

리모델링 건물의 활절점에 의하여 연결된 철근콘크리트 바닥판의 거동 평가

심규관¹⁾·김상식²⁾·이정운^{1)*}·최광호³⁾·임주혁⁴⁾

¹⁾ 성균관대학교 건축공학과 ²⁾ 인하대학교 건축공학과 ³⁾ 남서울대학교 건축공학과 ⁴⁾ 삼성물산(주) 건설부문

(2005년 4월 18일 원고접수, 2005년 8월 30일 심사완료)

Behavior of Reinforced Concrete Slabs Connected with Hinge Joints of Remodelling Buildings

Kyu-Kwan Sim¹⁾, Sang-Sik Kim²⁾, Jung-Yoon Lee^{1)*}, Kwang-Ho Choi³⁾, and Juhyeuk Im⁴⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea

²⁾ Dept. of Architectural Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

³⁾ Dept. of Architectural Engineering, Namseoul University, Cheonan, 330-707, Korea

⁴⁾ Samsung corporation. Engineering & Construction, Housing Division, Sungnam, 463-721, Korea

(Received April 18, 2005, Accepted August 30, 2005)

ABSTRACT

Lately outmoded and functionally obsolete buildings constructed in 1960s and 1970s are often remodelled and restored. Even though there are not serious structural defects in the existing buildings, many old buildings have been reconstructed to improve residence quality or to extend residence area of the buildings. The experimental or theoretical research on plane expansion of RC apartments is quite scare. In this research, 12 specimens and 19 RC slabs connected by hinged joints were tested. The new slab was connected to the existing slab by hinge joints injecting dowel bars between two slabs. Main parameters of the slabs are types of the dowel bars (D13 and D19), spacing of the dowel bars (150 mm, 300 mm, and 450 mm), and the locations of the steel bars in the existing slabs. The test results indicated that the shear strength of the RC test slabs having various types of dowel bars was about twice that calculated by the ACI 318-02 code. All slabs failed in concrete spalling and the dowel steel bars did not reach their yield strengths.

Keywords : reinforced concrete slabs, remodelling, dowel bars, shear strength of joints, failure modes

1. 서 론

1960년대 이후부터 본격적으로 건설되기 시작한 철근콘크리트 공동주택은 건설된 지 30년 이상이 지나면서 많은 건물들이 재건축되고 있다. 이렇게 기존 건물을 재건축하는 것은 기존 건물이 구조적으로 결함을 갖고 있기 때문이 아니라 대부분 건물의 거주성을 향상시키기 위함이 주요 이유이다. 지금까지 기존 건물의 재건축은 대부분 기존 건물을 모두 철거하고 사용자가 요구하는 새로운 건물을 그 위치에 건설하는 재개발이었다. 그러나 이렇게 건물을 재개발 하는 것은 자원의 활용 및 재사용 측면에서 국가적인 낭비라 할 수 있다. 또한 재개발은 인구의 집중화를 유발하여 주거 환경을 악화시킬 수 있다. 따라서 주요 선진국에서는 보다 친환경적이라 할 수 있는 건물의 리모델

링을 적극 권장하여 전체 건설시장에서 리모델링 공사가 큰 비율을 차지하고 있다. 최근 우리나라에서도 리모델링을 권장하기 위하여 리모델링 관련 법적 규제들을 완화하고 재개발을 억제하고 있으므로 기존 건물의 리모델링은 앞으로 계속하여 증대하리라 예상된다.

기존 건물의 리모델링은 구조 성능 평가, 설계기준 변화에 대한 대처, 내진보강, 설비의 개선 등 다양한 문제에 대한 검토가 필요하다. 특히 30년 이상된 공동주택은 작은 평형의 건물이 대부분이기 때문에 주거성과 경제성을 고려하여 건물의 평면 확장이 필요하다. 건물의 평면 확장은 기존 구조물의 시스템을 변경하거나 추가 바닥판을 증축하여 이루어진다. 우리나라는 공동주택의 리모델링 사례가 많지 않기 때문에 신뢰할 만한 리모델링 구조 기술이 부족한 실정이며¹⁻³⁾, 특히 평면 확장 기술에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

이 연구에서는 현재 리모델링 구조물의 평면 확장 공법으로 널리 사용되고 있는 활절점에 의하여 연결된 철근콘

* Corresponding author

E-mail : jylee@skku.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

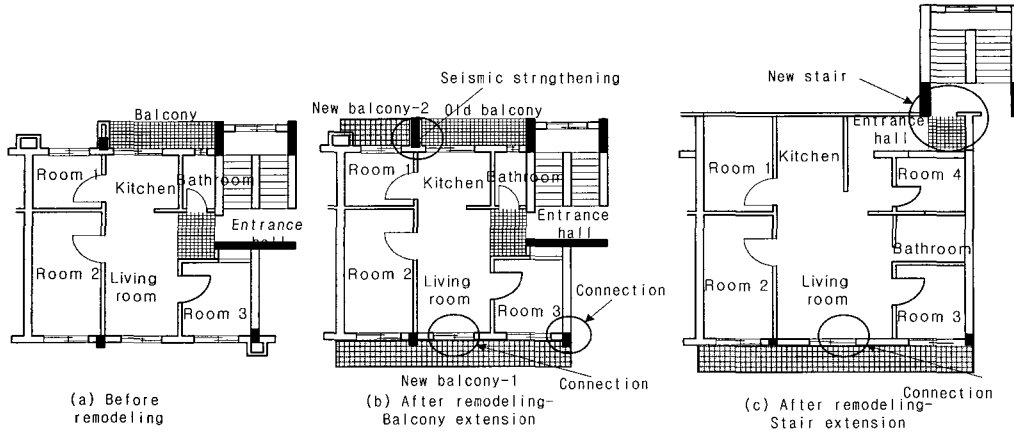


Fig. 1 Plane extension of reinforced concrete building

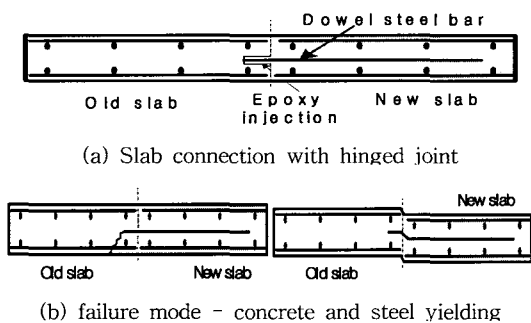


Fig. 2 Slab connection and failure modes

크리트 바닥판의 거동을 평가함을 목적으로 한다. 연구에서는 활절점에 의하여 연결된 철근콘크리트 바닥판에 대한 부분 실험과 본 실험을 수행하여 바닥판의 내력 및 파괴모드 등을 평가하였다.

2. 바닥판 연결 공법

1980년 대 이전에 건설된 공동주택의 대부분은 철근콘크리트 공동주택이며, 이러한 작은 평형의 철근콘크리트 공동주택을 주거성과 경제성을 고려하여 리모델링하기 위해서는 Fig. 1과 같이 기존 구조물의 시스템을 변경하거나 추가 바닥판을 증축하여 평면을 확장하여야 한다. Fig. 1(b)는 기존 건물(Fig. 1(a))에 발코니를 신설한 경우이며, Fig. 1(c)는 기존 발코니를 실내 공간으로 변경하고 새롭게 계단실을 신설하여 평면을 확장한 경우이다.

신설 바닥판이 기존 바닥판에 강절점으로 연결될 경우, 신설 바닥판의 하중을 기존 구조물이 부담해야 한다. 이 경우에 기존 건물의 기둥 및 기초를 추가로 보강해야 하며, 신설 기초의 침하에 의하여 신·구 바닥판 접합면에 균열이 발생할 위험성이 크다. 그러므로 대부분의 평면 확장 접합부는 Fig. 2(a)와 같이 활절점에 의하여 연결된다. 현장에서는 기존 바닥판 두께의 중앙부에 드릴로 약 120 mm 구멍을 천공한 후에 철근을 삽입하고 에폭시에 의하여 정착시킨다. 따라서 신·구 바닥판 접합부는 전단연결

철근에 의하여 전단력만을 전달하게 된다. 활절점 접합 공법이 현재 대부분의 철근콘크리트 리모델링 공법에 사용되고 있지만, 연결철근의 종류 및 간격, 접합부의 내력 평가 등에 대한 평가는 기술자의 경험적 판단에 의존하고 있다. 따라서 정량적이며 명확한 설계법을 개발하기 위해서는 아래의 몇 가지 사항에 대한 검토가 필요하다.

- **파괴모드 구별** : 전단연결철근에 의하여 연결된 접합부는 Fig. 2(b)와 같이 철근의 항복에 의한 파괴와 콘크리트의 전단파괴로 나누어진다. 철근의 항복에 의한 파괴는 철근의 항복강도가 낮거나 철근의 문힘길이가 긴 경우에 발생한다. 콘크리트의 전단파괴는 철근의 항복강도가 큰 경우에 발생한다. 현재 리모델링 공사에서 전단연결철근에 의한 평면 확장 공법은 이 두 가지 파괴모드에 대한 정확한 구분이 없이 주로 철근의 항복에 의한 파괴로 전단내력을 계산하는 경향이 있다. 그러나 파괴모드에 따라서 전단내력에는 큰 차이가 발생하므로 이에 대한 확인이 필요하다.

- **내력 평가** : 활절점으로 연결된 접합부의 내력을 정확히 평가하기 위해서는 파괴모드, 콘크리트의 투영면적, 철근의 구속여부, 균열 발생 여부 등에 대한 정보가 필요하다. 현행 구조계산에서는 이러한 요인을 무시하고 개략적으로 접합부 내력을 평가한다. 따라서 접합부 내력의 영향요소를 명확히 파악한 후에 정확한 접합부 내력 평가가 필요하다.

- **철근의 종류 및 최적 간격**: 신설 바닥판과 기존 바닥판이 전단연결철근에 의하여 연결될 경우에 접합부의 내력은 콘크리트의 압축강도와 함께 철근의 종류 및 간격에 영향을 받는다. 철근이 굵고 간격이 넓은 경우에 시공은 용이하지만 내력이 감소할 수 있다. 반대로 철근이 가늘고 배근 간격이 좁은 경우에는 시공성이 나쁘다. 따라서 철근의 종류와 간격에 대한 최적설계를 제시할 필요가 있다.

- **기존슬래브 철근의 영향**: 전단연결철근의 아래에 기존바닥판에 배근된 철근이 존재할 경우에 전단연결철근은 기존 슬래브 철근에 지지되어 접합부 내력이 증가할 수

Table 1 Specification of specimens and material properties of specimens

Specimens	f_{ck} (MPa)	Steel	L1 (mm)	L2 (mm)	Strength (kN)
H-1	24	D13	40	120	5.2
H-2	24	D13	40	200	7.5
H-3	24	D13	60	120	7.5
H-4	24	D13	60	200	10.6
H-5	24	D13	80	120	21.6
H-6	24	D13	80	200	20.5
H-7	24	D19	40	120	7.8
H-8	24	D19	40	200	9.1
H-9	24	D19	60	120	10.9
H-10	24	D19	60	200	14.5
H-11	24	D19	80	120	16.9
H-12	24	D19	80	200	16.9

Length 1 : distance from the center of the steel bars to the edge of concrete,
 Length 2 : steel bar embedment length

있다. 현행 설계법은 콘크리트에 의하여 파괴되는 바닥판에 배근된 기존 슬래브 철근의 영향을 무시하기 때문에 실제 접합부 전단내력을 과소평가하는 경향이 있다.

이 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 활절점에 의한 접합 공법의 특성을 파악하여 활절점에 의하여 연결된 바닥판의 파괴모드, 내력, 최적 배근 간격 등을 검토하였다.

3. 부분 실험체에 의한 내력 평가

3.1 부분 실험체의 실험 계획

이 연구에서는 바닥판 실험에 선행하여 활절점 접합부의 전단연결철근의 내력에 영향을 주는 요소를 12개의 부분 실험체를 통하여 평가하였다. 활절점 접합부의 전단연결철근은 Fig. 2(b)와 같이 하부콘크리트가 탈락하여 파괴되는 경우와 전단연결철근이 항복하는 경우의 두 가지 파괴모드를 생각할 수 있다. 따라서 실험체는 Table 1과 같이 철근 단면 중심에서 콘크리트까지 거리(L1), 철근의 종류, 묻힘깊이(L2)를 변수로 하여 12개를 제작하였다. 실험체는 Fig. 3과 같이 길이 800mm, 폭 350mm, 두께 120mm의 바닥판을 제작한 후에 드릴로 천공하여 Hilti HIT-HY150 접착물탈로 철근을 설치하였다.

콘크리트의 압축강도(f_{ck})는 24MPa이었으며 SD 40-D13 및 SD 40-D19의 2종류의 이형철근을 사용하였다. 실험체는 Table 1에 정리하였다.

3.2 가력 및 측정 장치

가력은 Fig. 4와 같이 복동식 유압 잭에 300kN 용량의 로드셀을 설치하여 특수하게 제작된 보조 장치를 통하여 전단력으로 전달되도록 가력하였다. 실험에서는 1초당 2.5kN의 속도로 가력하였으며, 1초에 한번씩 자료수집 장치

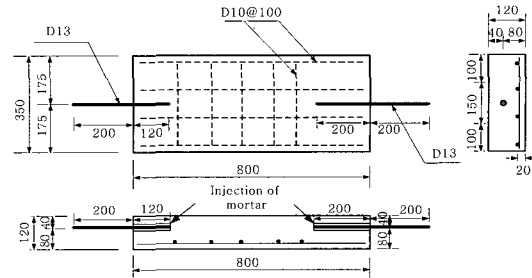


Fig. 3 Overall dimensions of specimens

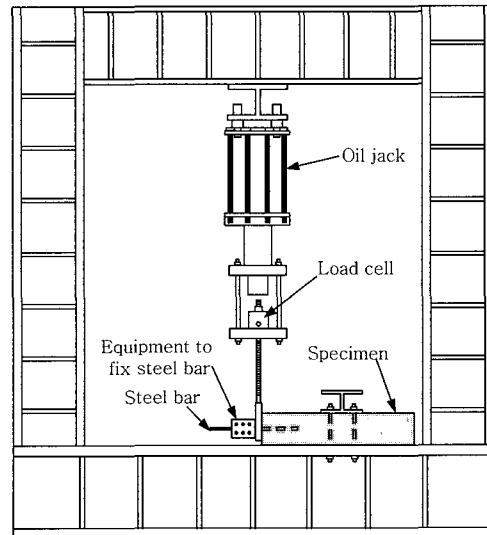


Fig. 4 Loading system

및 컴퓨터를 이용하여 변형을 측정하였다. 실험체의 휨 파괴를 방지하기 위해 실험체 위 중앙부에 H형강을 올려 고정시켰다.

3.3 실험 결과

모든 실험체는 실험체 윗면 또는 양 옆면으로 균열이 발생하면서 콘크리트가 파괴되었다. 실험체 윗면의 균열 형태는 대부분 반원 형태로 철근을 기준으로 20°~40°의 범위로 균열이 발생하였다.

Fig. 5는 부분 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸다. Fig. 5(a)는 철근이 D13이며 묻힘깊이가 120mm로 동일하지만 철근 단면 중심에서 콘크리트까지 거리가 40, 60, 80mm로 변화하는 실험체의 하중-변위곡선이다. Fig. 5(b)는 묻힘깊이가 200mm이며 철근중심에서 콘크리트까지 거리가 40, 60, 80mm로 변화하는 실험체의 실험 결과이다.

Fig. 5(a), (b)에서 L1이 40, 60, 80mm로 증가할수록 내력이 눈에 띄게 증가하였다. Fig. 5(c)는 철근의 직경이 다른 실험체 (D13, D19)의 하중-변위 곡선을 나타내며, Fig. 5(d)는 묻힘깊이 (120, 200mm)가 다른 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸다. Fig. 5(c)에서 철근D19를 사용한 실험체 H-10의 내력은 철근 D13을 사용한 실험체 H-4의

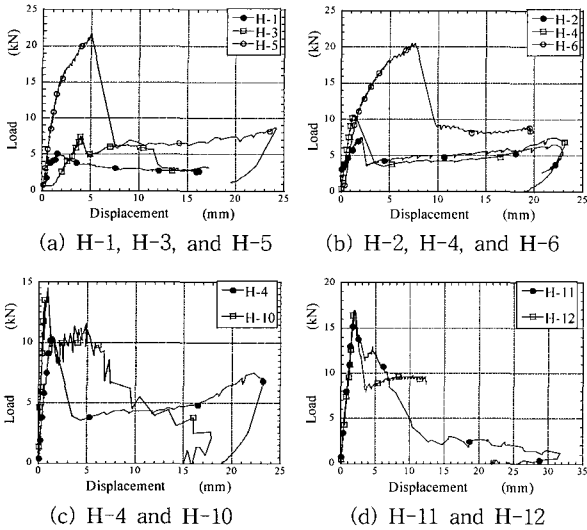


Fig. 5 Load versus displacement curves

내력과 거의 유사하였다. Fig. 5(a)와 (b)의 비교 및 Fig. 5(d)에서 묻힘깊이의 차이(120, 200mm)는 실험체 전단내력을 다소 상승시키지만 그 영향은 크지 않음을 알 수 있다. 모든 실험체의 내력을 Table 1에 표시하였다.

4. 활절점으로 연결된 바닥판의 전단내력 평가

4.1 실험 계획

부분 실험 결과에 근거하여 총 19개의 바닥판을 2차에 걸쳐 제작하여 바닥판의 내력을 평가하였다. 모든 실험체는 Fig. 6과 같이 폭 750mm, 길이 1,100mm, 두께 120mm인 2개의 바닥판을 전단연결철근에 의하여 연결하여

Table 2 Specifications of slabs connected with hinge joints

Slab	f_{ct} (MPa)	Dowel bar				Steel bars in old slab	Number of slabs	
		Type	Spacing (mm)	Length in old slab (mm)	Develop length in new slab (mm)			
First series	H-A1	21.6	D13	150	120	630	Inside	1
	H-A2	21.6	D13	300	120	630	Inside	1
	H-A3	21.6	D13	450	120	630	Inside	1
	H-B1	21.6	D19	150	120	940	Inside	1
	H-B2	21.6	D19	300	120	940	Inside	1
	H-B3	21.6	D19	450	120	940	Inside	1
Second series	H-C1	20.9	D13	150	120	630	Inside	2
	H-C2	20.9	D13	300	120	630	Inside	2
	H-C3	20.9	D13	450	120	630	Inside	2
	H-D1	20.9	D13	150	120	630	Outside	2
	H-D2	20.9	D13	300	120	630	Outside	2
	H-D3	20.9	D13	450	120	630	Outside	2
	H-E1	20.9	-	-	-	-	-	1

제작하였다. 각 바닥판은 양 방향에 D13철근을 300mm 및 200mm 간격으로 배근하였다. 부분 실험에서는 철근의 직경에 따라서 내력 차이가 많이 나지 않았지만 실제 리모델링 공사에서는 다양한 직경의 철근이 바닥판 연결철근으로 사용되므로 이 실험에서는 D13과 D19철근을 전단연결철근으로 사용하여 내력을 확인하였다. 전단연결철근은 150mm, 300mm, 450mm 간격으로 바닥판 두께 중심에 배근되었다. 기존 바닥판에 120mm 깊이의 구멍을 뚫어 전단연결철근을 연결하였다. 실험체의 배근 특성은 Table 2과 같다. H-A시리즈와 H-B시리즈에서는 전단연결철근을 각각 D13과 D19를 사용하여 150mm, 300mm, 450mm 간격으로 배근하였다. 2차 실험에서는 기존바닥판 철근의 영향을 평가하기 위하여 H-D실험체의 기존 바닥판의 철근 배근위치를 Fig. 6(b)와 같이 전단연결철근 밖

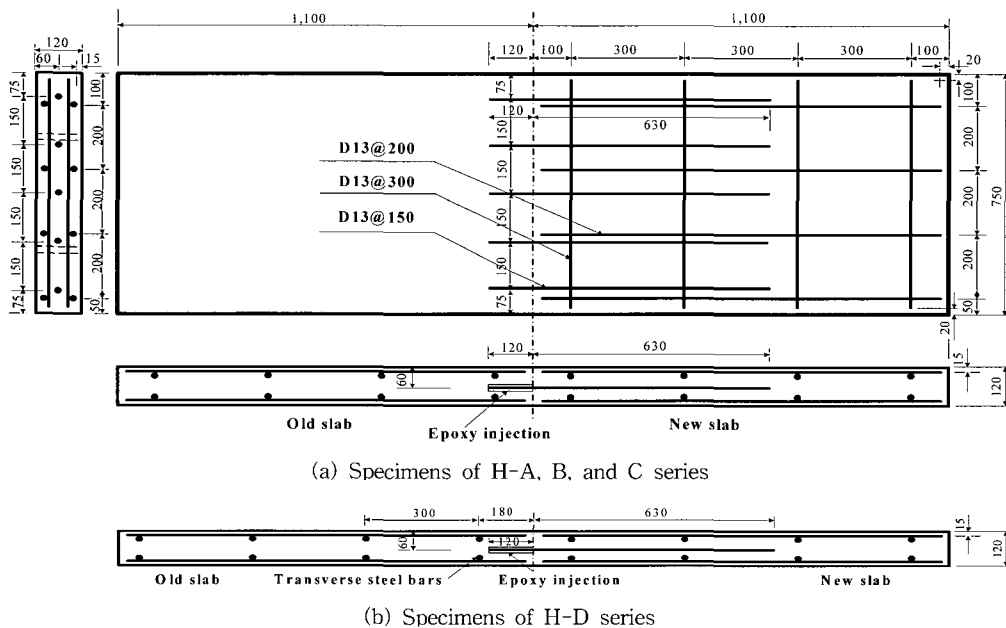


Fig. 6 Overall dimensions of the test slabs

에 배근하였다. 이는 실제 시공시에 기존 바닥판의 절단 위치에 따라서 기존 바닥판의 철근 위치가 전단연결철근의 안쪽에 위치할 수 있으므로 실험을 통하여 기존 바닥판의 철근이 전단연결철근에 미치는 영향을 파악하기 위함이다. 1차 실험체의 콘크리트압축강도(f_{ck})는 평균 21.6 MPa이며 2차 실험체의 콘크리트압축강도(f_{ck})는 평균 20.9 MPa이었다. 모든 실험체에 사용된 철근 D13과 D19의 항복강도는 평균 420 MPa이었다.

4.2 가력 및 측정 장치

가력은 Fig. 7과 같이 실험체 상부에서 3~5 kN/min.의 재하 속도로 2점 가력하였다. 실험체 접합면에 휨모멘트가 발생하지 않고 전단력만이 가해질 수 있도록 가력점의 위치를 접합면에서 기존바닥판 방향으로 800 mm, 신설 바닥판 방향으로 100 mm 떨어진 곳에서 2점 가력하였다. 신·구 바닥판 접합면에서 실험체의 가력면 상부에 폭 40 mm 인 가력판과 지점판을 설치하여 지압파괴를 방지하였으며, 재하시의 편심을 최소화시켰다.

기존 바닥판과 신설 바닥판이 만나는 접합면 하부에서 각각 100 mm 떨어진 곳에 각 2개의 LVDT를 설치하여 바닥판 처짐을 측정하였다. 바닥판 철근의 변형률을 측정하기 위하여 접합면 하부에서 기존 바닥판과 신설 바닥판 방향으로 각 60 mm 및 70 mm 떨어진 곳의 전단연결철근에 변형률게이지를 부착하였다. 또한, 접합면 하부에서 기존 바닥판과 신설 바닥판 방향으로 각 70 mm 및 120 mm 떨어진 곳의 바닥판 철근에 변형률게이지를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였다.

4.3 실험체 파괴양상

D13전단연결철근이 150 mm 간격으로 배근된 H-A1 실험체는 하중이 80 kN(접합면 전단력)에서 처음으로 접합면 하부에 균열이 발생하였다. 하중이 증가함에 따라서 균열은 접합면 하부에서 상부로 진전하였으며 하중이 111 kN 에서 균열은 약 45도 경사로 신설바닥판으로 진전하

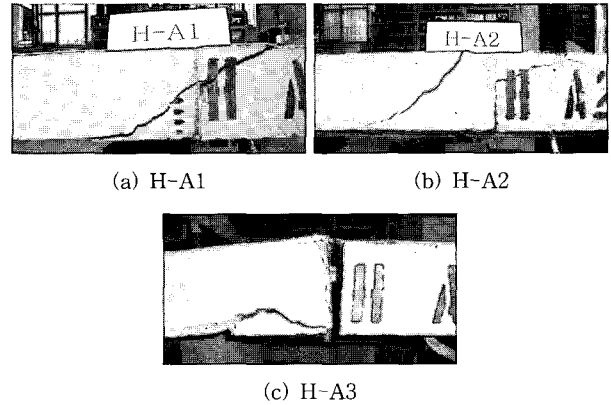


Fig. 8 Crack patterns of the slabs in the H-A series

였다. 하중이 135 kN에서 접합면의 균열은 Fig. 8과 같이 약 45도 경사로 기존바닥판으로 진전하였다. D13전단연결 철근이 300 mm 간격으로 배근된 H-A2 실험체도 H-A1 실험체와 유사하게 접합면 하부에서 발생한 균열이 신·구 바닥판 방향으로 진전한 후에 신설 바닥판의 콘크리트가 탈락하여 파괴하였다. 한편, D13전단연결철근이 450 mm 간격으로 배근된 H-A3 실험체는 접합면에 발생한 균열이 증가하다가 접합면이 분리되면서 최대 하중에 도달하였다. H-A3 실험체에서는 45도 균열이 발생하지 않았고, 신·구 바닥판이 접합면을 경계로 하여 완전히 분리되었다.

D-19 철근을 전단연결철근으로 사용한 H-B 시리즈 실험체는 H-A 시리즈 실험체와 거의 유사한 파괴양상을 나타내었다. 즉, 전단연결철근이 각각 150 mm와 300 mm 간격으로 배근된 H-B1과 H-B2 실험체는 접합면의 균열이 신·구 바닥판 방향으로 45도 진전한 후에 신설 바닥판의 콘크리트가 탈락하면서 파괴되었다. 그러나 H-B3 실험체는 H-A3 실험체와 유사하게 45도 균열이 발생하지 않았고, 신·구 바닥판이 접합면을 경계로 하여 완전히 분리되었다. H-B 시리즈 실험체의 최대하중은 H-A 시리즈 실험체의 최대 하중과 유사하였지만 처짐은 작았다.

기존 바닥판의 철근이 전단연결철근의 바깥쪽에 위치한 H-D 시리즈 실험체는 초기균열이 발생한 후에 철근이 전 단연결철근의 안쪽에 위치한 H-C 시리즈 보다 급격히 파

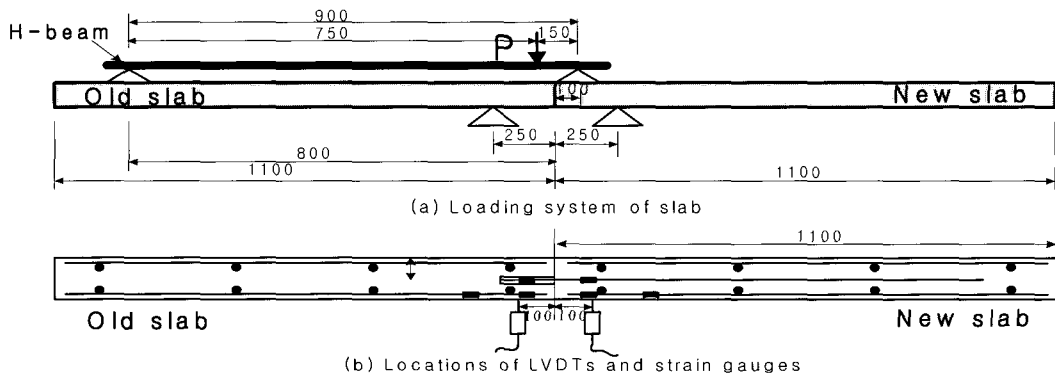


Fig. 7 Load system of slab and locations of LVDTs and strain gauges

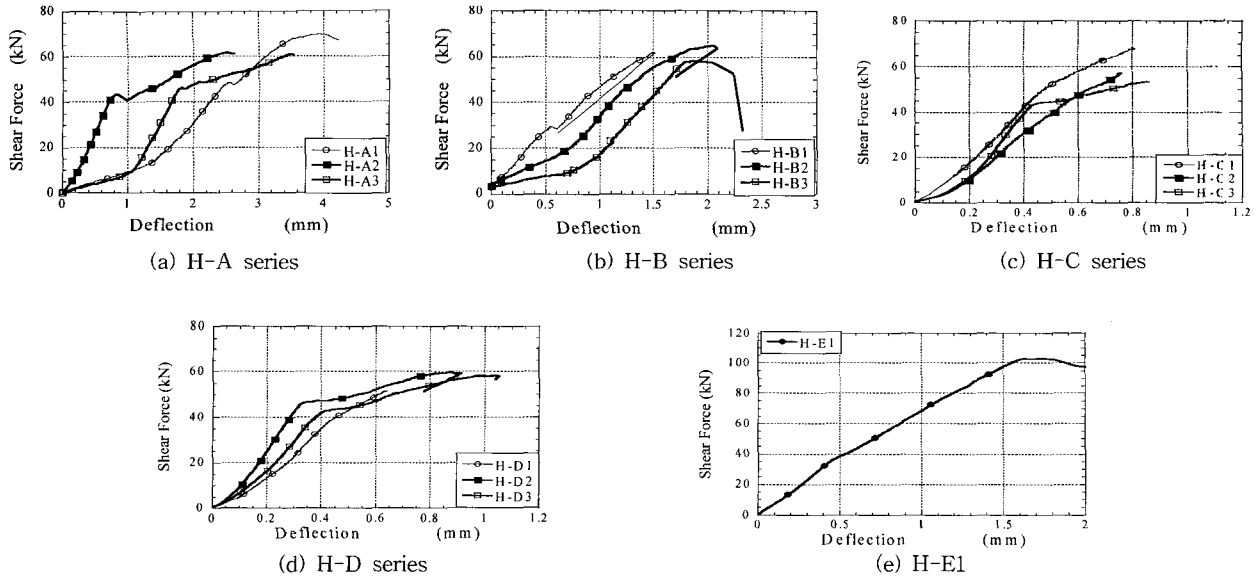


Fig. 9 Load versus displacement curves of the slabs connected by hinge joint

괴되었다. H-D3실험체는 초기균열이 접합면 상부근처에서 발생하였으나 45도 경사를 이루지 않고 접합면에서 파괴되는 양상을 보였다.

4.4 전단력-처짐 관계

Fig. 9는 활절점으로 연결된 19개 바닥판의 전단력-처짐 관계를 나타낸다. 처짐은 접합면에서 신설 바닥판 방향으로 100 mm 떨어진 곳에서 측정된 2개의 LVDT의 평균값이다. D13전단연결철근을 150 mm, 300 mm, 450 mm 간격으로 배근한 H-A 시리즈 실험체는 전단하중 약 70 kN 근처에서 파괴하였다. 실험체의 내력은 전단연결철근의 배근간격에 관계없이 거의 유사하였다. H-A 시리즈의 처짐은 다소 차이를 보이지만 전단연결 철근의 간격에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. D19전단연결철근을 150 mm, 300 mm, 450 mm 간격으로 배근한 H-B 시리즈 실험체의 전단하중도 H-A 시리즈 실험체의 전단하중과 유사하게 약 70 kN 근처에서 파괴하였다. 또한 실험체의 내력은 전단연결철근의 배근 간격에 관계없이 거의 유사하였다. H-B 시리즈의 처짐은 H-A 시리즈의 실험체보다 작았으며 전단연결철근의 간격에 무관하게 거의 일정하였다.

기존 바닥판에 배근된 철근의 위치가 전단연결철근의 밖에 배근된 H-D시리즈 실험체의 내력은 H-C 시리즈 실험체의 내력과 비교하여 큰 차이가 없었다. 이는 전단연결 철근이 하중을 받아 아래쪽으로 내려올 때 기존 바닥판의 철근의 위치가 접합부 내력에 큰 영향을 미치지 않음을 나타낸다. 바닥판이 일체화된 H-E1의 내력은 103kN으로 일체화되지 않은 실험체보다 큰 내력을 나타내었다.

5. 활절점으로 연결된 바닥판의 내력 평가

5.1 기준식에 의한 바닥판의 내력 평가

실험에서 관찰된 전단내력을 ACI 318-02 전단연결철근 내력평가식⁴⁾과 비교하였다. ACI 318-02에서는 후 설치 캐미컬 연결철근의 파괴모드를 크게 2가지(연결철근의 파괴와 콘크리트 파괴)로 구별하여 계산하고 있다. 연결철근이 콘크리트에 깊게 매설되거나 철근의 인장강도가 콘크리트의 강도에 비하여 상대적으로 낮은 경우에 연결철근 파단에 의한 파괴가 발생한다. ACI 318-02에서는 식 (1)에 의하여 연결철근 파단시의 전단내력, V_{sb} 를 계산한다.

$$V_{sb} = n (0.6 \cdot A_s \cdot f_{ut}) \quad (1)$$

여기서, n 은 연결철근의 수, A_s 는 연결철근 1개의 단면적, f_{ut} 는 철근의 인장강도로 $1.9f_y$ 와 862 MPa를 초과할 수 없다.

연결철근의 묻힘 길이가 짧거나 콘크리트의 압축강도가 낮을 경우에는 콘크리트 파괴가 발생한다. ACI 318-02에서는 식 (2)에 의하여 단일 연결철근의 콘크리트 파괴에 의한 전단내력, V_{cb} 를 계산한다.

$$V_{cb} = \frac{A_v}{A_{vo}} \psi_6 \psi_7 V_b \quad (2)$$

여기서, A_v 는 연결철근의 콘크리트 파괴면 투영면적, A_{vo} 는 모서리의 영향, 간격 또는 두께에 제한을 받지 않을 경우의 연결철근의 콘크리트 파괴면 투영면적, ψ_6 는 가장자리 효과에 대한 수정계수, ψ_7 는 균열이 있는 경우의 전단에 대한 수정계수, V_b 는 콘크리트 파괴 내력 기본값으로 지압저항길이, 연결철근의 직경 등에 영향을 받으며 식 (3)에 의하여 계산할 수 있다.

$$V_b = 0.6 \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_{ck}} (c_1)^{1.5} \quad (3)$$

여기서, l 은 지압저항길이, d_o 는 연결철근 직경, c_1 은 연결철근 중심에서 가장 가까운 콘크리트까지의 거리이다.

외부하중에 대한 저항력은 콘크리트의 투영면적, A_{vo} 와 밀접한 관계가 있다. ACI 318-02 기준에서는 모서리의 영향, 간격 또는 부재 두께에 따라서 콘크리트 파괴면 투영 면적을 정한다. 이 때 콘크리트의 각도는 철근을 중심으로 35도로 가정하여 투영면적을 정한다. 단일 연결근 또는 그룹 연결근의 콘크리트 파괴면 투영 면적, A_v 는 철근 중심에서 콘크리트 가장자리까지의 거리, c_1 과 밀접한 관계가 있다. 일체화된 바닥판과 접합한 바닥판의 내력을 평가하기 위하여 바닥판의 전단내력을 콘크리트구조설계기준⁵⁾에 의하여 계산하였다. 콘크리트구조설계기준에서 바닥판의 공칭전단내력, V_n 은 콘크리트에 의한 저항력, V_c 와 전단보강근에 의한 저항력 V_s 의 합으로 계산하고 있다. 이 연구에서 수행한 19개의 바닥판에는 전단보강근이 존재하지 않으므로 콘크리트에 의한 저항내력을 아래 식과 같이 콘크리트만에 의한 저항에 의하여 계산하였다.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (4)$$

실험체에 대하여 식 (1)부터 (4)에 의하여 계산된 결과를 Table 3에 표시하였다. V_{exp} 는 실험에서 측정된 최대 전단내력이다.

5.2 실험 결과에 대한 고찰

Table 3은 ACI 318-02 전단연결철근 내력 평가식에 의하여 계산된 실험체의 내력을 나타낸다. 표에서 전단연결철근에 의하여 파괴될 경우의 내력은 실제 실험값과 비교하여 매우 크다는 것을 알 수 있다. 또한 실험에서 전단연결철근에 설치한 변형률게이지도 모두 탄성인 상태로 바

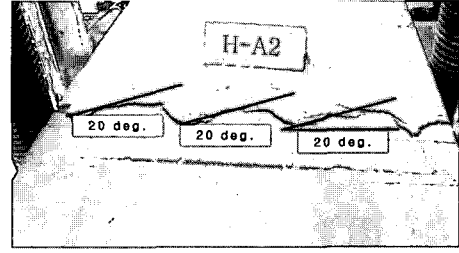


Fig. 10 Inclination of the cracks

닥판은 전단연결철근의 항복이 아니라 콘크리트에 의한 파괴임을 알 수 있다.

콘크리트에 의하여 파괴될 경우에 ACI 318-02 내력평가식은 전단연결철근의 간격이 좁아짐에 따라서 바닥판의 내력을 높게 평가하였다. 이는 철근의 간격에 따라서 콘크리트 파괴면 투영 면적, A_v 이 넓어지기 때문이다. 그러나 실제 실험 결과에서는 철근의 굵기(H-A 시리즈와 H-B 시리즈의 내력 비교) 및 철근의 간격에 무관하게 바닥판 내력이 거의 유사하였다. 이와 같이 실험값과 계산값에 차이가 나는 이유는 콘크리트 파괴면의 각도와 밀접한 관계가 있다. ACI 318-02에서는 콘크리트 파괴면의 각도를 35도로 가정하여 파괴면의 투영면적을 계산한다. 파괴면의 각도를 35도로 가정할 경우에 철근의 간격이 각각 150mm, 300mm, 450mm인 실험체 H-A1, H-A2, H-A3의 콘크리트 가장자리까지의 거리, c_1 은 각각 750mm, 510mm, 360mm로 변화하게 된다. 이러한 거리의 차이는 투영면적에 영향을 주어 내력에 차이를 나타내게 한다. 그러나 이 연구에서 수행한 바닥판의 파괴면의 각도는 Fig. 10과 같이 약 20도에 지나지 않았다. 이와 같이 ACI 318-02에서 규정한 각도와 실제 각도에 차이가 나는 것은 철근콘크리트 바닥판의 두께에 기인한다. CEB-FIB보고서⁶⁾에 의하면 파괴면의 각도는 항상 35도로 일정하지 않고, 철근의 중심에서 콘크리트 가장자리의 거리가 짧을 경우에 파괴면의 각도는 20도에 가까웠다. 철근콘크리트 리모델링 건물의 바닥판의 두께는 일반적으로 120mm이다. 전단연결철근은

Table 3 Comparisons of the observed and calculated strengths of slabs

Slab	Reinforcement strength			Concrete strength						Shear strength	V_{exp}	V_{exp}/V_{ch}	V_{exp}/V_n	
	n	A_s (mm ²)	f_{ut} (MPa)	V_{sb} (kN)	A_v (mm ²)	A_{vo} (mm ²)	Ψ_6	Ψ_7	V_b (kN)	V_{ch} (kN)	V_n (kN)	(kN)		
H-A1	5	126.7	862	327.6	67,500	16,200	1	1.4	7.08	41.3	58.09	70.0	1.69	1.21
H-A2	3		862	196.6	45,900	16,200	1	1.4	7.08	28.08	58.09	61.8	2.20	1.06
H-A3	2		862	131.1	32,400	16,200	1	1.4	7.08	19.82	58.09	61.0	3.08	1.05
H-B1	5	286.7	862	741.4	67,500	16,200	1	1.4	8.17	47.66	58.09	58.8	1.23	1.01
H-B2	3		862	444.8	45,900	16,200	1	1.4	8.17	32.41	58.09	61.5	1.90	1.06
H-B3	2		862	296.6	32,400	16,200	1	1.4	8.17	22.88	58.09	54.9	2.40	0.95
H-C1	5	126.7	862	327.6	67,500	16,200	1	1.4	6.97	40.66	57.15	62.6	1.54	1.10
H-C2	3		862	196.6	45,900	16,200	1	1.4	6.97	27.65	57.15	55.7	2.01	0.97
H-C3	2		862	131.1	32,400	16,200	1	1.4	6.97	19.52	57.15	49.0	2.51	0.86
H-D1	5	126.7	862	327.6	67,500	16,200	1	1.4	6.97	40.66	57.15	52.4	1.29	0.92
H-D2	3		862	196.6	45,900	16,200	1	1.4	6.97	27.65	57.15	61.3	2.22	1.07
H-D3	2		862	131.1	32,400	16,200	1	1.4	6.97	19.52	57.15	57.6	2.95	1.01
H-E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	103.2	-	-

바닥판의 중앙부에 설치되므로 이 실험에서도 철근의 중심에서 콘크리트 가장자리의 거리가 60mm가 되도록 실험체를 제작하였다. 따라서 철근의 중심에서 콘크리트 가장자리의 거리가 60mm로 짧을 경우에 파괴면의 각도가 20도에 가까워지며 이 경우에 실험체의 콘크리트 가장자리까지의 거리, c_1 은 철근의 배근간격과 무관하게 750mm로 일정하게 된다. 우리나라 공동주택과 같이 바닥판의 두께가 120mm인 경우에는 ACI 318-02 계산식에 의한 평가내력보다 접합부의 전단강도가 상승하였다.

모든 실험체는 콘크리트구조설계기준에 의하여 계산된 전단강도와 유사하였지만 일체화된 실험체의 전단강도보다는 작았다. 일체화된 실험체와 유사한 강도를 확보하기 위해서는 전단연결철근의 간격이나 강도의 증가보다는 콘크리트 파괴를 억제하여 강도를 높여야 한다.

6. 결 론

근년 노후화된 철근콘크리트 건물을 리모델링하여 기존 건물의 주거성 및 구조안전성을 향상시키고 있다. 30년 이상된 공동주택은 평형이 작은 건물이 대부분이기 때문에 평면 확장이 필요하다. 그러나 지금까지 공동주택의 리모델링 사례가 많지 않기 때문에 신뢰할 만한 평면 확장 기술이 부족한 실정이다. 이 연구에서는 활절점으로 연결하여 바닥판을 평면 확장할 경우의 접합면의 파괴모드와 강도를 12개의 부분 실험체와 19개의 전체 실험체를 통하여 측정하였다. 각 실험에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 파괴면의 각도는 ACI 318-02기준과는 다르게 20도에 가까웠다. 이는 철근콘크리트 리모델링 건물의 바닥판의 두께가 일반적으로 120mm로 전단연결철근의 중심에서 콘크리트 가장자리의 거리가 짧기 때문이다. 따라서 우리나라 공동주택과 같이 바닥판의 두께가 120mm인 경우에는 ACI 318-02 계산식에 의한 평가내력보다 접합부의 전단강도가 상승하였다.
- 2) 활절점으로 연결된 바닥판은 철근의 배근간격이나 직경 및 양과는 무관하게 모두 콘크리트에 의하여 파괴되었다. 따라서 바닥판의 접합부 내력을 향상시키기

위해서는 철근의 직경이나 간격을 변화시키기 보다는 콘크리트의 내력을 보강시켜야 할 것으로 판단된다.

- 3) 철근중심에서 콘크리트 가장자리까지 거리가 40, 60, 80mm로 증가할수록 내력이 증가하여 철근중심에서 콘크리트까지 거리가 활절점으로 연결된 바닥판의 접합부내력에 큰 영향을 주는 변수임을 알 수 있었다.
- 4) 전단연결철근의 묻힘깊이가 증가함에 따라서 내력이 다소 상승하였지만 그 영향은 철근 중심에서 콘크리트 가장자리까지 거리가 미치는 영향에 비해서는 작았다.
- 5) 기존 콘크리트에 묻혀있는 철근의 위치는 활절점으로 연결된 바닥판 접합부의 내력에 큰 영향을 주지 않으므로 접합부의 내력은 철근의 위치와 무관하게 일정하게 평가하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C103A2000012-03A0200-01220) 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 대한건축학회, “공동주택의 리모델링을 위한 구조설계 및 보강지침”, 건설교통부, 2003, 237pp.
2. 대한건축학회, “콘크리트 구조물의 보수 보강”, 대한건축학회, 1997, 181pp.
3. 건설교통부, “공동주택의 재건축실태와 수명연장 방법 연구”, 건설교통부, 1994, 443pp.
4. ACI Committee 318-02, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-02/ACI 318R-02)*, American Concrete Institute, Detroit, 2002, 443pp.
5. 한국콘크리트학회, 대한건축학회, 콘크리트 구조설계기준, 한국콘크리트학회, 대한건축학회, 1999, 319pp.
6. CEB-FIP, *CEB-FIP Model Code 1990*, Committee Euro-International du Beton, London, 1991, 437pp.

요 약

1960년대 또는 1970년대 건설되어 노후화된 철근콘크리트 공동주택을 리모델링하거나 재건축해야 할 필요성이 증대하고 있다. 노후된 공동주택을 리모델링하는 것은 그 건물이 구조적으로 결함이 있기 때문이 아니라 대부분 건물의 거주성을 향상시키기 위함이다. 특히 노후된 건물의 대부분은 작은 평형의 공동주택으로 리모델링하여 평면을 확장시키는 경우가 많다. 현재 우리나라에서는 리모델링 공사 사례가 많지 않기 때문에 리모델링 공사의 평면 확장 기술이 부족한 실정이다. 이 연구에서는 12개의 부분 실험체와 19개의 전체 실험체를 제작하여 활절점으로 연결된 바닥판 접합부의 파괴모드와 내력을 실험적으로 평가하였다. 실험체의 주요 변수는 전단연결철근의 종류(D13과 D19), 간격(150mm, 300mm, 450mm), 기존 바닥판 철근의 위치이다. 실험 결과에서 바닥판 연결부의 강도는 ACI 318-02보다 크게 평가되었다. 이는 콘크리트 파괴면의 각도가 ACI 기준보다 작아 콘크리트 파괴 투영 면적이 크기 때문이다. 또한 모든 실험체는 콘크리트 파괴를 나타내어 접합부의 내력을 향상시키기 위해서는 철근의 간격이나 직경을 변화시키기 보다는 콘크리트의 내력을 향상시켜야 함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 철근콘크리트 바닥판, 리모델링, 전단연결철근, 접합부의 강도, 파괴모드