생하는 고정하중에 의한 부반력은 바닥판 두께 변화를 통한 Counterweight로, 활하중에 의한 부반력은 Tie-down케이블 설치를 통해 제어하였다.

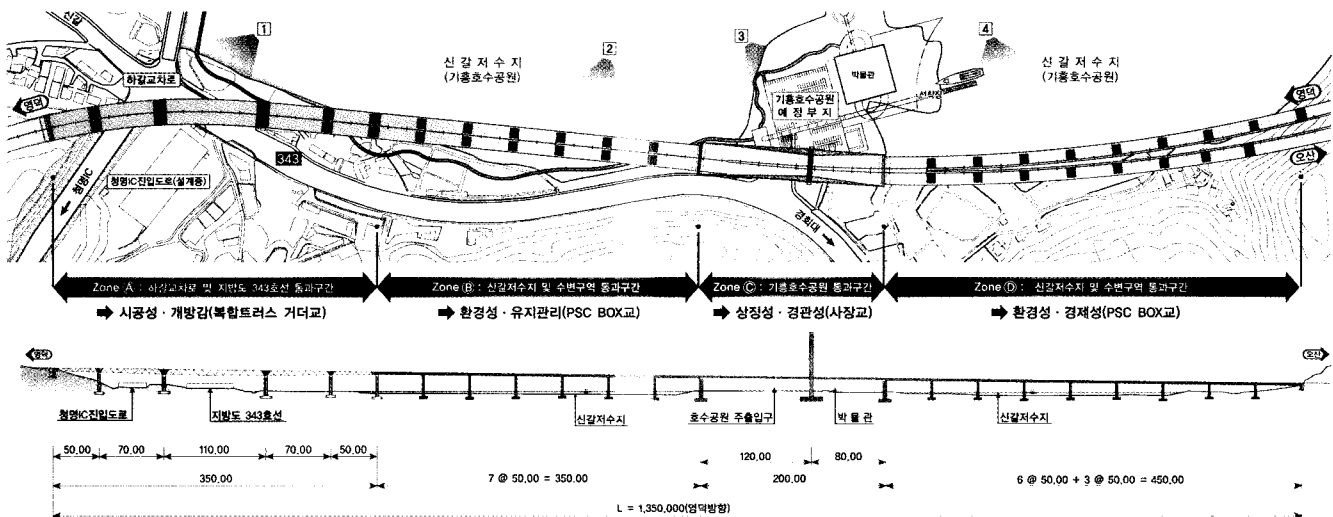


그림 2. 서천교 Zone별 통과현황 특성 및 Zone A, B, D 교량형식 선정

표 1. Zone A, B, D 교량 주요설계사항

Zone A	Zone B, D
하갈교차로 및 지방도 343호선 통과 ○ 육상부(도로)	신갈저수지 및 수변구역 통과 ○ 수상부
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공성 : 공사중 지방도 343호선 교통장애 최소화</li> <li>○ 주탑설치 특수교량 배제, FCM공법 적용가능 형식</li> <li>• 개방감 : 횡단교량은 간단하고 경쾌한 구조</li> <li>○ 투박한 형태 배제, 복부가 개방된 형식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경성 : 저수지 수질환경 보호</li> <li>○ 강제 주기적인 도장 배제, 콘크리트 형식</li> <li>○ 저수지내 교각개소 최소화</li> <li>• 유지관리 : 수변구역이므로 하부에서의 접근 곤란</li> <li>○ 최소 점검등선이 가능한 행선당 1 Cell Box</li> </ul>
복합트러스 거더교	PSC BOX교
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지방도343호선 통과구간 경간장 : L = 110 m</li> <li>○ 공사중 및 운영중 운전자의 개방감 및 시인성 확보</li> <li>• 상부 : FCM공법(지방도 343호선 통과부)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저수지내 교각개소 최소화 : L = 50m</li> <li>○ 원안대비 교각개소 6기 감소로 친환경성 확보</li> <li>• 상부 : 장기간 동바리 TAS공법에 의한 공중 현장타설 제작</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기초 : 가시설 설치 후 터파기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기초 : 가물막이 설치로 기초가시설 공정 배제, Open Cut 시행</li> </ul>

### 2.4 보강형 및 주탑계획

서천교 Zone C구간은 호수공원 예정부지를 통과하고 신갈저수지를 접하는 통과현황을 고려하여 보강형은 공용 중 호수공원 이용자 및 수변생태계에 미치는 소음·진동 영향을 최소화하고 유지관리와 환경성을 고려하여 재도장이 필요 없는 콘크리트를 선정하였고 형태는 날렵한 단면으로 내구성 및 경관성, 내풍안정성이 우수한 Edge형의 단면을 선정하였다(그림 5). 보강거더는 자중을 감소시키기 위해 Edge거더 형식을 채택하였고 비대칭 경간장 계획에 따른 자중 비대칭 극복을 위해 바닥판 두께를 조정하였으며, 자중 및 풍하중 증가를 방지하기 위해 중방향 강선 배치로 단면을 최적화 하였고, 바닥판 강성확보 및 공칭강도 확보를 위해 크로스빔에 횡방향 강선을 배치하였다. 주탑은 내

풍안정성이 양호하며 가설 시 오차보정이 가능하고 유지관리가 뛰어난 콘크리트 주탑으로 조형미가 양호하고 주변경관과 어울리는 자연스러운 주행환경 및 경쾌하며 안정감 있는 경관창출이 가능한 변형다이아몬드형 주탑을 선정하였다(그림 6).

### 2.5 Cable계획(cable system)

케이블 계획은 경관 및 미관측면에서 상징성이 강하고 주행시 시야확보가 용이한 2-WAY형식을 선정하였고 케이블 배열 형태는 FAN Type을 채택함으로써 방사형 및 하프형의 장단점을 적절히 보완하였다. 적용케이블은 비대칭 활하중에 의한 피로, 휨저항성 및 유지관리성이 우수한 MS(multi strand) 로 선정하였다(그림 7).

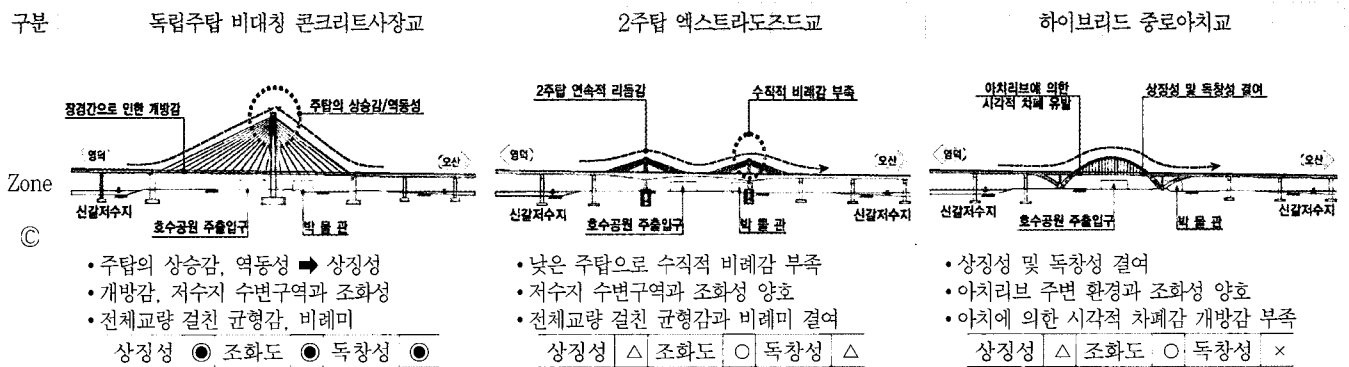


표 2. Zone C구간 교량형식 비교

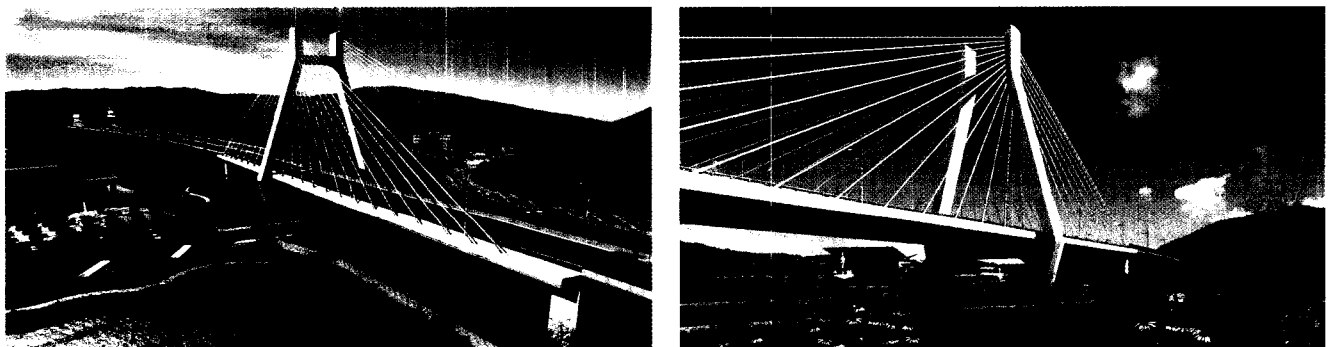


그림 3. Zone C구간 사장교 조감도

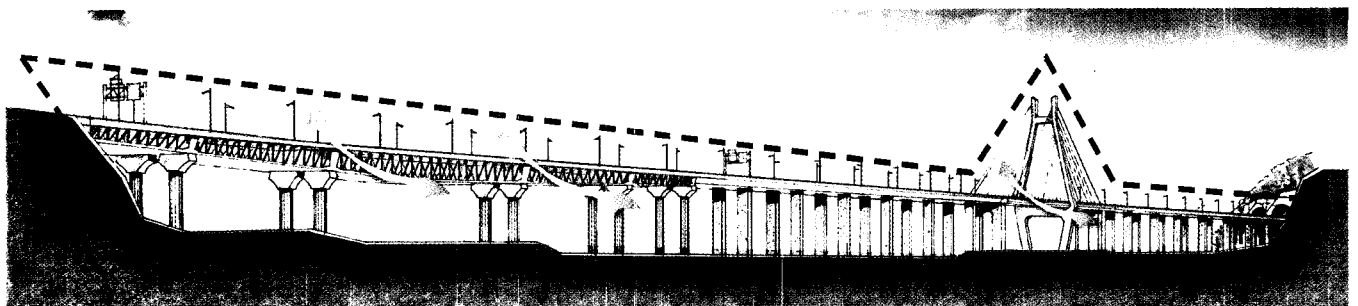
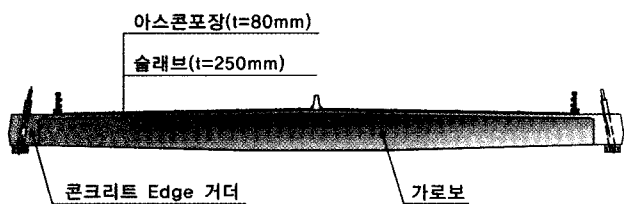
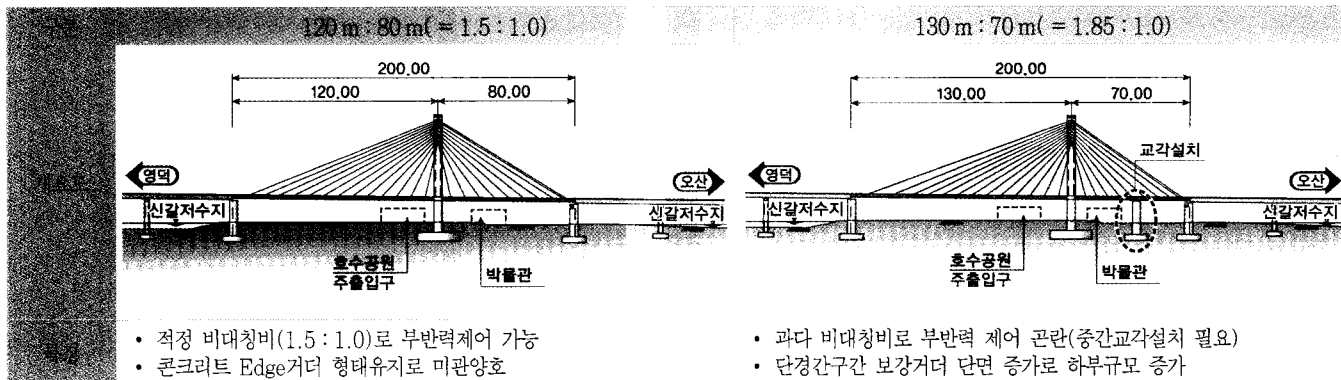


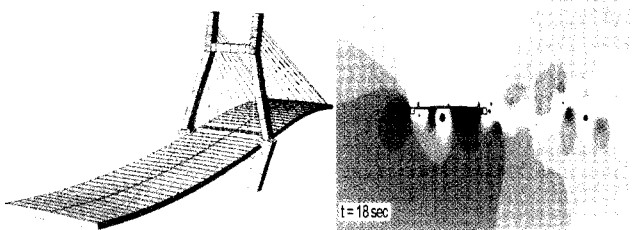
그림 4. 서천교 전체 경관설계 이미지

표 3. 경간장 구성비 검토



(a) 친환경적이며 유지관리가 우수한 교량

(차 모드)



(b) 내진·내풍에 대한 구조적 안정성 우수

그림 5. 서천교 보강형

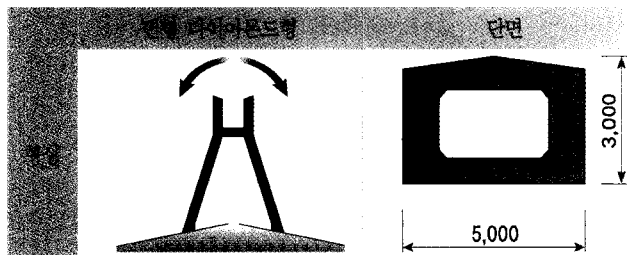


그림 6. 주탑 형상과 단면

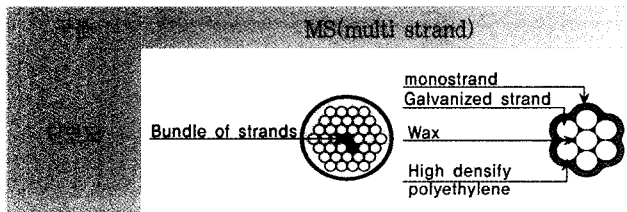
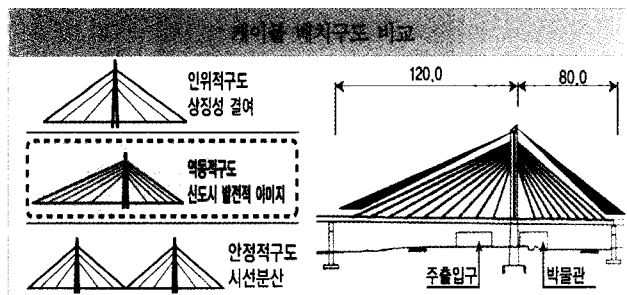


그림 7. Cable 계획

### 3. 교량 설계

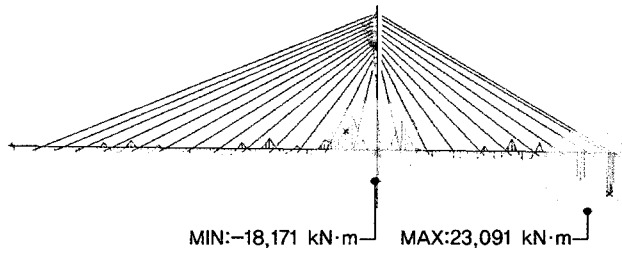
#### 3.1 보강거더 설계

보강거더의 단면형식은 저수지 수변지역에 위치한 현황을 고려하여 유지관리 및 환경에 유리한 콘크리트 재료를 선정하였다.

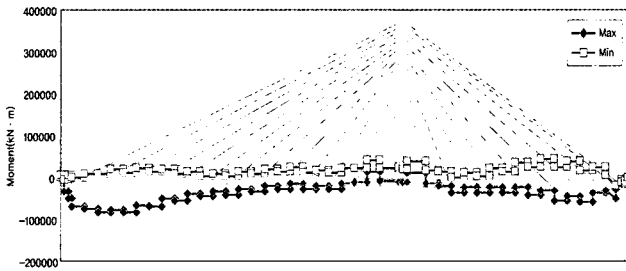
초기상태해석에서는 보강거더의 모멘트 저항능력을 휨균열 0.3mm 이하로 제어될 수 있도록 한계모멘트를 설정하였고, 초과하는 모멘트의 경우 FSM공법의 시공특성을 반영하여 종방향 강선을 먼저 긴장하여 한계모멘트를 수정 적용하였고 가설단계 해석의 경우 전체 20단계로 구분하여 시공단계 해석을 수행하였다(그림 8).

#### 3.2 주탑 설계

단면변화부인 가로보 연결부와 주탑하단을 검토단면으로 선정하여 단면정수를 산정하였다. 사장교의 주탑은 케이블 장력에 의해 큰 압축력이 작용하므로 좌굴해석은 물론, 가설 시에는 독립주탑의 상태에 있으므로 가설 시 각 단계별로 발생하는 고정하중 및 프리스트레스, 크리프 및 건조수축, 풍하중에 대한 안정검토를 수행하였다. 주탑 단면의 적용 설계단면력은 P-Δ 해석을 통해 확대된 모멘트를 산정하여 적용하였다(그림 9 ~ 10, 표 4). 주탑 가로보 및 케이블 정착구는 프리스트레스를 도입

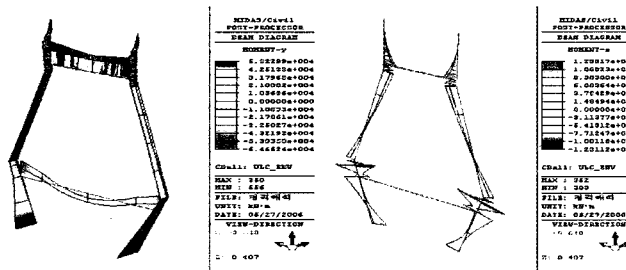


(a) 초기평형상태 단면력도



(b) 완성계 단면력도

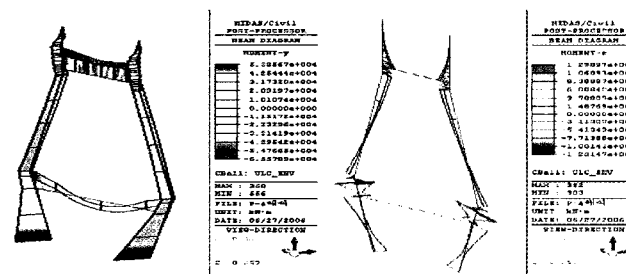
그림 8. 단계별 단면력도



(a) My

(b) Mz

그림 9. 완성계 해석 단면력도



(a) My

(b) Mz

그림 10. P-△ 해석 단면력도 비교

표 4. P-△ 확대계수

구분	속력	확대계수	
		My	Mz
가로보 연결부	상시	My 최대 시 1.03	Mz 최대 시 1.02
	속력 최대 시	1.10	1.03
	속력 최대 시	1.03	1.02
주탑 하단부	상시	My 최대 시 1.03	Mz 최대 시 1.00
	속력 최대 시	1.16	1.04
	속력 최대 시	1.11	1.02

하였고 주탑케이블 정착부와 Wind-Shoe 거치부는 응력집중부 로 상세 해석을 통하여 안정성을 확보하였다(그림 11).

### 3.3 케이블 설계

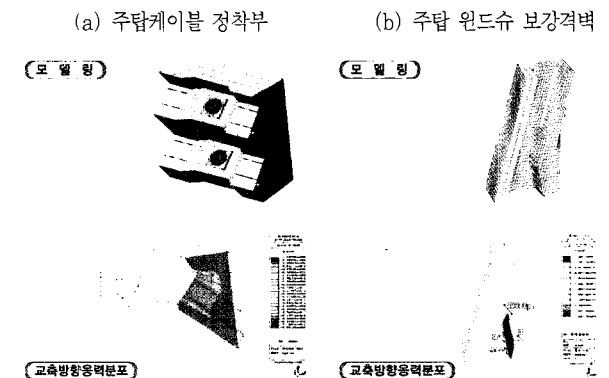
케이블은 가설단계와 완성계에 대하여 검토하였으며 일본 본주 사국공단 제안식, Walther 제안식, PTI Recommendation 제안식을 이용하여 피로검토를 수행하였다.

또한 케이블의 노후화 등으로 인해 케이블을 교체하는 경우와 공 용중에 갑작스럽게 케이블이 파단되는 경우에 대해 케이블과 주 형의 응력을 검사하여 안정성을 검토하였다. 케이블 교체시는 교 통통제를 실시하는 것으로 하여 활하중은 해당 케이블 인접 최소 1개를 제외한 모든 차선에 재하하며, 케이블 검토시 허용응력을 25% 할증하여 적용하였다. 케이블 파단은 예기치 못한 상황에서 갑작스럽게 발생하므로 활하중을 감소하지 않고 만재하한 상태 에서 검토하며, 케이블 검토 시에 허용응력을 33% 할증하여 적용하 였다. 케이블의 교체 및 파단 발생 시에 추가 케이블 파단이 발생 하지 않는 상태에서 교량의 안전성을 확보하기 위하여 보강형의 응력 및 안정성을 검토하였다(그림 12 ~ 14).

### 3.4 내진 설계

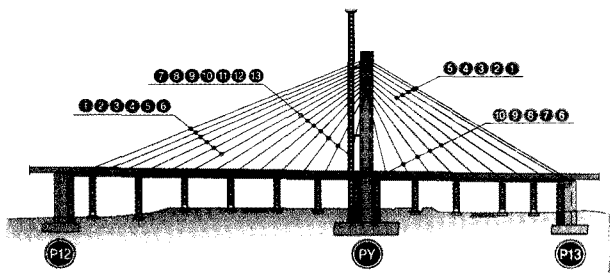
지진에 의한 관성력을 전 하부구조물이 분담할 수 있도록 주 교량(사장교)은 고무탄성받침과 Wind Shoe를 적용하였고, 접 속교량(PSC BOX)은 POT받침을 적용하였다(그림 15).

내진설계에 적용된 진동감쇄비는 5%이고, 부재력과 지진변위 는 CQC 방법으로 검토하였다. 또한 AASHTO 기준에 따라 지 반종류 II의 3가지 계층지진의 포괄 함수를 사용하여 실질적인 지진을 모사할 수 있게 인공지진파를 생성하여 유효질량 90%

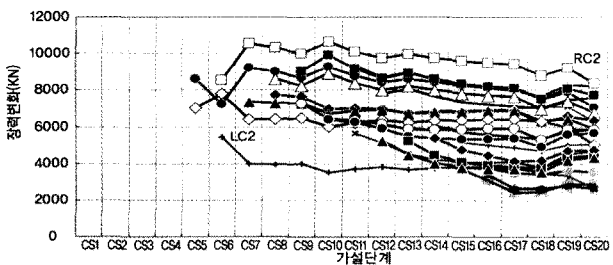


• 필요철근량 8,160 mm<sup>2</sup> < 사용철근량 9,460 mm<sup>2</sup> O.K  
 • 필요철근량 765 mm<sup>2</sup> < 사용철근량 4,645 mm<sup>2</sup> O.K

그림 11. 응력집중부 상세해석

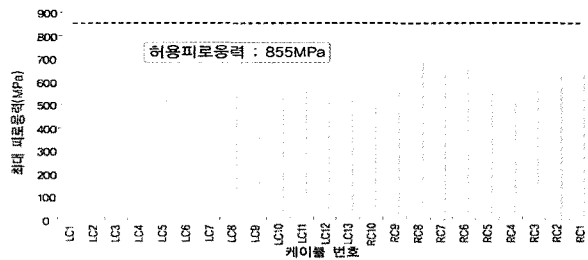


(a) 케이블 설치순서도

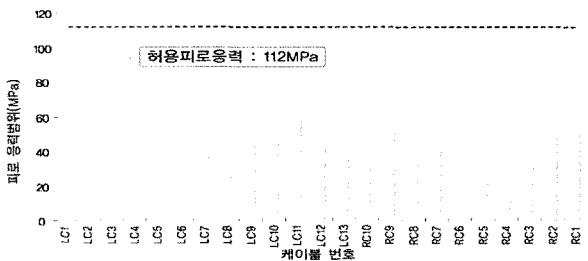


(b) 시공단계별 케이블 장력 변동

그림 12. 케이블 가설 단계별 해석

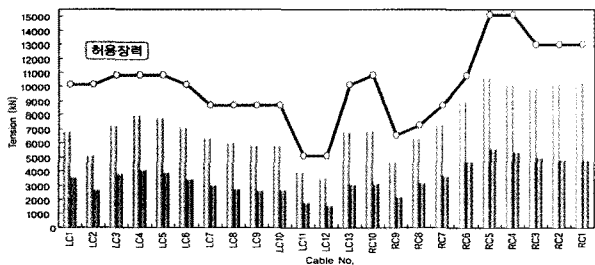


(a) 본주사국공단

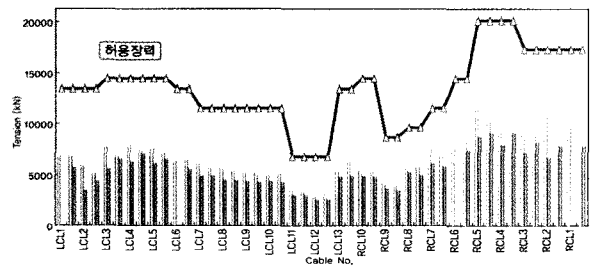


(b) PTI

그림 14. 케이블 피로 검토



(a) 완성계



(b) 과단시(LC13)

그림 13. 케이블 장력 검토

구분	P12	PY	P13	
수평 반력 (kN)	교 축	2,101	2,017	2,091
	교축직각	18,003	24,572	10,585
변위 검토 (mm)	최대변위	336	336	336
	허용변위	360	360	360
평가	O.K	O.K	O.K	

그림 15. 지진해석(받침 개요도 및 발생단면력·변위)

이상의 적용모드에 대하여 각각의 응답 중 최대값을 설계에 적용하였다(그림 16, 17).

### 3.5 내풍 설계

바람으로부터 받는 정적인 하중작용과 바람에 의한 진동에 따른 교량의 정적·동적 응답특성을 분석하여 교량의 안정성을 평가하였다. 내풍안정성 해석은 자연풍해석, 동적 내풍설계,

CFD해석, 케이블 진동해석을 수행하였다. 자연풍해석의 경우 가설지역의 실측기상자료를 이용하여 탁월풍향과 100년 재현주기 풍속은 17.7 m/s로 도로교 설계기준(30 m/s)보다 작으므로 값이 큰 도로교설계기준의 값을 적용하여 검토한 결과, 완성계 주형의 설계풍속과 가설단계 주형의 설계풍속은 각각 32 m/s와 20.3 m/s로 산출되었다(그림 18). 동적내풍설계의 판정결과 본 교량의 경우 내풍 설계 즉, 풍동실험을 수행할 필요가 없는 것으로 판단되나(표 5). 유사교량의 풍동실험을 분석 Modify하여 본 교량의 동적특성을 파악하였다. 그 결과 유사교량의 풍동 실험에 사용된 대수 감쇠율은 연직과 비틀림 방향에 대해 각각 0.023, 0.028로 서천교의 감쇠율이 적어도 0.05 이상일 것임을 고려할 때 안전측으로 검토되었다. 또한 CFD해석 결과 Strouhal수를 계산하면 0.31정도이며, 시간평균 항력계수는 약 1.43이고 시간평균 양력계수는 약 0.28인 것으로 나타났다. 풍상측 교량하단 모서리와 교량상단 모서리에서 발생하는 와류박리가 교량의 항력 및 양력특성에 큰 영향을 주는 것으로 분석된

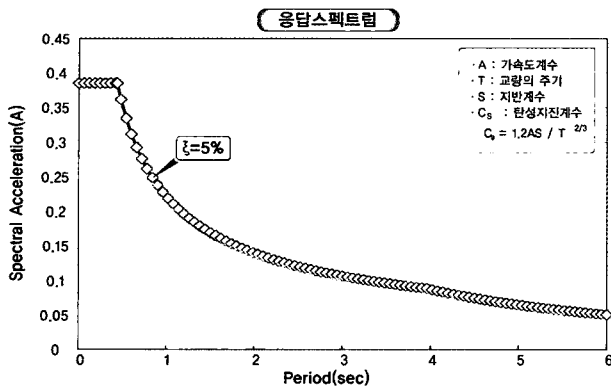
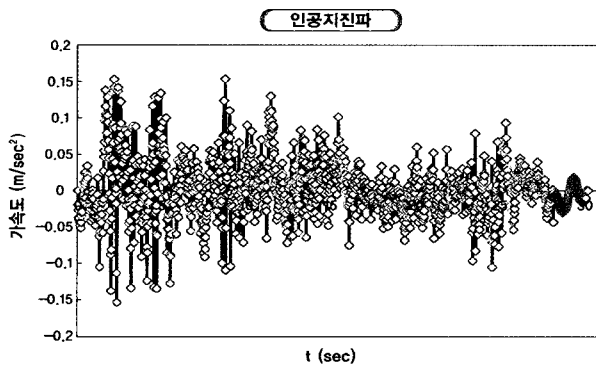
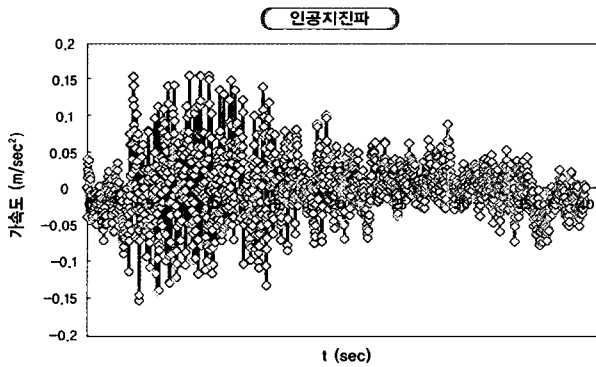


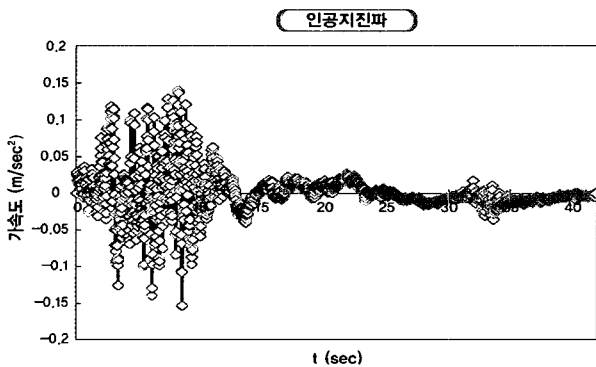
그림 16. 응답스펙트럼해석



(a) 인공지진파 Case I



(b) 인공지진파 Case II



(c) 인공지진파 Case III

그림 17. 인공지진파

※ 년 최대풍속(10분 평균)

순위	풍속(m/s)	y	F(V)
1	16.00	3.47	0.97
2	15.30	3.00	0.95
3	15.30	3.00	0.95
⋮	⋮	⋮	⋮

• 평균속도 :  $V = 11.7 \text{ m/s}$

• 표준편차 :  $\sigma = 1.9 \text{ m/s}$

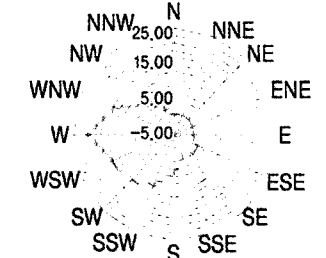
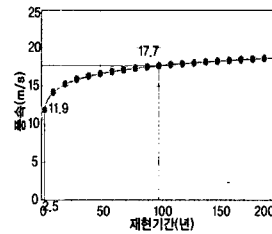


그림 18. 자연풍해석에 따른 설계기본풍속 검토

표 5. 동적내풍설계 필요성 검토

구분	비틀림 발산진동		연직 발산진동		와류진동	
검토 기준	$LV_d/B$ < 350	$LV_d/B$ < 330	$B/d$ > 5	$I_u$ > 0.15	$LV_d/B$ < 200	$I_u$ > 0.2
발생치	110	110	11.7	0.17	110	0.17
판정	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

다. 따라서 전체교량(2차원단면 기준)의 항력 및 양력특성에 가장 민감한 영향을 미치는 것은 풍상측 교량하단 모서리와 교량상단의 형상으로 검토되었다(그림 19). 케이블의 내풍안정성 검토결과 와류진동폭이 9.2mm 이하로 매우 작아 허용진폭 이내이므로 문제가 없는 것으로 검토되었고, 풍우진동의 경우 케이블 중심고도에서 난류강도가 비교적 높아 발생하지 않는 것으로 검토되었다(표 6).

### 3.6 특화 해석

#### 3.6.1 보강거더 비틀림에 대한 안전성

보강거더 단면에 비해 거더 높이가 2.43 m, 교폭이 35 m인 Edge거더 형식으로 인해 비틀림 검토가 필요하여 활하중 편심에 따른 비틀림 발생과 이로 인한 수직응력 증가에 따른 보강거더의 안전성을 평가한 결과 활하중 편재하에 의한 비틀림 변형량과 Warping변형에 의한 수직응력 증가량이 미소하므로 비틀림에 대해 안전한 것으로 검토되었다(그림 20).

#### 3.6.2 주탑 Creep Buckling

주탑 기둥의 세장비로 인해 발생할 수 있는 추가적인 횡변위 및 모멘트를 고려한 기둥의 장주거동을 분석하고 주탑 기둥의

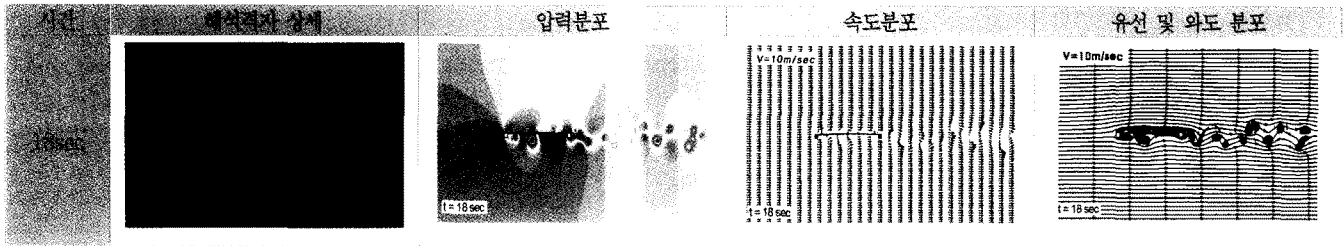


그림 19. CFD 해석

표 6. 케이블 내풍안정성 검토

항목	와류진동	풍우진동
발생현상		
검토조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>발생풍속 : <math>U = \frac{f_v \cdot D}{S_t} = 1.2 \sim 19.6 \text{ m/s}</math></li> <li>발생진폭 : <math>n_{\text{max}} = \frac{\rho \cdot b^{3/2} \cdot \alpha_4^{1/2}}{4m \cdot \delta} = 2.8 \sim 9.2 \text{ mm} &lt; 57.6 \text{ mm} \therefore \text{O.K}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>케이블 고유진동수 : 0.9 ~ 3.6 Hz</li> <li>가설지역의 난류강도 : 15%</li> </ul>

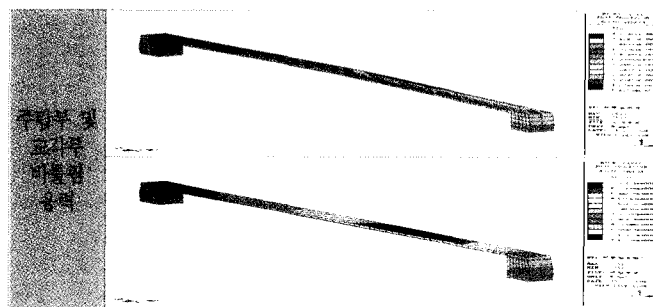
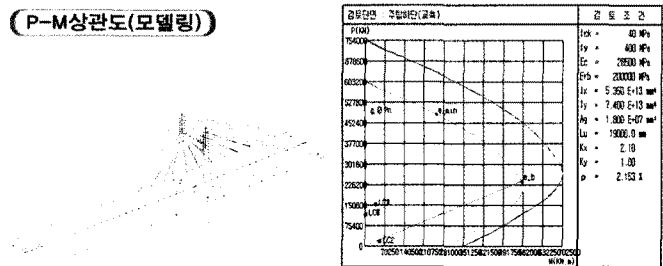


그림 20. 보강거더 비틀림 검토



• 주탑 설계단면력

구분	교각부	주탑부
설계최대응력	-10.76	-13.54
Warping 응력	-0.52	-0.60
합 응력	-11.28	-14.14
허용응력	-16.00	-16.00
평가	O.K	O.K

(단위 : kN, kN · m)

구분	Pu	My(교축)	Mz(교직)
단면1	Pmax	134,741	3,960.12
	Mzmax	131,012	9,188.39
단면2	Mymax	146,944	22,797.75
	Mzmax	134,713	3,516.5

그림 21. 주탑 Creep Buckling 검토

장기적 축하중에 의해 발생하는 Creep 영향에 따른 좌굴강성내력을 검토한 결과 안전한 것으로 검토되었다(그림 21).

### 3.6.3 진동사용성 및 Comfort Analysis

동적확대계수를 산출하여 영향선 해석을 통한 충격계수의 적정성을 검토하였고 이동하중에 의한 진동 및 처짐에 대한 인체 감성을 고려한 진동사용성을 검토하였다. 설계속도 80 km/h에서의 동적확대계수가 영향선 해석결과보다 작아 영향선 해석결과를 적용하였다. 본 설계구간은 케이블에 의해 지지된 비교적 유연한 보강거더로 Reiher - Meister인체의 진동허용곡선을 초과하고 있으나 진동폭로시간이 작으므로 영향은 없는 것으로 판단되었다. BS5400 등에서 제시하고 있는 진동가속도에 의한 구조물의 사용성 평가에서는 시속 80 km/h 운행 시 최대가속도가  $0.311 \text{ m/s}^2$ 로 1차모드인 0.58 Hz 부근에서  $0.4 \text{ m/s}^2$ 의 허용기준치를 만족하는 것으로 검토되었다(그림 22).

### 3.6.4 PSA 신뢰성 해석

사장교의 경우 사용하중하에서 교량 주요부재별 설계변수들의 불확실성을 고려하여 신뢰성 해석을 수행하여야 한다. 구조물의 안정성 및 사용성 검토를 위해 신뢰성지수( $\beta$ )를 기준치와 비교 검토한 결과, 충분한 신뢰성지수( $\beta = 3.5$  이상, 안전도 99.98%)를 가져 구조적 안정성 및 사용성을 확보하고 있는 것으로 검토되었다(그림 23).

## 4. 가설공법

### 4.1 보강거더 가설공법

본 과업은 공사기간의 2년으로 제한되어 있어 육상구간인 지형현황을 활용하고 시공이 용이하며 공사중 안전성 확보에 유리하고 공기단축 효과가 탁월한 전 구간 SystemBent공법을 적



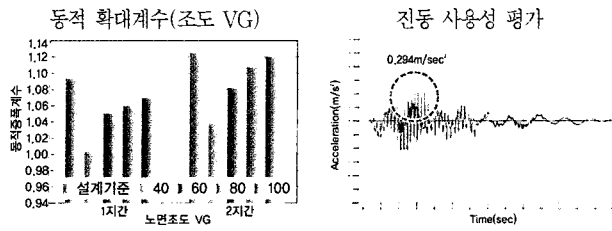


그림 22. 진동사용성 평가 및 Comfort Analysis

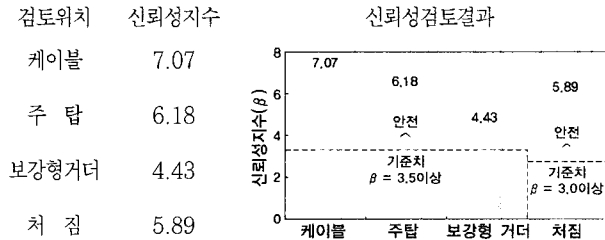


그림 23. PSA 신뢰성 해석

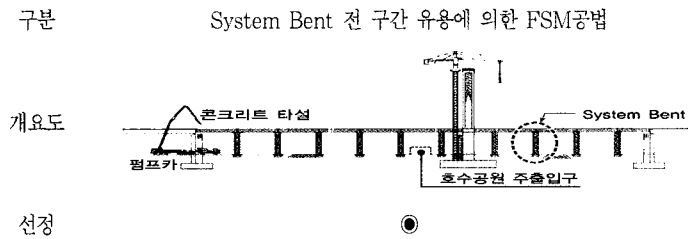


그림 24. 보강거더 가설공법 검토

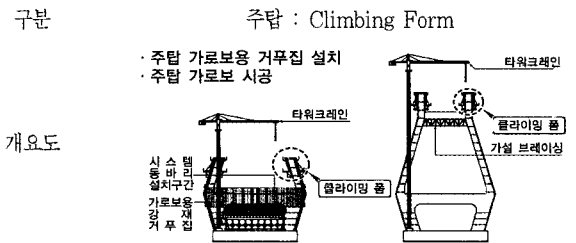
용하였다. 이 공법은 케이블 긴장작업이 간단하여 추가 공기단축이 가능할 것으로 검토되었다(그림 24).

#### 4.2 주탑 및 케이블 가설공법

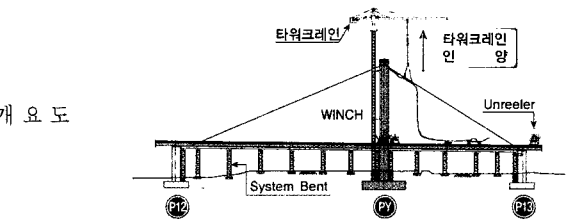
주탑 가설공법은 고소작업시 안정성 및 시공성이 양호하며, 단면형상 변화에 따른 제약이 적은 Climbing Form공법을 적용하였고, 케이블 가설공법은 주탑 가설시 설치한 타워크레인 활용으로 경제적이며 작업기동성 및 인양능력이 우수한 타워크레인 가설공법을 적용하였다(그림 25).

### 5. 결 언

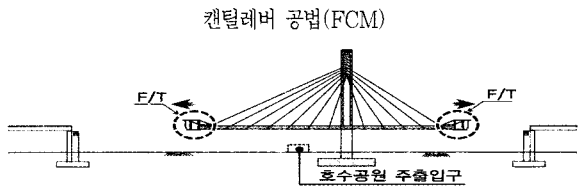
최근에 설계되는 교량은 기능성 및 안전성은 물론 조형미, 상징성외에 얼마나 친환경적이나 하는 문제가 가장 중요한 사항이라고 해도 과언이 아니다. 특히 본 기사에서 설명한 영덕~오산사업의 서천교는 저수지 및 호수공원 부지를 통과하는 현황 특성상 최적의 교량형식은 수질보호 및 호수공원 이용자에 대한 소음·진동 최소화 등을 고려하여 콘크리트 사장교가 최적



구분 주탑 : Climbing Form



구분 케이블 : 타워크레인에 의한 가설공법



이라 판단되어진다. 비록 낙선되어 시공으로 연결될 수 없지만 향후 수변구역을 통과하여 친환경성 확보가 중요한 유사교량이나 비대칭 사장교의 계획 및 설계에 미력하나마 도움이 되었으면 한다. □

### 참고문헌

1. Gimsing, Niels J. Cable Supported Bridges. Second Edition, John Wiley & Sons, 1997.
2. 케이블 교량의 계획과 사례, 건설도서, 1992.
3. 과학기술, 사장교의 기본계획 설계법, 2003.
4. (사)대한토목학회, 케이블강교량설계지침, 2006.
5. 한국도로공사, 합성형 거동을 고려한 사장교의 설계 및 시공에 관한 연구. 도로연구소 연구보고서, 2001.
6. 한국도로공사, 특수교량의 설계 및 제작지침 연구. 도로연구소 연구보고서, 2001.