

신형상 층고절감형 합성보의 최적단면 도출에 관한 연구

A Study on Optimum Section of New Type Steel-Concrete Composite Beam

윤명호 Yoon, Myung-Ho*[†] · 이윤희 Lee, Yoon-Hee**

(Received August 6, 2011 ; Revised September 10, 2011 ; Accepted September 20, 2011)

ABSTRACT

This study investigates the optimum section properties of newly developed steel-concrete composite beam. For that purpose we developed computer program calculating section properties. The suggested new beam section highly contribute to save inter-story height and reduce construction duration and cost compared with conventional steel works such as H-beam and column + RC slab system. But the section shape have different section modulus with upper and lower fiber because of the unsymmetric cross section. Therefore the parametric study on thickness-ratio of top and bottom flange plate is needed. In this paper the change of neutral axis and section modulus for thickness-ratio of up and down flange plate is analysed and discussed.

요 지

본 연구에서는 신형상 층고절감형 합성보에 대한 최적단면을 도출하기 위해 단면성능 계산 프로그램을 개발하여 단면성능에 대해 비교 분석을 하였다. 신형상 합성보는 상부 플랜지 하부에 바닥시스템이 위치하여 전통적인 공법에 비해 층고절감의 효과와 최적단면으로 설계시 공기의 단축과 비용의 절감은 물론 물량의 감소를 기대 할 수 있다. 그러나 단면은 기존 H형강 보와 달리 상하 비대칭으로 중립축의 위치가 중앙에 위치하지 않기 때문에 상하연단에 대한 단면계수가 같지 않게 된다. 이에 따른 상하플랜지 판요소의 두께비에 따른 매개 변수적 분석이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 단면의 상부 플랜지 두께에 대한 하부 플랜지 두께의 비에 따른 중립축위치, 단면계수의 변화추이를 분석하여 최적단면을 도출하는데 주목적을 두었다.

Key Words: Story Height Saving Type(층고절감형), Steel-concrete Composite Beam(합성보), Optimum Section(최적단면)

1. 서 론

최근 도심지 지가 상승 및 아파트 또는 주상 복합건물의 분양가 상승과 맞물려 주거용 및 상업용 건축물의 고층화는 앞으로도 계속 될 전망이다. 이에 따른 시공의 경제성, 분양 면적의 극대화, 건물 사용 효율성의 제고 등을 만족 할 수 있는 구조 형식의 선택은 매우 중요한 문제이다. 지금까지 중·고층 주거 건물에서 벽식 RC구조가 많이 사용되어 왔지만, 건축법 및 설계기준의 개정 등으로 인해 라멘구조로 되돌아갈 추세이며 수명이 반영구적인 철골구조가 상대적 우위를 가질 것으로 보인다. 이러한 여건 하에 H형강 보 + H형강 기둥 또는 각형강관(CFT) + 기존의 RC슬래브 시스템의 단점을 보완하고, 획기적으로 층고를 절감할 수 있는 구조 시스템에 대한 요구가 한층 높아지고 있다. 그러나 기존 철골조 건축물에서 보부재로 가장 많이 사용되고 있는 단면은 H형강 단면으로 H형강 보를 사용하는 경우에는 H형강 상부 플랜지 위에 바닥시스템이 올라가야 하기 때문에 층고절감이라는 면에서는 불리

할 수밖에 없으며, 메탈데크 슬래브와의 합성효과가 적거나 미미하기 때문에 구조적인 효율성도 떨어진다. 또한, 철골조는 현대 건축에서 많은 장점을 가지고 있지만, 대규모 건축물 특히 장스팬을 요구하는 경우에는 보침이 커지게 됨에 따라 층고가 높아지게 되고 토지의 효율적인 이용 및 재료의 경제적 사용 면에서 불리해진다. 이에 새로운 합성 바닥-보 시스템의 개발이 이루어지고 있으며, 현재까지 국내외에서 유사한 여러 가지의 제품들이 특허 또는 신기술등의 이름으로 개발되고 있다. 영국에서 개발되어 사용되고 있는 상하 비대칭 H형강 보로 구성된 슬림플로어(Slimflor) 공법은 층고 절감은 물론, 단위 층당 외장재의 절감 등 여러 가지의 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나 슬림플로어 공법의 경우, 적용되는 합성데크의 침이 제한되기 때문에 적용 가능한 스펠이 한정되어 있어 다양한 건축물의 수요에 능동적으로 대처하기가 어려운 단점이 있다. 또한 국내에서도 이러한 슬림플로어 공법을 응용하여 TU 합성보 공법과 비대칭 H-Beam 시스템이 현장에서 적용되고 있으며, 강판을 절곡하여 내부에 철

*[†] 정회원·공주대학교 공과대학 건축공학과 교수, 교신저자(mhyoon@kongju.ac.kr)

** 정회원·공주대학교 건축공학과 박사과정

근을 설치한 후 콘크리트를 타설하는 TSC 공법도 사용되고 있다. 이러한 공법들은 비효율적인 단면성능으로 인하여 중앙부 모멘트로 설계하였음에도 불구하고 기대하는 만큼의 경제성 확보는 어려운 상태이다. 지금까지 연구 개발된 시스템들은 각각의 장단점을 가지고 있지만 대체로 다음과 같은 문제점 등을 들 수 있다. 첫째, 보 하중전달에서의 문제점으로 정모멘트에 대해서는 문제가 없으나 부모멘트에 대해서는 보완이 요구된다. 둘째, 부모멘트에 대한 상부근 배근의 연속성으로 강재 기둥에 의해서 연속 배근이 어렵고 특히 지진 등의 수평 하중시 강접합 확보에 의문이 제기된다. 셋째, 처짐이나 진동 등에 대해 불리하다.

따라서 본 연구에서는 기존 단면 성능의 취약점이나 단점을 최대한 보완하여 시공성, 경제성 등에서 우수한 새로운 형상을 제안하고 철골 합성보 단면의 중립축위치, 단면계수의 변화추이를 분석하여 최적단면을 도출하는데 주목적을 두었다.

이하 층고절감형 보단면 형상 이름을 스마트빔 (SMart Beam; 약칭SMB)으로 부르기로 한다.

2. 성능평가

2.1 보단면 형상 제안

보단면은 기존 H형강 보와 달리 상부 플랜지 하부에 바닥시스템이 위치하는 상하 비대칭으로 중립축의 위치가 중앙에 위치하지 않기 때문에 상하연단에 대한 단면계수가 같지 않게 된다. 따라서 상하플랜지 판요소의 두께비에 따른 매개 변수적 분석이 요구된다. 이러한 분석 결과, 처음에는 폐쇄형 단면(closed section)으로 계획하였으나 단면 성능 향상, 제작의 용이성, 집합 용이성, 콘크리트 타설 등 시공용이성 등을 고려하여 Fig. 1, 2과 같은 개방형 단면(open section)으로 하였다. 또한, 웹 부분의 개구부 형상은 설비 공간의 확보를 위해 유공(有孔) 처리하였고 그 형상은 사다리꼴과 원형으로 두 가지이다.

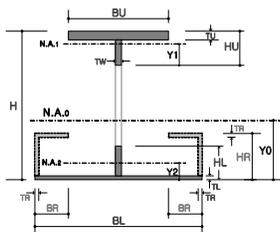


Fig. 1 제안하는 개방형 단면(순철골)

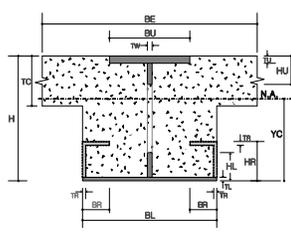
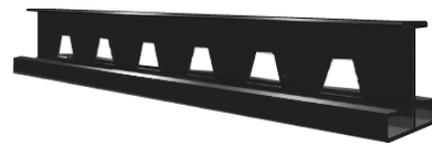


Fig. 2 제안하는 콘크리트 합성단면



(a) 사다리꼴 트임



(b) 원형 트임

Fig. 3 제안하는 개방형 단면(순철골) 3D형상

2.2 단면 상수 계산 프로그램

단면의 중립축위치, 단면계수의 변화추이를 분석하여 최적단면을 구하기 위해 단면 상수 계산 프로그램을 개발 하였으며, 프로그램 소스 코드는 비주얼 베이직을 사용하였다. Fig. 5에 순철골 단면, Fig. 6에 콘크리트 합성단면에 대한 데이터 입력 화면을 나타내었다. 이 프로그램은 Fig. 4에서 스마트빔의 단면을 구성하는 각각 판요소의 데이터를 입력하고, 상부플랜지 (T_U), 하부플랜지 (T_L), 웹(T_W)의 두께를 주어진 증분값으로 증가시키면서 단면 상수를 연속적으로 계산할 수 있기 때문에 최적의 단면 성능을 가지는 형상을 쉽게 결정 할 수 있다.

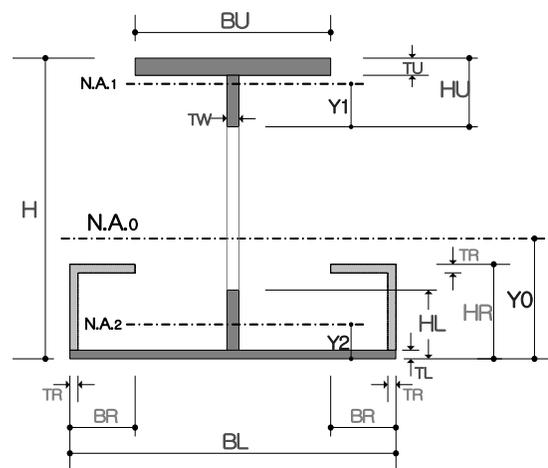


Fig. 4 단면기호

$$SMB-H \times B_U \times B_L \times H_U \times H_L \times T_W \times T_U \times T_L \times H_R \times B_R \times T_R$$

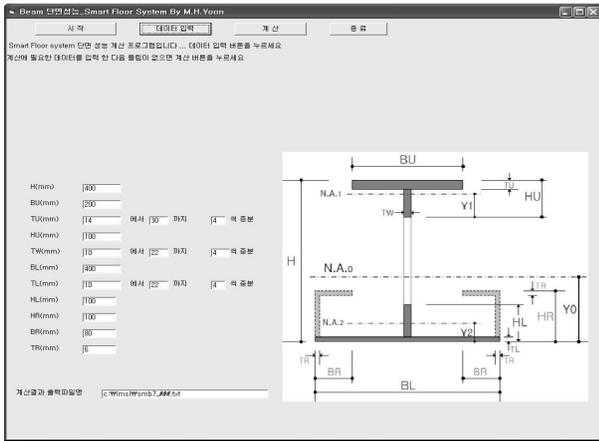


Fig. 5 순철골 단면의 단면 상수 계산 프로그램

단면 상수 계산에 필요한 데이터를 입력하기 위한 각 기본 기호의 의미는 다음과 같다. 단, 하부 받침 앵글이 없는 경우에는 관련데이터 TR=0으로 입력한다.

- A : 면적(cm²)
- Y : 중립축 거리(cm)
- I : 단면이차모멘트(cm⁴)
- Zc : 상부연단(上部緣端)에 대한 단면계수(cm³)
- Zt : 하부연단(下部緣端)에 대한 단면계수(cm³)

기본기호에 붙는 하첨자의 의미

- 0 : 웨브 오프닝(非充腹) 위치에서의 단면 상수
- 1 : 상부 T형단면만의 상수
- 2 : 하부 T-Channel형의 단면 상수
- g : 웨브 오프닝이 없는 충전(充腹) 위치에서의 단면 상수
- ※ 입력데이터는 모두 mm단위로 입력한다.

2.3 SMB의 단면 성능 비교

Table 1에서는 스마트빔과 유사한 H형강과 단면 성능을 비교하기 위해 계산한 출력 결과의 일부를 나타내었다.

Table 1 H-450~500시리즈 대응 단면(SMB400시리즈 일부)

H mm	BU mm	TU mm	BL mm	TL mm	HW mm	TW mm	TR mm	A cm ²	합성전				합성후			
									Yo (cm)	I (cm ⁴)	ZC (cm ³)	ZT (cm ³)	Yoc (cm)	Ic (cm ⁴)	ZCc (cm ³)	ZTc (cm ³)
400	250	12	600	6	240	5	3	90.6	18.93	28692	1361	1516	28.98	33712	3059	1163
400	250	15	600	6	240	5	3	97.95	20.39	31304	1597	1535	29.25	35967	3345	1230
400	250	18	600	6	240	5	3	105.3	21.64	33479	1823	1547	29.5	37825	3601	1282
400	250	21	600	6	240	5	3	112.7	22.7	35303	2040	1555	29.73	39369	3832	1324
400	250	12	600	6	240	5	6	92.4	17.44	29487	1307	1690	28.39	35359	3045	1246

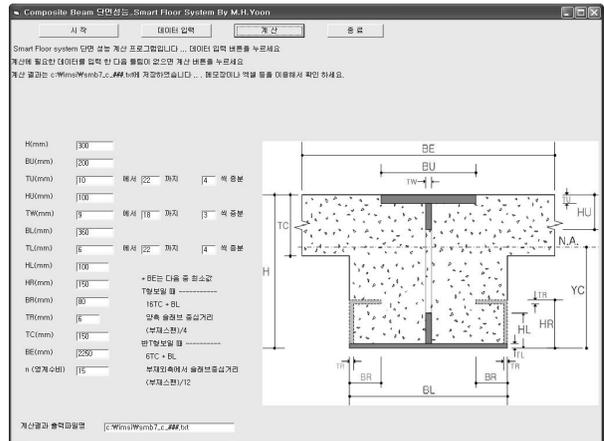


Fig. 6 합성단면의 단면 상수 계산프로그램

2.4 SMB의 하중지지 능력비교

사용 하중시 처짐이 지배적인 변수가 되기 때문에 허용 처짐 span/300을 기준으로 등분포 하중에 대한 하중지지능력(Load bearing capacity, KN/m) 계산하여 비교하였다.

비교 단면 대상은 Table 1에서 기준에 사용되고 있는 H형강(H-450x200x9x14)과 비교 가능한 SMB400시리즈를 type 1, 2로 나누어 Table 2에 나타내었다.

Table 3은 span별 허용등분포 하중(w)을 (1)식에 대입하여 계산한 값이다.

$$w = \frac{384EI}{5l^4} \delta \tag{1}$$

단, 여기서 δ 는 span의 1/300이고, E (탄성계수)는 $2.05 \times 10^8 (KN/m^2)$ 이다.

Fig. 7은 Table 3을 그래프로 나타낸 것으로 type 2의 경우 H형강에 비해 중량비가 5% 작지만 허용등분포 하중은 근소한 차이로 크게 나타나고 있다. 또한, type 1은 6% 작은 중량비를 갖지만 허용등분포 하중과 비교적 비슷한 값을 보이고 있다.

Table 2 비교 단면 제원

비교 항목 단면	단면적 (cm^2)	단면 이차 모멘트 (cm^4)	중량 비	비고
SMB_TYP_1-1	90.60	33,712	0.94	Table 1에서 type1의 첫 번째 단면
SMB_TYP_2-1	92.40	35,359	0.95	Table 1에서 type2의 첫 번째 단면
H-450x200x9x14	96.76	33,500	1	

Table 3 Span별 허용등분포 하중

비교 단면 span(m)	SMB_typ1_1	SMB_typ2_1	H-450x200x9x14
	허용 등분포 하중 ω (KN/m)		
6.000	81.91	85.91	81.39
7.000	51.58	54.10	51.26
8.000	34.55	36.24	34.34
9.000	24.27	25.45	24.12
10.000	17.69	18.56	17.58
11.000	13.29	13.94	13.21
12.000	10.24	10.74	10.17

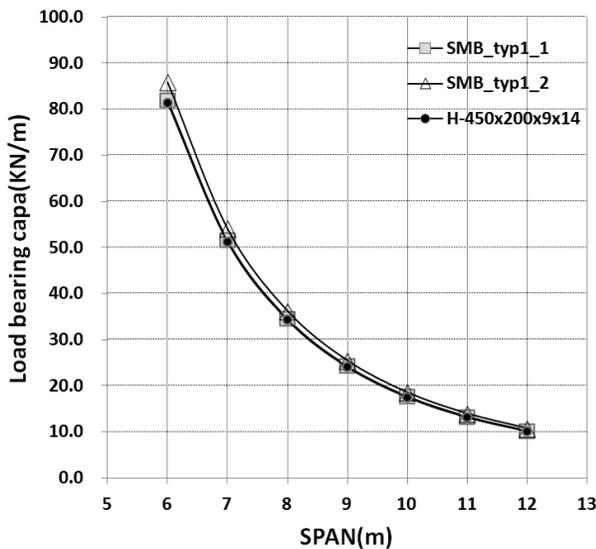


Fig. 7 허용등분포 하중 비교

2.5 SMB의 특징 및 성능

(1) 층고 절감 효과

스팬 9.0m 적용시 SMB350~400 시리즈와 압연H형강 H450~500 시리즈가 사용가능한 단면이다.

1) SMB350 시리즈 사용시

소요 높이 = 350 + 150(설비 공간) = 450mm

※ 슬래브 두께 180~210mm는 스마트빔과 일체형으로 높이(350)에 포함

2) H450~500 시리즈 압연H형강 사용시

소요 높이=(450~500)+180(토핑Conc)=630~680mm

※ 설비 공간은 형강 웨브에 유공(有孔) 처리

결론 : 한 층당 층고 절감 효과

(630~680)-450= 180~230mm 가능

※ SMB400을 사용할 경우에는 130~180mm 가능

(2) 제작 방법

① 수직웨브 판에서 유공부는 사다리꼴 또는 원형 ($\phi=100\sim150mm$)으로 펀칭 가공한 다음 용접으로 상하부 플랜지에 접합하는 형태.

② 수직웨브 판의 유공부를 사다리꼴 또는 반원형으로 모양으로 절단한 다음 상하부 플랜지에 용접하는 형태

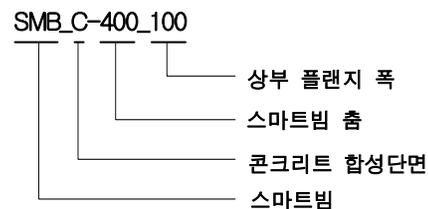
③ 상하부 T형으로는 CT형강을 이용할 수도 있다.

④ 기존의 압연 H형강을 이용할 수도 있다.

3. 최적단면

스마트빔의 단면은 상하 비대칭 단면으로 중립축의 위치가 중앙에 위치하지 않기 때문에 상하연단에 대한 단면계수가 같지 않게 된다. 중립축 위치는 스마트빔의 상하부 플랜지 두께에 따라 가장 민감하게 변화한다. 또한, 중립축비는 개구부 위치에서 단면 상수를 계산하였기 때문에 인장축(하부연단) 단면계수는 압축축(상부연단) 단면계수에 비해 민감하게 변화한다. 이는 전체 단면에서 개구부 위치에 따라 상부 T형(—) 단면적이 하부 채널형(□) 단면적에 비해 작기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 8~11은 순철골 단면을 Fig. 12~15는 콘크리트 합성단면을 상부 플랜지 두께(T_U)에 대한 하부 플랜지 두께(T_L)의 비(T_L/T_U)에 따른 중립축위치 및 단면계수(Z_c, Z_t)의 변화추이를 나타내고 있다. 순철골 단면인 경우는 시공단계에 적용되고, 합성 단면은 완공 후 사용단계에 해당하는 성능으로 볼 수 있다.

기호의 의미는 아래와 같다.



대체로 합성단면까지 고려 할 때 $T_L/T_U = 0.4\sim0.6$ 정도의 범위에서 단면을 선정하는 것이 유리하며 Fig. 8~15의 음영()부분에서 최적화된 단면 성능을 가지는 단면을 결정할 수 있다.

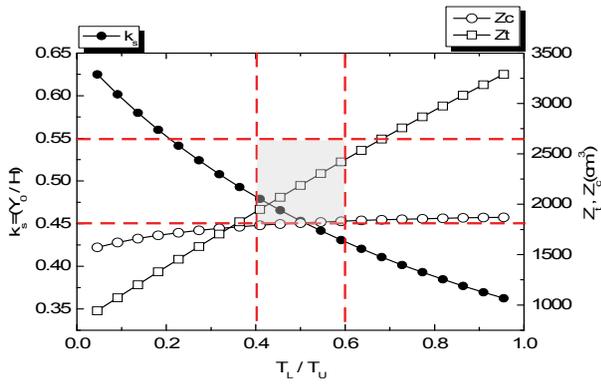


Fig. 8 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB-400_100)

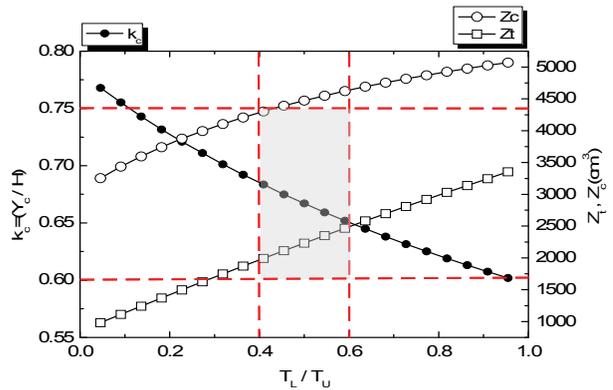


Fig. 12 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB C-400_200)

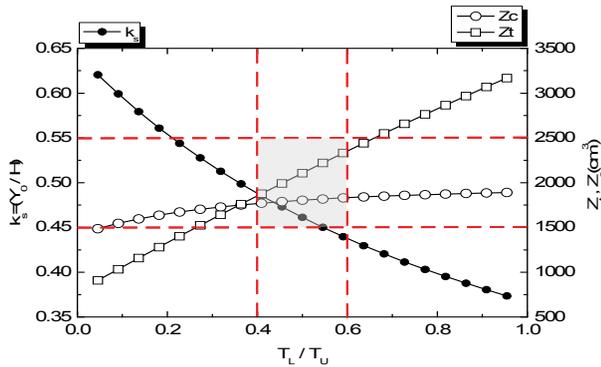


Fig. 9 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB-400_200)

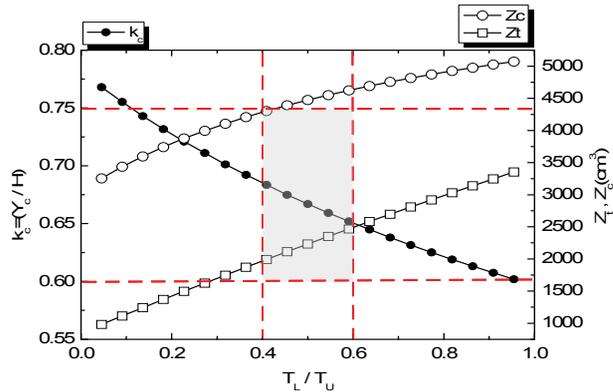


Fig. 13 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB C-400_100)

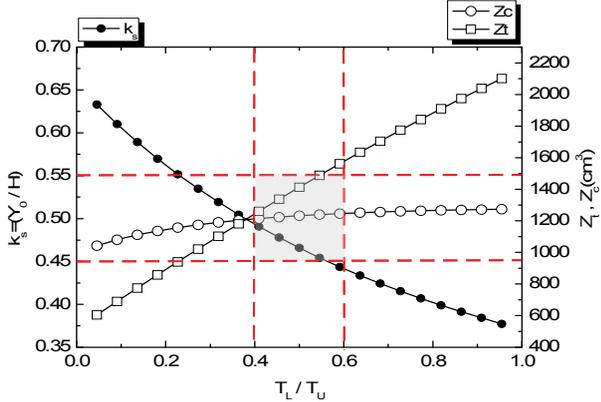


Fig. 10 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB-300_100)

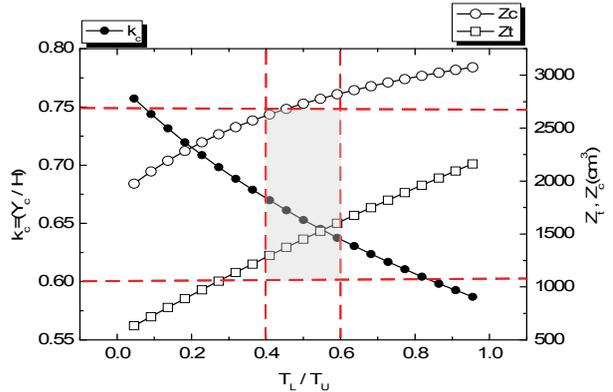


Fig. 14 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB C-300_100)

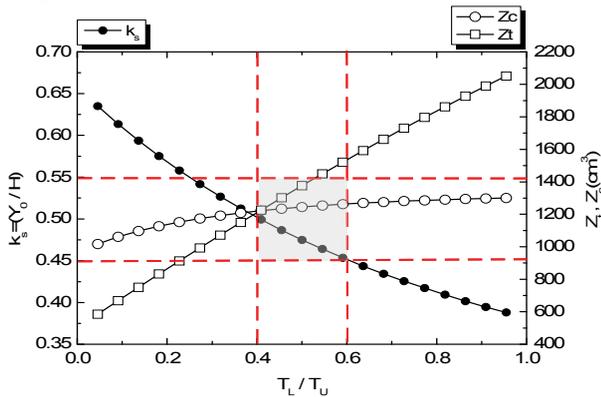


Fig. 11 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB-300_150)

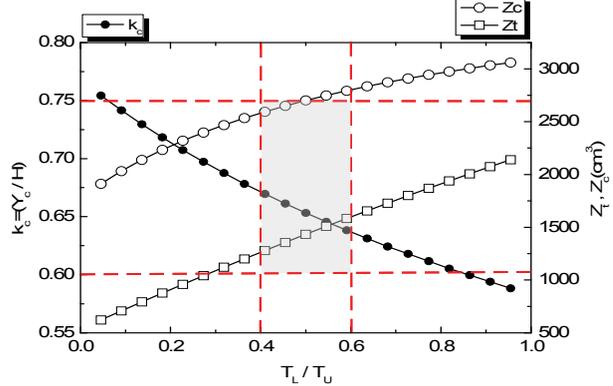


Fig. 15 중립축 및 단면계수 변화추이(SMB C-300_150)

4. 결 론

상부 플랜지 두께에 대한 하부 플랜지 두께비 (T_L/T_U)는 시공단계 및 완공 후 사용단계를 고려해 볼 때 0.4~0.6 정도를 제안한다.

위에서 제안하는 상하부 플랜지 두께비에서 중립축 비는 대체로 시공단계에서 0.45~0.55, 완공 후 사용단계에서는 0.6~0.75를 유지한다.

신형상 합성보는 획기적인 층고절감효과 외에도 일반 H형강 보와 비교할 때 같은 단면성능에서 구조물량을 4~5% 절감할 수 있다.

참고 문헌

1. 채홍석(2011), 강관과 콘크리트로 단부를 보강한 합성보(Eco Girder)의 구조적 특성에 관한 연구, 박사학위논문, 서울시립대학교, pp.17~18.
2. 대한건축학회(1996) Composite Metal Deck Slab System 연구 최종보고서.
3. 대한건축학회(1998) 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설.
4. 대한건축학회(1998) 합성데크 바닥구조 시공지침서
5. 建設省住宅局建築指導課(1991) デッキプレート床構造設計・施工規準.
6. 鋼材俱樂部(1991) デッキプレート床構造設計・施工基準, 技報堂出版.
7. 日本建築學會(1987) Deck Plate와 Concrete와의 Composite Slab의 構造設計指針·同解説.
8. 日本鋼材俱樂部(1987) Deck Plate Slab Structure의 設計・施工規準.
9. 日本建築學會(1992) 鋼構造設計施工指針, 同解説.
10. 日本建築學會(1993) 建築物荷重指針·同解説.
11. 社團法人 鋼材俱樂部 合成スラブ研究委員會(1991) 米國合成スラブ事情調査團報告書.
12. 住金鋼材工業株式會社(1985) エンボス付きデッキプレートをを用いた合成スラブ構造.
13. 合成スラブ工業會(1997) 合成スラブの設計・施工マニュアル.
14. ASCE Standards(1992) Standard for the Structural Design : Composite Slabs, ANSI/ASCE3-91.
15. Composite Slab 工業會(1996) Composite Slab의 設計・施工메뉴얼.