

한계상태설계법에 기초한 강박스거더교 내하율 평가

노동오¹ · 경갑수^{2*} · 박진은³

¹공학박사, 씨티씨(주), ²교수, 한국해양대학교, 건설공학과, ³연구교수, 한국해양대학교, 산학협력선도대학사업단

Evaluation of Rating Factors for Steel Box Girder Bridge Based on Limit State Design

Noh, Dong Oh¹, Kyung, Kab Soo^{2*}, Park, Jin Eun³

¹Ph.D of Engineering, CTC Co., Ltd., Busan, 48732, Korea

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

³Research Professor, Leaders in INdustry-university Cooperation+, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112, Korea

Abstract - This study proposed an modified load-bearing capacity evaluation method based on LSD(limit state design) - the current bridge design codes. It is possible that the improvement validated in the load test be applied to this method. From the results of evaluation of 32 bridges in service, analysis and comparison are made on rating factors found by ASD(allowable strength design), LSD and improved LSD. The results of the 3 methods show high interrelation. This interrelation is expected to provide a method to convert rating factor found by ASD to a rating factor found by LSD.

Keywords - Steel box girder, Limit state design, Improved rating factor, Load carrying capacity

1. 서론

2015년부터 국내 강교량 설계에서는 한계상태설계법에 기반한 “도로교설계기준(2012)^[1]”이 전면적으로 시행되고 있다. 그러므로 이들 설계법이 적용된 도로교에 대한 내하력 평가 또한 한계상태설계에 기반한 평가가 필요하다.

한계상태설계법에 기반한 내하력 평가에 대해서는 미국의 경우 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) LRFD(load and resistance factor design)를 기본 설계법으로 신뢰도 기반의 내하력 평가방법인 LRFR(load and resistance factor rating)을 2003년도부터 공식 적용하고 있다. 이와 관련하여 국내의 경우에도 Han and Yang^[9]은 각 내하율 평가방법을 비교하여 LFD(load factor design)와 LRFD는 ASD(allowable strength design)에 비

해 24% 이상 내하율이 향상되는 것을 확인하였고, Lim^[8]은 단일 교량에 대한 한계상태설계법과 LRFR에 의한 내하율을 비교하였으며, 한국도로공사 도로교통연구원(Korean Express Corporation Research Institute[KECRI]^[4])은 신뢰도 기반의 교량 안전성 평가 지침을 제안하는 등 관련 연구를 수행하였으나 현재까지는 하중수정계수 고려 및 실제 교량의 거동에 근접하는 공용 내하력 평가에서 이를 공식적으로 적용하기에는 추가 연구가 필요한 실정이다.

한편 선행연구인 Noh *et al.*의 연구^[2]에서 기술한 것과 같이 실제 교량 재하시험 결과와 기존 내하력 평가의 구조해석 및 내하율 산정과정을 비교한 결과, 현업에서의 문제점 및 개선사항으로는 다음과 같은 것을 고려할 수 있다.

구조해석 단계의 문제점으로서, 첫째로 내하력 평가와 관련된 구조해석에서 구조모델링 및 요소 등과 관련된 기본적인 인자 등이 평가자에 따라 주관적으로 수행될 수 있다는 점이다. 둘째는 실제 구조물을 반영하지 못한 구조해석 모델의 부적절성이다. 셋째는 실측치와 이론치의 응답보정계수 불확실성을 생각할 수 있다. 이에 대한 개선사항으로 구조해석에서의 상부 바닥판 전체 폭의 유효성 고려 및 일체형 방호벽의 합성효과 고려, 그리고 콘크리트 재령에 따른 강도증대 및 탄성계수 변화의 적용을 고려할 수 있다.

Note.-Discussion open until October 31, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on November 09, 2020; revised February 01, 2021; approved on February 01, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-51-410-4464 Fax. +82-51-410-4460

E-mail. kyungks@kmou.ac.kr

내하율 산정 단계의 문제점으로는 첫째로 안전측의 설계를 근간으로 하는 인장을 받는 콘크리트의 무시, 둘째로 실제 합성거더의 단면 특성치의 불확실성이다. 이에 대한 개선사항으로 내하력 평가에서도 인장을 받는 상부 바닥판과 일체형 방호벽의 효과를 고려한 합성거더의 단면 특성치 산정과 콘크리트의 탄성계수 변화의 적용이다.

그러므로 이 연구에서는 국내 도로교량의 1·2종 시설물 중 가장 많은 비율을 차지하는 강박스거더교량에 대하여 신뢰도 기반의 설계방법인 한계상태설계법(limit state design, 이하 LSD)에 의한 내하력 평가를 실무에 활용하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여 강박스교량의 구조해석 단계와 내하율 산정 단계에서의 문제점 및 개선사항을 고려하고, 이를 적용할 수 있는 내하율 평가방법을 제안하고자 한다.

또한, 기존의 허용응력설계법(이하 ASD)과 현행 LSD에 의한 내하율의 비교 및 상관관계를 분석하여 ASD로 평가한 내하율을 LSD에 의한 내하율로 환산하기 위한 기초 연구자료를 제공하고자 한다.

2. LSD에 의한 내하력 평가의 기본가정

LSD에 의한 내하력 평가를 위해 먼저 내하율 평가식을 제안하고 이에 의한 기존 교량의 내하력 평가를 수행함에 있어 선행연구^[2]에서 제안한 인장을 받는 바닥판의 유효성, 일체형 방호벽의 합성효과, 콘크리트 탄성계수 변화와 같은 개선사항을 고려하기 위한 몇 가지 기본가정을 제시한다.

2.1 설계방법의 적용 및 내하율 평가식

이 연구에서는 LSD를 이용한 내하력 평가를 위하여 AASHTO의 LRFR(2003)^[3]에 제시된 내하율 평가방법인 식 (1)과 KECRI^[4]에서 제시한 내하율 평가방법인 식 (2)를 참조하여 식 (3)과 같은 수정된 내하율(RF) 평가식을 제안하고 적용한다. 식 (3)은 식 (1)의 하중저항능력(C)을 식 (2)의 상태등급을 고려한 저항강도($\phi_A R_i$)로 대체한 식이다.

$$RF = \frac{C - (\gamma_{DC})(DC) - (\gamma_{DW})(DW) \pm (\gamma_P)(P)}{(\gamma_L)(LL + IM)} \quad (1)$$

여기서, C: 하중저항능력(capacity)

강도한계상태에서 $C = \phi_c \phi_s \phi R_n$

사용한계상태에서 $C = f_R$

ϕ_c : 상태계수(condition factor, Table 1 참조)

ϕ_s : 시스템계수(system factor)

ϕ : LRFD에서의 저항계수

R_n : 부재의 공칭저항강도

DC: 구조부재 및 부착물의 고정하중 영향

DW: 포장 및 설비의 고정하중 영향

P: 고정하중 이외의 영구하중

LL + IM: 활하중 영향(동적 충격계수 포함)

$\gamma_{DC}, \gamma_{DW}, \gamma_P, \gamma_L$: 하중 종류별 하중계수

Table 1. Condition factor in LRFR(2003)^[3]

Condition description	NBI condition rating	ϕ_c
Good or satisfactory	6 or higher	1.00
Fair	5	0.95
Poor	4 or lower	0.85

$$RF = \frac{\phi_A R_i - \gamma_{AD} \gamma_D D}{\gamma_{AL} \gamma_L L(I)} \quad (2)$$

여기서, ϕ_A : 부재별 상태평가 등급에 따른 강도평가계수 (Table 2 참조)

R_i : 저항강도

γ_{AD}, γ_{AL} : 하중평가계수(Table 3 참조)

γ_D, γ_L : 하중계수(Table 3 참조)

D: 고정하중 영향

L(I): 충격을 고려한 활하중 영향

Table 2. Strength evaluation factor in KECRI^[4]

Status evaluation class for member	ϕ_A
A, B	1.00
C	0.95
D, E	0.85

Table 3. Load factor and load evaluation factor in KECRI^[4]

Load factor				Load evaluation factor			
Dead load γ_D		Live load γ_L		Dead load γ_{AD}		Live load γ_{AL}	
γ_{DC}	γ_{DW}	Design truck	Permit truck	Design	Measure	Design truck	Permit truck
1.25	1.50	1.80	1.40	1.00	0.90	0.90	1.00

$$RF = \frac{\phi_A R_r - \gamma_{DC} DC - \gamma_{DW} DW \pm \gamma_P P}{\gamma_{AL} \gamma_L (LL + IM)} \quad (3)$$

여기서, R_r : 계수저항강도

$\phi_A, \gamma_{DC}, \gamma_{DW}, \gamma_L, \gamma_{AL}$: Tables 2-3 참조

γ_P : 고정하중 이외의 영구하중계수(= 1.0)

KECRI^[4]의 식 (2)에서는 실제 통행하중을 관찰한 결과, 중대형 차량의 일평균교통량(ADTT)을 반영하여 설계차량 하중에 대한 활하중평가계수(γ_{AL})를 0.9로 적용하였고, 재하시험 등 정확한 실측자료가 있을 경우에는 고정하중평가 계수(γ_{AD})도 0.9를 적용하는 것으로 제안하였다. 그러나 내 하력 평가 실무 기술자가 고정하중을 90%로 감소시키는 객 관적이고 정량적인 근거를 제시하기에는 어려움이 있으므로 고정하중평가계수는 식 (3)에서 적용하지 않았다.

계수저항강도 R_r 은 도로교설계기준^[1] 및 강구조설계기 준^[6]에 의거하여 산정하는 것으로 하고, LRFR의 상태계수 및 시스템계수 대신 국내 여건을 감안하여 정밀안전점검 및 정밀안전진단에서 평가된 상태등급을 반영하는 강도평가 계수 ϕ_A 는 KECRI^[4]의 제안값인 Table 2(Table 1과 동일)를 그대로 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 이 연구에 서는 샘플로 활용한 교량의 상태등급이 모두 A와 B등급에 해당되어 ϕ_A 는 1.0을 적용하여 내하율을 평가하였다.

2.2 한계상태에서의 하중효과 및 하중수정계수

국내의 현행 도로교설계기준^[1] 및 (KDS 24 10 11)^[11]에 의거하여 교량의 각 구성요소와 연결부는 각 한계상태에 대 하여 LSD의 근본 설계식인 식 (4)를 만족하여야 한다.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq R_r \quad (4)$$

여기서, $R_r = \phi R_n$ (계수저항)

R_n : 공칭저항강도

ϕ : 각 한계상태 저항계수

Q_i : 하중효과

γ_i : 하중계수(하중효과에 적용되는 통계적 산출계 수, Table 3 참조)

η_i : 하중수정계수(연성도, 여유성, 구조물의 중요도 에 관련된 계수)

식 (4)의 하중효과 Q_i 에 적용되는 하중수정계수는 최대 하중계수가 고려되는 경우에 식 (5)와 같으며, 연성도, 여유 성, 중요도에 따른 계수의 적용은 Table 4와 같다.

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0.95 \quad (5)$$

여기서, η_D : 연성도에 관련된 계수

η_R : 여유성에 관련된 계수

η_I : 구조물 중요도에 관련된 계수

Table 4. Load modify factor in KDS 24 10 11^[11]

Item	Value	Ductility factor η_D	Redundancy factor η_R	Importance factor η_I
ULS*	≥ 1.05	Non-ductile components and connections	Non-redundant members	Important bridges
	= 1.00	Conventional design and details	Conventional levels	Typical bridges
	≥ 0.95	Components and connections with additional ductility-enhancing	Exceptional levels	Relatively less important bridges
Other**	1.00	-	-	-

*ULS : ultimate(strength) limit state

**Other: all other limit state

2.3 한계상태에서의 하중조합

이 연구는 강거더 교량에 대하여 도로교설계기준^[1]의 한 계상태에 따른 내하율 평가를 대상으로 하고 있다. 따라서 일상적인 차량활하중의 영향이 크게 작용하는 극한한계상 태I(극한I, Ultimate I) 및 사용한계상태II(사용II, Service II) 의 하중조합을 사용하였으며, 이를 식 (6) 및 식 (7)에 나타 내었다. 크리프와 건조수축에 의한 하중영향을 영구하중으 로 적용할 수도 있으나, ASD에 의한 내하력 평가에서는 그 영향이 크지 않아 고려하지 않은 경우가 많으므로 ASD에 의한 기존 내하력 평가 결과와의 비교를 위해 크리프와 건 조수축은 고려하지 않는 것으로 하였다.

$$\text{극한I: } 1.25DC + 1.50DW + 1.80(LL + IM) \quad (6)$$

$$\text{사용II: } 1.00DC + 1.00DW + 1.30(LL + IM) \quad (7)$$

여기서, *DC*: 구조부재 및 부착물의 고정하중 영향
DW: 포장 및 설비의 고정하중 영향
LL + IM: 충격을 고려한 활하중 영향

2.4 합성 후 고정하중의 구분

종래의 설계방법인 ASD를 이용하여 강합성거더교를 설계하는 경우, 합성 전 고정하중, 합성 후 고정하중 및 활하중 등을 주하중으로 고려하였으며, 합성 후 작용하는 고정하중인 방호벽, 중앙분리대와 같은 일체형 난간과 포장 등의 하중에 대해서는 별도의 구분을 두지 않았다.

반면, LSD로 설계 및 평가를 실시하는 경우에는 구조부재 및 부착물의 고정하중 영향(*DC*)과 포장과 설비의 고정하중 영향(*DW*)을 구분하고 있으며, 각 하중에 적용하는 하중계수도 상이하다.

이 연구에서는 ASD에 의한 기존 교량의 설계 및 내하력 평가 결과를 이용하고 있으므로, 연구에 활용한 교량의 자료로부터 합성 전 고정하중인 자중을 제외한 합성 후 고정하중을 차로 수 별로 분석한 결과는 Table 5와 같다. 이 연구에서는 LSD에 의한 내하력 평가시, 합성 후 고정하중을 Table 5의 *DC*와 *DW* 비율에 따라 구분하여 적용하였다.

Table 5. Dead load ratio after composition

Item	Approximate proportion of dead load after composition		
	Under 2 lanes	3 lanes	4 lanes
<i>DC</i> (barrier guarding, etc.)	55 %	50 %	45 %
<i>DW</i> (surface pavement)	45 %	50 %	55 %

2.5 조밀단면과 곡선교의 적용

현행 도로교설계기준^[1]에서는 힘을 받는 강박스거더 단면의 내하력 평가에 필요한 극한한계상태의 공칭휨강도 *R_c*의 산정방법에서 정모멘트부와 부모멘트부의 공칭휨강도 산정방법이 상이하다. 또한 정모멘트부에서도 단면 형상, 단면의 세장비 및 연성도 등의 조건에 따라 조밀단면과 비조밀단면으로 구분하며, 공칭휨강도 산정방법이 상이하다. 이때 조밀단면의 조건을 만족하더라도 곡선교이거나 단일 박스거더교의 경우에는 비조밀단면으로 검토하여야 한다.

따라서 이 연구에서는 기존 강박스거더교에 대한 내하력

평가를 실시함에 있어서 LSD에 대한 제반조건은 도로교설계기준^[1]에 준하여 적용하되, 폐합단면의 박스거더, 곡선교 등의 정모멘트부 비조밀단면 및 부모멘트부 단면의 저항강도 산정은 강구조설계기준^[6]에 의거하여 산정하였다.

2.6 저항강도 및 응력산정시 단면 특성치의 산정방법

극한한계상태에서 정모멘트부 조밀단면의 소성모멘트는 단면의 형상과 크기에 영향을 받지만, 항복모멘트는 재료의 항복강도와 휨모멘트에 저항하는 단면계수의 함수가 된다. 그리고 정모멘트부 비조밀단면과 부모멘트부 단면에서도 계수하중조합에 의한 응력과 상·하부 플랜지의 휨강도를 비교하여 안전성을 검토하므로 응력 산정을 위한 단면계수의 산정이 중요한 요소가 된다.

따라서 거더의 단면계수를 산정하는 방법은 가장 기본적인 사항이며, 중요한 의미를 갖는다. 과거 ASD에 의한 설계 및 평가에서는 구조해석 단계에서 인장을 받는 바닥판을 고려하더라도, 응력검토 단계에서는 인장을 받는 바닥판 콘크리트를 유효하다고 적용하거나, 또는 콘크리트는 무시하고 유효폭 내 철근만 유효하다고 적용하는 등의 합성단면의 단면계수 산정방법이 기술자마다 상이한 경우가 많았다.

따라서 이 연구에서는 선행연구(Noh *et al.*^[2])에서 제안한 개선사항을 고려하되 도로교설계기준^[1] 및 KDS 14 31 10^[12]에 따라 파괴직전의 안전성 확보여부를 검토하는 극한한계상태에서는 합성단면의 단면계수에서 부모멘트부의 인장을 받는 콘크리트를 무시하고, 유효폭 내의 축방향 철근만을 고려하였다. 반면, 상시 정상 운용상태를 검토하는 사용한계상태에서는 부모멘트부에 배근된 축방향 철근에 관련된 의 최소 철근량 등 관련 기준을 만족하는 경우에는 인장을 받는 바닥판에서 유효폭 내의 콘크리트와 축방향 철근이 모두 유효한 것으로 간주하여 단면계수를 산정하였다.

또한 현존하는 공용중인 교량의 내하력 평가이므로 콘크리트 재령을 고려하여 콘크리트 탄성계수의 증가를 고려한 합성거더 단면의 단면계수를 적용하였다.

일체형 난간의 경우에는 단면의 합성강도에 효과가 있는 것은 검증되었다. 그러나 일체형 난간이 바닥판 연단에 설치되어 유효폭 외측에 존재할 수 있으며, 또한 사용 환경의 요인으로 일부 손상이 발생한 일체형 난간의 강성을 정량적으로 고려하기 어렵다. 이것들을 고려하여 합성 거더의 단면계수 산정시에는 이들을 직접 고려하지 않고, 식 (5)의 하중수정계수를 이용하여 그 효과를 반영하고자 하였다.

3. LSD에 의한 내하력 평가 및 분석

3.1 분석대상교량의 개요 및 분석방법

3.1.1 분석대상 교량의 개요

이 연구에서 샘플로 분석한 교량은 모두 강박스거더교이며, 1980년~2014년 사이에 준공되어 현재까지 공용되고 있

는 총 32개의 교량을 대상으로 하였다.

대상 교량은 모두 ASD로 설계된 2~9경간 연속의 연속교이며, 1~5개의 거더로 구성되어 있고 간략한 제원은 Table 6에 나타내었다. Table 6에는 연구대상 교량의 구조해석 결과에서 부재력이 크게 발생하는 거더의 단면을 발췌하여 정모멘트부 및 부모멘트부에서 각 1~4개의 단면을 대상으로 하는 검토단면의 수도 나타내었다.

Table 6. Status of sample bridges

Id.	Span configuration (m)	No. of girders (EA)	Width (m)	No. of lanes	Completion year	Analysis sections (EA)			Remark
						(+) moment	(-) moment	Sum	
Br.01	56+35+62+50+45 = 248	2	9.3	2	2001	4	4	8	-
Br.02	57+39+48+48 = 192	1	5.8	1	2001	4	3	7	One girder curved bridge
Br.03	49+3@50+35 = 234	3	20.0	4	1997	4	4	8	-
Br.04	2@50+60+2@50 = 260	3	20.5	4	2001	4	4	8	-
Br.05	50+60+70 = 180	2	13.0	2	2001	3	2	5	-
Br.06	63+70+63 = 196	2	10.9	2	2012	2	1	3	-
Br.07	63+70+63 = 196	2	10.4	2	2012	2	1	3	-
Br.08	3@70 = 210	3	19.3	3	2012	2	1	3	-
Br.09	2@50 = 100	3	17.9	4	2012	1	1	2	-
Br.10	54.5+55+54.5 = 164	1	7.9	1	2012	2	1	3	One girder
Br.11	32.5+40+48+40+32.5 = 193	2	16.0	4	1991	3	2	5	-
Br.12	45+65+45 = 155	2	11.9	3	2014	4	2	6	-
Br.13	39+45+37 = 121	2	7.9	2	2014	2	1	3	-
Br.14	3@40 = 120	2	7.9	2	2014	2	1	3	Curved bridge
Br.15	55+60+2@55 = 230	2	8.0	1	2006	4	3	7	Curved bridge
Br.16	45+3@60+70+60+50 = 405	4	23.0	5	2006	4	4	8	-
Br.17	31+3@41+62.5+48.5 = 265	1	7.5	1	2006	2	2	4	One girder
Br.18	50+60+2@45+2@50+45 = 345	1	7.5	1	2006	2	2	4	One girder
Br.19	2@50 = 100	4	23.5	6	1998	2	2	4	-
Br.20	2@42.5+2@60 = 205	4	25.0	6	1999	2	2	4	-
Br.21	2@57.5+2@60 = 235	4	25.0	6	1999	2	2	4	-
Br.22	2@45.3 = 90.6	5	26.8	6	1980	2	2	4	U-shape girder
Br.23	45+3@50+45 = 240	2	12.1	2	1998	2	2	4	-
Br.24	30+62 = 92	3	14.8	2	2003	3	3	6	-
Br.25	2@50 = 100	2	12.1	2	2003	2	2	4	-
Br.26	40+50+40 = 130	2	12.6	2	2003	1	1	2	-
Br.27	3@50+40+35 = 225	1	9.0	1	2003	2	2	4	One girder
Br.28	50+60+70+60+50 = 290	1	9.0	1	2003	2	2	4	One girder
Br.29	3@50+2@60+4@50 = 470	2	16.5	2	2003	2	2	4	-
Br.30	3@50+60+50 = 260	2	16.5	2	2003	2	2	4	-
Br.31	55+2@70+55 = 250	3	16.5	4	2006	4	4	8	-
Br.32	55+2@60+55 = 230	3	16.5	4	2006	4	4	8	-
Total						83	71	154	-

Bridge 22는 개구제형 단면의 교량이며, 나머지 교량은 폐합 박스거더 단면을 가지고 있다.

총 32개 교량에 대하여 준공시점의 초기치를 측정하고 수록한 초기안전점검 보고서 또는 ‘시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법’에 의해 수행된 정밀안전진단 보고서로부터 관련 데이터를 수집하여 분석하였으며, 경우에 따라서는 준공도면을 참고하여 교량의 상세를 확인하였다.

해당 보고서를 분석한 결과, 내하력을 검토한 단면은 모두 ASD에 의한 평가방법으로 내하율 및 내하력이 산정되었고, 모든 검토단면이 안전성을 확보하고 설계하중 이상의 내하력을 확보하고 있는 것으로 조사되었다.

또한 초기안전점검 및 정밀안전진단을 실시한 시기를 기준으로 외관조사 및 재료시험 결과를 반영한 상태평가 등급은 A등급 또는 B등급의 양호한 상태를 확보하고 있었으며, 구조적으로 특별한 문제가 없는 것으로 확인되었다.

3.1.2 분석방법

이 연구는 ASD에 의한 내하력이 평가되어 있는 기존 강박스거더교를 LSD에 의한 식 (3)을 이용하여 내하율을 재평가하되, 선행연구(Noh *et al.*^[2])에서 제안한 개선사항의 적용 여부에 따라 2가지 방법으로 평가하였다. 2가지 방법은 모두 LSD를 기초로 하며, 개선사항을 적용하지 않은 설계기준에 근거한 평가방법을 ‘개선 전 LSD에 의한 내하율 평가(이하 LSD_1)’로 정의하였다. 그리고 이 연구에서 개선사항을 적용한 평가방법을 ‘개선된 LSD에 의한 내하율 평가(이하 LSD_2)’로 정의하였다. 2가지 평가방법은 내하율 평가 단계에서 차이점을 두었으며 평가방법의 적용 및 차이점은 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Application of evaluation method

Item	ASD	LSD_1		LSD_2	
		Ultimate I	Service II	Ultimate I	Service II
Slab under tension	N.C*	N.C	N.C	N.C	C*
Modulus of elasticity of concrete	D.S**	D.S	D.S	Aging considerations	
Effect of integrated barrier	N.C	$\eta_D = 1.0$ $\eta_R = 1.0$ $\gamma_{AL} = 1.0$	N.C	$\eta_D = 0.95$ $\eta_R = 0.95$ $\gamma_{AL} = 0.90$	N.C

*N.C or C: no consideration or consideration

**D.S: design strength

LSD_1의 경우에는 객관적이고 특별한 검증 자료가 없는 일반적인 상태를 기준으로 하여, 통상적 수준의 연성도, 여유성 계수 및 활하중평가계수를 모두 1.0을 적용하였다.

LSD_2의 극한한계상태인 경우에는 파괴 또는 내하력 상실 직전의 상태에서 강박스거더의 연성, 폐합단면의 여유성, 상부 바닥판과 일체형 방호벽의 합성효과 기여도 및 바닥판 콘크리트 탄성계수의 증가를 감안하여 연성도 및 여유성 계수를 0.95로 적용하였다. 그리고 실제 교통량을 감안한 활하중평가계수에 0.9를 적용함으로써 이 연구의 개선사항을 반영하고자 하였다. LSD_2의 사용한계상태에서는 하중수정계수의 적용보다는 인장을 받는 바닥판의 유효성 등을 단면계수에 고려하여 개선사항을 반영하였다.

중요도 계수의 고려여부는 개선효과를 위해 LSD_2에서 연성도 및 여유성 계수에 0.95를 적용할 경우 식 (5)에 따라서 평가결과에 영향을 주지 않을 것을 예상할 수 있다.

Table 8에는 이 연구에서 활용한 교량의 기존 구조해석 현황을 정리하였다. 내하율 평가단계에서는 Table 7의 3가지 고려사항에 의한 내하율 변화를 분석하기 위하여 활하중에 대한 이론적 여유도인 내하율(RF)을 평가하고 그 결과를 활용하였다. 그리고 LSD를 이용하는 2가지 평가방법에서는 정모멘트부 조밀단면, 비조밀단면 및 부모멘트부 단면에 대한 평가를 각각 실시하되, 극한I과 사용II의 내하율 가운데 작은 값을 대표 내하율로 선정하였다.

Table 8. Status of structure analysis models

Classification of analysis models	No. of bridges	Remark
(1) Considering the effective width of slab under tension	16	Existing model
(2) Considering the entire width of slab under tension + integrated barrier	11	Existing model
(3) (2) + Considering the increase in the elastic modulus of concrete	5	Improved model (in this study)
Total	32	-

또한 대상 32개의 교량의 단면을 분석한 결과, 모든 교량의 정모멘트부 단면이 조밀단면의 조건을 만족하고 있다. 그러나 이러한 경우에도 단일거더교 및 곡선교는 비조밀단면의 저항강도를 적용하도록 설계기준에서 제시하고 있다.

그러므로 이 연구에서는 각 경우에 대한 내하율 자료확보를 위하여 수집한 모든 교량의 정모멘트부가 조밀단면인 경우 및 비조밀단면인 경우로 가정한 평가도 실시하였다.

3.2 LSD에 의한 내하율 평가 및 분석

3.2.1 정모멘트부 조밀단면

(1) 내하율 평가 결과

대상 교량의 정모멘트부 단면이 모두 조밀단면인 경우에 대하여 ASD, 개선 전 LSD_1 및 개선된 LSD_2의 방법으로 내하율을 산정하고, 총 83개 단면의 평가결과를 요약하여 Table 9에 나타내었다.

Table 9. Summary of RFs at (+)moment compact section by ASD, LSD_1, and LSD_2

Item	Rating factor (RF)			Remark
	Aver.	Min.	Max.	
ASD	3.037	1.441	9.551	-
LSD_1	Ultimate I 4.357 (0.927)	2.332	10.884	-
	Service II 4.702 (1.000)	2.510	11.915	-
LSD_2	Ultimate I 5.491 (1.158)	3.040	12.962	-
	Service II 4.740 (1.000)	2.532	12.003	-
Ratio (LSD_1/ASD)	1.435	1.140	1.854	Ultimate I
Ratio (LSD_2/ASD)	1.561	1.254	2.006	Service II

ASD로 평가한 내하율의 평균은 3.037, LSD_1은 4.357, LSD_2는 4.740으로 나타났으며, 각각 약 1.435배, 1.561배의 내하율 증가가 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 각 교량별 평균 내하율을 비교한 Fig. 1에서도 이러한 경향을 확인할 수 있다.

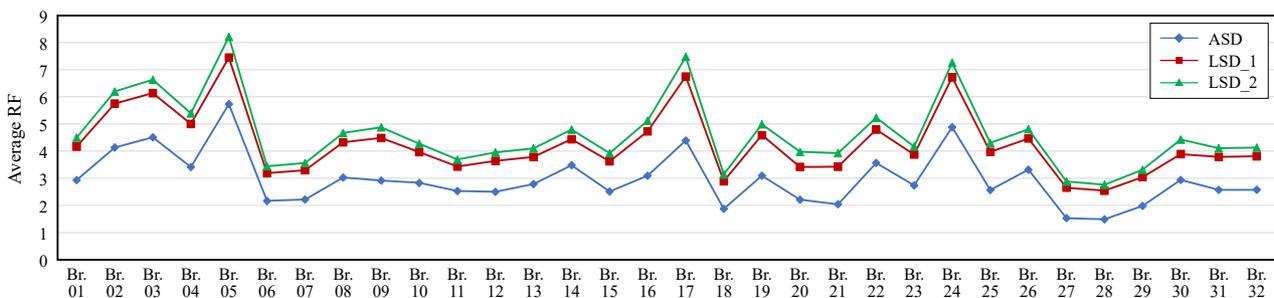


Fig. 1. Average RFs at (+)moment compact section by ASD, LSD_1, and LSD_2

(2) 상관관계 분석

Table 9에서 LSD_1의 경우, 극한I에 의한 내하율은 사용 II에 의한 내하율의 평균 92.7% 수준으로 작게 나타났다. 그러므로 파괴 여부에 대한 안전을 검토하는 극한I의 한계상태 하중조합이 사용II의 한계상태보다 안전측이고, 보수적인 결과를 나타낸다고 볼 수 있다.

LSD_2의 경우, 극한I에 의한 내하율은 사용II에 의한 내하율의 평균 115.8% 수준으로 크게 나타났다.

이는 개선 전 LSD_1 방법과는 달리, 하중수정계수 등의 적용을 통한 연성도 및 여유성의 고려여부가 극한I의 비탄성 거동에서 단면의 항복 및 소성모멘트에 의한 저항강도의 안전성을 증가시켜서 사용한계상태가 지배한계상태로 된 것을 나타낸다.

동일한 단면에서 ASD와 LSD_1 및 LSD_2에 의한 내하력 평가방법에 따른 상관관계를 확인하기 위하여 전체 83개 단면의 내하율을 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 또한, 일반적으로 교량의 안전한 관리를 위해 내하력은 최저 내하율로 평가하므로 ASD의 평균 내하율인 3.037 이하로 나타난 25개 교량, 47개 단면에 대한 회귀분석도 실시하였다.

Fig. 2(a)·Fig. 2(b)는 ASD와 LSD_1의 분석결과, Fig. 2(c)·Fig. 2(d)는 ASD와 LSD_2의 분석결과이다. 그리고 Fig. 2(a)·Fig. 2(c)는 전체 83개 단면의 분석결과, Fig. 2(b)·Fig. 2(d)는 평균 내하율 이하 47개 단면의 분석결과이다.

전체 단면을 이용하여 분석한 Fig. 2(a)·Fig. 2(c)에서는 1차 함수에서 상수항이 0(zero)인 경우와 아닌 경우를 구분한 2가지 식, 그리고 2차 함수에서는 상수항이 0인 경우만 고려하여 총 3가지의 함수식으로 상관관계를 표현하였다.

ASD의 내하율에 대한 LSD_1의 내하율 상관관계를 나타낸 함수식은 약 86% - 95%, LSD_2의 내하율 상관관계 함수식은 91% - 99%의 적합성(결정계수)을 나타내었고, 상수항이 있는 1차 함수식이 가장 높은 적합성을 나타내었다. 이와 같은 결과는 각 내하율 간의 상호 연관성이 높으며, 각

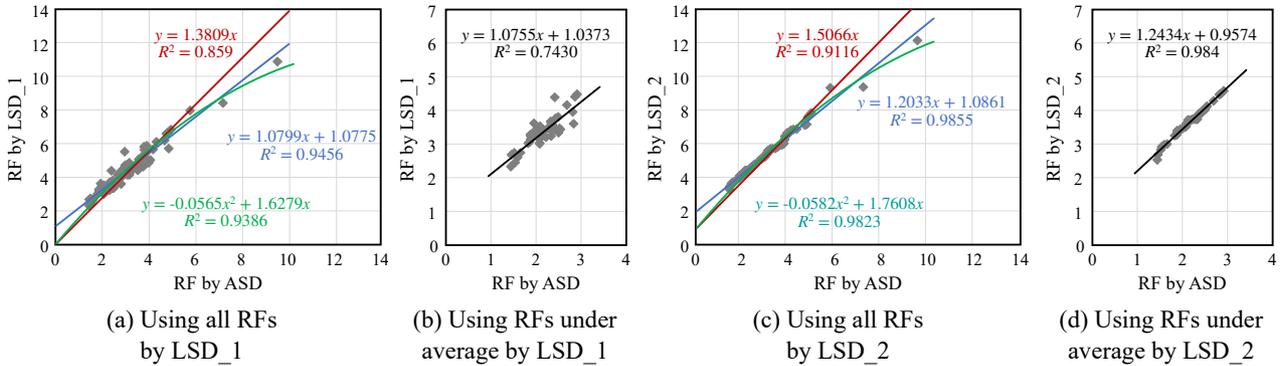


Fig. 2. Regression analysis of RFs at (+)moment compact section by ASD, LSD_1, and LSD_2

함수식이 ASD의 내하율과 LSD_1 및 LSD_2의 내하율 상관관계를 높은 적합성으로 표현할 수 있음을 의미한다.

평균 내하율 이하의 47개 단면의 내하율 값으로만 분석한 Fig. 2(b)-Fig. 2(d)의 경우에는 상수항이 0이 아닌 1차 함수로 표현한 경우만 나타내었다.

ASD와 LSD_1의 내하율 상관관계 함수식은 적합성이 약 74%로 전체 단면을 모두 사용한 분석보다는 적합성이 저하된 결과를 얻었다. 그러나, 평균 내하율 이하의 단면을 이용한 분석에서도 ASD와 LSD_1의 내하율은 비교적 높은 상호연관성을 확보하고 있다. ASD와 LSD_2의 내하율 상관관계 함수식은 약 98%의 적합성으로 전체 단면을 모두 사용한 분석과 거의 유사한 결과를 얻었다. 따라서 2가지 범주의 분석결과에서 ASD와 LSD_2의 내하율은 모두 높은 수준의 연관성이 있음을 알 수 있다.

한편, Table 9에서 ASD와 LSD_1 및 LSD_2의 각 단면별 내하율 비(ratio)는 각각 1.140 - 1.854의 범주 및 1.254 - 2.006의 범주를 나타내어 다소 큰 차이의 비율 범주를 나타내었다. 최댓값은 단일거더 교량에서 고정하중의 영향이 큰 외측경간에서 발생하며, 최솟값은 응력 여유도가 높게 설계된 내측경간에 발생하는 것으로 분석되었다.

그러나 전체 단면을 활용한 회귀분석에서 86%, 91%의 적합성을 나타낸 단순비례식의 계수가 1.381, 1.507로 내하율 비(ratio)의 평균값인 1.435, 1.561과 유사하고, Fig. 1에서도 ASD와 LSD_1 및 LSD_2에 의한 각 교량별 평균 내하율이 이와 유사한 비율 또는 편차를 보이고 있다.

또한, 회귀분석에서 상수항이 있는 1차 함수식의 경우는 각각 약 95% 및 99%의 적합성을 확보하는 것으로 분석되었다. 따라서 비율 차이가 크게 발생하는 일부 단면이 있더라도 LSD에 기초한 2가지 내하율 평가방법은 ASD와 높은 수준의 유의한 관계를 갖고 있는 것으로 판단된다.

3.2.2 정모멘트부 비조밀단면

(1) 내하율 평가 결과

대상 교량의 정모멘트부 단면이 모두 비조밀단면인 것으로 가정하여 ASD, 개선 전 LSD_1 및 개선된 LSD_2 방법으로 내하율을 산정하고, 총 83개 단면의 평가결과를 요약하여 Table 10에 나타내었다. ASD로 평가한 내하율 평균은 3.037, LSD_1 및 LSD_2의 내하율 평균은 각각 3.268 및 3.954로 나타났다. 내하율 비(ratio)를 확인하면 LSD_1은 0.929 - 1.289의 범주이고, 평균 1.076배의 내하율 증가가 발생하고, LSD_2는 1.097 - 1.593의 범주이고, 평균 1.302배의 내하율 증가가 발생하는 것으로 분석되었다.

Table 10. Summary of RFs of (+)moment non-compact section by ASD, LSD_1, and LSD_2

Item	Rating factor (RF)			Remark
	Aver.	Min.	Max.	
ASD	3.037	1.441	9.551	-
LSD_1	Ultimate I 3.268 (0.695)	1.675	8.944	-
	Service II 4.705 (1.000)	2.510	11.915	-
LSD_2	Ultimate I 3.954 (0.834)	2.053	10.577	-
	Service II 4.740 (1.000)	2.532	12.003	-
Ratio (LSD_1/ASD)	1.076	0.929	1.289	Ultimate I
Ratio (LSD_2/ASD)	1.302	1.097	1.593	Ultimate I

Fig. 3에서는 각 평가방법에 의한 교량별 내하율이 Table 10의 평균 내하율 비 1.076, 1.302와 유사한 비율의 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.

(2) 상관관계 분석

Table 10에서 LSD_1의 경우 극한I에 의한 내하율은 사용II에 의한 내하율의 평균 69.5% 수준으로 작게 나타났다. 또한 기존 ASD 방법으로 내하율을 평가한 단면을 LSD_1 방법의 비조밀단면으로 재평가를 한다면 2가지 평가방법의 내하율 비(ratio)는 0.929 - 1.289로 나타났고, 평균 1.076 배 정도로 내하율이 유사하거나 다소 증가하였다. 그러나 경우에 따라 0.929배 정도 다소 감소하는 경우도 있다.

그러므로 설계기술의 발전에 따라 구조물의 저항강도 및 신뢰도 기반의 하중계수를 고려하는 LSD가 종래의 ASD보다 향상된 설계방법이지만, 재료의 허용응력이 설계응력에 비하여 약 2배 이상인 단면은 대부분 내하율 3 - 4 이상으로 평가되는 것을 이 연구 과정에서 확인하였고, 이러한 조건의 비조밀단면을 LSD의 극한I의 한계상태로 평가하는 경우, 단면의 저항성능을 허용응력이 아닌 재료의 항복강도로 적용하더라도 하중계수에 의한 설계응력의 증가효과가 더 크게 작용하여 LSD에 의한 내하율이 ASD에 의한 내하율보다 감소될 수 있다는 것을 확인하였다.

LSD_2의 경우, 극한I에 의한 내하율은 사용II에 의한 내하율의 평균 83.4%로 작게 나타났으므로, LSD_1에서와 같이 극한I의 한계상태가 사용II의 한계상태보다 안전측이고 보수적인 결과를 나타낸다고 볼 수 있다.

그러나 개선된 LSD_2의 평가는 하중수정계수 등의 적용으로 LSD_1의 사용II에 대한 극한I의 내하율 비(ratio) 69.5%보다는 그 비율이 증가하였고, 평균 내하율도 LSD_1의 3.268보다 증가한 3.954로 산정되었으므로 실제 구조물의 거동과 여유성을 LSD_1보다는 조금 더 반영한 평가의 결과로 판단된다.

Fig. 4의 회귀분석에서 Fig. 4(a)·Fig. 4(c)는 전체 83개 단면, Fig. 4(b)·Fig. 4(d)는 평균 내하율 이하의 47개 단면의 분석결과이다.

조밀단면과 같이 ASD와 LSD_1 및 LSD_2에 의한 내하율의 상관관계를 회귀분석에 의한 1차 및 2차 함수로 표현하였다. 전체 단면으로 분석한 경우에는 LSD_1에서는 94% 이상, LSD_2에서는 92% 이상의 높은 적합성을 나타내고 있다. 그리고 평균값 이하의 단면으로 분석한 경우에도 LSD_1에서 87%, LSD_2에서 82%의 적합성을 나타내었다. 또한, Fig. 3에서도 2가지 평가방법의 내하율이 ASD와 거의 일정한 비율의 형상으로 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다.

3.2.3 부모멘트부 단면

(1) 내하율 평가 결과

대상 교량의 부모멘트부 단면에 대하여 ASD와 개선사항 적용 여부에 따른 LSD_1 및 LSD_2 방법으로 내하율을 산

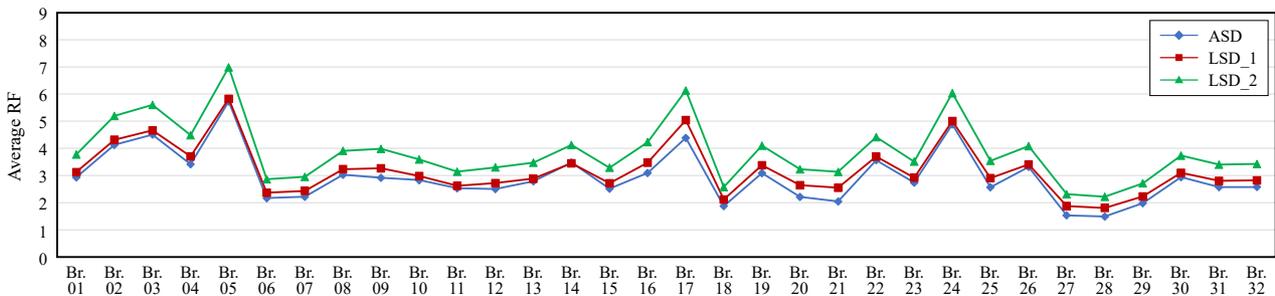


Fig. 3. Average RFs at (+)moment non-compact section by ASD, LSD_1, and LSD_2

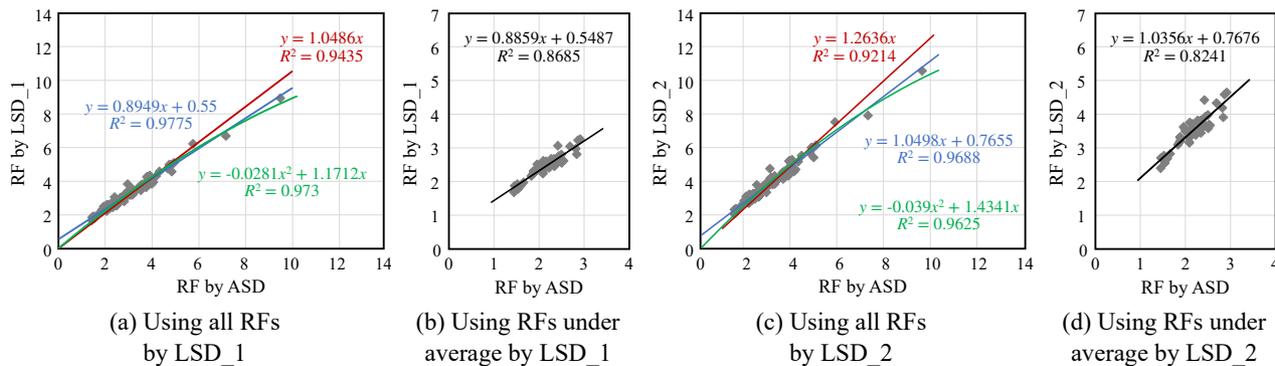


Fig. 4. Regression analysis of RFs at (+)moment non-compact section by ASD, LSD_1, and LSD_2

정하였으며, 총 71개 단면의 평가결과를 요약하여 Table 11에 나타내었다. ASD의 내하율 평균은 2.832, LSD_1 및 LSD_2의 내하율 평균은 각각 3.330 및 4.039로 나타났으며, LSD_1 및 LSD_2에서의 평균 내하율 증가는 각각 약 1.176배 및 약 1.426배로 분석되었다.

Table 11. Summary of RFs at (-)moment section by ASD, LSD_1, and LSD_2

Item	Rating factor (RF)			Remark
	Aver.	Min.	Max.	
ASD	2.832	1.227	8.095	-
LSD_1	Ultimate I 3.330 (0.666)	1.530	8.458	-
	Service II 5.002 (1.000)	2.397	12.138	-
LSD_2	Ultimate I 4.039 (0.737)	1.874	10.146	-
	Service II 5.478 (1.000)	2.675	12.948	-
Ratio (LSD_1/ASD)	1.176	0.981	1.667	Ultimate I
Ratio (LSD_2/ASD)	1.426	1.163	2.101	Ultimate I

각 단면별 내하율 비(ratio)는 LSD_1에서 0.981 - 1.667의 범주, LSD_2에서 1.163 - 2.101의 범주를 나타내어 다소 큰 오차를 나타내는 일부 단면도 있지만 각 교량별 평균 내하율은 Fig. 5에서 나타나는 경향과 같이 거의 일정한 비율의 상관관계를 나타내고 있다.

(2) 상관관계 분석

Table 11에서 LSD_1의 경우 극한I에 의한 내하율은 사용II에 의한 내하율의 평균 66.6 % 수준으로 작게 나타났다. 또한 기존의 ASD 방법으로 내하율을 평가한 단면을 LSD_1 방법의 부모멘트부 단면으로 재평가를 한다면 2가지 평가방법의 내하율 비(ratio)는 0.981 - 1.667로 나타났다.

그리고 평균 1.176배 정도로 내하율이 증가할 수 있지만, 경우에 따라서는 0.981배 정도 다소 감소하는 경우도 있다는 것을 확인하였다. 이로부터 이 연구에서 검토한 32개 교량의 총 71개 부모멘트 단면에 대한 2가지 방법의 내하율 비는 정모멘트부 비조밀단면의 분석과 유사한 경향을 나타내는 것을 확인하였다.

LSD_2의 경우, 극한I에 의한 내하율은 사용II에 의한 내하율의 평균 73.7 % 수준으로 작게 나타났으며, LSD_1에서와 같이 극한I이 사용II보다 안전측이고 보수적인 결과를 나타내었다. 그러나 LSD_2는 여유성, 하중수정계수 등으로 LSD_1의 66.6 %보다는 사용II에 대한 극한I의 내하율 비율이 증가하는 것에 의해 실제 구조물의 거동과 내하율에 근접한 것으로 판단된다. 다만, 파괴여부를 검토하는 극한I에서는 단면의 응력 산정시 인장을 받는 바닥판을 고려할 수 없기에 하중수정계수를 적용하더라도 비조밀단면과 같이 사용II에 대한 극한I의 내하율 비율은 80 % 이상을 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

동일 단면에서 ASD와 LSD_1 및 LSD_2의 상관관계를 확인하기 위해 전체 71개 단면의 내하력 평가결과를 비교하여 분석하고, ASD의 평균 내하율 2.832 이하로 나타난 25개 교량, 43개 단면으로도 비교하여 회귀분석을 실시하였다.

Fig. 6(a)-Fig. 6(c)는 전체 71개 단면의 분석결과, Fig. 6(b)·Fig. 6(d)는 평균 내하율 이하의 43개 단면의 분석결과이다.

정모멘트부 단면과 같이 ASD, LSD_1 및 LSD_2에 의한 내하율의 상관관계를 회귀분석에 의한 1차 및 2차 함수로 나타내었다. 전체 단면으로 분석한 경우에는 LSD_1 및 LSD_2에서 각각 93 % 이상 및 91 % 이상의 적합성을 나타내고 있으며, 평균값 이하의 단면으로 분석한 경우에는 LSD_1 및 LSD_2에서 85 % 이상의 적합성을 나타내었다. 또한, Fig. 5에서도 LSD에 기초한 2가지 방법의 내하율은 ASD에 대한 평균 내하율 비와 유사한 거의 일정한 비율의 형상이므로 높은 수준의 상관관계가 있음을 알 수 있다.

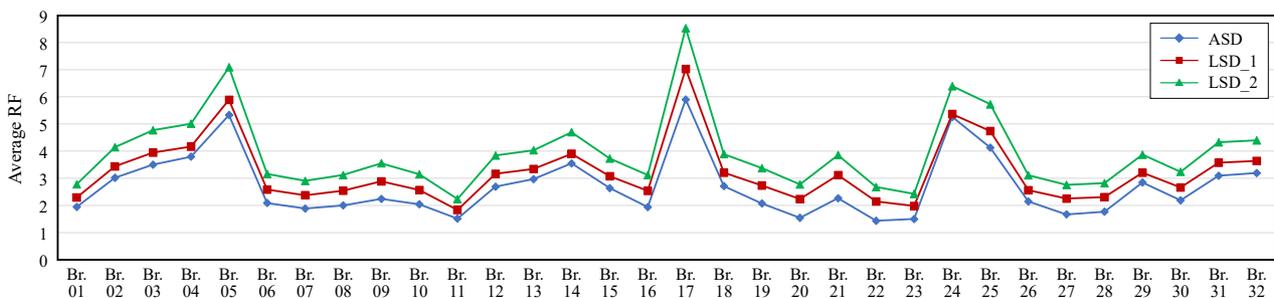


Fig. 5. Average RFs of (-)moment section by ASD, LSD_1, and LSD_2

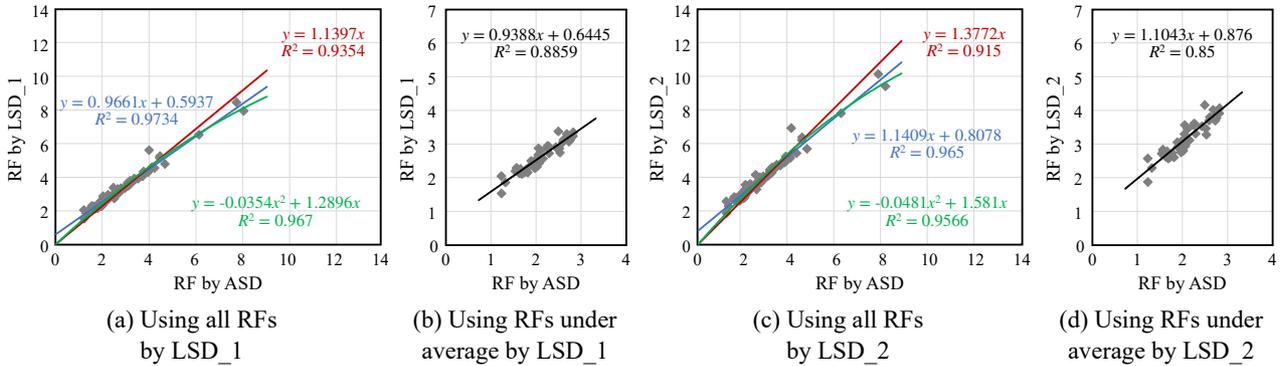


Fig. 6. Regression analysis of RFs at (-)moment section by ASD, LSD_1, and LSD_2

4. 결론

한계상태설계법(LSD)에 기초한 내하력 평가 및 개선방법과 기존 ASD에 의한 내하율과의 상관관계에 대하여 연구한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 정밀안전진단 및 성능평가를 위해 제정된 세부지침^[7]에는 LSD에 근거한 내하율 평가방법이 제시되어 있지 않으므로 AASHTO LRFR 및 국내 참고문헌을 참조하여 LSD에 기초한 내하율 평가식을 제안하였다.
- (2) 선행연구(Noh *et al.*^[2])의 재하시험 결과에서 확인된 개선사항의 적용을 위하여 LSD에 의한 내하율 산정 과정에서 하중수정계수를 적용함으로써 실무 기술자들이 수용할 수 있는 객관적이고 합리적인 개선사항의 적용방법을 제시하였다.
- (3) 공용중인 32개의 샘플 교량을 수집하여 ASD에 의한 내하율을 평가하고, 먼저 LSD의 설계기준에 근거한 개선 전 LSD_1의 방법으로 내하율을 산정하여 설계 방법 변화에 따른 내하율 변화를 확인하였다. 그리고 LSD_1의 방법에 개선사항을 적용한 LSD_2의 경우에 대해서도 내하율을 산정하여 3가지 방법의 내하율 변화와 상관관계를 분석하였다.
- (4) LSD는 종래의 ASD보다 향상된 설계방법이며, 한계상태를 평가하는 방법이므로 ASD에 의한 내하율에 비해 LSD_1은 단면 종류에 따라 8% - 44%, LSD_2는 30% - 56% 정도 내하율이 높게 평가된다. 다만, 재료의 항복강도로 저항강도를 산정하는 정모멘트부 비조밀단면 및 부모멘트부 단면에서 응력의 여유도가 높은 단면은 하중계수의 영향으로 ASD보다 약 7% 작은 내하율이 산정되는 경우도 있다.

- (5) 개선사항을 고려한 LSD_2는 하중수정계수를 이용하여 실제 구조물의 연성도 및 여유성을 간접 고려함으로써 LSD_1보다 정모멘트부 조밀단면은 약 9%, 정모멘트부 비조밀단면 및 부모멘트부 단면은 약 21% 이상 높은 내하율이 산정되었다. 여기서, 정모멘트부 조밀단면의 경우에는 개선사항의 고려여부가 극한한계상태I의 비탄성 거동에서 단면의 항복 및 소성모멘트에 의한 저항강도의 안전성을 증가시켜 지배한계상태가 극한한계상태I에서 사용한계상태II로 변경될 수 있음을 확인하였다.
- (6) ASD, LSD_1 및 LSD_2에 의한 내하율을 평가하고 종합적으로 분석한 결과, 상호간의 높은 연관성을 나타내었으므로 이 연구의 결과는 ASD로 평가한 내하율을 LSD에 의한 내하율로 환산할 수 있는 방법을 구축하는데 도움이 될 것으로 예상된다.
- (7) 이 연구에서 활용한 교량은 상태등급 B등급 이상의 양호한 교량이므로 구조적 결함을 내포하거나 내하율 1.0을 만족하지 못하는 경우에는 LSD_2의 개선사항 적용효과는 제한적일 수 있다. 이러한 경우에는 이 연구의 내하율 산정식을 적용하더라도 재하시험을 통한 실제 교량의 거동에 근접한 구조해석 모델을 구현하고 내하율 산정단계에서도 별도의 보정계수나 하중수정계수의 조정 등이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌(References)

- [1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012) *Highway Bridge Design Standard (Limit State Design)*, Korea (in Korean).
- [2] Noh, D.O., Kyung, K.S., and You, K.J. (2020) Improve-

- ment for Evaluation of Load Carrying Capacity 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).
- [3] American Association of State Highway and Transportation Officials (2003) *Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges*, USA.
- [4] Ahn, S.S. et al. (2013) *Development of Reliability-Based Safety Assessment Guideline of Expressway Bridges*, EXTRI-2013-67-534.9607, Korean Express Corporation Research Institute (Expressway & Transportation Research Institute), Korea, pp.5-14 (in Korean).
- [5] American Association of State Highway and Transportation Officials (2008) *The Manual for Bridge Evaluation* (1st Ed.), AASHTO, USA.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016) *Design Code of Steel Structures*, Korea (in Korean).
- [7] 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).
- [8] Lim, M.J. (2010) *Safety Evaluation of Existing Bridges by Limited State Design Method*, Master's Thesis, Gachon University, Korea, pp.43-53 (in Korean).
- [9] Han, S.C., and Yang, S.I. (2001) A Study on the Comparison of Load-Carrying Capacity by the Rating Methods of Bridges, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.13, No.5, pp.477-492 (in Korean).
- [10] Cho, E.-Y., and Shin, D.-K. (2009) Design Comparison of Composite Girder Bridges Design by ASD and LRFD Methods, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 29, No.5A, pp.447-456 (in Korean).
- [11] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019) *General Details of Bridge Design (Limit State Design)* (KDS 24 10 11: 2019), Korea (in Korean).
- [12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017) *Design Standard of Steel Structural Members* (KDS 14 31 10: 2018), Korea (in Korean).

요 약 : 이 연구에서는 현행 도로교설계기준에 따라 LSD에 기초한 내하력 평가방법을 제안하였고, 이 방법은 재하시험 결과에서 검증된 개선사항을 반영할 수 있도록 하였다. 또한, 현재 공용중인 32개 교량의 내하력 평가 자료를 수집하여 기존의 ASD에 의한 내하율, LSD에 의한 내하율 및 개선사항을 반영한 LSD의 내하율을 비교하여 상관관계를 분석하였고, 3가지 방법의 결과는 높은 상호 연관성이 확인되었다. 이러한 연관성은 기존의 ASD에 의한 내하율을 LSD에 의한 내하율로 환산하는 방법을 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

핵심용어 : 강박스거더, 한계상태설계법, 개선 내하율, 내하력
