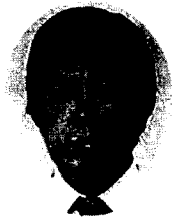


경춘선 복선철도의 북한강 상에 가설되는 중로아치교인 가평교의 설계



이 성 민*



이 상 희**



장 우 선***

1. 개 요

서울-춘천간 경춘선 철도는 일제 말기에 건설되어 수도권과 강원내륙간의 연결 및 관광수요 수송을 주목적으로 운행되고 있으나 수송수요증가에 따른 용량포화 및 기존 노선상태의 불량에 따른 안전사고 우려 등으로 복선전철화 공사가 시행중에 있다.

본 교에서는 설계시공일괄입찰방식으로 발주된 경춘선 복선전철공사 제6공구중 가평읍 남단의 북한강 횡단구간에 가설되는 중로아치교형식인 가평교의 설계개요를 소개하고자 한다.

2. 가평교의 형식선정

가평교는 가평읍 중심가 동남쪽의 농경지대와 북한강을 횡단하는 약1,600m 연장의 복선철도교량으로 인근에 남이섬, 용추계곡 등 자연경관이 수려한 관광지역에 위치한다. 교량형식계획시 이러한 자연여건과 교량이 부합되도록 경관디자인 측면의 검토를 중점적으로 수행하였다.

중로 교량의 경관디자인은 의장설계로 간주하여 난간, 교명주, 가로등, 치장덧판설치, 도색처리등 장식적인 계획에 치중하여 상당부분 가식적인 외관디자인 수준을 벗어나지 못하였다. 본 가평교의 경우에는 경관디자인에 대한 새로운 개념을 도입하여, 교량자체의 구조미에 주목하고 역학적으로도 합리적인 범주내에서 교량구조자체에 내재하는 아름다움을 최대한 표현하고자 하였으며 이와 병행하여 주변경관과의 균형감 확보후 건축적인 의장설계를 가미하였다.

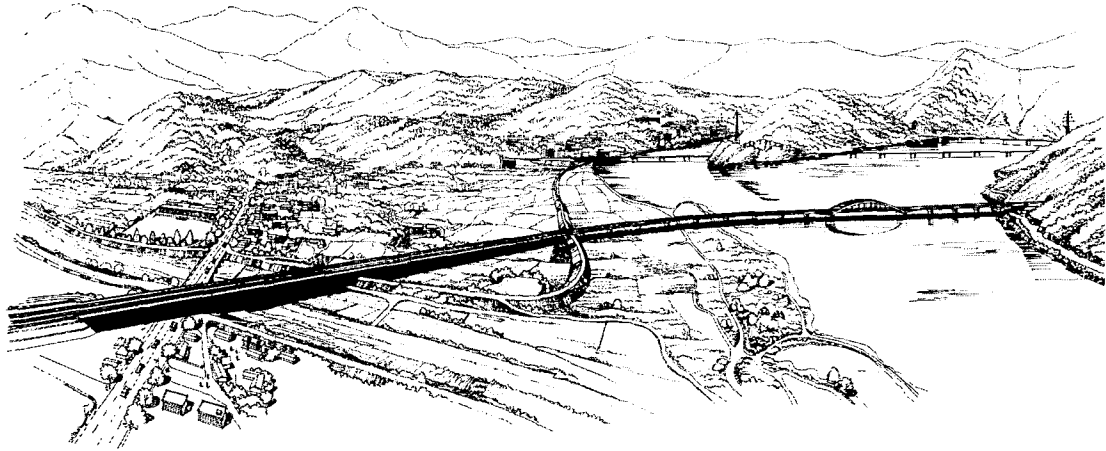
가교위치주변은 녹음이 우거진 산, 도도하게 흐르는 하천등이 창출하는 경승지로서의 자연풍경이 수려한 지역으로, 교량이 존재함으로써 주변경관의 매력이 돋보이도록 교량의 볼륨감을 억제하고 교량 자체의 구조미에 착안하여 교량형식을 계획하였다.

가평교의 경관상 메인 포인트인 북한강 횡단구간에는 곡선미가 있는 아치리듬의 교량으로 계획하여 주변풍경과의 균형 및 조형감을 부여하도록 하였으며, 경관상 서브포인트인 옥상농경지 구간에는 연속미가 있는 등단면 거더교로 계획하여 교량 전체적으로 경쾌감을 부여하였다. 특히, 북한강횡단구간의 하천

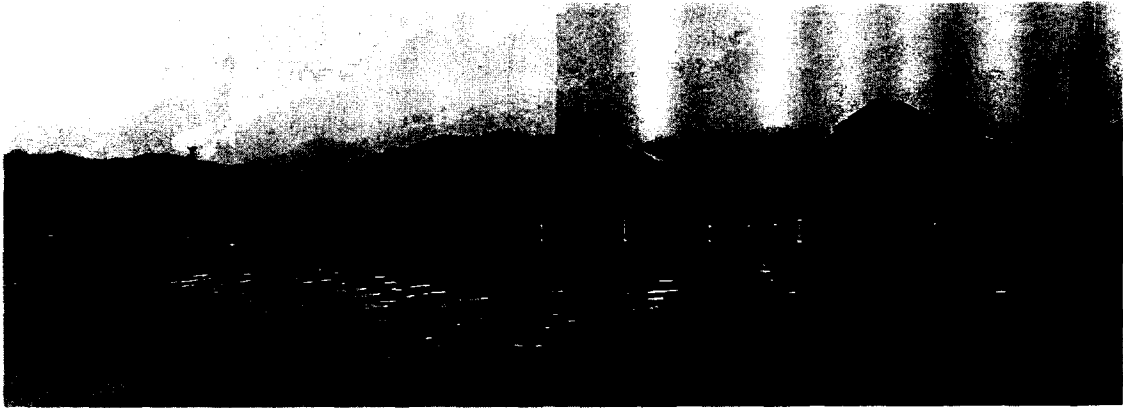
* (주)삼안건설기술공사, 부사장

** 정회원 · (주)하이콘엔지니어링, 전무

*** (주)하이콘엔지니어링, 차장



(a) Image sketch



(b) Photo simulation

그림 1 가평교 simulation

유심부에는 고전적인 우아함과 안정감이 있는 3경간 중로아치를 배치하여 연장 약1,600m로 장대교량인 가평교에 단조로움을 해소하면서 교량 전체적으로 상징성을 부여하고자 하였다.

3. 중로아치교의 구조계획

연장 1.6km의 가평교중에서 주요부분인 3경간 중로아치교에 대해 세부적인 디자인 및 구조계획에 대해 기술한다.

3.1 아치의 구조형상

아치의 미관 및 구조적 안정성은 형상비(rise/

span)에 의해 크게 좌우되며 일반적인 범위는 1/4~1/6정도이나, 금번에는 1/6.6로 다소 작게 계획하여 본 교량의 경관디자인개념에 따라 교량이 돌출되지 않고 주변의 낮은 산과 하천에 어울리도록 계획하였다.

아치의 경간구성은 홍수량이 16,870CMS인 북한강의 하천수리조건상 필요한 경간장을 고려하여 측경간을 60m로 하였다. 중앙경간은 부분력 발생등 구조적인 면과 심리적인 안정감을 고려하여 측경간의 2배인 120m로 계획하였다.

3.2 아치리브의 배치

아치리브는 제작상의 어려움으로 일반적으로 연

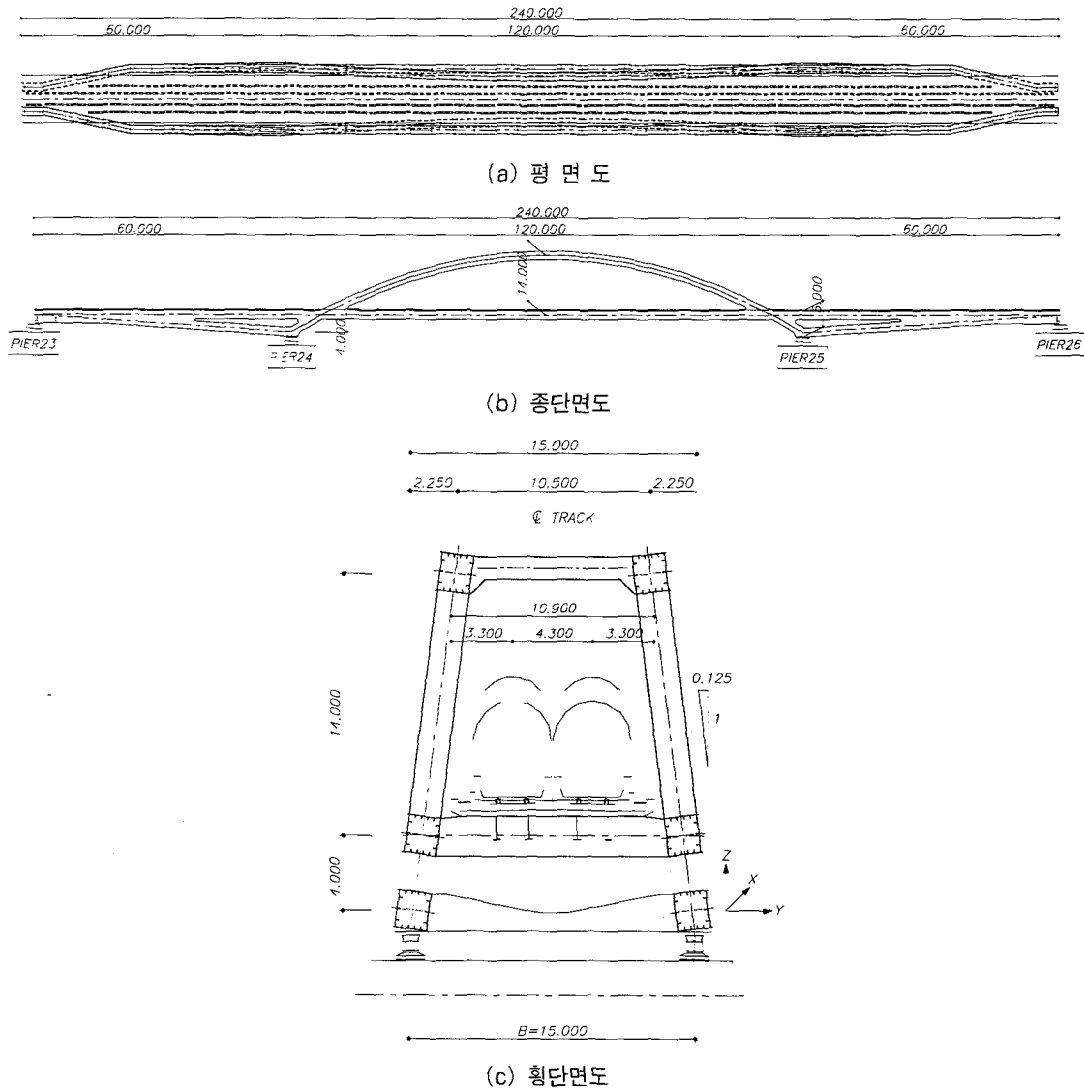


그림 2 중로 아치교의 구조계획

직으로 배치하는 경우가 많지만 금번에는 교량의 전체경관을 중요시하고 볼륨감을 완화시켜 산뜻하게 모아지는 느낌을 주도록 아치리브를 내측으로 경사지게 배치하는 basket-handle 타입으로 계획하였다.

아치리브를 경사지게 배치함으로써 2개의 아치리브간에는 스트러트만으로 연결하고 횡방향 브레이싱은 필요없는 구조로 계획하여 단순하고 경쾌한 이미지가 발휘되도록 하였다.

4. 구조설계개요

4.1 모델링 요약도

본 교량은 중로 아치교(basket-handle type)로서 미관 및 구조적 안정성은 형상비(rise/span)에 의해 크게 좌우되며 일반적인 범위는 1/4~1/6 정도이나, 여기서는 1/6.6 (18m/120m)로 다소작게 계획하여 본 교량의 경관 디자인 방침에 따라 들출되지 않도록 하고, 시공성을 고려하여 횡방향

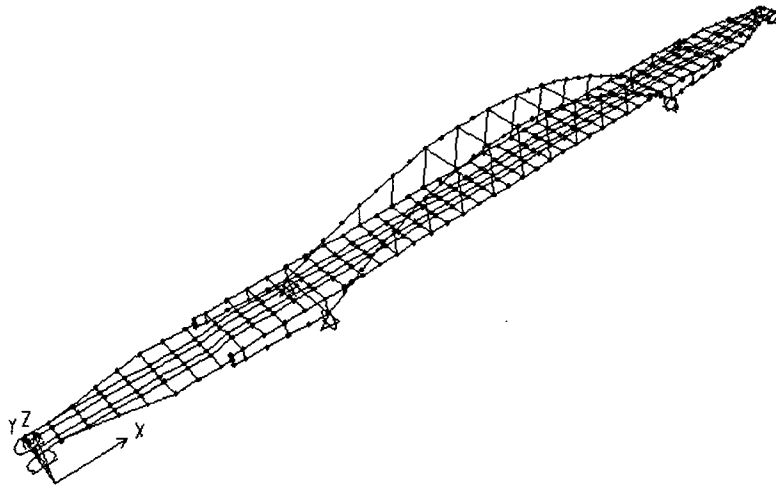


그림 3 중로아치교의 3차원 해석모델

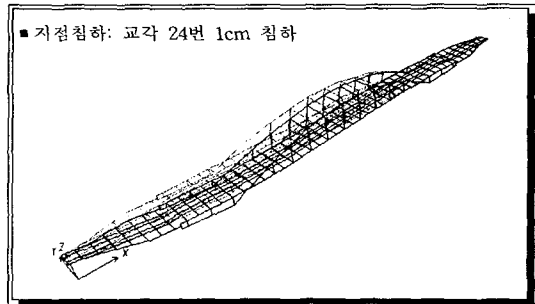
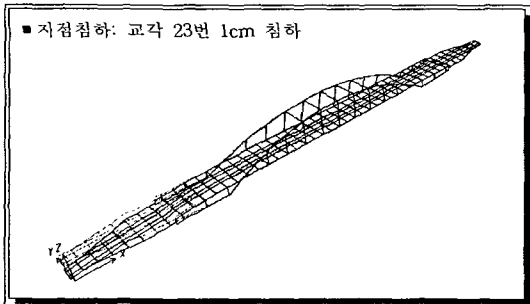
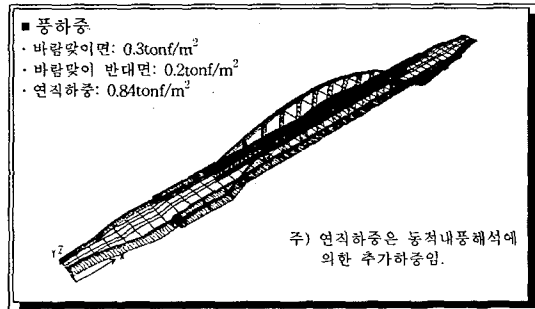
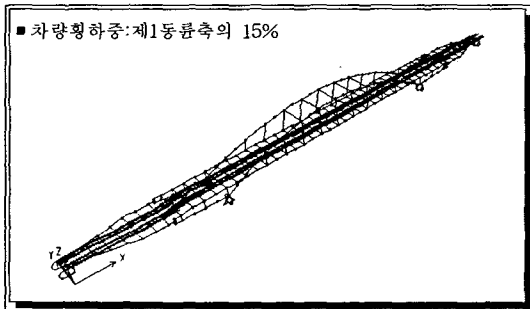
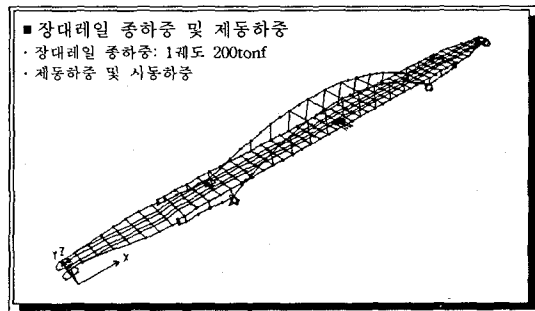
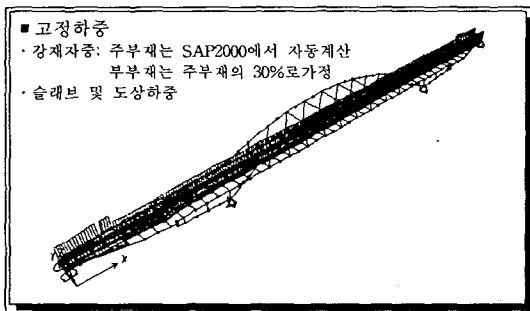


그림 4 작용하중도

bracing이 필요없는 구조로 계획하고 이에 따른 구조적 안전성을 고려 box형 hanger등으로 보강하였다. 구조해석에서는 범용해석 program인 SAP2000을 사용하여 각 부재는 절점당 6자유도를 갖는 보요소의 3차원모델링으로 구조계를 이상화하였다.

4.2 작용하중

구조해석시 작용하중은 철도설계기준(철도청, 1999)에 따라 작용가능한 모든 하중을 고려하였으며, 주요하중은 그림 4에 나타낸 바와 같다.

4.3 단면력도

SAP2000을 이용한 구조해석결과는 하중조합별로 정리하였으며, 주요 단면력별 diagram은 그림 5와 같다.

4.4 주부재의 응력검토

구조해석결과로부터 주요부재에 대해 단면 type별로 응력검토 집계결과는 표 1과 같다.

4.5 ARCH 교차부 및 지점부의 유한요소해석

얇은 판요소로 구성된 box형 구조물의 교차부 및 지점부등에서는 기하학적 형상 및 경계조건의 급격한 변화로 인하여 응력 집중현상이 발생할 것으로 예상되므로 3차원 보해석 결과의 고정하중과 최소,최대 활하중에 대한 각 경계절점의 변위를 교량 전용해석 프로그램인 PENTAGON-BRIDGE를 이용한 유한요소해석모델에 가함으로써 전체적인 변형률을 동일하게 하였다. 아치의 교차부 및 지점부에 대한 유한요소 해석모델은 그림 6과 같고, 해석결과 응력분포도는 그림 7과 같다.

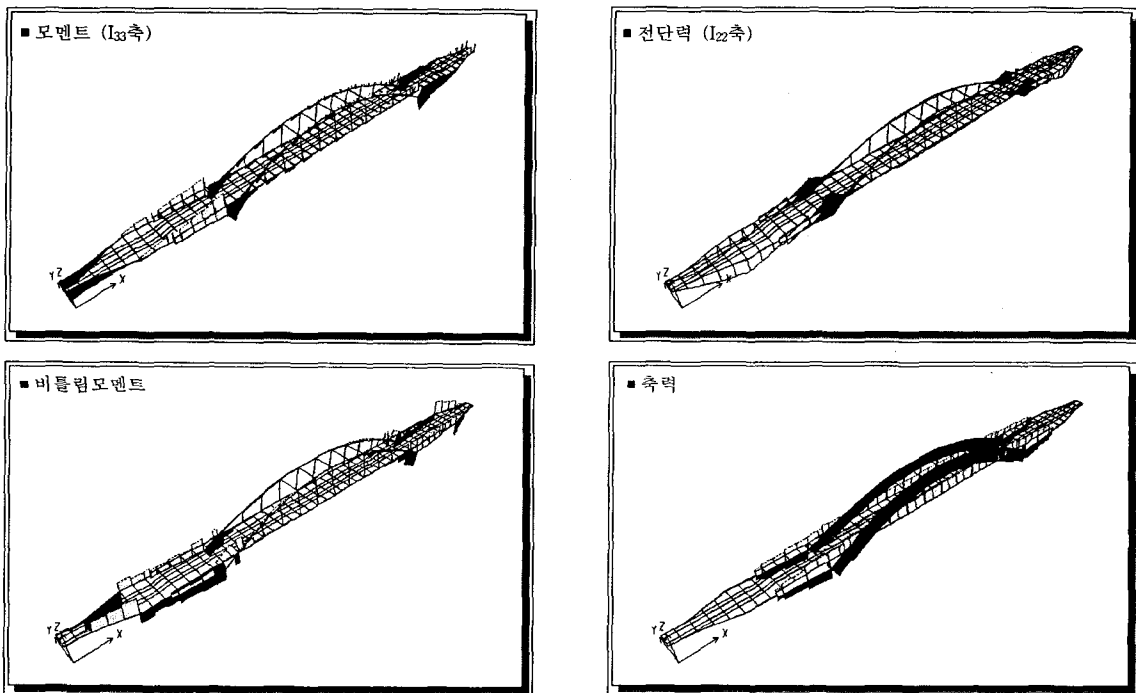


그림 5 단면력도

표 1 단면 type별 응력검토 집계결과

○ ARCH RIB (축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재)

구 분	P (tonf)	V22 (tonf)	V33 (tonf)	T (tf/m)	M22 (tf/m)	M33 (tf/m)	최대조합응력
TYPE-1	-596.740	264.082	192.960	-185.854	632.310	2108.343	0.806
TYPE-2	-1539.161	432.941	67.891	-308.634	-317.920	-1826.898	0.806
TYPE-3	-2375.110	-275.646	-175.377	322.551	-660.431	-4172.159	0.905
TYPE-4	-2552.702	-189.129	7.552	120.074	230.574	-984.584	0.904
TYPE-5	-2501.681	72.412	-25.486	53.584	-193.899	1126.290	0.818

○ GIRDER (축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재)

구 분	P (tonf)	V22 (tonf)	V33 (tonf)	T (tf/m)	M22 (tf/m)	M33 (tf/m)	최대조합응력
TYPE-1	-946.741	164.264	-222.030	-114.594	-463.012	1478.132	0.808
TYPE-2	1882.949	307.147	10.891	-150.680	-108.847	-1279.798	0.634
TYPE-3	1383.149	452.270	39.905	-343.428	-303.103	-3413.031	0.918
TYPE-4	1809.679	-143.014	-16.324	-87.930	103.772	1151.406	0.721
TYPE-5	1839.133	106.305	12.089	-115.228	111.024	1238.647	0.710

○ HANGER (축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재)

구 분	P (tonf)	V22 (tonf)	V33 (tonf)	T (tf/m)	M22 (tf/m)	M33 (tf/m)	최대조합응력
TYPE-1	-227.737	-50.373	734.942	39.066	-1227.382	200.606	0.741
TYPE-2	374.046	9.437	-86.496	-8.369	-265.368	46.121	0.662

○ ARCH RIB STRUT (축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재)

구 분	P (tonf)	V22 (tonf)	V33 (tonf)	T (tf/m)	M22 (tf/m)	M33 (tf/m)	최대조합응력
TYPE-1	-61.446	4.272	-2.625	0.000	-17.763	-37.276	0.381
TYPE-2	10.810	8.074	0.340	0.000	2.481	47.079	0.248

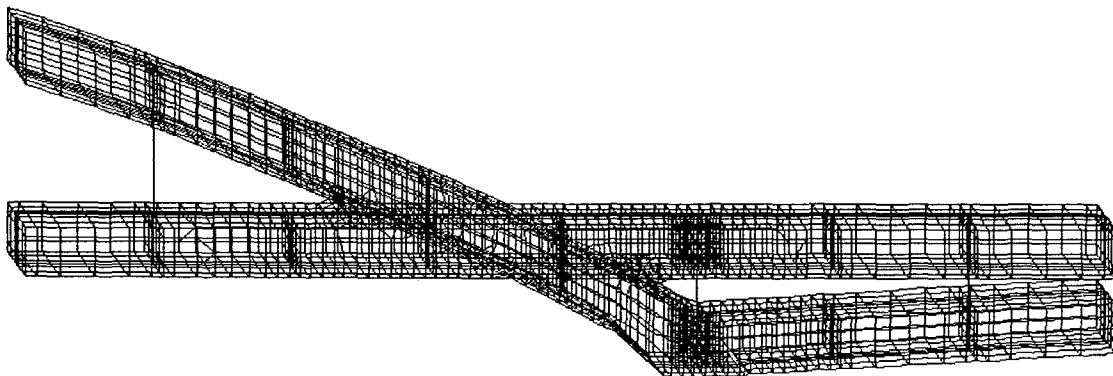


그림 6 유한요소 해석모델

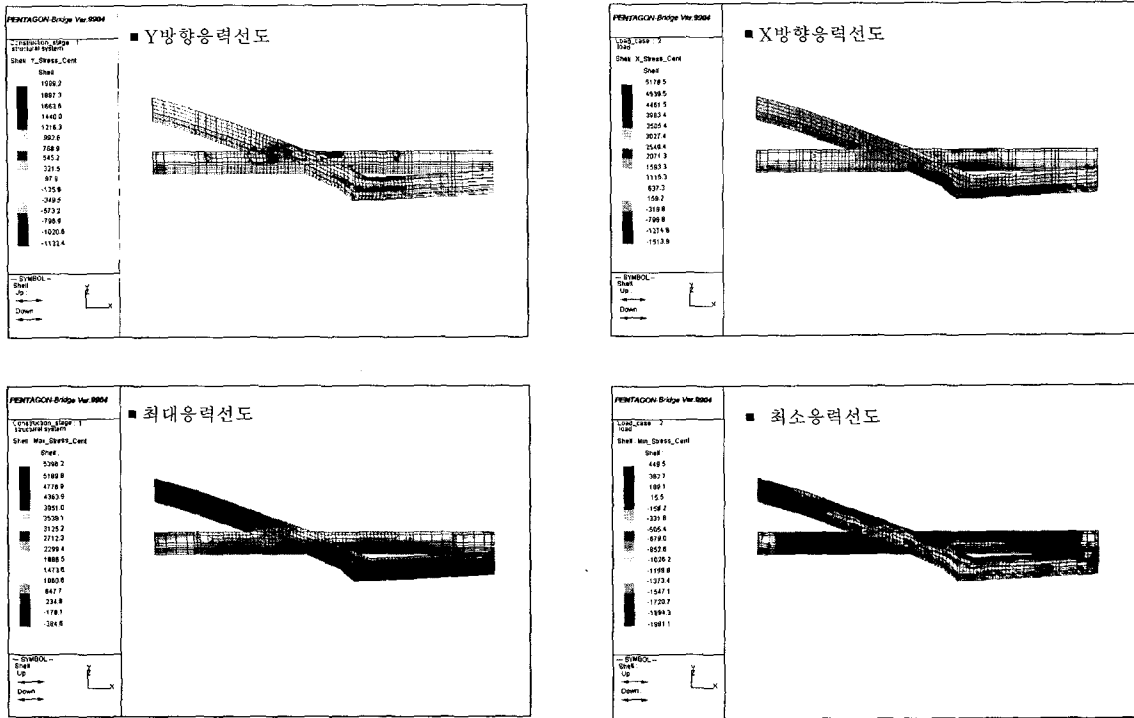


그림 7 아치교차부 및 지점부의 응력분포도

아치 교차부 및 지점부에 대한 해석결과, 부재별 최대 및 최소응력은 표 2와 같다.

4.6 피로응력 검토

본 교량은 철도교로 활하중 영향에 따른 응력변동이 큰 구조물이므로 엄밀한 피로응력 검토를 수행하고 피로저항이 최대화될 수 있도록 세부 상세를 보완하였다. 예컨대, 수직보강재 위치마다 수평보강재를 단속시켜 배치하는 경우 수평

보강재의 필렛용접끝에서 끝돌림용접으로 피로강도가 저하되므로, 수직보강재 및 splice부위를 관통하여 수평보강재를 연속 배치하므로써 필렛용접이 단속되지 않아 피로강도가 증가토록 계획하였다.

주요 각 부위별 피로응력 집계는 표 3과 같다.

4.7 동적내풍해석

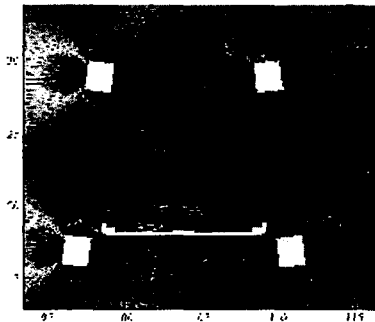
본 교량에서의 풍하중에 대한 구조적 안정성을 판단하기 위해 바람에 대한 유동장 해석을 통해

표 2 부재별 최대 및 최소응력

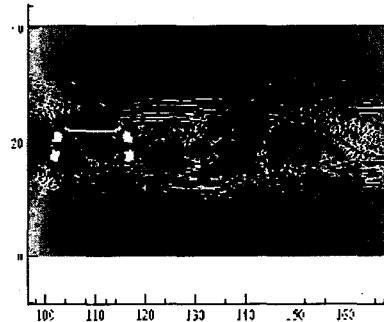
위 치		최대응력(kgf/cm ²)	최소응력(kgf/cm ²)
TIE GIRDER	UPPER FLANGE	1073.0	539.6
	LOWER FLANGE	-1171.5	-119.9
ARCH RIB		-1404.9	-189.4
지 점 보 강 재		-1463.3	-198.1
HANGER		1397.6	698.6

표 3 주요 각 부위별 피로응력 집계

구 분		축력에 의한 최대응력 (kgf/cm ²)	축력에 의한 최소응력 (kgf/cm ²)	모멘트에 의한 최대응력 (kgf/cm ²)	모멘트에 의한 최소응력 (kgf/cm ²)	응력 범위 (kgf/cm ²)	허용 범위 (kgf/cm ²)	비고
ARCH RIB	1 경간중앙	60.265	-99.625	276.866	-70.954	507.711	1120.0	
	중간지점부	11.819	-64.883	-11.450	-249.494	314.746	1120.0	
	2 경간중앙	4.285	-144.386	135.311	-47.824	331.806	1120.0	
TIE GIRDER	1 경간중앙	103.208	-23.807	134.049	-65.888	326.953	1120.0	
	중간지점부	70.959	-8.430	-10.443	-165.518	234.465	1120.0	
	2 경간중앙	111.081	1.237	168.079	-47.095	325.018	1120.0	
S.T BOX GIRDER	일 반 부	-	-	19.847	-406.217	426.064	1120.0	
	다이아프램	-	-	418.321	-31.707	450.029	1120.0	
FLOOR BEAM	교 각 부	-	-	668.965	9.888	659.077	1120.0	
	일 반 부	-	-	509.379	8.576	500.803	1120.0	
가로보	-	-	-	53.390	-373.750	427.130	1120.0	
행 거	-	143.720	0.972	2.739	-0.085	145.573	1120.0	



(a) 아치교 중앙경간



(b) 아치교 측경간

그림 8 단면별 풍하중 유동장 해석

하중을 산정하였으며, 시간이 경과함에 따라 와류 진동현상을 유발할 수 있으므로 비정상 해석을 수행하여 교량해석에 반영하였다.

각 부위별로 유동장 해석에 따른 풍하중은 표 4와 같다.

4.8 장대레일에 의한 종하중 검토

고정단 교각에서 장대레일 종하중이 약330tonf로 시방서에 규정된 400tonf(=200tonf/궤도×복선)보다 작으므로 구조적으로 안전성이 확보된 것으로 판단되었다.

표 4 각 부위별 유동장 해석에 따른 풍하중

구 분	기준풍속 (m/sec)	공기력 계수	작 용 력 (kgf/m)		비 고
			수평방향	수직방향	
아치교 중앙경간	40.0	CD=0.480, DL=-0.168	1457.0	804.0	와류진동 St=0.7991
아치교 측경간	40.0	CD=0.4713, DL=-0.0049	1505.0	15.0	

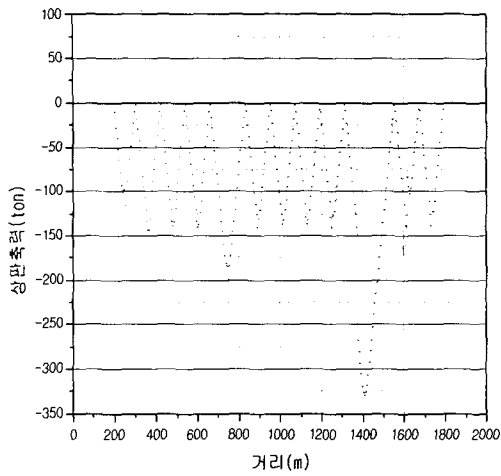


그림 9 장대레일 종하중 분포도

5. 가설공법 개요

교량의 가설공법은 가교현장의 수심, 지반, 환경조건 및 장비진입여건을 고려하여 시공가능한 공법으로 계획하여야 한다. 본 교량은 상수원 보호구역에 위치할 뿐만 아니라 남이섬등 관광지 인근에 위치하여 공사용 가도축조에 따른 수질오염을 억제하기 위해 발파사석을 축조재료로 사용하고 하류에 오탁방지막(silt protector)을 설치하는 것으로 계획하였다.

상부아치의 가설은 가도상에서 가Bent를 설치한 후 대형육상크레인을 사용하여 대블럭으로 가설하는 것으로 계획하였다.

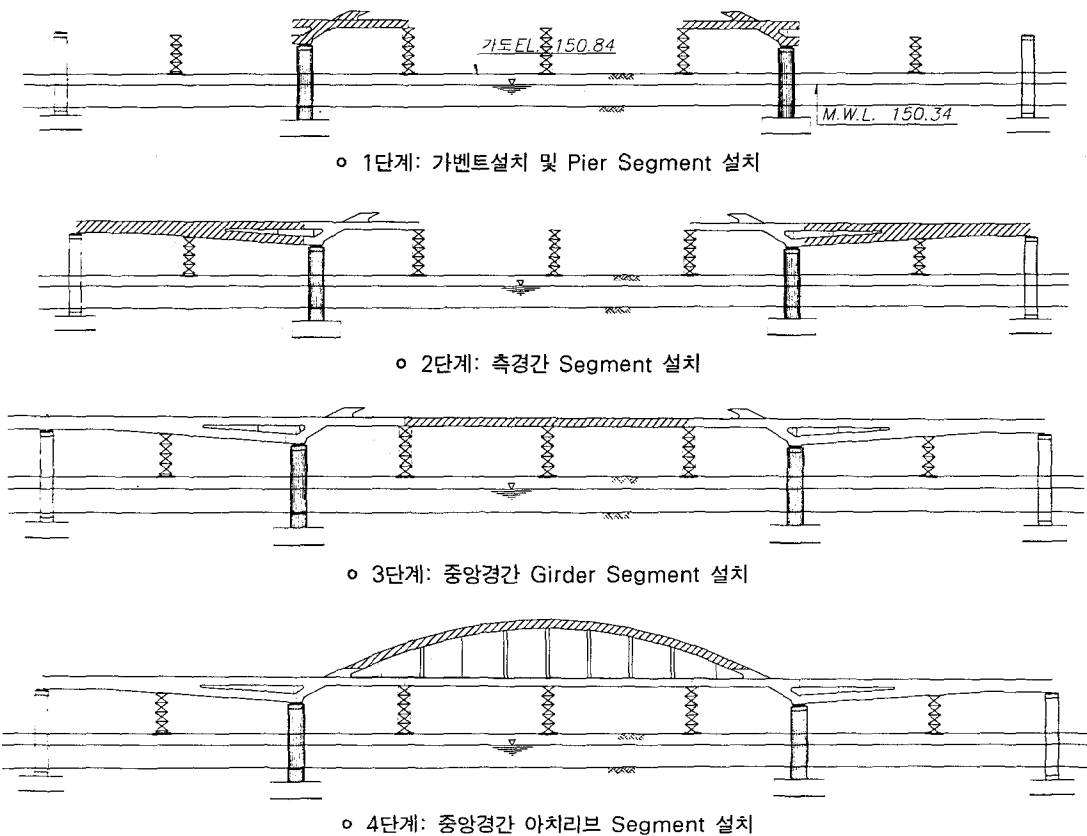


그림 10 아치교 가설 순서

6. 결 언

경관이 수려한 관광지에 위치하며 북한강을 횡단하는 가평교는 철도교로서 최장경간의 3경간 중로아치교이며, 특히 아치리브를 경사지게 배치시킨 basket-handle type으로 경춘선 철도의 상징적인 구조물이 될 수 있도록 우리 설계팀은 혼신의 노력을 다하였다.

본 고에서는 가평교중 아치교 부분에 대한 구조계획, 구조설계, 가설공법을 개략적으로 기술하였으며, 지면관계상 하부공의 설계, 세굴대책, 내진해석, 교량부대공등에 대한 내용을 생략하였다.

가평교가 국내 교량기술의 발전에 보탬이 되기를 기대하며 앞으로 시공과정에서도 철저한 시공관리와 기술검토를 통하여 아름다운 교량작품으로 건설될 수 있도록 노력하고자 한다. 