

제 1 장 교량의 내력

1.1 교량의 기원

인류는 유사이래 자연에 순응하고 이를 극복해 오면서 발전하여 왔다. 최초의 인류는 자연적으로 만들어진 구조물을 이용하여 이동하고 생활에 필요한 식량 등을 운반하였으나, 통행의 장애가 되는 강, 하천, 또는 계곡을 통과하기 위하여 교량이 필요하게 되었다. 이러한 목적으로 인류는 지금까지 수많은 교량을 건설해 왔으며, 건설된 교량은 그 시대를 대표하는 역사, 문화, 기술의 집약체로서 인류문명 발달의 상징처럼 여겨져 왔다.

본 편에서는 먼저 인류 역사를 통틀어 “교량”이라는 사회기간시설물이 어떠한 형태로 출발했는지에 대해 간략하게 살펴보고자 하며 교량이 가지고 있는 다양한 기능적인 측면을 정리하고 원시시대부터 현재에 이르는 교량의 변화를 시대별로 구분하여 살펴보고자 한다. 교량의 변화는 재료의 발달과 기술의 발전에 따른 구조형식의 변화 및 이 두 가지를 총괄하는 시대적인 변천으로 구분할 수 있기에 전체적인 교량 변천사의 개요를 살펴본 후, 고대, 중세, 근대, 현대로 구분하여 각 시대에 따른 교량의 발전과 변화를 역사적인 관점에서 조망해 보고자 한다. 또한, 교량을 구분하는 주요 기준에 따른 교량의 분류와 구조형식별 교량의 주요 특징, 교량의 현황 및 국내·외 주요 교량의 비교 등을 통해 국내·외 교량기술의 발전 정도를 가늠해 보고자 한다. 마지막으로 교량과 관련하여 표준화된 설계지침인 시방서의 변천과정, 주요 해석방법 및 해석 프로그램의 변화와 가설공법의 변화 등을 살펴봄으로써 교량 관련 주요 기술들의 발전과정을 간략하게 정리해 보고자 한다.

인류의 역사와 더불어 건설된 수많은 교량은 기술 및 문명의 발전에 따라 다양한 구조형식의 개발이 이뤄졌으며 재료의 발전과 더불어 그 형태와 규모가 변화하

였다. 따라서 이러한 교량의 발전 모습을 통해 우리는 인류의 지혜와 자연에의 순응, 그리고 도전의 용기를 살펴볼 수 있다.

인류가 지구상에 최초로 모습을 나타낸 이래로 인간은 자연에 적응하고 이를 극복하는 과정에서 선사시대 인류는 동굴과 같이 자연적으로 만들어진 것들을 이용하고 식량과 기후를 따라 유랑하며 생활하였다. 이들은 이동 중에 물살이 빠르고 깊은 하천, 가파른 골짜기나 계곡 등을 만났을 때 장애물을 통과하기 위해서는 무엇인가를 건너질러야 하는데 때로는 계곡에 우연히 걸쳐 있는 통나무를 이용하거나 암석과 흙이 급류와 바람에 의해 풍화되고 마모되어 형성된 천연 아치교 등이 그들의 주된 이용수단이었다.

미국 버지니아 주의 “Natural Bridge”, 유타 주의 “Rainbow Arch”, 우리나라 해남 두륜산의 천연암 구름다리가 그 좋은 예이다. 열대지방에서는 나무와 나무를 따라 성장하는 덩굴 식물로 이루어진 천연 현수교가 발견되었으나, 대부분의 이러한 교량형태들은 모두가 자연적으로 만들어진 것이었다.

그 후 정착문화가 시작되는 신석기시대에 이르러 전쟁과 정복의 과정을 거치면서 돌도끼와 같은 예리한 무기들을 이용하게 되었으며, 이러한 도구의 발달은 자연스럽게 지극히 초보적인 형태의 교량을 탄생시켰으며, 고고학자나 인류학자들에 의해 입증되는 통나무 다리 및 나무 널쿨 등을 이용한 원시적인 현수교를 대표적인 예로 들 수 있다.

이처럼 수천년 전부터 시작된 자연교량의 이용과 초기 교량의 발달은 이후 재료의 발전과 기술 문명의 발달로 지금과 같은 복잡하면서도 거대한 형태의 교량 구조물을 탄생시키는 데까지 이르게 되나 교량의 기원과 그 필요성은 예나 지금이나 새로운 세계로 나아가고자 하는 인류의 욕망과 실생활에서의 편리를 도모하고자 하는 욕구의 발현으로 표현될 수 있다.

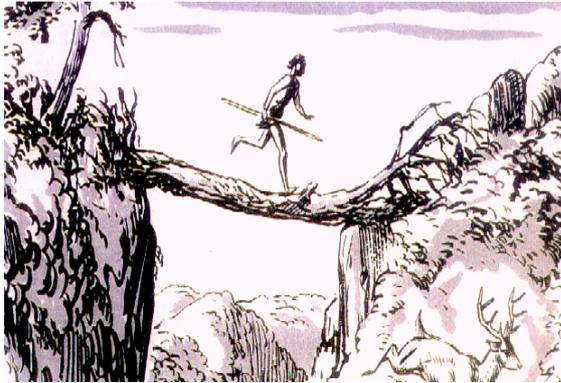


그림 1.1 원시시대의 통나무 다리

1.2 교량의 역할

사전에 담긴 “다리”의 뜻을 살펴보면 “강이나 개천 또는 언덕과 언덕 사이에 사람이나 차가 다닐 수 있게 하기 위해 걸쳐놓은 물건”이라 표현되어 있으며 영어사전에서도 “Bridge”란 “장애물을 넘기 위해 세운 구조물”이라는 뜻과 “연결(Connection)”이라는 뜻이 있는 것으로 보아 동서고금을 막론하고 교량의 의미는 동일한 것이다. 결국 교량이란 하천, 계곡, 호소, 해안, 시가지 철도나 도로를 횡단하는 통로를 설치할 때 그 통로를 지지하기 위해 축조된 구조물의 총칭이라 정의할 수 있는데 인간의 생활에 있어서 교량은 시대와 관계없이 필수적으로 요구되는 기간 시설물이다.

인간이 활동하는 데 있어서 하천이나 계곡같은 장애물을 통과하기 위한 수단으로서 교량의 출현은 필연적인 것이었고 인간이 존재하는 한 교량은 항상 존재하게 될 것이다. 근래의 폭발적인 인구증가로 물동량 역시 급증하였고 이들의 원활한 교통을 위해 교량의 숫자도 증가하였을 뿐 아니라 재료의 발전 및 기술문명의 발달과 더불어 기능을 증대시키기 위한 구조형식도 다양하게 변화되었다. 특히 복잡한 현대사회에 있어서 교량은 대단위 인간 공동체의 생명선의 의미를 가지게 되었고 그 중요성은 더욱 더 강조되고 있다. 따라서 교량을 건설하고 관리하는 데 있어서는 교량의 이용자인 인간 생명에 대한 안정성과 교량이 가지고 있는 시설물로서의

기능적 효용성에 대한 확보가 무엇보다도 우선시된다.

이처럼 교량은 사람과 차의 통행뿐만 아니라, 수로, 상하수도관 및 각종 케이블의 통과, 군사적 목적 및 미관 시설로서의 가치 등 다양한 역할을 수행하는 시설물로서 지금까지와 같이, 앞으로도 인류의 역사와 호흡을 같이하게 될 것이며 문명의 전반적인 발전에 따라 교량의 역할이 더욱 더 증대될 것이다.

1.3 교량의 변천

1.3.1 개요

교량의 변화는 재료와 기술의 발전에 따른 구조형식의 변화 및 이 두 가지를 총괄하는 시대적인 변화로 살펴볼 수 있기에 고대, 중세, 근대, 현대로 구분하여 각 시대에 따른 교량의 변화를 역사적인 관점에서 살펴보고자 한다. 그림 1.2는 교량의 변천사를 간략하게 살펴본 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 교량의 역사는 원시적인 자연교량의 이용 및 통나무 다리나 나무덩쿨을 이용한 현수교와 같은 기초적인 교량에 이어 메소포타미아와 이집트 지역을 중심으로 인류 문명이 발생하면서 초기적인 형태의 석재 아치교가 건설되기 시작했으며, B.C. 1~2세기에 이르러서는 당시로서는 화려했던 로마문명을 바탕으로 이탈리아의 아우구스투스(Augustus)교와 프랑스의 가드(Gard)교를 비롯한 대소 규모의 아치교가 건설되었다. 그러나 4~8세기에 이르러서는 유럽 정치집단의 규모 축소로 교량 건설은 다소 위축하게 된다. 국내의 경우 이미 B.C. 37년 고구려본기에 “어별교(魚鱣橋)”라는 이름이 등장하는 것으로 보아 그 이전부터 교량의 건설이 어느 정도 진행되었다는 사실을 짐작할 수 있으며 413년 이후 기록상의 최초 교량인 신라의 평양주 대교(平壤州 大橋)를 시작으로 통일신라의 연화교(蓮花橋), 칠보교(七寶橋) 등 많은 교량이 건설되었다.

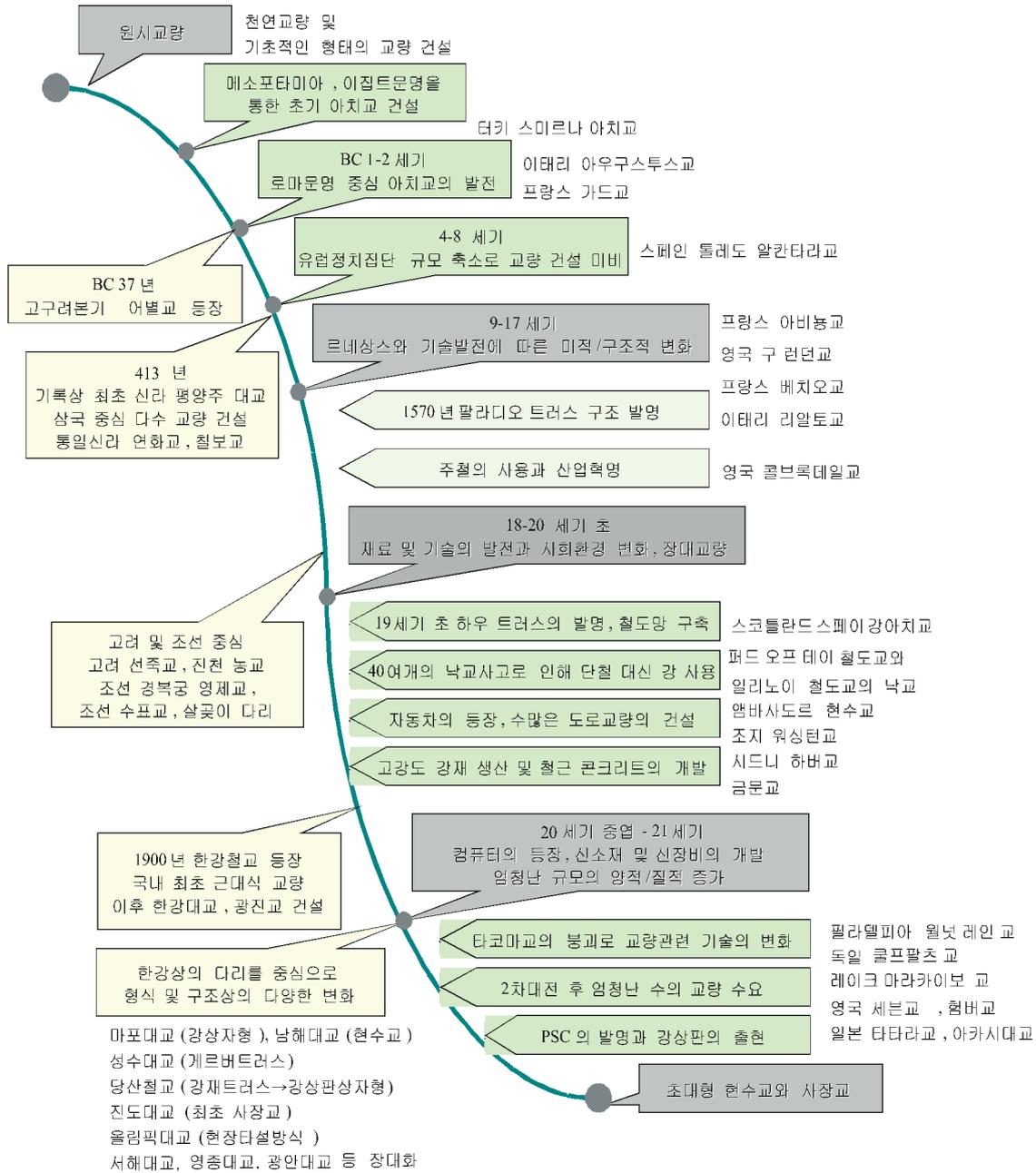


그림 1.2 교량 변천사 개요

이후 교량은 중세를 거쳐 르네상스의 영향을 받게 되면서 미적·구조적으로 엄청난 변화를 겪게 되며 특히 트러스(Truss)구조의 발명, 주철의 발명 및 산업혁명의 영향을 받아 그 변화가 가속화되었다. 프랑스의 아비뇽(Avignon)교, 영국의 구 런던(Old London)교,

프랑스의 베치오(Veccio)교, 이태리의 리알토(Rialto)교 등은 이 시기를 대표하는 교량이라 할 수 있다.

산업혁명 이후 기술은 급진전하여 단철 대신 강이 사용되기 시작하면서 교량의 구조형식과 규모는 큰 변화를 거치게 된다. 19세기 초 하우(Howe)트러스의 발

명과 대규모 철도망의 구축으로 인한 교량건설의 급증은 한 때 연이은 낙교사고를 발생시키기도 하였지만 동시에 교량기술의 발전이라는 긍정적인 효과를 가져다주었다. 스코틀랜드의 스페이 강아치교는 이 시기를 대표하는 최초의 현대적인 철재 아치교이다.

국내의 경우는 19세기까지 고려 및 조선 왕조를 통하여 개성의 선죽교(善竹橋), 진천의 농교(籠橋), 서울의 수표교(水標橋) 및 살곶이 다리(濟盤橋) 등 다양한 형태의 다리들이 건조되었으나 외래 문명과의 단절로 인해 특기할 만한 기술적인 발전을 이루지는 못하고 있었다.

20세기에 접어들면서 자동차가 등장하게 되고 동시에 수많은 도로교량이 등장하게 되며, 고강도의 강재와 철근 콘크리트라는 혁명적인 재료의 개발은 강교와 현수교의 본격적인 건설을 가능하게 하였다. 앰배사도르(Ambassador)교, 조지 워싱턴(George Washington)교, 시드니 하버(Sydney Harbor)교, 금문(Golden Gate)교 등은 이 시기를 대표하는 장대교량들이다. 반면 우리나라는 20세기 초인 1900년 한강철교의 등장을 시작으로 일본 기술의 이전을 통해 한강대교, 광진교 등을 건설하면서 근대교량으로의 전환을 하게 되었다.

20세기 초 타코마 내로우(Tacoma Narrows)교의 붕괴 이후 동역학적인 관점에서의 교량 연구가 시작된 후 풍동시험을 토대로 교량의 장대화화 구조적·형식적인 측면에서의 다양화 현상이 나타나게 되고 2차대전 이후 전쟁의 피해로 막대한 규모의 교량이 필요하게 되면서 교량 관련 기술은 단기간에 비약적으로 발전하게 되었다. 특히 프리스트레스트 콘크리트(PSC)의 발명과 강상판 교량의 개발은 교량의 장대화를 촉진하게 되며 컴퓨터의 급속한 발달은 교량 기술을 정교화·복잡화시키는 동시에 엄청난 규모의 장대교량 건설을 가능하게 하는 계기가 되었다. PSC 사장교인 베네주엘라의레이크 마라카이보(Lake Maracaibo)교, 영국의 세븐(Seven)교, 험버(Humber)교 등이 초기의 장대교량이었다면 최근 일본에서 완공된 타타라(多多良)교와 아카시(明石)대교는 교량 기술의 발전 정도를 가능하게 한다. 국내의 경우 20세기부터 한강상의 다리를 중심으로

형식 및 구조상의 다양한 변화를 통해 기술의 발전을 이뤄왔으며 최근 서해(西海)대교 및 영종(永宗)대교 및 광안(廣安)대교와 같은 장대교량을 건설할 정도로 교량 기술이 성숙되었다.

1.3.2 고대의 교량

고대교량은 원시적인 돌징검다리나 외나무다리와 같은 단순한 형태였으나, 장경간의 경우에는 대나무 또는 포도나무줄기를 사용하는 원시적인 현수교 형식이 사용되었으며 이러한 원시적인 교량은 아시아, 남아메리카 및 아프리카 등의 고대 문헌에 기록되어 있고 아직까지도 일부 미개발 원시지역에서 이용되고 있다.

초보적인 캔틸레버교는 중국에서 처음으로 건설되었으며, 최초의 아치교는 중동지방의 우르(Ur)에서 발견되었다. 이집트의 아치교 역사는 B.C. 3000년경까지 거슬러 올라가며 당시의 아치교는 건물의 일부분으로 구성되어 있었다.

석조 아치에 관한 기술은 바빌로니아, 아시리아, 인도, 중국 및 고대 그리스 등에 존재했으며 지금도 그 유적을 찾아볼 수 있다.

로마 최초의 석재 아치교는 B.C. 17세기 직후의 테버론(Teverone)을 횡단하는 솔라레스(Solares)교이다.

이 시기 로마 사람들의 건설기술을 상징하는 기념물들은 한때 로마제국 하에 있던 유럽에 산재한 석재 아치교들로서 현존하는 최고의 것으로는 B.C.900년 경 터키의 스미르나(Smyrna)에 건설된 아치교가 있다. 그 밖에 지금까지 남아 있는 유명한 교량으로는 이탈리아의 리미니(Rimini)에 있는 아우구스투스(Augustus)교, 스페인의 푸엔테 알칸타라(Puente Alcantara)교, 남 프랑스의 가드교 등이 있다.

이 교량들은 기원 후 1~2세기에 건설된 것들로, 특히 가드교는 강으로부터의 높이가 47.5m인 삼층의 아치로 구성되어 있으며 교량과 수로의 기능을 동시에 가지고 있다. 또한 스페인의 세코비아시 중심에 있는 속칭 '악마의 교'는 수도교로서 거친 절석을 그대로 쌓아 올린 길이 800m, 높이 34m의 아치교이며 아우구스투



그림 1.3 가드(Guard교)

스교는 5심원의 반원 아치교로 구성되어 있다. 이 외에도 로마문명을 통해 건설된 대소규모의 아치교들은 이탈리아를 중심으로 한 지중해 연안이나 알프스 지방에 현존하고 있으며 그 일부는 아직도 사용되고 있다.

유럽에서는 4~8세기 동안 정치집단의 규모가 작아져서 도로와 교량건설 등이 어렵게 된다.

이로 인해 약 400년 동안 유럽에서는 새로운 교량이 거의 건설되지 않았으며 창의적인 기술은 사라져 버렸다.

그러나 페르시아, 중국, 인도 등에서는 기념할 만한 구조물이 건설되었다. 7세기경 인도에서는 철사슬로 연결된 현수교가 건설되었다는 기록이 있으며, 중국에서도 이러한 교량이 같은 시대에 등장하였다. 마르코폴로(Marcopolo)의 기록에 의하면 뛰어난 교량들이 중국에 많이 있었으며, 질적·양적으로 상당한 수준에 이른 것으로 기록되어 있다.

반면 우리나라는 원시시대부터 자연 발생적으로 징검다리·외나무 다리 등의 형식이 실생활에 응용되었으나, 격식을 갖춘 다리는 삼국시대 초기 궁성 조성시 대 규모의 토목공사가 이뤄질 때 등장하였다. 기록상 삼국시대 이전의 교량건조 기록은 찾아볼 수 없으며, 현존하는 기록으로는 “고구려 본기”의 “어별교(魚鼈橋)”와 “신라본기”에 나오는 “평양주 대교(平壤州 大橋)”란 명칭을 통해 다리의 존재를 유추할 수 있다. 이후 통일신라시대 축조된 불국사의 청운교(靑雲橋), 백운교(白雲橋), 연화교(蓮花橋), 칠보교(七寶橋)는 오늘날에도 그 미적 감각과 기술적 우수성을 높이 평가받을 정도로 화려한 양식미와 건축술을 자랑하고 있다.



그림 1.4 연화·칠보교(蓮花·七寶橋)

1.3.3 중세의 교량

로마제국이 멸망한 후 중세를 통해 교량의 역사에도 큰 1000여 년을 두고 르네상스에 힘입은 석재 아치교의 미적·구조적 변화 이외에는 뚜렷한 변화가 없었으나, 스페인과 포르투갈에 이주한 무어족과 중국인의 조교술은 특기할 만한 것이었다. 특히 스페인의 톨레도(Toledo)시에 흐르는 후구스(Jugus) 강의 알칸타라(Alcantara)교는 866년 무어인 테노리아(Tenoria)에 의하여 세워진 것으로, 시간과 건축양식이 전혀 다른 교문으로 구성되어 있어 비대칭적인 균형미와 함께 주위의 나암 계곡과의 조화미를 보여주고 있다. 역시 후구스 강에 있는 성 마틴(St. Martin)교도 30m 높이로서 1212년에 완성되었는데, 사라센 양식의 첨두 홍예교로 되어 있다.

중세의 아치는 대개 12~20m 지간의 것이 많으나 점차로 긴 지간의 아치가 출현하게 되어 1187년 프랑스의 아비뇽에는 성 베네제(St. Benezet)에 의하여 로느(Rhone) 강에 22경간의 아비뇽교가 건설되었다. 이 교량은 네 개의 아치가 있으며 각 아치의 길이는 30.6~33.3m로 당시로서는 상당히 긴 경간의 아치교였던 것으로 판단되지만 아비뇽교는 그 후 많은 전쟁으로 인해 대부분이 파괴되었고 현재는 일부분만이 남아 있다. 또한 1377년 이탈리아 테레소(Tereso)의 아디(Ardi)강에 건설된 아치교의 지간은 75.5m에 이르고 있다.

영어권에서 가장 역사적인 구조물은 피터(Peter)에 의하여 건설된 구 런던(Old London)교로 1176년에 공사가 시작되어 33년 후인 1209년 준공된 이후 200년이라는 오랜 기간동안 사용되었다. 19개의 거대한 교각과 285.3m의 연장을 가진 이 교량은 전체 교량길이의 반 이상이 교각으로 구성되어 있어 교각 사이의 빠른 유속, 불량한 지반조건 및 세굴로 인하여 보수가 여러 차례 반복되어 왔으나 결국 이 교량은 시공상태의 불량과 화재·홍수·마모에 의한 피해 등으로 1831년 완전히 철거되었다. 특히 구 런던교는 수백 년 동안 런던시민에게는 생활의 중심지였고, 교량의 출입구는 전쟁에서 진 사람이나 반역자를 교수형에 처하던 곳으로 유명하다.

런던교가 세워진 이후 유럽에는 기념비적인 교량들이 많이 건설되었는데, 이 중 1345년 플로렌스에 건설된 베치오(Vecchio)교, 1591년 베니스의 리알토(Rialto)교, 1607년 파리의 네프(Neuf)교 등은 1503년 프라하에 건설된 칼스브룩(Kalsbrucke)교를 제외하면 대체적으로 적절한 경간장을 갖는 석재 아치교이다. 위의 네 교량은 지금까지도 거의 원상태 그대로 보존되어 있으며, 특히 베치오교와 리알토교는 르네상스의 영향을 받아 매우 아름다운 모습을 가지고 있어 지금도 많은 이들의 경탄을 자아내고 있다. 이탈리아뿐만 아니라 다른 나라에서도 르네상스의 영향을 받아 새롭고 아름다운 교량이 건설되었다. 네프교는 세느(Seine)강에 두 번째로 세워진 석재 아치교로, 이 교량은 300년 이상 보존되면서 파리인들의 생활 중심지가 되었다.

석재 아치교는 로마시대의 석재교각, 반원형 아치로부터 Benezet의 3중심 아치(Avignon), Gaddi의 세그먼트 아치(Vecchio), Ammananti의 타원아치(Santa Trinita), Jean Perronet의 세장아치 및 폭이 좁은 교각으로 발전하였다. 특히 이러한 아치교의 발전과 함께 등장한 네올리(Neuilly)교는 “세상에서 가장 우아한 석교”로 불려지고 있는데 5개의 평탄형 아치로 구성되어 있으며 각 아치는 경간이 36.6m, 교각의 두께는 단지 4m로 여러 기술자들의 비판적인 우려에도 불구하고 현대적 교량으로 대체된 1956년까지 건재하였다.



그림 1.5 런던(London)교

전반적으로 르네상스 시대에는 특기할 만한 기술의 진전은 없었으나 교량기술의 발전에 가장 크게 기여한 것은 1570년 이탈리아의 Palladio에 의한 트러스(truss) 구조의 발명을 들 수 있다. 그는 4개 형식의 트러스를 발명하였으며 트러스 형식을 이용하여 지간 30.5m의 교량을 건설하였다. 그러나 유럽에서는 교량 건설에 필요한 목재의 부족으로 인해 일반 건물에만 가끔 트러스 형식이 사용되었고, 그 후 미국으로 건너간 트러스 구조는 미국 서부지방에서 교량에 적용되기 시작하면서 19세기 전반에는 William Howe에 의해 하우 트러스(howe truss)로서 발전하게 된다.

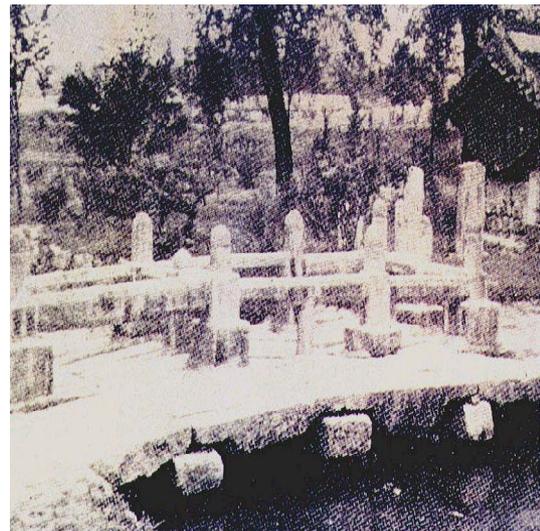


그림 1.6 개성의 선죽교(善竹橋)

한편 우리나라는 고려의 건국과 더불어 현종 때인 1011년에 이르러 전체 도성이 축조되면서 동성 내의 도성이라 할 수 있는 만월대를 중심으로 선죽교(善竹

橋)를 비롯하여 병부교(兵部橋), 십천교(十川橋), 궐문교(闕文橋) 등 다양한 형태의 다리가 건설되며 이후 전남 함평의 고막천 석교(古幕川 石橋), 충북 진천의 농교(籠橋) 등이 세워졌다. 특히 진천 농교는 그 구조가 고식이면서 동시에 매우 튼튼해서 다소의 수리는 있었다고 보여지나 예전의 모습을 잘 보여주고 있는 다리이다.

1.3.4 근대의 교량

산업혁명 이후 교량은 석재 아치교의 보급 및 트러스교의 발전, 철과 철근 콘크리트라는 새로운 재료의 사용과 기술문명의 급진전으로 엄청난 변화를 보이게 되었다.

18세기 정치·산업혁명기 동안 영국에서는 세 명의 유명한 교량 건설자, John Rennie, Thomas Telford 및 George Stevenson이 등장하게 되는데 이 중에서 특히 Rennie는 Watt가 증기엔진을 개발하는 데 결정적인 도움을 준 것으로 유명하다. 그는 영국 내에서 수많은 교량을 건설하였으며 두 개의 유명한 석재 아치교인 워털루(Waterloo)교와 뉴런던(New London)교를 건설하였다.

Thomas Telford는 스코틀랜드 스페이(Spey)를 지나는 경간장 45.7m, 높이 6m의 트러스 아치교를 건설하였는데 이는 최초의 현대적인 철재아치교로 간주되고 있다. 또 그는 웨일스의 메나이(Menai)해협을 지나는 현수교를 건설하였는데, 경간장이 183m였으며 당시로서는 획기적이라고 할 수 있는 연결체인을 갖는 현수교 형식으로 가설되었다. 그러나 이 교량은 후에 다른 현수교와 마찬가지로 내풍 안전성에 문제가 발생하여 수 차례 보수가 필요하였다. 반면 증기기관차의 발명자인 Stevenson은 그의 아들과 함께 새로운 재료인 단철로 중공관을 만들어 1850년 메나이(Menai) 해협에 2경간의 브리타니아(Britania)교를 건설하였다.

석재 아치교가 유럽에서 널리 보급되었던 것과 달리 트러스 형식, 특히 목재를 사용한 트러스 형식의 교량 가설공법은 미국에서 개발되었다. 목재 트러스교는 유럽의 빌딩구조물에서 가끔 사용된 적은 있으나 본질적

으로 유럽에서는 좋은 목재가 충분하지 못했기 때문에 교량에서는 거의 사용되지 않고 있었다. 이외는 달리 초기 미국에서는 목재 트러스교가 보편화될 정도로 많이 건설되었으나 화재의 피해로 인해 그리 오랫동안 이어지지는 않았다.

1847년에는 주먹구구식 경험적 교량설계를 과학적인 구조해석 시대로 진보하는데 기여한 출판물들이 등장하게 되는데 Squire Whipple이 쓴 "A Work on Bridge Building"을 그 중의 하나로 들 수 있다. 그 후 1858년 W.J.M. Rankine은 "Applied Mechanics"라는 저서를 출판하였는데 특히 이 책은 50년 이상 교량 기술자들에게 바이블처럼 사용되었다.

산업혁명으로 인한 기술의 급진전으로 철이라는 우수한 재료를 교량재료로 사용하기 시작하면서 교량의 역사 속에서 강교가 등장하기 시작하였다. 최초의 철교는 제련소가 처음으로 세워진 영국 콜브루크다일(Coalbrookdale)에서 가설되었으며, 단순교로 경간이 42.7m인 이 교량은 오늘날까지도 사용되고 있을 정도로 그 우수성을 입증하고 있다. 반면 19세기동안 미국에서는 철도망의 팽창으로 상당히 많은 철도교가 건설되었는데, 이중 많은 수의 교량이 설계 및 재료의 부적절함으로 인해 파괴되었다. 미국뿐만이 아니라 영국에서도 교량 붕괴사고가 발생하였는데, 1879년 12월 28일 유명한 퍼스 오브 테이(Firth of Tay) 철도교가 강한 바람에 의해 붕괴되어 75명이 사망하고 많은 사람들이 부상당하였다. 그러나 이러한 사고를 통해 교량과 관련된 전반적인 기술수준의 향상이 이뤄진 것 또한 사실이다.

협곡이나 큰 강을 횡단하기 위하여 사용되던 현수교도 현대적인 형태로 발전하게 되었다. 원시적인 포도나무 넝쿨이나 로프를 사용하던 것이 케이블로 변화하게 된 것이다. 1839~1845년 동안 부다페스트에는 중앙경간이 202m인 케텐브루크(Kettenbrueke)교가 건설되어 최초로 와이어케이블을 시공하는 공법이 개발되었으며, John Roebling은 도금처리 안된 연철로 만든 케이블을 이용하여 중앙경간이 250m인 최초의 철도현수교인 나이아가라 폭포(Niagara Falls) 현수교를 1851~1855년 동안 설계·시공하였다. 그 밖에 19세

기 후반의 대표적인 교량으로는 1874년에 완성된 브루클린(Brooklyn)교와 1889년에 영국의 스코틀랜드에 가설된 경간 길이 518m인 포스(Forth)교 등을 꼽을 수 있다.

19세기에는 철도망 구축에 따른 철도교량 공사가 많았으나 20세기에는 자동차가 새로운 교통수단으로 등장하면서 자동차 도로망의 확충을 위하여 수많은 도로교량이 건설되었다. 특히 이 기간에는 다양한 형식의 장대교가 출현하게 되는데 이는 그간의 기술축적을 통해 발전된 설계기법과 새로운 재료의 사용 및 시공기술의 정교화 등이 뒷받침되었기 때문이었다. 또한 고강도 강재의 생산과 고급인력의 증가도 이에 기여하였다. 토목재료의 획기적인 변화라고 할 수 있는 철근 콘크리트 역시 이 시기에 개발됨으로써 경간장뿐만 아니라 교량 건설 자체가 큰 변화를 하게 되었는데 이러한 요인들로 인해 결국 오늘날과 같은 교량의 건설이 가능해졌다.

캐나다의 퀘벡 근처에 있는 성 로렌스 강에 건설된 퀘벡(Quebec)교는 당시로서는 가장 긴 경간을 사용한 캔틸레버형 철도교로 세계의 이목을 집중시킨 교량이었다. 퀘벡교는 1907년 공사를 시작하여 1917년 완성될 때까지 97명의 목숨을 잃게 하는 2차례에 걸친 비극적인 사고를 경험하기도 했지만, 압축재의 좌굴을 고려하는 교량기술의 발전을 가져온 교량이기도 하다.

1917년은 퀘벡교 이외에도 오하이오(Ohio)교, 메트로폴리스(Metropolis)교와 헬 게이트(Hell Gate)교 등이 완성된 해이기도 하다. 오하이오교는 최대경간이 236m인 미국 최초의 연속 트러스교이며 메트로폴리스교는 경간이 219m인 단순 트러스교로서 1974년까지 세계 최대의 경간 길이를 자랑하고 있었다. 또한 헬게이트교는 경간길이 298m인 아치형의 4차선 철도교로서 세계최대의 중량을 가진 교량이었다.

제1차 세계대전 이후 고속도로 건설이 가속화됨에 따라 정교한 교량이 많이 건설되었는데, 1929년에는 중앙경간 564m인 앰바사도르(Ambassador) 현수교가 건설되었으며, 1931년에는 최대경간 1,067m인 조지 워싱턴(George Washington)교가 건설되었다. 1932년에는 경간장이 503m인 시드니하버(Sydney Harbor) 강아치교가 완성되었으며, 1935년에는 기초

의 발전을 가져오게 해 준 총 길이 9.66km의 샌프란시스코 오클랜드 베이(San Francisco-Oakland Bay)교가, 1937년에는 경간장 1,280m의 금문(Golden Gate)교가 건설되었다. 특히 금문교는 중앙경간이 1,280m, 주탑 높이가 227m이며, 주 케이블은 지름이 92.4mm로 27,572개의 와이어로 구성되어 있어 당시 교량에 있어서 모든 분야의 세계 최대를 기록한 교량이었다.



그림 1.7 금문(Golden Gate)교

한편 우리나라는 조선왕조의 건국과 더불어 한양으로 천도 후 궁성을 조성하면서 우수한 궁궐교량이 조성되기 시작하였는데 경복궁의 영제교(永濟橋), 창덕궁의 금천교(錦川橋), 창경궁의 옥천교(玉川橋) 등을 그 대표로 들 수 있다. 한양 천도 후 도성에는 청계천을 중심으로 여러 다리가 가설되었는데, 조선조 말 고종조를 전후하여 작성된 한경식략(漢京識略), 수선전도(首善全圖) 등의 사료에 의하면 당시 도성내외에 산재했던 교량은 성내에 76개소, 성외에 10개소로서 합계 86개소에 이르고 있다. 그러나 이 중에서 위치와 교량 이름을 알 수 있는 것은 69개소뿐이고 나머지에 대해서는 이름을 모르거나 위치가 불분명하다.

도성주변에 위치한 많은 교량 중에 현존하는 대표적인 교량으로는 수표교(水標橋), 살곶이다리(濟盤橋) 등이 있으며, 그 외 사찰지역에는 아름다운 홍예교(虹霓橋) 형식의 다리가 많이 남아 있고 민간지역에도 각종 다리형식이 일부나마 전해지고 있다. 한편 조선전기에 작성된 신증동국여지승람(新增東國輿地勝覽)의 교량조(橋梁條)에 나타나 있는 전국의 교량 수는 516개소로 당시의 교량가설 현황을 다소나마 파악할 수 있게 해



그림 1.8 수표교(水標橋)

준다

1.3.5 현대의 교량

1940년 중앙 경간이 853m인 미국 워싱턴주 타코마의 타코마 내로우(Tacoma Narrows) 현수교가 풍속 18.6m/sec의 바람이 발생시킨 수직 및 비틀림 진동에 의해 전 상관이 붕괴되는 대형사고를 일으키면서 교량 관련 기술은 현격한 변화를 겪게 된다. 이 사건을 계기로 현수교의 공기동역학적 안정성에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며 이를 위한 풍동시험은 교량 엔지니어의 중요한 도구로 자리매김하게 되는데, 결국 이 사건 이후 많은 연구를 토대로 다시금 교량의 장대화화 구조적·형식적인 측면에서의 다양화 현상이 나타나게 된다.

제2차 세계대전 동안에는 군대의 신속한 이동을 위하여 독일군, 영국군, 미국군 등에 의하여 부교가 많이 가설되었고, 일반적인 교량가설은 전쟁의 피해를 받지 않는 지역에서만 가능하였다. 스웨덴에 건설된 경간 길이 264m인 산도(Sando)교는 콘크리트 아치교로서, 1963년 경간 길이가 305m인 호주 시드니항의 글래데스빌(Gladesville)교가 가설되기까지는 세계 최대의 콘크리트 아치교였다.

제2차 세계대전이 종전된 후 유럽은 전쟁으로 파괴된 도로를 복구하기 위하여, 미국은 자동차의 급속한 보급으로 새로운 고속도로의 건설을 위하여, 개발도상국은 새로운 도로의 확보를 위하여 많은 교량건설이 요

구되었고, 이러한 요구에 부응하면서 1948년 이후 10년간 교량의 설계와 시공기술은 비약적으로 발전하게 되었다. 특히 가장 주목할 만한 것은 프리스트레스트 콘크리트(PSC)의 개발이었다. 기본개념은 50년이 넘었지만 프랑스의 Freyssinet와 벨기에의 Magnel이 고속도로 교량에 실용적인 PS강재용 고장력 와이어를 사용함으로써 크게 실용화되기 시작한 프리스트레스트 콘크리트는 이후 수많은 교량에 사용되기 시작하면서 장대교량의 건설을 가능하게 하였다. 특히 1940년대 후반 유럽에는 상당한 양의 PSC교량이 건설되었으며 미국에서는 1949년 필라델피아에 월넛레인(Walnut Lane)교가 그 효시를 이룬 후 많은 PSC교량이 건설되었다. 1960년대와 1970년대에는 더욱 발전하여 캔탈레버형 프리스트레스트 콘크리트 방법이 개발되었고 사장교에도 프리스트레싱이 적용되기에 이르렀다. 또한, 강재의 항복강도가 2,500kg/cm²에서 7,000kg/cm²로 증가하고 고장력 볼트 및 용접기술이 발전함에 따라 교량건설 기술은 크게 발전하였다. 이와 같은 발전된 기술로 가설된 대표적인 교량으로는 1962년에 베네주엘라에 건설된 PSC 사장교인 레이크 마라카이보(Lake Maracaibo)교, 1963년에 개통된 경간 248m인 독일의 페마른수드(Fehmarnsudn)교 등이 있다.

전후 두 번째의 중요한 발전은 강상판 교량으로 얇은 두께의 아스콘으로 피복된 강판이 교량의 상판을 구성하게 된다. 최초의 강상판 교량은 1950년대 건설된 독일의 맨하임(Mannheim)에 위치한 쿠르팔츠(Kurpfalz)교로서 이후 용접과 건설기술의 발달에 힘입어 많은 수의 강상판 교량을 건설하게 된다.

1960년대에는 현수교 형식의 교량에서 주목할 만한 진전이 있었다. 30년 동안 금문교가 가지고 있던 최대 경간 기록을 뉴욕항을 가로지르는 경간장 1,299m의 베라자노 내로우(Verrazano-Narrows)교가 깨뜨린 것이다. 이러한 장대교량의 건설은 당시의 기술수준을 단적으로 증명해주는 좋은 예라고 말할 수 있다.

한편 교량의 설계에 있어서 또 하나의 획기적인 발전은 1950년대 중반 이후에 이루어졌는데 현수교의 수직케이블 대신 주탑에서 거더를 직선케이블로 매다는 공법으로 오늘날 사장교(cablestayed bridge)라고 불

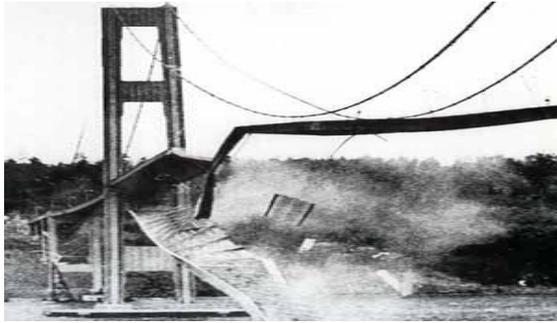


그림 1.9 타코마내로우(Tacoma Narrows)교 려지는 교량이 등장하게 된다.

이러한 사장교 형식의 교량은 서독 뒤셀도르프의 장대교에서 최초로 시도되었으며 중앙 경간은 260m로서 1958년 완공되었다.

이후 교량은 산업화와 과학기술의 발전, 컴퓨터의 등장, 새로운 소재 및 장비의 개발 등에 힘입어 사장교와 현수교를 중심으로 엄청난 양적·질적 증가를 보이게 되었다. 현재 세계 최대의 사장교는 중앙지간 890m의 일본의 타타라(多多羅)교이며, 세계 최대의 현수교는 중앙지간 1,990m의 일본 아카시(明石)대교이다.

우리나라의 경우에는 일제의 침탈과 뒤이은 문화 말살 정책으로 전통교량의 역사는 단절되고 일본의 기술을 기반으로 근대교량의 역사가 출발하게 된다. 한강철교(1900)를 시작으로 압록강 철교(1911), 부산 영도교(1934), 광진교(1936) 등을 그 대표적인 예로 들 수 있다. 그러나 본격적인 현대교량의 등장은 6·25 동란이 끝난 후 대대적인 국가기반시설의 정비와 함께 이뤄졌다.

이때 본격적인 현대 국가로의 발전과정에서 전국적으로 많은 교량들이 건설되었으며, 특히 한강 상의 교량의 필요성이 급증하게 되면서 많은 수의 장대교량이 가설되었다.

우선 기본적으로 기존의 한강대교, 광진교 등이 복원, 보강 과정을 통해 그 모습을 이어가고 있으며, 이어 국내 기술로 가설된 최초의 장대교량인 양화대교(1965, 강관형), 강남지역의 개발을 촉진한 한남대교(1970, 강관형 및 강상자형), 여의도 개발을 위한 마포대교(1970, 강상자형) 등이 건설되어 현대적인 장대교량의 수가 증가하였다.



그림 1.10 한강철교

또한 이에 뒤따라 건설된 성산대교(1980, 게르버 트러스)는 최대지간이 120m에 이르며, 광진교의 교통량을 분산시키기 위한 천호대교(1976, 합성 PC 거더 및 4경간 연속 강박스 거더), 지하철 2호선 구간에 설치된 당산철교(1983, 강재 트러스), 동작대교(1984, 랭거 아치), 동호대교(1984, 플레이트 트러스), 노량대교(1985, 연속 PSC 상자형), 영동대교(1973, 강관형), 잠실철교(1979, 강관형), 잠실대교(1972, 강관형), 성수대교(1979, 게르버 트러스)와 반포대교(1982, 강상자형), 강동대교(1991, 연속 PSC 상자형) 등이 있으며, 88 서울 올림픽을 기념하기 위한 올림픽대교(1989, 사장교)와 디비닥(Dywidag)공법과 FCM (free cantilever method)을 사용한 PSC 교량인 원효대교(1981, PSC 박스거더) 등이 건설되었다. 또 최근에는 한강상의 27번째 교량이자 비행기 이·착륙을 상징하는 아치모양의 방화대교(2000, 5경간 균형 아치 트러스)가 완공되어 그 조형미를 뽐내고 있다.

장대교량의 경우 국내는 그 시작이 매우 늦어서 기술적으로 많이 뒤쳐진 상태이나 최근 많은 발전을 보이고 있다. 우리나라에 최초로 장대교량이 가설된 것은 1973년으로 남해섬과 육지를 연결하는 주경간 404m의 현수교인 남해대교이고, 1984년 10월에는 주경간 345m의 우리나라 최초의 사장교인 진도대교와 주경간 280m의 돌산대교가 거의 동시에 완공되었다. 이 외에도 최근 국내 최대의 사장교인 서해대교(2000)와 자정식 현수교인 영종대교(2000)가 완공됨으로써 국내 교량건설기술의 수준을 한층 진보시키는 계기가 되었으며 국내에서도 본격적인 장대교량의 시대가 열리게 되었다.



그림 1.11 서해대교

1.4 교량구조의 변천

교량을 구성하는 부분을 크게 나누면 상부구조와 하부구조로 구분할 수 있는데, 상부구조는 일반적으로 주형, 바닥, 바닥틀 등으로 되어 있고, 교각, 교대, 기초 부분 등이 하부구조를 구성한다. 한편 교량은 교면의 위치, 용도, 사용재료 및 구조형식 등에 따라서 다음과 같이 구분될 수 있다.

특히 표 1.1에 나타난 구조형식으로 본 교량의 구분은 교량을 구분하는 주요 기준으로서, 각 형식의 구조적인 특징과 역사적인 배경을 살펴보고 지간길이를 중심으로 국내·외 주요 교량들의 현황을 간략하게 정리함으로써 교량기술의 수준을 가늠해보고자 한다.

표 1.1 교량의 분류

구분기준	종 류
사용재료	목교, 석교, 강교, 철근콘크리트(RC)교, 프리스트레스트 콘크리트(PSC)교, 합성교
사용목적	도로교, 철도교, 보도교, 수로교, 운하교, 군용교
교면위치	상로교, 중로교, 하로교, 이층교
구조형식	거더(girder)교, 트러스(truss)교, 아치(arch)교, 라멘(rahmen)교, 현수(suspension)교, 사장(cable-stayed)교

1.4.1 거더교

교량구조가 가장 간단하고 역사가 오래된 형식이며 교각 위에 주형을 수평 방향으로 가설한 교량형식으로 원시인들이 계곡을 건너던 외나무다리가 이에 속하고 목교나 석교도 이 형식의 교량이지만 강재 및 콘크리트 재료의 발전으로 더욱 많은 교량이 거더교로 건설되어 왔다. 주형에 I형강을 사용했을 때 I형교, 강판과 L형강을 조합해서 I형 단면을 이루는 강판형을 사용한 것을 강 플레이트 거더 또는 강판형(steel plate girder)교라고 부르며 근래에는 상자형 단면의 형태가 많이 사용되는데 이를 박스 거더 또는 상자형(box girder)교라고 부른다.

장지간의 거더교는 주로 프리스트레스트(PS) 콘크리트와 강재를 이용하여 건설되는데 PSC 거더교의 경우 200m 이상 장지간의 교량이 현재 전세계적으로 20개 정도이며 강판형교 및 강상자형교의 경우 역시 200m 이상 장지간의 교량이 20개소 정도이다.

장지간의 PS 거더교, 강판형교 및 강상자형교 중 주요교량의 위치, 완공연도 및 지간을 그림 1.12에 정리하였다.

국내의 경우, 한강상의 주요 교량 중 거더교는 강상자형 및 강상판형 거더교와 PSC 거더교로 크게 구분되며 강상자형 및 강상판형 거더교의 경우 지간장 30m인 천호대교부터 112m인 가양대교에 이르는 지간장의 변화를 보이고 있다. 그림 1.13에서 볼 수 있듯이 지간장 300m인 브라질의 폰테 코스타 에 실바(Ponte Costa e Silva)교에 비해 1/3 정도의 지간장을 갖는 가양대교가 현재로서는 최장 지간 교량이며 PSC 거더교 역시 노르웨이의 스톨마순테트(Stolmasundet)교에 비해 1/3 정도의 지간장을 갖는 강동대교가 최장 지간으로 기록되고 있다.

교량이름	국가	완공연도	지간 길이
Sava-1	유고	1956	261m
Grand Duchess	룩셈부르크	1966	234m
Zoobruecke	독일	1966	259m
San Mateo-Hayward II	미국	1967	229m
AucklandHarbour	뉴질랜드	1969	244m
Sava-2	유고	1970	250m
Rader Insel bruecke	독일	1972	222m
KonradAdenauer Bruecke	독일	1972	230m
Ponte Costa e Silva	브라질	1974	300m
Koblenz Suedbruecke	독일	1975	236m
Neckartalbruecke2	독일	1978	234m
Neckartalbruecke1	독일	1978	263m
Foyle	노스아일랜드	1983	234m
Shorenji-Gawa	일본	1989	235m
Ponte de Victoria-3	브라질	1989	260m
Kaifu	일본	1991	250m
AmagasakiKo	일본	1993	223m
Ariake-Nichi Unga	일본	1993	230m
Shirinashi-Gawa	일본	1994	250m
Trans Tokyo Bay	일본	1996	240m

그림 1.12 장지간의 주요 강판형교 및 강상자형교의 현황

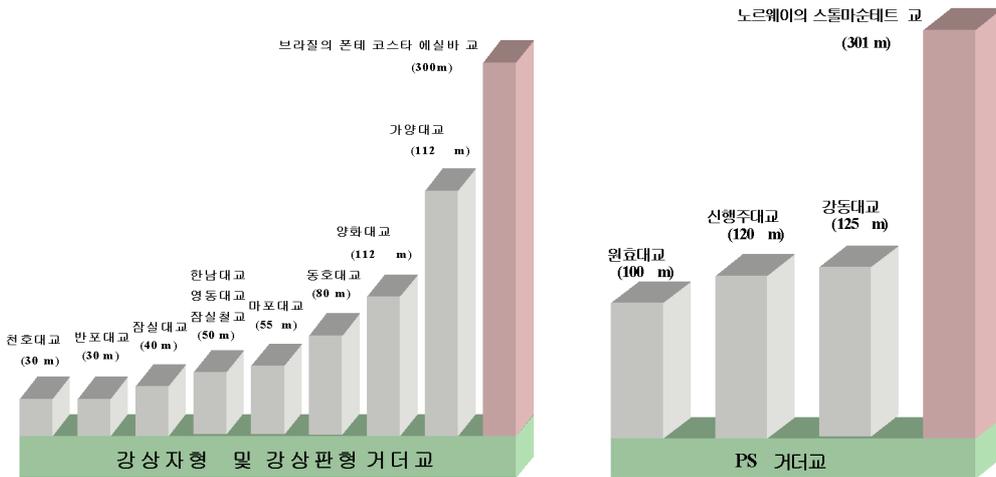


그림 1.13 국내 주요 강거더교 및 PS거더교의 지간장 비교

1.4.2 트러스교

거더 대신 트러스를 사용한 교량으로서 16세기 이탈리아의 Palladio에 의해 처음으로 제안되었으며 강재의 발달과 용접기술의 보급으로 지간이 긴 교량에 적합한 구조형식으로 알려져 있다. 트러스는 자체적으로 하우(howe), 와렌(warren), 프래트(pratt), 케이(K) 등 여러 가지로 구분되며 그 형태도 매우 다양하다. 현존하는 세계 최장의 트러스교는 1899년 착공하여 1917년에 완공된 캐나다의 퀘벡시에 위치한 퀘벡(Quebec)



그림 1.14 퀘벡교

교이며 총 길이 987m, 지간 549m의 규모를 자랑하고 있다.

현재 장지간의 트러스교는 주로 강재로 건설되며 일반적인 강재 트러스교와 캔틸레버형 강재 트러스교로 크게 구분된다. 300m 이상의 장지간 강재 트러스교는 세계적으로 4개 정도이며 그림 1.15에서 볼 수 있듯이 캔틸레버형 강재 트러스교의 경우는 10개 정도이다.

국내의 경우 한강상의 주요 교량 중 트러스교는 일반 트러스교인 당산철교와 프래트(pratt) 트러스교인 한강철교, 게르버 트러스(gerber truss)교인 성수대교, 성산대교 및 광진교이며 이 중 성수대교와 성산대교의 지간장이 120m로서 현재 국내 트러스교로서는 최장 지간의 교량으로 기록되고 있다. 외국의 경우 강트러스교는 미국의 프란시스 스코트 키(Fransis Scott Key)교가 366m, 캔틸레버형 강트러스교는 캐나다의 퀘벡(Quebec)교가 549m로서 300m 이상의 장지간의 교량이 약 14개소 정도 존재한다. 거더교와 유사하게 현재 국내 최장 지간의 교량인 성수대교와 성산대교는 이에 비해 약 1/3정도의 지간 규모를 갖고 있다.

교량 이름	국가	완공 연도	지간 길이
Firth of Forth	스코틀랜드	1890	521 m
Pont de Quebec	캐나다	1917	549 m
Transbay	미국	1936	427 m
Howrah	인도	1943	457 m
Greater New Orleans-1	미국	1958	480 m
Baton Rouge	미국	1968	376 m
CommandorBarry	미국	1975	501 m
Minato	일본	1975	510 m
Greater New Orleans-2	미국	1988	480 m
Gramercy	미국	-	445 m

그림 1.15 장지간의 주요 캔틸레버형 강 트러스교

1.4.3 아치교

아치교는 구조적으로 이상적일 뿐만 아니라 독특한 곡선의 아름다움 때문에 예부터 널리 이용되어 온 교량 형식 중의 하나이다. 과거에는 인장보다 압축력에 대한 저항능력이 우수한 암석을 이용하여 석조아치교를 건설 하였으나, 최근 재료공학의 발달로 강재의 고강도화 및 경량화가 실현되고, 해석기법이 발달함에 따라 장지간 을 갖는 강 아치교의 건설이 가능하게 되었다.

교량의 주체를 아치구조로 하는 아치교에서는 연직 하중 재하에 의해 발생하는 수평반력을 하부구조를 통 해 효과적으로 기초지반에 전달되도록 하고, 부재의 단 면력을 줄일 수 있도록 설계하면 대단히 경제성이 높은 교량을 건설할 수 있다. 또한 아치교는 적용지간에 있 어서도 현수교, 사장교 다음으로 장지간의 교량을 건설 할 수 있어 계곡이나 협곡 등 주변환경과의 미적 조화 를 이루고자 하는 곳에 그 이용이 증가하고 있는 추세 이다. 최초의 아치교는 중동지방의 우르(Ur)에서 발견 되었으며, 이집트에서는 B.C. 3000년경까지 거슬러 올라갈 정도로 매우 오랜 역사를 가지고 있다.

현존하는 세계 최장의 아치교는 1978년 완공된 미 국의 뉴 리버 조지(New River George)교로 높이, 규 모, 위치 등을 고려해 고강도 강철의 단일 스패 아치교 로 건설되었으며 총길이 924m 지간 518m로 정확한 응력 계산에 따라 설계된 아치교이며, 건설 기법의 새 로운 전기를 마련했다는 평가를 받고 있다.

국내의 경우 한강상의 주요 교량 중 아치교는 게르 버 타이드 아치(gerber tied arch)교인 한강대교, 랑 거 아치(langer arch)교인 동작대교, 닐센 아치 (nielsen arch)교인 서강대교이며 각각 지간장은 63.55m, 80m, 150m를 기록하고 있다. 이에 비해 외 국에는 강재아치교인 미국의 페이에트빌(Fayetteville) 교가 518m, 콘크리트 아치교인 중국의 완싱 (Wanxing)교가 420m로 상당한 격차를 보이고 있다.

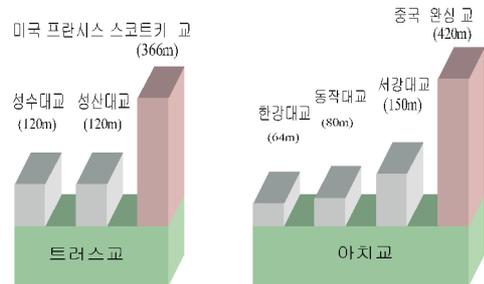


그림 1.16 국내 주요 트러스교 및 아치교의 지간장 비교

교량 이름	국가	완공연도	지간 길이
Bayonne	미국	1931	504m
Sydney Harbor	호주	1932	503m
Birchenough	짐바브웨	1935	329m
Runcorn -Widnes	영국	1961	330m
Port mann	캐나다	1964	366m
Zdakov	체코	1967	330m
Laviolette	캐나다	1967	335m
Fremont	미국	1973	383m
Roosevelt Lake	미국	1990	329m
Fayetteville	미국	1997	518m

그림 1.17 장지간의 주요 강재 아치교

1.4.4 라멘교

라멘교는 상부구조와 하부구조가 일체가 되도록 설계된 교량으로서 시가지나 고속도로 등에서 철도와 도로를 횡단하는 경우 흔히 볼 수 있는 구조 형식이다. 라멘은 구조형식상 기초의 부등침하로 인해 응력의 큰 변화가 발생될 수 있으므로 균열 또는 파괴가 일어나 위험성이 있으나 교량 재료와 기술의 발전으로 단경간의 교량에 주로 많이 사용되고 있으며 장경간에 사용되는 예는 드물다.

1.4.5 현수교

현수교는 주탑(tower), 케이블(cable), 행거(hanger), 상판(deck) 등으로 구성된 것이 일반 교량과 다르며, 양단에 주탑을 세워 케이블을 걸쳐놓고 행거에 상판틀을 매어 달아 놓은 형태로서 하중을 받으면 크게 변형하고 진동도 크다. 현수교의 최초의 기원은 산악지의 원시민족들이 덩굴을 나무에 매달아 계곡을 건너가는 수단으로 사용한 것이며, 동남아시아, 남미대륙, 인도의 오지 등에서 그와 같은 발자취를 찾아볼 수 있다.

기록에 나타난 가장 오래된 현수교는 서기 400년경에 설치된 인더스 강 상류의 현수교이며 초기의 현수교는 하중집중부의 변형으로 인한 사용상의 불안정성과

교량이름	국가	완공연도	지간 길이
George Washington	미국	1931	1,067 m
Golden Gate	미국	1937	1,280 m
Mackinac	미국	1957	1,158 m
Forth Road	영국	1964	1,006 m
Verrazano -Narrows	미국	1964	1,298 m
Severn	영국	1966	988 m
Ponte 25 de Abril	포르투갈	1966	1,013 m
Bosporus 1	터키	1973	1,074 m
Humber	영국	1981	1,410 m
Shimotsui -Seto	일본	1988	940 m
Kita Bisan -Seto	일본	1988	990 m
Faith Sultan Mehmet	터키	1988	1,090 m
Minami BisanSeto	일본	1988	1,100 m
Ha Kusten	스웨덴	1997	1,210 m
Tsing Ma	중국	1997	1,377 m
Jiangyin	중국	1998	1,385 m
Great Belt Bridge	덴마크	1998	1,624 m
Akashi -Kaikyō	일본	1998	1,991 m
Kurushima -2	일본	1999	1,020 m
Kurushima -3	일본	1999	1,030 m

그림 1.18 장지간의 주요 현수교

케이블 재료 자체의 내구성 부족이라는 단점을 가지고 있었다. 강재의 출현과 19세기 들어 현수교의 아버지로 불리워지는 Finley의 등장으로 현수교는 비약적인 발전을 거듭해왔으며 오늘날 사장교와 함께 장대교량이라는 독특한 교량형식을 구성하게 되었다.

현수교의 대표적인 예로서 영국의 험버(Humber)교와 일본의 아카시대교를 들 수 있다. 영국의 험버교는 1981년 난공사 끝에 완공된 총 길이 2,220m, 지간 1,410m의 장대 현수교로서 강 바닥에 여러 개의 교각 기초를 설치하기가 힘든 관계로 현수교로 설계되었다. 1998년까지 세계최장의 현수교였던 험버교는 1998년 총 길이 3,910m, 지간 1,990m의 아카시대교가 건설되면서 세계 3위의 현수교로서 자리매김하게 된다. 아카시대교는 20세기초 미국에서 유행했던 장대 현수교

의 기본을 적용한 교량으로서 1957년부터 시작된 타당성 조사 작업에 기반하여 완성되었다.

현재 전세계적으로 900m 이상의 장지간 현수교는 그림 1.18에 나타낸 것과 같이 20개소 정도이며 거의 대부분의 경우가 지간이 1,000m를 상회하는 대규모 교량이다.

1.4.6 사장교

사장교는 양단의 주탑(pylon)에서 인장케이블로 비스듬히 상판을 매달아 교각 대신에 하중을 지지하는 구조로서 사장케이블의 인장력을 조절하여 교량 각 구조 부재의 단면력을 가능한 균등하게 분배시킴으로써 일반적인 거더교에 비해 단면의 크기를 줄일 수 있는 교량

교량이름	국가	완공연도	지간 길이
CarlosCasado	스페인	1983	440m
AnnacisIsland	캐나다	1986	465m
RamaIX	태국	1987	450m
Yokohama Bay	일본	1989	460m
QueenElizabeth II	영국	1991	450m
Ikuchi	일본	1991	490m
Skarnsundet	노르웨이	1991	530m
Second Hoogly	인도	1992	457m
Higashi-Kobe	일본	1992	485m
Yangpu	중국	1993	602m
TsurumiTsubasa	일본	1994	510m
Pont deNormandie	프랑스	1995	856m
Chongqing2	중국	1996	444m
Second Severn	영국	1996	456m
Qingzhou Minjiang	중국	1996	605m
Seohae	한국	1997	470m
Tingkau	홍콩	1997	475m
Meiko-Chuo	일본	1997	590m
Xupu	중국	1997	590m
Tatara	일본	1999	890m
Kesund	덴마크스웨덴	2000	490m

그림 1.19 장지간의 주요 사장교

형식이다. 역사적으로는 1784년 독일의 Loscher에 의해 목재만으로 이뤄진 사장교 형태가 제안되었으며, 19세기에 들어와서 강재 사장교가 건설되었다. 초기의 사장교는 역학적인 특성 분석, 케이블재료의 강도, 제작 기술 등의 한계성 때문에 풍하중에 의한 진동붕괴와 균중하중에 의한 붕괴를 경험하였다. 그러나 최근 들어서는 컴퓨터에 의한 고차 부정정 구조 해석기법의 발달과 고장력 케이블 재료의 개발 등으로 장대 사장교의 합리적인 설계가 가능하게 되었다.

콘크리트 강합성 구조로서 세계 최장인 사장교는 중국 상해에 위치한 양포대교로서 1993년 완공된 이 교량은 총 길이 7,658m, 사장교 지간 602m로 포동 신시가지와 상해 중심부를 연결하고 있다. 반면 1999년 완공된 일본의 타타라 대교는 총 길이 1,480m로서 양포대교에 비해 전체 길이는 작으나 주 지간장이 890m로 프랑스의 노르망디교보다 지간을 34m 길게 설계함에 따라 세계 최장 지간의 사장교로 자리매김하게 되었다.

현재 전세계적으로 400m 이상의 장지간 사장교는 그림 1.19에 나타난 것과 같이 20개 정도이며 특히 우리나라의 서해대교도 470m의 장지간 교량으로서 세계적인 입지를 확보하고 있다.

국내 교량 중 현수교와 사장교를 살펴보면 주요 현수교로는 지간장 300m의 영종대교, 중앙지간장 404m의 남해대교를 들 수 있으며 2002년 완공될 예정인 광안대교는 지간장 900m로서 세계적인 규모를 자랑하고 있다. 현재 외국의 장지간 현수교는 대부분의 경우 1,000m를 상회하는 지간장을 기록하고 있기에 광안대교가 완공된다면 국내의 교량 기술은 세계 수준에 어느 정도 필적할 수 있을 것이다.

반면 국내의 주요 사장교는 돌산대교, 올림픽 대교, 서해대교로서 각각 지간장이 280m, 300m, 470m를 기록하고 있으며 특히 서해대교는 전세계에서 13번째로 긴 지간장을 현재 보유하고 있다. 물론 세계 최대 사장교인 지간장 890m의 타타라 교에 비교하면 약 반 정도의 지간장 규모이지만 국내 교량 기술이 어느 정도의 세계적인 위치를 차지하고 있다는 점에서는 매우 주목할 만하며 이러한 성과는 해방이후 짧은 시간이 흐르는 동안 무수한 노력에 의해 이루어진 것으로 사료된다.

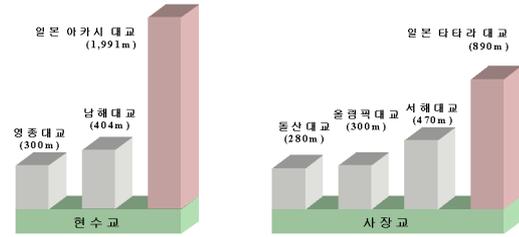


그림 1.20 국내 주요 현수교 및 사장교의 지간장 비교

1.5 교량 시방서의 변천

토목 구조물은 각 구조물의 종류에 따라 그에 적합한 시방서를 기준으로 하여 설계나 시공이 이루어져야 한다. 물론 이러한 설계기준이나 시방서가 출현하기 이전에는 설계자 각각의 경험이나 판단에 따른 설계가 이뤄졌으나 기술이 진보함에 따라 구조물이 복잡화·대형화하면서, 기존의 설계방식으로는 구조물의 안정성을 확보할 수 없으므로 합리적이면서도 체계적인 설계방법 및 설계절차를 확립하기 위한 다양한 연구가 진행되면서 각종 설계기준 및 시방서가 제정되었다.

우리나라는 1945년 광복 이전까지 일본의 설계시방서를 사용하였지만 해방 후 독자적인 기준과 시방서의 확보를 위해 노력하기 시작했다. 교량 관련 시방서를 살펴보면 1961년에 “콘크리트 표준시방서”, 1962년에 “강도로교 설계표준시방서”, 1966년에 “프리스트레스트 콘크리트 표준시방서”, 그리고 역시 1966년에 “강철도교 설계표준시방서 해설”이 각각 대한토목학회에 의하여 제정되었다. 그 후 기존의 강교와 콘크리트교에 개별적으로 적용되던 시방서를 통합하여 1977년 12월에 “도로교 표준시방서”가 제정됨에 따라 국내 시방서에 큰 변화를 가져왔으며, 5차에 이르는 개정작업을 통해 현재의 모습을 갖추게 되었다.

이처럼 우리나라는 해방 후 지금까지 교량과 관련하여 지속적인 시방서의 제·개정을 통해 독자적인 설계 기준을 확보하게 되었으며, 이를 통해 국내 사회기반시설물에 대한 설계의 기초를 마련하게 되었다. 여기서는 크게 광복이전과 1960년대, 1970년대, 1980년대, 1990년대로 구분하여 각 시대별로 국내 교량 관련 시

방서의 변천과정과 그 주요내용을 살펴보고자 한다.

1.5.1 광복 이전의 설계시방서

1945년 광복 이전까지 국내에서는 일제의 시방서를 그대로 사용하고 있었다. 일본에서의 교량에 관한 설계 기준으로는 1912년에 “강철도교 설계시방서”가 일본철도원에 의하여 처음으로 제정되었으며, 이 최초의 설계시방서는 미국 철도기술협회(AREA: American Railway Engineering Association)가 1910년 제정한 “강철도교 설계시방서”와 거의 동일한 것으로서 피트-파운드 단위까지 그대로 사용하고 있었으나 1928년에 처음으로 CGS단위로 개정되었으며 1940년과 1956년에 개정을 거듭하여 지금에 이르고 있다.

또한 도로교에 대해서는 1919년 도로법의 공포에 따라 “도로구조령 및 가로 구조령”이 제정되었고, 소위 설계시방서로서 하중과 재료의 허용응력을 포함한 형식의 설계기준은 1926년에 제정된 “도로구조령에 관한 세칙(안)” 제2장 교량이 사용되고 있었다. 그 후 이것이 1939년 “강도로교 설계시방서”(안)가 되었으며 다시 1956년 개정됨에 따라 도로교에 대한 설계기준으로 사용되게 되었다.

1.5.2 1960년대의 설계시방서

광복 이후 미군정 하의 정치적 혼란과 경제적 어려움으로 인해 국내 설계시방서의 제정은 실질적으로 고려하기가 어려운 상황이었다. 또한 그 후 이어진 1950년 6·25 전란으로 기존의 교량이 대부분 파괴되고 그 결과 전란 이후 모든 건설공사는 복구공사에 치우칠 수밖에 없었기에, 많은 시간과 노력이 필요한 설계시방서의 제정은 이루어지지 못하고 있었다.

대한토목학회가 1951년 12월에 창립된 이후 초기에는 그 활동이 미약하였으나, 1960년 7월 5개 분과위원회(콘크리트, 구조, 재료, 용어 및 수자원 등의 연구분과위원회)가 설치되면서 각 분야별로 활발한 활동이 시작되어 대한토목학회에서 처음 제정된 표준시방서는 “강도로교 설계표준시방서”로 국토건설청(현 건설교통부

의 전신)의 요청에 의하여 1962년 5월에 제정되었으며, “철근콘크리트 표준시방서” 역시 1962년 8월 토목학회에 의해 제정되었다. 따라서, 이때부터 강도로교나 철근콘크리트 도로교는 국내 시방서를 기준으로 설계가 이루어지기 시작했다.

당시 구조물의 부재 설계는 전적으로 탄성이론을 근거로 한 허용응력 설계법에 기준하였고 교량설계시의 활하중은 표준트럭하중(D하중, DB하중)과 차선하중(1개 집중하중, 등분포하중) 또는 보도하중과 궤도의 차량하중이었으며, 바닥판의 설계시 1방향판의 설계모멘트나 백력철근량을 구하는 간단한 공식을 이용함으로써 계산의 편리성이 도모되었다. 특히 주목할 것은 콘크리트 도로교 표준시방서의 부재로 인해 콘크리트교 설계시 활하중은 상기 강도로교의 활하중이 사용되는 반면 구조설계계산은 철근콘크리트 표준시방서를 따라야 하는 문제점을 가지고 있었다.

그 후 1966년 8월 교통부의 요청에 의한 “강철도교 설계표준시방서”와 1966년 12월 건설부의 요청에 의한 “프리스트레스트 콘크리트 표준시방서”가 대한토목학회 주관에 의해 제정되었다. “강철도교 설계표준시방서”에서 주요 부재의 설계이론은 앞서 설명한 허용응력 설계법이지만, “프리스트레스트 콘크리트 표준시방서”에서는 휨부재의 설계나 전단력 및 부착력 산출시 허용응력 설계법과 병용해서 극한강도에 대하여 검토하도록 규정함으로써 극한강도 설계법이 부분적으로 도입되게 되었다.

1.5.3 1970년대의 설계시방서

1970년 이전의 경우, 교량 설계표준시방서는 강교(강도로교 및 강철도교)에 대한 설계표준시방서가 주축을 이루고 있었기에 철근콘크리트교나 프리스트레스트 콘크리트교의 설계는 주로 콘크리트 표준시방서를 위주로 하되 강교 설계표준시방서를 참고하는 형식으로 작업이 이루어졌다. 그러나 1961년부터 1970년까지의 우리나라 교량시설 현황을 보면 콘크리트교(슬래브교, RC T형교, PC박스교, PC형교 등)가 강교(강형교, 트러스교 등)의 4.4배를 상회하고, 일본의 경우는 1964년 철근콘크리트 도로교 설계시방서(일본도로협회)가

제정된 후 이에 기준한 설계가 이뤄지고 있었다. 따라서 철근콘크리트 교량에 대한 국내 설계시방서의 확보가 절실히 요구됨에 따라 1972년 “콘크리트 도로교 설계표준시방서”가 제정되기에 이르렀다.

1970년대 제정된 시방서 중 주목할 것은 1977년 12월, 건설부에서 발행된 “도로교 표준시방서”(개정판)이다. 이전까지의 시방서는 도로교에 대해 강교와 콘크리트교(철근콘크리트교 및 PC교)별로 별개의 설계 표준시방서가 설계기준으로서 적용되어 왔다. 그러나 도로교의 경우 강교와 콘크리트교에 대해 적용하는 활하중, 사하중이 동일하며 기타 공통적으로 사용되는 요소가 많았기 때문에 개정되는 도로교 표준시방서에서는 이들 공통되는 요소를 별도로 취급해서 공통편으로 구성하고 강교 및 콘크리트교를 통합시켜 제1편 공통편, 제2편 강교편, 제3편 철근콘크리트교편, 제4편 프리스트레스트 콘크리트교편으로 재구성함으로써 강교와 콘크리트교를 대상으로 동시에 적용할 수 있는 설계시방서를 확보하게 되었다. 특징적인 개정사항은 교량등급에 대한 DB하중의 크기가 늘어났다는 것이다(기존 DB 18에서 DB 24로의 증가).

1.5.4 1980, 90년대의 설계시방서

1980년대에 들어서면서부터 우리나라는 기존 설계시방서를 개정하고 새로운 설계시방서를 제정하는 등 활발한 활동을 펼쳤다. 먼저 1980년 1월에는 1966년에 제정되었던 “강철도교 설계표준시방서”가 개정되었는데 그 주요변화로는 적용지간의 확대(기존 120m 이하에서 150m 이하로 변화)와 구조용 강재의 다양화(기존 단일 재종에 대한 허용응력 기술에서 KS규정에 따른 SS41, SWS 41 등 다종의 강재에 대한 허용응력 기술), 그리고 부재연결 방법의 기술(기존 리벳, 핀연결에서 리벳, 핀, 볼트, 용접이음에 대한 기술)을 들 수 있다. 또한 같은 해 1월 철도청에서는 강형과 철근콘크리트 슬래브를 전단연결재로 결합시킨 합성형 교량을 고려할 수 있는 “합성형 철도교 표준시방서”를 제정하였다.

1990년대의 주요 변화는 “도로교 표준시방서”의 변화를 들 수 있다. “도로교 표준시방서”는 1983년의 2차

개정에 이어 세 차례의 개정을 거치게 되는데, 1992년 11월 3차 개정을 통해서 강교의 설계에서 탄성설계와 더불어 부록으로 하중계수 설계법과 함께 중요 부재에 대해 지진에 대한 안정성을 고려할 수 있는 내진설계편이 추가되었다. 이어 1996년 4월 건설교통부 이름으로 발행된 4차 개정판에서는 설계편과 시공편 및 부록으로 하중저항계수 설계법을 별도의 책자로 분리하였으며, 1999년 5차 개정을 통해 오늘에 이르고 있다.

1.6 교량 해석방법의 변천

설계 및 시공 실무에 있어서 1970년대까지의 교량 해석은 주로 수계산에 의해 이루어졌다. 그러나 컴퓨터가 등장하기 시작하면서 1970년대 후반에는 OMR 카드를 이용한 FORTRAN 작업과 중형 컴퓨터의 활용을 통해 부재력의 계산과 검토가 수행되기 시작했으며, 1980년대에 들어 PC가 보급되면서부터는 BASIC, FORTRAN을 이용한 구조해석 프로그램이 개발되고 사용되기 시작하였다. 이어 1980년대 중반에는 독립적으로 개발된 각 해석 프로그램별 차이에 의한 계산과정 및 해석상의 오차를 줄이기 위해 국립과학 기술원에서 KISTRAS라는 공인된 구조해석 프로그램이 개발 보급되기 시작하였다. 이후 교량의 형식이 복잡해지고 다양해짐에 따라 구조해석 역시 정확성과 정밀성 측면에서 발전이 요구되었으며, 이에 부응하여 SAP 시리즈(SAP5, SAP90, SAP2000)가 등장하기 시작하면서 격자해석과 셸(shell) 해석 및 입체해석이 가능하게 되었고 LUSAS, MIDAS 등과 같이 다양한 구조해석 프로그램이 개발되기에 이르렀다. 현재 국내외적으로 다양한 구조해석 프로그램이 개발 및 사용되고 있으며 여기서는 현재 공인되어 사용중인 교량 관련 구조해석 프로그램의 주요 특징을 간략하게 설명하고자 한다.

1.6.1 KISTRAS

KISTRAS(KIST Structural Analysis System)의 서브시스템인 PFRAME은 평면 프레임 구조해석,

설계, 도화 프로그램으로서 SAP5 프로그램이 1974년 국내에 설치되기 이전인 1973년 한국과학기술원(KIST)에서 개발되었다. 개발당시 5개의 모듈을 개발, 국내에 보급하여 사용해 왔었으나 그 중 사용빈도 수가 가장 높은 PFRAME을 보완, 개선하여 트러스 요소를 포함하는 평면 프레임 구조물의 모형을 용이하게 할 수 있도록 변환시켰으며 CALCOMP 도화기(plotter)에 의해 처짐, 휨모멘트도, 전단력도, 축력도를 도화할 수 있도록 제작되었다. 또한 국내 설계기준에 맞추어 허용 응력 설계법에 입각한 철근 콘크리트 구조물 및 강 구조물의 설계가 가능하도록 제작되었다.

1.6.2 SAP90

SAP(Structural Analysis Program)90 시스템 및 SAP 2000은 유한 요소법을 이용하여 일반 범용 구조물의 해석이 가능하도록 미국의 CIST사(Computer & Structures, INC.)에서 개발된 프로그램으로, 개인용 컴퓨터(PC)의 제한된 용량 내에서 최대한의 해석(선형 및 비선형 동해석) 및 설계가 가능하도록 제작되었다. 프로그램의 실질적인 성능은 PC 사양에 따라 다르지만 100,000개의 자유도(30,000절점)를 갖는 구조물의 정적 및 동적 해석에 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

1.6.3 PENTAGON - Bridge

PENTAGON-Bridge는 순수 국내기술에 의해 개발된 유한요소해석 프로그램으로서 다수의 전문가에 의해 그 신뢰성이 이미 검증된 PENTAGON-3D의 3차원 유한요소 기술을 바탕으로 전문적인 교량해석을 목적으로 개발되었다. 국내 설계 동향에 맞추어 해외 프로그램에서는 경험할 수 없는 편리하고 실용적인 사용성과 강력한 이동하중 해석기능을 보유하고 있다.

1.6.4 ADINA

ADINA(Automatic Dynamic Incremental

Nonlinear Analysis)는 고체구조 및 유체구조 시스템의 정적, 동적 처짐과 응력 해석에 사용되는 프로그램이다. 이 프로그램은 구조물 및 유체해석에 동시에 적용할 수 있도록 통합되어 있으며, 기본적인 선형해석시 그 효율성이 매우 높다는 특징을 가지고 있다. 비선형성의 경우, 기하학적 비선형과 재료 비선형 및 접촉 상태 등을 고려할 수 있으며 비압축 또는 압축 유동체를 유체로 모형화할 수 있다. 또한 구조물-유체 상호작용을 해석할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 각 해석모듈은 동일한 전처리 및 후처리 프로그램인 ADINA-IN과 ADINA-PLOT를 사용하며 두 가지 모두 ADINA 사용자 'Interface(AUI)'에 기준하여 제작되었다.

1.6.5 DIANA

DIANA(Displacement Analyzer)는 네덜란드의 국가연구기관인 TNO와 델프트대학과의 공동연구를 통해 지난 1972년부터 개발되어 왔으며, 콘크리트에 대한 다양한 비선형요소와 균열, 크리프, 수축, 프리 및 포스트텐션, 특히 철근 배근 고려에 있어 전세계적으로 독보적인 위치를 차지하고 있는 프로그램이다.

구체적인 적용분야를 살펴보면 콘크리트 및 암반의 균열해석, RC 및 PSC구조물의 파괴거동해석, 콘크리트 수화열과 철근 및 텐던을 고려한 해석, 시공단계별 해석, 빌딩, 교량 및 항만 구조물 기초의 안정 및 변형 해석, 지반과 구조물의 상호작용해석, 터널 및 지하공동의 3차원 비선형해석, 물성치의 역해석 등으로 매우 다양하다. 특히 콘크리트 구조물에 대한 크리프 및 수축, 철근 배근, 텐던의 프리·포스트텐션, 균열검토 등을 해석하는 데 있어서 뛰어난 성능을 갖추고 있는 것으로 알려져 있다.

1.6.6 LUSAS - Bridge

LUSAS Bridge는 교량 해석 분야에 초점을 두어 개발된 전산 해석 프로그램으로서 단순한 격자 해석으로부터 복잡한 사장교/현수교 해석에 이르기까지 다양한 범위에 적용이 가능하며 해석결과의 신뢰성과 타당

성이 비교적 뛰어난 것으로 알려져 있다. 특히 평형 상태 캔틸레버 구조의 단계별 해석이 가능하며 기하학적·재료적·경계적 비선형 해석을 통해 대변형, 소성, 붕괴 등의 문제를 해결할 수 있는 특징을 가지고 있다.

1.6.7 ABAQUS

ABAQUS(General-purpose finite-element system)는 다양한 분야에 적용할 수 있도록 디자인된 다용도 유한요소 프로그램으로 프로그램 개발자는 Hibbitt(Karlsson and Sorensen, Inc.)이다. 이 프로그램은 많은 요소 라이브러리와 광범위한 비선형 해석기능을 갖추고 있으며, 일반 구조해석 분야, 유체해석, 비선형 해석 등 그 적용범위가 매우 광범위하다는 특징을 가지고 있다.

1.6.8 MIDAS

MIDAS는 순수 국내 기술로 만들어진 구조해석 프로그램으로 1989년 개발에 착수, 전 과정을 자체 개발해 기술적 자립도가 높다.

또 이 프로그램은 구조해석, 최적설계, 구조계산서, 물량산출 등 일련의 과정을 자동화한 통합시스템으로서 구조해석 결과를 그래픽으로 출력하고 동영상으로 처리할 수 있도록 제작되었다.

처음 개발에 착수한 1989년 당시 3차원 그래픽 모델링 기술을 개발하기엔 개발언어와 하드웨어 환경이 열악한 상태였으나 외국 제품과의 차별화를 위해 초기부터 3차원에 기반을 두고 개발되었다는 특징을 가지고 있다.

기존의 외국 소프트웨어가 해석분야에 중점을 두고 개발한 반면 마이다는는 해석분야뿐만 아니라 국내의 규준에 따른 부재검증, 계산서 작성, 물량산출에 이르는 후처리 분야까지 포함한 일관 시스템으로서 제작되었기에 설계 생산성 향상, 구조물 안전도 증대 및 최적경량화 설계 등의 측면에서 다른 외국 소프트웨어에 비해 탁월한 성능을 가지고 있다.

1.7 가설공법의 변천

교량의 설계 과정 중 교량 가설방법의 선정은 교량의 경제적 설계에 매우 중요한 요인으로 작용한다. 이러한 교량 가설방법은 근대 산업화 이후 토목재료의 발전, 가설 중장비의 개발 등과 교량지간의 장대화가 이루어지면서 비약적으로 발전해 왔으며, 전제 교량 건설에 있어 그 중요성이 더욱 커지고 있다. 따라서 여기서는 국내 교량 가설공법의 변천을 준공연도를 기준으로 구분하여 살펴보고자 한다.

1.7.1 1900년 이전의 가설공법

국내의 경우 1900년 이전에는 강철과 콘크리트의 보급이 매우 저조하여, 주로 목재나 석재를 사용한 교량이 대부분이었다. 하지만 국외의 경우는 이미 15세기에 주철이 생산된 이후 지금까지 유지되고 있는 영국의 콜 브루크데일(Coal Brookdale)교와 같은 다양한 교량이 건설되기 시작하였다. 이후 연철의 제조와 1855년 철강의 발명으로 부재의 결합 방법이 기존의 리벳(rivet)사용에서 용접방법으로 변화하게 되었으며 19세기에 들어서는 콘크리트가 발명됨에 따라 교량 가설공법의 획기적인 전환이 이뤄지게 되었다. 이렇듯 외국 의 경우 다양한 재료의 발달로 인해 교량 기술의 발전이 이뤄지게 되었으나 우리나라는 사용 재료의 후진성과 교량기술 계승의 단절 등으로 주목할 만한 교량 가설공법을 보유하지 못하고 있었다.

1.7.2 1901년~1960년의 가설공법

광복 전에 일제치하에서 하천구간에 수많은 강철도교가 가설되었으나 설계와 시공은 주로 일본인 기술자에 의해 이루어졌으며, 이 시기의 교량에서 지간이나 구조형식 상 괄목할 만한 가치가 있는 것은 거의 없었다. 6·25 동란 이후 파괴에 따른 복구공사를 통해 우

리나라의 교량기술은 많은 발전을 하게 되었으나 대형 중장비가 없어 주로 30m 미만의 짧은 교량들이 많이 건설됨에 따라 가설공법상의 발전은 실질적으로 미흡하였다. 당시 사용되던 공법은 주로 현장 타설에 의한 가설공법으로써, 상부 콘크리트 구조물이 필요한 강도에 도달할 때까지 콘크리트의 자중 및 거푸집, 작업대 등의 중량을 일시적으로 동바리가 지지하는 방식인 동바리 공법이 대부분이었다.

1.7.3 1961년~1980년의 가설공법

1960년대부터 본격적 경제개발계획에 따른 국력의 신장과 경제력의 신장을 바탕으로 중·대형 가설 장비를 이용한 중형지간(L=30~50m)의 프리스트레스트 콘크리트교, 강박스 또는 플레이트거더교 등이 많이 건설되었다. 프리스트레스트 콘크리트교(중량 40~60 ton)의 경우는 직접가설공법을 사용하였으며, 강구조 교량의 경우는 공장분할제작으로 길이 15m이내, 중량 25ton 내외의 부재를 현장조립 방식으로 강재 가교각이나 동바리를 보조수단으로 이용하여 가설하였다. 이 시기에 가설된 최초의 PSC 교량으로는 1961년 건설된 전농동 고가교(BBRV공법)을 들 수 있으며, 1962년에는 강원도에 구운교(Freyssinet공법)가 건설되었다.

또한 대표적 강구조 교량으로는 1971년 건설된 청계천 고가교(고장력볼트 현장이음방식)와 1979년의 성수대교(게르버 트러스)를 들 수 있다. 또한 주목할 것은 1973년 건설된 남해대교로 그 당시 중앙지간 404m의 동양최대의 현수교로 기록되기도 하였다.

1.7.4 1981년~1994년의 가설공법

1980년대 국내 교량기술의 특징은 원호대교를 시발점으로 현장타설 프리스트레스트 콘크리트 박스 거더 교량이 각기 다른 가설공법으로 크게 발전 및 보급된 시기라 할 수 있다.

1981년에는 현장타설 프리스트레스트 콘크리트 박스 거더교의 효시인 원호대교(F.C.M.)가 건설되었으며, 1983년에는 국내 최초의 스트랜드 사용으로 영동1교(F.S.M.)가 건설되었다. 이어 1984년에는 I.L.M. 공법의 효시인 금곡천교, M.S.S.공법의 효시인 노량대교, 그리고 1986년에는 GMSS공법의 효시인 미호천교가 건설되었다. 또한 1991년에는 연속형 캔틸레버 콘크리트 박스 거더교의 효시인 강동대교(F.C.M.)가 건설되었다.

한편, 1984년 10월에는 사장교의 효시인 진도대교가, 같은 해 12월에는 강상판 형식의 사장교인 여수 돌산대교가 준공되어 우리나라에서도 사장교의 역사가 시작되었으며, 1989년에는 한강에 F.C.M.공법 및 A.C.F.(automatic climbing form) 등의 공법을 적용한 국내 최초의 현장타설 프리스트레스트 콘크리트 박스 거더형식의 올림픽대교가 가설, 준공되었다.

1.7.5 1995년~현재의 가설공법

이 시기의 특징으로는 발전된 기술과 축적된 시공경험을 바탕으로 비약적인 가설공법의 발전이 있었다. 최근 2000년에 건설된 국내 최대의 사장교인 서해대교와 자정식 현수교인 영종대교, 그리고 현재 시공 중에 있는 복교형식의 트러스 현수교인 광안대교가 가설공법의 발전을 나타내 주는 대표적 사례이다. 1995년 이후 가설공법의 특징은 강교의 경우 대형 중장비를 이용한 일괄가설공법이 시도되었으며, 프리스트레스트 콘크리트 박스 거더교의 경우, 현장타설 방식 대신에 별도의 제작장에서 분할 제작된 세그먼트를 현장에서 조립하는 프리캐스트 세그먼트 공법(PSM)이 대형 도로교들에 많이 적용되었다는 점을 들 수 있다. 특히, PSM 공법의 경우 서해대교의 대부분 구간에서 이용되었을 정도로 많이 사용되고 있으며, 특히 일괄가설공법의 경우 공사비 절감과 공기단축 등의 이점이 있다.