

## 래티스 철근을 이용한 무량판-기둥 접합부의 전단보강

안경수<sup>1)</sup> · 박홍근<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> 서울대학교 건축학과

(2003년 11월 12일 원고접수, 2005년 2월 14일 심사완료)

## Shear Reinforcement for Flat Plate-Column Connections Using Lattice Bars

Kyung-Soo Ahn<sup>1)</sup> and Hong-Gun Park<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architecture, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

(Received, November 12, 2003, Accepted, February 14, 2004)

### ABSTRACT

Flat plate-column connections are susceptible to brittle punching shear failure, which may result in collapse of the overall structure. In the present study, a new shear reinforcement for the plate-column connection, the lattice shear reinforcement was developed. Experimental study for the lattice shear reinforcement was performed. Shear strength and ductility of the specimens reinforced with the lattice bars were compared with those of unreinforced specimens. The test results showed that the strength and ductility of the specimens with the lattice shear reinforcement were improved by 1.37 and 9.16 times those of the unreinforced specimens, respectively. These results indicates that the lattice shear reinforcement is superior in ductility to the shear stud-rail which is popular in U.S. Based on the test results, the design method for the lattice shear reinforcement was developed.

**Keywords :** flat plate-column connections, punching shear, lattice bars, shear reinforcement, ductility

### 1. 서 론

무량판 구조는 시공성, 경제성 및 공간 활용성 등의 측면에서 일반적인 보-기둥 구조형식에 비해 뛰어나므로, 최근에는 많은 무량판 구조의 주거용 건물이 설계, 시공되고 있다. 그러나 삼풍사고에서도 경험하였듯이, 무량판 슬래브-기둥의 접합부는 일반적인 보-기둥 형식의 접합부에 비하여 매우 취약하므로 취성적인 뚫림 전단파괴가 일어날 수 있으며, 이로 인하여 전 구조물의 붕괴를 유발할 수 있다. 또한 접합부에 큰 연성도가 요구되는 미국 등의 강진지역에서는 접합부의 취성파괴로 인한 무량판 구조의 많은 피해사례가 보고되어 왔다.

현재 국내에서는 고층주거건물의 활성화와 가변형 건축 평면에 대한 관심이 증가하면서 무량판 구조의 한 형식인 플랫플레이트 구조가 많이 사용되고 있다. 현재 시공되는 고층의 플랫플레이트 구조에서는 큰 스패를 사용하고 기둥 주위에 슬래브 개구부가 위치하는 경우가 많으므로 전단에 취약한 외부접합부 뿐만 아니라 내부접합부에서도

뚫림 전단보강에 대한 필요성이 증가하고 있다.

현재 접합부 보강방안으로서 국내외에서 전단머리 (shearhead)<sup>9)</sup>, 철근 스테럽(stirrup), 전단스터드레일(shear stud-rail)<sup>2-8,11)</sup> 등의 다양한 보강 방안이 개발되었다. 일반적인 보의 전단보강 방법인 철근 스테럽의 경우, 두께가 250 mm 이내의 슬래브에는 적용할 수 없으며, 시공이 용이한 전단스터드레일이 가장 많이 사용되고 있다. Mortin과 Ghali<sup>3)</sup>, 그리고 Mokhtar<sup>4)</sup> 등의 연구결과에 따르면, 전단스터드레일은 비보강 접합부에 비하여 접합부의 강도를 1.2 ~ 1.4배로 증가시키며, 변형능력은 2.07 ~ 2.39 배로 증가시킨다.

앞서 언급한 바와 같이 플랫플레이트 구조에서는 접합부의 연성능력 및 일체성의 확보가 가장 중요하다. 따라서 본 연구에서는 기존의 보강 방법보다 연성능력이 우수하고 시공성이 좋은 새로운 접합부 보강 방법을 개발하고자 한다. 현재 슬래브 시공의 용이성을 위하여 트러스형 시스템 데크 플레이트(Fig. 1)가 흔히 사용되고 있다. 이 시스템 거푸집은 상하의 수평 철근과 경사웹철근으로 구성된 래티스 철근과 이와 연결된 하부철판으로 구성되어 있다. 이 트러스형 시스템 데크 플레이트에 사용되는 래티스 철근(Fig. 2)을 접합부의 뚫림 전단보강 방법으로 사용할

\* Corresponding author

E-mail : parkhg@snu.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

경우 다른 보강 방법에 비하여 다음과 같은 장점이 예상된다. 1) 웨브 경사철근이 전단 보강근의 역할을 할 수 있다. 2) 경사철근은 길이 방향의 상하 철근과 전기저항 용접되어 독립적인 구조시스템을 구성하고 있으므로 콘크리트의 국부파괴와 관계없이 연성적인 거동을 유지할 수 있다. 3) 상하 철근이 웨브 철근과 용접되어 있으므로 보다 큰 다우얼 작용을 기대할 수 있다. 4) 시공적인 측면에서는 상하 주철근과 전단보강을 별도로 설치할 필요가 없으므로 편리하고, 래티스 철근이 상하 주철근의 위치를 고정하므로 구조적으로 안전성을 확보할 수 있으며, 전단위치 고정 보조 철물(bar-chair)을 별도로 사용할 필요가 없다.

본 연구에서는 이러한 다양한 장점을 갖는 래티스 철근을 이용한 뿔림 전단보강 방법을 개발하였다. 실험연구를 통하여 래티스 철근으로 보강된 실험체의 강도, 연성도를 평가하고, 실험결과를 분석하여 전단파괴 메커니즘을 분석하였으며, 이에 근거하여 래티스 보강설계방법을 제안하였다.

## 2. 실험체 및 장치

프로토타입 플랫플레이트의 크기는 양방향 6.0m 경간이며, 이 플랫플레이트에 대한 1/2 축소실험(경간 3.0m)을 실시하였다. 실험체 및 실험장치는 Fig. 3에 나타나 있다.

실험체는 중앙의 기둥과 1/2 경간(순길이 1.5m, 총길이



Fig. 1 Deck plate system with lattice bars

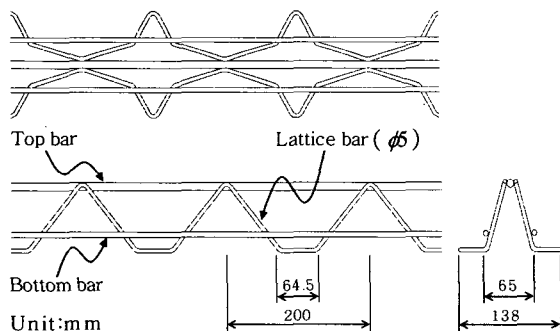
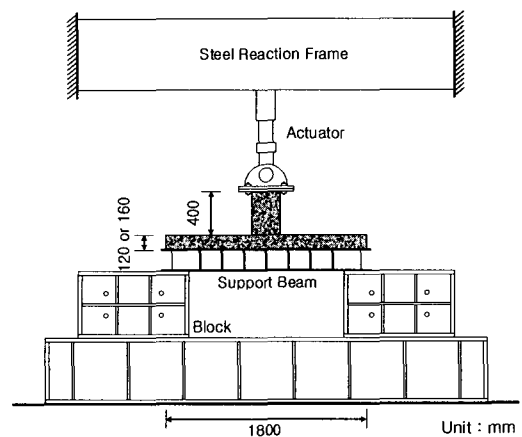


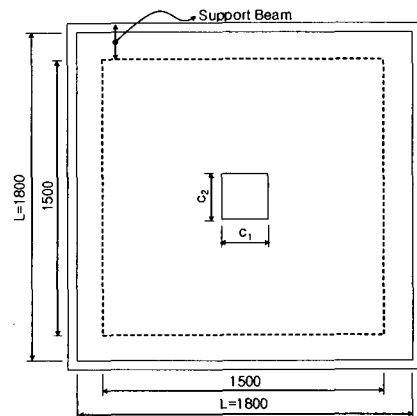
Fig. 2 Details of lattice bar

1.8m)을 갖는 슬래브로 구성되었다. 실험의 용이성을 위하여 중력 하중을 받는 슬래브의 1/4 경간(0.75m)에서 변곡점이 발생한다는 가정을 사용하여, 슬래브의 단부는 단순 지지되었다. 제작된 실험체는 상부근이 아래쪽으로 오도록 철제 지지보 위에 단순 지지되었으며, 지지보는 네 코너에 위치한 철제 블록(block) 위에 지지되었다. 철제 반력 프레임에 연결된 가력기(actuator)는 실험체 중앙 기둥에 앵커 매립되어 부착되어 있는 강판(두께 25mm)과 연결되어 수직하중을 재하하였다.

실험체는 비교를 위한 전단보강이 없는 5개의 실험체와 래티스 철근으로 전단보강된 4개의 실험체, 총 9개로 구성되었다. Table 1은 실험체의 크기와 재료특성을 나타내고 있으며, 전단보강이 없는 실험체 S1의 상세는 Fig. 4에 전단보강된 실험체 SL1의 상세는 Fig. 5에 나타나 있다. Table 2는 주요 변수를 나타내고 있다. 실험체 S1를 기본으로 하여 S2, S3, S5는 각각  $\rho$ ,  $b_0/d$ ,  $c/L$ 을 변수로 가지도록 제작되었다. 실험체 S4는 실험체 S5를 기준으로 하여  $c_1/c_2$ 을 변수로 가지도록 제작되었다. 여기서,

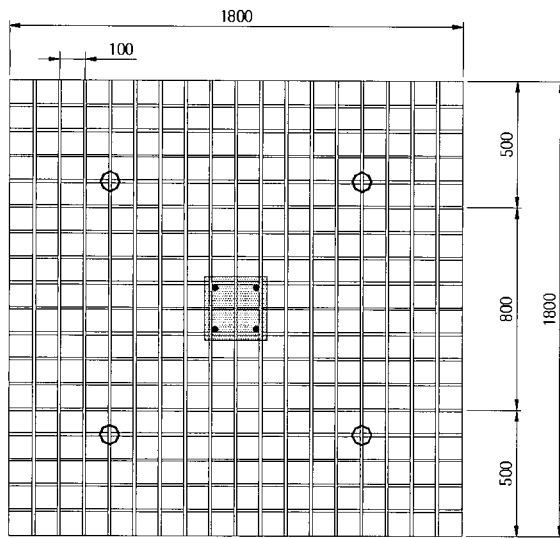


(a) Elevation

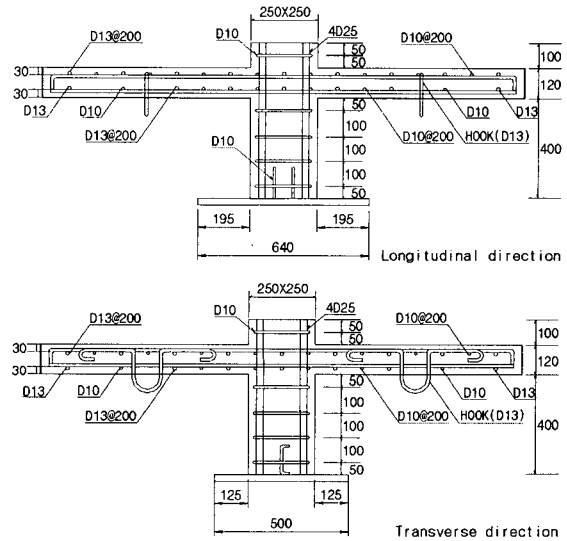


(b) Plan

Fig. 3 Test setup

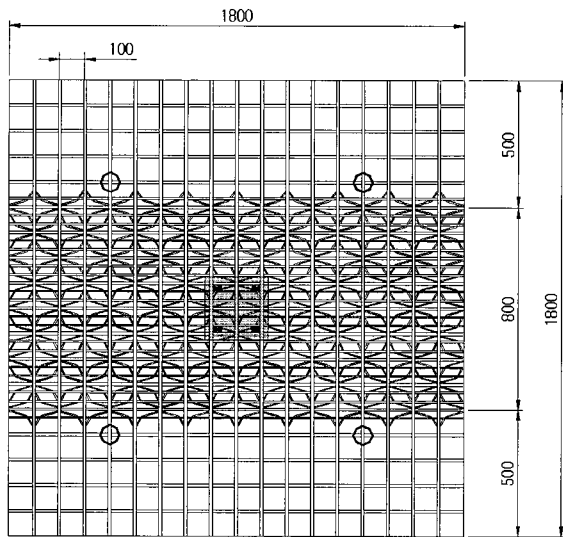


(a) Plan

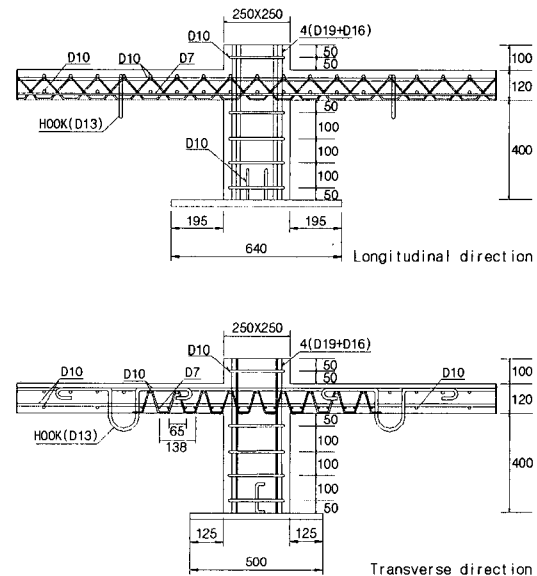


(b) Section

Fig. 4 Details of specimen S1



(a) Plan



(b) Section

Fig. 5 Details of specimen SL1

$\rho$  = 철근비,  $b_0/d$  = 유효깊이에 대한 위험단면 둘레의 비,  $c/L$  = 슬래브 경간 길이에 대한 기둥 단면 길이의 비,  $c_1/c_2$  = 기둥 단면에 대한 장변의 비이다. 상하 철근은 균등 배근되었다.

래티스 철근으로 보강한 실험체 SL1~SL4는 전단보강근의 성능을 비교할 수 있도록 각각 무보강 실험체 S1~S4와 모든 변수가 같도록 제작되었다. 원래 래티스 철근을 이용한 시스템 거푸집에서는 래티스 철근 하부에 강판

이 부착되어 있으나, 본 연구에서는 시공성을 고려하여 래티스 철근만을 사용하였다. 시공시에는 기둥 상부 슬래브 거푸집위에 미리 제작된 래티스 철근을 쉽게 배치할 수 있다. 또한 실험체에서, 웨브 철근의 위치에 따라서 전단 파괴강도가 달라질 수 있으므로 연속된 두 열의 경사 웨브 철근이 엇갈리도록 배치하였다(Fig. 5). 래티스 철근은 한 방향으로만 설치가 가능하므로 그 직각 방향으로는 웨브 철근 없이 휨철근 만을 설치하였다. 단 래티스 철근으로

**Table 1** Dimensions and properties of specimens

Specimens	$L$ (mm)	$c_1$ (mm)	$c_2$ (mm)	$h$ (mm)	$d$ (mm)	$b_0$ (mm)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	Re-bars <sup>(1)</sup>		$f_y^{(2)}$ (MPa)
									Top	Bottom	
S1	1800	250	250	120	90	1360	25.9	456	Top	9D13, 8D10	-
									Bottom	7D13, 6D10	
S2	1800	250	250	120	90	1360	27.4	466	Top	15D16, 2D13	-
									Bottom	11D16, 2D13	
S3	1800	250	250	160	130	1520	25.9	484	Top	2D16, 15D13	-
									Bottom	1D16, 12D13	
S4	1800	640	160	160	130	2120	28.0	484	Top	2D16, 15D13	-
									Bottom	1D16, 12D13	
S5	1800	400	400	160	130	2120	28.0	484	Top	2D16, 15D13	-
									Bottom	1D16, 12D13	
SL1	1800	250	250	120	90	1360	27.4	585	Top	17D10	513
									Bottom	26D7	
SL2	1800	250	250	120	90	1360	27.4	579	Top	17D14	513
									Bottom	26D10	
SL3	1800	250	250	160	130	1520	25.9	587	Top	17D12	513
									Bottom	26D8	
SL4	1800	640	160	160	130	2120	28.0	587	Top	17D12	513
									Bottom	26D8	

<sup>(1)</sup> Re-bars in longitudinal and transverse directions are the same, <sup>(2)</sup> Yield strength of lattice bar

**Table 2** Principal parameters

Specimens	Principal parameters	Shear reinforcement	Material parameter				Geometrical parameter		
			$\rho$ (percent) <sup>(1)</sup>		$\rho f_y$ (MPa)		$b_0/d$	$c_1/c_2$	$c/L$ <sup>(2)</sup>
			Top	Bottom	Top	Bottom			
S1	standard	-	0.792	0.609	3.61	2.78	15.1	1	0.14
SL1	-	Lattice Bars <sup>(3)</sup>	0.618	0.463	3.62	2.71	15.1	1	0.14
S2	$\rho$	-	1.500	1.131	6.99	5.27	15.1	1	0.14
SL2	-	Lattice Bars <sup>(3)</sup>	1.212	0.945	7.02	5.47	15.1	1	0.14
S3	$b_0/d$	-	0.800	0.598	3.87	2.89	11.7	1	0.14
SL3	-	Lattice Bars <sup>(3)</sup>	0.668	0.454	3.92	2.66	11.7	1	0.14
S4	$c_1/c_2$	-	0.800	0.598	3.87	2.89	16.3	4	0.22
SL4	-	Lattice Bars <sup>(3)</sup>	0.668	0.454	3.92	2.66	16.3	4	0.22
S5	$c/L$	-	0.800	0.598	3.87	2.89	16.3	1	0.22

<sup>(1)</sup> Reinforcement ratios were calculated for gross area, <sup>(2)</sup>  $c = (c_1 + c_2)/2$ , <sup>(3)</sup> See Fig. 2

**Table 3** Comparison of test results of shear-reinforced and unreinforced specimens

Specimens	Strength (kN)	Deformability (mm)	Strength ratio <sup>(1)</sup>	Displacement ratio <sup>(2)</sup>
S1	230.2	11.25	1.31	6.21
SL1	301.1	69.86		
S2	316.8	7.86	1.50	11.06
SL2	474.6	86.92		
S3	443.2	7.24	1.33	3.18
SL3	590.3	23.05		
S4	536.9	7.00	1.34	10.22
SL4	717.4	71.56		
Average			1.37	9.16 <sup>(3)</sup>

<sup>(1), (2)</sup> The ratios were calculated by dividing the values of shear-reinforced specimens by those of unreinforced specimens,

<sup>(3)</sup> The average of deformability ratio was calculated excluding SL3 whose test was early finished inadvertently

보강한 실험체의 휨철근과 전단보강을 하지 않은 실험체의 휨철근의 항복강도가 다르므로 동일한 휨성능( $\rho f_y$ )을 갖도록 단면적을 결정하였다. 또한 기둥의 단면이 직사각형인 실험체 SL4에 대해서는 래티스 철근의 방향에 따라 전단강도가 다르게 나타나므로, 본 실험에서는 안전측으로서 기둥을 통과하는 래티스 철근의 개수가 최소가 되도록, 즉 래티스의 방향이 긴 모서리 방향이 되도록 래티스근을 배치하였다.

Fig. 2에 나타난 래티스에 사용되는 철근은 원형철근으로서 항복강도  $f_y = 513 \text{ MPa}$  이며, 상하 철근과 웨브 철근은 전기 저항 용접되어 있다.

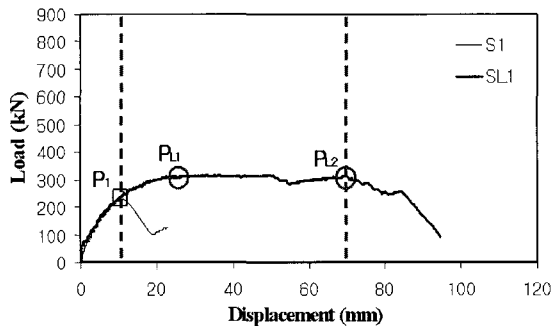
### 3. 실험결과

실험결과로서 각 실험체의 하중-변위 곡선이 Fig. 6에 나타나 있다. 여기서 변위는 기둥 중심부의 수직 처짐을 가리키며, 가력기의 변위로 측정하였다. 전단보강이 없는 슬래브는 1차 최대강도  $P_{L1}$ 에 이르러 취성파괴가 일어나며 강도가 급격히 감소하였다. 그러나 기둥의 위치에 슬래브의 연속파괴를 방지하기 위하여 배치되는 하부철근(실험체에서는 상부철근)에 의하여 접합부의 연속성이 유지되었으며, 이 철근의 인장응력에 대한 멤브레인 작용(membrane action)에 의하여 2차 최대강도  $P_{L2}$ 까지 증가하

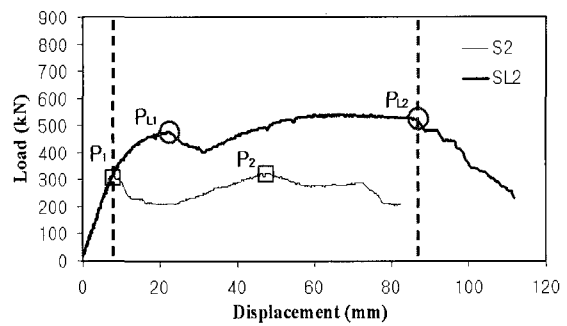
였다. 실험결과에 이러한 2차 파괴강도가 나타나지 않은 실험체 S1, S3는 실험을 조기 종료하였기 때문이다.  $P_{L2}$ 는  $P_{L1}$ 보다 작으며  $P_{L1}$ 이후 심한 손상이 발생되므로, 일반적으로 접합부의 변형 능력은  $P_{L1}$ 에 해당되는 값으로 간주된다.

전단보강된 슬래브는 1차 최대 강도  $P_{L1}$ 에 도달한 후, 강도가 감소되지 않고 연성능력이 유지되며 2차 파괴강도  $P_{L2}$ 에 도달한 후 파괴가 일어났다. 실험결과에 의하면 경사철근과 상하 철근 사이의 용접은 파괴되지 않은 것으로 나타났다. Table 3은 래티스 철근 보강 슬래브와 무보강 슬래브의 실험결과를 비교하고 있다. 강도는 평균적으로 1.37배 증가하였으며, 연성능력은 7.67배 증가하였다. 실험이 조기 종료된 실험체 S3, SL3을 제외하면 연성능력은 9.16배 증가하여 래티스 철근이 연성 능력을 획기적으로 증가시킬 수 있음을 나타내고 있다.

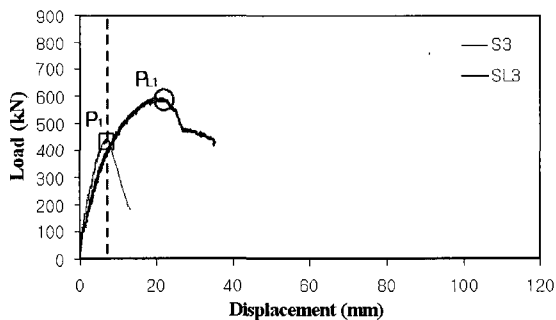
강도면에서 설계 변수에 관계없이 대략 31 ~ 37%의 증가를 보인다. 특이한 점은, 웨브 철근은 동일하나 상하 철근의 철근비가 큰 SL2의 강도 증가율이 50%에 달한다. 변형 능력 측면에서는 큰 전단파괴면을 갖는 SL4가 향상된 변형 능력을 나타내며, 또한 큰 상하 철근비를 갖는 SL2가 가장 큰 변형 능력을 나타내었다. 이 변수 연구결과로부터, 다른 전단보강방법과는 달리, 래티스 보강에서는 상하 철근의 크기가 접합부의 변형 능력에 큰 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 래티스 보강에서는 상하 철근이 웨브 철근과 접



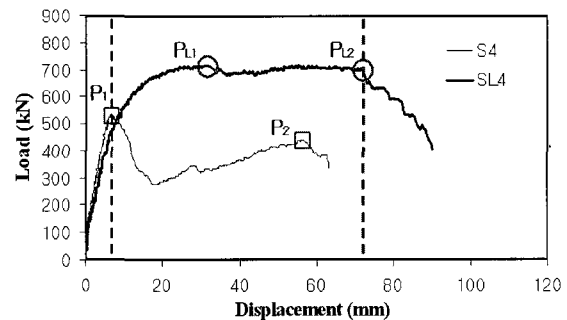
(a) Specimen S1 & SL1



(b) Specimen S2 & SL2

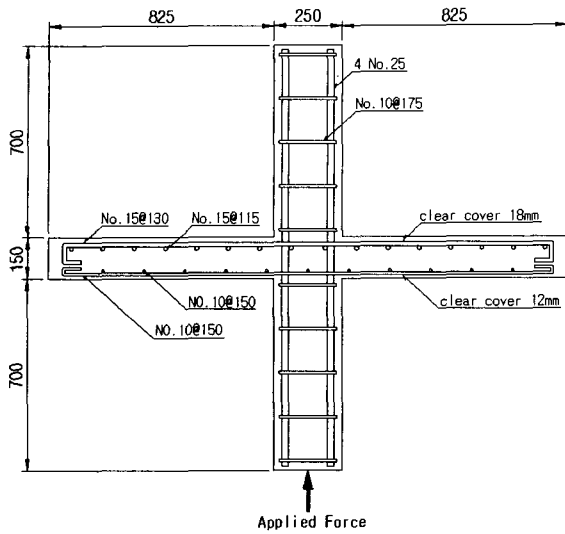


(c) Specimen S3 & SL3

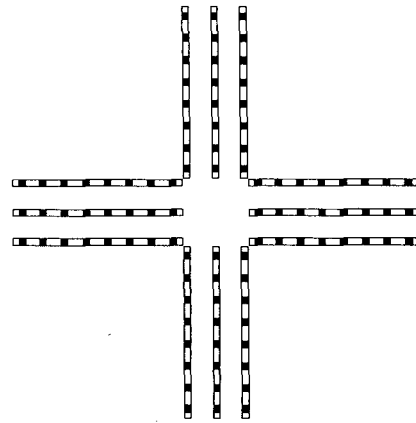


(d) Specimen S4 & SL4

Fig. 6 Load-displacement relationship of test specimens

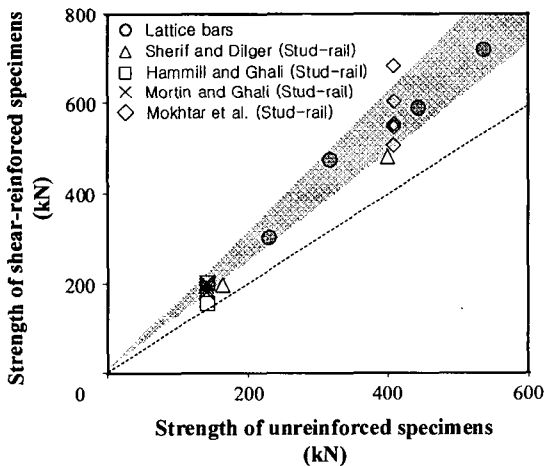


(a) Section

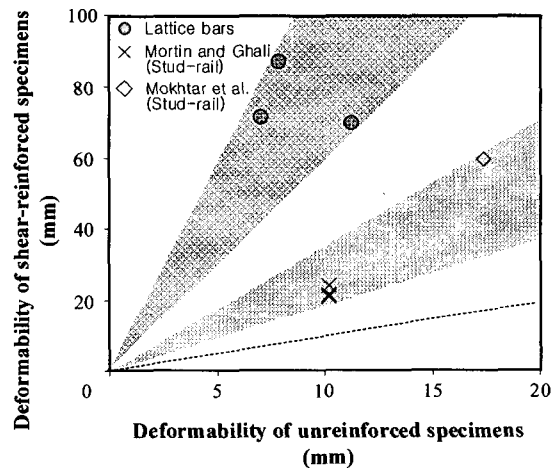


(b) Plan of shear stud-rail

Fig. 7 Mokhtar et al's test specimen



(a) Shear strength



(b) Deformability

Fig. 8 Comparison of lattice bars and shear stud-rail

합되어 트러스 작용과 상하 철근의 다우얼 작용을 일으키므로 접합부의 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

#### 4. 스테드레일 전단보강과의 성능 비교

본 연구에서 개발한 래티스 철근 전단보강의 구조 성능을 평가하기 위하여 미국에서 가장 많이 사용되는 보강 방법인 스테드레일 전단보강과 비교하였다. Table 4는 스테드레일 보강 방법에 대한 실험조건을 나타내고 있다. 실험에 사용한 기둥 위치와 하중 조건이 각각 다르며, Fig.

7은 이 중 Mokhtar의 실험체<sup>4)</sup>를 보여주고 있다.

Fig. 8(a)는 래티스 전단보강과 스테드레일 전단보강의 구조 성능을 비교하고 있다. 스테드레일 전단보강은 강도를 20~40% 증가시키며, 래티스 전단보강은 31~50%의 강도를 증가시키므로 강도 측면에서 래티스 전단보강이 다소 좋은 것이 것으로 평가되었다. 그러나 스테드레일에 사용된 스테드의 직경은 9.5mm(3/8in.)와 12.7mm(1/2in.)인데 반하여 래티스 보강에 사용된 경사 웨브근의 직경은 5mm로서, 강도면에서 래티스 보강이 보다 효율적인 것으로 판단된다. Fig. 8(b)는 변형 능력을 비교하고 있다. 스테드레일 전단보

**Table 4** Test conditions of existing experiments

Tests		Location of column	Applied load <sup>(1)</sup>
Shear stud-rail	Sherif and Dilger (2000)	Interior + edge	V
	Hammill and Ghali (1994)	Corner	V + H
	Mortin and Ghali (1991)	Edge	V + H
	Mokhtar et al. (1985)	Interior	V
Lattice bars	Present study (Park)	Interior	V

<sup>(1)</sup> V = vertical load, H = horizontal load

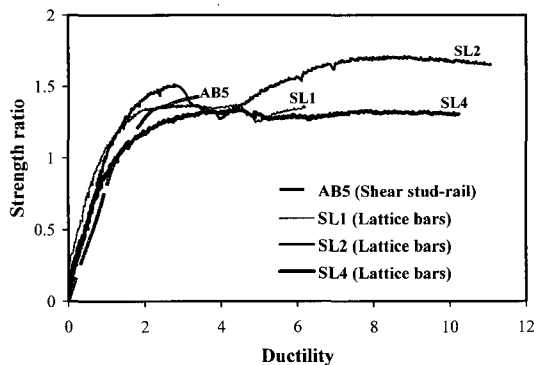
강은 변형 능력이 2.07 ~ 2.39배 증가하는데 그쳤으나 래티스 전단보강은 변형 능력이 6.21 ~ 11.06배로 크게 증가하였다. 이 비교에서 실험을 조기종료한 실험체 SL3은 제외하였다.

Table 4와 Fig. 7에 나타난 바와 같이 본 연구의 실험체와 기둥 위치와 하중 조건이 동일하고, 실험체의 크기, 형2, 파괴면에서의 전단철근비가 유사한 Mokhtar의 실험체 AB5를 직접적으로 비교하였다. Fig. 9는 그 비교결과를 보여주고 있는데, 보강 실험체의 강도는 비슷하지만, 연성능력은 래티스 전단보강 시험체가 스티드레일 보강 시험체보다 월등히 우수한 것으로 나타났다.

스티드레일은 전단균열의 증가를 억제하는 순수한 전단보강의 역할을 수행한다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 래티스 철근은 상하 철근과 웹 철근이 용접되어 뿔림 전단에 대한 독자적인 구조시스템을 구성하고 또한 상하철근에 용접된 웹 철근이 상하철근의 다우얼 작용(dowel action)을 증가시키므로 국부적인 콘크리트의 파괴 후에도 강도 및 연성 능력을 발휘할 수 있으며, 이로 인하여 접합부의 연성 능력을 크게 향상시킬 수 있다.

### 5. 강도산정

래티스 철근은 형상적 특성으로 인하여 경사철근이 전단 균열과 만나는 각도 및 위치에 따라서 전단강도가 다르므로 전단강도의 산정이 쉽지 않다.



**Fig. 9** Comparison of lattice bars and shear stud rails: strength - ductility relationship

본 연구에서는 실험결과에 근거하여 실무에서 사용할 수 있도록 단순화된 강도산정 방법을 개발하였다. 래티스 철근으로 전단보강한 실험체의 강도는 콘크리트의 기여도와 전단철근의 기여도의 합으로 정의한다.

$$V_u = V_c + V_s \quad (1)$$

여기서,  $V_u$  = 래티스 철근으로 전단보강한 실험체의 전단강도,  $V_c$  = 콘크리트의 전단강도,  $V_s$  = 래티스 철근으로 인한 전단강도의 기여분을 가리킨다.

래티스 철근의 전단강도  $V_s$ 는 접합부 파괴면과 만나는 래티스 철근의 개소와 각 개소 당 파괴면을 관통하는 웨브철근의 유효개수에 의하여 결정된다. 따라서 래티스 철근의 전단기여도를 식(2)로 정의한다.

$$V_s = n_1 n_2 V_{sl} \quad (2)$$

여기서  $n_1$  = 파괴면과 만나는 래티스근의 개소,  $n_2$  = 개소 당 유효한 웨브철근의 개수,  $V_{sl}$  = 웨브철근 1개 내력의 수직성분을 가리킨다.

해당개소는 Fig. 10에 나타나 있다. 실험결과를 토대로 파괴면의 위치를 결정하고, 파괴면을 관통하는 래티스의 개수를 산정하여  $n_1$ 을 결정한다. 따라서  $n_1$ 의 산정에는 파괴면의 위치에 대한 가정이 중요하다. 플랫플레이트 구조에서는 기둥접합부에서 가장 큰 휨모멘트와 전단력이 발생하므로 일반적으로 뿔림 전단파괴는 기둥 접합부인접 주위에서 일어난다. Fig. 11에 나타난 실험결과에 따르면 실험체 SL1, SL3, SL4는 기둥면에서 약  $h$ 만큼 떨어진 부분에서 발생하였으며, 이는 콘크리트구조설계기준의 뿔림 전단파괴면과 동일하다. 반면에 SL2의 파괴면은 기둥면에서  $h$ 에서  $2h$ 까지 넓은 면적에 분포되어 파괴가 발생한 것으로 관찰되었다. SL2는 다른 실험체에 비하여 상하철근의 강도가 2배에 달하는데, 이로 인하여 파괴면이 확대된 것으로 판단된다. CEB-FIP 보고서<sup>17)</sup>는, 실험연구결과에 근거하여 인장철근비가 증가함에 따라 파괴면의 폭이 증가한다고 보고하였다. 이 보고서에 따르면 Fig. 10의 인장균열각도  $\alpha = \tan^{-1}(0.056/\rho + 0.3) = 29^\circ$ 로

정의되며, 따라서 파괴면의 모서리 길이는 SL1, SL3, SL4에 대해서  $l_{si} = c_i + 2.7h$ , SL2에 대해서  $l_{si} = c_i + 3.6h$ 로서 본 연구결과와 비슷하다. 본 연구에서는 본 연구에서 수행한 실험결과에 근거하여 대략적인 값인  $l_{si} = c_i + 2h$ ,와  $l_{si} = c_i + 4h$  를 사용하였다.

각 해당개소에는 모두 4개의 웨브철근이 연결되어 있는데, 이들 중 2개는 파괴면과 예각으로 만난다(Fig. 12). 예각으로 만나는 철근의 기여도는 무시하면 실제 전단강도에 기여하는 웨브철근은 2개가 된다. 또한 웨브철근의 간격은 Fig. 13에 나타난 바와 같이 길이방향으로 200mm, 직각방향으로 100mm이므로 균열 파괴면과 웨브철근이 만날 확률  $p$ 는 다음과 같다.

$$\text{길이방향} : p = \frac{d_e (\cot \alpha + \cot \theta_l)}{200} \leq 1 \quad (3a)$$

$$\text{직각방향} : p = \frac{d_e (\cot \alpha + \cot \theta_t)}{100} \leq 1 \quad (3b)$$

여기서,  $d_e$  = 유효균열깊이로서 상부철근과 하부철근 사이의 거리,  $\theta_l$  = 길이방향에서 웨브철근이 수평면과 이루는 각,  $\theta_t$  = 직각방향에서 웨브철근이 수평면과 이루는 각을 가리킨다. 따라서 각 개소 당 유효 래티스 철근의 개수  $n_2 = 2p$ 가 된다.

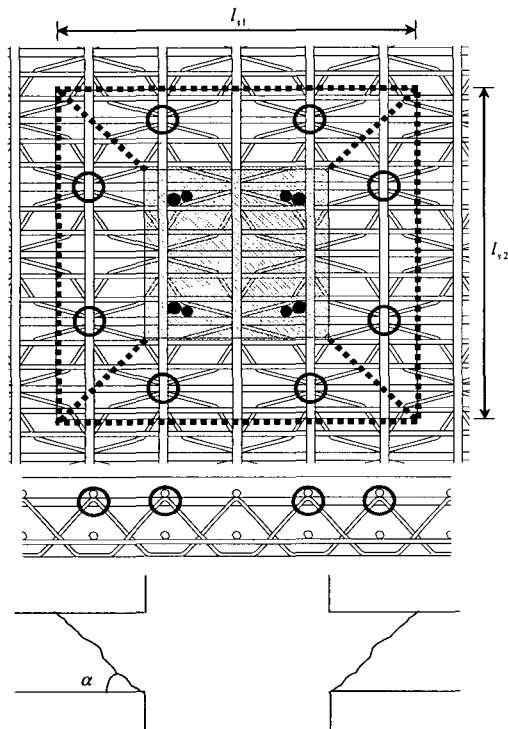
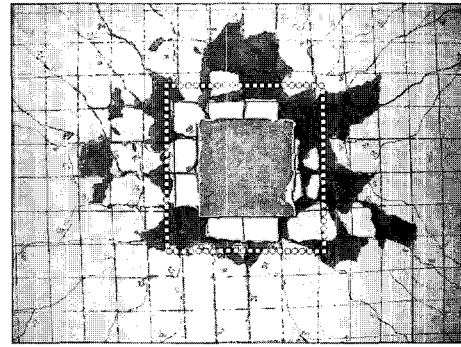
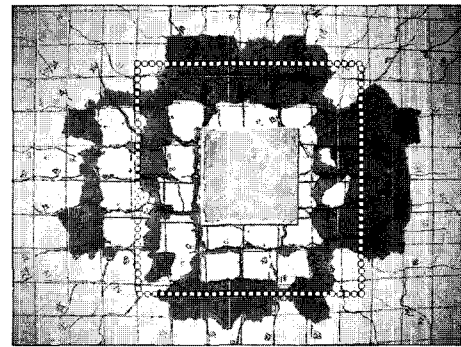


Fig. 10 Number of lattice bars crossing shear failure surface



(a) SL1



(b) SL2

Fig. 11 Failure surface

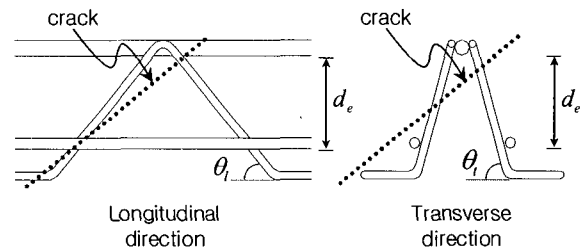


Fig. 12 Effective web bars contributing to shear reinforcement

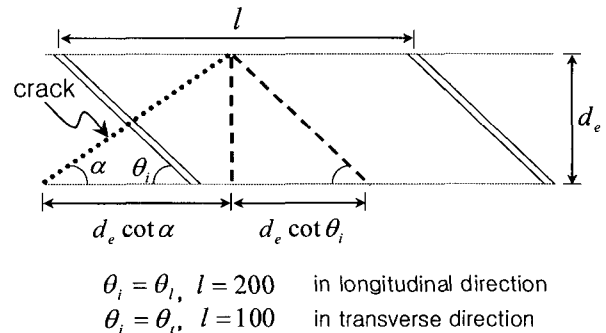


Fig. 13 Probability that a web bar intersects the failure surface



$V_{sl}$ 은 웨브철근 1개 내력의 수직성분으로서 식(4)와 같이 계산한다.

$$V_{sl} = A_{sl} f_{yt} \sin \theta \quad (4)$$

여기서,  $A_{sl}$  = 웨브철근의 단면적,  $f_{yt}$  = 웨브철근의 항복강도,  $\theta$  = 웨브철근이 수평면과 이루는 각을 가리킨다. 실험체 SL1, SL2의 경우에는  $\theta = 48.33^\circ$ , 실험체 SL3, SL4의 경우에는  $\theta = 59.35^\circ$ 로 설계되었다.

식(2)~(4)를 이용하여 구한 래티스 철근의 전단강도가 Table 5에 나타나 있다. Table 5와 Fig. 14에 나타난 바와 같이 래티스 철근의 전단강도  $V_s$ 에 대한 실험강도대 예측강도의 비는 0.91~1.21로서 본 연구에서 제안한 강도 추정방법이 비교적 정확한 것으로 나타났다.

기존 연구<sup>14-16)</sup>에 따르면 현 설계기준은 콘크리트의 기여도  $V_c$ 를 정확히 산정하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 래티스 철근의 전단강도  $V_s$ 를 산정하기 위하여 전단부보강 시험체의 강도를  $V_c$ 로 사용하였다. 또한 실험체 SL2의 강도산정시 파괴면을 타 시험체와 달리  $c_i + 4h$ 로 가정하였다. 그러나 파괴면의 변화를 예측하는 것은 쉽지 않으므로, 실무설계에서는 안전측으로서  $c_i + 2h$ 를 사

용할 수 있다. 래티스 철근의 전단능력을 극대화하기 위해서는 웨브철근의 크기를 증가시키거나, 웨브철근의 경사각  $\theta_i$ 을 조절하여 많은 웨브철근이 전단강도에 기여할 수 있도록 현재의 래티스 철근 형태의 개선이 필요하다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 무량판 구조의 접합부 뚫림전단 보강재로서 래티스 철근을 이용한 전단보강방법을 개발하였다. 실험연구를 통하여 전단보강이 없는 실험체와 비교하였으며, 실험결과 래티스 보강시험체는 무보강시험체에 비하여 평균적으로 강도는 1.37배, 변형능력은 9.16배 증가 되어, 그 구조성능의 우수성을 입증하였다. 또한 현재 미국에서 흔히 사용되고 있는 스티드레일 전단보강에 비해서도 연성능력이 매우 우수한 것으로 평가되었다. 일반적인 전단보강 방법과는 달리 래티스 전단보강은 웨브와 상하철근이 접합되어 독립적인 트러스작용과 상하철근의 다우얼 작용을 발생시키므로, 접합부의 연성능력을 크게 증가시킬 수 있다.

본 연구에서는 이러한 실험결과에 근거하여 래티스 전단보강의 강도평가방법을 개발하였다. 무량판구조의 가장 큰 취약점이 접합부의 취성과파괴임을 감안하면, 접합부의 연성능력을 크게 향상시키는 래티스 전단보강이 효율적인 전단보강방법중의 하나이며, 특히 큰 연성능력이 요구되는 내진설계에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 (주)동부건설과 (주)제일테크노스, 그리고 건설교통부의 2004년도 건설기술연구개발사업(04핵심기술 C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. American Concrete Institute, *Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary(ACI 318R-02)*, American Concrete Institute, USA, 2002, pp.139~186.

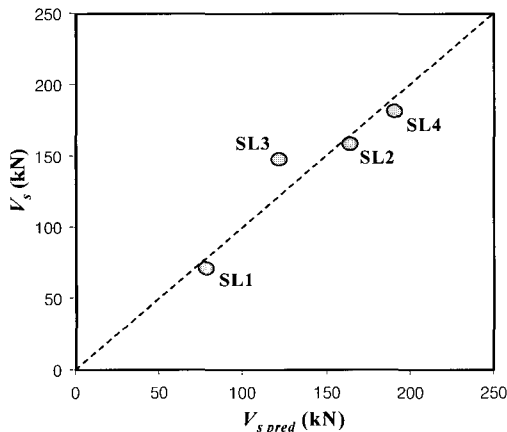


Fig. 14 Comparison between  $V_{s\text{pred}}$  and  $V_s$

Table 5 Predicted strength of lattice shear reinforcement

Specimens	Test				Prediction				$V_s$ (kN)	$V_{s\text{pred}}$ (kN)	$\frac{V_s}{V_{s\text{pred}}}$
	$V_u^{(1)}$ (kN)	$V_c^{(2)}$ (kN)	$V_{KCI}$ (kN)	$V_s^{(3)}$ (kN)	Longitudinal direction		Transverse direction				
					$n_1$	$n_2$	$n_1$	$n_2$			
SL1	301.1	230.2 (S1)	205.5 (S1)	70.9	4	1.10	4	1.54	7.41	78.2	0.91
SL2	474.6	316.8 (S2)	211.3 (S2)	157.8	6	1.70	6	2	7.41	164.5	0.96
SL3	590.3	443.2 (S3)	331.8 (S3)	147.1	4	1.52	4	2	8.65	121.8	1.21
SL4	717.4	536.9 (S4)	363.4 (S4)	180.5	4	1.52	8	2	8.65	191.0	0.95

<sup>(2)</sup> Test results of specimens with no shear reinforcement, (3) = (1) - (2)

2. Neil Hammill and Amin Ghali, "Punching Shear Resistance of Corcor Slab-Column Connections," *ACI Structural Journal*, Vol.91, No.6, Nov.-Dec. 1994, pp.697~707.
3. John D. Mortin and Amin Ghali, "Connection of Flat plates to Edge Columns," *ACI Structural Journal*, Vol.88, No.2, Mar.-Apr. 1991, pp.191~198.
4. Abdel-Salam Mokhtar, Amin Ghali, and Walter Dilger, "Stud Shear Reinforcement for Flat Concrete Plates," *ACI Structural Journal*, Vol.82, No.5, Sep.-Oct. 1985, pp.676~683.
5. Alaa G. Sherif and Walter H. Dilger, "Tests of Full-Scale Continuous Reinforced Concrete Flat Slabs," *ACI Structural Journal*, Vol.97, No.5, May-Jun. 2000, pp.455~467.
6. Adel A. Elgabry and Amin Ghali, "Test on Concrete Slab-Column Connections with Stud-Shear Reinforcement Subjected to Shear-Moment Transfer," *ACI Structural Journal*, Vol.84, No.5, Sep.-Oct. 1987, pp.433~442.
7. ACI Committee 421, "Abstract of : Shear Reinforcement for Slabs," *ACI Structural Journal*, Vol.89, No.5, Sep.-Oct. 1992, pp.587~589.
8. Adel A. Elgabry and Amin Ghali, "Design of Stud-Shear Reinforcement for Slabs," *ACI Structural Journal*, Vol.87, No.3, May-Jun. 1990, pp. 350~361.
9. W. Gene Corley and Neil M. Hawkins, "Shearhead Reinforcement for Slabs," *ACI Journal*, Oct. 1968, pp.811~824
10. Denio R. Oliveira, Guilherme S. Melo, and Paul E. Regan, "Punching Strengths of Flat Plates with Vertical or Inclined Stirrups," *ACI Structural Journal*, Vol.97, No.3, May-Jun. 2000, pp.485~491.
11. Amin Ghali and Sami Megally, "Design for Punching Shear Strength with ACI 318-95," *ACI Structural Journal*, Vol.96, No.4, Jul.-Aug. 1999, pp.539~548.
12. Austin D. Pan and Jack P. Moehle, "An Experimental Study of Slab-Column Connections," *ACI Structural Journal*, Vol.89, No.6, Nov.-Dec. 1992, pp.626~638.
13. Denis Mitchell, M. ASCE and William D. Cook, "Preventing Progressive Collapse of Slab Structures," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.110, No.7, Jul. 1984, pp.1513~1532.
14. Elstner, R. C. and Hognestad, E., *An Investigation of Reinforced Concrete Slabs Failing in Shear*, Mineographed Report, University of Illinois, Department of Theoretical and Applied Mechanics, 1953, 인용한 쪽.
15. Luo, Y. H. and Durrani, A. J., "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Building-Part1:Interior Connections," *ACI Structural Journal*, Vol.92, No.1, 1995, pp.115~124.
16. 최경규, 박흥근, "플랫플레이트-기둥 접합부의 뚫림전단 강도," 콘크리트학회논문집, 16권 2호, 2004, pp.163~174.
17. CEB-FIP, *fib Bulletin 12. Punching of structural concrete slabs*, Lausanne, Switzerland, 2001, pp.33~34.

## 요 약

무량판 구조의 슬래브-기둥 접합부는 취성적인 전단유형으로 파괴되며, 이는 전 구조물의 붕괴를 유발할 수 있다. 본 연구에서는 새로운 전단보강방법으로서 래티스 철근을 이용한 전단보강방법을 개발하였다. 실험연구를 실시하여 래티스 전단보강 실험체와 무보강 실험체의 접합부 전단강도 및 연성도를 비교하였다. 실험결과 래티스 철근으로 전단보강한 실험체는 전단보강하지 않은 실험체에 비해 평균적으로 강도면에서 1.37배, 연성도면에서 9.16배 증가하였다. 이는 래티스 철근이 무량판 구조의 전단보강재로서 전단강도와 연성도 측면에서 매우 효과적인 보강방법임을 입증하고 있으며, 현재 미국에서 접합부 전단보강재로 널리 사용되고 있는 스티드레일 전단보강보다 연성능력이 훨씬 우수한 것으로 나타났다. 또한 실험결과에 근거하여 래티스 전단보강의 강도평가방법을 개발하였다.

핵심용어 : 무량판-기둥 접합부, 뚫림전단, 래티스 철근, 전단보강, 연성도