



박 문 호 경북대학교 토목공학과 교수

# 세계 교량건설의 변천사와 의미

## 1. 서론

교량이란 하천, 계곡, 또는 해협 등을 횡단하거나 도로를 연결할 때 그 통로를 위하여 축조된 구조물로서 사람이나 차가 다닐 수 있게 걸쳐놓은 시설을 말한다. 인류 초기의 교량은 유랑민들이 이동하는 도중에 계곡 건너편으로 이동하거나, 건너편의 동물들을 잡으려고 계곡에 우연히 넘어져있는 통나무를 이용하는 등의 단순 형태의 다리에서 점차 인간의 문명이 발달하여 수레나 마차 등이 통과할 수 있는 복잡한 형태의 다리로 발전하게 되었다.

산업화가 시작되고 도시가 발달함에 따라 점차 도시로 사람이 모여들면서 교량은 하천에 흐르는 수량이나 수위를 측정하는 기능까지 겸비한 시설로 유용하게 사용되고 있다. 현대에 있어 교량은 인간공동체의 생명선의 의미를 갖게 되었고, 그 중요성은 더욱 더 강조되고 있다.

교량은 사람과 차의 통행뿐만 아니라 문화의 교류 등 인류 생활에 없어서는 안 될 중요한 역할을 하며 인류 역사와 함께 할 것이다. 시간적으로는 과거와 미래를 연결하는 것이기도 하고, 공간적으로는 마음과 마음을 연결하는 것이기도 하다. 또한, 종교적으로는 세속과 영원한 세상을 연결하는 의미를 지닌 것이기도 하다. 이와 같이 여러 가지 의미를 지닌 교량들이 세워지고 사라지면서 어떻게 발전하여 왔는지 알아 볼 필요가 있다. 즉, 교량의 발전은 사회와 인간생활의 발전과정의 한 면모를 알 수 있으리라 생각한다.

## 2. 현수교의 변천사

초기의 교량은 돌로 된 슬래브나 통나무 같은 것을 이용하는 단순한 형태로 건설되었다. 장경간의 경우에는 대나무 또는 포도나무 줄기를 교량 간격만큼 한 줄로 연결하여 통행하는 사람을 실은 바구니 또는 고리

를 로프로 당기는 방법을 사용하였다. 처음 반 정도의 거리까지는 중력을 이용하고 나머지 반은 인간의 힘으로 당겨야 했다. 이러한 원시적인 현수교 형식은 여러 개의 케이블 및 바닥틀 구조를 갖는 형식으로 발전되었다.



〈그림 1〉 Jacob's creek교

근대 현수교의 원형은 1801년에 건설된 지간 70ft인 Jacob's creek 교(그림 1)라고 할 수 있다. 1801년 신대륙 미국의 지방판사인 James Finley는 그 때까지는 사람이 건너는 것이 고작이었던 원시적인 현수교에 주 케이블을 다리바닥에서 분리해서 2개로 합친 후, 주 케이블에서 등 간격으로 매달재를 내리고, 매달재에 의존해 다리바닥 부분을 매달았다. 주 케이블로부터 다리바닥을 분리함으로써 노면을 평평하게 할 수 있었으며, 매달재에 의존해 매달아 내린 형(桁)을 일체로 하여 트러스 상태로 조립함으로써 다리바닥에 걸쳐지는 집중하중은 인접하는 매달재에 넓게 분배시킬 수 있게 되었다. 그 결과 과도한 처짐을 억제할 수 있게 되었고 비로소 마차나 자동차가 다닐 수 있는 근대 현수교를 탄생시킬 수 있었던 것이었다. James Finley의 현수교는 그 후 10년동안 많은 곳에서 세워졌지만, 많은 문제점을 안고 있었다. 무엇보다도 가장 큰 문제점은 흔들리기 쉬운 현수교를 어떻게 하면 흔들리지 않게 할 것인가 하는 것이었다. 즉, 부족한 강성을 어떻게 하면 보충할 것인가 하는 것이었다. 증기기관차 발명가인 Goerge Stephenson의 아들인 Robert Stephenson은 경간 146m의 Britannia 철도교를 현수교로 건설할 생각이었다. 그러나, 상판의 강도

를 결정하기 위해서 시제품에 대한 실험을 하던 중 케이블이 없어도 충분히 열차가 운행할 있는 형교를 만들 수 있다는 결론을 얻은 그는 결국 현수교용 교각을 이미 만들었음에도 불구하고 현수교를 포기하고 말았다. 철도를 달리게 하기 위해서는 변형을 억제해야 하며 그렇게 하기 위해 차츰 형(桁)이 커졌고 결국은 케이블이 필요 없는 교량이 되고 만 것이었다.

문제의 본질을 확인하고 해결 방법을 구체적으로 제시한 사람이 미국의 기술자 John A. Roebling이었다. Robert Stephenson이 146m 경간인 Britannia 철도교에 충만한 강도를 가진 현수교를 건설할 수가 없었던 것을 John A. Roebling은 1855년에 240m나 되는 Niagara falls 현수교(그림 2)를 확실하게 건설하였던 것이다. John A. Roebling이 처음 제안할 당시 많은 엔지니어들은 이 공법으로 건설되는 교량은 위험하다고 주장하였다. 그러나, Niagara falls 현수교를 John A. Roebling이 가능하게 한 근본적인 이유는 보강트러스의 채용이었다. 현수교의 단점인 휘고 굽어지기 쉬운 점을 트러스 구조위에 상판을 올려놓아 해결하였다. 또한, 트러스 구조는 현수교에 있어 또 하나의 적인 바람에 대해서도 충분한 저항력을 지니고 있었다. 결국, 현수교는 보강트러스에 의해 처음으로 불안정한 구조물에서 탈피할 수 있게 되었다.



〈그림 2〉 Niagara falls 현수교



〈그림 3〉 Brooklyn교

Niagara falls 현수교를 성공적으로 건설한 후 John A. Roebling은 신시내티에 건설된 당시 최대 경간의 현수교보다 50%나 더 긴 488m 경간을 가진 Brooklyn교(그림 3)를 세울 것을 계획하였다. 그러나, 예비작업을 하는 도중 발을 다쳐 결국 사망하게 되었다. 모든 작업은 그가 직접 훈련시킨 그의 아들 Washington A. Roebling에게 넘겨졌다. RPI(Rensselaer Polytechnic Institute) 대학에서 토목을 전공한 아들도 주탑을 내려놓기 위한 공기케이스 작업 도중 잠수병에 걸려 신

체 일부가 마비가 되어, 결국 아내를 대리인으로 내세워 나머지 작업을 지휘하게 되었다. 이렇게 해서 1883년 봄 토목공학분야의 상징적인 교량인 Brooklyn교가 완공되게 되었다. John A. Roebling이 설계해 그 유지를 이어온 아들 Washington A. Roebling이 13년의 세월을 걸쳐서 1883년에 완성시킨 중앙지간 486m인 Brooklyn교야말로 전세기 최대의 건조물의 하나이고 근대 현수교가 도착한 하나의 정점이기도 했다. Brooklyn교를 성공시킨 Roebling의 공적은 불안정한 구조물로 치부되었던 현수교를 신뢰할 수 있는 구조물로 거듭 태어나게 했다고 해도 과언이 아니다.



〈그림 4〉 George Washington교

1901년 여름, Leon S. Moisseiff는 Brooklyn교의 주 경간에서 9개의 매달재가 차례차례 파괴되는 사고를 조사하면서 처짐이론(deflection theory)이라는 새로운 현수교 해석이론을 확립하였다. 처짐이론이 가지는 의미는 이제까지의 탄성이론에서는 전혀 무시되어 온 사하중의 영향을 정당하게 평가한 것이었다. 그 결과 현수교의 보강트러스는 아주 작은 것, 예를 들면 가느다란 형(桁)과 같은 것을 사용해도 구조적으로는 문제가 없고, 오히려 실제 현수교 비용을 대폭 절감시킬 수 있게 된다는 이론이었다. 처짐이론이 현실의 현수교에 적용된 최초의 예가 1909년에 개통된 Manhattan교이며 그 정점에 달한 것이 1931년 Hudson강에 설치된 George Washington교(그림 4)였다. 중앙지간이 1067m인 George Washington교는 인류가 처음으로 지간 1,000m를 넘는 구조물에 도전한 교량이었으며, 준공됐을 당시 사람들은 그 낯선 모습에 경탄했다. 이 다리는 최종적으로 상하 2층 교로 될 예정이었는데 당초의 교통량이라면 꼭 걸쳐놓은 망에 파리가 멈춘 정도의 영향밖에 주지 않는 것이 확실해서 이 현수교는 장경간 현수교로서는 최초의 무보강현수교가 되었다. 그 규모가 너무나 커서 자중이 거대한 것이 되었기 때문에 보강트러스를 필요로 하지 않는다고 생각하기에 이르렀던 것이다.



〈그림 5〉 Golden Gate교

George Washington교에 이어 1935년에는 J.B. Strauss에 의해서 Golden Gate교(그림 5)가 설계되었다. Golden Gate교는 건설당시의 모든 기록을 보유하게 되었는데, 교량주탑은 227.4m 높이고 각 주현수 케이블은 직경 0.95~91.4cm인데다가 27,572개의 와이어로 구성되었다. 그 당시 Moisseiff가 세상에 내놓은 처짐이론은 현수교 설계의 일대 성과로 생각되어졌다. 시간이 지나면서 보강 트러스보다 경제적인 우위성을 지닌 형(桁)으로 보강된 현수교가 세계의 주류가 되면서, 보다 더 가느다란 보강 형(桁)을 가진 현수교가 만들어지게 되었다. 1940년 종래의 현수교보다 더욱 가느다란 보강 형(桁)을 가진 Tacoma Narrows교가 건설되었다. 중앙 경간이 853m인 이 교량의 보강 형(桁)은 plate girder 형식이고, 형(桁) 높이와 지간 길이의 비가 1:350으로 대단히 작았다. 형(桁)의 강성을 저하시키는 것으로 형(桁)에 작용하는 모멘트를 저하할 수 있다는 L.S.Moisseiff의 처짐이론을 충실하게 적용하여 만든 것이 바로 이 교량이었던 것이다. 형(桁) 높이는 극단적으로 낮았지만 활하중과 정적 풍압력에 대해서는 충분한 안전성을 가진 것이었다.

Tacoma교의 개통 후 곧 이 가느다란 추구에 도를 넘었다는 것이 확실히 나타났다. 개통되자마자 이 다리가 바람에 흔들리기 쉽다는 것이 판명되었으나, 처음 4개월 동안은 진동이 수직 방향에만 있었고 비틀림도 수반하지 않았다. 그리고 진폭이 1.5m 정도에 이르면 다행스럽게도 감쇄해 버렸다. 그러나 1940년 11월 7일 보강 형과 케이블(교축 방향)의 상대 운동을 방지하기 위한 center stay가 파단되고 그에 따라 진동의 양상이 일변하였다. 즉, 지간 중앙이 마디가 되는 역대칭 비틀림 mode를 가진 진동이 생기기 시작한 것이다. 비틀림 진동은 시간과 함께 크게 되어 지간 1/4점에서는  $\pm 45^\circ$ 에 이르렀다. 공기력의 마이너스 감쇄 효과에 따라서 생긴 이 자려(自勵)진동이 1시간 동안 계속된 뒤 행거의 피로 때문에 소켓 위치에서 끊어지기 시작하여 보강 형의 꽤 많은 부분이 바다속으로 떨어져 버렸다.(그림 6)

Tacoma교가 낙교되었을 때의 바람은 특별히 내세워 말하자면 강풍이라고는 할 수 없는 56~67 km/h (16~19 m/sec)정도에 지나지 않은, 설계에서 고려한 풍속보다도 훨씬 낮은 것이었다. 여기서 중요한 것은 이 교량의 설계에서는 바람의 정적 압력만을 고려하면 부족함이 없이 안전하다고 판단되어 바람의 동적 작용에 대한 검토는 전혀하지 않았던 것이었다.



〈그림 6〉 Tacoma교의 붕괴

Tacoma 참사 이래 바람의 동적인 영향이 교량기술자들의 큰 관심사가 되기 시작하였으며, 아울러 장대한 현수교에 대한 바람의 동적 영향에 대한 안정성은 소요힘과 비틀림 강성을 가진 무겁고 두꺼운 보강 트러스를 채용함으로써 확보되었다.

1960년대에는 현수교 형식의 교량에서 괄목할 만한 진전이 이루어졌다. 30년동안 금문교가 가지고 있었던 최대경간 기록은 New York 항을 가로지르는 Verrazano-Narrows교에 의하여 깨졌다. 이 교량은 경간장이 1,299m로서 1965년에 개통되었다. 공사비는 3억 2,500만\$이 소용되었고, 설계는 O. H. Ammann사가 수행하였다.

1966년 유럽에서는 새로운 변화를 예고하는 Severn교가 건설되었다. Severn교의 설계자인 Sir Gilbert Roberts는 설계에 임하면서 트러스를 사용하지 않고 높이 3m의 가느다란 박스형 거더를 채용하였다. 3m의 형 높이는 지간 길이와 비교하면, 불과 1:325로 Tacoma교의 1:350에 아주 근접한 것이었다. 그러나, Severn교는 Tacoma교와는 달리 풍동실험을 통해 결정된 유선형상과 비틀림 강성이 큰, 폭이 넓은 박스단면인 유선형 박스거더와 경사행거를 사용함으로써 Tacoma교 참사의 2가지 주요 원인을 제거하였다. 유선형 박스거더와 경사행거로 보강한 지간이 988m인 영국의 Severn교는 트러스에서 박스거더로의 전환에 의해 현수교는 다시금 경량화되고 경제적이 되었다.



〈그림 7〉 Humber교

1981년 영국에서 Humber교(그림 7)가 완성되었다. 이 교량의 지간 길이는 1410m로 현재 세계에서 가장 길며, Verrazano-Narrows교의 중앙 경간 길이보다 100m 이상 길다. Humber교는 Severn교와 마찬가지로 유선형 박스식 단면 보강형을 가진 시스템으로 비스듬한 행거를 채용하고 있다. Severn교의 탑이 강재인데 비하여 Humber교의 탑은 콘크리트재이다. Humber교가 다른 교량과 다른 점은 양쪽의 축경간 길이가 한쪽에 280m, 다른 쪽은 530m로 크게 다른 점이다. 이러한 비대칭의 예는 다른 장대한 현수교에서는 볼 수 없다.

현재 세계 최대규모의 교량은 1998년에 준공된 일본의 Akashi대교(그림 8)이다. 이 교량은 일본 본토의 고베와 아와지섬을 연결하며 총 연장 3,910m (960m+1,990m+ 960m)에 중앙지간이 1,990m에 이른다. 내풍과 내진을 고려하여 초속 80m의 풍속과 리히터규모 8.5의 지진에 견디도록 설계되었다. 유럽에서 최대경간을 갖는 교량은 1997년 완공된 현수교 구간의 중앙지간이 1,624m인 Great Belt East교로 덴마크의 두 주(主)섬을 연결하는 교량이다. 이 교량은 세계에서 두 번째로 긴 교량으로서 Akashi대교의 뒤를 잇고 있다. 또한, 긴

경간장을 가진 대표적인 현수교를 <표 1>에 나타내었다.



<그림 8> Akashi교

교량명	위 치	나 라	경간장(m)	시공연도
Akashi-Kaikyo	Kobe-Naruto	Japan	1,991	1998
Great Belt East	Hallskov-Sprog	Denmark	1,624	1998
Humber	Kingston-upon-Hull	UK	1,410	1981
Jiangyin	Jiangsu	China	1,385	1999
Tsing Ma	Hong Kong	China	1,377	1997
Verrazano-Narrows	New York, NY	USA	1,298	1964
Golden Gate	San Francisco, CA	USA	1,280	1937
Hoga Kusten	Kramfors	Sweden	1,210	1997
Mackinac	Mackinaw City, MI	USA	1,158	1957
Minami Bisan-seto	Kojima-Sakaide	Japan	1,100	1988
Bosporus	Istanbul	Turkey	1,074	1973
Faith Sultan Mehmet	Istanbul	Turkey	1,090	1988
George Washington	New York, NY	USA	1,067	1931
Kurushima-3	Onomichi-Imabari	Japan	1,030	1999
Kurushima-2	Onomichi-Imabari	Japan	1,020	1999
Ponte 25 de Abril	Lisbon	Portugal	1,013	1966
Forth Road	Edinburgh	UK	1,006	1964
Kita Bisan-seto	Kojima-Sakaide	Japan	990	1988
Severn	Bristol	UK	988	1966
Yicang	Hubei	China	960	2001

<표 1> 세계의 주요 현수교

국내에서는 1973년에 남해대교가 완성되어 우리의 교량기술이 세계 수준에 도달하였다는 사실을 입증하였으며, 교량의 장대화에 케이블을 최초로 사용했다는 점은 교량의 건설기술이 크게 발전했음을 나타내는 것이었다. 남해대교는 전장 660m(128 m+404m+128m)이며, 타정식(他定式) 현수교로 1973년 6월에 개통되었다.

타정식(他定式) 현수교는 케이블 양끝을 외부의 앵커리지에 고정하는 것으로, 대표적인 교량으로 일본의 아카시대교와 부산의 광안대교(그림 9) 등이 있다. 이와는 반대로 자정식 현수교는 케이블을 보강형에 지지시키는 것으로서 다리 자체가 앵커가 된다. 그래서 임시 교각을 세워 다리 상판을 다 얹어놓은 다음에 케이블을 걸어야 한다. 다리가 케이블을 걸어놓는 앵커 노릇을 하려면 다리 무게가 무거워야 한다. 우리나라의 영종대교가 세계 최초의 3차원 케이블 자정식 현수교로서, 3차원 케이블은 주탑과 주탑 사이가 2000m가 넘는 미래형 초장대교에나 적용될 수 있는 것으로, 영종대교가 이 방식으로 시공된 것은 세계 최초의 일이며 또한 자정식 현수교로는 세계에서 가장 길다. 국내의 현수교 중 대표적인 것을 <표 2>에 나타내었다.



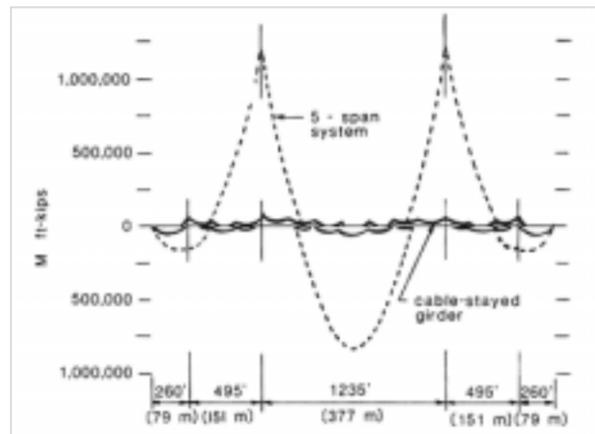
<그림 9> 광안대교

교량명	위 치	폭 원(m)	경간장(m)	시공연도
광안대교	부산시 광안구	22	7,420	2002
영종대교	인천 서구 경서동	35	4,420	2000
남해대교	경남 남해 설천면	12	660	1973

<표 2> 국내의 주요 현수교

### 3. 사장교의 변천사

사장교는 교량의 상판이 주 케이블에 의하여 직접 지지되며 현수교에 비하여 케이블 배치가 넓은 간격으로 되고 케이블의 가요성이 적다. 또한, 현수교와 마찬가지로 미관이 우수한 교량의 형태이다.



<그림 10> Luling교의 사장교와 5경간 연속교에 대한 휨모멘트 비교

사장교 형태의 교량이 왜 검토되었는가에 대한 설명은 Luling교로 설명할 수가 있다.(그림 10) 이 교량은 루이지애나주의 미시시피강에 건설된 교량으로서 수로를 통과하며 형하공간이 높은 사장교로서 상부구조는 강재 박스형태로서 루이지애나 교통국에 의해 채택되었다. 예비 설계단계에서는 중앙 경간장이 376m, 좌우에 151m의 3개경간의 교량이 계획되었다. 차후에 다시 검토한 결과 정착구조형 교각을 사용하여 중앙 경간장은 확대하고 접속 경간은 79m으로 검토되었다. 또한 신축 이음장치 자리가 문제되어 결국에는 5경간 연속교로서 중앙의 3개경간은 사장교로 처리하는 것으로 확정되었다. 미시시피강에 적절한 교량형태의 대안으로는 캔틸레버에서 트러스가 유력하였으나 305m 이상의 경간 확보를 위해선 대규모 트러스로서 강재가 초과 소요되고, 많은 강재의 운반, 조립 및 유지관리 비용도 크게 요구되었다. 그러나,

사장교 형식을 채용한 경우에는 사하중을 감소시킴으로써 모멘트 절대비가 케이블이 없는 교량에 비해 1/10 정도로 매우 작고, 모멘트 분포 또한 균일하게 할 수 있는 장점이 있어 결국 상기 장점과 유지관리를 고려하여 사장교로 계획되었다.

사장교의 교량형식에 대한 실제적용은 1600년대 Venetian의 Verantius가 체인케이블을 이용한 사방향 케이블 배치 방식의 교량을 건설하였다. 이와 같은 구조와 건설방식은 많은 기술자에게 큰 감명을 주었으며, 현대적인 사장교 형태가 1950년대에 독일에서 개발되기까지 많은 기술의 발전과 개발이 계속되었다.



<그림 11> Lusher-type 목재교량

17세기 이전에는 경사지게 배치하는 케이블의 형태만이 고려되었고, 스위스 C. J. Lusher라는 목수가 1784년에 모재, 사재 및 주탑의 형태로 경간장 32m의 교량(그림 11)을 건설한 적이 있었으나, 그 이후에는 사장교의 형태가 적용되지 않았다. 사장교의 건설은 일반 기술자들에게 익숙한 교량형식이 아닌 관계로 건설중 붕괴사고가 자주 발생하게 되었고, 결국 많은 기술자들에 의해 사장교의 형태가 현수교에 비하여 상대적으로 많은 취약성을 갖고 있으며, 하천횡단 교량으로 현수교가 적절한 형식이라는 생각하게 되었다.

1900년대의 교량형태는 부재의 내력에 대한 이론이나 지식이 거의 없이 계획되었다. 사장교의 부재와 형식에 대한 평형 및 적합조건에 대한 지식도 충분치 못하였으며, 사용되었던 재료 또한 목재, 원형봉강, 체인형태 등으로 부적합한 것이었다. 따라서 초창기의 교량붕괴사고는 이러한 영향에 대한 적정 응력상태를 유지하지 못한 결과로 판단된다. 재료나 구조에 대한 이해와 인식이 없는 상황에서 독일 기술자 F. Dischinge는 1938년에 새로운 사장교 형식을 개발하여 합스부르크 근처에 위치한 Elbe강 횡단 철도교를 계획하였다. 철도하중을 처리하는 방법으로 사장교 형태에 일부 현수교 형식을 사용하는 방법을 제안하였다. Dischinge의 제안은 채용된 적은 없었지만, 스테이 케이블(stay cable)만을 사용한 사장교를 만들어낸 계기가 되었다.



<그림 12> Strömsund교

근대 사장교 중에서 최초의 것은 1956년에 개통된 스웨덴의 Strömsund교(그림 12)이며, 이것은 여러 가지 뜻에서 다른 사장교에 강한 영향을 미쳤다. Strömsund교는 현수교에서 많이 사용되는 3경간 형식으로 중앙경간이 182.6m, 측경간이 74.4m이다. 스테이 케이블은 주탑에서 방사상으로 뻗은 팬 타입(fan type)을 채용하고 있으며, 주탑은 문형으로서 2면 매달기식이다. 주형은 케이블 정착부가 형안쪽으로 되도록 I형을 케이블면 바깥에 배치된 플레이트 거더로 되어 있다.

Strömsund교에 이은 사장교는 뒤셀도르프의 Rhine강에 설치되어 1957년 개통된 Theodor Heuss교이다. 중앙경간 길이가 280m, 측경간이 108m로 Strömsund교 보다 규모가 큰 편이었다. 이 교량은 독일 사장교 기술 발전의 막을 올린 교량이라고 할 수 있다.



<그림 13> Knie교

1969년 사장교로서 유명한 뒤셀도르프의 Knie교(그림 13)가 개통되었다. 이 교량의 케이블 시스템은 평행한 스테이 케이블을 가진 하프 타입(harp type)이지만, 같은 케이블 시스템을 가진 그때까지의 교량과 비교하면 중간 지점이 측경간내의 각 케이블을 정착점에 배치되어 비틀림 강성이 작은 가느다란 개단면 형의 채용이 가능하게 되었다.



<그림 14> Sunshine Skyway교

역사적인 사장교의 형태는 1985년에 건설된 Sunshine Skyway교(그림 14)로서 플로리다 템파만을 횡단하는 교량이다. 배의 항로가 되는 중앙 경간장은 366m이며 좌우경간장은 164.5m로서 695m가 중앙에 1열로 배치된 사장재에 의해 지지되고 있다. 현재 세계 최대의 사장교는 중앙지간이 890m에 이르는 일본의 Tataro교(그림 15)이고, 중앙지간 856m의 프랑스의 Normandy교가 그 뒤를 잇고 있다. <표 3>에 긴 경간장을 가진 세계의 사장교에 대해 간단하게 정리하였다.



〈그림 15〉 Tatarabashi교

교량명	위 치	나 라	경간장(m)	시공연도
Tatara	Onomichi-Imabari	Japan	890	1999
Pont de Normandie	Le Havre	France	856	1995
Second Nanjing	Jiangsu	China	628	2001
Third Wuhan	Hubei	China	628	2002
Qingzhou Minjiang	Fuzhou	China	605	2001
Yangpu	Shanghai	China	602	1993
Xupu	Shanghai	China	590	1997
Meiko Central	Nagoya	Japan	590	1998
Skarnsundet	Trondheim Fjord	Norway	530	1991
Queshi	Guangdong	China	518	1999
Tsurumi Tsubasa	Yokohama	Japan	510	1994
Jingsha	Hubei	China	500	2002
Ikuchi	Onomichi-Imabari	Japan	490	1991
Øresund	Copenhagen/Malmö	Denmark	490	2000
Higashi-Kobe	Kobe	Japan	485	1992
Ting Kau	Hong Kong	China	475	1998
Seo-Hae	Ah-san Bay	South Korea	470	1998
Alex- Fraser	Vancouver	Canada	465	1986
Yokohama Bay	Yokohama	Japan	460	1989

〈표 3〉 세계의 주요 사장교

우리나라의 대표적인 사장교는 서해대교(그림 16)로서 총연장 7310m중 990m가 사장교 구간이다. 서해대교는 왕복 6차로의 강합성형 사장교와 콘크리트 상자형교(PSM교 및 F.C.M교)로 구성된 국내 최대 규모의 장대교량으로서 내풍, 내진 설계를 비롯한 계층 관리 시스템을 도입한 첨단교량이다. 1983년 건설된 주경간 345m의 진도대교와 주경간 280m의 돌산대교도 바다를 배경으로 하여 가설된 사장교 형식의 교량이며, 주경간 150m, 주탑높이 88m의 올림픽대교가 사장교 형식으로 가설되어 기존의 교량들과 좋은 조화를 이루고 있다. 대표적인 국내 사장교를 〈표 4〉에 나타내었다.



〈그림 16〉 서해대교

교량명	위 치	폭 원(m)	경간장(m)	시공연도
서해대교	경기도 평택시 포승면	31.4	990	2000
올림픽대교	서울 광진구 구의동	30	150	1989
진도대교	전남 진도군 군내면	11.7	484	1984
돌산대교	여수시 대교동	11.7	450	1984

〈표 4〉 국내의 주요 사장교

#### 4. 프리스트레스트교의 변천사

콘크리트 기술 발전의 단위항목으로서 가장 큰 기술 형식은 PSC의 개발이었다. PSC의 개념은 구조물의 응력상태를 인위적으로 처리하여 구조물의 거동을 향상시키는 것이며, 이러한 방법은 과거에 선박의 제조와 물통 등에 이용되어 온 기술에 속한다. PSC 기술은 철근콘크리트 교량의 건설에 혁신적인 변화를 초래하였다. PSC콘크리트 빔에 대한 초기 개발은 19세기에 이루어졌다.

Dischinger는 강재의 직경이 크고, 강도가 작은 것을 콘크리트와 부착이 없는 방식을 고안하여 PSC 설계방식을 세계 최초로 독일의 Aue에 위치한 교량에 시도하여 1937년에 완성하였다. 교량의 PSC가 배치된 부분은 25.2m, 69m, 23.4m의 3개 경간이었으며, 중앙경간은 내부 힌지 처리되어 정정구조물로 처리하였다. 캔틸레버 텐던은 2개의 인접한 교각에 거치시켰으며, 경간중앙의 자유단 세그먼트는 단순보 형태로 하였다. Dischinger는 70mm직경의 텐던에 220N/mm<sup>2</sup>의 응력을 주입하여 인장강도의 42% 정도 되게 하였다. 직경이 큰 강재 사용과 다각형으로 PSC를 배치함으로써 양쪽 단부에서의 긴장이 어려웠다. 따라서 PSC강재의 편차가 발생하는 변곡점으로 밀어놓고 프리스트레스트를 도입하였다.

설계와 시공에 많은 노력을 기울였음에도 불구하고 이 교량은 결국 실패적이 되고 말았다. 25년이 지난 후에 초기 프리스트레스트 도입응력의 75%가 손실되었으며, 프리스트레스트 힘은 크리프와 건조수축으로 손실되어 결국 프리스트레스트를 도입하지 않은 상태와 같게 되었다. 이로 인하여 균열은 더욱 크게 발생하고 수직방향 처짐이 200mm정도 발생하게 되었다. Dischinger의 실패는 콘크리트의 크리프와 건조수축으로 인한 장기거동에 대한 인식을 불러일으키는 계기가 되었다.

Freyssinet는 1928~1936년 사이에 프리스트레스트 도입 기술과 정착에 관련된 연구를 함으로써 고강도 와이어를 콘크리트와 완전히 부착시켜 기존의 문제점을 극복할 수 있다고 생각하였다. Freyssinet의 이러한 생각은 PSC 분야에서 수십 년 동안 근간을 이루게 되었다. PSC의 당초 목적이 균열을 방지하고 바람직하지 못한 변형을 방지하고자 함이었다. 즉, 응력의 상태를 처리하게 하고 고강도 강재를 이용함으로써 부재의 구조적 용량을 증가시켰다. Freyssinet는 얇은 부재사용을 선호하였으며, 그 이후 프리텐션방식과 포스트텐션방식의 개발로 현장 타설 콘크리트에의 PS 정착이 가능하게 되었다. Freyssinet은 PSC를 새로운 재료의 개념으로 보고 풀 프리스트레싱만을 고려하여 프리캐스트 보 형태의 단순지지 형식의 교량을 몇 개 건설한 후에 1941년에

55m의 Luzancy교(그림 17)를 건설하였다.

2차세계대전 전후의 재건사업과 더불어 유럽에서는 1940년대 후반에 교량건설 붐이 일기 시작하였다. 전후 초기는 PSC의 중요 개발기로서 설계와 시공기술이 실험되고 발전되는 기간이었다. PSC 교량의 설계와 해석은 범 세계적으로 공학도가 추구하는 목표가 되었다. 그러나 PSC 구조물의 거동을 연구한 논문이 무더기로 발표되었음에도 불구하고 정확한 거동분석에는 장시간이 소요되었다.



〈그림 17〉 Luzancy교

1940년대 말에 다양한 프리스트레스트 도입방법이 제안되었다. 독일의 발명가 Ulrich Finsterwalder는 Dywidag시스템을 개발하였고, W.Baur는 Leoba PSC방식을 고안하여 고강도의 강재와이어(인장강도 1800N/mm<sup>2</sup>)를 스트랜드로 사용하여 덕트내부에 배치하고 교량의 단부에 응력블럭을 두는 방식을 개발하였다. Freyssinet, Dywidag, Leoba의 성공으로 교량의 건설은 PSC 강재의 배치와 정착에 신기원을 마련하였다. Stahlton, M.Birkenmaier, A. Brandestini 및 M.R.Roš은 1948년에 BBRV PSC시스템을 개발하였다. 이 방법은 매우 신뢰성이 높고 정교하였다. 그들이 사용한 시스템은 고강도 와이어(1600N/mm<sup>2</sup>)로 각기 냉각가공한 버튼식 정착구로 정착하는 방식이었다. 이 방식은 신속하게 전세게로 보급되었으며, 최초로 적용된 교량은 소규모 교량으로서 1950~1951년에 사용되었다. 스위스에서 적용된 대규모인 교량은 360m연장의 주경간장이 88m인 Weinland교로서 1958년에 건설되었다.

1960년대의 인건비의 상승으로 교량건설기술이 보다 합리적이며 보다 단순화 처리가 요구되었다. 아치교와 다른 복잡한 형태의 교량은 노동력의 집중과 거푸집 및 동바리 시설 등이 추가로 요구됨으로써 경쟁력을 잃게 되었고 결과적으로 특별한 용도 외의 사용은 줄어들게 되었다. 프리캐스트 거더교량이 교량의 가설 신속성과 경제성이 높아 짧은 경간장의 교량에 다수 채용되었다. 그러나 이러한 형태의 교량은 조인트와 슈가 다수 요구되었고, 사용자에게 대한 승차감과 내구성의 저하요인이 되었다. 당시 단순교 형태로 건설된 교량은 차후에 연속교 형식으로 수정되었다.

거푸집 및 동바리에 관한 기술개발로 현장타설 장경간 콘크리트량의 공사비 절감이 상당량 이루어졌다. 두 쪽의 거더 거푸집이 독일의 Keitigcr Hang 고속도로에 최초로 채용되어 1960년에 가설되었다. 1961년에 Hanz Wittfoht는 일체적 거더 거푸집을 개발하여 1100m의 Krahnberg교에 채용하였다. Wittfoht의 방법은 기계화 거푸집

의 시대를 열게 하였고, Leonhardt는 압축식 가설공법을 베네주엘라의 Rio Caroni교에 적용하였다.

프리캐스트 세그먼트 이용하여 세계 최초로 캔틸레버 가설공법으로 건설된 교량은 1960년대의 소련과 프랑스의 교량이었다. 세그먼트간의 조인트 처리는 당시에는 매우 복잡한 문제였다. 모스크바의 Lichadccer Factory에서는 148m 경간장의 세그먼트를 제조하였으며 세그먼트의 조인트는 0.2m두께의 현장타설 콘크리트 조인트로 계획되었다. 조인트는 철근으로 연결되었다. 그러나 조인트에서의 철근 이음은 교량의 가설속도를 떨어뜨려 후에는 배제되었다. 프랑스에서의 프리캐스트 세그먼트 교량은 Freyssinet의 Marne교(그림 18)의 건설로 알려지기 시작하였다. 프랑스 기술자들은 모르타르 조인트 문제 해결방법을 찾아내었다. 조인트의 시공으로 공기가 지연되는 것을 건설로 바꾸고, 조인트 부위의 텐던에 대한 그라우팅 문제를 해결하였다. 〈표 5〉에 긴 경간장을 가진 세계의 프리스트레스트교를 나타내었다.



〈그림 18〉 Marne 교

교량명	위 치	나 라	경간장(m)	시공연도
Stolmasundet	Austevoll	Norway	301	1998
Rafnsundet	Lofoten	Norway	298	1998
Boca Tigris-2	Humen	China	270	1997
Gateway	Brisbane	Australia	260	1986
Varodd	Kristiansand	Norway	260	1994
Schottwien	Semmering	Austria	250	1989
Ponte S.Joao	Oporto	Portugal	250	1991
Skye	Skye Island	UK	250	1995
Confederation	Northumberland	Canada	250	1997
Huangshi	Hubei	China	245	1995
Koror-Babelthuap	Toagel Channel	Palau	241	1977
Hamana	Imagiri-Guchi	Japan	240	1976
Hikoshima	Shimonoseki	Japan	236	1975
Norddalsfjord	Florø	Norway	231	1987
Urado	Kochi	Japan	230	1972
Jesse H. Jones	Houston, TX	USA	229	1982
Puente Internacional	Fray Bentos	Uruguay	220	1976
Ponte Tancredo Neves	Foz do Iguacu	Brazil	220	1985
Agi-Gawa	Gifu	Japan	220	1985
Mooney Mooney Creek	Calga-Somersby	Australia	220	1986

〈표 5〉 세계의 주요 프리스트레스트교

한편, 국내에서 최초로 가설된 PSC교량은 1962년 Freyssinet공법으로 가설된 경춘국도의 구운교이며, 같은 해 서울 용산의 원효대교(그림 19)도 Freyssinet공법으로 가설되었다. 국내의 대표적인 프리스트레스트교를 〈표 6〉에 정리하였다.



〈그림 19〉 원호대교

교량명	위 치	폭 원(m)	경간장(m)	시공연도
서해대교	경기도 평택시 포승면	31.4	7,310	2000
노량대교	서울 동작구 노량진	21.4	2,070	1985
원호대교	서울 용산구 원효로	20	1,120	1981
신행주대교	경기도 고양시 행주외동	14.5	1,460	1996
행주대교	경기도 고양시 행주외동	10	1,400	1978
남구미대교	경북 구미시	34.8	800	1999
운암교	전북 임실군	10	350	1989
나로도 연육교	전남 고흥군	10	330	1996

〈표 6〉 국내의 주요 프리스트레스교

## 5. Extradosed교의 변천사

Extradosed교는 부모멘트 구간에서 PS 강재로 인해 단면에 도입되는 축력과 모멘트를 증가시키기 위해서 PS 강재의 편심량을 인위적으로 증가시킨 형태로 일반적으로 단면내에 위치하던 PS 강재를 낮은 주탑의 정부에 외부텐던의 형태로 부재의 유효높이 이상으로 배치한 형태의 교량을 말한다.

Extradosed교는 사장재인 PS 강재의 주기능이 구조물을 지지(cable-supported)하는 것이 아니라 지점부 단면에 정모멘트와 압축력을 도입시키는 것이라는 데서 사장교와 차별된다.

최근의 PSC교량 설계는 장대화의 추이에 맞추어 사하중의 경감, 주형의 경량화, 시공성, 경제성 및 유지관리 향상을 도모하고 있으며, 지역적 특성에 맞는 이미지를 부각한 랜드마크의 기능 및 주변환경과의 조화에 많은 주안점을 두고있다. 따라서 PSC 박스형식의 중·소경간의 형식과 장대경간을 갖는 사장교 사이에 존재하는 교량형식이 요구되었고, 이에 원활한 구조적 연속성을 갖고 거더교와 사장교의 장점을 결합한 복합적 특성을 갖는 새로운 형식의 교량인 Extradosed PSC교가 도입되었다.

Extradosed교는 PSC 거더교에 비해 형고를 낮출 수 있어 자중 및 PS 강재 소모량이 적어 경제적이며, 사장교에 비해 사재의 응력변동이 적고 주탑 높이를 현저하게 낮출 수 있어 사장교의 경제성이 떨어지는 100~200m 경간에 매우 적합하다. 또한 하천통과를 강조하면서도 높지 않은 주탑규모가 주변경관과 조화를 이루며 전체교량의 형고를 일정하게 유지하여 시각적 연속성과 경쾌한 조형미 연출할 수 있다. 일면 케이블 설치로 주행자의 인식성이 높아 랜드마크 기능을 수행할 수 있으며 케이블의 피로안전성이 커서 사장교 케이블에 비해 유지관리가 용이하다.



〈그림 20〉 Ganter교

세계 최초의 Extradosed교는 스위스의 공학자 Christian Menn에 의해 설계된 Ganter교(그림 20)이며 1980년에 준공되었다. 이후 1988년 프랑스의 Jacques Mathivat에 의해 이론적인 발전이 이루어졌으며 이 때부터 Extradosed prestressed bridge라는 용어가 사용되기 시작하였다. 1994년 세계 최초의 사장 외케이블 방식으로 경간이 122m인 Odawara교량이 건설되었으며, PSC교에 Saddle방식에 의한 케이블 정착방식이 적용되었다. 현재 최대경간을 가진 교량은 2001년에 완공된 최대경간이 275m인 Kisogawa교이다.

국내에서는 1997년 경간이 90m인 제2양평대교(그림 21)가 최초로 건설되었으며 제2양평대교가 건설된 후 지간장 100~200m에서 가장 경쟁력이 있는 신개념의 교량으로 확고하게 자리 잡고 있는 Extradosed교에 대한 관심이 보다 증대되고 있는 실정이다. 〈표7〉에 대표적인 국내·외의 Extradosed교를 간단하게 정리하였다.



〈그림 21〉 제2양평대교

교량명	나 라	폭 원(m)	경간장(m)	시공연도
Kisogawa	Japan	28	275	2001
Ibi	Japan	28	271	2001
Mactan2	Philippine	20.8	185	1999
Tsukuhara	Japan	9.25	180	1997
Kanisawa	Japan	23	180	1997
Ganter	Switzerland	10	174	1980
제2양평대교	South Korea	12	90	1997

〈표 7〉 국내·외 주요 Extradosed교

## 6. 아치교의 변천사

세계교량사에 의하면 교각으로부터 강의 양단에 목재 캔틸레버보를 연장하는 초보적인 캔틸레버교가 중국에서 건설되었으며, 지금까지 알려진 최초의 아치교는 중동지방의 우르(Ur)에서 발견되었다. 이집트에서의 아치교 역사는 B.C 3000년경까지 거슬러 올라간다. 이러한 아치교는 교량이라기 보다 건물에 가까웠다. 현존하고 있는 최고의 석재 아치교는 터키의 Smyrna에 있다.



〈그림 22〉 Tarajan 교

로마 최초의 석재 아치교는 B.C 700년경에 건설된 Solares교이다. 로마사람들은 목재교량을 많이 건설하였으나 로마의 건설기술을 상징하는 기념물들은 한때 로마제국하에 있던 유럽에 산재한 석재 아치교들이다. 지금까지 남아있는 유명한 로마의 교량들로서는 기원 후 1~2세기에 건설된 이탈리아의 Rimini에 있는 Augustus교와 프랑스의 Gard교 등이 있다. Augustus교는 경간이 7~8.5m인 다섯 개의 반원형 아치로 구성되어 있고, Gard교는 강으로부터 높이가 47.5m인 세 층의 아치로 구성되어 있으며, 교량과 수로의 기능을 동시에 가지고 있다. 가장 긴 아치 경간은 약 24.4m이며, 최상층은 연장이 270m로 유일하게 모르타르가 사용되었다. 가장 주목할 만한 교량 중 하나는 다뉴브강을 횡단하는 Trajan교(그림 22)로서 이 교량은 교각의 높이가 45.7m, 폭은 18.3m, 두께가 15.2m나 되는 대단히 거대한 구조물이다. 교각사이로 목재아치가 놓여져 있으며 총 연장은 914m를 넘는다. 기원 후 4~8세기 동안 유럽에서는 정지집단의 규모가 작아져서 도로와 교량 건설의 추진이 어려웠다. 이로 인해 약 400년 동안 유럽에서는 새로운 교량기술의 건설되지 않았으며 창의적인 기술은 사라져 버렸다.



〈그림 23〉 Avignon교

암흑시대를 지나서 유럽에 건설된 첫 대형교량은 Avignon교(그림 23)다. 전설적인 명성을 갖고 있는 이 교량은 Benoet(또는 Benezet)를 기념한 것이다. 그는 Freres du Pont (Borthers of Bridge)라 불리는 수도승 단체의 일원이었을 것으로 추측된다. 이 단체는 교량 및 나룻배를 이용하는 여행자 등의 안전을 책임졌으며 나중에는 실제로 교량을 건설하였다. Avignon교는 1187년에 완성되었는데 아름다운 네 개의 아치가 있으며 아치의 길이는 30.6~33.3m로서 당시에는 대단한 경간이었다. 그러나 많은 전쟁이 이곳에서 벌어져서 대부분의 아치가 파괴되었고 그 일부만이 프랑스 아비뇽의 Rhone강에 남아 있을 뿐이다. 중세의 대표적인 교량으로는 1209년 Peter of Colechurch에 의하여 건설된 구 런던교(old London bridge)가 있다. 이 교량의 총길이는 285m이고, 강폭의 반은 19개의 넓고 큰 기초로 구성되어 급류에 따른 지속적인 세굴현상 때문에 수차례에 걸쳐 중건되었다가 1831년에

철거되었다. 특히 구 런던교는 수백년 동안 런던시민에게는 생활의 중심지였고, 교량의 출입구는 전쟁에서 진 사람이나 반역자를 교수형하던 곳으로 유명하다. 이외에도 1345년 Florence에 건설된 Vecchio 교, 1503년 Prague에 건설된 Karlsbruck교 1591년 Venice에 건설된 Rialto교 등이 중세를 대표하는 현존교량들이다.

르네상스시대에 이르러서는 새로운 문화기운에 힘입어 이탈리아뿐만 아니라 다른 나라에서도 새롭고 기념비적인 교량이 창조적으로 건설되었는데, 그 대표적인 교량이 바로 Neuf교(그림 24)이다. Neuf교는 세느강에 두 번째로 세워진 석재 아치교로서, 17세기 초반부터 약 300년 동안 존재하면서 파리의 역사를 간직한 명물이 되었지만, 파리의 규모가 커지면서 그 기능을 상실하게 되었다.



〈그림 24〉 Neuf교



〈그림 25〉 Coalbrookdale교

근대의 교량은 철재의 발달과 함께 발달하였다. 주철은 15세기에 제조되었으나, 처음으로 사용된 주철교량은 영국의 Coalbrookdale교(그림 25)이다. 이 교량은 1776년 Severn강에 가설된 경간이 30m인 아치교이며, 그 우수성 때문에 계속하여 이와같은 형식의 교량들이 각지에 세워졌다. 특히, 18세기의 산업혁명을 주도한 영국은 John Rennie 및 Thomas Telford와 같은 유명한 교량기술자를 배출하였다. Rennie는 Waterloo교와 신 런던교(New London bridge)와 같은 석조아치를 가설하였고, Telford는 1792년 스코틀랜드의 Spey에 경간 37m, 높이 6m인 최초의 강트러스 아치교인 Craigellachie교(그림 26)를 건설하였다. 이 구조물은 최초의 현대적인 철재 아치교로 간주되고 있다.



〈그림 26〉 Craigellachie Bridge.

1800년대 미국에서는 철도의 확장으로 연철로 만든 철도교가 많이 건설되었으나, 재료와 설계에 대한 불충분한 지식으로 인하여 1879년 Firth of Tay 철도교와 1887년 일리노이주 철도교의 낙교사고를 비롯한 약 40개의 낙교사고가 발생하였다. 이와 같은 낙교사고로 인하여 연철 대신에 강철이 교량의 건설재료로 등장하면서 교량의 설계와 시공기술이 크게 발전하게 되었다. 세계적인 규모의 강아치교 두 개가 1931년, 1932년에 각각 건설되었다. 첫째는 1931년 준공된 뉴저지주 베이 온 소재 Kill-van-Kull교(그림 27)로서 경간장이 504m이었다. 둘째는 경간장이 503m인 Sydney Harbor교(그림 28)로서 1932년에 완성되었으며, 도로-철도 겸용교로서 멋있는 교량으로 유명하다.



〈그림 27〉 Kill-van-Kull교



〈그림 28〉 Sydney Harbor교

또한, 대표적인 콘크리트 아치교로는 스웨덴의 Sandö교(그림 29)가 있다. Sandö교는 경간장이 264m로서 1943년에 건설된 당시에는 최대규모의 콘크리트 아치교였다. 이 교량은 경간장 뿐만 아니라 경쾌한 선형과 우아한 아치곡선 또한 빼어나서 미적으로도 뛰어난 교량으로 유명하다. 〈표 8〉 및 〈표 9〉에 긴 경간장을 가진 세계적인 Steel 아치교와 Concrete 아치교에 대해 간단하게 정리하였다.



〈그림 29〉 Sandö교

교량명	위 치	나 라	경간장(m)	시공연도
New River Gorge	Fayetteville, WV	USA	518	1977
Kill-Van-Kull	New York, NY	USA	504	1931
Sydney Harbour	Sydney	Australia	503	1932
Fremont	Portland, OR	USA	383	1973
Port Mann	Vancouver	Canada	366	1964
Thatcher Ferry	Balboa	Panama	344	1962
Laviolette	Trois-Rivieres	Canada	335	1967
Runcorn-Widnes	Mersey River	UK	330	1961
Zdakov	Lake Orlik	Czech Rep.	330	1967
Birchenough	Sabi River	Zimbabwe	329	1935

〈표 8〉 세계의 주요 Steel 아치교

교량명	위 치	나 라	경간장(m)	시공연도
Wanxian	Sichuan	China	425	1997
Krk-1(east span)	Krk Island	Croatia	390	1980
Jiangjiehe	Guizhou	China	330	1995
Yongjiang	Guangxi	China	312	1998
Gladesville	Sydney	Australia	305	1964
Ponte da Amizade	Foz do Iguacu	Brazil	290	1964
Bloukrans	Bloukrans River	South Africa	272	1983
Ponte da Arrabida	Oporto	Portugal	270	1963
Sando	Kramfors	Sweden	264	1943
Le Pont Chateaubriand	La Rance	France	261	1991

〈표 9〉 세계의 주요 Concrete 아치교

우리나라의 대표적 아치교는 동작대교(그림 30)로서 1978년 10월에 착공하여 1984년 12월에 완공되었으며, 전체길이 1,245m, 폭 40m(도로교 28.6m, 전철교 11.4m)로서 960m의 본 교량 및 4개의 진출입 램프로 구성되어 있다. 동작대교의 구조형식은 도로교 부분에는 강상판형교로 이루어져 있고, 전철교 부분은 국내 최대의 Langer Arch 및 강판형교로 되어 있다. 또한, 2000년 건설된 주경간 540m의 방화대교와 서강대교도 아치교 형식의 교량이다. 국내의 대표적인 아치교를 〈표 10〉에 나타내었다.



〈그림 30〉 동작대교

교량명	위 치	폭 원(m)	경간장(m)	시공연도
방화대교	경기 고양시 강매동	32.6	2,559	2000
서강대교	서울 마포구 신정동	29	1,550	1998
동작대교	서울 용산구 이촌동	40	1,245	1984
한강대교	서울 용산구 한강로	18.4	840.3	1982

〈표 10〉 국내의 주요 아치교

## 7. 결론

교량의 역사는 실로 인류의 역사와 더불어 발전하였으며, 교량의 존재 또한 영원할 것이다. 따라서 앞으로 건설될 교량들은 기술적인 면이나 안전성·내구성·사용성뿐만 아니라, 주변의 환경과 미관을 고려하여 영원히 후손에게 물려줄 아름답고 자랑스러운 구조물이 되어야 할 것이다.