

## 플랫 플레이트 슬래브와 H형강 기둥 접합부의 구조 성능에 관한 실험적 연구

윤명호<sup>1</sup> · 이윤희<sup>2</sup> · 유홍식<sup>3</sup> · 김진원<sup>3</sup>

공주대학교 건축공학과 교수<sup>1</sup>, 공주대학교 건축공학과 박사과정<sup>2</sup>, (재)포항산업과학연구원<sup>3</sup>

### An Experimental Study on Structural Performance of H-Steel or SRC Column and Flat Plate Slab Connection

Yoon, Myung-Ho<sup>1</sup> · Lee, Yoon-Hee<sup>2</sup> · Ryu, Hong-Sik<sup>3</sup> · Kim, Jin-Won<sup>3</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

<sup>3</sup>Researcher, Research Institute of Industrial Science & Technology, In-cheon, Korea

**Abstract:** Main topics in this study is a new structural detail for connection between H-Steel or SRC column and flat plate slab. We carried out to evaluate the punching shear performance of H-steel or SRC column + RC slab system for vertical load and lateral load. From the test results structural characteristics - yield moment, yield rotation, maximum moment, deformation capabilities ect. - are obtained and evaluated. In this paper as a shear reinforcement for supporting region of plate closed stirrup type and shear band are used, and their test results are compared.

**Key Words:** Flat plate slab, Dowel connection system, H-Steel column or SRC column + RC slab system

#### 1. INTRODUCTION

무량판 구조는 슬래브가 보의 역할을 하는 구조로서 층고 절감 및 공사비 절감이 가능하다. 하지만 보-기둥 접합부에 비해 슬래브와 기둥이 접합되는 부분에서 취성적인 뚫림 전단(Punching Shear)이 발생할 우려가 있기 때문에 구조적인 취약점이 있다. 특히 강-합성 구조로 설계될 경우 접합부의 세부적인 설계가 필요하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구자는 무량판 슬래브와 H형강 기둥 접합부의 상세를 개발하기 위해 선행 연구(Yoon and Lee)를 하였다. 선행 연구에서 제시하는 접합부는 Fig. 1과 같다. 본 연구는 선행 연구에서 개발되어진 슬래브 접합부를 실험대 실험을 통해 검증하고자 한다.

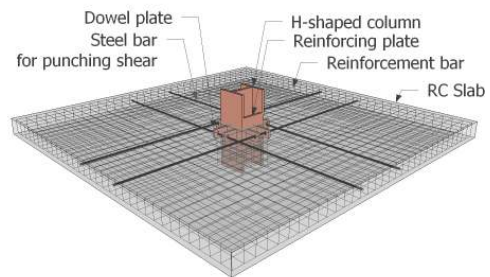


Fig. 1 H-Steel Column + Flat Plate Slab Connection System

실험은 중력하중 실험과 횡하중 실험을 실시하였으며, 실험 결과로부터 항복모멘트, 항복회전각, 최대모멘트, 변형능력 등 구조 성능 평가하는 것이 주목적이다. 비교 지표로서는 개발하고자하는 접합부가 기존의

**주요어:** 플랫 플레이트 슬래브 H형강 기둥 또는 SRC기둥과 RC 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 6월 9일 / 수정일: 2014년 6월 20일 / 게재확정일: 2014년 6월 20일

RC구조에서의 플랫 플레이트 구조와 동등 이상의 강도 및 변형 능력을 가지도록 하는 것이다.

## 2. TEST UNDER GRAVITY LOAD

### 2.1 Details of Specimen

실험은 내부 기둥 접합부에 대해 실험을 실시하였다. X, Y방향 기둥 중심간 스패ンは 6.0m이다. 슬래브에 작용하는 고정 하중( $w_D$ )은  $4.8\text{kN/m}^2$ , 적재 하중( $w_L$ )은  $4.0\text{kN/m}^2$ 이다. 슬래브의 두께는 200mm, 피복두께는 20mm이며, 콘크리트의 압축강도는  $f_{ck} = 27\text{MPa}$ 이다. 관통철근은 SD400, 듀벨 및 약축 보강관은 SM490의 재질은 사용하였다. H형강 기둥-플랫 플레이트 슬래브 접합부는 선행 연구에서 개발되어진 프로그램을 사용하여 설계하였다. 슬래브 철근 배근은 KBC 2009 규정을 따르기로 한다. Table 1은 실험체 리스트이다.

Table 1. List of Specimens Under Gravity Load

Specimen name	Column section	Note
1 BM_RC	RC-400×400	Bench mark
2 B_S400_DW13	H-400×400×40×40	D=13mm
3 B_S400_DW16	H-400×400×40×40	D=16mm

Fig. 2는 B\_S400\_DW16 실험체의 단면도와 배근도이다.

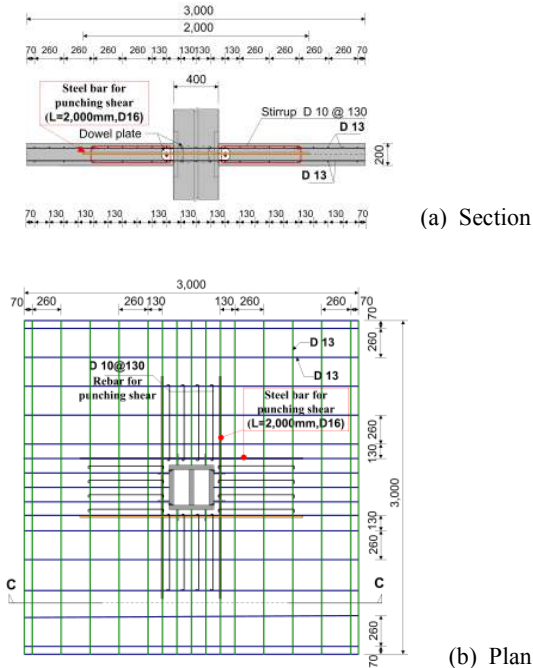


Fig. 2 Reinforcement Details of Specimen (B\_S\_400\_DW16)

BM-RC 실험체는 철근콘크리트 기둥과 플랫 플레이트 슬래브로 접합한 실험체로서 비교 실험체이다. B\_S400\_DW13과 B\_S400\_DW16 실험체는 본 연구에서 제안하는 H형강 기둥 플랫 플레이트 슬래브 접합 시스템이다. 모든 실험체의 지판 영역에서의 전단 보강은 늑근(Stirrup) D10을 사용하였다.

### 2.2 Test Setup and Procedures

본 실험체는 실험을 경제적이고 효율적으로 하기 위해 실제 건물에서 받는 하중을 반대로 하여 실험을 실시하였다. 슬래브 상하부는 실제 슬래브와는 반대로 상부가 압축측, 하부가 인장측이 된다. 실험체는 철골 지지보에 4변을 단순 지지하여 정적단조하중을 가력하였다. Fig. 3에 중력하중 실험체 가력 방법 개념도를 나타냈다.

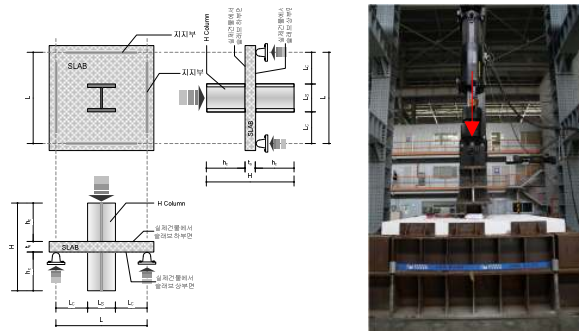


Fig. 3 Loading Method

### 2.3 Test Results and Discussion

H형강 기둥+Flat plate slab 접합부의 중력 하중에 의한 뚫림 전단의 내력 확인하기 위해 실험을 수행한 결과 Fig. 4와 같다.

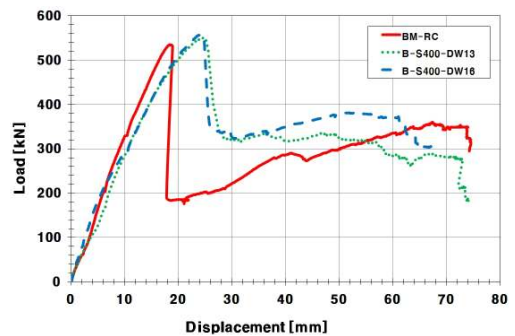


Fig. 4 P-δ Curves

하중-변위 그래프로부터 최대 내력( $P_{max}$ ), 최대 내력시 변위( $\delta_{max}$ ), 최대 내력 직후 하중( $P$ )과 최대 내력 직후 저하율( $P_r$ )등의 주요 구조 특성치를 구하여 Table 2와 같이 정리했다.

Table 2. Structural Properties

Specimen name	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_c$ (kN)	$P_r = \frac{P_{max} - P_c}{P_{max}}$
BM_RC	524.3 (1)	21.62 (1)	174.7	0.67
B_S_400_DW13	539.7 (1.03)	27.96 (1.29)	314.4	0.42
B_S_400_DW16	546.4 (1.04)	27.23 (1.26)	331.5	0.39

3. TEST UNDER LATERAL LOAD

3.1 Details of Specimen

횡하중 실험의 실험체는 중력 하중 실험을 기본으로 하여 계획하였다. 주요 실험 변수로는 RC기둥+플랫 플레이트(비교 실험체), SRC기둥+플랫 플레이트(D1 또는 D2), H형강 기둥+플랫 플레이트(늑근 또는 전단밴드 보강) 총 6개이다. Table 1은 실험체 리스트이며, 실험체명은 Fig. 5에 예시하였다.

Table 3. List of Specimens Under Lateral Load

Specimen name	Column section	Note
1 LRC	RC-400×400	Bench mark
2 LSRC-D1	SRC H-250×250×14×14 (RC-400×400)	Steel bar for punching shear (D13-L=2000mm, StIRRUP D13@230)
3 LSRC-D2		
4 LH-D2	H-Steel H-400×400×40×40	
5 LH-DW-SB1	H-Steel H-400×400×40×40	Shear band L=800(8ea)
6 LH-DW-SB2		Shear band L=800(16ea)

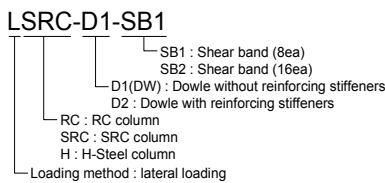


Fig. 5 Notation to Indicate the Type of Each Specimen

D1과 D2의 차이점은 듀벨 위에 수평 스티프너 보강의 유무이며 Fig 6에 나타냈다.

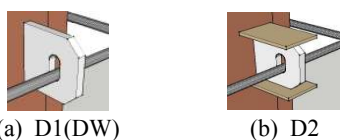


Fig. 6 Dowel Plate Without and with Horizontal Rib

지판 영역에서의 전단 보강은 늑근(StIRRUP)-D10 또는 전단밴드(Shear band)로 보강하였으며, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 두 개의 전단 보강에 대해 비교 평가하였다. Fig. 7은 전단 보강에 대한 상세이다.

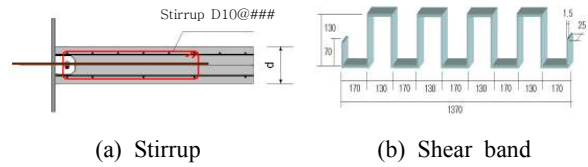
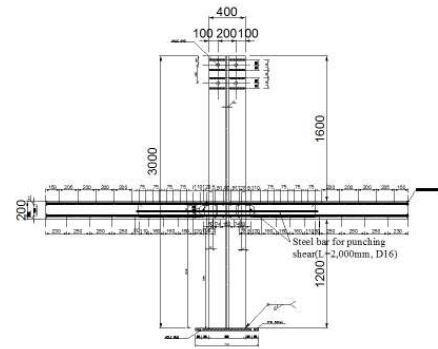
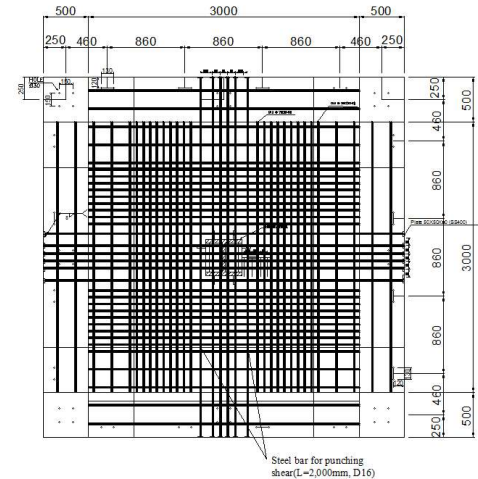


Fig. 7 Details of a Shear Reinforcement for Supporting Region

Fig. 8은 LH-D2 실험체의 단면도와 슬래브 배근도이다.



(a) Section



(b) Plan

Fig. 8 Reinforcement Details of Specimen (LH-D2)

3.2 Test Setup and Procedures

실험체 가력 방법은 Fig. 9와 같다. 실험체 가력은 중력 하중과 횡하중을 동시에 가력 하였다. 중력 하중은 기둥 하부에서 유압잭(oil jack)을 이용하여 상향으로 가력 하였고, 횡하중은 기둥 상부에서 반력벽에 고

정시킨 액추에이터(Actuator)를 이용하여 반복 가력 하였다. 실험체는 슬래브 하부를 힌지로 연결한 후 양 옆에 비틀림 방지 프레임 설치하였다. 또한 슬래브 상부는 단부 구속 장치를 설치하여 고정시켰다.

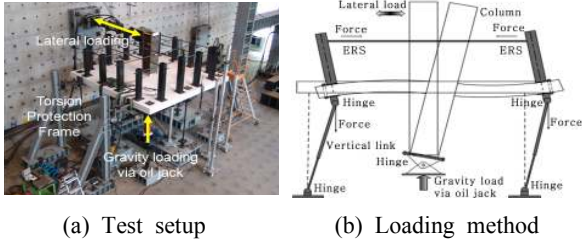


Fig. 9 Test Setup Subjected to Combined Lateral and Gravity Load

항하중의 패턴은 Fig. 10과 같다. 총 21사이클을 반복 가력 하였으며, 최대 변형각  $\gamma_{max}$ 는 0.08rad이다.

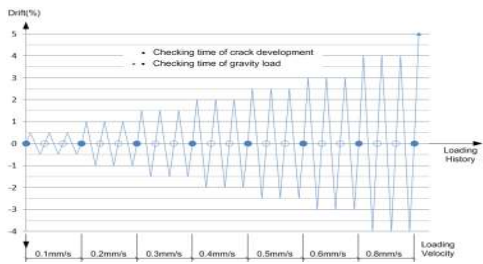


Fig. 10 Cyclic Loading History

Fig. 11은 슬래브의 상·하부 철근에 부착한 스트레인 게이지(W.S.G)의 부착 위치와 번호이다.

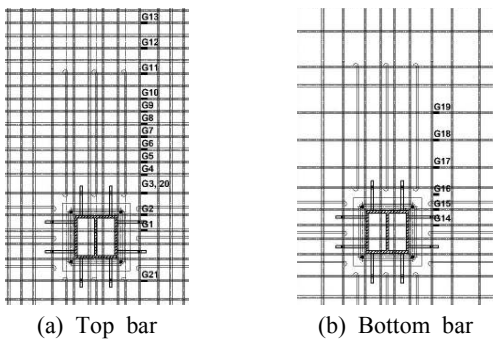


Fig. 11 Location of the Strain Gages

### 3.3 Test Results and Discussion

반복가력 실험 결과를 단조화(Monotonization)한 그래프는 Fig. 12이다. 단조화는 반복가력 실험결과의  $M-\theta$  관계 그래프에서 각 Cycle의 최대 모멘트 점을 연결한 것으로 단조 가력 할 경우에 각각의 플랫 플레이트 슬래브의  $M-\theta$  관계와 유사한 거동을 한다.

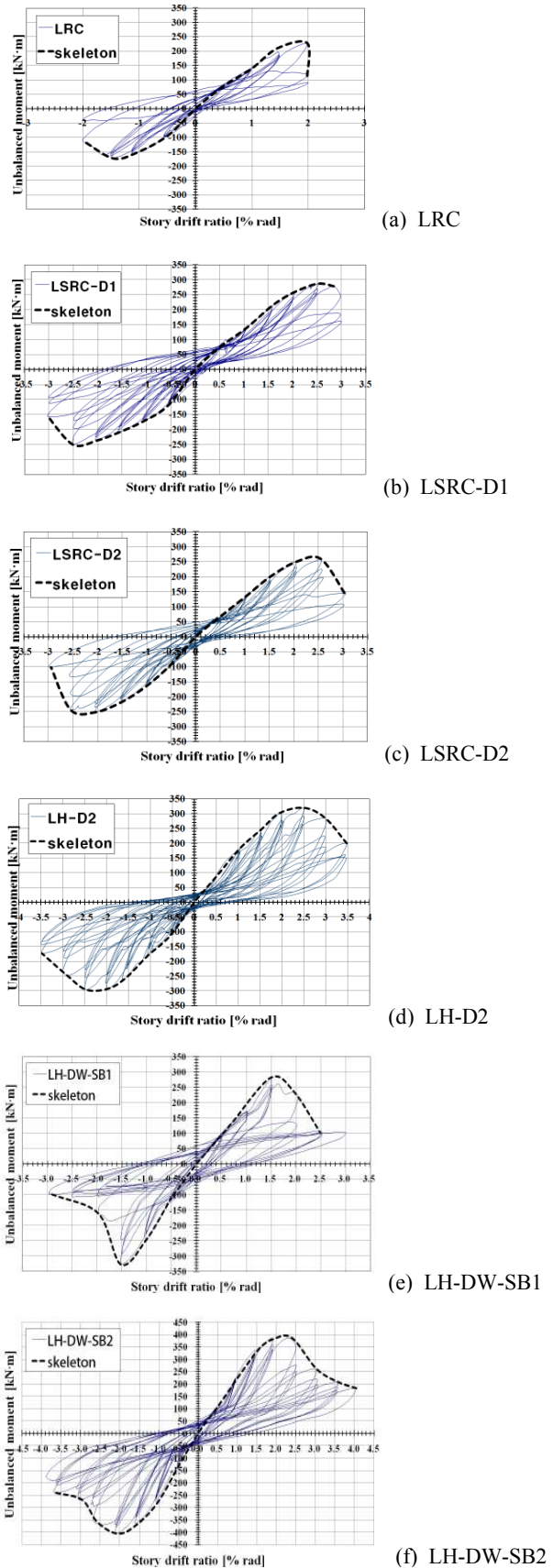


Fig. 12 Hysteresis Curves of Slab-Column Connection Subjected to Reversed Cyclic Loading



각 단조화 그래프를 하나로 합친 골격 곡선 (Skeleton Curve)은 Fig. 13과 같다. 점선은 층간 변형각  $\pm 1\%$  수준으로 건축물의 층간 변형이 1/100의 경우에 건물의 붕괴로 판단한다. 층간 변형각  $\pm 1\%$ 에서 모두 탄성 상태인 것을 확인 할 수 있다.

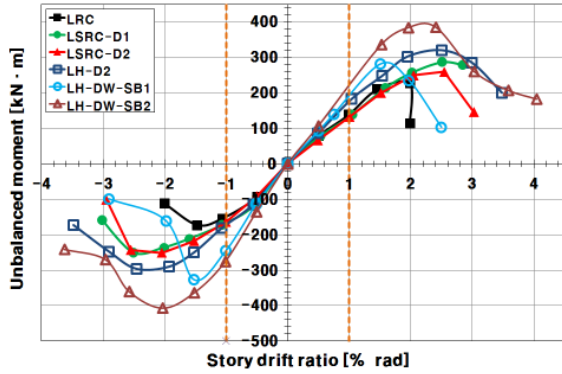


Fig. 13 Skeleton Curve of Hysteresis Curves

$M-\theta$  관계 그래프로부터 항복모멘트 ( $M_y$ ), 항복회전각 ( $\theta_y$ ), 초기강도 ( $K_e$ ), 최대 모멘트 ( $M_{max}$ ), 최대회전각 ( $m\theta_{max}$ ), 항복 후 내력 상승률 ( $M_{max}/M_y$ ), 변형 능력 ( $m\theta_{max}/\theta_y$ ) 등의 주요구조지표를 구하여 Table 4에 나타내었다.

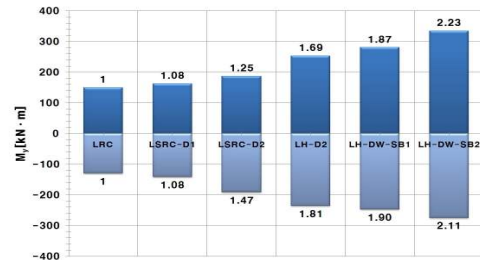
Table 4. Structural Properties

Specimen name	$M_y$ [kN·m]	$\theta_y$ [%rad]	$K_e$ [kN·m/rad]	$M_{max}$ [kN·m]	$m\theta_{max}$ [%rad]	$M_{max}/M_y$	$m\theta_{max}/\theta_y$
LRC	150	0.76	19737	227	1.98	1.51	2.61
	-130	-0.68	19118	-177	-1.4	1.36	2.06
LSRC-D1	162	0.73	22192	289	2.6	1.78	3.56
	-141	-0.63	22381	-252	-2.4	1.79	3.81
LSRC-D2	187	0.92	20326	269	2.4	1.44	2.61
	-191	-0.97	19691	-260	-2.4	1.36	2.47
LH-D2	253	1.23	20569	320	2.5	1.26	2.03
	-235	-1.14	20614	-300	-2.3	1.28	2.02
LH-DW-SB1	280.5	1.46	19212	281	1.5	1.00	1.03
	-247.5	-1.03	24029	-327	-1.52	1.32	1.48
LH-DW-SB2	334.5	1.44	23229	386	2.3	1.15	1.60
	-274.5	-1.07	25654	-406	-2.1	1.48	1.96

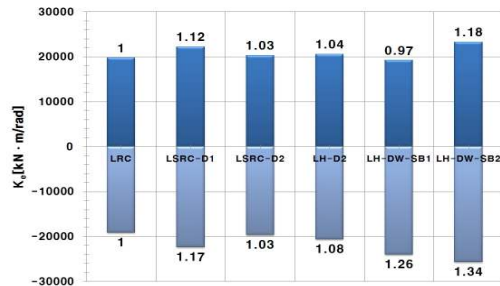
LRC와 비교하면  $M_y$ 의 경우 H형강은 68~81%, SRC의 D1 Type은 8%이상, D2 Type은 25~47%이상 증가되었다.  $K_e$ 의 경우 H형강은 6%, SRC의 D1 Type은 15%, D2 Type은 3%이상 증가되었다.  $M_{max}$ 의 경우 H형강은 40~69%, SRC의 D1 Type은 27~42%, D2 Type은 19~47%이상 증가되었다. 또한  $m\theta_{max}$ 의 경우 H형강은 24~65%, SRC의 D1 Type은

31~71%, D2 Type은 21~69%이상 증가되었다.  $M_{max}/M_y$ 의 경우 H형강은 6~16% 감소하였고, SRC의 D1 Type은 18~31% 상승하였으며, D2 Type은 1~5% 감소하였다.  $m\theta_{max}/\theta_y$ 의 경우 H형강은 1~24% 감소하였고, SRC의 D1 Type은 37~85%, D2 Type은 19% 이상 증가되었다.

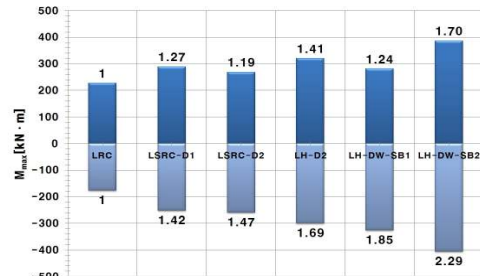
Fig. 14은 LRC의 구조 특성치가 1일 때 각 실험체의  $M_y$ ,  $K_e$ ,  $M_{max}$ ,  $m\theta_{max}/\theta_y$ 의 비를 비교하여 막대그래프로 나타낸 것이다.



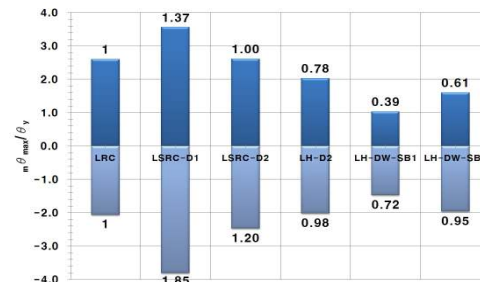
(a)  $M_y$



(b)  $K_e$



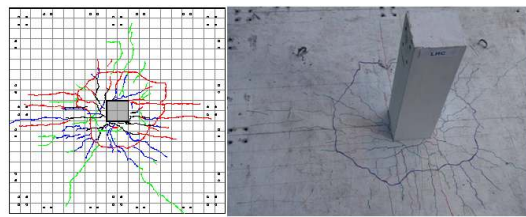
(c)  $M_{max}$



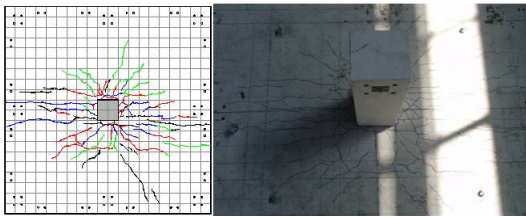
(d)  $m\theta_{max}/\theta_y$

Fig. 14 Comparison of Test Result

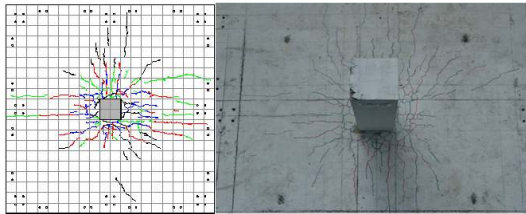
Fig. 15는 각 실험체의 편칭면 주변의 균열 패턴이다.



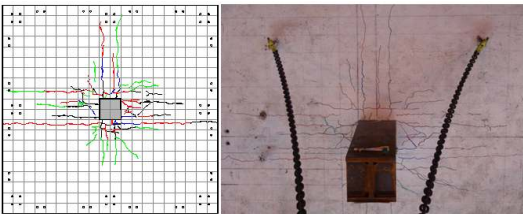
(a) LRC



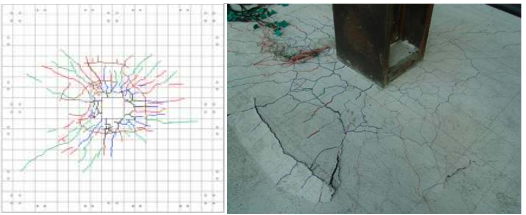
(b) LSRC-D1



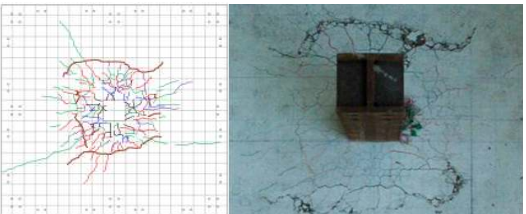
(c) LSRC-D2



(d) LH-D2



(e) LH-DW-SB1



(f) LH-DW-SB2

Fig. 15 Crack Patterns of Slab-Column Connection Tests

#### 4. CONCLUSIONS

H형강 또는 SRC 기둥 - 플랫 플레이트 슬래브 접합부의 구조적 성능을 파악하기 위해 중력 하중 실험 및 횡하중 실험 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제안하는 접합부 시스템의 중력 하중 실험 결과, 기존의 RC기둥의 무량판 슬래브시스템과 비교하면 초기강성은 동등 이상, 최대 내력은 3~4%, 변형 능력은 26~29% 향상 되었다.

2. 횡하중 실험 결과, LRC와 비교하면  $M_y$ 의 경우 H형강은 68~81%이상 그리고 SRC는 8~47%이상,  $K_c$ 의 경우 H형강은 6%이상 그리고 SRC는 3~15%이상 증가되었다.  $M_{max}$ 의 경우 H형강은 40~69%, SRC는 19~47%이상 증가되었다.

3. 제안하는 접합부 시스템은 층간 변형각이나 항복이후에 충분한 내력 증가와 큰 변형 능력을 갖고 있어 플랫 플레이트 접합부 요구 성능을 만족하므로 현장 적용이 가능하다.

4. 추후 기존 제안하는 H형강 기둥-플랫 슬래브 구조시스템과의 실험 및 유한요소해석을 통해 비교 검토가 필요하다.

#### 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 (1958), 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

Yoon, M. H., Lee, C. H., Oh, S. H., Kim, J. H. and Ryu, H. S. (2010), Design of Steel Column to Flat Plate Connections, Magazine of Korean Society of Steel Construction, Seoul, Korea. (in Korean), pp.74-79.

Yoon, M. H. and Lee, Y. H. (2014), Development for Connection Details between Flat Plate Slab and H-Steel Column, Korean Society for Advanced Composite Structures, Seoul, Korea. (in Korean)