

# 내화피복이 생략된 합성보의 구조설계지침 제정을 위한 고찰

## Structural Design Guide Line of Composite Beam

홍원기*	김진민**	이경훈***
Hong, Won-Kee	Kim, Jin-Min	Lee, Kyoung-Hun
박선치****		김점한*****
Park, Seon-Chee		Kim, Jeom-Han

### Abstract

As high rise buildings and large span spatial structures are constructed, new composite members and construction techniques are continuously developed. Wide flange steel beam can be easily constructed but the fire proofing protection is necessary and the cost is high. Nowadays environmental pollution of structures is becoming a big issue. The material of fire proofing protection is not allowed to use for structural members in several countries because it can be a cause of environment pollution. Composite beam is a new hybrid beam system which is not needed a fire proofing protection process. Composite beam has better construction capacity than that of RC system and has more economic advantages than that of wide flange steel beam. In this paper, structural design guide lines of composite beam were provided to apply design and construction.

키워드 : 내화피복, 합성보, 환경오염

Keywords : Composite beam, Fire proofing protection, Hybrid beam, Environmental pollution

### 1. 서론

현대사회를 구성하고 있는 구성원들에게 100층 이상 건물의 축조는 더 이상 놀라운 일이 아니다. 건축기술은 하루가 다르게 발전하고 있으며 이에 맞게 구조재료 및 공법의 개발도 지속적으로 이루어지고 있다. 성능이 뛰어난 구조재료나 공법을 개발하여 실제 시공에 적용하기까지는 해결되어야 할 많은 숙제들이 있는데, 그 중 구조설계지침을 마련하는 것은 신기술 등을 적용하기 위한 매우 중요한 부분이다.

건물이 고층화, 대형화됨에 따라 부재의 구성은 단일재료로 구성된 구조부재의 사용빈도가 낮아지고 여러 구조부재를 혼합하여 성능을 극대화시키는 합성부재의 사용횟수가 점차적으로 증가하고 있다. 합성보는 철골보가 콘크리트에 완전히 묻혀있는 매입형 합성보와 철골보위에 콘크리트 슬래브를 올려놓은 노출형 합성보의 두 가지 종류가 ‘건축구조설계기준[KBC 2005]’에 의하여 설계되고 있다. 두 형태의 합성보 중 사용빈도가 높은 노출형 합성보는 강재보가 외부에 노출되어 있어 내화피복공정이 필수적이며 내화피복에 사용되는 재료는 환경오염을 발생시키는 오염원이 되어 일부 선진국에서는 원천적으로 사용을 금

하고 있다.

강재보가 콘크리트에 묻혀있는 매입형의 경우 시공성이 좋지 않아 현장 적용의 빈도가 매우 낮다. 이러한 이유로 시공성이 좋으며 내화피복이 불필요한 합성보를 개발하게 되었다. 본 연구에서는 합성보의 구조설계를 위한 구조설계지침제정에 대한 연구를 수행하고자 한다.

### 2. 합성보 개요

[표 1]을 살펴보면 각 구조별 보 형식의 장점 및 단점을 기술하고 있다. 가장 오랫동안 사용되어온 RC(Reinforced Concrete)구조는 타 구조에 비하여 경제적이지만 보의 층이 커짐에 따라 층고가 증가하고 자중이 커지며 시공성이 좋지 않은 것이 단점이다. 이에 비하여 철골보는 시공성능은 우수하지만 단가가 지속적으로 상승하고 있으며 진동 등 사용성능이 저하되는 경향이 있다. 철골보와 콘크리트 슬래브로 이루어진 노출형 합성보는 두 부재를 수평단면연결재로 연결하는 형식으로 구축함에 따라 층고가 높아 고층구조물을 구축할 경우 효율성이 저하되며 내화피복 공정이 요구되므로 환경문제를 야기시킬 수 있다. 이러한 여러 구조부재의 구조적 단점을 보완할 수 있는 합성보는 층고를 낮추고 내화피복 공정이 전혀 필요 없는 신개념 합성보이다.

\* 주저자, 경희대학교 건축공학과, 부교수

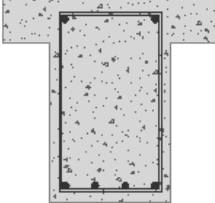

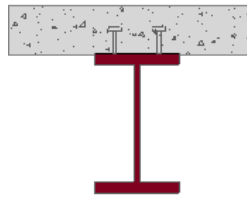
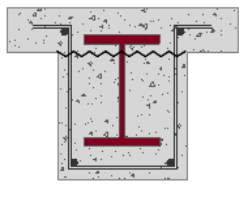
\*\* 교신저자, 경희대학교 대학원 석사과정(kjmjm@khu.ac.kr)

\*\*\* (주)크로스구조연구소 연구소장

\*\*\*\* 경희대학교 대학원 박사과정

\*\*\*\*\* (주)크로스구조연구소 대표이사

표 1. 보 구조 시스템별 장단점 비교

구분	RC보	철골보	H합성보	합성보
단면형태				
장점	경제성	시공성	층고감소 강재의 효율성	경제성, 사용성 시공성(현장타설)
단점	시공성 층고증가	경제성 층고증가	경제성	PC제작, 운반

### 3. 기존 합성보의 설계 기준

#### 3.1 ACI 318-05<sup>[1]</sup>

미국 콘크리트 설계기준인 ACI 318-05에서는 콘크리트와 철골보를 합성보로 구축하는 경우 수평전단강도를 다음과 같이 제한하고 있다.

$$V_u \leq \phi V_{nh} \quad [1]$$

여기서,  $V_u$ 는 단면의 계수전단강도,  $V_{nh}$ 는 공칭수평 전단강도이며  $\phi$ 는 강도저감계수이다.

공칭수평 전단강도  $V_{nh}$ 는 접촉면의 상태와 최소전단연결재의 유무 등에 따라 다음의 경우로 구분하여 설계하며 KBC 2005의 수평공칭 전단강도는 ACI 318-05에 준하여 작성되었다.

- ① 접촉면이 깨끗하고 레이턴스가 없으며 면을 고의로 거칠게 한 경우

$$V_{nh} \leq 80b_v d \quad [2]$$

- ② 최소전단연결재가 있고 접촉면이 깨끗하고 레이턴스가 없으나 표면을 고의로 거칠게 하지 않은 경우

$$V_{nh} \leq 80b_v d \quad [3]$$

- ③ 최소전단연결재가 있고 접촉면이 깨끗하고 레이턴스가 없으며 표면이 약 0.25" 깊이로 거칠게 만들어진 경우

$$V_{nh} = (260 + 0.6\rho_v f_y) \lambda b_v d \leq 500b_v d \quad [4]$$

여기서,  $\lambda = 1.0$  일반콘크리트  
 $\lambda = 0.85$  모래경량콘크리트  
 $\lambda = 0.75$  경량콘크리트

#### 3.2 BS 2005<sup>[2]</sup>

BS 2005의 합성보 규준을 소개하고 있는 Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structure 에서는 합성보의 대표적인 단면형상을 [그림 1]과 같이 분류하고 있다.

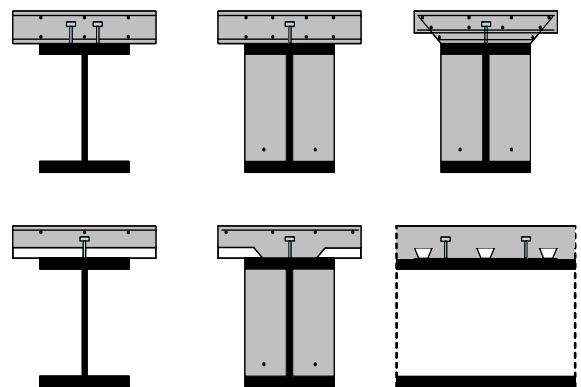


그림 1. 합성보의 단면 형상

[그림 1]중에서 철골보 웨브에 철근콘크리트를 부분적으로 충전한 합성보의 설계 예를 다음 [그림 2]과 같이 소개하고 있다.

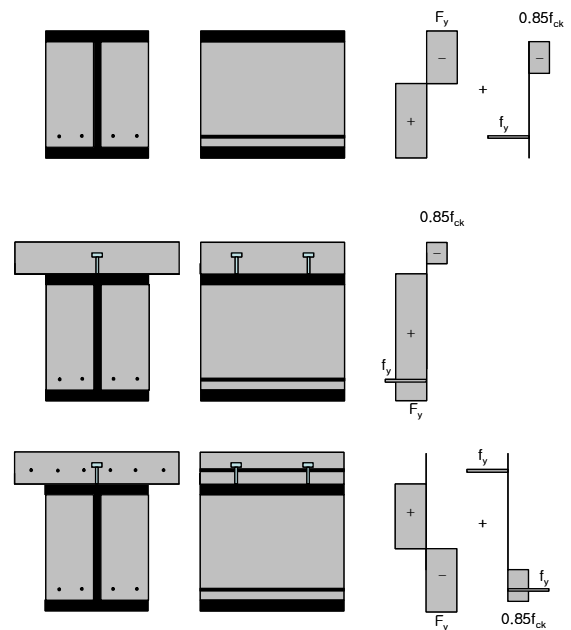


그림 2. 합성보의 소성설계

#### 4. 합성보 설계지침

합성보는 기존의 노출형 합성보 구축을 위하여 필수적으로 수행해야하는 내화피복 공정이 전혀 불필요하며 시공성능은 철골 구조의 우수한 접합부 시공을 적용할 수 있게 개발된 신개념 합성보이다. 또한 철골보의 상부플랜지를 콘크리트 슬래브 안에 매립하는 개념으로 제작됨에 따라 수평전단 연결재의 요구량을 감소시킬 수 있으며 충고를 약 10%정도 낮게 구축할 수 있어 고층건물의 축조에 매우 적합한 구조이다.

##### 4.1 한계상태설계법에 의한 합성 휨부재

건축구조설계기준 2005<sup>[3]</sup>에서는 합성보의 구조제한사항을 한계상태설계법과 극한강도설계법으로 소개하고 있는데 그 중 한계상태설계법의 구조제한사항은 다음과 같다.

##### 1) 구조제한사항

데크플레이트와 결합된 노출형 합성보

- ① 동바리를 사용하지 않을 경우, 콘크리트가 설계기 준강도  $f_{ck}$ 의 75%에 도달하기 전에 작용하는 모든 시공하중을 지지할 수 있도록 강제단면을 설계하 여야 한다.
- ② 데크플레이트(deck plate)의 공칭 골 깊이는 75mm 이하이어야 하며, 골의 폭 또는 현치의 평균 폭은 50mm 이상이어야 한다.
- ③ 데크플레이트(deck plate) 상단 위의 콘크리트 두 겹은 50mm 이상이어야 한다.

매입형 합성보

- ① 강재보의 측면과 하부는 피복두께가 50mm 이상 이어야 한다.
- ② 강재보의 상단은 슬래브의 상부면에서 최소 40mm 아래에, 슬래브 하부면에서 최소 50mm 위에 설치 되어야 한다.
- ③ 콘크리트는 탈락의 방지를 위하여 스테럽, 와이어 메시 또는 기타 철물로 적절하게 보강되어야 한다.

##### 2) 합성보의 유효폭

보 중심을 기준으로 좌우 각 방향에 대한 콘크리트 슬래브의 유효폭은 다음 중에서 최소값을 택하여 결 정한다.

- ① 보 스패(지지점의 중심간)의 1/8
- ② 보 중심선에서 인접보 중심선까지 거리의 1/2
- ③ 보 중심선에서 슬래브 가장자리까지의 거리

##### 3) 단면설계상의 가정

데크플레이트 골 내부의 콘크리트

- ① 데크플레이트의 골 방향이 강재보와 평행인 경우 에는 골 내부의 콘크리트를 단면특성 계산에 포 함할 수 있고, 강재보에 직각인 경우에는 포함할 수 없다.
- ② 강재보에 직각인 경우에 있어서 데크플레이트

(deck plate)가 연속하지 않고, 절단 및 격리되어 있으면 격리된 부분에 채워진 콘크리트는 포함할 수 있다.

정모멘트에 대해 소성응력분포로 단면설계 할 경우, 정모멘트 구간에서 슬래브가 시어커넥터로 강재보에 연결되어야 하며, 다음과 같이 가정한다.

- ① 콘크리트 응력  $0.85f_{ck}$ 가 유효 압축구간에 균등하 게 분포한다.
- ② 콘크리트의 인장강도는 무시한다.
- ③ 강재의 항복강도  $F_y$ 는 강재단면의 인장과 압축구 간을 통해 균등하게 분포한다.

부모멘트에 대해 소성응력분포로 단면설계 할 경우, 매입형 합성보의 설계를 따른다.

##### 4) 매입형 합성보의 설계휨강도

슬래브와 일체로 콘크리트에 완전하게 매입된 강재보 는 시어커넥터가 없어도 완전합성으로 간주하며, 횡 좌굴을 고려하지 않아도 된다. 정모멘트 및 부모멘트 의 설계휨강도  $\Phi M_n$ 은 다음과 같이 산정한다.

- ① 철근 및 콘크리트 효과를 무시하고 강재단면 만으 로 하는 경우  $\Phi=0.90$ 이며,  $M_n$ 은 강재보의 판폭두 겹비 값을 고려하지 않고, 소성모멘트  $M_p$ 로 산정 한다.
- ② 철근 및 콘크리트 효과를 포함하여 합성단면으로 하는 경우  $\Phi=0.85$ 이며,  $M_n$ 은 강재보의 판폭두 겹비 값을 고려하지 않고 소성모멘트  $M_p$ 로 산정한다.

##### 5) 설계전단강도

① 합성보의 설계전단강도는 강재보의 웨브에만 의존 하며, 강재의 설계전단강도 규정에 따라 산정한다.  
 ② 합성보의 전단력에 대한 안전측의 설계방법으로서 모든 전단을 H형강 강재단면의 웨브만이 부담하 도록 하였다. 이 방법은 콘크리트 슬래브의 역할 을 무시하고 설계를 단순화시킨 것이다. 그러나 매입형 합성보는 스테럽을 사용한 철근콘크리트보 와 합성되어 있으므로 철근콘크리트 부분의 전단 강도를 포함할 수 있다.

##### 6) 전단보강 철근의 구조제한

- ① 전단보강 철근은 9mm 이상의 원형철근 또는 D10 이상의 이형철근을 사용한다.
- ② 전단보강 철근은 압축측 강재 및 철근 등 전강재 가 단면 내에 포함되도록 하여 주근 내부의 콘크 리트를 충분히 구속할 수 있도록 배치한다.
- ③ 스테럽의 최대간격은 보춤의 3/4 이하 또는 45cm 이하로 한다.

##### 7) 처짐

- ① 합성보의 처짐은 탄성이론에 의해 산정하며, 콘크

리트 타설시 안전성과 건물 사용시 사용성을 유지하여야 한다.

- ② 동바리를 사용하지 않는 경우 고정하중에 의한 처짐은 강제 보만의 단면 2차 모멘트  $I_s$ 를, 적재하중에 의한 처짐은 유효단면 2차 모멘트  $I_e$ 를 사용하여 계산한다.
- ③ 동바리를 사용하는 경우 고정하중과 적재하중에 의한 처짐 모두 유효단면 2차 모멘트  $I_e$ 를 사용하여 계산한다.

8) 수평 전단력

매입형 합성단면을 제외하고는 강제보와 슬래브면 사이의 전체 수평전단력은 스테럽과 슬래브에 묻힌 강제보의 웹에 의해서 전달된다고 가정해야 한다. 휨모멘트를 받는 강제보와 콘크리트가 합성작용을 이루기 위해서는 총 수평전단력은 해석상의 값과 상관 없이 다음과 같이 산정한다.

- ① 최대 정모멘트점과 영(0)모멘트점 사이의 총 수평전단력  $V_s$ 는 다음 중 작은 값으로 한다.

$$V_s = F_y A_s \quad [5]$$

$$V_s = 0.85 f_{ck} b_e t_c \quad [6]$$

다만, 작은 보를 불완전합성보로 설계할 경우, 상기 수평전단력 값을 50%까지 저감할 수 있다.

- ② 최대 부모멘트점과 영(0)모멘트점 사이의 총 수평전단력  $V_s$ 는 다음 값으로 한다.

$$V_s = F_{yr} A_r \quad [7]$$

4.2 강도설계법에 의한 합성콘크리트부재

1) 휨부재의 수직전단강도

- ① 합성휨부재의 전체 단면이 수직전단을 저항한다고 가정하는 경우에는 동일한 단면 형상의 일체로 시공된 부재에 관한 「KBC 2005, 0506.7 슬래브 구조를 지지하는 압축부재」의 요구조건들을 만족하도록 설계하여야 한다.
- ② 전단철근은 상호 연결된 부재 속으로 충분히 정착되어야 한다.
- ③ 연장되거나 정착된 전단철근을 수평전단에 대한 전단보강철근으로 취급할 수 있다.

2) 수평전단에 대한 연결재

- ① 수평전단을 전달시키기 위해 전단연결재가 사용되었을 때, 연결재의 단면적 「KBC 2005, 0507.3.5.3 전단 철근의 최소단면적」의 규정에서 요구하는 면적이상이어야 한다. 또한 연결재의 간격은 지지 요소의 최소 치수의 4배, 또한 600mm 이하이어야 한다.

- ② 수평전단에 대한 연결재로는 단일철근이나 철선, 다중 스테럽 또는 용접철망의 수직철근 또는 슬래브속에 묻히는 강제보의 웹 등이 사용될 수 있다.
- ③ 모든 전단연결재는 상호 연결된 요소들에 충분히 정착되어야 한다.
- ④ 최소전단연결재의 면적

$$A_v = 0.35 \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad [8]$$

3) 구조용 강재를 철근콘크리트로 보강한 합성휨부재

- ① I형보를 포함한 구조용 강재를 철근콘크리트로 보강한 합성휨부재는 다음 ②~④까지의 규정을 만족해야 한다.
- ② 콘크리트의 건조수축과 크리프는 「KBC 2005, 0502.2.2.5 콘크리트의 크리프」와 「KBC 2005, 0502.2.2.6 콘크리트의 건조수축 변형률의 규정에 따르며, 실험에 의한 자료를 사용할 수 있다.
- ③ 휨부재 설계의 제한사항은 「KBC 2005, 0517.3.3 휨부재 설계의 제한사항」의 규정에 따라야 한다.
- ④ 전단연결재의 설계는 「KBC 2005, 0517.3.3 수평전단에 대한 연결재」의 규정과 「도로교 설계기준」의 해당 규정에 따라야 한다.

4.3 합성보의 소성설계

합성보는 한계상태설계법에 의한 소성설계와 허용응력설계의 두 가지 방법으로 설계를 수행한다. [그림 3]는 소성설계법에 의한 매입형 합성보의 설계모멘트를 계산하는 단면의 응력상태를 나타낸 그림이다. 콘크리트의 압축응력 블록깊이  $a$ 는 힘의 평형관계를 이용하여 [식 9]와 같이 구할 수 있다. 압축철근은 특별한 상황을 제외하고는 스테럽을 고정시키는 역할 외에는 구조적 역할을 수행하지 않는 것으로 고려한다. 그 이유는 압축철근을 구조적 재료로 사용하기 위해서는 접합부에 용접을 하거나 충분한 정착길이를 확보해야 하기 때문에 시공성이 크게 저하되는 요인이 될 수 있다.

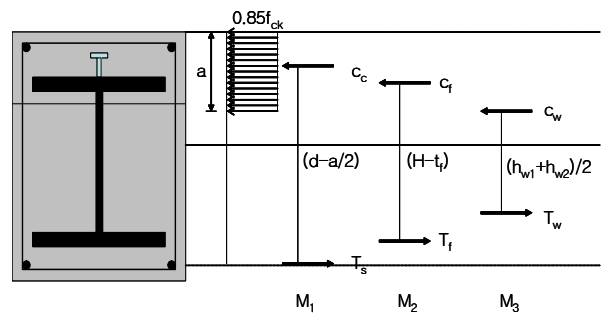


그림 3. 매입형 합성보의 설계휨모멘트

$$a = \frac{A_s f_y + (A_{w2} - A_{w1}) F_y}{0.85 f_{ck} b} \quad [9]$$

합성보의 전단성능은 시공 중에는 철골보의 웨브에서 전담하는 것으로 간주하며 완공 후에는 완전 매입형에 한하여 콘크리트의 전단성능을 추가로 설계에 반영할 수 있다.

#### 4.4 설계제한사항

보의 휨과괴 양상은 인장과괴, 압축과괴 및 균형과괴의 세 가지 형태로 나타난다.<sup>[4]</sup> 인장과괴는 인장측 철근이 먼저 항복에 도달하는 파괴양상으로 보 부재가 완전히 붕괴되기 전에 미리 위험을 감지할 수 있어 파괴양상 중 가장 적합한 파괴양상이라 할 수 있다. 압축과괴는 인장측 철근이 항복에 도달하기 전에 압축측 콘크리트의 변형률이 극한변형률인 0.003에 도달하는 파괴양상으로 이러한 파괴양상은 갑작스런 구조물의 붕괴모드를 야기시킬 수 있으므로 가장 부적절한 파괴양상으로 분류된다. 균형과괴는 인장측 철근이 항복하는 순간에 압축측 콘크리트도 극한상황에 도달하는 경우의 파괴양상이다. 따라서 보에서는 압축과괴, 즉 취성과괴의 파괴양상을 피하고 인장과괴양상으로 파괴모드를 유도하는 구조적 제한이 필요하다. [그림 4]에서 인장측 철근이나 압축측 철근이 압축측 콘크리트가 극한상황에 도달하기 전에 먼저 항복을 하면 합성보 부재는 인장과괴 양상이 나타나게 되어서 다음 [식 10]과 [식 11]중 한 가지 조건을 만족해야 한다.

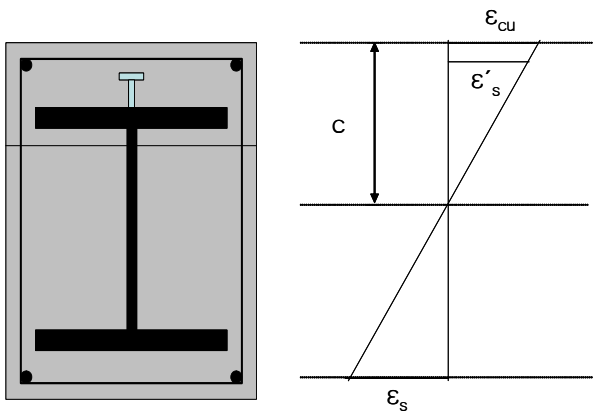


그림 4. 매입형 합성보의 변형률

i) 압축측 철근이 먼저 항복할 조건

$$3d'_t \leq c \quad [10]$$

ii) 인장측 철근이 먼저 항복할 조건

$$c \leq \frac{3}{5}d \quad [11]$$

#### 5. 결 론

본 연구에서는 내화피복이 필요 없는 합성보에 대하여 다루었다. 내화피복에 사용되는 재료는 심각한 환경오염원으로 취급되어 현재 일본 등지에서는 신축공사에 적용을 금하고 있다. 이처럼 환경오염에 대한 문제는 모든 이들이 관심을 가지고 해결

해야할 과제이다. 본 연구에서 소개한 합성보는 기존에 많이 적용되고 있는 노출형 합성보와 철골보의 우수한 시공성을 그대로 유지하며 내화피복 공정은 전혀 필요하지 않은 새로운 합성보 시스템이다. 이러한 신개념 합성보의 설계 및 시공을 위해서 본 연구에서는 한계상태설계법과 강도설계법에 의한 소성설계 및 허용응력설계 방법을 마련하였으며 취성과괴를 방지하기 위한 구조제한사항을 제시하였다. 차후 구조설계지침 제정을 위하여 실제 시공에 적용하고 분석하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 [2단계 BK21사업]의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. ACI 318-05 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
2. Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures-Part 1: General rules and rules for buildings.
3. 건축구조설계기준[Korean Building Code-Structural] 2005, 대한건축학회
4. 최신 철근콘크리트 공학, 안주옥 외, 2004

#### Notations

- $A_r$ : 주철근의 단면적
- $A_s$ : 강재의 단면적
- $A_v$ : 간격 s내의 전단철근의 단면적
- $A_w$ : 웨브의 단면적
- $F_y$ : 강재의 항복강도
- $F_{yr}$ : 보강 철근의 설계항복강도
- $H$ : 강재보의 높이
- $I_e$ : 합성보의 유효단면 2차 모멘트
- $I_s$ : 강재보의 단면 2차 모멘트
- $M_n$ : 보의 공칭 휨 모멘트
- $M_p$ : 보의 소성 휨 모멘트
- $V_s$ : 합성보의 수평전단 연결재 산정을 위한 수평전단력
- $V_u$ : 단면의 전단력
- $a$ : 콘크리트 압축블록의 응력깊이
- $b$ : 보의 폭
- $c$ : 콘크리트 압축측 연단에서 중립축까지의 거리
- $b_e$ : 수평전단면의 폭
- $b_v$ : 수평전단에 대해 검토되는 접촉면적의 단면 폭
- $b_w$ : 부재의 복부 폭
- $d$ : 보의 유효깊이
- $d'_t$ : 콘크리트 압축측 연단에서 압축철근 중심까지의 거리
- $f_{ck}$ : 콘크리트의 공칭 압축강도

$f_y$ : 철근의 설계기준강도

$h_w$ : 웨브의 높이

$s$ : 전단철근의 간격

$t_c$ : 콘크리트 슬래브의 유효두께

$t_f$ : 플랜지 두께

$\epsilon_{cu}$ : 콘크리트의 극한 변형률

$\epsilon_s$ : 인장철근의 변형률

$\epsilon'_s$ : 압축철근의 변형률

$\lambda$ : 경량콘크리트 계수

$\rho_v$ : 접촉면적에 대한 전단연결재 면적의 비