

# 조립식 콘크리트 대형판구조물의 접합부 전단내력특성에 관한 실험적 고찰

## A Experimental Study on the Shear Resistant Characteristics of the Large Precast Concrete Panel Structures

송영훈\*, 전상우\*\*, 윤정배\*\*\*, 정일영\*\*\*\*

### Abstract

Precast concrete panel buildings are designed to transmit shear forces through the joints between the reinforced concrete panels. The shear strength is partly provided by the resistance to sliding at the interface between the precast and in-situ concrete and partly by the dowel action of the reinforcement crossing the joint. The shear resistance to sliding is largely dependent on the shapes and configurations of vertical joints and the vertical loads of horizontal joints. In this paper, the shear strength by the difference of relative strength between panel and joint, the effect of reinforcement, and the effect of vertical load are considered.

## 1. 서론

### 1.1. 연구 개요

대형 프리캐스트 벽식구조물은 공장생산된 벽판과 벽판을 서로 연결시키는 현장타설 접합부에 의해 구성된다. PC 벽판과 접합부는 서로 다른 건조수축에 의해 미세한 균열이 발생하여 벽판과 접합부의 계면(Interface)에서 분리가 일어나게 된다. 따라서 접합면에 취약면이 생기고 고정하중과 적재하중에 의한 불균등한 수직하중, 기초의 부동침하, 그리고 지진이나 바람동에 의한 횡하중으로 인하여 접합부에 미끄러짐과 벌어짐이 생기게 된다.

특히 일체식 거동을 중심으로 유도된 현행내진 기준들을 PC 구조물에 적용할 경우 접합부의 취약성에 의해 일체식 벽식구조물에 비해 내진 성능이 떨어지며 접합부의 전단강도와 전단변형(미끄러짐)에 의해 전체적인 PC 구조물의 성능이 좌우된다.

### 1.2. 연구 목적

두 벽판사이의 상호작용은 접합부의 전단강성에 크게 의존하며 미끄러짐에 대한 접합부의 전단강도는 PC벽판과 접합부사이의 계면에서의 전단에 대한 저항성과 접합부를 가로지르는 보강철근의 다우얼(DOWEL)작용에 의해 크게 나누어질 수 있으며 계면에서의 전단저항성은 접합부의 형상 및 여러변수들에 좌우된다. 따라서 본연구

는 PC벽식구조물의 전체적인 안정성과 일체성을 유지하기 위하여 접합부에 대한 내진특성을 정형화하고 내진성능개선을 목적으로 접합부의 전단강도특성에 대한 실험을 수행하였다.

### 1.3. 기존 연구 분석

수직접합부에 대한 극한전단강도능력(ultimate shear strength capacity)을 평가하기 위한 실험 및 이론적인 연구가 진행되어왔으며, 여러 실험식이 제안되었다. 또한 실제 설계에 있어서 사용되는 대부분의 기준이나 식들은 ACI 318-83의 "Building Code Requirement for Reinforced Concrete"나 BS의 "Structure Use of Concrete, Part1"에 나타나 있는 전단마찰이론을 수정한 형태의 식들이며 이를 정리하면 표 1.과 같다.

## 2. 접합부의 실험방법

본연구는 고층아파트의 프리캐스트 콘크리트의 사용이 날로 증가하고 있는 상황에서 실제 사용하고 있는 삼환 까뮤(CAMUS)공법을 기초로 벽판과 접합부에 관해 수직과 수평으로 나누어 실험하여 접합부 전단내력과 거동결과를 얻으므로써 내진성능의 평가 및 개선방안의 기초를 얻고자 하였다

### 2.1. 실험범위 및 변수

국내외에서 연구된 바에 의하면 조립식 벽식구조물의 접합부에 대한 거동 및 내력특성에 영향을 미치는 주요 변수들로는 콘크리트의 강도, 접합면에서의 초기마찰계수, 전단키의 유무 및 단위길이당 갯수, 전단키의 형상, 보강철근의 유무 및 단위길이당 갯수, 접합부에 작용하는 압축력의 크기, 벽체의 두께 등이 있으며, 본연구에서는 다음을 주요 변수로 하였다.

\* 서울대학교 박사과정

\*\* 서울대학교 석사과정

\*\*\* 정회원, 경상대학교 부교수

\*\*\*\* 정회원: 서울대학교 정교수

표 1. 수직접합부 극한전단강도의 제안식들

연구자	제안식	비고
Cholewicki	$V_u = 0.7 f_a A_k$ $V_u = 0.9 f_a A_k + 98.1 A_s$	For unreinforced joint For reinforced joint
Hansen et al.	$V_u = 0.09 f_c' A_k + f_y A_s$	Subjected to the conditions $0.01 < \eta < 0.08$ , $f_y > 6000$ kg/cm <sup>2</sup> , $0.2 < A_w/A < 0.5$ , and height/depth of shear keys > 8
Chakrabati, Nayak, and Paul	$V_u = 0.0963 f_c' A_k + 0.5324 f_y A_s$ $V_u = f_c' A_k (0.37 - 0.76 \eta_k) + 0.76 \eta_k f_y A_s$	For $\eta_k > 0.104$ For $\eta_k < 0.104$
Abdul-Wahab	$V_u = 0.3 A_k \sqrt{f_c'} + V_d$ $V_d = n S d f_c'$ or least $V_d = 1.3 n d^2 \sqrt{f_c' f_y}$ value	For keyed joints
ACI 318-83	$V_u = \mu A_s f_y$	For plane joints $\mu = 0.6$ , For keyed joints $\mu = 1.0$
BS 8110-85	$V_u = 0.6 A_s f_y \tan \alpha_j$	For plane joints $\tan \alpha_j = 0.7$ , For keyed joints $\tan \alpha_j = 1.4$

- (1) 벽판과 접합부의 상대강도비
- (2) 보강철근의 유무에 의한 연성효과
- (3) 수평접합부의 경우 압축력의 크기에 따른 영향

수직접합부는 1줄눈형의 전단키를 가지는 형태를 사용하였으며, 수평접합부는 웨지형 접합을 대상으로 하였다(그림 1. 과 그림 2.). 각 변수 별로 2개의 실험체를 제작하여 전단력과 미끄러짐에 대한 관계를 조사하고, 전단강도를 추정하였다.

2.2. 실험체 제작, 재료실험 및 가력장치

2.2.1. 실험체 제작

실험체는 수직과 수평접합부로 나누어 제작하였으며 동일한 변수를 갖는 실험체를 각 2개씩 만들어 각 8개의 실험체를 제작하였다. 콘크리트의 강도는 벽판과 접합부콘크리트의 강도를 다르게 하여 상대강도비를 2가지 종류로 하였다. 실험체의 크기는 폭과 높이를 실제 벽판크기의 1/3로 축소하고 두께 및 전단키의 형상, 크기, 그리고 철근의 단면적은 실물크기를 사용하여 마치 실제 조립식 벽체에서 일부분만을 가져와 실험하는 효과를 나타내었다. 또한 접합부의 타설과정도 실제와 일치시키기 위하여 수직의 경우는 종타설을 수평의 경우는 횡타설을 하였다.

실험체 제작의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 크기: 실제 벽판의 1/3로 제작하고 접합부의 내부형상은 실물크기와 동일하게 하였다.
- (2) 실제 시공과정과 동일한 조건하에서 벽판 및 접합부를 제작하였다.
- (3) 콘크리트 강도는 접합부의 경우 270kg/cm<sup>2</sup>로 하고 벽판의 경우 270kg/cm<sup>2</sup>와 350kg/cm<sup>2</sup>의 두가지로 하여 상대강도비를 주었다.
- (4) 보강철근의 유무에 따라 두가지 종류로 나누어지며 있는 경우 한 실험체당 8개의 보강철근(D9)이 들어가 있다.
- (5) 수평접합부의 경우 전단키가 없으며 수직접합부의 경우는 한 실험체당 3개의 전단키가 있다.

위에서 언급한 실험체의 형상은 그림 1.에서 그림 3.까지 잘 나타나있다. 수직, 수평접합부의 변수에 따른 조합의 경우가 표 2.에 전체적으로 정리되어 있다. 부재의 기호화에 따른 설명은 다음 예와 같다.

<예>  $\frac{V}{U} \frac{E}{-} \frac{1}{-} \frac{27}{-}$

① ② ③ ④ ⑤

- ① : 수직 (V) 과 수평 (H) 실험체의 구분
- ② : 무보강 (U) 과 보강 (R) 실험체의 구분
- ③ : 판넬과 접합부의 상대강도의 차이 구분 ( Equal , Great )
- ④ : 수직접합부의 경우: 동일한 변수를 가진 2개 실험체의 일련번호  
수평접합부의 보강인 경우: 동일한 변수를 가진 4개 실험체의 일련번호  
수평접합부의 무보강인 경우: 축력의 정도에 따라

1인 경우:  $f_c' A_c \times \frac{5}{100}$

2인 경우:  $f_c' A_c \times \frac{2.5}{100}$

- ⑤ : 판넬강도의 구분  
( 27 : 270kg/cm<sup>2</sup> , 35 : 350kg/cm<sup>2</sup> )

\* 실험체 제작 및 양생

본실험을 위한 실험체 판넬은 실제의 상황과 같은 조건에서 제작, 양생되었으며 압축강도를 측정하기 위한 실린더 공시체의 제작과 양생도

병행되었다. 또한 보강철근의 인장곡선을 측정하기 위하여 접합부 콘크리트 타설전에 스트레인 게이지를 부착하였다. 실험체의 판넬 제작에 사용된 콘크리트의 성상은 표 3과 같으며, 현타설된 접합부 콘크리트의 성상은 표 4이다.

표 2. 실험체 판넬의 종류와 변수

단위 : kg - cm

시험체 I. D. N. O.	시험체		철근		판넬 강도		접합부강도
	수직	수평	보강	무보강	270	350	
1-1	VUE-1-27	●			●	●	●
1-2	VUG-1-35	●			●		●
1-3	VRE-1-27	●	●		●		●
1-4	VRG-1-35	●	●			●	●
1-5	VUE-2-27	●		●		●	●
1-6	VUG-2-35	●		●		●	●
1-7	VRE-2-27	●	●			●	●
1-8	VRG-2-35	●	●				●
1-9	VRE-C-27	●	●			●	●
2-1	HUE-1-27		●		●	●	●
2-2	HUG-1-35			●		●	●
2-3	HUE-2-27	●		●		●	●
2-4	HUG-2-35	●			●	●	●
2-5	HRE-1-27	●	●			●	●
2-6	HRE-2-27	●	●			●	●
2-7	HRE-3-27	●	●			●	●
2-8	HRE-4-27	●	●			●	●

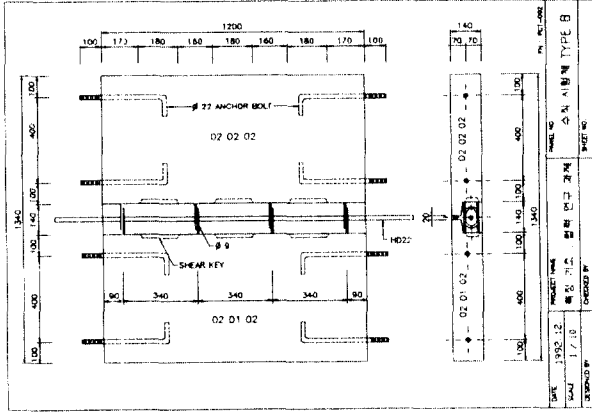


그림 1. 보강 수직실험체의 형상

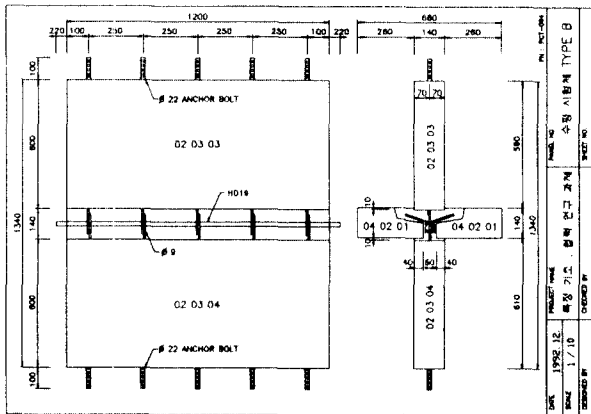


그림 2. 보강 수평실험체의 형상

2.2.2. 재료실험 결과

P.C. 판넬 및 접합부콘크리트의 재료실험은 15cm \* 30cm 규격의 공시체로 압축강도와 인장강도(탈열강도)를 측정하였다. 이의 결과는 표 5와 같다.

2.2.3. 가력 장치

수직접합부의 실험의 경우 판넬자중에 의한 압축력의 크기는 매우 작아 실험의 편의를 위하여 수평실험체와 같이 가로로 뒀어서 실험을 수행하였다. 실험체의 하중가력지점 및 모멘트를 상쇄시키기 위한 평형지지력 부분과 변위계의 위치는 그림 4.에 나타나있다.

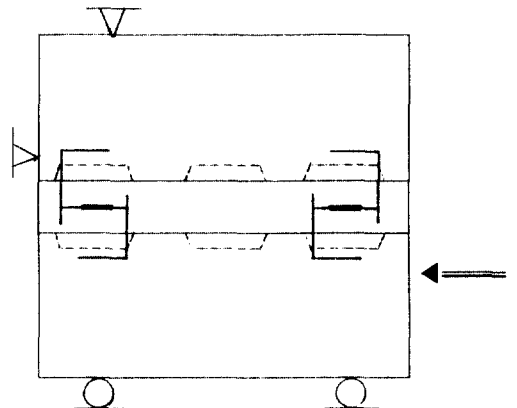


그림 3. 실험체의 가력지점 및 모멘트 평형지지력 위치도

표 3. 실험체 판넬의 콘크리트 배합표

물 드	설계강도(kg/cm <sup>2</sup> )	굵은골재치수(mm)	슬럼프(cm)	공기량(%)	W(kg)	C(kg)	S(kg)	G(kg)	고강도고유동 화계(kg)
बाट데리	270	25	15	3	181	362	791	993	1.5
Table	270	25	5	3	164	336	824	1,026	1.4
	350	25	5	3	171	475	749	1,012	1.8

표 4. 실험체 접합부의 콘크리트 배합표

접합부	설계강도(kg/cm <sup>2</sup> )	굵은골재치수(mm)	슬럼프(cm)	공기량(%)	W/C(%)	W(kg)	C(kg)	S(kg)	G(kg)	무수축 계
수 직	270		15	5	55%	327	595	1,338		29.75
수 평	270	13	15	3	47%	217	462	813	889	

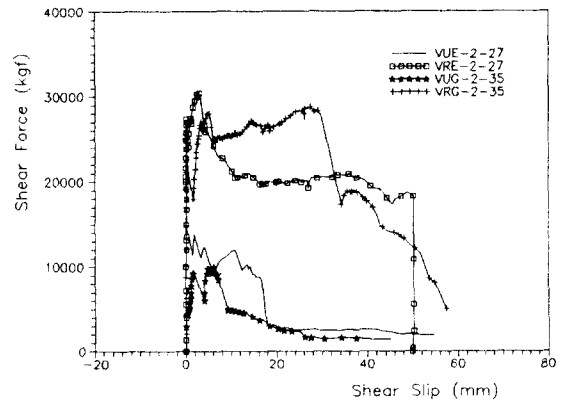
표 5. P.C. 판넬과 접합부콘크리트의 강도 실험결과

부재	강도	설계강도(kg/cm <sup>2</sup> )	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )
판넬 1		270	259.5 (28일 수중양생) 296.1 (실험체 동일 자연양생)	
판넬 2		350	363.7 (28일 수중양생) 365.3 (실험체 동일 자연양생)	32.0
수직접합부		270	293.0	
수평접합부		270	274.8	22.5

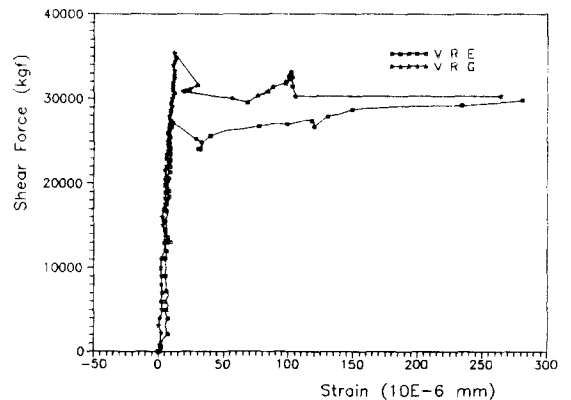
3. 실험결과

3.1. 수직접합부의 실험결과

3.1.1. 전단하중과 미끄러짐 변위곡선



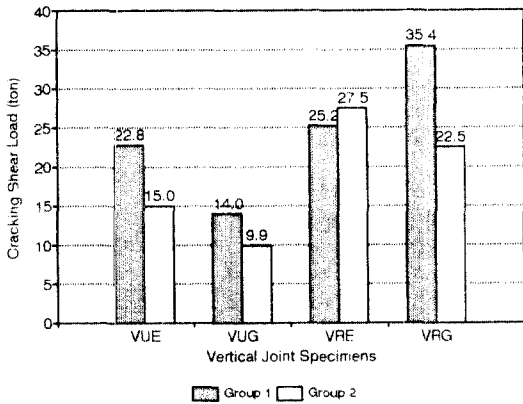
(a) 수직실험체의 하중-변위 곡선



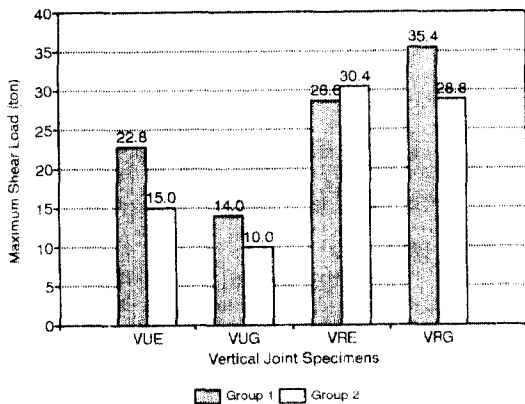
(b) 보강철근의 인장곡선

그림 4. 수직실험체의 실험결과

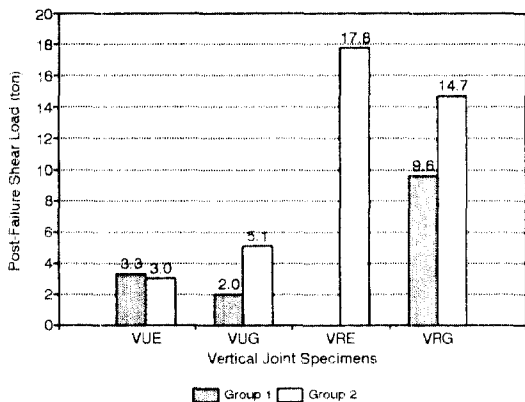
### 3.1.2. 단계별 전단강도



(a) 균열 전단 강도



(b) 최대 전단 강도



(c) 파괴이후의 전단강도

그림 5. 수직실험체의 단계별 전단강도

### 3.2. 수평접합부의 실험결과

#### 3.2.1. 전단하중과 미끄러짐 변위곡선

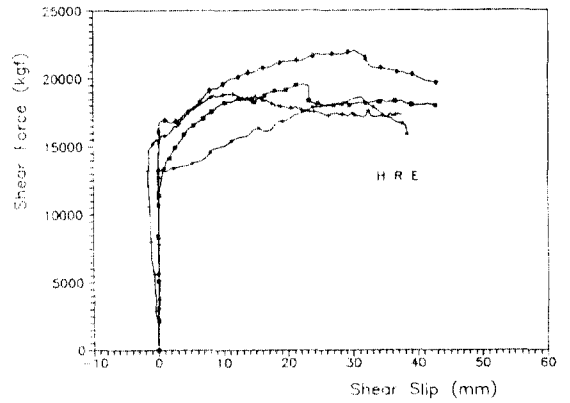


그림 7. 보강 수평실험체의 실험결과

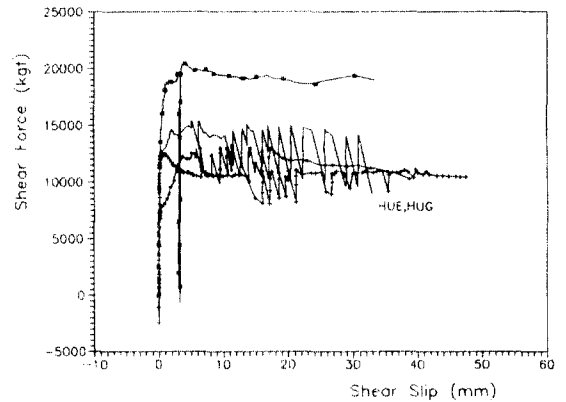
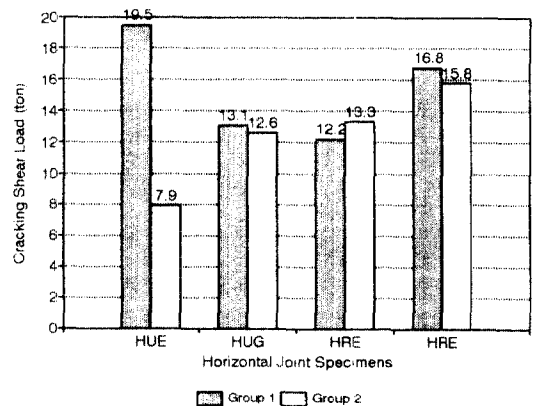
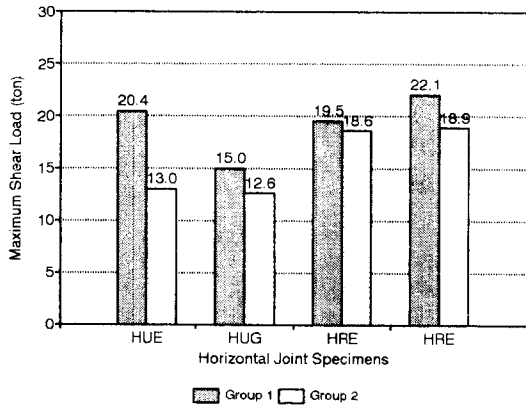


그림 6. 무보강 수평실험체의 실험결과

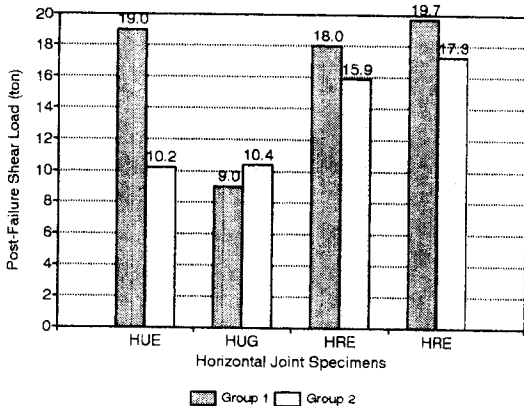
#### 3.2.2. 단계별 전단강도



(a) 균열 전단 강도



(b) 최대 전단 강도



(c) 파괴이후의 전단강도

그림 7. 수평실험체의 단계별 전단강도

#### 4. 실험결과에 대한 분석

##### 4.1. 보강철근의 유무에 의한 분석

###### 4.1.1. 수직접합부의 경우

전반적으로 보강철근이 있는 경우의 실험체의 단계별 전단강도가 크게 나타났다. 무보강실험체의 경우 균열전단강도와 최대전단강도가 같은 지점에서 발생하고, 균열이후 급격히 강도가 떨어지는 현상이 나타났다. 반면에 보강실험체의 경우 균열이 일어난 이후에도 전단강도가 증가하다가 최대전단강도부터는 서서히 감소하여 어느 정도의 전단강도를 유지하는 현상이 나타났다. 이는 균열이후 철근의 작용으로 인하여 전단강도가 증가하다가 철근이 항복된 다음 서서히 강도가 떨어지며, 어느 정도의 전단강도를 확보함을 보여주고 있다. 따라서 보강철근의 효과가 접합부의 연성도 증가에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

###### 4.1.2. 수평실험체의 경우

수평실험체의 경우 수직압축력의 영향에 의해 균열이후의 전단강도의 급격한 감소현상이 생기지 않았으며, 단계별 전단강도의 비교에서도 큰 차이가 나지 않았다. 또한 수직실험체의 경우와 마찬가지로 보강철근이 있는 경우의 전단강도가 크게 나왔으며 수직압축력과 상호작용으로 균열이후 전단강도의 증가가 뚜렷히 나타나 변화가 상당히 진전된 이후 최대강도에 도달함을 알 수 있다.

#### 4.2. 상대강도차이에 의한 분석

무보강실험체에서 벽판의 강도가 접합부보다 큰 경우, 전단강도가 비교적 작게 나온 것으로 보아 최소한 접합부의 강도를 크게 하는 것이 유리하다고 판단된다. 그러나, 보강철근이 있는 경우에는 벽판의 강도가 큰 경우가 유리하며, 이는 부착강도의 증가에 따라 보강철근의 구속력이 증가하여 전단저항에 효과가 있는 것으로 판단된다.

#### 5. 결론

본 연구를 토대로 설계기준 및 기존의 제안식들과의 비교분석, 내진성능을 규명하기 위한 반복하중실험과 접합부의 전단강도에 영향을 미치는 변수들에 대한 연구를 통하여 연성거동 및 이력거동의 모형을 찾아내어 내진특성을 정형화하고자 한다.

\* 감사의 글 : 본 연구는 (주)삼환까무와 '92한 국과학재단 협력연구 지원에 의한 연구의 일부이며, 도와주신 모든 분께 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

- Hansen, K.; Kovyrchine, M.; Melhorn, G.; Olsen, S.C.; Pum, D.; and Schwing, H., "Design of Vertical Keyed Shear Joints in Large Panel Building," Report of the CIB Working Commission W23A, Building Research and Practice, July-Aug. 1974, pp.207-215.
- Tassios, T.P., and Tsoukantas, S.G., "Serviceability and Ultimate Limit-States of Large Panel Connections under Static and Dynamic Loading," Proceedings, RILEM-CEB-CIB Symposium on Mechanical and Insulating Properties of Joints of Precast RC Elements, V.I, Athens, 1978, pp.241-258.
- Chakrabati, S.C.; Nayak, G.C.; and Paul, D.K., "Shear Characteristics of Cast-in-Place Vertical Joints in Storeyhigh Precast Wall Assembly," ACI Structural Journal, V.85, No.1, Jan.-Feb. 1988, pp.30-45.
- Hashim, M.S.; Abdul-Wahab, S.Y.H.; and Sarsam, "Prediction of Ultimate Shear of Vertical Joints in Large Panel Structures," ACI Structural Journal, March-April 1991, pp.204-213.
- Susan D.Huey; Alan Clarke; and Kurt H.Gerstle, "Shear Strength of Horizontal Wall Panel Joints," PCI Journal, July-Aug. 1990, pp.84-91.