적금-영남간 현수교 설계

조충영[*], 박수영[**], 정진일[***]

1. 사업개요

적금-영남간 연륙교는 서남해안일주도로가 국도77호선(부산-인천)으로 승격됨에 따라 전라남도 여수시 화정면 적금리와 전라남도 고흥군 영남면을 연결하는 연륙교 가설공사로서 교량자체의 관광자원화를 통한 지역발전과 교량설계 및 시공기술개발 유도와 기술수준 향상을 도모하고자 하였다. 해상 장대교 총연장 1,340M중 850M의 타정식 1경간 현수교는 국내최초이며 국내 최대 경간장 교량으로 그동안 축척된 설계·시공(영종대교, 광안대교, 소록대교)기술을 바탕으로 국내 기술진에 의해 설계하므로서 국내에서도 본격적인 현수교시대가 도래하였음을 나타내는 신호탄이라 할 수 있다.

본교의 주요 특징은 아래와 같다.

(1) 교량시점에 곡선도로구간으로 인하여 중앙경간만을 현수교로하고 측경간은 일반교량형식을 적용한 국내최초의 1 경간 현수교이며 여수-고흥 연결도로의 대표교량이며 교량의 관광자원화를 위한 상징성 및 관문성을 극대화

(2) 앵커리지를 육상부에 설치하여 공사비 절감은 물론 공사에 따른 환경피해를 최소화

(3) 지역의 발전에 따른 장래 교통수요를 예측하고 교량 가설후 4차로 확장시의 문제점을 분석하여 4차로 확폭이 가능하도록 교량을 계획하고 현지여건에 맞는 교통운영방안을 수립

(4) 보강형은 고정하중을 최소화하여 내진성능 및 하부구조규모를 최소화하고 내풍 안정성이 우수하며 장래 확장성등을 고려하여 유선형 강상판 상형교를 채용하였다.

적금-영남간 연륙교 조감도

* 유신코퍼레이션 구조 본부장, 구조기술사
** 유신코퍼레이션 구조부 이사, 구조기술사
*** 유신코퍼레이션 구조부 과장

1.1 구조물 현황

구 분	형 식			폭 원 (m)	경간구성 및 연장(m)
	상 부	하 부	기 초		
접속교 (적금측)	강합성교	교각 역T형 교대	PILE기초 우물통기초	15.500	50+4@65 =310m
주경간교	타정식 현수교	경사형 주탑	우물통기초	19.700	850m
접속교 (영남측)	강합성교	교각 역T형 교대	직접기초	15.500	3@60=180m

1.2 기본 치수도

종 평 면 도

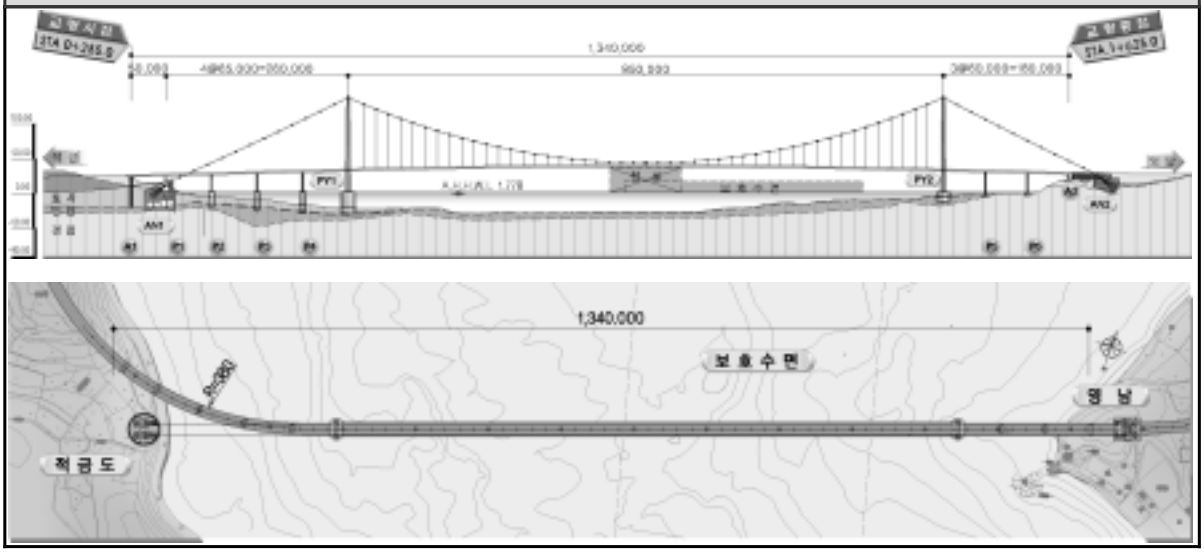
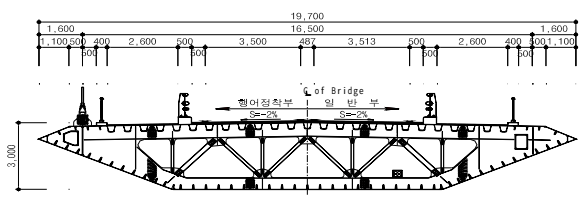
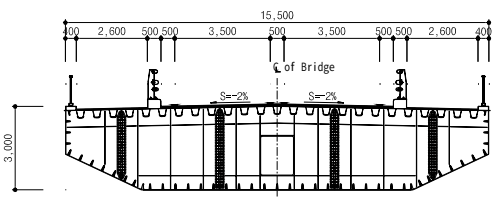


표 준 단 면 도



주경간교 (일반부)



주경간교 (주탑부)

2. 설계조건 및 개요

1) 적금대교 설계조건

<table>
<tr><td colspan="4">형 식</td><td>1경간 현수교</td></tr>
<tr><td colspan="4">지 간 장</td><td>850m</td></tr>
<tr><td colspan="4">차선수 및 설계속도</td><td>2차로, 70km/h</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">종단구배</td><td colspan="2">측 경 간</td><td>2.7%</td></tr>
<tr><td colspan="2">중앙경간</td><td>2.7%</td></tr>
<tr><td colspan="4">횡단구배</td><td>2.0% 직선</td></tr>
<tr><td colspan="4">항 로 고</td><td>AHHWL+35m</td></tr>
<tr><td colspan="4">아스팔트 두께</td><td>80mm (보도부:40mm)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">설 계

하 중</td><td rowspan="3">고정하중</td><td colspan="2">현수구조(보강형)</td><td>12.057 tf/m</td></tr>
<tr><td colspan="2">케 이 블</td><td>2.921 tf/m</td></tr>
<tr><td colspan="2">계</td><td>14.978 tf/m</td></tr>
<tr><td rowspan="3">활 하 중</td><td colspan="2">분 류</td><td>DB24 / DL24</td></tr>
<tr><td colspan="2">집중하중(휨모멘트용)</td><td>10.8 tf</td></tr>
<tr><td colspan="2">등분포하중</td><td>1.27 tf/m</td></tr>
<tr><td rowspan="8">풍 하 중</td><td colspan="2">기본풍속</td><td>40.0 m/s</td></tr>
<tr><td rowspan="4">설계기준 풍속</td><td>보 강 형</td><td>56.2 m/s</td></tr>
<tr><td>주케이블</td><td>62.8 m/s</td></tr>
<tr><td>행 어</td><td>60.8 m/s</td></tr>
<tr><td>주 탑</td><td>64.9 m/s</td></tr>
<tr><td rowspan="4">풍 하 중</td><td>보 강 형</td><td>Pd = 0.900 tf/m
Pv = 0.686 tf/m
Pm = 0.936 tf/m</td></tr>
<tr><td>케 이 블</td><td>0.129 tf/m</td></tr>
<tr><td>행 어</td><td>0.026 tf/m</td></tr>
<tr><td>주 탑</td><td>상부기둥 : 1.297 tf/m
하부기둥 : 2.107 tf/m</td></tr>
<tr><td colspan="2">지진의 영향</td><td>적금-영남 연륙교 설계기준</td></tr>
<tr><td rowspan="4">구조계</td><td>현수구조</td><td colspan="2">보강형 치수</td><td>폭:19.7m, 형고:3.0m</td></tr>
<tr><td rowspan="3">케이블</td><td colspan="2">주케이블 새그비</td><td>1 / 9</td></tr>
<tr><td colspan="2">케이블중심간격</td><td>16.5 m</td></tr>
<tr><td colspan="2">주케이블 본수</td><td>1본/편측</td></tr>
</table>

2) 상부공 설계개요

<table>
<tr><td rowspan="6">보 강 형</td><td rowspan="2">단면구성</td><td>바닥판 두께</td><td>14 mm</td></tr>
<tr><td>재 질</td><td>SM490</td></tr>
<tr><td rowspan="4">변 형</td><td>연직처짐</td><td>2.9845 m</td></tr>
<tr><td>수평처짐</td><td>5.6804 m</td></tr>
<tr><td>연직굴절각</td><td>0.01768 rad</td></tr>
<tr><td rowspan="7">주케이블</td><td colspan="2">주케이블 구성</td><td>ϕ5.1mm×380wires×19strands = 7220 소선/Cable</td></tr>
<tr><td colspan="2">주케이블 단면적</td><td>0.1475m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">주케이블 직경</td><td>493 mm (래핑후)</td></tr>
<tr><td colspan="2">주케이블 사하중 수평장력</td><td>7105 tf</td></tr>
<tr><td colspan="2">주케이블 최대장력</td><td>9702 tf</td></tr>
<tr><td colspan="2">주케이블 주탑탑정 최대연직반력</td><td>8020 tf</td></tr>
<tr><td colspan="2">주케이블 총길이</td><td>1437 m (편측)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">행어로프</td><td colspan="2">행어로프 직경</td><td>ϕ7-73EA, ϕ7-85EA</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계 허용응력</td><td>202tf, 236tf</td></tr>
<tr><td rowspan="2">내풍안정성</td><td colspan="2">진 동 수</td><td><table><tr><th></th><th>연직(Hz)</th><th>비틀림(Hz)</th><th>진동수비</th></tr><tr><td>대칭1차</td><td>0.182</td><td>0.472</td><td>2.60</td></tr><tr><td>역대칭1차</td><td>0.123</td><td>0.704</td><td>5.75</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">연성 플러터 발진풍속</td><td>72.0 m/s</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주 탑</td><td colspan="2">단면치수</td><td>6.5m~4.0m(길이) × 3.8m(폭)</td></tr>
<tr><td colspan="2">콘크리트 재질</td><td>f_{ck} = 400kgf/cm^2</td></tr>
<tr><td colspan="3">상 부 수 량</td><td>보강형 : 7376 tf
주 탑 : 3686 m^3
케이블 : 3466 tf</td></tr>
</table>

3) 하부공 설계개요

		AN1(적 금)	AN2(영 남)	PY1	PY2
기초	기초형식	케이슨	직접기초	케이슨	직접기초
	기초형상	원형	사각(경사)	트랙형	트랙형
	기초치수	Φ42.0	37.5×34.0	30×20	30×20
	기초저면EL	-27.0	+5.2	-28.3	-7.3
	기초상단EL	21.1	28.8	2.7	2.7
	기초시공법	지중연속벽 기중굴착	Open Cut 굴착	강재 침설 케이슨	콘크리트 설치식 케이슨
구체	구체형식	중력식 앵커리지	중력식 경사 앵커리지	침설식 케이슨	거치식 케이슨
	구체치수	Φ42.0 H=29.5	H=47.7	H=31.0	H=10.0
수량	수중콘크리트	3,600	-	6,800	1,800
	기중콘크리트	26,700	17,400	4,600	3,955

3. 보강형 설계

3.1 보강형 형식(유선형 강상판 상형교)선정

보강형은 최근 현수교 보강형 설계 경향에 부합되는 육각단면의 상자형으로서 단면의 효율적 사용으로 강중절감 및 시공효율이 증대되어 경제적 설계가 가능하다. 또한 비틀림 강성이 우수하여 내풍특성이 향상되고 구조적 안전성이 우수하며 유지관리 및 점검시설 설치가 용이한 장점을 가지고 있다.

현수교 주케이블 중심간격이 16.5m로 2차선(2@3.5m)과 보도(2@2.6m)를 좌·우측에 배치하였으며 장래 4차선(4@3.25m)을 고려하여 보강형의 양측에 보도(2@2.0m)를 확장할 수 있도록 계획하였다. 본 교량에 대한 장래 4차선 확폭의 검토 배경은 아래와 같다.

① 장래 교통 수요 예측결과 본 과업 계획목표년도보다 10년 후인 2040년에 4차로가 필요한 것으로 분석
② 여수~고흥간 노선은 대부분 해상구간 및 섬들을 통과하는 구간으로
- 지형 여건상 장래 확장시 대체 노선 선정이 제한적임
- 해상 통과는 특수 교량 등으로 영구 구조물임
③ 독립노선 선정시 신설교량 건설에 따른 공사비가 크게 소요되어 비효율적임

따라서, 본 교량은 계획단계부터 장래 4차로 확장성을 고려하여 동일노선을 유지하면서 효율적 단면계획으로 경제적 확장계획을 도모하고자 국내외 교량의 확장사례 및 해외 장경간 교량을 고려한 설계 사례조사를 하였으며 이를 설계에 반영하고자 하였다.

표3.1 기본설계 단면 계획

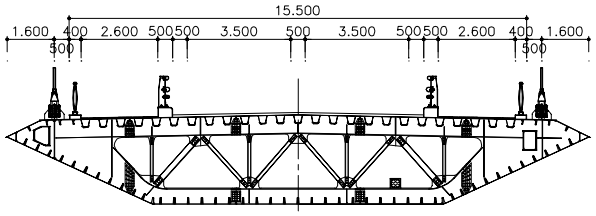
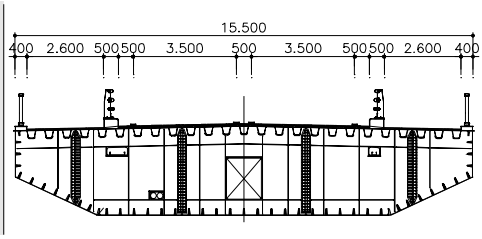
일반부	
주탑부	주탑  주탑

표3.2 4차로 확장시 단면계획

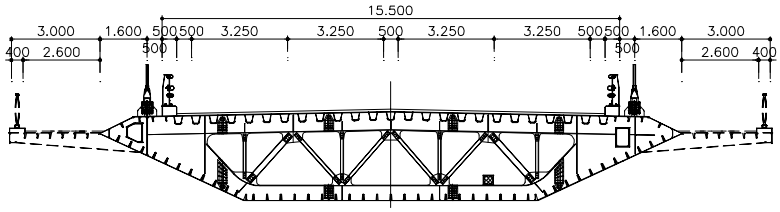
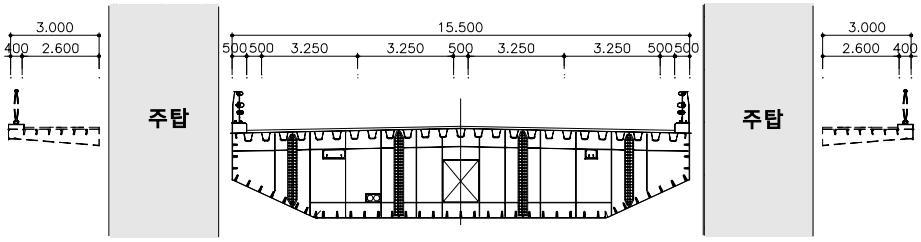
일반부	
주탑부	

표3.1, 3.2에 나타난것과 같이 최소한의 공사비 증가로 향후 4차로에 대응하는 폭원 구성이 가능하였으며 확장전 설계속도를 증가하여 운용이 가능하고 추가 공사비 증가가 미소하여 여수-고흥 전체 계획과의 연계성이 우수한 것으로 나타났다. 이와 같이 계획된 보강형 단면은 주경간이 850m임을 고려하여 내풍설계를 엄밀히 수행하여 계획시 및 확장시 동적 및 정적 내풍설계에 만전을 기하였으며 보강형의 설계개요는 다음 표3.3과 같다.

표3.3 보강형 설계개요

설계특성	사용강종	· SM400(상부플랜지, 부부재) 및 SM490 (복부판, 하부플랜지, 종리브, 주부재)를 표준	
	보강형의 유효폭 고려	· 압축력에 대해서는 전단면 유효 · 전단지연을 고려한 등가지간장을 산정하여 플랜지 유효폭 산정	
	타정식 현수교 특성고려	· 타정식 현수교 특성상 보강형에 축방향 압축력이 도입되지 않으므로 압축력에 의한 전체좌굴 고려안함	
	행어사이 자중영향 고려	· 행어간격이 17.5m로서 행어사이 자중에 의해 발생하는 추가 단면력 고려	
거동특성	단면구성	바닥판 두께	14mm
		재 질	SM4400
	변 형	연직처짐	2.9845 m
		수평처짐	5.6804 m
		연직굴절각	0.01768 rad

4. 케이블 및 부속물의 설계

4.1 주케이블 설계

1) 개요

본교는 케이블을 중력식 앵커리지에 정착시키는 전통적인 타정식 현수교로서 보강형의 고정하중과 활하중이 모두 주케이블에 의해 지지되는 구조형식이다. 주케이블의 가설은 국산자재 및 시공이 가능한 AS공법을 적용한 평행 강선 케이블 형식(PARALLEL WIRE CABLE)을 적용하였으며 케이블 구성은 다음과 같다.(그림1)

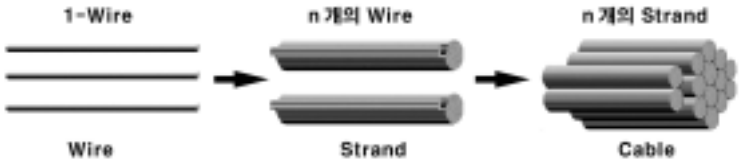


그림4.1 주케이블 구성도

본 교량에서는 국내최초로 아카시해협대교에서 사용된 인장강도 180kgf/mm²의 고강도 강선(국내생산)으로 주케이블을 설계함으로서 각종 부속물의 규모를 최소화하는 경제적인 설계를 실시하였다. 주케이블은 Ø5.1m WIRE 380EA를 하나의 STRAND로 하여 총 19개의 STRANDS로 구성되어 약 10,600TON/CABLE 장력을 받을 수 있도록 설계되었으며 이때 안전율은 2.5이상을 확보하였다. 또한, AS 공법은 현장에서 소선 단위로 운송, 가설되기 때문에 정착부의 규모를 최소화 할 수 있으며 정착구조부를 간략화 할 수 있는 장점이 있다.

2) 주케이블의 단면구성

구 분		제 원	구 분		제 원
소선	재 질	KSD 3509 피아노선재	케이블	단면구성	380 wires×19 strands 전체개수 : 7,220 wires
	직 경	Φ5.1mm		직 경	래핑전 : 485㎜ (K=20%) 래핑후 : 491㎜ (K=20%) 밴드부 : 479㎜ (K=18%)
	소선단면적	0.20428 cm^2		단 면 적	0.1475 m^2
	단위 중량	1,158 kgf/m			
	인장 강도	180kgf/mm^2			
	허용인장강도	7,200kgf/cm^2		래핑와이어	S type (3㎜)

3) 주케이블 설계

위 치	D+L+T	ALLOW	SAFETY RATIO	비 고
측경간부 최대장력	10101	10619	0.951	
중앙경간부 최대장력	9848	10619	0.927	

4.2 행어시스템 설계

1) 개요

행어시스템은 주케이블과 보강형을 연결하고 보강형에 작용하는 하중을 주케이블로 전달하는 부재로서 활하중등의 추가하중에 의한 변동하중을 받는 구조로 피로 거동 및 연직력에 의한 인장력 이외에 수평력에 의한 2차응력이 작용하는 구조부재이다. 행어 시스템이라함은 케이블밴드, 행어 케이블 및 보강형과의 정착구조로 구성되어 있다. 본교량에 적용한 행어 케이블은 P.W.S방식으로 CFRC방식에 비해 파단강도 및 피로강도가 우수하고 소켓과 일체구조로서 시공성이 우수하며, 특히 PE관으로 피복되어 있어 주기적인 방청도장이 불필요하여 유지관리가 매우 용이한 것으로 나타났다.

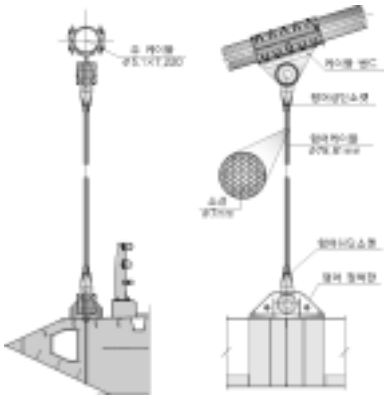


그림4.2 행어시스템 구성도

구 분	행 어 형 상
PWS	
CFRC	

행어케이블과 주케이블을 연결하는 케이블 밴드는 PWS형식에 적합하고 제작 및 시공성이 우수한 핀정착방식을 선정하였으며 보강형과의 연결도 핀연결방식으로 하여 보강형 내부구조를 단순화시키고 점검 및 관리가 용이하도록 하였다.

2) 행어로프 설계

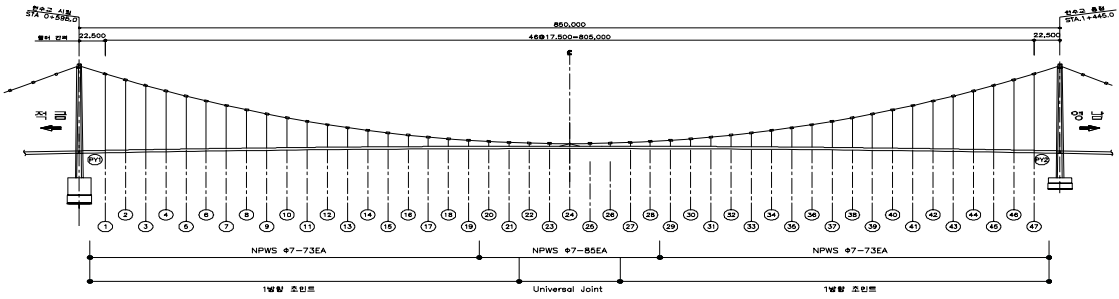
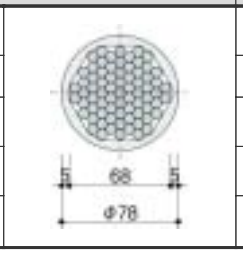


그림4.3 행어배치도

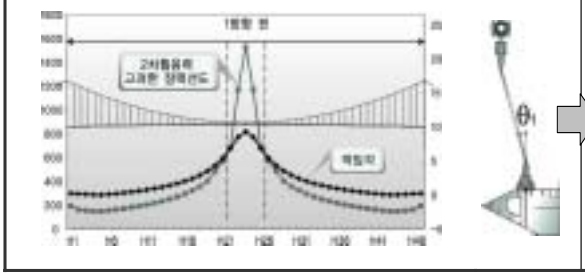
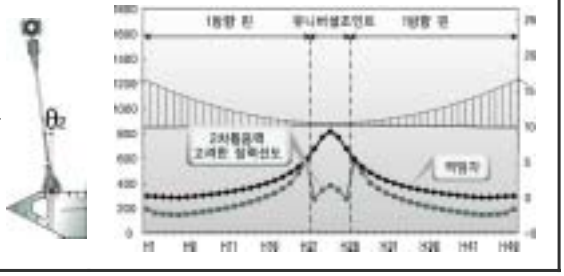
행어의 간격은 촘촘할수록 케이블 밴드, 행어 본수, 보강형 다이아프램 개수가 많아져 경제성에서 불리하고 공기가 길어지는 단점이 있으며 행어 간격을 넓게 할 경우 경제성에서는 유

리하지만, 행어 직경이 커지고 행어 로프 정착부 단면이 과대해져서 변형과 응력집중 현상이 커지게 된다. 기존의 현수교 실적을 조사해 보면 통상 10~15m의 행어 간격을 많이 적용하고 있으나 이는 트러스형식의 현수교에서 부재 격점간격을 고려한 경우이며 본 교량과 같이 강상자형 교량의 경우 보강형의 허용응력 및 다이아프램의 간격(3.5m)과 보강형의 하중분배를 고려하여 보강형 폭원과 유사한 17.5m로 설계하였다.

구 분	일반부(7.0mm-73가닥)		중앙부(7.0mm-85가닥)	
적 용	H1~H19,H29~H47		H20~H28	
단위중량	피복전 : 22.0kgf/m		피복전 : 25.6kgf/m	
	피복후 : 23.1kgf/m		피복후 : 26.7kgf/m	
절단하중	506 tf		589 tf	
탄성계수	2.03×10^6 kgf/cm^2		2.03×10^6 kgf/cm^2	

3) 2차응력 저감대책

교축직각방향 풍하중 작용시, 보강형과 주케이블과의 위상차 변이가 발생하여 행어 소켓부에서 케이블의 꺽임에 의한 2차 휨응력이 발생한다. 특히 행어의 길이가 짧아지는 중앙부에서는 행어의 교직방향 꺽임각이 커짐에 따라 작용하는 2차응력이 증가하므로 이를 저감하기 위한 다각적인 검토를 수행한 결과 최대 꺽임응력이 발생하는 중앙부 5개소에 유니버셜 조인트를 적용하여 2차응력이 저감되도록 계획하였다.

1방향 핀 사용시	유니버셜조인트 사용시
	

4) 행어장력 검토

하중조합		Case1 D+L+T+EM+EE	Case2 D+L+T+EM+EE+BE	Case3 D+W+T+EM+EE	Case4 D+W+T+EM+EE+BE	허용파단강도 (tonf)	판정
안전율		2.50	2.00	1.67	1.33	-	-
소요 파단강도 (tonf)	일반부	384	340	188	219	506	O.K
	중앙부	421	508	209	383	589	O.K
D:고정하중 W:풍하중 L:활하중 T:온도변화 EM:제작오차의 영향 EE:가설오차의 영향 BE:행어 꺽임에 의한 영향							

4.3 새들 설계

1) 스프레이 새들

스프레이 새들은 주케이블을 스트랜드 정착구(스트랜드 슈)를 통하여 앵커블록에 정착시킬 때 주케이블이 받는 응력을 최소화시키기 위하여 설치하는 구조물이다.

· 사용재료

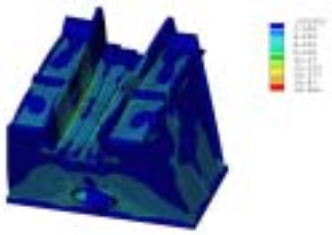
구분	재질	적용기준	항복응력
새들본체	SM520	용접구조용주강	2,100
스페이셔	SM520	용접구조용강	2,100

· 케이블 연직반력 : Rv = 2,574.6 tf

· 스트랜드내 와이어의 수량 : N = 380EA

· 스프레이 새들의 작용하중은 연직압과 수평측압을 새들의 FEM모델에 직접 재하하여 최대응력 발생위치에 대한 응력 검토를 실시하였다. 최대 Von Mises 응력은 1848kgf/cm^{2}로 이 경우 1.15로 구조적 안전성을 도모하였음.

그림4.4 스프레이 새들



1848 kgf/cm^2 < 2100 kgf/cm^2

그림4.5 FEM 해석 결과

2) 탑정 새들

· 작용하중 : - 케이블 장력에 의한 연직압력
- 연직압력에 의한 수평측압
- 풍하중시 교축 직각 방향의 수평하중

· 사용재료

구분	재질	적용기준	항복응력
새들본체	SM520	용접구조용주강	2,100
스페이셔	SM520	일반구조용탄소강	2,100
볼 트		기계구조용탄소강	

· 스트랜드내 와이어의 수량 : N = 380EA

· 탑정새들의 작용하중은 주케이블 장력에 의한 연직압과 수평측압으로 분류되며, 본 해석에서는 연직압과 수평측압을 새들의 FEM모델에 직접재하하여 최대응력 발생위치에 대한 응력 검토를 실시하였다. 최대 Von Mises 응력은 1859kgf/cm^{2}로 이 경우 1.13로 구조적 안전성을 도모하였음.

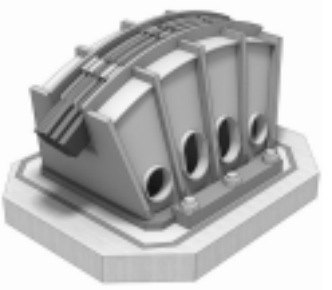
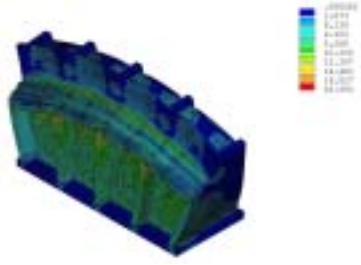


그림4.6 탑정 새들



1848 kgf/cm^2 < 2100 kgf/cm^2

그림4.7 FEM 해석 결과

5. 주탑의 설계

5.1 설계개요

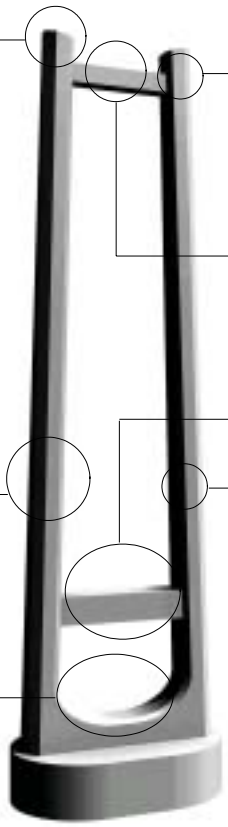
주탑 단면설계는 크게 상층주탑, 하층주탑, 가로보의 3개 영역으로 구분하였으며, 주탑은 비선형 해석결과를 이용하여 단면 설계를 수행하였으며, 인장력이 발생하는 가로보의 경우는 PS를 도입하여 인장력에 저항하도록 하였다.

디자인 모티브
- 지역유산인 당간지주의 관문적 이미지 도입

새 들 커 버
- 외기로부터 탑정새들 보호
- 주탑 미려한 경관성 확보

주 탑 탑 주
- 석주 각형 형상화
- 내풍성 향상
- 측면의 세련된 이미지 부각

탑 기 부
- 선박충돌 및 지진에 대한 교직 방향 강성확보
- 곡선 이미지로 온화한 이미지 표출



- 단일재질 사용으로 구조적 일체감 유지
- 구조적 결함부위 최소화
- 유지관리성 향상

탑 정 부
- 새들 지압력 대응위해 충진설계
- 새들과의 편심 최소화 설계

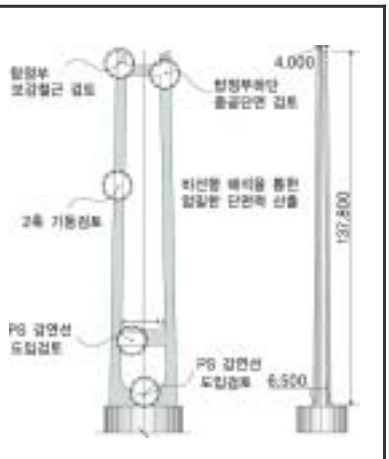
상단가로보
- 직선 배치로 전체 주탑 조형성 제고
- 곡선부재에 비해 가설용이

중간가로보
- 보강형 단부와의 연결부로 안전성 확보
- 텐던 배치로 균열안전성 확보

내부점검시설
- 엘리베이터 설치로 유지관리 편의도모
- 일측탑주에는 사다리 설치로 비상시 대비

5.2 설계 현황

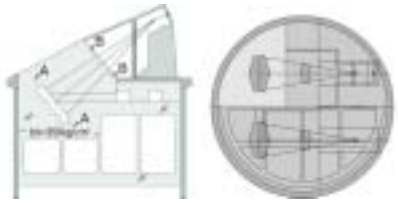
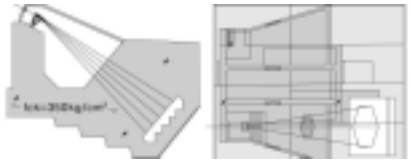
사용재료	콘크리트 : fck = 400kgf/cm 철 근 : fy = 4,000kgf/cm² PS강연선 : 0.6″ø15.2mm 7, 19가닥 fpy = 16,000kgf/cm²
하중산정	전체계해석을 통해 탑정부에 도입되는 하중산정
비 선 형 해 석	주탑의 비선형 거동을 고려한 단면력 산출로 추가적인 P-Δ효과 고려 불필요
가 로 보 PS 도입	가로보에는 하중 작용형태에 따라서 인장력이 발생하며 콘크리트의 재질특징상 이러한 인장은 균열을 발생시킬 수 있으므로 PS를 도입하여 이를 방지
단면검토 항 목	P-M 상관도에 의한 기둥부재 검토 / 비틀림 검토 전단 및 전단마찰 검토 / FEM 해석 검토(국부보강)



6. 앵커리지 설계

1) 앵커리지 형식 선정

앵커리지를 해상부에 설치할 경우, 시공성 및 경제성이 저하되므로 육상설치를 기본으로 하였으며 적금도의 해안지형을 이용하여 앵커리지 구체를 지반에 매입, 자연경관과 조화시키는 형식을 선정 하였으며 영남면 앵커리지는 현장에서 암반이 조기에 노출되는 양호한 지반조건을 이용한 경사중력식 앵커리지를 선정하였다.

구분	적금측 앵커리지(굴착식 원형 케이슨)	영남측 앵커리지 (중력식)
개요도		
특징	· 원형의 지하연속벽을 토류, 지수벽으로하여 내부를 건조상태에서 무지보로 굴착후 기초 구축 · 안정한 구조형식, 신뢰성 높음 · 건조상태에서 시공가능 · 지지지반 육안확인가능 · 주변지반과의 일체성이 우수 · 작업공정이 단순, 작업공간이 넓어 대형장비 사용가능, 시공성이 우수하고 공기도 짧음	· 앵커리지의 자중과 암반의 마찰 저항으로 케이블 장력에 저항 · 경사방식 적용으로 구체 콘크리트량 감소로 경제성 양호 · 구체 수화열 관리 필요 · 공종이 단순하여 시공성 우수 · 지반에 매입되는 형식으로 경관성 우수 · 원지반의 경사를 유지를 유지하여 주변 경관과의 조화

2) 앵커리지 설계 현황

중력식앵커리지에 대하여 3차원 FEM 해석을 실시하였으며, 이 결과를 토대로 앵커리지 구체의 소요 철근량을 산출하고 철근배근 및 안정성의 여부를 검토하였다.

<table>
<tr><td>사용재료</td><td colspan="4">콘크리트 : fck = 350kgf/cm^2 ,　　철　　근 : fy = 4,000kgf/cm^2</td></tr>
<tr><td rowspan="4">설계하중</td><td rowspan="2">구　　분</td><td rowspan="2">Prestress시</td><td colspan="2">상 시</td></tr>
<tr><td>적금측</td><td>영남측</td></tr>
<tr><td>주케이블</td><td>654ton/본</td><td>497ton/본</td><td>504ton/본</td></tr>
<tr><td>합　　계</td><td>12426ton/개소</td><td>9441ton/개소</td><td>9574ton/개소</td></tr>
<tr><td>철근량 산정 및 배근개요</td><td colspan="4">· 응력 해석결과에 의해 주응력이 산출되면 주인장 응력방향과 벡터를 고려하여 배근량을 산출한다.
· 철근량 산정은 최대 주인장응력이 허용응력을 초과하는 범위에 대해 주응력의 크기와 방향을 고려하여 발생 인장응력에 유효하게 저항할 수 있는 방향으로 철근량을 산정함.</td></tr>
</table>

7. 내진설계

7.1 설계개요

내진설계는 지진시나 지진이 발생된 후에도 구조물이 안전성을 유지하고 그 기능을 발휘할 수 있어야 하며, 특히 장대지간의 현수교에서는 교량 받침 이동량 산정 및 면내·면외 비틀림에 대한 안정성 검토의 중요한 요인이 된다. 본 내진설계에서는 특수교량임을 감안하여 다중모드스펙트럼해석법을 이용하여 기본적인 지진시 단면력을 산정하고 이를 ①현수교의 대변위 거동에 의한 기하학적 비선형성을 고려한 비선형 시간이력 내진평가와 ②지진파의 위상차 입력 차이를 고려한 3차원 시간이력 내진평가를 통하여 구조계의 안전성을 검토함으로 구조설계에 안전을 기하고자 함.

항 목	적 용 내 용	근 거
내진등급	· 내진 I 등급교 재현주기: 100년(기능수행) 1000년(붕괴방지)	· 지방도에 건설되는 중요교량(해상장대교)
지진구역	· 구분 : 지진구역 I · 계수 : 0.11(재현주기 500년)	· 전라남도 남서부(고흥)~전라남도 북동부(여수시) · 입찰안내서에 따라 지진 구역 I 적용
위 험 도 계 수	· 기능수행 : I =0.57 붕괴방지 : I=1.4	· 내진 I 등급교
가 속 도 계 수	· A=0.11×1.4=0.154g(붕괴방지) · A=0.11×0.57=0.0627g(기능수행)	· A=지진구역계수 × 위험도 계수
지 반 의 분 류	· 지반종류 : II · 지반계수 : S = 1.2	※ 지층 30m이내 평균 전단파속도 AN1 : 395 m/s (II) AN2 : 1523 m/s (I) PY1 : 1790 m/s (I) PY2 : 2216 m/s (I)
응 답 수정계수	· R=1.0적용(탄성설계)	· 주탑의 비선형 소성해석을 수행하여 탄성설계의 타당성 및 안전성 검토
해석방법	· 다중모드 스펙트럼해석법 · 시간이력해석법	· 단일모드 스펙트럼해석법 적용을 기본 · SIMQKE를 이용한 20개 인공지진파 적용

7.2 내진설계 및 타당성 검토

본 내진설계시 다음과 같은 3가지 해석을 통하여 단면력 산정 및 단면검토를 위해 기본적으로 수행된 다중모드 스펙트럼 해석의 타당성을 검토하였다.

1) 다지지점, SSI 및 FSI 고려해석

지진파의 위상차 및 지반구조물 상호작용을 고려한 3차원 시간이력 내진평가

2) 현수교 비선형성 고려해석

현수교의 대변위 거동에 의한 기하학적 비선형성을 고려한 비선형 시간 이력 내진평가

3) 주탑단면 비선형 역량 평가해석

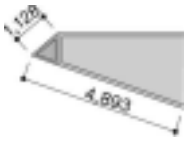
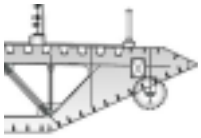
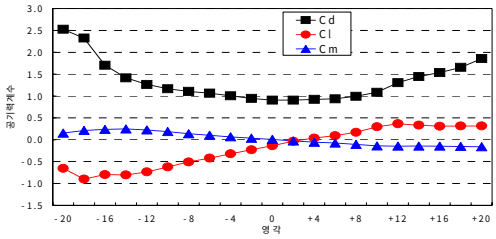
주탑단면의 재료적 비선형성을 고려한 내진역량 검토해석

8. 내풍설계

8.1 설계개요

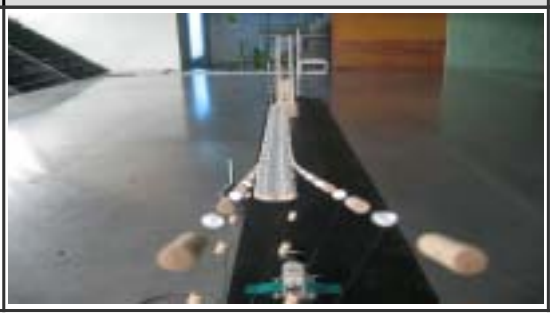
국내최장대 현수교인 적금 연륙교 내풍 안전성 확보를 위해 정·동적해석 및 풍동실험을 실시하였다. 적금연륙교 가설지점에 가장 인접한 고흥기상관측소의 기상자료를 이용하여 100년주기의 기본풍속을 분석한 결과, 25.84m/s로 나타났으나 내풍안전성의 중요도를 고려하여 도로교설계기준의 설계기본풍속 40m/s를 사용하였다.

8.2 2차원 풍동실험

<table>
<tr><th></th><th>단면형상</th><th colspan="2">Fairing 형상</th><th>점검차 레일 위치</th></tr>
<tr><td>단 면
형 상
결 정
시 험</td><td>단면비=1/5.6
  </td><td colspan="2">fairing(1)
  </td><td>점검차 레일 위치(2)
  </td></tr>
<tr><td>2차원
주 형
3분력
측 정
실 험</td><td>정적풍하중설계의 사용되는 항력계수의 경우, 영각=0도에서 Cd=0.91, Cl=0.14, Cm=0.01로서 이를 정적 풍하중 산정시에 반영하여 설계하였음</td><td>영각별
공기력
계 수</td><td colspan="2">  </td></tr>
</table>

8.3 3차원 풍동실험

3차원 전교실험에 있어서 수평변형과 연직변형의 파악을 주된목적으로 하였으며 3차원 탄성체 모형을 이용하여 3차원 진동모드간의 상호간섭 검토하였다. 가설단계 실험모형은 중앙지간장 850m중에 18% 가설시와 63% 가설시의 경우에 대하여 3차원 탄성체 모형을 이용하여 3차원 진동모드간의 상호간섭을 검토하여 동적 내풍안전성을 확보하였다. 실험조건은 수평풍각 0°~30°에서 실험하였으며 모형은 축소율 1/200의 탄성체모형을 사용하였다.

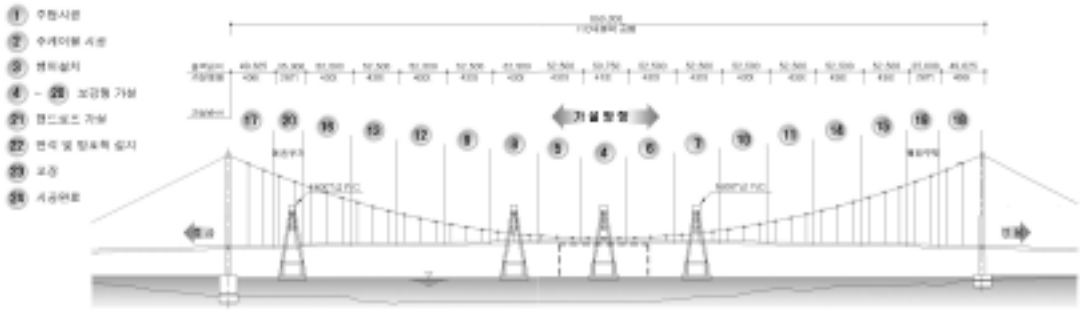
완성계모델	가설계모델
	

9. 가설단계 해석

9.1 가설 개요

본 교량의 가설단계 해석은 현수교의 합리적인 보강형 가설순서를 선정하고, 가설순서에 따라 구조계를 해석하여 각 가설단계별 교량의 안정성을 검토한다.

일반교량과 달리 케이블 지지교량은 변형성이 큰 케이블이 전체 구조계를 지지하는 주부재이며, 시공의 진행에 따라 케이블과 보강형의 기하형상 변화가 매우 커 완공 구조계로부터 역순으로 해체해석을 수행해야 한다. 이러한 기하비선형 역순 해체해석을 수행하기 위해 기 산정된 고정하중에 의한 힘의 평형을 유지하고 있는 초기평형 상태에서 가설순서의 반대로 하중을 역재하 함으로 가설단계 해석을 수행하였다. 보강형은 대블럭공법으로 단계별로 설치하는 것으로 하였으며, 대칭으로 가설하는 것으로 하였다.

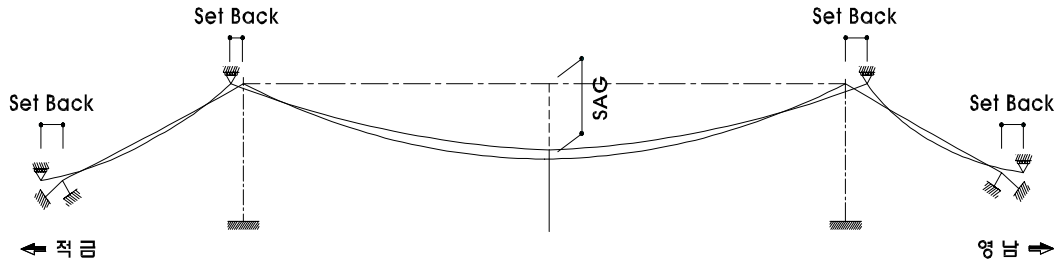


· 1600tf F/C를 이용한 대블럭 공법 · 중앙부에서 주탑부로 시공 · 각 블럭별 가설힌지 채용

9.2 Set Back량 산정

Air Spinning 가설시 원활한 운용과 가설중 안전성을 확보하기 위하여 주탑상단에 위치한 탑정새들의 위치를 측경간 쪽으로 조정하여 완성형상에 만족하는 가설계획을 수립하였으며 비선형 가설단계 해석 프로그램을 이용하여 가설단계 해석의 역방향 해석을 실시하여 최종케이블 선형의 변동량을 산정하여 이를 Set Back량으로 결정하였다.

AIR SPINNING 상태



· 적금측 앵커리지 : -0.046m · 영남측 앵커리지 : 0.046m	· 적금측 주탑 : -1.300m · 영남측 주탑 : 1.022m

10. 결 론

본 적금-영남간 연륙교는 타정식 1경간 현수교로써 국내 최대 규모의 교량을 국내 기술진에 의해 계획·설계를 수립하므로서 국내에서 장대 현수교의 새로운 발판을 마련하는 계기가 되었다고 본다. 따라서 본고는 현수교 설계에 전반적인 설계내용을 충실히 수록하여 많은 기술자에게 현수교의 설계에 대한 안내 및 참고자료가 되었으면 한다. 다소 부족한 점이 없지 않으나 현수교의 다양한 부분이 수록되어 있으므로 기술자 여러분의 기술 축척에 도움이 되리라고 생각한다.

또한 본 연륙교는 당사에서 설계·감리를 수행한 영종대교와 광안대교, 소록대교 현수교의 경험을 바탕으로 국내 최장지간(주경간장 850m) 현수교를 계획 설계한 것으로 국내에서도 이제 중규모 이상의 현수교를 가설할 수 있는 계기가 되었다고 할 수 있다. 이를 위해 밤 낮으로 혼과 열정을 쏟아주신 동료 선후배님들의 노고에 감사드리며 실시설계에 앞서 보다 완성도 높고 안전한 교량이 되도록 각 부속물에 한치의 착오없이 과업을 수행할 것을 약속드리며 글을 끝마치고자 한다. 아무쪼록 토목 기술자들의 기술 향상에 조금이라도 도움이 되길 바랍니다.