

# 교량형태의 개념적 설계: 기하학적 접근법

## Conceptual Design of Bridge Forms: Geometric Approach

김 남 희\* · 고 현 무\*\* · 홍 성 길\*\*\*  
Kim, Namhee · Koh, Hyung-Moo · Hong, Sung-Gul

---

### ABSTRACT

In early design stages structural form finding is of importance. These days the structural forms are forced to satisfy not only engineering criteria but also aesthetic concerns including symbolism. Geometric approach seems to provide many possibilities in generating creative forms as design alternatives for bridge structures. However, the increase in possibilities of geometric application didn't gather much attention from bridge designers who are focusing mainly on structural aspects. Prior to adopting the geometric approach, it is needed to review bridge structures in terms of geometric vocabulary. This study has proposed how to generate geometric forms of bridge structures in terms of geometric computing concepts.

**Keywords:** *conceptual design, geometric approach, design alternatives, form generation*

---

### 1. 서론

최근 기존의 공학적 교량설계가 상당부분 예술적 측면과 분리되어서 발전한 점을 극복하기 위해서 공공 예술이 결합된 새로운 형태를 지향하고 있다. 그러나 창의적이고 예술적인 주관과 과학적이고 공학적인 객관 사이에서 간극을 줄이는 것은 매우 어려운 일이기에, 아직은 이러한 문제점을 줄일 수 있는 합리적인 방법이 존재하지 않는다. 한편, 예술분야에서 기하학은 창의력으로 잉태된 상상의 형태를 표상화 하는데 사용되고 있다. 주관적인 아름다움의 관점을 보편타당한 객관적 관점으로 정리하면서 세워진 미학적 원리에도 기하학이 기저를 이룬다. 이러한 미학적 원리는 자연의 아름다움을 설명하고, 더 나아가서 아름다운 형태를 생성하는 하나의 방법론으로 많은 예술가들이 다양한 방법으로 사용한다. 최근 기하학은 자유형태를 추구하는 건축설계에서 동적 감흥을 주는 다양한 형태를 설계하기 위해서 매우 효과적으로 사용되고 있다 (Pottmann 외, 2007). 이 연구에서는 개념적 설계단계에서 요구되는 창의적 교량형태 생성에 기하학적 접근법을 제시하고자 한다. 우선적으로 교량형태를 기하학적 측면에서 분석해봄으로써 교량형태에 대한 기하학 적용가능성을 살펴본다. 더 나아가, 기하학적 교량형태 생성에 대한 공학적 수월성을 높이기 위해서 수학적 함수를 이용하는데 초점을 둔다. 이러한 연구의 결과는 예술과 교량조형의 간극을 좁히기 위해서 필요한 교량건축의 형태언어와 문법체계, 디자인 원리의 정식화에 도움을 줄 것으로 기대한다.

---

\* 정희원 · 서울대학교 교량설계핵심기술연구단 책임연구원 Email: namheek@snu.ac.kr

\*\* 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수 Email: hmkoh@snu.ac.kr

\*\*\* 정희원 · 서울대학교 건축학과 교수 Email: sglhong@snu.ac.kr

## 2. 기존교량의 기하학적 분석

기하학이란 평면이나 공간 안에서 점·선·면·입체·각 따위의 수리적 관계를 연구하는 학문이다. 이 절에서는 교량형태에 나타나는 기하학적 요소와 이러한 기하학적 요소가 시각적으로 어떠한 효과를 주는 지 살펴본다. 이러한 비교는 교량형태설계에 일반적으로 널리 이용되는 기하학적 원리들이 적용될 수 있는지에 대한 시작점을 열어주기 때문이다. 규모가 큰 교량요소를 기하학적 요소로 분석하기 위해서는 하나의 교량시스템을 구성하는 요소들의 상대적 비례를 고려해서 점·선·면·입체로 분류하며, 이러한 가정에는 상당히 주관적인 판단이 존재할 수 있으나, 향후 기하학적 연산을 이용하여 형태생성이 가능한 측면에 초점을 두고 분류한다.

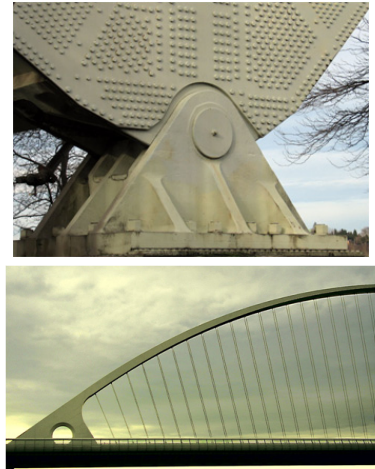


그림 1. 점 요소이용 교량형태

### 2.1. 점 요소를 이용한 교량형태

사실상 모든 기하학적 요소의 시작점인 점 요소를 큰 구조물에서 떼어내서 설명하기는 어렵다. 여기서는 교량형태에서 상대적으로 하나의 지점으로 모아지는 특성을 지닌 하중 지지점과 연결부, 또한 미학적인 감흥을 의도적으로 주기 위한 부분적 요소를 점 요소로 간주한다. 이때, 시각적으로 느끼는 감흥은 정지성, 긴장감, 시선집중 효과이다. 단순교의 힙지 지점, 사장교의 A형 주탑 정상부, 게르버교의 힙지 접합부등의 사례가 포함된다. 그림 1의 점 요소 사례 경우에는 기하학적 입체요소와 면요소를 이용해서 논리연산으로 전개하면 가능할 것이다.

### 2.2 선 요소를 이용한 교량형태

교량설계의 구조적 요소에서 보, 트러스, 케이블, 강관 등은 부재의 단면적에 비해서 길이가 길기 때문에 선 요소로 간주할 수 있다. 이러한 선 요소를 힘을 전달하는 구조요소의 종류에 따라서 수직과 수평 또한, 직선과 곡선으로 기하학적인 다양성을 구사하면 우아미와 상승감 등 새로운 감흥을 주는 교량형태를 생성할 수 있다. 한편, 선 교소를 입체적으로 배치하면 여러 방향에서 조망되는 교량형태가 다채로울 뿐만 아니라 교량을 통과하는 모두에게 색다른 위요감도 제공한다.



(a) 선 요소를 이용한 평면적 교량



(a) 선 요소를 이용한 입체적 교량

그림 2. 선 요소를 이용한 교량형태

### 2.3 면 요소를 이용한 교량형태

기하학적으로 면 요소는 표면적으로 공간에 위치하게 된다. 교량설계에서 면 요소는 부재 두께

는 상대적으로 얇지만 면적을 채우는 효과가 있는 구조적 요소를 면 요소라 할 수 있다. 벽식 교각, 상자형 거터, 셸 또는 그리드 형식의 면요소를 사용하는 교량에서 사례들을 찾아 볼 수 있다.

### 2.4 입체 요소를 이용한 교량형태

기하학적 입체요소는 도형에 대한 합, 차 등의 논리 연산을 사용하여 다양한 형태를 생성한다. 사장교의 주탑, 높은 거터교의 교각 등, 입체 요소를 기하학적으로 사용할 경우 구조적 요소 그 자체가 조형적 요소로 드러날 수 있다.



그림 3. 면 요소를 이용한 교량형태

### 3. 기하학적 개념을 이용한 교량형태 설계

구조물 형태를 설계하는데 기하학을 이용하는 범위는 그래픽 소프트웨어의 발달로 기존의 정형화된 형태에서 자유곡선형 형태(nonuniform rational B-spline NURBS curves)에 이르기까지 거의 무한정 확대되어 가고 있다. 그러나 공학적 기술발전에 크게 의존하는 구조물 형태설계의 발전은 기하학 한편으로 치우친 발전이기 보다는, 공학과 기하학 양자 간 간격을 좁혀 가면서 서로 발전할 수 있는 방법도 동시에 연구되고 있다. 구조물 형태설계에서는 황금률을 포함한 비례, 리듬과 균제와 같은 미학적 원리뿐만 아니라, 자연형태의 형상과 비례를 모방한 다양한 접근을 시도 한다 (김남희, 고현무 2005). 이러한 과정에서 도형에 대한 논리연산의 이용과 변수화에 근거한 다양한 형태설계(parametric form finding)가 매우 중요하다. 이 절에서는 기하학적 원리를 이용해서 교량형태를 생성하는 몇 가지 사례를 설명한다. 기하학적 연산은 Matlab 프로그램을 이용해서 도식화 한다.



그림 4. 입체요소를 이용한 주탑

#### 사례 A: 합동 변환

3차원적 구조물 형태를 생성하는데 기본이 되는 원리는 이동(translation), 회전(rotation)과 반사(reflection)이다. 특히, 형상과 간격을 일정하게 유지하면서 변환하는 것을 합동변환이라 한다. 그림 5의 경우에는 합동 변환을 이하기 위해서 다음 식을 이용한 결과를 보여준다.

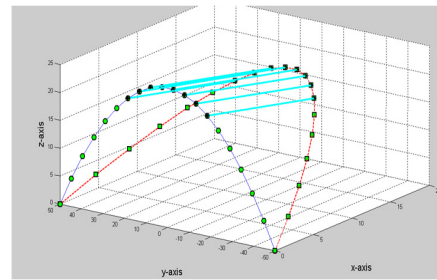
$$x_1 = x \cdot \cos \rho + z \cdot \sin \rho \quad (1)$$

$$y_1 = y \quad (2)$$

$$z_1 = -x \cdot \sin \rho + z \cdot \cos \rho \quad (3)$$



a. Gateshead 교

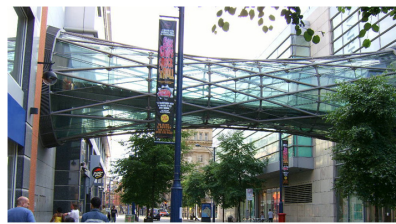


b. 기하학적 연산결과

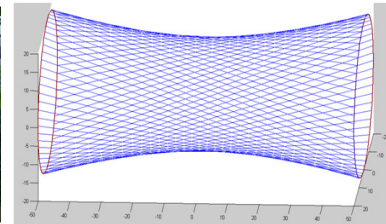
그림 5. 합동변환을 이용한 교량형태

**사례 B: 선직곡면**

임의의 곡선을 생성한 후, 매개 변수를 이용하여 서로 상응하는 일련의 점들을 생성한다. 이러한 두 점들을 연결하는 직선들 (generators)은 직선 요소군(a family of straight lines)을 생성해서 3차원적 구조물 형태로



a. 보도교 사례



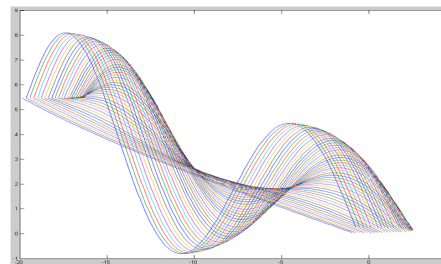
b. 기하학적 연산결과

그림 6. 선직곡면을 이용한 교량형태

발전한다. 이러한 방법으로 형성된 면을 선직곡면 (ruled surface)이라 한다. 곡면의 형태는 준선 (directrices)의 형태와 매개변수 방법에 따라서 다르게 설계할 수 있다. 그림 6의 보도교는 2개의 준선(directrices)을 원형으로 하고, 서로 상응하는 점들을 동일한 매개변수를 이용하여 생성하고, 이 두 점들을 연결하여 생성한 일엽쌍곡면 (hyperboloid) 교량이다.



a. Henderson 교



b. 기하학적 연산결과

그림 7. 자유곡면 교량형태

**사례 C: 자유 곡면**

기하학적 삼각함수 의 주기, 높이와 위상차를 조합하여 다양한 자유 곡면을 구사할 수 있다. 그림 7의 Henderson교의 자유 곡면 또한 sine 과 cosine 곡선의 조합을 수학적 함수를 이용하여 표현하면 그림 7b와 같이 나타난다.

**4. 결론**

개념적 설계단계에서는 교량의 입지조건과 주변 환경을 고려하여 다양한 형태를 자유롭게 생성하는 것이 매우 중요하다. 최근 기하학적 모델링에 대한 도구개발을 비롯해서 구조물형태를 자유롭게 표현할 수 있는 재료, 시공, 구조해석 및 설계기술이 여러 분야에서 다양화 되고 있다. 이 연구에서는 교량형태를 기하학적 연산을 이용하여 교량형태 생성에 대한 가능성을 살펴보았다. 기하학적 접근법은 스케치를 시작점으로 하는 초기 구조계획을 수행하는데 뿐만 아니라 구조적 형태변화에 따른 구조적 거동을 이해시키는 교육용 모델로 매우 유용하게 사용될 것으로 기대한다.

**감사의 글**

이 연구는 국토해양부에서 지원하는 초장대교량사업단 제1핵심과제의 연구결과의 일부입니다. 연구 지원에 감사를 드립니다.

**참고문헌**

김남희, 고현무, “교량설계와 황금률”, 대한토목학회 정기 학술 대회 논문집, 2005, pp596-599  
 H. Pottmann, A. Asperl, M. Hofer and A. Kilian (2007). Architectural Geometry, Bentley Institute Press