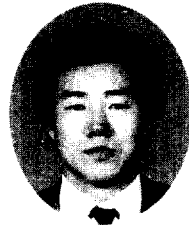


## 성수대교 복구공사



박정일\*



정광섭\*\*

### 1. 성수대교 복구공사 추진과정

1995년 4월 20일에 착공하여 1997년 7월 3일로 약 2년 2개월의 공사기간을 거쳐 개통된 성수대교는 폭 19.4m, 길이 1,160m로 강남 언주로와 강북 성수동을 연계하는 왕복4차선의 1등급(DB24)교로 현대건설에 의하여 시공되었다.

1994년 10월 21일 아침 7시 40분 한강상에서 구조적으로 가장 안전한 교량으로 여겨지던 성수대교가 무참히 붕괴되었다. 이로 인해 고귀한 국민들의 생명을 앗아 갔으며 우리 토목인들의 기술자로서의 자존심이 강물로 떨어지는 순간이었다. 건설된지 15년밖에 되지 않은 교량이 무너짐으로써, 우리 건설현장의 부실함을 그대로 보여주는 사건이라 할 수 있다.

사고 직후 대한토목학회에서 구성된 정밀안전진단팀에 의해 사고원인 조사 및 정밀안전진단을 시행하고 공청회 및 수차례에 걸친 기술자문회의를 개최하여 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 기존 상태 그대로 유지하는 등 최소부분만을 보수하여 1995년 12월에 공사를 마무리 시켜 소형차량만이라도 통행시킬 방침으로 공사를 추진하였으며 강남·북측의 접속 플레이트거더 구간은 조기 통행 방침에 따라 교량확장공사를 완공후에 보수 보강기로 하였다.

\* 현대건설 기술연구소 수석연구원

\*\* 현대건설 기술연구소 주임연구원

그러나 당초 대한토목학회에서 수립한 복구계획은 기존교량중 우선 취약부분에 대해서만 정밀조사를 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 보강 조치를 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 외국감리사 등에 의한 정밀조사가 실시되어, 발견된 부실용접, 균열, 볼트연결부의 결함 등 구조적 문제점에 대하여 구조전문가로 구성된 7차례에 걸친 자문위원회를 거쳐 현재의 형식을 최대한 유지한 채 전 부재에 대하여 신자재를 사용하여 전면 재제작 복구하는 방안을 채택하게 되었다.

표 1 성수대교 복구공사 개요

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| 위 치  | 성동구 성수동~강남구 압구정동                  |
| 구조형식 | 겔버 트러스 + 플레이트 거더                  |
| 규 모  | 폭 : 19.4m(4차선)                    |
|      | 연장 : 1,160m                       |
|      | 트러스 구간 $84 + 5 @ 120 + 84 = 768m$ |
|      | 플레이트거더 구간 $249 + 143 = 392m$      |
| 설계기준 | 설계하중 : 1등급(DB24, DL24)            |
|      | 내진등급 : 내진1등급                      |
|      | 설계속도 : 80km/h                     |
|      | 도로구배 : 종단 5%, 횡단 2%               |
| 공사비  | 611억                              |
| 공사기간 | 1995년 4월~1997년 7월                 |
| 시공사  | 현대건설                              |
| 설계사  | 동명기술공단, 천일 기술단                    |
| 감리사  | 영국 RPT, 유신코퍼레이션                   |

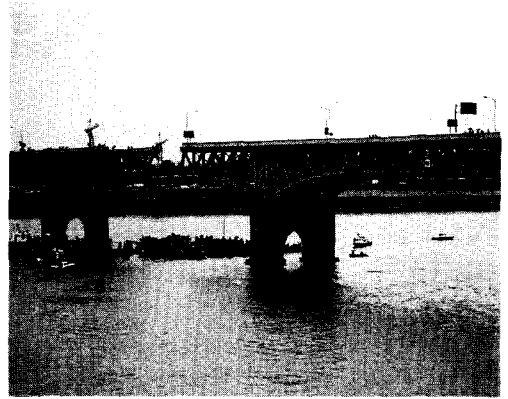


그림 1 성수대교 붕괴현장

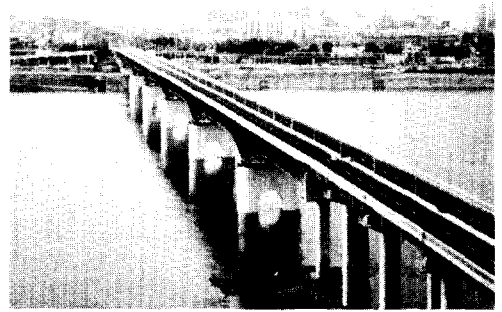


그림 2 트러스 가설공법에 의해 상부구조를 전면 교체한 성수대교

## 2. 기존 트러스의 해체

당초에는 낙교됐던 구간의 상판만을 재시공해 그해 연말에 개통하기로 하고 복구공사를 착공했지만 교량상판 콘크리트 철거후 트러스 부재의 정밀조사결과 구조적으로 상당한 문제가 있는 것으로 조사되어, 전면 재시공하기로 공법이 변경됨에 따라 트러스 구조물은 HEAVY LIFT 공법을 도입하여 기존 우물통 교각에 아무런 손상없이 철거하였다.

낙교된 P10~P11 사이의 현수트러스를 제외한 4개의 현수트러스(550ton)에 대하여 유압잭(105ton, 8개)과 바지벤트(1500ton)를 사용하여 철거하였다.(그림3)

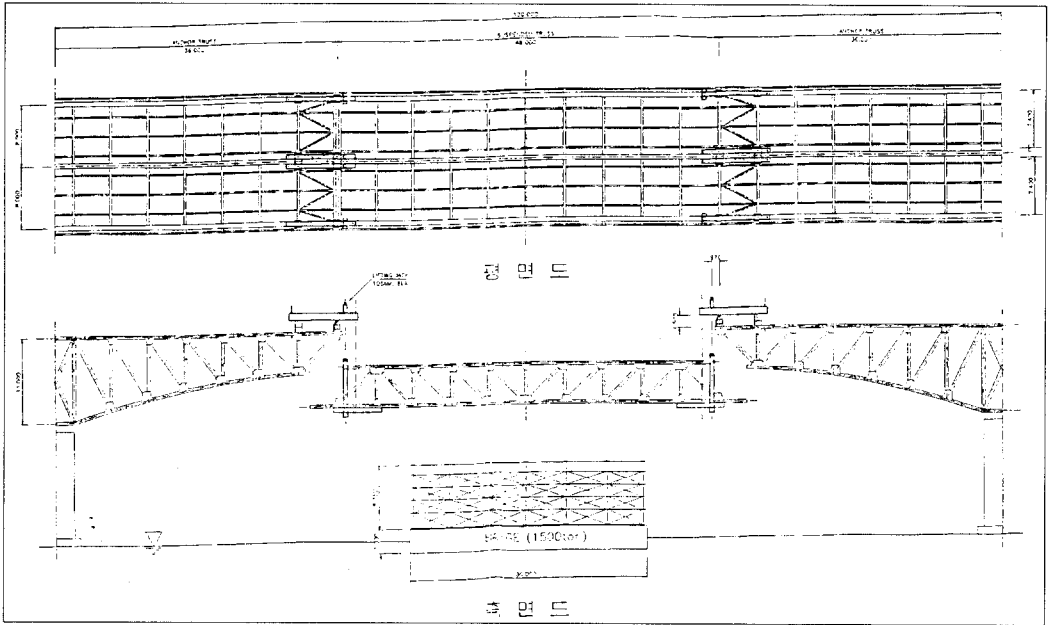


그림 3 현수트러스 철거 개념도

기존 현수트러스의 철거 작업 순서는 다음과 같다.

- 1) 풍하중등의 수평하중에 대한 수평방향 안정성을 확보하기 위해 앵커트러스 상부에 임시 횡방향 브레이싱 설치
- 2) 작업장에서 기제작된 LIFTING FRAME 및 LIFTING JACK(105ton, 8개) 가설
- 3) 기제작된 바지벤트를 현수트러스 하단의 정확한 위치에 정박
- 4) 현수트러스를 내리는 동안 모든 LIFTING CABLE의 장력을 균등하게 함은 물론 편부 절단에 따른 충격을 최소화하기 위해 각 CABLE에 균등한 초기장력을 도입하고 연결부 절단시 CABLE에 손상이 가지 않도록 보호시설 설치
- 5) 현수트러스와 앵커트러스간의 연결부 해체
  - ① 현수트러스측 횡빔과 스트링거의 용접이음 연결부 절단
  - ② 하부브레이싱 절단
  - ③ 횡빔과 상현재와의 연결부 해체
  - ④ 현수트러스 전중량에 대해 80%의 긴장력을 도입하고 먼저 중앙부 하현재를 전

단한 후 양측의 하현재 절단

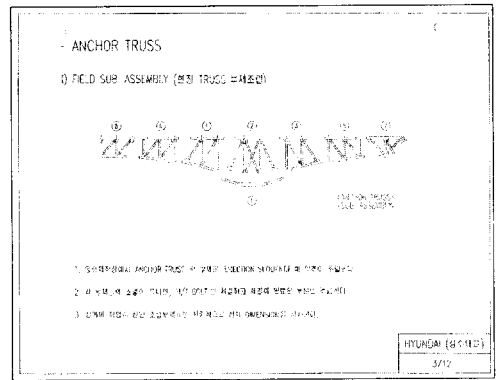
- ⑤ 긴장력을 100% 도입하고 먼저 중앙부 수직재를 절단한 후 양측의 수직재를 절단(이때 수직재 절단면의 변위를 관찰하면서 긴장력 조절)
- 6) 각 CABLE간의 장력차이를 10ton 이하로 조정하면서 현수트러스를 바지벤트 위로 LIFTING DOWN
- 7) 현수트러스가 바지벤트에 거의 가깝게 내려왔을 때, 하현재의 격점부에 밀어내기용 물러(27개) 설치
- 8) 물러가 레일위에 정확히 위치하도록 바지위치치를 조정
- 9) 쇠파늘을 이용하여 현수트러스를 바지벤트에 단단히 고정
- 10) 예인선을 이용하여 현수트러스를 작업장으로 운반
- 11) 바지에 물을 가감하여 바지측 레일과 접안시설측 레일과의 높이차를 조정한 후 바지를 고정시킴
- 12) 한강수위 조수차를 이용하여 레일간의 높이가 일치되었을 때 작업장에 기설치된 원치로 현수트러스를 끌어 들임

### 3. 트러스 가설 공법

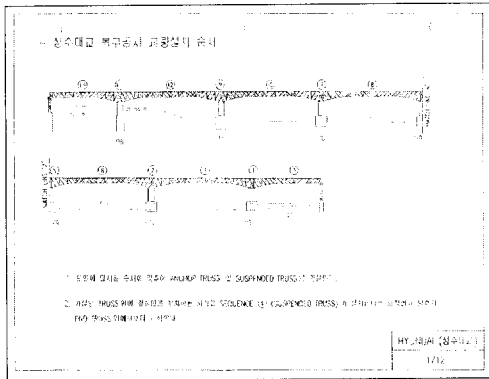
가조립에 의한 현장작업을 최소화하고 볼트 체결 용이 및 공사기간 단축을 목적으로 현장에서는 트러스 부재의 조립을 위하여 가조립용 작업장을 별도로 설치하고 조립된 트러스 부재를 250ton 크레인을 이용하여 바지로 운반, 설치하였다.

특히 앵커트러스 설치시에는 수중 주교각의 앵커부의 측량을 1mm 의 오차도 없이 시공하기 위해 인공위성을 이용한 측량기법(Global Positioning System)을 도입하여 트러스를 설치하였고 이를 지상에서 광파측량기로 재확인하여 정밀조립기계 수준의 정확성을 확보할 수 있었다.

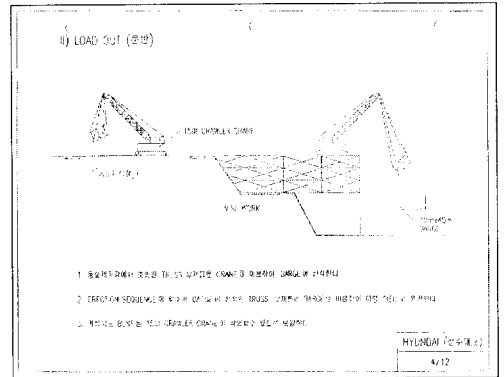
트러스 설치 순서는 다음과 같다.



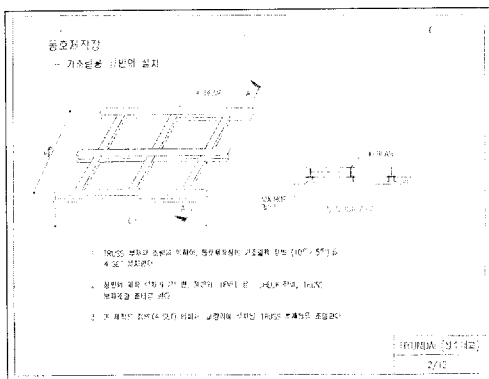
2) 앵커트러스 가조립



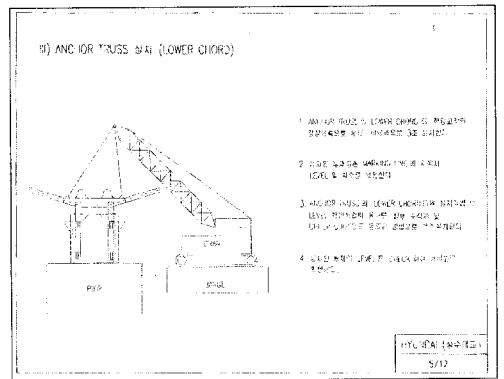
트러스 설치순서



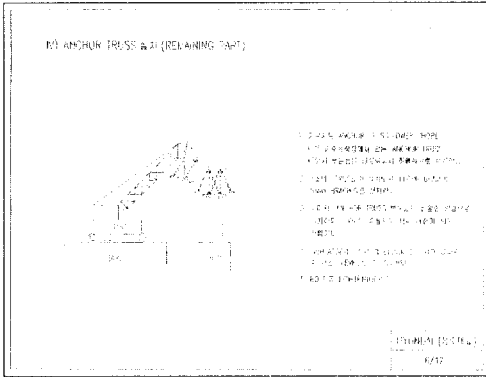
3) 앵커트러스 운반



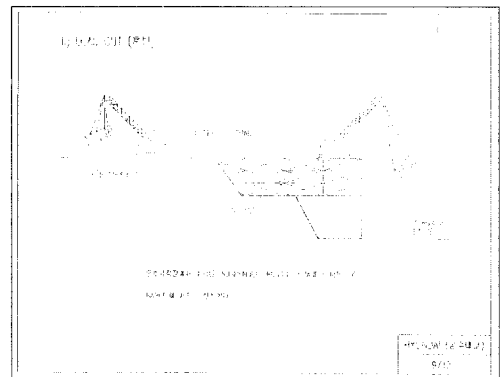
1) 가조립용 정반의 설치



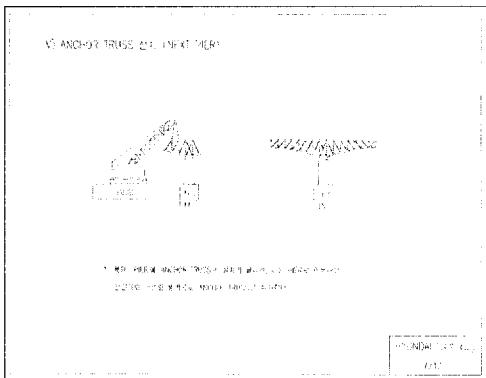
4) 앵커트러스 설치(하현재)



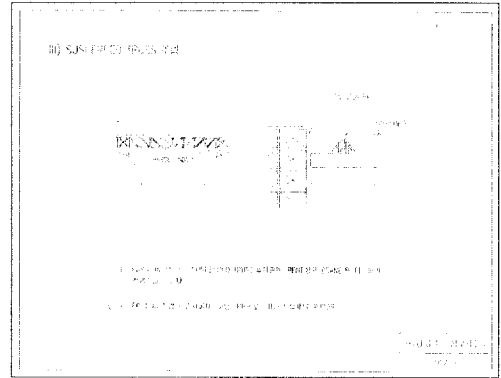
5) 앵커트러스 설치



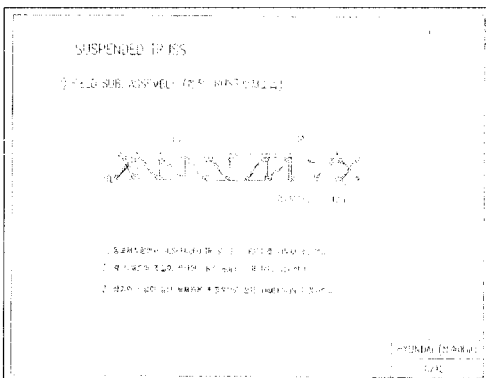
8) 현수트러스 운반



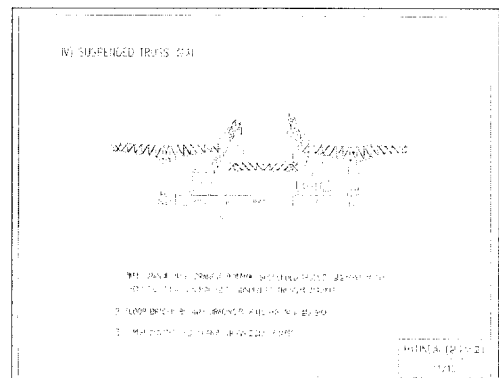
6) 앵커트러스 설치(다음 교각)



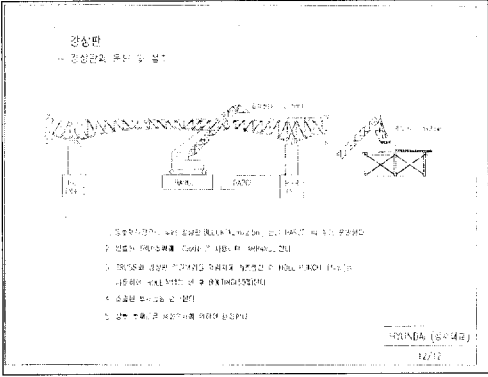
9) 현수트러스 조립



7) 현수트러스 가조립



10) 현수트러스 설치



11) 강상판의 운반 및 설치

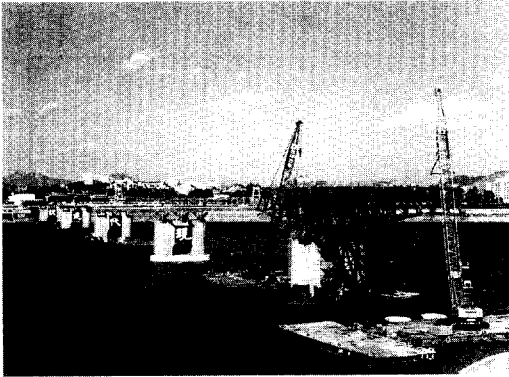


그림 4 앵커트러스의 설치

## 4. 달라진 성수대교의 특징

### 4.1 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 감안하면 파단시 여유력이 있고 유지보수시 교환성이 있도록 1주구당 4개의 행거구조를 독립된 판형부재로 구성시켜 한 개의 부재가 파손되더라도 나머지 부재들이 이를 견딜 수 있게 하는 동시에 이들 각각의 행거에 대한 교환 및 보수가 용이하도록 시공되었다.

### 4.2 우물통 보강

직경 6m의 하부기초가 분리되어 있던 것을 타원형으로 묶어 보강함으로써 진도 5에도 견딜 수 있도록 하였으며, 강바닥 밑의 암반까지 굴착하여 물을 막고 육안으로 확인하면서 콘크리트 기초를 시공하였다.

### 4.3 횡방향 상대변위 제어장치의 설치

기존교량은 횡방향 상대변위에 대한 설계의 비비로 인하여 편부 행거에서 과도한 횡방향 모멘트를 받았을 것으로 사료되며, 특히 행거의 형식이 H-형으로 횡방향 휨에 대하여 약하며 횡방향 하중에 대한 부재의 파손 가능성이 크다. 또한 횡방향 구조부재인 하부브레이싱과 스웨이브레이싱이 기타 일반적인 교량에 비해 1/2배 정도에 불과하여 횡방향 저항성이 낮게 설계되었다.

따라서 복구된 교량은 돌출된 구조로 이중 안전장치인 낙교방지턱을 설치하여 만일의 경우에도 트러스의 낙교됨을 방지할 수 있도록 하였고, 횡방향 지지구조는 별도의 브라켓을 첨부하여 지진 및 바람의 영향에 충분히 견딜 수 있도록 하였다.

### 4.4 상판 형식 변경

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

### 4.5 트러스 부재 단면의 증가

트러스 부재단면을 산정하기 위해서 설계시 상사하중 상태인 활하중과 사하중, 온도등에 의한 하중 등 자중방향으로의 하중에 대하여는 2차원 평면해석을 하여 그 내력과 응력을 검토하여 전체적으로 단면을 증가시켰으며, 횡방향 부재는 3차원 입체해석을 실시함으로써 풍하중과 지진하

중 등을 고려하여 횡방향 구조부재를 보강하였다. 또한 기존 부재에 재하되는 피로하중에 의한 응력범위 발생 정도가 충분히 안전측내에 있도록 이를 검토, 확인하고 허용피로 응력 범위를 벗어나는 부재가 있을 경우에는 이를 보강하고 부재 단면을 증가시켰다.

#### 4.6 유지관리

효과적인 유지관리를 위해 점검작업이 용이하도록 중·횡 방향의 점검통로를 설치하였으며, 강재가 녹스는 것을 방지하기 위하여 도장의 내구년한이 훨씬 긴 아연과 우레탄을 주성분으로 하는 중방식 도장을 실시하였고, 교량준공시 교량의 초기특성치 파악을 위한 시험을 실시하여 향후 유지관리의 기준 자료로 사용할 수 있도록 하였다.

## 5. 결론

1994년 10월 붕괴된 성수대교는 기존트러스를 보수·보강후 재사용하여 복구할 계획이었으나, 교량복구공사 전 실시된 정밀안전진단 결과 기존트러스에 구조적인 문제가 다수 발견되어 자문회의 결과, 상부구조를 전면 교체 시공하게 되었다. 기존트러스의 해체에서부터 트러스의 가설까지 교량안전과 품질관리에 만전을 기하였으며, 新성수대교는 기존 교량의 취약부인 편부의 행거를 파단시 여유력이 있는 구조로 하였으며, 이중 안전장치인 낙교방지턱도 설치하였다. 우물통을 보강하여 지진에 대비함은 물론 교량준공시 초기치 파악을 위한 시험을 실시하여 그 결과를 유지관리 시 교량거동 파악에 활용할 수 있도록 하였다. 