

반복하중을 받는 PC 전단벽체에서 수직접합부의 개발 및 내진성능평가

Development and Seismic Performance of Vertical Joints in Precast Concrete Shear Walls under Cyclic Loads

김 옥 종^{1)*}
Kim, Ook Jong

오 재 근²⁾
Oh, Jae Keun

강 수 민³⁾
Kang, Su Min

Abstract

Recently there are many attempts to introduce PC construction method in buildings. But the study on PC structural wall has been made progress so slowly because it is very difficult to develop new items. In this study, we have developed new vertical joint on PC wall in order to upgrade constructivity and structural performance of the existing connections, then we have evaluated the seismic resistance performance.

As a result of the cyclic loading tests for two specimens, proposed vertical joint on PC wall has shown that it behave the excellent structural performance in comparison to PC wall having no joint. Therefore, we think that proposed vertical joint is the system to apply buliding structure.

Keywords : PC structural wall, Vertical joint, Unbonded post-tention, Seismic performance

1. 서론

최근 건설환경도 시대의 요구에 따라 급격하게 변하고 있다. 특히 건설현장에서 내국인 기술자의 지속적인 수급은 매우 어려워졌으며 이에 따라 외국인 건설기술자에 의한 건설이 보편화 되었다. 이에 따라 지속적인 숙련공 수급 부족 및 인건비 상승과 비숙련된 외국인 기술자에 의한 품질저하 등은 최근 국내 건설현장의 원가상승과 품질저하의 문제로 대두되고 있다. 이를 개선하기 위해서는 현장에서의 작업을 가능한 최소화하고 고품질을 확보할 수 있도록 공장생산이 가능한 PC 공법을 도입하고 지속적으로 개발하는 것이 필수적이라고 할 수 있다. 이에 따라 최근 PC 공법을 도입하려는 시도가 많이 이루어지고 있다. 특히 일반적으로 라멘조에 대한 PC화는 많은 발전이 이루어져왔으나 벽체에 대한 연구는 개발의 어려움이 있어 상대적으로 더디게 발전되어 왔다. 그 이유는 PC 벽체의 경우 면부재로서 조립을 위한 철근이나 강판의 삽입으로 공장에서 생산이 까다롭고 또한 조립시 현장타설이나 현장용접을 하고 마감을 위한 미장처리 등으로 시공

및 마감처리가 곤란하여 접합부의 처리가 복잡해지는 등의 문제가 있기 때문이다(Fig. 1 참조). 이들 문제를 개선하기 위해 PC구조벽체의 수직접합부와 관련된 국내외 기존연구를 조사하여 시공성 및 구조성능에 대한 분석을 진

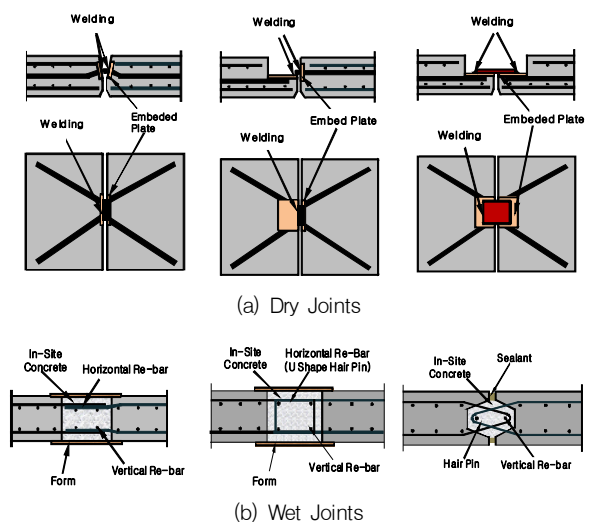


Fig. 1 Existed Vertical Joints in Precast Concrete Walls

1) 정회원, 대림산업 기술개발원 수석연구원, 교신저자
2) 대림산업 기술개발원 연구원
3) 대림산업 기술개발원 연구원

* Corresponding author : kimoj@daelim.co.kr 02-2011-8252

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 2월 29일까지 학회로 보내주시면 2012년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

행하였다. 이를 토대로 새로운 방식의 PC벽체의 수직접합부를 제안하였고 제안된 수직접합부의 구조적인 성능을 검증하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 PC벽체의 기존 접합부에서 발견된 시공성 및 구조성능의 단점을 개선하여 새로운 개념의 수직접합부를 개발하였고, 이에 대한 구조성능평가 실험을 진행하였다.

2. 기존연구

기존연구에서 PC 벽체의 수직접합부를 분석해보면 크게 Fig. 1과 같이 건식접합부와 습식접합부로 구분할 수 있다. 건식접합부는 Fig. 1(a)에서처럼 현장에서 콘크리트 타설 등의 습식작업을 최소화하기 위하여 판넬간 연결부에 철물을 미리 매립하여 조립시 철물을 용접하거나 볼트 접합하여 연결하는 방식이다. 습식접합부는 판넬간 접합부에 연결철근을 노출시켜 접합부를 현장에서 철근보강한 후 콘크리트를 타설하여 일체화시킨 접합부를 의미한다. 기존의 PC벽체의 수직접합부를 살펴보면 건식접합부의 경우 철물이 과다하게 들어가게 되어 부재비용이 상승하고 추가적으로 플레이트 매입부를 별도로 마감처리해야 하는 등의 문제가 있으며, 습식접합부의 경우 일체성은 우수하나 접합부에 별도로 콘크리트 타설작업을 하게 되어 현장에서의 거푸집설치 등 추가적인 작업으로 시공성이 저하되고 PC의 장점인 공기단축에 한계가 있다.

PC벽체 수직접합부에 대한 연구의 경우, 국내외의 경우 건식접합부에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있으며 습식접합부에 대하여 시공성을 향상시키기 위한 연구(이현호 등:1990, 정란 등:1996, 최은규 등:2009)등이 주로 진행되었으며, 주로 실험을 통하여 습식접합부의 면내전단강도를 평가하였다. 국외의 경우, Holden 등(2003)이 벽체 중립축 부근에 비부착 프리스트레싱 텐돈을 적용하여 PC벽체의 수평접합부에서 단부의 Gap Opening에 의한 손상집중을 방지하고자 손상회피설계(DAD : Damage Avoidance Design)의 개념을 도입하여 실험을 진행하였다. 실험결과 수평변위 2.5%를 초과할 때까지 텐돈의 성능이 탄성구간에 있어 충분한 변형성능과 손상이 발생하지 않아 손상회피에 대한 설계개념이 잘 도입되었음을 확인하였다(Fig. 2 참조).

3. 수직접합부의 개발

본 연구에서는 기존 접합부들의 문제점을 개선하고 구

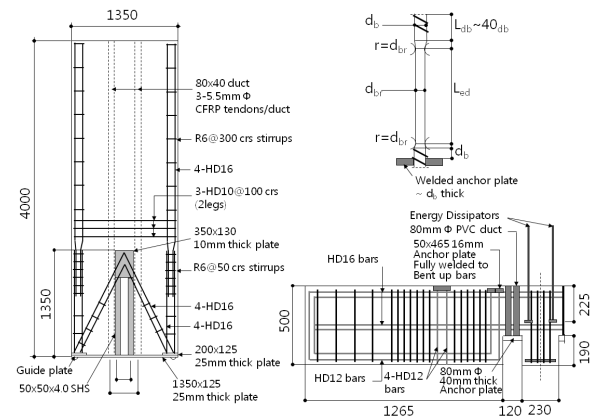


Fig. 2 Specimen Details by Holden

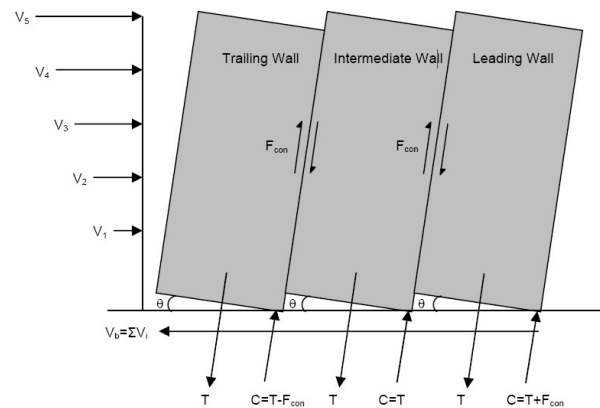


Fig. 3 Shear Force Working in Plane for Vertical Joints

조성능을 향상시키면서 시공성도 우수한 새로운 방식의 건식접합부를 개발하였다. 기존의 PC벽체의 수직접합부는 접합부의 조인트 라인의 형상이 일(1)자로 되어 있어 슬립이 발생하기 쉬우며, 슬립을 방지하기 위하여 일반적으로 전단키를 두거나 다우얼 철근을 적용하는 것이 기존 PC벽체 수직접합부의 주요 상세이다. 그러나 본 연구에서는 접합부의 조인트 라인의 형상을 엘(L)자형 조인트로 변경하고 조인트를 건식화하여 병렬된 PC벽체가 합성 거동을 발휘할 경우 Fig. 4와 같이 면내전단력에 직접 지압력에 의해 저항하는 전단키로서 역할을 하도록 하여 조인트에서의 슬립의 발생이 어렵도록 하였고 전단키의 중심에 비부착 포스트텐션 강선을 도입하여 수직접합부에 Precompressing을 줌으로써 횡력에 의한 변형의 발생이 감소되도록 하였다. 또한 변형이 발생한 후에도 Fig. 5와 같이 텐돈의 긴장력에 의한 복원력을 작용시켜 Self-Centering 개념(김옥중:2002, Holden 등: 2003)이 도입되도록 수직접합부를 개발하였다. 따라서, 개발된 수직

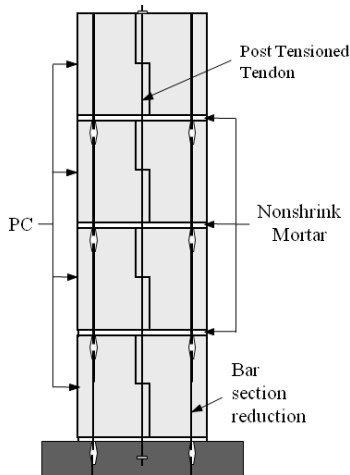


Fig. 4 Concept of Developed Vertical Joints

접합부는 기존의 접합부에 비하여 접합부를 건식화시켜 단순하면서 시공이 용이하도록 개발하였으며 현장작업의 감소로 경제성 측면에서도 우수할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이들 수직접합부의 구조적인 성능을 검증하기 위한 실험 및 거동 분석을 진행하였다.

4. 실험 및 성능평가

4.1 실험체 계획

횡력을 받는 구조벽체는 휨모멘트 및 전단력에 의해 성능을 평가하게 된다. 이 경우 구조벽체는 벽체하부의 성능에 의해 전체 시스템의 성능이 결정되므로 실험체는 구조벽체 하부의 내진성능을 평가할 수 있도록 설계하였다. 실험체에 작용하는 하중은 횡하중만을 고려하였다. 실험

체의 세장비(M/VL)는 약 2.22로 하였다. 선행하여 발표한 선행논문(강수민 등:2008)에서는 기존의 RC 벽체와 PC 벽체의 성능에 대한 비교평가를 진행하여 새로운 개념의 PC 벽체의 접합부의 유효성을 검증하였다. 이를 토대로 수직접합부에 대하여 동일한 형상으로 Fig. 4와 같이 접합부를 분할하여 실험체계획을 진행하였다. 수직접합부의 성능을 직접비교가 가능하도록 수직접합부가 없는 일체형 PC벽체 실험체와 가운데 수직접합부가 1개소 있는 병렬 접합형 PC벽체 실험체로 총 2개를 제작하였다. 모든 실험체의 하부에는 선행연구(강수민 등:2008)에서 적용한 수직 주철근의 단면감소 상세를 적용하였다.

IPW(I-Shaped PC Wall) 실험체는 수직접합부가 없고 수평접합부만 있는 PC벽체 실험체로서 기초와 만나는 PC 벽체의 연결철근 하부에 단면감소 상세를 적용한 실험체이다(Fig. 6 참조). PC벽체의 수평접합부에서 휨응력의 집중에 의한 파괴를 방지하고 벽체 내부로 철근 항복을 유도하여 파괴를 분산시키기 위하여 기초 상부면에서 높이 150mm~450mm까지 연결철근(D29)의 지름을 24mm로 감소시켜 가공하도록 설계하였다. 또한 수평접합부에 무수축 몰탈의 시춤높이를 20mm로 계획하여 실 구조물의 시공시의 개념과 동일하게 처리하고자 하였다.

VPW(PC Wall with Vertical Connection) 실험체는 본 연구에서 제안한 새로운 전단키 형상을 갖는 포스트텐션 도입형 수직접합부 실험체로서 PC 벽체의 중앙에 있는 수직접합부에 2개의 접합부 대형형 포스트텐션을 적용하였고 벽체의 하단부에는 일체형인 IPW 실험체와 동일한 개념으로 연결철근 단면감소(23mm) 상세를 적용

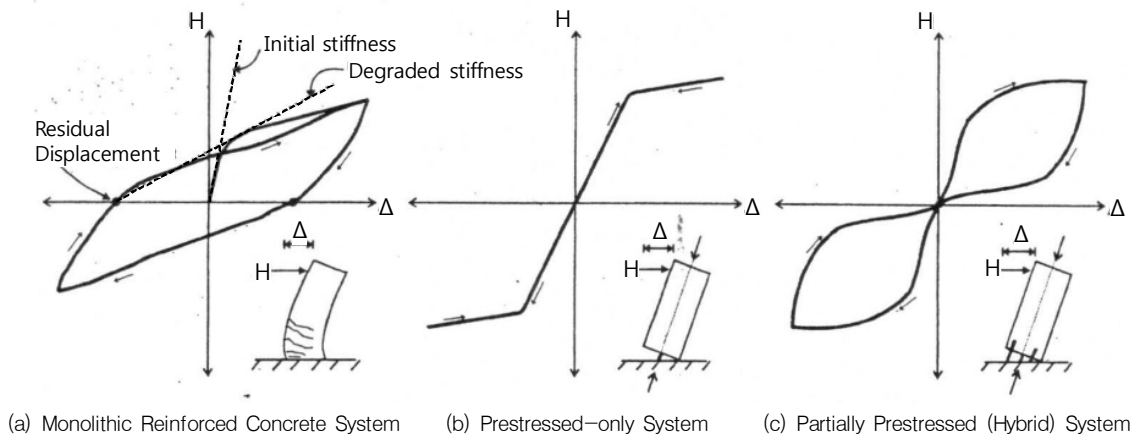


Fig. 5 Difference of Structural Response according to introducing Post-tension

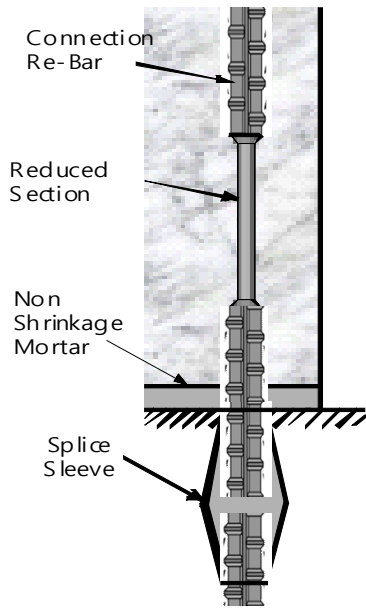


Fig. 6 Section Details of Connection Re-bar

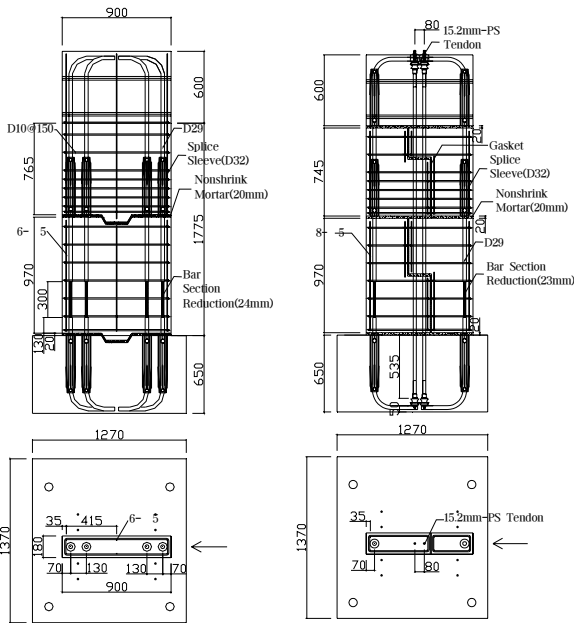


Fig. 7 Details of Specimens

하였다. 수직접합부 긴장재는 15.2mm 직경의 강연선을 실험체 중앙부에 2개 사용하였다. 각각의 강선에 도입된 긴장력은 재킹능력($0.75f_{pu}$)의 초기 손실 10%를 가정하여 177kN으로 계획하였다. 실제 잭킹(Jacking) 후 실험체에 도입된 응력은 2개의 강선에 각각 182.4kN, 178.3kN의 긴장력을 나타내었다. 전체적으로는 휨 모멘트를 동일하게 하여 휨과괴시 휨내력과 변형성능을 평가하여 수직

Table 1 Test Results of Concrete and Mortar

Concrete		Nonshrinkage Mortar
Design Strength (MPa)	Compressive Strength (MPa)	압축강도 (MPa)
27	33.6	52.5

Table 2 Test Results of Steel

	f_y (MPa)	f_u (MPa)	E (MPa)
D10	554.7	675.3	1.76×10^5
D13	434.3	568.0	1.83×10^5
D29	433.8	490	1.98×10^5
15.2mm Tendon	1756.8	1893	2.24×10^5



(a) Form and Re-bar (b) Placing Concrete (c) Curing



(d) Assembling (e) Grouting (f) Post-tensioning

Fig. 8 Process of Making VPW Specimen

접합부의 성능이 일체형 실험체와 동등이상의 성능을 발현하는 것을 확인하고자 하였다.

4.2 재료시험

실험체 제작에 사용된 콘크리트, 무수축 모르타르의 강도, 철근의 강도를 Table 1 및 Table 2에 나타내었다. 콘크리트 및 무수축 모르타르의 공시체는 KS F 2403 규정에 따라 지름 10cm, 높이 20cm의 실린더형 몰드를 이용하여 제작하였다.

4.3 실험체 제작 및 실험방법

실험체 제작은 PC부재의 특성을 반영하기 위하여 부재를 실제 현장에서 적용하는 것과 동일하게 분할하여 제작하여 조립하였으며 실험체의 제작 및 조립 과정을 Fig. 8

에 나타내었다.

일체형인 IPW 실험체는 기초, 하부벽체, 상부벽체-가력보의 세부분으로 나누어 제작하여 조립하였다. 수직접합부 설계형인 VPW 실험체는 기초, 하부벽체 2개, 상부벽체 2개, 가력보로 구분하여 제작하였고 양생시킨 후 조립 및 접합부 시공을 완료하고 강선으로 긴장하여 제작을 완료하였다. IPW 실험체와 VPW 실험체는 조립 시 수직도를 유지하기 위하여 가이드 철물을 보조철물로 이용하였다. 두 시험체 모두 실험체의 수평접합부와 스플라이스 슬리브(Splice sleeve)는 무수축 모르타르로 그라우팅을 실시하였다. VPW 실험체의 수직접합부의 수직부분은 중앙부에 개스킷(Gasket)을 삽입하고 좌우에 백업재를 시공하고 코킹처리하였다.

실험체의 내진성능을 평가하기 위하여 Fig. 9와 같이 실험체를 설치하여 횡하중 반복가력실험을 수행하였다. 횡하중은 500kN 용량의 액츄에이터(Actuator)를 사용하여 Fig. 10에 의한 계획된 하중이력에 따라 변위제어 방법으로 가력하였다. 가력은 강도와 강성의 저하에 대한

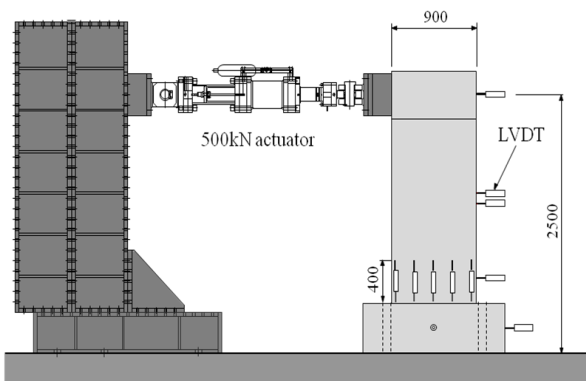


Fig. 9 Set up for Test

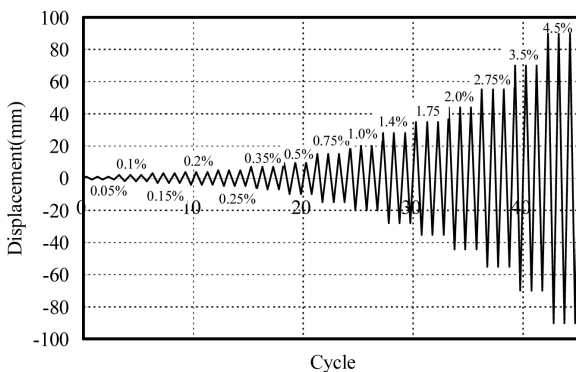


Fig. 10 Loading History

평가를 할 수 있도록 각 변위마다 3번씩 반복 가력하도록 계획하였다. 실험의 진행에 따라 발생하는 균열은 가력방향에 따라 구분하여 표시하고 이를 기록하였다. 실험은 변위의 증가에 따라 내력이 최대 내력의 70% 이하로 떨어질 경우까지 실험을 진행하였다.

4.4 실험결과

4.4.1 파괴형상

2가지 실험체에 대하여 횡하중 반복가력 실험을 수행하여 변위 증가에 따른 각 실험체별 파괴상황을 분석하였다. 최종파괴형상은 Fig. 11과 같으며 하중증가에 따른 파괴 진행사항은 정리하면 아래와 같다.

일체형 PC 벽체인 IPW 실험체는 하중 51kN에서 벽체 하단부 접합부에 초기 균열이 발생하였고 연결철근의 단면감소가 시작되는 높이인 약 150mm에서 하중이 67kN에 도달했을 때 추가적인 휨균열이 발생하였다. 또한 PC 벽체-PC 벽체 접합부와 하부 PC 벽체 및 상부 PC 벽체에 균열이 지속적으로 발생하였다. 변위의 증가에 따라 휨균열은 점차 휨-전단균열로 확대되었고 항복 이후에는 새로운 균열의 발생보다는 기존 균열이 확장되는 경향을 나타내었고 특히 가력 초기에 약 150mm 높이에서 발생하였던 균열폭이 점차 확장되다가 150mm 상부로 압피가 발생하여 최종 파괴되었다.

수직접합부 실험체인 VPW 실험체는 벽체 하단부 접합부에서 57kN에서 초기균열이 발생하였다. 이후 상부 수평접합부에 균열이 발생하고 연결철근의 단면감소가 시작되는 높이인 약 150mm 높이에서 균열이 시작되어 벽체 상부로 추가적인 휨-전단 균열이 발생하였지만 균열 수는 적고 주로 150mm 높이의 균열 폭이 확장되는 경향을 나타냈다. 벽체의 최종 파괴는 부재각 약 -4.3%에서 하부 PC 벽체의 수직접합부가 벌어지면서 벽체 블록의 일부가 전단에 의하여 최종 파괴되었다.



(a) IPW

(b) VPW

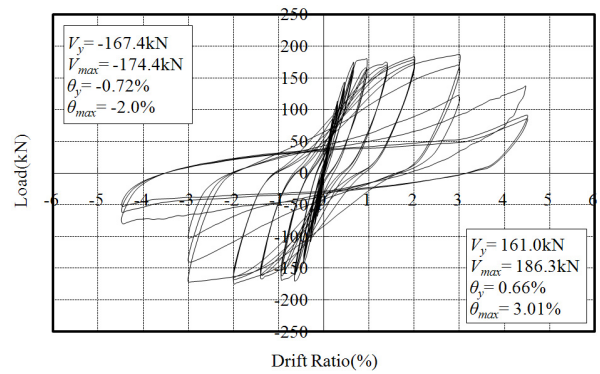
Fig. 11 Crack Patterns in Final Failure

기존 연구결과에 의하면 일반적인 PC구조벽체는 벽체의 최하단부 접합부에서 파괴가 집중되어 일어나는 것이 일반적이다. 이러한 PC 벽체의 경우 접합부에서 파괴가 집중되면 변형능력이 크게 저하되어 내진성능이 RC벽체에 비해 상대적으로 떨어지게 되어 PC벽체를 내진 구조벽체로 적용하기가 어렵다고 여겨져 왔다. 본 연구에서는 접합부에 파괴가 집중되지 않고 RC구조벽체와 유사하게 소성힌지 영역에 파괴가 분산되도록 연결철근 단면감소 상세를 제안하였다. 본 상세가 적용된 모든 실험체의 파괴모습을 분석한 결과 모든 실험체에서 접합부에 파괴가 집중되지 않고 철근의 단면감소가 시작되는 높이인 150mm 근처에서 소성힌지가 발생되었으나 VPW 실험체의 경우 소성힌지에 의한 단부의 압괴로 전단저항단면의 감소가 발생하게 되어 결과적으로 전단강도가 감소하게 되었고 이로 인하여 모서리 압괴부와 수직접합부로 연결되는 임계 전단면으로 전단파괴가 발생하였으며 이는 향후 연구를 통하여 보완해야할 사항이라고 판단된다.

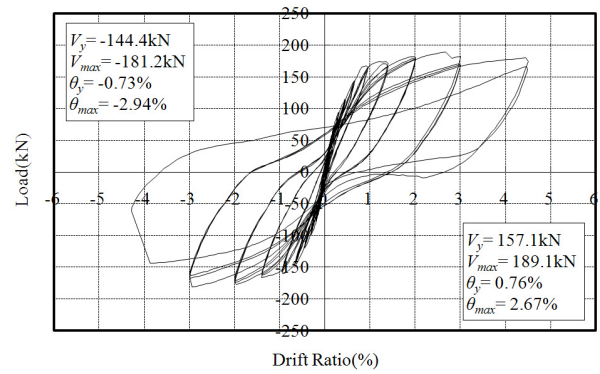
4.4.2 하중-부재각 곡선

실험결과 가운데 실험체에 작용된 하중(Load)과 변위(Drift Ratio)의 관계를 Fig. 12에 나타내었다. IPW 실험체는 부재가 항복한 이후 하중의 증가가 거의 나타나지 않고 정가력 시 부재각 3.01%에서 최대하중 186.3kN, 부가력 시 부재각 -2.0%에서 -174.4kN에서 최대하중을 나타냈다. 정가력과 부가력에서 모두 항복 이후 균열 증가가 없이 철근의 인장변형만이 계측되어 하중의 증가 없이 변형만이 증가하다가 부재각 $\pm 3\%$ 에서 압축단부에서 압괴가 발생하면서 하중이 크게 떨어졌다.

IPW 실험체는 항복후 비탄성 구간에서 편칭현상이 나타나고 있으나 수직접합부 실험체인 VPW 실험체는 포스트텐션에 의한 셀프 센터링(Self-Centering) 현상에 의하여 하중-변위 곡선이 원점을 향하여 모이는 경향이 나타났다. 정가력에서는 항복 이후 하중이 서서히 증가하다가 정가력시 부재각 2.67%에서 최대하중 189.1kN, 부가력시 부재각 -2.94%에서 최대하중 -181.2kN을 나타냈다. 정가력에서는 부재각 4.5%까지 거의 하중의 저하가 나타나지 않았으나 부가력에서는 부재각 약 4.3%에서 판넬에 압괴가 서서히 진행됨에 따라 PC판넬의 단부의 압괴의 진전으로 임계전단면으로 전단파괴가 발생되면서 하중이 급격히 저하하는 모습을 나타냈다.



(a) IPW



(b) VPW

Fig. 12 Load-Drift Curves

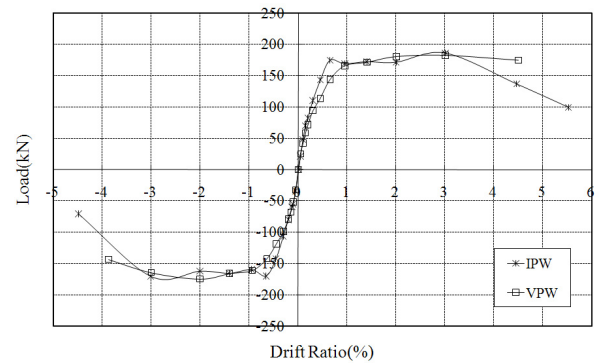


Fig. 13 Envelope Curves

4.4.3 강도, 강성, 변위연성비

2개 실험체의 내진성능평가를 위하여 강도, 강성, 변위 연성비를 비교하였다. 실험체의 강도, 강성 및 변위 연성비의 비교를 위하여 Fig. 13에 포락곡선을 나타내었고 Table 3에 실험결과를 정리하였다. Table 3의 강도 예상 값과 실험값의 비교($V_{max}/V_{pre.}$)에서 보면 두 시험체 모두 예상 값보다 실험값이 높은 값을 나타내었다.

강성을 비교하면 Fig. 13 및 Table 3에서 알 수 있듯이

Table 3 Comparison of Test Results

Specimen		f_{ck} (MPa)	V_y (kN)	V_{max} (kN)	V_u (kN)	Δ_y (mm)	Δ_{max} (mm)	θ_y (%)	θ_{max} (%)	θ_u (%)	μ (Δ_u/Δ_y)	$V_{pre.}$ (kN)	$V_{max}/V_{pre.}$	Stiffness (kN/mm)
IPW	(+)	33.6	161.0	186.3	149.0	13.2	60.2	0.66	3.01	4.11	6.23	165	1.13	16.02
	(-)	33.6	-167.4	-174.4	-139.5	-14.4	-39.9	0.72	2.00	-3.47	4.82		1.06	16.07
VPW	(+)	33.6	157.1	189.1	151.2	15.2	53.4	0.76	2.67	4.50 ^(*)	5.92	161	1.17	11.11
	(-)	33.6	-144.4	-181.2	-145.0	-14.5	-58.7	0.73	2.94	-3.81	5.26		1.13	11.52

(*) : Angle Rotation in the Measured Maximum Displacement
 $V_{pre.} = M_n/h$ (M_n is Nominal Strength of Wall, h is Height of Wall)

초기강도에서는 유사한 결과를 보였으나 최대강도의 30% 이후에서 강성의 차이가 발생하기 시작하였다. Table 3에서 알 수 있듯이 IPW 실험체의 강성이 상대적으로 크고 VPW 실험체의 강성이 작은 것으로 나타났다. VPW 실험체의 강성이 작게 나타난 이유는 실험체에 사용된 고강도 강선에 의한 수직접합부를 구축하기 위하여 비부착 텐돈을 적용하여 벽체의 구조적 거동은 개선되었으나 벽체의 공칭휨강도를 동일하게 설계함으로써 공칭 휨강도를 발휘하기 위해서는 텐돈의 항복변형도가 기존의 이형철근에 비하여 크게 발생해야 하기 때문에 상대적으로 동일강도에서 변형이 크게 발생한 것으로 판단된다. 그러나 실 설계시에는 수직접합부에 적용하는 텐돈은 위치가 임의로 생길 수 있으므로 구조거동용으로 설계하기보다는 수직접합부의 구축에 주된 기능을 할 수 있도록 설계하고 휨강도성능은 부가적으로 적용하기 때문에 기존의 일체형 PC벽체에 비해 강성저하의 문제가 훨씬 줄어들 수 있다.

변위 연성비(μ)는 구조물의 소성변형능력을 나타내는 중요지표로서 항복변위에 대한 극한변위의 비($\mu = \Delta_u/\Delta_y$)로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 Offset Method(이은진:2005)를 이용하여 항복점을 구하여 Table 3에 나타내었다. 극한변위(Δ_u)는 하중-변위 곡선에서 최대하중(V_{max}) 이후 하강곡선에서 하중이 $0.8 V_{max}$ 일 때의 변위로 정의하였다. IPW, VPW 실험체의 평균 변위 연성비를 비교하였을 때 IPW 실험체는 5.53, VPW 실험체는 5.59의 연성비를 나타냈다. 이는 본 연구에서 제안한 연결철근 단면감소 상세를 적용한 수직접합부를 가진 PC구조벽체는 동일한 형상의 일체형 PC 부재의 변위 연성비보다 우수한 변위 연성비를 나타낸 결과로서 제안된 접합부를 실 적용시 충분히 기존의 RC 벽체와 동등이상의 우수한 변형성능을 발휘할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서 제안된 수직접합부를 가진 PC 구조벽체는 RC 벽체와 동일하게 구조물의 횡력저항 요소로 사용될 수 있을

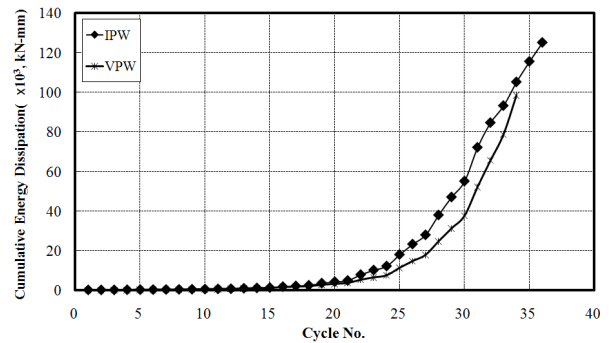


Fig. 14 Cumulative Energy Dissipation Curves

것으로 판단된다.

4.4.4 에너지소산능력

에너지 소산능력(Energy Dissipation Capacity)은 하중-변위 곡선에 의해 둘러싸인 면적으로 평가하게 되며, 누적에너지 소산(Cumulative Energy Dissipation)을 비교하면 Fig. 14와 같다.

에너지 소산능력에서 IPW 실험체가 다소 크게 나타났으나 거의 유사한 에너지 소산능력을 나타내었으며 누적 에너지소산량에서 차이를 보이는 이유는 VPW 실험체는 수직접합부에 도입된 비부착 텐돈에 의한 셀프센터링(Self-Centering) 현상에 의하여 이력곡선에 의한 둘러싸이는 내부면적이 감소하여 에너지 소산능력이 감소한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서 기존의 PC 벽체의 수직접합부에 대한 문제점을 개선하여 보다 우수한 PC구조벽체를 개발 적용하기 위하여 새로운 건식접합개념을 도입한 접합부를 개발하였다. 제안된 PC벽체의 수직접합부는 기존의 접합부에 비하여 훨씬 간편하고 시공성이 우수한 접합부이다. 제안

된 접합부에 대한 내진성능을 평가하기 위하여 횡하중 반복가력실험을 수행하여 구조성능을 평가하였으며 이를 토대로 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 수직접합부를 가진 VPW 실험체는 하단 접합부에 파괴가 집중되지 않고 철근의 단면감소가 시작되는 높이인 150mm 근처에서 소성힌지가 발생하였으나 강도가 증가하면서 소성힌지의 발생에 의한 단부 압괴가 진행되어 전단저항단면의 감소로 전단강도가 감소하여 모서리 압괴부와 수직접합부로 연결되는 임계 전단면에서 전단파괴가 발생하면서 최종파괴에 이르렀다. VPW 실험체의 최종파괴는 벽체의 충분한 변형성능을 발휘한 이후에 발생하는 하였으나 향후 보완을 통하여 실구조에서는 접합부 인근에서 전단파괴가 발생하지 않도록 보완할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- (2) IPW 실험체는 부재가 항복한 이후 하중의 증가가 거의 나타나지 않는 경향을 보였고, 부재각 $\pm 3\%$ 에서 압축단부에서 압괴가 발생하면서 하중이 크게 저하되는 결과를 보였다. 반면 VPW 실험체는 제하시 하중-변위 곡선이 원점을 향하여 모이는 경향을 보이는 셀프 센터링 현상을 보여주었으며 이는 수직접합부에 적용된 비부착 포스트텐션의 거동에 의한 것이다.
- (3) 강성측면에서 보면 초기강도에서는 유사하나 최대강도의 30%내외에서 강성의 차이가 발생하였다. VPW 실험체의 강성이 작게 나타난 이유는 실험체에 사용된 고강도 강선에 의한 수직접합부를 구속하기 위하여 비부착 텐돈을 적용하였고 이에 의한 동일한 공칭휨강도 발현시 상대적으로 큰 변형이 발생하기 때문으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 수직접합부를 가진 PC벽체는 동일한 형상의 일체형 PC벽체의 변위 연성비보다 우수한 5.59의 변위 연성비를 나타내어 실적용시 충분히 일체형 벽체와 동등이상의 우수한 변형성능을 발휘할 것으로 판단된다.

- (4) 에너지 소산능력에서 IPW 실험체가 다소 크게 나타나기는 했으나 이는 VPW 실험체가 수직접합부에 도입된 비부착 텐돈에 의한 셀프센터링(Self-

centering) 현상에 의하여 내부면적이 감소하여 에너지 소산능력이 감소한 것으로 생각된다. 다만 최종파괴가 수직접합부 부근의 전단파괴로 이를 보완한다면 텐돈의 경우 여전히 탄성구간내에 존재하므로 내진저항에 대한 여력이 충분히 있다고 판단된다.

결론적으로 제안된 새로운 수직접합부를 가지는 PC 구조벽체의 내진성능평가를 해 본 결과, 기존의 일체형 PC 벽체와 동등이상의 내진성능을 발휘하는 것으로 나타나 향후 구조물의 주요 횡력저항요소로 충분히 적용가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 건설교통부가 지원하고 건설교통기술평가원이 위탁시행한 과제(05건설핵심D02-1)의 재정적 지원을 받아 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강수민 외 4인, “소성힌지 영역의 접합부를 개선한 PC 구조벽체의 개발”, 한국지진공학회 논문집, 제14권 2호, 2010.4.
2. 김옥중, RC 기둥과 RS 보로 이루어진 혼합구조 시스템의 거동에 관한 연구, 박사학위논문, 한양대학교, 2002.
3. 이은진, 철근콘크리트기둥과 강재보로 이루어진 복합구조 접합부의 전단거동에 관한 연구, 박사학위논문, 한양대학교, 2005.
4. 이현호 외 3인, “대형 콘크리트 판넬 구조의 수직접합부 거도에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제10권 1호, 1990.10.
5. 정란 외 2인, “대형판 조립식 구조 수직접합부 지압강도 평가에 관한 연구”, 한국콘크리트학회논문집, 제8권 4호, 1996.8, pp.181-189.
6. 최은규 외 1인, “프리캐스트 콘크리트 벽체 수직접합부의 광폭형 연결방식 개발”, 한국콘크리트학회논문집, 제21권 5호, 2009.10, pp.549-556.
7. Hawkins, N. M. and Ghosh, S. K., “Acceptance Criteria for Special Precast Concrete Structural Walls Based on Validation Testing”, *PCI JOURNAL*, vol. 49, No. 5, 78-92, Sep.-Oct. 2004.
8. Soudki, K. A., Rizkalla, S. H. and LeBlanc, B., “Horizontal Connections for Precast Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Deformations. Part 1: Mild Steel Connections”, *PCI JOURNAL*, vol. 40, No. 4, 78-97, July-August 1995.
9. T. Holden, J. Restrepo and J. B. Mander, “Seismic Performance of Precast Reinforced and Prestressed Concrete Walls”, *J. of Structural Engineering*, March 2003, pp.286-296.

(접수일자 : 2011년 6월 10일)
(수정일자 : 2011년 8월 16일)
(심사완료일자 : 2011년 8월 22일)

요 지

최근 PC 공법을 도입하려는 시도가 많이 이루어지고 있다. 그러나 PC 벽체에 대한 연구는 개발의 어려움이 있어 상대적으로 더디게 발전되어 왔다. 본 연구에서는 PC벽체의 기존의 접합부의 시공성 및 구조성능을 개선하기 위하여 수직접합부의 개선안을 개발하였고, 이에 대한 구조성능평가를 진행하였다. 제안된 PC벽체의 수직접합부 구조적인 성능을 검증하기 위하여 반복적인 횡하중 재하시험을 진행한 결과, 기존의 일체형 PC벽체와 동등이상의 내진성능을 발휘하는 것으로 나타나 향후 구조물의 주요 횡력저항요소로 충분히 적용가능할 것으로 판단된다.

핵심 용어 : PC 구조벽체, 수직 접합부, 비부착 포스트 텐션, 내진성능
