
보도육교의 구조적인 컨셉에 대한 세계적인 추세

A world-wide trends in structural concepts of footbridge

박 선 우*

Park, Sun Woo

Abstract

A vocabulary for a understanding bridge has a different scope. There are the urban setting, landscape, lightness, from minimum to maximum, continuity, material, erection, motion and dynamic. Aesthetics criteria of footbridge design are movement and grace, space and experiment, symbolism, iconic, sculpture, innovation, spectacle, lighting, gemetry and wonder.

New structural concepts of pedestrian bridges are presented on examples of recently built structures. The main characteristics of described structures are appropriateness, humanity, structural efficiency and aesthetics.

Keywords: *footbridge, aesthetics criteria, structural concept, landscape, technology and art, innovation*

1. 서 론

교량건축은 본래의 기능에 적합하고 기능이 표출되어야 한다. 교량의 기능은 보행자를 자연 방해물 또는 도로를 넘어 통행하도록 두 지역을 연결하는 것이다. 그리고 교량형태는 이러한 기본적인 기능을 표현하여야 한다. 최선의 구조적인 해결은 지역을 연결하는 기능을 가장 만족시키는 동시에 주변 환경에 적합한 기하형태가 되어야 한다. 구조 디자이너의 역할은 경제적이고 타당한 방법으로 합리적인 형태를 발견하는 것이다.

구조 디자이너의 관점에서 개념적인 디자인은 예술과 기술을 이해시키고 개발하여야 한다. 구조적인 문제들은 새로운 디테일의 개발, 새로운 시공방법 또는 신기술의 적용을 유도하도록 다각적인 방법으로 이끌어 나가야 한다.

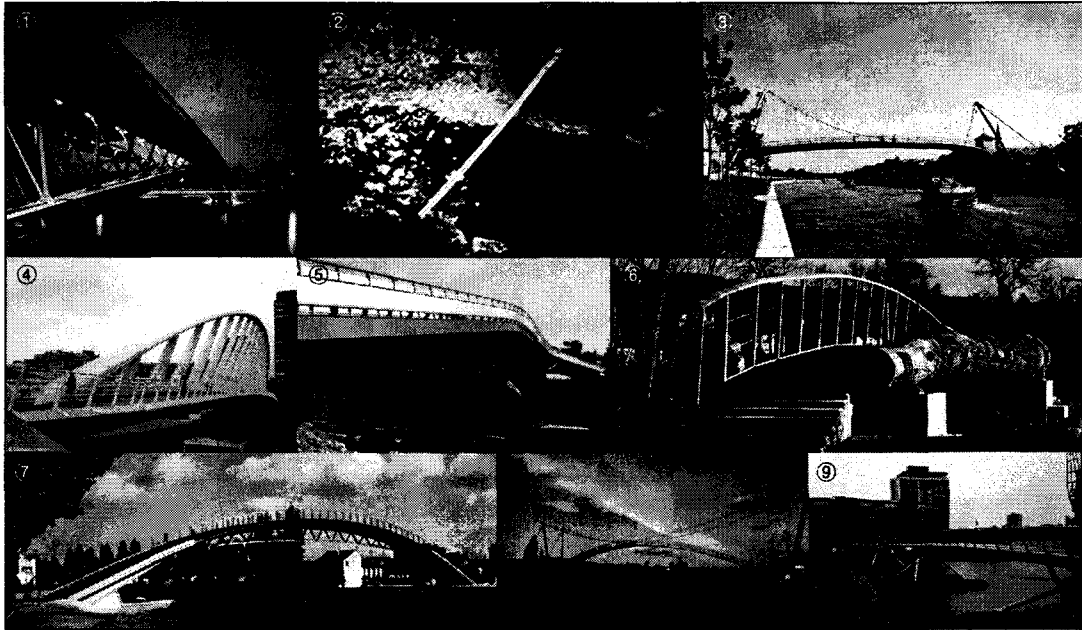
교량 구조물은 조각품이 아니다. 캔텔라, 마

야, 네르비, 토로하, 아련 등과 같은 엔지니어들에 의한 구조 디자인은 예술작품이 되도록 전형적인 작품의 모방을 거부하였다. 교량의 개념적인 디자인이 창조적이고 디테일하게, 경제적으로 시공되었을 때, 공학은 과학에서 예술의 범주로 이동한다.

디자인의 주된 개념은 타당성이 있어야 한다. 어느 누구도 뒤에서 당기는 케이블 없이 단지 거대한 주탑에 의존하여 비대칭으로 현수된 사장구조에 대하여 새롭게 생각하는 사람은 하나도 없다. 전원적인 지역에 승마를 위한 교량에서 유리상판으로 생각하는 사람은 아무도 없을 것이다.

이 논문에서 교량의 의미와 미적 기준에 대해 각각의 해외사례를 들어 설명하고 혁신적인 구조적인 개념으로 디자인된 해외교량의 사례에 대하여 살펴보기로 한다.

* 정회원 · 한국예술종합학교 건축과 교수



<그림 1> 교량의 의미들이 표출된 교량들 ① 도시의 환경구조물 ② 주변환경과 조화
③ 경량성 ④ 간결성 ⑤ 내력의연속성 ⑥ 재료 ⑦ 시공성 ⑧ 율동성 ⑨ 율동성

2. 교량의 의미

교량이라는 의미는 무엇인가에 대한 명확한 해법은 없을 것이다. 기술공학이나 예술의 관점에서 판단하는 기준은 공통적인 의미에서 찾아볼 수 있고 각자의 주관적인 판단에 의존된다.

2.1 도시의 환경구조물

솔페리노(Solferino) 육교는 강을 횡단하는데 여러 곳에서 접근할 수 있는 보도상판을 기본 아이디어로 하고 있다. 하중과 통로의 흐름은 일치하고 있고, 중앙에 위치하는 개방된 공간은 산책로를 형성하고 있다.

2.2 주변 환경과 조화

스위스에 있는 수란선스(Suransuns)橋는 구조와 주변환경을 잘 조화시킨 사례 중에 하나이다. 다각형 곡선의 경량성에 반하여 당기는

인장재는 암반에 앵커되었다.ダイ나믹한 효과를 얻기 위해 케이블의 인장력, 그리고 세장한 지지 부재에 약간의 현수곡선이 이루도

록 교량상판을 위해 화강암이 선택되었다.

2.3 경량성

독일 구조 엔지니어는 슈라이(J. Schlaich)는 첨단시공과 실험적인 분야에서 많은 프로젝트를 수행하였다. 각 프로젝트는 구조적인 원리와 그것에 대한 구조적인 디자인을 위한 기회로 이용하였다. 그는 엔지니어의 언어에 심오하게 심취하고, 아이디어를 가지고 테스트와 실험을 하며, 구조적인 힘의 원리를 혁신적인 구조 디자인에 적용 시켰다. 교량에서 곡면형태는 통로에 굴곡을, 그리고 구조물에 새로운 평형상태를 유지하였다.

2.4 간결성

칼라트라바(S. Calatrava)는 단순한 아치를 이용하여 보는 사람으로 하여금 간결함과 긴장감이라는 최대의 효과를 창출하였다. 뒤틀림으로 작용하는 부재에 대해서 케이블에 응력을 가하

여 비대칭 구조물에서 편심을 갖는 보행로의 하중 흐름으로 테토닉한 구조적인 면을 보여주었다.

2.5 내력의 연속성

힘에 대한 다이어그램을 구조체에 반영시킨 툴루스(Toulouse)교는 그 자체가 자연적인 환경과 어울리는 힘의 연속성을 표현하고 있다. 이러한 비대칭은 교량의 길이 따라 변하는 곡률을 갖는 곡선 형태의 강철판 구조물은 구조적인 울동의 표현을 동반하고 있다. 구조물의 기하학적인 다양성과 함께, 컴퓨터를 이용한 절단 기술은 이러한 제작과 강재부재의 조립에 대한 새로운 가능성을 제공하였다.

2.6 재료

상이한 재료의 표현과 이용은 실험을 위한 프로젝트에 적합하다. 사례로서 로글리(Leugly)에 있는 8m 스패의 아주 소규모의 육교에 대해 알아보자. 구조는 통나무로부터 캔티레버된 상판을 갖는 뒤틀림을 받는 빔으로서 통나무의 전단면을 이용하였다. 아주 상이한 재료의 이용으로 재료가 갖는 최대한의 질감을 표현하였다.

2.7 시공성

합리적인 설치(erection)는 열악한 부지조건을 반영하여 구조형태, 설치시간 또는 현대적인 리프팅 기술을 한 단계 끌어 올릴 수 있다. 생데니스(St.-Denis)의 프랑스 국립 경기장에 있는 육교는 공장 생산되었고, 기록적인 시간에 설치되었다. 구조적인 개요(전략)는 수송과 설치방법이었다. 구조요소와 구조물에 대한 힘의 흐름에 대한 체계적인 조직은 디자인 논리를 표현하였다.

2.8 운동성

독일에 있는 카트버클(Katzbuckel)교는 지적인 시공에 대한 인텔리전트에 대해 감히 기념

비적이라 할 수 있다. 움푹이고 있는 고양이의 등뼈를 연상케 하는 그것은 당연히 선박 통과 높이를 제공하고 있다. 아치의 곡선은 안정적인 모멘트를 내재하는 모션을 표현하고 있다. 구조역학적인 범위에서 기술개발과 응용성을 보여주고 있다.

2.9 울동성

구조적인 관심사중에 육교의 다이내믹은 현재에 핵심거리가 되고 있다. 런던에 있는 밀레미니엄 교량에 대한 최근의 경험은 어떠한 점들이 우리에게 중요한가를 보여주고 있다. 그것들은 역시 이러한 분야에서 우리의 지식의 개발과 상대적인 상태를 논증하고 있다.

3. 교량의 미적 기준

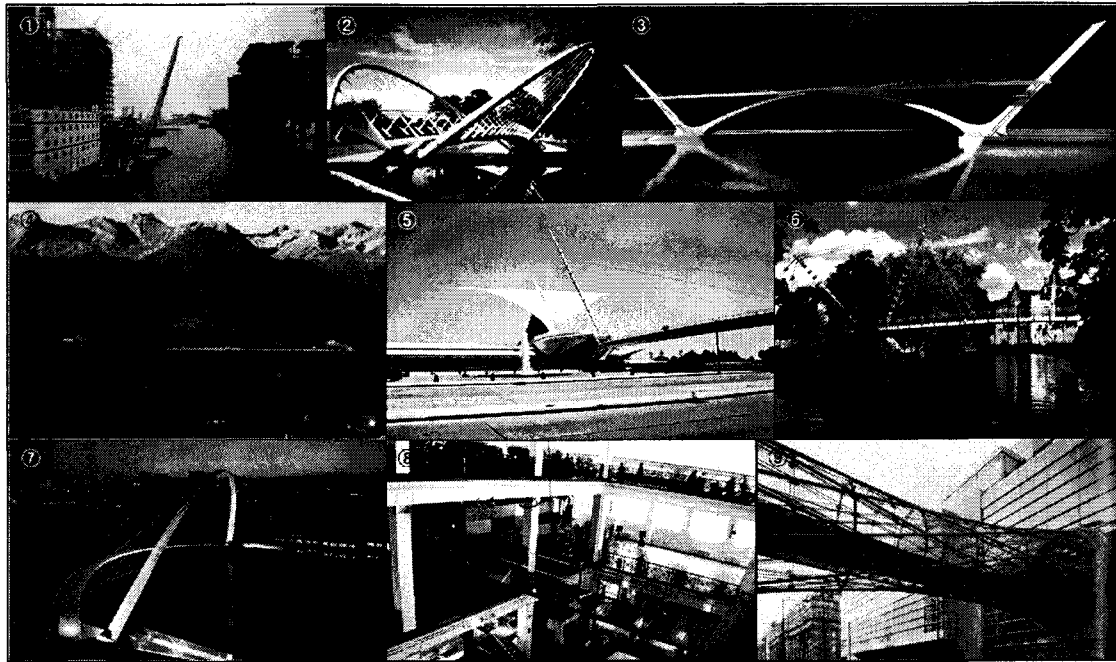
우리가 어떠한 교량을 볼 때, 아름다움을 표현하는 언어는 생각하는 사람의 관점에 따라 동원되는 언어는 각양각색일 것이다. 이러한 표현은 세대와 취향의 국경을 넘어 동일할 것이다. 교량의 아름다움에 대하여 각각의 사례를 동원하여 다음과 같은 관점에서 이해할 수 있다.

3.1 운동성

윌킨슨(Wilkinson)이 설계한 런던 부두에 있는 남쪽 부두를 횡단하는 4개의 스패으로 된 180m 길이의 S-형태 교량은 엔지니어 브로브스키(J. Borowski)와 함께 디자인되었다. 보행자에게 운동감이 스며들게 하고 보는 사람으로 하여금 우아함을 느끼게 한다.

3.2 공간과 경험

개울이 흐르는 꽃동산에 나비 한 마리가 너스시 앉아있는 모습을 연상케 하는 모습을 생



<그림 2> 미적 기준을 표현한 교량들 ① 운동성 ② 공간과경험 ③ 심볼주의 ④ 간결성
 ⑤ 조형성 ⑥ 혁신성 ⑦ 주변공간인식 ⑧ 경량성 ⑨ 기하형태

각해보자. 목가적인 전원지역과 잘 조화를 이루는, 주위공간을 최대한 고려된 교량이라 할 수 있다.

된 교량은 바다와 인접된 곳에 설치되었다. 개폐식으로 계획된 전시장 지붕 후면에 위치한 교량으로 단일 주탑과 케이블을 이용한 조형성이 뛰어난 교량으로 분류된다.

3.3 심볼주의

그 지역을 상징하는 개념적인 디자인을 하다보면 작품구상에 많은 장애를 가져온다. 그 지역의 특성에 잘 맞게 디자인하여 그 구조물이 그 지역을 상징화 할 수 있는 사례를 이 교량에서 잘 표현되었다고 할 수 있다.

3.6 혁신성

영국에 설치된 이 교량은 전형적인 구조재가 아닌 알루미늄을 이용한 혁신적인 교량으로 분류된다. 상판 단면과 핸드레일을 살펴보면 알루미늄을 모듈화하여 어떠한 형태로도 공장생산 제작을 가능하게 만들었다.

3.4 간결성

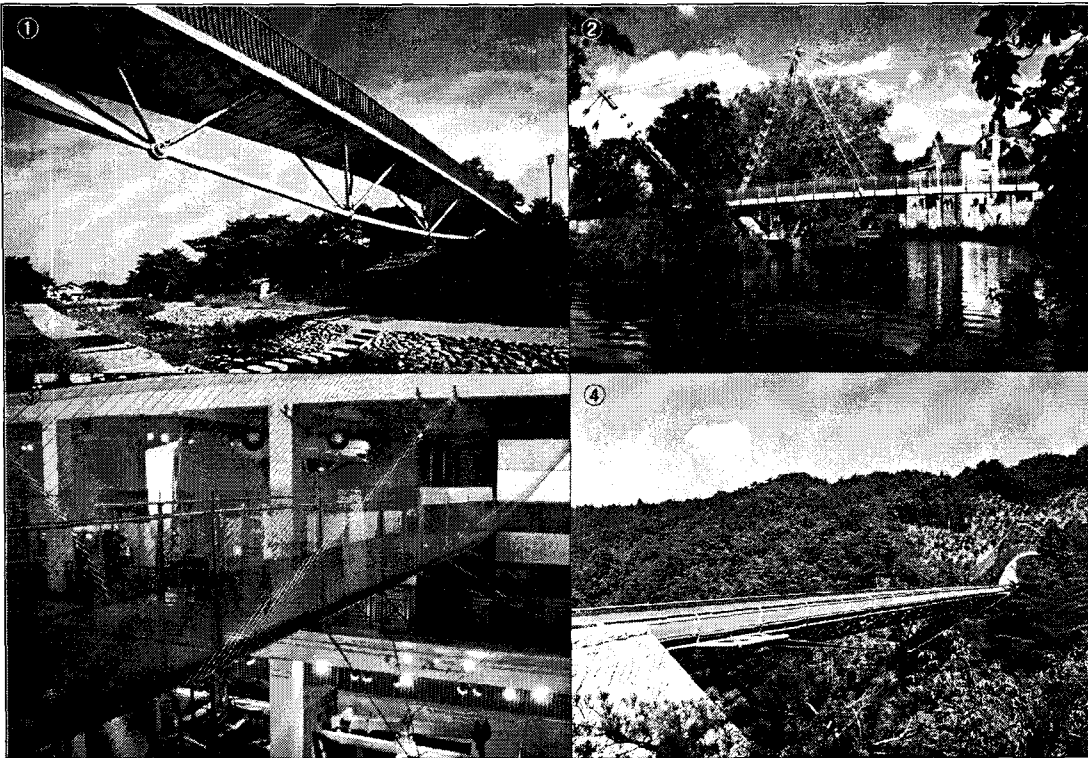
경관이 수려한 호수에 복잡하고 둔탁한 구조보다는 아이콘적인 간결성은 주변환경과 잘 조화를 이룬다. 강철로 된 트러스 보다 강재의 고인장력을 이용한 현수교는 보는 사람으로 하여금 간결성을 느끼게 한다.

3.7 주변공간 인식

항구 입구는 선박이 자주하는 통과하는 곳으로 우리가 이제까지 생각해 온 관념으로는 쉽게 교량을 설계하기가 쉽지 않다. 건축가과 구조 엔지니어는 이러한 공간적인 특징을 잘 인식하여 아치와 상판이 동시에 회전하게 계획한 점이다.

3.5 조형성

칼라트라바가 설계한 밀워키 전시장에 설치



<그림 3> ① Inachous 교 ② Challenge 교 ③ Lockmeadows 교 ④ Miho 교

3.8 경량성

런던의 재료 전시장에 케이블과 유리로 설치된 보행교는 보행자로 하여금 긴장감을 느끼게 한다. 얼음판을 걷는 기분을 느끼게 하는 이 교량은 경량성의 극치를 이루게 한다.

3.9 기하형태

두 건물을 연결하는 이 교량은 단순한 HP-셸 형태를 취하고 있다. 이러한 단순한 기하 형태를 하나의 원통 구조물로 승화시킨 교량이라 할 수 있다.

4. 새로운 구조적인 개념에 대한 해외사례

최근에 아주 야심 찬 보도교들이 건설되었다. 그들 중에 많은 교량들은 특이한 형태, 새로운

구조 시스템, 대담한 장스팬으로 대중에게 강한 인상을 심어주고 있다. 몇몇 구조물들은 새로운 재료 또는 시공기술이 이용되었다. 그러나 우리가 이러한 구조물들을 조심스럽게 접근한다면, 우리는 그것들의 소수만이 실제로 혁신적으로 디자인되었다는 것을 인지할 수 있다.

최근에 건설된 혁신적인 구조물에 대해 살펴본다면, 우리는 그러한 구조물들이 전통적인 방법으로 조합된 우리에게 익숙한 구조요소(거더, 트러스, 스택트, 프레임, 아치 또는 사장 또는 현수케이블)들의 장점을 잘 이용된 것을 볼 수 있다. 그들 중에 대부분은 평면과 입면에서 곡률을 이루고 있고, 아치와 케이블로 교량의 건축적 해결이 돋보이는 공간구조로 되어 있다. 스트레스 리본(stress-ribbon) 구조물의 완만한 곡률은 목가적인 환경에 잘 융합되고 있다.

4.1 인아츄스교 (INACHUS/일본)

인아츄스 교량은 남부 일본에 있는 베푸(Beppu)시에 건설되었다. 이 육교는 전통적인

석조 아치교량의 미묘한 아름다움과 현대적인 현수구조물의 인장력과 조합을 이룬다. 교량은 아치 형태의 상현재와 현수상태의 하현재로 구성되는 블록렌즈 형태로 디자인되었다. 화강암 상현재는 주요 구조재로서 뿐 만 아니라, 보행자를 위한 바닥으로서 역할을 한다.

교량의 스패ンは 34.0m이고 상현재와 하현재의 높이는 2.20m이다. 상현재는 화강석 블록의 중앙에 구멍을 통하여 프리스트레스 텐돈으로 포스트텐션되었다. 하현재는 다각형 형태의 현수선 형태를 가지고 있다. 교량의 시각적인 효과는 단순함과 강함 그 자체를 표현하였으며, 자연 화강암은 그 주변과 잘 조화를 이룬다. 이 교량은 구조의 다이내믹과 시각적인 조형미가 잘 표현되었다.

4.2 재료 전시장橋 (Challenge Material/영국)

런던 과학박물관의 주요 새로운 재료 전시장의 심장부에, 새로운 교량은 아트리움의 중간 레벨에 걸쳐있다. 기술 한계성에 의도에서 디자인된 교량은 재료 특성을 명확하게 표현하였다. 거의 예기치 못하도록, 교량은 상당히 세장한 스텐레스鋼 케이블로 현수되는 여러 장의 유리 상판으로 된 데크로 구성되어 있다. 이 다리는 스트레스 게이지로 이러한 와이어의 채널링 그리고 조명시스템과 음향 기구를 일체화하여, 재료의 한계성에 도전하고 방문객을 유혹하는 하나의 전시물이 되었다.

4.3 로크미도우橋(Lockmeadow/영국)

로크미도우 교량은 메이드 스톤(Maidstone)의 중심부에 있는 굽어진 미드웨이江 위에 얹혀졌다. 교량은 역사학적, 고고학적으로 중요한 도심지역에 있는 아키비숍宮에 인접해 있다. 필요한 옵션을 검토한 후에 서쪽 독방에 지지되는 조형적인 계단으로부터 외부로 경사진 한 쌍의 기둥으로부터 지지되는 데크로 된 두 스패의

사장교로 선택되었다. 이것은 측면적으로 압출성형으로 제작되고 광폭 알루미늄 판으로 만들기 위해 서로 프리스트레스로 묶은 박막 데크를 이용하였다.

압출성형은 표면이 미끄러지지 않은 것과 같은 사항을 포함하여 데크의 모든 기능적인 요구에 맞도록 디자인되어야 했기 때문에, 부수적인 구조재가 없고 또는 서로 덧대어 붙여졌다. 사장 케이블은 강재주물 소켓과 함께 \varnothing -45mm의 로프로 이용되었다. 데크 외부에 고정된 강재 단면은 조절할 수 있는 길이로 공장생산되었고, 하부 앵커 지점에 있는 외부의 실린더 형태의 소켓을 이용하여 제작되었다.

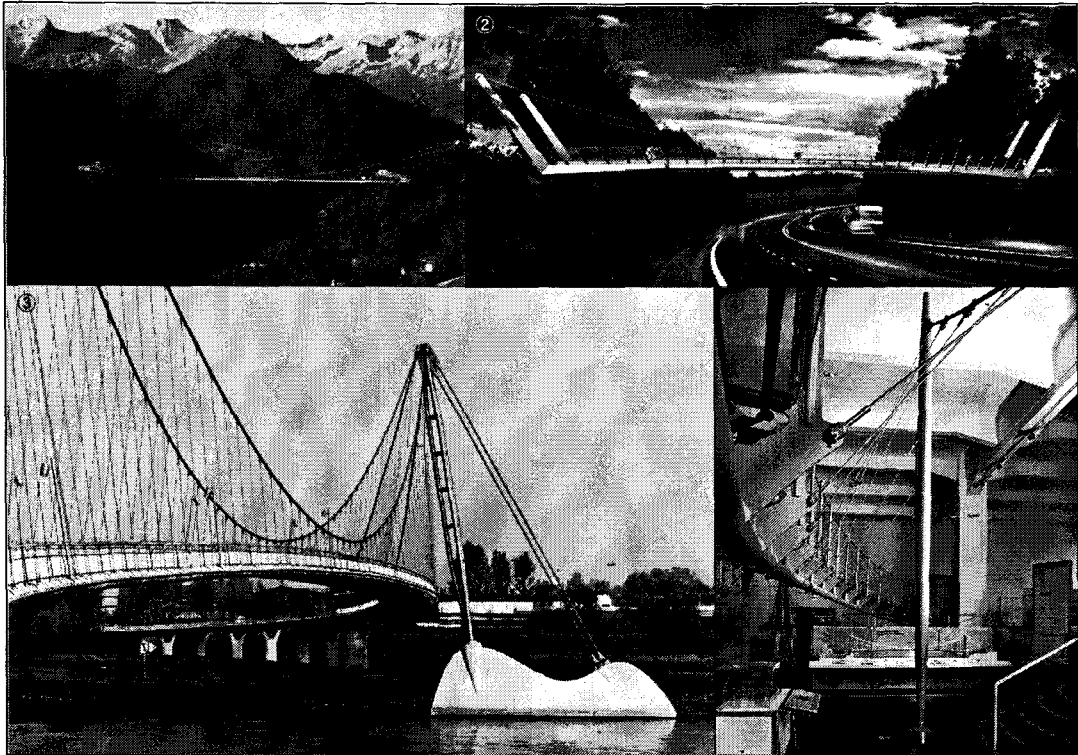
프로젝트는 구조와 건축이 함께하는 아름다움의 혁신적인 표현이었고, 고품질의 랜드마크 교량으로 창조되었다.

4.4 미호 박물관橋 (Miho Museum/일본)

박물관 교량은 일본 시가라키(Shiga-raki)의 미호 박물관으로 통하는 출입구로서 디자인 되었다. 교량은 지역적으로 아름다운 걸출한 계곡과 미호 박물관의 장면 전환의 의도가 내포되어 있다. 박물관에 도달하기 위하여, 관람자는 산골짜기를 횡단하여 박물관에 들어오는데 팔히 콘크리트의 터널을 통과하여야 한다. 공간 트러스로 된 교량 데크는 경사진 아치로 된 단일 주탑에 현수되어 있다. 후면 케이블은 터널의 콘크리트 구조에 앵커되었다. 케이블은 자유로이 걸쳐있는 데크의 아래 부분에 있는 킹포스트에 연결된다. 이러한 케이블들은 상향 풍압과 처짐 제어를 위하여 포스트텐션되었다. 공간 골조는 7.5m의 폭을 따라서 세 개의 상현재와 단일 하현재로 된 삼각형 형태로 계획되었다.

4.5 브라노프 호수橋 (Vranov Lake/체코)

1930년대에 건설된 교량은 브라노프 호수에



<그림 4> ① Vranov 교 ② Halgavor 교 ③ Kelheim 교 ④ Deutsches Museum 교

위치하는 아름답고 나무가 울창한 수목 위락 시설에 위치한다. 구조물은 호수 한 측면에 있는 공공 해수욕장과 반대편에 위치하는 레스토랑과 쇼핑 지역을 연결한다. 구조물은 개스와 용수를 운반하기 위해서 디자인되었다. 30.0 + 252.0 + 30.0m으로 된 세 경간의 40cm의 박막 데크는 두개의 경사 케이블위로 현수된다. 6.5m에서 9.7m의 다양한 폭의 PC 부재로 조립된 데크는 버팀대에 있는 타르탄 플레이트(tartan plate)에 의해 견고하게 고정된다. 데크의 추가적인 강성은 데크 내부에 위치하는 외부 케이블로 견고하게 고정되었다.

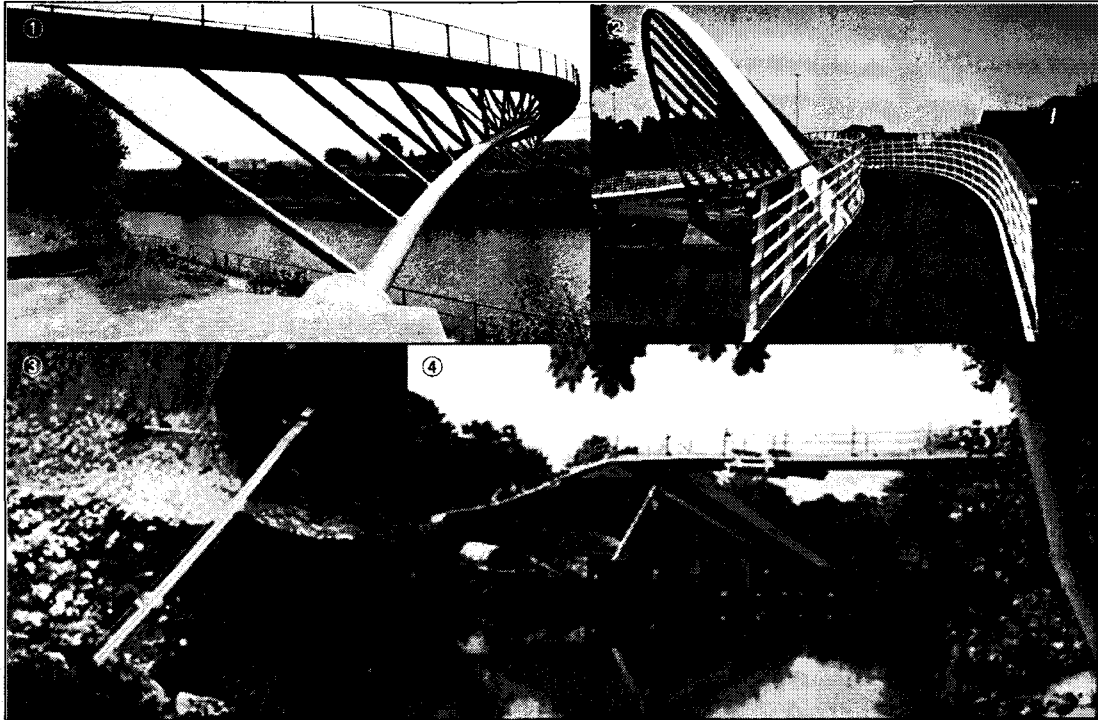
4.6 헬가포교(Halgavor/영국)

헬가포 교량은 47.0m 스패의 보행자, 사이클 트랙 및 승마의 기능을 겸하는 현수교로서 교통량이 많은 A3 고속도로를 횡단한다. 유리섬유로 보강된 비닐 에스터 레진(vinyl ester resin)으로 된 데크는 강관 기둥, 강재 스피럴 스트랜드(spiral strand) 케이블과 스텐레스鋼

행어로 구성되는 평범한 지지 시스템으로 현수된다.

4.7 켈하임교(Kelheim/독일)

소도시 켈하임에 건설된 보도교 디자인은 <science, not intuition, is tool of creativity>라는 것을 입증하였다. 구조적인 해결은 곡형 구조물의 심오한 구조거동을 이해함으로써 발전되었다. 교량은 모한-다누베(Mohan-Danube) 운하를 횡단하는 보행자를 자연스러운 곡선으로 연결된다. 평면상 \varnothing -18.89m에서 \varnothing -37.79m의 곡률로 된 데크는 평면상 곡선의 내부에 위치한 케이블로 현수된다. 양 독방에 위치하는 두개의 경사 주탑은 행어로 된 현수 케이블로 지지된다. 기하 형태와 케이블에 걸리는 초기응력은 행어의 수직분력이 고정하중과 균형을 이루는 방법으로 디자인되었다. 디자인은 어떻게 순수한 엔지니어의 접근 방법이 믿기 어려운 아름답고 우아한 구조물이 창조되는가를 명확히 보여주고 있다.



<그림 5> ① Ripshorst 교 ② Merchant 교 ③ Suransuns 교 ④ Medway 교

4.8 독일박물관교 (Deutsches Museum/독일)

독일 박물관(뮌헨에 위치한 과학기술박물관)의 실내에 원형형태의 보행육교는 여러 전시장을 접근하는데 필요하지만, 그러한 의미를 넘어서 교량 공학의 예술을 표현한 고무적인 구조물이다. 원형 형태의 구조물은 단지 한 측면에서 현수될 필요가 있고 두개의 내력에 의하여 발생하는 뒤틀림을 상쇄한다.

뮌헨 박물관에서 이러한 힘들은 유리로부터 데크 하부에 있는 아치 상부에서 원형 형태로 당기고 있는 케이블이 가시화 되었다. 관심이 많은 박물관 관람자는 마스트의 안정을 궁금하게 생각할 것이다. 단지 입면상의 두개의 현수 케이블로 유도되지만, 그것의 고착점들이 동일 레벨이 아닌 상부 또는 마스트의 하부 힌지 아래에 위치한다는 사실 때문에 안정된다는 사실을 알 수 있다.

4.9 린스호스트교(Ripshorst/독일)

오버하우젠(Oberhausen) 근교의 두 운하를 관통하는 스쿠르(skew)와 한 측면에 있는 하우스 린스호스트와의 완만한 연결은 원형형태의 교량 상판을 위해 제안되었다. 도시와 지형학적인 관점에서 이 지역은 현수 상태는 허용되지 않았지만, 밀면으로부터 지지되는 소위 아치형태로 해결되었다. 현수구조의 선대칭 형태는 곧 아치형태가 된다. 따라서 켈하임 또는 독일 박물관 교량의 3차원적인 기하형태는 린스호스트에서 고정하중에 대하여 항상 축방향 압축력이 작용하는 아치형태로 변환되었다. 아치의 접합과 그것의 스텐트는 주물형강으로 제작되었다. 붐비는 수상로인 관계로 야간 설치작업을 위하여 데크는 강재로 제작되었다. 공장에서 완전한 사전 조립 후에, 교량은 현장에서 야간에 설치되었다.

4.10 머찬드교(Merchant/영국)

최근에 한 측면에서 아치로 현수되는 데크로 된 여러 구조물은 건설되었다. 맨체스터에서 건

설된 최초의 교량은 명확히 내력의 흐름을 표현하였으며, 동시에 강가의 양 독방의 보행자의 자연적인 연결을 시도하였다.

4.11 수란선스橋(Suransuns/스위스)

수란선스 교량은 힌터하인江을 횡단하는 보행자 전용으로서 40.0m 스패의 스트레스 리본(stress-ribon)으로 구성되었다. 그것의 데크는 정방형 강철판 위에서 프리스트레스되는 화강석 슬라브로 건축되었다. 텍토닉한 몰탈 접합이 불가능한 것이 아니지만, 화강석 슬라브의 맞댐 접합은 3mm 두께의 알루미늄 판으로 채워졌다.

4.12 미드웨이강橋(Medway/영국)

휘어진 형태로 된 스트레스 리본(stress-ribon) 구조물은 메이드스톤市에 2001년에 완공되었다. 37.5+49.5m의 두 경간으로 된 구조물은 최대 5%의 경사도를 가지고 있다. 두 스패사이의 평면상 각도는 25도이다.

교량 데크는 합성 데크 슬라브로 된 PC 콘크리트 조각으로 구성된다. 데크는 내력 케이블에 현수되고 현장에서 합성 슬라브 내에 프리스트레스 텐션으로 포스트 텐션되었다. 중간 지지점은 압축재 스텐트(strut)로 구성되고 인장재로 서로 당긴다. 현장 제작된 콘크리트 계단은 타이 역할을 한다. 공장 제작된 스텐레스 강봉 스텐트는 인장 타이로서 사용되었다. 교량은 자연적으로 주변 환경에 흡수되어 연속적이고 보완적인 완만한 곡선으로 특징화되었다.

이러한 프로젝트들은 우리들에게 그것들의 엔지니어링 과정, 다가오는 세대에 작업의 여지를 열어놓은 것으로 볼 수 있다. 그것들의 장스팬, 경량성과 함께, 오늘날의 교량들은 우리의 엔지니어링이 직면해야만 하는 새로운 역경이 될 수 있다. 우리는 실험적인 구조물에 대해 쉽게 통제할 수 없을 것이다. 미래에 이러한 경량

구조물들은 우리의 도처에 있을 것이다.

5. 결론

위와 같이 기술된 단원에서 교량의 의미와 미적 기준에 대해서 해외사례를 들어 주관적으로 설명하였다.

기술된 해외사례들은 가장 적절한 방법으로 지역을 연결하는 문제점을 해결하였다. 이것들은 디자이너의 폭 넓은 지식과 개인적인 입장과 경험을 나타내고 있다. 이러한 구조물들은 역시 설계자의 구조 거동의 이해와 그것의 휴머니트를 논증하고 있다. 그리고 역시 직감이 아닌 과학은 창조의 툴이다(*science, not intitution, is the tool of creativity*)라는 사실을 보여주고 있다.