

무바닥판 콘크리트 아치교의 설계사례

- Design Example of Deckless Concrete Arch Bridge -



김용훈*

Kim, Yong Hoon



김씨동**

Kim, See Dong



정승훈***

Chung, Soung Hoon

1. 현황 설명

무바닥판 콘크리트 아치교로 계획된 전북교는 고속국도 45호선 중부내륙고속도로(여주~양평간) 건설공사(2-2 공구) 구간중 경기도 여주군 금사면 금사리에서 양평군 강상면 송학리를 연결하는 연장 7.200 km의 왕복 4차로 신설고속도로내의 교량으로 전북리 단박골과 산순이골의 마을진입로와 용수로를 횡단하며 가설위치의 지형적 현황은 종점부 교대부가 급경사 지형에 위치하고 전반적으로 얇은 협곡의 구릉형상을 이루고 있다.

전북리 윗마을과 아랫마을 사이를 고속도로가 통과함에 따라 소음 및 진동 등 주민생활환경피해의 최소화가 우선적으로 요구되었으며, 구조적 안정성뿐만 아니라 우수한 미관, 친환경성 및 유지관리 측면에서 유리한 형식의 교량선정이 필요하였다.

2. 교량계획

2.1 교량설계조건

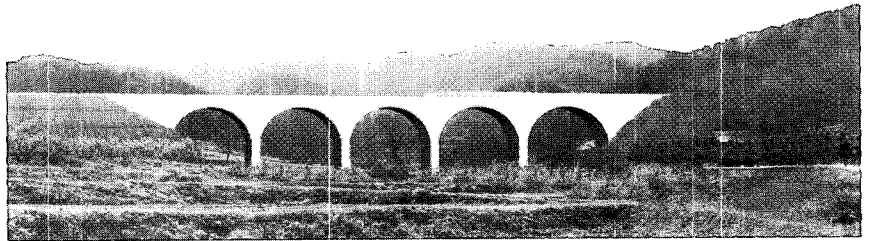


그림 1. 전북교 준공시 예상 전경

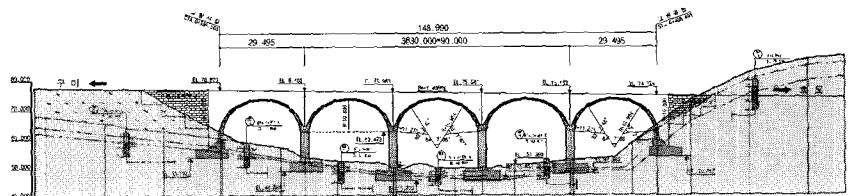


그림 2 종단면도

- 도로규격 : 고속도로/4차로
(B = 23.4 m)
- 설계활하중 : DB24, DL24
- 교량연장 : L = 148.990 m
(29.495 + 3@30 + 29.495)
- 교량폭원구성 : B = 24.640 m
- 교량선형 : 직선
종단 - S = -1.4066 %
- 구조형식
상부공 : 무바닥판 콘크리트 아치교
기초공 : 직접기초

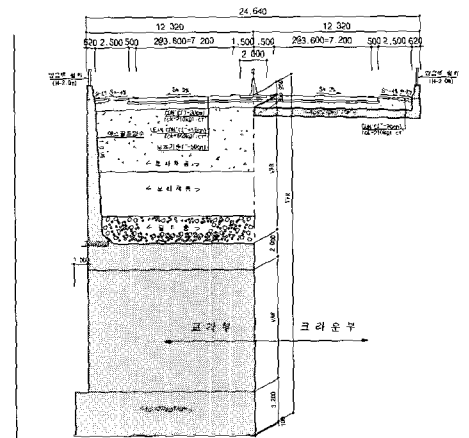


그림 3. 종단면도

* 정회원, (주)동일기술공사 구조부 부사장

** (주)동일기술공사 구조부 상무

*** (주)동일기술공사 구조부 부장

2.2 교량형식 선정

전북교의 교량형식 선정에는 가설위치의 현황파악, 관련자료 및 기준설정, 현황조사, 시공성 검토 등을 수행하여 교량 구조물 형식을 비교 검토한 후 교량 형식을 선정하였다.

가설 교량의 교량형식 선정시의 주요 기본 방향은 다음과 같다.

- ① 소음 및 진동 등 주민생활환경피해 최소화
- ② 주변 환경조건과의 조화 및 교량자체의 미적 조형미 추구
- ③ 안정성, 시공성, 경제성 및 시공 후 기능성에 대한 균형 있는 계획
- ④ 운영 및 유지관리 비용절감 및 관리 편의성 도모
- ⑤ 승차감 및 주행성을 위한 이음부의 최소화 등을 토대로 형식 비교하였다.

P.S.C Beam 교, 강상자형교 등의 일반적인 거더형식 교량은 신축이음 및 교량받침의 설치로 소음발생 및 차량의 주행성 저하, 유지관리비용 증가 등으로 전북교의 현황에 적합하지 않아, 아치곡선으로 미관이 수려하고 무조인트로 인하여 소음발생 저감과 주행성 및 내구성이 우수한 무바닥판 콘크리트 아치교로 선정하였다.

2.3 무바닥판 콘크리트 아치교의 특징

2.3.1 설계 적용성 분석

1) 지역, 지형 및 시공성

교량 가설위치의 지형이 경관적 측면에서 우수한 교량형식이 요구되며 주변환경이 주거지역 등으로 소음, 진동에 따른 인근주민의 생활환경 피해의 최소화가 요구되는 곳에 적합하다.

시공성은 거푸집 및 동바리 가설이 필요하므로 교통량이 많은 곳을 횡단하는데는 불리하고 곡선구간 및 사각이 큰 곳은 가설이 부적당하다.

2) 형하고 및 시간장

형하고는 시공성 및 경제성을 고려하여 30m 이내로 제한하는 것이 바람직하며 시간장은 일본의 경우 연속아치교에서 최대 시간장이 36.5m이나 일반적으로 20~30m로 구성되어 있어 적정시간장은 20~30m가 경제적으로 적당하다고 판단된다.

3) 교량연장

〈그림 4〉와 같이 온도 및 건조수축에 의한 거동이 아치리브가 상·하방향으로 움직이는 아코디언 효과로 흡수하므로 시공상의 문제가 없다면 교량연장이 길어도 균열제어 대책이 수립된다면 구조적인 문제가 없을 것으로 판단된다.

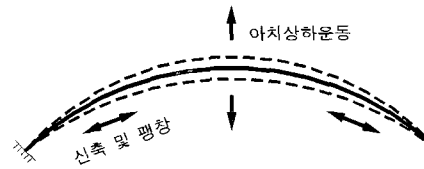


그림 4. 아치리브의 상하운동

2.3.2 주요특성분석

주요 유지관리 및 보수대상인 신축이음 장치 및 교량받침을 사용하지 않고, 하자의 주요요인인 바닥판을 배제한 형식으로 아치리브의 양측단에 강결된 측벽을 설치하고 그 내부에 토사 또는 채움재를 채운 교량형식으로서 장점과 단점은 다음과 같다.

- 장 점

- ① 고전적 이미지로 미학적으로 우수
- ② 고정하중 작용시 전단면 압축상태로 내구성 증가

- ③ 내부 채움재에 의한 활하중 분산효과
- ④ 아치작용에 의해 건조수축에 의한 초기균열제어 가능
- ⑤ 받침, 신축장치 및 바닥판이 없어 유지관리유리
- ⑥ 무소음, 무진동으로 환경측면에서 유리

- 단 점

- ① 아치리브와 측벽 및 하부공이 일체화 되어 온도 및 건조수축에 의한 균열 우려
- ② 거더교에 비해 시공성 다소 불량
- ③ 채움재 충당집시 정밀시공 요구
- ④ 형하고가 높을 경우 단면과다소요 등이 있다.

2.4 국·내외 시공사례

무바닥판 콘크리트 아치교는 국내의 고속도로상의 시공사례는 없지만, 〈표 1〉에서 보는 바와 같이 지방국도 등에 몇몇 시공사례가 있으며, 일본의 경우 〈표 2〉에서 처럼 1980년대 이후 다수의 교량이 시공되어져 있다.

3. 구조설계

3.1 주요검토사항

3.1.1 구조적 기하형상

1) 시간장

무바닥판 콘크리트 아치교는 고정하중에 의해 지배 구조물이므로 시간이 길어질

표 1. 무바닥판 아치교 국내 시공 사례

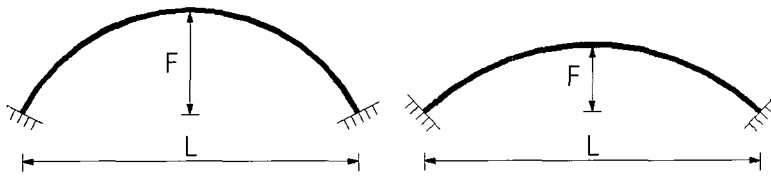
교량명	위치	교량 및 시간	발주청
신리하교	강릉시 주문진읍 교향리	L = 6@30 = 180.0 m, B = 12.0 m	강릉시
화진포교	고성군 거진읍 화포리	L = 3@20 = 60.0 m, B = 12.0 m	고성군청
미락교	정선군 임계면 낙천2리	L = 1@32 = 32.0 m, B = 7.0 m	정선군청
농거리교	횡성군 청일면 유동리	L = 3@22.7 = 68.1 m, B = 7.5 m	횡성군청

표 2. 무바닥판 아치교 해외(일본) 시공 사례

교량명	경간수	스팬(m)	라이즈(m)	라이즈/스팬	폭원(m)	총연장(m)
村木川橋	9	23.00	10.80	1/2.13	10.50	205.0
白岳제1橋	2	34.51	12.86	1/2.68	10.15	70.0
春木川橋	1	21.16	10.45	1/2.02	22.00	22.0
山立橋	9	20.00	9.40	1/2.13	21.40	178.0

표 3. 단심원과 삼심원 비교

구분	단심원	삼심원
개요도		
특징	<ul style="list-style-type: none"> 거푸집 제작이 간단 교각 스프링잉부의 협착부 폭이 삼심원에 비해 커 내진측면 다소 불리 미관 양호 	<ul style="list-style-type: none"> 거푸집 제작이 복잡 교각 스프링잉부의 협착부 폭이 작아 내진상 다소 유리 미관 보통



(a) 큰 경우(1/2~1/3) (b) 작은 경우(1/4~1/5)

그림 5. 라이즈/스팬비(F/L)

표 4. 교각두께별 단면검토

구분	교각 두께	M_u (tonf·m)	ϕM_n (tonf·m)	P_u (tonf)	ϕP_n (tonf)	$M_u/\phi M_n \times 100$
교각 3	3.2 m	1382.6	1814.2	514.7	675.4	76 %
	3.0 m	1382.6	1607.7	514.7	598.5	86 %
	2.8 m	1382.6	1416.0	514.7	527.2	98 %
교각 2	3.2 m	1346.5	1837.8	538.8	735.4	73 %
	3.0 m	1346.5	1610.0	538.8	644.2	34 %
	2.8 m	1346.5	1402.0	538.8	561.0	96 %

수록 단면이 과대하게 되어 경제성이 저하되며, 구조물의 형상이 둔탁하게 되는 경향이 있다. 국내·외 시공사례의 경우 일반적으로 20 ~ 30 m의 지간이 대부분이다. 경제성 측면과 개방성을 고려하여 30 m 지간을 갖는 5경간 연속아치교로 선정하였다.

2) 아치형상

포물선형상은 구조적으로 유리하나 형상

이 복잡하여 거푸집 제작이 어려워 적용성이 떨어지며, 단심원은 채움재의 체적 증가로 내진측면에서 다소 불리하다. 따라서, 아치형상은 단심원 및 포물선에 비해 스프링잉부의 폭과 발생하는 모멘트가 작아 내진에 유리하며 보다 경제적인 단면으로 설계할 수 있는 삼심원을 설계 적용하였다.

3) 라이즈/스팬비

일본의 경우, 형하고가 높은 연속교의

경우 1/2 ~ 1/3 사이로 적용하고 있으며 형하고가 낮거나 장지간의 단경간교에서는 1/3 ~ 1/4사이에서 주로 적용되고 있다. 전복교에서는 지형과 형하공간의 현황에 맞게 미관 및 구조특성을 고려하여 1/2.5의 라이즈/스팬비를 선정하여 외적 미관 및 경제성을 고려하여 설계 반영하였다.

4) 교각단면결정

교각 단면은 지진력에 의해 좌우되는 것으로 나타났으며, 교각의 최적단면을 결정하기 위해 <표 4>에서 보는 바와 같이 교각의 두께를 3.2 m, 3.0 m, 2.8 m 3가지로 가정하고, 주철근은 작업성 등을 고려하여 H29-2단 배근을 기본으로 하여 단면을 검토한 결과 3.2 m인 경우 $M_u/\phi M_n$ 비율이 약 73 ~ 79%로 다소 여유 있는 단면으로 나타났으며, 2.8 m인 경우 약 96 ~ 98%로 여유치가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 약 84 ~ 86% 정도로 경제적이며 구조안정성을 확보한 단면으로 교각 두께 3.0 m를 전복교의 교각 두께로 결정하였다.

3.1.2 내부 채움재

무바닥판 콘크리트 아치교의 특성상, 내부를 채움재로 채우고 그 위에 포장을 부설하는 구조이므로 이러한 조건에 적합한 내부 채움재의 선정이 중요하며 내부 채움재의 조건으로는 다음과 같은 것이 바람직하다.

- ① 침하량이 작은 재료
- ② 아치의 변형에 순응성이 좋은 재료
- ③ 배수성이 좋은 재료
- ④ 성토 및 시공관리가 용이한 것이 바람직 하다.

일본의 경우 유동화 처리토 등을 적용하고 있으나, 국내에서는 연구실적 및 배합기준이 정립되지 않아 구체적 기준 수립 후 적용하는 것이 바람직하여 전복교에서는 <표 5>와 같이 비교검토 한 후 시공성, 경제성, 침하방지 등에 유리한 모래 + 토사채움공법을 적용하였다.

표 5. 내부 채움재 비교

구분	스크리닝스	모래+토사
단면도		
시공성	<ul style="list-style-type: none"> 랩머, 펌프 이용한 중다짐 5 mm 이하의 잔골재 사용 	<ul style="list-style-type: none"> 협착부 토사량>모래량 물다짐에 의한 다짐실시
특징	<ul style="list-style-type: none"> 협착부 다짐, 자재수급 불리 뒷채움부 배수 양호 교각단면 증가 경제성 유리 	<ul style="list-style-type: none"> 협착부 다짐에 유리 뒷채움부 배수 양호 경제성 유리 다짐에 필요한 인력감소

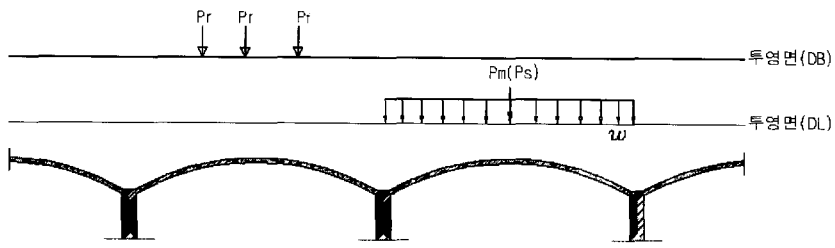


그림 6. 활하중 재하 위치

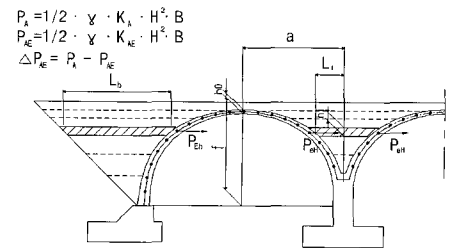


그림 7. 지진시 수평하중 재하상태

구분	측벽	아치리브
개념도		
개요	교각 스프링잉부에 신축줄눈을 설치하고 6m 진후 간격으로 수축줄눈 설치 계획	기초 및 교각부와 아치리브에 신축줄눈을 설치하는 것으로 계획

구조로서 지진시 내진 저항력이 크다. 지진하중에 의한 구체의 단면력은 복합모드 스펙트럼 해석법으로 적용하였고, 채움재에 의한 관성력은 <그림 7>과 같이 지진시 토압계수를 적용하여 정적하중과 동적하중을 나누어 아치리브에 축압으로 작용하도록 설계 반영하였다.

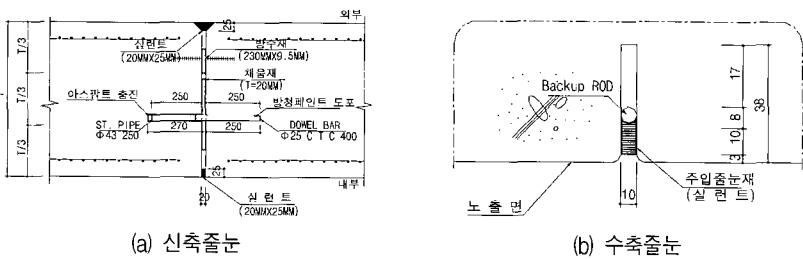


그림 8. 줄눈 상세

3.1.5 균열제어

다경간 연속에 따른 고차부정정 구조물로 구성되어 있고, 동시에 아치리브와 측벽이 강결되어 상호간의 거동을 구속하고 있으므로, 구조적 거동이 복잡하고 온도신축 및 건조수축에 의한 균열발생의 가능성이 크므로 외부구속도 완화를 위하여 <그림 8>과 같이 신축 및 수축줄눈을 설치하였다.

3.1.3 활하중재하

일반 교량형식과는 달리 내부토사에 의해 활하중이 분산되어 내구성에 유리한 장점이 있는 반면 토피고가 위치에 따라 변화하므로 활하중의 분산효과에 대해 명확한 수치적 접근이 불가능하여 <그림 6>과 같이 아치리브의 투영면을 기준으로 활하중을 직접 재하하였다.

3.1.4 내진설계

일반적인 다경간 연속라멘교와 비교해 해석방법은 이론상 큰 차이는 없으며, 중복식 구조로서 내부 채움재에 의한 관성력이 추가된다. 따라서, 형고가 높을수록 지진하중이 교각단면설계에 지배적으로 작용되므로 내부 채움재의 경량화가 필히 요구되며, 라멘구조 형식은 고차 부정정 연속

3.1.6 가설공법

형하고가 높고 품질확보, 시공성 향상 및 하부도로 통행을 원활하게 하기 위하여 <표 6>과 같이 가설 공법을 비교하여 시스템 거푸집을 적용하였다.

3.1.7 배수처리

교면배수는 토사 및 모래를 이용한 층

표 6. 가설공법 비교

구분	지주지지식	시스템 거푸집
개요도		
적용성	<ul style="list-style-type: none"> · 형하고 15m 이상 · 지반조건이 양호한 구간 · 지반조건이 불량한 경우 별도 보강후 처리 · 통과차량이 있는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> · 형하고와 무관 · 지반조건에 상관없이 적용 가능 · Moving System 설치 필요 · 통과차량이 없는 경우

그림 9. 배수처리 상세

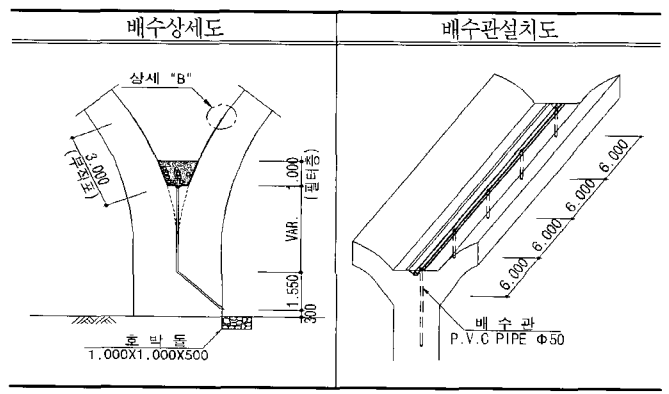
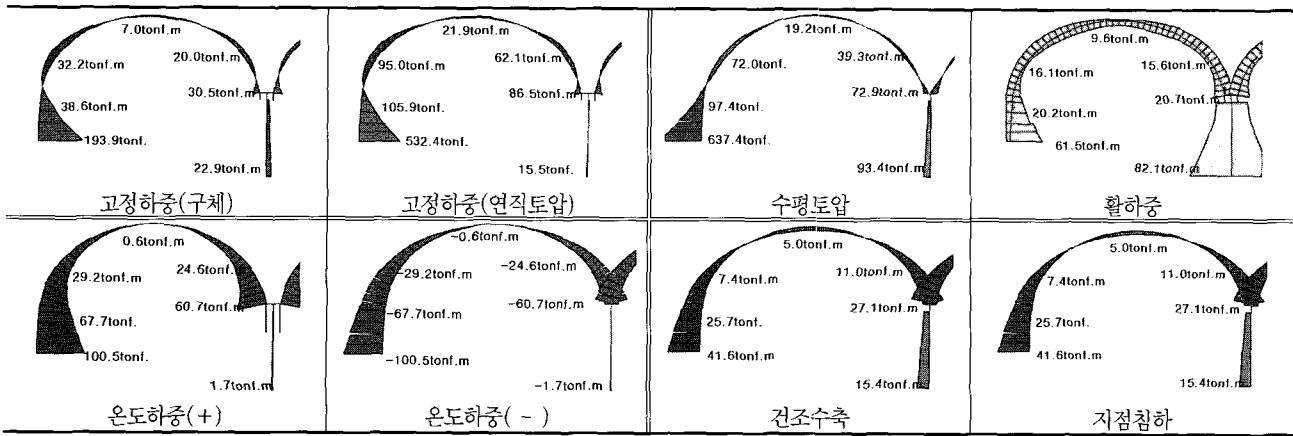


그림 10. 하중별 해석결과 및 모멘트



복식 구조이므로 토공부와 유사한 방식인 배수축구를 사용하였고, 침투수에 의한 내부배수는 <그림 9>와 같이 아치 스프링잉 부에 배수용 쇠석을 채우고 교각내에 종배수관을 설치하여 외부로 배수처리 하였고 미관을 고려하여 교각내로 배수관을 설치하였다.

3.2 구조해석

3.2.1 일반해석

일반적인 연속지중라멘과 동일한 방법의 풀구조로 해석, 미국 CSI사의 SAP 2000을 이용하여 수행하였으며 하중별 해석결과와 모멘트는 <그림 10>와 같다.

3.2.2 내진해석

본 교량은 5경간 연속아치교로서 상·하부가 강결로 연결되어 모든 교각으로 단면력이 분배되므로 내진에 유리한 구조이지만, 형하고가 20 ~ 30m로 비교적 높은 전복교는 관성력의 작용위치가 높아 교각 단면 설계시 지배적인 하중으로 나타났다.

3.2.3 단면결정

일반해석과 내진해석을 통해 발생된 단면력을 조합하여 <그림 11>과 같은 주요 단면 위치를, <표 7>과 같은 부재 두께와 철근량으로 설계하였다.

3.2.4 측벽해석

일반적인 날개벽과 달리 곡선형상의 아

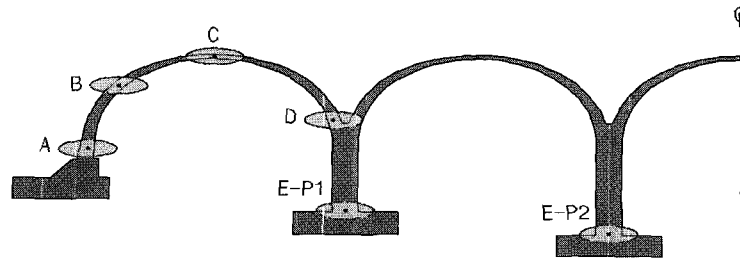


그림 11. 주요 검토위치

표 7. 아치 위치별 단면력 및 사용철근량

위치	M_u (tonf · m)	P_u (tonf)	ϕM_n (tonf · m)	ϕP_n (tonf)	부재두께 (cm)	사용철근	
A	568.6	-362.6	736.1	454.9	180	H29@125 + H25@125	
B	-212.8	-198.9	312.8	292.5	126	H29@125	
C	55.2	-112.5	88.2	179.8	60	H25@125	
D	284.3	-313.4	542.0	597.4	145	H29@125 + H22@250	
E	P1	1043.2	-538.4	1582.8	816.8	300	H29@125 + H19@125
	P2	1346.5	-538.8	1670.4	668.4	300	H29@125 + H29@125
	P3	1382.6	-514.7	1607.7	598.5	300	H29@125 + H29@125
	P4	1164.7	-469.3	1431.7	576.9	300	H29@125 + H22@125

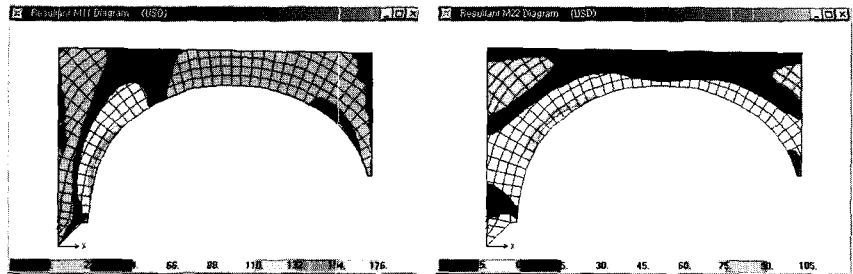


그림 12. 측벽 모멘트도

표 8. 측벽 위치별 단면력 및 사용철근량

위 치	M_u (tonf · m)	S_u (tonf)	ϕM_n (tonf · m)	ϕS_n (tonf)	부재두께 (cm)	사용철근
교대부	191.5	69.7	208.4	97.0	110	H32@125
교각부	70.7	26.6	112.3	59.2	93	H25@125
크라운부	53.6	21.8	75.1	51.6	82	H22@125

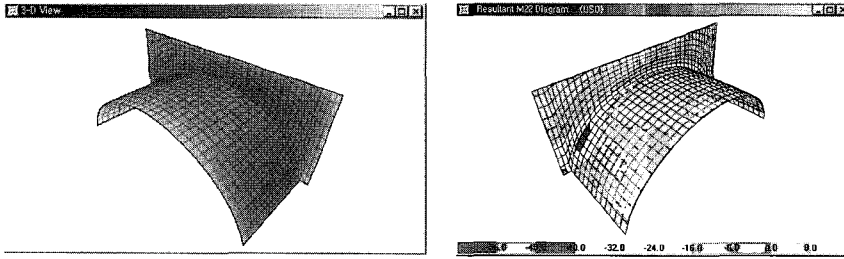


그림 13. 모델링 및 모멘트도

표 9. 위치별 단면력 비교

위 치	2차원해석		3차원해석	
	M_u (tonf · m)	P_u (tonf)	M_u (tonf · m)	P_u (tonf)
스프링잉부	210.5	313.1	148.8	368.2
중 간 부	126.6	316.4	62.5	289.1
크라운부	49.7	187.1	14.4	215.7
측 벽	70.7	-	59.2	-

치리브와 접하게 되는 측벽을 설계하기 위하여 판요소를 이용, <그림 12>와 같은 실제형상과 동일하게 모델링하고 자중, 토압, 활하중, 풍하중(방음벽설치)을 고려하여 해석하였다.

3.2.5 아치리브와 측벽 3차원 해석

아치리브에 미치는 측벽토압의 영향을 검토하기 위하여 <그림 13>과 같이 측벽과 아치리브의 3차원 판해석을 실시하였다. 해석의 편의를 위하여 아치의 1경간을

모델링하였으며, 자중, 토압, 활하중을 재하하여 <표 9>와 같이 2차원 해석결과와 비교하였다.

아치리브 외측에 위치하는 측벽의 높이가 높아 구조물의 종방향 강성이 증대되어 구조적으로 유리하며, 측벽부 또한 아치리브와 접하는 경계면을 고정점으로 가정한 2차원해석에 비해 작은 모멘트가 발생되므로 기존 2차원해석으로 산출된 철근량으로도 충분한 안전성을 갖는 것으로 나타났고, 측벽과 아치의 접하는 면에 측벽 주철

근과 동일한 철근량의 가외철근을 배근하여 단면의 안전성을 확보하였다.

4. 맺음말

무바닥판 콘크리트 아치교 형식은 신축 장치 및 교량받침을 사용하지 않아 진동 및 소음 등으로 주변생활환경에 영향을 미치지 않으며, 유지관리 및 보수의 주된 대상인 바닥판이 배제된 형식으로 아치리브의 곡선미로 미학적으로도 매우 우수한 강점을 갖고 있어 향후 내부채움재에 대한 구체적인 기준이 확립되면 보다 경제적이며 아름다운 교량구조물로서 설계 및 시공이 이루어지리라 생각된다. 또한, 앞으로 전복교의 설계 및 시공문제점을 보완하여 새로운 형식의 교량 구조물로서 완공되어 교량설계 및 발전에 밑거름이 되기를 바란다. □

참고문헌

1. 도로교 설계기준, 건설교통부, 2000.
2. 콘크리트 구조설계기준, 건설교통부, 2000.
3. 일본토목학회 논문집 제348호, V-1 1998. 8.
4. 설계실무자료집, 무바닥판 아치교의 적용, 한국도로공사, 2002. 11.