

구동형식에 의한 모바일 브릿지의 분류

A Classification of Moveable Bridges according to Driving System

박 선 우*
Park, Sun-Woo

최 취 경**
Choi, Chui-Kyoung

요 약

교량들은 다양한 기능을 가지고 있다. 이러한 기능으로서 2 지역을 연결하는 요소와 랜드마크로서 오브제 역할 등이 있다. 그러나 선박들이 통과하도록 운하에서는 도개교로 계획된다. 우리는 이러한 도개교는 스윙, 바스큘, 리프트, 아칭, 회전 등과 같은 도개형식으로 분류 할 수 있다. 여기에서는 전 세계에 분포되어 있는 사례를 조사하여 다양한 도개방식을 제안하고자 한다.

Abstract

Bridges have various functions. There are not only a connection between 2 zones, but also a objee as a landmark. But movable bridges used in canal in order to pass ships. We can classify according to type of driving system, for example, swing, bascule, lift, arching, rotation, etc. I will suggest classification of various driving mechanism in the world.

키워드 : 도개교, 형태, 회전식, 스윙, 중력식, 리프트, 수직적인 방법, 사례
Keywords : moveable bridges, types, swing, bascule, lift, rotation, vertical, example

1. 서론

가장 오래된 움직이는 교량들은 폰툰(pontoon) 부교다. 페르시아 인들은 이러한 교량들을 약 BC 537년 사용하였다. 목교들이 군사용으로 많이 건설되었다. BC 264년 로마인들은 그들의 함선에 드로교(draw bridge)들을 설치하였다. 중세기에는 드로교들은 적의 공격으로부터 보호하기위해 성곽입구나 마을 입구에 설치되었다. 밀수 있는 보행상판과 스윙교(swing bridge)는 많이 건설하였지만 그들은 드로교의 중요성은 알지 못했다.

18세기 후반에 영국 엔지니어들은 주철로 만든 중앙 피봇 부재를 이용하여 스윙교를 건설하였다.

19세기 전반부에 많은 모바일 교량들이 대항 선박들이 방해받지 않고 통과하도록 항구의 입구에 많이 건설되었다. 역시 동시대에 베스큘교(bascul bridge), 스윙교, 그리고 리프트교(lift bridge)의 주된 재료가 목재에서 주철로 전환되었다. 1816년에 최초의 주철로 된 베스큘교가 목재로 된 드로교를 뛰어 넘어 건설되었다. 1820년 초에 수압작이 수직 리프트교에 사용되었다. 1824년에 최초의 롤링교(rolling bridge)가 건설되었다. 1887년에 최초의 트랜스포트교(transport bridge)들이 설계되었다. 19세기 말에 최초의 접이식 교량(folding bridge)이 건설되었다. 이러한 혁신적인 교량은 현재까지 계속되고 발전되고 있다.

이러한 광범위한 다양한 구조물들이 최근 10년간 꾸준히 개발되고 디자인 되었다. 전형적인 베스큘, 스윙, 수직 리프트 교량이외에 새로운 시스템이 고안되어 건설되었다. 새로운 교량들이 과거

* 정회원, 한국예술종합학교 건축학과 교수, 공학박사
Tel: 02-746-9624 Fax:02-746-9615

E-mail : psw@knua.ac.kr

** 정회원, 경원대학교 건축공학과 교수, 공학박사
E-mail : cck@kyoungwon.ac.kr

의 기본적인 개념에 기초를 하고 있지만, 20세기 와 함께 재료, 구조, 기계적인 지식들이 도입되고 있다. 컴퓨터의 도움으로 디자인과 계산은 역시 다양한 모바일 교량의 기회를 증가시키고 있다. 독일 뉘스부르크의 고양이 등뼈(Katzenbucke)교 와 영국 게이트헤드(Gatehead)의 밀레니엄 브릿지 와 같은 흥미를 유발시키는 프로젝트들은 건축적 인 안목과 혁신에 대한 상징으로 표현할 수 있다.

모바일 브릿지들은 운하가 배가 통과할 수 있는 수직적인 형고를 확보하고, 또 한편으로는 횡 단선이 지표면과 근접하도록 건설된다.

층고가 높은 고정 교량들은 데크에 접근이 용이 하도록 계단, 램프 또는 엘리베이터를 필요로 한 다. 램프나 계단은 많은 공간을 필요로 하고, 고비 용이고, 미관상 부정적인 면으로 작용한다. 가끔 타운과 항구에서 계단과 램프에 필요한 공간은 확 보하는 데 어려움이 많이 있다. 항구에서 높은 입 면을 고려할 때 접근 램프는 상당히 길어져야 하 기 때문에 배치계획이 상당히 어려워지고 불가능 할 경우가 발생한다. 더욱이 고정된 교량들은 항 상 항해에 필요한 선박의 치수에 제한을 받는다.

대체로 형고가 낮은 모바일 브릿지는 데크에 접 근할 필요가 없고 치수에 영향을 받지 않지만, 많 은 디자인에 대한 노력이 필요하다. 차량, 열차와 보행자에 의한 교통흐름, 운하를 통과하는 선박들 은 교량이 개폐될 때 방해받을 수 있다. 역시 이 러한 구조물들은 디자인하는데 상당한 어려움이 뒤따르고, 일반적으로 보다 많은 유지관리가 필요 하다. 교량의 모든 움직임에 대한 세심한 구조적인 검토가 필요하며, 또한 기계설비들은 구조적으로 견고해야 되고 환경으로부터 잘 보호되어야 한다.

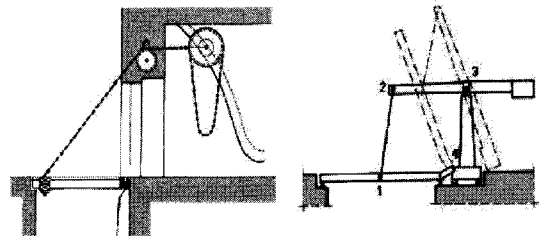
모바일 브릿지의 가장 중요한 형태는 베스클 교량, 드로 교량, 수직 리프트 교량, 수평 스윙 교 량으로 크게 분류될 수 있다. 개폐식 교량, 트랜스 포트 교량, 접이식 교량, 망원경식 교량과 푼톤 교 량을 포함하는 많은 특수한 형태들의 교량들이 있 다. 이러한 형태의 선택은 주로 지역적인 조건에 좌우되며, 이러한 경제조건에 따라 미적, 경제적, 유지관리, 시공과 수평적인 요구조건을 고려하여 형태가 결정되어야 한다.

2. 모바일 브릿지의 형태들

2.1 드로교(draw bridge)

드로교와 네덜란드식의 교량들은 항상 수평축 에 대해 회전하지만, 축은 항상 스패의 단부에 위 치하고 데크 단부 정면에 부착된 인장부재로 실행 된다. 그것은 항상 정면 단부에 지지되기 때문에 교량은 항상 단순보와 같이 작용한다. 모바일 브 린지의 이러한 형태는 중세 시대에 건축된 성곽 입구에서 찾아볼 수 있다<그림 01>.

드로교량은 상대자중(counterweight) 없이 작 용하는 반면에 네덜란드식 드로교들은 데크 상부 의 균형을 잡고 있는 암(arm)의 단부 하중으로 디 자인된다. 오픈될 때 구조적인 요소에 의해 수평 적인 균형을 이루게 된다.



좌: 중세시대의 성곽입구에서 방어용 교량의 구조시스템
우: 네덜란드 운하에 볼 수 있는 네덜란드식 교량

<그림 01> 드로교의 형태들

두 가지의 형태들은 한 세기 동안 사용되면서 도 현재까지 잘 유지되고 있다. 더욱이 그것들 상 당히 쉽게 건설되고 운영된다. 더욱이 그것들은 단스팬 한정적으로 사용된다.

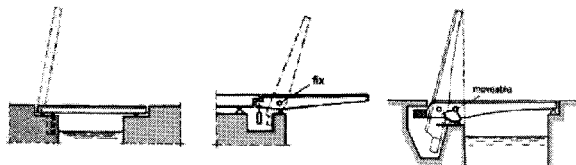
2.2 베스클교(basculle bridge)

베스클교들은 수직적인 높이가 필요한 곳에서 유용하며, 스패는 상당히 길지는 않다. 베스클교 들은 교차방향, 수평적인 축에 대해 회전한다. 국 부적인 운동력을 줄이기 위해 수평축은 구조물의 중립축에 또는 가까이에 위치한다.

수평축은 장변 앞부분에 있는 상부구조와 교량 에 오픈되도록 하부로 밀어내는 작은 꼬리(tail) 단부와 분리한다. 전면과 꼬리 단부의 불균형 때

문에 긴 스패에 대해서는 꼬리 단부 부분에서의 상대자중은 평형상태로 작용되어야 한다.

오픈되는 과정동안 단일 베스클교들은 그것의 구조적인 시스템이 변한다. 교차된 상태에 교량은 상부구조의 전면 단부를 지지하기 때문에 단순보 역할을 한다. 지지점의 리프트 오프 이후에 단순보는 교통량에 활하중을 제외한 모든 하중을 받는 단순보가 된다. 상판에 작용하는 풍하중은 교량이 오픈된 상태에서 증가한다. 이것은 구조적인 검토에서 고려되어야 한다.



- 좌: 상대자중 없이 수압재로 들어 올리는 교량
- 중: 상대자중을 이용하는 교량
- 우: 회전력을 이용한 교량

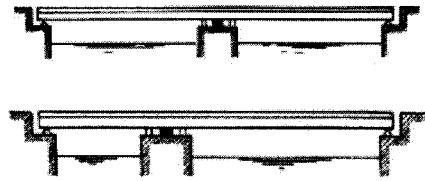
<그림 02> 베스클 교량의 역학적인 원리

<그림 02>는 고정된 회전축으로 계획된 전형적인 베스클 교량인 반면에 그림은 움직이는 회전축과 상대자중으로 회전하는 리프트 교량이다. 이러한 구조는 자동적으로 리프트되고 개폐된다. 이것은 완전히 베스클교와 개폐되는 교량의 조합이다.

이중 베스클 교량들은 모든 위치에서 캔티레버이다. 그것들의 끝부분은 보통 수평전단력이 전달되고 두 정면 단부사이의 갭을 피하도록 연결된다.

2.3 스윙교(swing bridge)

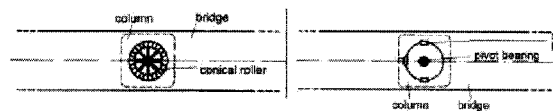
스윙 브릿지는 수직축으로 움직인다. 이러한 구조물은 2개의 동일한 스패으로, 또는 장스패와 상대자중을 갖는 단스패으로 구분된다<그림 03>. 동일한 스패으로 된 스윙 교량은 양면이 선박 통행에 이용되며, 비대칭 스패의 스윙 교량은 장스패 부분의 한곳만 선박통행이 이루어진다. 평면상 완전한 회전은 상당한 면적이 필요한 반면에 필요한 에너지는 수직적인 움직임과 비교할 때 장스패으로서 비교적 적게 소모된다.



- 상: 스패이 대칭으로 분할된 경우
- 하: 비대칭으로 스패이 분할된 경우

<그림 03> 스윙교의 구조적인 원리

교량의 상부구조는 중앙 피어에 설치된 피벗 부재에 얹혀 진다. 움직이는 과정동안에 적절한 힘의 분배가 확실하도록, 중앙 베어링이 매우 정교하게 작용해야 한다. 두 가지의 서로 다른 베어링 형태가 있다<그림 >.



- 좌: 림 베어링(rim bearing): 롤러가 중앙에 많이 계획됨.
- 우: 센터 베어링(center bearing): 안정을 위하여 둘에 소형 롤러가 있는 중앙 피벗 베어링.

<그림 04> 스윙 교량에서 베어링 배치

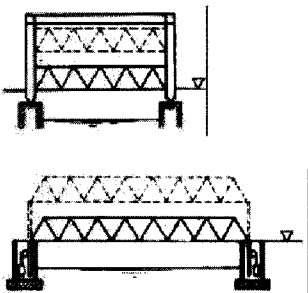
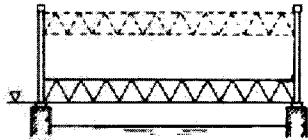
중앙 지지점에 휨 모멘트를 최소화하기 위해 사하중은 균형이 이루어져야 한다. 열린 상태에서 교량은 긴 스패에 작용하는 비대칭 하중에 매우 민감하다. 닫힌 상태에서는 스윙교들은 두 스패이 연속보 상태로 양단에 지지된다. 사하중의 대부분은 중앙 피어에 얹혀 진다. 지지대에서의 베어링은 단지 활하중과 약간의 사하중을 받는다.

더블 스윙교는 긴 선박들의 통행로에 걸쳐진다. 교량의 2개 절반은 자유로운 교량 상판의 갭을 확실히 하고 어떠한 수직적인 움직임 또는 불리한 기울기 변화를 피하도록 연결되어야 한다.

2.4 수직 리프트교(vertical lift bridge)

이러한 형태의 교량들은 데크가 완전히 수직으로 이동함으로써 오픈된다. 구조적인 시스템은 단순보이고 움직이는 과정동안 변하지 않는다. 따라서 이러한 형태의 교량들은 장스패으로 디자인 될

수 있지만, 타워의 높이는 선박 항해에 필요한 높이를 제한한다. 사하중은 교량이 움직일 때, 상대자중에 의해 균형이 이루어진다. 이러한 교량을 3가지 형태로 구분된다<그림 04>.



상: 자유지지 타워
중: 붕과 함께 조인트된 타워(단스팬에서 사용)
하: 움직이는 타워.
<그림 05> 수직 리프트교의 역학적인 원리

기동뿐만 아니라, 리프팅 기계들은 지지대하부 공간에 계획된다. 필요에 따라 기동의 단면치수는 제한되고 따라서 그것이 좌굴길이가 된다.

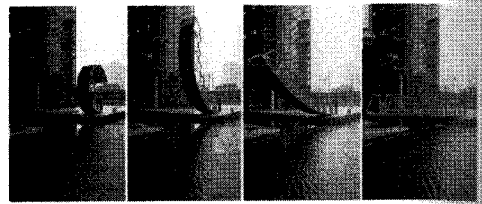
2.5 특수한 형태

지난 10년 동안에 모바일 브릿지의 매우 흥미 있는 형태들이 개발되었다. 그것들은 주로 어떤 재생 프로젝트나 또는 지정 장소에 건설될 뿐 아니라 방문객을 위해 보다 볼거리로 선택되었다.

2.5.1 회전교와 슬라이딩교(rolled and sliding bridges)

이것은 비교적 긴 스패인이 요구되기 때문에 좀처럼 사용되지 않는다. 영국 서 런던 패딩톤(Paddington) 지역의 그랜드 운하 입구에 엔지니어링 구조물인 동시에 모바일 조형물로서의 인도교가 세워졌다. 선박이 지날 때 한 고정점으로 꼬아 올라가는 롤링 브릿지는 마치 전갈 꼬리를 연

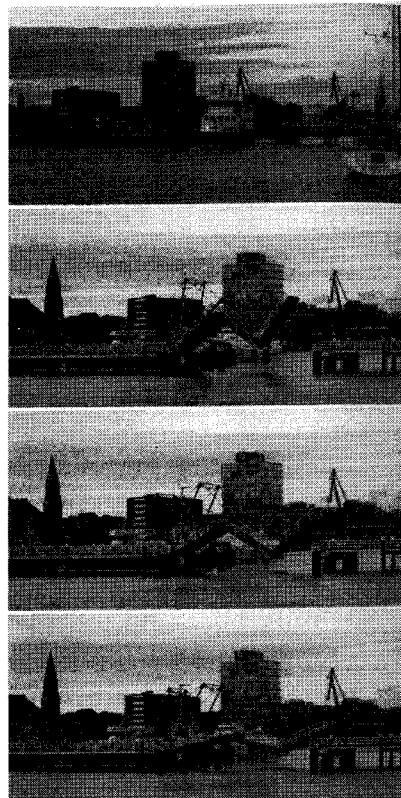
상시킨다. 이 교량은 스틸 프레임과 목재 상판으로 이루어진 길이 12m다.



<그림 06> 전갈 꼬리 연상케 하는 롤링 브릿지

2.5.2 폴딩교(folding bridge)

이러한 구조물은 추가적인 공간이 필요하다. 복잡한 기계적인 장치들이 필요하기 때문에 좀처럼 사용되지 않는다. 사장구조를 근거로 하고 있는 독일 키엘(Kiel)에 있는 폴딩 브릿지는 선박통과를 폴딩과 동시에 사라지는 3개의 데크 요소로 구성된다. 움직이는 케이블, 상당한 힌지 개수, 구조재와 핸드레일과 같은 비구조 요소의 간섭(interference)들은 상당히 디테일화 된 디자인과 어떠한 복잡함을 피하기 위해 상당한 기간 동안의 실험이 요구된다.



<그림 07> 폴딩에 의해 개폐되는 과정

2.5.3 텔레스코프橋(telescoping bridge)

이것은 폴딩橋와 유사하다. 대표적인 사례들은 공항에서 항공기의 연결 교량들이다.

2.5.4 승객용 교량(passenger bridge)

이것들은 보통 항구에서 승객과 선박을 연결할 때 사용된다.

2.5.5 휴대용 교량(portable bridge)

휴대용 교량의 대표적인 사례는 임시교량인 폰톤(pontoon) 교량과, 연약지반지역에 군사적 목적으로 사용된다. 항만에서 요트들의 정박시설에도 이용된다. 이러한 임시적인 교량은 초경량재료로 제작하여 헬리콥터로 운송하기도 한다. 다른 사례로서 산악 등반할 때도 이러한 경량 사다리를 휴대하는 경우도 있다.

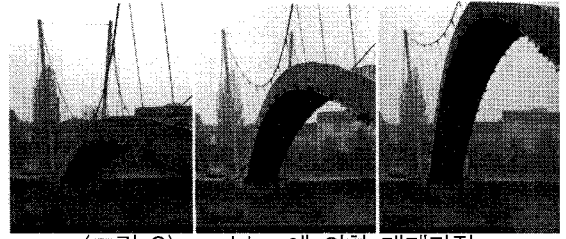
2.5.6 운송용 교량(transporter bridge)

매우 한정된 효용성 때문에 많이 사용되지 않고 있다.

위에서 분류할 때 어떠한 형태에도 속하지 않고 상당히 혁신적인 창의적인 교량은 아래와 같다.

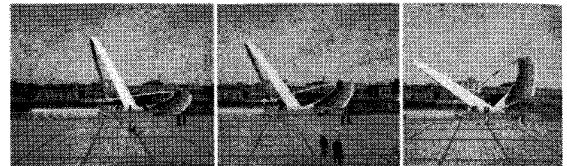
독일 뒤스부르크(Duisburg)의 항구에 아치 형태로 움직이는 현수교량은 주 스팬이 개략 74m이다. 대형 선박이 통과하도록 백스테이 케이블은 데크가 약 9m 정도 상승하도록 당겨진다. 데크는 PC RC가 힌지로 연결되고 데크 길이의 변화는 지지부분의 슬라이딩 지역에 의해 상쇄된다. 데크가 경량이기 때문에 필요한 백스테이 힘은 상당히 적어서 단순한 소형 수압 실린더에 의해 운영된다<그림 08>.

영국 뉴캐슬(Newcastle) 타닌(Tyne)강을 횡단하는 108m 스팬의 게이트헤드(Gatehead) 밀레니엄 브릿지는 최근에 건설된 모바일 브릿지 중에 가장 관심을 끄는 구조물 중에 하나다. 휘어진 교량 데크는 거대한 경사아치에 앵커된 행거에 의해



<그림 8> arching에 의한 개폐과정

지지된다. 교량은 강에 연직 방향으로 설치된 수평축으로 전체 구조물이 회전하면서 개폐된다. 개폐되는 모양은 우리가 천천히 눈을 감고 뜨는 모양을 연상케 한다. 열린 상태에서 교량 데크는 경사진 아치와 같이 작용하고 주 아치에 의해 안정화된다. 교량에 알루미늄이 사용되었음에도 불구하고 전체 움직이는 중량은 850ton에 달한다. 더욱이 교량 양단부에 설치된 수압 잭은 회전하는 과정에서 모든 움직임을 제어한다<그림 09>.



<그림 09> 아치의 회전에 의한 개폐과정

3. 결론

로마시대이후부터 모바일 브릿지들은 다양한 기능을 가지고 있다. 현재 그것들은 선박운하를 통과하는 보행자 교량이 필요할 때 선박이 통과하도록 이용되어 왔다.

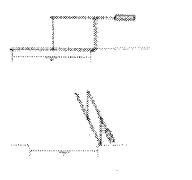

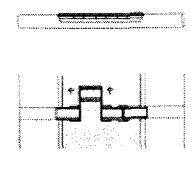
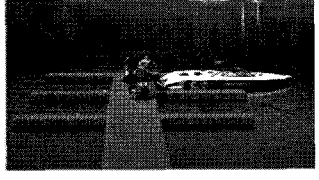
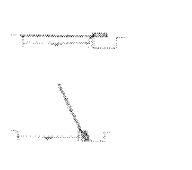

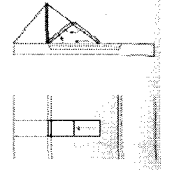

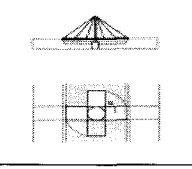

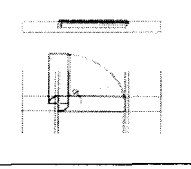
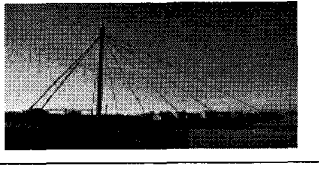
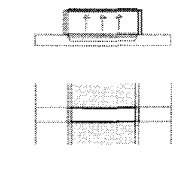
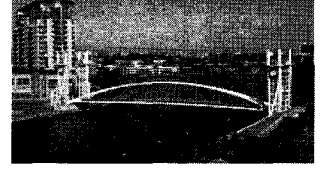
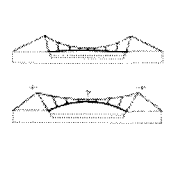
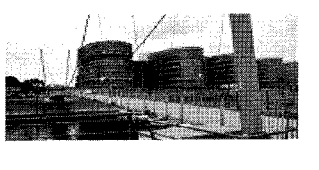
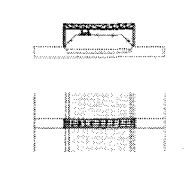
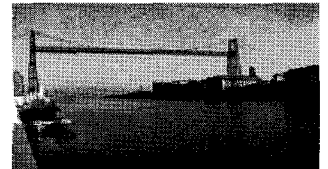
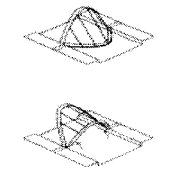
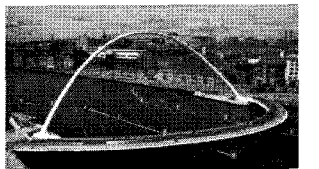
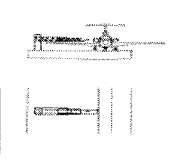

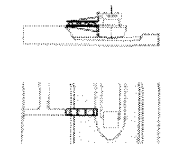
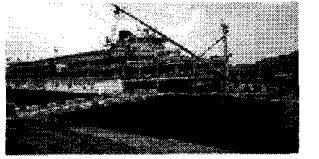
여러 개의 기본적인 형태들은 역사를 통하여 발전되어 왔다. 모든 사이트는 엔지니어에게 가장 적절한 형태를 선택하도록 물리적, 경제적, 정책적 criteria를 가질 것이다. 혁신적인 디자인을 통하여, 현대적인 엔지니어들은 재능의 확산이 계속 될 것이다.

참고문헌

1. Schatz U., Diplomarbeit 08/01, *Bewegliche Bruecken*, University Stuttgart 2001
2. Bill, M., *Robert Maillart*, Zurich/ Muich, 1990

3. Billington, David P., *The Art of Structural Design: A swiss Legacy*, Princeton, 2003
 4. Dieterich, Richard, J., *Faszination Bruecken*, Munich, 1998



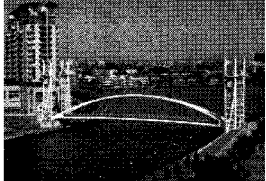


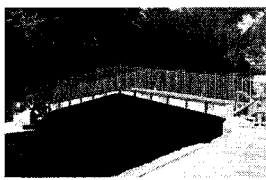
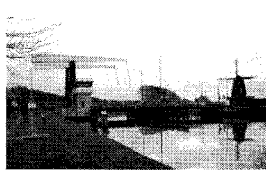
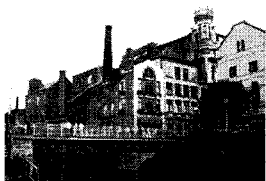
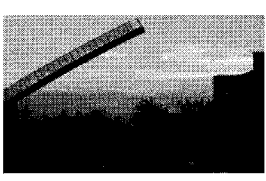

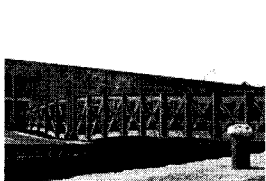


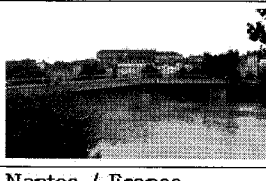
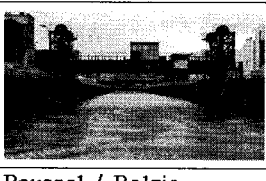




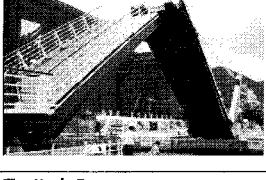
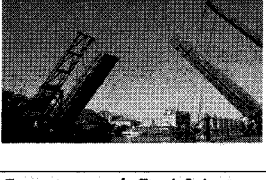


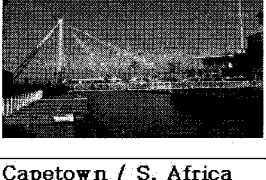

5. Holate, Alan, *The Work of Joerg Schlaich and his Team*, Stuttgart/London, 1997
 6. Urschula Baus, Mike Schlaich, *Footbridge*, Basel/Boston, 2007

| 개폐형식 | 사례 | 개폐방식 | 사례 |
|---|---|---|--|
|  |  |  |  |
| draw bridge | | pontoon bridge | |
|  |  |  |  |
| bascule bridge | | folding bridge | |
|  |  |  |  |
| swing bridge | | swing bridge | |
|  |  |  |  |
| vertical lift bridge | | arching bridge | |
|  |  |  |  |
| transporter bridge | | tiltin bascule bridge | |
|  |  |  |  |
| telescoping bridge | | passenger bridge | |

〈표 01〉구동방식에 의한 도개교의 분류

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Bremen / Germany Bascule Bridge | Folding Bridge | London / UK Swing Bridge | London / UK Retractable Bridge |
|  |  |  |  |
| Berlin / Germany Bascule Bridge | Duisburg / Germany Convertible Bridge | London / UK Swing Bridge | London / UK Rolling Bridge |
|  |  |  |  |
| Fehman / Germany Bascule Bridge | Greifswald / Germany Bascule Bridge | London / UK Bascule Bridge | London / UK Swing Bridge |
|  |  |  |  |
| Greifswald / Germany Bascule Bridge | Kiel / Germany Folding Bridge | London / UK Bascule Bridge | London / UK Bascule Bridge |
|  |  |  |  |
| Leer / Germany Bascule Bridge | Berlin / Germany Bascule | Dublin / Ireland Swing Bridge | Falkirk / UK Rotating Bridge |
|  |  |  |  |
| Berlin / Germany Lift Bridge | Bremen / Germany Bascule Bridge | Gatehead / UK Rotating Bridge | Glasgow / UK Swing Bridge |
|  |  |  |  |
| Bremen / Germany Swing Bridge | Briecht / Germany Bascule Bridge | Glasgow / UK Bascule Bridge | Huddesfield / UK Lift Bridge |

〈표 02〉 도개교 사례 1

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Luebeck / Germany Lift Bridge | Liege/ Belgie Bascule Bridge | Irvine / UK Telescope Bridge | Manchester / UK Lift Bridge |
|  |  |  |  |
| Fivelingo / Nederland Bascule Bridge | Amsterdam / Nederland Bascule Bridge | York / UK Bascule Bridge | London / UK Bascule Bridge |
|  |  |  |  |
| Rijksstrat / Nederland Bascule Bridge | Gent / Belgie Swing Bridge | Viann do Castelo / Por. Swing Bridge | Viareggio / Italy Bascule Bridge |
|  |  |  |  |
| Binic / France Bascule Bridge | La Roche / France Swing Bridge | Porvoo / Finland Bascule Bridge | Sluis / Norway Bascule Bridge |
|  |  |  |  |
| Nantes / France Bascule Bridge | Brussel / Belgie Lift Bridge | Stockholm / Sweden Sliding Bridge | Buenos Aires/Argentina Swing Bridge |
|  |  |  |  |
| Barcelona / Spain Bascule Bridge | Barcelona / Spain Sliding Bridge | Toji / Japan Bascule Bridge | Capetown / S. Africa Bascule Bridge |
|  |  |  |  |
| Lagos / Portugal Bascule Bridge | Risbon / Portugal Swing Bridge | Capetown / S. Africa Swing Bridge | Norwich / UK Swing Bridge |

〈표 03〉 도개교 사례 2

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Oporto / Portugal Bascule Bridge | Oporto / Portugal Bascule Bridge | Fiumicino / Italy Bascule Bridge | London / UK Bascule Bridge |
|  |  |  |  |
| Fredrikstad / Norway Bascule Bridge | Roskilde / Bascule Bridge | Brugg / Belgie Lift Bridge | Torquay / UK Bascule Bridge |
|  |  |  |  |
| Swansea / UK Swing Bridge | Gosport / UK Bascule Bridge | Hull / UK Swing Bridge | London / UK Lift Bridge |
|  |  |  |  |
| Barnstaple / UK Swing Bridge | Vasteras / Sweden Bascule Bridge | Wolgast / Germany Bascule Bridge | Castell / Draw Bridge |
|  |  |  |  |
| Falz / Switzerland Swing Bridge | Oilplatform Telescope Bridge | Stage Telescope Bridge | Harbour Gangway Bridge |

〈표 04〉 도개교 사례 3