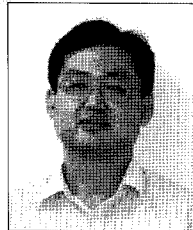
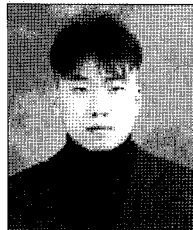


심곡4교 대안설계

Alternative Design of Simgok-4th Bridge



박종범*



이광민**



장승욱***



차철준****

*정회원 · 대림산업 토목사업부 차장
 **정회원 · 대림산업 특수교량팀 대리 공학박사
 ***모든엔지니어링 이사 공학석사
 ****정회원 · 한국시설안전기술공단 교량실 공학박사

1. 서론

심곡4교는 2012년에 시공완료 예정인 인천청라 경제자유구역(인천광역시 서구 연희동, 원창동 일원) 5공구 남단에 심곡천 횡단을 위해 시공되는 교량으로 이미 설계가 완료되어 2010년 말에 개통 예정인 경인직선화 고속도로 축도와 평면교차하도록 계획되어 있다. 한국토지공사에서 2006년 1월에 대안(대안공종: 토공, 연약지반공, 우수공, 교량공-심곡4교)으로 발주되어 2006년 5월에 대림산업주식회사 컨소시엄이 시공사로 선정되었다. 인천청라지구 토지이용계획상 본 교량의 인근에는 고급저층 주거단지과 첨단산업단지 및 심곡천 주변 근린공원 조성계획과 인근

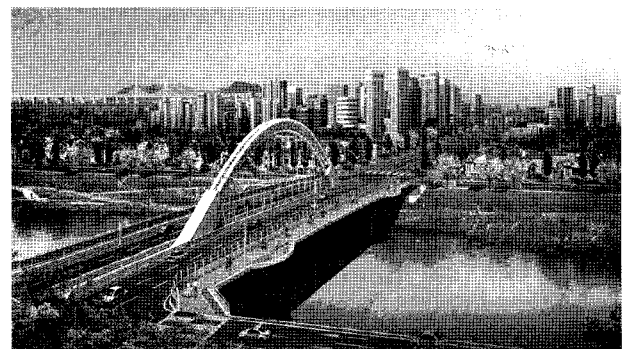


그림 2 심곡4교 전경

교량과의 조화성을 고려하여 미관이 수려한 교량을 창출하고자 국내유일의 3경간 Space Frame 아치교로 계획되었으며, 단지 내 교량으로 다양한 인간중심 요소와 향후 주운계획을 고려하여 설계하였다. 본 기사에서는 심곡4교의 설계 단계에서 검토하고 결정되었던 몇몇 사항에 대해 간략히 소개하고자 한다.

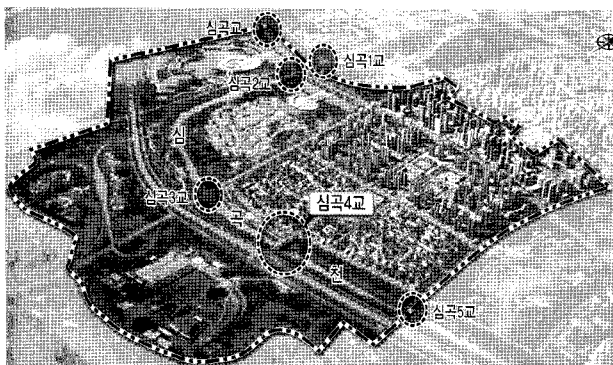


그림 1 인천청라 경제자유구역 5공구 조감도

2. 교량형식 및 설계조건

원안설계에서는 심곡4교 형식으로 총 연장 125.0m, 폭 31.0m(보도포함, 왕복 6차로)인 4경간 콘크리트 상로아치교로 설계하였으나 하천여유고 미확보 문제뿐만 아니라 교량계획고가 높아짐으로 인해 심곡4교와 평면교차 하는

경인직선화고속도로 원창1교의 다리밑 공간 확보를 위한 무리한 종단경사를 적용(26.8%)하여 인근도로와의 연계선이 매우 불량하므로 이에 대한 개선이 불가피하였다. 한편 교통량 수요예측결과 심곡4교의 교통량은 144대/hr로서 인근교량인 심곡3교와 5교의 교통량인 1,197대/hr와 2,322대/h 대비 매우 적으며, 전술한 바와같이 인근지역은 고급 저층 주거단지와 첨단산업단지 및 심곡천 주변근린공원 조성계획이 있어 교량으로서의 기능뿐만 아니라 단지내 교량으로 위압감 없는 안정된 형상의 교량이 심곡4교의 적정교량형식으로 판단되었다.

이에 본 설계에서는 강합성 하로아치교 형식을 고려하였다. 이와 같은 강합성 하로아치교를 적용함으로써 하천 여유고를 충분히 확보하면서도 계획고 하향조정이 가능하였고, 대칭인 3경간 및 주경간 장경간화를 측경간 형고를 최소화하여 종단경사개선(2.0%)과 향후 주운계획을 충분히 반영할 수 있도록 계획하였다. 이뿐 아니라 심곡4교는 적정 라이즈비와 3경간의 횡금배례의 대칭구조 적용으로 위압감완화와 심리적 안정감을 유도하여 인근주민이나 교량이용자에게 있어서 친인간 교량이 될 수 있도록 계획하였고, 국내유일의 Space Frame 아치교리브를 적용하여 미관적으로도 수려한 교량이 될 수 있도록 하였다.

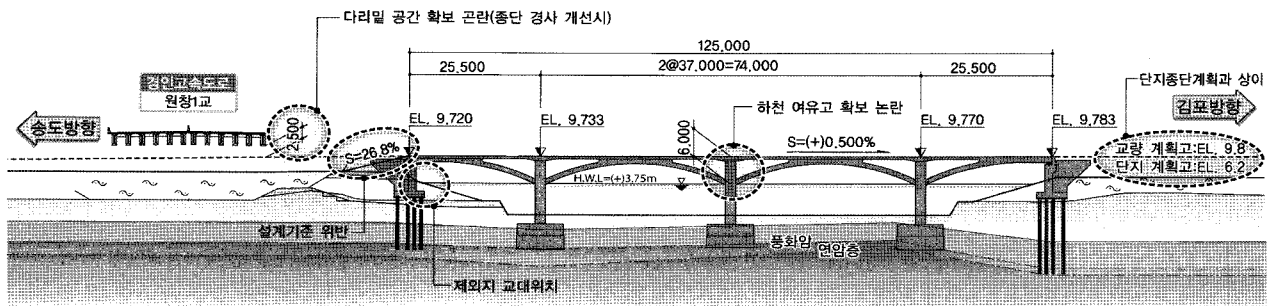
한편 원안설계에서는 교량연장부족으로 인해 교대벽체가

하천단면에 침범하므로 교량연장 2.5m를 연장한 127.5m (26.75m+75.0m+26.75m)를 적용하여 교대부 하천단면을 확보하였다. 이러한 심곡 4교의 체원과 설계조건은 표1과 같다. 표 1에 제시된 바와 같이 설계조건으로는 설계속도 60km/h, 설계활하중 DB24 및 DL24, 풍하중은 기본풍속으로 40m/sec, 지진하중은 내진1등급 및 지진구역 I로서 고려하였고, 청라지구는 매립지역임을 감안하여 염분농도조사 및 분포도를 작성하여 목표 내구년한 100년 이상을 확보하도록 하였다.

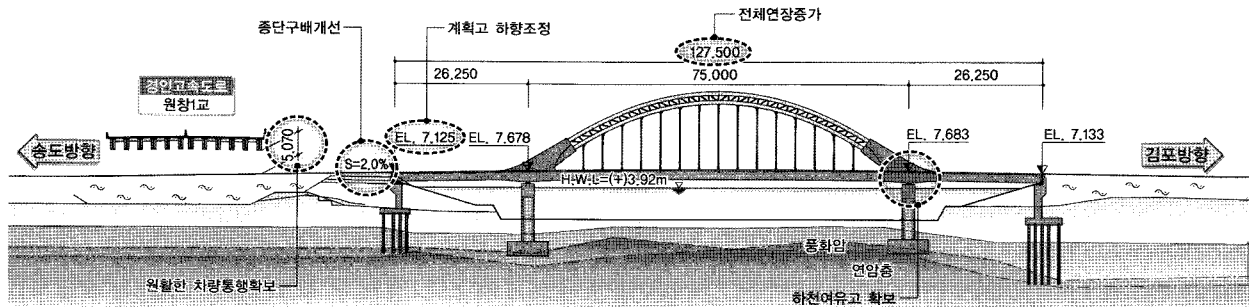
3. 부재설계 및 검토

심곡4교의 구조적 특징은 그림 4에 제시되어 있는데, 이중 가로보배치, 아치리브의 형식, 하부구조설계 등이 본 교량설계에서 주목할 만한 사항이다.

심곡4교는 연장(127.5m) 대비 폭(35.3m)이 넓고 1면의 아치가 적용되었기 때문에 보강형 횡분배를 위해 강성이 큰 가로보가 적용되었다. 이러한 경우 가로보는 일반 거더교의 가로보와 같이 단순한 부부재 개념이 아닌 아치리브, 보강형 등에 영향을 주는 주부재로서의 개념 고려될 수 있는 것으로 판단되었다. 따라서 가로보의 배치는 직각배치하여 보강형 횡분배가 명확하게 전달될 수 있도록 계획하였다.



(a) 원안 - 4경간 콘크리트 상로아치교



(b) 대안 - 3경간 강합성 하로아치교

그림 3 원안 및 대안의 교량형식

표 1 심곡4교 주요제원 및 설계조건

교량형식	강합성 하로아치교 (Space Frame아치리브)		케이블형식	PWS
연장	127.5m (26.75m+75.0m+26.75m)		설계속도	60km/h
폭 / 사각	35.3m (보도포함 왕복 6차로) / 80.8°		설계활하중	DB24, DL24
기초	교대	강관말뚝 (\varnothing 508-12t)	풍하중	$V_{10}=40\text{m/sec}$
	교각	직접기초	지진하중	내진1등급(I=1.4), 지진구역I(Z=0.11)
기설공법	가설벤트+크레인		내구년한	100년

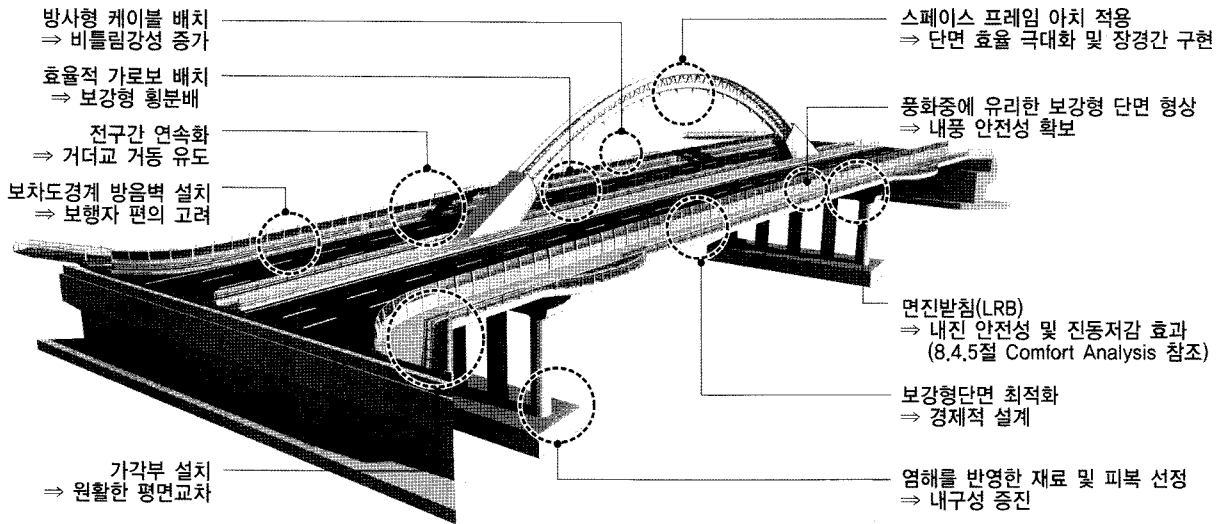
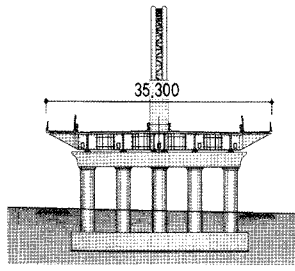


그림 4 심곡4교 부재설계 및 특징

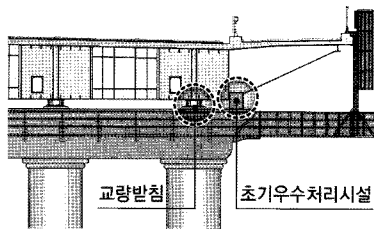
진술한 바와 같이 본 교량에는 향후 주운계획과 경인고속도로 측도 연결부의 계획고를 낮추기 위해 중앙지간 장경간화이 필요하며, 미관을 고려하여 Space Frame아치리브가 적용되었다. 이러한 기능적인면 이외에도 Space Frame 아치리브는 단면효율성이 높고, 아치단면이 적어 일반적인 원형단면보다는 시공 시 벤딩이 용이하다는 장점도 가지고 있다. 심곡4교에 아치리브는 고주파 벤딩이 적용되는 것으로 계획하였다.

원안설계와 같이 대안설계에서도 교대부는 말뚝기초, 교각부는 직접기초가 적용되었다. 교각의 형식은 미관과 내진안전성을 고려하여 다주형 교각이 적용되었으며, 교대의 말뚝은 운반 및 취급이 용이하고 수평력이 우수한 강관말뚝 기초를 사용하였다. 받침장치로는 비선형거동으로 지진에너지를 흡수하여 내진안정성 우수한 면진개념의 LRB가 적용되었다. 한편 인천청라지구는 매립지역으로 염분에 대한 내구성설계가 매우 주요한 사항이었다. 따라서 기존에 형식적인 분석을 지양하여 실제 염분분포를 조사하였고 이에 따라 하부구조의 피복두께와 말뚝의 부식

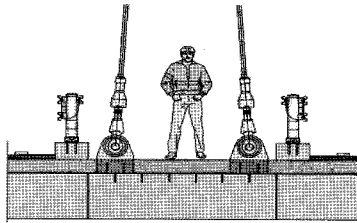
두께를 증가하여 설계에 반영하였다.

이외 본 교량에 적용된 부대시설은 경제적이면서도 교량의 성능을 극대화하고, 교량이용자 및 인근 주민들의 쾌적성 확보와 가설 및 유지보수시 하천의 환경피해 최소가 될 수 있는 형식을 적용하는 것을 기본원칙으로 하였다. 또한 다양한 상세해석을 적용하여 본 교량의 안정성을 검토하였다.

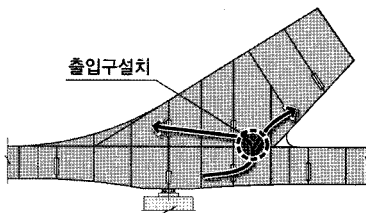
교량의 설계에 있어서 중요한 사항은 향후 유지관리를 고려한 설계가 되어야 한다는 점이다. 이러한 유지관리를 위해 본 심곡4교에는 다양한 사항들이 계획되어 있다. 본 교량에 적용된 주요 유지관리에 대한 고려사항은 그림 5에 제시되어 있다. 그림에 제시되어 있는 바와 같이 교량 받침 및 초기우수처리 시설 유지관리 작업공간확보를 위한 교각점검시설, 교량중앙부를 케이블 유지관리 공간으로 활용하기 위한 케이블 점검로, 보강형 내부를 통하여 접합부 접근하기 위한 아치접합부 출입구, 그리고 다양한 계측시설을 계획하였다.



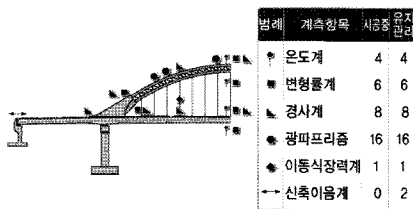
(a) 교각점검시설



(b) 케이블 점검로



(c) 아치접합부 출입구



(d) 계측시설

그림 5 심곡4교 유지관리 시설물

4. 인간중심의 교량계획

심곡4교는 단지내 교량으로 다양한 인간중심요소를 고려한 색채, 시설물계획과 사용성검토가 수행되었다. 심곡4교의 경관컨셉은 '감각이 살아있는 사람중심의 문화공간'으로 계획하였는데, 대부분의 아치교에 적용되는 전형적인 Red계열의 색채에서 탈피하여 주변공간과 조화롭고 경관컨셉을 더욱 부각시키기 위해 Pastel계열의 색채가 적용되었다.

본 교량에 적용된 친인간적 시설물로는 그림 6에 제시된 바와 같이 심곡천 수변공원과 갤러리를 감상하는 정적 문화공간과 일몰의 조망과 공연의 동적 문화공간을 위한 테라스가 보도부에 설치되었고, 근린공원 접근성 향상을 위한 접근계단 및 하천제방 활용한 장애우 경사로도 계획

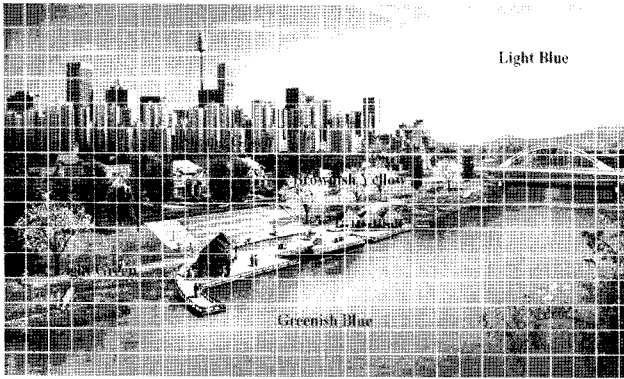
되었다. 이외에도 다양한 교량받침의 적용에 따른 보도부의 Comfort Analysis를 수행하여 보행자 진동사용성을 하였다. 다양한 차량의 속도에 대해 검토해 본 결과 일반받침을 사용한 경우에는 교량사용 중 불편감을 느낄 수 있는 수준에서 LRB받침을 사용하여 보행자의 진동사용성뿐 아니라 교량의 면진효과도 기대할 수 있었다. 또한 심곡4교는 고급스러운 투명 방음벽을 설치하여 교량이용자의 쾌적성과 차량으로 인한 위압감을 최소화할 수 있도록 하였다.

5. 가설계획

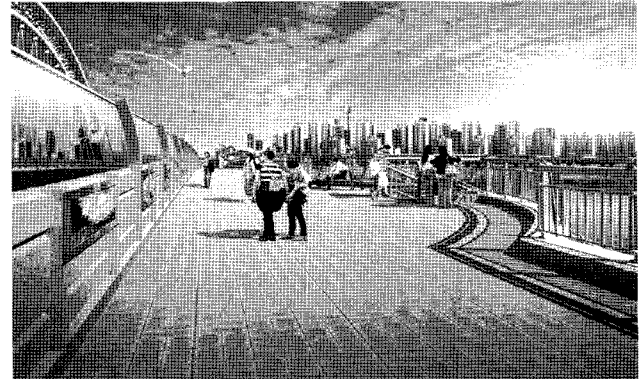
그림 5.1에 제시되어 있는 바와 같이 심곡4교 현장여건은 지방2급 하천인 심곡천이 횡단하고 있으며, 교대부에 연약층이 분포하고, 지표하 7.7m~16.0m에 기반암이 분포하는 것으로 조사되었다. 한편 교량의 시공에 있어서 고려되어야 할 사항으로는 하천우기를 피하기 위한 신속하고 간편한 가설공법, 안전성 확보가 용이한 상부가설, 그리고 단지조성과 연계한 효율적인 공사계획 수립이 필요하였다.

이러한 조건들과 경제성을 고려하여 본 교량의 가설시 하천횡단은 상류에 단지조성 공사용 가교를 이용하고 홍수량 산정을 통한 축도를 운영하는 것으로 하였다. 또한 상부구조의 시공방법으로는 시공시 안전을 위한 벤트 설치, 신속한 가설을 위해 보강형과 아치리브, 그리고 케이블 거치를 위해 대형 크레인을 사용하며, 현장타설 바닥판 시공으로 계획하였고, 하부구조는 측방유동에 대한 안전성을 확보하기 위해 연약층 치환공법과 지하수위를 고려한 Sheet Pile을 설치 후 기초를 시공하며 교각의 거푸집 운영횟수가 적으므로 합판거푸집을 활용하는 것으로 계획하였다. 이외에도 가설시 고려된 사항으로는 헌치부 생략으로 철근작업의 시공성을 개선하였고, 고주파 벤딩으로 단면의 변형 및 잔류응력이 없이 아치리브의 벤딩이 가능하도록 하였다. 또한 환경성을 고려하여 시공시 부유사 확산실험 및 오탐방지막 설치하는 것으로 계획하였다.

전술한 바와 같은 가설계획에 따른 심곡4교의 시공순서는 그림 9에 제시되어 있다. 그림과 같이 우선 축도설치 및 가물막이 시공한 뒤 기초 및 하부구조를 시공하고, 우기전 축도를 철거하여 통수단면을 확보 후 상부구조를 위한 축도와 가설벤트를 설치하고, 보강형과 아치리브를 거치한 뒤 케이블을 설치하고, 최종적으로 바닥판 타설하는 것으로 계획하였다.



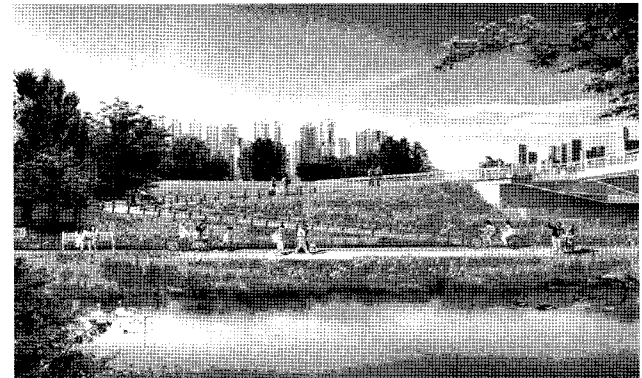
(a) 색체계획



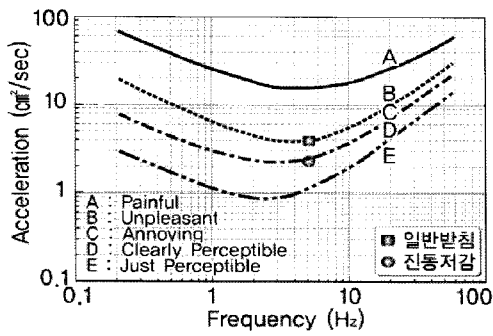
(b) 보도부 테라스설치



(c) 접근계단설치



(d) 장애우경사로 설치



(e) 보행자 진동사용성 검토



(f) 소음방음판 설치

그림 6 심곡4교에 적용된 친인간 시설물 및 사용성검토

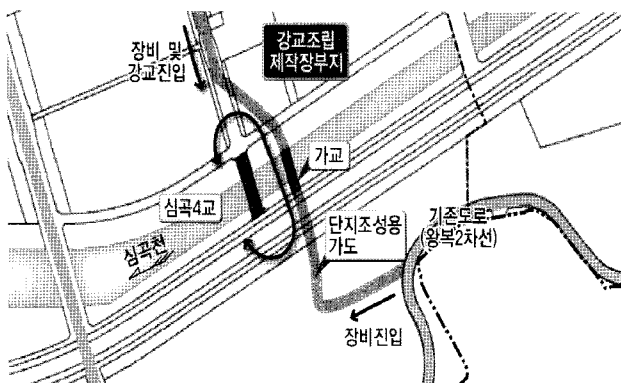


그림 7 심곡4교 현장여건

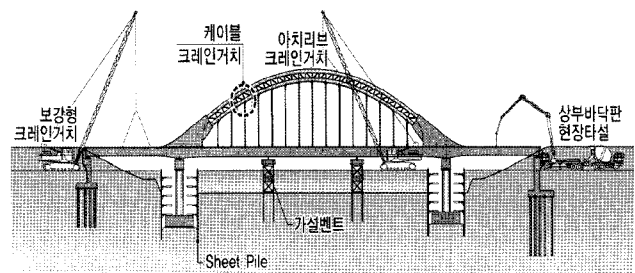
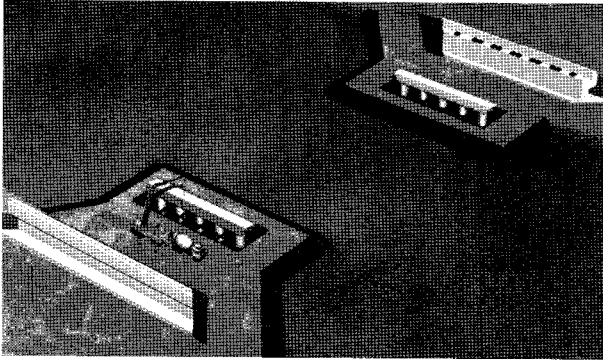
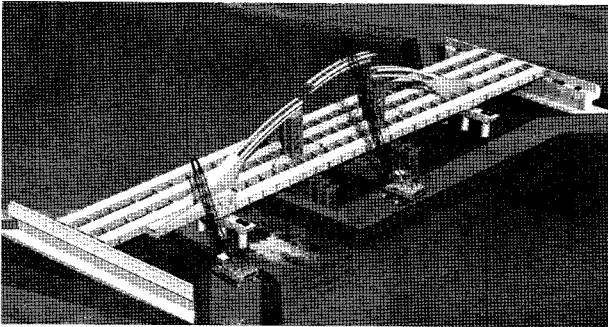


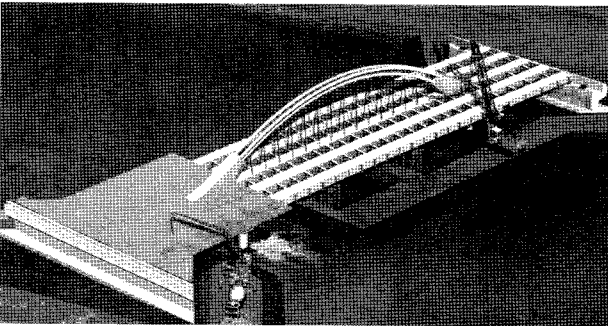
그림 8 상부 및 하부구조 가설공법



(a) 축도설치 및 기초시공



(b) 가설벤트설치 및 상부구조시공



(c) 케이블설치 및 콘크리트 타설

그림 9 심곡4교 가설순서

5. 결 론

심곡4교는 인근단지 및 심곡천 주변근린공원 조성계획과 향후 주운계획뿐만 아니라 인간중심적 요소를 더하여 3경간 강합성 하로 아치교로 계획되었으며, 아름다우면서 독창적인 교량으로 설계하기 위해 국내유일의 Space Frame 하로 아치교로 계획하였다. 대림산업의 다양한 시공경험 및 기술을 바탕으로 순조롭게 시공되어 인천청라 지구에 명소가 될 수 있을 것으로 기대해본다.

전술한 바와 같은 가설계획에 따른 심곡4교의 시공순서는 그림 9에 제시되어 있다. 그림과 같이 우선 축도설치 및 가물막이 시공한 뒤 기초 및 하부구조를 시공하고, 우기전 축도를 철거하여 통수단면을 확보 후 상부구조를 위한 축도와 가설벤트를 설치하고, 보강형과 아치리브를 거치 한 뒤 케이블을 설치하고, 최종적으로 바닥판 타설하는 것으로 계획하였다.

감사의 글

본 교량이 대안에 채택 될 때까지 동거동락을 같이한 모든 엔지니어링 임직원 여러분과 대림산업 임직원 여러분의 노력에 감사를 표합니다. 