Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. 23, No. 4, July 2019, pp.53-60
https://doi.org/10.11112/jksmi.2019.23.4.53

pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

의사정적재하시험을 이용한 PSC 거더교의 공용 내하력평가

윤상귀[1], 신수봉[2*]

Evaluation of Bridge Load Carrying Capacity of PSC Girder Bridge using Pseudo-Static Load Test

Sang-Gwi Yoon[1], Soobong Shin[2*]

Abstract : In this study, a method for updating the finite element model of bridges with genetic algorithm using static displacement were presented, and verified this method using field test data for PSC girder bridge. As a field test, static load test and pseudo-static load test were conducted, and updated the finite element model of test bridge using each test data. Finally, evaluated the bridge load carrying capacity with updated model using pseudo-static load test's displacement data. To evaluate the bridge load carrying capacity, KHBDC-LSD, KHBDC and AASHTO LRFD's live load model were used, and compared the each results.

Keywords: Pseudo-Static load test, Genetic algorithm, Model updating, PSC girder bridge, Load carrying capacity

1. 서 론

최근 국내・외적으로 노후화된 시설물이 점차 증가함에 따라 사회기반시설물의 안전 점검 및 유지관리에 대한 관심이 급증하고 있는 추세이며, 이에 따른 효율적인 시설물 안전성 평가 및 유지관리에 대한 기술개발이 필요한 시점이다.

현재 공용중인 교량의 안전성평가는 한국시설안전공단에서 발간한 "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침"에 의해 시행되고 있다(KISTEC, 2017). 교량의 안전성평가에는 일반적으로 공용 내하력을 진단하며, 위의 세부지침에 따르면 교량의 공용 내하력은 계측 값과 해석 값의 비인 응답보정계수를 적용하여 산정하도록 하고 있다. 그러나 응답보정계수의 사용은 교량의 강성 및 경계조건의 변화에 대한 물리적인 특성을 반영하고 있다고 보기 어렵고, 이는 부정확한 내하력평가와 직결된다. 교량의 합리적인 내하력평가를 위해서는 실제 구조물의 응답과 유한요소해석모델의 응답을 일치시키는 모델 개선 과정이 필수적으로 이루어져야한다. 최근에는 인공신경망(Atificial Neural Network), 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm) 등의 최적화 기법을 이용한 유한요소해석모델 개선 기법의 연구(Hasancebi et al., 2012; Jung, 2008)가 진행되고 있으며, 이 연구의 선행 연구에서는 Matlab 환경으로 개발한 유전자 알고리즘과 상용 유한요소해석 프로그램을 연동한 해석모델 개선기법을 제안하고, 이를 실증시험 데이터를 바탕으로 검증한 바가 있다(Kim, 2016). 그러나 Matlab 환경의 유전자 알고리즘 프로그램과 상용 유한요소해석 프로그램의 연동은 대상교량의 개선된 시스템 변수 들이 오고가는 과정에서 방대한 시간이 소요된다는 단점이 있다. 이에 이 연구에서는 Matlab 환경의 유한요소해석 프로그램을 개발하였고, 이를 유전자 알고리즘 프로그램과 연동한 해석모델 개선 기법을 제안하였다.

또한 대상교량의 내하력평가 시에는 일반적으로 정적재하시험이 이용된다. 하지만 정적재하시험의 경우 재하시험 시에 재하차량을 제외한 일반차량을 전면통제해야하는 단점이 있다. 이에 반해, 의사정적재하시험은 재하차량을 10km/h 이하로 저속 주행시켜 계측한 동적 응답데이터로부터 정적 응답을 유추하는 방법으로 야간에 수행 시 정적재하시험에 비해 차량통제가 용이하고 재하시험 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있다. 이에 이 연구에서는 정적재하시험과 의사정적재하시험을 수행하였으며, 정적재하시험과 의사정적재하시험에 의한 개선 모델의 비교를 통해 의사정적재하시험을 이용한 교량 내하력평가의 가능성을 검증하고자 하였다.

[1]정회원, 인하대학교 토목공학과 석사
[2]정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 정교수, 교신저자
***Corresponding author:** sbshin@inha.ac.kr
Civil Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea)
•본 논문에 대한 토의를 2019년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Copyright Ⓒ 2019 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

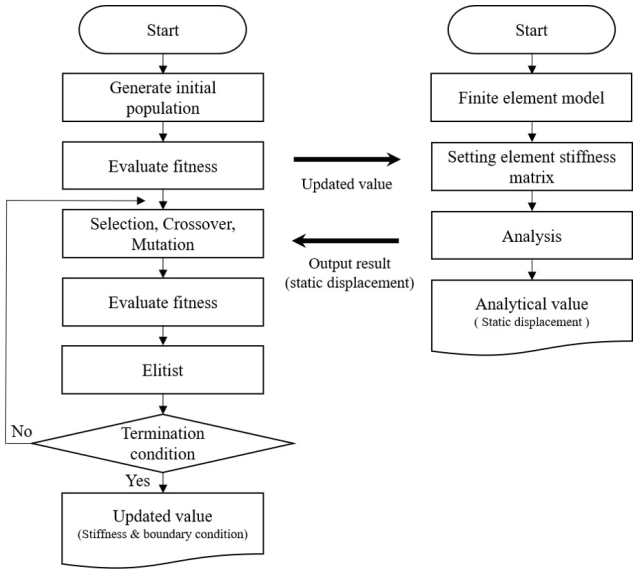


Fig. 1 GA-based finite model updating process

Photo 1 Overview of test bridge

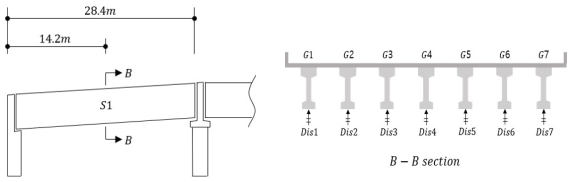


Fig. 2 Sensor layout

2. 유전자 알고리즘 기반의 유한요소해석모델 개선 기법 및 실증시험을 통한 적용

2.1 유전자 알고리즘 기반의 유한요소해석모델 개선 기법

2.1.1 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연에서 발생하는 유전 메커니즘인 선택(Selection), 교배(Crossover), 돌연변이(Mutation) 등을 컴퓨터 프로그램의 연산자로 활용한 진화론적 알고리즘이다. 적합도 함수만을 이용하여 최적해 탐색을 수행하므로 제약조건이 많거나 비선형적인 복잡하고 다양한 종류의 최적화 문제에 대해 적용이 용이하다. 이 연구에서는 선행 연구를 통해 개발된 동적 돌연변이 연산자를 활용하는 유전자 알고리즘을 차용하였다(Kim, 2016). 차용한 알고리즘은 교배 연산자와 더불어 균일 또는 동적으로 성질이 변하는 돌연변이 연산자를 사용하여, 기존의 유전자 알고리즘에 비해 전역 최적해 탐색 속도와 수렴 정도가 우수하고, 구속조건을 가진 최적화 문제에 효과적이다(Kim, 2016).

2.1.2 유한요소해석모델 개선 절차

이 연구에서는 Matlab 환경으로 개발된 유전자 알고리즘과 상용 유한요소해석 프로그램과의 연동 시에 발생하는 Time cost 문제를 해결하기 위해, Matlab 기반의 유한요소해석 프로그램을 개발하여 이를 연동하였고, 그 일련의 연산과정은 Fig. 1과 같다. 유한요소해석모델에 의해 계산 된 해석 변위와 계측 변위를 이용하여 적합도 함수를 구성하고, 설정한 적합도 함수를 기준으로 선택, 교배, 돌연변이 등의 연산과정을 통해 최적해 탐색을 수행한다. 최적해 탐색은 각 유전 연산자의 다양한 확률 조합을 통해 이루어지며, 얻어진 최적해 중, 적합도 함수에 가장 근접한 값을 선택하여 해석모델에 적용한다.

2.2 실증시험

2.2.1 개요

이 연구에서는 서울에 위치하고 있는 PSC 거더교를 대상으로 한 재하시험 데이터를 이용해 제안한 알고리즘의 검증을 진행하였다. 대상교량의 재하시험 수행 구간은 경간 28.4m에 교폭 15m이며 PSC-I형 거더 7개와 6개의 가로보로 이루어져있다. 각 거더의 중앙부에 변위계를 부착하여 정적변위를 계측하였으며, 재하시험은 정적재하시험과 의사정적재하시험으로 나누어 수행하였다. Photo 1은 대상교량의 전경이며, Fig. 2는 변위계의 부착위치이다.

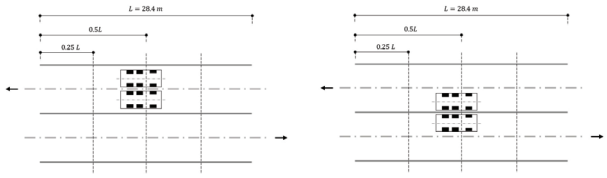
2.2.2 정적재하시험

정적재하시험에서는 대상교량의 각 거더 별 변위계에서 최대 변위가 계측되는 곳에 재하차량 2대를 위치 시켰으며, 3개의 Load Case를 구성하였다. 각 Load Case 별로 2회씩 계측한 후, 그 평균값을 사용하였다(Fig. 3, Table 1).

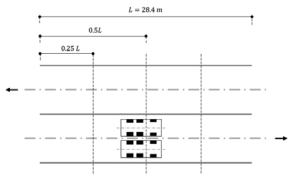
2.2.3 의사정적재하시험

의사정적재하시험은 재하차량을 10km/hr 이하로 저속주행하여 얻은 구조물의 동적 응답데이터로부터 정적 응답을 유추하는 방법으로 이 연구에서는 정적재하시험에 사용한 재하차량을 5km/hr의 속력으로 1,2차로에 상・하 주행(Test 1~4)하였다. Test 1~4에 대해 거더 중앙부에 부착된 변위계를 통해 얻은 변위의 시간이력데이터를 low-pass filtering하여 정적 응답을 추출하였으며, 추출한 데이터에서 12개의 Load

Case를 구성하였다. Load Case는 각 Test 별로 재하차량이 대상교량의 1/4, 1/2, 3/4 지점을 지날 때의 변위 값으로 하였다. Fig. 4와 Table 2에 각 Load Case와 이에 대한 계측 값을 정리하였다.



(a) Load Case 1 (b) Load Case 2



(c) Load Case 3

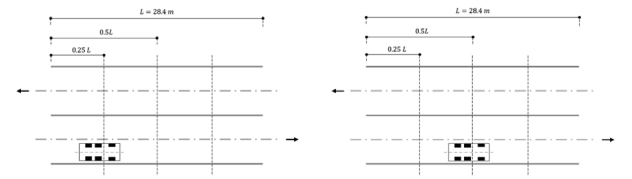
Fig. 3 Load case for static load test

Table 1 Average of measured displacement for static load test

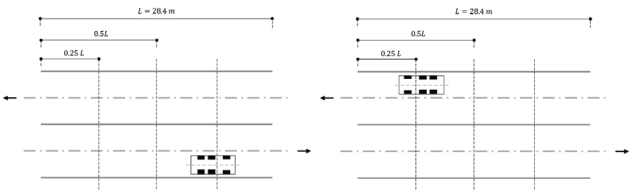
Load case	Measured displacement [mm]						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
LC1	-2.595	-2.54	-2.08	-1.26	-0.67	-0.235	0.14
LC2	-0.49	-1.27	-1.98	-2.48	-2.055	-1.275	-0.495
LC3	0.18	-0.21	-0.665	-1.33	-2.03	-2.4	-2.56

Table 2 Measured displacement for pseudo-static load test

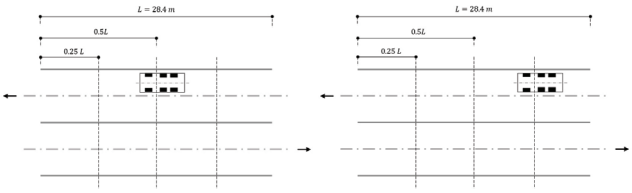
Load case	Measured displacement [mm]						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
LC1	0.053	-0.026	-0.115	-0.265	-0.454	-0.683	-0.839
LC2	0.142	-0.004	-0.176	-0.438	-0.826	-1.361	-1.655
LC3	0.175	0.060	-0.075	-0.245	-0.480	-0.757	-0.975
LC4	-0.898	-0.752	-0.521	-0.273	-0.134	-0.046	0.032
LC5	-1.555	-1.376	-0.913	-0.450	-0.202	-0.033	0.117
LC6	-1.032	-0.854	-0.585	-0.281	-0.097	0.038	0.160
LC7	-0.011	-0.163	-0.333	-0.554	-0.601	-0.471	-0.275
LC8	0.010	-0.281	-0.628	-1.162	-1.323	-0.977	-0.542
LC9	0.052	-0.135	-0.364	-0.653	-0.714	-0.582	-0.379
LC10	-0.257	-0.462	-0.576	-0.529	-0.337	-0.183	-0.045
LC11	-0.538	-0.988	-1.290	-1.092	-0.666	-0.325	-0.038
LC12	-0.376	-0.592	-0.704	-0.612	-0.384	-0.181	0.006



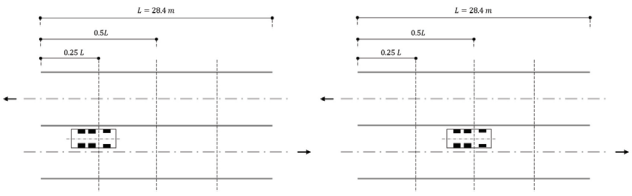
(a) Load Case 1 (b) Load Case 2



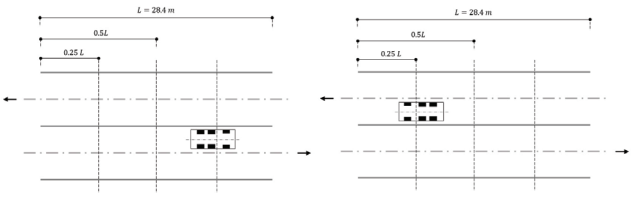
(c) Load Case 3 (d) Load Case 4



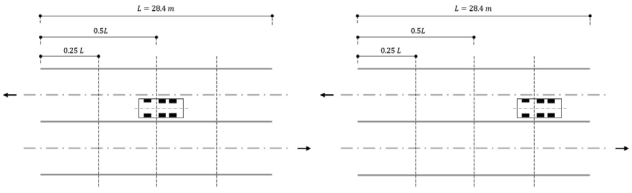
(e) Load Case 5 (f) Load Case 6



(g) Load Case 7 (h) Load Case 8



(i) Load Case 9 (j) Load Case 10



(k) Load Case 11 (l) Load Case 12

Fig. 4 Load case for pseudo-static load test

2.3 유한요소해석모델 개선

유한요소해석모델 개선을 위해, 각 재하시험을 통해 얻은 계측 변위 데이터로 유전자 알고리즘의 적합도 함수를 구성하였으며, “공용중인 콘크리트의 안전성평가 기준”을 준수하여 식 (1), (2)와 같이 목적함수와 종결조건을 구성하였다 (KCI, 2010). 개선결과에 대한 오차율 산정식은 식 (3)과 같다.

$$f(X_i, SX_j) = \sum_{k=1}^{ncl}\left(\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{u_{k,i}^{m} - u_{k,i}^{a}}{u_{k,i}^{m}}\right)^2\right) \tag{1}$$

$$g_k(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(u_{k,i}^{m} - u_{k,i}^{a}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(u_{k,i}^{m}\right)^2} - 0.1 \le 0 \tag{2}$$

$$Error(\%) = \sum_{i=1}^{n}\frac{(u_m - u_a)^2}{(u_m)^2} \times 100 \tag{3}$$

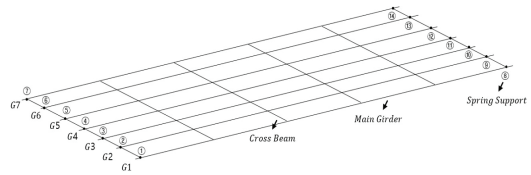
여기서, X_i는 부재의 강성에 대한 수정계수이며, SX_i는 지점부 스프링 경계조건에 대한 수정계수이다. $u_{k,i}^{m}$는 k번째 하중에 대한 i번째 계측 점에서의 계측 변위 값이며, $u_{k,i}^{a}$는 해석 변위 값을 의미한다. ncl은 측정한 총 Load Case의 수, n은 총 계측 점의 수이다.

2.3.1 유한요소해석모델 구축

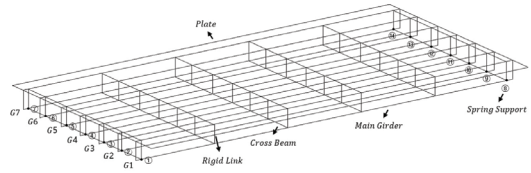
대상교량의 유한요소해석모델은 요소 종류에 따른 개선결과 차이를 비교하기 위하여, 모든 부재를 3D frame으로 구성한 모델 (Model 1)과 바닥판은 plate, 거더는 frame으로 구성한 모델 (Model 2), 모든 부재를 8절점 Solid로 구성한 모델 (Model 3)을 이용하였다. Fig. 5. 텐던 인장력의 경우, 모델 개선 시에 강성에 반영되도록 하였기에 따로 고려하지 않았다. 각 모델의 개선되는 시스템 변수는 Model 1의 경우 바닥판과 거더를 합성단면으로 구성하였기에 거더 7개와 가로보의 강성 및 스프링 경계조건 33개로 총 41개를 구성하였고, Model 2와 3은 바닥판의 강성을 추가하여 42개로 구성하였다. 또한 각 설계변수들의 개선 범위는 거더와 바닥판, 가로보의 경우 0.1~10으로 경계조건의 스프링 강성의 경우 0~11로 설정하였다. Table 3은 대상 교량의 스프링 경계조건을 정리한 것이며, S는 거더의 시작점, E는 거더의 끝점을 의미한다.

2.3.1 정적재하시험을 통한 유한요소해석모델 개선

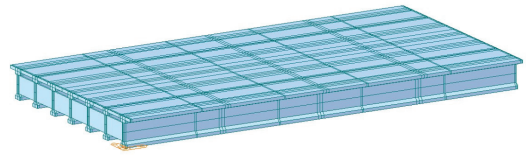
정적재하시험 데이터를 이용하여 모델 개선을 수행한 결과를 Fig. 6과 Table 4에 정리하였다. Table 4에 의하면 모든 Model에서 평균 오차율이 1% 이내인 것을 볼 수 있다. Load Case에 대한 최대 오차율은 각 Model 별로 1.51%, 0.11%, 0.61%로 합당한 모델 개선의 오차율 규정이 10% 이내인 것을 감안하였을 때, 매우 높은 정확도라 판단된다.



(a) Model 1



(b) Model 2



(c) Model 3

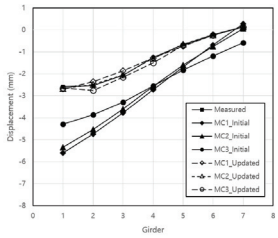
Fig. 5 Finite element models of test bridge

Table 3 Updating coefficient for spring boundary condition

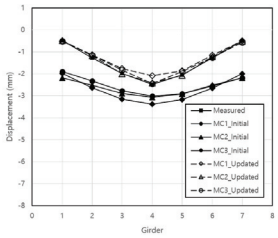
Girder	Spring boundary condition (Model 1~3)					
	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
G1_S	10^8	SX_1	10^8	10^{14}	SX_2	10^{14}
G2_S	10^8	SX_3	10^8	10^{14}	SX_4	10^{14}
G3_S	10^8	SX_5	10^8	10^{14}	SX_6	10^{14}
G4_S	10^8	10^8	10^8	10^{14}	SX_7	10^{14}
G5_S	10^8	SX_8	10^8	10^{14}	SX_9	10^{14}
G6_S	10^8	SX_{10}	10^8	10^{14}	SX_{11}	10^{14}
G7_S	10^8	SX_{12}	10^8	10^{14}	SX_{13}	10^{14}
G1_E	SX_{14}	SX_{15}	10^8	10^{14}	SX_{16}	10^{14}
G2_E	SX_{17}	SX_{18}	10^8	10^{14}	SX_{19}	10^{14}
G3_E	SX_{20}	SX_{21}	10^8	10^{14}	SX_{22}	10^{14}
G4_E	SX_{23}	10^8	10^8	10^{14}	SX_{24}	10^{14}
G5_E	SX_{25}	SX_{26}	10^8	10^{14}	SX_{27}	10^{14}
G6_E	SX_{28}	SX_{29}	10^8	10^{14}	SX_{30}	10^{14}
G7_E	SX_{31}	SX_{32}	10^8	10^{14}	SX_{33}	10^{14}

2.3.2 의사정적재하시험을 통한 유한요소해석모델 개선

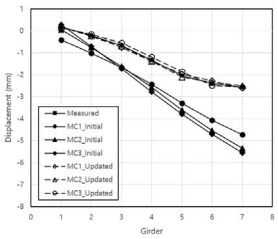
의사정적재하시험의 변위 데이터에 의한 개선 결과는 Table 5, Fig. 7과 같다. Table 5에 의하면 각 Model 별 평균 오차율은 모두 3% 내외이며, Load Case 별 최대 오차율은 8.15%, 9.91%,



(a) Load Case 1



(b) Load Case 2



(c) Load Case 3

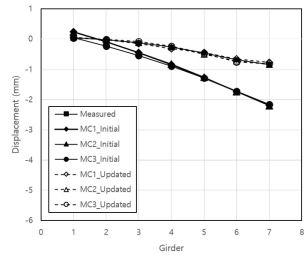
Fig. 6 Comparison of displacement updated by static load test

Table 4 Error rate of updated results using static load test

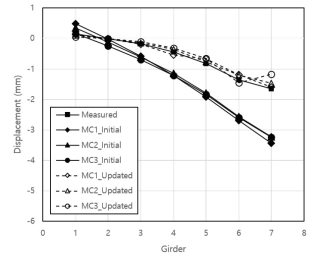
Load Case	Error rate [%]		
	Model 1	Model 2	Model 3
LC1	0.49	0.06	0.61
LC2	1.51	0.11	0.39
LC3	0.17	0.08	0.43
Average	0.72	0.08	0.48

Table 5 Error rate of updated results using pseudo-static load test

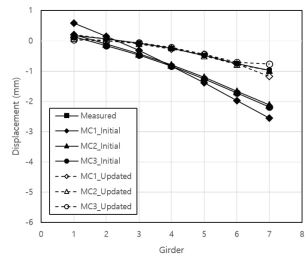
Load Case	Error rate [%]		
	Model 1	Model 2	Model 3
LC1	0.64	0.32	0.64
LC2	1.28	1.29	5.37
LC3	2.25	0.81	3.78
LC4	2.87	1.15	1.72
LC5	3.94	1.00	3.34
LC6	1.01	1.92	3.92
LC7	0.83	9.91	3.72
LC8	6.36	2.56	2.22
LC9	3.51	2.02	1.87
LC10	1.95	8.02	4.67
LC11	8.15	1.15	2.18
LC12	3.43	1.51	2.13
Average	3.02	2.64	2.96



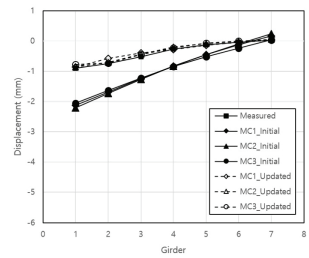
(a) Load Case 1



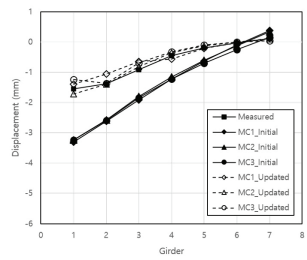
(b) Load Case 2



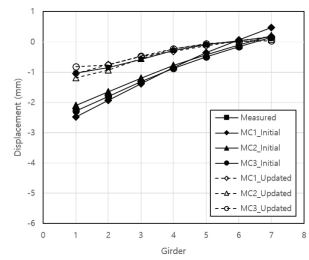
(c) Load Case 3



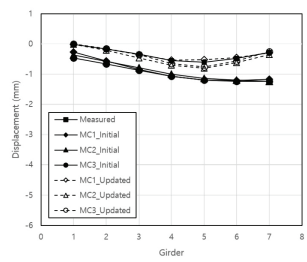
(d) Load Case 4



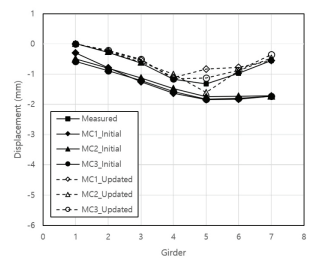
(e) Load Case 5



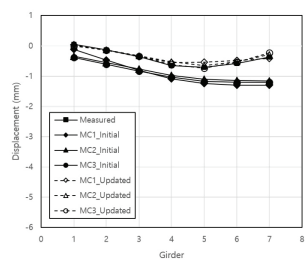
(f) Load Case 6



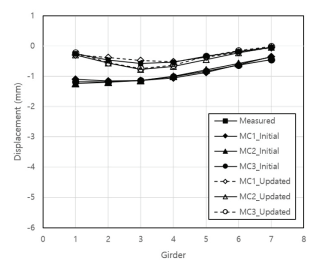
(g) Load Case 7



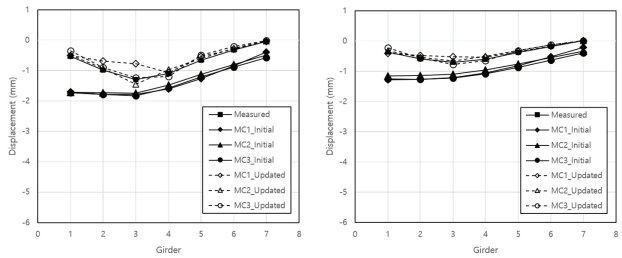
(h) Load Case 8



(i) Load Case 9



(j) Load Case 10



(k) Load Case 11 (l) Load Case 12

Fig. 7 Comparison of displacement updated by pseudo-static load test

5.37% 인 것을 볼 수 있다. 특정 Load Case에 대한 오차율이 크게 나왔으나 이 역시 모두 10% 이내로 합리적인 모델 개선이 이루어졌다고 판단 할 수 있다.

2.3.3 소 결

두 재하시험 데이터에 의한 모델 개선 결과, 모든 경우에 대해서 평균 오차율 3% 내외의 높은 정확도를 보였으며, 특히 Model 2에서 조금 더 높은 정확도가 나온 것을 확인하였다. 정적재하시험에 의한 개선 결과가 의사정적재하시험에 의한 경우보다 정확도가 높으나 이는 Load Case가 3개에 불과하여 수렴점을 더 정확히 찾은 것이라 판단된다. 의사정적재하시험에 대해서는 재하차량의 위치 별로 12개의 Load Case를 이용하였기에 더 다양한 교량의 거동이 개선 모델에 반영되었다고 볼 수 있다. 또한 의사정적재하시험은 재하시험 시에 재하차량을 저속 주행하는 형태로 이루어지기 때문에 정적재하시험에 비해서 차량통제가 용이하고 재하시험시간을 단축 시킬 수 있다는 장점이 있다. 이에 이 연구에서는 의사정적재하시험에 의해 개선된 모델을 이용하여 대상교량의 공용 내하력을 평가하였으며, 그 중에서도 가장 높은 정확도를 보인 Model 2를 이용하였다.

3. 개선된 모델을 이용한 공용 내하력평가

3.1 개요

현재 공용중인 교량의 공용 내하력평가는 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(KISTEC, 2017)”에 의해 응답보정계수를 적용하여 평가하고 있으나, 이 연구에서는 응답보정계수의 사용 대신 개선된 모델을 이용하여 다음 식 (4)를 통해 공용 내하력을 산정하였다.

$$P = RF_{updated} \times P_r \tag{4}$$

여기서, P_r은 설계활하중이며 $RF_{updated}$는 개선된 모델을 이용한 내하율로 다음 식 (5)와 같이 계산된다.

$$RF_{updated} = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)} \tag{5}$$

여기서, M_n은 저항강도이며, M_d와 M_l은 각각 고정하중과 활하중에 의한 휨 모멘트이다. ϕ는 저항강도감소계수, γ_d와 γ_l은 고정하중 및 활하중계수이다.

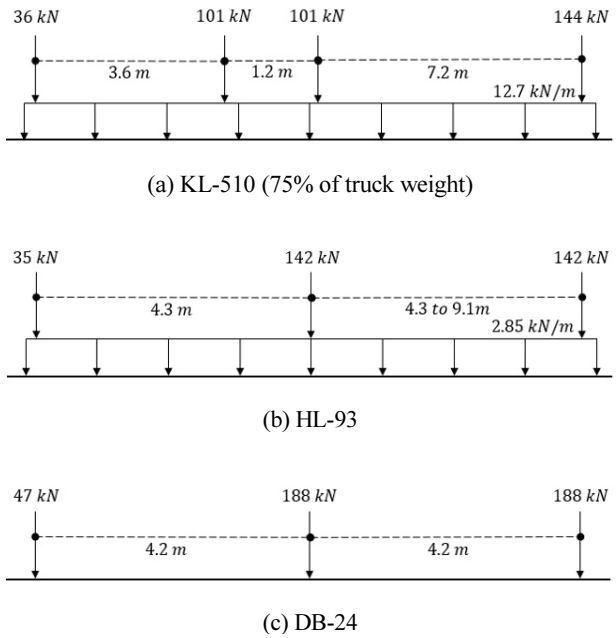
내하력평가의 활하중 모델로는 Fig. 8에 도시된 현행 도로교설계기준의 KL-510과 AASHTO LRFD의 HL-93, 구 도로교설계기준의 DB-24를 사용하였다. 현행 도로교설계기준인 한계상태설계법의 경우 강도 설계법과 같은 내하율식을 사용하며, 구 도로교설계기준과 다른 하중계수를 적용하였다.

3.2 내하력평가

대상교량의 내하율 계산을 위해 7개의 거더를 외측과 내측으로 그룹화(Grouping) 하였으며, 이에 따라 최대의 저항강도, 고정하중 및 활하중에 의한 휨모멘트가 발생하는 거더에 대한 값을 Table 6에 정리하였다.

저항강도의 경우 PSC-I형 거더와 바닥판의 유효폭을 더한 합성단면을 통해 계산하였으며, PS강재의 항복강도와 인장강도, 단면적은 일반적인 값으로 가정하여 사용하였다.

활하중에 의한 휨모멘트는 상용 구조해석 프로그램을 이용하였다. Model 2에 대해 이동하중 해석을 하였으며, 각 설계기준의 활하중 모델을 2차로 병렬재하 하여 최대 휨모멘트를



(a) KL-510 (75% of truck weight)

(b) HL-93

(c) DB-24

Fig. 8 Live load models of each design code

Table 6 Moment of resistance, dead load and live load

Girder	M_n [kN·m]	M_d [kN·m]	M_l [kN·m]		
			KL-510	HL-93	DB-24
External	12800	2477.8	759.3	579.47	604.4
Internal	12800	2129.9	892.43	691.5	789.8

Table 7 Load and resistance factor of each design code

Factor		KHBDC -LSD	AASHTO LRFD	KHBDC
Dead load	γ_d	1.25	1.25	1.3
Live load	γ_l	1.8	1.75	2.15
Resistance	ϕ	0.86	1	0.85

Table 8 External and internal girder's minimum rating factors and load carrying capacity

Girder	KHBDC-LSD		AASHTO LRFD		KHBDC	
	RF	P	RF	P	RF	P
External	4.75	KL-2413	7.85	HL-730	4.84	DB-116
Internal	4.26	KL-2173	6.87	HL-639	3.92	DB-94

계산하였다.

Table 7은 각 설계기준 별로 적용한 저항강도감소계수 및 하중계수이며, Table 8에 외측과 내측 거더의 최소 내하율과 이에 대한 공용 내하력을 정리하였다. 현행 도로교설계기준(KHBDC-LSD)의 경우 재료계수(콘크리트 : 0.65, 철근 : 0.90)를 적용한 설계 휨강도를 재료계수를 1로 적용한 공칭 휨강도로 나눈 값을 등가의 저항강도감소계수로 사용하였다.

평가 결과, AASHTO LRFD에서 가장 큰 내하율이 계산되었으며, 구 도로교설계기준과 현행 도로교설계기준은 비슷한 내하율을 보임을 알 수 있다. 현행 도로교설계기준의 설계 활하중이 구 도로교설계기준 보다 활하중 효과가 큼에도 비슷한 내하율이 계산 된 것은 구 도로교설계기준과 현행 내하력 평가 시에 적용하고 있는 하중계수가 보수적임을 의미한다.

4. 결 론

이 연구에서는 정적변위를 사용하는 유전자 알고리즘 기반의 유한요소해석모델 기법을 제안하였고, 이를 실증시험 데이터를 이용하여 검증하였다. 실증시험은 서울에 위치한 PSC 거더교를 대상으로 수행되었으며, 정적재하시험과 의사정적재하시험을 통해 정적변위를 계측하였다. 최종적으로 의사정적재하시험에 의해 개선된 모델을 이용하여 대상교량의 공용 내하력을 평가하였으며, 이에 대한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 이 연구에서는 교량의 재하시험과 이를 통한 모델 개선 및 내하력평가에 있어 의사정적재하시험의 사용 가능성을 현장 실험 적용을 통해 검토하였으며, 교량의 안전성평가를 위한 재하시험에서 정적재하시험을 의사정적재하시험으로 대체 할 수 있음을 검증하였다.

(2) 실증시험 대상교량의 해석모델을 유한요소 종류에 따라 3가지로 구성하여 모델 개선을 수행하였다. 개선 결과 차이가 크진 않지만 두 재하시험에 대해서 모두 Model 2가 조금 더 높은 정확도를 보였다.

(3) 정적재하시험과 의사정적재하시험을 통해 얻은 계측변위 데이터로 모델 개선을 수행하였다. 모델 개선의 정확도는 정적재하시험에 의한 개선 결과가 더 높으나, 의사정적재하시험에 대한 개선 결과도 모두 평균 오차율 3% 이내로 수렴하였으며, 의사정적재하시험이 더 다양한 Load Case를 포함하고 있는 것을 감안하였을 때, 실제 교량의 거동을 더 잘 모사할 수 있다고 판단된다.

(4) 최종적으로 의사정적재하시험에 의해 개선된 모델 중 Model 2를 이용하여 내하력평가를 수행하였다. 현행 도로교 설계기준과 AASHTO LFRD, 구 도로교설계기준의 설계활하중을 이용하였으며, 계산된 내하율 중 최소값에 대한 결과를 비교하였다. 그 결과 AASHTO LRFD에 의한 내하율이 가장 높았으며, 현행 도로교설계기준과 구 도로교설계기준은 비슷한 값을 보였다. 현 도로교설계기준의 활하중 효과가 구 도로교설계기준의 활하중 효과보다 큼에도 비슷한 결과를 보인 것은 구 도로교설계기준의 하중계수가 보수적임을 의미한다. 합리적인 공용 내하력평가를 위해, 국내 교량의 교통 실정에 맞는 평가용 활하중 모델 및 하중계수의 보정에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구개발사업의 연구비 지원(19SCIP-B128492-03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (2011), The manual for Bridge Evaluation 2nd Edition, Washington DC, United State of America.
2. D. S. Jung, and C. Y. Kim (2006), Numerical Verification of hybrid Optimization Technique for Finite Element Model Updating, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 10, 19-28.
3. J. C. Kim (2016), Development of a Mutation Operator of a Real-coded Genetic Algorithm for Model Updating of Existing Bridge (ph D dissertation), Inha University, Incheon, South Korea.
4. Korea Concrete Institute (2010), Guidelines and Examples for Safety Assessment of Operating Concrete Bridge, Seoul, South Korea.
5. Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (2017), The Guidelines for Safety Inspections and Full Safety Examinations, Jinju, South Korea.
6. Korea Road Association (2015), Korean Highway Bridge Design Code (Limit State Design), Sejong, South Korea.
7. O., Hasancebi, and T., Dumlumpinar (2013), Linear and Nonlinear model Updating of Reinforced Conrete T-beam Bridges using Artificial Neural Networks, *Computers and Structures*, 119, 1-11.

Received : 01/10/2019

Revised : 01/29/2019

Accepted : 02/27/2019

요 지 : 이 연구에서는 정적 변위를 사용하는 유전자 알고리즘을 이용한 교량의 유한요소해석모델 개선 기법을 제안하며, PSC 거더교를 대상으로 한 실증시험 데이터를 이용하여 제안된 방법을 검증하였다. 실증 재하시험으로 정적재하시험과 의사정적재하시험을 수행하였으며, 각 재하시험의 계측 데이터를 이용하여 대상교량의 유한요소해석모델 개선을 진행하였다. 최종적으로 의사정적재하시험의 계측 데이터를 통해 개선된 모델을 이용하여 공용 내하력평가를 수행하였다. 내하력평가에는 현 도로교설계기준과 구 도로교설계기준, AASHTO LRFD의 설계 활하중을 이용하였으며, 각 설계기준 별 내하력평가 결과를 비교하였다.

핵심용어 : 의사정적재하시험, 유전자 알고리즘, 모델 개선, PSC 거더교, 내하력평가