

새롭게 태어난 성수대교

민 상 기 현대건설 성수대교현장 소장

■ 공사 개요 ■

- 공 사 명 : 성수대교 복구공사
- 위 치 : 시점 - 성동구 성수동 뚝도 수원지 앞
중점 - 강남구 압구정동 현대아파트 앞
- 제 원 : 폭 19.4m(4차선), 연장 1,160m
- 구조형식 : Truss 768m, Plate Girder 392m
- 강재톤수 : Truss 8,449ton, Plate Girder 1,483ton, 강상판 3,306ton
- 설계하중 : DB 24(1등교)
- 시 공 자 : 현대건설(주)
- 발 주 자 : 서울시 건설안전관리본부
- 설 계 자 : 천일기술단, 동명기술공단
- 감 리 자 : 영국 R.P.T(Rendel Palmer & Tritton), 유신코퍼레이션
- 공사기간 : '95. 4. 20~'97. 8. 15
- 공사금액 : 당초 166억, 변경 708억

1. 서 론

'95년 4월 20일에 착공하여 '97년 7월 3일까지 약 2년 2개월의 공사기간을 거쳐 개통된 성수대교는 폭 19.4m, 길이 1,160m로 강남 언주로와 강북 성수동을 연계하는 왕복 4차선의 1등급교(DB24)로 시공되었다. 또한 GERBER

TURSS와 PLATE GIRDER, 강상판의 강교로서 강교 제작은 울산 현대중공업과 대산 철구사업부에서 병행하였고 현장감리는 장대교량의 경험축적이 많은 외국감리사(영국 R.P.T)의 철저한 감리하에 완벽하게 시공되었다.

본 원고에서는 성수대교 붕괴사고의 경위 및 그동안의 공사추진현황, 교량의 붕괴원인 등에

관해서 간략하게 살펴보고 그동안 공사를 진행 해오면서 특히 주안점을 두었던 품질관리 및 안전관리, 그리고 새롭게 태어난 성수대교의 달라진 기술적 특징에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 사고경위 및 성수대교 복구공사 추진현황

1994년 10월 21일 07시 40분 한강상에서 구조적으로 가장 안전한 교량으로 여겨지던 성수대교가 무참히 붕괴되었다. 이로 인해 고귀한 국민들의 생명을 앗아갔으며, 또한 우리 토목인들의 기술자로서의 자존심도 강물로 떨어지는 순간이었다. 건설된 지 15년밖에 되지 않은 교량이 무너짐으로써 우리 건설현장의 부실함을 그대로 보여주는 사건이었다고 할 수 있다. 이는 건설 당시 시공자가 조금만 더 주의를 기울이고 유지보수에 조금만 더 신경을 썼더라면 사전에 막을 수 있었던 사고였을 것이다.

사고 직후 대한토목학회에서 구성된 정밀안전진단팀에 의해 사고원인 조사 및 정밀안전진단을 시행하고 공청회 및 수차례에 걸친 기술자문회의를 개최한 결과 성수대교의 복구방법은 기존 교량형태를 그대로 유지하면서 콘크리트 슬라브를 강상판으로 교체하여 교량등급을 2등급(DB18)에서 1등급(DB24)로 상향조정하고, 사고원인을 유발했던 수직재, 핀 등의 취약부재를 교체하고 앵커트러스를 포함한 잔여트러스는 기존상태 그대로 유지하는 등 최소부분만을 보수하여 '95년 12월에 공사를 마무리시켜 소형차량만이라도 통행시킬 방침으로 공사를 추진하였으며, 강남·북측의 접속 플레이트거더 구간은 조기통행방침에 따라 교량확장공사를 완공후에 보수 보강기로 하였다.

그러나 당초 대한토목학회에서 수립한 복구계획은 기존교량 중 우선 취약부분에 대해서만 정

밀조사를 실시한 결과, 앵커트러스는 전반적으로 양호한 것으로 파악되어 부실한 부분에 대해서만 부분적으로 보수할 경우 교량 원래 기능을 회복할 수 있다고 판단하여, 전체 교량에 대한 정밀비파괴검사 및 외관조사는 보수공사 실시설계시 수행하여 필요시 보강조치를 취할 것을 전제로 수립된 것이다.

이에 따라 복구공사를 착수하여 교량상판 콘크리트를 제거하고 기존 교량의 트러스 부재에 대한 정밀조사를 실시한 결과 상현재의 뒤틀림, 부실용접, 부재간 단차, 앵커트러스 사재 균열 등의 구조적 문제점이 다수 발견됨에 따라 안전도 확보를 위해서 전부재의 조사 필요성이 확실해졌다. 이에 따라 시공사, 설계사 및 성수대교를 감리하고 있는 외관감리사 등에 의한 정밀조사가 실시되어, 발견된 부실용접, 균열발생, 볼트연결부의 결함 등 구조적 문제점에 대하여 구조전문가로 구성된 7차례에 걸친 자문위원회를 걸쳐 현재의 형식을 최대한 유지한 채 전 부재에 대하여 신자재를 사용하여 전면 재제작 복구하는 방안을 채택하게 되었다.

3. 당초 교량의 붕괴원인 분석

성수대교의 붕괴는 사고지간인 교각 10번과 11번 사이를 중심으로 한 양쪽 앵커트러스의 끝단에서 중앙부 현수 트러스를 매달아 주는 역할을 하던 연결 수직재(Hanger)의 용접한 곳이 갈라지면서 발생했다.

사고현장의 정밀조사 및 분석결과에 의하면 성수대교의 직접적인 붕괴원인은 첫째, 취약부(행거부, 핀) 용접의 절대적인 부실시공, 둘째, 유지관리 소홀, 셋째, 과적차량의 통과에 의한 피로하중이라 할 수 있다. 이들의 요인 중 용접부의 부실시공이 절대적인 붕괴요인이라고 하는

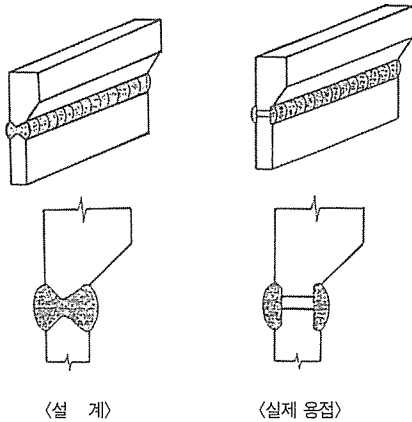


그림 1. 수작제 연결부 용접상태 비교

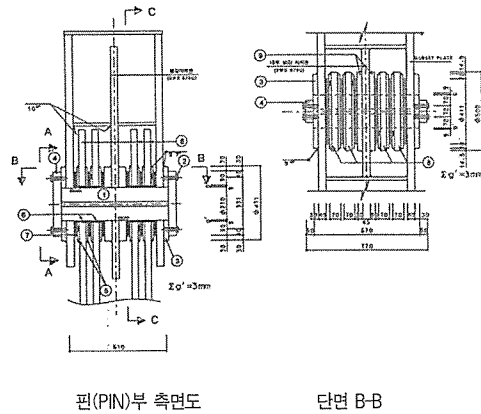


그림 2. 핀 연결부 보강

데에는 이론이 없다. 유지관리의 소홀과 과적차량의 통과에 의한 교량의 누적된 피로손상도 붕괴요인에 큰 역할을 한 것이 틀림없지만 게르버 연결부 용접이 부실하게 되어 있지 않았다면 최소한 붕괴는 일어나지 않았다는 것이 공통적인 의견이다. 더욱이 성수대교의 정밀안전진단결과에 의하면 전교량에 걸친 용접부의 상태가 매우 부실하여 낙교부에 대한 복구와 일부 취약부재에 대한 보강으로 교량을 회생시키고자 했던 최초의 계획이 전면 수정되어 기존 전부재를 신자재로 재제작하여 설치하게 된 것은 교량시공시 용접 부실의 정도를 미루어 짐작할 수 있다.

4. 품질관리 및 안전관리 수행

당 현장은 완벽한 품질관리를 하기 위해 강교 제작부터 아스콘포장까지 전공정에 걸쳐 작업 절차서를 작성하여 작업하고, 볼트의 조임방법부터 검사방법까지 절차화하여 전작업에 한치의 오차도 없이 계획하고 시공하였다. 또한 공사수행이 완벽하게 준비된 시점에서 모든 강교부재

에 대해 도면, 시방서, 절차서에 의거한 철저한 검사를 수행함으로써 “고품질시공”과 “고객만족”을 극대화하는 데 노력하였다.

한편 국내외로 주목받는 성수대교 복구공사는 촉박한 공기내에 ‘우수한 품질’과 ‘사고없는 안전관리’라는 두가지 목표를 이루기 위해서 전직원 및 근로자의 적극적인 참여와 다양한 안전점검 및 교육, 그리고 안전의식 고취, 안전우선 시공으로 현장의 안전관리방향을 설정하여 추진함으로써 노동부가 인증하는 안전보건관리 초일류기업으로 선정되기도 하였다.

5. 달라진 성수대교의 특징

5.1 핀 연결부의 보강

사고의 직접적인 원인이었던 핀부의 행거가 완전 파단하여도 지지부재로 거동할 수 있도록 X형 사재를 링크 연결부 좌우에 설치했다. 그리고 기존 행거의 형식은 1주구에 대하여 1부재로 구성되어 있어 이 부분이 교량의 안전에 가장 중요한 부분이며, 또한 취약한 부분임을 감안하



사진 3. SHEET PILE 연암상단층 근입

도 트러스의 낙교됨을 방지할 수 있도록 하였고, 횡방향 지지구조는 별도의 브라켓을 첨부하여 지진 및 바람의 영향에 충분히 견딜 수 있도록 하였다.

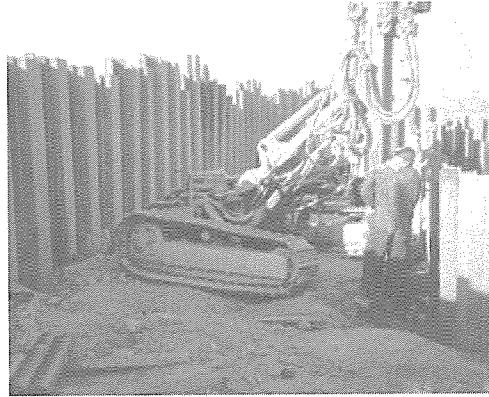


사진 4. 이중물막이 토사채움 및 L.W 그라우팅

5.3 우물통 구조물 확대 보강

당초 교량의 우물통 교각 조사 결과 기초지반의 지지력, 하상세굴, 콘크리트의 마모 및 손상, 우물통 저면 암반접촉부의 손상 등의 문제가 대두되었다.

이러한 문제를 해결하기 위해 보수·보강공사는 WATER JET와 VIBRO HAMMER를 사용해 2층으로 SHEET PILE을 연암층 상단까지 근입시키고 L.W 그라우팅, 수중마대 콘크리트 타설 등의 보조물막이 공법 등을 겸해서 완벽한 치수상태를 만들었다. 여기에 기존의 직경 6m의 독립된 우물통 기초 2개를 13×27m의 크기로 확대보강하여 지진강도 5에도 견딜 수 있게 보강하였다(그림 4 참조).

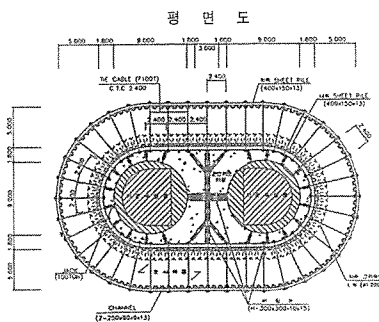
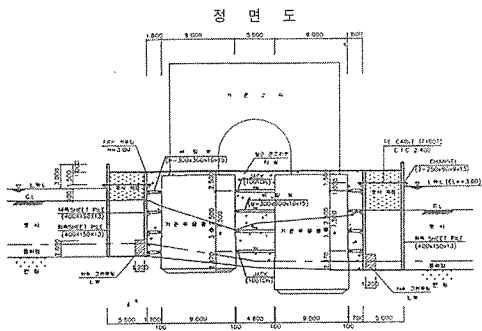


그림 4. 우물통 보강을 위한 2단물막이 공법

5.4 상판 형식 변경

교량의 사하중을 최소화하고 이를 이용해 교량의 과재하중을 키우기 위해 기존의 콘크리트 상판대신 강상판으로 변경함으로써 약 5,000 TON 정도의 사하중을 감소시킴으로써 당초 2등급(DB18)을 1등급(DB24)로 상향시켰다.

5.5 트러스 부재단면의 증가



사진 5. SUSPENDED TRUSS 설치

트러스 부재단면을 선정하기 위해서 설계시 상시하중상태인 활하중과 사하중, 온도 등에 의한 하중 등 자중방향으로의 하중에 대하여는 2차원 평면해석을 하여 그 내역과 응력을 검토하여 전체적으로 단면을 증가시켰으며, 횡방향 부재는 3차원 입체해석을 실시함으로써 풍하중과 지진하중 등을 고려하여 횡방향 구조 부재를 보강하였다. 또한 기존 부재에 재하되는 피로하중에 의한 응력범위 발생 정도가 충분히 안전측내에 있도록 이를 검토·확인하고 허용 피로응력 범위를 벗어나는 부재가 있을 경우에는 이를 보강하고 부재 단면을 증가시켰다.

5.6 TURSS 가설공법

가조립에 의한 현장작업을 최소화하고 볼트 체결 용이 및 공사기간 단축을 목적으로 현장에서는 TRUSS 부재의 조립을 위하여 가조립용 작업장을 별도로 설치하고 조립된 TRUSS 부재를 250TON 크레인을 이용하여 바지로 운반, 설치하였다. 특히 ANCHOR TRUSS 설치시에는 수중 주교각의 앵커부의 측량을 1mm의 오차도 없이 시공하기 위해 인공위성을 이용한 측량기법(Global Position System)을 도입하여 트러

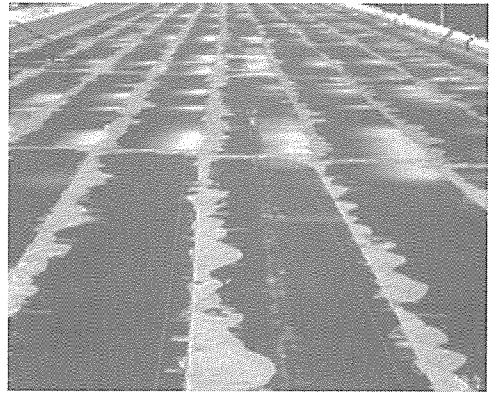


사진 6. 교면방수(강상판구간 SHEET 방수)

스를 설치하였고 이를 지상에서 광파측량기로 재확인하여 정밀조립기계 수준의 정확성을 확보할 수 있었다.

5.7 강상판의 방식과 내구성 향상을 위한 교면방수

강상판 교량은 강제절이기 때문에 진동의 문제가 발생한다. 길이방향으로의 ROLLING 현상과 교통량이 상판의 어느 한편으로 편중될 때, 폭방향으로의 PITCHING 현상 등으로 아스콘층이 밀리거나 깨져서 침투된 수분 및 이물질, 특히 동절기 노면 결빙방지를 위해 살포된 염화칼슘 등이 구조물 부식을 가속화시키는 작용을 한다.

따라서 당 현장에서는 공인기관인 한국화학시험연구원의 철저한 품질관리하에 현장에서 시험방수를 통한 자재선정과정을 거쳐 교면방수를 함으로써 강상판의 방식과 내구성을 크게 향상시켰다.

5.8 종, 횡방향 점검통로 설치

당초 교량 붕괴의 가장 큰 원인은 용접불량 부위에 계속된 차량하중 재하로 장기간에 걸친



사진 7. TRUSS 하부 점검통로 설치

피로균열이 서서히 진전된 것으로 조사되었는데 이는 적절한 점검 및 체계적인 유지관리가 전혀 이루어지지 않았기 때문인 바, 본 교량에는 특별히 교각의 SHOE, TRUSS의 볼트체결부나 용접부위 등의 상태에 대해 언제든지 육안조사가 가능하도록 중, 횡방향의 점검통로를 설치함으로써 교량의 유지관리측면도 대폭 향상시킨 구조로 시공되었다.

6. 맺음말

지금까지 살펴본 바와 같이 성수대교 붕괴사고로 인한 엄청난 희생에 의한 교훈이기는 하지만, 이번에 새롭게 건설된 성수대교는 엄격한 품질관리와 안전관리를 바탕으로 당초 붕괴의 직접적인 원인이었던 핀 연결부 보강, 횡방향 변위 제어장치 및 낙교방지턱 설치, 기존우물통 확대보강과 전체적인 트러스부재의 단면을 30% 정도 증대시킴으로써 내진설계가 되었고, 전용 접부위에 대해서 비파괴검사를 실시하여 시공의 완벽여부를 재차 확인하였다. 특히 유지관리 측면의 중요성을 인식하고 중, 횡방향 점검통로를 설치함으로써 언제든지 교량의 안전여부를 확인할 수 있도록 시공되었으며, 국내교량으로는 처음으로 조명시설을 설치하여 웅장하고 아름다운 다리로서 서울의 도시환경을 아름답게 하고 있다. 또한 성수대교는 서울의 동북지역과 동남지역을 연결하는 중요한 교량으로서, 앞으로 우리나라 교량건설 역사의 새로운 장을 여는 계기가 되기에 충분하리라 생각한다.

