

합성보의 STUD SHEAR CONNECTOR 設計方法 에 對하여

On the Structural Design of Stud Shear Connector of Composite Beams

朴 福 萬*
Park, Bok Man
金 亨 基**
Kim, Hyong Kee

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1. 概 論 | 4-3 휨모멘트에 대한 斷面特性的 算定 |
| 2. 合成構造의 研究動向과 發達史 | 4-4 SHEAR CONNECTOR의 設計 |
| 3. 設計方針 | 4-5 SHEAR CONNECTOR의 配置 |
| 4. 合成보의 設計 | 4-6 SHEAR CONNECTOR의 設計耐力 |
| 4-1 슬래브의 有效幅과 有效두께 | 4-7 實際設計比較 |
| 4-2 斷面設計 | |

1. 概 論

오늘날 高層建築物에서 鐵骨보위에 바닥 슬래브構造를 많이 使用하고 있다.

합성보構造는 鐵骨보와 콘크리트 바닥構造의 合成정도에 따라서 보의 耐力과 剛性에 큰 영향을 주게 된다. 이에 두 材料의 合成作用을 얻고 一體化하기 위하여 SHEAR CONNECTOR가 필요하게 된다. 바닥 슬래브와 鐵骨보를 結合해서 合成보를 함으로서 鐵骨보만의 狀態와 比較해서 휨강도 및 剛性이 增加하는 效果를 얻을 수가 있다. 또 合成보에서는 바닥과 보의 結合이 堅固하므로 水平力 傳達要素로서 바닥作用이 確實해진다는 利點도 있다.

합성보에 使用되는 SHEAR CONNECTOR로는 RIGID, FLEXIBLE, BOND CONNE-

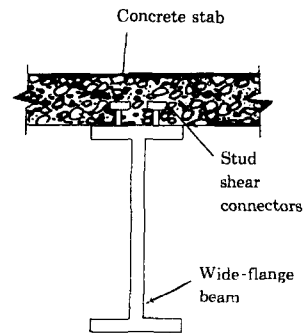


그림 1. 合成보

CTOR 등이 있으나 요즘에는 FLEXIBLE CONNECTOR의 一種인 STUD CONNECTOR를 주로 使用하는 추세이다. STUD SHEAR CONNECTOR는 SPIRAL이나 HOOK, STIFF CONNECTOR에 比較하여 工作

* 建築技術士(建築構造), 工博, 明知大學校 教授

** 日本東京大學院 構造專攻

성이 좋으며 또 방향성이 없고 ARC 용접방식에 의한 STUD 자동용접 GUN의開發로 CHANNEL이나 ANGLE을 이용한 CONNECTOR보다 간편하게 使用할 수 있는 特徵을 가진다.

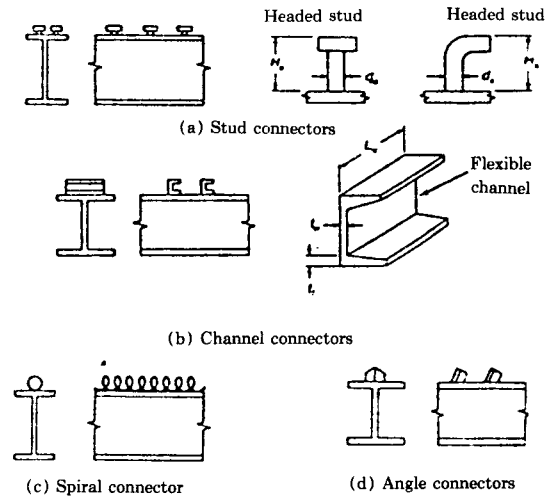


그림 2. Shear Connector의 種類

2. 合成構造의 研究動向과 發達史

여러 形態의 SHEAR CONNECTOR가 1920년 초부터 合成構造에 使用된후 오늘날에는 橋梁과 建物시방서에 STUD와 CHANNEL CONNECTOR가 包含되어 있지만 STUD CONNECTOR만이 거의 使用되고 있는 實情이다.

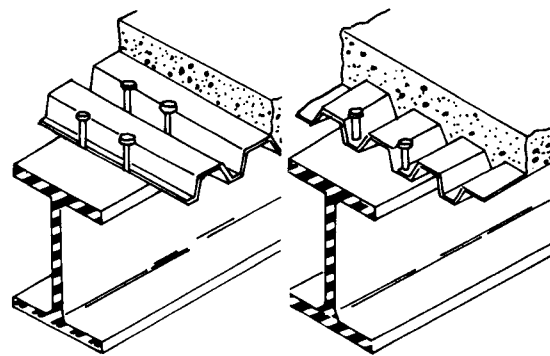
STUD SHEAR CONNECTOR에 대한 初期研究는 VIEST에 의해 始作되었다. STUD을 여러가지 規格과 間隔으로 配置하여 실물크기의 PUSHOUT METHOD로서 實驗하였다. 그후 LEHIGH大學에서 THURLIMANN이 BENT와 HEADED STUD를 使用하여 實驗하였고 그후 SLUTTER 등은 보實驗과 PUSHOUT實驗을 통해 SHEAR CONNECTOR耐력을 콘크리트 壓縮強度와의 函數關係式으로 發表했다. 이러

한 實驗들은 普通強度의 콘크리트를 中心으로 한 實驗이었다.

그후 1961년 이후에는 構造體의 自重을 줄이기 위해서 輕量콘크리트를 使用한 合成보의 研究를 實行하였다. 이러한 研究의 結果 輕量콘크리트에 묻힌 SHEAR CONNECTOR의 耐력을 普通콘크리트에 묻힌 STUD耐력보다 5~40%적다는 것이 究明되었다.

그러나 比較的 긴 스패의 合成보에서는 鐵骨보 斷面이 커지게 되므로 中立軸이 鐵骨보 中心쪽으로 移動하게 되므로 壓縮側 웨브의 좌골에 대한 幅 두께比의 構造制限을 감안하여야 할 것이다. 따라서 콘크리트 슬래브의 強度를 增加시켜 中立軸이 보다 슬래브 밑면에 接近시키게 하는 것이 바람직하게 되므로 長 스패의 合成보일수록 高強度 콘크리트를 使用한 경우가 構造적인 면에서 有利하다고 할 수 있다.

한편 合成보에서 바닥거푸집을 겸한 DECK PLATE를 鐵骨보에 깔고 콘크리트를 打設하고 있다. DECK PLATE를 使用하면 콘크리트 거푸집 등이 不必要하기 때문에 作業이 簡便하고 工期를 줄일 수 있고 設備面에서는 DECK의 흠에 電氣配線이나 닥트를 設置하는데도 有利하다.



(a) Deck Plate Rib가 철골보에 직각인 경우 (b) Deck Plate Rib가 철골보에 평행인 경우

그림 3. 分離되지 않은 Deck Plate가 設置된 合成보

3. 設計方針

합성보는 鐵筋콘크리트 슬래브와 鐵骨보를 合成시키는 SHEAR CONNECTOR 라는 鋼接 接합부재가 있어서 그 舉動에 따른 設計를 하기 는 힘들다. 實用的인 設計法은 꽤 簡略化한 것이 되지 않을 수 없으나 그래서 다음과 같은 여러가지의 設計方針을 생각할 수 있다.

- 斷面 終局耐力設計 (塑性設計)
 - 許容應力度設計 가설받침기둥이 있는 경우
 - 彈性設計 이 있는 경우
 - 가설받침기둥이 없는 경우

- SHEAR CONNECTOR의 設計
 - 終局耐力設計(塑性設計) 完全合成
 - 不完全合成

許容應力度設計(彈性設計)
 彈性解析, 許容應力度法에 의한 合成보의 斷面 設計는 鋼과 콘크리트의 영계수比의 設定, 材料別 許容應力度의 의미, 許容耐력과 終局耐력의 關係 등 철근콘크리트 構造設計法이 안고 있는 것과 같은 問題點을 안고 있다.

合成보 斷面の 彈性應力分布에는 슬래브打設 시에 設置한 가설받침기둥의 撤去시기의 影響이 크다. 콘크리트가 충분히 硬化된 다음에 가설기둥을 철거하면 보自重을 포함한 全荷重을 合成보 斷面이 負擔한다. 한편 슬래브打設시 가설받침기둥을 設置하지 않으면 鐵骨보 自重이나 콘크리트 슬래브自重은 철골보만이 負擔하고 콘크리트 硬化後에 作用하는 荷重 예컨대 積載荷重을 合成斷面이 負擔한다.

SHEAR CONNECTOR의 設計法에는 彈性設計와 塑性設計 두 方法이 있다. SHEAR CONNECTOR 에 슬래브와 철골보가 완전히 一體化 되어 있다고 假定하고 SHEAR CONNECTOR 에 작용하는 水平 剪斷力을 彈性解析으로 구해 그 값이 SHEAR CONNECTOR의 許容내력을 넘지 않게 SHEAR CONNECTOR 配置 등을 設計한다. 이것이 彈性設計이다. 이 方法은 橋梁 關係에서는 이 設計法이 취해지고 있다.

한편, 合成보가 塑性崩壞하는 狀態에서 그때 슬래브와 鐵骨보를 연결해 두는데 필요한 終局耐力를 갖는 SHEAR CONNECTOR 로 設計하는 方法이 있다. 이것이 塑性設計이고 우리나라 規準이나 AISC SPEC의 SHEAR CONNECTOR 에 관한 設計 指針으로 쓰이고 있다.

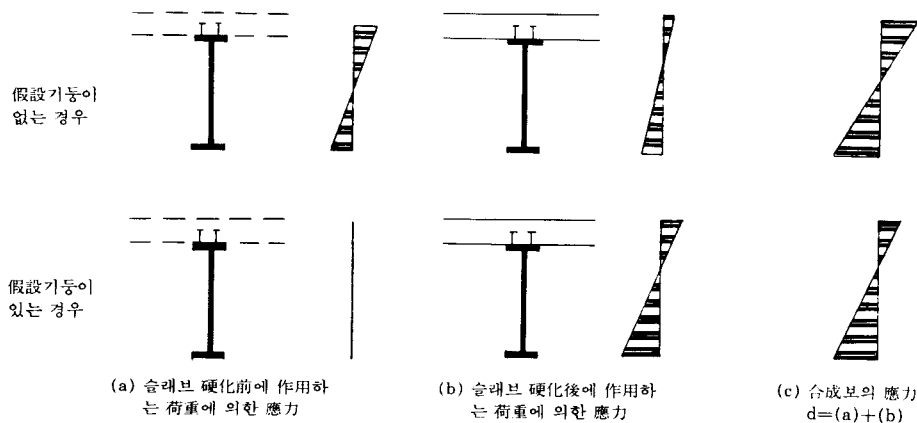


그림 4. 施工時 假設기둥의 有無에 따른 合成보의 應力

4. 합성보의 設計

4-1 슬래브 有效幅과 有效두께

가. 鐵骨과 콘크리트슬래브로 된 合成보 設計는 剛比算定과 斷面算定時 슬래브의 有效幅을 결정할 必要가 있다. 有效幅은 規準에 따라 다소 달리 표현하고 있으나 韓國規準에 의하면 다음 값중 가장 적은 것으로 한다.

1) T형보

$$B=16t+b$$

B=양측 슬래브의 중심거리

$$B=1/4(\text{철골보부재의 스패})$$

2) 반 T형보

$$B=6t+b$$

B=철골보 부재의 외측부터 슬래브중심까지 거리

$$B=1/12(\text{철골보 부재 스패})$$

나. 有效두께: 鐵骨보위에 DECK PLATE를 깔고 콘크리트를 부어넣는 合成보는 DECK PLATE 흠속의 콘크리트가 슬래브의 一部로서 약간 協力作用한다.

4-2 斷面設計(정 휨모멘트를 받고 完全合成 경우)

가. 가설받침기둥이 있을 경우

$$t\sigma_s = \frac{Md+M1}{tZ_{tr}} \leq fb \quad (\text{式 1})$$

$$c\sigma_c = \frac{Md+M1}{N \times cZ_{tr}} \leq 0.4Fc \quad (\text{式 2})$$

나) 가설받침기둥이 없을 경우

1) 콘크리트 強度가 設計基準強度의 75% 以下인 경우

$$c\sigma_s = \frac{Md}{tZ_s} \leq fb \quad (\text{式 3})$$

2) 콘크리트 強度가 設計基準強度의 75% 以上인 경우

$$t\sigma_t = \frac{Md+M1}{tZ_{tr}} \leq fb \quad (\text{式 4})$$

$$t\sigma_s = \frac{Md}{tZ_s} + \frac{Mc}{tZ_{tr}} \leq 1.35fb \quad (\text{式 5})$$

(記號):

$t\sigma_s$: 合成보의 引張側플랜지의 휨應力度

$c\sigma_c$: 合成보의 壓縮側콘크리트의 휨應力度

Md : 固定荷重에 의한 휨모멘트

$M1$: 積載荷重에 의한 휨모멘트

tZ_s : 鐵骨보 斷面만의 引張側 斷面計數

tZ_{tr} : 合成보의 引張側 플랜지線斷의 換算斷面計數

cZ_{tr} : 合成보의 壓縮側 콘크리트線斷의 換算斷面計數

Fc : 콘크리트의 設計基準強度

fb : 鋼材의 許容 휨應力度

4-3 휨모멘트에 대한 斷面特性의 算定(정 휨모멘트가 作用하는 경우)

그림에서 鐵骨보 下플랜지에 대한 斷面 1次모멘트에서

$$\begin{aligned} & Bt/n(H+hr+t/2) + As(H/2) \\ & = (Bt/2 + As)y_b \end{aligned} \quad (\text{式 6})$$

$k = Bt/nAs = Ac/nAs$ 라면

$$y_b = H/2(k+1) + (k/k+1)(H+hr+t/2) \quad (\text{式 7})$$

(그림 5)에서 환산단면의 중립축에 대한 단면 2차모멘트 I_{tr} 은

$$I_{tr} = I_s + As\{y_b - (H/2)\}^2 + Bt/12n + Bt/n(H+hr+t/2 - y_b)^2 \quad (\text{式 8})$$

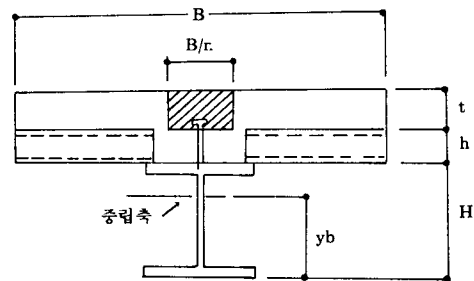


그림 5.

4-4 SHEAR CONNECTOR 設計

슬래브와 철골보 플랜지사이의 剪斷力을 合成構造에서는 水平剪斷力이라고 한다. SHEAR CONNECTOR 은 이 水平剪斷力에 대하여 設計하지만 水平剪斷力은 彈性係와 塑性係의 2가지 方法으로 생각할 수 있다.(그림 6)

彈性係의 方法에는 바닥슬래브와 鐵骨보가 완전히 一體化되어 있다고 보고 보통 彈性解析에 의해 剪斷應力을 구한다. 이런 設計方法은 橋梁關係에 많이 쓰이고 있다.

한편 塑性設計方法에는 合成보의 塑性힌지斷面의 바닥슬래브에 생기는 壓縮合力을 塑性힌지점과 반곡면점 사이에 생기는 全水平剪斷力으로 생각하고 이 구간에 配置한 全 SHEAR CONNECTOR 가 이것을 負擔한다.

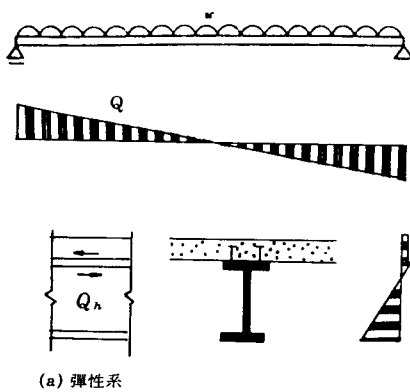
따라서 合成보 正모멘트가 作用하는 部分에서 水平剪斷力은 다음 式중에서 작은 값으로 한다. 우리나라 規準에서는 이 水平剪斷力을 安全率 2.0으로 나눈 값을 使用하고 있다.

$$Q_h = 0.85A_c F_c, Q_h = A_s F_y \quad (\text{식 } 9)$$

여기서,

A_c : 有效콘크리트플랜지의 斷面積

A_s : 鋼材보의 斷面積



4-5 SHEAR CONNECTOR의 配置

SHEAR CONNECTOR 은 여러종류의 것이 있으나 대부분 STUD SHEAR CONNECTOR 를 쓴다. 水平剪斷力을 塑性적으로 생각할 때는 SHEAR CONNECTOR 도 塑性적으로 생각할 때는 SHEAR CONNECTOR 도 塑性적으로 作用하는 것이 아니면 矛盾이 생긴다. 그 점 STUD CONNECTOR 나 용접철근은 韌性이 풍부하므로 終局狀態以前이라도 水平剪斷力을 平等하게 分擔하는 傾向이 크다고 볼 수 있다. 따라서 STUD CONNECTOR의 配置는 水平剪斷力을 算定한 區間에서 剪斷力을 等分해서 分擔한다고 보된다. 이 경우 STUD 갯수만이 문제이므로 等間隔으로 配置하는 것이 施工上 便利하다. 단순보는 (그림 7)과 같은 塑性힌지가 1개 생기면 崩壞한다. 따라서 塑性힌지 양측에 각각 Q_h 의 水平剪斷力이 생기므로 Q_h / q_s 개씩의 STUD CONNECTOR 를 각각 같은 間隔으로 配置하는 것이 좋다. 그러나 이런 方法에 의하면 STUD CONNECTOR의 配置設計에 있어서는 塑性힌지의 位置를 精確히 豫測하지 않으면 不되게 되며 荷重分布 상황에 따라 그 作業은 약간 번잡한 것이 된다. 그러나 實驗 및 解析에 의하면 결국 보통의 경우 $2Q_h / q_s$ 개의 STUD CON-

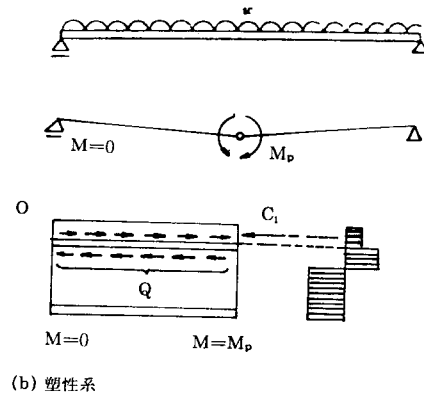


그림 6. 水平剪斷應力 Q_h

NECTOR 를 보의 스펠전체에 걸쳐 같은 간격으로 配置해도 實用상으로 障碍는 없으며 荷重 分布豫測의 不確實성 등도 고려한다면 오히려 該편이 無難하다고 생각된다.

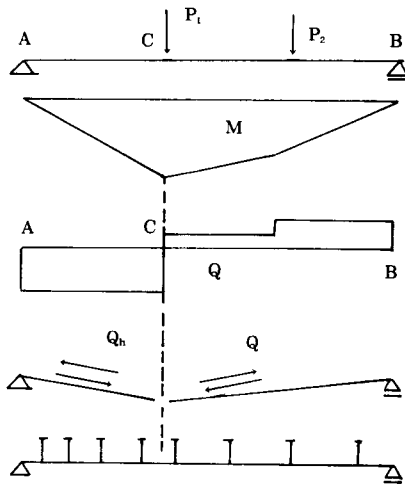


그림 7. Stud Shear Connector의 配置

4-6 SHEAR CONNECTOR의 設計耐力

STUD SHEAR CONNECTOR의 耐力에 대해서 주로 實驗에 의해서 提案된 式이 쓰이고 있다. STUD CONNECTOR의 耐力는 당연히 STUD 주변의 콘크리트 拘束 狀況에 따라 다르다.

가) 우리나라 規準에서는 철근 콘크리트 슬래브인 경우의 STUD CONNECTOR 設計剪斷耐力는 終局剪斷耐力 q_s 를 安全率 2.0로 나눈 값이다.

$$q_s = 0.5 A_s \sqrt{E_c F_c} \quad (式 10)$$

단, A_s : STUD CONNECTOR의 斷面積

E_c : CONCRETE의 영係數

F_c : CONCRETE의 壓縮強度

나) DECK PLATE 設置한 경우의 STUD CONNECTOR의 設計剪斷耐力는 q_s 의 剪斷耐力값에 다음 條件에 따라서 減少係數를 適用한

다.

1) DECK PLATE RIB가 鐵骨보에 直角인 경우.

$$\phi = \frac{0.85br}{hr\sqrt{nr}} \left(\frac{hc}{hr} - 1.0 \right) \leq 1.0 \quad (式 11)$$

2) DECK PLATE RIB가 鐵骨보에 水平인 경우.

$$\phi = 0.6 \left(\frac{br}{hr} \right) \left(\frac{hc}{hr} - 1.0 \right) \leq 1.0 \quad (式 12)$$

단, br : DECK PLATE RIB의 平均幅

hr : DECK PLATE RIB의 憵

hc : STUD CONNECTOR의 憵

nr : DECK PLATE RIB당 STUD CONNECTOR 個數

4-7 實際設計比較

다음 (그림 8)과 같이 같은 條件에서 實際構造物을 合成보, 一般鐵骨보, 鐵筋콘크리트보로 韓國 鋼構造 및 鐵筋콘크리트 計算規準에 따라 設計하여 比較해 본다.(단, 보의 自重은 각기 주어진 條件에 맞게 入力한다.)

(그림 8)과 같은 建物の 보 AB를 設計하시

오.

(條件)

스팬 $L=10m, 15m$ (2種類)

$L.L=300kg/m^2$ 보간격 $S=2.5m$

간막이벽 $=80kg/m^2$ 천정 $=30kg/m^2$

슬래브두께 $t=10cm$

슬래브지지조건: 兩端 單純지지

$F_c=210kg/cm^2$ ($n=15$), SS41, SD24, SD40

여기서 보 AB를 스펠 $L=10m, 15m$ 의 境遇의 設計結果斷面은 다음과 같다.

위 表에서 보춤이 合成보, 鐵骨보 및 RC보로 각기 設計하여 본 結果 10m 스펠에서는 50cm, 55cm, 60cm이고, 15m 스펠에서는 70cm, 80cm, 90cm로써 스펠이 커지면 커질수록 合成보를 使用하면 보의 憵을 줄일 수 있고 처짐에도 有利하다. 물론 STUD SHEAR CONNECTOR를 設置해야 한다는 번거로움이 있지만 장스팬일수

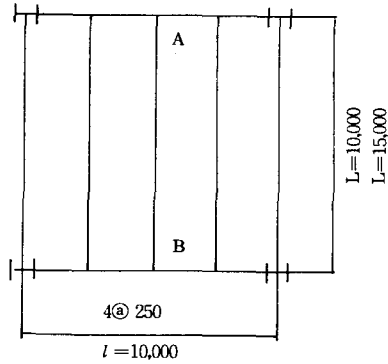
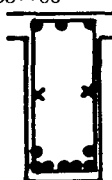
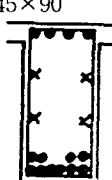


그림 8. 設計例

록 합성보를 사용함이 바람직하다 思慮된다.

參考文獻

1. 金亨基, DECK PLATE가 設置된 합성보의 STUD SHEAR CONNECTOR의 耐力에 關한 研究, 明知大 碩士論文, 1986. 12.
2. 朴福萬, 高強度콘크리트合構造의 스테드 쉬어 콘넥터 耐力에 關한 研究, 中央大 博士論文, 1985. 12.
3. 沈興錫, 輕量콘크리트合성보의 스테드 쉬어 콘넥터 耐力에 關한 研究, 明知大 碩士論文, 1988. 12.
4. 柳承坤, 合성보의 STUD SHEAR CONNECTOR 耐力에 關한 研究, 明知大 碩士論文, 1985. 2.
5. 大韓建築學會 / 鋼構造 計算規準 및 解說, 1983.
6. 若林實 外 3人, “新建築學大系 42 合構造의 設計” 昭和 57年 9月.
7. AISC “MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION” 8 EDITION, 1983.
8. AISC(LRFD), “MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION” 1. EDITION, 1986.
9. C.G. SALMON, J.E. JOHNSON, “STEEL STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR”, HARPER & ROW PUB, 1980.

보 스팬	合성보 (完全合 成人 경우) 단위 (MM)	鐵骨보 단위 (MM)	RC보 단위 (CM)
L= 10M	H400×200×7 ×11 40-φ19 STUD	H450×200×9 ×14	B×D= 35×60  (보중양) 상단3-D22 하단7-D22
L= 15M	H606×201×1 2×20 84-φ19 STUD	H692×300×1 3×20 H588×300×1 2×20	B×D= 45×90  (보중양) 상단4-D22 하단10-D22