



부분매입형 신형상 합성보의 단면성능에 관한 연구

윤명호¹ · 이윤희² · 이에슬³

공주대학교 건축공학과 교수¹, 공주대학교 건축공학과 박사과정²,
 공주대학교 건축공학과 석사과정³

A Study on Section Properties of Partially Concrete-Filled New Type Composite Beam

Yoon, Myung-Ho¹ · Lee, Yoon-Hee² · Lee, Ye-Seul³

¹Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheon-an, Korea

²Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheon-an, Korea

³Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheon-an, Korea

Abstract: The demand for the structural system of reduction of story height increases because buildings are getting higher. The existing structural systems are not efficiency. Thus, it is hard to reduce the story height and existing methods cannot secure economics as expected. This study aims at developing the partially concrete-filled new type composite beam, which can efficiently resist against the end negative moment and central positive moment, also reduce deflection of beams. Through case studies on loading of concentrated load and uniformly distributed load to fixed beam, we could find the most efficient ratio of moment of inertia and the ratio α (end beam length to span). The gap space between middle and end beam can be used as facilities installation, consequently the suggested Omega beam system is expected to get the effect of reduction in story height as well as reduction of quantity.

Key Words: new type composite beam, partially concrete-filled, reduction of story height

1. INTRODUCTION

최근 건축물의 고층화와 장스팬화가 요구됨에 따라 시공의 경제성과 건물 사용 효율성 등을 만족시킬 수 있는 구조형식의 선택이 매우 중요하게 되었다. 기존의 철골조 건축물에서 보 부재로 가장 많이 사용되고 있는 단면은 H형강으로 상부 플랜지 위에 슬래브가 올라가기 때문에 층고 절감에 불리할 수밖에 없으며 합성효과가 적거나 미미하기 때문에 구조적 효율성도 떨어진다. 또한 대규모 건축물 특히 장스팬을 요구하는 경우에는 보춤이 커짐에 따라 층고가 높아지므로 토지의 효율적인 이용 및 재료의 경제적인 사용에서 불리해진다. 이러한 철골조 바닥시스템의 약점을 보완

한 바닥-보 시스템의 개발이 이루어지고 적용되고 있지만 아직까지는 접합부 개선, 비효율적인 단면성능 등 보완되어야 할 점을 가지고 있다. 즉, 하중을 받는 양단 고정된 보의 부모멘트는 정모멘트의 약 1.5~2 배이기 때문에, 단부와 중앙부의 단면성능을 조절하여 설계하면 모멘트 재분배로 인하여 중앙부의 단면은 단부보다 작은 단면 성능으로도 힘에 저항하여 처짐을 줄일 수 있다. 이에 층고 절감 효과와 물량 감소 효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 보 단부에 생기는 부모멘트와 중앙부에 생기는 정모멘트에 대하여 효율적으로 저항하는 부분매입형 신형상 합성보의 형상을 개발하고 역학적 성능을 검증하고자 한다. 이하 부분매입형 신형상 합성보의 단면 형상의 이름을 오메가빔(Omega Beam; 약칭 OMB)으로 부르기로 한다.

주요어: 신형상 합성보, 부분매입형, 층고 절감

Corresponding author: Yoon, Myung Ho

Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheon-an, Korea
 Tel: +82-10-6433-0341, E-mail: mhyoon@kongju.ac.kr

투고일: 2013년 9월 6일 / 수정일: 2013년 9월 16일 / 게재확정일: 2013년 9월 23일

2. Optimum Design of OMB

본 연구에서는 보의 단부와 중앙부의 단면2차모멘트비($I_1 : I_2$)에 따른 보의 재단 고정모멘트와 최대 처짐의 관계로부터 효율적인 단면비를 찾고자 하였다. 이 과정에서 전체 보의 길이와 단부 보강구간(단부보)의 길이 비(α) 또한 보의 성능과 재료 및 충고절감에 큰 영향을 미치므로 $I_1 : I_2$ 와 α 를 변수로 하여 OMB의 최적 설계 조건을 모색하였다.

2.1 OMB Subjected to Concentrated Load

양단부가 구속된 보의 기본적인 역학적 검토를 통해 형상을 정의하였다. Fig. 1은 양단 고정된 OMB에 집중하중 P 가 작용할 때의 하중도이다. 고정단보에서 단부 모멘트가 집중되는 것을 이용하여 단면2차모멘트(I)를 크게 설계하면 재분배된 모멘트에 의해 처짐을 감소시킬 수 있다. 또한 단부의 단면2차모멘트(I_1)를 증가시키면 중앙부의 단면2차모멘트(I_2)를 즉 단면적(A)을 감소시킬 수 있어 물량 감소 효과와 단부 단면과 중앙부 단면의 단차이로 설비 배관 공간을 형성함으로써 충고절감 효과를 얻을 수 있다.

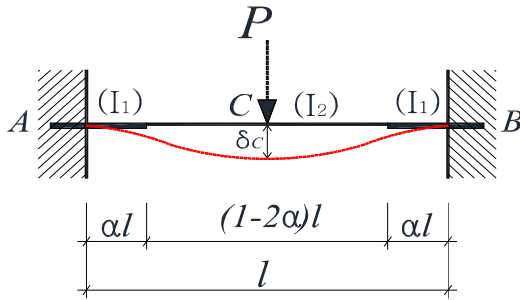


Fig. 1 OMB Subjected to Concentrated Load P

변단면 양단 고정보에 집중 하중 P 가 작용할 때의 재단고정모멘트는 식(1)에 의해 계산하였으며 단부의 단면2차모멘트(I_1)와 중앙부의 단면2차모멘트(I_2)의 비를 달리하여 산정하여 효율적인 단면2차모멘트 비($I_1 : I_2$)를 구하고자 한다. 일반 H형강의 단면2차모멘트를 기준으로 하여 변단면의 단면2차모멘트 비($I_1 : I_2$)에 따른 중앙부의 처짐량을 비교하였다.

식(1)은 α 및 $I_1 : I_2$ 에 변화에 따른 재단고정모멘트 값을 구하는 식이다.

• Fixed end moment M^*

$$M^* = \frac{Pl}{8} \cdot \left\{ \frac{I_1 + 4\alpha^2(I_2 - I_1)}{I_1 + 2\alpha(I_2 - I_1)} \right\} \quad (1)$$

Fig. 2는 식(1)에 의해서 α 값에 따른 재단고정모멘트의 변화를 나타낸 것이다. 또한 단부의 단면2차모멘트(I_1)비를 1.2, 1.3, 1.5로, 중앙부의 단면2차모멘트(I_2)비를 0.6, 0.7, 0.8로 변화시키며 경향을 알아보았다.

그림의 점선은 $\alpha = l/8 \sim l/6$ 로서 일반적인 Bracket 길이와 유사하다.

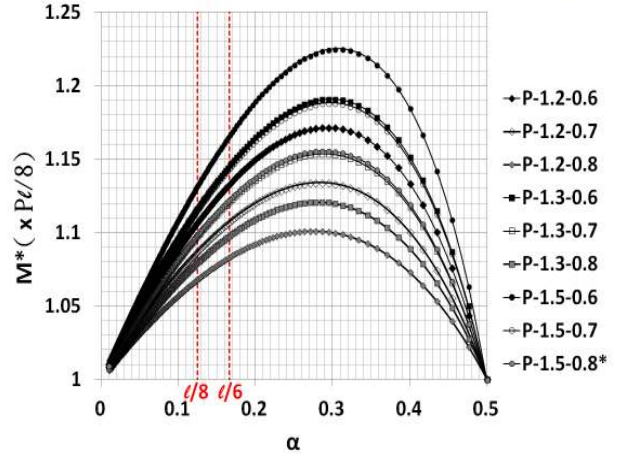


Fig. 2 Changes of Fixed End Moment Under Concentrated Load P

Fig. 3은 하중 P 가 작용할 때 α 값에 따른 처짐의 변화이다. 처짐의 비교는 단면2차모멘트가 I 인 양단 고정된 보에서 중앙에 집중하중 P 가 작용하였을 때 처짐($Pl^3/192EI$)과의 비로 나타낸 것이기 때문에 단위가 없다. 변단면을 갖는 양단고정보의 처짐(δ_C)은 식(2)에 의한 단순보의 중앙부 최대 처짐(δ_0)과 식(3)에 의한 고정단 모멘트에 의한 처짐(δ_1)의 합으로 계산된다. 집중하중 P 를 받을 때 $I_1 : I_2$ 가 1.5 : 0.8의 단면2차모멘트비를 가지는 단면이 단부와 중앙부의 단면이 같은 단면보다 작은 처짐을 보인다.

• Central deflection δ_0 due to free moment

$$\delta_0 = \frac{Pl^3}{48E} \cdot \left\{ \frac{8\alpha^3}{I_1} + \frac{1-8\alpha^3}{I_2} \right\} \quad (2)$$

• Central deflection δ_1 due to redundant moment

$$\delta_1 = \frac{M^*l^2}{2E} \cdot \left\{ \left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right) \cdot \alpha^2 - \frac{1}{4I_2} \right\} \quad (3)$$

• Resultant deflection δ_C of OMB

$$\delta_C = \delta_0 + \delta_1 \quad (4)$$

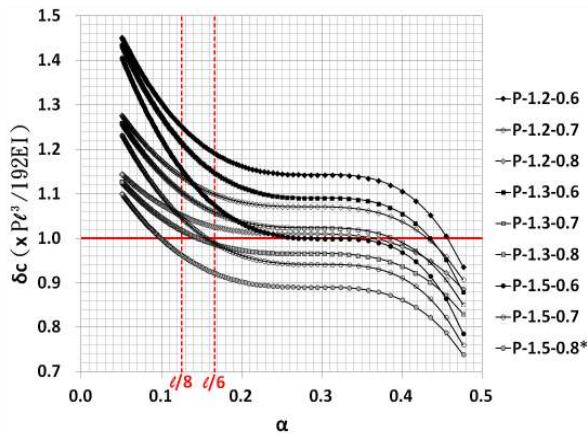


Fig. 3 Changes of Central Deflection Under Concentrated Load P

2.2 OMB Subjected to Uniformly Distributed Load

Fig. 4는 양단이 고정된 OMB에 ω 가 작용할 때의 하중도이다. 실제 구조물은 집중하중 P 보다 등분포하중 ω 에 의한 하중을 받는 경우가 일반적이다.

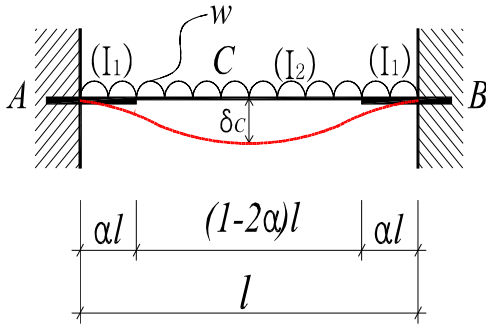


Fig. 4 OMB Subjected to Uniformly Distributed Load ω

변단면 양단 고정보에 등분포하중 ω 가 작용할 때의 재단 고정모멘트는 식(5)에 의해 계산하였으며 단부의 단면2차모멘트(I_1)와 중앙부의 단면2차모멘트(I_2)의 비를 달리하여 산정하여 효율적인 단면2차모멘트비($I_1 : I_2$)를 구하고자 한다.

식(5)는 α 및 $I_1 : I_2$ 에 변화에 따른 재단고정모멘트 값을 구하는 식이다.

• Fixed end moment M^*

$$M^* = \frac{\omega l^2}{24} \cdot K_{Mo} \quad (5)$$

$$K_{Mo} = \left[\frac{6\alpha^2 - 4\alpha^3}{I_1} + \frac{(1-2\alpha) \cdot (1+2\alpha - 2\alpha^2)}{I_2} \right] \cdot \left[\frac{\alpha}{I_1} + \frac{(1-2\alpha)}{2I_2} \right] \quad (6)$$

그림 Fig. 5은 식(5)에 의해서 α 값에 따른 재단고정모멘트의 변화이다.

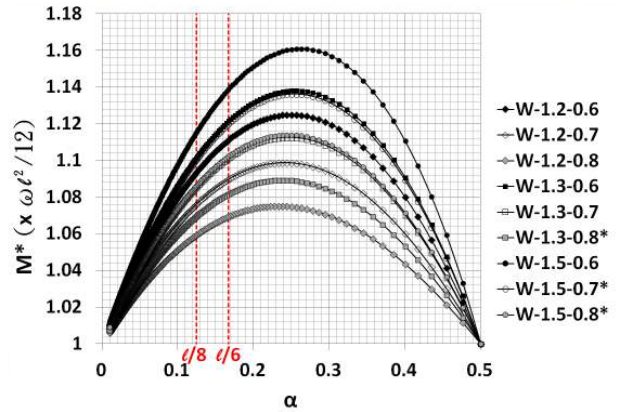


Fig. 5 Changes of Fixed End Moment Under Uniformly Distributed Load ω

Fig. 6은 하중 ω 가 작용할 때 α 값에 따른 중앙부의 처짐의 변화이다. 처짐의 비교는 단면2차모멘트가 I 인 양단고정된 보에서 등분포하중 ω 가 작용하였을 때 처짐($\omega l^4 / 384EI$)과의 비로 나타낸 것이기 때문에 단위가 없다. 변단면을 갖는 양단고정보의 처짐(δ_c)은 식(7)에 의한 단순보의 중앙부 최대 처짐(δ_0)과 식(10)에 의한 고정단모멘트에 의한 처짐(δ_1)의 합으로 계산된다. 등분포하중 ω 를 받을 때 $I_1 : I_2$ 가 1.3:0.8, 1.5:0.7, 1.5:0.8의 단면2차모멘트비를 가지는 단면이 단부와 중앙부가 일정한 단면2차모멘트(I)를 갖는 단면보다 작은 처짐을 보이고 있다.

• Central deflection δ_0 due to free moment

$$\delta_0 = \frac{\omega l^4}{24E} \cdot K_{do} \quad (7)$$

$$K_{do} = \frac{K_{Ro}}{2} - \frac{6\alpha^2 - 4\alpha^3}{I_1} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{4\alpha - 3\alpha^2}{6 - 4\alpha} \right) - \frac{3(1-2\alpha)^2(\alpha - \alpha^2)}{2I_2} - \frac{3(1-2\alpha)}{16I_2} \quad (8)$$

$$K_{Ro} = \frac{6\alpha^2 - 4\alpha^3}{I_1} + \frac{(1-2\alpha)(1+2\alpha - 2\alpha^2)}{I_2} \quad (9)$$

• Central deflection δ_1 due to redundant moment

$$\delta_1 = \frac{M^* l^2}{2E} \left[\left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right) \alpha^2 - \frac{1}{4I_2} \right] \quad (10)$$

• Resultant deflection δ_c of OMB

$$\delta_c = \delta_0 + \delta_1 \quad (11)$$

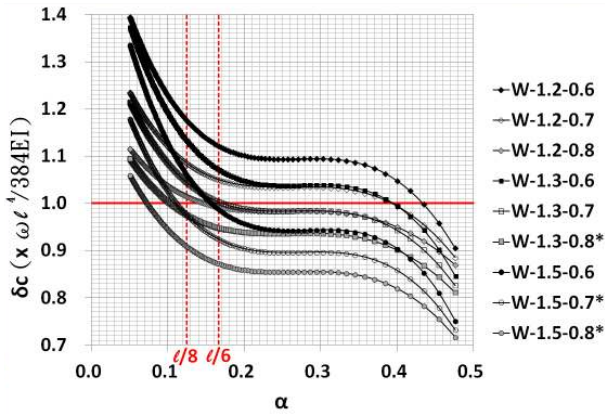


Fig. 6 Changes of Central Deflection Under Uniformly Distributed Load ω

3. Performance Evaluation

3.1 Development of OMB system

합성보의 이론적·역학적 검토를 통하여 단부는 폭이 큰 상하비대칭형강 보를 사용하고 압축력을 가지는 콘크리트가 응력을 분담하게 하여 단면의 효율성을 높이고, 중앙부는 보의 춤을 기존의 H형강보다 작게 설계하여 바닥구조 시스템의 전체 높이를 절감할 수 있는 합성보의 형상을 개발하였다. 또한 부분 매입되는 강재가 전단 연결재 역할을 하므로써 완전합성보의 형태로 단일부재의 거동을 할 수 있도록 하였다.

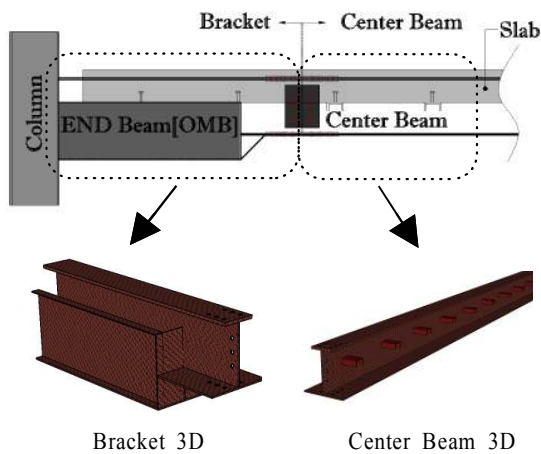


Fig. 7 Omega Beam System

3.2 Section Properties

Fig. 8은 OMB의 순철골 단면이다. Fig. 8(a)는 단면2차모멘트(I_1)의 단면성능을 갖는 OMB의 단부이고, Fig. 8(b)는 단면2차모멘트(I_2)의 단면성능을 갖는 OMB의 중앙부이다.

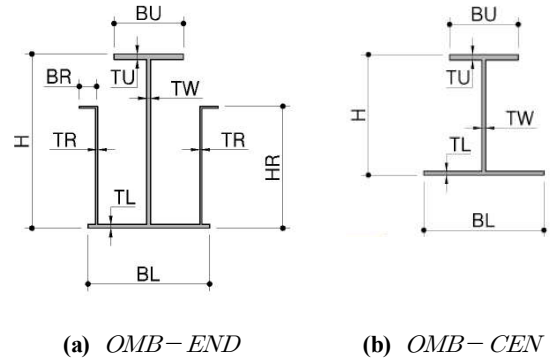


Fig. 8 Dimension of the Steel Section OMB

(OMB-H×B_U×B_L×T_W×T_U×T_L×H_R×B_R×T_R)

Fig. 9는 OMB의 합성 단면이며 강재의 단면은 순철골 단면과 같다. 합성단면에서 추가적인 기호 BE는 슬래브 유효 폭이고, BLC는 OMB 단부에서 하부 단면에 채워진 콘크리트의 유효 폭이다. HS1는 상부 플랜지 상단부터 콘크리트 슬래브 상단 면까지의 거리이며, HS2는 상부 플랜지 상단부터 콘크리트 슬래브 하단면까지의 거리이다.

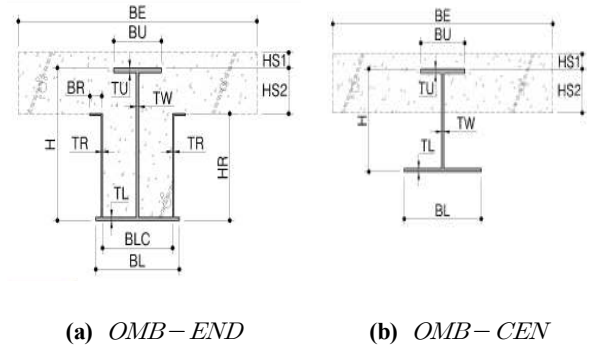


Fig. 9 Dimension of the Composite Section OMB

위 그림의 치수를 Fig. 10처럼 입력하면 간단히 OMB의 단면성능을 Fig. 11과 같이 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

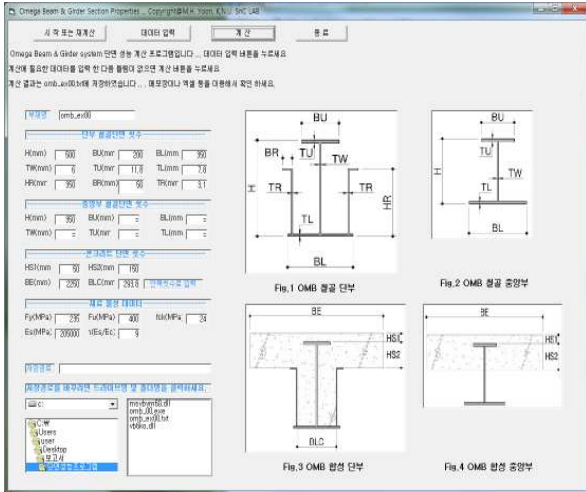


Fig. 10 Data Input Window for Design of OMB System



Fig. 11 Data Output Window for Design of OMB System

3.3 Examination of site applicability

본 연구에서 제시하는 OMB는 일반적으로 사용하는 H형강-철근콘크리트 합성보의 노출형이나 매입형과 달리 Fig. 12과 같이 상부 플랜지와 웨브의 일부분을 철근콘크리트 슬래브에 매입하는 부분매입형의 합성 형태를 가지는 신형상의 합성보 시스템이다.

OMB에서 새롭게 사용된 부분매입형의 합성형태는 일반 노출형 합성보에 비하여 철골이 슬래브에 매입되는 높이만큼의 층고절감 효과를 얻을 수 있으며, 철골의 일부가 슬래브에 매입되어 그 자체로서 슬래브와의 충분한 접합력을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 철골과 슬래브가 일체형으로 거동하기 때문에 슬래브 합성효과 또한 우수하다.

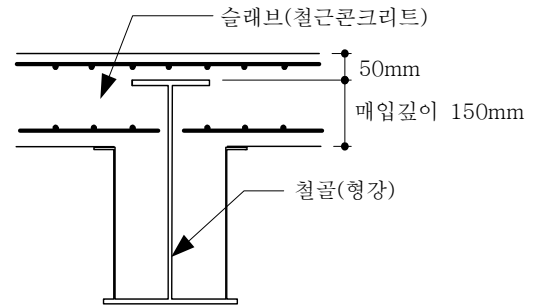


Fig. 12 Section of End Beam

게다가 별도의 전단 연결재(Shear connector)인 Stud-Bolt를 이용한 접합이 요구되지 않아 시공성과 공기단축의 이점도 얻을 수 있다.

OMB는 이러한 부분 매입형의 합성 형태뿐만 아니라 상하비대칭형 H형강 시스템을 병행하여 압축은 콘크리트가 인장은 강재가 부담하는 합성보의 응력분담 방식을 더욱 효율화하였다. 압축력의 대부분을 슬래브에서 부담하기 때문에 철골 상부플랜지의 부담이 적으므로 상부플랜지의 크기를 줄이고 철골이 주로 부담하는 하부플랜지의 인장력에 대한 저항에 집중하기 위하여 하부플랜지의 크기를 키운 상하비대칭형의 H형강을 사용하였다.

OMB는 중앙부와 단부의 치수가 다른 변단면 시스템을 채택한 합성보이다. 중앙부와 단부의 단면을 분리하여 설계함으로써 단면성능의 효율을 최적화하였다. 이러한 특징을 바탕으로 한 OMB는 우수한 층고절감효과를 통하여 경제성, 사용성을 확보함과 동시에 시공과정에서도 Stud Bolt 설치와 같은 공정이 필요 없기 때문에 시공성 측면에서도 분명한 이점이 있다.

4. CONCLUSION

부분매입형 신형상 합성보(OMB)의 단면성능에 관한 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. OMB시스템에서 단부보(End Beam)의 길이는 시공성등을 고려하여 $L/8 \sim L/6$ 정도로 한다.
2. 집중하중 P 를 받는 경우 $I_1 : I_2$ 가 1.5:0.8인 경우 I 값이 일정한 단면보다 물량 및 처짐에서 유리하다.
3. 등분포하중 ω 를 받는 경우 $I_1 : I_2$ 가 1.3:0.8, 1.5:0.7, 1.5:0.8인 경우 I 값이 일정한 단면보다 물량 및 처짐에서 유리하다.
4. 층이 다른 중앙부와 단부의 단차이는 설비공간으로 이용함으로써 층고절감 효과를 얻을 수 있다.

- 다.
5. 향후 Omega Beam의 휨 거동, 노출형 합성보와 부분 매입형 Omega Beam의 비교 등 실험을 통해 확인해볼 필요가 있다.

References

- ASCE Standards (1992), *Standard for the Structural Design : Composite Slabs*, ANSI/ASCE3-91.
- Charles W. Roeder (1985), *Point Loads on Composite Deck-Reinforced slabs*.
- Erik Stefan Bernard, Russell Q. Bridge, Gregory J. Hancock (1993), *Tests of Profiled Decks with V-Stiffeners*.
- Max L. Porter (1995), *Analysis of Two-way Action Composite*.
- Mullet, D. L. (1998), *Composite floor system*, Steel construction institute.
- Robert E. Abendroth, Max L. Porter, *Fatigue Behavior of Composite Metal Deck Slabs*, 1989.
- Steel Deck institute (1997), *Composite deck design-handbook, March*,
- Yoon, M. H. (2006), *Analysis and evaluation of Low Beam Type Steel-Concrete Composite Floor System*, Final report to RIST, SnC Lab, Kongju Nat'l Univ.
- Yoon, M. H. and Lee, Y. H. (2011), "A study on Optimum Section of New Type Steel-Concrete Composite Beam," *Korean Society for Advanced Composite Structures*.