

## 무량판 슬래브와 H형강 기둥 접합부 상세 개발

윤명호<sup>1</sup> · 이윤희<sup>2</sup>

공주대학교 건축공학과 교수<sup>1</sup>, 공주대학교 건축공학과 박사과정<sup>2</sup>

### Development for Connection Details between Flat Plate Slab and H-Steel Column

Yoon, Myung-Ho<sup>1</sup> · Lee, Yoon-Hee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheon-an, Korea

<sup>2</sup>Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheon-an, Korea

**Abstract:** The flat plate slab system have many good features, which are design flexibilities, saving of story-height and economy of construction etc. But the study of flat plate slab system for H-steel column have been rare both at home and abroad. Recently high-rise residential and commercial buildings have been constructed in urban areas in Korea. The suggested dowel connection system is more likely to adoptable because it remarkably contribute to save inter story height and also to have many advantages compared with conventional steel works such as H-Steel frame + Deck plate slab system. This study aims at developing design method and program for connection between H-Steel column and flat plate slab system, which contribute to save significantly inter-story height.

**Key Words:** H-Steel column + Flat plate slab system, Dowel connection system, Reduction of story-height

#### 1. INTRODUCTION

무량판 구조(Flat Plate System)는 보가 없는 구조로서 국내외에서 층고 절감과 공기 단축을 목적으로 지하층 및 초고층에 적용되는 사례가 증가하고 있다. 국내 KBC기준에서는 슬래브의 전단 내력을 증가시키기 위해 지판(Drop Panel)이 있는 플랫 슬래브(Flat Slab)와 거푸집 작업이 용이하여 시공성을 향상시킬 수 있는 지판이 없는 플랫 플레이트 슬래브(Flat Plate Slab)로 구분한다.

이 구조는 슬래브가 고정하중과 활하중을 휨강성으로 지지하여 직접 기둥에 전달하는 휨재이다. 내부에 보가 없는 슬래브에서는 기둥 주변에 휨, 전단 및 비틀림으로 인해 국부적인 응력 집중 현상이 발생한다. 이는 보-기둥 접합부에 비해 슬래브와 기둥의 접합부

는 부분에서 취성적인 뚫림 전단(Punching Shear)이 발생할 우려가 있다. 이러한 뚫림 전단을 고려한 RC 기둥(Reinforced Concrete Column)-무량판 구조는 일반화되어 국내 KBC2009 및 외국 설계기준(일본RC 구조계산기준, 미국 ACI 등)에서도 그 설계법이 제시되어 있다. 하지만 H형강 기둥에 무량판을 적용하려는 연구는 국내외를 막론하고 전무한 실정이다. 다만 최근 들어 일본 및 국내에서 콘크리트충전강관(CFT) 기둥에 무량판을 적용하려는 연구가 진행되고 있는 정도이다.

따라서 본 연구에서는 H형강 기둥+플랫 플레이트 슬래브를 연구 대상으로 하여 접합부 구조 상세를 개발하고자 한다. 여기서 연구의 핵심은 뚫림 전단에 대한 효율적이고 경제적인 전단저항 메카니즘을 가지는 전단키의 구조 상세를 개발하는 것이다. 또한 접합부 설계 방법 및 설계 프로그램을 제안하고자 한다.

**주요어:** H형강 기둥과 플랫 플레이트 슬래브 시스템, 듀벨 접합부 시스템, 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](mailto:mhyoon@kongju.ac.kr)

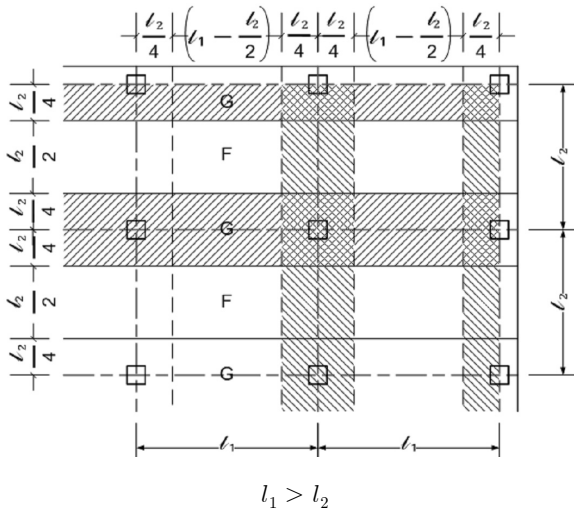
투고일: 2014년 3월 17일 / 수정일: 2014년 3월 25일 / 게재확정일: 2014년 3월 27일

## 2. DEVELOPMENT OF CONNECTION DETAILS

### 2.1 Design Methods

본 연구에서 뚫림 전단에 대한 접합부 설계에 적용된 기준은 원칙적으로 KBC2009를 준용하기로 한다. 또한 슬래브 철근 배근에 관한 일반적인 사항도 KBC 2009 규정에 따르기로 한다.

일반적으로 슬래브는 주열대(column strip)와 중간대(middle strip)로 나누어 골조 해석을 한다. 주열대(G)는 Fig. 1과 같이 장방형 슬래브 패널의 단변 길이  $l_2$ 의  $l_2/4$ 값과 같은 폭을 가지는 설계대로 하고, 보가 있는 경우에는 그 보가 주열대에 포함되며, 중간대(F)는 2개의 주열대 사이가 설계대이다.



G : Column strip      F : middle strip

Fig. 1 Definition of Design Strip

슬래브에 작용하는 하중은 직접 기둥에 전달되면서 기둥 주변에 휨, 전단 및 비틀림으로 인해 국부적인 응력 집중 현상이 발생한다. 이로 인해 Fig. 2와 같이 Cone failure 형상으로 취성적인 뚫림 전단 파괴가 발생된다.

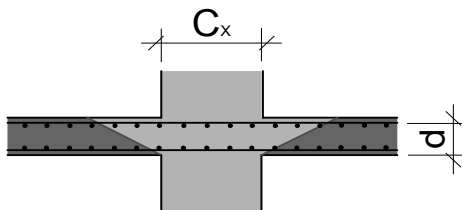


Fig. 2 Cone Failure of Flat Plate Slab

Fig. 3는 뚫림 전단에 대한 각 위치의 기둥에서의 위험 단면이다.

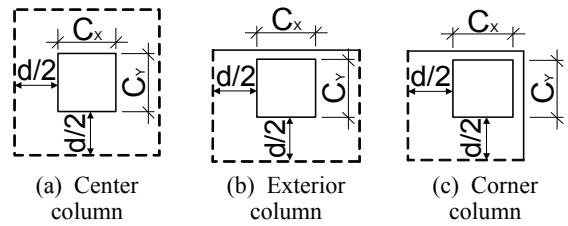


Fig. 3 Critical Section

여기서  $d$ 는 슬래브 두께(mm),  $C_x$ 와  $C_y$ 는 각각 기둥의  $X, Y$  방향 치수이다. 위험 단면에서의 뚫림 전단 파괴를 방지하기 위해 구조 설계 기준에서는 기둥 머리부분의 슬래브에 전단 보강 방법을 다음과 같이 제시한다. 슬래브 두께를 증가시키는 방법, 지판 또는 주두를 사용하는 방법과 스트립, 전단머리(Shear Head), 전단 밴드(Shear Band), 스택드 레일(Stud Rail)등으로 보강하는 방법이 있다. 본 연구에서는 유공 강판(Perforated Plate) 및 관통 철근을 사용하여 뚫림 전단에 효율적으로 저항 할 수 있는 H형강 기둥과 플랫 플레이트 슬래브의 접합부를 개발하였다. 이후 유공 강판을 간단히 듀벨(Dowel)이라고 부르기로 한다.

### 2.2 Estimation of Diameter of Steel Bar for Punching Shear

설계 대상 골조의 구조 평면도는 Fig. 4와 같다.

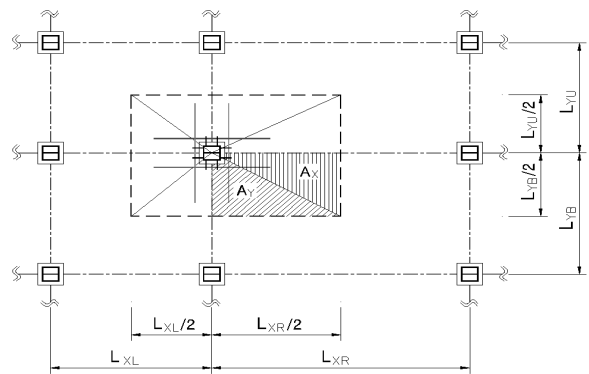


Fig. 4 Contributive Area of Slab for Punching Shear Force

전단키로서 관통 철근 한 개가 부담하는 면적은  $X$  방향은  $A_x$ ,  $Y$ 방향은  $A_y$ 가 된다. 식(1)로 정형 골조 평면에서 전단키 한 개가 부담하는 면적을 구한다. 부담 면적을 산정 할 때 주의할 사항은 좌우, 상하 스팬이 다를 경우인데 항상 큰 쪽을 택해야 한다. 즉 위 그림에서는  $L_{XR} > L_{XL}$ ,  $L_{YB} > L_{YU}$ 인 경우를 나타낸 것이다.

$$A_X = A_Y = \frac{1}{2} \cdot \frac{L_{X1}}{2} \cdot \frac{L_{Y1}}{2} = \frac{L_{X1} \cdot L_{Y1}}{8} \quad (1)$$

단,  $L_{X1} = \max\{L_{XR}, L_{XL}\}$ ,  $L_{Y1} = \max\{L_{YU}, L_{YB}\}$  이다.

설계용 바닥 하중  $w_D$ ,  $w_L$  이라 하면 전체 하중 ( $w_{TL}$ )은 식(2)와 같다. 식(3)은 설계용 전단력을 구하는 식이다.

$$w_{TL} = w_D + w_L \quad (2)$$

$$P_S = w_{TL} \cdot A_X = w_{TL} \cdot A_Y \quad (3)$$

전단 보강에 대한 허용응력도( $f_s$ )는 대한 건축학회 철근콘크리트 구조 계산 기준에 의해서 SD300~SD400 인 경우 장기 200MPa, 단기 300MPa를 적용한다. 참고로 일본 건축학회 기준에서는 SD295에서 장기 200MPa, 단기 295MPa, SD390에서 장기 200MPa, 단기 390MPa로 규정하고 있다. 전단 보강의 사용 하중에 대해서는 콘크리트와 같이 거동하게 되나, 중국 하중시에는 관통 철근만으로 뚫림 전단에 저항하는 것으로 가정하여  $f_s=300\text{MPa}$ 을 적용하여 산정한다. 관통철근의 직경을  $D_s$ 라고 하면 식(4)와 같다.

$$D_s \geq 2 \times \sqrt{\frac{P_S}{\pi \cdot f_s}} \quad (4)$$

### 2.3 Estimation of Length of Steel Bar for Punching Shear

KBC 2009 정착 및 이음에 관한 규정을 준용한다. 기준에 의하면 일반 콘크리트를 사용하고 철근은 에폭시 도막이 없는 이형 철근의 길이 산정을 할 경우 다음과 같다. 식(5)는 D19이하 철근을 사용 할 경우이다. 식(6)은 D22이상 철근을 사용 할 경우이다.

$$l_d = \frac{0.6 d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times 0.8 \quad (5)$$

$$l_d = \frac{0.6 d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times 1.0 \quad (6)$$

단,  $d_b$ 는 관통철근 직경(mm),  $f_y$ 는 철근의 항복강도(MPa),  $f_{ck}$ 는 콘크리트 압축강도(MPa)이다.

Fig. 5는 뚫림 전단에 대한 위험 단면과 정착 길이 ( $l_d$ )를 나타낸다.

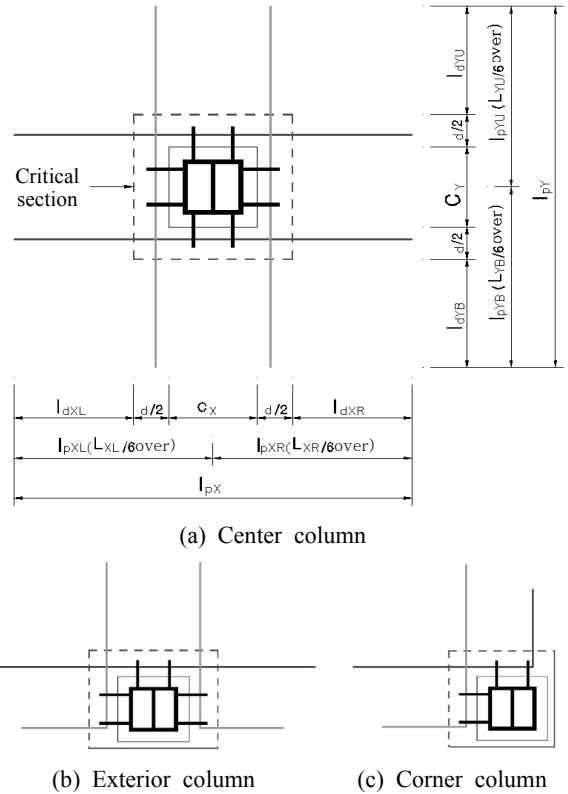


Fig. 5 Critical Section and Length of Steel Bar for Punching Shear

관통철근의 정착 길이( $l_d$ )는 KBC 2009에 의하여 산정하되, 본 연구에서 뚫림 전단에 대해 안전을 확보하기 위해서 식(7)의 규정을 추가 한다. 정착 길이( $l_d$ )는 뚫림 전단에 대한 위험 단면으로부터의 길이로 한다. 또한  $C/2+d/2+l_d$ 는 기둥 중심간 거리( $L$ )의 1/6 이상으로 한다.

$$l_d \geq \frac{L}{6} - d - \frac{C}{2} \quad (7)$$

각 방향 정착 길이는 식(8)로 산정한다.

$$l_{dXR} = \max \left\{ \frac{0.6 d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times \kappa, \frac{L_{XR}}{6} - \frac{d}{2} - \frac{C_X}{2}, 300 \right\} \text{ mm}$$

$$l_{dXL} = \max \left\{ \frac{0.6 d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times \kappa, \frac{L_{XL}}{6} - \frac{d}{2} - \frac{C_X}{2}, 300 \right\} \text{ mm}$$

$$l_{dYU} = \max \left\{ \frac{0.6 d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times \kappa, \frac{L_{YU}}{6} - \frac{d}{2} - \frac{C_Y}{2}, 300 \right\} \text{ mm}$$

$$l_{dYB} = \max \left\{ \frac{0.6 d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \times \kappa, \frac{L_{YB}}{6} - \frac{d}{2} - \frac{C_Y}{2}, 300 \right\} \text{ mm} \quad (8)$$

단,  $\kappa=0.8$ (D19 이하사용),  $\kappa=1.0$ (D22 이상사용)이다.

식(9)는 X방향의 관통철근 길이( $l_{pX}$ )를 산정하는 식이다. 식(10)은 Y방향의 관통철근 길이( $l_{pY}$ )를 산정하는 식이다.

$$\begin{aligned} l_{pXR} &= C_X/2 + d/2 + l_{dXR} \text{ (기둥 중심에서 오른쪽 길이)} \\ l_{pXL} &= C_X/2 + d/2 + l_{dXL} \text{ (기둥 중심에서 왼쪽 길이)} \\ l_{pX} &= C_X + d + l_{dXR} + l_{dXL} \text{ (전체 길이)} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} l_{pYU} &= C_Y/2 + d/2 + l_{dYU} \text{ (기둥 중심에서 위쪽 길이)} \\ l_{pYB} &= C_Y/2 + d/2 + l_{dYB} \text{ (기둥 중심에서 아래쪽 길이)} \\ l_{pY} &= C_Y + d + l_{dYU} + l_{dYB} \text{ (전체 길이)} \end{aligned} \quad (10)$$

## 2.4 Steel Design

### (1) 유공 강판

유공 강판의 형상은 Fig. 6과 같이 설계한다.

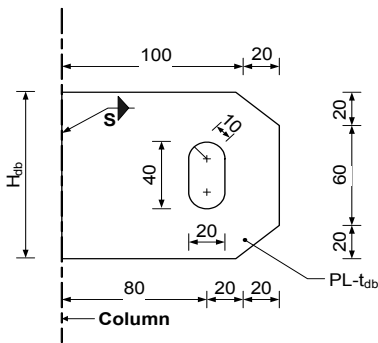


Fig. 6 Perforated Dowel Plate

위의 Fig. 6에서 관통철근은 일반적으로 20mm 이하인 것으로 산정하여 구멍 크기를 정하였다.

높이( $H_{db}$ )는 슬래브 피복 두께를 고려해서 식(11)로 산정한다. 슬래브 두께에서 피복 두께, 보강 늑근 직경, 주열대 상부근 직경을 뺀 값으로 결정할 수 있다. 대체로 슬래브 두께가 200mm일 때 높이( $H_{db}$ )는 최대 100mm 정도까지 가능하다.

$$H_{db} \leq d - 2(d_c + d_s + d_t) \text{ mm} \quad (11)$$

단,  $d$ : 슬래브 두께,  $d_c$ : 피복두께,  $d_s$ : 보강 늑근 직경,  $d_t$ : 주열대 상부근 직경이다.

식(12)은 두께( $t_{dw}$ )를 산정하는 식이다.

$$t_{dw} \geq \frac{P_s}{D_s \cdot F_p} \quad (12)$$

단,  $F_p = 0.9 \times F_y$

듀벨 구멍의 가로 폭은 관통철근 공칭직경의 1.2~1.6배 정도, 구멍의 세로 높이는 관통철근 공칭직경의 2.5~3.2배 정도로 하면 시공이 용이하다.

용접 치수( $S_{dw}$ )는 식(13)로 산정한다.

$$S_{dw} \geq \frac{P_s}{1.4 H_{dw} \cdot F_v} \quad (13)$$

단,  $F_v = 0.4 F_y$ ,

용접 치수( $S_{dw}$ )는 모살용접의 최소치수이상으로 하고 또한 판 두께 이하( $S_{dw} \leq t_{dw}$ )로 해야 한다. 양면 모살 용접을 원칙으로 하고 끝돌림(End return) 있는 것으로 한다. 용접은 용접열 열영향부 등을 고려하기 위해서 기둥 플랜지 바깥면을 기준으로 적절한 거리를 두도록 한다. 최소 기둥 플랜지 두께의 2배 이상으로 한다.

### (2) 약축 보강판

약축 보강판은 기둥 플랜지 안쪽으로 넣고 완전 용입용접 또는 판재가 후판일 경우에는 부분 용입 용접으로도 존재 응력을 전달하는 데는 충분할 경우가 대부분이다. 용접상세는 Fig. 7과 같다.

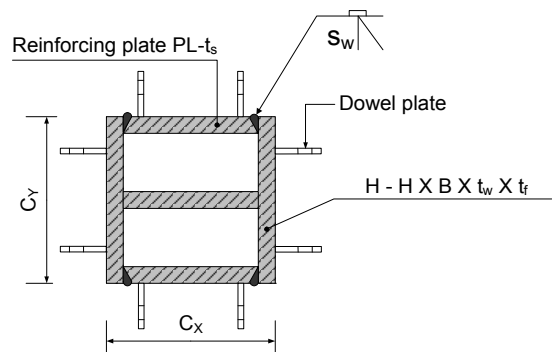


Fig. 7 Details of Reinforcing Plate

두께( $t_s$ )는 기둥플랜지와 동등하게 함을 원칙으로 한다. 높이( $H_s$ )는 판의 면외 변형 등을 고려하여 슬래브 두께( $d$ )의 2배 이상으로 한다.

용접은 완전 용입 용접을 원칙으로 하지만, 판재가 두꺼울 경우에는 존재 응력을 충분히 전달할 수 있음

을 확인하는 것을 전제로 부분 용입 용접도 가능하다. 완전 용입인 경우 용입 깊이(홈깊이)는 판두께( $t_f$ ) 이하로 한다. 부분용접인 경우는  $2\sqrt{t_f}$  이상으로 한다. 유효 목두께는 일반적으로 홈깊이로 하는데 홈각도가  $60^\circ$ 미만이고 손용접이면 3mm를 공제한다. 용입 깊이 ( $S_w$ ) 검토식(14)은 용접부 강도가 작용 전단력 이상이면 된다.

$$S_w \cdot (H_s - 2 \cdot t_f) \cdot F_v > 2P_s \quad (14)$$

단,  $F_v = 0.4F_y$

### 3. THE PROGRAM OF CONNECTION DESIGN

#### 3.1 Dowel Connection System

Fig. 8은 제안하는 전단접합시스템이다. H형강 기둥-무량판 슬래브 접합부는 기본적으로 듀벨을 기둥에 용접하여 구멍을 통해서 관통시킨 철근이 콘크리트와 합성되어 연직력을 전달하는 전단접합시스템이다. 즉, 뚫림 전단을 방지하기 위한 전단키(Shear Key)로서 관통철근을 이용하는 것이 핵심이다.

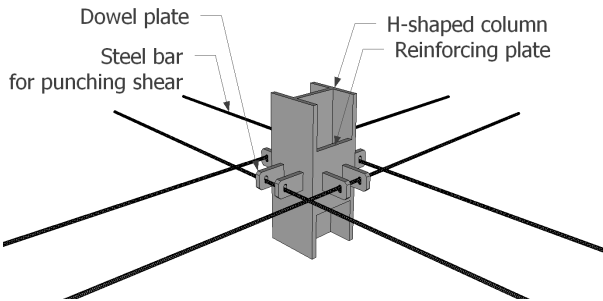


Fig. 8 H-Shaped Column and Dowel Connection System

#### 3.2 Design Program

2장에서 기술한 바를 토대로 접합부 설계 프로그램을 개발 하였다. 프로그램 소스 코드는 비주얼 베이직을 사용하여 작성하였다.

Fig. 9는 내부 기둥 접합부 설계의 입력화면이다. 입력 데이터는 하중 조건, 구조 평면 치수, 기둥 치수, 콘크리트 슬래브의 치수와 콘크리트 강도, 뚫림 전단 보강근, 듀벨과 약축 보강판의 항복강도이다.

입력된 데이터에 의한 출력 결과는 Fig. 10과 같다. 출력 데이터는 관통철근의 직경 및 길이, 듀벨과 약축 보강판의 치수, 용접치수 및 용접 강도 등이다. 이 접합부 설계 프로그램으로 모서리 기둥과 외부 기둥의 접합 설계도 가능하다.

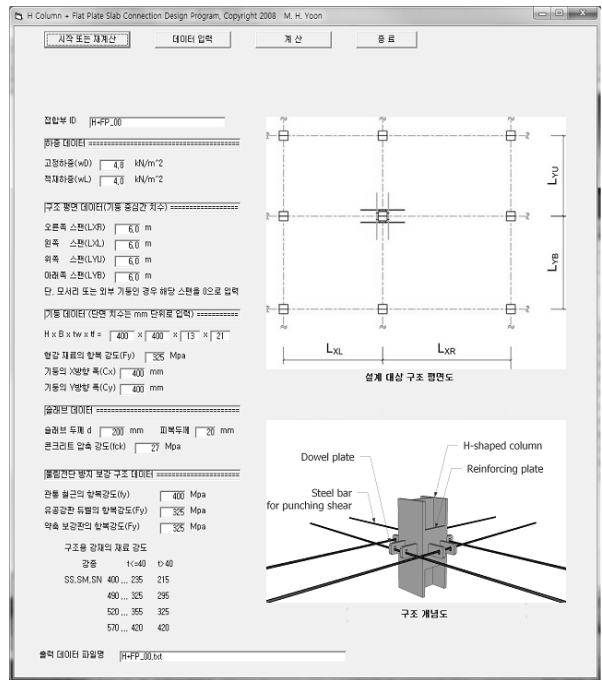


Fig. 9 Data Input Window

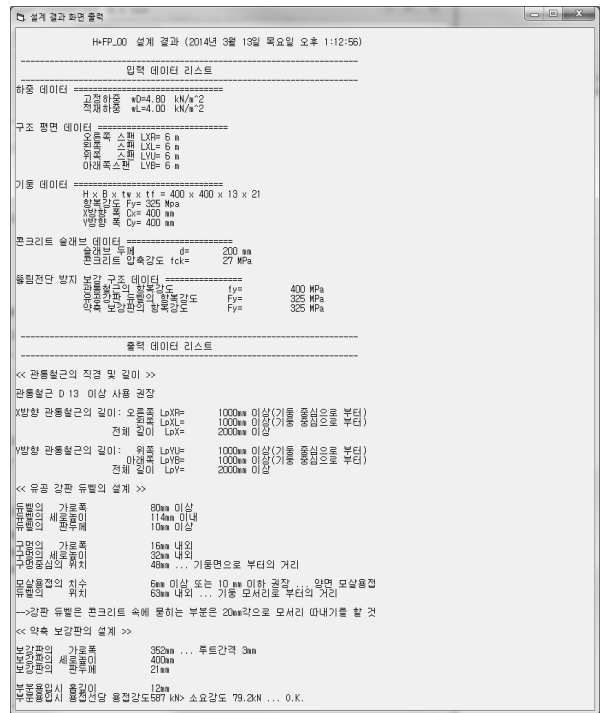


Fig. 10 Data Output Window

#### 4. CONCLUSION

H형강 기둥+플랫 플레이트 슬래브 접합부의 구조 상세 개발에 관한 연구로부터 다음의 결론을 얻었다.

1. 취성적인 뚫림 전단 파괴를 방지하기 위해 기둥 머리부분의 슬래브에 유공 강관 및 관통 철근을 사용하여 뚫림 전단에 효율적으로 저항 할 수 있는 H형강 기둥과 플랫 플레이트 슬래브의 접합부를 개발하였다.

2. 제안된 접합부 시스템에 대해 현장에서 간편하게 사용할 수 있는 윈도우 기반의 설계용 프로그램을 개발 하였다.

3. 현재 본 연구에서 제안하는 접합부 시스템의 구조 거동에 대한 실험 및 비교 분석 작업이 진행 중이다.

on structural performance of partially concrete-filled new type composite beam, Korean Society for Advanced Composite Structures, Seoul, Korea. (in Korean)

#### References

- ACI 318-05 Committee: Building Code and Commentary , pp.209-228
- ACI-ASCE Committee 421 : Shear Reinforcement for Slabs, ACI 421.1R-99
- Architectural Institute of Japan(1999), Steel Reinforced Concrete Structure Code and Commentary, Tokyo, Japan. (in Japanese)
- Architectural Institute of Korea(2009), Korea Building Code and Commentary (KBC), Seoul, Korea. (in Korean)
- British Standards Institution(1994) Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures Part 1.1 General rules and rules for buildings BS ENV 1994-1-1 BSI
- British Standards Institution(1997) BS 8110: The structural use of concrete Part 1: Code of practice for design and construction BSI
- Satou, H.(2007), An Experimental Study on CFT Column-Flat Plate Joints : Part9 Evaluation of Punching Shear Strength, Architectural Institute of Japan, Tokyo, Japan. (in Japanese)
- Tagawa, Y.(1989), Behavior of Composite Beams In Steel Frame under Hysteretic Loading, ASCE, Journal of Structural Engineering. Vol 115, No 8, pp.2029~2045.
- Yoon, M. H.(2008), Development of Design Method and Program of H Column-Flat Slab Connection, Final report to RIST, SnC Lab, Kongju Nat'l Univ.
- Yoon, M. H., Lee, Y. H. and Lee, Y. S. (2014), A study