

대형 콘크리트 판넬 구조의 수직접합부 내력에 관한 고찰

Strength of Vertical Joints in Large Concrete Panel Structures

○이 용 재*
Lee, Yong Jae

서 수 연*
Seo, Soo Yeon

이 원 호**
Yi, Waon Ho

이 리 형***
Lee, Li Hyung

ABSTRACT

In large panel structures, the design of joints which interconnect panels, is important deciding the load-bearing capacity of structures. Being various factors in the design of joints, it is difficult to develop a the critical system for the structural analysis of large concrete panel structures. Therefore there is a tendency to depend on the experiment. The purpose of this paper is to investigate the strength and the mechanical behavior of vertical joints in large concrete panel structures.

1. 서론

최근 6층 이상의 모든 건물에 내진설계를 의무적으로 수행하도록 함에 따라 대형콘크리트 판넬구조의 고층화에 따른 내진설계 기술의 개발이 중요한 관심 사항으로 대두되고 있다. 대형콘크리트 판넬 공법의 구조적 특징은 벽판인 수직부재와 바다, 지붕판인 수평부재가 조립되어 지진하중 등 수평하중이 작용될때 판넬부재의 부속작용과 판막작용을 통해 전체적으로 일체화된 구조시스템을 형성하여 구조의 안정을 이룩하는 것이다. 그러나, 조립식 건물에서 필연적으로 발생하는 접합부로 인해 대형콘크리트 판넬 공법은 구조일체성이 부족한 취약점을 지니고 있다. 그러므로, 대형 콘크리트 판넬 공법에 있어서 접합부에 대한 검토가 가장 중요하다.

일반적으로 대형콘크리트 판넬 공법의 접합부는 수평 및 수직 접합부로 대별되는데 수직접합부는 접합부 거동이 벽판넬 사이에서 커플링미디어(Coupling Media)와 같기 때문에 대형콘크리트 판넬 구조의 안정성에 중요한 역할을 한다¹⁾. 수평접합부는 비록 구조시스템에서 취약한 부위이지만 접합부에 작용하는 힘이 주로 벽판자중과 적재하중에 의한 압축력이기 때문에 수평접합부 보다는 강성이 크다. 따라서 본 논문은 대형콘크리트 판넬구조 수직접합부의 실험자료를 검토해 합리적인 접합부 설계에 대한 기초적인 자료를 제시함을 목적으로 한다.

2. 접합부의 거동

대형콘크리트 판넬 구조의 벽체에 수평력이 작용하면 프리캐스트 판넬 접합부에는 분리가 발생하고, 응력이 크게 작용하는 부분의 접합부 콘크리트에 균열이 발생하여 강성이 저하되며 응력이 재분배된다. 더구나, 수평력이 증가하면 접합부 전단키가 부분적으로 파괴되기 시작하여 내력과 강성이

급속히 저하된다. 이때 접합부 보강근은 항복에 가까운 큰 변형에 도달하게 된다. 수평력의 증대에 의해 응력이 재분배되고 접합부 파괴범위가 확대되어 벽체의 수평강성이 서서히 저하된다.

기존의 실험결과에 의하면 접합부에 작용하는 전단력과 변위와의 관계는 그림 1과 같은 공봉점을 지니고 있다. 즉, 점 1에서 분리가 시작되고, 점 2에서 접합부에 균열이 발생하며, 이때 Loop철근의 변형도는 증대하게 된다. 그리고 점 3에서 최대 내력에 도달하면서 접합부 콘크리트의 전단키가 파괴된다. 최대내력 이후의 거동에 있어서는 실험체 마다의 큰 차이는 보이고 있으나, Loop철근량이 적은 것은 취성파괴를 하는 반면, Loop철근량이 많은 것은 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다.

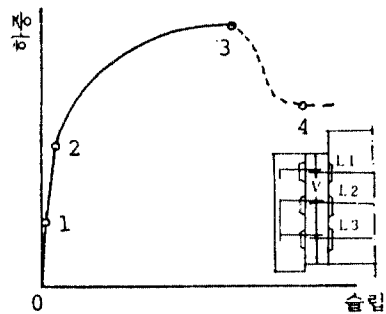


그림 1 수직접합부의 전형적인 하중-슬립 곡선

3. 수직접합부 내력에 영향을 미치는 요인

수직접합부의 전단내력에 영향을 미치는 요소로는 전단 키의 형상, 갯수, 단면적, 그리고 Loop 철근비, 접합부 충전재의 압축강도 및 외부로 부터 접합부에 수직으로 작용하는 구속력 등을 들 수 있다. 전단키 접합방법을 사용한 접합부가 전단력에 저항하는 요인은 접합부 충전 콘크리트와 벽판넬의 부착력에 의한 전단저항과 수평보강 철근의 장부작용에 의한 전단저항, 전단키에 의한 전단저항으로 대별 할 수 있다.¹⁾ 그러나 부착력에 의한 전단저

* 정회원, 한양대 대학원

** 정회원, 광운대 조교수, 공박

***정회원, 한양대 교수, 공박

함은 콘크리트의 건조수축과 온도영향 등을 고려하면 설계상 무시하는 것이 타당하다¹²⁾.

수직접합부의 전단 저항에 유효하다고 평가되는 요인들에 대해 기존의 연구에서 채택한 변수들을 살펴보면 표 1과 같다.

표 1 기존의 실험에서 채택한 변수

실험체에 사용된 변수	윤재환 (1979)	김성수 (1980)	이장근 (1986)	김성수 (1991)	이용재 (1992)
전단 키 갯수	●				
수평 보강철근의 결합방법	●	●	●		
충진제의 혼화제 사용 효과		●			
접합부 형상(1줄눈, 2줄눈, 상자)		●	●		
접합부충진제(모르터, 콘크리트)			●		
습식과 건식공법			●		
수평보강철근 위치	전단키내부	●	●		●
	전단키외부			●	●
Loop 철근형				●	●
벽두께				●	●
접합부 충전 모르터 양생기간				●	
접합부의 형태	●		●	●	●
실험체 수	11개	24개	19개	60개	26개

3.1 전단키에 의한 전단저항

충진콘크리트 또는 몰탈에 의하여 접합된 수직접합부에 전단력이 전달되는 경우 그의 거동은 몇가지 변수에 의해 좌우된다. 이것들 가운데 가장 유효한 접합부의 형상이 전단키에 의한 접합이다. 그림 2에는 전단키에 의한 전단저항을 검토하기 위하여 실험체의 전단키 수에 대한 전단내력을 비교하여 나타내었다. 그림 2에서와 같이 수평보강 철근을 용접한 경우에 있어서 전단키가 4개인 경우가 3개인 경우에 비해 초기균열하중, 사인장균열하중 및 최대하중에서 약 10% 정도의 내력이 상승함을 보여주었으며, 수평보강 철근을 용접하지 않은 실험체들에 대해서도 약 50% 정도의 내력이 상승하였다²⁾. 따라서, 전단키에 의한 전단저항은 매우 효과적인 것으로 판단된다.

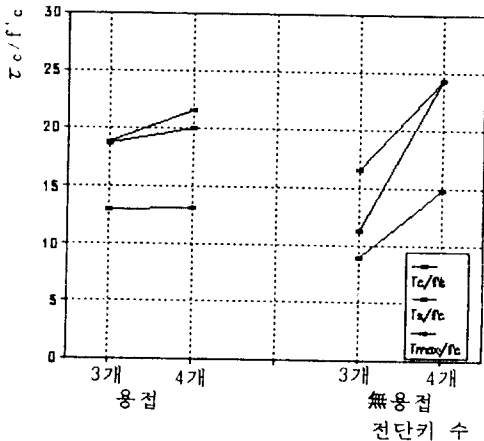


그림 2 전단키 수에 의한 전단내력 비교

3.2 수평보강 철근에 의한 전단저항

접합부에 배근된 수평보강 철근은 장부작용

(Dowel Action)에 의한 보강철근의 휨, 전단, 비틀림에 의해 전단력에 저항한다. 그림 3은 Loop철근비에 대한 최대하중을 비교한 그림으로서, 그림 3에서와 같이 Loop철근비가 0.37에서 1.12로 증가함에 따라 실험체 최대내력의 상승에는 별로 효과적이지 못한 것으로 나타났다. 그러나 Loop철근을 배근한 실험체는 최대하중 이후의 거동에 있어서 Loop철근이 배근되지 않은 실험체에 비해 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났으며, 그림 4에서와 같이 Loop철근의 위치에 있어서는 전단키 내에 배근된 경우가 전단키 외에 배근된 실험체 보다 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다⁶⁾.

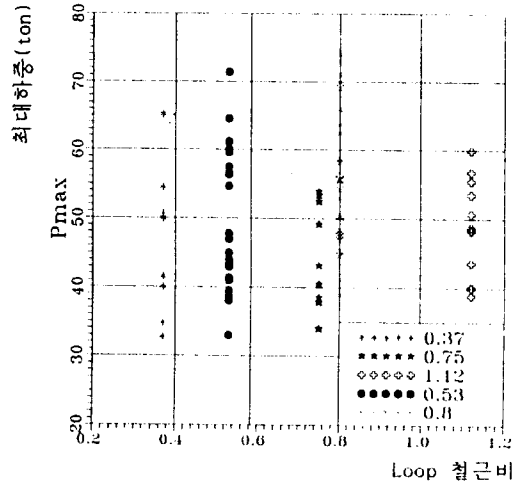


그림 3 Loop철근비에 따른 전단내력 비교

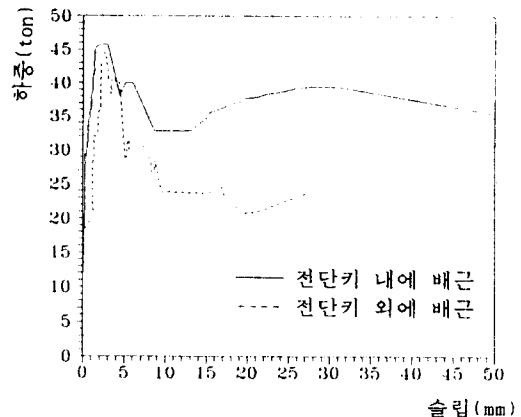


그림 4 Loop철근 배근 위치에 따른 전단내력 비교

3.3 접합부 충전 모르터 압축강도에 따른 영향
전단키 접합에 의한 접합부의 파괴형태는, 충전 모르터의 압축파괴, 전단키의 수직 전단파괴, 전단키 단부 콘크리트의 압괴 등으로 구분할 수 있다. 따라서, 접합부 충전 모르터의 압축강도가 최대 내력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 그림 5에 접합부 충전모르터의 압축강도와 최대 내력과의 관계를 나타내었다.

그림 5에서와 같이 접합부 충전 모르터의 압축강도가 증가함에 따라 최대내력이 전반적으로 증진됨을 알 수 있다. 따라서 접합부 충전 모르터의 압축강도는 최대 내력 증진에 효과적으로 작용하는 것으로 판단된다.

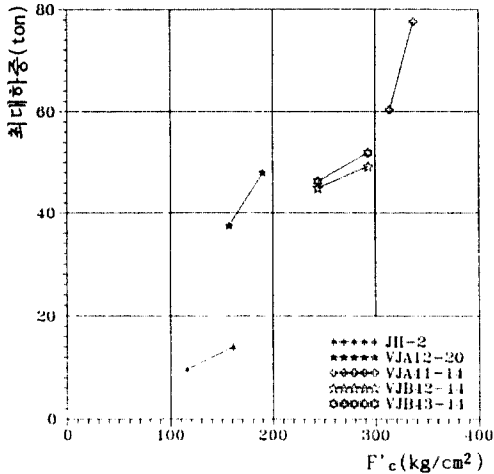


그림5 충전모르터의 압축강도와 최대내력과의 관계

4. 수직접합부 전단내력식의 제안

본 연구에서는 전단 키의 유효 전단면적에 대한 전단파괴 형태를 전제로 하여 종국 전단 내력식을 유도하기로 한다.

접합부의 전단 저항은 전단 키에 의한 전단저항과 Loop 철근에 의한 전단저항으로 대별 할 수 있으므로 결국,

$$P_u = P_{uk} + P_{ul} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, P_{uk} : 전단키의 부담 전단력 (t)
 P_{ul} : Loop 철근의 부담 전단력 (t)
 그런데,

$$P_{uk} = \tau_{uk} \cdot A_{ks} \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{ul} = \sigma_{ul} \cdot A_{sl} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, τ_{uk} : 전단키의 전단응력도 (kg/cm²)
 σ_{ul} : Loop 철근의 인장응력도 (kg/cm²)
 A_{ks} : 전단키의 유효 전단면적 (cm²)
 A_{sl} : Loop 철근의 단면적 (cm²)

식 (2)~식 (3)에서

$$\tau_{uk} = f_{cg} \cdot \gamma_u$$

$$\sigma_{ul} = f_y \cdot \beta_u$$

$$p_t = A_{s1} / A_{ks}$$

라 놓으면

$$P_{uk} = \gamma_u \cdot A_{ks} \cdot f_{cg} \dots\dots\dots (4)$$

$$P_{ul} = \beta_u \cdot p_t \cdot A_{ks} \cdot f_y \dots\dots\dots (5)$$

여기서,

f_{cg} : 접합부 그라우트의 압축강도 (kg/cm²)

f_y : Loop 철근의 항복강도 (kg/cm²)

p_t : 전단 키의 유효전단면적에 대한 Loop철근비

γ_u : 전단 키의 압축강도에 대한 전단효율비

β_u : Loop 철근의 항복강도에 대한 전단효율비

따라서, 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_u = A_{ks} (f_{cg} \cdot \gamma_u + p_t \cdot f_y \cdot \beta_u) \dots\dots\dots (6)$$

그런데, 식 (1)에서 $P_{ul} = 0$ 이면 즉, Loop 철근이 배근되지 않은 경우에는

$$P_u = P_{uk} = A_{ks} \cdot f_{cg} \cdot \gamma_u \dots\dots\dots (7)$$

또는

$$\gamma_u = P_u / A_{ks} \cdot f_{cg} \dots\dots\dots (8)$$

이므로 기 실험¹⁾ VJA40-14 실험체의 실험결과로부터

$$\gamma_u = 38.1 / (840 \times 0.337) = 0.135 \dots\dots\dots (9)$$

로 계산된다. 따라서, 식(8)과 Loop 철근이 배근된 실험체들의 실험결과로부터

$$P_{ul} = P_u - P_{uk} = P_u - 0.135 \cdot A_{ks} \cdot f_{cg} \dots\dots\dots (10)$$

을 구할 수 있다.

또한, 식(4)~식(5)로부터

$$\beta_u = P_{ul} / (p_t \cdot A_{ks} \cdot f_y) \dots\dots\dots (11)$$

가 되어 β_u 를 식(10)에서 구한 P_{ul} 과 p_t 의 변화에 따르는 회귀분석을 통해 p_t 의 함수로 표현하면

$$\beta_u = 0.51 \ln(p_t) + 0.66 \dots\dots\dots (12)$$

와 같이 된다. 결과적으로 식(1)은 식(6), 식(9), 식(12)로부터 다음과 같이 표현된다.

$$P_u = 0.135 \cdot f_{cg} \cdot A_{ks} + (0.51 \ln(p_t) + 0.66) \cdot A_{s1} \cdot f_y \dots\dots\dots (13)$$

본 제안식을 실험결과와 비교하여 그림 6에 나타내었으며, 또한, 직접전단효과 및 접합부 충전제와 콘크리트 벽판사이의 마찰효과, 수평보강 철근의 다우엘 효과 등의 전단 메카니즘으로 구성된 기존 전단내력식의 적용성 여부를 알아보기 위해 실험결과와 비교하여 나타내었다.

그림 6에서와 같이 Hansen의 제안식은 0.84~6.0, Chakrabati에 의한 제안식은 0.78~5.64, Jensen에 의한 제안식은 1.23~7.7, Mochizuki에 의한 제안식은 0.67~3.27의 편차를 나타내고 있어, 전반적으로 기존의 제안식들을 적용하여 전단내력을 평가하는 데는 다소 부리가 있는 것으로 판단된다. 본인의 제안식은 0.5~2.36의 편차를 나타내어 대체적으로 좋은 대응을 보이고 있다.

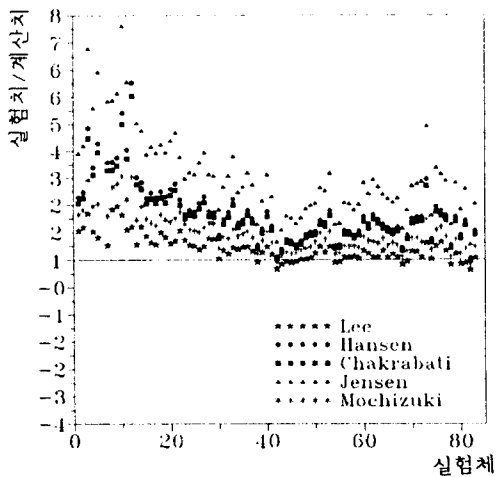


그림 6 기존 중국 전단내력식과 실험결과의 비교

5. 학회규준식과의 비교

수직접합부 전단내력에 관한 국내 규준은 접합부 충전 콘크리트에 의한 전단강도, 전단키의 전단강도 및 전단키의 지압내력을 산정하고, 이중 가장 적은 값과 전단마찰이론에 의한 수평보강철근의 전단내력을 합산하여 계산하도록 규정하고 있다. 기존의 실험결과와 규준식에 의한 계산 결과를 그림 7에 나타내었다.

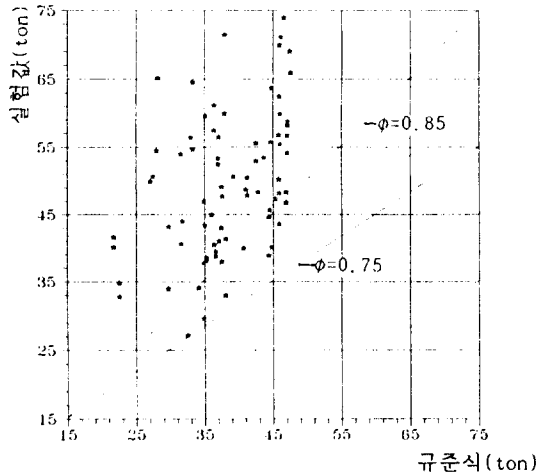


그림 7 국내 규준식에 의한 비교

그림 7에서와 같이 국내규준식에 의해 최대내력을 계산한 결과 전반적으로 안전한 값으로 나타났으나, 다만 벽판넬이 교차하여 만나는 Loop철근이 2개 배근된 접합부 형상의 실험체에서 과대평가 되었다. 이는 실험 오차에 의한 것 일수도 있으나 접합부 구조안정상 벽판넬이 교차하여 만나는 접합부 형상의 경우는 매 전단키마다 Loop철근을 배근하는 것이 바람직하며, 감소계수 $\phi=0.75$ 를 형태저감계수로 제안한다.

6. 결론

대형콘크리트 판넬 구조의 수직접합부에 대한 기존의 실험결과를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실험결과와 기존의 이론을 토대로 하여 최대 전단내력 P_u 의 추정식을 다음과 같이 제안한다.

$$P_u = 0.135 \cdot f_{cg} \cdot A_{ks} + (0.51 \ln(p_t) + 0.66) \cdot A_{s1} \cdot f_v$$

(2) 본 연구의 대상 실험체에 국내 규준식을 적용한 결과, 벽판넬이 교차하여 만나는 접합부 형상의 경우에 접합부 내력을 과대 평가하고 있어 접합부 형태에 따른 형태저감계수로 $\phi=0.75$ 를 적용하는 것이 안전할 것으로 판단된다.

(3) 수평보강철근의 증가에 따른 최대내력 상승은 별로 효과적이지 못하였으나, 수평보강철근이 전단키 내에 배근된 실험체에서는 최대내력 이후에 연성적인 거동을 하는 것으로 나타났다. 따라서, 수평보강 철근은 최대내력 이후의 연성적인 거동에 효과적 인 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 김성수, "대형 콘크리트 판넬구조의 접합부 거동에 관한 연구," 한양대학교 대학원, 1991.6.
- 2) 윤재환, "프리캐스트 콘크리트 대형 판넬 구조의 연직 접합부 거동에 관한 실험적 연구," 한양대학교 대학원, 1979.12.
- 3) 이강근, "대형Panel 구조의 수직접합부에 관한 실험적 연구," 한양대학교 대학원, 1986.6
- 4) 대한건축학회, "고층아파트 p.c.화 연구," 1986.5.
- 5) 김성수, "대형 Panel구조의 접합부에 관한 실험적연구," 한양대학교 대학원, 1980.12.
- 6) 이용재, "대형 콘크리트 판넬구조의 수직접합부 전단내력," 한양대학교 대학원, 1992.12.
- 7) S.C. Chakrabati, G.C. Nayak, and D.K. Paul, "Shear Characteristics of Cast-in-Place Vertical Joints in Story-High Precast Wall Assembly," ACI Structural Journal, Jan/Feb., 1988.
- 8) A.Eriksson, G. Karrholm and H.Petersson, "Ductile Shear Key Joints in Large Panel Structures," Proceedings of RILEM-CEB-CIB Symposium, Vol.1, Athens 9, 1978, pp.259-272.
- 9) K.Hansen, M. Kavyrechine, G. Melhorn, S.O. Olesen, D. Pume, and H. Schwing, "Design of Vertical Keyed Shear Joints in Large Panel Building," Building Research and Practice, v.2, No. 4, July-Aug., 1971, pp.202-216.
- 10) Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-89) 11.7 Shear-Friction
- 11) "壁式フレキャスト構造の鉛直接合部の挙動と設計法" 日本建築學會, 1989
- 12) 品川多美二 外 5人, "特殊コンクリート構造," 建築構造學大系 21, 彰國社, 1972. 3, pp.3-31.