

LB-DECK 플레이트 합성 거더교의 최적설계

Optimum Design of LB-DECK Plate Girder Bridge

김기욱*

박문호**

Kim, Ki-Wook

Park, Moon-Ho

Abstract

This study is concerned with the optimum design of LB-Deck plate girder bridge. The optimizing problems of the composite bridge are formulated with objective functions and constraints. The objective functions are formulated as the total cost of the concrete deck and steel girder construction and the constraints are derived by criteria with respect to the Korean Highway bridge design. The optimizing algorithm using SUMT for optimum design of the Simple span, 2-Span, 3-span LB-deck plate and general RC-steel composite girder bridges (L=60m) which act live load(DB24). And their optimum numerical results are compares and analyzed to examine the possibility of optimization, the application and convergency of this optimizing algorithm.

요 지

본 연구는 LB-Deck 플레이트 합성 거더교의 최적설계에 관한 것이다. LB-Deck 플레이트 합성교의 최적화에 대한 문제는 목적함수와 제약조건식으로 이루어지고, 목적함수로는 LB-Deck 플레이트 System이 포함된 콘크리트 바닥판과 강재 거더 비용의 합으로 전체비용함수를 구성하였으며, 제약조건식은 도로교 시방 규정을 기준으로 유도하였다. 최적설계에 관한 최적화 알고리즘은 SUMT기법을 사용하였으며, 지간장이 60m로 모두 같은 1경간, 2경간 및 3경간 LB-Deck 플레이트 합성 거더교와 일반적인 철근콘크리트 강재 합성교에 대하여 1등교로 최적설계하고, 이를 수치적으로 상호 비교하였다. 이렇게 함으로써 구조해석과 단면설계 및 최적설계를 동시에 수행하고, LB-Deck 플레이트의 거푸집 역할에 의한 시공성과 프리캐스트 부재에 의한 안정성 및 최적설계에 의한 경제성을 모두 확보할 수 있도록 하였다.

Keywords : LB-Deck plate girder bridge, SUMT, Objective functions, Optimum design

핵심 용어 : LB-Deck 플레이트 거더교, 축차 무제약 최소화 기법, 목적함수, 최적설계

* 정희원, Post-doc, 경북대학교 BK사업단, 공학박사

** 정희원, 경북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

E-mail : ce5@korea.com 010-7979-8255

•본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다

1. 서론

LB-Deck 플레이트를 이용한 합성형교란 강재로 된 거더 주형과 슬래브 바닥판인 LB-Deck 플레이트가 일체로 거동하도록 강재 플랜지와 LB-Deck 플레이트를 합성시킨 거더를 말한다.

LB-Deck 플레이트가 거푸집의 역할을 하므로 시공성이 뛰어나고, 응력이나 처짐 특성이 타합성거더나 비합성거더에 비해 현저하게 개선되므로, 거더 높이를 낮게 할 수 있고 상부플랜지도 작게 되므로 경제적인 설계가 가능하다. 국내의 최적설계에 관한 연구⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾는 지속되고 있으나, 이러한 장점을 바탕으로 현재 시공실적이 증가하고 있는 LB-Deck 플레이트 거더교의 최적설계에 관한 연구는 국내·외적으로 거의 전무한 실정이다.

그러므로 본 연구는 LB-Deck 플레이트 거더교의 최적설계에 대하여 다루고, 구조해석과 단면설계 및 최적설계가 동시에 수행되도록 프로그래밍하였다.

일반적으로 최적화에 대한 문제는 목적함수와 제약조건식으로 이루어지고, 사용된 목적함수로는 콘크리트 바닥판과 강재 거더 비용의 합으로 전체비용함수를 구성하였으며, 제약조건식은 도로교 시방 규정⁽¹⁾⁽²⁾을 준수하여 유도하였다.

최적설계에 관한 최적화 알고리즘은 SUMT기법⁽¹⁾을 사용하였으며, 지간장이 60m로 모두 같은 1경간, 2경간 및 3경간 LB-Deck 플레이트 합성 거더교와 일반적인 철근콘크리트 강재 합성교에 대하여 1등교로 최적설계하고, 이를 수치적으로 상호 비교하였다. 이렇게 함으로써 구조해석과 단면설계 및 최적설계를 동시에 수행하고, LB-Deck 플레이트의 거푸집 역할에 의한 시공성과 안정성 및 최적설계에 의한 경제성을 모두 확보할 수 있도록 하였다.

2. 설계변수 및 구조해석

2.1 LB-Deck의 역할 및 설계변수

LB-Deck는 Fig. 1에서와 같이 Lattice Bar가 부착된 프리캐스트(Precast) Panel로서 현장치기 콘크

리트와 일체화되어 완전합성작용에 의해 외력에 저항하는 거푸집 겸용 프리캐스트 바닥판이다. 제반 두께에 따른 저항 부족을 해결하기 위해 Lattice Bar를 상면에 설치하여 가설 하중에 대한 압축 저항력을 증가시킨다.

제작방법은 폭 1.2m, 두께 6cm의 고강도(40 MPa) 프리캐스트 Panel에 미리 삼각형 형태의 Lattice Bar와 인장 주철근의 일부를 배치하고 공장에서 제작한 후, 현장으로 운반하여 대차를 이용하여 거더와 거더 사이에 설치한 다음 나머지 필요한 인장 주철근과 배력 철근을 배근한 후 콘크리트를 타설하여 합성바닥판을 완성하게 된다.

본 연구에서 LB-DECK 플레이트와 콘크리트 바닥판 및 강재거더와의 합성 전후의 성능평가, 국부 응력, 진동 및 균열에 의한 실험적인 검토는 배제하였으며, 제약조건식으로 이를 고려하고, 최적설계를 수행하였다.

Fig. 2는 LB-Deck System의 종단면과 횡단면 도이고, Fig. 3은 콘크리트 바닥판에 대한 설계변수이며, Fig. 4는 강재주형에 대한 단면 및 설계 변수이다.

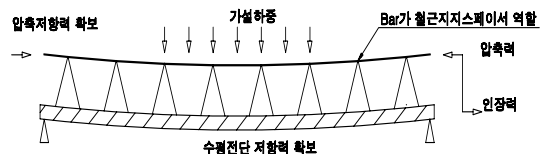
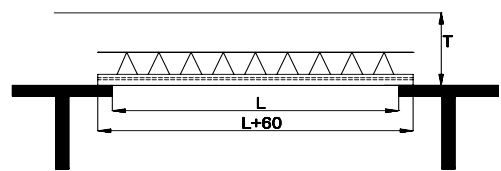
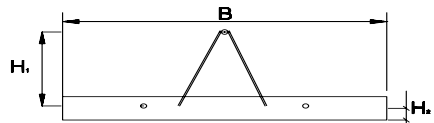


Fig. 1 LB-Deck의 역할



(a) LB-Deck System의 종단면



(b) LB-Deck System의 횡단면

Fig. 2 LB-Deck System의 설계변수(단위:cm)

여기서,

L : 인접 상연 플랜지까지 거리

$L+60$: LB-Deck System 길이

T : 콘크리트면부터 LB-Deck System 하면까지 거리

H_1 : LB bar에서부터 System 내부 인장재까지 거리

H_2 : System 내부 인장재부터 System 하면까지 거리

B : LB-Deck System의 폭

Fig. 3에서 콘크리트 바닥판의 설계변수는 변단면 각 절점별 높이와 LB-Deck System의 설계변수 (Fig. 3참조), 콘크리트 바닥판의 높이를 설계변수로 선정하였고, Fig. 4에서 강재 주형의 설계변수는 각각의 변단면에 대해 상·하부 플랜지 두께와 폭, 복부의 두께와 높이로 선정하였다.

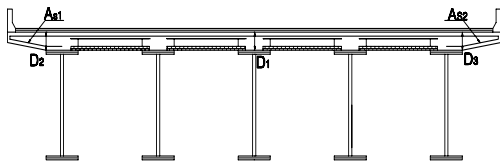


Fig. 3 콘크리트 바닥판의 단면 및 설계변수

여기서,

D_1, D_2, D_3 : 바닥판 중앙부·좌측·우측 두께

A_{S1}, A_{S2} : 바닥판 좌측, 우측 철근량

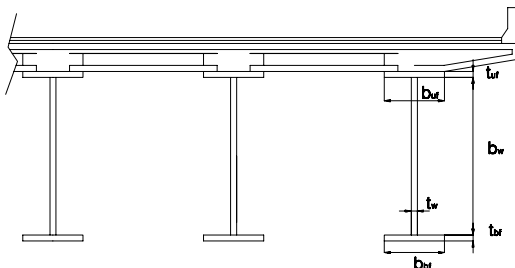


Fig. 4 강재 주형의 단면 및 설계 변수

여기서,

b_{uf}, b_{bf} : 상부와 하부 플랜지의 폭

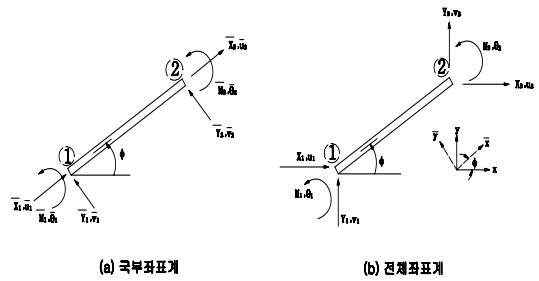
t_{uf}, t_{bf} : 상부와 하부 플랜지의 두께

h_w, t_w : 복부판의 높이와 두께

2.2 구조해석

구조해석은 일반적인 플레이트 거더교에 많이 이용하는 격자해석을 이용하고, 직접강성법에 의한 유한요소해석법⁽⁷⁾을 사용하였다.

각 절점에서 축방향 요소와 휨 요소, 그리고 비틀림 요소를 고려하여 Fig. 5와 같이 6자유도(DOF)로 구성하여 각 요소별 국부좌표계에 의한 강성행렬을 구하였다. 이를 Fig. 5에서와 같이 전체 좌표계로 변환한 후 조합하여 전체 강성행렬을 형성하였으며, 적용한 구조해석 프로그램의 흐름도는 Fig. 6과 같다.



(a) 국부좌표계 (b) 전체좌표계
Fig. 5 평면상에서의 요소 변환

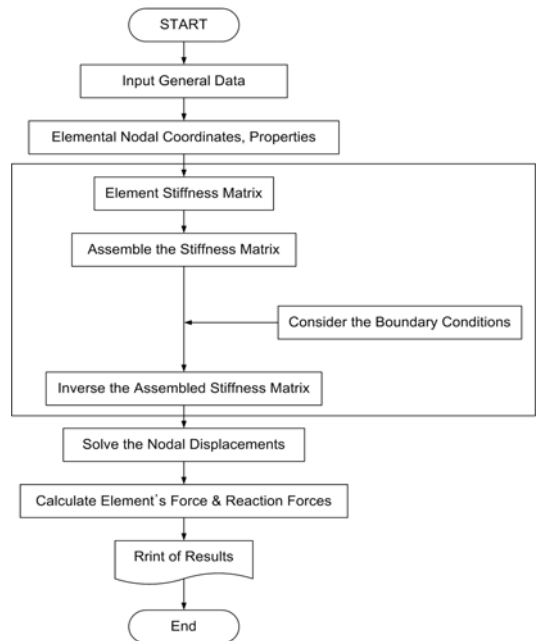


Fig. 6 구조해석 프로그램 흐름도

응력계산은 자중과 상부콘크리트, LB-Deck 플레이트 및 가설재 중량의 외력을 강제 주형만으로 저항하는 비합성 거동인 1단계와 상부 콘크리트 경화후의 자중(포장, 난간 등)과 활하중 및 크리프, 건조수축, 온도차 등의 2차응력등을 포함한 합성으로 인한 부정정력을 합성정보로 저항하는 2단계로 각각 구분하여 계산하였다.

3 최적설계

Fig. 7은 구조해석과 단면설계 및 최적설계를 반복 수행하여 최적값을 찾아가는 전체 최적설계 알고리즘으로, 이 중에서 최적설계부분에 적용한 최적화 기법으로 축차 무제약 최소화기법(SUMT)을 사용하였다.

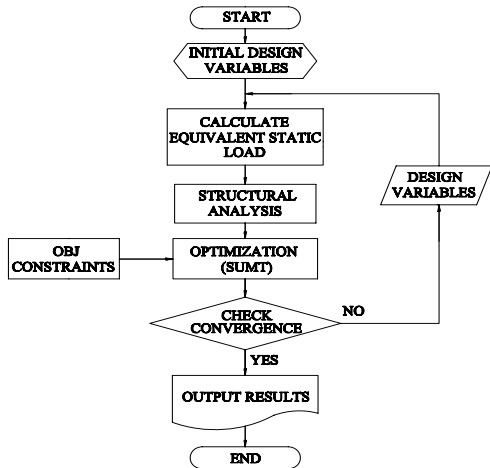


Fig. 7 전체 최적설계 알고리즘

3.1 목적 함수

3.1.1 콘크리트 바닥판의 목적함수

Fig. 2 및 Fig. 3과 같은 바닥판의 목적함수는 식(1)과 같이 정식화되며, LB-Deck System, 바닥판의 철근과 콘크리트 부분으로 나누어서 목적함수를 형성하였다.

$$Obj_{cost} = C_{LB} \cdot N_{LB} + C_c \cdot A_c \cdot L_c + C_s \cdot A_s \cdot L_s \quad (1)$$

여기서,

- C_{LB} : LB-Deck 1개당 비용
- N_{LB} : 사용된 LB-Deck System의 개수
- C_c : 콘크리트 단위체적당 비용
- A_c, A_s : 콘크리트 면적과 철근 단면적
- C_s : 철근 단위체적당 비용
- L_c, L_s : 경간과 철근의 길이

3.1.2 강제 주형의 목적함수

Fig. 4와 같은 강제주형의 목적함수는 식(2)와 같이 정식화 된다.

$$Obj = \sum C_g \cdot A_g \cdot L_g \cdot r_g \quad (2)$$

여기서,

- C_g : 거더 사용강재의 재료경비
- A_g : 거더의 단면적
- L_g : 경간의 길이
- r_g : 거더 사용강재의 단위체적중량

3.2 제약조건식

3.2.1 바닥판의 제약조건식

(1) 바닥판의 두께에 대한 제약조건식
바닥판의 두께에 대한 기하학적 구조형상의 제약조건은 식(3) 및 식(4)와 같다.

$$G(1) = 22 - t_s \leq 0 \quad (3)$$

$$G(2) = t_s - 33 \leq 0 \quad (4)$$

여기서, t_s : 바닥판의 두께

(2) 바닥판 철근비의 제약조건식

바닥판 콘크리트의 최대철근비와 최소철근비의 제약조건식은 식(5) 및 식(6)과 같다.

$$G(3) = \frac{A_s}{bd} - \rho_{max} \leq 0 \quad (5)$$

$$G(4) = \frac{14}{f_y} - \frac{A_s}{bd} \leq 0 \quad (6)$$

여기서, $\rho_{\max} = 0.75\rho_b$

$$\rho_b = 0.85k_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{600}{f_y + 600}$$

(3) 바닥판 휨모멘트의 강도 제약조건식

바닥판 휨모멘트의 강도 제약조건식은 식(7)과 같다.

$$G(5) = M_u - \phi M_n \leq 0 \quad (7)$$

여기서, $M_n = A_s f_y (d - \frac{a}{2})$ 이다.

3.2.2 강재주형의 제약조건

(1) 부재의 사용성 제약조건식

강재주형의 최대 처짐에 대한 제약조건식은 식 (8)과 같다.

$$G(6) = \delta_{\max} - \delta_a < 0 \quad (8)$$

여기서, δ_{\max} : 최대처짐값

(2) 단면 형상에 대한 제약조건식

강재 주형을 구성하고 있는 플랜지와 복부판의 두께에 대한 제약조건은 식(9)부터 식(12)와 같다.

$$G(7) = t_f - 3.2 < 0 \quad (9)$$

$$G(8) = 0.8 - t_f < 0 \quad (10)$$

$$G(9) = t_w - 2.5 < 0 \quad (11)$$

$$G(10) = 0.8 - t_w < 0 \quad (12)$$

여기서, 플랜지와 복부판에 사용되어진 용접구조용 압연강재는 SM490을 사용하였다.

(3) 합성응력에 관한 제약조건식

비틀림 모멘트를 고려하는 합성응력의 제약조건은 식(13)부터 식(15)와 같다.

$$G(11) = f - f_a < 0 \quad (13)$$

$$G(12) = v - v_a < 0 \quad (14)$$

$$G(13) = \left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 - 1.2 < 0 \quad (15)$$

여기서,

f, f_a : 휨모멘트에 의한 휨응력과 허용휨응력

v, v_a : 휨모멘트에 의한 전단응력과 허용전단응력

(4) 항복 안전도 검사에 대한 제약조건식

항복 안전도 검사에 대한 제약조건은 식 (16) 및 식 (17)과 같다

$$G(14) = f_{sfu} - f_y < 0 \quad (16)$$

$$G(15) = f_{sfl} - f_y < 0 \quad (17)$$

여기서, f_{sfu}, f_{sfl} : 플랜지 상부와 하부에서의 응력

f_y : 사용된 강재의 항복점 응력

(5) 복부판의 최소두께에 대한 제약조건식

복부판의 최소두께에 대한 제약조건은 수평보강재가 없을 때 식(18)과 같이, 수평보강재를 1단 사용할 때는 식(19)와 같이, 수평보강재를 2단 사용할 때는 식 (20)과 같이 각각 정식화된다.

$$G(16) = \frac{b}{130} - t_w < 0 \quad (18)$$

$$G(17) = \frac{b}{220} - t_w < 0 \quad (19)$$

$$G(18) = \frac{b}{310} - t_w < 0 \quad (20)$$

(6) 치수제약조건식

상부플랜지의 폭, 두께, 하부플랜지의 폭, 두께의 제약 조건은 식(21)부터 식(24)와 같다.

$$G(19) = b_{ful} - b_{fu} \leq 0 \quad (21)$$

$$G(20) = t_{ful} - t_{fu} \leq 0 \quad (22)$$

$$G(21) = b_{fl} - b_{fu} \leq 0 \quad (23)$$

$$G(22) = t_{fl} - t_{fu} \leq 0 \quad (24)$$

여기서,

b_{ful}, b_{fl} : 상부와 하부플랜지의 폭

t_{ful}, t_{fl} : 상부와 하부플랜지의 두께

(7) 중간 수직보강재의 강도에 대한 제약조건식

중간 수직보강재의 강도에 대한 제약조건은 식 (25) 및 식(26)과 같이 정식화된다.

$$G(23) = \frac{bt_w^3}{10.92} r_{sv} - I_{sv} < 0 \quad (25)$$

$$G(24) = \frac{bt_w^3}{10n} - A_{sv} < 0 \quad (26)$$

여기서,

r_{sv} : 종방향 보강재의 소요강비

I_{sv} : 종방향 보강재 한 개의 단면 2차모멘트
 n : 종방향 보강재에 의해 나누어지는 패널의 수
 A_{sv} : 종방향 보강재 한 개의 단면적

4. 적용예제 및 결과고찰

4.1 대상 구조물의 적용예제

본 연구에서 최적설계 프로그램을 사용하여 교장 60m로 모두 같은 1경간, 2경간 및 3경간 LB-Deck 플레이트 합성 거더교와 1경간 철근콘크리트 강재 합성 거더교에 대하여 1등급으로 최적설계하고, 설계변수의 수렴성을 이용하여 이를 수치적으로 상호 비교하였으며, 목적함수의 편차를 2% 이내로 두고, 공통으로 교폭 12.6m, 5주형 합성거더교로 하였다.

Table 1은 설계에 사용된 2006년 8월 현재의 재료경비를 나타낸 것이다.

I형 단면 부재는 이른바 개단면 부재로서 비틀림 저항이 적어 주형설계시 비틀림 문제를 고려하여야 한다. 설계의 정확성과 효과적인 경제성을 기하고, 특히 상·하 플랜지와 복부판에 발생하기 쉬운 비틀림 문제를 고려하여 3차원 구조해석과 최적설계를 수행하였다. 본 연구에서 수행한 예제교량은 LB-Deck 플레이트 바닥판과 강재 주형이 완전 일체화되어진 합성형 직선교량으로서 상부플랜지는 바닥판 하부에 의해 완전 결합되어 비틀림 영향이 적도록 하였다.

그리고 방호벽은 구조해석에서는 작용하중으로 포함하였으나, 최적설계에는 포함하지 않았다.

Table 1 설계에 사용된 재료경비(2006년 8월 현재)

품 목	규 격/실중량(Kg)	단가
하이바철근	H19 / 1008	466(원/1kg)
	H13 / 472	466(원/1kg)
레미콘	27-15-25	0.5489(원/cm ³)
H형강(교량용)	SM490A	1,400(원/1kg)
LB-Deck (1200x600)	L=2.22m 미만	45,700(원/EA)
	L=2.22~2.7m	53,700(원/EA)
	L=2.72~3.32m	59,500(원/EA)

4.2 최적설계 결과고찰

Fig. 8에서부터 Fig. 15는 1경간, 2경간 및 3경간 LB-Deck 플레이트 거더교와 일반적인 1경간 철근콘크리트 강재 합성 거더교의 최적설계 결과를 각 설계변수별로 그래프로 나타낸 것이다. 최적설계를 수행한 결과 모든 설계 예들이 모두 설계 가능 영역 안에서 안정되게 안전율을 확보하면서 빠른 수렴성을 갖고 최적경비를 찾아내었다.

Fig. 8에서부터 Fig. 15에서와 같이 가로축인 반복회수가 증가함에 따라 설계변수인 LB-Deck 플레이트 길이와 복부판의 높이는 증가하면서 최적비용을 감소시키는 역할을 하고, 나머지 설계변수인 복부판 두께, 상부 및 하부플랜지 폭, 철근량, 바닥판 두께 등은 최적값이 줄어들면서 전체 최적비용을 감소시키는 역할을 하는 것으로 나타났다. Fig. 12에 나타난 바와 같이 일반적인 철근콘크리트 강재 합성 거더교에 비하여 LB-Deck 플레이트 합성 거더교의 콘크리트량이 상당히 줄어 있음을 알 수 있다.

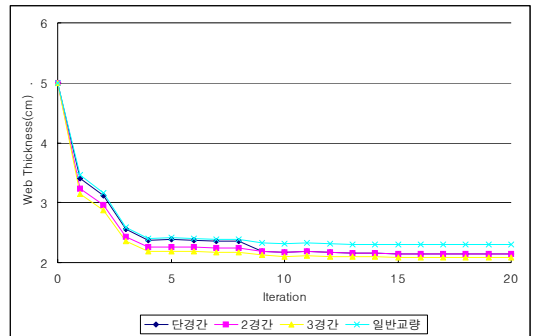


Fig. 8 각 교량의 복부판의 두께

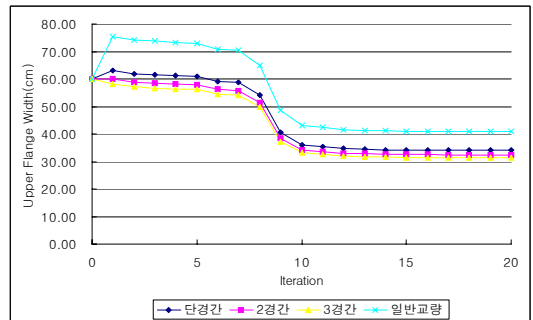


Fig. 9 각 교량의 상부플랜지의 폭

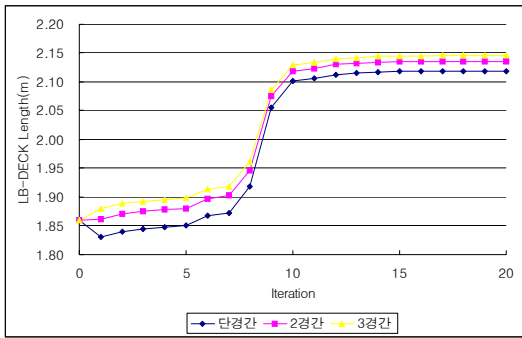


Fig. 10 각 교량의 LB-DECK 길이

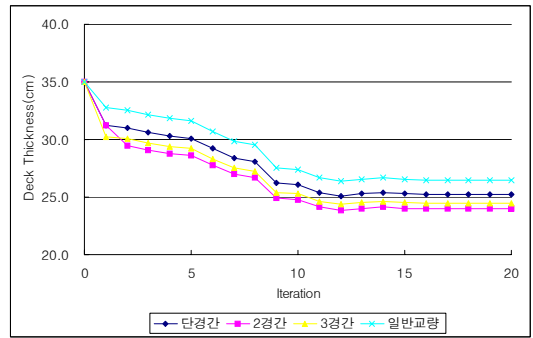


Fig. 13 각 교량의 바닥판의 두께

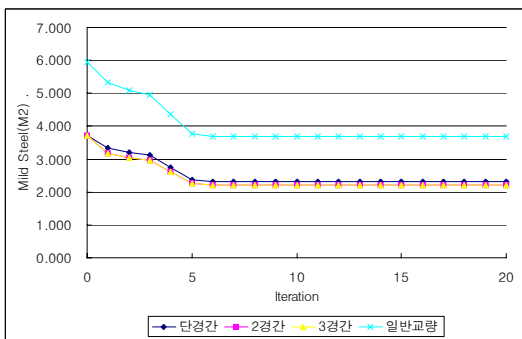


Fig. 11 각 교량의 철근량

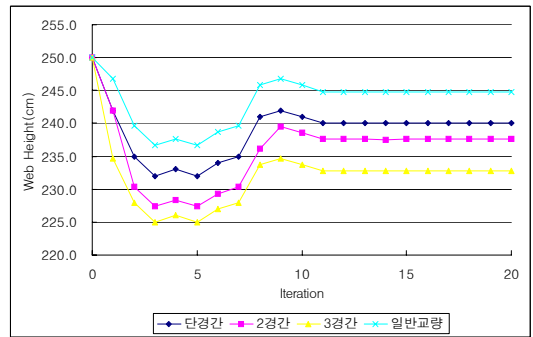


Fig. 14 각 교량의 복부판의 높이

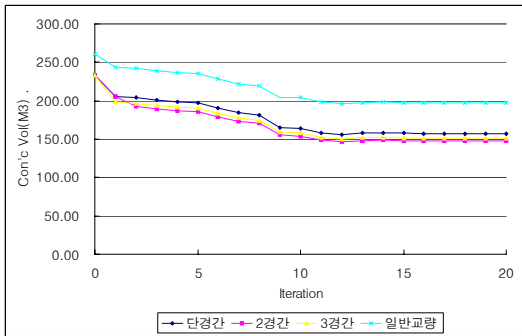


Fig. 12 각 교량의 콘크리트량

이는 Fig. 13에서 나타난 바닥판의 두께와 직접적인 연관이 있다고 할 수 있다.

또한 Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 11~Fig. 14에 나타난 바와 같이 LB-Deck 플레이트교량이 일반 철근콘크리트 강재 합성교에 비해 복부판의 두께, 강재의 상부플랜지 폭, 콘크리트량, 철근량, 바닥판의 두께 등이 모두 적게 나타나므로 자중 감소 효과를 확인할 수 있다.

그러므로, 교량설계에서 바닥판은 고정하중에 의한

영향을 많이 받는데 LB-Deck 플레이트라는 기성제품을 사용하면, 상기 기술한 바와 같이 고정하중을 줄여서 강재자중의 감소를 요할 수 있으므로 요즈음 추세인 거더의 수를 줄이고 거더 간격을 넓게 할 수 있는 장점을 더욱 발전시킬 수 있다.

슬래브 두께가 얇아짐에 따라 단면의 거더높이 감소와 더불어 단면형상의 변화가 최적단면의 결정에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, Fig. 13에 나타난 바와 같이 LB-Deck 플레이트 바닥판 두께의 감소에 따른 최적비용의 증가율은 두께 28cm 이하부터 현저히 감소하였고, 1경간, 2경간 및 3경간의 바닥판 두께가 24~25cm에서 최적비용이 나타났으므로 이를 교장 60m인 LB-Deck 플레이트 바닥판의 최소두께규정으로 보아도 타당할 것이라 판단된다.

Fig. 15에서 목적함수인 전체비용의 수렴값을 기준으로 일반적인 강재 합성 거더교와 1경간 LB-Deck 플레이트 합성 거더교의 전체비용이 거의 차이가 나지 않았다. 하지만 프리캐스트에 의한 시공성, LB-Deck의 거푸집 역할에 의한 안전성, 시공 마무리면의 수려

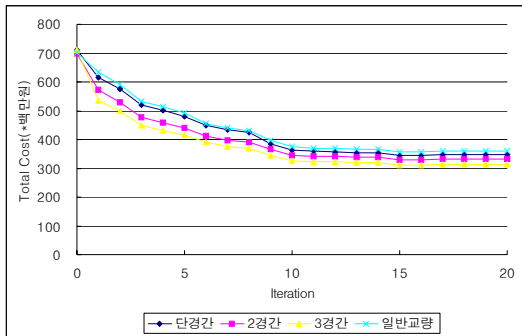


Fig. 15 각 교량의 전체비용

함 및 빠른 공기가 요구될 때는 LB-Deck 플레이트로 시공하면 훨씬 유리하다고 판단되고, 대량생산으로 표 4.1의 LB-Deck 플레이트 단가를 낮추게 된다면 경제적인 면에서도 더 많은 효과가 발생할 것이다.

Fig. 8에서부터 Fig. 15에 나타난 바와 같이 지간장 60m, 5주형으로 모두 같은 LB-Deck 플레이트 거더교와 일반적인 강재 합성 거더교에 대하여 최적 바닥판 두께, 최적 LB-Deck 플레이트 길이, 최적 플랜지 폭과 두께, 최적비용 등을 찾을 수 있었다.

하지만 실제구조물의 시공시에는 현장여건, 공기 및 인건비등의 여러 증감요인이 재료경비의 목적함수에 많은 영향을 끼칠 수 있으므로 최적설계에 대한 실제 설계자의 판단이 무엇보다도 중요하다.

5. 결론

본 연구에서는 LB-Deck 플레이트 합성 거더교의 최적설계를 실시한 결과를 중심으로 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) LB-Deck 플레이트 합성 거더교의 구조해석과 단면 설계 및 최적설계를 동시에 수행하는 프로그램을 개발하고, LB-Deck 플레이트의 거푸집 역할에 의한 시공성과 프리캐스트 부재에 의한 안정성 및 최적설계에 의한 경제성을 모두 확보할 수 있도록 하였다.
- 2) 교폭 12.5m, 교장 60m로 모두 같고 5주형으로 된 1경간, 2경간 및 3경간 LB-Deck 플레이트 거더교와 일반적인 강재 합성 거더교에 대하여 최적 바닥판 두께, 최적 LB-Deck 플레이트 길이, 최적 플랜지 폭과 두께, 최적비용 등을 찾을 수 있었다.
- 3) 목적함수 및 여러 설계변수들의 수렴성을 확인할

수 있었다. Iteration이 증가함에 따라 LB-Deck 플레이트 길이와 복부판의 높이는 증가하면서 최적비용을 감소시키는 역할을 하였고, 나머지 설계 변수인 복부판 두께, 상부 및 하부플랜지 폭, 철근량, 바닥판 두께등은 최적값이 줄어들면서 전체 최적비용을 감소시키는 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 LB-Deck 플레이트 거더교의 장점인 자중 감소 효과의 원인을 확인할 수 있었다.

- 4) LB-Deck 플레이트 바닥판 두께의 감소에 따른 최적비용의 증가율은 두께 28cm이하부터 현저히 감소하였고, 1경간, 2경간 및 3경간의 바닥판 두께가 24~25cm에서 최적비용이 나타났으므로, 이를 교폭 12.6m, 교장 60m인 LB-Deck 플레이트 바닥판의 최소두께규정으로 보아도 타당할 것이라 판단된다.
- 5) 목적함수인 전체비용의 수렴값을 기준으로 1경간 철근콘크리트 강재 합성 거더교와 1경간 LB-Deck 플레이트 합성 거더교와 비교할 때 전체비용 측면에서는 거의 차이가 나지 않았다. 하지만 시공성, 안전성, 자중감소, 공기단축 측면에서 유리한 장점이 많고, 향후 꾸준한 기술개발과 대량생산으로 LB-Deck 단가를 낮추게 된다면 경제적인 면에서도 더 많은 효과가 발생할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 두뇌한국21(BK21)사업에 의하여 일부 지원되었음.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로교 표준 시방서”, 한국도로교통협회, 2005. 2, p. 332.
2. 건설교통부, “도로설계편람(Ⅲ)”, 한국건설기술연구원, 2001. 3, p. 968.
3. 김기욱, “FCM 공법 PSC 박스거더교의 최적설계”, 경북대학교 공학박사 학위논문, 2002. 2, p. 211.
4. 김기욱, 박문호, “기둥의 강·연성축을 고려한 브레이싱된 정방형 3차원 강골조 구조물의 최적설계”, 구조물진단학회지, 제8권 2호, 2004. 4, pp. 259-267.
5. 김기욱, 박문호, 장준호 “FSM 공법 PSC 박스 거더교의 최적설계에 관한 연구”, 구조물진단학회지, 제8권 3호, 2004. 7, pp. 159-167.
6. 박문호, 조효남, 류연선, “구조물의 최적설계”, 한국전산구조공학회, 단행본, 1991, p. 265.
7. 허택녕, “전산구조해석”, 엔지니어즈, 1994.

(접수일자 : 2007년 3월 16일)