

제 4 장 강교와 강합성교

4.1 철강재와 강교

4.1.1 철강재의 발달

제철기술과 강구조에 대한 역학적 이론의 발전을 통하여 꾸준히 강구조물의 건설이 증가되어 왔다. 대표적인 강구조 형태로는 강교량과 철골건축물을 들 수 있으며, 특히 토목분야에서의 강구조 발전에 중추적인 역할을 한 것은 역시 강교량이라 할 수 있다. 우리나라 토목의 역사 중에서 강구조 역사를 기술하기 위해서는 강교량의 발달과정을 기준으로 정리해야 되는 이유이기도 하다.

철기시대 초기의 철은 400℃~800℃ 정도의 낮은 온도에서 만들어졌다. 단철이라 불리는 이 정도 수준의 철은 문고리 등 간단한 도구를 만드는 용도로는 적절할지 몰라도, 구조재로서는 쓸모없는 것이었다. 철을 구조재로 사용하기 시작한 것은 15세기에 이르러 독일 지방에서 목탄을 연료로 1200℃ 정도의 고온을 얻어 탄소함량이 비교적 높은 선철을 생산하기 시작한 후이다. 여기서 생산되는 선철이나 주철은 구조물의 부품과 기둥, 계단의 난간 등에 사용되었다. 그 후 1784년 콜브룩데일 제철소 직원이었던 Henry Cort가 목탄 대신에 석탄을 사용하고 용융된 쇳물을 휘젓는 방법(퍼들법)으로 더욱 품질이 좋은 철을 만들었는데 이것이 바로 연철이다. 연철은 곧바로 주철을 밀어내고 구조물에 사용되기 시작하였다. 이후 강철이 등장하는 19세기 말까지 연철의 시대가 계속되었다. 그러다가 1856년에 미국의 William Kelly와 영국의 Henry Bessemer에 의해 강철을 값싸고 대량으로 생산할 수 있는 방법이 개발되자, 강철이 연철을 밀어내고 가장 중요한 재료로 자리잡았다.

초기의 용광로에서는 목탄을 사용, 수차풀무로 열을

송풍하여 1200℃ 정도의 온도로 용융상태의 철을 얻었으나, 깨지기 쉬워 단조에 적합하지 않는 등 가공성이 부족하여 철제품이라 하기에는 부족한 점이 많았다. 이 때문에 15세기경까지의 제철기술은 철을 용융하지 않고 제철하는데 특징이 있다. 즉, 철광석을 목탄의 연소 열로 가열함과 동시에 목탄으로부터 발생하는 일산화탄소에 의해 산화철을 금속철로 환원시키는 방법을 사용하였다. 이렇게 제철된 금속철을 단련정제함으로써 각종의 철제품이 제조되었는데 이를 단철이라 부른다. 하지만 이러한 방법은 철의 수요가 증가함에 따라 연료가 되는 목탄이 부족하게 되어 목탄에 의한 제철은 어려운 사정에 놓이게 되었다. 이 때문에 17세기에 들어서 석탄을 사용하는 방법이 영국에서 시작되었으나, 정제하지 않은 석탄을 연료로 사용하면 석탄의 유황분 때문에 철이 깨지기 쉬운 상태가 되거나 탄분의 슬래그가 발생하는 등 여러 가지 장애가 있어 성공하지 못하였다.

18세기에 들어서면서 위와 같은 문제를 석탄 대신에 코크스를 사용함으로써 해결하여 제철기술을 급속도로 발전시킨 것은 Abraham Dabit였다. 그는 1708년 목탄 대신에 광물성 연료인 코크스를 용광로에 사용해 철을 만들기 시작하여 제철의 역사에 새로운 장을 열었다. 영국의 '세번 강'을 가로지르는 세계 최초의 철교를 만든 사람도 바로 이 '다비'였다.

이후 1740년대에 접어들어 시계 제작공이었던 Benjamin Huntsman이 '도가니 제강법'이라는 새로운 제강법을 창안해 냈다. 현츠먼은 평소 시계를 만들면서 시계에 사용되는 용수철에 대해 자주 불만을 느끼곤 했는데, 결국은 자기 손으로 우수한 용수철을 만들겠다고 마음먹고 새로운 제철법을 찾아 나섰던 것이다. 벤저민이 고안해 낸 도가니강은 순도와 균질성이 과거의 철제품에 비해 월등히 우수했기 때문에 곧 영국의 셰필드 지역을 중심으로 여러 곳으로 퍼져나갔다. 그 후 1784년 콜브룩데일(Coalbrookdale)제철소 직원

이었던 Henry Cort가 목탄 대신에 석탄을 사용하고 끓는 쇳물을 휘젓는 방법(퍼들법)으로 더욱 품질이 좋은 철을 만들었는데 이것이 바로 연철이다. 19세기 산업혁명에 의해 철의 수요가 급증하면서 세계는 바야흐로 '철강의 시대'에 들어섰다. 계속된 제강기술의 발전을 통해 더욱 혁신적인 제강법이 등장함으로써 대량생산의 길이 열렸기 때문이다.

철강의 시대를 연 선두 주자는 헨리 베서머였다. 그는 1856년에 철강의 시대를 열게 되는 획기적인 제강법을 고안한다. 베서머의 새로운 제강법에 따르면 불과 10분 내지 20분 만에 3~5만톤의 강철을 제조할 수 있었다. 이렇게 베서머 제강법의 도움으로 사람들은 과거와는 비교도 할 수 없을 정도의 빠른 속도로 다량의 강철을 제조할 수 있게 되었기 때문에 강철의 가격을 하락시켜 강철을 연철과 경쟁가능하게 만들었고 강철을 보편화시키는 데 결정적으로 기여하였다.

한편 1860년대를 거치면서 새로운 제강법인 지멘스-마르탱 평로법이 등장했다. 평로법에 의한 제강에서는 3~5톤의 선철에서 탄소를 제거하는 시간이 약 10시간 정도로 베서머 제강법보다는 길었지만, 베서머 제강보다도 더 우수한 강철을 생산할 수 있었다. 그런데 베서머 제강법과 지멘스-마르탱(Siemens-Martin) 평로법은 모두 인과 규소 화합물이 0.1퍼센트 이상 포함된 철광석으로는 저질의 강철밖에는 만들지 못한다는 문제점을 안고 있었다. 이런 문제점을 극복하기 위해서 1879년 런던의 즉결 재판소 서기인 Thomas는 그의 조카인 웨일스 철공소의 화학자인 Percy Carlyle Gilchrist와 함께 인과 규소가 다량 함유된 값싼 철광석으로부터 비교적 양질의 강철을 만드는 새로운 방법인 '염기성 제강법'을 창안해 냈다. 염기성 제강법이란 인과 규소의 화합물을 분리하기 위해서 염기성인 석회석을 용융된 철에 혼합하고, 전로 내벽도 산성인 규토질 내화벽돌 대신에 염기성 물질로 바꾼 것으로, 창안자들의 이름을 따서 '토머스 길크라이스트(Thomas-Gilchrist) 법'이라고도 부른다. 그러나 값이 싸고, 신속하게 대량으로 만들 수 있다는 점에선 베서머 제강법을 따를 것이 없었기 때문에 곧 베서머 제강법에 염기성 방법도 도입되어 값싸고 양질의 철강을 대량 생산할 수 있게 되었으

며, 제련 및 압연 과정과의 수직 결합을 통해서 독일과 미국에서는 대규모 종합제철공장이 나타나게 되었다.

야금학자들은 베서머 제강법 시대 이래로 액체 선철을 강철로 정화시키기 위해 공기가 아닌 순수 산소를 이용하기를 꿈꾸어 왔다. 하지만 당시에는 순수한 산소의 값이 너무 비쌌기 때문에 이 방법은 현실성이 없었다. 그러던 중 1930년대부터 세계 도처에서 산소를 이용하는 야금 방법이 지속적으로 연구된 결과, 1949년 오스트리아에서 실험적 작업의 결과로 순수산소를 사용하는 새로운 제강법이 나타나게 되었다. 이것을 '순산소 제강법' 또는 1952년과 1953년 최초로 용광로가 설치된 오스트리아 도시 이름인 린츠(Linz)와 도나비츠(Donawitz)의 이름을 따라서 'L-D전로 제강법'이라고도 부른다. '순산소 제강법'은 적어도 염기성 평로법에 못지않게 우수한 품질의 강철을 생산할 수 있었다. 특히 이 새로운 제강법은 초대형 전로를 이용함으로써 작업 속도가 빨랐으며 제조 단가도 염기성 평로법에 비해 훨씬 낮았다. 이에 따라 20세기 후반에 들어서면서 일본, 한국을 비롯한 세계 철강 업계에서는 이 '순산소 제강법'을 채택하였고, 포항제철과 같은 거대한 종합제철공장이 세계 곳곳에 건설되게 된다. 결국 1970년대에 이르러 이 새로운 제강법은 세계 철강업계가 사용하는 대표적인 제강법으로 자리잡게 된다.

4.1.2 우리나라 제철의 역사

한반도의 철기 문화는 한나라 시대 이전 것으로 보이는 주조 철기가 한반도 서북 지역에서 발굴되는 것을 미루어보아, 이미 기원전 3-4세기 무렵부터 독자적인 형태로 발전되어 온 것으로 추정된다.

한반도의 철기문화는 가야에 이르러 찬란한 금자탑을 이룬다. 가야국을 건국한 김수로왕은 통치기반을 갖추면서 벼농사 등 농경업과 수산업을 비롯해 제철업을 중흥시켜 백성들이 경제적으로 풍족하게 생활하게 하였다. 김수로왕을 비롯한 가야의 역대왕들은 양산, 동래, 마산, 진해 등지의 철광과 낙동강에서 나는 사철 등 철을 생산하여 쇠도끼, 쇠창, 쇠화살촉, 쇠침, 철검, 철뉘시바늘, 철주, 쇠갑옷을 만들어 쓰는 한편 철정을 만

들어 화폐로도 사용했다. 이로써 가야국은 완전한 철기 시대로 접어들어 농기구, 무기류 등 철기의 사용이 보편화되었다.

한편 신라는 진한에 소속된 사로국에서 출발한 작은 나라였다. 그런데도 3세기에는 이웃 소국들을 합병하고, 6세기에는 가야국을, 7세기에는 삼국을 통일하였다. 4대 탈해왕에 관한 기록에서 엿볼 수 있듯이, 풍부한 철광석과 철 생산시설을 보유하면서 주변국에 철을 공급하고 있던 '철 강국'이 신라였기에 통일을 이룰 수 있었던 것이다.

철기문화의 발달이 삼국통일의 원동력이었다는 점을 엿보게 하는 대표적인 사례가 '황룡사 장륙존상(皇龍寺丈六尊像)'이다. 장륙존상은 삼국통일의 위업을 이룬 진흥왕이 왕권의 위엄과 야철기술을 대내외적으로 과시하려 한 결과 탄생한 무계가 무려 21톤이나 나가는 동양 최대의 철불이었다. 당시 인도, 중국, 동남아 국가 등도 장륙존상과 같은 거대한 불상을 만들려고 여러 번 애를 썼으나 모두 실패하고 신라만 성공했다. 신라가 제철 기술이 동양 최고 수준이었다는 것을 증명해 주는 사례다. 결국 신라가 삼국통일을 이룬 원동력은 철강 산업에 있었다. 국가차원에서 철강산업을 계획적으로 육성하면서 이 분야에 종사하는 기술자들을 우대하는 정책을 추진한 결과 한반도의 주인이 될 수 있었던 것이다.

우리나라의 철강산업의 시작은 1918년 일본의 미쓰비시(三菱)제철이 세운 일본제철주식회사 염이포 제철소에서 비롯되며, 생산은 연간 5만톤 규모이지만 한국 공업사상 획기적인 일이었다. 또한 일본 고주파공업 주식회사 성진공장(1937)과 미쓰비시 공업주식회사 청진 광업소(1939)가 뒤따라 설립되었고, 그 후에도 계속 신규공장이 설립되었으며, 1943년에 제철 제철주식회사에 이어서 북평에 당시 남한 유일의 제철공장인 삼화 제철소가 건설되었다.

해방 후 대부분의 제철공장이 38선 이북에 있었으므로 철강공업은 침체상태에 들어섰으며 6·25동란 후의 선철 생산은 거의 전무하였고 겨우 전쟁고철을 이용한 재압연업인 선철공장이 가동하는 정도에 불과했다. 그러나 1956년 대한중공업(현 인천제철), 1958년 삼화 제철에서 철강을 생산하기 시작하였고 1960년 대한중

기, 서울제강, 대한제철, 대한중공업, 한국철강 등이 열간박판 압연공장을, 강관제조분야도 1957년 기아산업, 1960년 부산철관, 1961년 일신제강, 동양공업 등이 가동을 개시했다.

이 기간 중의 철강 생산은 선철연간 1,000M/T, 강괴연간 61,000M/T, 압연강 및 주철 110,000 M/T이었다. 이 기간의 우리나라 철강공업은 수출주도형 공업화전략으로 철강재의 수요가 증가함에 따라 기존 시설의 확충과 신규공장 건설이 활발하게 이루어져 선철 생산능력은 연간 72,000M/T, 압연능력은 연간 457,000M/T, 제강능력은 연간 279,300M/T이었다.

건설자재인 철근 등의 수요가 급격히 증가하여 철강 압연재의 생산량은 1971년 1,340천M/T 이고 주철, 주단강 제품의 생산량은 120,115M/T, 강괴 생산량은 518,451M/T 이었다. 철근콘크리트용 철근은 1918년 일본인에 의해 세워진 염이포 제철소에서 생산되었으며, 그 당시 철근은 거의 대부분이 일본에 공급되었다.

그리고 실질적인 우리나라 철근생산은 1956년경 대한중공업, 삼화제철 등에 의하여 소규모나마 제품생산을 하게 되었으며 그 후 꾸준한 향상을 보여 1964년경부터는 본격적으로 원형철근 및 이형철근을 생산하기에 이르렀고, 또한 고장력 이형철근은 인천중공업에서 개발하여 그 이름을 하이바라 하여 1968년부터 생산을 개시했다. 현재 그 종류는 HIBAR 35, HIBAR 40이 있다. 한편 교량용 강재는 해방 전·후에 걸쳐 거의 일본으로부터 수입되었으며, 1953년경부터 일반구조용 압연강재(SS41)가 현 인천제철에서 생산되기 시작하였고 1968년에는 포항제철에서도 생산되기 시작하였다.

종합적인 경제개발계획(1962년)을 통하여 불붙기 시작한 경제 성장과 산업 구조의 고도화는 우리나라의 철강 수요를 급증시켰다. 이에 힘입어, 외국산의 수입에만 의존하지 않고 철강을 자급하겠다는 목표 아래, 1968년에 착수하여 마침내 1973년 연간 103만톤 규모의 조강능력을 갖춘 현대적인 설비의 종합 제철소를 세우는데 바로 포항종합제철이다. 포항종합제철이 건설되면서 우리나라의 제철산업은 비약적인 발전을 이루게 되어 생산량뿐만 아니라 품질면에서도 세계적인 수준의 철강재를 생산할 수 있게 되었다. 현재, 우리나라는 세

표 4.1 일반구조용 압연강재의 변천

| 제·개정연도 | 강 재 종 류 | 주 요 변 경 내 용 |
|--------|--------------------------------|-----------------------|
| 1962 | SB 34, SB 41, SB 50 | 1962년에 KS D 3503 제정 |
| 1967 | SB 34, SB 41, SB 50, SB 55 | SB 55 추가 |
| 1976 | SS 34, SS 41, SS 50, SS 55 | 강재 기호 변경 (SB→SS) |
| 1993 | SS 330, SS 400, SS 490, SS 540 | SI 단위계로 변경 |
| 1998 | SS 330, SS 400, SS 490, SS 540 | 현 규격 (KS D 3503 1998) |

계 5대 조강 생산국이며 세계 최대 철강사(포항종합제철:연간 조강생산량 2천8백만톤, 2000년)를 보유한 국가가 되었다.

그러나 건설공사의 기술이 날로 발전함에 따라 고강도 강재가 구조물공사에 많이 사용되었으나, 거의 수입하여 오던 중 1970년대 후반부터 포항제철에서 용접구조용 압연강재(SWS 50Y)를 생산하게 되어 교량 건설에도 활기를 띠기 시작했다. 근래에 와서는 소형강에서부터 대형강에 이르기까지 거의 전 품목에 걸친 철강제품을 생산하기에 이르렀다.

4.1.3 구조용 강재의 규격 변천

(1) 구조용 강재의 KS 규격 변천

① 일반 구조용 압연강재 (KS D 3503)

일반 구조용 압연강재는 한국공업규격 KS가 제정된 해인 1962년에 KS D 3503 규격으로 최초로 제정되었다. 이후 1976년에 강종기호를 SB(Steel for Bridges)에서 SS(Steel for Structures)로 변경하고 1993년에 기존의 kg/mm² 단위를 SI 단위계인 N/mm²(MPa) 단위로 변경하는 등 몇가지 주요 변화를 거친 후, 현재 사용 규격인 KS D 3503 1998로 되었다.

② 용접 구조용 압연강재 (KS D 3515)

용접 구조용 압연강재는 1965년에 KS D 3515 규격으로 최초로 제정된 후, 1972년에 SWS(Steel for Welding Structures) 53과 SWS 58이 추가되고 1992년에 기존의 kg/mm² 단위를 SI 단위계인 N/mm²(MPa) 단위로 변경하는 등 몇 가지 주요한 변화를 거쳤다. 현재 사용 규격은 1997년에 기존의 강종기호 SWS를 SM(Steel for Marine)으로 개칭한 KS D 3515 1997이다(표 4.2 참조).

③ 용접 구조용 내후성 열간 압연 강재(KS D 3529)

SMA(Steel for Marine Atmosphere)의 기호를 갖는 용접 구조용 내후성 열간 압연강재는 1977년에 KS D 3529 규격으로 최초로 제정된 후, 1980년에 도장용 내후성강과 무도장 내후성강을 구분하는 내용으로 개정되어 현재 사용 규격인 KS D 3529 1984에 이르렀다.

(2) 도로교표준시방서의 강재 규격 변천

1964년 최초로 발간된 도로교표준시방서로부터 2000년의 도로교 설계기준의 강재 규격 변천사를 살펴보면, 해당 KS 기준의 개정을 반영하여 변경되는 것과 도로교표준시방서 개정 당시의 기술 수준을 반영하여 사용 강종이 추가되거나 삭제되는 변화를 볼 수 있다.

표 4.2 용접 구조용 압연강재의 변천

| 제·개정연도 | 강 재 종 류 | 변 경 내 용 |
|--------|---|--|
| 1965 | SWS 41A, 41B, 41C, SWS 50A, 50B, 50C | 1965년에 KS D 3515 제정 |
| 1972 | SWS 41A, 41B, 41C, SWS 50A, 50B, 50C, SWS 50YA, 50YB, SWS 53B, 53C, SWS 58 | SWS 50YA, 50YB, SWS 53B, 53C, SWS 58 추가 |
| 1992 | SWS 400A, 400B, 400C, SWS 490A, 490B, 490C, SWS 490YA, 490YB, SWS 520B, 520C, SWS 570 | SI 단위계로 변경 |
| 1997 | SM 400A, 400B, 400C, SM 490A, 490B, 490C, SM 490YA, 490YB, SM 520B, 520C, SM 570 | 강재 기호 변경 (SWS→SM), 현 규격 (KS D 3515 1997) |

표 4.3 용접 구조용 내후성 열간 압연 강재의 변천

| 제·개정연도 | 강 재 종 류 | 변 경 내 용 |
|--------|--|-------------------------------|
| 1977 | SMA 41A, 41B, 41C, SMA 50A, 50B, 50C, SMA 58 | 1977년에 KS D 3529 제정 |
| 1980 | SMA 41AW, 41BW, 41CW, SMA 41AP, 41BP, 41CP, SMA 50AW, 50BW, 50CW, SMA 50AP, 50BP, 50CP, SMA 58W, 58P | 도장용 내후성강(P)과 무도장 내후성강(W)으로 구분 |
| 1984 | SMA 41AW, 41BW, 41CW, SMA 41AP, 41BP, 41CP, SMA 50AW, 50BW, 50CW, SMA 50AP, 50BP, 50CP, SMA 58W, 58P | 현 규격 (KS D 3515) |

1964년의 강도로교 표준시방서와 1972년의 용접강도로교표준시방서에서는 구조용 강재의 분류가 없었으나 표 4.4와 같이 1978년의 도로교표준시방서의 강교편부터 강제종류가 구분되기 시작했다. 이렇게 당시의 기술수준을 반영하여 개정되어 온 표준시방서의 사용강재

규정 변천사를 살펴보는 것은 우리나라의 교량기술 발전을 전사할 수 있는 주요한 잣대가 될 수 있을 것이다. 도로교표준시방서와 도로교설계기준서에 규정되어 있는 주요 구조용 강재의 규격 변천사를 살펴보면 다음과 같다.

표 4.4 구조용 강재

| 제정연도 | 적 용 규 격 | | 강 재 기 호 | 주요 변경내용 |
|------|-----------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1978 | KS D 3503 | 일반 구조용 압연강재 | SB41, SB50 | |
| | KS D 3515 | 용접구조용 압연강재 | SWS41, SWS50, SWS50Y, SWS53, SWS58 | |
| 1983 | KS D 3503 | 일반 구조용 압연강재 | SS41, SS50 | KS의 강제기호 변경에 따라 SB →SS로 개칭 |
| | KS D 3515 | 용접구조용 압연강재 | SWS41, SWS50, SWS50Y, SWS53, SWS58 | |
| | KS D 3529 | 용접구조용 내후성 열간 압연강재 | SMA41, SMA50, SMA58 | 1977년 KS D 3529의 제정시 내후성강재 추가 |
| 1986 | KS D 3503 | 일반 구조용 압연강재 | SS41, SS50 | |
| | KS D 3515 | 용접구조용 압연강재 | SWS41, SWS50, SWS50Y, SWS53, SWS58 | |
| | KS D 3529 | 용접구조용 내후성 열간 압연강재 | SMA41, SMA50, SMA58 | |
| 1992 | KS D 3503 | 일반 구조용 압연강재 | SS41 | SS50 삭제 |
| | KS D 3515 | 용접구조용 압연강재 | SWS41, SWS50, SWS50Y, SWS53, SWS58 | |
| | KS D 3529 | 용접구조용 내후성 열간 압연강재 | SMA41, SMA50, SMA58 | |

| 제정연도 | 적 용 규 격 | | 강 제 기 호 | 주요 변경내용 |
|------|-----------|-------------------|---|-----------------------|
| 1996 | KS D 3503 | 일반 구조용 압연강재 | SS400 | KS의 SI 단위계로 변경 |
| | KS D 3515 | 용접구조용 압연강재 | SWS400, SWS490, SWS490Y, SWS520, SWS570 | KS의 SI 단위계로 변경 |
| | KS D 3529 | 용접구조용 내후성 열간 압연강재 | SMA41, SMA50, SMA58 | |
| 2000 | KS D 3529 | 일반 구조용 압연강재 | SS400 | |
| | KS D 3515 | 용접구조용 압연강재 | SM400, SM490, SM490Y, SM520, SM570 | KS 강제기호 변경시 SWS→SM 개칭 |
| | KS D 3529 | 용접구조용 내후성 열간 압연강재 | SMA41, SMA50, SMA58 | |

표 4.5 강관

| 제정연도 | 적 용 규 격 | | 강 제 기 호 | 변경내용 |
|------|-----------|--------------|----------------|------------|
| 1977 | KS D 3566 | 일반 구조용 탄소 강관 | SPS41, SPS50 | |
| 1983 | KS D 3566 | 일반 구조용 탄소 강관 | SPS41, SPS50 | |
| 1986 | KS D 3566 | 일반 구조용 탄소 강관 | SPS41, SPS50 | |
| 1992 | KS D 3566 | 일반 구조용 탄소 강관 | SPS41, SPS50 | |
| | KS F 4602 | 강관말뚝 | SPS41, SPS50 | 신규 추가 |
| | KS F 4605 | 강관시트파일 | SKY41, SKY50 | 신규 추가 |
| 1996 | KS D 3566 | 일반 구조용 탄소 강관 | SPS41, SPS50 | |
| | KS F 4602 | 강관말뚝 | SPS41, SPS50 | |
| | KS F 4605 | 강관시트파일 | SKY41, SKY50 | |
| 2000 | KS D 3566 | 일반 구조용 탄소 강관 | SPS400, SPS490 | SI 단위계로 변경 |
| | KS F 4602 | 강관말뚝 | SPS400, SPS490 | |
| | KS F 4605 | 강관시트파일 | SKY41, SKY50 | |

표 4.6 접합용 강재

| 제정연도 | 적 용 규 격 | | 강 재 기 호 | 변 경 내 용 |
|------|-----------|-------------------------------|-----------------|---------|
| 1977 | KS B 1010 | 마찰이음용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트 | F8T, F10T, F11T | |
| | KS D 3557 | 리벳용 압연 강재 | SBV34, SBV41A | |
| 1983 | KS B 1010 | 마찰이음용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트 | F8T, F10T, F11T | |
| | KS D 3557 | 리벳용 원형강 | SBV34, SBV41A | |
| 1986 | KS B 1010 | 마찰이음용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트 | F8T, F10T, F11T | |
| | KS D 3557 | 리벳용 압연 강재 | SBV34, SBV41A | |
| 1992 | KS B 1010 | 마찰접합용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트 | F8T, F10T | F11T 삭제 |
| 1996 | KS B 1010 | 마찰접합용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트 | F8T, F10T | |
| 2000 | KS B 1010 | 마찰접합용 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트 | F8T, F10T | |

표 4.7 용접재료

| 제정연도 | 적 용 규 격 | |
|------|-----------|----------------------|
| 1977 | KS D 7004 | 연강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7006 | 고장력강용 피복아크 용접봉 |
| 1983 | KS D 7004 | 연강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7006 | 고장력강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7024 | 서브머지드 아크 용접용 강선 및 용제 |
| 1986 | KS D 7004 | 연강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7006 | 고장력강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7024 | 서브머지드 아크 용접용 강선 및 용제 |
| 1992 | KS D 7004 | 연강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7006 | 고장력강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7024 | 서브머지드 아크 용접용 강선 및 용제 |
| 1996 | KS D 7004 | 연강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7006 | 고장력강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7024 | 서브머지드 아크 용접용 강선 및 용제 |
| 2000 | KS D 7004 | 연강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7006 | 고장력강용 피복아크 용접봉 |
| | KS D 7024 | 서브머지드 아크 용접용 강선 및 용제 |

4.1.4 강교의 변천과 발달

최초의 근대적인 철제 교량인 아이언 브리지(iron Bridge)교는 Thomas Prichard, John Wilkinson, Dabit 3세가 세운 다리로 33미터의 경간에 총 380톤의 주철을 사용했다. 이후 1796년 Thomas Wilson의 설계에 의해 샌더랜드의 웨어강에 79미터짜리 다리가 가설되었고, 비슷한 시기에 Thomas Telford는 불과 173톤의 철만으로 세번강에 43미터의 빌드와스교를 건설했다. 이어 1852년에는 152미터의 주 경간과 양측에 77미터의 두 개의 경간을 설치한 브리타니아(Britannia)교가 건설되고 1859년에는 두개의 150미터 트러스로 구성된 살타쉬(Saltash) 고가교가 건설되었다. 두 다리 모두 연철판을 사용해 만든 플레이트 거더를 리벳으로 고정시키는 방법으로 만들어졌다. 1890년에는 2,530미터의 포스(Forth)교가 John Pauler와 Benjamin Baker에 의해 영국의 스코틀랜드에 세워졌다.

Eiffel은 1878년 건설한 포르투갈의 도우로강 고가교, 프랑스 중부 가라비 고가교 등의 고가 철도교를 세운 경험을 통해 1889년, 300미터 높이의 에펠탑을 완성시켰다(나중에 330미터로 증축됨). 1869년부터 1883년 사이에 Roblin 부자는 세계 최초로 강철 와이어를 사용하여 미국 뉴욕에 528미터의 브룩클린 교를 건설하였다. 이것의 원형이 된 것은 1855년 완성한 270미터 경간의 나야가라 철도교와 1867년 건설한 330미터 경간의 신시내티(Cincinnati)교였다.

20세기 초부터 발전하기 시작한 강재의 압연기술로 인해 강구조 재료는 더욱 가벼워졌고 이에 따라 강재를 교량의 부재로 사용하는 것이 훨씬 편리해졌다. 1937년에 개통된 골든게이트교(금문교)는 자연환경이 최악의 상태인 금문만을 횡단했다는 것 외에도 자연경관과 구조물과의 완벽한 조화를 고려한, 20세기 초기의 교량 건설 기술수준을 한껏 드높인 작품이다.

특히 2차대전 발발과 함께 미국에서 발전하기 시작한 강재 용접기술은 여러 가지 형태의 구조물에 강재의 사용을 가능하게 했다. 2차대전을 치르면서 사용되던

대량의 강재가 전쟁이 끝난 후에는 주로 구조물 축조에 쓰이게 되었다. 대량으로 생산된 강재가 이때부터 고강도화되기 시작했다. 이처럼 강구조물의 제작이 양과 질 모두에서 향상을 이루게 되면서, 그 결과 강구조로 이루어진 장대교량 등이 많이 출현하게 되었다.

우리나라의 교량은 8·15 해방전 대부분 일제에 의해 건설되었으나, 해방과 더불어 모든 건설공사가 우리의 손에 의해 이루어졌지만 국토의 분단과 국내 정세의 혼란으로 발전이 지지부진하였다. 특히 1950년 발발된 6·25 전쟁으로 인하여 그나마 건설된 대부분의 교량도 파괴되었으며, 휴전 후의 건설공사는 주로 파괴교량에 대한 복구공사로서 신설공사는 미미한 실정이었다. 이 시기의 교량 건설은 전쟁시 임시로 가설된 목교 등을 영구교로 개수하는 것으로서 형상을 이용한 I형교 또는 경간장 15m이하의 단경간의 철근콘크리트 교량이 대부분이었다. 장대교로는 금강대교(1957년 복구)와 한강인도교(1959년 복구) 등의 복구공사 정도가 있었을 뿐이었다.

1961년 5·16 혁명 이후 경제개발 계획에 따라 산업도로 및 고속도로의 건설이 시작되면서 도로교의 신설공사가 급증하게 되어 장기간 침체되었던 우리나라 도로기술이 획기적으로 전기를 맞게 되었다. 경부고속도로를 시발로 하여 계속적인 고속도로 건설로 인하여 많은 새로운 형식의 장대교량들이 건설되었다. 또한 기존 국도와 지방도로는 확장, 포장 및 신설에 따라 고속도로 교량 이외에도 많은 새로운 교량이 건설되었다. 서울, 부산 등의 대도시에서는 차량의 증가로 인한 교통난 완화를 목적으로 교량과 고가도로 등의 건설이 잇따르게 되었다.

경제개발의 초기 단계에는 인건비가 싸고 철강제품의 가격이 콘크리트에 비해 월등히 고가였기 때문에 철근콘크리트교의 건설이 강교에 비하여 훨씬 많았다. 그러나 경제발전과 함께 인건비의 비중이 상대적으로 높아지고 국내의 철강산업이 비약적으로 발전함에 따라 강교의 상대적인 제작 단가가 낮아짐으로 하여 지간 30~50m 정도의 중경간 강교량이 건설되는 비율이 급격히 높아지게 되었다. 이러한 교량으로는 여주교(1964년 준공), 제2한강교(1965년 준공), 백제교

(1968년 준공) 등을 들 수 있다. 특히 강교의 가설 공기가 짧고 자중이 콘크리트에 비해 작은 관계로 도시내의 고가도로와 장대교량에 강교가 많았다. 이 당시 강교의 기술발전에 가장 큰 기여를 한 교량은 청계고가교를 들 수 있다. 이 교량은 고장력강을 사용한 용접강도로교로서 고장력볼트를 연결부에 사용하였고, 일부 구간은 본격적인 곡선교 형식을 취하였다.

한편, 1901년에 경부선 기공을 시작으로 경의선 호남선 등의 철도 공사가 시작됨에 따라서 우리나라에도 많은 철도교가 가설되었다. 한강 상에 가설된 대표적인 철도교인 한강철교는 1911년 6월과 1900년 7월에 가설된 A선, B선과 1944년 6월에 가설된 C선이 있다. A, B 선은 핀트러스와 판형으로 설계되었고, C선은 복사트러스(double diagonal truss)형식이다.

우리나라의 교량 설계기술은 해방후의 정치적 혼란과 6·25 동안 등으로 기술발전이 거의없이 답보상태에 머무르고 있었다. 설계기준도 뚜렷이 정립된 것이 없이 1939년 일본인들이 제정한 강도로교설계표준시방서 및 동계작시방서를 1960년대 초까지 그대로 사용하였다. 1962년에 우리나라의 강교에 대한 최초의 설계기준인 강도로교설계표준시방서가 제정될 때까지 이들 규정에 따라 설계하였다. 1962년에 강도로교표준시방서가 출간된 지 2년 후인 1964년에 동시방서에 대한 해설이 출간되고, 1972년에 용접강도로교표준시방서가 제정되었다.

앞에서 언급한 두 시방서와 철근콘크리트 표준시방서의 내용을 같이 편집하여 1978년에 도로교표준시방서가 제정되었고 강교 설계기준은 그 안에 강교편으로 편집되었다. 1978년 도로교표준시방서 강교편에서는 판 두께에 따른 강제종류의 선정기준과 구조용 강재의 허용응력에 대한 자세한 규정이 추가되었다. 또한 용접부의 리벳, 볼트의 허용응력이 규정되고, 판형에 대한 상세 규정과 아치, 케이블, 강관, 라멘 등에 대한 설계규정이 추가되어 강교의 설계표준시방서로서의 면모를 갖추게 되었다.

1992년에 개정된 도로교표준시방서 강교편에서는 피로설계를 할 필요가 있는 경우에 부록에 허용피로응력을 참고하여 피로 설계를 할 수 있도록 규정하였으나

필수규정은 아니었다. 리벳접합에 대한 규정을 삭제하여 리벳의 사용을 억제하였으며 판형의 경우 수평보강재를 3단까지 사용할 수 있도록 하였다.

1996년에 개정된 도로교표준시방서 강교편에서는 강교의 피로설계를 의무화하여 피로설계규정을 완성하였고, 강상관 설계규정을 상세히 보완하였으며 기존시방서의 해설에 대한 편집방법을 달리하여 2단편집으로 개편하였다. 1999년에 명칭을 도로교설계기준 강교편으로 개정하였으며 해설을 삭제하고 설계규정만을 수록하는 방향으로 개정하였으며, 사용할 수 있는 강관의 두께를 50mm에서 100mm로 상향조정하여 후판의 사용이 가능하도록 하였고 이에 따라 강재의 허용응력규정을 대폭 개정하였다.

해방 이전의 교량 설계는 대부분 일본 기술자들에 의해 수행되었으나 한강철교 C선 교량은 이종락(李鍾洛) 씨, 예성강(禮成江)철교는 박상조(朴尙朝) 교수에 의해 실질적인 설계가 수행되었으며, 이때에 지도를 받은 기술자들에 의해 해방 후 철도의 교량기술 특히 강교의 설계 및 제작 기술이 상당히 향상된 것으로 알려져 있다. 1936년에 준공된 한강대교의 타이드아치교는 한국인 교량기술자 최경렬(崔景烈) 씨가 감독으로 참여한 것으로 알려지고 있다. 해방 이후의 철도교 설계에는 박길수(朴吉洙) 씨 등이 많은 역할을 담당하였으며 1954년에 「교량공학」상하권을 집필한 바 있다. 5·16 이후에는 국내교량기술자들이 외국기술자들과의 협조하에 남해대교를 비롯하여 한강 등에 장경간의 강교 설계 및 제작에 참여하게 되었다. 서울대의 신영기(申永琦) 교수는 구조해석 S/W를 사용하여 교량의 구조해석 기법을 국내에 소개하여, 복잡한 교량 구조설계가 가능하도록 하는데 기여하였으며, 1970년대 이후의 강교량 발전에는 구미의 강교설계에 대한 기술을 국내 기술과 접목시킨 젊은 교수들과 기술자들의 역할이 컸으며, 강상관교의 설계기술을 국내 기술자들에게 전수시키고 사장교와 같은 케이블을 사용한 장대교의 설계기술 발전에 기여하였다. 근래에는 양적으로나 질적으로 우수한 강교량기술자들이 많이 배출되어 서해대교를 비롯한 광안대교와 영종대교 같은 장경간의 아름다운 교량 건설에 이바지하고 있다.

표 4.8 고속도로 관리 교량의 변화

| 구 분 | '78 | '81 | '84 | '87 | '90 | '93 | '96 | '98 | 비 고 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 개 소 | 758 | 790 | 795 | 921 | 1,060 | 1,166 | 1,544 | 1,755 | 2.3배 증가 |
| 면 적 (km ²) | 0.320 | 0.385 | 0.518 | 0.809 | 0.916 | 1.490 | 2.722 | 3.283 | 10.3배 증가 |

4.2 고속도로의 강교

4.2.1 개요

경제성장의 중추적인 역할을 하게 된 고속도로는 제2차 경제개발 5개년 계획과 함께 시작되었다. 1966년 제1차경제개발 5개년 계획기간 중에는 사회·경제적으로 고속도로의 필요성은 어느 정도 인식되고 있었으나 현실적으로 고속도로의 건설은 불가능한 것으로 여겨졌다. 그러나, 수출지향의 공업국가의 실현을 위해서 제2차 경제개발 5개년 계획기간 동안 경인고속도로와 경부고속도로를 건설하기로 결정하였으며, 1967년 5월 1일에 기공식을 가졌다.

이후에 1970년 7월 7일 난공사였던 대전-대구구간의 공사를 마침으로서 고속도로의 대동맥인 경부고속도로가 개통되었으며, 이후에 크고 작은 고속도로가 계속 건설되었다. 현재, 고속도로의 총건설연장은 1999년 2

월까지 20개 노선에 총 2,023.2km이며, 한국도로공사의 관리연장인 1,996.3km가 공용중에 있다. 고속도로의 역사는 우리나라 경제성장의 역사이며, 토목기술의 역사임과 아울러서 교량의 역사라고 할 수 있다.

1998년말 현재 고속도로 관리연장중에 구조물이 총 관리 연장의 약 11%를 차지하고 있다. 대표적인 구조물은 교량, 터널, 암거이다. 전체적으로 교량은 1,755개소에 155,670m, 터널은 65개소에 50,466m이며 암거는 총 4,844개소(지하통로 2,621개소)이다. 고속도로의 증가와 더불어서 한국도로공사에 의해서 관리되고 있는 교량의 개소도 증가하였으며, 면적도 기하급수적으로 증가하였다. 고속도로교량 중에서 본선에 존재하는 100m가 넘는 교량은 장대교량으로, 100m 미만은 소교량으로 구분하여 관리하고 있으며, 고속도로상을 횡단하는 횡단육교는 최근에 지방자치단체로 대부분 이관되고 있다.

또한 고속도로의 교량을 재료에 따른 개소와 총연장을 노선별로 나타내면 그림 4.1과 같으며, 이를 다시 정리하면 표 4.9와 같다.

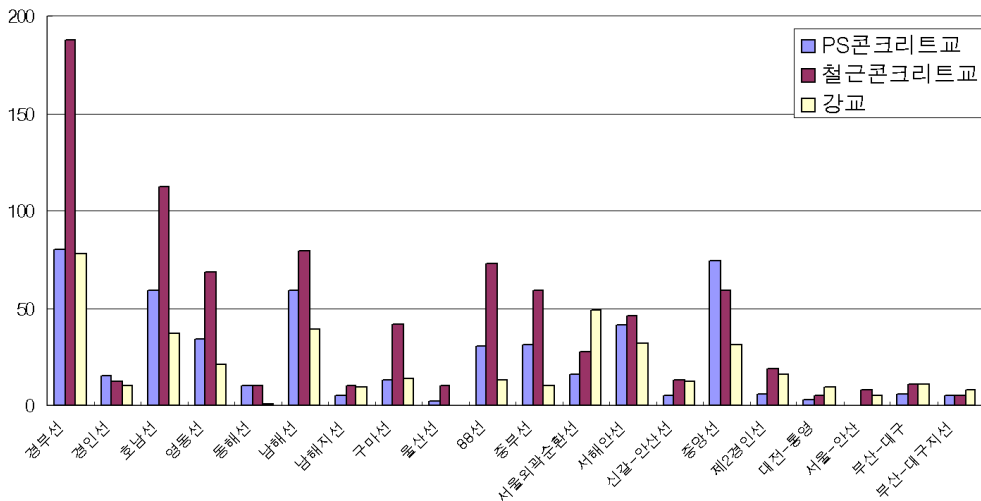


그림 4.1 고속도로 교량의 재료에 따른 노선별 개소 비교

표 4.9 교량 상부구조형식별 현황

(단위: 개소/연장(m))

| 구분 | 계 | 아치 | 박스 거더 | PC 중공 슬래브 | RC 중공 슬래브 | I 형 | PC빔 | 프리 플렉스 | 라멘 | PC 슬래브 | RC 슬래브 | 스틸박스 거더 | 프레이트 거더 | T형 |
|--------------|--------------------|------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|
| 총계 | 1,755 (155,670) | 5 (699) | 48 (17,863) | 8 (661) | 65 (4,573) | 38 (858) | 417 (51,965) | 110 (5,206) | 529 (11,135) | 16 (1,502) | 188 (7,056) | 249 (45,706) | 46 (7,254) | 36 (1,192) |
| 경부선 | 346 (19,469) | 3 (448) | 3 (463) | 1 (60) | 3 (142) | 37 (848) | 72 (6,378) | 38 (1,761) | 55 (1,263) | 1 (41) | 72 (2,486) | 24 (1,730) | 16 (3,103) | 21 (746) |
| 경인선 | 37 (1,267) | - | - | - | - | - | 13 (514) | 4 (123) | 6 (147) | 2 (104) | 5 (39) | 6 (314) | - | 1 (26) |
| 호남선 | 208 (14,013) | - | 3 (1,040) | - | 3 (170) | - | 55 (6,405) | 10 (419) | 42 (854) | 1 (50) | 60 (2,290) | 26 (2,631) | 1 (39) | 7 (115) |
| 영동선 | 123 (7,916) | - | 4 (2,200) | - | 4 (212) | 1 (10) | 23 (1,812) | 13 (531) | 62 (1,126) | 7 (738) | - | 8 (1,262) | - | 1 (25) |
| 동해선 | 21 (1,631) | - | 1 (450) | - | 2 (128) | - | 9 (805) | 1 (92) | 8 (156) | - | - | - | - | - |
| 남해선 | 177 (13,889) | - | 3 (1,220) | - | 3 (435) | - | 56 (5,357) | 6 (211) | 62 (1,171) | - | 9 (441) | 28 (3,170) | 5 (1,754) | 5 (130) |
| 남해 지선 | 24 (3,329) | - | - | - | - | - | 5 (910) | - | 9 (154) | - | 1 (35) | 3 (1,767) | 6 (463) | - |
| 구마선 | 69 (4,666) | - | - | - | - | - | 13 (1,086) | - | 42 (938) | - | - | 13 (2,571) | 1 (71) | - |
| 울산선 | 12 (304) | - | - | - | - | - | 2 (190) | - | 7 (65) | - | 3 (49) | - | - | - |
| 88선 | 116 (8,546) | - | - | - | - | - | 30 (5,113) | - | 42 (874) | - | 31 (1,384) | 1 (30) | 12 (1,145) | - |
| 중부선 | 100 (9,268) | - | 10 (2,566) | 3 (270) | 16 (1,343) | - | 16 (2,179) | - | 40 (1,089) | 2 (89) | 2 (80) | 9 (1,322) | 1 (180) | 1 (150) |
| 서울외곽 순환선 | 92 (22,338) | - | 5 (3,608) | - | - | - | 11 (3,295) | 8 (348) | 26 (843) | - | 1 (55) | 41 (14,189) | - | - |
| 서해안선 | 119 (12,797) | - | 9 (1,945) | 4 (331) | 5 (255) | - | 28 (5,763) | 4 (210) | 41 (802) | - | - | 28 (3,491) | - | - |
| 신갈~ 안산선 | 30 (2,035) | - | - | - | 2 (115) | - | 5 (432) | 6 (361) | 9 (219) | - | 2 (78) | 4 (675) | 2 (155) | - |
| 중앙선 | 164 (19,335) | 2 (251) | 5 (2,071) | - | 20 (1,469) | - | 64 (9,891) | 14 (897) | 37 (658) | 3 (480) | 2 (119) | 15 (3,155) | 2 (344) | - |
| 제2 경인선 | 41 (2,214) | - | - | - | 3 (141) | - | 6 (480) | 2 (87) | 16 (251) | - | - | 14 (1,255) | - | - |
| 대전~ 통영선 | 17 (3,134) | - | 3 (1,750) | - | 3 (113) | - | - | - | 2 (43) | - | - | 9 (1,228) | - | - |
| 서울~ 안산선 | 13 (1,357) | - | - | - | 1 (50) | - | - | 3 (125) | 7 (167) | - | - | 2 (1,015) | - | - |
| 부산~ 대구선 | 28 (4,397) | - | - | - | - | - | 6 (346) | - | 11 (203) | - | - | 11 (3,848) | - | - |
| 부산 ~ 대구지선 | 18 (3,765) | - | 2 (550) | - | - | - | 3 (1,009) | 1 (41) | 5 (112) | - | - | 7 (2,053) | - | - |

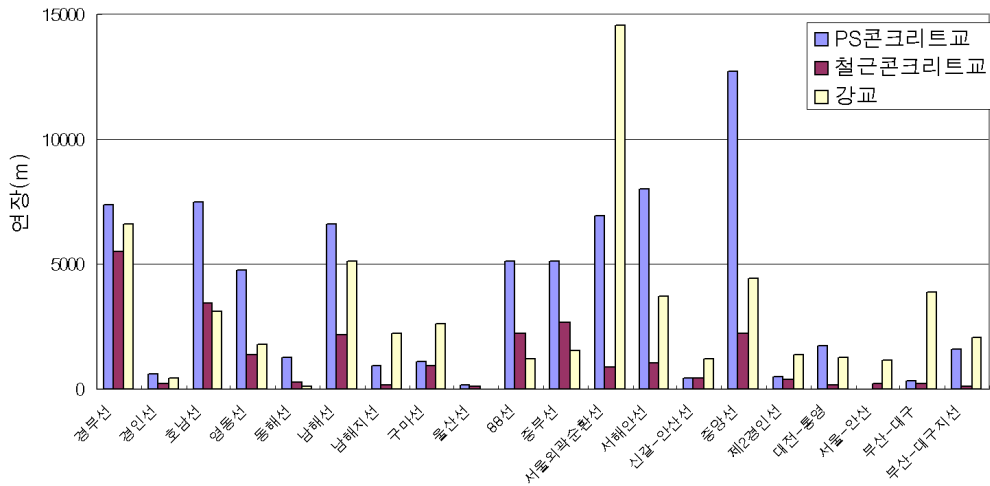


그림 4.2 고속도로 교량의 재료에 따른 노선별 연장비교

고속도로가 건설되던 초창기에는 국내에서 구조용 강재의 생산이 이루어지지 않았으므로, 특별한 경우를 제외하고는 거의 대부분이 콘크리트 교량이었다. 콘크리트 교량의 경우에도 철근콘크리트 교량이 주로 이용되었으며, 장대교량에는 PSC 빔교와 같은 프리스트레스트 콘크리트 교량이 많이 적용되었다. 포항제철에서 구조용 강재가 생산되기 시작하던 70년대 말부터 본격적으로 강교량이 증가하기 시작하였는데, 실질적으로 설계에 반영되면서 비약적으로 발전하기 시작한 것은 80년대 중반 이후이다. 70년대 초에는 대표적인 강교량으로 구포 낙동강교를 들 수 있는데, 총 20경간의 교량으로 강교량 부분은 16경간 4경간이 PSC 빔교로 건설되었다. 당시에 구포 낙동강교는 국내 최장의 교량이었다. 또한, 70년대 말에 남해고속도로 부산-냉정간의 지선상에 서부산 낙동강교를 건설하였는데, 국내 최초의 강상판형교였으며, 교량 연장이 당시로서는 제일 길었던, 1,765m였다.

이후에 80년대에 들어서 몇몇 교량이 있었으나, 고속도로 강교량 중에서 가장 대표적인 교량은 현재 건설 중인 서해대교 사장교 구간과 신공항 고속도로 연육교 구간에 있는 자정식 현수교, 방화대교 등을 들 수 있다. 각 시대별로 강교량의 변천을 다음 절에 기술하였다.

4.2.2 시대별 고속도로 강교량의 변천

(1) 1960년대와 1970년대

초기의 경인고속도로와 경부고속도로에서는 대부분이 콘크리트 교량으로 건설되었으며, 4차선으로, 설계 활하중은 DB-18하중을 기준으로 설계되었다. 당시 건설되었던 경인고속도로와 경부고속도로는 현재에는 확장공사가 이루어져 당시의 강교량의 형태를 보기 어렵다. 당시의 차선 폭은 경부고속도로의 경우 22.4m 이었으며, 경인고속도로의 경우에는 20.4m였다.

1998년 말 현재 경부고속도로상의 교량은 353개소에 19.9km이지만 건설당시에는 교량이 317개소로 총 연장이 약17km에 이른다. 즉 평균 1.3km마다 크고 작은 교량 하나씩이 가설된 셈이 된다. 이중 중소교량은 본선 폭원과 같은 22.4m로 설계되었고 장대교는 본선 폭원보다 2.5m 좁은 19.9m로 설계하였다.

지금은 전면개량되어 최초의 상태는 아니지만 경부고속도로 상의 가장 대표적인 강교량은 왜관 낙동강교이었다. 당시 경부고속도로 교량가운데서 가장 긴 교량이었으며, 경북 칠곡군 북삼면 오평동 말구리에서 칠곡군 석적면 남울동 간을 잇는 연장 800m의 교량이었다. 이 공사에는 총2,900톤의 강재가 소요되었으며 공사비가 약10억2천만 원, 연인원 약9만9천여 명이 투입된

대규모 공사였다.

시공은 하부공과 상부의 슬래브 그리고 접속도로 공사를 협화실업이, 플레이트거더(Plate Girder)제작 및 설치는 홍화공작소가, 그리고 포장공사는 평화건설에서 각각 맡아 시공했다. 이 공사는 하부공 양생방법에 벗집과 천막, 보일러 등을 이용하여 수증기를 주입하였는 가하면 공사기간 동안 7회의 낙동강 홍수로 공정계획에 큰 차질을 빚는 등 어려움이 많은 공사였다. 이외에도 320m 연장의 플레이트 거더교인 금강1교를 들 수 있으며, 금강 1교도 1987년에 상부구조가 개량되었고, 1998년의 확장공사로 예전의 모습을 찾을 수 없다.

70년대에 대표적인 강교로 구포낙동강교와 서부산 낙동강교를 빼놓을 수 없다. 1973년 11월에 준공된 구포낙동강교는 총 20경간의 DB-18하중으로 설계된 남해고속도로상의 교량으로서 당시로서는 최장의 교량이었다. 이 교량은 항도 부산의 세력권과 김해, 마산, 진주, 충무 등 중소도시를 직결하면서 영남과 호남의 두 세력권을 최단거리로 이어주는 매우 중요한 교량이다. 이 교량의 공사는 낙동강의 상류로부터 흘러온 50m 두께의 연약퇴적층 위에 가설하는 것이어서 기초 공사는 대구경 현장타설 콘크리트 말뚝기초로 하였다. 상부구조형식은 플레이트 거더교였으며, 주경간이 76m에 이르렀다. 또한, 접속부에는 4경간의 PSC 빔교가 연결되어 있다. 1995년 구포낙동강교는 차량의 충돌에 의한 PC 강선의 절단 및 노후화로 인한 결함이 발견되어 전면 개량된 결과 현재는 DB24하중으로 재설계되어 공용중에 있다.

1978년 11월25에 착공하여 1981년 말에 준공된 서부산 낙동강교는 우리나라의 대표적인 강상판형 교량으로 총연장이 1765m로서 당시로서는 최장의 교량이었으며, 이 교량의 완공으로 부산 중심지에서 김해 국제공항까지의 거리는 약 15km, 주행시간은 약 20여분이 단축되었다. 특히 이 교량은 국내 기술진에 의해 처음으로 시도된 경간길이 84.3m 3경간 연속강판교량으로서 국내 교량건설의 새 장을 열었다. 주형은 상자형 단면으로, T형의 개단면 리브를 사용하였으며, 상자형 주형은 총 4개이다. 교량의 하부기초는 강관파일(24기)로, 교각은 중력식(22기), 교대는 반중력식(2기)으

로 시공하였으며, 총 23경간중에서 육교구간의 플레이트 거더를 제외하고는 전부 상자형 단면으로 건설되었다. 이외에 남해고속도로 및 울산선, 영동고속도로, 구마고속도로의 장대교량에는 대부분 경제적인 이유와 강제조달이 용이하지 않아 콘크리트 교량을 선호하였다.

(2) 1980년대

1980년대에는 고속도로의 신설이 많지 않은 시기로 대표적인 고속도로는 88고속도로와 중부고속도로를 들 수 있다. 88고속도로는 영호남의 지역적인 편차를 극복하고자 건설된 고속도로이지만, 차량소통이 많지 않아 고속도로의 기능이 다른 노선에 비해 상당히 떨어지는 문제점을 안고 있었으며, 중부고속도로는 늘어나는 교통량을 분산시키기 위해 중부권을 관통하는 고속도로를 건설한 것이었다.

중부고속도로와 88고속도로는 모두 콘크리트포장을 기본으로 설계되었으며, 대부분의 교량이 콘크리트 교량으로 이루어져 있다. 이때부터 교량의 설계하중이 최초로 DB-24하중이 적용되기 시작하였는데, 88고속도로는 교통량에 대한 예측을 통해서 DB-18로 설계되었지만, 남해고속도로 및 기타 확장구간은 대부분이 DB-24를 기준으로 설계되었다.

1980년대에는 특히 남해고속도로와 호남고속도로는 늘어나는 교통량에 대비하여 확장공사를 꾸준히 진행하게 되었는데, 마산~진주간의 구간에서 많이 발견될 수 있는 강교량은 강박스(Steel Box)형식으로서 연장은 100m 내외이며, 함안육교, 도량육교, 진주육교와 같이 주로 횡단육교로 많이 건설되었다. 호남고속도로에는 325.2m의 대표적인 장대교로 PSC형식의 금곡천교를 들 수 있는데, 우리나라에서 ILM공법이 최초로 적용된 교량으로 이후에 ILM 시공방법의 도입 및 보급에 결정적인 기여를 하였다.

또한, 판교-구리를 시발로 하여 서울외곽순환고속도로가 1988년 착공되었는데, 고속도로상의 교량으로서 최초로 강동대교를 FCM 공법으로 시공하게 되었다. 1980년대에는 교량에 대한 다양한 기술발전이 이루어 지지는 못했으나, 강교량 중에서 강상자형 교량이 보편화되기 시작하였고, 프리스트레스트 콘크리트 상자형 교량이 비약적인 발전을 이룬 시기였다.

(3) 1990년대

1990년대는 늘어나는 물동량과 차량의 증가로 인하여 국가의 경쟁력을 좌우할 새로운 고속도로 사업이 속속 진행되게 되는 중요한 시기였다. 1980년대에 주춧했던 사회간접자본에 대한 투자가 본격화되면서, 다양한 노선의 건설공사가 진행되었다. 1990년대의 고속도로 건설공사의 중요한 특징은 2000년대 서해안 시대를 대비한 서해안 고속도로와 신공항 고속도로를 들 수 있다. 특히 서해안 고속도로상에는 우리나라 최장의 사장교인 서해대교가 건설되었는데 PSM구간과 FSM구간 그리고 사장교 구간으로 나눌 수 있다. 서해대교는 국내 최장대 교량으로 서해안고속도로중 아산만 횡단구간에 건설되어 경기도 평택시 포승면과 충청남도 당진군 송악면을 연결하는 총연장 7,310m의 왕복 6차로 교량이다. 국내기술진에 의해서 모든 공정을 착실하게 진행하여, 2000년 말 준공되었다.

최초의 고속도로 민자유치 사업으로 시행된 신공항 고속도로는 21세기 세계항공수요에 대비하여 아시아, 태평양지역의 허브공항기능을 담당할 인천국제공항에 이르는 고속도로이며, 여기에 가설된 영종대교는 총연장 4,420m의 장대교량으로서 중앙에 550m의 현수교와 트러스교 2230m, 강합성교 1,620m로 구성되어 있으며, 상층은 6차로 도로, 하층은 4차로의 도로 및 복선 철도로 구성된 복층 교량이다. 특히 이중 현수교 550m는 세계최초의 도로 철도 병용 3차원 자정식 현수교이다. 이외에도 신공항 고속도로 상에 위치한 중요한 강교량으로는 방화대교를 들 수 있다. 방화대교는 서울특별시 강서구 방화동에서 경기도 고양시 강매동을 연결하는 한강상의 교량이다. 교량의 형식은 우리나라에서 최초로 시도되는 균형 아치 트러스(balanced arch truss)교량으로서 트러스부는 540m이고, 박스부는 2,019m로 총 1,823억원의 공사비가 투입되었으며, 중앙경간은 180m, 측경간은 각각 102m, 78m이다.

서울외곽순환고속도로는 강교량의 연장이 다른 형식의 교량에 비해 압도적으로 많으며, 부천고가교의 경우에는 총 연장이 7km를 넘는다. 대부분의 교량형식은 강상자형교량으로 건설되었으며, 굴현대교와 같이 강상판형교로 건설되는 교량도 있다. 그리고 중앙고속도로,

서해안 고속도로, 대전~진주간 고속도로등에도 강상자형 교량이 많이 적용되었으며, 중앙고속도로상에는 특히 다양한 교량의 형식이 모여 있어 교량박물관으로 불리어지고도 한다.

이와 같이 1990년대에는 고품질 저가의 강재생산이 가능해지고 공장제작이 자동화 되면서 강교량이 콘크리트에 비해 경쟁력이 확보되어 상대적으로 강교량의 증가가 두드러진 시대이며, 우리나라 강교량의 기술이 비약적으로 발전할 수 있는 전기를 맞이한 시기라고 볼 수 있다.

4.2.3 서해대교 사장교구간

서해대교는 당초 1998년 12월에 완공될 예정이었으나, 서해대교와 인접하여 건설되고 있는 평택(아산)항 가호안 설치로 인하여 아산만의 유속이 당초보다 약 2배 이상 빨라져 사장교 가물막이 공법을 변경함에 따라 공법검토기간과 시공기간이 늘어나 공사기간을 2년 연장하여 2000년 12월 완공하게 되었다.

서해대교공사에는 총사업비는 5,300억원이 소요되고 연 인원 300만명에 장비는 45만대가 동원되었으며, 주요자재는 철근이 105,000톤, 강선이 8,900톤, 시멘트가 295,000톤, 강관이 40,000m, 강재가 19,200톤(사장교 12,000톤, 행담도인터체인지 7,200톤)이 투입되었다.

평택(아산)항 주항로인 갑문부에 건설되는 사장교는 해운항만청과 협의된 항로폭 423m이상을 확보하기 위하여 기초크기를 감안 중앙경간장을 470m로 하고 측경간은 각각 200m와 60m를 갖는 총연장 990m(60+200+470+200+60)의 5경간 연속 사장교로 계획되었으며, 교량높이는 5만톤급의 대현선박이 입,출항 가능하도록 62m로 하였다.

상부구조는 강합성형 단면으로 채택되었으며, 케이블 배치는 중앙경간장 470m 규모에 가장 적합한 세미 하프(semi-harp) 타입의 배치 형태에 양면배열을 채택하였다. 주탑은 강재와 콘크리트 주탑을 비교하여 시공성 및 경제성에서 유리한 콘크리트 주탑을 채택하였으며, 형태는 미관과 구조적인 측면에서 가장 유리한

H형의 주탑을 채택하였다. 기초형식은 케이슨기초, 말뚝기초와 가물막이를 이용한 직접기초 등에 대하여 국내 시공 실적 및 기술 수준, 시공 안정성, 확실성 등을 검토하여 가물막이를 이용한 직접기초형식을 채택하였다.

사장교 상부는 케이블 정착구 설치 공간과 향후 유지관리 공간 확보를 위하여 교량폭을 34.0m의 합성형 구조로 계획하였으며, 합성형태는 교량 진행방향으로 양측에 2열의 I강형 주거더와 중앙에 1열의 스트링거를 배치하고, 교량 직각방향으로 4.1m간격으로 가로보를 배치하며, 그 위에 프리캐스트 콘크리트 상판이 설치되어, 주거더와 가로보부에서 현장타설콘크리트로 일체화 되는 구조이다. I강형은 높이 2.8m에 SWS520의 강재를 사용하였으며, 동 강형은 케이블에 의해 압축력을 상당히 크게 받고 있는 점을 감안하여 수직 및 수평보강재도 동일 강종으로 계획하였다. 콘크리트 바닥판 슬래브는 압축력이 가장 크게 작용하는 주탑부 약 120m 구간은 두께 31cm, 나머지 구간은 사하중을 최대한 줄일 수 있도록 26cm로 하고, 콘크리트 강도는 400kg/cm²로 계획하였으며, 특히 연결부 조인트 콘크리트는 무수축 콘크리트로 타설하였다.

사장교 케이블은 세미-하프 형의 양면 배열 형태로 주탑을 중심으로 양측으로 각각 18본씩 총 144본의 케이블을, 일반구간은 12.3m의 간격으로 배치하고 앵커 교각부는 케이블 4본을 밀집 배치하였다. 케이블에 사용되는 강재는 탄성계수와 극한강도가 높으며, 시공성이 양호하여 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 병렬 스트랜드를 채택하였으며, 부식방지를 위하여 스트랜드 단위로 왁스나 그리스로 코팅한 후 HDPE로 피복한 스트랜드를 사용토록 하였다.

사장교구간은 당초 풍동실험 결과에 의거 중앙지간(470m)에 방호벽형식이 아닌 통풍성 있는 중분대 및 난간을 설치기로 계획하였으나, 보완설계과정에서 차량 주행 안정성 증대를 위하여 콘크리트 방호벽으로 하되 높이를 낮추고 가드레일을 설치기로 하였다. 교면방수는 구조물의 중요성과 내구수명 등을 감안하여 다소 공사비가 비싸더라도 내구성, 신축성이 좋으며 외압에 대해서도 강한 특성을 갖는 시트 방수를 채택하였다.

유지관리 시설로는 사장교 상부에는 이동식 점검차

를, 주탑에는 내부에 엘리베이터와 사다리를 설치하고 외부에 곤도리를 설치하여 완공 후 효율적인 유지관리 점검이 가능하도록 하였으며, 돌풍 및 태풍에 대비하여 경고 및 통제 설비를 설치토록 하였다. 중요설계사항으로는 교량 축소모형을 제작하여 풍동모형실험을 실시하여 아산만 지역의 100년 빈도 최대풍속인 27m/초의 3배에 달하는 65m/초의 풍속에도 안전하도록 내풍설계하였으며, 도로교표준시방서와 AASHTO 내진설계기준에 따라 사장교는 복합 모드 스펙트럼으로 콘크리트박스교는 등가정적하중법으로 해석하여 리히터 규모 6.0의 지진에도 안전하도록 하였다. 또한, 해상에 건설되는 교량인 만큼 해수 및 해풍으로 인한 부식에 대비하기 위하여 해중부 콘크리트에는 내황산염벤트와 에폭시코팅된 방청철근을 사용하고, 콘크리트면에는 내염도장을 실시토록 하였다.

특히, 시공단계에서부터 준공후 유지관리에 이르기까지 과학적이고 체계적인 관리를 위하여 사장교 케이블 장력계와 변형률계 등 첨단 센서를 설치하여 교량의 이상유무를 판정할 수 있는 정밀계측 시스템을 설치토록 하였다.

4.2.4 영종대교

서해대교와 더불어 21세기를 여는 중요한 교량으로서 영종대교를 들 수 있다. 영종대교의 공사에는 총 7,832억원이 투입되었으며, 총공사기간만 60개월이 소요되었다. 영종대교는 1991년9월 신공항 연육교 기본설계(안)의 현상공모 당선작을 기초로 세계 최초의 자정식 현수교(도로, 철도 병용)를 적용 설계되면서 주변 섬들과의 조화 그리고 시대적 요청에 따른 구조적 조형미 전통문화의 상징성 등을 고려되었다. 구조적 특징으로는 대형정착부가 없는 도로 철도 병용 2층 자정식 현수교이며 주탑을 다이아몬드형으로 하여 주케이블을 탑정부에서 폐합시켜 주탑 전체의 비틀림 강성을 크게 하였고 주케이블과 행거면을 안쪽으로 경사지게 하여 주탑의 내풍에 대한 안전성을 향상시켰으며 소음 감소를 위하여 장대레일 및 궤도 완충재를 설치한 점이다. 조형적 특징은 주변의 섬들과 조화를 이루는 완만한 현수

곡선과 케이블 외측면 및 평면곡선을 전통한옥의 기와 지붕선을 형상화(케이블:처마선, 행거:기와선)하였고, 주탑은 해면에서 분리된 2개의 기둥이 상공에서 다시 합쳐짐으로써 민족의 통일과 단합을 상징하도록 한 점이다. 또한 트러스의 사재면을 상부 박스형보다 안쪽에 배치하여 박스형에 의한 음영효과를 나타내고 역사다리꼴로 하여 육중한 인상을 경감시켰으며 주탑의 단면을 사다리꼴로 하여 차량이용자의 압박감을 완화한 점이다.

영종대교는 케이블 2줄을 상판 양측 앵커부에서 탑중양 한점에 모아 가설하는 방법으로서 양면성으로도 곡선을 이루고 있다. 이형식은 보강형에 곡선을 작용시켜 줌으로써 진동 및 내풍에 유리한 구조로 세계 최초로 적용되는 공법이다. 영종대교는 바다를 횡단하는 장대교량으로서 도로·철도를 구분할 경우 공사비가 증가하고 공기가 길어지며 미관상도 좋지 않아 도로·철도 병용2층교를 계획 설계하였다. 도로·철도 병용 구조는 외국에는 사례가 많으나 국내에서는 최초로 시도되는 구조형식이다. 영종대교의 부분모형 및 주탑모형 시험은 서울대학교 공학연구소에서 그리고 전체 모형시험은 일본 동경대학 교량공학연구소와 합동으로 현수교의 내풍안정성 평가를 실시하였다. 실험 결과 내풍대책으로 보강형 단면에 유선형(fairing)을 설치하고 교좌장치로 윈드 슈(wind shoe)를 적용하였다.

원설계시 주탑부의 기초는 공기, 시공성, 경제성이 양호한 공기케이스기초로 변경하였다. 공기케이스 공법은 많은 인력이 필요하고 케이스 내에서 작업을 해야하므로 특수기능공 확보, 케이스병 발생 등으로 국내에서는 1983년 돌산 연육교에 마지막으로 적용한 이후 시공사례가 없었으나 일본에서는 교량기초뿐만 아니라 지하철, 취수탑, 하수처리장 기초등 7,000기 이상 시공 사례가 있는 공법으로 영종대교 건설공사에서는 인력굴착으로 발생될 수 있는 잠수병을 해결할 수 있는 국내 최초의 무인굴착에 의한 기계화 시공을 공기케이스 시공전문사인 일본 백석사의 기술을 도입하여 시공하였다.

자정식 현수교의 구조적인 특성으로 인한 압축력의 지탱 및 사하중의 감소, 부재의 강성을 증가시키기 위하여 저합금강으로 열처리하여 높은 항복강도를 갖는 조질고장력강(SWS570)을 국내최초로 보강형 상현재

와 하현재로 사용하였다. 영종대교는 도로·철도병용교로서 설계시부터 열차하중에 의한 피로를 고려하였으며 특히 제작시의 용접결함(블로우홀, 용입부족, 비드형상)은 피로강도에 크게 영향을 주어 교량수명을 단축함에 따라 제작 전에 설계시 적용된 조질고장력강의 피로등급을 검증하기 위하여 소형시험체는 각 강교제작공장별로 제작하고 대형시험체는 2개사에서 1/4축소모형으로 축소 제작하여 피로시험을 실시하였으며 시험결과를 토대로 용접공의 기량, 용접순서, 예열과 층간온도 조절등의 용접변수, 격점부 피로강도를 확인하여 제작에 반영하였다.



그림 4.3 영종대교

영종대교 1,3공구구간에 국내최초로 강재 교각 복층 라멘교를 시공하였다. 상층에는 6차로 고속도로 하층에는 좌우 각각 2차로 고속도로와 중앙부에 복선철도로 설계되었으며 도로2차선은 접속도로 및 철도토공부와의 변화단면으로 구성되었다. 콘크리트 기초와 강재교각의 연결은 앵커프레임과 베이스교각을 34개의 125m/m 앵커볼트를 사용하여 연결하였으며 상부슈가 설치되는 부위는 박스거더를 게르버형식으로 처리하였다.

영종대교 해상구간 교각시공은 시공지점의 유속 및 조수간만의 차 등의 현장 여건을 감안하여 국내최초로 가드프레임과 강관널말뚝을 이용한 가물막이로 변경하여 구조적 안정성 및 시공성 향상을 도모하였다. 주탑은 현수교 전체 계통 중에서 케이블을 지지하고 보강형을 탑부분에서 구속하는 역할을 맡고 있으며 탑꼭대기에는 케이블에서의 수직력이 작용하고 동시에 수평변위가 생기는 구조이다. 형상은 비틀림 강성이 크고 내풍의 안정성이 양호한 다이아몬드형을 채택하였으며 가설

방법은 주탑본체를 탑기부, 탑하부, 탑상부 3부분으로 나누어 미리 지상에서 조립해 놓고 대형 3000톤F/C 해상크레인으로 일괄 가설하는 방법을 택하였다.

전체적인 공정은 별 문제 없이 잘 진행되었으며, 최초설계안에 대해서는 많은 자문을 거쳐 보완설계를 하여 공사가 별 무리 없이 진행되었다. 영종대교가 준공됨으로써 서해대교와 더불어 우리나라의 교량기술수준을 세계수준으로 끌어올리는 데 건인차 역할을 할 것으로 자부할 수 있다.

4.3 국도의 강교

4.3.1 개요

교량의 총 연장을 기준으로 한 1960년대 이전에 완공된 교량은 2,835m(2.3%)에 불과하고, 60년대, 70년대, 그리고 80년대에는 각각 6,436m(5.1%), 10,242m(8.1%), 16,827m(13.3%)가 완공되었으며, 90년대(1998년까지)에 완공된 교량은 89,824m(71.2%)에 달하고 있다. 60년대까지 약 10m 이하이었던 평균 교량 폭은 70년대부터 15m로 증가하였고, 90년대에는 20m로 교통량의 증가에 따른 교량 건설의 증가와 대형화현상을 보여주고 있다. 각 연대별로 완공된 교량들의 특징을 살펴보면 다음의 표 4.10과 같다.

4.3.2 국도 강교량의 변천

50년대 이전까지는 주로 I-빔을 사용한 교량과 L-형 강과 강판을 리벳 이음한 플레이트 거더로 만든 교량이 건설되었다. 1950년대 이전에 건설된 강도로교로는 I

형보를 사용한 운교(1933년), 플레이트거더 평창2교(1935년), 일청교(1940년) 등이 있고, L-형강과 강판을 리벳이음한 플레이트거더로 만든 교량으로는 구포교(1932년)와 영도대교(1934년)가 있으며, 트러스교는 금강대교(1932년)가 있다.

해방 후 50년대와 60년대에는 I형보를 사용한 교량의 건설이 대부분을 차지하였다. 6·25 전쟁 중 군에서 임시방편으로 강 I형보를 이용한 I형교를 가설하였는데, 경간이 대부분 15m 이하인 짧은 교량이었다. 남지교와 금강교는 강교로 가설된 장대교로서 파손된 부분을 각각 1952년과 1957년에 과거의 모습대로 복구하여 그대로 사용하였다.

6·25전쟁으로 파괴된 고령교의 복구공사는 1953년 4월에 착공하여 약 26개월만인 1955년 5월에 준공을 보았다. 이 복구공사는 1경간 60m 트러스 2개와 수심 10m의 계곡에 13개의 교각을 설치해야 하는 난공사였다. 상부구조물은 철도에서 사용할 수 없는 고철 레일로 트러트를 제작·설치한 것으로, 이것은 세계 어느 나라에서도 시공사례가 없던 공법이었다.

1960년대 청계천 고가도 건설은 우리나라 강교 기술의 여러 가지 면모를 바꾸어 놓았다. 이를 열거해 보면, 첫째 우리나라에서는 최초로 용접강(일본규격 SM-50Y)을 이용한 도로교로서 강도 50 kgf/mm²의 고장력강을 사용했다는 점이며, 둘째 광고 부근의 곡선교는 역시 우리나라에서 최초로 설계·시공된 주형의 곡선교로서 그 선형의 곡률 반경이 무려 50m나 되었으며, 셋째 우리나라에서는 처음 이음판에 고장력 볼트를 사용했다는 점이다.

거제교는 광복후 최초로 공기 케이스공법을 적용하여 건설되었다. 경상남도 통영군 거제도를 육지에 연결시키는 연륙교로, 1965년 5월에 착공하여 6년 2개월만인 1971년 7월에 완공하였다. 완도·강화·안면도에

표 4.10 완공 연도별 강도로교 현황

| 연도 \ 형식 | ~49년 | 50~59년 | 60~69년 | 70~79년 | 80~89년 | 90~98년 | 계 |
|---------------------|-----------|----------|-----------|------------|------------|--------------|------------|
| 개소(개) | 6 | 14 | 81 | 74 | 85 | 375 | 635 |
| 연장(m) | 1,838.1 | 997.1 | 6,436.5 | 10,242.3 | 16,827.3 | 89,824.3 | 126,165.6 |
| 면적(m ²) | 19,912.73 | 7,037.84 | 69,180.42 | 203,032.33 | 239,500.34 | 18,039,181.5 | 18,577,845 |

표 4.11 교량형식에 따른 강도로교

(단위: 개소)

| 형식 \ 연도 | 연도 | | | | | | 계 |
|---------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| | ~49년 | 50~59년 | 60~69년 | 70~79년 | 80~89년 | 90~98년 | |
| I-빔교 | 3 | 13 | 75 | 58 | 33 | 20 | 202 |
| 플레이트거더교 | 2 | - | 3 | 11 | 29 | 60 | 105 |
| 박스거더교 | - | - | - | 1 | 17 | 213 | 231 |
| 트러스교 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 8 |
| 프리플렉스교 | - | - | 2 | 2 | 4 | 81 | 89 |

표 4.12 교량형식에 따른 강도로교 연장

(단위: m)

| 형식 \ 연도 | 연도 | | | | | | 계 |
|---------|---------|--------|---------|---------|---------|----------|----------|
| | ~49년 | 50~59년 | 60~69년 | 70~79년 | 80~89년 | 90~98년 | |
| I-빔교 | 50.0 | 858.0 | 5,346.4 | 3,957.4 | 2,062.3 | 2,070.2 | 14,344.3 |
| 플레이트거더교 | 1,274.6 | - | 306.1 | 5,533.4 | 9,197.5 | 12,870.9 | 29,182.5 |
| 박스거더교 | - | - | - | 108.0 | 4,350.0 | 64,008.7 | 68,466.7 |
| 트러스교 | 513.5 | 139.1 | 602.0 | 495.0 | 183.0 | 250.0 | 2,182.6 |
| 프리플렉스교 | - | - | 182.0 | 148.5 | 1,034.5 | 10,624.5 | 11,989.5 |

표 4.13 연도별 강도로교의 평균폭

(단위: m)

| 연도 \ 형식 | 교 량 형 식 | | | | | 전 체 |
|---------|---------|---------|-------|------|--------|------|
| | I-빔교 | 플레이트거더교 | 박스거더교 | 트러스교 | 프리플렉스교 | |
| ~49년 | 7.2 | 14.1 | - | 6.5 | - | 9.3 |
| 50~59년 | 7.8 | - | - | 6.6 | - | 7.2 |
| 60~69년 | 9.5 | 23.7 | - | 5.3 | 10.0 | 12.1 |
| 70~79년 | 18.5 | 21.1 | 9.8 | 15.0 | 8.4 | 14.6 |
| 80~89년 | 11.1 | 13.9 | 16.0 | 4.8 | 22.1 | 13.6 |
| 90~98년 | 13.3 | 17.6 | 18.3 | 5.0 | 20.4 | 14.9 |

이어서 한국에서 네 번째로 건설된 연륙교이다. 폭 10m(인도포함), 길이 740m, 최대 500톤 급 선박의 통행을 고려하여 만조수위에서부터 23m의 높이를 갖도록 하였다. 거제교의 기초 중 가장 깊은 곳은 수면 하 26.9m로 당시 국내에서 시공한 것 중 가장 깊은 것이었다. 상부공사는 교량길이 740m 중, 360m는 플레이트거더로, 200m는 박스형 돌출보로, 그리고 나머지 180m는 PSC빔으로 각각 시공하였다. 교량의 높이가 수면에서 23m나 되어 플레이트거더나 PSC빔 등 중량물을 다룰 때 중장비를 사용하지 못하고 원치나 인력만으로 작업을 수행하였다.

1970년대에 들어서면서 I형 교량과 더불어 플레이트

거더를 사용한 교량이 많이 건설되었다. 이들 형식의 강 도로교는 이 기간에 건설된 전체 강도로교에 대해서 개소를 기준으로 각각 78%와 15%, 총 연장을 기준으로 각각 39%와 54%에 달하고 있다.

남해대교는 국내 최초로 장대 경간의 현수교를 무사히 완성시켰다는 점에서 한국 교량건설의 기술수준을 한 단계 끌어올린, 토목기술사상 의미 깊은 공사이다. 1968년 5월에 착공하여 5년 1개월 만인 1973년 6월에 개통되었다. 이 다리는 전체 길이가 6백 60m, 교각 간격이 4백40m나 되어 건설 당시에는 동양 최대규모를 자랑했다. 한국에서 세 번째로 큰 섬인 경상남도 남해도를 육지와 이어주는 남해대교는 완도·강화·안

면·거제도에 이어 다섯 번째로 완성된 연륙교이다. 남해대교는 최신공법인 박스형의 장대교로 건설되었다. 현수교는 다양한 외관을 갖지만 일반적인 구조는 동일하다. 즉 정착부와 주탑을 통해 주 케이블을 늘어뜨리고, 이 케이블에 행어 로프로 교량 상부를 매달아 놓은 구조로 3경간 2현지의 상부구조 형식을 갖는다. 교탑은 간결함과 단순함을 살려 2.3m×2.0m 직사각형 단면의 라멘 구조로 설계되었다. 주탑의 높이는 60m이며, 1기당 중량이 431ton이다. 교각 설치의 수중 기초굴착을 한 후 강제 우물통을 제 위치에 가라앉혀 정착시키는 방법을 택했다. 주 케이블은 직경 5mm의 아연 도금강선을 소선으로 사용한 평행선 케이블로, 공중가선법(air spinning method)으로 시공하였다. 일반교량의 바닥판에 해당하는 보강형은 세계 다섯 번째로 박스 타이프를 채택하였다.

80년대에는 박스거더 교량이 많이 건설되기 시작하였고, 90년대에는 개소를 기준으로 이 기간에 건설된 전체 강교량의 53%, 총 연장을 기준으로 67%를 차지하여 강교량의 주종을 이루었다. 또한 90년대에는 프리플렉스 보를 사용한 교량도 개소 기준 22%, 총 연장 기준 13% 완공되었다.

진도연륙교는 국내 최초로 건설된 사장교이다. 해남군 문내면과 진도군 군내면을 잇는 총 길이 484m, 주경간 344m, 교폭 11.7m인 강상형 사장교이다. 1980년 12월 26일에 공사를 시작하여 1983년 12월 14일 마지막 보를 연결하고 상량식을 가짐으로써 진도는 육지와 맞닿게 되었다. 사장교는 교탑을 설치하고, 각 교탑에서 케이블을 늘어뜨려 교량의 상판을 잡아매는 형식이다. 육지와 섬 양쪽에 69m 높이의 A형 교탑을 세우고 31개의 블록으로 나눈 강박스형 들보를 가설, 그 위에 케이블을 설치하였다. 이 다리가 세워진 울돌목은 수심이 25m 이상이고, 유속이 초당 7m로 빨라 국내 최초로 캔틸레버 공법을 사용하였다. 또한 진동을 줄이고 교량 상판의 특성상 발생하기 쉬운 교면 포장의 피로를 줄이기 위해 매스틱 아스팔트 포장을 시도하였다.

돌산연륙교는 돌산읍 우두리와 국도 17호선상에 있는 여수시 남산동을 잇는 교량으로, 이 교량의 하부공은 공기 케이스 공법, 상부공은 사장교로 시공하였다.

교량에 대한 본 공사는 1982년 2월에야 착수하여 1984년 12월 15일에 준공테이프를 끊고 개통하였다. 교량의 길이는 450m(중앙 경간의 길이 280m), 폭은 11.7m(차도 8.7m, 인도 3m), 교탑의 높이는 62m이다. 교탑 2개의 기초는 높이 11m, 폭 10m, 길이 24m, 무게 330ton의 대형 케이스를 이용하여 시공하였다. 케이스의 내부에는 높이 2.5m, 약 65평 정도의 작업실이 있어 기초지반을 육안으로 직접 확인하면서 지반 구조물의 기초를 정치할 수 있었다. 최대굴착 심도는 수면 하 40m이다. 상부구조는 3경간 연속 강상형의 들보를 가진 다리로 교탑은 A-형이고 케이블 배치는 방사형으로 건설하였다. 2개의 교탑을 세워 교량 상판을 케이블로 달아매는 캔틸레버 공법을 도입하여 시공하였다. 특히 케이블의 배열은 경간장·하중조건·차선 수·탑의 높이·경제성·미적감각 등을 고려하여 팬 타이프(fan-type)로 배열하였고 케이블 자체는 완전방식이 가능한 록드 코일 로우프(locked coil rope)를 사용하여 수명을 길게 하였다.

고수대교는 단양 신시가지와 강을 건너 고수동굴과 소백산 국립공원을 연결하는 교량으로서 1983년 9월 8에 착공되어 1985년 6월 30일에 개통되었다. 이 교량은 와렌 트러스 형태의 아치 트러스교로서 국내 최초로 가설된 교량이다. 총 길이 380m, 강제 아치의 길이만 140m, 폭 11m(차도 7.5m, 인도 1.75m×2), 2.5% 구배에 시점과 종점과의 높이가 9.5m나 되는 경사 아치 트러스교로 가설되었다. 하부 구조는 반 중력식 교대 2개, 라멘식 교각 4개로 구성되었고 기초 8기는 우물통 공법으로 시공되었다.

국내에서 생산한 내후성 강재를 사용한 국내 최초의 무도장 교량은 1994년에 경기도 파주(자유로 임진각 부근)에 완공된 마정육교이다. 내후성 강재 260ton을 사용하였으며, 교량 총 길이 190m, 교폭 46m의 강박스거더 교량이다.

4.4 서울의 한강상 강교

한강은 하천연장이 길고 하폭이 넓은 대하천이지만

하류부인 서울에 이르기까지 유심부의 수심이 깊지 않고 암반이 비교적 얇은 편으로 교량기초공사가 어렵지 않아 특별히 긴 장경간의 교량은 드물다. 그러나 콘크리트 구조는 부적합하여 거의 모두가 강교에 해당되므로 교통수요에 대응하여 서울에 가설된 한강상의 강교는 시대의 변천에 따른 강교의 발달사를 그대로 보여주는 “강교 역사 박물관”을 방불케 한다.

서울에 가설된 한강상의 강교를 상류로부터 열거하면 팔당대교, 강동대교, 천호대교, 올림픽대교, 잠실철교, 잠실대교, 청담대교, 영동대교, 성수대교, 동호대교, 한남대교, 반포대교, 동작대교, 노량대교, 한강대교, 한강철교 A선, B선, C선, 원효대교, 마포대교, 서강대교, 단산철교, 양화대교, 성산대교, 가양대교, 방화대교, 행주대교, 김포대교 등 28개교에 달한다. 여기서는 그 중에서 전술 또는 후술한 것을 제외한 몇 개만의 내력을 살펴기로 한다.

4.4.1 한강철교

한강철교는 한강상 최초의 다리로, 강철도교에서 후술하여 중복되었지만 여기에서도 빼놓을 수 없는 기념비적 다리이므로 먼저 거론하지 않을 수 없다. 이 공사는 1896년 3월 29일 경인철도 부설권이 모오스에 의해 취득된 후 1900년 7월 5일 준공되기까지 총 4년여에 걸친 대공사였다. 또한 국내 최초의 근대식 토목공사로 수많은 인부를 한강 모래 벌에 모이게 함으로써 용산일대에 큰 발전을 가져오게 했음은 말할 것도 없다. 당시 경인철도 합자회사에서는 “노량철교는 미국이 제작한 최근공법이요, 천하에 드문 것이다. 마치 길이 3천척의 긴 무지개가 하늘에 걸린 것 같다.” 라고 선전한 바 있다.

이어 1905년 경부선이 부설되자 수송량이 증대하게 되어 기존설비의 개량이 요구되었다. 특히 한강철교는 운행밀도의 증가에 따라 강도면에서 그 개설을 시급히 서두르게 되었을 뿐만 아니라 복선화시킬 필요성이 요구되어 이 교량 위쪽에 한강 제2철교를 가설하게 되었다. 이 제2철교는 1911년 7월에 착수하여 이듬해인 1912년 9월에 준공되었다. 1913년 강형지거 및 교각 일부를 개축하여 신규 강제 거터를 가설함으로써 새로

운 강도를 유지하게 되었고, 1925년 7월에는 대홍수로 인하여 축제가 유실되자 종래의 축제를 개축하여 교량 구조물을 1m 높이기도 했다. 처음 가설할 당시의 한강철교는 노량진 쪽에서 제10경간까지만을 강교로 가설하고 나머지 용산 쪽은 1925년 을축년 대홍수때 제방이 유실되자 새로이 교각을 세워 가설한 것이다. 현재의 한강철교는 셋으로 되어 있는데 나머지 것은 1944년 6월 개통 사용 중이던 것을 1950년의 6·25동란으로 말미암아 이해 6월 28일 아군의 작전상 폭파로 3선이 완전히 폐선되었다.

그 후 1951년 수도 서울을 수복한 후 A선(중앙교량)은 동년 4월에 착공하여 동년 6월에, B선(상류교량)은 1952년 2월에 착공하여 6월에 가복구공사를 완료하여 임시로 사용하였던 것이다. 이어서 C선(하류교량)은 1952년 10월에 착공하여 1957년 7월에 완전 복구하여 가복구로 임시 사용하던 A, B선은 사용을 중지하고 C선 만을 전용하였다.

한강철도교 하부의 기초공법은 지층의 심도에 따른 토질의 조건과 강물의 수심에 따라 잠함공법, 우물통공법, 강널말뚝공법 등을 채택·시공하였다. 그러다가 1966년 2월에 복구사업 계획을 수립하고 대일 청구권 자금 제1차 재정차관사업의 일환으로 한강철교 A, B선 복구와 경인복선화 건설공사를 1967년 8월 28일에 착공하여, 폭파된 지 19년만인 1969년 6월 28일에 완전 복구하여 현재의 한강철교로 면모를 갖추었다.

4.4.2 한강대교

한강대교는 서울에서 남쪽방면으로 통하는 가장 중요한 관문위치라 할 수 있다. 서울의 관문인 한강대교는 1916년 3월에 건설이 착수되었으며 이 당시 총공사비 843,000엔이 소요되었다고 한다.

노량진 쪽에는 경간 60m인 7연의 한강교와 용산 측에 경간 60m인 3연 한강소교를 설치하고 양쪽 다리 중간은 401m의 독을 쌓아 연결하여 1917년 10월에 준공하였다.

한강철교(1900년)가 가설되고 17년 동안 인도교가 가설되지 않은 것은 당시의 도시내 교통수단이 보행위

주였으며 화물은 철도와 지게로 운송되었음을 말해주고 있다. 한반도에 민간인의 영업차가 들어온 것이 1912년이었고 이때부터 교량시설 계획을 수립하게 되었다.

이 교량은 한강철교의 낮은 자재를 이용하여 가설하였으므로 폭이 좁고 중앙차도 4m, 좌우측 보도는 각 1m에 불과하였다. 그 후 1925년에 있었던 을축년 대홍수때 중간 독이 유실되어 용산측 한강소교가 위험한 상태에 놓이게 되자 제1차로 한강소교를 철폐하고 종래의 독을 쌓았던 곳까지 연장하여 459m의 대교량 가설 공사를 1927년 5월에 착수하여 1929년 9월에 준공하고 9월18일에 도교식을 거행하였다.

그 당시 1,200,000엔의 공사비가 소요되었으며, 한편 노량진 본동쪽의 한강교는 종전대로 사용하다가 1934년부터 3개년 계획으로 공사비 2,518,000엔을 들여서 현재의 타이드 아치형식의 교량으로 다시 1936년에 준공하였는데, 이 때 한국인 교량기술자 최경렬 선생이 감독으로 참여하였다고 전해지고 있다.

그 후 1950년 6·25 동란으로 타이드아치 3경간이 1950년 6월 28일에 파괴되었던 것을 1957년 1월에 복구공사를 착수하여 1958년 5월 15일에 준공하게 되어 서울의 명물이었던 한강대교가 새로운 모습을 되찾게 된 것이다.

1차 교량건설은 상부가 핀 프래트 트러스(pin pratt truss) 강구조로 최대경간 60.6m이고 교각의 기초공법은 우물통공법을 채용하였다. 2차 교량 건설시에는 리벳팅 타이드 아치(tied arch) 강구조로 최대경간이 63.55m인 교량과 최대경간 28.787m인 강 플레이트 거더(steel plate girder girber)교이었고 하부 기초공법은 아치교에는 잠합공법, 플레이트 거더(plate girder)교에는 우물통공법을 적용하였다. 3차 교량건설에서 상부구조를 2차와는 달리 용접연결 구조를 도입하였을 뿐 모양과 형태가 동일한 강구조이고 하부기초는 모두 우물통공법을 채택·시공하였다.

한강대교는 1930년대와 1980년대의 토목기술이 결합된 쌍둥이 다리로, 서울의 입구와 교통량이 크게 증가됨으로 인하여 1979년 1월 4일에 착공하여 1981년 12월에 준공되었고, 종전의 폭을 20m에서 40m로 확장하여 쌍둥이 교량으로 탈바꿈하였으며 그 이름도 예

전의 한강인도교에서 한강대교로 개칭하였다.

4.4.3 광진교

반세기 이상을 서울시민과 함께 해온 광진교는 1934년 8월에 착공하여 1936년 10월에 준공한 다리로 유심부구간은 강트러스 구조로 7경간의 연장 429.5m이었으나, 6·25동란 중 모두 파손되어 1952년 미8군에 의해서 지금의 강게르버(steel gerber)구조인 14경간으로 응급 복구되어 현재까지 이르고 있으며 잔여구간은 T형 콘크리트 게르버 구조의 28경간(연장 608.1m)으로 건설당시부터 현재까지 유지되고 있다.

1936년 10월에 준공된 강트러스 교량은 착공과 준공시기가 한강대교 개축시와 동일하여, 개축전의 구 한강대교의 재료가 태반이 다른 곳으로 이설되었다는 기록이 있어 구 한강대교의 철거된 재료가 광진교의 재료로서 일부 사용된 것으로 추측되나 이를 뒷받침할 기록은 찾아볼 수 없는 실정이다. 이 교량은 한강대교와 함께 1960년초까지 한강을 넘는 2개뿐인 도로교량 중 하나였다.

교통량의 증가와 더불어 구조물의 노후, 홍수에 의한 재해 등으로 인하여 여러 차례 보수공사가 있었다. 1960년 교각침하가 발생하여 임시 복구하였고 1972년에는 철근 콘크리트 게르버의 힌지부분을 I-빔으로 보강했다. 1984년 9월 대홍수로 인하여 교각의 변위가 발생하였고, 이에 토목학회에 안전진단을 의뢰하여 1985년 변위가 있는 교각을 강제교각으로 보강하고 현재는 1.5톤 이하의 소형차량만 통행시키고 있다.

본 교량의 플레이트 거더 구간의 강재는 I형보이고, T형교 구간은 철근콘크리트구조이며 설계 하중은 D-8로 건설되었다. 유심부 429.5m에 강 플레이트 거더 게르버교, 기타부분 608.1m에는 콘크리트 T형 게르버교로 구성, 총 교장 1037.6m이며 교폭은 9.4m로서 매우 다양한 형식을 가지고 있다.

4.4.4 양화대교

기존 양화대교는 강북의 신촌방면과 인천 및 김포공

항을 연결하는 서울의 서부 관문으로서 그 역할을 다하고 있는 한강상 3번째 도로교라 할 수 있다. 그러나 양화대교는 개통한지 불과 14년 만에 교통량의 증가와 대형교통수단의 폭주로 교량의 노후화와 교통체증이 심화하여 이의 해소 방안으로 기존의 양화대교를 확장하고 입체시설도 개선하여 현재의 교량으로 개축되었다.

상부구조는 구교(폭 18m, 교장 1,053m)가 강 플레이트 거더와 콘크리트 박스거더로 되어있었으나, 신교는 폭 16.1m의 강 플레이트 거더로 설치하였다. 하부구조는 우물통 및 말뚝기초 또는 직접기초공법을 적용하였다. 양화대교는 당초 교명이 제2한강교였는데 한강종합개발계획과 더불어 지금의 양화대교로 교명을 변경하였다.

4.4.5 한남대교

상부는 3경간 연속 강 플레이트 거더교로 최대 경간이 50m이고 교폭은 27m(6차선)인 도로교량으로 총연장은 915m에 달한다. 또한 하부는 구주식 철근콘크리트 교각으로 27개의 기둥과 26기의 우물통 기초, 1기의 확장기초로 되어있으며, 교대는 동력식 콘크리트 구조로서 말뚝기초 1기와 직접확대기초 1기로서 구분 시공되었다. 한남대교는 서울과 부산을 연결하는 경부고속도로 진입 역할을 하는 교량으로서 경부고속도로 계획과 더불어 착공된 한강상의 4번째 교량이다. 경부고속도로가 1970년 7월 7일에 서울에서 부산까지 개통됨으로써 한남대교와 경부고속도로는 우리나라 전 지역이 일일생활권 시대로의 개막인 동시에 서울의 강남 지역에 대규모 개발시대를 열게 한 소중한 다리이다. 건설당시에는 제3한강교라 불렀던 것이 1985년 한강종합개발공사를 하면서 한강상의 교량명을 정리했고 이때 이 다리도 한남대교로 바뀌었다. 교통량의 폭주로 인해 한남대교의 확폭을 계획 중에 있으며 실시설계가 완료된 상태이다.

4.4.6 마포대교

마포대교는 1986년 현재 1일 약 15만대의 차량을

통과시키고 있는데 이는 우리나라의 교량 중 가장 많은 1일 교통량이다. 1986년 한강종합개발사업의 일환으로 올림픽대교가 개통되면서 여의도와 영등포를 연결하는 접속교량 부근에서 심한 교통체증을 일으킴에 따라 본 교량의 역할은 더욱 중요해졌다. 여의도 지구의 도시건설, 서울-인천 및 서울-부산간 고속도로 건설, 서울-수원간 국도확장, 한강연안 강변고속화도로 신설 등에 의해 여의도 중심의 한강연안 일대에 교통이 집중되는 상황에서 마포대교의 건설은 교통분배의 합리화를 기하게 해주었다. 마포대교의 하부공은 우물통 또는 콘크리트 말뚝기초로 연암층에 정착되어 있고 교각은 철근콘크리트구조로 되어 있다. 상부공은 고강도 강재를 사용하였으며 마포쪽의 유심부에는 장경간 연속 박스거더, 그리고 기타구간은 3경간 연속 강 플레이트 거더와 단순 플레이트 거더로 구성되어있고 최대경간장 52.5m, 교폭 25m, 교장 1317.65m의 6차선 교량이다.

4.4.7 영동대교

상부는 3경간 연속 강 플레이트 거더로서 지간 50m의 동일한 구조형식을 가진 폭 25m(6차선)의 교량으로 총연장은 1,065m이다. 또한 하부는 구주식 교각 16기 중 15기는 우물통기초이고 1기는 직접확대기초이며 중력식 교대 2기는 직접기초와 말뚝기초로 각각 건설된 교량이다. 영동대교는 강북과 강남을 잇는 중추적인 역할을 하는 다리로서 청담동, 삼성동 일원의 상업업무중심 지역과 주변 주거지역의 발전을 도모할 뿐 아니라 기설된 한남·잠실대교에 밀집되는 교통량을 분배시켜 교통소통을 원활하게 하고 있다.

4.4.8 잠실철교

잠실철교는 서울시가 지하철 1호선에 이어 도시구조를 개선하기 위한 의욕적인 삼핵도시 체계 즉 현 도심, 영등포의 상업도심, 강남 잠실의 상업·업무도심의 기본계획에 따른 순환 지하철인 2호선 노선상의 교량이다. 이 교량은 강북과 강남을 연결하는 전차와 자동차가 병행하여 통행할 수 있도록 서울에서 처음으로 시도

된 교량이다. 상부는 4경간 연속 철근콘크리트 합성 강 플레이트 거더로 최대지간이 50m이며, 교폭은 철도가 9.2m, 차도가 양측에 각각 4.4m로 구성된 총폭이 18m이며, 연장은 1,270m에 달한다. 또한 하부는 교각의 수가 26기이며 구조는 철근콘크리트이고, 기초는 우물통공법이다. 양측 교대는 철근콘크리트구조로 직접 확대기초 공법으로 건설되었다.

4.4.9 잠실대교

이 교량의 상부는 3경간 연속 강 플레이트 거더로서 지간40m, 교폭은 25m, 교량의 총연장은 1,280m이다. 또한 하부는 구주식 교각 31기와 중력식 교대 2기이고, 기초공법은 교각에는 우물통기초, 교대는 말뚝기초로 시공하였다. 잠실대교에는 한강종합개발과 더불어 한강상의 중요한 기능을 담당하는 특이한 부속시설이 첨가되었다. 이는 한강의 수위를 일정하게 유지하여 줌으로써 수위저하에 따른 취수장의 취수곤란, 바닷물의 역류에 의한 생태계의 변동, 하천 구조물의 노출로 인한 미관상의 문제, 주운 등을 해결할 수 있는 수중보가 설치된 곳이기도 하다.

4.4.10 성수대교

구 성수대교는 최대경간이 120m 게르버 트리스교로서 상부구조는 강재로 구성되어 있고 하부구조는 콘크리트로 되어 있다. 기초공은 수상구간에 우물통, 기타 고수부지 구간에는 말뚝기초를 사용하였으며 교각은 π 형과 T형을 사용하였다. 구 성수대교는 한강상에 건설된 11번째의 교량으로 영동의 신도시 개발에 따른 서울 동부권의 균형있는 발전을 도모하고 서울의 부도심으로서의 기능을 촉진하며 인구분산과 교통난 해소를 위해 건설되었다. 특히 이 교량은 종래 기능위주의 교량과는 달리 미관을 최대한 살리고 주변환경과 조화를 이룰 수 있도록 조형미 면에서 다각적으로 검토한 국내 최초의 겔버 트리스 형식의 교량이었다. 트리스 구간은 한강 상에 가설되어 있는 기존교량의 경간 30~40m의 3~4배가 되는 120m의 장경간으로서 남북부에 강변도

로와의 연결을 위한 입체교차로를 건설함으로써 기존의 단순한 교량형태에서 과감히 탈피한 새로운 형식의 현대식 교량이라는 것이 국내 교량사의 중요한 변환점을 준 교량이었다.

그러나 1994년 10월 21일 오전 7시 40분경에 이 교량이 붕괴되어 고등학생 8명을 포함하여 32명이 사망하는 대형사고를 발생시켰다. 우리나라의 모든 토목 기술자들의 기술적 자존심을 짓밟은 수치스런 사건이었으나, 교량의 설계·시공 및 유지관리에 대한 한 단계 발전을 이루게 한 교량사적으로 중요한 교량으로 기록되게 되었다. 현재는 4차선 교량으로 복구되어 통행 중에 있으나 양편으로 2차선씩 8차선으로의 확폭 설계가 끝난 상태로 2~3년 내에 확폭이 완료될 예정이다. 복구된 신 성수대교의 외형은 구 성수대교와 같은 형식이다. 바닥판 구조는 강상판으로 건설되었다.

4.4.11 성산대교

성산대교의 공법은 상부가 게르버 트리스, 강플레이트 거더, PC 거더의 3종류로 최대경간은 120m, 교폭은 27m, 연장 1,504m이다. 기초는 우물통기초 20기, 말뚝기초 2기로 되어 있다. 성산대교는 서울시 도심지에서 신촌을 경유하여 영등포와 경인고속도로를 연결하는 교량으로서, 인접한 양화대교의 교통량이 증가되고 성산대교가 계획되면서 신촌지역의 교통량을 서울의 남서지역인 김포가도와 연결할 수 있는 성산대교를 건설하게 되었다.

이 다리는 한강의 12번째로 성수대교와 같은 트리스 공법으로 세워졌는데 그 모양은 반달형으로 직선미에 동양적 곡선미를 조화시킨 특유한 조형미를 갖추고 있을 뿐 아니라 교량의 양끝은 완전 입체교차시설로 처리하여 한국교량건설사상 신기원을 이룬 작품이다.

4.4.12 반포대교

반포대교는 1982년 준공된 국내최초의 2층 교량으로 1층은 잠수교, 2층은 반포대교로서 단일 구조적 이중교량이다.

잠수교는 서빙고동측으로 중앙선 철도 및 강변3로 횡단지하차도가, 반포동 측으로는 강남3로 횡단지하차도가 접속되어 있으며, 당초에는 홍수시 잠수교 부분이 물에 잠기도록 설계되었으나 한강종합개발사업의 일환으로 한강상의 선박운항을 위하여 우안 유심부쪽에 종단경사를 두어 교통차단없이 선박의 운항을 가능하도록 한 것이 특징이다.

반포대교는 서울에서 추진한 강남지구 도시개발 촉진책의 하나로 건설된 한강의 도강시설인데 서울-부산 간 고속도로 교통을 도심부에 직결시켜 줌으로써 수도권 전체 교통의 효율성을 높이고 또한 포화상태에 다다른 한남대교의 교통량을 감소시키는데 큰 역할을 하고 있다.

잠수교는 홍수시 물에 잠기도록 설계된 것이 특징이고 주운교통을 위해 유심부에 종단 경사를 주운 통과높이 이상으로 두었고 대형선박이 통과시 잠수교의 한 경간을 위로 들어 올릴 수 있도록 고려하였다.

4.4.13 동작대교

이 교량은 통행량이 빈번한 한강대교와 반포대교 사이에 위치하여 강북의 동부이촌동과 강남의 동작동을 연결해 주는 역할을 담당하고 있다. 또한 인근교량의 교통량 일부를 흡수하고 지하철 4호선을 통과시키는 병용교로서의 역할을 담당하고 있다. 교량형식은 도로교 부분에는 강상판 및 강거터교로 이루어져 있고, 전철교 부분은 국내 최초의 랭거 아치(langer arch) 및 강 박스거터교로 되어 있다. 동작대교는 최대경간 80m로 외관상 산뜻하고 경쾌하며 다소 여성적인 부드러움을 느낄 수 있고 주위 환경과도 잘 조화되도록 건설된 교량이라고 할 수 있다.

4.4.14 동호대교

이 교량은 상부가 6경간 연속 트러스 교량으로서 직선적인 프레임 트러스에 만족한 주구 트러스를 사용한 곡선 트러스로서 한 경간을 80m로 하였다.

교량의 기능은 동작대교와 같이 중앙부 트러스부분

은 전차가 주행하고, 좌우에는 강 박스거터 도로교로 구성된 복합기능의 교량이다. 유심부를 제외한 부분의 교량은 경간이 40m이고, 전철교는 플레이트거터교이고, 도로교는 강 박스거터교로 구성되었으며, 교폭은 철도교 복선 11m, 양측에 도로교 10.2m씩으로 총 31.4m에 연장은 1,220m이다. 하부는 교각의 미관 및 경제성을 고려하여 독립 T형 철근콘크리트구조로 시공되었으며 하부 구조는 우물통기초 22기와 직접기초 4기로 축조되었다.

이 교량의 상류측 1.3km지점에는 4차선의 성수대교, 3.3km 지점에는 6차선의 영동대교가 가설되어 있고 하류 측으로 1.2km 지점에는 6차선의 한남대교가 있어서 강변 강북로 및 강남 올림픽대로와 상호 연결되어 있다. 그러나 이들 교량으로는 강남지역의 개발에 따른 이동 교통량 부하를 감당하기 어려운 실정을 고려할 때, 특히 경부고속도로·영동 등지에서 발생하는 교통량이 도심으로 직통할 수 있도록 하는 이 교량의 역할은 대단히 중요하다.

4.4.15 당산철교

1998년 초에 철거된 구 당산철교는 합정동-당산동 간을 연결하는 한강상의 전철교로 교량형식은 기능 면과 형식에 대하여 비교검토되었으며 기능면으로는 지하철 전용교, 형식에서는 조형미가 우수하고 강성이 큰 3경간 연속중로 트러스가 선정되었다.

상부구조는 전부 강재로 되어 있고 하부는 철근콘크리트 구조로 되어 있다. 기초는 우물통기초를 사용하였고 한강상 최초로 가설된 중로 트러스형식으로 조형미가 뛰어나고 경간장이 길어 매우 경쾌한 느낌을 주었던 교량이었다.

그러나 구 당산철교는 세로보 절취부에 발생한 수많은 피로균열로 인해 철거 후 신설하는 안과 보수·보강하여 계속 사용하는 안에 대한 치열한 논란 끝에 철거되는 신세가 되었다.

새로운 당산철교는 교량형식을 박스거터 형식으로 바꾸어 건설되었다.

4.5 강철도교

4.5.1 개요

(1) 제작기술의 발전

우리나라의 강철도교의 역사는 강교량 및 강구조공학의 역사라 할 수 있을 정도로 그 연원이 깊고 중요한 의미를 갖는다. 시대별로 강재의 재질향상, 강재 연결 방법의 기술 발전과 고장력강(高張力鋼)의 개발 등에 따라 강교의 설계 및 제작상의 기술 발전을 이룩해 왔다. 이러한 강철도교의 제작기술 발전 과정을 요약하면 다음과 같다.

1) 리벳교

리벳강교는 한국철도 초창기부터 채용되었고, 1967년 섬진강철도교에 용접 강교가 채택되기까지 반세기 이상 사용되었으나, 1970년대 이후에는 리벳강철도교(강판형교나 강 트러스교)는 거의 가설되지 않았다.

2) 강합성형교

1960년대 중반부터 국내에 강형과 철근콘크리트 바닥판을 합성시킨 강합성형교가 설계·시공되기 시작하였으며 1967년에는 철도청에서 강합성형철도교설계지침을 제정하였다. 강합성형교는 재래의 강판형보다 소음·진동이 적고, 궤도의 유지관리에도 유리한 면이 있어 강형철도교를 대표하는 구조형식이 되었다.

3) 용접 강교

용접 재료 및 용접기술의 발전과 더불어 1970년대 이후에는 용접 강철도교가 설계제작되기 시작하였다. 최초의 용접강철도교는 1967년 12월에 건설된 경전선(慶全線) 하동(河東)-진상(津上)간 섬진강철도교로서 상로 강판형교와 하로 와렌 트러스교에 적용하였다. 용접강교는 리벳강교에 비해 가설이 편리하고 강재가 절약되는 장점으로 인하여 이후에는 용접강철도교의 건설이 활발하게 이루어졌다. 위의 섬진강 철도교에 이어, 1969년 9월 한강 A선 및 B선 철도교의 완전복구를 위한 단순 편연결 강 플랫폼 트러스의 교체공사와 단순 리벳연결 강 와렌 트러스 철도교에 고장력강이 사용되

었고, 이후의 강 트러스 철도교에는 용접연결과 고장력강의 사용이 보편화되었다.

4) 프리플렉스 합성형교

1984년 벨기에로부터 도입한 신공법으로서 대한토목학회에서는 1986년 도로교에 이어서, 1987년 철도교에도 프리플렉스 합성형 표준시방서를 제정하고 이 공법을 채용하기 시작하였다. 프리플렉스 합성형은 설계기준강도가 400kgf/cm²의 고강도 콘크리트와 SM520의 고장력강을 사용하여 제작하는 합성형이다.

(2) 형식의 변천

1) 강형교

① 강 드와프 형교

강 드와프 형(steel dwarf girder)교는 한국철도 초창기에 교하공간이 부족한 경우의 단경간에 주로 사용되었다. 이 형식은 침목이 없이 직결궤도로 하였기 때문에 열차통과시에 심한 소음이 발생한다. 직결궤도로 된 3경간 강라멘교의 예로는 서울-용산간 남영교를 들 수 있으나 8·15 광복 후에는 새로 가설된 강 드와프형교는 찾아보기 어렵다.

② 압연강 I형교

압연강 I형교도 초창기 단경간에 많이 채용되었으나 이 형식 역시 8·15 광복 후에는 사용되지 않았다.

③ 강 플레이트 거더교(강판형교)

강 플레이트 거더 또는 강판형(steel plate girder)교는 철도교 초창기부터 1960년대 중반 이후 강합성형교가 도입되기까지 지속적으로 상당히 많이 채용되었다. 1967년 용접기술이 철도교에 채용되기까지는 리벳강판형교가 주로 가설되었고, 그 이후에는 용접 강판형교가 주로 가설되었다.

그러나 뒤에 기술하는 강합성형교의 등장과 함께 강판형교는 거의 가설되지 않았다.

2) 강합성형교

① 강 I형 합성형교

1960년대 후반 강합성형교의 도입 초기에는 I형단면 강합성형교가 주류를 이루었고, 주형가설 시 슬래브콘크리트를 타설하기 전에 풍압에 의하여 주형이 전도되는 사고가 발생한 적이 수차례 있었다. 최근에는 이 형식의 교량은 거의 가설되지 않았다.

② 강 박스거더(강상자형) 합성형교

1970년대 초기부터 박스거더 또는 상자형(box girder)단면의 강합성형교가 가설되기 시작하여 최근에는 강형교의 대표적인 구조형식이 되었다. 단선의 경우에는 1실 상자단면, 복선의 경우에는 2실 상자단면, 또는 1실 상자단면의 병렬배치 등을 사용하고 있으며 경간은 20.0~35.0m 정도가 일반적이다. 1990년대 말부터는 철도청의 일괄계약 방법에 따른 경쟁입찰에서는 중앙경간이 50m를 넘는 3경간연속 강상자형 합성형교의 설계도 자주 등장하고 있다.

3) 강 트러스교

① 편연결 강 트러스교

한국철도 초창기인 1900년 경인선의 한강 B선 철도교와 1911년 한강 A선 철도교가 각각 단순 강프레트 트러스교로서 유일한 편연결 강 트러스교였으나, 모두 1969년 단순 리벳 강 와렌 트러스교로 대체되었다. 현재 남한의 철도선구(鐵道線區)에는 열차운행 중에 있는 편연결 강 트러스교는 없다.

② 리벳 강 트러스교

리벳 강 트러스교는 한국철도 창설기부터 1960년대까지 장대교량에 수많이 가설되었다. 1904년 경부선의 왜관 낙동강교, 1905년 경의선의 임진강교, 1940년 중앙선의 북한강교, 1944년 경부선의 한강 C선교, 1962년 진주선(지금의 경전선)의 삼랑진 낙동강교, 1969년 경인선의 한강 A선교 및 B선교 등이 있다.

③ 용접 강 트러스교

용접 강 트러스 철도교는 1967년 경전선(慶全線)의 섬진강(蟾津江)철도교에 단순 강 와렌 트러스가 도입된 것을 효시로, 1986년 호남복선의 월계천(月桂川)철도교와, 1992년 한강 D선 철도교가 3경간연속 강복사재(鋼複斜材)트러스로 가설되었다. 단순트러스의 경우에 경간은 1990년대말까지 지간 60.0m 내외를 주로 사용해 왔으나, 강재의 재질 향상으로 인하여 현지 여건에 따라 지간이 70.0~90.0m 정도까지 적용되고 있는 추세이다.

4) 강 아치교

국내에는 현재까지는 순수한 강 아치 철도교의 건설 사례가 없었다. 재료에 관계없이 상로형 아치교는 외국

에는 건설된 예가 있으나, 수직재만 있는 하로형아치교는 처짐량에 따른 열차 통과시의 진동이 심하기 때문에 철도교에는 사용되지 않았다.

4.5.2 강철도교의 변천

(1) 1945년 광복 이전

우리나라 최초의 철도교인 경인선 용산-노량진간 한강 B선 철도교가 1900년 7월 5일에 가설되어 같은 해 11월부터 서울(서대문)-인천간 직통열차운행이 개시되었다. 이 교량은 강 프레트 트러스교 형식의 경간 61.0m인 10련 단순교로서 총연장은 630m이었다. 그 후 한강 B선 철도교는 한강구간의 개량공사를 시행하여 연속강관형 3@18.3m(4련), 3@24.4m(3련) 및 단순 강 프레트 트러스교 1@61.0m(10련) 등 총연장 1,110.7m로 개축되었다. 이 때에 트러스의 격점은 편연결구조로 되어 있었고, 그 이외에는 모두 리벳 연결 구조였다.

1904년 12월에, 경부선의 개통에 앞서, 구미-왜관 사이에 왜관 낙동강 철도교가 가설되었다. 이 교량은 2경간 연속 리벳 강 라우텐 트라겔(Rauten Trager) 2@46.5m(5련)와 단순 리벳 강관형 1@15.2m(2련)으로 구성되어 총연장은 506.9m이었다. 또한 매표-신탄진간에는 신탄진-금강 철도교가 2경간 연속(2@62.0m) 리벳 강 라우텐 트라겔교로 건설되었다

1905년 2월 15일에는 경의선 문산-장단간에 임진강 철도교와 같은 해 3월29일에는 평양에 대동강철도교가 가설되었다. 임진강철도교는 단순 리벳강 복사재 트러스교 1@60.6m(1련), 3경간 연속 리벳 강평행형 복사재 트러스 3@62.6m(2련), 단순 리벳 강복사재 트러스 1@60.6m(1련), 단순 리벳 강관형 1@18.3 m(10련)로 구성되어 총연장은 701.84m에 달하였다. 대동강 철도교는 3경간연속 리벳 강 페티트(petit) 트러스교로서 3@62.0m 총연장 186m이었다.

1905년 6월 26일에는 경전선 삼랑진-한림정간에 삼랑진 낙동강 철도교(목교)가 가설되어 열차운행중 낙동강의 수해 등으로 기면상승을 위한 개량공사를 거듭하다가 교각만 세운 상태에서 8·15광복을 맞았다.

1906년 2월 25일에는 경의선 청천강철도교(목교)가 준공되어 용산-신의주간 직통운전이 개시되었다. 그 뒤 이 목교는 3경간연속 리벳 강 복사재 트러스 188.4m (62.6m+63.2m+62.6m)로 대체되었다.

1911년 6월에 경인선과 경부선이 같이 사용하던 한강 B선 상류에 수송량의 증가로 열차의 운행빈도가 많아짐에 따라 복선으로 할 필요가 있어, 교량구성 및 형식을 한강 B선과 동일하게 구성하여 한강 A선 철도교를 가설하였고, 이 교량의 총연장은 1,113.55m이었다. 이는 당시 남한 최장의 철도교였다.

1910년의 한일합방 이후인 1911년 11월 1일에는 압록강 철도교가 준공되어 만주까지 철도가 연장되었고, 1916년 11월 1일에는 부산-안동간에도 직통열차를 연장운행하게 되었다. 압록강 철도교는 단선, 단선 리벳 강 곡형 트러스교로서 총연장 944m이었고, 신의주쪽에서 9번째 교각 위에 가설된 2경간 강 트러스는 90°수평 회전식이었으나 1934년 개폐를 중지하였다.

1940년 4월에 중앙선 능내-양수간에 북한강철도교가 완성되어 중앙선의 청량리-원주간이 개통되었다. 이 교량의 교각기초에는 공기압 케이슨기초가 사용되었다. 북한강 철도교는 단선 리벳 강 와렌 트러스 1@60m(3련), 단선 상로 리벳강관형 1@30m(10련), 단선 리벳 강관형 1@24.4m(2련)으로 구성되어 총연장은 560m이었다.

1942년 4월에는 안동부근의 성락천 철도교가 단선 상로 리벳 강 트러스교로 준공되어 중앙선 전주간이 개통되었다.

1943년 5월에 압록강 철도교의 상류 70m 지점에 복선 3경간연속 리벳 강 복사재 트러스 3@94.2m=282.60m를 포함하는 총연장 943m의 새로운 철도교가 준공되었다.

1944년 6월 한강 C선 철도교가 준공되었다. 이 교량은 복선 3경간연속 리벳 강관형 3@20.0m(4련), 3경간연속 리벳 강관형 3@26.3m(3련), 3경간 연속 리벳 강 복사재 트러스 54.95+78.50+54.95=188.4m(3련), 단선 리벳 강 복사재 트러스 1@62.0m(1련)으로 구성되어 총연장이 1,112.8m에 달하였다. 또한 한강 C선 철도교는 내탄구조의 L-25 표준활하중을

적용한 복선구조로 설계되었다.

(2) 1945년 광복 이후

1948년 대한민국 정부 수립 후 1950년 6·25동란이 발발하였다. 같은 해 6월 28일에는 한강 인도교(지금의 한강대교)와 함께 한강 철도교(A선, B선 및 C선)가 적군의 도하를 막기 위하여 아군에 의해 폭파된 것을 비롯하여, 전쟁이 계속되는 동안 전국의 철도교는 많은 피해를 입었다. 6·26 동란으로 피격된 철도교의 복구상황은 다음과 같다.

- 1951. 4.18 ... 경부선 왜관 낙동강교 임시복구
- 1951. 4.22 ... 중앙선 길아천교 복구
- 1951. 7.15 ... 경원선 한탄강교 복구
- 1952. 2. 3 ... 중앙선 북한강교 복구
- 1952. 4.30 ... 경부선 왜관 낙동강교 복구
- 1952. 6.25 ... 경의선 임진강교 복구

1950년 9월 28일 수도 서울 탈환 직후 군사작전상, UN군 공병단의 협조를 얻어 같은 해 10월 23일 한강 철도교를 임시선으로 먼저 개통하였다. 한강 A선 철도교는 1950년 11월 15일부터 3선중 비교적 피해가 적어 제일 먼저 복구에 착수하였으나, 중공군의 개입으로 1951년 1월 3일 복구공사는 중단되었다. UN군의 반격에 따라 같은 해 4월 12일에 다시 복구에 착수하여, 같은 해 6월 12일에 임시복구하였다. 한강 B선 철도교는 1952년 2월 11일에 복구공사에 착수하여 같은 해 6월 30일에 임시 복구하였다. 한강 C선(복선) 철도교는 가장 피해가 컸으며, 1952년 10월 5일에 복구공사에 착수하여 전쟁 발발 7년만인 1957년 7월 5일 상부구조의 강 트러스를 원상 복구하였다. 그 뒤 1973년에 교각 일부의 기초보강공사를 한 기록이 있다.

1958년 12월에 개통된 충북선의 목행-동량간 남한강 철도교가 가설되었고, 이 교량은 2경간 연속 리벳 강 관형 2@24.4m(1련), 3경간 연속 리벳 강관형 3@24.4m(1련), 3경간 연속 리벳 강관형 3@30.0m(2련), 4경간 연속 리벳 강관형 4@24.4m(1련)로서 총연장은 326.32m에 달한다.

1962년 12월 22일에는 당시 진주선 삼랑진-한림정간 삼랑진 낙동강 철도교가 3경간연속 리벳 강 복사재

트러스 3@60m(5련), 단순 리벳 강 복사재 트러스 1@60.6m(1련), 총연장 996.6m로 구교의 상류쪽 200m 위치에 새로이 가설되었다.

1963년에는 한국철도 최초의 PSC 철도교로서, 영월 제2화력발전소 인입선에 발전교가 가설되었다. 이 교량은 무연단 하화용의 단순 PSC형 1@15.0m(20련)의 무도상 철도교로서, 포스트텐션방식의 프레시네(Fressynet)공법을 사용하였다. 그 후 프리텐션방식의 PSC 합성형과 함께 1963년 3월 한국 PSC형 철도교 시방서의 제정으로 신설선에는 물론 개량선까지 PSC합성형 철도교가 수많이 가설되었다.

1967년 12월에는 경전선 하동-진상간에 섬진강 철도교가 준공되었다. 이 교량은 단순 강관형 1@15.2m(2련), 단순 강관형 1@24.4m(6련), 단순 하로 강 와렌 트러스 1@60.6m(4련) 등 총연장 442.1m로서 이 가운데 단순 용접 강 와렌 트러스와 단순 용접 강관형은 일본에 발주하여 제작된 국내 최초의 용접강철도교였다.

1969년 6월 28일에는 임시 복구하여 사용 중이던 단순 편연결 강 페티트 트러스 1@61.0m(10련)의 한강 A선 및 B선 철도교를 단순 리벳 강 와렌 트러스 1@61.0m(10련)으로 교체하여 완전 복구하였다. 이때 교각의 기초보강에는 국내 최초로 프리팩트 모르타(prepacked mortar) 주입공법을 적용하였다.

1969년 7월 14일에, 동해남부선 효자역에서 분기하여 괴동까지의 포항종합제철 인입선의 형산강철도교(단순 리벳 강관형 1@30.0m(15련), 총연장 437.50m)가 준공되었다. 이 교량의 기초에는 13m의 원심력 철근콘크리트 말뚝을 특수 제작하여 연결구로 3개씩 연결하여 총길이 39m의 긴 말뚝을 박는 당시에는 보기 드문 공법을 채용하였다.

1960년대 중반부터 전국 모든 선구(線區)에 국유철도건설규칙상의 선로등급에 따른 교량부담하중을 차등 없이 LS-22로 통일 적용하기로 결정함과 동시에 재래선의 노후화된 강철도교를 LS-22의 표준화하중으로 설계하여 경부선을 비롯한 전선의 노후교량 대체작업이 1970년~1980년대에 걸쳐 실시되었다.

1974년 8월에는 수도권전철화 구간인 경부선 서울-

수원간, 경인선 구로-인천간, 경원선 용산-성북간의 98.6km이 개통되었고, 구로-가리봉간에는 수km에 이르는 강합성형 과선(跨線)철도교가 장엄한 모습으로 등장하였다. 1980년 11월에는 서울지하철 2호선 강변-성내간의 한강에 잠실철교(도로 및 지하철 병행의 총연장 1,270m)가 가설되었다.

1982년에는 경원선 청량리-의정부간 복선전철화사업의 일환으로, 창동에서 의정부까지 수km에 달하는 PSC합성형, 강합성형 및 철근콘크리트 라멘으로 이어지는 고가교가 가설되었다.

1983년 12월에는 서울지하철 2호선 합정-당산간의 한강에 당산철교(지하철단독, 3경간연속 중로형 강 트러스, 총연장 1,360m)가 가설되었다. 이 철교는 1997년까지 사용되어 왔으나, 불행하게도 강 트러스 및 강관형은 물론 하부구조에 결함이 발견되어 서울시당국에서는 이를 철거하고 1999년 12월에 3경간연속 3복부 강관형(三腹部 鋼板桁)교로 재가설하였다

1984년 6월에는 서울지하철 3호선 옥수-압구정간에 동호대교(도로 및 지하철 병행, 총연장 1,220m)가 가설되었고, 1984년 12월에는 서울지하철 4호선 이촌-동작간에 동작대교(도로 및 지하철 병행, 총연장 1,320m)가 가설되었다.

1986년 12월에는 호남복선 백양사-신흥리간에 월계천철도교가 여러가지의 경간과 재료 및 구조형식을 사용하여 건설되었다. 이 교량은 단순 PSC합성형 경간 1@18.0m(6련), 연속 철근콘크리트 라멘 4.5@8.0m(1련), 4@8.0m(8련), 4.5@8.0m(1련), 단순 하로 용접 강 와렌 트러스 1@62.75m(1련), 연속 철근콘크리트 라멘 5@8.0m(1련)으로 총연장은 549.8m이다.

1994년 12월에는 3복선의 용산-노량진간 한강 D선 철도교가 여러 가지 구조형식으로 건설되었고, 모두 용접강철도교이었다. 한강 D선 철도교는 3경간연속 하로 용접강관형 3@20.0m(4련), 3경간연속 하로 용접강관형 3@26.3m(3련), 3경간연속 하로 용접 강복사재(鋼複斜材) 트러스 54.95+78.5+54.95(3련), 단순 하로 용접강 복사재 트러스 1@62.0m(1련)으로 총연장 1,112.7m이고, LS-22 표준화하중을 적용하였다. 한강 D선 철도교는 교량형식과 경간의 배열이 한강 C선

철도교와 동일하게 설계된 것으로 도로용의 한강대교(구교는 리벳 강 타이드 아치, 신교는 용접 강 타이드 아치)와 함께 쌍둥이 다리로 유명하게 되었다.

2000년 9월 18일(철도창설 101주년 일)에는 2000년 6월 15일의 남북공동선언에 따라 남북간 경의선(임진강 철도교 포함)의 연결기공식을 남한당국에서 먼저 시행하였다.

2000년 11월 28일에는 영종도 신공항건설에 따른 도로 및 철도 겸용의 연육교인 영종대교(상층 도로, 하층 철도 및 도로)가 가설되었다. 이 교량은 세계적으로도 건설 사례가 드문 주케이블을 상부구조가 직접 지지하는 자정식 현수교(self-anchored suspension bridge) 형식으로서 경간은 550m(125m+300m+125m)로 되어 있다. 이 교량의 준공을 기념하기 위하여 세계적인 국제교량학회(IABSE)가 서울에서 개최되기도 하였다.

2000년 11월말에는 서울지하철 6호선 자양-청담간의 한강에 복층교인 청담대교(상층 도로 및 하층 지하철)가 총연장 1,050m로 가설되었다.

4.5.3 철도교 시방서

(1) 1945년 광복 이전

① 1892년 이웃 일본에서 최초로 철도부설법(鐵道敷設法)이 제정되었고, 국내에서는 1897년 7월 17일 철도규칙(鐵道規則)을 제정 공포하였다. 한일 합병·직후 조선총독부 철도국이 설치되고, 그 2년 후인 1912년에 일본철도 최초의 강철도교 설계시방서(鋼鐵道橋設計方書) 45년 달갑(達甲)제111호가 제정되었는데, 이는 1899년 경인선 노량진-제물포간의 철도 개통과 1904년 경부선 초량-남대문 간의 철도 개통 후의 일이었다.

② 1922년 4월에는 일본에서 새로운 철도부설법(일본법률 제35호)이 제정 공포되었다.

③ 1928년에는 전술한 강철도교설계시방서(달갑 제 158호, 4장71조)가 개정되었고, 1929년 7월에는 국유철도 건설규정(國有鐵道建設規程)이 제정되었다. 이들 시방서 및 규정들은 광복 5년전인 1941년 11월 조선총독부 철도국에서 새 시방서가 제정되기까지, 조선

총독부 철도국에서 이를 국내 강철도교의 설계 및 제작에 그대로 적용하였다.

④ 1931년에는 일본토목학회에서 철근콘크리트 표준시방서가 제정되었다.

⑤ 1940년에는 일본토목학회의 강교시방서 조사위원회(鋼橋示方書調査委員會)에 의하여, 120m 이하의 강철도교의 설계에 적용할 목적으로 강철도교설계시방서를 집대성할 계획이었으나, 제2차 세계대전으로 계획안 자체가 중단되고 말았다. 여기에는 일본 신간선(新幹線, 탄환열차(彈丸列車))의 교량설계에도 적용하려던 내용이 포함되어 있었다.

⑥ 1941년 11월 조선총독부 철도국에서 강철도교 설계(5장88조) 및 제작시방서(7장77조)(달갑 제650호)를 제정하였고, 광복 후 당분간 사용되었다.

(2) 1945년 광복 이후

① 1948년 대한민국 정부수립 후, 1950년 6·25 전쟁이 발발하여 1953년 휴전이 되던 해인 1953년 9월에 교통부에서 한글로 된 강철도교 설계시방서(5장88조) 및 강철도교 제작시방서(7장77조)를 제정하였다

② 5·16 후 1961년 8월에 교통부(시설국)에서는 일본과 미국의 강철도교의 발전된 기술과 그 시방서를 도입하여, 새로운 강철도교 설계시방서(교통부령 달갑 제2657호, 1961년 8월 30일, 6장 98조)로 개정하였다.

이 시방서의 주요내용은 총척, 하중, 허용응력, 부재와 보의 설계, 설계세목, 통척, 연결 및 이음, 바닥틀, 브레이싱, 받침, 판형, 트러스, 잡척 등으로 구성되어 있다.

③ 1962년 제1차 경제개발 5개년 계획이 추진되고, 이와 병행하여 1963년 3월에 교통부에서는 철도관계의 모든 규정류 정비에 착수하는 가운데 철도교량과 관련된 규정도 개정 정비하였다.

◦ 한국강철도교 제작시방서

(교통부령 달갑 제3430호, 1963년 3월 26일)

◦ 한국PC형철도교 시방서

(교통부령 달갑 제3431호, 1963년 3월 26일)

◦ 정규도(正規圖) 및 표준도(標準圖)

(교통부령 달갑 제3432호, 1963년 3월 26일)

◦ 강형표준도

(교통부령 달갑 제3433호, 1963년 3월 26일)

④ 1966년 8월에는 강철도교 설계표준시방서가 본문만으로 간결하게 되어 있어, 그 이해에 어려움이 있음을 감안하여 철도청에서는 대한토목학회에 연구의뢰하여 강철도교 설계표준시방서 해설판을 발간하였다.

이 시기부터 전국의 신설 철도교의 설계는 국유철도 건설규칙의 선로등급에 따른 표준화중의 차등을 없애고, 모든 선구(線區)에 LS-22로 통일하여 적용하기로 결정하였다. 이는 증기기관차의 대수가 점차 감소하고, 대신 디젤기관차의 대수가 증가함에 따라서 당시까지 선구의 구별 없이 모든 기관차가 운행되는 데에 대비하기 위함이었다.

⑤ 1966년 11월에는 한국철도 최초로 용접강철도교(경간 60.0m 단순 강와렌트리스 2련 및 경간 24.1m 단순 판형 2련)를 경전선 하동의 섬진강철도교에 가설할 계획으로 철도청에서 1967년 3월-6월에 간이 용접강철도교(簡易 銲接鋼鐵道橋)시방서(설계 및 제작 과업 지시서 형식)를 작성하였다.

⑥ 1967년 3월에는 철도청에서 외국철도의 강교기술동향을 반영하여 합성형철도교 설계지침(合成桁鐵道橋 設計指針) (철도청훈령 제1709호, 1967년 3월 2일)을 제정하였고, 강철도교제작시방서(철도청훈령 제1710호, 1967년 3월 2일)를 개정하였다.

1967년 9월부터 전 영업선에 증기기관차의 운행이 중지되고, 동력차의 완전 디젤화를 이루었다.

⑦ 1969년 4월에는 철도청에서 강철도교 설계시방서(훈령 제2559호, 1969년 4월 23일)와 PC형철도교 설계시방서(훈령 제2560호, 1969년 4월 23일)를 각각 개정하였다.

⑧ 1980년 1월에는 철도청에서 시방서가 리벳강교에 대한 내용으로 되어 있는 것을 용접강교로 전면 개편보완하여 강철도교 설계표준시방서(철도청훈령 제4917호, 1980년 1월 8일)로 개정함과 동시에 대한토목학회에 연구의뢰하여 그 해설판도 발간하였다.

이 시방서의 주요구성은 총칙, 하중, 재료, 허용응력, 유효단면적, 부재 및 연결의 계산, 판요소의 폭-두께와 보강재, 바닥틀, 용접이음, 리벳이음, 볼트이음 및 핀연결, 브레이싱 및 칸막이, 판형, 트러스, 받침,

부속설비 등으로 이루어졌다.

이와 동시에 지침(指針)을 시방서(示方書)로 승격시키고, 내용의 일부를 보완하여 합성형철도교 표준시방서(철도청훈령 제4915호, 1980년 1월 8일)로 개정하였다. 또한 용접 및 합성형의 기술발전 등을 반영하여 강철도교 제작시방서(철도청훈령 제4916호, 1980년 1월 8일)도 개정하였다.

⑨ 1984년에는 벨기에로부터 프리플렉스 합성형의 신기술을 도입하였고, 1987년에 프리플렉스 합성형 철도교 설계표준시방서안(대한토목학회 제정, 1987년)을 제정함과 동시에, 기술보급을 위하여 프리플렉스 합성형철도교 설계·제작·시공기술을 발간하였다.

⑩ 1989년 12월에 경부고속철도 건설계획의 추진을 위해 철도청내에 고속철도건설기획실을 설치하고, 다음해인 1990년 12월에는 고속철도건설사업기획단으로 확대개편하면서, 1992년에 고속철도 토목분야의 각종 설계 및 공사 시방서를 작성하였다. 그 가운데 교량관계 시방서로서는 고속철도 강교량(鋼橋梁) 및 합성형교량(合成桁橋梁) 설계표준시방서안, 고속철도 콘크리트(RC 및 PSC)구조물(構造物) 설계표준시방서안 및 고속철도 기초구조물 설계표준시방서안, 고속철도 강교량 제작 표준시방서안 등이 제정되었다.

⑪ 1999년 7월 철도청에서 강철도교, 철근콘크리트교, PSC교 및 교량 하부구조를 총괄한 철도설계기준(철도교편) 및 철도공사 전문시방서(토목편)로 기준(規準)의 명칭을 변경하면서 그 내용 및 편성체제의 대폭적인 개정이 이루어졌다.

철도설계기준(철도교편)의 주요구성은 다음과 같았다.

제1편 공통사항

총칙, 하중, 설계방법 및 안전율, 사용재료, 받침 및 부속설비, 기록

제2편 강교

총칙, 허용응력, 설계일반, 부재에 관한 일반상, 판요소의 폭-두께와 보강재, 바닥틀과 바닥판, 연결, 브레이싱 및 다이아프램, 플레이트 거더, 트러스, 합성거더교, 연속구조 및 캔틸레버, 라멘구조, 붕괴유발부재

제3편 콘크리트교

제4편 하부구조

제5편 내진설계

4.5.4 정규도 및 표준도

1945년 광복 이전까지는 조선총독부 철도국의 '정규도(正規圖) 및 표준도(標準圖)'를 사용하였으나, 광복 후에는 이를 번역하여 사용해 오다가 1963년 3월에는 교통부에서 철도토목관련규준의 정비작업의 일환으로 「교통부 정규도 및 표준도」(달갑 제3432호, 1963년 3월 26일)와 「교통부 강형(鋼桁)정규도」(달갑 제3433호, 1963년 3월 26일)를 정비하였다. 1968년 6월에는 철도청(시설국)에서 「철도청 정규도 및 표준도」(훈령 제2339호, 1968년 6월 25일)로 개정하였고 1969년에는 「철도청 강형 정규도」(훈령 제2522호, 1969년 3월 15일 및 훈령 제2563호, 1969년 4월 23일)로 2차에 걸쳐서 개정하였다.

1979년 9월에는 철도시설계사무소에서 1969년에 개정된 건설부의 「콘크리트 표준시방서」의 내용을 반영하기 위하여, 대한토목학회에 의뢰하여 「철도청 정규도 및 표준도」(훈령 제4919호, 1980년 1월 8일)로 개정하였다. 이 때 처음으로 토목 구조물별로 토공, 교량상부구조, 교량하부구조, 구교, 터널 및 하수 등으로 분책

(分冊)으로 하였다.

1988년 11월에는 대한토목학회에서 프리플렉스 합성형철도교 상부구조 표준도를 작성하였다. 1991년 7월~1992년 5월사이에 고속전철사업기획단에서 대한토목학회에 의뢰하여 작성한 「고속철도 정규도 및 표준도」를 1992년 5월에 공단에서 발표하여 경부고속철도의 토목설계에 적용하도록 하였다.

4.5.5 고속철도의 강교

국내에서는 고속철도상의 강철도교는 주로 고속도로와 기존철도를 횡단하는 특수조건에서만 적용되고 있는 실정이다. 현재까지 시공된 것으로는 강-콘크리트 합성 거터교와 강 아치교가 있다.

(1) 강-콘크리트 합성거터교

이 공법은 고속도로나 도로를 횡단하는 개소에 현장 조건이 도로교통에 지장 없이 벤트를 설치하고 크레인으로 토막의 강합성 주형을 벤트위에 크레인으로 가설 하한 후 벤트 위에서 현장조립하여 상부구조를 완성하는 공법이다.

(2) 강 아치교

이 공법은 경부고속도로를 예각으로 교차횡단하는

표 4.14 고속철도의 강교

| 교 량 명 | 연장(m) | 특 수 교 량 | | | 시 공 법 |
|-------|-------|---------|--------|--------------------|----------------|
| | | 연장(m) | 상부구조형식 | 경 간 | |
| 반월교 | 1,160 | 100 | 강합성 | 2@50m | I.L.M |
| 가 풍 교 | 540 | 50 | 강합성 | 1@50m | 크레인가설 |
| 이원교 | 2,430 | 180 | 강합성 | 1@40m×2 2@50m×1 | 크레인가설 크레인가설 |
| 원 동 교 | 100 | 100 | 강합성 | 1@50m×2 | 크레인가설 |
| 지 탄 교 | 100 | 100 | 강합성 | 1@50m×2 | 크레인가설 |
| 주곡교 | 1,690 | 50 | 강합성 | 1@50m | 크레인가설 |
| 다수교 | 3,585 | 450 | 강합성 | 1@50m×3 2@50m×3 | 크레인가설 크레인가설 |
| 모압교 | 2,120 | 100 | 강합성 | 2@50m×1 | 크레인가설 |
| | | 65 | 강트러스 | 1@65m×1 | 크레인가설 |
| | | 125 | 강아치 | 5@25m×1 | T.M |
| 턱곡교 | 605 | 35 | 강합성 | 1@35m | 크레인가설 |
| 석 적 교 | 405 | 130 | 강합성 | 40m+50m+40m | 크레인가설 |

육교를 고속도로 교통소통에 지장 없이 시공하는 공법으로서 연장 125m의 강 아치교를 한쪽교각에 고정시켜 가설한 후 회전 방식으로 도로를 횡단하도록 유압잭으로 밀어서 회전시키는 공법(TMG공법)으로 설계·시공되었다. 경부고속철도의 경간 125m 강 아치교는 철도교량에서 세계 최대대교인 120m의 독일 철도 교량보다 5m가 긴 교량으로 기록하게 되었다.

4.6 강교의 붕괴사고 (성수대교를 중심으로)

성수대교는 한강상에서 11번째로 가설된 교폭 19.5m (보도 4.4m, 차도 15.0m), 주경간 120m인 게르버트러스교로서 1979년 10월 준공된 교량이다. 한강의 교량 중에도 비교적 외관이 수려하고 안전하다고 인식되어온 이 교량이 1994년 10월 21일 아침에 붕괴되어 많은 인명과 재산을 빼앗아 가는 참사를 빚었다. 우리나라 교량붕괴사고 중 가장 많은 인명을 빼앗아 가고, 사회적으로 가장 큰 파장을 불러온 성수대교의 붕괴사고에 대한 원인분석을 통하여 21세기의 교량 건설 방향과 유지관리 방법에 대한 교훈으로 삼고자 한다. 여기에 수록된 내용은 성수대교 붕괴사고의 원인 분석을 위한 정밀한 진단보고서의 내용을 참조하였다.

성수대교의 상부구조는 교각에 지지된 앵커 트러스와 현수 트러스가 링크와 힌지로 연결된 게르버 트러스 구조로 설계, 가설되어 있다. 당시 1등교 설계기준인 DL18, DB18 기준으로 부재를 검토한 결과 극히 일부 부재가 안전하게 설계되어 있음을 확인하였으나 현재 1등교 설계차량하중으로 적용되는 DL24, DB24 기준으로는 중앙 주트러스 다수의 부재응력이 허용응력을 초과하고 수직재의 응력은 초과하지 않는 것으로 검토되었으나 이는 당초 설계의 문제점은 아닌 것으로 판단되었다.

설계측면의 문제점으로 교량 구조계획상 상부구조는 수직재 파단시 붕괴의 사전예고가 불가능한 여유력이 없는 구조로 계획되었으며, 수직재와 핀플레이트 용접의 시공성을 충분히 고려하지 않은 구조로 설계된 점이 지적되었다. 또한 현수트러스와 앵커트러스가 접속되는

핀연결부 하단에서 횡방향 브레이싱이 완전히 분리되어 있어서 횡력전달 기구가 불합리하게 설계되어 이로 인한 문제는 붕괴의 직접적인 원인으로는 작용하지 않은 것으로 평가되었다.

설계도면 검토와 파단면에 대한 현장 정밀조사 결과, 핀플레이트와 수직재 플랜지 사이의 용접은 X형 맞대기 용접으로 설계되어 있으나, 용접시공 상태는 모재 용접부의 개선이 적절히 이루어지지 않았으며 모재 전단면에 걸쳐 용입되지 않은 상태임을 확인하였다. 즉, 전구간에 걸쳐 핀연결 수직재와 핀플레이트 사이의 홈용접부를 초음파 탐상시험으로 용입깊이를 조사한 결과, 수직재 플랜지의 두께가 18mm 인데 반해 미용입 깊이가 최대 16mm (유효 용입두께 2mm) 까지 발생된 부재가 조사되었고(부록 A3 비파괴 검사결과 참조) 대부분의 수직부재 용접부의 미용입깊이가 5mm 이상 (유효두께 13mm 이하)인 것으로 관찰되었다.

따라서 당초부터 하중을 전달할 유효단면적이 설계보다 상당히 감소된 상태로 시공되어 있어서 용접시공 불량에 직접 붕괴원인의 하나로 판단된다.

수직재 플랜지와 연결되는 핀 플레이트는 연결부위의 두께가 18mm, 테이퍼링 경사도가 1/10으로 설계되어 있으나 실제의 핀플레이트는 현장 실측한 결과 각각 22~23mm 와 1/2.5~1/3 정도가 제작, 설치되어 있다. 이같은 두께와 경사도의 오차는 실제 설계의 경우보다 최악의 경우 당초 예상응력 이상인 40% 정도 더 큰 응력집중을 유발할 가능성을 내포하고 있는 것으로 평가되어 시공의 부정확성으로 인해 문제를 더욱 악화시킨 것으로 검토되었다. 피로수명 계산 결과 설계대로 접시공된 경우에는 교통량 조사결과로 결정된 등가 트럭하중 4억대가 통과할 때까지 파괴가 일어나지 않는 것으로 계산되었으나, 준공직후 용접이 불량시공된 단면의 경우에는 교통량 조사결과(3,500만대)와 거의 일치하는 3,530만대 밖에 통과할 수 없는 것으로 산정되어 용접불량이 부재의 제작불량과 더불어 붕괴의 직접적인 원인 중 1차적 요인으로 판단되었다.

제작오차가 있는 용접부위, 특히 핀플레이트와 수직재 북부판과의 용접교차점에는 응력집중현상이 더욱 크게 일어나고 이에 따라 용접결함으로부터 쉽게 균열이

발생하게 되며 이러한 균열은 계속되는 반복하중에 의한 피로에 의해 더욱 발달되어 붕괴시점 훨씬 이전에 이미 균열이 발생되어 있었음을 현장 정밀조사 결과 확인할 수 있었다.

핵심 부재인 수직부재의 용접부는 준공당시부터 불량용접되어 유효단면이 설계단면보다 훨씬 감소된 상태에서 붕괴직전까지 계속된 차량 하중의 재하로 장기간에 걸쳐 피로균열이 서서히 진전된 것으로 판단되며, 이러한 판단은 현장 정밀 조사결과 붕괴시점 훨씬 이전에 동측 및 중앙 수직재의 서측 플랜지 용접부와 웹 일부가 이미 균열이 진행되어 용접부가 떨어져 부식되어 있는 상태로, 붕괴시 파단된 취성 파괴면의 깨끗한 면과 확연히 구분되어 장기간 진전된 균열이 그대로 위험하게 방치되어 있었음이 확인된 것을 근거로 한 것이다. 따라서 적절한 점검 및 체계적인 유지관리의 미비로 인해 이미 발생한 수직재 용접부의 균열과 파단 상태를 조기발견하여 사전 예방 조치하지 못하였고, 더욱이 규정하중 이상의 과적차량에 대한 통행제한을 소홀히하여 불량제작된 부재단면의 균열 진전을 더욱 가속화시켜 결국 임계상태에 도달한 균열은 취성파괴로 급속히 진전, 수직재의 파단을 일으키게 되었다. 따라서 서울시의 유지관리 소홀 및 유지관리 책임자들의 강요량에 대한 전문지식 부족이 교량 붕괴의 직접적 원인 중 2차적 요인으로 판단된다.

또한 당초설계시 보다 큰 현재 1등급 설계차량 하중인 DL24, DB24로 검토한 결과 일부 주 부재의 응력이 허용응력을 초과함을 알 수 있었으나 사전에 이에 대한 철저한 구조적인 안전성 검토와 대비책을 강구하지 못한 점도 유지관리상의 문제점으로 지적된다.

신축이음부는 방수상태를 유지하여 빗물과 염화칼슘 등이 용해된 우수가 유입되지 않도록 보호되어야 하나, 실제로는 주변부재가 심하게 부식된 것으로 조사되었다. 그러나 수직재 용접연결부는 연결판으로 보호되고 있어 부식이 크게 일어나지 않아 신축이음부의 누수가 수직재 붕괴의 직접적인 원인을 제공한 것으로는 판단되지 않았다.

신축이음부는 단차가 없도록 유지되어야하나 실제로는 단차가 있어 이로 인해 차량통과시 예상 이상의 충

격이 가해진 것으로 판단되었으나 충격으로 인한 응력 흐름은 신축이음부 하단의 가로보를 경유하여 앵커트러스의 상현재를 통해 사재로 전달되므로 편 연결 수직재에는 충격 효과가 거의 전달되지 않기 때문에 신축이음부의 단차가 수직재 파단에 미친 영향은 미소할 것으로 판단되었다.

한편 당초 설계에는 없었으나 유지보수 시 편연결 수직재 상단에 설치된 까치발이 편 회전을 다소 방해하여 이로 인해 유발되는 추가응력이 불량용접부의 피로 균열을 촉진시켰을 가능성을 배제할 수 없었으나 신축이음부를 받치고 있는 가로보를 그 밑에서 받치기 위하여 설치한 기둥과 기둥을 받치는 선반(수직재와 사현재에 강철로 연결되어 있음) H형 부재가 문제의 링크 수직재에 미치는 영향은 크지 않기 때문에 이것들이 교량 붕괴의 원인으로 볼 수 없었다.

직접적인 원인을 제공한 구조적 문제는 시공 당시 공사기간과 공사비에 대한 무리한 계획, 전문적인 감리 및 유지관리 체제의 미확립, 관련기술의 연구개발 투자 미흡, 전문 기술인력 부족, 국민의 안전 의식과 과학적 사고 의식의 결여 등에 있으며, 과학과 기술논리보다 우선하는 정치, 행정편의, 실적위주 논리 등을 지적할 수 있어 붕괴사고의 직접적인 원인 이외에도 이러한 근원적인 요인들도 간접적으로 작용한 것으로 지적될 수 있다.

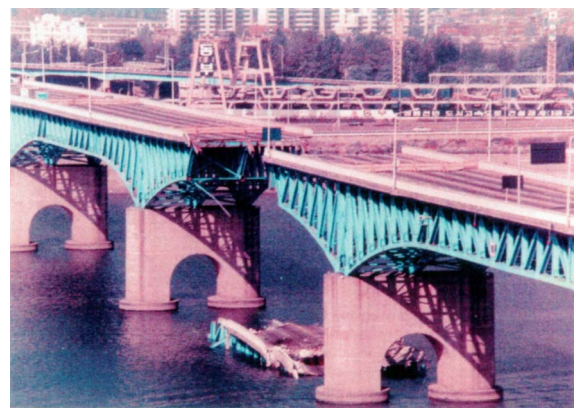


그림 4.4 성수대교 붕괴사고 현장

사고현장 정밀조사 및 분석결과를 종합하면, 설계 측면의 원인으로서는 붕괴의 사전예고가 불가능한 여유력이

없는 구조로 계획된 점이 지적되고, 시공성을 충분히 고려하지 않은 용접부 설계와 보다 합리적인 횡력전달 기구에 대한 계획이 미비된점이 설계상의 문제점으로 지적된다.

유지관리 측면으로는 적절한 점검 및 체계적인 유지관 미비와 서울시 유지관리 담당 공무원들의 강교량에 대한 전문지식의 부족에 기인된 불량용접된 편연결 수직부재의 장기간에 걸쳐 진전된 피로균열과 파단상태를 조기 발견하여 사전 예방조치하지 못한 점, 더욱이 규정 이상의 과적차량 통행규제를 소홀히 한 점, 그리고

과적차량 통행에 따른 구조적인 안전성 검토와 대책을 강구하지 못한 점이 붕괴의 직접적 원인 중 2차적 요인으로 지적된다. 그러나 이러한 직접적인 원인을 제공한 구조적인 원인으로는 무리한 건설 계획과 건설 관리체제 미확립, 연구개발 투자 소홀, 국민의 안전의식 결여로 볼 수 있으며, 보다 근본적으로는 기술논리보다 우선하는 정치, 행정편의, 실적위주 논리 등이 원인을 제공한 것으로 지적되어 붕괴사고는 단순한 직접적인 원인 이외에도 이러한 근본적인 요인들이 크게 작용한 것으로 판단된다.