세상 모든 가치의 시작
from LH

보도교 설계 가이드라인

2016. 11

단지기술처

목 차

Ⅰ. 개 요 ····· 1

Ⅱ. 국내보도교 현황 및 문제점 ····· 1

Ⅲ. 보도교 설계방향 ····· 3

Ⅳ. 보도교 설계 가이드라인 ····· 12

※ 첨부 1 : 해외 보도교 사례

첨부 2 : 국토교통부 질의회신

Ⅰ 개 요

□ 보도교는 현재 별도의 설계기준이 없어 「도로교 설계기준」,「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」, 「시설물 설계 및 시공편람(서울시)」을 준용하여 설계가 되고 있는 실정임

□ 따라서, LH 보도교의 발주사례 자료 분석을 통해 과다설계 요인 분석을 하고, 보도교 설계의 일반사항, 하중의 종류, 진동 등에 관한 가이드라인을 수립하고자 함

* 보도교 : 본 가이드라인에서는 보도교 뿐 아니라 보도육교도 포함.

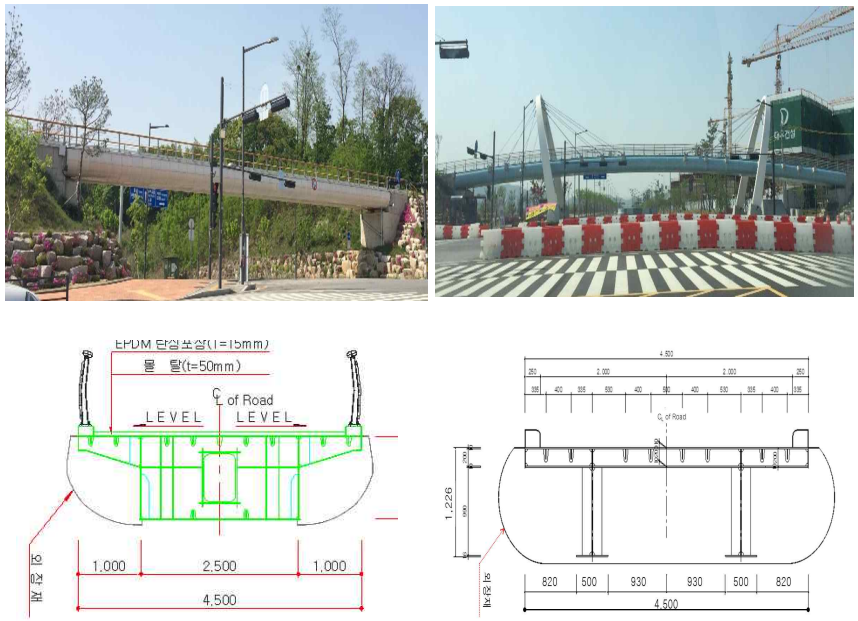
Ⅱ 국내보도교 현황 및 문제점

□ 일반적으로 차도교와 비교하여 보도교에서 기대할 수 있는 가볍고 경쾌함보다는 **일반 차도교에서 느껴지는 비슷한 감흥을 주는 과다설계** 교량의 사례가 빈번이 발생

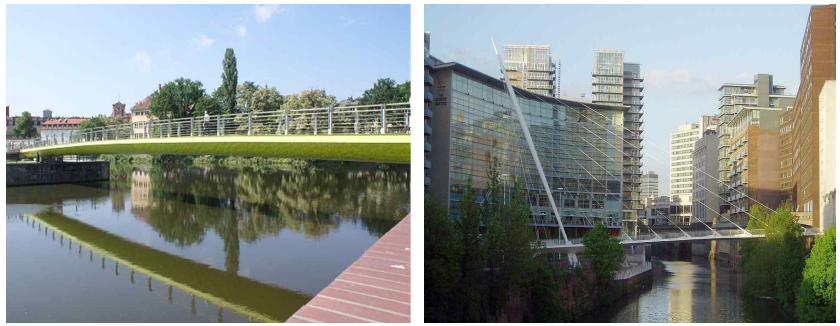
□ 조형미를 높이기 위해서 **외장재를 추가하거나 새롭게 조형적 요소를 추가**하여 미학적 개선 측면에서 긍정적 효과를 줄수 있지만, **세장미를 반감시켜 과다설계**로 여겨짐

□ 과다한 외장재와 조형재 요소는 **추가하중 발생, 시공비 증가**로 이어지므로 과다한 외장재 사용보다는 **구조미학적 설계* 접근법을 이용**하여 구조단면형식 변화를 시켜 전체적 보도교 형태미를 질적으로 높여 과다설계를 예방할 필요가 있음

* 구조미학적 설계 : 구조형태 자체에서 디자인 요소를 찾아내서 미학적 설계를 수행하는 것으로, 구조시스템에 장식적으로 추가되어 발생 할 수 있는 군더더기를 최소화한 세련된 구조형태를 살릴수 있음



< 외장재를 사용한 국내 보도교 >



< 구조단면이 그대로 노출된 국외 보도교 >

Ⅲ 보도교 설계방향

□ 보도교는 한번 세워지면 오랜 시간 우리의 일상생활 공간에서 항상 마주해야 할 사회기반시설물이다. 따라서 보행의 안전함과 편리함뿐만 아니라 시각적 조형물이라는 점을 보도교 설계에 고려해야 한다. 즉, 안전(safety)· 기능(function) · 아름다움(beauty)이라는 설계 3요소를 만족하는 보도교를 설계해야 하는 것이다. 이러한 설계 3요소를 지향하는 총체적 설계를 위해서는 아래 설계원칙들을 따라야 한다.

○ 교량입지역의 지형, 지반조건과 주변경관(건축물 포함 공간시설물)을 아우르는 맥락적 설계
○ 구조형식과 디자인 요소를 이음새 없이 융합한 구조미학적 설계
○ 교량의 생애주기를 고려한 지속가능한 설계

맥락적 설계

모든 구조물의 설계에서와 마찬가지로, 보도교가 들어 설 입지지역에서부터 주요 설계변수들이 설정된다. 이에, 맥락적 설계에 따라서 보도교가 위치할 주변경관을 거시적으로 살피고, 설계될 교량형태가 주변경관과 어떠한 시각적 효과를 낼 것인지 총체적으로 고려해서 전체적인 교량형태를 계획해야 한다. 하나의 예로, Ireland의 the living bridge는 보전지역인 Shannon강 주변 자연환경을 보호하면서도 맥락에 어울리는 구조형태미를 찾기 위해서 일반적인 트러스 교량이 아닌 케이블 트러스 교량형식을 개발해서 자연스러운 곡선 경로를 제공하고 있다. (그림 가)

한편, 도심교량의 경우에서도 사용 편의성 증대를 위하는 방안으로 경사로의 길이와 승강기 위치를 결정해야 한다. 교량규모가 작은

것에 비해서 부속 구조물의 크기나 요소가 상대적으로 작지 않다면 교량형태의 총체적 질을 떨어뜨릴 수 있는 가능성이 매우 높다.
아래 사례에서 살펴보면 (그림 나-a)에서와 같이 횡단육교의 위치가 높으면서 보도교 접근로도 지상이 아닌 경우에는 보도교 하부 공간이 개방감이 확보되어서 매우 좋은 반면에, (그림 나-b)의 경우에는 보도교의 구조형태미를 찾기가 쉽지 않다.



< 그림 가> 주변 자연환경의 맥락에 자연스럽게 어우러진 the living bridge



a. 도로 위 높게 횡단하는 보도교



b. 도로 위 낮게 횡단하는 보도교 (접근부분 혼잡)

<그림 나> 보도교 높이에 따른 구조형태미

구조미학적 설계

보도교의 설계에서는 그 무엇보다도 구조적 안전성 확보가 최우선시 되어야 한다. 그러나 구조적 안전성 확보에만 초점을 두게 되면 조형미가 결여될 경우가 발생하며, 구조물과 별도로 장식적인 요소로 과다하게 치장하게 되면 구조형태와 어울리지 못하여 서로 겉도는 결과를 초래하기도 한다. 구조미학적 설계란 힘의 흐름을 따르는 구조형태에서 디자인 요소를 찾아내서 미학적 설계를 수행하는 것이다. 이렇게 구조미학적 설계를 따르게 되면 구조시스템에 장식적으로 추가되어서 발생할 수 있는 군더더기를 최소화한 세련된 구조형태 본연의 아름다움을 살릴 수 있게 된다. 즉, 구조미학적 설계란 다음 사항을 만족하는 구조형태설계를 의미한다.

- 보도교 본연의 건축적 기능
- 구조적 안전성
- 힘의 흐름을 따른 형태미
- 구조시스템 전체가 미학적 질서를 갖춘 총체적인 아름다움



<그림 다> 구조형태미를 엿보기 힘든 사례



<그림 라> 구조형태미가 잘 드러난 사례

고대 철학자 플라톤의 생각을 빌리자면 적절한 척도(measure, scale)와 비례(proportion)를 지닌 물체가 아름다움을 준다고 한다. 교량설계로 유추해서 정리하면 교량규모와 구조형식에 적합한 형태와 비례를 지니는 교량을 진정 아름다운 교량이라 할 수 있다. 보도교는 보도교 다워야 하고 장경간 교량은 장경간 교량다워야 한다. 더 나아가 교량이 위치할 주변환경을 포함하는 맥락적 스케일, 교량전체만을 살펴보는 교량 스케일, 교량의 세부적 요소를 교량전체와의 관계에서 살펴보는 상세 스케일 차원에서 적절한 비례를 갖추어야 아름답다.

구조미학적 설계를 위한 미학적 기본원리는 척도, 비례, 질서이다. 무질서 속의 질서는 지구상의 모든 생명체가 조화롭게 살도록 내재되어 있는 규칙이다. 다양한 환경에서 여러 가지 설계 요소를 고려한 총체적 설계의 경우, 전체적으로 통일감을 이루게 하기 위해서는 질서라는 미학적 원리를 적용하는 것이 매우 중요하다. 아래 3가지 경우를 서로 비교해보면, (그림 바-a)와 (그림 바-c) 경우는 구조미학

적으로 조화를 이룬다고 느껴지는 반면에 (그림 바-b)의 경우에는 구조시스템의 형상과 부재단면의 크기 및 형상과 장식적 요소가 전혀 어울리지 못하고 겉돌고 있는 듯하다. 교량을 아름답게 장식하기 위해서 사용한 조형물로 인해서 전반적인 미학적 감흥이 급격하게 저하되는 것이다.

일반적으로 잘된 교량이라고 인정받는 교량형식을 재사용하는 경우는 많다. 그러나 어떤 교량을 모방하는 경우에도 반드시 새롭게 설계할 대상교량의 전체적인 규모와 형상을 고려해서 적절한 비례미를 갖추도록 보완해야 한다.



a. Puente del Alamillo bridge



b. Alamillo bridge 모방교량

<그림 마> 특정 구조시스템의 모방사례



a. 장경간 고주탑 다경간 사장교



b. 중규모 연속 거더교



c. 소규모 비틀림 상자형 단순교

<그림 바> 구조시스템의 스케일과 구성요소와의 조화

지속가능한 설계

최근 10여년 이상 국가적으로 경관설계에 많은 관심을 모아오고 있다. 이러한 과정에서 도심지 보도교인 경우에는 오래 전 시공된 많은 교량들이 노후화와 경관훼손 측면에서 좋은 평가를 받지 못하고 철거되는 사례를 빚고 있다.



<그림 사> 철거대상 보도교 사례들

한편, 새롭게 건설된 보도교의 경우에도 사용성 요구성능에 미치지 못하는 상세와 시공불량으로 인해서 사용자들에게 오히려 불편함을 초래한다.



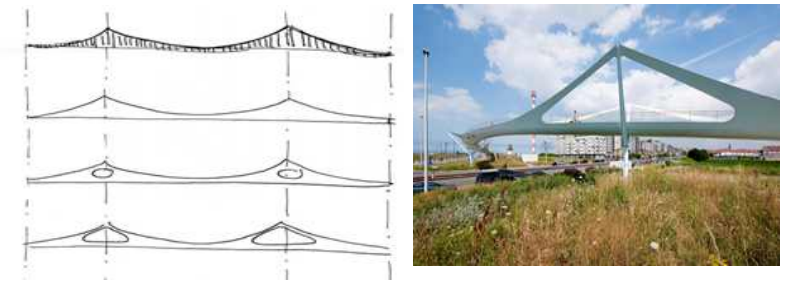
<그림 아> 일관성이 부족한 바닥설계와 시공불량이 드러난 사례

보도교의 지속가능한 설계를 위해서는 생애주기 동안 사용자에게 긍정적 감흥을 줄 뿐 아니라, 계획한 설계수명동안 구조재와 비구조 요소의 유지관리비용을 최소화하도록 교량설계에 반영해야 한다.

개념설계

아름다운 교량설계를 위해서는 개념적 설계에서부터 형태착안, 구조계획, 구조해석, 상세설계, 시공 및 사용에 이르기까지 총체적인 설계가 필요하다. 그런데 이러한 총체적 설계 과정 가운데서도, 개념설계는 새로운 문제를 정립하는 시작점으로 뒤따르는 모든 설계의 질을 좌우하므로, 어떻게 시작하느냐에 따라서 그 결과는 매우 다르게 나타난다. 기존 구조물 설계사례의 유사성에서 출발하는 경우에는 기존 구조형태의 한계를 벗어나기 어렵다. 반면에 기존의 한계를 넘어서려는 시도를 하는 경우에는 아주 새로운 구조물이 탄생하게 됨을 알 수 있다.

보도교설계로 제한해서, 국내 설계사례와 해외 설계사례를 비교해보면 국내 설계과정에서는 개념설계가 거의 지나치는 정도로 진행된 것으로 이해된다. 반면에 해외 설계의 경우에는 대부분 창의적인 형태, 새로운 구조형식을 개념설계단계를 거치는 과정에서 실현가능성을 충분히 높여서 다음 설계단계로 나아감을 알 수 있다. 특히, 새로운 형태를 착안하는 과정에서 힘의 흐름에 대한 합리성과 형태의 아름다움을 함께 고려하여 새로운 구조형태미를 드러내는 질 높은 개념설계를 수행한다. 이러한 노력은 the Living bridge 개념설계 사례에서도 잘 드러나 있다.



a. 구조형태미 이용한 설계대안 생성　　b. the Living bridge

<그림 자> the Living bridge 개념설계 사례

경제성

보도교의 공사비는 교량의 규모, 재료, 기술적 난이도, 계획설계 수준 등 다양한 요소에 영향을 받는다. 특히 최근 랜드마크교량 설계의 경우에는 초기계획단계의 설계가 총 공사비에서 차지하는 비중이 높아지고 있다. 하나의 예로 캐나다 캘거리에 놓인 Peace Bridge의 공사비를 살펴보면, 건축계획과 구조설계 등 엔지니어링 질적 수준을 높이기 위해서 투자한 비용($3.9 million)이 전체비용($24.5 million)대비 16%를 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

< Peace Bridge의 공사비 >

Construction	$18 million
Architectural and structural design, specialized engineering and quality assurance:	$3.9 million
Project administration and contingency	$2.6 million
Total Cost	**$24.5 million**

Ⅳ 보도교 설계 가이드라인

1. 적용

설계가이드라인에서는 보도교 설계에 대한 일반사항, 관련기준, 건축한계, 하중, 구조설계, 검토사항 등에 대하여 기술하고자 한다. 보도교는 보행자, 자전거, 휠체어, 유모차 등이 통행하는 도심지 교량이라는 특수성을 반영하여 일반적인 도로교와의 차이점을 설명 하고, 보도교만의 특수한 고려 사항들을 추가하여 보도교 설계에 도움을 주고자 한다. 이 설계가이드라인은 발주자나 설계자의 판단을 대신하거나, 교육을 대신하기 위한 것이 아니다. 그러므로 발주자 또는 설계자는 이 설계가이드라인에서 기술하고 있는 기본조건보다 높은 수준의 설계와 질 높은 시공을 위해서는 각 교량의 특수성을 고려한 세부적인 설계지침안을 마련해서 사용하는 것을 권장한다.

1.1 설계목표

보도교는 다음 설계목표를 기본적으로 만족하면서 설치목적에 부합하도록 설계한다.

- 보도교의 기능성
- 구조적 안전성
- 주변경관에 어울리는 구조미
- 시공성 및 경제성
- 유지관리 용이성

1.2 교량의 등급과 설계수명

보도교의 등급과 설계수명은 원칙적으로 발주자가 정한다. 보도교의 등급을 결정할 때에는 보도교의 규모, 교량형식과 기능의 다양성, 교량위치의 특수성을 고려한다.

1.3 기본계획

보도교 기본계획을 수행 할 때 다음 사항을 고려한다.

- 교량 설치지역에 대하여 지형적 여건(하천 지형 형태학, 세굴 가능성 등), 주변배경(도로 횡단, 강 또는 하천 횡단, 상가건물 밀집지역, 집합 주택 단지 등), 용도지역, 지역의 역사성 등을 살펴본다. 이는 주변 환경과 조화를 이루는 교량설계를 위해서 반드시 고려해야 할 중요한 설계 요구조건을 설정하게 된다.
- 교량이 담당해야 하는 기능을 정의 한다.
- 사회적 안전망 확보를 위한 추가적인 고려가 필요한 지 살펴본다. 이는 난간의 개방감, 가로등의 밝기, 기타 안전장치 확보 수에 영향을 미친다.
- 세워질 교량으로 가리지 말아야 할 것들이 있는 지 살펴본다.
- 교량이 제공하게 될 새로운 경관은 어떠한 것일 지 살펴본다.
- 보도교 설계관련 건축한계 기준과 시설물 설치기준에 근거해서 적절한 규모를 설정한다.
- 편안함과 아름다움에 대한 감흥은 매우 주관적이므로 사용자의 의견반영이 필요하다. 이를 위해 사용자 참여를 어떻게 유도할 것인지 방향을 설정해야 한다.

1.4 교량형태 및 교량형식

보도교는 보행자나 자전거 이용자에게 최적의 편안함을 제공하면서 주변 환경 및 경관의 맥락에 맞닿는 교량형태로 설계되어야 한다. 이러한 교량형태는 일반적으로 사용되는 교량형식으로 구현되는 경우도 있지만, 일반 교량형식에서 크게 벗어난 창의적인 형태로 계획되는 경우도 있다. 새로운 교량형태 개발이 필요한 경우에는 구조안전성, 시공가능성 및 유지관리 측면에서 다각적으로 검토하여 구조적 거동의 합리성이 최대한 발현되는 교량형식으로 개발될 수 있도록 유도한다.

1.5 교량미학

보도교는 보도교 스케일에 적합한 규모와 비례를 지니는 교량형태로 주변경관과 조화를 이룰 때 우리에게 만족스러운 감흥을 준다. 이는 다음 사항을 고려해서 보도교 설계목표를 합리적으로 만족시키도록 설계한다면 결과적으로 기대할 수 있는 효과이다.

- 교량을 포함한 전체 맥락적 차원에서 총체적 미학적 질서를 세워서, 교량전체에서 상세에 이르기 까지 일관된 미학적 질서를 유지하도록 한다.
  - 교량 주변배경과 교량형태의 상호관계
  - 교량 전체시스템과 구성하는 부분 구조와 부재와의 상호관계
  - 교량 전체시스템과 비구조 요소(가로등, 난간, 기타 전기 및 우수처리 시설물 등)와의 상호관계
  - 형태, 색채, 질감의 시각적 효과
- 교량시스템은 힘의 흐름의 효율성을 표현하는 구조시스템을 통해서 진정한 구조미를 표현하도록 한다.
- 교량형식과 규모에 따라서 구성하는 부재의 종류와 개수, 단면의 크기와 형상이 다르며, 이들은 지배적인 시각적 감흥에 커다란 영향을 준다. 이에 각 교량형식에 대해서 지배적인 구조요소와 구조적 비례관계를 따져서 구조적 조형미를 갖추도록 한다.
- 번잡스럽고 과도한 장식적인 비구조 요소로 인해서 교량형태가 드러내는 본연의 아름다움을 저감시키지 않도록 주의한다.

1.6 시공 및 경제성

교량형태가 일반적으로 사용되는 교량형식으로 구현되는 경우에는 비교적 경제적 시공이 가능하지만, 때로는 일반 교량형식에서 크게 벗어난 창의적인 형태로 계획되는 경우에는 시공에 앞서서 경제적 타당성을 살펴 볼 수 있는 수준의 계획 설계를 수행해서 시공 및 경제성을 분석해 보는 것이 필요하다. 특히, 비용 분석에는 교량건설 시점의 비용뿐만 아니라 교량의 생애주기를 고려한 비용도 포함해야 한다.

1.7 부착물

횡단보도교 계획단계에 고려하지 않은 부착물은 가급적 부착하지 않도록 자제한다. 그러나 부득이하게 부착해야만 할 경우에는 부착물이 구조적 거동에 미치는 영향을 반드시 고려해서 설계하도록 한다.

1.8 유지관리

횡단보도교의 전 생애주기 동안 안전하고 청결하게 유지되어야 한다. 보행자수, 사용연도, 구조시스템의 특수성을 고려해서 생애주기를 고려한 유지관리계획을 수립해서 적절한 주기로 청소, 점검 및 보수보강 하도록 한다. 또한, 교량점검을 수행할 때는 다음 사항을 포함해서 조사하도록 한다.

- 주요 구조요소(거더, 교각)의 이상 유무, 특히 차량의 충돌에 의한 거더, 교각의 손상 등이 있는 지 조사한다.
- 도장의 도막 열화, 박리, 녹의 발생 상황
- 배수관의 막힘, 관 접합부의 상태
- 조명기구 및 배선 손상의 유무, 조명, 점등상태
- 가림판, 시야 차단판, 안전망 등의 손상유무
- 제빙시설, 동결방지시설의 손상유무

1.9 관련기준

이 가이드라인은 도로교 관련 기준과 보행시설물 관련 법령을 기준으로 작성 하였다. 「도로교설계기준 (2010)」과 관련 법령 및 규칙을 토대로 하며「시설물 설계 시공 및 유지관리 편람 - 소규모강교 및 보도육교: 보도육교편 (서울특별시, 2001)」을 참고 한다. 또한 진동에 관한 사항은 「AASHTO PEDESTRIAN (2009)」를 따른다.

- 도로교설계기준 (2010).
  - 도로교설계기준 (2010)은 허용응력설계법과 강도설계법에 기반

하여 만들어 졌으며, 설계법과 하중 및 하중 저항 등 공학적 결정에 대한 항목은 이 기준을 따른다.

* 붙임 2 국토부 질의회신 참조

- 도로교설계기준 (2012)
  - 보도교의 활하중은 보행자의 하중뿐 아니라 유지관리, 또는 이에 부수되는 차량 통행에 대한 하중을 고려해야 한다. 하지만 「도로교설계기준 (2010)」에는 이러한 개념이 제시되어 있지 않으므로 「도로교설계기준 (2012)」를 일부 채용하여 활하중을 정의 하였다.
- 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙 (국토교통부령 2016.06): 이하 「시설설치기준 2016」.
  - 이 규칙을 통해 보도교의 표준적인 폭원, 계단, 난간 등의 조건을 반영하였다.
- 자전거 이용시설 설치 및 관리 지침 (국토교통부 2016. 01): 이하 「자전거이용지침 2016」.
  - 보도교, 보도교에 자전거가 통행량이 많은 경우 자전거의 통행을 고려한 설계가 이루어 져야 한다. 이 지침을 통해 자전거 이용자와 보행자의 안전 및 편의를 위한 폭원 및 경사로 조건을 반영하였다.
- 장애인·노인·임산부등의 편의증진보장에 관한 법률 시행규칙 (보건복지부령 2016. 08): 이하 「약자편의규칙 2016」.
  - 보도교 설계에 있어 교통약자를 고려하기 위한 최소 조건을 정한다. 휠체어를 고려한 보도 폭, 보도의 최대 기울기 및 안전시설에 관한 내용을 규정한다.
- 시설물 설계 시공 및 유지관리 편람 - 소규모강교 및 보도육교: 보도육교편 (서울특별시, 2001): 이하 「서울보도육교 2001」.
  - 서울시에서 각종 보행자 전용 도로 관련 기준과 「도로교설계기준 (2010)」을 종합하여 보도육교에 적합하게 해석 한 편람이다. 법령을 보도교에 맞게 해석 하는 원리를 참고 하였으며 법령이나 「도로교설계기준 (2010)」에 언급되지 않은 진동 및 기타사항 등을 반영하였다.

- AASHTO GUIDE SPECIFICATIONS FOR THE DESIGN OF PEDESTRIAN BRIDGES (2009): 이하 「AASHTO PEDESTRIAN (2009)」
  - 「도로교설계기준 (2010)」에는 진동에 대한 규정이 없다. 하지만 여러 연구 사례와 국외 설계기준에 의하면 보도교는 진동에 매우 민감하며 반드시 고려해야 하는 사항이다. 보도교의 진동에 관한 규정은 여러 국외 설계기준 중 「AASHTO PEDESTRIAN (2009)」를 참고 하였다. 「AASHTO PEDESTRIAN (2009)」와 「도로교설계기준 (2010)」은 도로교 설계에 있어 비슷한 설계 철학을 가지고 있기에 선정 하였다.

1.10 용어

- 보도교
  - 활하중 중 보도하중만 고려하고 자동차하중, 궤도의 차량하중을 고려하지 않는 교량으로 본 보고서에서는 보도교 뿐 아니라 보도육교도 포함하는 의미로 쓰였다.
- 보도육교
  - 입체횡단시설 중 횡단자를 도로 또는 철도면 위에 둔 시설로 보도교로 묶어서 표현 하였다
- 보도하중
  - 보행자 및 자전거 이용자가 발생시키는 활하중.
- 입체횡단시설
  - 차도, 철도의 노면을 횡단하는 보행자 또는 자전거 이용자를 단독으로 차도 또는 철도로부터 입체적으로 분리 함으로서 횡단자의 안전을 확보할 목적으로 하는 시설.

- 진동
  - 보도교에서의 진동은 도로교에서 발생하는 진동에 추가로 보도하중으로 인한 진동을 고려 한다.

1.11 기호

수식에서 쓰이는 기호를 아래에 정리 하였다. 「도로교설계기준 (2010)」에서는 장별로 각각 기호를 정의하기 때문에 같은 기호가 다른 의미를 가진 경우가 있다. 하지만 「도로교설계기준 (2010)」과 다른 기호를 쓰면 혼동이 생길 것이므로 변경 없이 그대로 사용 하였다.

A : 교각의 연직투영면적(m2)
B : 교량 총폭 (m)
BK : 제동하중 또는 이에 따른 단면력
C_d : 항력계수
CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력
CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력
D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력
D : 교량 총높이 (m)
D : 교량바닥판의 총높이(m)
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력
E_c : 콘크리트의 탄성계수 (MPa)
G : 거스트 응답계수
G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
H : 수심(m)
H : 토압 또는 이에 따른 단면력
I : 충격 또는 이에 따른 단면력
K : 아래 표에 나타낸 교각의 형상에 따라 정해지는 계수
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력
L : 지간 (mm)
P : 충돌력(kN)
P : 유수압(kN)

P_h : 수면에서 h만큼 깊은 곳의 정수압 (MPa)
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
U : 극한외력에 대한 설계단면력
V_d : 설계기준 풍속 (m/s)
W : 유송물의 중량(kN)
W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력
WL : 차량활하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력
f_c : 콘크리트의 압축응력 (MPa)
h : 수면에서의 깊이(m)
h : 현재의 높이 (m)
p : 풍하중 (MPa)
v : 최대유속(m/s)
v : 표면유속(m/s)
δ : 활하중(충격을 포함하지 않음)에 의한 최대처짐 (mm)
δ_1,δ_3 : 라멘 가로보의 주거더 위치에서의 처짐
δ_2 : 주거더의 처짐
ϵ_{cc} : 콘크리트의 크리프변형률
λ : 하현재 중심에서 상현재 중심까지의 주구 높이 (m)
ρ : 공기밀도 (=1.225 kg/m^3)
ϕ : 트러스의 충실률(트러스 외곽 면적에 대한 트러스 투영면적의 비)
φ : 콘크리트의 크리프계수
ω_0 : 물의 단위 중량(kN/m3)

2. 설계일반

2.1 폭원

2.1.1 일반사항

- 보도교의 폭원은 「시설설치기준 2016」 제15조 에 제시되어 있다.
- 보도교의 폭원은 제시 된 법령이 없으므로 횡단보도교의 폭원을 적용 한다.
- 자전거 통행을 고려 할 경우 「자전거이용지침 2016」에 의해 자전거·보행자 도로를 설치한다.
- 휠체어 통행을 고려 할 경우 「약자편의규칙 2016」에 의해 휠체어 통행에 지장이 없도록 한다.
- 제시 된 폭원은 순수 이용자가 사용하는 공간을 의미하며 부대시설을 위한 공간은 별도로 결정 되어야 한다.

2.1.2 보도교의 표준적인 폭원

- 횡단보도교의 폭원은 설계보행자수를 처리할 수 있는 폭원이어야 한다. 원칙으로 1인당 점유폭원은 기본 75 cm이며 그 정수배로 규정한다. 적어도 2인이 지나갈 수 있는 1.5 m를 최소 폭원으로 하였다. 보도만을 고려 한 기본적인 폭원은 다음과 같다.

<표 1> 보도교의 통행량 별 표준 폭원

폭 원 (m)	설계보행자수 (인/분)
1.50	80미만
2.25	80이상 120미만
3.00	120이상 160미만
3.75	160이상 200미만
4.50	200이상 240미만

2.1.3 자전거 통행을 고려 할 경우

- 자전거 통행이 많은 경우(어림잡아 300대/1일 이상) 자전거·보행자

겸용도로를 설치한다. 자전거 1대당 점유 폭원은 기본 1 m이므로 보행자만 고려 할 경우(1인당 0.75 m)에 비해 1/3 만큼 증가된 폭원을 사용 한다.

<표 2> 자전거 고려 시 보도교의 통행량 별 폭원

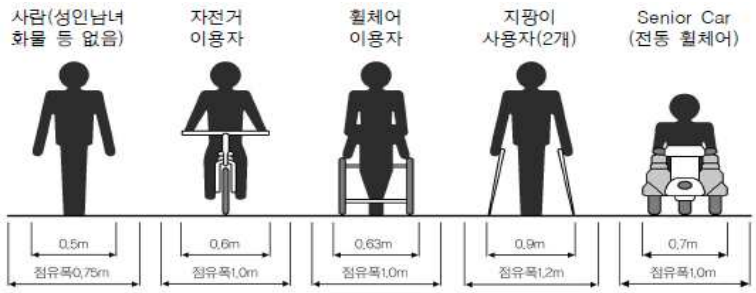
폭 원 (m)	설계보행자수 (인/분)
2	80미만
3	80이상 120미만
4	120이상 160미만
5	160이상 200미만
6	200이상 240미만

2.1.4 교통약자(장애인/유모차 등)의 통행을 고려 할 경우

- 장애인이나 유모차의 통행을 고려해야 하는 경우 1대 당 1.2 m의 점유 폭원을 사용해야 하므로 자전거를 고려 한 폭원보다 20% 증가된 폭원을 사용한다. 장애인, 유모차의 교통량을 별도로 고려해 보도교의 표준적 폭원을 적절히 변경 하여 전체 폭원을 정한다.

2.1.5 일본의 자전거 및 보행자의 점유폭

- 보도, 자전거도로, 자전거·보행자 겸용도로 등을 설계할 때 참고를 위해 일본에서 사용중인 설계제원은 다음과 같다.



<그림 1> 도로이용자의 기본적인 치수 (일본, 도로구조령의 해설과 운용)

2.2 계단 및 경사로 (승강방식)

2.2.1 일반사항

입체횡단 시설은, 횡단자에 대해서 이것저것 불편을 주는 경우가 많으므로, 승강방식에 관해서는 이용하기 쉬움을 충분히 고려하여 결정한다. 보행자 만을 대상으로 할 경우는, 승강거리가 길어지지 않도록 계단으로 함을 원칙으로 하고 있으나, 자전거 횡단이 많은 장소 (어림잡아 300대/1일 이상), 또는 유모차, 휠체어 등의 통행이 많은 장소에는, 경사로를 설치한다.

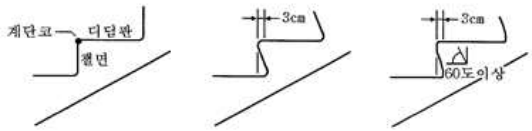
- 계단과 계단참은 「시설설치기준 2016」제15조에 제시된 수치 및 「약자편의규칙 2016」의 별표1-1 사용한다.
- 경사로 설치는 「약자편의규칙 2016」의 별표1-1와 「자전거이용지침 2016」6-1-7 에 제시된 내용을 따른다.

2.2.2 보행자만 고려 할 경우

- 보행자만 고려 한다면 계단을 설치 한다.
- 계단 및 참의 유효폭은 보도교의 표준 폭원을 따른다.
- 계단의 기본 수치는 다음 표(3)과 같이 정한다. 단 계단의 경사는 중간에 변해서는 안 된다. 일반적으로는 경사가 25%정도일 경우, 챌면 높이를 12.5~15㎝, 통학로 등에서 어린이의 이용이 많을 경우에는 10~12.5㎝로 하는 예가 많다.
- 디딤판의 끝부분에 그림(2)과 같이 발끝이나 목발의 끝이 걸리지 아니하도록 챌면의 기울기는 디딤판의 수평면으로부터 60도 이상으로 하여야 하며, 계단코는 3 cm 이상 돌출하여서는 안 된다.

<표 3> 계단의 기본 수치 (cm)

구 분	표 준	부득이한 경우
챌 면	15	18 이하
디딤판의 너비	30	28 이상

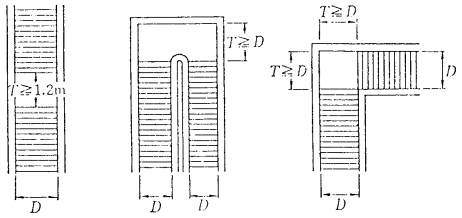


<그림2> 계단의 기본 수치

- 수직 높이가 3m 를 초과하는 경우 계단폭 이상의 계단참을 설치한다. 계단참의 폭은 다음과 같이 정한다. (단 장애인을 고려할 경우 수직 높이가 1.8m 이내마다 계단참을 설치할 수 있다.)

<표 4> 계단참의 폭

	계단참의 폭
직계단의 경우	1.2m
그 외의 경우	계단의 폭원



<그림 3> 계단참의 폭

여기서,

T : 계단참의 폭

D : 계단의 유효폭

2.2.3 교통약자(장애인/유모차 등)의 통행을 고려 할 경우

- 유모차나 휠체어 등의 통행이 많은 경우 경사로를 설치한다.
- 경사로의 기울기는 1/12 이하로 한다.
- 휠체어 사용자가 통행할 수 있도록 유효폭을 1.2 m 이상으로 한다.

- 휴식 및 교행을 위해 높이 0.75 m 마다 1.5 m × 1.5 m 이상의 수평면으로 된 참을 설치한다. 다만 경사로가 직선인 경우 참의 폭을 경사로의 유효폭과 같게 할 수 있다.

2.2.4 자전거 통행을 고려 할 경우

- 자전거 통행량이 많은 경우(어림잡아 300대/1일 이상) 경사로를 설치한다.
- 경사로의 경사는 작을수록 바람직하며, 자전거를 밀거나 끌고 올라갈 수 있다고 판단되는 12%까지의 경사를 허용할 수 있다.
- 경사로를 설치할 여유가 없을 경우에는 계단을 따라서 자전거 끌어올리는 식의 경사로를 설치할 수 있으며, 이 경우 경사는 25%까지 가능하다.

2.3 난간

- 보도교와 계단, 경사로 앙 옆에는 높이 1 m이상의 난간을 설치한다.
- 계단 및 경사로의 폭원이 3 m를 넘을 경우 중간에도 난간을 설치하여 난간의 간격이 3 m를 넘지 않도록 한다.
- 신체장애자의 이용이 많은 경우 맹인 유도 블록과 더불어 유도용 난간을 설치한다.

2.4 교차조건 (통과높이)

2.4.1 일반사항

- 홍수발생 시 보도교의 손상을 막고, 보도교 아래를 통과하는 차량의 충돌을 피하기 위해 의 최소 다리 및 공간을 확보해야 하며 이는 「도로교설계기준 (2010)」 1.5.3 에 제시되어 있다. 두 경우 모두 관계기관과 충분히 협의하여 주어진 공간이 현지 실정에 맞는지 확인해야 하며 충분치 않을 경우 합리적으로 추가 공간을 확보해야 한다.

2.4.2 도로위를 지나는 보도교

- 4.5 m 이상으로 하되 동계적설에 의한 한계높이의 감소 또는 포장 덧씌우기 등이 예상되는 경우에는 4.7 m 이상으로 한다.

2.4.3 하천을 지나는 보도교

- 계획홍수량에 따라 표(5)를 기준으로 다리 및 공간을 확보한다.

<표 5> 계획홍수량별 다리밑 공간 확보기준

계획홍수량 (m^3/sec)	다리밑 공간 (m)
200 미만	0.6 이상
200 이상 ~ 500 미만	0.8 이상
500 이상 ~ 2,000 미만	1.0 이상
2,000 이상 ~ 5,000 미만	1.2 이상
5,000 이상 ~ 10,000 미만	1.5 이상
10000 이상	2.0 이상

*「도로교설계기준(2010)」표(1.5.1)

2.5 기초

횡단보도교의 기초는, 상부구조의 규모, 형식 지반조건, 지하매설물 및 시공법등을 종합적으로 검토해서 적절한 구조를 정해야 한다. 일반적으로, 시가지는 지하매설물이 많으므로, 기초구조의 설치, 시공을 특히 주의해야 한다.

3. 하중의 종류

보도교에 가해지는 하중의 종류와 크기는 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1을 따라 보도하중만을 고려 해 적용한다. 도로교와 동일한 기준을 적용해야 하는 항목은 「도로교설계기준 (2010)」의 내용을 그대로 따른다.

3.1 고정하중

고정하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」2.1.2을 그대로 따른다.

- 실 질량이 명확한 재료에 대해 재료의 단위질량을 사용하며 그렇지 않은 경우 표(6)을 따른다.

<표 6> 재료의 단위질량

재 료	단위질량 (kg/m^3)	재 료	단위질량 (kg/m^3)
강재, 주강, 단강	7,850	콘크리트	2,350
주 철	7,250	시멘트 모르타르	2,150
알 미 늄	2,800	목 재	800
철근콘크리트	2,500	역청재(방수용)	1,100
프리스트레스트콘크리트	2,500	아스팔트 포장	2,300

*「도로교설계기준(2010)」표 (2.1.1)

3.2 활하중

3.2.1 보도하중

보도하중에 의한 활하중은 「도로교설계기준 (2010)」2.1.3 중 보도의 등분포 하중 부분만을 고려한다.

- 바닥판을 설계하는 경우 보도에는 5×10^{-3}MPa의 등분포하중을 재하한다.
- 주거더를 설계하는 경우 표(7)을 따른다.

<표 7> 보도등에 재하하는 등분포하중

지간장 L (m)	$L \le 80$	$80 < L \le 130$	$L > 130$
하중(MPa)	3.5×10^{-3}	$(4.3-0.01L)\times10^{-3}$	3.0×10^{-3}

*「도로교설계기준(2010)」표(2.1.4)

3.2.2 차량하중

「도로교설계기준 (2012)」의 3.6.4에 따르면 보도나 보행자 또는 자전거용 교량에서 유지관리용 또는 이에 부수되는 차량통행이 예상되는 경우 이 하중은 설계에 고려되어야한다. 이 차량에 대해 충격하중은 고려하지 않는다.

- 보도교에 차량 통행을 물리적으로 막는 시설이 없는 경우 유지보수를 위한 차량 통행을 반드시 고려해야 한다.

3.3 프리스트레스힘

프리스트레스힘으로 인한 하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」2.1.6을 그대로 따른다. 구조물에 프리스트레스힘을 도입하는 경우에는 설계에 이를 고려하여야 한다. 프리스트레스트 콘크리트에 도입하는 프리스트레스힘에 관해서는 다음과 같이 정한다.

- 설계시에 고려하여야 할 프리스트레스힘은 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘과 유효프리스트레스힘이다. 또 프리스트레스힘에 의하여 부정정력이 일어나는 경우에는 이들도 고려하여야 한다.
- 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘의 감소는 프리텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형만을 고려하여야 하고, 포스트텐션 방식에서는 콘크리트의 탄성변형, PS강재와 쉬스의마찰, 정착장치 및 정착부 내부의 마찰, 정착장치에서의 활동량을 고려하여야 한다.
- 유효프리스트레스힘은 위 규정으로 산출한 프리스트레싱 직후의 프리스트레스힘에 다음의 영향을 고려하여 산출한다.

  ① 콘크리트의 크리프

  이 경우에 고려하는 지속하중은 프리스트레스힘과 고정하중이다.

  ② 콘크리트의 건조수축

  ③ PS강재의 릴랙세이션
- 일반적으로 프리스트레스힘에 의해 보의 변형이 구속되어 이로 인하여 부정정력이 발생하게 되는데 단면의 응력을 검사할 경우에

이 부정정력을 고려하여야 한다. 유효프리스트레스힘에 의한 부정정력은 PS강재 인장력의 유효계수를 부재 전체에 걸쳐 평균한 값을 프리스트레싱 직후의 부정정력에 곱하여 산출할 수 있다.

3.4 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향

콘크리트의 크리프와 건조수축으로 인한 하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」2.1.7을 그대로 따른다. 콘크리트 부재의 설계에 고려하는 콘크리트의 크리프와 건조수축으로 인한 영향은 다음과같다. 상세 설계과정은 각각 「도로교설계기준 (2010)」4.2.3.3 및 4.2.3.4의 규정에 따라야 한다.

- 콘크리트의 크리프변형률은 「도로교설계기준 (2010)」의식 2.1.3에 의해 계산한다.

$$\epsilon_{cc} = \frac{f_c}{E_c}\varphi$$ 「도로교설계기준(2010)」식 (2.1.3)

여기서,

ϵ_{cc} : 콘크리트의 크리프변형률

f_c : 콘크리트의 압축응력 (MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수 (MPa)

φ : 콘크리트의 크리프계수

- 프리스트레스힘의 감소량 및 부정정력을 산출하는 경우, 콘크리트의 크리프계수는 표(8)의 값을 표준으로 한다.

<표 8> 콘크리트의 크리프계수

콘크리트의 재령일		4~7	14	28	90	365
크리프계수	조강시멘트	3.8	3.2	2.8	2.0	1.1
	보통시멘트	4.0	3.4	3.0	2.2	1.3

*「도로교설계기준(2010)」표(2.1.6)

- 프리스트레스힘의 감소량을 산출하는 경우, 콘크리트의 건조수축률은 표(9)의 값을표준으로 한다. (「도로교설계기준 (2010)」의 표 2.1.7)

<표 9> 콘크리트의 건조수축률

콘크리트재령일 (일)	4~7	28	90	365
건조수축률	27×10^{-5}	20×10^{-5}	14×10^{-5}	7×10^{-5}

*「도로교설계기준(2010)」표(2.1.7)

- 위 기준에 따르기 힘든 경우에는 부재 주변의 습도, 부재단면의 형상, 치수, 하중이 작용할 때의 콘크리트 재령 등을 고려하여 별도로 콘크리트의 크리프계수와 건조수축률을 정하며, 각각 「도로교설계기준 (2010)」4.2.3.3 및 4.2.3.4의 규정에 따른다.
- 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향에 의해 발생하는 부정정력은 다음의 규정에 의한다.
  ① 구조계에 변화가 없는 경우
  구조물 전체를 한꺼번에 동바리상에서 시공하고, 시공중의 구조계와 시공 후의 구조계에 변화가 없는 경우, 콘크리트 크리프의 영향은 일반적으로 고려하지 않아도 좋다. 건조수축의 영향에 의한 부정정력을 산출하는 경우에는 콘크리트의건조수축률을 15×10^{-5}으로 한다. 다만, 축방향 철근량이 부재의 콘크리트 단면적의 0.5 % 미만인 경우에는 건조수축률을 20×10^{-5}으로 한다.
  ② 구조계에 변화가 있는 경우
  구조물 전체를 한꺼번에 시공하지 않고, 시공중의 구조계와 시공 후의 구조계에변화가 있는 경우, 콘크리트 크리프의 영향에 의한 부정정력은「도로교설계기준 (2010)」2.1.7의 (2)항 혹은 (4)항에 규정하는 값을 이용하여 산출한다. 다만, 이 경우에 고려하는 지속하중은 고정하중, 프리스트레스힘, 건조수축의 영향 등으로 한다. 또 건조수축의 영향에의한 부정정력은 (4)항의 규정에 의해 산출한다.

3.5 토압

토압으로 인한 하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.8과 동일한 기준을 적용 한다.
토압은 벽면에 작용하는 분포하중으로 하고, 계산 방법은 아래와 같다.

- 평상시 토압계산은 「도로교설계기준 (2010)」5.5.9의 규정에 따른다.
  ① 토압은 구조물과 지반의 상대적인 변위와 관계하여 정지토압, 주동토압 및 수동토압으로 구분된다.
  ② 토압과 토압분포는 구조물과 지반과의 상대적인 변위, 구조물의 형태, 토질종류, 토층상태, 배면지형, 상재하중조건 등을 고려하여 산정.
  ③ 지진시 토압은 6.6.3.2의 규정에 따른다.
- 지진시 토압계산은 「도로교설계기준 (2010)」6.6.3.2의 규정에 따른다. 지진시에 독립식 교대에 작용하는 토압은 Mononobe-Okabe에 의해 개발된 등가정적하중법으로 계산할 수 있으며 이때 토압은 교대의 배면에 균등하게 분포하고 그 합력은 교대 높이의 1/2에 작용하는 것으로 가정한다.

3.6 수압

수압으로 인한 하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.9와 동일한 기준을 적용 한다.

- 정수압은 「도로교설계기준 (2010)」의 식 2.1.4에 의해 산출한다. 구조물의 지반 속에 있는 부분에 작용하는 수압이 이 이론수압의 값까지 작용하지 않는 것이 확실한 경우에는 그 확실한 값까지 감소시킬 수 있다.

$$P_h = 1\times10^{-3}\omega_0 \cdot h$$ 「도로교설계기준(2010)」식 2.1.4

여기서,

P_h : 수면에서 h만큼 깊은 곳의 정수압 (MPa)
h : 수면에서의 깊이(m)
ω_0 : 물의 단위 중량(kN/m3)

- 유수압은 유수방향에 대한 교각의 연직투영면적에 작용하는 수평하중으로 하고 「도로교설계기준 (2010)」의 식 2.1.5에 의해 산출한다. 작용위치는 하저면에서 $0.6H$로 한다.

$$P = 10 \cdot K \cdot v^2 \cdot A$$ 「도로교설계기준(2010)」식 (2.1.5)

여기서,

P : 유수압(kN)

K : 표 (4-16)에 나타낸 교각의 형상에 따라 정해지는 계수

v : 최대유속(m/s)

A : 교각의 연직투영면적(m2)

H : 수심(m)

<표 10> 교량의 저항계수 K

교각의 유수방향	단부의 형상	계수
→	▭	0.07
→	⬭	0.04
→	◇	0.02
	유송잡물이 집적되는 교각	0.07

*「도로교설계기준(2010)」표(2.1.8)

세굴의 영향이 있는 경우의 유수압을 산출할 때 사용하는 수심은 평상시에는 하부구조에 의한 세굴의 영향이 없을 때의 수심에 평상시 하부구조의 영향에 의해 발생하는 세굴의 깊이와 교량의 내용년수(service life) 중에 예상되는 전반적인 하상 저하량을 더한 깊이로 한다. 홍수시에는 평상시의 설계수심에 홍수시 수위의 증가와 홍수시 세굴깊이를 더한 깊이로 한다.

- 물에 접하는 구조물에 대해서는 지진시의 동수압을 고려하여야 한다.

3.7 부력 혹은 양압력

부력과 양압력으로 인한 하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.10과 동일한 기준을 적용 한다.

- 부력 혹은 양압력은 연직방향으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 가장 불리하도록 재하시킨다.
- 부력 혹은 양압력의 작용을 받는 구조물의 안정에 대한 안전율은 1.2 이상이 되어야 한다.

3.8 풍하중

바람으로 인한 하중은 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.11중 중소지간 교량의 규정을 따른다.

- 구조물의 정적설계를 위한 단위면적당 작용하는 풍하중 p(MPa)는 설계기준 풍속 V_d(m/s), 공기밀도 ρ(=1.225 kg/m^3), 항력계수 C_d 및 거스트 응답계수 G를 사용하여 「도로교설계기준 (2010)」의 식 2.1.6에 의하여 구한다.

$$p = 5 \times 10^{-7} \rho V_d^2 C_d G$$ 「도로교설계기준(2010)」식 (2.1.6)

여기서, 항력계수 C_d는 기존 문헌, 실험, 해석 등의 합리적인 방법으로 산정하며, 거스트 응답계수 G는 풍속의 순간적인 변동의 영향을 보정하기 위한 계수이다.

- 바람의 특성은 가교지점에 따라 다르며, 또 항력계수 값도 교량의 단면형상에 따라 달라지기 때문에 실제로 작용하는 풍하중은 교량마다 다르게 된다. 그러나 설계의 편의를 위하여 구조물의 중요도 및 크기에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다. ① 일반 중소지간, ② 태풍, 돌풍에 취약한 지역(해안 인접지역 등)에 위치한 중대지간의 교량, ③ 주경간 200 m 이상 특수교량. 보도교는 일반 중소지간 교량인 경우가 많으며 해당 교량에 작용하는 풍하중은 다음과 같이 고려한다. 일반적인 중소지간 교량의 상부구조에 작용하는

풍하중은 교축에 직각으로 작용하는 수평하중으로 하고, 고려하고 있는 부재에 가장 불리한 응력을 발생시키도록 재하 한다. 이때 식 (2.1.6)에 기초한 표준적인 풍하중의 크기는 다음 항과 같다. 다만, 차음벽이 설치되어 있는 경우에는 바람의 특성 및 차음벽의 구조에 따라 풍하중을 저감시킬 수 있다.

① 플레이트거더교

플레이트거더교에 작용하는 풍하중은 교량 하나의 교축방향 길이 1 m당 다음 값으로 한다. 플레이트거더교가 병렬로 놓여 있는 경우 적절히 보정하여 사용한다.

<표 11> 플레이트거더교의 풍하중(kN/m)

단면형상	풍하중
$1 \le B/D < 8$	$(4.0-0.2\frac{B}{D}) \cdot D \ge 6.0$
$8 \le B/D$	$2.4D \ge 6.0$

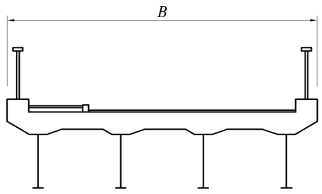
*「도로교설계기준(2010)」 표(2.1.9)

여기서,

B : 교량 총폭 (m) (그림 (7-4) 참조)

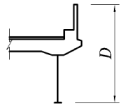
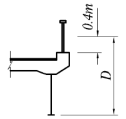
D : 교량 총높이 (m) (표 (7-11) 참조)

<그림4> 교량 총폭 B



*「도로교설계기준(2010)」 그림(2.1.2)

<표 12> 플레이트거더교의 총 높이 D

교량용 방호울타리	벽형 강성 방호울타리	벽형 강성 방효울타리 이외
총높이 D		

*「도로교설계기준(2010)」 표(2.1.10)

② 2주구 트러스

2주구 트러스에 작용하는 풍하중은 풍상측의 유효연직투영면적 1㎡당 표(13)에 나타낸 값으로 한다. 다만, 표준적인 2주구 트러스에 대해서는 풍상측 현재의 교축방향의 길이 1 m당 표(14)에 나타 낸 풍하중을 사용하여도 좋다.

<표 13> 2주구트러스에 작용하는 풍하중(MPa)

트러스	활하중 재하시	$1.25\times10^{-3}/\sqrt{\phi}$
	활하중 비재하시	$2.5\times10^{-3}/\sqrt{\phi}$
교량의 바닥판	활하중 재하시	1.5×10^{-3}
	활하중 비재하시	3.0×10^{-3}

*「도로교설계기준(2010)」 표(2.1.11)

단 $0.1 \le \phi \le 0.6$

여기서, ϕ: 트러스의 충실률(트러스 외곽 면적에 대한 트러스 투영 면적의 비)

<표 14> 표준적인 2주구 트러스의 풍하중(kN/m)

현 재		풍 하 중
재하현	활하중 재하시	$1.5+1.5D+1.25\sqrt{\lambda h} \ge 6.0$
	활하중 비재하시	$3.0D+2.5\sqrt{\lambda h} \ge 6.0$
비재하현	활하중 재하시	$1.25\sqrt{\lambda h} \ge 3.0$
	활하중 비재하시	$2.5\sqrt{\lambda h} \ge 3.0$

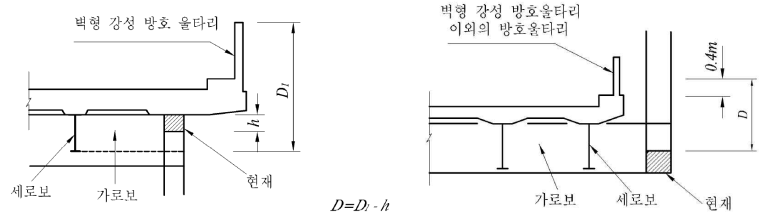
*「도로교설계기준(2010)」 표(2.1.12)

단, $7 \le \lambda/h \le 40$

여기서,

D : 교량 바닥판의 총높이(m)
다만, 교축직각 수평방향에서 보아 현재와 중복되는 부분의 높이는 포함하지 않는다. (그림(5) 참조)
h : 현재의 높이 (m)
λ : 하현재 중심에서 상현재 중심까지의 주구 높이 (m)

<그림 5> 2주구 트러스의 바닥판 총 높이



(a) 상로 트러스의 경우 (b) 하로 트러스의 경우
*「도로교설계기준(2010)」그림(2.1.3)

③ 기타 형식의 교량
기타 형식의 교량의 주거더 부분에 작용하는 풍하중은 주거더의 형상에 따라 위 두 항목을 적절히 선택하여 적용한다. 규정되지 않은 부재에 작용하는풍하중은 단면형상에 따라 표(15)에 나타낸 값을 사용한다. 또한 활하중이 재하될 때에는 교면상 l.5 m의 위치에서 1,500 N/m의 풍하중이 활하중에 대하여작용하는 것으로 본다.

<표 15> 플레이트거더교, 2주구 트러스 이외의 교량 부재에 작용하는 풍하중

부재의 단면형상		풍 하 중 (MPa)	
		풍상측 부재	풍하측 부재
원형	활하중 재하시	0.75×10^{-3}	0.75×10^{-3}
	활하중 비재하시	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-3}
각형	활하중 재하시	1.5×10^{-3}	0.75×10^{-3}
	활하중 비재하시	3.0×10^{-3}	1.5×10^{-3}

*「도로교설계기준(2010)」표(2.1.13)

3.9 온도변화

온도변화가 유발하는 하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.12를 그대로 따른다.

- 강교에서 온도변화의 승강은 가설시 온도를 기준으로 하여 계산한다. 온도변화의 범위는 −10 ℃에서 +50 ℃를 표준으로 하되 특히 추운 지방에서는 −30 ℃ 에서 +50 ℃까지로 한다. 타이드아치, 보강거더가 있는 아치, 라멘, 강바닥판 등에서는 태양의 직사부분과 그늘부분과의 온도차는 15℃로 한다. 그러나 특별히 조사 검토한 경우에는 온도변화의 범위를 실제의 상황에 따라 정할 수 있다.
- 콘크리트교의 온도변화 범위는 지역별 평균기온을 고려하여 정한다. 보통의 경우 온도의 승강은 각각 15 ℃로 하면 된다. 단면의 최소치수가 700 mm 이상인 경우에는 위 표준을 10 ℃로 하면 된다. 바닥판과 기타 부분의 온도차에 의해 생기는 단면력을 산출하는 경우의 온도차는 5 ℃를 표준으로 하고 온도분포는 바닥판과 기타 부분에 있어서 균일하다고 본다.
- 합성보의 바닥판 콘크리트와 강재거더의 온도차는 10 ℃로 하고 온도분포는 강재거더와 바닥판 콘크리트 각각이 일정하게 분포한다고 본다.
- 설계시 선팽창계수
  ① 강교에서 강재의 선팽창계수는 1.2×10-5 로 한다.
  ② 콘크리트교에서 철근 및 콘크리트의 선팽창계수는 1.0×10-5 로 한다.
  ③ 강재와 콘크리트의 합성거더교에서 강재 및 콘크리트의 선팽창계수는 1.2×10-5 로 한다.
- 가동받침의이동량산정시 온도변화의 범위 및선팽창계수는 표 (16)의 값을 표준으로 한다.

<표 16> 가동받침의 이동량 산정시 온도변화 및 선팽창계수

교량 종류	온도변화		선팽창계수
	보통지방	한랭한 지방	
PSC교, RC교	−5℃ ~ +35℃	−15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
강교(상로교)	−10℃ ~ +40℃	−20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
강교(하로교 및 강바닥판교)	−10℃ ~ +50℃	−20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}

*「도로교설계기준(2010)」 표(2.1.17)

- 수중 또는 토중에 있는 구조물에 대해서는 온도변화의 영향을 고려하지 않는다.

3.10 지진의 영향

지진하중은 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.13을 그대로 따른다.

- 지진의 영향에 대해서는 「도로교설계기준 (2010)」6장 내진설계에서 정하는 바에 따른다.

3.11 설하중

설하중은 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.14를 그대로 따른다.

- 설하중을 고려할 필요가 있는 지방에서는 가설지점의 실제상황에 따라 적당한 값을 정하도록 한다.

3.12 지반변동 및 지점이동의 영향

지반변동과 지점이동으로 인한 하중은 보도교와 도로교의 차이가 없으므로 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.15와 동일한 기준을 적용 한다.

- 하부구조에 대한 지반변동의 영향
  - 하부구조 완성 후 기초지반의 압밀침하 등에 의해 지반변동이 예상되는 경우에는 그 영향을 고려하여야 한다.

- 상부구조에 대한 지점이동의 영향
  - 부정정구조물에서 지반의 압밀침하 등으로 인하여 장기간에 걸친 지점의 이동 및 회전의 영향을 고려하여야 할 경우에는 최종 이동량을 추정하여 단면력을 산정하여야 한다. 단면력의 산정은 탄성계산에 따라야 한다.이 경우 콘크리트교에 대해서는 탄성계산에서 구한 단면력의 50%를 설계계산에 사용하고, 강교에 대해서는 탄성계산에서 구한 단면력을 그대로 설계계산에 사용한다.

3.13 파압

대부분의 보도교는 하천이나 호수 도로 위에 건설 되므로 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.16에 따라 파압에 대한 고려를 할 필요가 없다.

- 하천이나 호수 등의 교각에 작용하는 파압은 일반적으로 무시할 수 있다.

3.14 충돌하중

보도교의 충돌하중은 유목 및 기타 유송물의 충돌과 자동차의 충돌에 대해 고려한다. 이 하중은 「도로교설계기준 (2010)」의 2.1.19에 정의되어 있다.

- 하천을 건너는 보도교의 경우 유목 등 유송물의 충돌이 우려되는 경우 수면높이에 「도로교설계기준 (2010)」의 식 2.1.10의 하중을 재하 한다. 만약 선박의 충돌이 우려되는 경우 이를 설계에 고려해야 한다.

$$P = 0.1Wv$$ 「도로교설계기준(2010)」 식 2.1.10

여기서:

P : 충돌력(kN)

W : 유송물의 중량(kN)

v : 표면유속(m/s)

- 도로를 건너는 보도교의 경우
  ① 교각본체와 독립된 방호시설을 설치하는 것을 원칙으로 한다.
  ② 그렇지 못하는 경우 다음 하중을 노면으로부터 1.8 m 에 수평으로 재하한다.
  차도방향: 1000 kN
  차도직각방향: 500 kN

3.15 난간에 작용하는 수평력

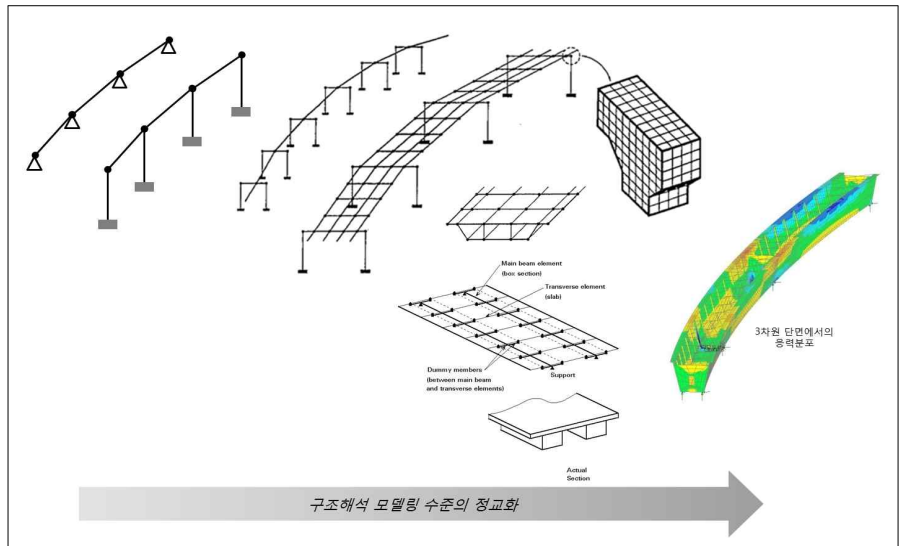
「도로교설계기준 (2010)」의 2.4.3 방호울타리 중 보도에 적용하는 난간(2.4.3.3)을 고려한다.

- 난간 최상단에 측면, 수직으로 하중이 작용한다.
  ① 측면하중: 도심도로상에는 3.75 kN/m, 일반도로상에는 2.5 kN/m의 수평력
  ② 수직하중: 1 kN/m 의 수직력
- 수평력 및 보도 등의 등분포하중의 조합에 대한 바닥판의 내하력과 안전성을 검토하여야한다. 이때, 허용응력은 증가시키지 않는다.
- 난간의 부재는 유아가 빠지지 않을 정도의 간격을 유지하여야 한다.

4 구조설계

4.1 일반사항

공학적 결정이 필요한 각종 규정은 「도로교설계기준 (2010)」을 기본으로 한다. 설계 시에는 실제 교량과 근접한 구조적 거동을 살펴볼 수 있는 구조해석을 수행하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 교량을 구성하는 부재들의 재료 및 단면 특성, 부재 접합관계를 고려해서 구조해석 모델을 정의한다. 또한, 시간에 따른 비선형 효과나 기하학적 비선형 효과가 큰 경우에는 반드시 적합한 비선형해석을 수행하여 설계에 반영한다. 구조시스템이 세장하여 교량에 발생할 진동에 민감해 보이는 경우에는 동적해석을 수행해서 진동수와 진동모드를 분석하여, 설계에 반영한다.



<그림 6> 다양한 수준의 구조해석 모델링

보도교의 재료 및 단면 종류에 따라 고려해야 할 사항이 표(17)과 (18)에 정리 되어 있다. 보도교와 도로교 설계에 차이가 있는 항목을

굵은 글씨로 표시 하였으며 해당 내용을 6.4.2~6.4.5에 정리 하였다. 6.4.2는 하중조합, 6.4.3은 최소 강재두께, 6.4.4는 최소 콘크리트피복 두께 규정, 6.4.5는 슬래브교의 설계사항에 대한 내용을 담고 있다.

<표 17> 강교관련 설계 기준들

강교	하중 조합 및 설계 기준	**2.2.2.2 (1) 허용응력설계법:강교 (→ 6.4.2)** 3.3 허용응력						
	공통 설계 사항	3.1 일반사항 3.2 재료 및 설계일반 **3.4 부재에 관한 일반사항 (→ 6.4.3)** 3.5 연결 **3.6 바닥판 (→ 6.4.4)** 3.7 바닥틀						
	단면별 설계 사항	3.8 플레이트 거더	3.9 합성거더	3.10 트러스	3.11 아치	3.12 케이블	3.13 강관구조	3.14 라멘구조

<표 18> 콘크리트교 관련 설계 기준들

콘크리트교	하중 조합 및 설계 기준	**2.2.2.2(2)허용응력설계법: 콘크리트교(→ 6.4.2)** 4.5 허용응력설계법			**2.2.3.2 강도설계법(→ 6.4.2)** **4.4 강도설계법 (→ 6.4.2)**			
	공동 설계 사항	4.1 일반사항 4.2 설계계산에 관한 일반사항 4.3 구조상세 4.6 프리스트레스트 콘크리트 **4.7 바닥판 (→ 6.4.4)**						
	단면별 설계 사항	**4.8 슬래브교 (→6.4.5)**	4.9 T형 거더교	4.10 박스 거더교	4.11 연속 거더교	4.12 라멘교	4.13 아치교	4.14 합성 거더교	4.15 기타 교량

4.2 하중조합

- 허용응력설계법을 이용해 강교를 설계할 때 표(19)을 따른다

<표 19> 강교에서의 하중조합 및 증가계수

	하 중 조 합	증가계수
1	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화영향	1.15
2	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+풍하중	1.25
3	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화영향+풍하중	1.35
4	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+풍하중+제동하중	1.25
5	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+충돌하중	1.70
6	풍하중만 고려할 때	1.20
7	제동하중만 고려할 때	1.20
8	활하중 및 충격 이외의 주하중+지진의 영향	1.50
9	가설시 하중	1.25

*「도로교설계기준(2010)」 표(2.2.1)

- 허용응력설계법을 이용해 콘크리트교를 설계할 때 표(20)을 따른다

<표 20> 콘크리트교에서의 하중조합 및 증가계수

	하 중 조 합	증가계수
1	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화영향	1.15
2	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+풍하중	1.25
3	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화영향+풍하중	1.35
4	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+풍하중+제동하중	1.25
5	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+충돌하중	1.50
6	풍하중만 고려할 때	1.20
7	활하중 및 충격 이외의 주하중+지진의 영향	1.33
8	가설시 하중	1.25

*「도로교설계기준(2010)」 표(2.2.2)

- 강도설계법을 이용해 콘크리트교를 설계할 때「도로교설계기준 (2010)」2.2.3.2 (2)의 식 2.2.1 ~ 2.2.9를 따른다

$$U = 1.3D + 2.15(L + I) + 1.3CF + 1.7H + 1.3Q$$

$$U = 1.3D + 1.7H + 1.3Q + 1.3W$$

$$U = 1.3D + 1.3(L + I) + 1.3CF + 1.7H + 1.3Q + 1.3(0.5W + WL + BK)$$

$$U = 1.3D + 1.3(L + I) + 1.3CF + 1.7H + 1.3Q + 1.3G$$

$$U = 1.25D + 1.65H + 1.25Q + 1.25W + 1.25G$$

$$U = 1.25D + 1.25(L + I) + 1.25CF + 1.65H + 1.25Q + 1.25(0.5W + WL + BK) + 1.25G$$

$$U = 1.0(D + H + Q + E)$$

$$U = 1.3D + 1.3(L + I) + 1.3CF + 1.7H + 1.3Q + 1.3CO$$

$$U = 1.2D + 1.55H + 1.2Q + 1.2W + 1.2CO$$

여기서,

U : 극한외력에 대한 설계단면력
D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력
I : 충격 또는 이에 따른 단면력
H : 토압 또는 이에 따른 단면력
W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력
WL : 차량활하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력
BK : 제동하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력
CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력
CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력
G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력

4.3 최소 강재두께

「도로교설계기준 (2010)」의 3.4.1.3절 강재의 최소 두께 부분에서 보도부분을 따른다

- 강재의 두께는 8 mm 이상으로 하여야 하나 보도용 바닥판은 이 규정에 따르지 않아도 된다.
  「도로교설계기준 (2010)」의 3.6.2.5절 바닥강판의 최소두께 부분에서 보도부 관련 내용을 따른다.
- 주거더로서의 작용일부를 받는 보도부는 $t = 0.025b$, 다만 $t \geq 10$ mm로 한다.

4.4 최소 콘크리트피복두께

「도로교설계기준 (2010)」3.6.1.5, 4.7.4.1, 4.7.4.2는 각각 강교, 철근콘크리트교, 프리스트레스트교의 바닥판 최소두께를 규정하며 보도부에 대해 같은 규정 사항을 두고 있다.

- 보도부에 설치하는 모든 종류의 콘크리트 바닥판은 140 mm 의 표준 최소두께를 갖는다.

4.5 슬래브교의 설계사항

「도로교설계기준 (2010)」의 4.8.3.2절의 슬래브판의 경간 및 휨모멘트는 보도 하중 부분만 따른다.

- 경간이 10 m를 넘는 단순슬래브교의 활하중에 의한 경간 중앙에 발생하는 경간 방향의 단위폭 (1 m)당 설계 휨 모멘트는 보도에 3.5 kN/m2 의 등분포하중을 주고 산출한 휨모멘트를 슬래브의 전폭으로 나눈 값으로 하는 것이 가능하다.

5. 사용성 검토

5.1 처짐

5.1.1 일반사항

강교와 콘크리트교의 처짐은 각각 「도로교설계기준 (2010)」의 3.2.3와 4.4.9.5를 따른다.

5.1.2 강교의 처짐 제한

- 충격하중을 포함한 활하중에 의한 강교의 주거더 및 가로보의 최대 처짐은 표(21) 값 이하라야 한다. 이 경우 처짐은 부재의 총단면적으로 계산한다.

<표 21> 허용처짐값

교 량 형 식			최 대 처 짐 (m)	
	종 류	지 간	단순지지거더 및 연속거더	게르버거더의 캔틸레버부
플레이트 거더형식	철근콘크리트 슬래브가 있는 플레이트 거더	$L \le 10$m	$L/2{,}000$	$L/1{,}200$
		$10 \le L \le 40$m	$\frac{L}{20{,}000/L}$	$\frac{L}{12{,}000/L}$
		$L \ge 40$m	$L/500$	$L/300$
	기타 슬래브가 있는 플레이트 거더		$L/500$	$L/300$
현 수 교 형 식			$L/350$	
사 장 교 형 식			$L/400$	
기 타 형 식			$L/600$	$L/400$

*「도로교설계기준(2010)」표(3.2.1)

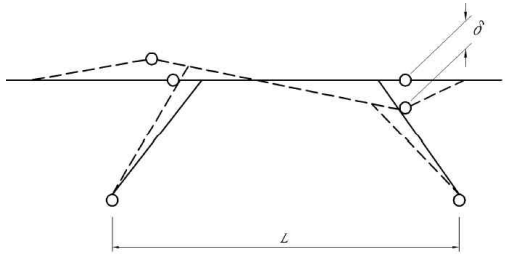
- 라멘교의 활하중(충격을 포함하지 않음)에 의한 최대처짐은 다음 식을 만족하여야 한다.

$\delta \le L/500$ 「도로교설계기준(2010)」 식 (3.14.9)

여기서

δ : 활하중(충격을 포함하지 않음)에 의한 최대처짐 (mm)

L : 지간 (mm)



<그림 7> 라멘교의 처짐

*「도로교설계기준(2010)」그림(3.14.12)

- 주거더를 라멘교각으로 받칠 경우 활하중(충격을 포함하지 않음)에 의한 라멘교각의 최대처짐은 다음 식을 만족하여야 한다.

$(\delta_1+\delta_2)$또는$(\delta_2+\delta_3)$중 큰 쪽 $\le (L_1+L_2+L_3)/500$ 「도로교설계기준(2010)」 식 (3.14.10)

그림 (8-a)의 경우

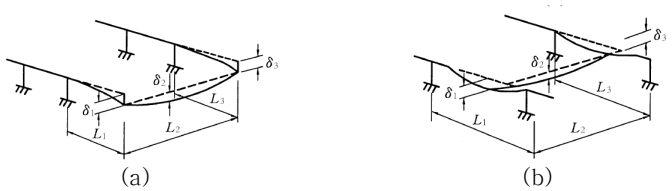
$\delta_1 \le L_1/300$ 「도로교설계기준(2010)」 식 (3.14.11)

$\delta_3 \le L_3/300$ 「도로교설계기준(2010)」 식 (3.14.12)

그림 (8-b)의 경우

$\delta_1 \le L_1/500$ 「도로교설계기준(2010)」 식 (3.14.13)

$\delta_3 \le L_3/500$ 「도로교설계기준(2010)」 식 (3.14.14)



<그림 8> 라멘교각의 처짐

*「도로교설계기준(2010)」그림(3.14.13)

여기서

δ_1,δ_3 : 라멘 가로보의 주거더 위치에서의 처짐

δ_2 : 주거더의 처짐

5.1.3 콘크리트교의 처짐 제한

- 보행자 통행이 많은 도시지역의 교량에 대해 단순 또는 연속 경간을 갖는 부재는 사용활하중으로 인한 처짐의 비가 경간의 1/1000을 초과해선 안된다.
- 보행자 용도가 고려된 캔틸레버의 활하중에 대한 처짐은 켄틸레버 길이의 1/375를 초과해선 안된다.
- 처짐은 상부 구조물 전체의 단면 특성에 준하여 계산하여야 한다. 이때 난간, 연석, 보도 및 패널이 제거되기 전에 상부구조 단면과 일체로 치지 않는 요소는 모두 제외한다.
- 활하중에 의한 처짐을 계산할 때의 활하중 재하 방법은 상부구조의 횡부재들이 같이 작용하여 동일한 처짐을 일으킨다는 가정에 기초를 둔다. 활하중은 모든 종방향 휨부재에 균일한 분포로 재하된다고 보아야 한다.

5.2 진동과 가속도

5.2.1 일반사항

보도교 설계에서는 진동에 대한 사항을 반드시 검토해야 한다. 이는 구조물의 공진성을 피하고 보행자의 불쾌감을 최소화하기 위함이다.

도로교설계기준 (2010)」에는 보도교의 진동에 대한 규정사항이 없으나, 「서울보도육교 (2001)」에는 진동수 규정과 강제 주기력에 대한 가속도 값을 제시하고 있다. 그런데 2000년도 영국 밀레니엄 브릿지의 개통당시 발생한 보행자 주파수와의 공명으로 빚어진 흔들림 현상으로 진동에 대한 제한사항이 국외기준에서는 강화되고 있다. 그러나 아직까지 「서울보도육교 (2001)」등의 지침에서는 「AASHTO PEDESTRIAN (2009)」에서 제시하는 진동수 범위와 다르게 제시되어 있다. 이 지침안에서는 안정성 검토를 위해서 보행자 진동수 선정에 고려해야 할 사항과 사용성 검토가 필요한 경우 ISO에서 제시하는 진동수와 가속도의 상관관계를 제시하였다.

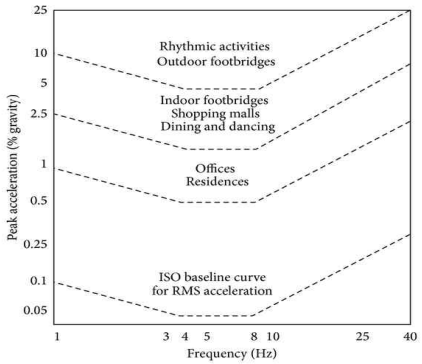
5.2.2 진동수 선정(안정성 검토)

- 수직방향 고유진동수와 수평방향 고유진동수 모두 고려
- 일반적으로 보행자의 수평방향 진동수는 수직방향 진동수의 절반 정도
- 보행자의 걸음걸이 양상에 따라서 진동수는 다름. 예를 들어서 느린 걸음인 경우 수직진동수는 1.7 Hz, 보통 걸음인 경우 2.0 Hz, 조깅하는 경우 2.5 Hz
- 보도교의 진동수는 위 사항을 고려하여 보도교의 기능에 적합하도록 설정해야 함.

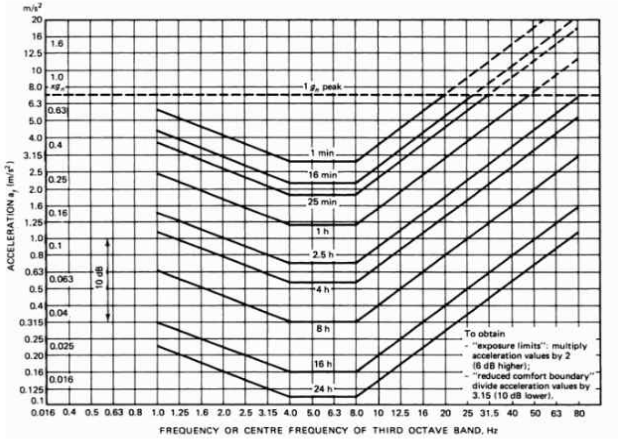
보행자의 진동으로 유발되는 공진현상을 제어하기 위해서 「서울보도육교 (2001)」에서는 수직방향 고유진동수가 2Hz 전후(1.5~2.3Hz)가 되지 않도록 설계하도록 제시하고 있다. 「AASHTO PEDESTRIAN (2009)」에서는 수직방향 고유진동수는 3Hz 보다 크고, 또한, 수평방향 고유진동수는 1.3 Hz 보다 크게 하도록 최소 값을 제한하고 있다. 사실상, 세장한 경량구조시스템은 진동수 제한사항에 대하여 만족하기 쉽지 않을 수 있다. 이 경우에는 진동저감장치를 적절하게 설치하는 방법으로 설계하는 것이 바람직하다.

5.2.3 진동수와 가속도 상관관계(사용성 검토)

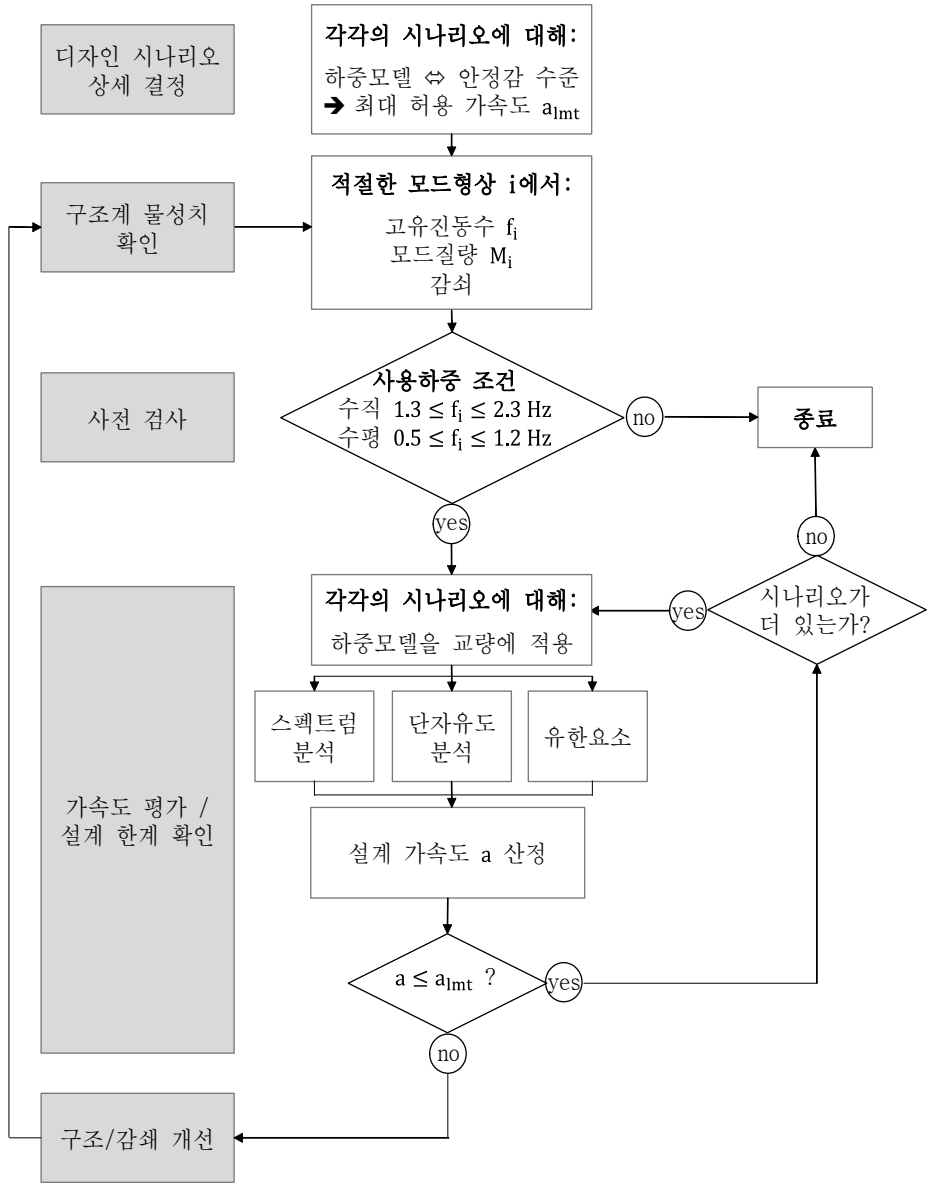
보도교의 동적 움직임에 따라서 보행자가 느끼는 만족감은 매우 다르게 나타난다. ISO 2631에서는 다양한 진동 환경에 대하여 인체 반응에 대한 만족도를 가속도 값으로 표현하여 허용치를 제시하고 있다.



<그림 9> Human comfort criteria based on peak acceleration due to human activities *「ISO 2631-2」



<그림 10> Vertical vibration exposure criteria *「ISO 2631」



첨부 1 해외 보도교 사례

□ 세계적으로 사회기반시설물의 설계가 더 이상 나 홀로 설계가 아닌 주변경관설계와 더불어서 상생효과를 극대화하여 랜드마크 역할과 다양한 활동을 연속적으로 가능하게 하는 방향으로 계획되고 있다.

□ 더불어서 사용하는 재료나 교량형태도 매우 다양할 뿐 아니라 교량 형식 또한 새롭게 구성되고 있다. 이러한 설계경향의 변화를 가속화 시키는 요소는 다양한 계층(정책입안자, 발주자, 도시계획가, 건축가, 구조설계자, 조명디자이너와 사용자 등)의 참여자들의 참여도와 다학제간 전문가 협업이다.

□ 현재 해외에서 완성된 보도교 사례 또는 현재 진행 중인 계획안에서 보도교 설계방향의 변화를 찾아볼 수 있다.

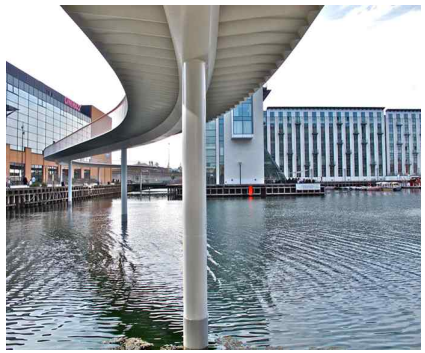
The Bicycle Snake Bridge

위치: 덴마크 코펜하겐
건축주: Municipality of Copenhagen
건축가: DISSING+WEITLING
구조엔지니어: Rambøll (DK)
시행자:Herbosch-Kiere
완공연도: 2014

덴마크 코펜하겐 주민의 50%이상이 자전거를 이용한다. The Bicycle Snake Bridge는 세계적으로 자전거문화를 선도하는 덴마크 국민의 세련

미를 보여준 대표적 교량이다. 또한, 세계적으로 관심을 모으고 있는 'slow traffic'의 대안을 제시한 교량이기도 하다. 이 교량은 도심 상공에서 인접항구 너머로 230m 거리를 자전거로 달리기에 적절한 곡선으로 연장하고, 이를 단일 기둥시스템을 이용하여 기둥간격 17m로 배치한 매우 간결한 교량형태로 구현하였다. 교량의 시점과 종점을 주변 지역과 이음새 없이 연결하고, 경쾌하고 가벼운 느낌이 나는 난간을 설치함으로써 교량을 이용하는 자나 보행자 모두에게 이질감이 아닌 자연스러움으로 다가오고 있다. 코펜하겐은 이 교량을 통해서 'city.people.light award 2014' 2등상을 수상하였다.



The Circle Bridge

위치: 덴마크 코펜하겐
건축주: the City Council of Copenhagen
예술가: Olafur Eliasson
프로젝트 건축가: Robert Banović
건축설계 건축가: Sebastian Behmann
구조엔지니어: Rambøll A/S
프로젝트 관리: KMA Advisory A/S
시공연도: 2015

The Circle Bridge는 Nordea Foundation이 코펜하겐시에게 기부하기 위해서 국제적으로 이름 난 예술가 Olafur Eliasson에게 설계를 의뢰했다. 이에, Olafur Eliasson는 오랜 항해역사를 가진 코펜하겐의 항해하는 배의 돛대에 착안하여 설계한 교량이다. 다섯 개의 서로 다른 크기의 원형 플랫폼을 약간씩 자유롭게 엇갈려 배치하여 통상적으로 직선으로 횡단하는 다리에서는 맛볼 수 없는 전혀 새로운 감흥을 제공한다. 이 교량은 하루 평균 5000명의 보행자와 자전거 주행자들이 이용하고, 선박이 통과하는 경우에는 9m 정도의 항로를 약 20초 걸려서 열어준다.



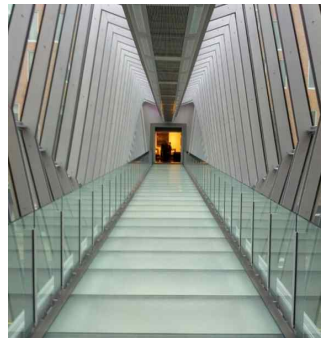


Hilton Columbus Downtown High Street Downtown bridge

위치: 미국 오하이오주
건축주: Franklin County Convention Facilities Authority, Columbus, Ohio
건축가: HOK, 시카고
구조엔지니어: Halvorson and Partners, 시카고
시행자: Turner/Smoot joint venture, Columbus

Hilton Columbus Downtown High Street Downtown bridge는 미국 오하이오 도심에 세워진 연장 30m정도의 보도교이다. 이 교량설계에는 오하이오 발주자인 건축주를 비롯하여 건축가와 구조설계자, 시공자 등 다학제간 전문가들의 긴밀한 협업으로 이뤄졌다. 특히, 강재와 유리를 새로운 유기적인 결합방식으로 구성하여 창의적이고 우아한 구조형태미를 갖춘 교량으로 표현함으로써, 기존의 강구조 교량과는 차별화된 독특한 등뼈모양의 구조형식으로 완성되었다. 또한, 투명한 유리외장재 사이로 드러나 보이는 리드미컬한 등뼈모양의 강구조는 야간 경관연출에도 매우 효과적이다. 미국 AISC IDEAS2 Award를 수상한 작품이다.





Paradise Street bridge

위치: 영국 Liverpool
건축주: PSDA Project Management Liverpool
건축가: Wilkinson Eyre Architects London
구조엔지니어: ARUP
시행자: Turner/Smoot joint venture, Columbus
시공기간: 2006-2007

Paradise Street bridge는 영국 리버풀 도심 번잡한 지역에 위치한 보도교로, 지역재생 프로젝트의 주요한 부분을 차지하고 있다. 계획단계에서부터 건축가와 구조엔지니어의 긴밀한 협업으로 기하학적으로 비정형 형태를 균형 잡힌 구조형태로 발전시킨 것이다. 상자를 구부려 접은 모양의 독특한 형태는 강재로 공장제작하여 현장에서 조립하는 방식으로 시공되었다. 다양한 단면형상으로 구성되었지만 구조적 거동을 고려해서 최대한 세장한 단면으로 단순미를 높인 것이다. 영국 Prix Acier 2009 Anerkennungspreis, RIBA Award 2009를 수상한 작품이다.



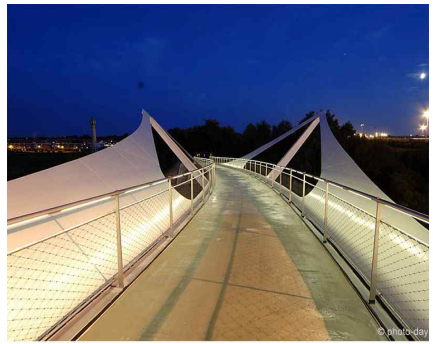


The Knokke bridge

위치: 벨기에 Flanders
건축주: Flemish Community
건축가: Ney & Partners
구조엔지니어: Ney & Partners
시행자:Herbosch-Kiere
시공연도: 2007

The Knokke bridge는 벨기에 Knokke-Heist 근처 해양가로 접근하는 보행자 및 자전거 이용자를 위한 다리이다. 접속도로와의 연속성을 위해서 구부러진 노선을 따라서 30m나 되는 넓은 폭의 다리를 설계해야 하는 어려움이 설계초기조건이었다. 이 프로젝트에서는 지역 및 지형적인 설계조건을 최대한 활용하기 위해서 위상기하학적 측면에서 주변경관과 어우러지는 모습을 찾으려고 노력을 기울였다.
동시에 기하학적 형상에 어울리는 3경간 연속 거더로 출발하여 3경간 사장/현수 하이브리드 구조시스템을 개발하였다. 프로젝트 초기단계부터서 건축주, 건축가, 구조엔지니어의 긴밀한 협업으로 프로젝트를 성공시킬 수 있었다.





The Living Bridge

위치: Ireland Limerick
건축주: University of Limerick
건축가: Wilkinson Eyre Architects
구조엔지니어: ARUP
시공자: Eiffel company
시공연도: 2007

총연장 350m인 The Living Bridge는 Ireland에서는 가장 긴 보도교이다. 이 교량은 University of Limerick로의 접근로를 확보하기 위해서 마련된 교량으로, 초기계획단계에 보전지역인 Shannon강 주변 자연환경 훼손을 최소화하면서, 오히려 자연과 유기적인 관계를 생성할 수 있는 교량 형태를 제시하도록 설계요구조건이 주어졌다. 이에 지역과 지형의 특수성을 고려해서 6경간 케이블 트러스 형식의 구조적 언어를 이용해서 군더더기 없는 자연스러운 곡선으로 배치하였다. French Steel Construction Syndicate에서 주는 the most beautiful steel work (Bridges Category) in 2008로 선정되었다.

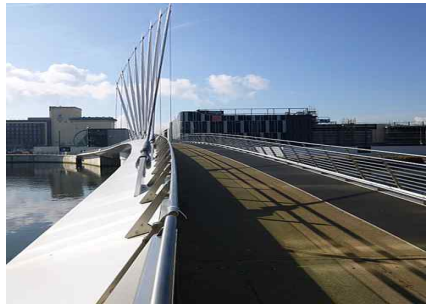


The Media City Bridge

위치: 영국 Salford Quays
건축주: Peel Group
건축가: Wilkinson Eyre
구조엔지니어: Gifford (현재 Ramboll사의 자회사)
프로젝트 관리: KMA Advisory A/S
시공자: Balfour Beatty Civil Engineering Ltd
완공연도: 2011

The Media City Bridge는 미디어시티의 주요 건물들을 엮어주는 곡선 보도로 탄생하였다. 회전형 사장교 형식으로 구조형식은 다른 교량에서도 사용된 형식일 수 있으나, 미디어시티 지역을 최종적으로 경계를 구획하는 물리적 요소로 위치하게 됨으로써 주변경관에 어울리는 맥락적 설계가 필연적이었다. 이에, 세계 유일의 사장교의 주탑 형상을 구현하기 위해서 8개의 세장한 기둥들을 펼쳐진 부채살 형상의 매우 독특한 주탑을 개발하였다. 또한, 보행자의 편의를 도모하기 위해서 케이블 배치 위치도 편측으로 정리하였으며, 건축 기능적으로 요구되는 비대칭적 상황에 적극 대응하는 데크의 단면형상으로 완성함으로써 재료절감과 동시에 구조미를 연출할 수 있게 되었다.





The Peace Bridge (Foyle)

위치: Ireland, Derry
건축가: AECOM, Wilkinson Eyre Architects
시공자: Balfour Beatty Civil Engineering Ltd
완공연도: 2011

The Peace Bridge는 지역재생의 확장선상에서 근처 Londonderrry 철도역사로 접근로를 제공하기 위해서 계획되었다. 총연장 230m, 폭 4m인 자전거 이용자와 보행자를 위한 교량이다. 랜드마크 교량으로 설계하기 위해서 기울어진 주탑을 가진 자정식 현수교를 채택하였다.



The Peace Bridge1

위치: 캐나다 Calgary
건축주: Peel Group
건축가: Santiago Calatrava
구조엔지니어:
강구조 제작: 스페인
시공자: Graham Infrastructure Ltd
완공연도: 2012

The Peace Bridge는 캘거리 도심지역으로 모여드는 근로자들의 수가 계속 증가하는 것에 부응해서 통행인의 편리를 도모하고자, 캘거리 도심지역과 Bow강 남측과 북측을 연결해 주는 교량으로 계획되었다. 교량 폭 6.2m, 길이 130m로 보행자와 자전거 이용자 모두를 위한 교량이다. 반드시 충족해야 할 설계조건으로 높은 주탑을 자제하고, 또한, 강위에 교각을 세우지 않는 것이엇다. 이에 건축가 Santiago Calatrava는 당시까지 랜드마크 교량에 자주 사용하던 비대칭 케이블 교량을 떠나서 단아한 거더교 형식을 도입하였다. 랜드마크교량으로 개념을 발전시키기 위해서 다이아그리드 형식의 튜브구조를 이용하여 붉은 색과 흰색의 강한 색상대비를 적용하였다.





Passerelle Simone de Beauvoir

위치: 프랑스 파리
건축주: Mairie de Paris, Direction de la Voirie et des Déplacements
건축가: Dietmar Feichtinger Architectes
구조엔지니어: RFR
시공자: Eiffel company
완공연도: 2006

The Passerelle Simone de Beauvoir은 프랑스 파리 세느강에 놓인 37번째 교량으로 보행자와 자전거 이용자만을 위한 교량이다. 아치구조와 현수구조를 혼합한 렌즈모양의 렌티큘라 구조형식을 채택하여 형태지각구조의 구조적 효용성을 꾀한 구조미학적 교량이다. 이러한 구조형식의 거동은 지점부에 rotational anchorage를 둠으로써 힘의 흐름의 경로가 원활하기 때문에 보장할 수 있는 것이다. 총체적으로 교량 폭 12m 총 연장 304m 규모에 비해서 매우 세장한 구조형상미를 자랑하게 되었다. 시스템을 구성하는 부재들의 단면크기와 배열도 전체 구조미학적 질서에 어울리는 비례를 가지고 있으며, 도시공간으로 이어지는 부분에서도 일관된 구조미학적 형태로 설계하였다.






The Melkweg bridge

위치: 네덜란드 Purmerend
건축주: Municipality of Copenhagen
건축가: NEXT
완공연도: 2012

순수 보행자 통로와 자전거 주행자의 통로를 극적으로 구성한 Melkweg bridge는 네덜란드'De Kanaalsprong'의 마스터플랜의 일부로 Purmerend의 역사적 도시와 새로 만든 마을을 연결해주기 위해서 계획되었다. NEXT건축가 그룹에 의해서 설계된 이 교량은 보행장와 자전거 주행자의 통로를 구분하고, 스팬 48m의 육중한 아치를 물위 12m 높이까지 이르게 함으로써 지역 주민이나 여행자들은 아치의 높은 위치에서 주변을 한 눈에 둘러 볼 수 있게 하였다. 한편, 그 외 자전거 주행자들은 100m길이의 데크를 통해서 다닐 수 있게 했으며, 이 두 교량을 Melkweg 도로와 연속적으로 이어 놓음으로써 입체적 조형물로 탄생하게 되었다. 결과적으로 Melkweg bridge는 지역경관의 극적인 요소로 자리매김한 것이다.




The Garden Bridge 프로젝트 (진행예정)

위치: 영국 런던
건축주: 런던시
건축가: Thomas Heatherwick
구조엔지니어: ARUP 다학제 전문가팀
완공연도: 2018 예정

The Garden Bridge 프로젝트는 영국 런던의 템스강위에 떠 있는 아름다운 새로운 정원을 떠올린 단순한 생각이 시발점이 되었다. 생각을 점차 실현가능한 방향으로 키워나가면서 보행자의 통로를 엮어가다가 북측 둑에 위치한 Temple지하철역에서 남측 둑까지의 연장 366m의 보도교로 구체화시켜가고 있다. 2018년 Garden Bridge가 완성되면 런던 여행자에게 넉넉한 자연과 휴식을 제공해줄 수 있으며, 세계 최고의 랜드마크 하나로 자리매김할 수 있으리라 기대하고 진행 중에 있다.





첨부 2 국토교통부 질의회신

내용

안녕하십니까

도로교설계기준(한계상태설계법) 적용기준에 관한 질의 입니다.

2015년 1월1일 이후에 발주한 보도육교 설계시 도로교설계기준(한계상태설계법)을 적용해야 하는지 궁금합니다.

[도로교설계기준(한계상태설계법) : 제1장 총칙 1.1 적용범위에 "이 설계기준의 규정은 도로교의 설계, 평가 및 보수에 적용함을 그 목적으로 한다.]

이전에 관련내용에 대해 질의 하였으나, 답변에 다소 모호한 부분이 있어 다시 질의 드립니다. 번거롭게 해드려서 죄송합니다.

좋은하루 되십시요.

첨부파일 첨부파일이 없습니다.

처리기관 정보

처리기관	국토교통부 도로국 간선도로과		
담당자(연락처)	백도준 (044-201-3893)	**신청번호**	1AA-1505-082663
접수일	2015-05-19 16:25:23	**처리기관 접수번호**	2AA-1505-202726
처리 예정일	2015-05-27 23:59:59		

※ 민원처리기간은 최종 민원 처리기관의 접수일로부터 보통 7일 또는 14일입니다.
(해당 민원을 처리하는 소관 법령에 따라 달라질 수 있음)

처리결과(답변내용)

답변일	2015-05-21 09:29:26
처리결과(답변내용)	ㅇ 평소 국토교통 업무에 관심을 가져주셔서 감사드리며 다음과 같이 답변드립니다. - 한계상태설계법은 차량이 통행하는 도로교에 대해서 적용되며, 보도육교는 적용되지 않음을 알려드립니다. 끝.