

교량의 설계 및 해석

이 희 현*

1. 서론

최근에 이르기까지 6차례에 걸친 5개년 경제개발계획의 성공에 따라 매년 교통량은 예측이 불가능할 정도로 급격히 증가하고 있으며, 이로인해 고속도로 및 각종 도로망의 신설도 꾸준히 증가하는 추세이다. 건설부 통계[1]에 따르면 1989년 현재 우리나라 도로상에는 약 12,300여개의 교량이 가설되어 있다.

그리하여 현재는 새로운 교량 가설뿐 아니라 방대한 기존 교량의 유지관리도 교량공학의 중요한 분야를 차지하게 되었다.

본고는, 이러한 관점에서, 새로운 교량구조물의 설계 및 기존교량의 유지관리시 교량기술자들이 고려해야 될 사항들과 현재의 연구동향에 대해 언급하고 있다.

2. 교량의 설계

교량의 설계란 가설하려는 교량이 소정의 기능을 갖고 안전하게 공용될 수 있으며, 경제적이 되도록 사용재료와 부재치수를 결정하는 것이다. 최근 사용재료, 구조해석법, 연결법등의 진보로 인하여 작용하는 하중 또는 외력에 효과적으로 저항할 수 있는 합리적인 교량의 설계가 가능해졌다. 작용하는 외력에 효과적으로 저항하는 합리적인 교량이 되기 위해서는 작용하는 외력에 따라 구조물에 휨부재, 비틀림 부재 및 전단부재 등을

적당히 배치하고 이들 부재에 전달되는 힘이 명확하여 각 부재별 응력 및 변형이 정확히 계산될 수 있어야 하며, 입체적으로 작용하는 외력에 입체적으로 저항하는 구조가 되어야 한다. 이러한 조건들을 만족하기 위해서는 실제 상황에 맞는 해석 모델을 작성하여 구조해석을 실시해야 하며, 가급적 교량 부재에 영구변형이 일어나지 않도록 탄성설계를 하는 것이 좋다. 최근에는 교량 부재로서 박판구조가 많이 활용되고 있으며, 연결법으로는 리벳에 비해 효과가 높은 용접 또는 고장력 볼트가 주로 사용되고 있다.

일반적인 교량의 설계과정은 그림 1과 같으며 교량의 형식이 선정된 후 기본설계 및 상세설계과정은 그림 2와 같다.

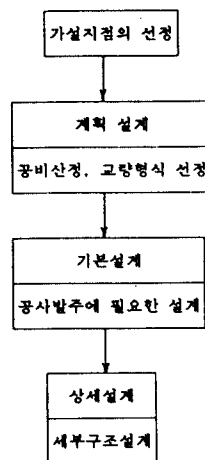


그림 1. 교량설계과정

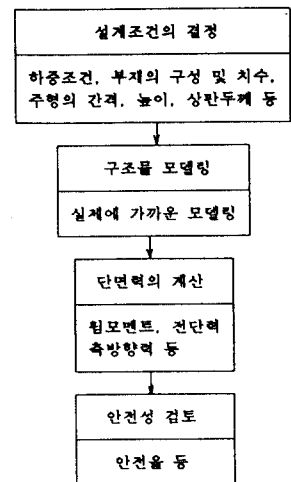


그림 2. 기본설계과정

* 한양대학교 토목공학과 강사, 공학박사

최근에는 계산속도의 향상 뿐만 아니라 부족한 인력난을 해소하기 위해 모든 설계과정을 프로그래밍화하여 컴퓨터를 이용한 설계를 많이 채택하고 있다. 컴퓨터를 이용할 경우 보다 많은 조건을 고려하여 보다 경제적인 설계를 할 수 있지만, 한가지 알아두어야 할 사항은 교량의 실질적인 안전율은 경제적일수록 떨어진다는 것이다.

3. 교량형식의 선정

교량에는 제각기 다른 특성을 갖는 여러가지 형식의 교량이 있다. 합리적인 교량설계를 위한 교량형식 선정시 고려해야 될 사항은 다음과 같다.

- 1) 자연조건 : 지형 및 지반조건, 기상조건
- 2) 인접지역의 상황 : 하천, 교통망
- 3) 시공조건 : 공장제작시 운반거리, 수송수단, 가설기자재
- 4) 환경조건 : 진동, 소음, 염해
- 5) 경제성 등

여기서 언급한 항목들중 교량 형식 선정에 결정적인 영향을 주는 것은 경제성이 되는 경우가 많다. 그림 3은 일반적인 강교량의 형식별 시간간격을 표시한 일례이다[5]. 그러나 그림 3은 과거의 경험을 토대로 작성된 것이므로 최근 시공법의 발달등을 고려해 보면 그림 3의 시간간격이 반드시 가장 경제적이라고 할 수 없으며 시대에 따라 변할 것으로 판단된다. 통상 경제성을 평가할 경우 가설시의 비용에 대한 비교를 하지만 최근에는 유지관리에 필요한 비용도 포함하여 경제성 평가를 하는 사례가 많아지고 있다.

4. 하중결정

설계 당시 작용하는 하중과 설계후 공용수명동안 작용하게 될 하중을 예측하는 것은 합리적인 교량의 설계와 유지관리를 위해 필수적인 사항이다. 교량에 작용하는 하중을 결정하는데 있어 고려해야 될 사항으로는, 표준시방서에 명시된 정하중, 동하중(또는 충격하중), 뿐만 아니라 지구 물리학적으로 발생하는 우발적인 과하중(태풍, 지진), 반복하중으로 인한 피로파괴의 가능성,

부식 및 환경의 영향, 영구변형의 영향등이다. 이러한 하중을 제대로 고려하지 못하여 교량이 붕괴된 사례는 이미 많이 보고된 바 있으며[2], 도로교의 경우 특히 최근에는 자동차 하중의 증대로 철근 콘크리트 상판이 파괴된 사례는 우리 주위에서 쉽게 찾아볼 수 있다.

교량에 작용하는 대부분의 하중은 시방서에 따라 비교적 간단하게 산출될 수 있으나 태풍과 지진과 같은 우발적인 과하중등은 그렇지 못하다. 이러한 하중은 특히 교량의 규모가 커질수록 큰만큼 설계상 중요한 위치를 차지하지만, 오랜 기간동안의 관측 결과를 토대로 추정되어야 하므로 정확히 예측하기란 쉬운 일이 아니다. 장차 장대 교량이 다수 가설될 것이라는 사실을 상기해 볼 때 우리나라의 상황에 맞는 우발적인 과하중을 합리적으로 고려하는 것은 조속히 해결해야 할 중요한 과제이다. 과도한 우발적인 하중을 고려해야 되는 경우 경제적인 설계를 위해 탄소성 해석이 필요하다.

5. 안전성 조사

구조물의 유지관리 또는 공용하중에 대한 구조물의 안전성을 조사하는 방법으로는 기존에는 허용응력 설계법을 많이 사용하였으나 최근에는 한계상태 설계법도 많이 사용되고 있다. 허용응력법은 재료의 강도에 일률적인 안전율을 주는데 반해, 한계상태 설계법에서는 설계상 고려해야 될 한계상태(여러가지 파괴현상과 진동등의 사용상 제한), 재료강도, 그리고 개개 설계하중의 특성에 따라 적절한 계수를 정하여 안전성을 조사하는 방법이므로 허용응력법에 비해 합리적이어서 최근 안전성 조사에 많이 이용되고 있지만 해석방법의 용이성등의 이유로 인해 아직도 허용응력법을 사용하는 기술자도 많이 있다.

안전율은 구조물의 내하력 또는 극한강도와 작용하는 최대하중의 비로 부터 결정된다. 설계시 구조물의 중요도 및 하중의 특성 등으로 부터 안전율을 적당히 결정하고 단면설계를 실시하는 것이 합리적이다. 그런데 내하력 또는 극한강도는 간단히 구해지는 것이 아니며 구조물이 복잡해지면 복잡해질 수록 어려울 뿐 아니라, 시간이 경과

교량형식		지간장(m)	50	100	150	200	형상의 일례
플레이트 거어더	단순교	H형강교	[Diagram: H-beam bridge spans 50m]				[Diagram: Plate girder bridge spans 200m]
		비합성 I 형	[Diagram: Non-symmetrical I-beam bridge spans 50m]				
		합성 I 형	[Diagram: Symmetrical I-beam bridge spans 50m]				
		비합성상자형	[Diagram: Non-symmetrical box girder bridge spans 50m]				
		합성상자형	[Diagram: Symmetrical box girder bridge spans 50m]				
	연속교	비합성 I 형	[Diagram: Non-symmetrical I-beam continuous bridge spans 100m]				
		비합성상자형	[Diagram: Non-symmetrical box girder continuous bridge spans 100m]				
강상판형교		[Diagram: Plate girder bridge spans 200m]					
라멘		[Diagram: Rigid frame bridge spans 100m]					
트러스	단순트러스		[Diagram: Simple truss bridge spans 100m]				
	연속(게르버)트러스		[Diagram: Continuous (girder) truss bridge spans 200m]				
보강아치	상로	랭거형	[Diagram: Reinforced arch bridge with rangers, upper span 100m]				
		로켓형	[Diagram: Reinforced arch bridge with rockets, upper span 100m]				
	중로	로켓형	[Diagram: Reinforced arch bridge with rockets, middle span 100m]				
		랭거형	[Diagram: Reinforced arch bridge with rangers, middle span 100m]				
	하로	트러스트랭거	[Diagram: Reinforced arch bridge with truss rangers, lower span 100m]				
		로켓형	[Diagram: Reinforced arch bridge with rockets, lower span 100m]				
		닐슨로켓형	[Diagram: Reinforced arch bridge with Nilson rockets, lower span 100m]				
아치	상·중 하로	솔리드 리브아치	[Diagram: Solid rib arch bridge spans 100m]				
		브레이스 리브아치	[Diagram: Braced rib arch bridge spans 100m]				
		타이드 아치	[Diagram: Tied arch bridge spans 100m]				

일반적으로 적용되는 범위, 비교적 적용되는 범위

그림 3. 강교량의 형식별 표준 지간장

할 수록 노후화로 인해 구조물의 강성이 떨어지므로 내하력도 감소하게 된다. 이러한 경우 구조물의 극한강도를 올바르게 추정하기 위해서는 엄밀한 구조해석과 현장 측정을 실시해야 한다. 국내에서도 노후 교량의 내하력 판정을 실시한 사례는 많이 보고된 바 있다[3,4]. 최근의 내하력 판정은 신뢰성 이론, 동적 측정치를 이용한 system identification technique, 비파괴시험등의 발달에

의해 손상부위와 손상도를 추정하는 방법을 사용하고 있다. 현재 이용되고 있는 일반적인 내하력 판정과정을 나타내면 그림 4와 같다.

6. 맺음말

최근 교량공학자들의 공통관심사는 초대형 구조물을 가설하고, 적절한 유지관리에 의해 기존

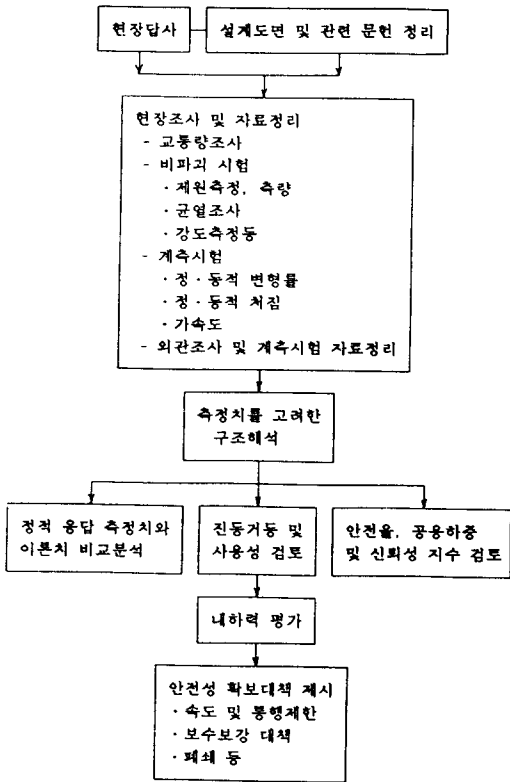


그림 4. 교량 내하력 평가과정

구조물의 공용수명을 연장시키는 것 등을 들 수 있다. 고성능 컴퓨터 산업의 발달로 인한 구조해

석의 정밀화, 경량골재 및 고강도 재료의 개발, 용접성과 시공법의 발달 및 초대형 크레인과 같은 건설기계의 개발 등으로 인하여 초대형 구조물의 가설은 외국에서 뿐만 아니라 국내에서도 가능하게 되었다. 그리고 구조물의 공용수명을 연장하기 위해서 최근에는 첨단계측장비와 신호처리기술, 신뢰성 이론, 피로파괴이론 및 system identification technique 등의 발달로 인해 비교적 정확하게 교량구조물의 손상부위와 손상정도의 파악이 가능하게 되었다. 그리하여 가까운 시일내에 100년 이상의 공용수명을 갖는 초대형 교량이 출현될 것으로 전망된다.

따라서 교량 공학자들은 앞으로 장대교량의 설계와 시공 및 유지관리의 완전 국산화를 위한 연구에 더욱 박차를 가해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설부, "건설통계연감", 1988.
2. 장동일, "파괴역학개론", 한양대 대학원 교재.
3. 건설부, "교량안전도 평가 및 내하력 판정시스템 개발," 1990.
4. 건설부, "건설연구자료(교량 내하력 조사)", 1968~1989.
5. 西川和廣, "橋梁形式의 選定, 設計의 基本的 な考 え方," 橋梁と基礎, Vol.21, No.4, 1987.