

U형 프리캐스트 콘크리트 벽패널로 채운 기존 철근 콘크리트 보-기둥 구조물의 휨 거동 분석

손국원¹, 유승룡^{2*}, 임철우³, 주호성⁴

Analysis on the Flexural Behavior of Existing Reinforced Concrete Beam-Column Structures Infilled with U-Type Precast Wall Panel

Guk-Won Son¹, Sung-Young Yu^{2*}, Cheol-Woo Lim³, Ho-Seong Ju⁴

Abstract: This study aims at developing a new seismic resistant method by using precast concrete wall panels for existing low-rise, reinforced concrete beam-column buildings such as school buildings. Three quasi-static hysteresis loading tests were performed on one unreinforced beam-column specimen and two reinforced specimens with U-type precast wall panels.

Seismic resistant test of anchored and welded steel plate connections manifested an average of 2.8 times increase in the maximum loading (average 591.8 kN) in comparison to unreinforced beam-column specimen. The maximum drift ratios were also shown between 1.4% and 2.7%. An analytical study was performed while assuming the RC column on the right side and the vertical element of the reinforced PC panel to behave in completely composite manner and the RC column on the left side and PC panel to behave in completely non-composite manner when loading was exerted from upper right end of RC frame of specimen to its left side. It was found with the assumptions that the overall flexural behavior in principle agreed with the experimental result.

Keywords: Infilled, Seismic resistant method, Precast concrete, Wall panel, Retrofit, Quasi static test, Flexural

1. 서 론

기존 철근 콘크리트 보-기둥 건물에서 조적조를 사용한 내부 채움 공법(Masonry - Infilled reinforced concrete frame)에 대한 연구^{1),2)}와 현장타설 콘크리트로 채운 연구^{3),4)} 60년대 초반부터 시작하여 무수한 연구가 국내외에서 진행되어 왔다. 그러나 프리캐스트 콘크리트 벽패널(Precast concrete wall panel, PC 벽패널)을 보강재로 활용한 내진 보강 실험 또는 접합부 등과 관련된 연구는 아직 많이 부족한 상태이다.

PC재료비는 1 m³당 100만원 내외로 매우 저렴한 편이다. 보강 대상인 철근콘크리트 건물과 동일한 재료적 성능과 질감을 가지고 있는 PC(Precast Concrete)재는 콘크리트 구조물에 가장 적합한 내진보강 재료 중 하나라 할 수 있다. 따라서 이 연구의 목표는 학교 건물과 같은 저층 보-기둥 철근콘크리트

구조 건물에서 PC 벽패널을 사용한 새로운 내진보강 방법을 개발하는데 있다. 이를 위하여 이 연구에서는 2 개의 L형 PC를 대칭으로 설치하여 조적조를 대체할 수 있는 새로운 U형 PC 벽패널을 개발하였다. 아울러 이 연구 과정에서 개발한 2개의 독특한 성능의 앵커접합부를 제안하였다. 제안하는 구조물과 접합부에 대한 첫 번째 실험이므로 그 근본적인 거동 해석에 초점을 두어 연구하였다.

경험사례⁵⁾에 의하면, 3~5층 규모의 저층 기존 철근 콘크리트 건물이 조적조로 채워져 있을 때, 지진하중 하에서 이 건물들은 진동을 발생하지 않고 층 전단력에 의하여 취성 파괴 되는 것이 일반적이었다. 전단파괴에 효과적인 공법은 단면 확장이라 할 수 있다. U형 PC 벽패널 내진보강 공법은 단면 확장 공법의 일환으로 강도와 강성이 증가되는 공법이다. 실험을 통하여 강도와 강성의 증가치를 검토하였다.

가장 바람직한 보강공사는 보강 전, 후 변형이 작은 공법이라 할 수 있다. 제안하는 PC 공법의 가장 큰 첫 번째 장점은 공사 전과 공사 후 외관이 변하지 않으며, 보강재 전면의 큰 부분을 차지하는 외벽에 다양한 타일 공사가 가능하다는 점이다. 즉, 보강 전과 후에 동일한 건물 외관으로 인하여 보강공사를 시행하였는지 여부를 파악할 수 없으나, 적절한 타일 공사로

¹학생회원, 동국대학교 건축공학과 학사과정

²정회원, 동국대학교 건축공학과 교수, 교신저자

³정회원, ㈜ 아이스트 부사장

⁴정회원, 동국대학교 건축공학과 석사

*Corresponding author: ysy@dongguk.edu

•본 논문에 대한 토의를 2015년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2015년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

인하여 공사 전보다 훨씬 뛰어난 신축과 같은 건물 외관을 보여 줄 수 있을 것이다.

2. PC 벽패널 보강 공법 개발

- 건물 외주 테두리 보와 기둥을 보강 - PC 보강 패널은 인양한 상태에서 외부 부재로 바로 설치되는 공법을 지향한다. 그 이유는 횡력에 가장 효과적으로 대응하는 방법은 내부 부재보다 건물 외곽 테두리 보와 기둥을 보강하는 것이 내부 보나 기둥을 보강하는 것보다 효과적이고, 공기와 공사비를 획기적으로 줄일 수 있기 때문이다. PC 패널은 크레인으로 인양한 상태에서 바로 설치되고, 외벽보강만으로 공사를 마감할 수 있으므로, 공기는 더욱 단축되고 시공비용은 감소한다.

- 기존 창문 보존 - 학교건물 외벽설계에서 필수조건 중 하나인, 중앙에 위치한 창을 그대로 보존할 수 있어야 한다.

Fig. 1과 같이 창문 상부 RC 보아래 막힘이 없이, 바로 창이 위치하여야 탁 트인 시야를 확보할 수 있고, 건강한 내부공간을 보유할 수 있다. 즉, 조적벽 부위를 모두 타일을 붙인 보강 PC로 치환한다면, 최종 PC형태는 Fig. 2와 같이 우선 U형으로 구성할 수 있고, 기존의 창문을 그대로 유지할 수 있다. U형

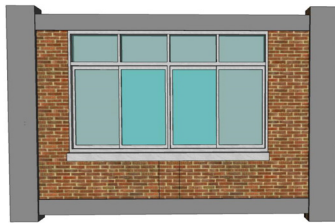


Fig. 1 Infilled with Masonry

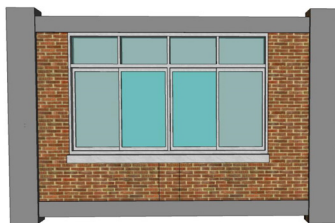


Fig. 2 Infilled with PC Panel

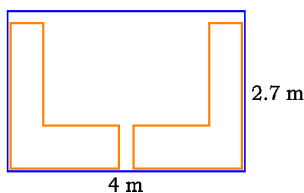


Fig. 3 Inner Span

PC패널은 구조적 기능과 외장 기능을 함께한다.

- 단면 확장에 의한 강도와 강성 증가 - 창문 폭과 높이가 2.8×1.8 m(교육청 지정 최소 크기)일 때, Fig. 3과 같이 기둥 사이 순경간은 4.0 m 그리고 천장 고(바닥에서 상부 보 하단까지) 2.7 m인 시공 선을 생각할 수 있다. Fig. 4의 L형의 세로 부분은 단면 확장으로 지진 횡력에 대하여 기둥의 휨 강성과 전단강성을 증가시키고(특히 기둥의 전단파괴 강도를 증가), 가로 부분은 횡력으로 인하여 보에 전달되는 축력 일부분을 분담하고 보의 순 경간을 축소하여 보의 축 강성을 증가할 수 있다.

- 1개의 PC 단면으로 생산 - 단위 PC는 양중과 시공이 원활할 수 있는 적정 크기여야 한다. 길이에 대한 변동성에 대응하기 위하여 Fig. 3과 같이 U형 PC 중앙부에 절점을 둔 2개의 PC를 생각할 수 있다. 아울러 높이에 대한 변동성을 위하여 각 PC 상단 접합부에서 60 mm의 오차를 소화할 수 있으므로 거의 모든 학교 내진보강이 1개의 PC 단면으로 시공할 수 있다.

- 연성확보 - 내진 구조물의 연성을 확보하기 위하여 가능한 변형을 구속하지 않아야 한다. 지진하중 하에서 모재 보-기둥구조는 아래 Fig. 5(a)와 같이 기둥 상부에서 최대 횡 변형이 발생한다. 보강재에서는 이 변형을 허용하는 구조형태가 필요하다. 이를 위하여, Fig. 5(b)와 같이 2개 내민보 형식으로 하여 자유단 끝에서 최대 변형을 허용할 수 있는 U자 형태의 보강재를 계획하였다.

- 면 접촉과 기초 - 철골재 같은 고강도 선재를 저 강도 콘크리트에 사용할 경우, Fig. 6과 같은 점접촉-국부파괴가 초래할 수 있다. 따라서 Fig. 7과 같이 보강재와 모재와 면접촉하도록 한다.

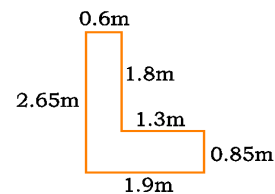


Fig. 4 Dimension of Panel

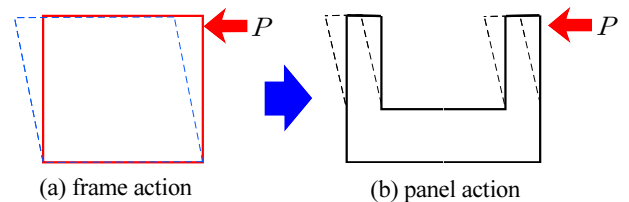


Fig. 5 Modeling for Ductility

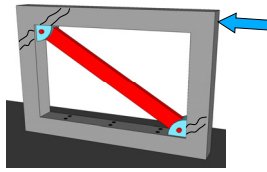


Fig. 6 Local Contacts

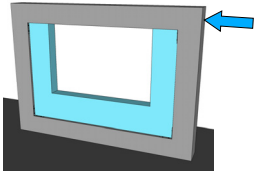


Fig. 7 Face Contacts

3. 실험체 설계

3.1 무 보강 실험체 PR1

Fig. 8의 철근 콘크리트 보-기둥 실험체는 이 연구에서 보강대상으로 설정한 기존 철근콘크리트 학교건물의 외곽 보-기둥 구조물을 모델로 실물크기로 제작하였다. 실험체 경간과 단면은 80년대 문교부에서 발표한 학교건물 표준설계도에서 장변방향 외곽 보-기둥에 주로 사용되는 단면 중 하나이다.

Fig. 8의 보-기둥 구조물에 Figs. 9, 10, 11, 12와 같이, 두께 250 mm U형 PC 벽패널로 보강하였다. U형 PC 보강재 상부와 철근콘크리트 보-기둥 구조물 사이에 Fig. 9와 같이 앵커 접합한 실험체 그리고 Fig. 11과 같이 철판 접합한 실험체에 대한 이력하중 실험을 실시하였다.

3.2 보강 실험체 PR1-UA

L형 PC 벽패널 보강재 2개를 마주보게 설치하면 아래 Fig. 9와 같이 보강할 수 있다. U형 PC 벽패널 가운데 부분은 교육부에서 지정한 창문크기(2,800×1,800)를 만족하는 크기이다.

여기서 PC 벽패널 보강재와 기존 RC 보-기둥 구조물의 접합부는 상부에 4개소 그리고 하부에 2개소를 설치하였다.

지진 횡 하중에 대응할 수 있는 충분한 휨과 전단내력을 보유하기 위하여 보강재와 대상골조의 합성거동 필요하고 이를 위하여 상부에 앵커 전단 접합부를 설치하였고, 이를 보조할 수 있는 박스철물(steel box)에 추가로 수평 인장 앵커를 설치하였다. 이 접합부는 후설치 앵커와 선설치 앵커로 시공된 전단 접합부 실험체라 할 수 있다. 즉, 현장에서 PC 패널을 삽입한 후 고강도 콘크리트를 타설하여 간편하게 시공을 완료할 수 있다. 보강 PC 벽패널의 배근 상세는 다음 페이지 Fig. 10과 같다.

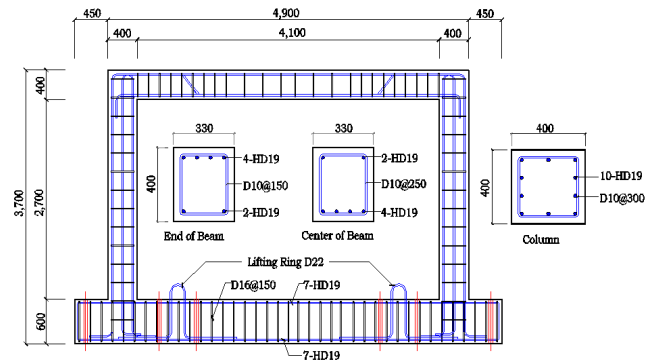


Fig. 8 Specimen PR1 (mm)

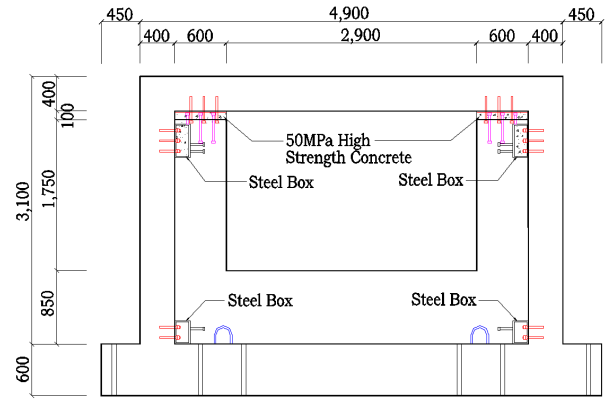


Fig. 9 Specimen PR1-UA

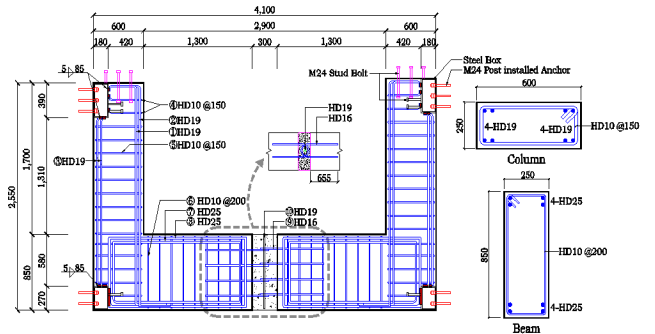


Fig. 10 Detail of Precast Panel with Anchor (mm)

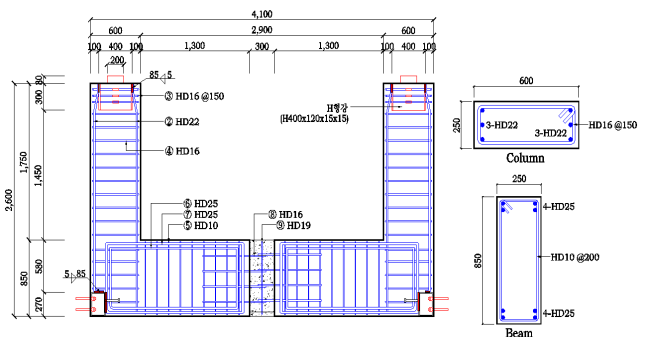


Fig. 11 Detail of Precast Panel with Steel Plate (mm)

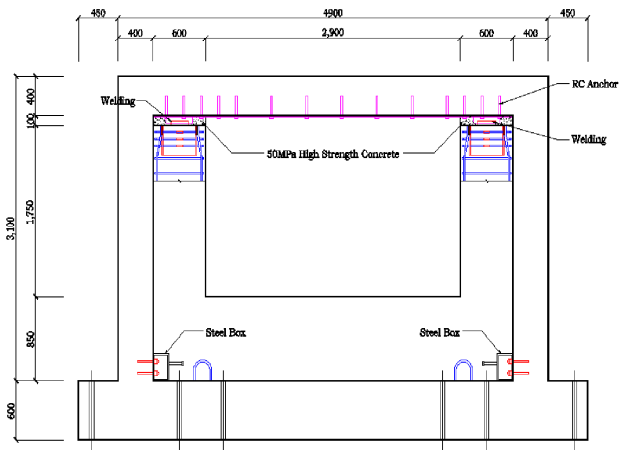


Fig. 12 Specimen PR1-UP (mm)

3.3 보강 실험체 PR1-UP

이 연구에서 두 번째 고려한 실험체 PR1-UP의 전단 접합부는 용접으로 인하여 시공성은 앵커 접합부보다 떨어지지만 철판용접으로 전단강도를 증가시킬 수 있는 접합부를 Figs. 11와 12같이 제안하였다. 보강 PC 벽패널의 배근 상세는 Fig. 12와 같다.

기존 RC 보 하부에서 철판을 케미컬 앵커로 Fig. 12와 같이 정착시키고, PC 보강재 상단에 철판은 PC 공장에서 H형강을 PC에 매입된 상태로 Fig. 11과 같이 제작하였다. 그 후 2개의 철판은 현장에서 용접하여 제작하였다.

즉, 이 접합부는 보 하단에 후설치 앵커에 의하여 접합된 철판과 PC 보강 패널 내부에 선설치로 설치된 철판을 용접한 전단 접합부 실험체라 할 수 있다. 다른 배근과 상세는 PR1-UA 실험체나 PR1-UP 실험체나 동일하다.

PC 패널에 삽입된 H형강은 SSD400 H형강(H400x120x15 x15)을 가공하여 제작하였다. 이 실험체에서, 후설치 앵커의 전단내력을 최대한 증가시키기 위하여 Fig. 12와 같이 RC보 하단 전 구간에 걸쳐 후설치 앵커를 배치하였다.

3.4 접합부

- PC와 PC의 신축 연결부 - 2개의 L자형 PC 사이에는 신축 연결부를 설치하여 기존 건물의 시공 오차를 해결한다. 이 신축 연결부는 지금까지 PC 패널 공법에서 흔히 사용됐던 U형 갈고리 철근을 겹치고 가운데에 철근 하나를 삽입한 후 콘크리트를 타설하는 방법으로(Fig. 13과 14 참조), PC 패널의 길이에 대한 오차를 해소하고, 연속성을 확보할 수 있는 접합부이다.

- RC 기둥과 PC 보강재 사이의 박스 앵커 접합부 - 박스철물을 이용한 앵커 공법은 RC기둥 측면 상, 하부에 후설치 앵커를 설치하고, L형 PC를 인양하여 보 기둥 사이에 설치하고,

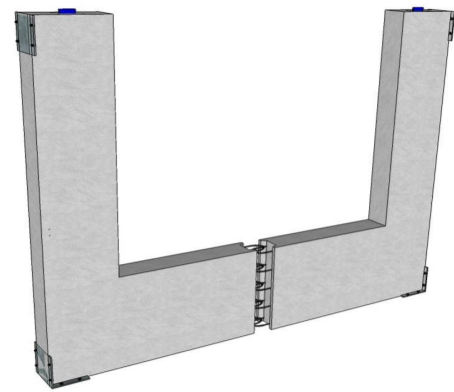


Fig. 13 U-Type Wall Panel

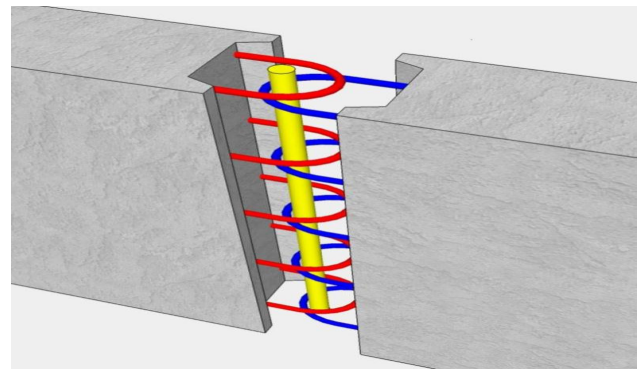


Fig. 14 View of Connection

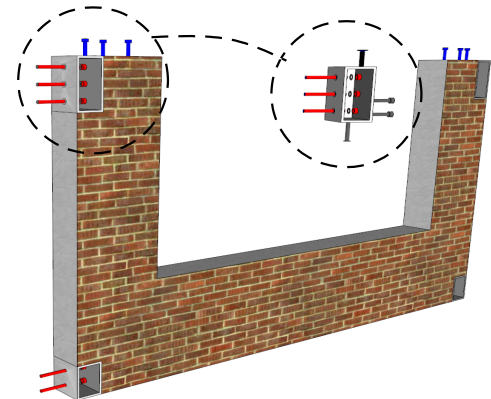


Fig. 15 U-Type Panel with Steel Box

Fig. 15와 같이 박스 철판 앵커구멍을 관통하여 앵커를 박스 안으로 도입한 후 암나사를 체결하여 결속하고 콘크리트를 타설하여 마무리 한다.

또한 측면 상하부 박스철물 안에서 수평으로 상부에 3개 하부에 2개 인장 앵커 접합부를 설치하였다. 하부 인장 앵커는 보강재의 탈락을 방지하기 위한 접합부이다. 상부의 인장 접합부는 수직 앵커에 의한 전단 내력을 보완하기 위하여 설치하였다. 즉, PC 패널 상부 전단 접합부에서 하중방향과 인장

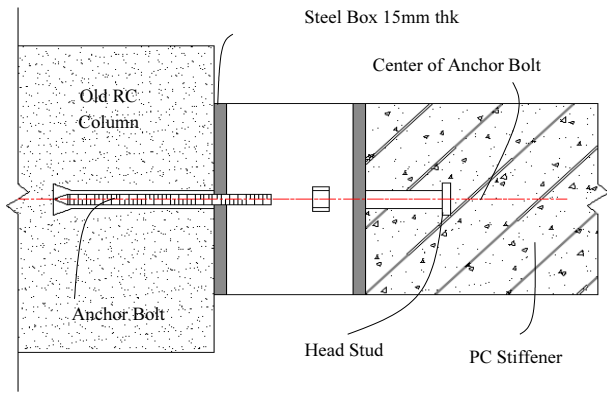


Fig. 16 Steel Box Anchor Method

앵커의 내력방향이 동일하게 하여 수평 전단 하중에 의하여 기존 RC 기둥과 PC 패널 사이에 이격이 발생하지 않도록 고정하였다.

기둥에서 돌출한 나사산이 형성된 앵커를 박스철물 안으로 삽입구를 통하여 Fig. 16과 같이 관통하고, 너트를 토크렌치를 사용하여 정해진 토크강도까지 채워서 시공한다. 박스철물을 이용하여 Fig. 16과 같이 앵커 볼트가 기존 RC기둥 중앙부로 접합되므로 앵커볼트 정착력이 증가한다.

4. 실험

4.1 사용 재료

이 연구에서 철근콘크리트구조물에 사용한 콘크리트는 목표 강도 21 MPa 콘크리트이고, PC보강재로 사용한 콘크리트는 강도 35 MPa 콘크리트이다. 접합부에는 무수축 고강도 콘

Table 1 Cylinder Strength

Specimens	RC ¹ f_{ck} [MPa]	PC ² f_{ck} [MPa]	Connection ³ f_{ck} [MPa]
PR1	20.5	-	-
PR1-UA	18.2	32.3	52.1
PR1-UP	23.3	32.3	43.8

1: reinforced concrete member 2: precast concrete member
3: connection concrete

크리트로 실험 당일 측정된 공시체 강도는 아래 Table 1과 같다. SD400의 이형철근을 사용하였다.

4.2 실험 장비와 실험 방법

상부 보를 가력 할 때 실험체의 미끄러짐을 방지하기 위하여 철근 콘크리트 보-기둥 구조물 기초에 Fig. 17과 같이 12 개의 $\phi 32$ mm 고장력 강봉을 이용하여, 각기 20 ton 이상 긴장력으로 반력 상에 고정하였고, 양 측면에 200 ton의 추가 반력을 받을 수 있는 스크류잭을 설치하였다. 실험체의 좌, 우측 전도를 방지하기 위하여 프레임과 볼지그를 부착하였으며 2,000 kN 용량 가력기를 상부 보 중앙 단부에 설치하여 변위 제어 방식으로 실험을 진행하였다. 또한, Fig. 17과 같이 실험체 상, 중, 하 양단에서 변위를 측정하였고, 보-기둥 골조의 전단 변형을 계측하기 위하여 대각선 방향 라인 LVDT(Ch.8 과 Ch.9)도 설치하였다.

실험 조건에서 기초는 반력상과 견고하게 연결되어서 변형이 발생하지 않는 것으로 가정하였으므로, 층고는 기초상부에서 상부 보의 중심까지의 2,900 mm로 설정하였다.

이 실험에서는 탄성구간 내에서 이력거동을 관찰할 수 있도록 0.10%와 0.15%의 층간변위 비에 해당하는 가력단계를

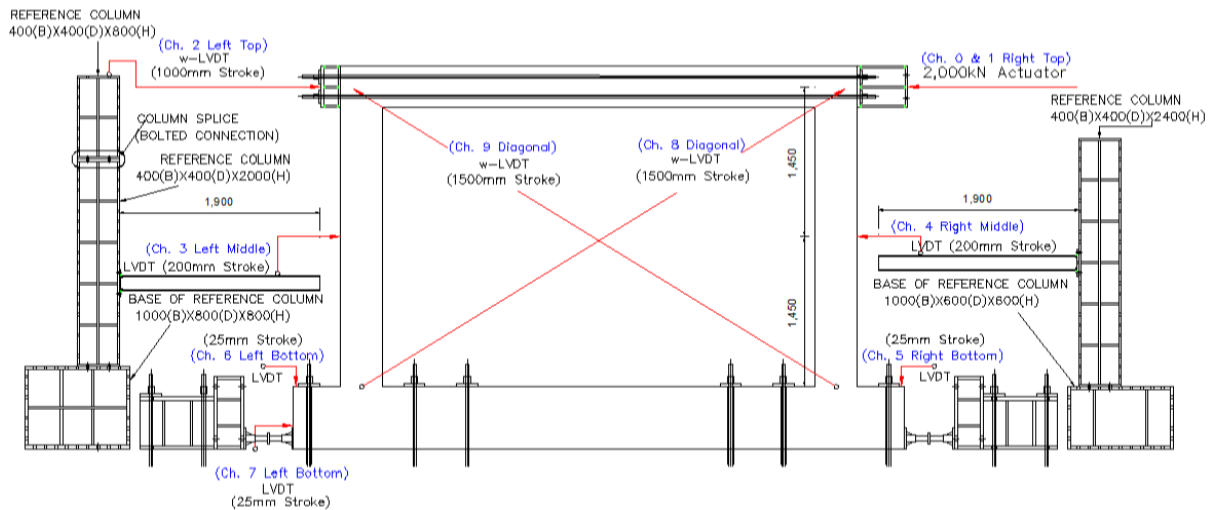


Fig. 17 Test Set-up

포함시키고, ACI 374.1.051⁶⁾에 기초하여 변위제어로 Fig. 18 그리고 Table 2와 같이 가력 하였다.

각 단계의 진폭에 대해서 각 3회씩 반복을 수행하며, 같은 진폭에서는 연속가력을 수행하지만, 진폭과 진폭 사이에는 가력을 일시 중지하고 균열의 발생 및 거동 기록 시간을 가졌다. 또한 전체 가력시간을 조절하기 위해 저 진폭(1-4단계)에서는 0.2 mm/s, 중 진폭(5-8단계)에서는 0.3 mm/s, 그리고 고 진폭(9-12단계)에서는 0.5 mm/s로 점차 가력속도를 크게 하여 진행하였다. 최대하중의 20% 이상 내력이 감소하면 실험체가 파괴된 것으로 간주하고 가력을 종료하였다.

5. 실험결과 및 분석

5.1 하중-변위 비 곡선

5.1.1 PR1 실험체

아래 Fig. 19에서 PR1 실험체의 실험 후 균열도를 볼 수 있

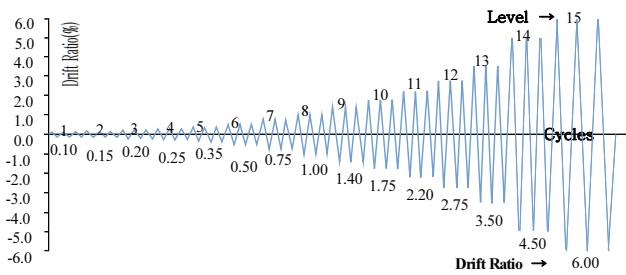


Fig. 18 Test Sequence

다. 여기에서 변위 비는 중간 횡 변형을 기둥의 유효높이 - 층고(3,200 mm)로 나눈 값이다. 최대 변형은 실험체의 최대 강도로부터 80%까지 저하된 강도에서 변위 비로 정의하였다.

15단계까지 이력실험을 진행하는 과정에서 하중 변위 이력 곡선은 큰 균열이나 철근 절단 등에 의한 큰 변형은 보이지 않았고 전 구간이 매끄럽게 Fig. 20과 같이 휨 파괴하였다.

이 실험체의 연성은 좋았으나 횡 지진하중에 대한 휨과 전단내력이 부족하므로 이에 대한 내진보강을 실시하려한다 (Table 3 참조).

5.1.2 PR1-UA 실험체

PR1-UA 보강 실험체는 Fig. 9 그리고 Fig. 11과 같이 대칭 실험체이다. 최대 가 하중은 Table 3과 같이 496 kN이고 이 하중에서 최대 변위 비는 0.6%이고, 최대 부 하중은 536 kN이고 이 지점에서 최대 변위 비는 1.7%이다. 무 보강 PR1 실험체에

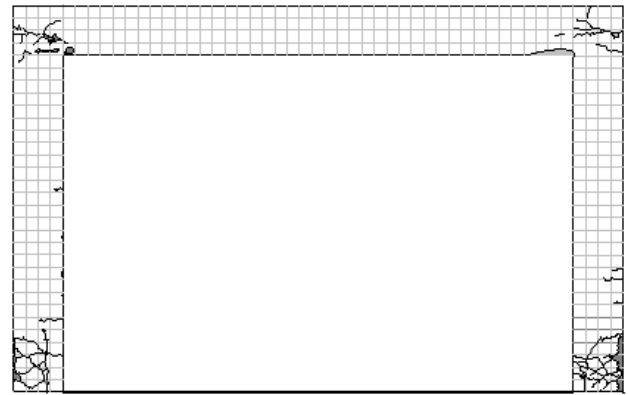


Fig. 19 Cracking of Specimen PR1

Table 2 Loading Sequence

Level	1	2	3	4	5	6	7
Drift (%)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.35	0.50	0.75
Displacement (mm)	2.90	4.35	5.80	7.25	10.15	14.50	21.75
Loading Rate (mm/s)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30
Period (sec)	60	90	120	150	140	200	300
Loading Frequency (Hz)	0.0167	0.0111	0.0083	0.0067	0.0071	0.0050	0.0033
Duration (sec)	180	270	360	450	420	600	900
Level	8	9	10	11	12	13	14
Drift (%)	1.00	1.40	1.75	2.20	2.75	3.50	4.50
Displacement (mm)	29.0	40.60	50.75	63.80	79.75	101.5	130.5
Loading Rate (mm/s)	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00
Period (sec)	400	336	420	528	660	420	540
Loading Frequency (Hz)	0.0025	0.0030	0.0024	0.0019	0.0015	0.0024	0.0019
Duration (sec)	1200	1008	1260	1584	1980	1260	1620

Table 3 Summary of Test Results

Specimens	Maximum Positive Loading		Maximum Positive Loading		80% of Maximum Positive Loading		Maximum Negative Loading		Maximum Negative Loading		80% of Maximum Negative Loading	
	Loading [kN]	[load level]	Drift Ratio	[Drift mm]	Drift Ratio	[Drift mm]	Loading [kN]	[load level]	Drift Ratio	[Drift mm]	Drift Ratio	[Drift mm]
PR1	207	9	1.4	40.3	6	173.2	-216	11	-2.2	-63.5	-4.4	-126.2
PR1-UA	496	7	0.6	18.3	2.2	63.5	-536	10	-1.7	-50.8	-2.7	-77.6
PR1-UP	734	9	1.4	40.6	1.7	49.4	-601	6	-0.7	-21.7	-1.4	-40.1

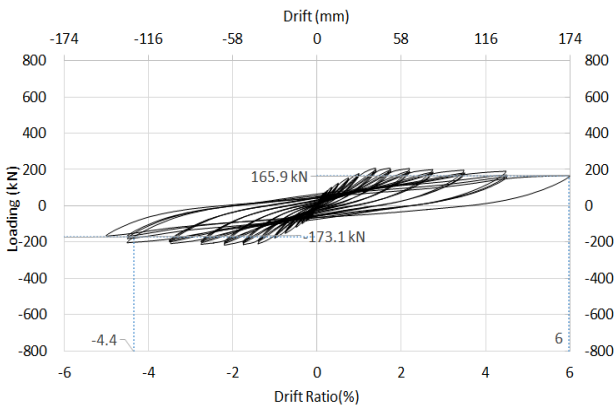


Fig. 20 Load-Drift Ratio Curve of Specimen PR1

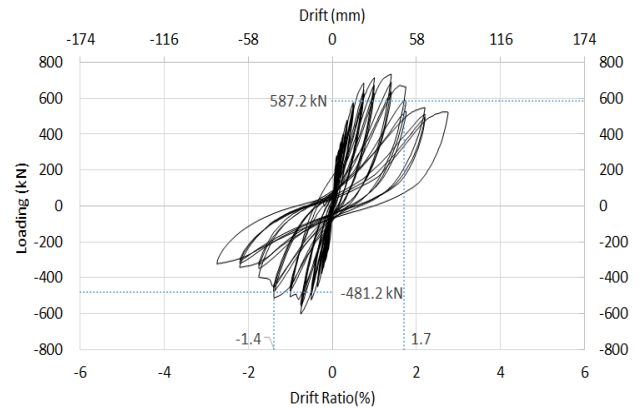


Fig. 22 Load-Drift Ratio Curve of Specimen PR1-UP

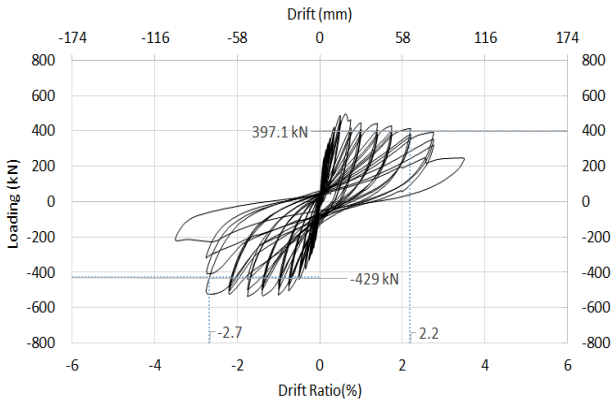


Fig. 21 Load-Drift Ratio Curve of Specimen PR1-UA

비해 보강 후 최대하중은 평균 약 2.4배 증가하였고 강성도 많이 증가한 것을 볼 수 있다(496/18.3=27.1 kN/mm; 536/50.8=10.6 kN/mm; 18.9/5.1=3.7). Fig. 21과 같이 80%까지 저하된 하중에서 최대 변위 비는 2.2와 2.7이다.

5.1.3 PR1-UP 실험체

PR1-UP 실험체는 철판용접에 의하여 PR1-UA 실험체보다 접합부 전단강도를 증가시킨 실험체이다. 횡 지지력은

Fig. 22와 같이 최대 734.0이다. 앵커 접합 실험체 최대값 536 kN보다 198 kN 증가된 강도를 보여주고 있다. 그러나 연

성은 80%까지 저하된 하중에서 최대 변위 비 1.4와 1.7로 앵커 전단 실험체에 비하여 다소 취약하였다.

5.2 분석

무 보강 PR1 실험체에서 휨 위험단면은 보 중앙에서 3.2 m 떨어진 위치의 기둥 하단과 기초의 접합면이라 할 수 있다. 실험에서 구한 최대 실험하중과 방향을 적용하고 마이더스 젠에 의하여 휨모멘트 도를 그리면 다음 Fig. 23과 같다. 이 철근 콘크리트 실험체 단면은 Fig. 24와 같고 강도설계에 의하여 이 기둥의 휨강도를 계산하면 182.7 kN-m이다.

한편, PR1-UA와 PR1-UP 보강 실험체의 휨 위험단면은 U형 보강재에서 수직부재와 수평부재가 만나는 단면이라 할 수 있다. 따라서 PR1-UA와 PR1-UP 보강 실험체의 휨 위험단면은 Fig. 25와 같이 상부 가력하중 중심에서 2.05m에 위치한다. 한편, 전단 위험단면은 상부 앵커 전단 접합부라 할 수 있다. PC 벽패널은 상부에서 앵커 접합부 또는 철판 접합부에 의하여 강 접합되어있고 하단에서는 RC 기둥 사이에 PC 패널이 모두 채워져 있으므로 하단도 강 접합되었다고 할 수 있다.

이 연구의 실험과정에서 가하중(미는 하중)을 받는 실험체에서 하중을 받는 쪽은 Fig. 26과 같이 RC 기둥과 PC 패널이 합성 거동하는 것을 실험과정에서 확인할 수 있었고 경간 반대편 지점에서는 1단계 첫 사이클에서부터 균열이 발생하고

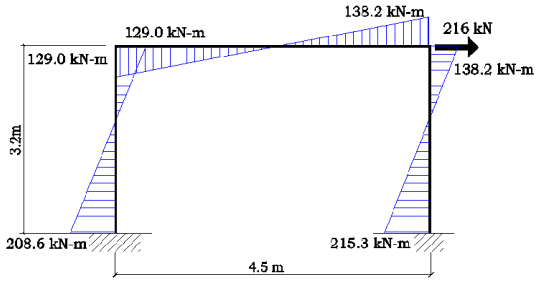


Fig. 23 Moment diagram of Specimen PR1

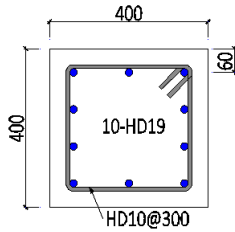


Fig. 24 Section of Existing RC Column

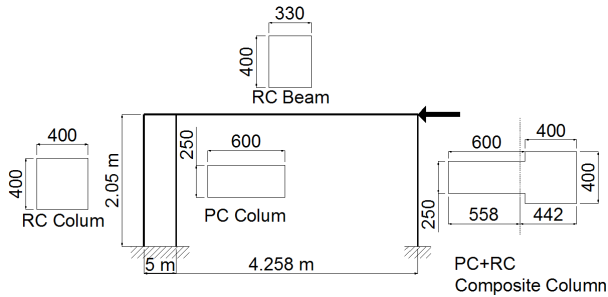


Fig. 25 Frame with Loading (mm)

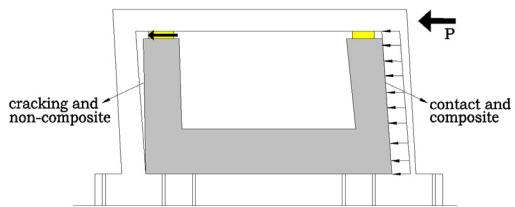


Fig. 26 Positive Loading Behavior of Specimens

각개 거동(비 합성 거동)하는 것을 확인할 수 있었다. 반대로 Fig. 27과 같이 부 하중(당기는 하중)을 받는 경우, 비 합성 부분이 하중이 작용하는 위치에 발생하고 합성부분이 그 반대편에 작용되는 것을 확인할 수 있었다.

해석 모델로 2개의 보강 실험체의 경우 U형 PC 패널 실험체 오른쪽 위에서 좌측방향으로 Fig. 26과 같이 가력 할 때, 우측에 있는 RC 기둥과 보강 PC 패널의 수직 요소는 Fig. 25와 같이 합성상태로 해석하였고 좌측에 있는 RC 기둥과 PC 패널은 비 합성으로 거동하는 것으로 해석하였다. 비 합성 단면은

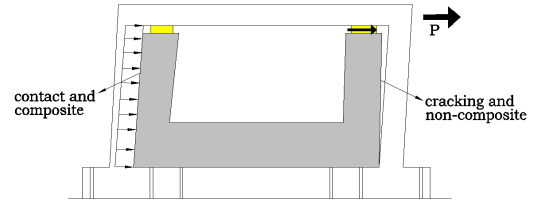


Fig. 27 Negative Loading Behavior of Specimens

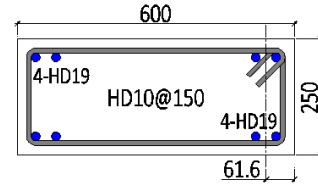


Fig. 28 Section of Precast Panel of PR1-UA

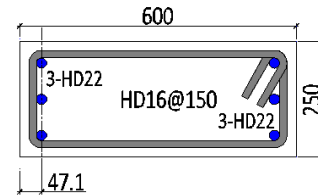


Fig. 29 Section of Precast Panel of PR1-UP

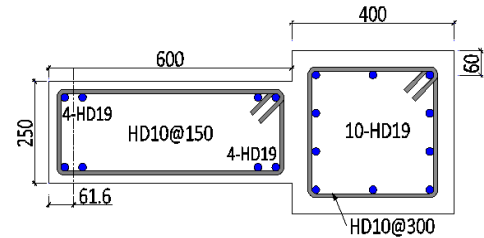


Fig. 30 Composite Section of PR1-UA

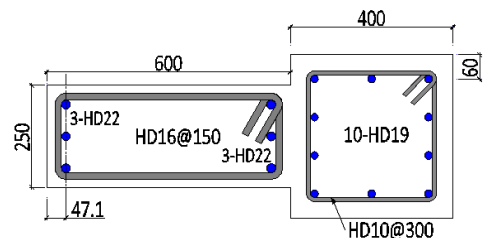


Fig. 31 Composite Section of PR1-UP

Fig. 24의 RC기둥과 PR1-UA 실험체일 때 Fig. 28, PR1-UP 실험체일 때 Fig. 29의 PC 패널이고, 합성단면은 아래 Fig. 30, Fig. 31에 각각 도시하였다. 강도설계에 의하여 Fig. 30 합성단면의 휨 강도를 계산하면 883.8 kN-m^{††}이고, Fig. 31 합성단면의 휨 강도를 계산하면 917.1 kN-m^{††}이다. 계산된 휨 내력은 Table 4의 1)항에 나열하였다.

Table 4 Flexural Behavior

Specimens	1) Calculated Flexural Design Strength [kN-m]	2) Experimental Failure Moment [kN-m]	3) Ratios [2]/1]	Failure Mode
PR1	182.1	215.3	1.18	Flexural Failure
Composite	883.8 ^{††}	604.1	0.68*	Not Fail
PR1-UA	Wall	186.8	0.82	Not Fail
Column	180.9 [†]	94.0	0.52**	Not Fail
Composite	917.1 ^{††}	946.2	1.03*	Flexural Failure
PR1-UP	Wall	206.2	0.88	Not Fail
Column	183.4 [†]	98.1	0.53**	Not Fail

* The composite means right side RC column and PC wall panel have a composite action when push loading applies from right side.

** The left side PC wall and RC column show an individual action when push loading applies from right side.

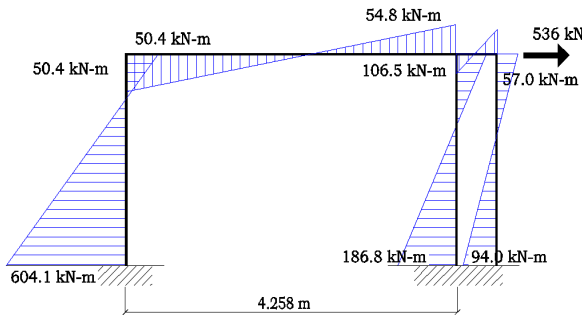


Fig. 32 Moment Diagram of Specimen PR1-UA

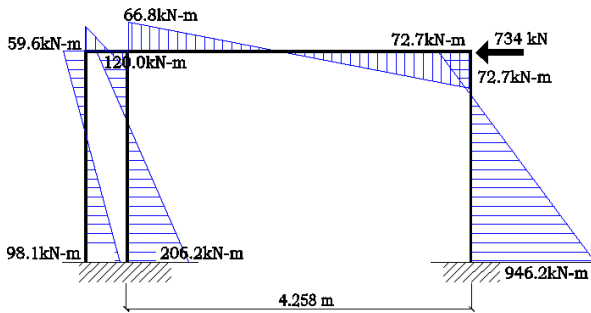


Fig. 33 Moment Diagram of Specimen PR1-UP

위 Table 4의 2)항은 Table 3 실험 결과 중 최대 하중을 Fig. 25의 모델에 입력하여 마이다스 젠으로 해석한 결과로 Fig. 32 과 Fig. 33의 외력 모멘트를 얻을 수 있었다. 즉, 마이다스 탄성 해석에서 계산된 최대 모멘트는 Table 4의 2)항에 기입하였다. 가력하중에 의한 외력의 결과로 Fig. 32 그리고 Fig. 33과 같이 강성이 큰 합성 부재로 모멘트가 집중되는 것을 볼 수 있다. 강성이 작은 비 합성 기둥과 내부 벽패널은 훨씬 작은 모멘트 하중을 분배받으므로 휨파괴가 발생한다면 먼저 합성 부재에서 발생할 수밖에 없다.

그러나 Table 4의 3)항에서 접합부 강도가 큰 철판 접합부

경우 외부 모멘트/내력 비율이 103%*에 이르지만 접합부 강도가 작은 앵커 접합부 경우 접합부 전단파괴가 먼저 발생하여 휨강도 내력비율은 68%*에 불과하다.

6. 토 론

이 연구는 학교 건물과 같은 기존 저층 철근 콘크리트 보-기둥 건물에 U형 PC 벽패널을 활용한 새로운 내진 보강공법과 관련한 실험논문이다. 한 개의 무 보강 보-기둥 실험체와 두 개의 U형 PC 패널로 보강한 보-기둥 실험체에 대한 준정적 내진 실험(Quasi Static Experimental Tests)이 진행되었다. 보강 실험체의 보강재 벽패널 상부는 보-기둥 실험체와 선설치와 후설치 앵커접합부 또는 철판 용접접합부로 연결되어 있다.

앵커접합 PR1-UA 실험체와 철판접합 PR1-UP 실험체는 무 보강 실험체보다 평균 2.8배(평균 591.8 kN)의 강도 증가를 보여 주었다. 최대 변위비도 1.4%에서 2.7%사이 값을 보여 주었다. 초기에는 Fig. 34와 같이 2개의 실험체가 동일한 크기의 RC와 PC 기둥 단면을 가지고 있으므로 유사한 하중변위 곡선을 보여 주다가 접합부 내력이 먼저 한계를 보인 앵커 접합 실험체 PR1-UA가 먼저 강도 한계 상태에 도달하는 것으로 보인다. 그러나 두 실험체가 7단계를 상회하면서 전단 접합부에 다수의 수평균열이 발생하였고, 최대 하중 후 철판접합 실험체 PR1-UP는 강성이 현저하게 떨어졌으나 앵커접합 실험체 PR1-UA는 Fig. 34에서 보는 바와 같이 비교적 연성 파괴모드를 보여주었다. 이것은 PR1-UA 실험체 측면에 부착한 박스 철판 앵커 인장력이 추가적으로 수직 접합면의 이격을 방지하여 두 부재의 분리로 인한 최종 파괴 시간을 연장시키는 역할도 일부 있는 것으로 사료된다.

PR1-UA 실험체의 경우, 휨 위험단면에서 외부 RC구조물

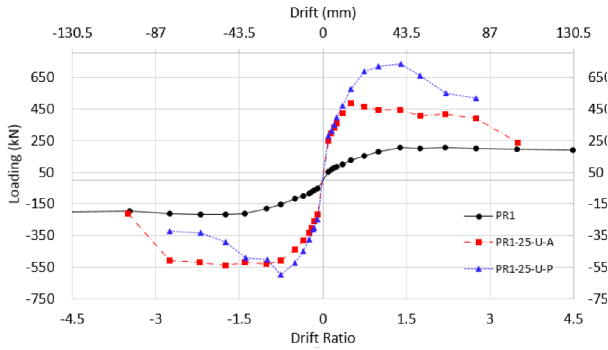


Fig. 34 Envelope of Load - Drift Ratio

과 내부 PC 벽패널 보강재가 비 합성(우측RC기둥+PC보강재)일 때 휨 내력을 계산하면 Table 4의 1)항과 같이 완전 합성일 때의 거의 46.5% 이하이다. 즉, 비 합성에서 내력이 합성내력의 46.5% 이하이므로 부재 합성 상태에서 상부 접합부 파괴로 비 합성상태가 되면 최종 휨파괴로 바로 연결 될 수 밖에 없다.

즉, 상부 전단 앵커접합부의 전단강도와 휨 위험단면(U형 PC의 안쪽 모서리를 포함하는 수평선)에서 휨강도 중약한 부위가 먼저 파괴되어 실험체에 중국파괴를 결정하는 양상을 보여주었다. 예를 들면, 철판용접 접합부 실험체인 PR1-UP는 강한 상부 접합부를 가지고 있어 휨 위험단면에서 휨 한계내력에 도달할 때까지 전단파괴는 발생하지 않았다. 그 후 최종 파괴는 Fig. 35과 같이 오른쪽 상부 전단 앵커 접합부에 큰 수평 전단 균열이 발생하였고 바로 RC기둥과 PC 패널에 큰 이격이 발생하며 휨 위험 단면에서 휨 파괴로 최종 파괴되었다.

반면에 후설치와 선설치 앵커 접합부를 가지고 있는 Fig. 36 PR1-UA 실험체는 휨 위험 단면에서 휨 내력에 도달하기 전 Table 4 3)항에서 보는 바와 같이 합성내력의 68%에서 접합부 전단파괴 먼저 일어났으나 PC 패널 측면에 위치한 박스 철물에 정착한 3개의 인장앵커에 의하여 RC 기둥과 PC 패널은 여전히 연결되어 있었고, 이로 인하여 중국 파괴 거동은 선설치와 후설치 앵커 사이에 고강도 콘크리트를 타설한 앵커접합부가 전단하중을 받으며 서서히 파괴되는 과정을 실험과정에서 볼 수 있었다. 따라서 반복 하중에서 앵커접합부 파괴는 PR1-UP 실험체 휨파괴보다 훨씬 연성적으로 파괴되었다.

U형 PC 벽패널 실험에서 한쪽 벽이 전단파괴가 심하게 되면 그 아래쪽은 휨파괴가 약하게 발생하고 다른 한쪽은 전단파괴가 약하게 발생하고 그 아래 휨 위험단면에서는 휨파괴가 강하게 발생하는 현상이 두 실험체에서 반복되어 일어났다. 이는 평행사변형 형태로 발생하는 변형으로 대각선 방향으로 동일한 압축 또는 인장이 발생하기 때문인 걸로 사료된다.

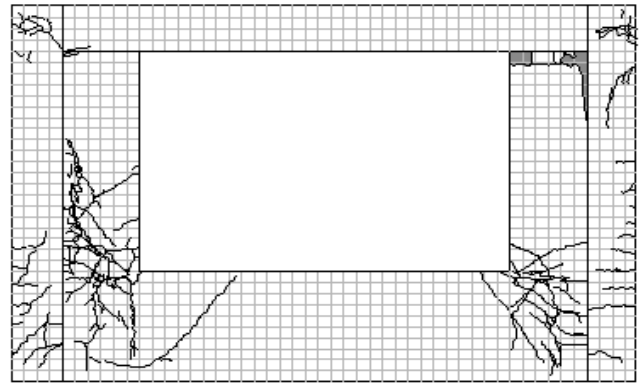


Fig. 35 Final Failure of Specimen PR1-UP - Front Side

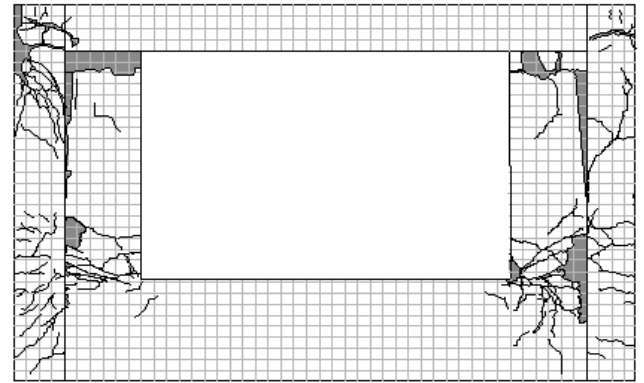


Fig. 36 Final Failure of Specimen PR1-UA - Front Side

이 실험체는 현재 전단벽 구조물과 프레임 구조물 사이에 연성도를 보이는 구조물이라 할 수 있다. U형 PC 벽패널 보강 방법은 벽패널의 기둥 부분의 단면적이 증가할수록 강도는 증가할 것이고 연성은 감소할 것이다. 일정 부분의 연성의 증가를 원한다면 기둥부분의 단면적을 줄이면 가능하다.

7. 결론

이 연구는 기존 철근 콘크리트 보-기둥 구조물을 두께 250 mm U형 PC 벽패널에 의하여 보강한 횡지 구조물에 대한 실험논문이다. 첫 번째 보강 실험체의 벽패널은 선설치와 후설치 앵커 접합부로 PC 벽 상부에서 강 접합되었고, 두 번째 실험체의 벽패널은 후설치 앵커와 철판에 의하여 용접 접합되었다. 한 개의 실물크기 무 보강 보-기둥 실험체와 2개의 실물크기 보강 실험체에 대하여 이력 실험을 실시한 결과 다음과 같은 연구결과를 얻을 수 있었다.

1. 앵커접합 PR1-UA 실험체와 철판접합 PR1-UP 실험체는

무 보강 실험체보다 평균 2.8배(평균 591.8 kN)의 강도 증가를 보여 주었다. 최대 변위비도 1.4%에서 2.7%사이의 값이었다. 따라서 이 연구에서의 앵커접합 U형 실험체와 철판접합 U형 실험체를 내진공법구조 재료로 활용하는데 문제가 없는 것으로 확인되었다.

2. 보강 실험체 중에서 철판접합 PR1-UP 실험체가 앵커접합 PR1-UA 실험체보다 강도가 우월하였으나 앵커 접합 실험체는 보다 우수한 연성 거동을 보여 주었다.
3. U형 PC 벽패널 실험체 오른쪽 위에서 좌측방향으로 가력할 때 우측에 있는 RC 기둥과 보강 PC 패널의 수직 요소는 완전 합성상태로 가정하였고, 좌측에 있는 RC 기둥과 PC 패널은 완전 비 합성 거동하는 것으로 가정하여 해석한 결과 전체적인 거동은 실험 결과와 일치하는 것으로 판단되었다.
4. U형 PC 벽패널 실험에서 한쪽 벽이 전단파괴가 심하게 되면 그 아래쪽은 휨파괴가 약하게 발생하고 다른 한쪽은 전단파괴가 약하게 발생하고 그 아래 휨 위험단면에서는 휨파괴가 강하게 발생하는 현상이 두 실험체에서 반복되어 일어났다. 이는 평행사변형 형태로 발생하는 변형으로 대각선 방향으로 동일한 압축 또는 인장이 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설기술평가원에

서 위탁 시행한 2014년 국토 교통 기술 촉진 연구사업(과제번호 14CTAP-C077924-01)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며 또한 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2014R1A2A2A01006241)입니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Anil, O., and Altin, S. (2006), An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames, Engineering Structures.
2. Mehrabi, A. B. et al. (1996), Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames, Journal of Structural Engineering.
3. Kim, R. C., and Lee, L. H. (1986), The Behaviour of Infill -ed Frames, Journal of the Architectural Association Fall Conference (structural system).
4. Kim, K. D., and Jeong, B. J. (1986), A Study on the Effect of Openings on the Lateral Stiffness of Infilled Frames, Journal of the Architectural Association Fall Conference (structural system).
5. Sakai, Y. (2008), For earthquake that occurred in Sichuan Province, China, <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/080516.htm>.
6. ACI committee 374 (2014), Acceptance Criteria for Moment Frames based on Structural Testing and Commentary, ACI 374.1.05.

Received : 04/10/2015

Revised : 04/21/2015

Accepted : 04/28/2015

요 지 : 이 연구의 목표는 학교 건물과 같은 저층 보-기둥 철근콘크리트 구조 건물에서 프리캐스트 벽패널을 사용한 새로운 내진보강 방법을 개발하는 것이다. 1개의 무 보강 보-기둥 실험체와 U형 PC 벽패널로 보강한 2개의 보강 보-기둥 실험체에 대한 정적 이력 하중실험을 진행하였다.

앵커접합 PR1-UA 실험체와 철판접합 PR1-UP 실험체는 무 보강 실험체보다 평균 2.8배(평균 591.8 kN)의 강도 증가를 보여 주었다. 최대 변위비도 1.4%에서 2.7%사이 값을 보여주었다. RC 골조 우측 상단에서 좌측방향으로 가력할 때 우측에 있는 RC 기둥과 보강 PC 패널의 수직 요소는 완전 합성상태로 가정하였고, 좌측에 있는 RC 기둥과 PC 패널은 완전 비 합성 거동하는 것으로 가정하여 해석한 결과 전체적인 휨 거동은 실험 결과와 대체적으로 부합하는 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 채움, 내진보강 방법, 프리캐스트 콘크리트, 벽패널, 재 보강, 준 정적하중 실험, 휨
