

RC-T 교량의 균열을 고려한 내하력평가 연구

A Study on the Load Carrying Capacity of the RC-T Bridge
considering depth of crack

심재수*
Shim, Jae-Soo

김춘호**
Kim, Chun-Ho

Abstract

Recently, many existing bridges has been evaluated for maintenance and protection of collapse. In this study, field measurement according to truck loads tests on the reinforce concrete T beam bridge was carried out. Comparing the results of load test and structural analysis using the moments of inertia of gross section, crack section and effective section, and the moments of inertia of section considering depth of crack, it is conclude that the evaluation of load carrying capacity using the stress modification factor from structural analysis using the moments of inertia of gross section is more rational than using the other moments of inertia of sections.

Key words : RC-T girder bridge, load test, load carrying capacity, depth of crack

1. 서 론

최근 붕괴사고를 방지하고 안전한 유지관리를 위하여 사용중인 교량의 내하력평가⁽¹⁾를 실시하고 있다. 교량의 내하력을 초과하는 하중을 받게 되면 교량에는 국부적인 손상이 발생되고 시간이 경과함에 따라 결국은 구조물의 전체적인 시스템이 불안하게 된다. 이러한 상황으로 초래되는 사회적 불안과 통행지장으로 인한 물류비 등의 경제적 손실을 감안한다면 새로 건설하는 교량 뿐

만 아니라 교량의 안전한 유지관리를 위해 사용 중인 교량의 정확한 거동과 및 합리적인 공용 내하력 평가방법에 대한 연구가 절실히 요구되는 실정이다.

교량의 내하력을 평가하기 위해 현장재하시험과 구조해석을 실시하고 있지만 정확한 내하력을 판정할 수 있는 체계적인 시스템이 갖추어지지 않은 현실에는 동일교량에 대하여 평가자에 따라 공용내하력이 다르게 나타나고 있다.

정확한 내하력을 평가하기 위해서는 현재 교량

* 정회원, 경희대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 중부대학교 건설공학부 전임강사, 공학박사

● 본 논문에 대한 토의를 1999년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

상태에 대응하는 재료적 특성치, 단면 2차모멘트⁽²⁾ 등을 입력하여 해석하여야 하나, 모든 부재들의 물성치를 정확히 입력할 수 없다. 그러므로 이러한 점들을 보완할 수 있는 응력보정계수⁽³⁾를 비교적 정확히 산정해야 한다. 따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 T빔 거더교를 현장재하시험⁽⁴⁾과 구조해석을 실시하여 콘크리트주형 하단에 발생된 휨균열이 내하력평가에 미치는 영향을 비교하여 철근콘크리트 거더교를 보다 합리적인 내하력 평가를 실시할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 현장 재하시험

현장 재하 시험은 설계조건에서의 구조물의 거동과 실제구조물의 거동을 비교하여 응력보정계수를 산정하여 구조물이 가지고 있는 실제의 내하력 및 거동을 평가하기 위하여 실시한다.

2.1 대상교량

현장재하시험은 철근콘크리트 T형 거더교에 대하여 실시하였으며 대상교량의 제원은 Table 1과 같다. 현장에서 조사한 철근의 배근은 슬래브에는

D16-125mm간격이고 주형은 D29철근 2가닥씩 100mm간격으로 배근되어 있었으며 주형 단면현황은 Fig 1과 같다.

Table 1. 대상교량

상부구조 형식	교폭 (M)	경간장 (M)	설계 하중	준공 연도	비고
T빔 거더교	9.6	11.43	DB-13.5	1957	단순교

2.2 시험 위치 및 재하차량 제원

시험구간은 기기설치 및 시험 재하차의 주행성 및 시험조건⁽⁵⁾을 고려하여 최대 단면력이 발생하는 위치를 설정하였다.

재하차에 의한 거동을 측정하기 위해 측정위치는 최대 변형이 발생하는 위치(L/2)를 선정하여 주형의 변위를 측정하기 위해 변위계를 각 주형 하단에 설치하였다. 또한 재하차량에 대한 철근의 응력상태를 측정하기 위해 주형 하단의 주철근을 노출시켜 철근에 철근용 스트레인게이지를 부착하였다. 교량에 설치된 계측기(6)(↑:변위계(DT), ·:스트레인게이지(S))의 부착위치는 Fig 2와 같고 재하차량의 제원은 Table 2와 같다.

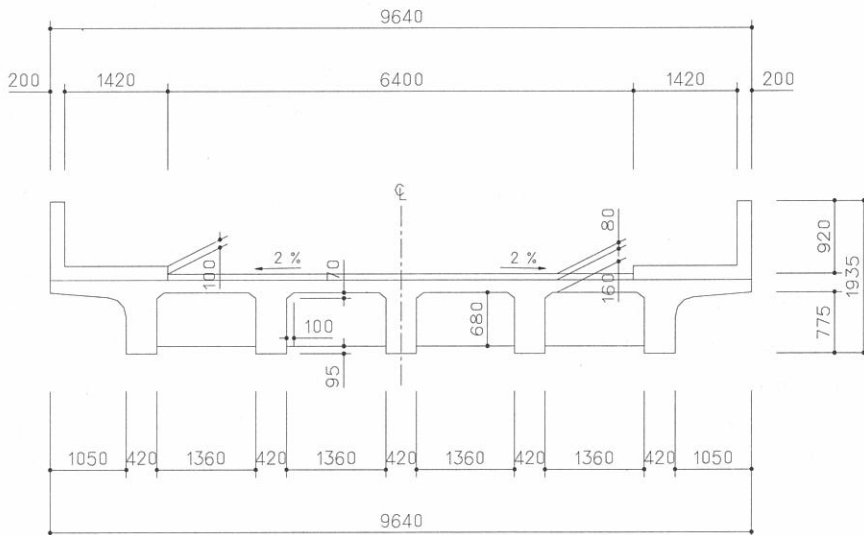


Fig. 1 대상교량의 단면현황 (단위 : mm)

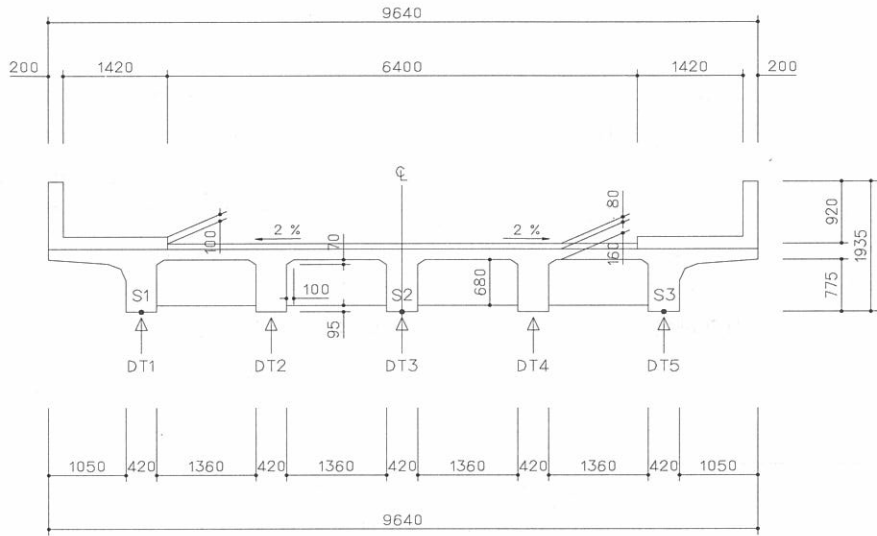


Fig. 2 계측위치 (단위 : mm)

Table 2. 재하차량의 제원

전륜하중 (t)	중륜하중 (t)	후륜하중 (t)	전-중축간거리 (m)	중-후축간거리 (m)	후륜거리 (m)
6.21	13.49	13.48	3.2	1.3	1.85

2.3 하중재하방법

재하 시험은 덤프트럭 1대를 이용하여 교량의 정모멘트구간에 횡단면으로 Fig 3과 같이 하중경우수를 설정하여 측정위치에서 최대변위가 발생되도록 재하하였다.

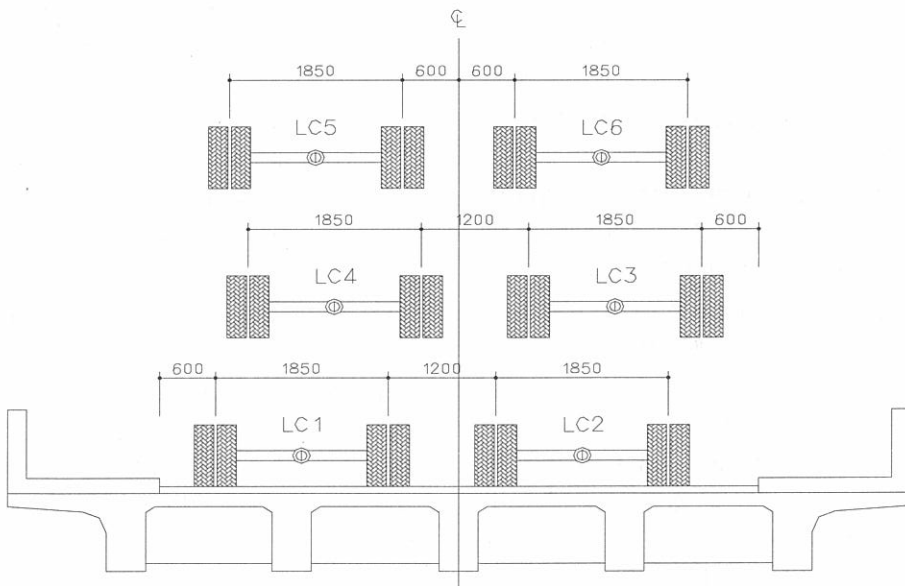


Fig. 3 하중 경우수의 횡단면도

2.4 현장재하시험 결과

대상 교량의 실제거동을 파악하기 위해 각 하중 경우수에 대하여 재하시험을 실시하였다. Table 3은 하중경우별로 거더의 실제거동을 나타낸 것이다. 재하시험 결과, 철근 및 콘크리트표면에 부착된 스트레인게이지는 현장주변환경이나 설치여건에 따라 계측결과가 크게 영향을 받으므로 본 연구에서는 처짐측정치를 사용하여 구조물의 거동을 비교하기 위한 응답비를 산정 하고자 한다.

Table 3. 정적재하시험 결과

구 분	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6
DT1(mm)	0.68	0.13	0.11	0.68	0.75	0.11
DT2(mm)	1.14	0.63	0.50	1.12	1.14	0.53
DT3(mm)	0.94	1.02	0.85	1.10	1.01	0.91
DT4(mm)	0.39	1.09	1.11	0.54	0.52	1.12
DT5(mm)	0.10	0.63	0.80	0.12	0.12	0.75

3. 구조해석

3.1 구조해석방법

본 연구에서는 철근콘크리트 T형 거더교를 대상으로 바닥 판과 주형을 판요소와 들보요소를 사용하여 모델링하여 유한요소프로그램인 SAP90으로 해석하였다. 또한 구조물의 기하학적 형상을 반영하기 위해 거더의 단면2차모멘트를 거더의 실제위치에서의 단면 2차모멘트로 환산한 값을 입력하여 해석하였다. 대상교량이 단순교로서 거더 지지조건은 수평, 수직변위가 구속된 상태였으며 난간과 연석을 고려하여 해석하였다. 구조해석시 입력 데이터 중의 하나인 단면2차 모멘트를 전단면 2차모멘트(Ig), 환산균열 단면2차 모멘트(Icr), 유효단면 2차모멘트(Ie), 그리고 실제 구조물 주형하단의 휨균열 깊이를 현장에서 측정하여 계산한 단면 2차모멘트(Ico) 각 각의 값을 적용하여 재하차량에 대한 이론치짐을 구하여 실측치와 비교하고자 한다.

3.2 균열심도조사

육안조사 결과를 토대로 T형 Girder에 대하여 초음파 전달속도를 측정하여 균열깊이(7)를 산출하였다. 균열심도는 LESLIE/CHEESEMAN의 균열심도 공식을 이용하여 산출하였고, 측정방법은 초음파탐지기를 이용하여 균열 양 측면에 초음파 발전센서와 수신센서를 위치시킨 후, 수신센서에 도달되는 초음파의 전달속도를 측정하는 간접법을 적용하였다.

$$d = \frac{L}{2} \cdot \sqrt{\frac{T_c^2}{T_s^2} - 1}$$

여기서, L:측정 폭 (cm)

Tc:균열을 돌아서 도달한 시간(μsec)

Ts:건전 콘크리트의 도달시간(μsec)

조사결과 주 부재인 T형 Girder의 중앙부 균열 심도는 Table 4와 같이 피복두께이하 정도로 진행되었음을 알 수 있다

Table 4. 균열조사 결과표

부재명	Tc (μsec)	Ts (μsec)	균열폭 (mm)	균열심도 (mm)
주형	38.7	30.8	0.2	38
	28.0	21.0	0.2	44.1
	38.4	30.0	0.3	39.4
	43.2	29.7	0.5	52.8
	38.4	30.0	0.3	39.9
	43.2	25.4	0.5	68.8
	53.1	27.9	0.5	81.0

3.3 재하차량에 대한 이론 처짐 해석결과

구조해석시 입력하는 단면 2차모멘트로 전단면 2차모멘트(Ig), 균열환산단면 2차모멘트(Icr), 유효 단면 2차모멘트(Ie), 균열깊이를 반영한 단면 2차모멘트를 적용하여 계산한 재하차량에 대한 이론 처짐은 Table 5와 같다.

Table 5에서 구조해석시 입력하는 단면 2차모멘트에 따라 실측치와 비교할 이론치짐의 값이

차이가 많이 발생됨을 확인 할 수 있다. 또한 대상 구조물은 전단면 2차모멘트를 사용하여 구한 이론처짐이 제일 작고 현장재하시험 계측결과에 보다 유사한 값을 나타냄을 알 수 있다.

Table 5. 구조해석결과

구 분	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	
Ig	DT1(mm)	1.52	0.12	0.03	1.33	1.42	0.07
	DT2(mm)	1.39	0.59	0.50	1.34	1.37	0.54
	DT3(mm)	1.02	1.08	1.02	1.08	1.05	1.05
	DT4(mm)	0.50	1.34	1.39	0.59	0.54	1.37
	DT5(mm)	0.03	1.33	1.52	0.12	0.07	1.42
Icr	DT1(mm)	3.56	0.57	0.34	3.21	3.38	0.45
	DT2(mm)	3.04	1.43	1.26	2.91	2.97	1.35
	DT3(mm)	2.23	2.30	2.23	2.30	2.27	2.27
	DT4(mm)	1.26	2.91	3.04	1.43	1.35	2.97
	DT5(mm)	0.34	3.21	3.56	0.57	0.45	3.38
Ie	DT1(mm)	1.63	0.14	0.36	1.43	1.53	0.09
	DT2(mm)	1.47	0.63	0.54	1.42	1.45	0.58
	DT3(mm)	1.08	1.14	1.08	1.14	1.11	1.11
	DT4(mm)	0.54	1.42	1.47	0.63	0.58	1.45
	DT5(mm)	0.36	1.43	1.63	0.14	0.09	1.53
Ico	DT1(mm)	2.22	0.25	0.10	1.97	2.10	0.18
	DT2(mm)	1.95	0.86	1.75	1.88	1.92	0.81
	DT3(mm)	1.43	1.50	1.43	1.50	1.46	1.46
	DT4(mm)	0.75	1.88	1.95	0.86	0.81	1.92
	DT5(mm)	0.10	1.97	2.22	0.25	0.18	2.10

4. 응답비 산정

재하시험으로 계측한 실측처짐과 구조해석으로 구한 이론처짐의 비를 사용하여 계산하는 응답비(실측치/이론치)는 Table 6과 같다. 응답비는 구조물의 구조적 건전성 및 해석결과의 적정성을 판단할 수 있다. 대상 구조물에서는 전단면 2차모멘트를 사용하여 구한 이론처짐이 현장재하시험 계측결과에 보다 유사한 값을 나타냄을 응답비를 보면 알 수 있다. 응력보정계수를 산정하는 과정에서 처짐값으로 구한 응답비는 큰 영향을 미치

게 된다. Table 6에서 LC4의 DT3의 경우에는 적용하는 단면2차모멘트에 따라 응력보정계수를 증가시키기도 하고 감소시킬 수도 있음을 알 수 있다. 변형도가 아닌 처짐값을 사용하여 응력보정계수를 산정하고 내하력을 평가하는 경우에는 전단면 2차모멘트를 사용하여 이론처짐을 구하는 것이 실제 교량의 내하력보다 크게 평가하지 않게 되며 안전한 유지관리를 할 수 있을 것이다.

Table 6. 응답비(실측치/이론치)

구 분	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	
Ig	DT1	0.44	1.07	3.53	0.51	0.53	1.51
	DT2	0.82	1.07	1.00	0.84	0.83	0.98
	DT3	0.92	0.95	0.84	1.02	0.96	0.86
	DT4	0.79	0.82	0.80	0.92	0.96	0.81
	DT5	3.27	0.47	0.53	0.96	1.67	0.53
Icr	DT1	0.19	0.22	0.32	0.21	0.22	0.23
	DT2	0.38	0.44	0.40	0.39	0.38	0.39
	DT3	0.42	0.44	0.38	0.48	0.44	0.40
	DT4	0.31	0.38	0.37	0.38	0.38	0.37
	DT5	0.29	0.20	0.22	0.20	0.26	0.22
Ie	DT1	0.41	0.95	0.29	0.48	0.49	1.25
	DT2	0.77	1.00	0.93	0.79	0.79	0.91
	DT3	0.87	0.90	0.79	0.97	0.91	0.81
	DT4	0.73	0.77	0.75	0.86	0.89	0.77
	DT5	0.27	0.44	0.49	0.85	1.38	0.49
Ico	DT1	0.30	0.52	1.06	0.35	0.36	0.59
	DT2	0.58	0.73	0.66	0.60	0.59	0.66
	DT3	0.66	0.68	0.60	0.74	0.69	0.62
	DT4	0.53	0.58	0.57	0.63	0.64	0.58
	DT5	0.98	0.32	0.36	0.46	0.65	0.36

Fig 4와 Fig 5에서 하중작용점에서 떨어진 거더의 응답비는 하중작용점에서 가까운 거더의 응답비에 비해 변동폭이 크다. 그러므로 거더교의 내하력평가지 무조건 불리한 값을 선택하는 것 보다는 하중작용점에서 가장 가까운 부재 혹은 최대 처짐이 발생한 거더의 처짐을 사용하여 내하력을 평가하는 것이 합리적이다.

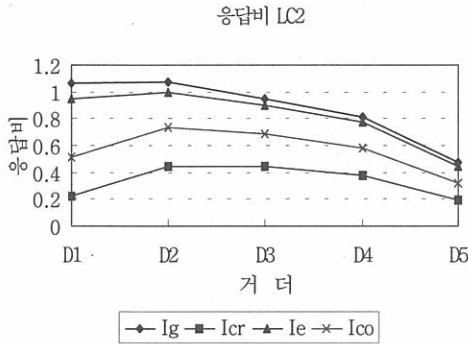


Fig. 4 LC2에 대한 응답비

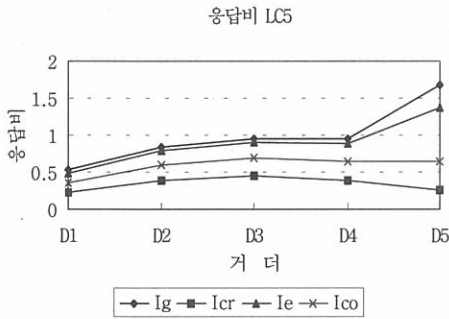


Fig. 5 LC5에 대한 응답비

5. 결 론

교량의 내하력을 평가하기 위해 현장재하시험과 구조해석을 실시하고 있지만 정확한 내하력을 판정할 수 있는 체계적인 시스템이 갖추어지지 않은 현실에는 동일교량에 대하여 평가자에 따라 공용내하력이 다르게 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 구조물을 잘 반영할 수 있는 구조해석이 되기 위한 방안을 모색하고자 철근콘크리트 T형 교량에 대한 재하시험 및 구조해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 구조해석시 입력하는 단면 2차모멘트에 따라 구조물의 응답비(실측치/이론치)가 다르게 산정되므로 내하력도 다르게 평가된다.

2) 본 연구 대상교량은 전단면 2차모멘트를 사용하여 구한 이론치짐이 제일 작고 현장재하시험 계측결과에 보다 유사한 값을 나타낸다. 그러므로 내하력평가에 이용되는 응력보정계수를 구할 때는 전단면 2차모멘트를 사용한 구조해석으로 이론치짐을 구하는 것이 교량의 실제 내하력과 유사한 평가가 될 것이며 또한 보다 안전하게 유지관리할 수 있다.

3) 균열환산단면 2차모멘트를 입력하여 해석한 경우는 현재 교량의 균열깊이를 조사하여 구한 단면 2차모멘트를 입력하여 해석한 경우에 비해 실측치와 차이가 많이 발생됨을 확인하였다. 그러므로 균열환산단면 2차모멘트를 입력하여 구한 이론치짐값을 이용하여 응력보정계수를 산정하여 내하력을 평가하게 되면 실제교량의 내하력 보다 크게 평가할 수 있다.

4) 각 재하경우에 대하여 무조건 불리한 응답비를 사용할 것이 아니라 하중에 대한 응답이 크게 나타나는 즉 하중작용점에서 가까운 부재 혹은 최대 처짐이 발생된 부재의 응답비를 사용하여 응력보정계수를 구하는 것이 합리적이다.

참 고 문 헌

1. 대한토목학회, "도로교 표준시방서", 1996.
2. 대한토목학회, "콘크리트 표준시방서", 1996.
3. 건설교통부, "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침", 1996.
4. 시설안전기술공단, "안전진단 및 정밀안전진단교육 교재(Ⅰ), (Ⅱ)", 1996.
5. 건설교통부, 한국건설기술연구원, "교량점검자를 위한 교육교재", 1995.
6. 한국건설기술연구원, "교량관리체계 개선". 건설교통부, 1995.
7. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조물의 비파괴검사 및 안전진단", 1995.

(접수일자 : 1999. 2. 5)