

슬래브-기둥 접합부의 내진성능을 위한 래티스 전단보강

Lattice Shear Reinforcement for Earthquake-Resistance of Slab-Column Connection.

김유니* 박홍근**
Kim, You Ni Park, Hong Gun

ABSTRACT

A flat plate-column connection is susceptible to brittle punching shear failure, which may result in the necessity of shear reinforcement. In present study, experimental tests were performed to study the capacity of slab-column connections strengthened with lattice, stud rail, shear band and stirrup under gravity and cyclic lateral load. Among them, the capacity of the specimens with lattice are superior to the others due to the truss action of the lattice bars and dowel action of the longitudinal bars as well as the shear resistance of the web re-bar. On the other hand, the strengths of the specimens with stud rail, shear band and stirrup are lower than the estimated strength by the ACI, therefore design formulas of the ACI are needed to revise.

Keywords:slab-column connection, lateral load, lattice, shear reinforcement, ductility

1. 서론

무량판 슬래브는 시공성, 경제성면에서 우수하지만 두께가 얇기 때문에 취성적인 전단파괴가 발생하기 쉬우며, 구조물 전체의 붕괴가 유발될 수 있다. 특히 지진하중이나 풍하중 등의 횡하중이 슬래브-기둥 접합부에 가해지면, 슬래브와 기둥 사이에 불균등 모멘트가 발생하며, 과도한 전단하중이 접합부로 유도될 수 있다. 때문에 무량판 시스템을 효과적으로 사용하기 위해서는 접합부를 보강하여 취성적인 전단파괴를 방지하고, 접합부의 강도와 변형능력을 향상시켜야 한다. 현재 접합부 보강 방안으로 전단헤드, 철근스터럽, 스테드 레일등의 다양한 방법이 개발되어 있으나, 본 연구에서는 기존의 방법보다 구조성능이 우수한 래티스 철근에 의한 보강방법을 개발하고, 그 효과를 검증하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

본 연구에서는 $V_u/V_c=0.4$ 인 중력하중과 주기 횡하중을 받는 슬래브-기둥 접합부를 여러가지 방법으로 전단보강하여, 구조성능을 비교 평가하고자 한다. 주요변수는 전단보강 방법과 콘크리트의 압축강도이다.

2.1 실험체 제작

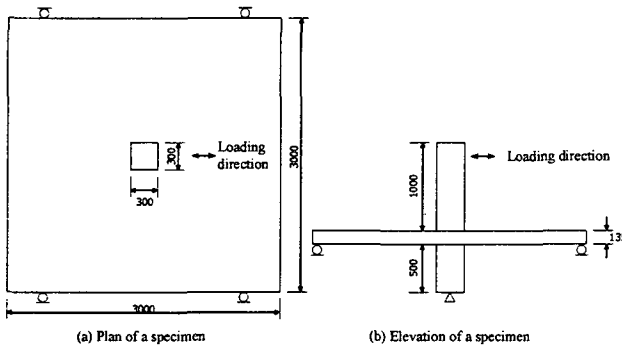


그림 1 Slab Dimension and Supports

(그림 1)과 같이 3m×3m 크기의 접합부의 축소판 실험체를 제작하였다. 슬래브의 두께 135mm, 기둥의 크기 300mm×300mm, 상부기둥은 1000mm, 하부기둥은 500mm이다. 주열대의 상부철근비는 1.06%, 하부철근비는 0.79%이다. 콘크리트 압축강도를 변수로 하여 A, B 두 개의 그룹으로 나누고, group A의 실험체는 $f'_c=22.5\text{Mpa}$, group B 실험체는 $f'_c=38.7\text{Mpa}$ 의 콘크리트를 사용하였으며, 각각의 강도에 대해 무보강 기준실험체, 래티스, 스테드 레일, 전단밴드, 스테르럽으로 보강된 실험체 5개씩 제작하였다.

*정희원, 서울대학교 건축학과 박사과정

**정희원, 서울대학교 건축학과 교수

표 1 실험체 변수 및 재료성질

Specimens	parameter		f_y (Mpa)	V_s (Mpa)	Specimens	parameter		f_y (Mpa)	V_s (Mpa)
	shear reinforcement	f'_c (Mpa)				shear reinforcement	f'_c (Mpa)		
RC-1A	-	22.5	420	-	RC-1B	-	38.7	449	-
SR-1A	Lattice bars	22.5	420	555	SR-1B	Lattice bars	38.7	449	555
SR-5A	Stud rail	22.5	420	221	SR-5B	Stud rail	38.7	449	221
SR-6A	Shear band	22.5	420	533	SR-6B	Shear band	38.7	449	533
SR-7A	Stirrup	22.5	420	558	SR-7B	Stirrup	38.7	449	558

2.2 전단보강재

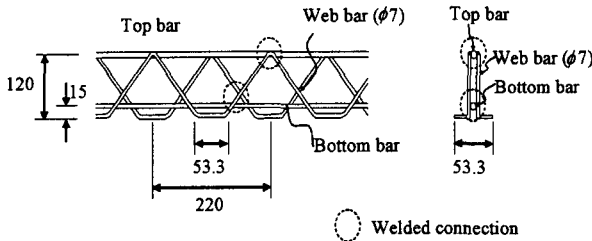


그림 2 Lattice Reinforcement

전단보강재로는 래티스 철근, 스테드레일, 전단밴드, 스테럽이 사용되었다. 모든 전단보강재는 $V_s = A_s f_y (1 + \cos \alpha) \sin \alpha \frac{d}{s}$ 에 의하여 산출하여 동일한 V_s 로 설계하였다. 래티스는 상하부 주철근과 전단철근의 역할을 하는 경사재인 웨브철근이 용접으로 일체화되어 있다. (그림 2)에서와 같이 래티스 철근 한 세트는 상부 주철근, 절곡된 웨브철근, 하부 주철근으로 구성된다. 웨브철근은 설계치수에 맞게 절곡하여 상하부 주철근의 양쪽에 용접하였다. 래티스는 구조적으로 일체화된 트러스 작용에 의해 콘크리트 국부 파괴 후에도 성능을 유지할 수 있으며, 주철근의 정착을 도와 슬래브 전체의 붕괴를 방지할 수 있다. 스테드 레일은 레일 한 개당 7개의 스테드를 부착하였으며, 기둥 한 면에 두 줄씩 8개의 레일을 설치하였다. 스테드의 간격, 헤드의 크기 등의 설계는 ACI 421.1R-99를 참고하였다. 전단밴드는 K. Pilakoutas 와 X. Li 가 개발한 절곡철근을 사용하였다. 전단밴드는 두께가 얇아 피복두께를 감소시키지 않고, 얇은 슬래브에도 시공이 가능하다. 두께 3mm의 띠형 철판을 하부철근과 상부철근에 엇갈리게 걸쳐놓아 정착 효과를 높였으며, 기둥 한 면에 세 줄씩 12개를 설치하였다. 스테럽은 $\phi=6\text{mm}$ 의 원형철근을 사용하여 제작하였다. 과 같이 제작한 철선2개를 한 조로 기둥 한 면당 7조씩 28조의 스테럽을 설치하였다.

2.3 실험체 설치

중력하중과 주기 횡하중을 받는 슬래브 내부접합부의 거동을 실제와 유사하게 재현하기 위해, (그림 3)과 같이 실험체를 설치하였다. 슬래브 양단부는 수평이동이 가능한 핀접합으로, 기둥 하부에는 힌지를 설치하여 회전이 가능하도록 하였다. 횡하중은 기둥 상부의 액츄에이터에 의해 변위제어방식으로 가하였으며, 중력하중은 콘크리트에 의한 접합부 전단강도의 40%를 기둥하부에서 유압잭에 의한 치올림 변위로 가하였다.

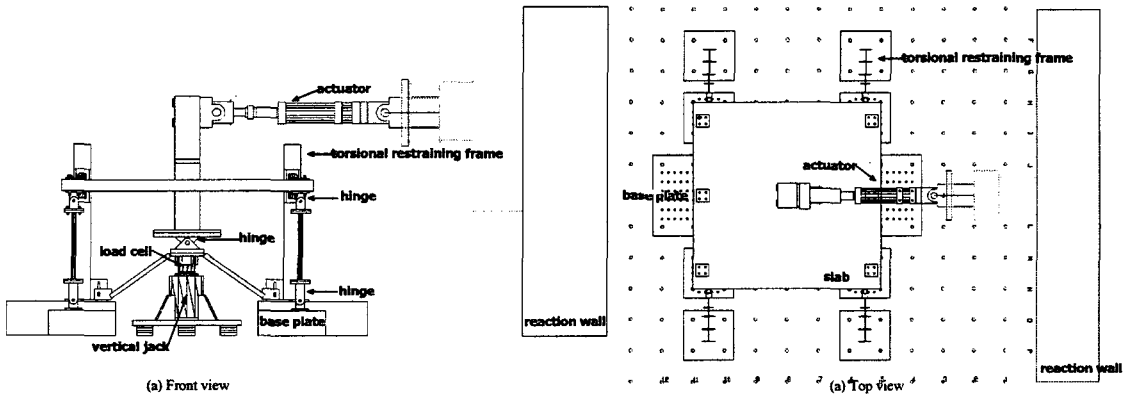


그림 3 TEST SET-UP

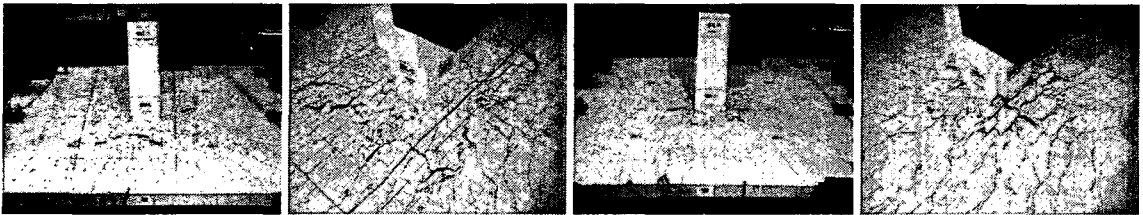
표 2 실험결과 및 비교

Specimens	V_u/V_c	V_u (kN)	Test results		Test comparisons		Specimens	V_u/V_c	V_u (kN)	Test results		Test comparisons	
			M_{exp} (kN-m)	δ_{exp} (%)	strength ratio	ratio of deformation capacity				M_{exp} (kN-m)	δ_{exp} (%)	strength ratio	ratio of deformation capacity
RC-1A	0.4	132.4	64.5	1.5	1.00	1.00	RC-1B	0.4	158.5	70.5	1.6	1.00	1.00
SR-1A	0.4	132.4	132.2	7.0	2.05	4.67	SR-1B	0.4	158.5	129.1	4.7	1.83	2.94
SR-5A	0.4	132.4	98.9	4.0	1.53	2.67	SR-5B	0.4	158.5	77.1	5.1	1.09	3.19
SR-6A	0.48	132.4	96.7	5.1	1.49	3.10	SR-6B	0.4	158.5	86.8	6.5	1.23	4.06
SR-7A	0.4	132.4	66.1	3.0	1.02	2.00	SR-7B	0.4	158.5	93.8	3.2	1.33	2.00

3. 실험 결과 및 비교

3.1. 균열 및 파괴 양상

무보강 기준 실험체인 RC-1A와 RC-1B 는 실험 초기에 슬래브 상부 전면에 가력방향에 직각으로 직선형의 균열이 발생하였고, 그 후 기둥 주위에 d 만큼 떨어진 곳에 균열면이 발생했으나 균열의 크기가 증가하지는 않았다. 접합부의 파괴시에는 슬래브 상부의 기둥면에서 $2d \sim 3d$ 만큼 떨어진 곳에 넓게 파괴면이 형성되면서 전단파괴가 일어났다. (그림 4-a) 전단보강재로 보강한 실험체는 최대하중이 발현된 후 보강방법에 따라 3~7%의 변형이 발생하였다. 그 중 래티스 보강 실험체의 경우 실험 초기에는 무보강 기준 실험체와 비슷한 양상으로 균열이 발생하였으나 균열의 개수와 분포 범위는 적었다. 그 후 슬래브 접합부의 기둥 콘크리트가 이탈되었으며, 슬래브 상부에는 기둥에서부터 방사상으로 발생한 균열이 크기가 증가하며 접합부의 파괴가 일어났다. 무보강 실험체와 같이 기둥을 둘러 형성되는 뚜렷한 파괴면은 발생하지 않았다.(그림 4-b) 슬래브 하부는 기둥 주위 콘크리트가 압축파괴 하면서 이탈되어 하부 철근이 노출되었다.



(a) Crack patterns of specimen RC-1B

(b) Crack patterns of specimen SR-1B

그림 4 Crack Pattern in slab on surface at failure

3.2 변형률 및 강도

변형률은 최대강도 발현 이후 최대강도의 80%까지 강도가 떨어졌을 때의 변형각으로 정의하였고, 실험 결과 비교에는 정방향, 부방향 가력시 강도와 변형률값 중 작은 값을 택하여 비교하였다.(표 2) (그림 5)의 group A의 실험결과에서, 전단보강을 하지 않은 RC-1A 실험체는 최대하중 발생 직후 같은 변위단계에서 하중이 급격하게 감소한 것을 볼 수 있다. 래티스로 보강한 SR-1A 는 7% 연성이 발휘되어 가장 우수한 결과를 보였으며 무보강 실험체의 4.7 배에 해당하는 값이다. 휨강도는 무보강 실험체의 2.05 배가 증진되었다. 스티드 레일과 전단밴드는 각각 4.0%, 5.1%의 연성능력을 보였고, 무보강 실험체에 대한 강도증진은 1.53, 1.49 배였다. 스티럽은 다른 실험체에 보다 많은 중력하중이 재하되어 직접 비교가 어려우나 연성능력은 3.0%, 무보강 실험체에 대한 강도증진은 1.02 배로 효과가 가장 작았다. 고강도 콘크리트를 사용한 group B 의 실험결과(그림 6), 래티스 보강실험체는 무보강 실험체에 비하여 1.83 배의 강도증진을 보였으며, 4.7% 의 연성능력이 발휘되었다. 스티드레일과 전단밴드는 연성능력은 5.1%, 6.5% 이나 강도증진은 무보강 실험체의 1.09, 1.23 배로 효과가 작았다.

래티스 철근은 상하부 모멘트 철근과 전단철근 역할을 하는 경사재인 웹철근이 트러스 형태를 이루며 용접이 되어 있어 래티스 철근만으로도 독립적인 시스템을 이룰 수 있다. 콘크리트에 압축파괴가 발생한 이후에도 트러스 작용으로 압축력을 지지해줄 수 있으며, 휨 철근과 전단철근의 위치가 고정되므로 정착 정착효과를 볼 수 있다. 이러한 메커니즘으로 인해 래티스의 보강효과가 우수했던 것으로 보인다.

3.3 강성 및 에너지소산능력

각 이력 싸이클의 최대강도 및 최대변위의 점을 연결하여 직선을 기울기를 해당 싸이클의 강성으로 정의하고 고 변위각에 따른 강성과 강성저하 양상을 (그림 7)에 나타내었다. 래티스로 보강한 실험체의 강성이 가장

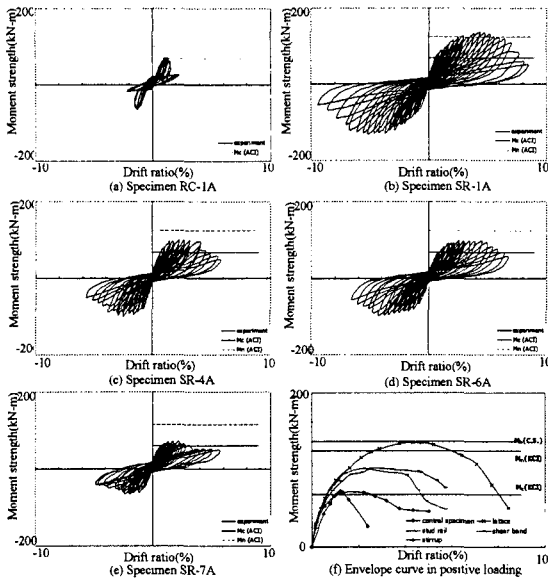


그림 5 Moment-drift curve of group A

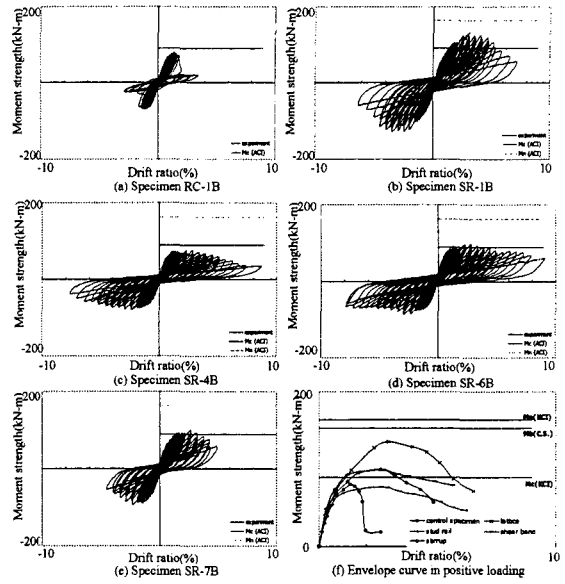


그림 6 Moment-drift curve of group B

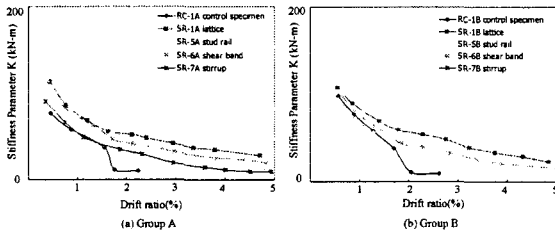


그림 7 Stiffness parameter

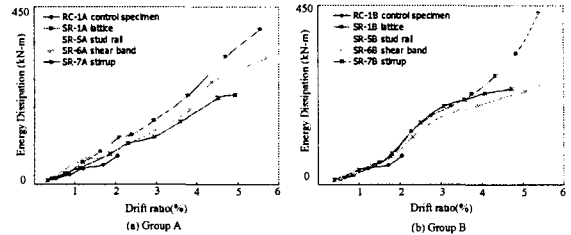


그림 8 Energy dissipation capacity

크게 측정되었으며, 강성저하곡선도 가장 완만하였다. 1.5~1.7 %의 변형각이 발생하였을 때 group A와 group B 에서 무보강 실험체의 강성은 래티스철근으로 보강한 실험체 강성의 52.58% 64.35% 로 래티스가 접합부의 강성저하방지에 효과적으로 사용된 것으로 평가된다. 극한 변형시에도 래티스보강 실험체는 다른 보강방법보다 강성 감소량이 적었다. (그림 8)의 에너지 소산능력을 비교해보면, group A 와 group B 에서 가장 우수한 에너지 소산능력을 나타내는 실험체는 래티스 보강실험체였으며, 다른 실험체는 래티스에 비하여 상당히 떨어지는 것으로 나타났다.

4. 결론

취성적인 전단파괴에 의해 성능이 지배되는 무량판 슬래브를 여러가지 방법으로 전단보강하여 구조성능을 평가하는 실험을 실시하였다. 그 중 래티스 철근으로 보강한 보강한 실험체는 무보강에 비하여 1.83~2.05 배의 강도증진을 보였으며, 연성도는 2.94~ 4.67 배 향상되었다. 래티스 철근은 상하부 모멘트 철근과 웨브철근이 용접으로 일체화 되어있고, 이로 인한 트러스 작용과, 모멘트 철근의 정착으로 우수한 성능이 발휘된 것으로 보인다.

참고문헌

1. 박흥근, 안경수, "래티스 철근을 이용한 무량판-기둥 접합부의 전단보강", 서울대학교, 2004
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary(ACI 318R-02)," American Concrete Institute, 2002.
3. ACI Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members-Slabs", Journal of the Structural Division, 1974.
4. Dilger, W. H., "Flat slab-column connections", Prog. Struct. Engng Mater., 2000, pp 386-399.
5. K. Pilakoutas & X. Li, "Alternative Shear Reinforcement for Reinforced Concrete Flat Slabs", Journal of Structural Engineering, 2003, pp 1164-1172.
6. Moehle, J. P. Kreger, M. E. & Leon, R, "Background to Recommendations for Design of Reinforced Concrete Slab-Column Connections", ACI Structural Journal, 1988, pp 636-644.