

연속보 주부재의 조밀 및 비조밀 단면 최적화 설계 Optimal Design of Continuous Girders Considering Compact and Non-compact Cross-sections

국 중 식*
Gook, Joong-Sik

신 영 석**
Shin, Yung-Seok

ABSTRACT

The LRFD Specification defines two sets of limiting width-to-thickness ratios. On the basis of these limiting values, steel sections are subdivided into three categories: compact, noncompact, and slender sections. A compact section is capable of developing a fully plastic stress distribution (plastic moment), and can sustain rotations approximately three times beyond the yield before the possibility of local buckling arises. Noncompact sections can develop the yield stress before local buckling occurs. They may not, however, resist local buckling at the strain levels required to develop the fully plastic stress distribution.

In this paper, I-Type girders of a 2 span continuous steel bridge are divided into compact and non-compact sections and analyzed. In the design process, an optimization skill was adopted and ADS, a Fortran program for Automated Design Synthesis, was used.

1. 서론

하중-저항계수 설계법(LRFD)에 따르면, 단면 형상은 압축 요소의 폭-두께비 및 브레이스 조건에 따라 조밀, 비조밀, slender로 나누어 설계가 되어지고 있다. 조밀단면⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾은 국부좌굴(local buckling)이나 횡-비틀림 좌굴(lateral-torsional buckling)이 발생하기 전에 완전 소성 응력 상태에 도달하고 소성 힌지 부분이 회전 할 수 있는 단면을 의미한다. 이는 단면이 완전한 소성상태에 도달할 수 있기 때문에 설계휨강도를 결정할 때 소성모멘트를 기준으로 하여 설계되는 것이다. 비조밀단면⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾은 국부좌굴이 발생하기 전에 압축부는 항복응력에 도달하지만 완전소성응력 분포상태의 변형에 따른 비탄성 국부좌굴에는 저항하지 못하는 단면을 의미한다. 즉, 단면에서 발생하는 최대응력이 재료의 항복응력에 도달했을 때를 기준으로 설계휨강도를 결정하는 것을 말한다.

본 논문에서 사용된 설계식은 최근에 제안되고 있는 LRFD 설계법으로, 이에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 안성욱⁽⁵⁾은 단순보에 대하여 ASD설계와 LRFD 설계를 비교분석 하였고, 이성철 등⁽⁶⁾은 I형 교량의 설계 자동화 프로그램 개발에 관하여 연구하였으며, 조효남⁽⁷⁾등은 LRFD에 의한 강상관형교의 최적 설계에 대한 연구를 하였다. 이상과 같이 관형과 강상관형에 대하여 LRFD에 의한 해석이 연구 중이며, 최적 설계 분야에서도 활발한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 LRFD시방서의 내용을 기준으로 2경간 연속보의 주형인 I형 거더를 조밀단면과 비조밀단면으로 나누었으며, 비조밀에서는 다시 균질 단면과 비균질 단면으로 나누어 지간에 따른 주형의 형상과 활성화 제약 조건을 비교 분석하였다. 단면 설계에 있어서 최적화 기법을 도입하여 최적 설계 되도록 했으며, 최적화 프로그램으로는 ADS⁽⁸⁾(a FORTRAN program for Automated Design Synthesis) 소프트웨어를 사용하였다.

* 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

** 아주대학교 건설교통공학과 부교수

2. 조밀 단면과 비조밀 단면

다음의 표 2.1은 도로교표준시방서(부록)⁽²⁾에 나온 조밀 합성 I형 단면의 규정이다.

표 2.1 강도한계상태 - 조밀 합성 I형 단면

	정모멘트	부모멘트
공칭 휨 강도	$M_n = M_p$ 단면은 연성조건을 만족해야 한다.	$M_n = M_p$
복부의 세장비	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$	$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$
압축플랜지의 세장비	강도한계상태에서는 제한이 없음	$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.382 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$
압축플랜지의 휨방향지지	강도한계상태에서는 제한이 없음	$L_b \leq [0.124 - 0.0759 \left(\frac{M_t}{M_p}\right)] \left[\frac{\gamma_y E}{\sigma_{yc}}\right]$

조밀 단면은 위 표의 조건을 만족하고, 485MPa 이하의 최소항복강도를 가진 강재로 압연 또는 조립된 일정한 깊이를 가진 단면에 적용한다. 공칭강도가 $M_n = M_p$ 이고, 강재단면에서 인장플랜지가 콘크리트 바닥판이 파괴되기 전에 변형경화에 도달하도록 연성규정⁽²⁾을 만족해야 한다.

다음의 표 2.2는 도로교표준시방서(부록)⁽²⁾에 나온 비조밀 합성 I형 단면 규정이다.

표 2.2 강도한계상태 - 비조밀 합성 I형 단면

	정모멘트	부모멘트
각 플랜지에 대한 공칭 휨 강도	$F_n = R_b R_h \sigma_{yf}$	
복부판 세장비 · 수평보강재가 없을 경우 · 수평보강재가 있을 경우	$\frac{2D_c}{t_w} \leq 6.77 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$ $\frac{2D_c}{t_w} \leq 11.63 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$	
압축플랜지 세장비	강도한계상태에서 제한이 없음	$\frac{b_f}{2t_f} \leq 1.38 \sqrt{\frac{E}{\sigma_c \frac{2D_c}{t_w}}}$
압축플랜지의 브레이싱	강도한계상태에서 제한이 없음	$L_b \leq 1.76 r \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$

비조밀 단면은 위 표의 조건을 만족해야 하며, 공칭 휨강도는 응력으로 나타낸 각 플랜지의 항복강도의 함수로 $F_n = R_b R_h \sigma_{yf}$ 과 같다.

여기서 $R_b R_h$ 는 응력 감소계수이다. R_b ⁽²⁾⁽³⁾는 하중 감소계수로서 이 계수는 휨 응력을 받고 있는 두께가 얇은 복부의 국부 좌굴에 의하여 유발되는 응력의 비선형 변화를 고려한 것이다. 만일 적절한 수평보강재가 이러한 국부좌굴을 조절하기 위하여 존재하거나 또는 복부의 세장비가 복부의 이론적인 탄성휨좌굴응력에 해당하는 $\lambda_b(E/\sigma_c)^{1/2}$ 이하의 값을 갖는 경우, 이 계수는 적용되지 않는다. R_h ⁽²⁾⁽³⁾는 복합계수로서 복합보의 복부판의 저장도 강재가 먼저 항복하는데 따른 응력의 비선형 변화를 고려한 것이다. 이 계수는 지지 및 비지지 시공된 모든 비조밀 단면에 적용한다. 균질한 단면과 설계하중 재하 시 양 플랜지의 응력이 복부판의 항복강도를 초과하지 않는 복합단면에 대해서 복합계수 R_h 는 1.0으로 취한다.

◎ 정모멘트 구간

$$R_k = 1 - \left\{ \frac{\beta\phi(1-\phi)^2(3-\phi+\rho\phi)}{6+\beta\phi(3-\phi)} \right\} \quad (\rho = \sigma_{yw}/\sigma_{yb}, \beta = A_w/A_b, \phi = dn/d) \quad (1-1)$$

- d_n = 하부플랜지의 외측면에서부터 변환된 단기간 합성단면의 중립축까지 거리(mm)
- d = 강재단면의 길이(mm)
- σ_{yb} = 하부플랜지의 규정된 최소항복강도(MPa)
- σ_{yw} = 복부판의 규정된 최소항복강도(MPa)
- A_w = 복부판의 단면적(mm²)
- A_{fb} = 하부플랜지의 단면적(mm²)

◎ 부모멘트 구간

복합합성단면 중립축이 복부판 중심부터 복부판 높이의 10%안에 있을 때의 복합계수는 다음과 같다.

$$R_h = \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + 2\beta} \quad (\rho = \sigma_{yw}/\sigma_{fb}, \quad \beta = 2A_w/A_{fb}) \quad (1-2)$$

- σ_{fb} = 최소항복강도와 상하플랜지에서 설계하중으로 인해 발생한 응력 중 작은값(MPa)
- A_{fb} = 강재의 양쪽 플랜지와 중방향 철근의 총 단면적(mm²)

이 외의 복합합성단면에 대해서 복합계수는 아래와 같이 정의 할 수 있다.

$$R_h = \frac{M_{yr}}{M_y} \quad (1-3)$$

- M_y = 복부의 항복을 무시 할 경우의 항복모멘트 강도(N·mm)
- M_{yr} = 복부의 항복을 고려 할 경우의 항복모멘트 강도(N·mm)

* 감소계수는 조밀단면에 대해서는 적용하지 않는다. 왜냐하면, 복부판의 저항도 재료에 대한 영향은 소성모멘트 계산 시 고려되어 있기 때문이다.⁽²⁾ 본 논문에서도 조밀단면에 대하여 감소계수는 적용되지 않았다.

3.설계 변수(Design variables) 및 제약 조건(Constraints)

3.1 설계 변수

그림 1에 나타난 바와 같이 I형 거더의 상·하부 플랜지 폭과 두께 및 복부재의 높이와 두께를 설계 변수로 두었으며, 정모멘트 구간과 부모멘트 구간에서 설계 제약조건 설정은 같도록 하였다.

3.2 설계 목적 함수

구조용 강재의 중량을 최소화하여 경제적인 시공을 할 수 있도록 부재의 단면적을 설계목적함수로 설정하였다.

Objective Function : $X(1) \times X(2) + X(3) \times X(4) + X(5) \times X(6)$

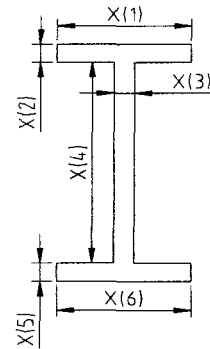


그림 1. 설계 변수

3.3 설계 제약 조건

제약조건은 정모멘트 구간과 부모멘트 구간으로 나누어 LRFD 시방서의 설계식^{(2),(3)}을 참조하여 다음과 같이 설정하였다.

3.3.1 정모멘트 구간

○ 조밀합성단면(compact section)

◎ 강도 한계 상태

- 연성 규정(Ductility Requirement) : $D_b \leq \frac{d + t_s + t_b}{7.5}$ (2-1)

- 공칭 모멘트 : $M_n \leq M_r (= M_p)$ (2-2)

- 복부판의 세장비(Web Slenderness) : $\frac{2D_{cf}}{t_w} \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$ (2-3)

○ 비조밀 합성단면(non-compact section)

◎ 강도 한계 상태

- 복부판의 세장비(Web Slenderness) : $\frac{2D_c}{t_w} \leq 6.77\sqrt{\frac{E}{\sigma_c}}$ (2-4)

- 압축 플랜지 세장비 : $\frac{b_f}{2t_f} \leq 1.38\sqrt{\frac{E}{\sigma_c\sqrt{\frac{2D_c}{t_w}}}}$ (2-5)

○ 공통된 제약 조건

◎ 강도 한계 상태

- 단면 2차 모멘트 비(Section Proportions) : $0.1 \leq \frac{I_{xc}}{I_y} \leq 0.9$ (2-6)

- 공칭 전단 강도 : $V_u < V_n$ (2-7)

◎ 피로 및 파괴 한계 상태

- 하부 플랜지의 접합(Bottom-Flange Weld) : $\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)_n$ (2-8)

- 복부판에 대한 피로 검토 : $\sigma_{cf} \leq \sigma_{yw}$ (2-9)

◎ 사용성 한계 상태

- 처짐 검토 : $\Delta_{LL+IM} < \frac{L}{800}$ (2-10)

- 인장플랜지의 피로응력 검토 : $\sigma_f < 0.95\sigma_{yf}$ (2-11)

3.3.2 부모멘트 구간

○ 조밀 합성 단면

◎ 강도 한계 상태

- 공칭 모멘트 : $M_u \leq M_r (= M_p)$ (3-1)

- 복부 세장비 : $\frac{2D_{cf}}{t_w} \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$ (3-2)

- 압축 플랜지 세장비 : $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.382\sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$ (3-3)

- 압축 플랜지 브레이싱 : $L_b \leq \left[0.124 - 0.0759\left(\frac{M_t}{M_p}\right) \right] \left[\frac{r_y E}{\sigma_{yc}} \right]$ (3-4)

○ 비조밀 합성 단면

◎ 강도 한계 상태

- 복부 세장비 : $\frac{2D_c}{t_w} \leq 6.77\sqrt{\frac{E}{\sigma_c}}$ (3-5)

- 압축 플랜지 세장비 : $\frac{b_f}{2t_f} \leq 1.38\sqrt{\frac{E}{\sigma_c\sqrt{\frac{2D_c}{t_w}}}}$ (3-6)

- 압축 플랜지 브레이싱 : $L_b \leq 1.76 \gamma_t \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yc}}}$ (3-7)

○ 공통된 제약 조건

◎ 강도 한계 상태

- 단면 2차 모멘트 비(Section Proportions) : $0.1 \leq \frac{I_{xc}}{I_y} \leq 0.9$ (3-8)

- 공칭 전단 강도 : $V_u < V_n$ (3-9)

- ◎ 피로 및 파괴 한계 상태
 - 상부플랜지 전단연결재의 접합 검토 : $\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)_n$ (3-10)
 - 인장플랜지 하중집중점 보강재 접합 검토 : $\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)_n$ (3-11)
 - 종방향 철근의 인장 응력 검토 : $\gamma(\Delta f) \leq \sigma_f$ (3-12)
 - 복부판에 대한 피로 검토 : $\sigma_{cf} \leq \sigma_{ywo}$ (3-13)
- ◎ 사용성 한계 상태
 - 압축플랜지의 피로응력 검토 : $\sigma_{LL+IM} < (\sigma_{LL+IM})_{max}$ (3-14)
 - 인장플랜지의 피로응력 검토 : $\sigma_f < 0.95\sigma_{yf}$ (3-15)

4. 조밀 및 비조밀 단면 최적 설계 결과 및 분석

4.1 지간에 따른 강재의 단면적 변화

다음의 표4.1은 정모멘트 구간과 부모멘트 구간에서 조밀과 비조밀 단면의 지간에 따른 단면적을 비교해 보았다.

표 4.1 지간에 따른 단면적 변화 (단위:cm²)

지 간	정모멘트 구간			부모멘트 구간		
	조밀단면	비조밀단면	단면적증감율(%)	조밀단면	비조밀단면	단면적증감율(%)
30 m	241.34	241.27	-0.029	387.79	341.45	-11.9498
40 m	332.26	333.05	0.2378	548.02	482.36	-11.9813
50 m	426.72	428.67	0.45697	719.31	629.47	-12.4897
60 m	524.92	529.26	0.82679	896.04	784.18	-12.4838

정모멘트 구간에서 지간에 따른 단면적의 차이는 크지 않았다. 그러나 부모멘트 구간의 단면적은 비조밀 단면이 조밀 단면에 비해 약 12%의 단면적 감소가 있는 것으로 나타났다.

4.2 지간에 따른 강재의 형상 변화

다음의 표4.2,4.3은 정모멘트 구간과 부모멘트 구간에서 조밀과 비조밀 단면의 지간에 따른 최적화 형상을 각 플랜지의 단면적으로 비교해 보았다.

표 4.2 정모멘트 단면 (단위:cm²)

표 4.3 부모멘트 단면 (단위:cm²)

지 간	플랜지	조밀 단면	비조밀 단면	증감율(%)	지 간	플랜지	조밀 단면	비조밀 단면	증감율(%)
		30 m	상부플랜지면적	15.279			13.91	-8.96	30 m
	복부판의 면적	134.94	136.55	1.193		복부판의 면적	209.71	226.29	7.906
	하부플랜지면적	91.13	90.81	-0.351		하부플랜지면적	113.49	80.27	-29.27
40 m	상부플랜지면적	19.89	17.93	-9.854	40 m	상부플랜지면적	91.85	59.82	-34.87
	복부판의 면적	184.50	194.01	5.1544		복부판의 면적	313.93	317.88	1.258
	하부플랜지면적	127.87	121.10	-5.294		하부플랜지면적	142.22	104.63	-26.43
50 m	상부플랜지면적	23.30	20.75	-10.947	50 m	상부플랜지면적	150.79	94.54	-37.3
	복부판의 면적	243.93	248.83	2.008		복부판의 면적	366.04	396.62	8.354
	하부플랜지면적	159.48	159.07	-0.257		하부플랜지면적	202.45	138.3	-31.687
60 m	상부플랜지면적	30.25	27.53	-8.991	60 m	상부플랜지면적	201.31	123.17	-38.816
	복부판의 면적	288.77	311.67	7.93		복부판의 면적	438.15	496.16	13.239
	하부플랜지면적	205.89	190.03	-7.703		하부플랜지면적	256.57	164.84	-35.75

정모멘트 구간에서의 상·하 플랜지 면적은 비조밀 단면에서 감소하는 경향을 보였고, 복부판은 복부의 높이가 조밀 단면보다 높아지면서 단면적도 증가하는 경향을 보였다. 그러나 총 단면적은 표4.1에서 보는 바와 같이 상·하 플랜지의 면적 감소와 복부판의 면적 증가가 서로 상충하여 조밀 단면과 큰 차이를 보이지 않았다.

부모멘트 구간에서는 비조밀 단면이 조밀 단면보다 상·하 플랜지의 면적에 있어 상당한 감소를 보이고 있다. 복부판은 복부의 높이가 조밀 단면보다 높아지면서 단면적도 증가하는데, 상·하 플랜지의 면적 감소가 더 커 표4.1에서 보는 바와 같이 전체적인 단면적 감소를 보였다.

4.3 비조밀에서 균질 단면과 비균질 단면 비교

균질 단면⁽²⁾⁽³⁾은 최소항복강도가 325MPa인 강재를 사용하였으며, 비균질 단면⁽²⁾⁽³⁾에서는 양 플랜지의 최소항복강도는 325MPa, 복부판의 최소항복강도는 235MPa인 강재를 사용하였다.

다음의 표4.4,4.5는 비조밀에 대하여 균질과 비균질 단면으로 나누어 최적화 된 단면을 비교해 본 것이다.

표 4.4 균질과 비균질단면의 단면적 변화 (단위:cm²)

	비조밀 정모멘트 단면			비조밀 부모멘트 단면		
	균질단면	비균질단면	증감율(%)	균질단면	비균질단면	증감율(%)
30 m	241.27	245.85	1.8983	341.45	351.37	2.905
40 m	333.05	339.37	1.8976	482.36	494.97	2.614
50 m	428.67	436.9	1.9198	629.47	645.25	2.507
60 m	529.26	538.24	1.6967	784.18	801.87	2.256

표 4.5 균질과 비균질 단면에서의 단면 형상 (단위:cm²)

		비조밀 정모멘트 단면			비조밀 부모멘트 단면		
		균질단면	비균질단면	증감율(%)	균질단면	비균질단면	증감량(%)
30 m	상부플랜지 단면적	13.91	13.748	-1.163	34.874	42.635	22.253
	복부 단면적	136.556	133.338	-2.363	226.294	219.570	-2.971
	하부플랜지 단면적	90.798	98.759	8.775	80.279	89.164	11.067
40 m	상부플랜지 단면적	17.93	16.802	-6.296	59.824	71.825	20.059
	복부 단면적	194.017	192.992	-0.528	317.887	305.353	-3.943
	하부플랜지 단면적	121.102	129.569	6.991	104.633	117.8	12.584
50 m	상부플랜지 단면적	20.755	22.708	9.412	94.538	103.889	9.890
	복부 단면적	248.835	237.064	-4.73	396.628	392.055	-1.153
	하부플랜지 단면적	159.074	177.134	11.353	138.307	149.32	7.962
60 m	상부플랜지 단면적	27.533	31.185	13.278	123.171	136.052	10.457
	복부 단면적	311.672	294.653	-5.46	496.16	485.772	-2.094
	하부플랜지 단면적	190.038	212.386	11.76	164.84	180.05	9.221

정모멘트 구간에서 비균질 단면은 플랜지의 면적이 위 표4.5에서 보는 바와 같이 증가되고, 복부의 높이가 감소하면서 복부의 단면적이 줄어드는 경향을 보였다. 전체적인 단면적은 위 표4.4에서 보는 바와 같이 증가되는 경향을 보였다.

부모멘트 구간에서 비균질 단면은 플랜지의 면적이 위 표4.5에서 보는 바와 같이 증가되고, 복부의 높이가 감소하면서 복부의 단면적이 줄어드는 경향을 보였다. 전체적인 단면적은 위 표4.4에서 보는

바와 같이 증가되는 경향을 보였다.

비균질 단면에서 복부판은 플랜지에 쓰인 강도보다 낮은 강도의 재료를 쓴다. 이로 인하여 응력의 빈선형화⁽²⁾가 발생하며, 이것을 고려하여 시방서에서는 R_h (복합계수)⁽²⁾⁽³⁾를 써서 전체적으로 플랜지의 최소항복강도를 낮추어 주게된다. 균질 단면보다 낮은 항복강도를 가지게 됨으로써 응력에 저항하기 위하여 플랜지의 면적이 커지고, 복부판은 전단에 저항하기 위하여 복부의 높이를 낮추어 단면적을 줄이게 되는 것이다.

4.4조밀과 비조밀 단면의 활성화 제약 조건 비교

다음의 표 4.6은 정모멘트 구간에서 최적 설계 시 활성화된 제약 조건을 나타내었다.

표 4.6 정모멘트 단면

조밀 단면	비조밀 단면
단면 2차 모멘트비 하한값 ($0.1 < I_{yc}/I_y$)	단면 2차 모멘트 비 하한값 ($0.1 < I_{yc}/I_y$)
복부의 공칭 전단 강도	복부의 공칭 전단 강도
복부에 대한 피로 검토식	인장플랜지의 피로 검토식
인장플랜지의 피로 검토식	압축플랜지의 세장비

조밀에서의 설계 단면은 소성모멘트에 의해서 단면이 설계된 것이 아니라 플랜지의 응력에 의해서 단면이 설계되었기 때문에 각 플랜지의 응력에 의해 설계되는 비조밀 단면과 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 최적화 시 거의 같은 제약 조건이 활성화되었으며, 단지 조밀에서는 장지간(60m)에서 복부의 피로에 대한 제약 조건⁽²⁻⁹⁾이 활성화되었고, 비조밀에서는 전 지간에 걸쳐 압축플랜지의 세장비⁽²⁻⁵⁾가 활성화 된 차이가 있었다.

플랜지의 단면과 복부의 단면은 위 표4.2에서 보는 바와 같이 비조밀에서 플랜지의 단면이 줄어들고 복부의 높이가 높아지며 면적이 증가하는 예상과 같은 결과를 가져왔으나, 전체적인 단면적은 비조밀에서 줄어들지는 않았다.

다음의 표 4.7은 부모멘트 구간에서 최적 설계 시 활성화 된 제약조건을 나타내었다.

표 4.7 부모멘트 단면

조밀 단면	비조밀 단면
복부판의 세장비	복부의 공칭 전단 강도
압축플랜지의 세장비	피로를 고려한 복부의 세장비
압축플랜지 브레이싱	압축플랜지의 피로 응력
압축플랜지 피로 응력	인장플랜지의 피로 응력
인장플랜지 피로 응력	

조밀 단면은 각 플랜지의 세장비와 브레이싱 그리고 피로응력에 의해 단면이 설계되었다. 위 제약 조건 중 복부판의 세장비⁽³⁻²⁾, 압축플랜지의 세장비⁽³⁻³⁾, 압축플랜지의 브레이싱⁽³⁻⁴⁾은 조밀과 비조밀에서 설계식이 서로 달리 적용되고 있다. 따라서 조밀에서 단면 설계에 영향을 미친 제약 조건들이 비조밀에서 적용되지 않음으로써 단면의 차이를 가져 온 것이다.

비조밀 단면에서는 복부의 높이가 커짐으로 인하여 복부의 전단 강도에 대한 제약 조건이 활성화되었고, 조밀 및 비조밀 모두 양 플랜지에서 피로 응력에 저항 할 수 있도록 단면이 결정 지어 졌다.

5. 결론

본 연구에서는 2경간 연속보 주형에 대하여 조밀과 비조밀 단면으로 구분하고, 다시 비조밀 단면을 균질과 비균질 단면으로 구분하여 최적 설계한 결과 다음과 같은 결론은 도출하였다.

정모멘트 구간에서 전반적으로 상·하 플랜지의 면적은 비조밀 단면에서 감소하는 경향을 보이고, 복부판은 복부의 높이가 조밀 단면보다 높아지면서 단면적도 증가하는 경향을 보였으며, 조밀 단면과 비조밀 단면에서 총 단면적은 서로 큰 차이를 보이지 않았다. 부모멘트 구간에서는 비조밀 단면이 조밀 단면보다 상·하 플랜지 면적의 감소를 보였고, 복부판은 복부의 높이가 조밀 단면보다 높아지면서 단면적도 증가하는데, 상·하 플랜지의 면적 감소가 더 커서 총 단면적은 약 12% 정도 감소하였다.

비조밀 단면의 정모멘트 구간과 부모멘트 구간에서 비균질 단면은 플랜지의 면적이 증가되고, 복부의 높이가 감소하면서 복부의 단면적은 줄어든다 전체적인 단면적은 증가되었다. 비균질 단면에서 복부판은 플랜지에 쓰인 강도보다 낮은 강도의 재료를 쓰기 때문에 응력의 비선형화가 발생하여, 설계에서 각 플랜지의 최소항복강도를 낮추어 주게 된다. 따라서 비균질 단면은 균질 단면에서 보다 낮은 항복강도를 가지게 됨으로써 응력에 저항하기 위하여 플랜지의 면적이 커지고, 복부판은 전단에 저항하기 위하여 복부의 높이를 낮추어 단면적이 줄어들게 되는 것이다.

본 논문에서 설계된 조밀 I형 단면은 정모멘트 구간에서 소성모멘트에 의해서 단면이 설계된 것이 아니라 플랜지의 응력에 의해서 단면이 설계되었기 때문에 각 플랜지의 응력에 의해 설계되는 비조밀 단면과 큰 차이를 보이지 않았다. 플랜지의 단면과 복부의 단면은 비조밀 단면에서 플랜지의 단면이 줄어들고 복부의 높이가 높아지면서 면적이 증가하는 예상과 같은 결과를 가져왔으나, 전체적인 단면적은 비조밀 단면에서 줄어들지는 않았다. 부모멘트 구간에서 조밀 단면은 각 플랜지의 세장비와 브레이싱 그리고 피로응력에 의해 단면이 설계되었다. 따라서 조밀 단면에서 단면 설계에 영향을 미친 제약 조건들이 비조밀 단면에서는 적용되지 않음으로써 설계 단면의 차이를 가져 왔으며, 비조밀 단면이 조밀 단면보다 더 적은 단면적으로 설계가 되었다. 비조밀 단면에서는 복부의 높이가 커짐으로 인하여 복부의 전단 강도에 대한 제약 조건이 활성화 되었고, 조밀 단면 및 비조밀 단면 모두 상하부 플랜지에서 피로 응력에 저항할 수 있도록 단면이 결정되었다.

6. 참고 문헌

1. W.F. Chen, Seung-Eock Kim, "LRFD Steel Design using Advanced Analysis", CRC, p.279-296.
2. "도로교 표준시방서(부록) 하중-저항계수 설계편", 건설교통부 pp.1-1 - 4-172, 1996.
3. "AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS", SI Units Second Edition, pp.6-1 - B6-4, 1998.
4. 선용, 한봉구, 강영철, "Design of Structures", 야정문화사 p.150-152.
5. 안성욱, "하중-저항계수 설계법에 의한 강교량주부재의 최적설계 프로그램의 개발보고서", 아주대 석사 논문 1998.
6. 이성철, 최현, 윤동용(1997) "하중-저항 설계방법에 의한 합성 I형 교량의 설계 자동화 프로그램 개발", 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), 1998.
7. 조효남, 정지승, 민대홍, 김현우, "LRFD에 의한 강상판형교의 시스템 최적설계", 한국전산구조공학회 봄학술발표회 논문집, 1998.
8. Vanderplaats, G. N. (1984) "ADS- a Fortran Program for Automated Design Synthesis Version 1.10", NASA CR 172460.