

설계인자를 고려한 강박스거더교량 내하율 평가

손종구¹ · 경갑수^{2*} · 유관재³ · 박진은⁴

¹박사과정, 한국해양대학교, 토목환경공학과, ²교수, 한국해양대학교, 물류·환경·도시인프라공학부,

³공학박사, (주)대원기술, ⁴연구교수, 한국해양대학교, 물류·환경·도시인프라공학부

Evaluation of Load Rating of Steel Box Girder Bridges Considering Design Factors

Son, Jong Gu¹, Kyung, Kab Soo^{2*}, Yoo, Kwan Jae³, Park, Jin Eun⁴

¹Graduate student (Doctor course), Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112, Korea

²Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112, Korea

³Ph.D of Engineering, Daewon Co., Ltd., Busan, 48732, Korea

⁴Research professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112, Korea

Abstract - In this study, the relationship between bridge design parameter and rating factor(R.F.) by the ASD method was investigated and analyzed using the safety diagnosis report of the steel box girder bridges for the analysis bridges of 116 and the verification bridges of 30. From this, a simple evaluation method that can easily evaluate the R.F. from the design stage was proposed, and the validity and efficiency of the proposed method were verified. As the 1st design factor, the maximum span length was found to have a high relationship with the R.F.. Also, using the relationship between stress for fixed load in center span(support) and the theoretical R.F. in center span(support), it is judged that the theoretical R.F. can be estimated with high precision in design process.

Keywords - Steel box girder bridge, Allowable stress design, Rating factor, Design parameters

1. 서론

교량구조물은 도로시설물의 장애물을 통과하는 중요한 구조물의 하나이다. 그러므로 교량구조물을 설계하는 경우 일반적으로 도로시설물의 주요 설계변수가 교량구조물의 규모를 결정하게 된다^[1].

도로시설물 설계시에 교량구조물과 관계되는 주요 설계 인자로는 차로수가 교량구조물의 폭원 규모와 관계되며, 하천 또는 계곡 등의 장애물의 횡단 거리가 교량구조물의 경간장 및 최대경간장, 그리고 전체 연장의 규모와 관계된다. 즉 교량구조물 규모를 결정하는 1차 설계인자로는 교

량의 전체연장(경간장 구성 및 최대경간장 포함) 및 차로수(폭원 포함)가 될 것이다. 이러한 인자는 교량구조물의 고정하중의 크기에 영향을 준다.

교량의 내하율은 설계법에 따라 허용응력설계법에 기초한 허용응력기반 내하율(ASR: allowable stress rating), 하중계수설계법에 기초한 하중계수기반 내하율(LFR: load factor rating), 그리고 하중저항설계법에 기초한 하중저항기반 내하율(LRFR: load and resistance factor rating)에 의해 평가되고 있다. 여기서 내하율(R.F.: rating factor)이란 기존 교량의 차량 등의 작용하중 등에 대한 저항능력의 평가로 정의된다. 그러므로 내하율은 대상교량의 안전율을 판단하는데 유용하게 사용할 수 있다.

허용응력설계법에 기초한 교량구조물 내하율 평가에 영향을 주는 기본인자로는 고정하중의 크기와 활하중의 종류 및 그 특성, 그리고 사용재료의 강도특성이 있다.

고정하중 크기는 도로시설물 설계변수와 관계하여 교량구조물 규모를 나타내는 1차 설계인자인 교량의 연장(경간장 구성 및 최대경간장 포함) 및 차로수(폭원 포함)에 의

Note.-Discussion open until February 28, 2023. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on April 25, 2022; revised on May 26, 2022; approved on July 04, 2022.

Copyright © 2022 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-51-410-4464 Fax. +82-51-403-3762

E-mail. kyungks@kmou.ac.kr

해 결정된다. 또한 강교량의 고정하중 크기는 1차 설계인자 이외에 교량구조물 규모를 나타내는 2차 설계인자인 거터 규모(거터의 폭 및 높이), 그리고 거터 개수, 거터 높이/최대경간 길이와도 관계된다. 그리고 이들 1차·2차 설계인자와 관계되는 종속 설계인자로는 거터의 단면적, 강재 총중량, 단위길이당 강재중량, 단위면적당 강재중량을 고려할 수 있다.

활하중 크기에 영향을 주는 설계인자로는 설계하중 및 공용 중의 차량하중 그리고 활하중 특성과 관계되는 충격 계수, 또한 재료특성에 기인하는 크리프, 건조수축 등과 관련된 기타의 작용하중이 있다.

사용재료의 강도특성에는 교량구조물의 거터 등에 사용되는 강재 또는 콘크리트 혹은 이들의 합성형태의 재료 물성특성인 항복강도가 관계된다.

그러므로 고정하중과 활하중 등의 작용하중 및 재료 물성과 관계되는 영향인자 가운데 박스단면 강교량의 내하율 평가시의 영향인자로는 교량시설물 규모와 관계되는 고정하중, 설계하중 및 공용하중 등의 활하중 특성, 그리고 강박스거터에 사용되는 강재 등급으로 그 범위를 제한할 수 있을 것이다. 여기서 내하율 평가방법을 허용응력설계법에 기초하여 평가하는 경우, 강재 허용응력에서 고정하중 및 활하중에 의한 응력비율이 내하율 평가에 영향을 주는 주요인자이다.

교량의 내하력 평가 및 내하율 산정에 대한 연구는 내하력 평가개념과 이와 관련한 각종 보정계수, 재하시험과 연계하여 거동계측 등이 보고되었다^{[2],[3]}. 최근에는 한계상태 설계법을 이용하여 신뢰도 기반의 내하력 평가방법, 다양한 교량을 대상으로 연구가 지속되어 왔다^{[4],[5]}. 하지만 앞서 설명한 3가지 영향인자가 내하력과 어떤 관계가 어떤 관계가 있는지, 교량구조물의 1차, 2차 설계인자 및 종속 설계인자와 이들 3가지 영향인자와의 관계, 그리고 내하력과의 관계에 대한 상세한 조사 및 평가나 연구가 실시되고 있지 않다.

한편, 설계시 설계인자와 내하력과의 관계에 대한 기본적인 평가관계를 사전에 파악할 수 있다면, 대상 구조물에 대해 유지관리 측면의 내하력 유지관리 정책을 설계 초기 단계부터 보다 합리적으로 수립하고 이를 공용 중의 내하력 평가와 연계하여 보다 효율적인 유지관리를 실시할 수 있을 것이다.

또한, 1995년에 제정된 시설물안전관리특별법(이하 “시특별법”)에 규정되어 있는 정밀안전진단은 공용 중 최초 10

년부터 실시하며^[6], 이후 5년에 1번 실시하고 있다. 현재 정밀안전진단에 의한 교량의 내하력 평가는 사전에 충분한 정보를 활용하고 있지 않은 가운데 대상구조물에 따라 개별적으로 실시되고 있으며, 그리고 설계단계에서 고려된 설계인자 정보가 내하력 평가에 합리적으로 반영되고 있지 않아 내하력 평가에 상대적으로 많은 시간과 비용 등이 소요되고 있다.

그러므로 설계시 교량구조물 특성과 관련되는 고정하중 및 활하중 등의 작용하중, 그리고 재료특성과 관련되는 것은 설계인자로 설계초기 단계에서 1차적으로 결정되는 항목이다. 따라서 내하력과 이들 1차, 2차 및 종속 설계인자와의 관계를 개념적으로 특정지을 수 있다면 설계 대상 교량구조물의 내하력을 설계 초기단계부터 어느 범위 내에서 특정지을 수 있으므로 설계단계부터 내하력과 관련된 정보를 관리할 수 있을 것이다.

물론 내하력은 공용연수 경과에 따라 저하되는 특성이 있으므로 향후 공용연수 증가에 따른 내하력 평가는 대상 교량의 내하력과 공용연수와의 관계에 대한 내하력 DB 구축에 의해 평가할 수 있을 것으로 판단된다. Lee^[2] 등의 연구에서는 국내 진단 보고서 및 실측자료에 근거한 내하력 평가 및 개선방향을 제시하였다. 이 연구에서 검토된 것과 같이 명확한 DB체계와 이에 대한 big data 구축이 필요하다.

따라서 이 연구에서는 국토안전관리원 시설물통합관리 정보시스템(FMS: facility management system)에 구축된 강박스거터교량의 116개의 안전진단보고서를 활용하여 강박스거터교량을 대상으로 ASD 기법에 의한 내하율과 교량 설계인자와의 관계를 조사·분석하고자 한다. 그리고 이들 자료를 기반으로 설계단계부터 용이하게 내하율을 평가할 수 있는 단순 평가방법을 제안하고, 제안 방법의 타당성 및 효율성 검증을 위하여 30개의 고속국도 강교량 내하율 평가 자료를 대상으로 평가방법의 타당성 검증을 실시한다.

2. 설계인자 분석을 위한 고속국도 DB의 분류 및 분석

2.1 DB의 수집 및 분류

이 연구에서는 1차, 2차 및 종속 설계인자, 그리고 이들 설계인자와 내하율과의 관계에서의 통계적인 특성을 추론하기 위하여 7단계의 분류체계로 세분화하여 고속국도 대상교량 116개의 교량 data를 단계별 분류하고 처리하였다.

- 1차 설계인자: 교량의 연장(경간장 구성 및 최대경간장 포함) 및 차로(폭윈 포함)
- 2차 설계인자: 거더규모인 거더의 폭 및 높이, 그리고 거더 개수
- 종속 설계인자: 거더의 단면적, 강재 총중량, 단위길 이당 강재중량, 단위면적당 강재중량
- 내하율 평가인자: 허용응력설계법에 기초한 내하율 평가식인 기본내하율 $(RF) = \frac{f_a - f_d}{f_i(1 + i)}$ 공식을 고려한 인자. 여기서, f_a : 사용강재의 허용응력, f_i : 활하중응력(충격계수(i) 포함), f_d : 고정하중 응력.

Table 1에 연구 대상교량의 DB를 나타냈으며, 각 분류체계의 단계는 앞에서 기술한 1차, 2차 및 종속 설계인자를 기본으로 하여 다음과 같이 분류하여 정의하였다.

- 분류체계 1단계: 116개 대상교량의 모든 data를 분석
- 분류체계 2단계: 1단계 대상교량에서 2~3차선을 갖

- 는 84개 교량을 분석(강박스거더교량 형식의 도로교가 대부분 2차선 또는 3차선인 것을 반영)
- 분류체계 3단계: 2단계 대상교량에서 고정 및 활하중에 의한 응력 평가가 있는 74개 교량을 분석(허용응력설계법 내하율 평가에서 고정하중 및 활하중에 의한 응력이 평가의 중요한 인자가 되는 것을 반영)
- 분류체계 4단계: 3단계 대상교량에서 SM355 강재를 사용한 60개 교량을 분석(강박스거더교량 중 적용 실적이 가장 많은 강재 등급을 대상, 내하율 평가에서 강재등급에 따라 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위한 것)
- 분류체계 5단계: 4단계 대상교량에서 실측 내하율 자료가 있는 36개 교량을 분석(내하율 평가의 합리적 판단을 위해 실측 내하율에 대한 평가를 고려)
- 분류체계 6단계: 5단계 대상교량에서 연속교량인 29개 교량을 분석(최근 강박스거더 교량이 대부분 연속교 교량으로 건설된다는 것을 반영)

Table 1. DB of research subject bridge

Bridge info		1st design parameters					2nd design parameters					Dependent design parameters			Class. level
No.	Compl. year	Width (m)	No. of lanes	L (m)	Span composition (m)	Max. span (m)	Girder size (m)		No. of girders (EA)	$\frac{H}{L_{max}}$	Closed areas (m ²)	Total weights (tonf)	Weight/unit meter (tonf/m)	Weight/unit area (tonf/m ²)	
							W	H							
1	2014.12	9.0	2	125	35+55+35	55	2.4	2	2	0.036	9.6	388.4	3.11	0.35	1 - 7
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
18	2007.12	12.6	3	200	45+2@55+45	55	2.6	2.5	2	0.045	13.0	758.6	3.79	0.30	1 - 6
19	2007.12	12.46	3	130	40.0+50.0+40.0	50	2.6	2.5	2	0.050	13.0	454.2	3.49	0.28	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
29	2013.03	11.1	3	400	50+2@55+4@50+40	55	2.4	2.2	2	0.040	10.6	1,576.3	3.94	0.36	1 - 5
30	2007.12	12.46	3	50	50	50	2.6	2.8	2	0.056	14.6	210.3	4.21	0.34	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
36	2007.12	11.83	3	55	55	55	2.5	2.8	2	0.051	14.0	247.4	4.50	0.38	1 - 4
37	2009.08	12.46	3	115	35+45+35	45	2.5	2.2	2	0.049	11.0	386.0	3.36	0.27	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
60	2013.03	10.13	3	40	40	40	2.6	2.2	2	0.055	11.4	137.1	3.43	0.34	1 - 3
61	2015.12	12.46	3	474	40+55+3@58+3@55+40	58	2.5	2	2	0.034	10.0	1,768.0	3.73	0.30	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
74	2014.12	16.0	3	50	50	50	2.6	2.5	3	0.050	19.5	248.9	4.98	0.31	1 - 2
75	2007.12	11.83	3	150	3@50.0	50	2.6	2.5	2	0.050	13.0	570.4	3.80	0.32	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
84	2013.03	11.1	3	400	40+2@60+3@62.5+52.5	62.5	2.4	2.2	2	0.035	10.6	1,737.9	4.34	0.39	1
85	2005.12	23.43	6	50	50	50	2.6	3.5	4	0.070	36.4	573.6	11.47	0.49	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
116	2013.07	15.6	4	215	4@45+35	45	2.2	2	3	0.044	13.2	1,014.0	4.72	0.30	-
Average		13.2	3.2	135.0	-	52.8	2.42	2.43	2.3	0.046	13.8	571.6	4.41	0.34	-

Compl. year: completion year, L: length, W: weight, H: height, Class. level: classification level

- 분류체계 7단계: 6단계 대상교량에서 계산 내하율이 실측 내하율보다 큰 경우인 18개 교량을 분석(일반적으로 이상적인 거더 단면에 대해 계산내하율이 실측 내하율보다 크다는 것을 반영)

Table 1에는 116개 교량에 대한 1차, 2차 및 종속 설계인자에 대해 평균으로 정리하여 나타냈다. 강박스거더교량의 1차 설계인자 평균은 교폭 13.2 m, 차로수 3.2차선, 교량연장 135 m, 최대경간 52.8 m이며, 2차 설계인자 평균은 거더 폭 2.42 m, 높이 2.43 m, 거더 높이/최대지간길이의 비 0.046으로 약 1/21.7, 거더의 폐합단면적 13.8 m², 종속 설계변수의 평균은 강재 총중량 571.6 tonf, 단위길이당 강재중량 4.41 tonf/m, 단위면적당 강재중량 0.34 tonf/m²로 나타났다.

Sun *et al.*^[7]의 연구에서는 37개 강박스교량에 대한 제원 분석을 통해 교폭은 20.9 m, 최대경간은 51.5 m이며, 2차 설계인자인 거더의 폭은 2.51 m, 높이는 2.54 m, 종속설계변수인 강재 총중량은 1,264.4 tonf, 단위면적당 강재중량은 0.34 tonf/m²을 평균값으로 제시하였다. 그리고 Kim and

Seol^[8]은 단위면적당 강재중량은 단경간교 0.36 tonf/m², 연속교 0.33 tonf/m²을 제시하였다.

그러므로 이 연구 및 기존 연구에서의 공통 설계인자를 분석한 결과를 반영하면, 강박스거더의 단위면적당 강재중량은 0.34 tonf/m², 그리고 거더 높이/최대경간의 비는 약 1/20 전후로 설정하면 타당할 것으로 판단된다.

Table 2에 전체 116개 연구 대상교량의 DB(응력 및 내하율)를 나타냈다. 표의 DB에서는 연구의 원천 DB인 FMS에 데이터가 제공되지 않아 응력 및 내하율 계산이 불가능한 일부 교량 데이터에 대해서는 공란(-)으로 처리하였다. DB 데이터를 축약하여 Table 2에 나타냈으므로 Table 2에 표기되지 않은 각 교량의 DB 데이터는 Table 2에 나타낸 내용과는 다르게 나타나는 경우도 있다.

분류체계 1단계에 대한 정모멘트(중양부)의 평균은 다음과 같다. 허용응력 190 MPa - 260 MPa에 대해서 고정하중 응력의 평균은 108.8 MPa, 활하중 응력의 평균은 42.9 MPa, 그리고 강재사용률((고정하중 응력 + 활하중 응력)/허용응력)은 0.77이다. 이들 분석결과는 최근 국내 강박스거더교

Table 2. DB of research subject bridge (stress and rating factor)

Bridge info		Rating factor (R.F.) according to influence parameters											Class. level	
No.	Compl. year	(+) moment region						(-) moment region						
		Stress (MPa)			$f_d + f_l$	Theoretical	Measured	Stress (MPa)			$f_d + f_l$	Theoretical		Measured
		f_a	f_d	f_l	f_a	R.F.	R.F.	f_a	f_d	f_l	f_a	R.F.		R.F.
1	2014.12	190	94.04	40.95	0.71	2.34	4.87	190	105.19	45.88	0.80	1.85	2.13	1 - 7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
18	2007.12	190	81.64	42.65	0.65	2.54	2.54	190	105.84	42.96	0.78	1.96	1.96	1 - 6
19	2007.12	190	67.08	41.29	0.57	2.98	2.47	190	101.74	49.51	0.80	1.78	1.88	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
29	2013.03	190	108.38	48.63	0.83	1.68	1.01	190	108.47	44.70	0.81	1.82	1.47	1 - 5
30	2007.12	190	103.35	32.97	0.72	2.63	1.30	-	-	-	-	-	-	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
36	2007.12	190	116.87	33.95	0.79	2.15	1.32	-	-	-	-	-	-	1 - 4
37	2009.08	190	58.08	38.57	0.51	3.42	-	190	103.87	36.19	0.74	2.38	-	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
60	2013.03	190	111.80	44.44	0.82	1.76	-	-	-	-	-	-	-	1 - 3
61	2015.12	220	85.00	68.48	0.70	1.97	1.66	220	115.53	71.83	0.85	1.45	1.34	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
74	2014.12	210	141.67	38.49	0.86	1.78	2.16	-	-	-	-	-	-	1 - 2
75	2007.12	-	-	-	-	-	3.14	-	-	-	-	-	1.10	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
84	2013.03	-	-	-	-	-	1.74	-	-	-	-	-	1.83	1
85	2005.12	190	126.38	26.81	0.81	2.37	2.83	-	-	-	-	-	-	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
116	2013.07	190	106.53	47.43	0.81	1.76	-	190	104.51	47.99	0.80	1.78	-	
Average	-	-	108.80	42.93	0.77	2.12	2.18	-	112.53	46.69	0.81	1.83	1.96	

Compl. year: completion year, f_a : allowable stress, f_d : dead load, f_l : live load, Class. level: classification level

량의 정모멘트(중앙부)부의 설계에서 강재사용률 약 0.9를 활용하는 최근 경향과 비교하면 상당히 안전측 설계경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

내하율 평가를 보면 계산내하율 평균은 2.12, 실측 내하율 평균은 2.18로 실측 내하율이 계산내하율보다 약간 큰 경향을 나타내는 일반적인 내하율 특성을 나타내고 있다.

분류체계 1단계에 대한 부모멘트(지점부)의 평균은 다음과 같다. 허용응력 190 MPa - 260 MPa에 대해서 고정하중 응력의 평균은 112.5 MPa, 활하중 응력의 평균은 46.7 MPa, 그리고 강재사용률((고정하중 응력 + 활하중 응력)/허용응력)은 0.81이다. 이들 분석결과는 최근 국내 강박스거더교량의 부모멘트(지점부)부의 설계에서 강재사용률 약 0.9를 활용하는 최근 경향과 비교하면 안전측 설계경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

내하율 평가를 보면 계산내하율 평균은 1.83, 실측 내하율 평균은 1.96으로 실측 내하율이 계산내하율보다 약간 큰 경향을 나타내는 일반적인 내하율 특성을 나타내고 있다. 또한 정모멘트부와 비교하면 부모멘트부의 계산내하율 및 실측 내하율의 평균은 약 10% 이상 저하하고 있다. 이는 부모멘트부에서의 강재사용률 증가 영향 및 내하율 판정의 영향인자 등에 의한 것으로 판단된다.

2.2 강박스거더교량 설계인자 분석

2.2.1 데이터 분류체계 단계에 따른 설계인자의 통계특성 변화

Fig. 1에 데이터 분류체계에 따른 설계인자의 평균 및 표준편차의 통계특성 추이를 나타냈다. Fig. 1은 이 연구에서 1차, 2차 및 종속 설계인자, 그리고 이들 설계인자와 내하율과의 통계특성 추이를 7단계 데이터 분류체계에 따라 각 설계인자에 대한 평균 및 표준편차의 경향을 그림으로 나타낸 것이다. 또한 Table 3에 이들에 대한 평균 및 표준편차를 나타냈다. 이들에 대한 통계특성의 추이는 3가지 형태로 나타난다. 분류체계가 세분화됨에 따라 각 설계인자의 평균에 대한 표준편차의 범위가 증가, 유사, 감소하는 추이를 나타내는 형태로 분류할 수 있다.

Fig. 1(a)에 나타낸 1차 설계인자인 교량폭원 및 교량연장은 분류체계가 세분화됨에 따라 표준편차가 감소하였는데, 이는 분류체계 세분화에 따라 설계인자인 교량 폭원 및 교량연장의 데이터가 데이터 갯수에 관계없이 일정범위로 수축하는 특성에 의한 것으로 판단된다. 그러나 최대 경간장은 표준편차가 분류체계 7단계에서 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 Table 3에 나타낸 것과 같이 분류체계 7단

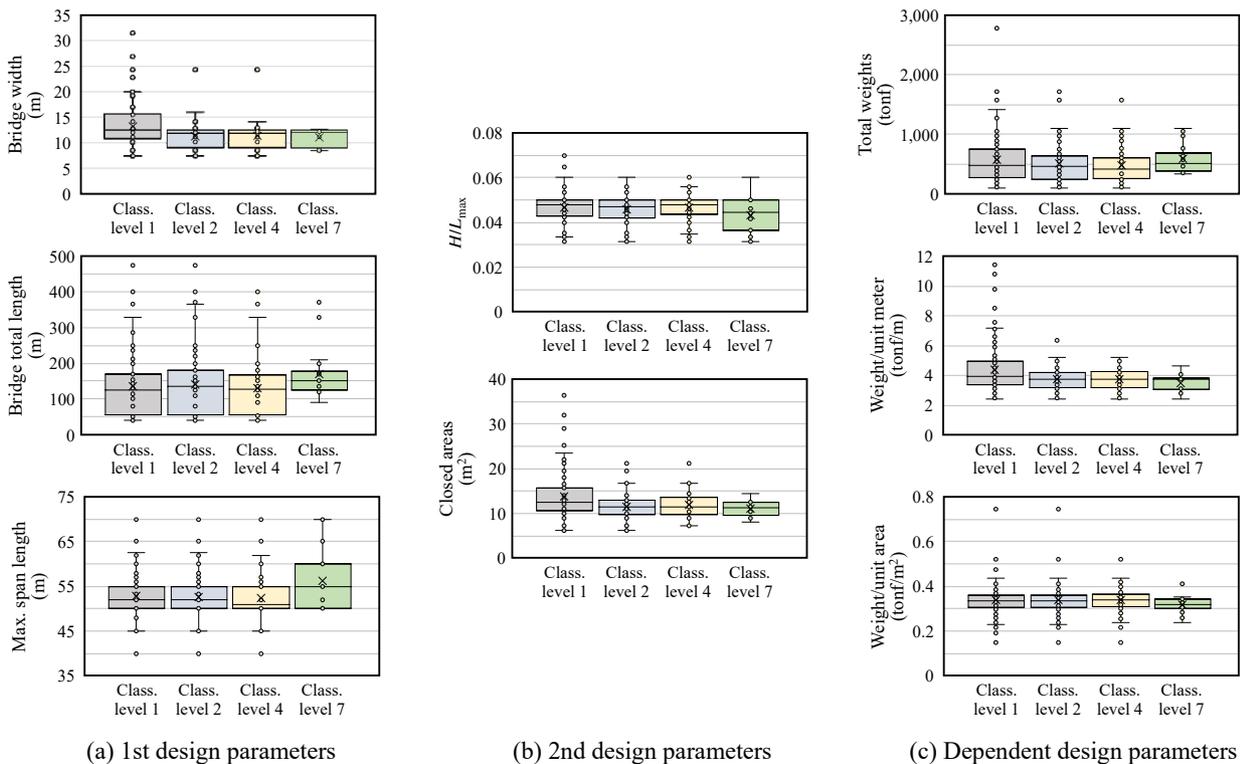


Fig. 1. DB of research subject bridge (stress and rating factor)

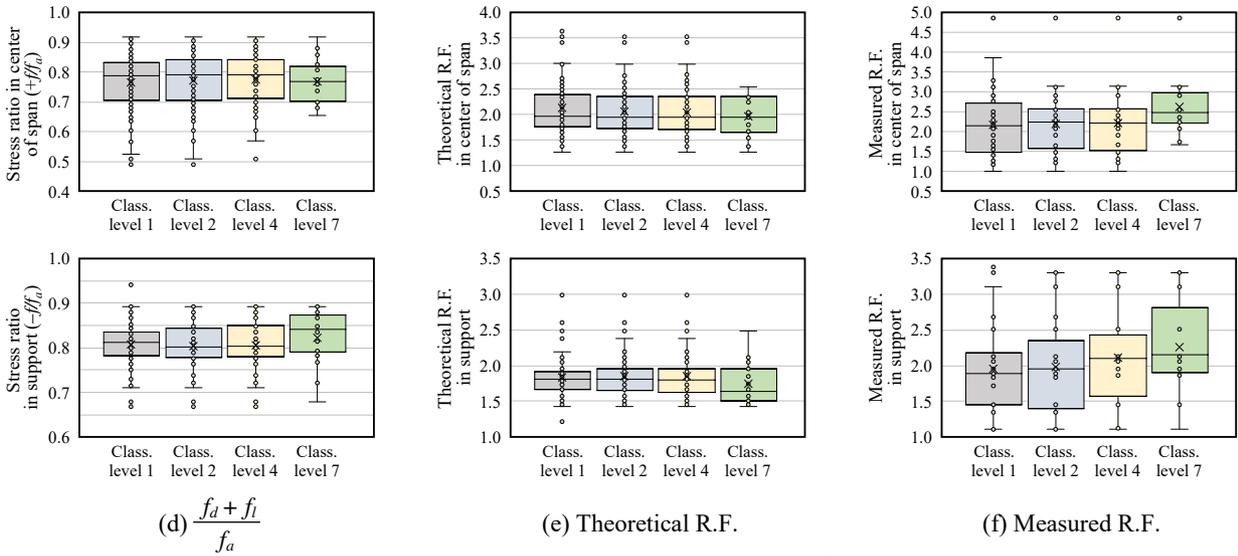


Fig. 1. DB of research subject bridge (stress and rating factor) (Continued)

Table 3. Average and standard deviation of each design parameters by classification level

Results by classification level		1st design parameters			2nd design parameters			Dependent design parameters		$\frac{f_d + f_i}{f_a}$		Theoretical R.F.		Measured R.F.	
		Bridge width (m)	Bridge total length (m)	Max. span length (m)	$\frac{H}{L_{max}}$	Closed areas (m ²)	Total weights (tonf)	Weight/unit meter (tonf/m)	Weight/unit area (tonf/m ²)	(+) moment region	(-) moment region	(+) moment region	(-) moment region	(+) moment region	(-) moment region
Average	1st	13.15	135.0	52.8	0.046	13.8	571.6	4.4	0.34	0.77	0.81	2.12	1.83	2.18	1.96
	2nd	11.23	141.4	52.6	0.046	11.6	517.6	3.7	0.34	0.77	0.80	2.06	1.84	2.20	1.98
	4th	11.31	128.9	52.5	0.046	11.8	472.7	3.8	0.34	0.78	0.81	2.04	1.85	2.21	2.11
	7th	11.03	169.8	56.2	0.043	11.1	591.5	3.5	0.32	0.77	0.82	1.97	1.74	2.62	2.25
Standard deviation	1st	4.2	91.6	6.7	0.007	5.4	413.9	1.6	0.07	0.09	0.05	0.52	0.29	0.77	0.67
	2nd	2.3	99.5	6.8	0.006	2.6	376.1	0.8	0.07	0.09	0.05	0.48	0.31	0.74	0.66
	4th	2.4	84.2	7.2	0.006	2.5	314.2	0.7	0.06	0.09	0.05	0.47	0.33	0.79	0.68
	7th	1.7	71.6	6.4	0.008	1.7	238.7	0.5	0.04	0.08	0.06	0.39	0.29	0.71	0.66

계에서 최대 경간장은 50 m 및 55 m가 대부분이나, 이 이외에 60 m, 65 m, 70 m의 데이터가 분산되어 분류체계가 세분화됨에 따라 수축성이 적다는 것을 의미한다.

Fig. 1(b)에 나타난 2차 설계인자인 거더 높이/최대 경간장은 분류체계가 세분화됨에 따라 표준편차가 증가하였는데, 이는 분류체계 세분화에 따라 Table 3에 나타난 것과 같이 1차 설계인자인 최대 경간장의 분산성 증대, 그리고 거더 높이의 분산성이 중복되어 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 1(c)에 나타난 종속 설계인자인 강재총중량, 단위 길이당 강재중량, 단위면적당 강재중량은 분류체계 세분화됨에 따라 표준편차가 감소하였는데, 이는 Table 3에 나타난 것과 같이 종속 설계인자인 강재총중량, 단위길이당

강재중량, 단위면적당 강재중량에 대한 데이터가 어느 정도 일정범위로 수축하는 수축성을 나타내고 있기 때문으로 판단된다.

Fig. 1(d)에 나타난 내하율 평가와 관련하는 인자인 강재 사용률은 분류체계가 세분화됨에 따라 중앙부 강재사용률은 평균 및 표준편차는 감소하는 경향을 나타내었으나, 지점부 강재사용률은 평균 및 표준편차가 약간 증가하는 반대의 경향을 나타냈다.

Fig. 1(e)에 나타난 계산내하율은 분류체계가 세분화됨에 따라 중앙부 및 지점부의 계산내하율은 평균값은 유사하나 표준편차는 감소하여 데이터에 대한 어느 정도 수축성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 1(f)에 나타난 실측 내하율은 분류체계가 세분화됨에 따라 중앙부 및 지점부의 실측 내하율의 평균값은 약간 증가하였으며, 표준편차는 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타냈다.

2.2.2 설계인자의 통계 분석

Table 4에는 강박스거더교량 1차 및 2차 설계인자의 통계분석 결과를 나타냈다. 표에서는 1차 설계인자 - 종속 설계인자, 2차 설계인자 - 종속 설계인자와의 관계에서 결정계수(R^2)가 높은 관계를 갖는 설계인자를 대상으로 자료분석결과를 정리하여 나타냈다. 강박스거더교량에서 교량총연장 - 총강재중량, 거더 폐합단면적 - 단위길이당 강재중량의 관계를 분류체계 단계에 따라 나타냈다.

전체 데이터 116개를 데이터로 사용하는 분류체계 1단계의 경우, Table 4의 (a)항에서 나타난 것과 같이 교량총연장 - 총강재중량 및 거더 폐합단면적 - 단위길이당 강재중량의 상관관계에 대한 결정계수는 0.7 이상으로 상당히 높은 것으로 나타났다. 그러나 교량폭 - 단위면적당 강재중량의 상관관계에 대한 결정계수가 0.2 이하로 매우 낮게 나타나 향후 활용인자 매개변수로서의 사용이 어려운 것으로 판단되어 논문에서는 나타내지 않았다.

분류체계에 따른 결과를 보면, 교량총연장 - 총강재중량의 상관관계는 Table 4 (b)항의 분류체계인 2단계에서 $R^2 = 0.9345$ 로 가장 높으며, 거더 폐합단면적 - 단위길이당 강재중량의 상관관계는 Table 4 (d)항의 분류체계인 7단계에서

$R^2 = 0.7164$ 로 가장 높게 나타났다.

한편 1차 설계인자 - 종속 설계인자, 2차 설계인자 - 종속 설계인자와의 관계는 설계인자와 관계없이 분류체계 단계를 세분화함으로써 결정계수가 상승하는 경향을 나타냈다.

2.2.3 설계인자와 내하율 영향인자와의 통계 분석

1차·2차 설계인자 및 종속 설계인자와 ASR에 의한 기본 내하율 ($RF = \frac{f_a - f_d}{f_i(1 + i)}$) 공식에 반영되는 평가인자와의 관계에서 분류체계의 단계 세분화에 의해 어느 정도 유의한 상관관계를 나타내는 설계인자와 종속인자와의 관계를 정리하여 나타냈다.

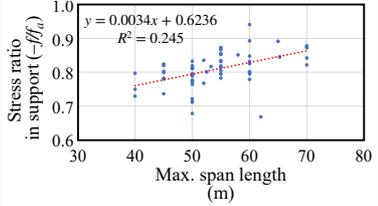
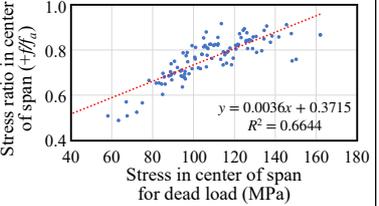
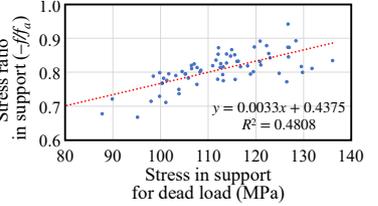
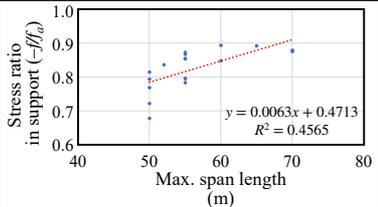
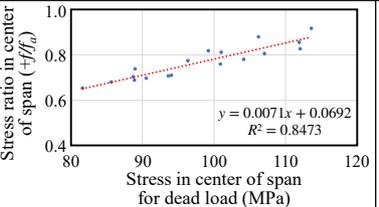
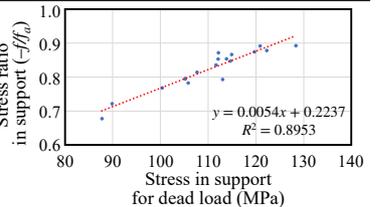
Table 5에 설계인자와 내하율 영향인자와의 관계를 나타냈다. 표에는 이 가운데 결정계수가 비교적 높은 최대경간장 - 지점부 강재사용률, 중앙부 고정하중응력 - 중앙부 강재사용률, 지점부 고정하중응력 - 지점부 강재사용률의 관계를 나타냈다. 여기서 강재사용률은 “(고정하중응력 + 활하중응력)/강재허용응력”의 비를 나타낸다.

이 가운데 분류체계 1단계부터 유의한 상관관계를 나타내는 것은 중앙부 고정하중응력 - 중앙부 강재사용률, 지점부 고정하중응력 - 지점부 강재사용률의 관계이다. 이 중에서 중앙부 고정하중응력 - 중앙부 강재사용률의 관계가 약간 높은 상관관계를 나타내고 있다. 즉, 거더 중앙부 강재사용률은 고정하중에 의한 응력변화가 활하중에 의한 응력변화보다 더 영향을 주고 있다는 것을 나타내고 있다. 또

Table 4. Statistical analysis of 1st and 2nd design parameters of steel-box girder bridge

Classification level	1st design parameters	2nd design parameters
	(1) Total length of bridge	(2) Closed areas of girder
(a) 1st		
(b) 2nd	$y = 3.6552x + 0.8365, R^2 = 0.9345$	$y = 0.1665x + 1.8103, R^2 = 0.3268$
(c) 4th	$y = 3.5444x + 15.714, R^2 = 0.9032$	$y = 0.2067x + 1.3236, R^2 = 0.4996$
(d) 7th		

Table 5. Relation of design parameters and influence factors of rating factor

Classification level	Relation of design parameters and influence factors of rating factor		
	1st design parameter	Influence factors of rating factor	
	Max. span length	Stress in center of span for dead load	Stress in support of span for dead load
1st			
2nd	$y = 0.0037x + 0.6037, R^2 = 0.2645$	$y = 0.0004x + 0.3485, R^2 = 0.7018$	$y = 0.0044x + 0.3279, R^2 = 0.6202$
4th	$y = 0.0037x + 0.6045, R^2 = 0.2392$	$y = 0.0046x + 0.2973, R^2 = 0.7902$	$y = 0.0051x + 0.2544, R^2 = 0.7516$
7th			

한 강재사용률은 중앙부에서 약 0.6 - 0.8, 지점부에서 약 0.5 - 0.9의 비율을 나타내고 있어 일부 설계의 경우 중앙부, 지점부 모두 상당히 높은 여유를 가지고 있는 것으로 나타났다. 그리고 지점부가 중앙부보다는 강재사용률이 높아 연속교 특성이 반영되어 있는 것을 알 수 있었다.

한편 최대경간장 - 지점부 강재사용률의 관계도 데이터를 세분화시킨 분류체계인 7단계에서 최대경간장이 증가함에 따라 강재사용률도 증가하는 관계를 나타내며, 지점부 및 중앙부도 강재사용률 0.7 이상의 경우에 결정계수가 약 0.46이 되어 이들 인자의 관계는 유의한 의미를 가질 수 있음을 나타내고 있다. 이로부터 향후 설계단계에서 강재사용률을 최대한 상한까지 사용하는 것이 설계의 효율 및 내하율 관리 측면에서도 효과가 있을 것으로 판단된다.

기타 분석으로는 총강재량 - 지점부 강재사용률은 분류체계를 세분화한 분류체계인 7단계에서도 결정계수를 0.2를 넘지 않아 상관관계가 높지 않아 활용인자 매개변수로서의 유의성은 크지 않은 것으로 판단된다.

2.2.4 설계인자 및 내하율 영향인자와 내하율과의 통계 분석

Table 6에 강박스거더교량 설계인자 및 내하율 영향인자와 내하율과의 통계 분석결과를 나타냈다. 표에서는 이 가운데 중앙부 고정하중 응력 - 중앙부 계산내하율, 지점부 고정하중 응력-지점부 계산내하율, 중앙부 강재사용률-중

양부 계산내하율, 지점부 강재사용률 - 지점부 계산내하율의 관계를 정리하여 나타냈다.

1차 설계인자인 교량 폭원, 교량 총연장, 최대경간장 가운데 내하율과 관계가 있다고 판단되는 것으로 교량총연장과 최대경간장을 고려할 수 있다. 이것을 고려하여 분류체계 단계별로 데이터 처리를 실시한 결과, 분류체계 7단계의 최대경간장 - 계산내하율의 관계에서 어느 정도 유의한 관계를 나타냈다. 즉 1차 설계인자와 이론적으로 계산되는 계산내하율과의 관계는 아주 높은 결정계수를 나타내지는 않으나, 어느 정도 유의한 관계를 나타내므로 향후 1차 설계변수에 의한 내하율 추정에의 사용 가능성을 확인하였다. 그러나 최대경간장과 실측내하율의 관계는 유의한 관계를 나타내지 않았다. 이는 실제 구조물에서 나타날 수 있는 강성변화, 노후도 등의 영향에 의한 것으로 판단된다.

강박스거더교량 설계인자 및 내하율 영향인자와 내하율과의 관계로부터 앞에서 기술한 영향인자에 대해 분류체계를 세분화할수록 상관관계가 높아지는 것으로 나타난 항목에 대해서만 논의하고자 한다. 이것은 내하율 영향인자는 1차, 2차 및 종속 설계인자와의 직접적인 상관관계를 갖지 못하며, 앞에서 기술한 것과 같이 일정한 계산절차를 수행해야만 도출되는 인자이기 때문이다. 그러나 내하율 영향인자는 설계업무 절차에서 반드시 검토되는 인자이므로 이 연구에서 제시하는 활용인자로서 매개변수는 설계과정 중의 내하율 검토시 유효하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Statistical analysis of design parameters, influence factors of rating factor, rating factor of steel-box girder bridge

Classification level	Influence factors of rating factor			
	Stress for dead load		Stress ratio (f/f_a)	
	Center of span	Support	Center of span	Support
1st				
2nd	$y = -0.0158x + 3.7481,$ $R^2 = 0.403$	$y = -0.0197x + 4.0027,$ $R^2 = 0.365$	$y = -4.8718x + 5.8189,$ $R^2 = 0.809$	$y = -5.4354x + 6.212,$ $R^2 = 0.844$
4th	$y = -0.0186x + 3.9939,$ $R^2 = 0.443$	$y = -0.0231x + 4.3492,$ $R^2 = 0.422$	$y = -5.0264x + 5.9428,$ $R^2 = 0.852$	$y = -5.6533x + 6.4043,$ $R^2 = 0.873$
7th				

분류체계 1단계에서 중앙부 강재사용률 - 중앙부 계산내하율, 지점부 강재사용률 - 지점부 계산내하율의 관계는 모두 결정계수(R^2)가 0.8 이상의 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며, 분류체계 단계가 세분화될수록 결정계수가 향상되었다. 분류체계 7단계에서는 중앙부 강재사용률-중앙부 계산내하율의 결정계수는 0.97 이상, 그리고 지점부 강재사용률 - 중앙부 계산내하율의 결정계수는 0.96 이상으로 나타났다.

한편 분류체계 1단계에서 중앙부 고정하중 응력 - 중앙부 계산내하율의 관계, 지점부 고정하중 응력 - 지점부 계산내하율의 관계는 결정계수(R^2)가 각각 0.37, 0.24로 낮게 나타나 상관관계가 적은 것으로 평가되었다. 그러나 분류체계를 세분화함에 따라 결정계수가 향상되어 분류체계 7단계에서는 중앙부 고정하중 응력 - 중앙부 계산내하율의 관계, 지점부 고정하중 응력 - 지점부 계산내하율의 관계는 결정계수(R^2)가 각각 0.73, 0.75로 나타나 높은 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있었다.

이외에도 중앙부 활하중 응력 - 중앙부 계산내하율의 관

계도 결정계수(R^2)가 0.77로 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 그러므로 앞에서 기술한 중앙부 강재사용률 - 중앙부 계산내하율의 관계, 지점부 강재사용률 - 지점부 계산내하율의 관계, 중앙부 고정하중 응력 - 중앙부 계산내하율의 관계, 지점부 고정하중 응력 - 지점부 계산내하율의 관계, 그리고 중앙부 활하중 응력 - 중앙부 계산내하율의 관계에 대한 활용인자 매개변수를 활용하면, 설계과정 중에 충분히 이론적인 계산내하율을 정밀도 높게 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 내하율 제안식의 유의성 검증

3.1 고속국도 검증 강교량 DB 개요

2장에서 제시된 설계인자 및 내하율 영향인자를 활용한 내하율 추정 평가방법의 유의성 검증을 위하여 2장의 대상 교량과 동일한 고속국도 30개소의 강교량을 대상으로 유의성을 검증하였다.

Table 7에 고속국도 강교량 유의성 검증 대상교량의 개요를 나타냈다. 30개 검증 대상교량은 모두 연속교이며, 최대경간장(L_{max})은 45.0 m - 70.6 m이며, 평균은 54.6 m이다. 강재의 허용응력은 모두 190 MPa이다. 그리고 거더의 폭은 평균 2.43 m, 높이의 평균은 2.35 m이며, 거더높이/거더 최대경간장의 비율(H/L_{max})은 0.043이다.

Table 8에 30개 검증 대상교량의 DB(응력 및 내하율)를 나타냈다. 중앙부(정모멘트)에서 고정하중 응력의 평균은 95.7 MPa, 활하중 응력의 평균은 42.0 MPa, 그리고 강재사용률((고정하중 응력 + 활하중 응력)/허용응력)은 0.69로 2장의 161개 교량에 대한 평균 0.77에 비하여 약간 작은 경향을 나타냈다. 그리고 내하율 평가를 보면 계산내하율 평균은 2.44로 2장의 계산내하율 평균 2.12보다 약간 큰 경향을 나타냈다.

이와 달리 지점부(부모멘트)에서 고정하중 응력의 평균은 111.1 MPa, 활하중 응력의 평균은 46.8 MPa, 그리고 강재사용률((고정하중 응력 + 활하중 응력)/허용응력)은 0.80으로 3.2절의 161개 교량에 대한 평균 0.81과 거의 동일

한 경향을 나타냈다. 그리고 내하율 평가를 보면 계산내하율 평균은 1.89로 2장의 계산내하율 평균 1.83으로 거의 유사한 경향을 나타냈다.

이상으로부터 고속국도를 대상으로 한 30개 유의성 검증 대상교량은 116개의 분석대상 교량과 유사한 특성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

3.2 고속국도 강교량에 대한 유의성 검증

이 장에서는 2.2.3 및 2.2.4에서 기술한 설계인자와 내하율의 관계에서 비교적 상관관계식의 결정계수가 높은 인자에 대해 제시된 상관관계식을 30개의 고속국도 강교량에 대해 적용하여 각각의 독립변수와 종속변수와의 상관관계식, 결정계수 및 정규분포식에 의한 오차율 $\pm 10.0\%$ 이내의 확률을 정리하고, 이에 대한 특성을 분석하여 제안식의 타당성 및 유의성을 검증한다.

3.2.1 독립변수가 최대경간장인 경우

Table 9에 독립변수가 최대경간장인 경우의 상관관계

Table 7. Design parameters DB of verification subject (expressway bridge)

Bridge info		1st design parameters					2nd design parameters				
No.	Completion year	Width (m)	No. of lanes	Length (m)	Span composition (m)	Max. span (m)	Girder size (m)		No. of girders (EA)	$\frac{H}{L_{max}}$	Closed areas (m ²)
							Width	Height			
1	2016.02	3.645	1	281.2	70.6+2@70+70.6	70.6	2.6	2.8	1	0.040	7.28
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
15	2008.12	12.6	3	200	40+2@60+40	60	2.5	2	2	0.033	10
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
30	2013.06	8.5	2	175	40+60+20+55	60	2	2.2	2	0.037	8.8
Average		12.32	3.0	193.9	-	54.6	2.43	2.35	2.2	0.043	12.5

Table 8. Stress and rating factor DB of verification subject (expressway bridge)

Bridge info		Rating factor (R.F.) according to effect parameters									
No.	Completion year	(+) moment region					(-) moment region				
		Stress (MPa)					Stress (MPa)				
		Allowable stress (f_a)	Dead load (f_d)	Live load (f_l)	$\frac{f_d + f_l}{f_a}$	Theoretical R.F.	Allowable stress (f_a)	Dead load (f_d)	Live load (f_l)	$\frac{f_d + f_l}{f_a}$	Theoretical R.F.
1	2016.02	190	121.04	36.73	0.75	2.42	190	138.62	41.61	0.86	1.72
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
15	2008.12	190	96.26	48.37	0.69	2.35	190	122.67	52.03	0.83	1.68
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
30	2013.06	190	101.66	37.18	0.66	2.91	190	106.92	48.97	0.74	2.11
Average		-	95.72	41.97	0.69	2.54	-	111.14	46.76	0.80	1.89

Table 9. Correlation, determination coefficient and probability, when maximum span length is independent variable

Variables		Correlation formula	Nor. dist. ±10.0 % probability (%)		Remark
Dependent (X)	Independent (Y)				
Max. span length (L_{max})	$-\frac{f_d + f_l}{f_a}$	$Y = 0.0034X + 0.6236$	1st	79.7	Table 5
		$Y = 0.0037X + 0.6037$	2nd	80.0	
		$Y = 0.0037X + 0.6045$	4th	79.8	
		$Y = 0.0063X + 0.4713$	7th	72.6	
	$\frac{f_d + f_l}{f_a}$	$Y = 0.0078X + 0.3292$	7th	39.2	Table 6
	$-R.F.support$	$Y = -0.0281X + 3.3215$	7th	37.5	
$+R.F.center$	$Y = -0.0388X + 4.1513$	7th	26.9		

Table 10. Correlation, determination coefficient and probability, when steel ratio is independent variable

Variables		Correlation formula	Nor. dist. ±10.0 % probability (%)		Remark
Dependent (X)	Independent (Y)				
$\frac{f_d + f_l}{f_a}$	$+R.F.center$	$Y = -5.1281X + 6.0528$	1st	77.1	Table 6
		$Y = -4.8718X + 5.8189$	2nd	76.4	
		$Y = -5.0264X + 5.9428$	4th	77.4	
		$Y = -5.1196X + 5.8975$	7th	70.0	
$-\frac{f_d + f_l}{f_a}$	$-R.F.support$	$Y = -5.1977X + 6.0337$	1st	91.5	
		$Y = -5.4354X + 6.2120$	2nd	91.3	
		$Y = -5.6533X + 6.4043$	4th	90.1	
		$Y = -4.6960X + 5.6065$	7th	91.4	

식, 결정계수 및 정규분포 ±10.0 %의 확률을 나타냈다.

Table 9은 2장의 Table 5에서의 최대경간장 - 지점부강재사용률, 최대경간장 - 중앙부 강재사용률의 관계, 그리고 Table 6의 최대경간장 - 계산내하중의 관계식을 적용하여 정리한 것이다.

최대경간장 - 지점부 강재사용률의 상관관계가 $0.239 \leq R^2 \leq 0.265$ 인 1, 2, 4단계의 오차율 ±10 % 이내일 확률은 80 % 정도이나, $R^2 = 0.457$ 인 7단계에서는 오차율 ±10 % 이내일 확률이 72.6 %로 약간 낮게 나타났다.

최대경간장 - 중앙부 강재사용률의 상관관계는 7단계에서 $R^2 = 0.448$ 이고, 오차율 ±10 % 이내일 확률은 39.2 %로 산정되어 지점부 강재사용률에 비해 낮은 확률을 나타냈다.

최대경간장 - 계산내하중의 상관관계는 7단계에서 지점부 $R^2 = 0.400$, 중앙부 $R^2 = 0.411$ 로 비슷하고, 오차율 ±10 % 이내일 확률은 지점부 37.5 %, 중앙부 26.9 %로 낮게 나타났다.

이들 분석으로부터 설계인자 가운데 가장 대표적 인자인 최대경간장을 활용한 상관관계식에 의한 유의성은 최대경간장 - 지점부 강재사용률의 관계는 유의성을 나타내나, 최대경간장 - 중앙부 강재사용률, 최대경간장 - 지점부

계산내하중, 최대경간장 - 중앙부 계산내하중의 관계는 유의성이 낮은 것을 알 수 있었다.

3.2.2 독립변수가 강재사용률인 경우

Table 10에 독립변수가 강재사용률인 경우의 상관관계식, 결정계수 및 정규분포 ±10.0 %의 확률을 나타냈다.

Table 10은 2장의 Table 6에서의 중앙부 강재사용률 - 중앙부 계산내하중, 지점부 강재사용률 - 지점부 계산내하중의 관계식을 적용하여 정리한 것이다.

강재사용률 - 계산내하중의 상관관계는 전단계에서 $0.827 \leq R^2 \leq 0.971$ 로 매우 높은 상관관계를 보였으며, 오차율 ±10 % 이내일 확률도 중앙부가 70.0 % - 77.4 %, 지점부가 91.5 % - 90.1 %로 산정되었으며 지점부의 경우, 상관관계와 오차확률이 모두 높은 경우로 나타났다.

4. 결론

강박스거더교량의 116개 및 검증교량 30개의 안전진단 보고서를 활용하여 ASD 기법에 의한 내하중과 교량설계

인자와의 관계를 조사·분석하고, 설계단계부터 용이하게 내하율을 평가할 수 있는 단순 평가방법을 제안하는 것과 함께 제안 방법의 타당성 및 효율성 검증을 실시하여 얻은 결론은 다음과 같다. 또한 이러한 연구를 통해 설계단계 및 공용중의 내하력 평가와 그 상관관계 분석을 통해 유지관리 전략 수립에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

- (1) 공통 설계인자를 분석한 결과를 반영하면, 강박스 거더의 단위면적당 강재중량은 0.34 tonf/m^2 , 그리고 거더 높이/최대경간의 비는 약 1/20 전후로 설정하면 타당할 것으로 판단된다.
- (2) 1차 설계인자인 교량 폭원, 교량 총연장, 최대경간장 가운데 내하율과 관계가 있다고 판단되는 것은 교량 총연장과 최대경간장을 고려할 수 있다.
- (3) 중앙부 고정하중 응력 - 중앙부 계산내하율, 지점부 고정하중 응력 - 지점부 계산내하율, 중앙부 강재사용률 - 중앙부 계산내하율, 지점부 강재사용률 - 지점부 계산내하율의 관계에 대한 활용인자 매개변수를 활용하면, 설계과정 중에 충분히 이론적인 계산내하율을 정밀도 높게 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌(References)

[1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012) *Highway Bridge Design Standard (Limit State Design)*, Korea (in Korean).

[2] Lee, Y.I. (2015) *An Improved Evaluation Method of Load-Carrying-Capacity for Highway Bridges Based on Field Test Data*, Ph.D. Dissertation, Korea Maritime & Ocean University, Korea, pp.9-17 (in Korean).

[3] Noh, D.O., Kyung, K.S., and You, K.J. (2020) Improvement for Evaluation of Load Carrying Cap-

acity Based on Loading Test of Steel Box Girder Bridge, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.32, No.4, pp.213-224 (in Korean).

[4] Noh, D.O., Kyung, K.S., and Park, J.E. (2021) Evaluation of Rating Factors for Steel Box Girder Bridge Based on Limit State Design, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.33, No.2, pp.75-86 (in Korean).

[5] Noh, D.O., Kyung, K.S., and Park, J.E. (2021) A Study on Reliability and Applicability of Rating Factor Evaluation for Steel Box Girder Bridge Based on Limit State Design, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.33, No.2, pp.87-98 (in Korean).

[6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and Korea Infrastructure Safety Corporation (2019) *Detail Guidelines for Safety and Maintenance of Infrastructure (Bridges)*, MOLIT and KISC, Korea (in Korean).

[7] Sun, C.W., Kyung, K.S., Kang, S.H., and Kwon, S.C. (2009) Analysis on Characteristic of Construction Cost for Steel Box Bridge, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.21, No.1, pp.1-14 (in Korean).

[8] Kim, S.H., and Seol, J.M. (2005) Guidelines for Economic Design of Steel Box Girder Bridge, *Yooshin Engineering Corporation Technical Bulletin*, YEC, Vol.12, pp.57-70 (in Korean).

부 록

일부 교량 데이터만 수록한 Table 1, Table 2, Table 7, Table 8의 전체 내용은 한국강구조학회논문집 웹사이트 (<http://www.ksscjournal.or.kr>)의 해당 논문 페이지에서 열람 가능합니다.

요 약: 이 연구에서는 116개의 분석교량 및 30개의 검증교량에 대한 강박스거더교량의 안전진단보고서를 활용하여 ASD 기법에 의한 내하율과 교량설계인자와의 관계를 조사, 분석하였다. 이로부터 설계단계부터 용이하게 내하율을 평가할 수 있는 단순 평가방법을 제안하는 것과 함께 제안 방법의 타당성 및 효율성 검증을 실시하였다. 1차 설계인자로는 최대경간장이 내하율과 관계가 높은 것으로 나타났으며, 또한 중앙부 고정하중 응력 - 중앙부 계산내하율, 지점부 고정하중 응력 - 지점부 계산내하율의 관계를 활용하면, 설계과정 중에 이론적인 내하율을 정밀도 높게 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 강박스거더교량, 허용응력설계법, 내하율, 설계인자
