

교량의 안전성 평가 기법 개발

Safety Evaluation Development of Bridge

공 정 식* · 이 원 우** · 김 정 훈*** · 정 진 수****

Kong, Jung-Sick · Lee, Won-Woo · Kim, Jung-Hoon · Jung, Jin-Soo

요 약

현재 국내에서 사용하고 있는 교량구조물의 성능평가방법으로는 크게 공용하중에 대한 내하율을 구하기 위하여 허용응력개념이나 강도설계 개념을 적용한 내하력 평가 기법이 사용되고 있다. 그러나 위의 방법들은 일반적으로 공용연수의 경과에 따른 재료 및 구조적 성능의 손실과 여러 가지 하중 및 환경적 요인들의 불확실성으로 인하여 발생하는 손상 및 열화를 반영하기 어렵다. 그리고 제원 및 재료물성치의 불확실성에 대한 기존 설계 자료의 DB 부족으로 기존의 평가방법에서는 이러한 시간의 경과에 따른 성능저하를 정확히 산정할 수 없어 이론상의 값과 실제 구조물과의 차이로 인한 불확실성이 존재 한다. 이에 본 연구에서는 공용연수 경과에 따른 시설물의 재료 · 구조적인 성능 및 거동분석 수행, 신뢰성 해석 수행을 바탕으로 교량 안전성 평가의 합리성 및 현실성을 제고하며, 구조 신뢰성 해석을 수행함으로써 실제 구조물의 강도 한계상태에 대한 파괴확률을 산정하고 그에 대응하는 위험도를 평가함으로써 안전성 검토를 수행하였다.

keywords : 철거 교량, 내하력, 신뢰성 해석

1. 서 론

최근 국내 교량 중에서는 공용연수를 넘기거나, 교량 안전진단 결과 안전성에 문제가 있거나, 또는 도로의 확장 및 선형개량 등으로 인하여 기존교량의 철거작업이 지속적으로 이루어지고 있다. 1998년 “교량유지관리 시스템의 개발 및 운용”(한국도로공사)등과 같은 연구에서 철거교량에 대한 구조적 역량을 검토하기 위하여 교량이 파괴될 때까지의 실험 및 콘크리트의 각종 재료적 특성에 대한 연구가 실시되고 있다.

기존 정밀 안전진단 수행의 목적은 외관조사, 비파괴 시험, 구조해석, 현장측정 등의 결과를 활용하여 내하력을 평가하고 보수보강 대책을 수립하는 것이다. 그러나 본 연구에서는 철거대상 구조물을 통하여 기본 시설물에서 수행할 수 없는 다양한 실험 및 분석을 시행하고, 철거시점에 비파괴시험이 아닌 실제 코어링을 통한 샘플을 채취하여 부재별 물성치를 파악하고 스마트해석을 통한 실제구조물의 거동을 살펴봄으로써 실질적인 내하력을 산정하고 신뢰성 해석을 수행하였다.

* 정희원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 교수 jskong@korea.co.kr
** 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 malongman@hanmail.net
*** 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 anne7982@korea.co.kr
**** 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정 jin0321x@korea.co.kr

2. 교량 개요 및 제원측정

2.1. 대상교량의 개요

본 연구의 대상인 문래 고가차도는 1979년 6월에 준공되었으며 세부 개요는 다음 표와 같다.

교량명	문래고가차도	위치	서울시 영등포구 문래동 34-58
준공년도	1979년도	설계하중	DB-18, DB-24(1998년이후)
교장	252m	교폭	15.4m(왕복 4차선)
교하공간	8.5m	경간수	12경간
상부구조형식	PC Beam(6경간) RC Slab(6경간)	하부구조형식	T형(7기), II형(4기), 교대(반중력식)
교좌장치	탄성고무 형식	신축이음	모노셀조인트

2.2. 제원 및 재료별 강도 측정

표 1 제원측정

부재		설계치	실측치
거더	하부 폭	45cm	47cm
	거더 세로 폭	165cm	161cm
	상부 폭	88cm	98cm
	웹 길이	98cm	97cm
	웹 폭	22cm	24cm

표 2 콘크리트 압축강도

구분		압축하중 (N)	단면적 (mm ²)	압축강도 (MPa)	탄성계수(MPa) 계산식 ($E = \sigma \times \epsilon$)	비고
RC SLAB	평균	232,392.67	7,844.77	27.730	15,609	
PC SLAB	평균	361,974.17	7853.140	45.410	25,895	
PC GIRDER	평균	257,101.17	7,845.81	31.032	25,133	

표 3 강연선 인장시험 결과

구분		항복하중 (kN)	항복강도 (MPa)	극한하중 (kN)	극한강도 (MPa)	ΔL (mm)	연신율 (%)	탄성계수 (GPa)
8mm 강연선	외측거더	58.27	1159.06	74.26	1478.89	4.08	6.38	187.36
	내측거더	55.66	1107.21	72.32	1438.672	4.34	6.78	172.12
15.2mm 강연선	외측거더			235.74	1699.61		8.02	
	내측거더			252.31	1819.07		7.40	

3. 내하력

표 5 현장 재하 및 해석 처짐값 비교

	계측 위치	현장 재하	해석모델 (일체형 거동)	해석모델 (비 일체형 거동)
내측 재하	내측 거더	3.757	3.770	8.915
	외측 거더	0.508	1.752	1.964
외측 재하	내측 거더	1.097	1.998	3.176
	외측 거더	4.697	7.623	16.61

표 6 공용내하력

	공용내하력			
	일체 거동형 모델	비 일체 거동형 모델	스마트 개선 모델	안전진단 보고서
내측 거더	3.521	3.344	3.452	1.38
외측 거더	4.355	3.865	3.353	1.3

마이더스 해석 프로그램을 사용하여 구조 해석을 실시한 후 내하력을 산정하였다. 크게 거더와 슬래브의 일체형 거동 및 비 일체형 거동의 두 가지 케이스를 나누어 해석을 실시하였다. 거더 타설, 긴장력 도입, 슬래브 합성 등을 순차적으로 시공단계해석으로 수행하였으며 비 일체형 거동 모델링에서는 슬래브를 합성하지 않고 슬래브, 연석, 포장의 하중을 계산하여 거더에 하중으로 재하하였다. 시공연도가 1980년대 이전이므로 강선은 보통 릴랙세이션으로 가정하였다.

해석에 의하여 나온 긴장력, 사하중 및 설계활하중, 처짐의 결과 값은 내하력 산정 및 신뢰성 해석에 사용되었다.

스마트 개선 모델은 세종대학교 연구진에서 실시한 스마트 계측 실험의 결과물로서 상시진동계측을 통해 교량의 동 특성을 추정한 후 마이더스 해석 모델을 실 교량의 특성에 맞추어 역해석을 실시하여 개선한 모델이다. 실구조계의 거동 특성을 파악하기 위한 모델이다.

4. 신뢰성 해석

표 7 신뢰성 해석 결과

비 일체형 거동		신뢰성지수(β)
설계도면 기반해석	시공직후	6.02
	외부강선보강직후	5.59
	철거시점	5.59
실측제원 및 물성치 기반해석	시공직후	5.70
	외부강선보강직후	5.31
	철거시점	5.31

표 7은 비 일체형 거동의 신뢰성 해석 결과이다. 설계도면, 실측제원 기반해석 결과를 비교하면 실측한 재료 물성치 값의 변동에 의해 신뢰성 지수가 감소하였으며 시공직후에 비해 외부강선보강직후 신뢰성지수가

떨어지는 이유는 DB-18하중에서 DB-24하중으로 증가했기 때문이다.

일반 적인 구조물의 설계 목표 신뢰성 지수는 3.0으로서 대상교량의 신뢰성 지수가 6.02와 5.59로 구조적 안전성이 충분히 보장되는 것으로 나타났다. 그러나 외부영향(온도, 습도, 풍하중)을 고려하지 못하여 신뢰성 지수 값이 올라간 경향이 있으며 외부강선 보강 직후의 샘플링 채취가 없었으므로 철거시점과 외부강선 보강 직후의 신뢰성지수가 변동이 없는 결과를 보였으므로 추후 이 부분에서 연구가 더 이루어져야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 재료강도, 부재 제원, 염화물 시험 등을 통해 설계값과 실제 사용환경 사이의 변동성을 분석하였다. 강재의 경우 최대 6%의 차이를 보였으며 제원의 경우도 최대 12%의 차이를 보여 거더의 제원 또한 변동성이 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

2. 내하성능의 경우 처짐에 의한 보정계수가 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이러한 결과로부터 교량 거동의 객관적인 성능평가를 위한 평가 지표 개발이 필요하다 판단되며 신뢰성 해석의 결과 또한 산출의 타당성을 면밀히 검토해야 한다.

3. PSC beam 교량의 경우 활하중에 의한 변위는 큰 차이가 없어 긴장력이 다르더라도 보정계수 산정에 영향이 적고 따라서 휨강도 공용내하력이 실교량의 성능을 제대로 반영하지 못할 수 있다. 따라서 교량 성능의 합리적 평가를 위해서는 휨성능 뿐 아니라 변위 성능 등 복합 평가 지표를 고려해야 할 필요가 있다 판단된다.

감사의 글

본 연구는 서울특별시 도시안전본부의 연구 지원으로 수행되었습니다. 또한 Civil2009를 대여해주신 (주)마이다스IT에도 감사드립니다.

참고문헌

건설교통부(2005), 도로교설계기준

한국도로공사(1998), 교량유지관리 시스템의 개발 및 운용

한국도로공사(2005), 상시교통하중에 의한 교량 내하력 평가시스템 개발 연구

한국시설안전기술공단(2006), 교량 재하시험 매뉴얼

김종대(2009), 상시교통을 이용한 개선된 교량내하력 평가시스템 개발 연구

박경훈, 이상윤, 황윤국, 공정식(2007), 생애주기 비용을 고려한 성능기반 교량 최적 유지관리 전략 수립 시스템 개발

Suraj Parkash(2006), Fatigue performance of prestressed concrete bridges

Wolek A.L, Barton F.W, Baber T.T, Mckeel W.T(1996), Dynamic field testing of the Route 58 Meherrin River Bridge

A.E Aktan(2003), Re-Qualification of aged reinforced concrete T-beam bridges in pennsylvania