pISSN 1598-2033
eISSN 2233-5706

Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 13, No. 5
http://dx.doi.org/10.5345/JKIBC.2013.13.5.482

www.jkibc.org

래티스를 이용한 철근콘크리트 무량판 구조의 슬래브-기둥 접합부 전단보강 공법 개발

Development and Application of Lattice Shear Reinforcement for Flat Plate Slab-column Connection

강 수 민[1] 박 성 우[1*] 방 중 석[1] 이 도 범[2] 권 철 환[3] 박 홍 근[4]

Kang, Su-Min[1] Park, Sung-Woo[1*] Bang, Joong-Seok[1] Lee, Do-Bum[2] Kwon, Chul-Hwan[3] Park, Hong-Gun[4]

Department of Architectural Engineering & Research Team, DAELIM Industrial Co., Ltd., Seoul 110-150, Korea [1]

Building & Housing Business Division, DAELIM Industrial Co., Seoul 110-732, Korea [2]

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, Gyeonggi-do, Korea, 411-758 [3]

Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea [4]

Abstract

Although the flat plate system is an efficient structural type due to the simplicity of its construction, the low story height, and the various plan design, the slab-column connections are vulnerable to punching shear failure from gravity load and eccentric shear failure from lateral load. To prevent the structure collapse, various construction methods of slab-column connection reinforcement are developed but none of these satisfies all of structural performance, economics, and constructability. This paper presents the reinforcement of slab-column connection with lattice bars. The structural performance is confirmed with the interior slab-column connection tests subjected to cyclic loading, and the economic feasibility is demonstrated from the structural design under the same condition with lattice bars, stud rails, and stirrups.

Keywords : flat plate system, slab-column connection, shear reinforcement, lattice

1. 서 론

무량판 구조는 기둥위에 보가 없이 슬래브가 바로 얹히는 구조형식으로 슬래브가 보의 역할을 대신하게 된다. 시공 시 보 제작을 위한 거푸집 공사가 필요 없어 골조 공사가 단순하고 건물의 층고가 낮아 사업성에 유리하며 건물의 중량을 감소시켜 결과적으로 공사비를 절감할 수 있는 효율적인 구조이다. 국내 도심지의 협소한 건축부지와 층고 제한의 해결방안으로 무량판 구조의 수요가 증가하고 있으며 특히 공동주택에서도 적용이 많이 권장되고 있다.

80년대에 시작하여 현재 대부분의 공동주택에 사용되었던 벽식 구조는 내력벽으로 인하여 다양한 평면 계획이 어렵고 설비시설들이 매립되어 보수 및 교체가 난해하다. 또한 30년 주기로 공동주택의 재건축이 지속될 경우, 2020년에 발생하는 재건축에 의한 건설폐기물 비중은 전체 건설폐기물의 70%에 해당할 것으로 예상되고 있다[1].

무량판 구조는 기둥배치가 자유롭기 때문에 다양한 거주자의 요구에 대응하기위한 가변형 평면설계가 가능하며, 벽식 구조와 달리 리모델링에도 유리하여 장수명 공동주택으로써 환경부하를 절감할 수 있고 다중용도 건물에서 전이층이 필요 없다. 이에 따라 국토해양부에서는 리모델링이 용이한 공동주택 기준(제2007-456호)과 분양가상한제 적용주택의 기본형건축비 및 가산비용(제

Received : May 7, 2013
Revision received : May 31, 2013
Accepted : June 4, 2013
* Corresponding author : Park, Sung-Woo
[Tel: 82-2-369-4183, E-mail: email@dealim.co.kr]
ⓒ2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

2010-126호)을 고시하였고, 서울특별시에서는 지속 가능형 공동주택 활성화 계획 시행을 고시하여 기둥식 무량판 구조의 공동주택 적용을 권고하고 있으며 용적률, 높이제한, 일조제한 등에 인센티브를 제공하고 있다.

무량판 구조는 건축계획적, 시공적 그리고 경제적으로 상당한 장점이 있으나, 슬래브-기둥 접합부가 취약하다는 단점이 있다[2,3,4,5]. 보가 없이 슬래브가 기둥위에 바로 시공되기 때문에 Figure 1과 같이 연직하중에 대한 펀칭파괴가 일어나기 쉽다. 또한 지진하중에 대하여 Figure 2와 같이 슬래브-기둥 접합부에서 불균형모멘트(Unbalanced Moment)가 발생하고 이로 인한 편심전단력(Eccentric Shear)이 접합부에 작용하기 때문에 무량판 접합부는 편심전단파괴가 발생하기 쉽다. 이러한 슬래브-기둥 접합부의 파괴는 구조물 전체의 파괴로 이어지기 때문에 무량판 구조를 안전하게 사용하기 위해서는 접합부를 효율적으로 보강하여야 한다.

그러나 기존의 무량판 접합부 보강 공법은 구조성능과 경제성, 그리고 시공성을 모두 충족시키지는 못하고 있으며 이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 래티스를 이용한 무량판 구조의 슬래브-기둥 접합부 전단보강 공법을 제안하였다. 실물대 크기의 실험체에 대하여 주기하중 실험을 통해 전단보강 효과를 분석해 보았으며, 동일한 설계조건에 대하여 같은 안전율을 갖도록 설계하였을 때 기존 보강공법에 비해 얼마나 경제성이 있는지를 비교해 보았다. 또한 실제 현장에 본 공법을 적용함으로써 시공성을 검증해 보았다.

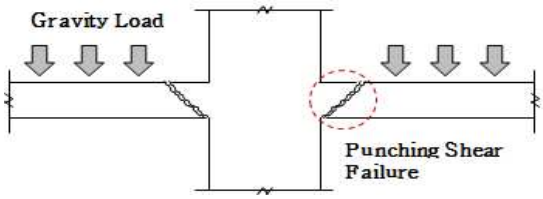


Figure 1. Punching shear failure of flat plate

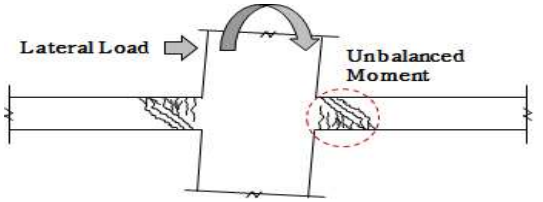
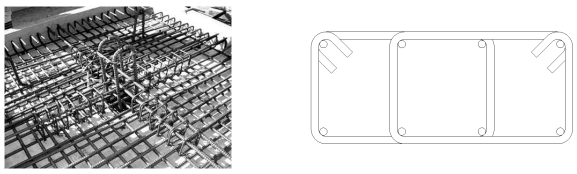


Figure 2. Eccentric shear failure of flat plate

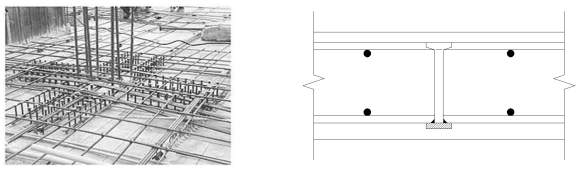
2. 기존연구의 고찰

무량판 구조의 슬래브-기둥 접합부 전단보강 공법 중 일반적으로 많이 사용되는 공법으로 전단철근을 사용하는 방법과 스터드레일을 사용하는 방법이 있다. 전단철근을 이용한 전단보강 공법은 가장 전통적인 보강공법으로 여러 가지 시공형태가 있으나 Figure 3과 같이 폐쇄형 스터럽 형태가 일반적으로 사용된다. 전단철근을 슬래브 휨철근에 스터럽 형태로 감아서 시공하고 철선으로 고정하는데 슬래브 두께가 얇기 때문에 정착이 제대로 이루어지기가 쉽지 않다. 또한 얇은 두께의 슬래브에서 휨철근 사이로 폐쇄형 스터럽의 시공은 매우 어려운 작업으로 시공성이 떨어지며 피복두께를 확보하기 위하여 슬래브의 휨철근 간격이 줄어들어 슬래브의 휨모멘트 저항성능이 낮아지게 된다.



(a) Stirrup (b) Stirrup section

Figure 3. Stirrup reinforcement



(a) Studrail (b) Studrail section

Figure 4. Studrail reinforcement

스터드레일은 Figure 4와 같이 시어스터드(Shear Stud)를 스트립바(Strip Bar)에 일렬로 용접하여 완성된 스터드레일을 기둥 주위에 배치하고 콘크리트를 타설함으로써 시공이 완성된다. 스터드레일은 시공의 편리성으로 인하여 가장 보편적으로 사용되고 있다[6,7,8,9,10]. 그러나 스터드레일은 콘크리트와 일체화되어 전단력에 대하여 시어스터드의 인장력으로 저항하게 되므로 콘크리트에 손상이 발생하여 시어스터드의 정착성능이 저하되는 경우, 독립적으로 구조적 성능을 발휘하기가 힘들며, 최근 연구에 의하면 스터드레일의 불균형모멘트에

대한 구조적 성능의 유효성에 대하여 논란이 되고 있다[11,12,13]. 또한 시어스터드 헤드의 성형가공이 난해하고 스트립바에 용접을 함으로써 제작단가가 상승하여 경제성이 떨어지는 단점이 있다.

이 외에도 전단헤드 보강공법이 있으나 H형강의 사용으로 무겁고 가격이 비싸기 때문에 시공성과 경제성이 부족하다. 따라서 본 연구에서는 기존 보강 방법에 비해 구조성능, 경제성, 그리고 시공성이 개선될 수 있도록 래티스를 이용한 슬래브-기둥 접합부 전단보강공법을 제안하였으며 구조실험, 원가분석, 실현장 적용을 통해 제안된 공법의 유효성을 검증하였다.

3. 래티스 전단보강

3.1 래티스 구성

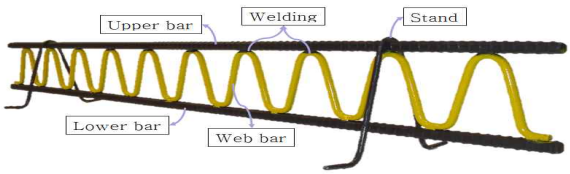


Figure 5. Lattice bars

기존의 무량판 접합부 전단보강공법의 구조성능, 경제성, 그리고 시공성을 개선하기 위하여 개발된 래티스는 Figure 5와 같이 일체화된 삼각형의 트러스로써 이형철근의 상·하현재와 원형철선의 웨브근으로 구성된다. 지그재그로 절곡된 웨브근과 상·하현재는 평행방향의 용접으로 일체화되어 구조보강 효과가 뛰어나며 콘크리트의 손상 이후에도 구조적 성능을 유지할 수 있도록 구성되었다. 거치대가 있어 자립이 가능하기 때문에 단순삽입 배치형태의 시공이 가능하며 현장에서의 작업을 최소화할 수 있는 형태로 제작되었다.

3.2. 래티스 보강공법의 구조성능 검증

3.2.1 래티스 보강공법의 구조성능 실험[14]

일반적으로 무량판 접합부 보강방안의 구조적 유효성은 극한상태의 거동특성을 평가하기 위해 지진에 의해 발생하는 불균형 모멘트에 대한 저항성능으로 검증한다. 따라서 래티스를 활용한 보강방안의 구조적 유효성을 평가하기 위해 주기횡하중에 의한 불균형모멘트 재하실험을 수행하였다[14]. 한 개의 무보강 실험체와 Figure 6과 같이 래티스로 보강된 다섯 개의 슬래브-기둥 접합부 축소 실험체를 제작하여 중력하중에 의한 뚫림전단과 주기횡하중에 의한 불균형 모멘트를 동시에 재하 하였다.

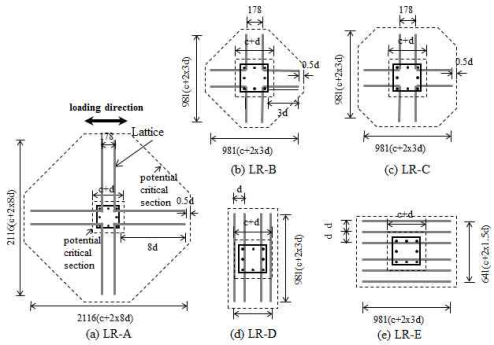
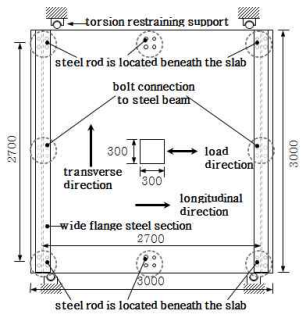
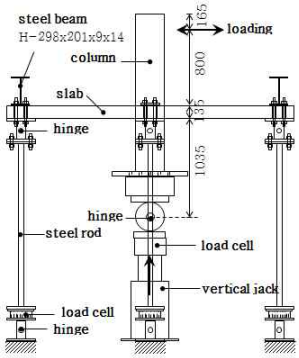


Figure 6. Layout of lattice bars(Kim, You-Ni, 2011)



(a) Top view



(b) Side view

Figure 7. Test setup for verification of lattice bar reinforcement (Kim, You-Ni, 2011)

래티스 실험체와 실험세팅의 모습은 Figure 7과 같다. 실험체의 크기는 6m×6m 슬래브의 1/2축소 모델로 제작하였

으며 슬래브 두께는 135mm, 그리고 기둥의 크기는 300mm×300mm이다. 접합부의 변위형상과 기둥 주위 하중의 흐름을 실제와 비슷하도록 슬래브 모서리의 수직변위는 구속하고 횡하중에 의한 수평변위만 가능하도록 하였으며 실험체에 비틀림이 발생하지 않도록 횡지지하였다.

수직하중은 기둥을 상부로 들어올려 현 콘크리트 설계기준에 의하여 산정된 콘크리트에 의한 접합부 뚫림전단강도의 40%에 해당하는 직접전단력을 실험이 진행되는 동안 일정하게 가력하였다. 그리고 횡하중은 기둥 상부에 설치된 가력기를 사용하여 목표 변위로 정·부방향으로 3회씩 반복하였으며 하중이 최고의 50%까지 떨어질 때까지 실험을 진행하였다.

래티스 보강방법의 구조실험 결과는 Table 1, Figure 8과 같으며 이를 요약하면 다음과 같다.

1) 래티스로 보강한 실험체는 보강하지 않은 실험체에 비하여 불균형 모멘트 강도는 1.08~1.44배, 변형능력은 1.33~1.88배 증가하여 래티스 보강방법이 매우 우수한 구조적 보강효과를 나타내는 것을 검증하였다.
2) 래티스로 보강된 무량판 접합부의 하중재하능력은 현행기준에 의해 예측된 값을 15~78% 상회한다. 따라서 현 설계기준에서의 안정적인 적용이 가능하다.
3) 래티스의 상·하현재는 접합부의 전단저항성능 향상과 휨저항성능 향상에 모두 기여할 수 있다.

이처럼 실물대 실험을 통하여 래티스를 이용한 전단보강공법이 설계강도를 초과하는 구조적 성능을 발휘함을 입증하였다. 또한 레티스로 보강된 접합부는 변형능력이 증가하여 콘크리트의 손상 이후에도 성능이 유지되는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 콘크리트와의 정착에 의해 전단강도를 발휘하는 기존 공법들과 달리 래티스를 이용한 전단보강공법은 콘크리트와의 정착과 상관없이 독립적으로 구조적 성능을 발휘하여 슬래브-기둥 접합부의 안정성을 크게 향상시켰음을 의미한다.

Table 1. Cyclic load test results(Kim, You-Ni, 2011)

Specimens	M_{exp} kN·m (1)	M_{KCI} kN·m (2)	$\frac{M_{exp}}{M_{KCI}}$ (3)	$\frac{M_{exp}}{M_{exp(RC)}}$ (4)=(1)/(7)	δ_{exp} (%) (5)	$\frac{\delta_{exp}}{\delta_{exp(RC)}}$ (6)=(5)/(8)
RC	99.4(7)	77.0	1.29	1.00	2.4(8)	1.00
LR-A	118.1	78.6	1.50	1.19	3.8	1.58
LR-B	110.7	79.8	1.39	1.11	3.3	1.38
LR-C	128.9	112.0	1.15	1.30	4.5	1.88
*LR-D	107.6	81.1	1.32	1.08	3.8	1.58
*LR-E	142.7	80.8	1.78	1.44	3.7	1.54

(1) moment strength: minimum value of the two maximum unbalanced moments in the positive and negative directions
(2) nominal unbalanced moment capacities at the critical section inside the shear reinforced region
(3) ratio of test result to strength predicted by M_{KCI}
(4) ratio of the strength of shear-reinforced specimen to that of shear-unreinforced specimen(RC)
(5) maximum drift ratio: minimum value of the two maximum drift ratios defined when the post-peak drift ratio corresponded to 80% of the peak unbalanced moment in the positive and negative directions
(6) ratio of maximum drift ratio of shear-reinforced specimen to that of shear-unreinforced specimens(RC)
(7) moment strength of the specimen without lattice reinforcement
(8) maximum drift ratio of the specimen without lattice reinforcement

* Recalculation of MKCI(LR-D and LR-E) by optimization of critical region

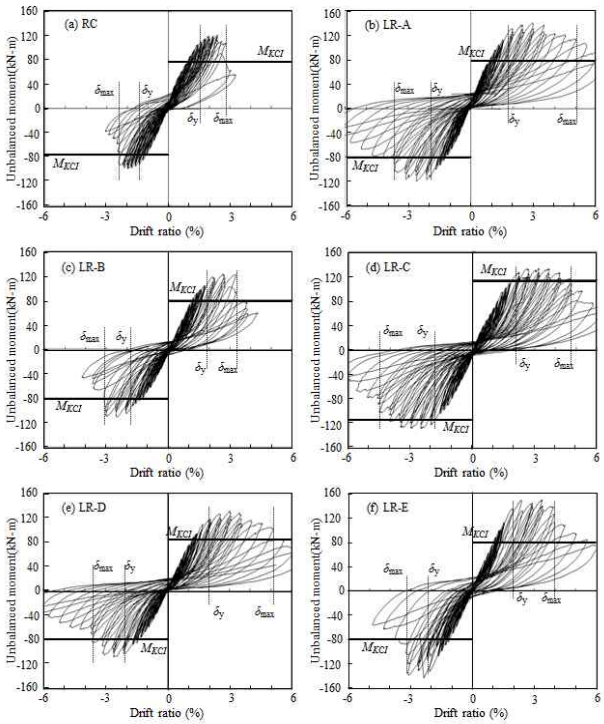
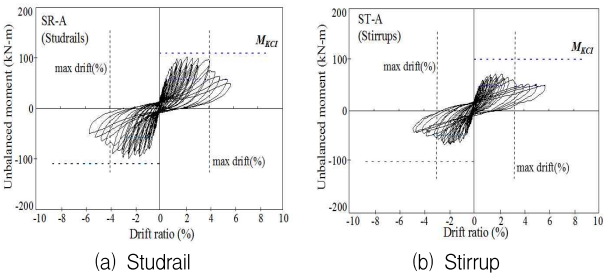


Figure 8 Unbalanced moment versus lateral drift ratio of specimens(Kim, You-Ni, 2011)



(a) Studrail (b) Stirrup

Figure 9. Unbalanced moment versus lateral drift ratio of cyclic load test results(Park, Hong-Gun, 2012)

3.2.2 기존 공법과 구조성능 비교

선행연구[12]에서 스터드레일과 전단철근을 이용한 전단보강공법에 대하여 주기하중 실험을 하였다. 실험체의 크기와 슬래브 구속은 3.2.1절의 실험과 대체로 유사하며 결과는 Figure 9, Table 2와 같다.

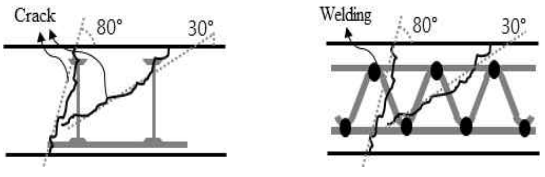
Table 2. Comparison of test results(Park, Hong-Gun, 2012)

Specimens	M_{exp} kN·m (1)	M_{KCI} kN·m (2)	$\frac{M_{exp}}{M_{KCI}}$ (3)	δ_{exp} (%) (4)
RC	64.5	56.7	1.14	1.5
Studrail	98.9	108.3	0.91	4.0
Stirrup	66.1	97.1	0.68	3.0

(1)~(3): same as (1)~(3) in Table 1
(4): same as (5) in Table 1

스터드레일로 보강된 실험체는 설계기준의 91% 전단강도를 나타냈다. 불균형모멘트에 의한 무량판 접합부 균열은 다양한 각도로 발생하는데 Figure 10의 (a)와 같이 70~80°의 가파른 균열에 대해서는 스터드레일이 저항을 하지 못하기 때문에 저항성능이 떨어진다. 또한 주기하중에 의한 접합부 콘크리트의 손상으로 인하여 스터드레일과 콘크리트의 정착성능이 저하됨에 따라 구조보강효과가 감소된다. 전단철근으로 보강한 실험체의 경우에도 스터드레일과 동일한 이유로 구조적 보강성능이 설계기준에서 예측한 성능에 미치지 못하여 설계기준의 68% 전단강도를 나타내었다.

트러스형태의 래티스는 Figure 10의 (b)와 같이 다양한 형태의 균열에 대해 저항할 수 있고 접합부위가 용접으로 일체화 되어 있어 콘크리트의 손상 이후에도 정착성능을 유지할 수 있고 지속적으로 구조성능을 발휘할 수 있다. 또한 구조적으로 안정적인 트러스 형태를 지니고 있어 콘크리트 손상에 관계없이 구조적성능을 발휘할 수 있어 설계기준 강도를 초과하는 신뢰성 있는 구조성능을 발휘함을 확인할 수 있다.



(a) Studrail (b) Lattice bars

Figure 10. Concrete crack by unbalanced moment

3.3. 래티스 보강공법의 경제성

래티스의 구조성능과 제작원가 및 공사원가를 바탕으로 기존 보강공법인 전단철근, 스터드레일과 경제성을 비교하였다. 동일한 설계 조건에서 구조물이 하중을 초과하는 전단강도를 갖도록 설계를 하고 소요물량에 대한 총 공사비를 계산하였다. 설계 조건은, 콘크리트의 압축강도는 24 MPa, 기둥의 크기는 400×700mm($c_1 \times c_2$), 슬래브의 두께는 250mm, 슬래브 상부근은 HD13@300, 슬래브 하부근은 HD10@300으로 배근되어 있으며, 피복두께는 20mm, 하중은 958 kN의 전단강도로 가정하였다. 이상의 설계조건을 정리하면 Figure 11, Table 3과 같다.

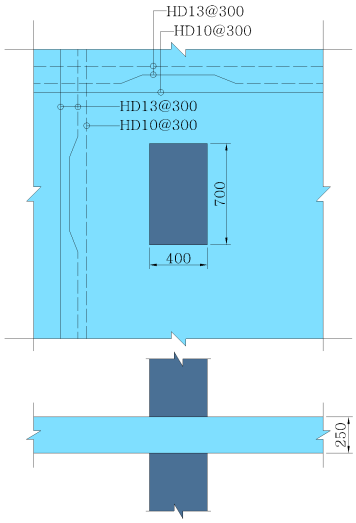


Figure 11. Drawing of design example

Table 3. Design conditions

Design condition	Concrete strength(fck)	24 MPa
	Slab thickness	250 mm
	Cover thickness	20 mm
	Column size(c1×c2)	400×700 mm
	Slab top reinforcement	HD13@300
	Slab bottom reinforcement	HD10@300
	Load distribution area	8000×8000 mm
	Strength reduction coefficient	0.75
Load	Shear strength(Vu)	958 kN

슬래브-기둥 접합부의 구조보강 필요여부를 검토하기 위하여 KBC2009 0507.12.2.[15]에 따라 무보강 콘크리트 슬래브의 전단강도는 다음과 같이 구한다.

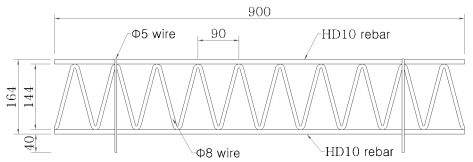
$$\phi V_c = 0.75 \times \frac{1}{3}\sqrt{f_{ck}}\, b_0 d \quad \text{--- (1)}$$
$$= 0.75 \times \frac{1}{3} \times \sqrt{24} \times 3080 \times 220 = 830\,kN$$

여기서, b_0는 기둥 주위에 펀칭이 발생하는 위험단면으로 기둥면으로부터 슬래브의 유효깊이 d의 절반만큼 떨어진 면의 둘레길이로 $(c_1 + d + c_2 + d) \times 2$ 이다.

접합부의 전단성능이 하중 958kN 보다 작으므로 접합부 보강이 필요하며 KBC2009 0507.12.3.에 따라 필요한 전단보강 강도를 계산하면 다음과 같다.

$$v_{req} = \frac{V_u}{\phi b_0 d} - \frac{1}{6}\sqrt{f_{ck}} \quad \text{--- (2)}$$
$$= \frac{958000}{0.75 \times 3080 \times 220} - \frac{1}{6}\sqrt{24} = 1.1\,N/mm^2$$

슬래브-기둥 접합부 전단보강에 사용된 래티스 상세는 Figure 12와 같다. 슬래브의 두께에서 피복두께와 슬래브 상·하부 휨철근의 직경을 빼면 래티스 전체의 높이는 250-(20×2)-(13×2)-(10×2)=164mm이고, 상·하현재를 HD10로 하면 유효높이는 d_p=144mm가 된다. 웨브근은 직경 8mm로 사용하고 용접 간격을 S_w=90mm로 하며 이때 절곡 각도는 약 70° 가 된다. 이와 같은 상세에 대한 래티스의 전단보강 강도를 계산하면 다음과 같다.



(a) Detail of Lattice bars

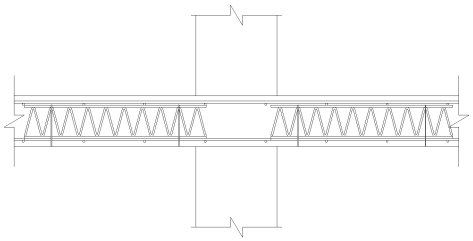

(b) Section view

Figure 12. Design of lattice bars

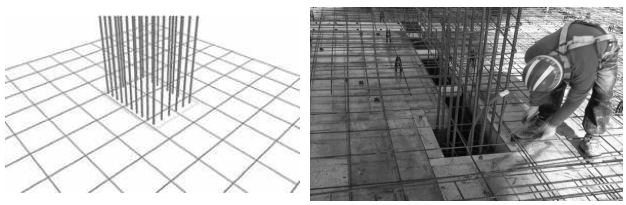
$$V_s = A_v F_y [\sin\theta(\cot\theta + 1) + \quad \text{--- (3)}$$
$$\sin(180-\theta)(\cot(180-\theta)+1)]\frac{d_p}{S_w}$$
$$= 50.3 \times 500 \times [\sin 70^\circ(\cot 70^\circ + 1) +$$
$$\sin 110^\circ(\cot 110^\circ + 1)] \times \frac{144}{90} = 75.7\,kN$$

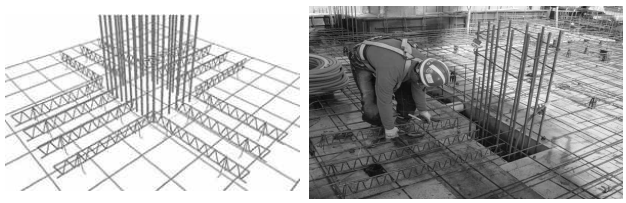
여기서, A_v는 $\phi 8$ 원형철선의 단면적이며, 웨브근의 항복강도는 재료실험결과에 따라 500MPa로 결정하였다.

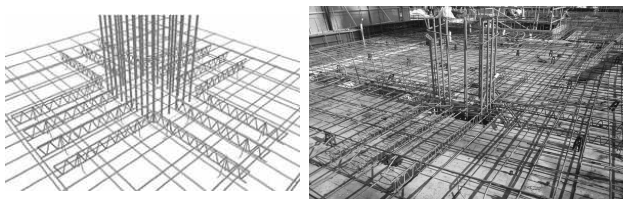
기둥 주위에 10개의 래티스로 보강을 하게 되면 슬래브-기둥 접합부의 전단응력은 식 (4)와 같이 1.12 N/mm^2으로 하중보다 크게 되어 구조물의 안정성을 확보하였다.

$$\frac{10\,V_s}{b_0 d} = \frac{10 \times 75700}{3080 \times 220} = 1.12\,N/mm^2 > 1.1\,N/mm^2 \quad \text{--- (4)}$$

래티스에 대한 ㈜한국경제조사연구원의 원가분석 자료[16]를 바탕으로 Figure 12의 상세와 같은 래티스의 개당 공사비를 계산하고 설계결과에 따른 소요량을 곱하여 공사비를 산출하였다. 전단철근과 스터드레일의 공사비는 대형 건설사의 일반적인 견적자료를 이용하였으며 비교결과는 Table 4와 같다. 스터드레일은 래티스에 비하여 2배가 넘는 공사비가 요구되었으며 전단철근은 1.1배로 래티스와 거의 비슷하였다.


(a) Placement of slab bottom rebars


(b) Placement of lattice bars


(c) Placement of slab top rebars

(d) Concrete pouring

Figure 13. Process of lattice bar construction

Table 4. Cost comparison of slab-column connection reinforcements

Item	Stirrup	Studrail	Lattice
Specification	D10-100-850	D13-110-860	250 Slab
Quantity	16(102.7kg)	10	10
Production cost	773,000₩/ton	18,460₩/EA	8,741₩/EA
Construction cost	200,000₩/ton	370₩/EA	370₩/EA
Total cost	99,920₩	188,300₩	91,110₩
Comparison	110%	206%	100%

스터드레일은 강봉과 강판을 사용하고 시어스터드의 앵커헤드를 가공하여 강판에 용접하는 등 제작이 어려워 제조원가 높다. 전단철근은 건설현장에서 일반적으로 사용하는 이형철근을 절곡시켜 제작하므로 제조원가는 저렴하나 Figure 3의 (b)와 같이 슬래브 주근을 감싸는 상세로 시공하는 과정에서 발생하는 간섭으로 인하여 시공이 어려워 결과적으로 시공비가 많이 요구된다.

래티스는 일반적인 이형철근과 원형철선으로 이루어져 있으며 상·하현재의 절단, 웨브철근의 절곡, 그리고 용접까지 모든 과정이 공장의 자동화설비에 의한 제작으로 대량생산이 가능하여 제조원가가 상대적으로 적다. 또한 래티스는 무게가 가벼워 별도의 장비 없이 작업자에 의한 운반이 가능하고 거치대가 있어 자립이 가능하기 때문에 시공이 매우 단순하며 래티스의 배치 이외에 현장에서의 추가작업이 없어 시공비가 차지하는 비중이 매우 적다. 결과적으로 스터드레일은 제조원가 측면에서, 전단철근은 시공비 측면에서 불리하며, 래티스 공법의 전체 공사비가 가장 적었다(스터드레일 보강공법 대비 51.6%, 전단철근 보강공법 대비 8.8% 절감).

3.4. 래티스 보강공법의 시공성

3.4.1 래티스 보강공법의 시공순서

래티스를 이용한 슬래브-기둥 접합부 전단보강공법의 시공은 Figure 13과 같이 (a) 슬래브 하부근 배근, (b) 래티스 배근, (c) 슬래브 상부근 배근, (d) 콘크리트 타설 순으로 이루어진다. 래티스는 구조설계에 따라 소요량이 결정되면 기둥의 주변에 동일한 간격으로 배근하되 Figure 14와 같이 기둥면에서 30mm 안쪽으로 배치하여 슬래브와 기둥의 일체화에 기여하도록 한다. 배치된 래티스들의 간격은 (기둥 한 변의 길이-60mm)/(래티스 개수-1)으로 건축구조기준에 따라 슬래브 유효깊이의 2배 이하이어야 하며 래티스의 길이는 일반적으로 슬래브 두께의 3배 이상으로 한다.

Figure 11의 무량판 슬래브-기둥 접합부 전단보강 설계결과에 대하여 래티스를 배치한 모습은 Figure 15와 같다. 슬래브의 유효깊이는 슬래브 두께에서 하부 피복두께와 하부근 직경을 뺀 250-20-10=220mm이며 따라서 래티스의 간격은 440mm 이하여야 한다. 되도록 비슷한 간격으로 래티스가 배치되기 위하여 가로면에 2개 그리고 세로면에 3개로 나누어 대칭으로 배치하였으며 래티스 간격은 각각 (400-60)/(2-1)=360mm, (700-60)/(3-1)=320mm로 모두 설계기준을 만족하였다.

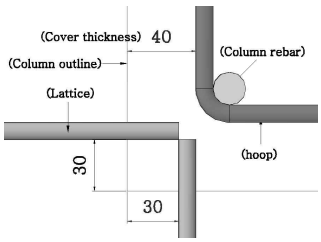


Figure 14. Coner placing detail of lattice bars

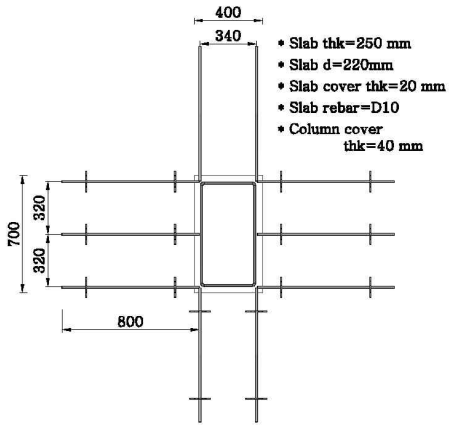
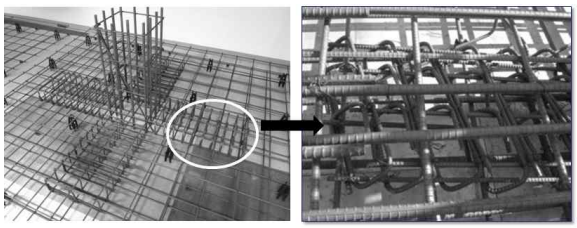


Figure 15. 10 Lattice bars placed around 400x700 size column

3.4.2 기존 공법과의 시공성 비교

전단철근 보강 공법은 Figure 3의 (b)와 같이 슬래브 휨철근을 감싸는 정착상세가 요구된다. 슬래브 상·하부 휨철근에 전단철근을 미리 끼워 넣은 다음 휨철근 배근

이 완료되면 설계 간격에 맞춰 결속하게 된다. 이러한 시공방법은 휨철근과의 간섭으로 인하여 시공이 매우 어려우며 Figure 16과 같이 도면대로 시공이 되지 않아 실제 현장에서의 작업 품질이 낮다. 또한 피복두께를 확보하기위해 휨철근의 수직간격을 줄여서 시공하기 때문에 슬래브의 휨저항성능이 저하된다.



(a) Placement of stirrup according to design code (b) Placement of stirrup in the field

Figure 16. Placement of stirrup in the construction field

Figure 17. Concrete pouring to slab-column connection

이에 반하여 래티스는, 무량판 구조의 공동주택 현장에 적용해본 결과, 슬래브 휨철근 사이에 위치하여 다른 구조물과의 간섭이 전혀 없기 때문에 구조설계에 따른 도면과 정확히 일치하도록 시공이 가능하다. 래티스는 Figure 5와 같이 거치대를 이용한 자립이 가능하여 현장에서의 추가 작업이 없이 단순히 배치하는 것으로 시공이 완료되며 또한 Figure 17과 같이 콘크리트 타설하는 과정에서 작업자나 콘크리트 타설에 의한 충격이 가해지더라도 래티스 자체의 변형이나 위치이탈 등이 없음을 확인하였다.

콘크리트 타설 후 래티스는 콘크리트 내에 존치되어 콘크리트 표면에 거치대가 드러나지 않고 Figure 13의 (d)와 같이 균열이 발생하지 않았으며 별도의 보수나 교체에 따른 유지관리 비용이 발생하지 않았다. 래티스를 이용한 전단보강공법은 일반적인 콘크리트 공사 시방서에 따르며 슬래브 철근 배근과 같이 작업이 이루어지기 때문에 공사기간에 영향을 미치지 않았다.

4. 결 론

건축 계획적으로 유리한 철근콘크리트 무량판 구조의 취약한 슬래브-기둥 접합부의 전단성능을 보강하기 위하여 래티스를 이용한 보강공법을 제안하였다. 래티스에 대한 주기하중 실험결과 무보강 철근콘크리트 슬래브에 비하여 불균형 모멘트 강도는 1.08~1.44배, 변형능력은 1.33~1.88배 증가하였으며 건축구조기준에서 정의된 설계강도 이상의 보강효과를 발휘하여 현행 건축구조기준에서 안전하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

동일한 설계조건에 대하여 무량판 구조물이 안전하도록 래티스, 전단철근, 그리고 스터드레일로 전단보강을 실시한 이후, 이에 대한 경제성을 비교분석한 결과 래티스 공법이 가장 경제성 있음을 확인하였다. 일반적인 건설공사에서 사용되는 이형철근과 원형철선을 이용하여 자동화 설비를 이용한 대량생산으로 제조원가가 저렴하고 무게가 가벼워 작업자에 의한 운반이 가능하며, 거치대를 이용한 자립으로 시공이 간단하고 현장에서의 추가 작업이 없어 시공비 측면에서 유리하였다.

래티스의 시공성을 검증하기 위해 실현장에 적용한 결과 슬래브 휨철근 사이에 배치되어 다른 구조물과의 간섭이 발생하지 않아 구조설계에 따른 정확한 시공이 가능하였으며 시공 과정에서 변형이나 이탈이 없고 시공 후 콘크리트내에 존치하여 별도의 유지관리 비용이 발생하지 않았다. 또한 래티스를 이용한 전단보강공법은 슬래브 철근 배근작업과 같이 이루어짐에 따라 전체적인 공사기간에 미치는 영향이 없음을 확인하였다.

요 약

무량판 슬래브 구조는 시공의 단순함과 낮은 층고, 그리고 다양한 평면구성의 용이함으로 인하여 구조적으로 효과적이나 슬래브-기둥 접합부가 중력하중에 의한 펀칭전단파괴와 횡하중의 불균형모멘트에 의한 편심전단파괴에 취약한 단점이 있다. 이러한 무량판 슬래브의 취약점을 방지하기 위하여 많은 보강공법들이 개발되었으나, 보강공법들은 구조적 성능과 경제성, 그리고 시공성을 모두 만족시키기지는 못하고 있다. 이 논문에서는 래티스를 이용한 무량판 구조의 슬래브-기둥 접합부 보강

공법을 제시하였다. 주기하중 실험을 통하여 래티스 보강공법의 구조적 성능을 증명하였으며 같은 구조설계 조건에 대하여 스터럽과 스터드레일, 그리고 래티스를 이용한 공법을 적용해 봄으로써 경제성을 입증하였다.

키워드 : 무량판 슬래브 구조, 슬래브-기둥 접합부, 전단보강, 래티스

References

1. Hong WK, Kim SK, Kim HG, Yoon TH, Yune DY, Kim SI. A Feasibility Study of Green Frame(GF) for the Implementation of Low-carbon Emissions & Long-life Housing. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2010 Feb;10(1):57-63.
2. ACI-ASCE Committee 352. Recommendations for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures. ACI Structural Journal. 1988 Nov;85(6):675-96.
3. Durrani AJ, Du Y, Luo YH. Seismic Resistance of Nonductil Slab-Column Connections in Existing Flat-Slab Building. ACI Structural Journal. 1995 Jul;92(4):479-87.
4. Moehle JP. Strength of Slab-column Edge Connections. ACI Structural Journal. 1998 Jan;85(1):89-98.
5. Moehle JP, Kreger, ME, Leon R. Background to Recommendations for Design of Reinforced Concrete Slab-Column Connections. ACI Structural Journal. 1988 Nov;85(6):636-44.
6. Robertson IN, Kawai T, Lee J, Enomoto B. Cyclic Testing of Slab-Column Connections with Shear Reinforcement. ACI Structural Journal. 2002 Sep;99(5):605-13.
7. Ghali A, Hammill N. Effectiveness of Shear Reinforcement in Slabs. Concrete International. 1992 Jan;14(1):60-5.
8. Mortin JD, Ghali A. Connection of Flat Plates to Edge Columns. ACI Structural Journal. 1991 Mar;88(2):191-8.
9. El-Salakawy EF, Polak MA, Soliman MH. Slab-Column Edge Connections Subjected to High Moments. Canadian Journal for Civil Engineering. 1998 Jun;25(3):526-38.
10. Megally S, Ghali A. Seismic Behavior of Edge Column-Slab Connections with Stud Shear Reinforcement. ACI Structural Journal. 2000 Jan;97(1):53-9.
11. Kang HG, Park HG. Seismic Design Provisions and Revisions to the Guides for RC Flat Plate Systems in the US. Journal of the Korea Concrete Institute. 2008 Mar;20(2):25-36.
12. Park HG, Kim YN, Song JG, Kang SM. Lattice Shear Reinforcement for Enhancement of Slab-Column Connections. Journal of Structural Engineering. 2012 Mar;138(3):425-37.
13. Kang THK, Wallace W. Seismic Performance of Reinforced Concrete Slab-Column Connections with Thin Plate Stirrups. ACI Structural Journal. 2008 Sep;105(5):617-25.
14. Kim YN, Kang SM, Park HG. Cyclic Loading Test for Slab-column Connection Reinforced with Lattice Bars. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2011 Oct;27(10):27-38.
15. Architectural Institute of Korea. KOREAN BUILDING CODE AND COMMENTARY 2009. Seoul (Korea): Kimoondang; 2010. p. 303-58.
16. Kim KS, Lee KW, Kim SH, Min KI. New Technology Pricing Report of Insertional plan truss reinforcement for the flat plate slab-column connection. Seoul (Korea): KOREA ECONOMIC RESEARCH INSTITUTE. 2011 Jun. p. 1-94. Report No.: 01-B1-11-1145.
17. Park HG, Choi KK. Improved Strength Model for Interior Flat Plate-Column Connections Subject to Unbalanced Moment. Journal of Structural Engineering. 2006 May;132(5):694-704.
18. ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary. Farmington Hils (MI): American Concrete Institute; 2011. 503 p.
19. Broms CE. Elimination of Flat Plate Punching Failure Mode. ACI Structural Journal. 2000 Jan;79(4):94-101.