

일방향 단순 횡하중을 받는 P.C 판 조립식구조 실물 Subassemblage의 구조거동에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Structural Behavior of Full-scale Subassemblage
Subjected to Monotonic Loads in Precast Concrete Panel Structures

윤 재 진*
Youn, Jae Jin
정 란**
Chung, Lan
이 수 곤***
Lee, Soo Gon

Abstract

The essential difference between precast concrete structures and in situ concrete structures lies in the presence of connections between precast components. Therefore, to insure the safe design of precast concrete panel structures, it is necessary to understand the behavior of joints and their implications regarding overall structural behavior.

From such a point of view, this experimental study observes the components and joint behavior under the stress states expected of precast concrete panel structures subjected to lateral loads. 2 full-scale subassemblages were fabricated and tested.

The test results show that the characteristics of horizontal joints and wall coupling beams mainly govern the whole behavior of P.C. structures.

1. 서론

P.C판 조립식 아파트의 구조적 특징은 상호 접합된 P.C판 부재가 부축 작용(Bracing Action)과 판막 작용(Diaphragm Action)을 통하여 전체적으로 일체화된 하나

의 강판(Rigid)한 구조 시스템을 형성하여 수평력에 저항하고 구조안정을 이룩하는 것이다. 그러나 P.C판 조립식 구조는 다종다양한 접합부 상세로 인하여 하중전달 경로가 복잡하여 역학적 거동의 규명이 곤란하게 되는일이 적지않다.

* 정회원, 전남대 대학원 박사과정

** 정회원, 단국대학교 부교수, 공학박사

*** 정회원, 전남대학교 교수, 공학박사

일반적으로 5층이하 정도의 건축물에서는 수직하중에 의한 접합부 내력상의 문제보다는 수평하중을 받는 수직 접합부와 수평 접합부의 거동이 구조설계상 중요한 위치를 차지하고 있다. 따라서 실험적 조사를 통하여 접합부의 보다 정확한 거동을 파악하고 이에따른 설계법을 정립할 필요가 있게된다.

본 연구에서 대상으로 하고있는 구조물 시험체는 수직 조인트의 경우 습식(wet joint) 그라우트 콘크리트로 접합되어 있고, 수평 조인트의 경우 건식(dry joint)으로서 상하벽판을 hair pin형 접합물로 용접하고 접합물 매개물로서 모르터를 깔고있는 소위 하중전달 기구상으로는 좁은폭 조인트(Closed joint)에 해당하는 접합형식을 취하고있다.

본 실험연구에서는 이러한 접합부형식을 갖는 P.C조립식 벽판구조에 대하여 수평하중하에서의 접합부의 거동을 조사하고 그 파괴성상을 평가하여 구조설계시의 고려사항과 해석적 모델링을 위한 거동을 파악하고자 한다.

2. 시험체 계획

2.1 대상 시험체의 설정

본 연구에서 대상으로 하고있는 중층 P.C아파트 구조형식은 Cross wall과 Spine wall이 일체로 결합되어 작용하중에 저항할 수 있도록 되어있는 밀폐형의 혼합 시스템

(Mixed system)으로서, 벽이 균등이 배치될 경우 수평하중에 대하여 유효하게 저항할 수 있고 또한 수직응력을 적절히 분산시킬 수 있는 구조형식으로 인식되고 있다.

연구대상으로한 P.C아파트 건축은 지상 5층, 지하 1층 규모로서 지상 1층 바닥판 이상은 P.C관 조립식 구조이며 지하 기초벽은 현장 철근 콘크리트 구조이다. 그런데 건축물의 내진설계에 관한 규정이 신설됨으로서 일정 규모 이상의 건축물에 대하여 내진해석 및 설계가 의무화되었고 이에따라 P.C건축물에 대한 안전성확보를 위한 실험적 검증이 대두되고 접합부에 대한 동적특성 및 거동의 규명이 중요한 사항으로 인식되기에 이르렀으며, 또한 P.C건축물의 고층화 경향과 더불어 접합부 상세 개발에 대한 기초연구 자료의 축적이 요구되고 있다. 본 실험연구는 정적 및 동적거동을 규명하기 위한 일련의 실험계획에 의해 수행되고 있는 정적시험부분으로서 시험을 실시한 한국해사 기술 연구소의 실험실 조건을 감안하여 5층구조물을 Fig. 2.1과 같이 간략화된 3층구조물로 이상화하였으며, 이렇게 설정된 평면에서 본 실험연구대상 시험체를 선정하였다.

2.2 시험체 설계

연구대상 시험체(Subassembly)는 실제 아파트 건축물상에서 Cross wall(단변 방향벽)에 상응하는 부분으로서 외부 Spine wall(길이 방향벽)인 날개벽(flange wall)을

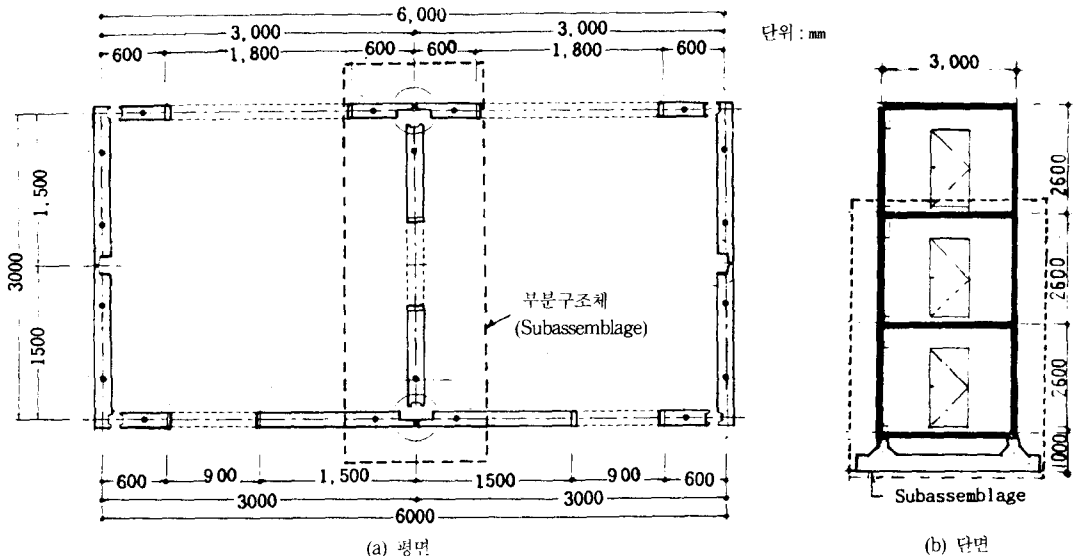


Fig. 2.1 동적 특성 실험 구조물에서의 Subassembly

가진 병렬 전단벽의 형태이다. 높이는 2개층에 대하여 절취(Subassembly)하였고 벽체길이는 3.0m로서 실험실 제약조건에 의하여 이의 실제건물의 대략 1 span에 상당한다.

본 구조물 시험체에 대한 평면 및 집합부상세는 Fig. 2.2~Fig. 2.6과 같다. 또한 Fig. 2.1과 같이 이상화된 평면에서 절취하였기 때문에 이 대상 구조물에 의한 응력근의 산정 자체가 실제구조물에서의 배근과 다르게 되므로 실제 5층 아파트 건물에서 규격화 하여 배근되는것을 기본으로하여 배근하였다.

이는 본 연구의 목표가 구조물의 부분구조물에 대한 구조거동을 파악하는 것이므로 이렇게 배근하는 것이 적절한 방법이라고 판단한데 따른 것이다. 그래서 실제 적용건물에서와 같이 벽판은 Fig. 2.7에서 보는 바와 같이 기본배근하여 수평철근 D10@250, 수직철근 D10@300으로하고, P.C판 외주철근(Peripheral reinforcement)은 D13으로 하였으며 개구부 주위에는 사인상 철근으로서 D13을 배근하였다. 또한 부재의 탈형은 Tilt-up 공법에 의하여 이때의 균열방지를 위하여 D13을 추가 배근하였다.

슬래브는 본 시험의 주요대상이 아니므로 간략화하여 폭 60cm로 절취하여 배근비를 크게 높였으나 조인트의 접합면부분은 실제상태와 같게 하였다.

수직 조인트부분에는 높이 150×폭80×깊이30mm의 치수를 가진 전단코타(shear cotter)4개가 있고 4개의 횡방향철근(transverse tie)이 인접벽판간에 상호 용접되었으며, 집합부 중앙에 수직방향으로 $\Phi 16$ 의 수직 연결철근(vertical tie)이 배근되었다.

수평 조인트의 상하벽 접합은 Fig. 2.4에서 보는바와 같이 하부벽판에 정착된 hair pin형 집합물을 상부벽의 플레이트에 용접 집합하며, 바닥판-바닥판 접합은 포켓부분에서 각 바닥판에서 돌출된 길이방향 연결철근(longitudinal tie) $\Phi 9$ -4개를 원형철근 닻뎀으로 상호용접하였다.

기초부분의 경우는 슬래브 및 벽판이 조립되는 부분을 실제의 시공조건에 맞추어 상세설계한것을 제외하고는 변형이 없는 부재로 하기위한 배근조치를 하였고 조립후 실험실내에서 소정의 위치에 시험체를 운반 설치(set-up)하기 위하여 H형강을 기초판 부분에 미리 매립하였다. 조립 양생한 시험체는 이 H형강에 별도로 제작된 운반가대(moving cage)를 부착하여 이동하는 것으로

하였다.

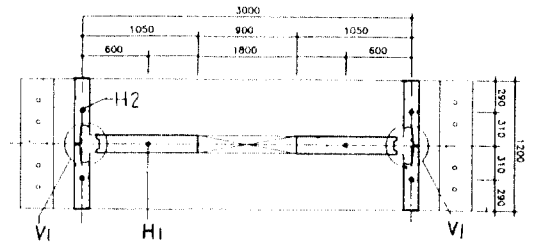


Fig. 2.2 실물 부분구조시험체 평면

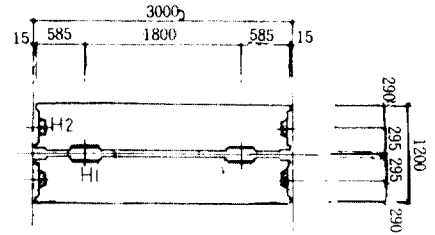


Fig. 2.3 슬래브 조립평면

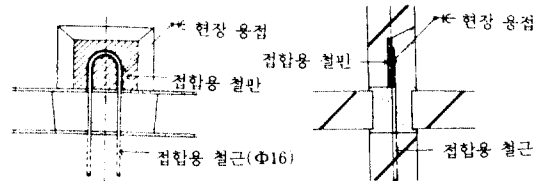


Fig. 2.4 내부 수평 조인트 상세(H1)

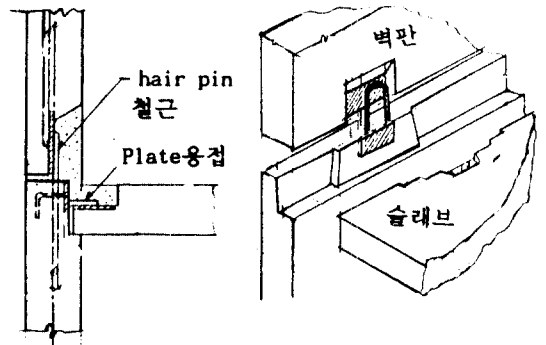


Fig. 2.5 외부 수평 조인트(H2)

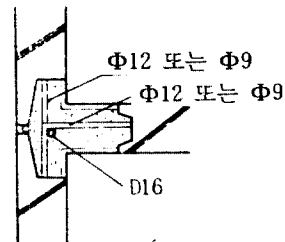


Fig. 2.6 수직 조인트(V1)

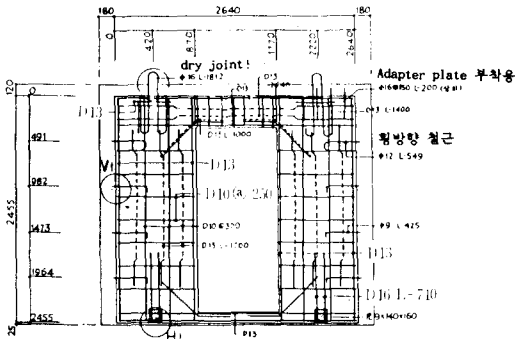


Fig. 2.7 실물 시험체 벽체 배근도

2.3 시험체의 제작 및 조립

시험 부재는 (주)한성 판교공장에서 제작, 양생되어 실험장소인 대덕 연구단지내의 한국 해사 기술 연구소 구조시험동으로 운반하여 조립하는 과정으로 진행되었다. 즉, P.C판 제작을 위한 형틀은 실제의 5층 아파트의 P.C부재 제작과 마찬가지로 강제 모놀드를 사용하여 제작되었고, 파래트면에 탈형유를 도포하고, 벡처(Bacher Plant)에 의한 콘크리트 제조와 타설을 하였으며 진동기에 의한 진동다짐을 하였다. 또한 콘크리트 타설과 함께 공시체를 9개씩 제작하였다. 콘크리트 타설후 80℃로 약 6시간동안 증기양생한후 P.C판 부재의 탈형 강도(약 120kg/cm²)에서 형틀을 제거하고 대기양생 하였으며 공시체는 실험체와 같은 조건에서 양생하였다. 본 P.C 공장의 탈형은 시험체를 Tilt-up 방식으로서 형틀을 떼어낸 후 크레인을 이용하여 판넬을 들어올리는 방식이다. 제작된 각각의 P.C판은 시험장소로 운반되어 그곳에서 시험체를 조립하였다. 구조시험실 내에서의 조립은 다음과 같이 하였다.

시험실 바닥위에 P.C화된 기초를 놓고 현장시공과 마찬가지로 기초벽 상부에 모르터를 깔고 슬래브를 놓은 후에 슬래브-슬래브 접합철근(longitudinal tie)과 기초벽-슬래브철근을 용접하였다. 그후 수평 접합부분에 깔모르터를 깔고 수평, 수직을 맞추어 벽판을 소정의 위치에 고정하였으며, 동시에 날개벽(flange wall)을 지지대로 고정후 기초에 매입된 수직연결 철근(vertical tie)과 벽판에서 돌출되어 나온 수직 접합부 횡 방향철근(transverse tie)을 상호 용접 접합하며 수평 접합부의 hair

pin형 dry joint를 상부벽판에 매입된 plate에 용접 접합하였다. 그리고 접합부 양단에 목재 거푸집을 설치하고 누수방지 조치를하여 접합부 콘크리트를 타설하였다. 접합부 거푸집 설치에 앞서 수직 연결 철근과 hair pin 철근의 소정의 위치에 스트레인 제이저를 부착하였으며, 접합부 콘크리트 및 모르터는 시방 배합표에 의해 용적배합으로 환산하여 배합하였으며 손비빔하였다.

사용재료의 역학적 성질은 표 2.1 및 표 2.2와 같다.

표 2.1 콘크리트

구 분	압축 강도(kg/cm ²)		인장강도 28일	비 고 (공시체)
	7일	28일		
P.C벽판 및 슬래브	201.2±16	251.3±17	28.2±3.2	φ150×300
그라우트 콘크리트	---	179.6±12.3	26.1±1.3	φ100×200

* Slump값은 6.0~8.0cm 범위

표 2.2 철근

구분	측정직경 (mm)	항복강도 (kg/cm ²)	비 고
Φ9	9.9	3232	수직접합부횡방향철근 및 길이방향연결철근
Φ12	12.15	3642	수직 접합부 최상단 연결철근
Φ16	16.01	3623	hair pin 철근
D10	--	3873	벽판 및 벽보의 늑근
D13	--	3640	P.C판 외주철근
D16	--	41690	수직 연결철근(vertical tie)

3. 실험

3.1 실험의 측정 목표

본 실물시험체의 높이가 6.2m로서 시험실조건(반력벽 높이 8m)이 연직하중을 가력할 수가 없어 곤란하여 수직 하중(Axial load)없이 횡하중으로서 일방향 단순하중(Monotonic load)을 가력하여 구조물 전체변위, 접합부의 미끄러짐 및 벌어짐 변위, P.C판의 전단변형, 조인트 철근의 변형도, 하중 등을 측정하는 것으로 하였다.

3.2 가력 방법

가력 방식은 시험체를 소정의 위치에 정착 긴결하고 2층 벽체 상부면의 어댑터 플레이트와 재하장치(loading device)를 연결하고서 최대 stroke±75mm의 50t Actuator

로서 재하장치에 가력하는 것으로 하였다.

시험체와 재하장치의 연결은 가력에 의한 힘의 분포가 등분포가 되도록 시험체 전 길이에 걸쳐서 등간격으로 철근을 미립 매입하여 어댑터 플레이트에 용접하였고 그위의 채널(Channel)형의 재하장치와 어댑터 플레이트는 볼트접합하였다. 이 재하장치는 중앙과 1/4지점에 힌지를 설치하여 중앙에 가해진 힘이 각 1/4지점 힌지에 분배되게 하는 한편 이 두개의 1/4지점힌지에 연결된 채널이 중앙부에서 서로 떨어지게 함으로서 2층벽보상단부분에 균등한 응력이 분포되도록 고안하였다.

가력방식은 변위제어(displacement control)방식으로서 단순증가에 의하여었다.

3.3 측정 방법

본 시험에서 측정 대상으로 하고있는 것은 수평 접합부의 미끄러짐(slip) 및 벌어짐(opening), 수직 접합부의 미끄러짐, 벽판의 전단변형, 수평 dry-joint(hair pin형) 및 수직 연결철근(vertical tie)의 변형도, 전체 구조물의 횡변위 및 종곡강도의 측정등이다. 구체적으로 기술하면 Fig. 3.2의 측정위치도에서 보듯이 횡변위는 기초와 1층, 2층의 벽보중앙 상단과 실험실 바닥에 고정된 수직의 reference frame과의 변위를 측정하였고, 수평 접합부의 상부 벽판과 하부 벽판(혹은 기초)간의 상대변위 측정을 위해 1층 2층 벽체 단부에 수직으로 LVDT(01~04)를 설치하였다. 또한 상부벽판과 슬래브, 하부벽판(혹은 기초)과 슬래브의 각각의 미끄러짐 변위를 측정(SL1~SL4

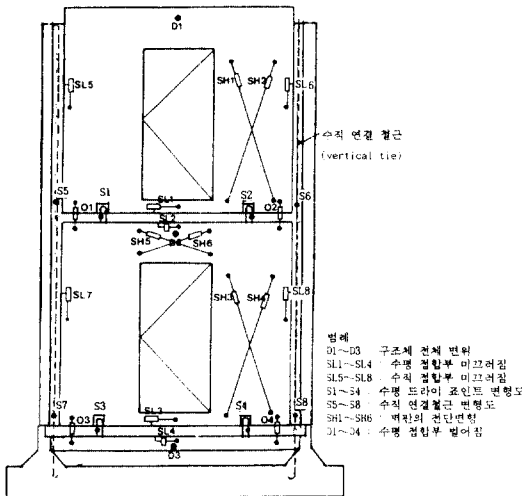


Fig. 3.1 변위(LVDT) 및 Strain측정 위치

)하여 상부벽판과 하부벽판간의 상대적 미끄러짐 변형을 알 수 있게 하였으며, 가력점 Actuator에 부착된 로드셀로부터는 가력의 크기를 측정하였다. 수직 접합부의 수직연결철근과 수평 Dry joint철근에는 스트레인 게이지를 부착(ST1~ST8)하여 변형도를 측정하였다. 벽판의 전단변형은 벽보(Lintel)와 벽주의 2부분에 대하여 측정(SH1~SH6)하였으며, 균열 관찰을 위하여 시험체 양면 및 측면 3부분에 시험체와 같은 높이로 강관조립틀비계를 설치하였다.

3.4 시험체 설치

시험체 설치 상황은 Fig. 3.2 및 사진 3.1과 같다.

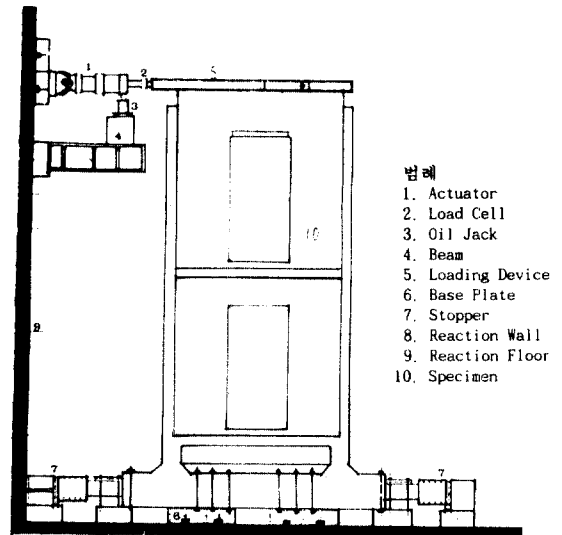


Fig. 3.2 시험체 설치도(Test Set-up)

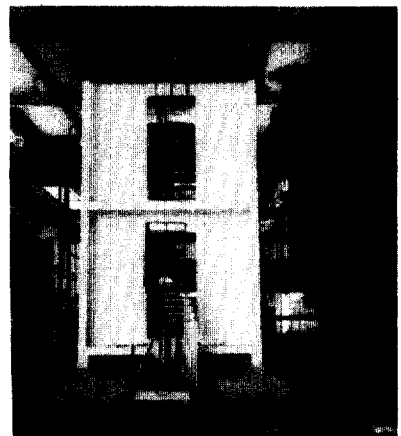


사진 3.1 시험체 설치 전경

4. 실험결과와 분석 고찰

단순증가 가력방식으로 행한 2개의 시험체는 2층가력점 부분의 벽보의 보강유무에 따라 구분한 것인데, 2개의 시험체가 모두 실험계획서에 2층벽보상단 양측면의 슬래브에 의한 구속조건을 고려하지 못하여 LPT1의 경우에는 벽보상태 그대로 시험하였으며, LPT3 시험체는 벽보의 선파괴를 방지하기 위하여 상하방향으로 턴버클에 의해 조임음(Confine)한 상태로 시험을 하였다.

4.1 LPT 1 시험체

4.1.1 균열 및 파괴양상

먼저 2층 벽보 상부에서 균열이 발생하고 1층 벽보 및 벽체하부의 수평 조인트 접합면, 2층 수직 조인트 접합면, 2층 벽보의 균열파괴의 순으로 균열이 진행되었다. 2층 벽보의 집중적인 전단파괴로 1층 부분은 개구부 상부 및 접합부의 깔모르터 접합면에만 균열이 발생하였고 기타 부위는 매우 미약한 상황이었다.(Fig. 4.1)

4.1.2 구조체의 하중-변위 관계

Fig. 4.2에서 나타난 바와같이 2층 벽보의 중앙점(D1)에서의 하중 변위는 가력 수평하중 3ton까지는 거의 변형이 없이 진행되다가 15.8t($\delta_y = 4\text{mm}$)에 이르기까지는 선형의 거동을 하고있다. 그 후에는 현저한 강성의 저하가 일어나고 최대하중 21.5ton($\delta_u = 13.5\text{mm}$)에서 2층 벽보의 전단파괴와 함께 급격한 강도감소를 보여주고 있다. 이 강도감소는 초기에서 급격하나 변위 $\delta = 36\text{mm}$ 에 이르러서는 어느정도 일정한 값(14ton)을 유지하고 있다.

Fig. 4.3의 1층 벽보의 중앙점(D2)에 대한 하중-변위는 수평하중 2.5t까지는 변위가 없다가 2층과 마찬가지로 15.8t($\delta_y = 1.7\text{mm}$)까지는 선형관계를 유지하고 있다. 그 이후에 2층 벽보는 최대하중 21.5ton($\delta_u = 5.53\text{mm}$)에 도달할 때까지 비선형 거동을 나타내다가 최대하중점 변위 이상의 변위를 나타내지 않고있어 전체변위의 대부분이 2층 변위임을 알 수 있으나 2층 슬래브등으로 응력분배의 영향도 있는 것으로 생각된다. 기초의 중앙점 변위는 소음(noise)에 의한 변위정도(0.04mm)로서 기초부분 변위는 무시할만큼 작았다. 구조물 전체의 변위는 2층 벽보에서의 값이 1층 벽보에서의 값에 비해 상대적으로 큰 값으로 나타났으며 표 4.1에서 비교한 바와같이 층별간의 변위

강성차이와는 다르게 연성비는 1, 2층이 비슷한 값을 나타내고 있다.

표 4.1 층별 변위강성 및 연성비

구분	부위	계산	값	
강성 P/δ (t/mm)	2층	선형부분	(15/8-3)/4	3.2
		비선형부분	21.5-15.8/9.5	0.6
	1층	선형부분	15.8/1.7	9.3
		비선형부분	21.5-15.8/5.53-1.7	1.5
연성비 δ_u/δ_y	2층	13.5/4	3.37	
	1층	5.53/1.7	3.25	

4.1.3 접합부의 하중-변위 관계

가. 수평 접합부의 하중 변위곡선

1) 미끄러짐

1층 부분의 하부 기초와 슬래브의 상대변위는 무시할만큼 미소하며 상부벽체와 슬래브의 미끄러짐은 탄성변위 $P=15.8\text{t}$ 까지는 선형을 나타내고 그 이후 최대하중 21.5t(0.145mm)까지의 비탄성 범위에서는 더 낮은 변위강성을 나타내고 있다. 2층의 수평접합부분의 경우는 슬래브 하부 미끄러짐보다 상부 미끄러짐이 상대적으로 적게 나타났으며 벽보의 파괴 이후에도 계속 상부 접합면의 미끄러짐 변위가 일어나고 있다. 이는 상부벽과 슬래브 접합면상의 깔기 모르터 밀실도에비해 하부 벽판과 슬래브의 접합면의 상태가 불충분한데서 기인한 것으로 판단된다. 여기에서도 전체 하중-변위 곡선에서와 같이 3t까지는 변형이 없었다.(Fig. 4.4~Fig. 4.5)

2) 벌어짐

1층 수평 접합부의 벌어짐 변위는 Fig. 4.6(a)에서 보는 바와같이 가력 Actuator쪽의 경우 정변위(positive)로서 0.45mm까지는 선형 탄성거동을, 그후 1.5mm까지는 비탄성 거동을 나타내고 있다. 그 반대쪽은 Fig. 4.6(b) 부변위(negative)로서 10ton까지 가다가 정변위로 바꾸어 15ton까지는 선형으로 진행되었고 21.5ton에 이르러서는 0.16mm의 변위를 나타내고 있다. 이는 개구부 모서리의 균열과 수평조인트의 균열에 의해 벽주가 Rocking motion을 함으로써 각벽주에 인장과 압축이 생긴것으로 사료된다.

2층 수평 접합부의 벌어짐 변위는 가력 Actuator쪽의 경우 최대하중 21.5ton에서는 0.6mm, 벽보 파괴시에는 12.7mm를 나타낸다. 그 반대쪽 벌어짐은 21.5ton까지는 거의 변위가 없다가 벽보의 파괴와 함께 서서히 하중이

저하하면서 0.35mm의 변위가 발생하였다. 여기에서 변위가 발생하지 않는것은 2층 벽보의 전단파괴와 벽주의 강체운동에 기인한 것으로 사료된다.(Fig. 4.6~4.7)

나. 수직 접합부의 하중-변위곡선

1층 부분의 수직 조인트 미끄러짐 변위는 매우 미소한 양으로서 무시할만하며, 2층 부분은 가력 Actuator쪽의 경우 최대하중 21.5ton까지는 0.5mm의 미끄러짐을 나타냈고 그 반대쪽 수직접합부는 21.5ton에 이르기까지 거의 변위가 없었다.(Fig. 4.8)

파괴시에는 가력 Actuator쪽 11mm와 그 반대쪽 2.1mm의 미끄러짐 변위를 나타내고 있다. 수직 접합부의 미끄러짐 파괴는 접합부 콘크리트에 대한 균열은 보이지 않았으며 P.C판면과 접합부 콘크리트면이 분리(dislocation)되는 현상이 육안 관찰 되었다.

이 시험에서 2층 접합부의 미끄러짐이 1층에 비해 크게 나타난것은 가력부분 벽보 상부면이 양측 슬래브의 구속이 없었으므로 횡하중 작용시 날개벽과 벽주가 상대적으로 원활하게 움직인것이 주된 원인으로 생각된다.

4.1.4 벽판의 전단변형

1층 벽주의 전단변형은 0.0002Rad 이내로서 매우작으며 2층 벽주의 경우 벽보파괴 이후에도 0.012Rad로서 변형이 상당히 작았다. 즉 2층 벽주는 강체 작용을 하였다. 1층 벽보의 전단변형은 Fig. 4.9와 같이 최대하중 21.5ton에서 0.0015Rad를 나타내고 파괴시에 0.0025Rad에서 하중이 떨어지지 않는 상태를 유지하고 있는데 이는 슬래브등으로의 하중 재분배로 판단된다. 2층 벽보의 전단변형은 최대하중까지 거의 무시할 정도로 작다가 전단 파괴 이후에는 급격한 전단변형을 나타내고 있다. 이러한 벽보의 거동차이는 양쪽 슬래브 접합에 의한 결속이 없는 구속조건에 기인한 것으로 판단된다.

4.2 LPT3 시험체

4.2.1 파괴상황

1층 수평 접합부와 거의 동시에 개구부 모서리 균열이 발생하고서 2층 개구부 모서리 및 수직 접합부의 미끄러짐이 생겼으며 2층 날개벽 조인트부분의 벌어짐이 1층 부분보다 작았다. 결국 1층 벽보의 전단파괴가 원인이되어 붕괴에 이르렀으나 내력은 계속 일정한 수준을 유지하였다. 실험은 Actuator의 최대변위(stroke) 75mm를 감안하여 48cm에서 종료하였다.

4.2.2 구조체의 하중-변위 관계

Fig. 4.10~4.11의 각부분의 하중-변위곡선을 LPT1 시험체와 비교하여보면 LPT1시험체와 같은 균열파괴에 의한 급격한 강성저하를 나타내지 않고 있다. 이는 LPT1 시험체와는 달리 본시험체는 1층 벽보의 균열파괴 이후에 2층 슬래브가 이에따른 응력을 부담하여 변형이 큼에도 불구하고 파괴에 이르지 않은것으로 판단된다.

탄성범위는 하중 10.5ton($\delta_y = 2.5mm$)로서 LPT1의 하중 15.8ton($\delta_y = 4mm$)와 차이를 보이고 있다. 1층과 2층의 층간 횡변위가 비례적(20mm : 48mm)이었고(LPT1은 2층부분의 변위가 지배적임) 기초부분 변위는 작았다.

4.2.3 접합부의 하중변위 관계

가. 수평 접합부의 하중 변위곡선

1) 미끄러짐

Fig. 4.12~4.13을 보면 1층과 2층 수평 접합부의 각 접합면의 최대 상대미끄러짐량은 각각 2.15mm, 5.0mm로서 2층 부분이 크게 나타났으며 슬래브를 기준하여, 1층부분은 상부면이, 2층부분은 하부면이 미끄러짐의 량이 크게 나타났다. 이는 1층부분의 경우는 기초판 외부턱의 구속 조건에 의하여 상대적 미끄러짐 차이가 나타난 것으로 보이며 슬래브를 기준한 상부 접합면과 하부 접합면의 미끄러짐 차이는 접촉면 매개물(갈모르터)의 충진정도가 주 원인인 것으로 판단된다. 하중-변위곡선에서 재가력(reloading)한것은 2층 벽보부분의 횡변위 측정 LVDT의 misalignment에 따른 교정작업에 의한것인데 초기보다 강성이 많이 저하되어 있는것을 볼 수 있다.

2) 벌어짐

Fig. 4.14에 나타난 바와 같이 탄성 범위하중 10.5t에서 가력 Actuator쪽의 인장을 받는 1층 부분의 접합부에 0.3mm정도의 벌어짐이 발생하였으나 2층 부분의 가력 Actuator쪽은 미끄러짐이 나타나지 않았고 그 반대쪽은 0.2mm의 미끄러짐이 나타났다. 또한, 가력 Actuator쪽 1층의 벌어짐 최대량은 10.2mm이며 그 반대측은 초기에는 압축에 의하다가 최대하중 25.5ton에 이르러서는 0.47mm정도의 벌어짐 변위를 나타내고 있다. 이 현상은 양편의 벽주가 벽보의 전단파괴와 함께 독립벽주로서 작용하고 있다는 것으로 설명할 수 있다.

2층 수평 접합부의 경우(Fig. 4.15)도 1층 수평 접합부와 동일한 거동을 보여주고 있으나, 가력 Actuator쪽의 2.1mm에 비하여 그 반대쪽의 벌어짐량이 1.3mm로서

상대적으로 큰 값을 나타내고 있다. 이러한 경우도 1층 수평 접합부와 같은 현상으로 설명될 수 있는가는 의문시 된다. 수평 드라이 조인트의 변형도는 0.1% 정도에서 항복 현상을 나타내고 있으며 최대 0.9%의 변형도를 표시하고 있다. 변형도 0.7%에서는 변형 경화현상(strain hardening)을 나타내고 있다.(Fig. 4.18)

나. 수직 접합부의 하중-변위 곡선

Fig. 4.16~4.17을 보면 1층 부분은 초기 약 11ton까지는 미끄러짐변형이 거동하지 않고 있다가 전단 코타 부분의 변형으로 인한 비선형 거동을 보여주고 있다. 이 비선형 거동도 최대하중 25.5ton에 이르러서야 상당한 변위가 일어났음을 알 수 있다. 이는 전단코타가 미끄러짐 작용을 억제하고 있는것으로 판단된다.

그림에서 보아 가력 Actuator 반대쪽 1층 수평접합부가 먼저 미끄러짐이 발생(최대 미끄러짐 4.5mm)하고 뒤이어 가력쪽 수직 접합부에 미끄러짐(최대 미끄러짐 1.8mm)이 일어난 것으로 판별되며 이것은 양쪽 수직조인트 콘크리트내에 인장응력 철근으로 배근되어 있는 수직 연결철근이 가력 Actuator쪽의 경우는 작용응력을 철근 인장력으로 부담하고, 반대쪽은 접합면에 접합부 콘크리트의 압축 혹은 전단으로 부담하는데 따른 이부분의 분리과파가 먼저 일어나는것에 기인한 것으로 판단된다. 2층의 수평 접합부는 1층에 비해 미소하나 가력 Actuator쪽 접합부는 초기 10ton까지는 미끄러짐 변형이 거동하지 않고 있다가 하중 23ton에 이르기까지 비탄성 거동을 나타내고 있다. 그 이후에는 평탄한 소성변형을 보이고 있다. 반대쪽 수직 조인트는 초기 10ton까지 미끄러짐 변형이 없다가 계단형상으로 증가하는 양상을 나타내고 있다. 이 양상은 수직 접합부의 횡방향 철근의 접합면 구속과 압축 응력의 작용에따른 마찰력에 의한 미끄러짐 현상으로 보인다. 재가력시에도 같은 현상을 나타내고 있다. 하중의 경우도 재가력시에 더욱 낮은 하중에서 미끄러짐(초기 11ton→재하중시 5.0ton)이 발생하는것도 이것을 반증하는 현상이라고 할 수 있다. 수직 연결철근의 최대 변형도는 0.6%에 이르고 있으나 항복점(plateau)이 명확하게 나타나지 않았다.

4.2.4 벽판의 전단변형

Fig. 4.20을 보면 1층 수직 접합부의 초기 미끄러짐과 거의 같은 하중점(10ton)에서 1층 벽보의 전단변형이 일어나는 것으로보아 탄성범위 내에서는 보-기둥 거동을

하는 것으로 보이며, 전단변형 0.8%까지의 급한 비선형 거동후 소성변형 양상을 나타내면서 2.5%의 전단변형에 까지 이르고 있다. 소성범위에서 일정하중(25ton)에 대해 대략 1.5%의 전단변형이 계속된다는 것은 앞서 설명한 바와 같이 슬래브등의 다른부분으로 힘의 재분배가 이루어지고 있는 것으로 판단할 수 있다.

벽주의 경우는 최대하중에 이르기까지 면내 변형은 거의 무시할 정도이나 이후에는 급격한 소성 변형현상을 보여 0.09%의 변형을 나타내고 있다. 2층 벽판의 경우 벽보의 전단변형은 측정하지 않았으며 벽주는 최대 0.02%로서 무시할 만 하다.

4.2.5 수평 변위 성분

2층 벽보 중앙점에서 측정된 구조물 전체 변위성분을 Fig. 4.21과 같은 방식에 의하여 분석하면 표 4.2와 같은 수평변위로 나타낼 수 있다.

여기에서 벽판의 변형량은 구조물 전체 변위에서 측정하여 얻어진 벌어짐 및 미끄러짐을 뺀 값으로 구하였다. 표 4.2의 비교에서 보듯이 LPT1시험체와 LPT3시험체가 대체적으로 탄성 범위내에서는 벽판의 변형(주로 벽보)이 가장 크게 나타났고 가력하중이 증가함에 따라 접합부의 변형부담이 커지고 있다.

5. 결론

2개조의 시험체에 대한 일방향 단순 재하(Monotonic loading)시험결과를 분석 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 기초벽 상부면과 슬래브 하부면의 미끄러짐이 상대적으로 적은 변형량을 나타낸것은 접합면의 구속조건(이경우는 기초상부면의 턱에의한 구속)과 깔기 모르타채움의 밀실상태가 요인이 된것으로 판단된다.

나. 대체적으로 탄성범위의 하중내에서는, 구조물 전체 변위가 선형으로 거동하고 미끄러짐과 벌어짐이 경미한 것으로 보아 이 범위에서는 구조체가 전체적으로 일체식 작용을하고 접합부도 연속성이 있는 것으로 사료된다.

다. 콘크리트 습식 접합인 수직조인트에서는 각 층간에 탄소성 미끄러짐 거동을하며 일체성이 양호한 것으로 나타났으나 건식 수평 조인트는 미끄러짐 불연속이 발생하였다.

라. 접합부보다는 개구부 상부 벽보와 같은 취약부분에

서의 벽판의 파괴가 지배적이며, 이 부위의 연성(ductility) 확보를 위한 늘근 보강이 요구된다.

마. 수평 접합부와 수직 접합부에는 균열, 미끄러짐, 벌어짐파괴는 있었으나 접합부 철근의 절단에 의한 파괴는 일어나지 않았음에 비추어 볼때 접합부의 강도가 벽보등의 벽판부분(wall part)보다 상대적으로 큰것으로 나타났다. 수직 연결철근(vertical tie)의 최대변형도 범위에서 수평 드라이 조인트가 변형경화 현상을 보인것은 전단저항과 함께 인장응력을 부담하고 있는것으로 판단할 수 있다.

바. 미소한 벽주 부분의 변형에 비해 벽보(연결보)의 변형은 상대적으로 크며, 수직 접합면보다는 수평 접합면의 변위가 상대적으로 크게 나타난것에 비추어 볼때 수평 접합부와 벽보(coupling beam)가 전체거동에 큰 영향인자로 작용하고 있는것으로 판단된다.

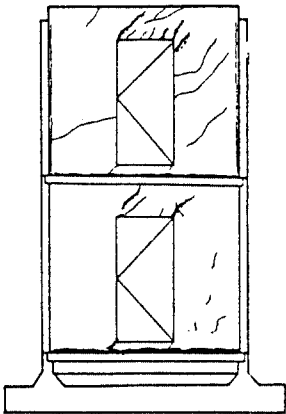


Fig. 4.1 시험체 균열 상황 (LPT1)

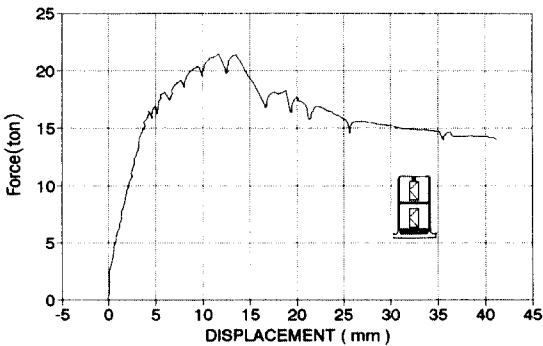


Fig. 4.2 구조체 전체의 하중-변위곡선 : D1(LPT1)

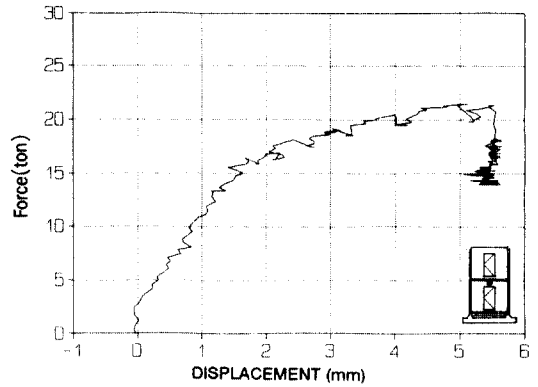


Fig. 4.3 구조체 전체의 하중-변위곡선(LPT1) : D2

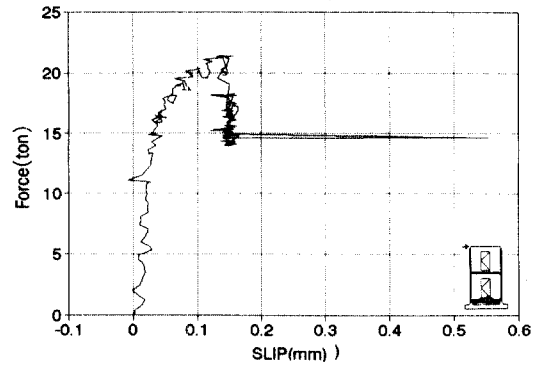


Fig. 4.4 1층 수평 접합부의 미끄러짐 하중-변위 곡선(LPT1) : SL1

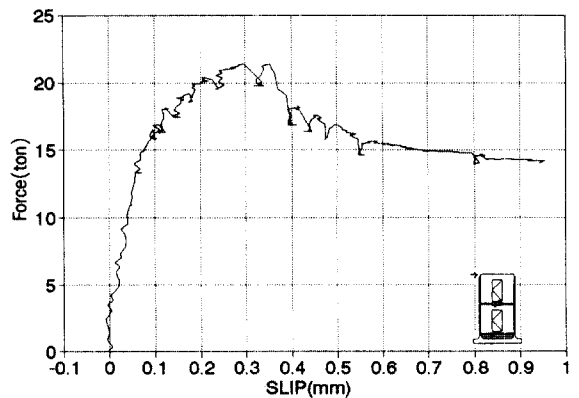
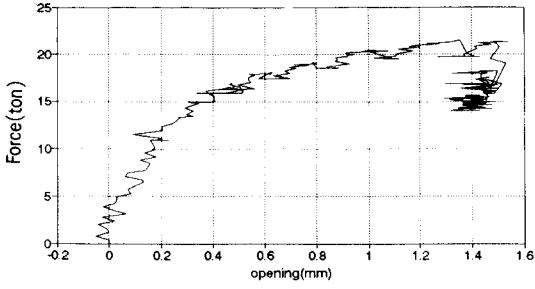
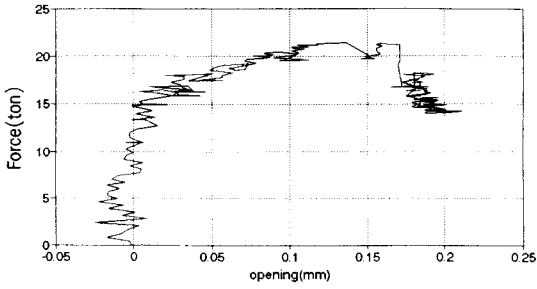


Fig. 4.5 2층 수평 접합부의 미끄러짐 하중-변위 곡선(LPT1) : SL2

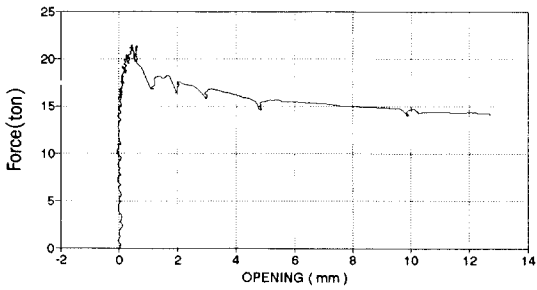


(a) 가력 Actuator쪽(이하 왼쪽으로 기술한다.)

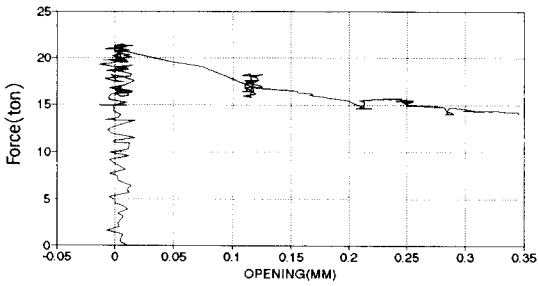


(b) 가력 Actuator반대쪽(이하 오른쪽으로 기술한다.)

Fig. 4.6 1층 수평 접합부의 벌어짐 하중-변위 곡선(LPT1) : 01, 02

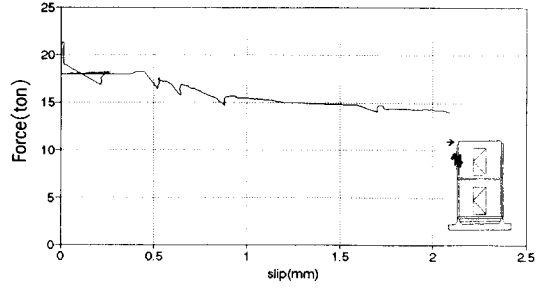


(a) 왼쪽

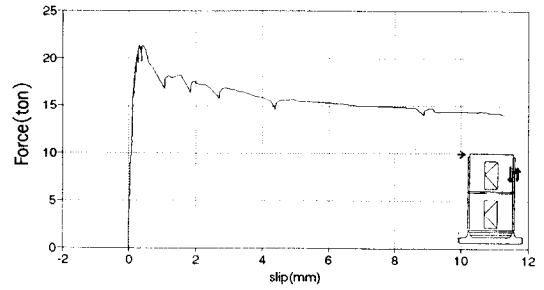


(b) 오른쪽

Fig. 4.7 2층 수평 접합부의 벌어짐 하중-변위 곡선(LPT1)



(a) 왼쪽



(b) 오른쪽

Fig. 4.8 2층 수직 접합부의 미끄러짐 하중-변위 곡선(LPT1) : SL 5, 6

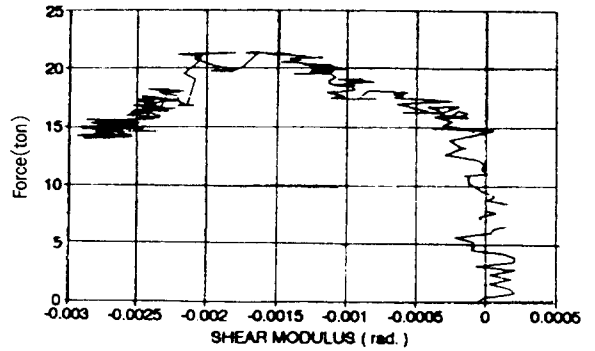


Fig. 4.9 벽보(coupling beam)의 전단변형 곡선(1층)

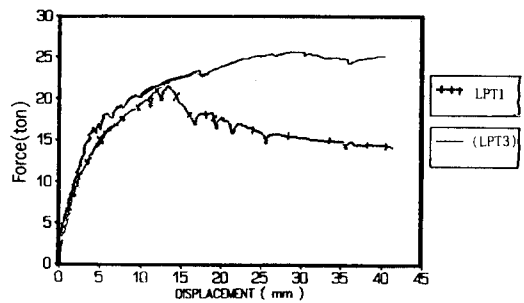


Fig. 4.10 2층 벽보 중앙점의 구조체 전체 하중-변위 곡선 : D1

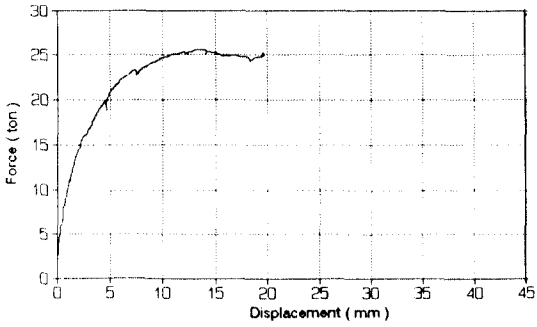
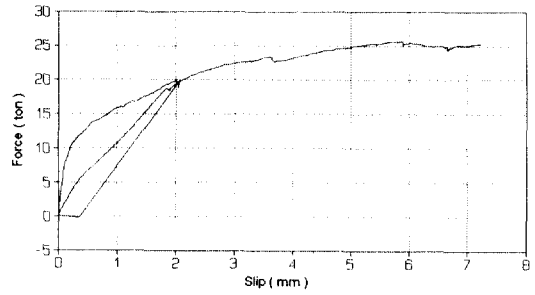
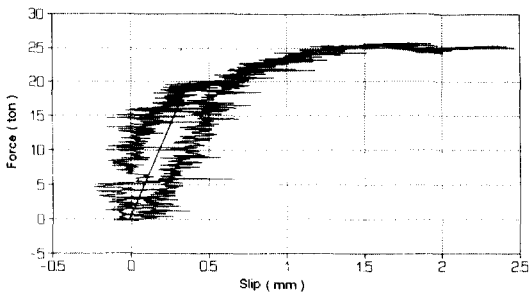


Fig. 4.11 1층 벽보 중앙점의 구조체 전체 하중-변위 곡선(LPT3) : D2

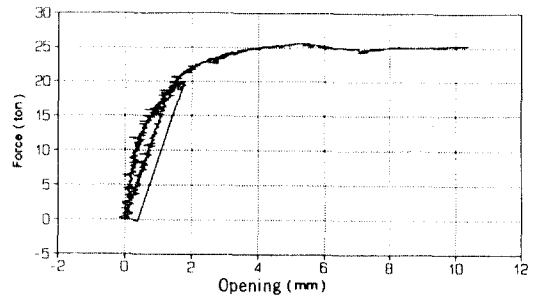


(b) 하부 접합면

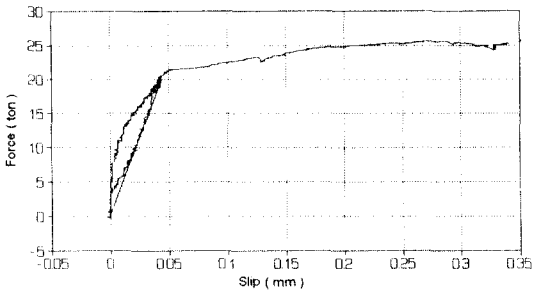
Fig. 4.13 2층 수평 접합부의 미끄러짐 하중-변위 곡선(LPT3)



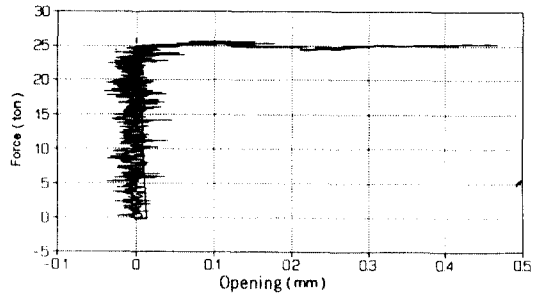
(a) 상부 접합면



(a) 왼쪽



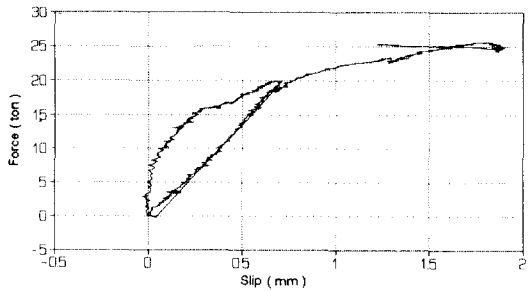
(b) 하부 접합면



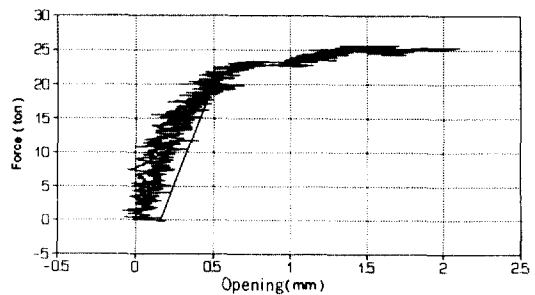
(b) 오른쪽

Fig. 4.12 1층 수평 접합부의 미끄러짐 하중-변위 곡선(LPT3)

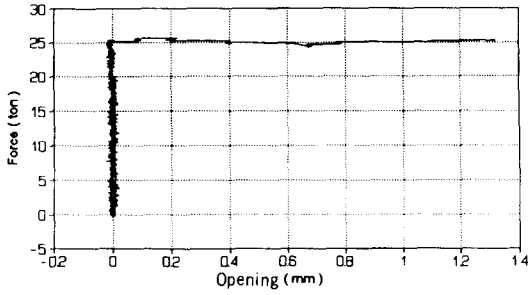
Fig. 4.14 1층 수평 접합부의 벌어진짐 하중-변위 곡선(LPT3)



(a) 상부 접합면

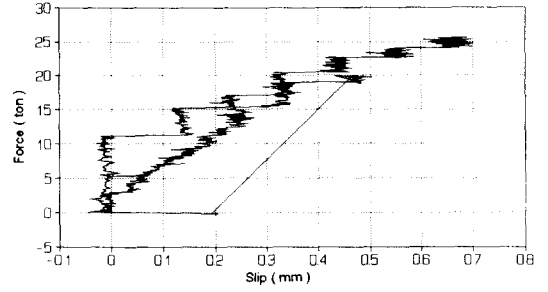


(a) 왼쪽



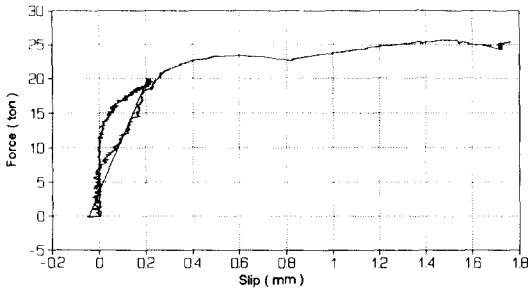
(b) 오른쪽

Fig. 4.15 2층 수평 접합부의 벌어짐 하중-변위 곡선(LPT3)



(b) 오른쪽

Fig. 2층 수직 접합부의 미끄러짐 하중-변위 곡선(LPT3)



(a) 왼쪽

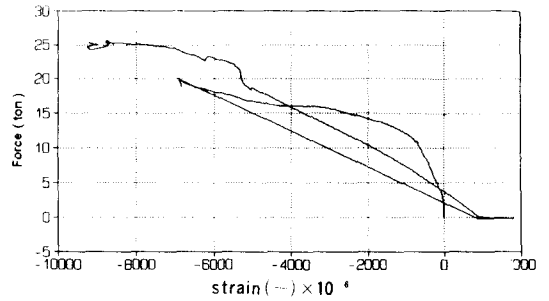
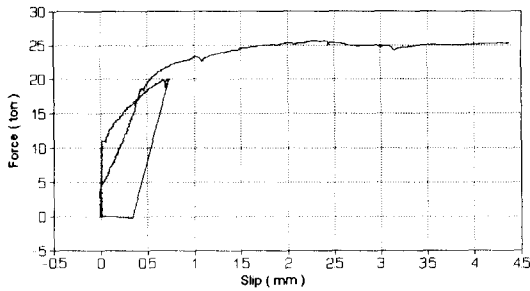


Fig. 4.18 수평 dry joint 변형도(LPT3)



(b) 오른쪽

Fig. 4.16 1층 수직 접합부의 미끄러짐 하중-변위 곡선(LPT3)

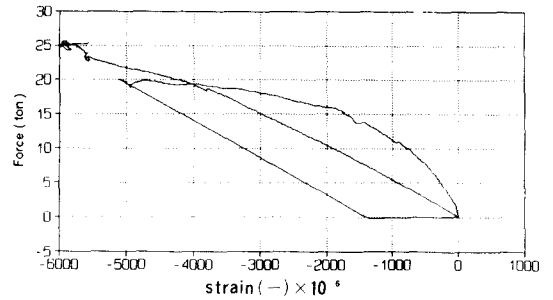
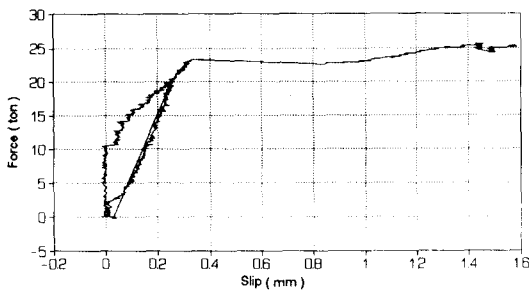


Fig. 4.19 수직 연결 철근(vertical tie)의 변형도(LPT3)



(a) 왼쪽

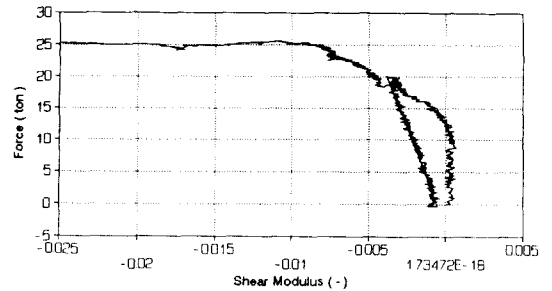


Fig. 4.20 1층 벽보의 전단 변형(LPT3)

표 4.2 구조물 전체 변위 성분분석

시험체명	하중	벽보 중앙점 전체변위 DT (mm)	집합부 벌어짐 OP (mm)			집합부 미끄러짐 DS (mm)			벽판의 변형 DP (mm)		비고
			1층	2층	1+2층변위의 DT에 대한 비율(%)	1층	2층	1+2층변위의 DT에 대한 비율(%)	1+2층	전체변위 DT에 대한 비율(%)	
LPT 1	탄성하중 (15.8t)	4.	0.89	-	22.2	0.05	0.67	18.0	2.39	59.8	• $h_1 = 2600$ $h_2 = 2350$ $h = 4950$ $b = 2600$ • 벽판의 변형은 DT - (OP + DS)
	최대하중 (21.5t)	13.5	3.16	0.54	27.4	0.14	2.8	21.8	6.86	50.8	
	파괴하중 (14.0t)	41.	3.05	12.02	36.76	0.18	3.58	9.2	22.17	54.1	
LPT 3	탄성하중 (10.5t)	2.5	0.57	0.18	30.0	0.01	0.3	12.4	1.44	57.6	
	최대하중 (25.5t)	30.3	10.28	1.45	38.71	1.77	7.5	30.60	9.3	30.60	
	파괴하중 (25.5t)	47.	20.31	3.07	49.74	2.84	9.0	25.19	11.78	25.06	

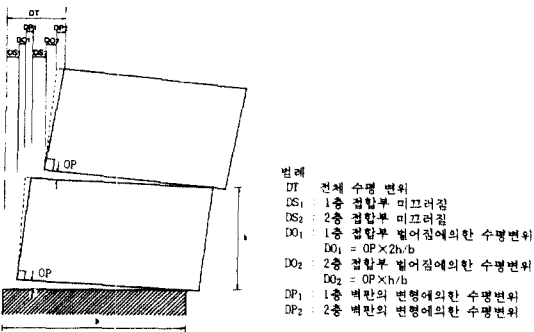


Fig. 4.21 구조물 전체 수평 변위 성분

참고 문헌

1. R. Park., "Seismic design developments and provisions

in New Zealand for prefabricated concrete buildings", proceedings, ATC-8, Applied Technology Council, Berkeley, California, 1981, pp.24-49.
 2. A. Scanlon., "Behavior of Large panel precast coupled wall systems subjected to Earthquake loading", PCI Journal, Vol.33, No.5, September-October, 1988.
 3. Una Irlan Zeck., "Joint in Large Panel Precast Concrete Structures", Seismic Resistance of Precast concrete panel buildings Report No.1, MIT, January 1976.
 4. 末永保美., "中層壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造について, 콘크리트ジャー널 Vol.12, No.7, July 1974
 5. 高坂清一., "프레하브건축의 構造計劃과 設計", 集文社, 昭和51年, pp.109-118.
 6. (주)한성., "조립식건축표준시방서(안)", 1981, pp.75-82.

(접수일자 : 1991. 5. 30)