

플랫플레이트 구조시스템의 슬래브-기둥 접합부 전단보강 공법 개발

Development of Shear Reinforcement for Flat Plate Slab-Column Connection



강수민*
Kang, Su-Min



박성우**
Park, Sung-Woo



방중석***
Bang, Joong-Seok

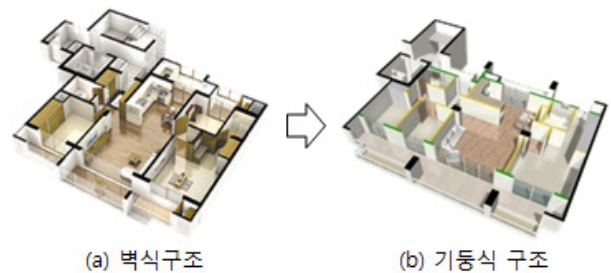


박홍근****
Park, Hong-Gun

1. 서론

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].

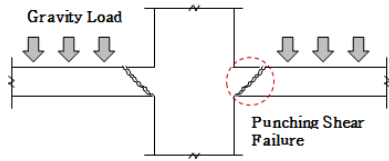
무량판 구조는 기둥위에 보가 없이 슬래브가 바로 얹히는 구조형식으로 시공 시 보 제작을 위한 거푸집 공사가 필요 없어 골조 공사가 단순하고 건물의 층고가 낮아 사업성에 유리하며 건물의 중량을 감소



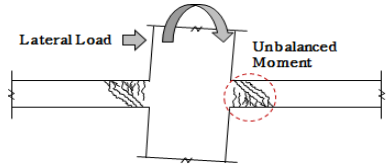
〈그림 1〉 무량판 구조의 공동주택

시켜 결과적으로 공사비를 절감할 수 있는 효율적인 구조이다. 특히 〈그림 1〉과 같이 무량판 구조가 공동주택에 적용될 경우, 기둥배치가 자유롭기 때문에 다양한 거주자의 요구에 대응할 수 있는 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 적용주택

* 대림산업 기술개발원 건축연구지원팀 차장, 공학박사
 ** 대림산업 기술개발원 건축연구지원팀 대리
 *** 대림산업 기술개발원 건축연구지원팀 팀장, 공학박사
 **** 서울대학교 건축학과 교수



〈그림 2〉 중력하중에 의한 펀칭 파괴



〈그림 3〉 불균형모멘트에 의한 편심전단 파괴

의 기본형건축비 및 가산비용(제2010-126호)을 고시하였고, 서울특별시에서는 지속 가능형 공동주택 활성화 계획 시행을 고시하여 기둥식 무량판 구조의 공동주택 적용을 권고하고 있으며 용적률, 높이제한, 일조제한 등에 인센티브를 제공하고 있다.

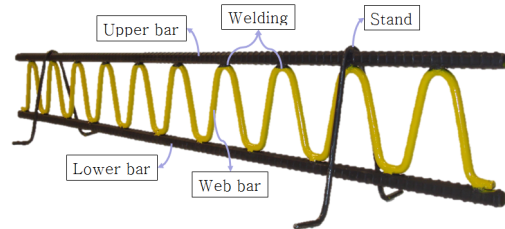
무량판 구조는 건축계획적, 시공적 그리고 경제적으로 상당한 장점이 있으나, 슬래브-기둥 접합부가 취약하다는 단점이 있다[2,3,4,5]. 보가 없이 슬래브가 기둥위에 바로 시공되기 때문에 〈그림 2〉와 같이 연직하중에 대한 펀칭파괴가 일어나기 쉽다. 또한 지진하중에 대하여 〈그림 3〉과 같이 슬래브-기둥 접합부에서 불균형모멘트(Unbalanced Moment)가 발생하고 이로 인한 편심전단력(Eccentric Shear)이 접합부에 작용하기 때문에 무량판 접합부는 편심전단파괴가 발생하기 쉽다. 이러한 슬래브-기둥 접합부의 파괴는 구조물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

따라서 본 기술기사에서는 구조성능과 경제성, 그리고 시공성이 우수한 래티스 보강 공법을 소개하였다. 래티스 전단보강공법은 2012년에 건설신기술 제 641호로 지정되었으며, 2011년 콘크리트 기술경연대회에서 지식경제부 장관상을 수상한 이력이 있는 공법이다. 본 기술기사에서는 래티스 공법의 성능을 검증한 기존의 연구내용[6]과 현장에 적용된 사례를 통해 본 공법의 우수성을 확인해 보고자 한다.

2. 래티스 전단보강

2.1 래티스 구성

기존의 무량판 접합부 전단보강공법의 구조성능, 경제성, 그리고 시공성을 개선하기 위하여 개발된 래티스는 〈그림 4〉와 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.



〈그림 4〉 래티스 보강근

2.2 래티스 공법의 구조성능 검증[7]

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 재하실험이 수행되었다. 한 개의 무보강 실험체와 래티스로 보강된 다섯 개의 슬래브-기둥 접합부 축소 실험체를 대상으로 중력하중에 의한 뚫림전단과 주기횡하중에 의한 불균형 모멘트를 동시에 재하 하였다.

래티스 실험체와 실험세팅의 모습은 〈그림 5〉와 같다. 실험체의 크기는 6m×6m 슬래브의 1/2축소 모델로 제작하였으며 슬래브 두께는 135mm, 그리고



〈그림 5〉 래티스 보강공법 성능실험

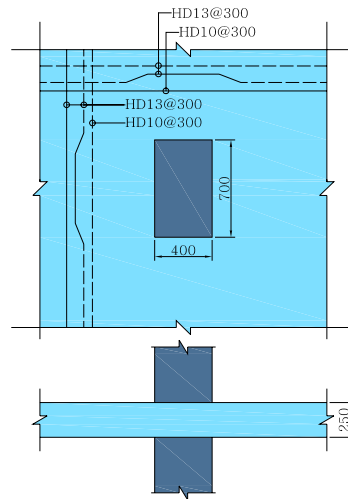
기둥의 크기는 300mm×300mm이다. 접합부의 변위형상과 기둥 주위 하중의 흐름을 실제와 비슷하도록 슬래브 모서리의 수직변위는 구속하고 횡하중에 의한 수평변위만 가능하도록 하였으며 실험체에 비틀림이 발생하지 않도록 횡지지하였다. 수직하중은 기둥을 상부로 들어올려 현 콘크리트 설계기준에 의하여 산정된 콘크리트에 의한 접합부 뚫림전단 강도의 40%에 해당하는 직접전단력을 실험이 진행되는 동안 일정하게 가력하였다. 그리고 횡하중은 기둥 상부에 설치된 가력기를 사용하여 목표 변위로 정·부방향으로 3회씩 반복하였으며 하중이 최고의 50%까지 떨어질 때까지 실험을 진행하였다. 래티스 보강방법의 구조실험 결과를 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 실험을 통하여 래티스를 이용한 전단보강

공법이 설계강도를 초과하는 구조적 성능을 발휘함을 입증하였다. 또한 래티스로 보강된 접합부는 변형능력이 증가하여 콘크리트의 손상 이후에도 성능이 유지되는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과를 볼 때, 트러스형태의 래티스 보강공법은 안정적인 트러스 형태로 콘크리트 손상에 관계없이 구조적성능을 발휘할 수 있어 설계기준 강도를 초과하는 신뢰성 있는 구조성능을 발휘함을 확인할 수 있다.

2.3 래티스 공법의 경제성 검증(6)

래티스의 구조성능과 제작원가 및 공사원가를 바탕으로 기존에 가장 일반적으로 사용되는 보강공법인 전단철근, 스티드레일과 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(〈그림 6〉 참조).



〈그림 6〉 전단보강 설계 도면

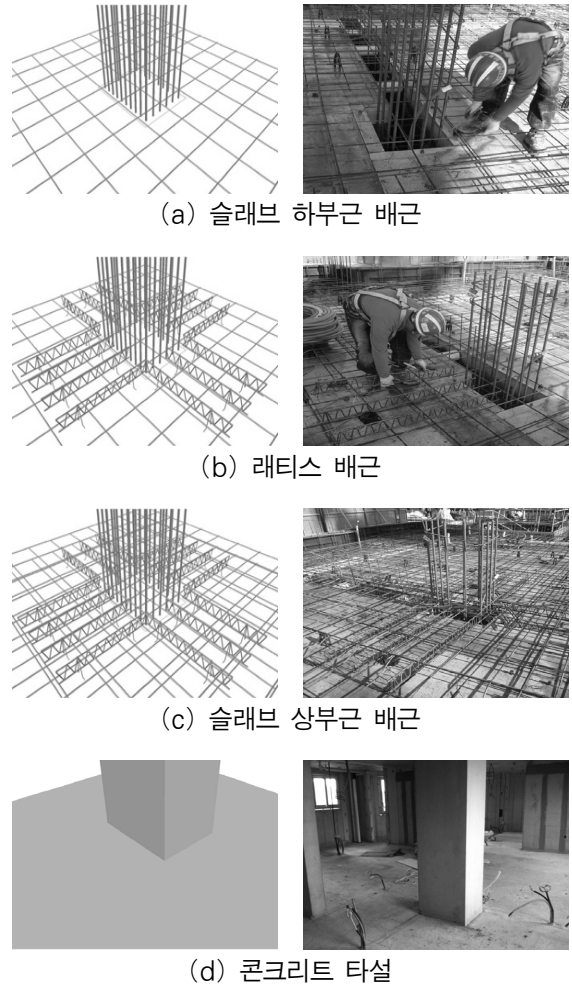
래티스에 대한 (주)한국경제조사연구원의 원가분석자료[8]를 바탕으로 래티스의 개당 공사비를 계산하

고 설계결과에 따른 소요량을 곱하여 공사비를 산출하였다. 전단철근과 스티드레일의 공사비는 대형 건설사의 일반적인 견적자료를 이용하였으며 비교결과는 <표 1>과 같다. 스티드레일은 래티스에 비하여 2배가 넘는 공사비가 요구되었으며 전단철근은 1.1배로 래티스와 거의 비슷하였다. 스티드레일은 강봉과 강판을 사용하고 시어스티드의 앵커헤드를 가공하여 강판에 용접하는 등 제작이 어려워 제조원가가 높다. 전단철근은 건설현장에서 일반적으로 사용하는 이형철근을 절곡시켜 제작하므로 제조원가는 저렴하나 슬래브 주근을 감싸는 상사로 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 래티스 공법의 전체 공사비가 가장 적었다(스티드레일 보강공법 대비 51.6%, 전단철근 보강공법 대비 8.8% 절감).

<표 1> 전단보강 공법의 경제성 비교 결과

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



<그림 7> 래티스 시공 과정

2.4 래티스 공법의 시공성 검증(6)

래티스를 이용한 슬래브-기둥 접합부 전단보강공법의 시공은 <그림 7>과 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 배근한다. 무량판 구조의 공동주택 현장에 래티스 보강공법을 적용해본 결과 래티스는 슬래브 휨철근 사이에 위치하여 다른 구조물과의 간섭이 전혀 없기 때문에 도면과 정확히 일치하도록 시공이 가능하며 거치대를 이용한 자립으로 단순 배치의 간단한 시공이 가능하다. 콘크리트 타설 후 래티스는 콘크리트 내에 존치되어 콘크리트 표면에 거치대가 드러나지 않고 일반적인 콘크리트 공사 시방서에 따

르며 슬래브 철근 배근과 같이 작업이 이루어지기 때문에 공사기간에 영향을 미치지 않았다.

이와 같이 래티스 보강공법은 기존의 보강공법에 비해 구조성능, 경제성 및 시공성이 우수한 것을 알 수 있으며 이에 따라 래티스 공법의 현장적용이 점차 확대되고 있다. 2013년 11월까지 래티스공법이 적용되었거나 적용 예정인 현장은 <표 2>와 같다. 래티스 공법은 2013년 10월에 SH공사 지정 신기술로 등록되어 SH공사의 위례신도시 공동주택에도 적용될 예정이다.

3. 결론

건축 계획적으로 유리한 철근콘크리트 무량판 구조의 취약한 슬래브-기둥 접합부의 전단성능을 보강하기 위하여 래티스 보강공법을 소개하였다. 래티스를 설치한 시험체에 대한 주기하중 실험결과 무보강 시험체에 비하여 불균형 모멘트 강도는 1.08~1.44배, 변형능력은 1.33~1.88배 증가하였으며 건축구조기준에서 정의된 설계강도 이상의 보강효과를 발

휘하여 현행 건축구조기준에서 안전하게 사용될 수 있는 공법이다.

동일한 설계조건에 대하여 무량판 구조물이 안전하도록 래티스, 전단철근, 그리고 스티드레일로 전단보강을 실시한 이후, 이에 대한 경제성을 비교분석한 결과 래티스 공법이 가장 경제성이 있었다. 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 유리하다.

래티스는 슬래브 휨철근 사이에 배치되어 다른 구조물과의 간섭이 발생하지 않아 구조설계에 따른 정확한 시공이 가능하고 시공 과정에서 변형이나 이탈이 없고 시공 후 콘크리트내에 존치하여 별도의 유지관리 비용이 발생하지 않는다. 또한 래티스를 이용한 전단보강공법은 슬래브 철근 배근작업과 같이 이루어짐에 따라 전체적인 공사기간에 미치는 영향이 없다. 래티스 공법은 다수의 현장에 적용되었으

<표 2> 래티스 공법 적용현황

현장명	e편한세상 원주무실	e편한세상 부천역극	e편한세상 광고	술테마박물관
적용날짜	2009년	2010년	2011년	2013년
공사규모	20층 8개동	17층 8개동	39층 33개동	3층 2개동
조감도				
현장명	판교R&D센터	한국전력기술 신사옥	세종로호텔	SH공사 위례신도시 공동주택 현장
적용날짜	2014년	2014년	2014년	예정
공사규모	8층	28층	25층	미정
조감도				

며 향후 SH공사의 프로젝트에도 적극 활용될 전망이다.

plan truss reinforcement for the flat plate slab-column connection, 2011 June.

참고문헌

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 February;10(1):57-63.
2. ACI-ASCE Committee Report. Recommendations for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures. ACI Structural Journal. 1988;675-696.
3. Durrani AJ, Du Y, Luo YH. Seismic Resistance of Nonductile Slab-Column Connections in Existing Flat-Slab Building. ACI Structural Journal. 1995 July;92(4):479-487.
4. Moehle JP. Strength of Slab-column Edge Connections. ACI Structural Journal. 1998 January;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 November;85(6):636-644.
6. Kang SM, Park, SW, Bang JS, Lee DB, Kwon CH, Park HG. Development and Application of Lattice Shear Reinforcement for Flat Plate Slab-column Connection. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2013 May; 13(5):482-490.
7. 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 October;27(10):27-38.
8. KOREA ECONOMIC RESEARCH INSTITUTE. New Technology Pricing Report of Insertional