

도심지 교차로의 콘크리트교 설계 사례

Design Example of Concrete Bridge in the Urban Area



김씨동*
See-Dong Kim



안승주**
Sung-Joo An



김태현***
Tae-Heon Kim



고상윤****
Sang-Yoon Ko

1. 개 요

최근 들어 도심지를 통과 하거나 우회하는 교량의 설계 및 시공이 증가하고 있다. 도심지 교량의 형식을 보면 주로 강상차형교가 많은 부분을 차지하고 있는데 이는 도심지내에서 급속시공이 가능하여 교통체증을 줄일 수 있으며 주형에 색채감 표현을 통하여 시각적으로 돋보이게 한다는 장점을 갖고 있다.

하지만 최근 들어 많은 문제가 발생하는 소음과 진동에 대해서는 취약점을 가지고 있다. 더욱이 도심지내의 I.C교량은 그 기하구조가 복잡하며 도심의 관문으로서의 많은 교통량을 소화할 수 있는 기능성과 상징성을 고려해야 할 필요성을 갖고 있다. 도심지 인근 교차로인 신부 I.C는 <그림 2>와 같이 도로의 전방향 소통이 원활하고 소음과 진동에 유리하며, 친환경성 및 유지관리 측면에서 유리하고 주변환경과 조화로우며 지역 주민들과 어우러지는 교량계획이 수립되어야 한다.

2. 도심지 I.C 교량 설계

2.1 도심지 통과 교량이 갖추어야 할 조건

도심지를 통과하는 교량을 설계할 때, 가설위치의 특수한 현황과 제약조건들이 있을 수 있어 여러 가지 특성 및 주안점을 검토하여 설계하여야 한다.

2.1.1 도심지 인터체인지의 특성

- ① 도시의 관문이나 시발점등 상징적인 역할
- ② 좁은공간에 I.C가 계획되므로 운전자의 시각적인 혼란에 따른 경로 찾기의 난이성
- ③ I.C 인근의 빌딩들이 I.C 교량의 배경으로 고가교량은 부정적인 이미지를 연출하므로 이를 방지하기 위해 시각적인 질서 및 시선의 투명성을 확보하기 위한 교량의 상하부 계획 필요
- ④ I.C의 하부 공간은 쓰레기 투기등으로 인한 슬럼화의 방지 및 인접 토지를 연결하는 공간으로 활용하기 위한 하부 이용계획 등이 필요하다.



그림 1. 신부 I.C 조감도

* 동일기술공사 상무(praha7777@daum.net)

** 동일기술공사 부장

*** 동일기술공사 과장

**** 동일기술공사 대리

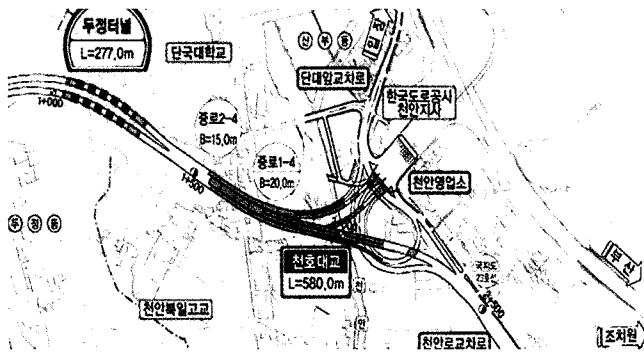


그림 2. 신부 I.C 현황 배치도

2.1.2 인터체인지 교량 설계시 고려할 사항

도심지 내에 있는 입체 교차로 교량 설계는 도로의 기능과 역할이 복잡하여 <표 1>과 같이 설계시 고려할 사항을 검토한 후 수행하여야 한다.

2.2 현황 설명 및 교량 계획 조건

도심지 구간내에 계획된 천호대교는 천안I.C에서 천안 제4지 방산업단지를 연결하는 도로상에 존재한다. 천호대교 시점부 인근에는 천안북일고교, 천안단국대 캠퍼스와 여러 가옥들이 산재하여 있으며 중점부에는 문화광장이 계획되어 있고 천호대 교와 연계하여 천안영업소가 위치하여 있다.

이와같이 시점부 인근에 많은 가옥들과 학교들이 있어 교육, 생활환경 피해를 최소화할 수 있는 방안을 모색하여야 한다.

또한 중점부에서는 천안 I.C 및 시가지를 통과하므로 천안 진입시 관문으로서의 상징성 도입 및 원활한 교통소통방안을 고려하여 가장 유리한 교량으로 선정할 필요성이 있다.

다음은 신부I.C내에 설계된 교량 개요이다.

- 교량연장 : 천호대교 L=580 m
(40+4@50+60+2@110+60)

표 1. 도심지내 입체교차로 교량 설계시 고려할 사항

항 목	고려할 점
이정표의 역할	· 구조형식의 차별화 · I.C교량 색채, 조명탑 등으로 상징화
명확한 경로인지	· 우측 분합류로 선형을 설계하여 운전자 규칙성을 유지 · 좌측 분합류가 불가피한 곳은 방향표지판 구조물을 상부구조와 통합 설계하여 구조물의 통일성 추구
시각적인 질서, 투명성 확보	· 하나의 통일된 형태로 램프선형의 길고 연속적인 곡선의 수평선을 강조하는 것이 가장 중요 · 하부공간의 투명성 제고를 위해 경간장을 길게 하고 교각을 등간격 혹은 완만한 변화로 배치
하부의 토지이용계획과 일치	· 하부공간의 이용성을 향상시키기 위해 교각의 배치시 인근 토지이용계획을 반영하여 논리적인 질서를 형성 · 하부공간은 보행자순환, 주차공원등 이웃에 도움이 되는 생산적인 공간으로 계획

- RAMP교 4개소
- 교량등급 : 1등급
- 교량폭원 : B=20.4~22.5 m
- 교량선형 : 평면선형: 직선+곡선(R=700)
중단선형: S=-3.260 %
- 구조형식
상부공 : PSC BOX + Extradosed교(천호대교)
PSC BOX교(Ramp교)
기초공 : 직접기초, 말뚝기초

2.3 소음 및 진동 등 주민 생활환경 피해 최소화

도심지내에 I.C 교량을 건설하는 경우에는 무엇보다도 생활 환경 피해를 최소화 할 수 있어야 하며, 시공 및 공용중 가장 문제되는 것 중 하나가 소음과 진동이라 할 수 있으며 교량형식 계획시 우선적으로 고려한 것이 소음과 진동 발생의 최소화이다. <표 2>는 "환경정책기본법 소음환경기준"에 따른 도심지의 소음·진동 허용기준이다.

차량운행에 의한 교량 상부형식에 따른 소음 및 진동영향을 수치해석을 통하여 검토 하였다(표 3 ~ 5 참조).

주행중 교량에 미치는 소음 및 진동 영향 평가 결과를 보면 교량 하부로의 소음 전파가 상대적으로 클 것으로 예상되는 상판하면에서 진동과 소음레벨을 검토한 결과 콘크리트 교량이 강상자형교에 비하여 진동소음 발생이 상대적으로 적게 나타났으며, 도심지 주변의 고가교량 및 I.C교량 계획시 친환경성 교량으로 볼 수 있다.

2.4 주변 환경 조화 및 교량의 조형미 추구

도심지내 건설되는 교량은 교통소통을 원활히 하는 기능적 측면 외에도 주변지역의 다양한 환경들과 어우러져 생활의 일 부분으로서의 역할도 해야 한다.

단지 구조적인 안전성의 확보만으로는 좋은 교량계획이라 평가할 수 없으며, 많은 측면에서 교량이 건설되는 주변환경과의 조화를 통하여 지역 주민들의 생활과 하나가 될 수 있는 교량의 건설이야말로 실질적인 교량 건설의 목표이다. 더욱이

표 2. 소음진동 허용기준

대상지역	시간	소음기준 (Leq dB(A))	진동기준 (db(v))
주거지역	주간/야간	65/55	65/60
상업 및 준공업지역	주간/야간	70/60	70/65
공업지역	주간/야간	73/63	

표 3. 소음영향 수치해석 결과

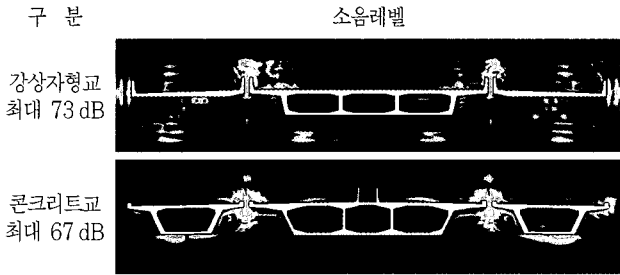


표 4. 진동영향 수치해석 결과

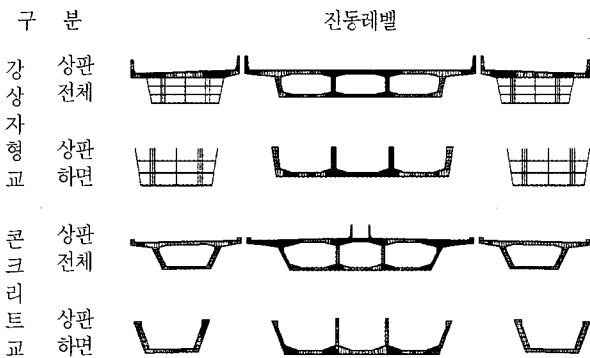


표 5. 소음진동 영향 수치해석 결과

구 분	진동속도(cm/sec)	소음레벨(db(A))
강상자형교	0.63	73
콘크리트교	0.24	67

도심지내 건설되는 교량은 이러한 면이 더욱더 강조될 수 밖에 없다. 따라서, 도심과 어우러질 수 있는 교량을 계획하기 위하여 다양한 방법으로 주변환경과의 조화 및 아름다운 교량 건설을 추구하여야 한다.

2.4.1 경관설계

교량은 가설위치에 따라 그 경관성의 의미가 매우 중요하게 여겨지며 관광자원화 및 시민들의 볼거리를 제공하는 명물로 자리매김하고 있다. 종래에는 교량에 대하여 주로 기능성과 내구성만을 추구해 온 경향이 있고, 심미성과 윤리성에 대한 배려가 충분하지 않았기 때문에 주변 경관과의 조화롭지 못한 것이 사실이다. 하지만, 최근 교량 계획시 기능성 및 내구성뿐만 아니라 경관성에도 높은 가치를 부여하고 있으며, 이에 따라 도심지 주변환경과 조화로운 교량계획을 수립하여 상징성 및 볼거리를 제공하고자 노력하였다.

(1) 경관설계 기본 방향

경관설계의 기본 방향은 무엇보다도 기능성이 우선되었으며,

표 6. 경관설계 기본 방향

기능성	경관성	상징성
· I.C교량의 시각적 투명성과 환경성을 고려한 패적한 주행창출	· 도시공원 화계 획등 환경과 조화롭고 친근한 아름다운 교량형성	· 지역의 역사, 문화 비전과 첨단산업 단지를 상징하는 천안상징 관문교량
↓		
아름다운 교량 구현		

표 7. 경관설계 기본 컨셉

단순성	경쾌성	상징성
· 복잡한 도심 I.C의 시인성이 향상될 수 있도록 단순성 및 투명성 확보	· 2층이상의 램프 구조물(고가) 발생 · 등단면의 주형계획으로 위압감 완화	· 천안영업소앞 교량으로 관문적위치 · 교량의 외부돌출에 의한 상징성 반영
↓		
3가지 기능을 담아 지역상징 교량창출		

도심지내 교량 설계라는 특수성에 맞추어 주변과의 조화성, 경관성 및 상징성을 고려하여 도심지내의 아름다운 교량 구현을 목표로 계획하였다(표 6 참조).

(2) 경관설계 기본 컨셉

기본 방향을 바탕으로 선정된 최종적인 3가지의 경관설계 기본 컨셉은 단순성, 경쾌성 및 상징성으로 압축되었다. 복잡한 도심지내에 건설되는 I.C의 선입견적인 복잡성을 없애고 지역의 관문성 및 land mark 기능을 할 수 있도록 경관설계에 초점을 맞추었다(표 7 참조).

2.4.2 도로의 기하구조 개선

도심지내의 교량으로서 주변환경과의 조화는 단순히 외관적인 경관설계로만 충족되는 것이 아니라, 교량계획의 시작부터 끝까지 모든 점에 있어서 항상 주변환경을 고려하여야 하며, 지역주민 생활환경 피해를 최소화하여야 한다.

(1) 완전입체화 I.C

I.C 교량은 우선적으로 교통소통의 원활화에 그 목적이 있고 특히 교통량이 많은 도심지내의 교량의 경우 교통소통의 원활화 및 교통용량의 증대는 필수불가결한 요소라 할 수 있겠다. <그림 3>과 같이 전방향 완전 입체화를 통하여 교통용량 증대 및 정체를 해소하고 신호교차로를 직결처리로 변경하여 교통안전성 및 램프구간의 진출입을 원활하도록 계획하여 교량의 기능성 향상에 기여했다.

(2) 지질조건을 고려한 경간구성

교량의 상하부 구조물 뿐만아니라 기초를 이루는 지반 또한 교량형식 선정에 기본조건이 되며 또한 상부구조물의 안전성

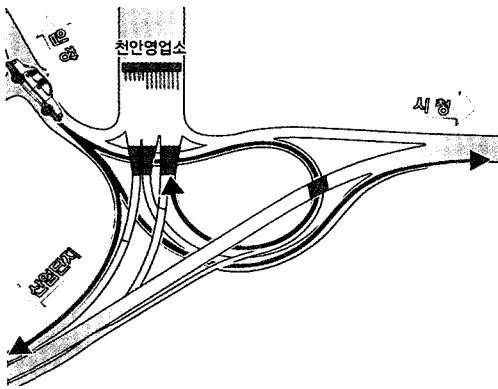


그림 3. 전방향 완전 입체화 I.C의 계획

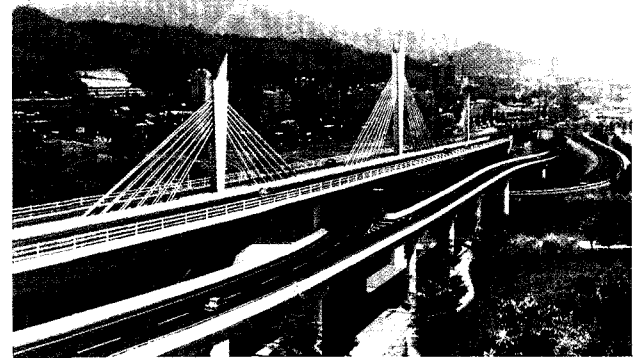


그림 5. 주탑과 케이블에 의한 상징성 도입

확보에 차지하는 비중은 매우 크다 할 수 있다. 교량의 경간구성에 있어서 미적이고 기능적인 것 뿐만아니라 지질조건을 고려한 경간분할로서 지반조사시 실시한 전기비저항 탐사의 결과로 교량 하부의 대규모 단층대가 분포되어 단층영향권(폭 35.0 m)을 이격하여 주경간장(110.0 m) 계획을 수립하여 설계에 반영하였다.

(3) 형하공간 및 지장물을 고려한 경간구성

교각의 위치선정 및 경간구성에 있어서 또 하나의 중요한 요소가 교량하부 형하공간 및 지장물이다. 산간지역에 위치한 교량들과 달리 도심지내의 I.C교량은 램프와의 간섭뿐만 아니라, 주변에 산재된 지장물 및 하부도로와의 간섭을 최소화 할 수 있는 경간구성이 필요하게 된다. 본 과업에서는 중로2-4 및 1-4호선의 공간 확보, 램프A, E 및 F의 충분한 이격거리 확보, 천안천 횡단에 대한 이격거리 확보를 위하여 경간구성 계획을 수립하였으며, 이에 따른 최적의 경간구성을 <그림 4>와 같이 계획하였다.

2.4.3 교량 상부구조의 개선

도심지내 건설되는 교량은 기능성, 안전성 외에도 상부구조의 시각적 이미지와 주변환경과의 조화 역시 무시할 수 없으

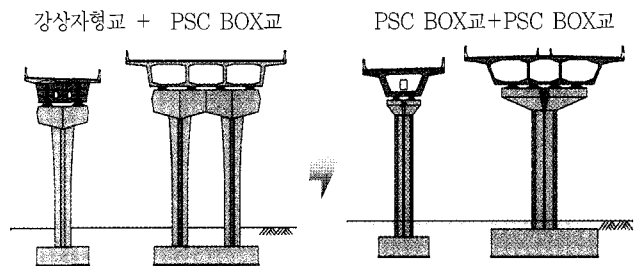


그림 6. 본선과 일치하는 램프교량 형식

며, 상부구조의 형식결정에 있어 이러한 사항을 적극 반영하여 주변환경과 어우러지는 교량계획을 수립하였다.

(1) 상징성 : 주탑과 케이블에 의한 상징성 도입

구조물 상부의 3주탑을 통하여 천안 삼거리의 지역상징성을 부여하고, 주탑과 케이블의 형태미로 첨단산업의 빛을 상징하는 상부형식으로 1면 3주탑 Extradosed교를 적용하였다(그림 5 참조).

(2) 일체성 : 본선과 일치하는 램프교량 형식 선정

램프교량의 상부형식을 본선과 일치된 PSC BOX교로 적용하여 I.C 교량전체의 일체성이 나타나도록 <그림 6>과 같이 계획하였으며, 유지관리 및 소음진동에 있어서도 유리한 형식이다.

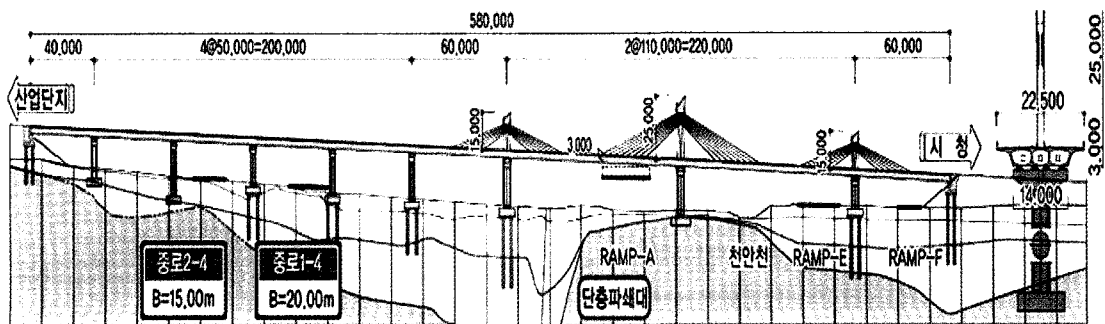


그림 4. 지질조건 및 지장물을 고려한 경간구성

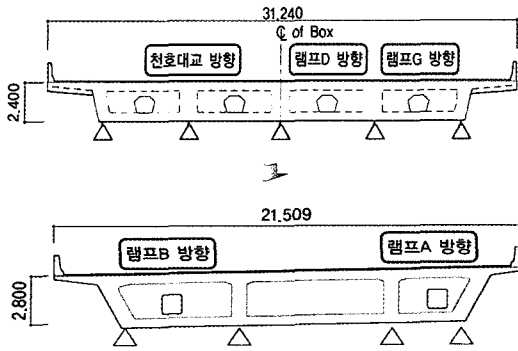


그림 7. 확폭부의 축소 계획

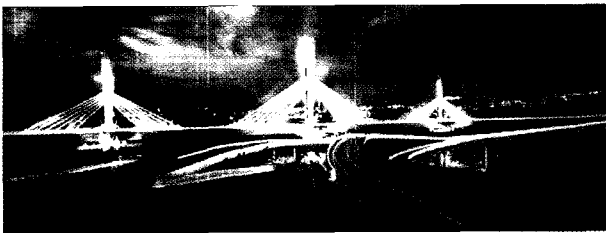


그림 8. 천호대교의 야간경관

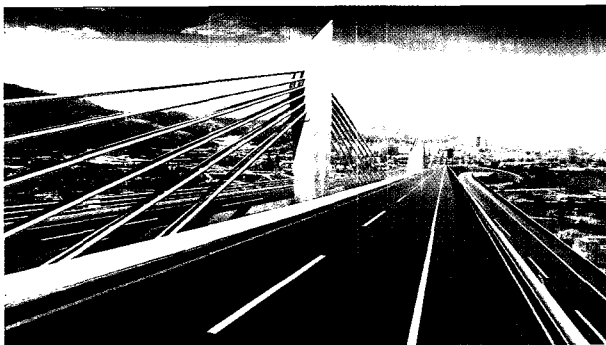


그림 9. 1면 주탑에 의한 주행자 개방감 확보

(3) 안전성 : 확폭부 축소 및 연속교로 계획

〈그림 7〉과 같이 최대폭원의 확폭부를 축소시키고, 연속교로 계획하여 구조물의 안전성 확보 및 주행성에 유리하도록 연속화하였다.

(4) 경관성 : 야경을 고려한 계획

도심지내 교량의 경관계획은 낮시간대에만 국한되는 것이 아니라 도심지 야간경관에도 주변과의 조화와 생태환경을 고려하여 계획하여야 하며, 야간경관조명을 통한 케이블 및 주탑의 야간경관을 도입하여 새로운 지역 이미지를 창출을 위한 브랜드 관문교로서 야간 경관을 〈그림 8〉과 같이 계획하였다.

2.4.4 하부구조의 개선

I.C 교량 계획시 상부구조에만 국한되지 않고 하부구조 설계

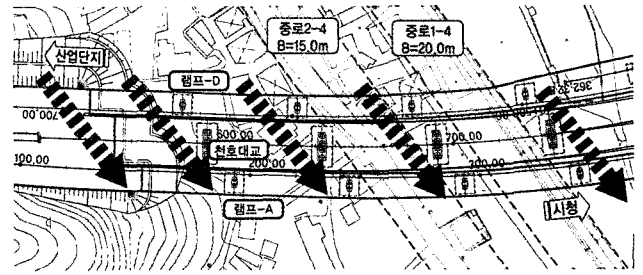


그림 10. 획지분할을 고려한 교각배치도

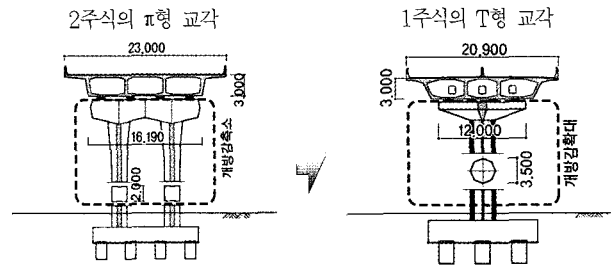


그림 11. 피어캡 축소에 따른 개방감 확대

에도 적극 고려하여야 하며 공간확보 및 개방감 확대에 주안점을 두어야 한다.

(1) 개방감 확보를 위한 1면 주탑의 선정

4차로 교량으로 내부점검 시설과 주행자 시야 확보에 유리하며 외적 미관이 우수한 1면 주탑을 계획하여 주행시 개방감을 확보하였다(그림 9 참조).

(2) 주변지역의 획지분할을 고려한 교각배치

하부 지장물인 기존 도로의 동선과 획지분할을 고려하여 개방감을 확대할 수 있도록 〈그림 10〉과 같이 교각배치계획을 수립하였다.

(3) 교각수 및 피어캡 축소로 개방감 확대

2주식의 π형 교각은 피어캡 및 교각수 과다로 인한 복잡성 및 폐쇄감의 발생을 1주식의 햇불형 교각으로 계획하여 단순화에 따른 교량하부의 개방감을 확대하였다(그림 11 참조).

(4) 교량하부 공원화 계획

기존도로의 동선과 하부공원화 계획과 연계된 시설을 설치하여 지역주민들이 이용하기 편리하도록 편의시설을 도입하도록 제안하였다.

2.5 유지관리비 및 VE/LCC 분석

지금까지 도심지내 I.C 교량의 특성에 따른 교량계획시 고려사항에 대해서 알아보았다. 도심지 I.C 교량설치의 주목적은 기능성, 안전성뿐만 아니라 상징성, 환경성 및 경관성 등 많은 항목에 걸쳐서 종합적인 교량계획을 수립하여야 한다. 그러나

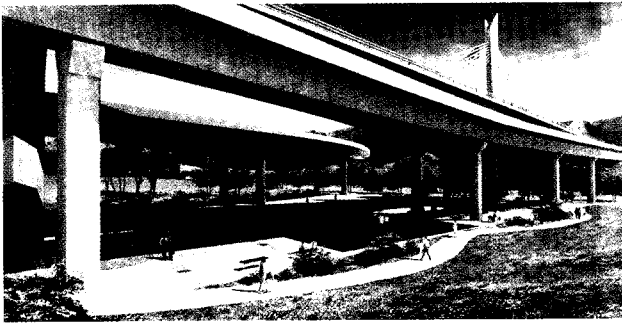


그림 12. 교량하부 공원화 계획

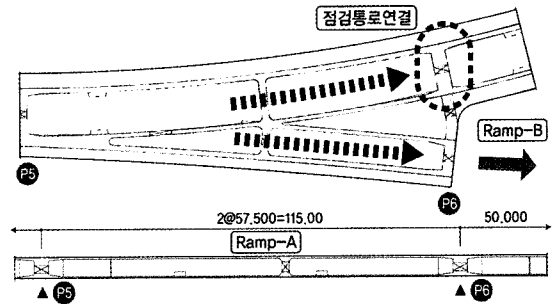


그림 13. 교량확폭부 단면 계획

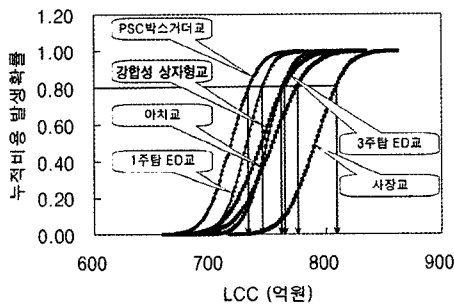
이 모든 항목들이 충족되더라도 경제성이 부족하면 좋은 교량 계획이라 할 수 없다. 따라서 교량계획시 투입 LCC 대비 종합 성능가치의 극대화를 통한 대안의 경제적 타당성을 고려하여 기능향상 및 비용절감 도모할 수 있는 최적의 대안 제시를 위하여 VE/LCC 검토를 수행하였다.

VE/LCC 검토는 PSC BOX 거더교와 1면 3주탑 ED교 뿐만 아니라 검토의 객관성을 위하여 1면1주탑 ED교, 사장교, 아치교 및 강합성상자형교에 대해서도 수행하였으며, 검토항목은 계획성, 안전성, 시공성, 경관성, 주행성 및 유지관리성 등 총 6가지 항목에 걸쳐 그 검토를 수행하였다.

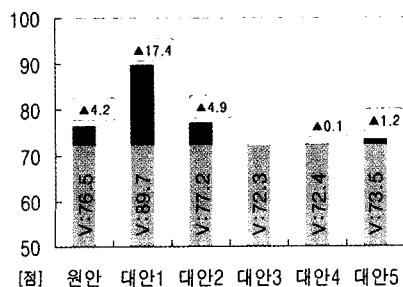
형식별 VE/LCC 검토결과 <표 8>과 같이 1면 3주탑 ED교는 상징성이 뛰어나고 도심지내 I.C 교량에 부합되며, VE/LCC 측면에서도 우수한 교량형식임을 알 수 있었다.

표 8. 형식별 VE/LCC 비교

대안별 생애주기 비용(LCC)



가치분석 결과



2.6 승차감 및 주행성을 위한 이음부의 최소화

일반적인 Extradosed교 및 PSC BOX교의 교량계획에는 단면 및 교폭이 일정하여 이음부를 최소화 할 수 있으나 I.C 교량계획시는 차로수의 변경에 따른 교량폭원이 증가 또는 감소할 수 있다. 이때 신축이음부를 최소화 시키고 교량연속화를 통한 주행성을 향상시킬 수 있도록 <그림 13>과 같이 교량확폭부 계획을 통하여 점검통로 확보 및 이음부를 최소화할 수 있도록 계획하여 주행자의 승차감 및 주행성 향상을 추구하였다.

3. 맺음말

도심지 내에서의 교량형식을 정하는 기준에 있어서 무엇보다 중요한 것은 인간의 삶의 질을 얼마나 향상 시켜주느냐에 있다고 본다. 도심지내에 건설되는 I.C교량임을 고려하여 구조물의 기능성과 안전성을 기본으로, 상징성과 경관성이 우수하고 유지관리가 쉬운 형식으로 계획하여 주변환경과 조화되며, 지역주민의 생활의 일부가 되는 교량건설을 목표로 하였으며 앞으로도 도심지내에 건설되는 많은 교량들이 이러한 점을 면밀히 고려하여 인근 주민과 함께하는 친밀한 교량으로서 건설되기를 기대한다.

본 설계사례는 천안시 북부대로 개설공사 대안설계의 I.C 교량으로 제안된 내용으로 도심지 내의 I.C교량에서 국내에서는 강상자형교가 일반적이거나 앞서 검토한 내용으로 콘크리트교로서 제안되었으나, 아쉽게 낙선되어 시공까지 연결할 수 없었으나 새로운 시도의 교량계획으로 도심지내의 교량계획의 밑거름이 되기를 기대한다. □

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준, 2005.
2. 건설교통부, 도로설계편람, 2001.
3. 한국건설 기술연구소, "PSC 박스 거더교 설계 선진화를 통한 물량 절감", 품질향상 방안수립 연구보고서, 2004.
4. 유복모, 경관공학, 동명사, 1996.