

비정형 고층아파트에서의 구조체 분리 간격

Structural Separation of Unsymmetric Highrise Apartments

○ 鄭 夏 善* 玄 昌 國** 尹 榮 浩**
Jeong, Hasun Hyun, Changkook Yoon, Youngho

ABSTRACT

It is well known that the symmetric buildings have higher resistance than the unsymmetric ones do under seismic load. However, it is sometimes inevitable to build an unsymmetric structure, due to the site conditions or architectural needs.

The unsymmetric building has structural disadvantages under seismic load. In such a case, the structural separation joints are often used to avoid those disadvantages.

This paper presents a method to determine the width of the separation joints for unsymmetric, reinforced concrete apartments structured by walls and slabs only. The variables of the study were the ratio of shear-wall stiffness to the building length in the same direction, the building height and the story mass.

1. 서론

현재 시행되고 있는 내진 설계 규정에 따르면 6층 이상의 건축물, 공공집회장, 원자력 발전소 방음구등과 같은 특수 목적의 건축물, 일정규모 이상의 바닥면적을 갖는 건축물등은 내진설계를 하도록 되어 있다.

평면과입면이 정형에 해당하는 건축물은 등가 정적 해석법이나 동적해석을 통하여 비교적 간단히 내진설계를 수행할 수 있으나 비정형 건물인 경우, 질량이 급변 하던가, 평면이 구부러진 부분(neck)에 응력이 집중하여 이에 저항할 수 있는 부재 설계가 불가능하거나 비 경제적인 설계가 되는 경우가 흔히 발생한다.

상기 이유와 해석 결과의 부정확성등 때문에 내진 설계에서는 비정형 건축물의 설계를 가능한 한 피하도록 권장하고 있다. 그러나 대지의 형태나 건축계획상의 이유때문에 비정형 건물의 건설이 불가피한 경우가 많이 발생한다. 이러한 경우, 외관이나 기능상으로는 건물이 연속되도록하고 구조체상으로는 분리조인트(Separation-Joint)를 사용하여 구조체를 정형 건물 몇개가 연속되어 있는 것으로 처리하는 기법이 흔히 쓰이고 있다.

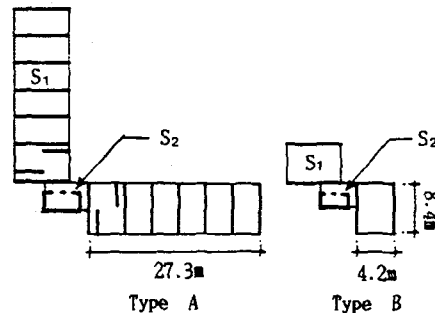
일단 건물을 구조 분리 조인트를 사용하여 정형화 한 후에는, 20층 이하의 건물에서는 그 해석 절차가 단순한 등가정적 해석법에 의하여 구조 해석을 하여도 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있으나, 구조분리 간격이 예상되는 변위량의 최소 2 배가 되어야 한다는 점을 고려 하면, 등가 정적해석에 의한 구조분리간격을 결정하는 것은 과대한 결과를 초래한다.

본 연구에서는 철근 콘크리트 벽식 구조로 된 비정형 건물의 기초적 형태인, 'L'자형 아파트에 대하여 이를 평면구조로 이상화하는 방법과, 이 평면구조 해석 모델에 대하여 동적해석을 수행함으로써, 건물규모와 전단벽 배치 형태에 따라 구조 분리간격을 손쉽게 결정할수 있는 방법을 제시 하였다.

2. 구조체 분리의 개념

내진설계의 경우 비정형아파트를 일체로 하여 건설할 경우 문제가 되는것은 첫째 서로 인접한 두 Mass가 상이한 진동 주기를 갖으므로써 두 Mass가 충돌 할 가능성이 커진다는 점과 둘째로 강성의 중심과 Mass의 중심이 일치하지 않음으로써 발생하는 비틀림 모멘트로 인하여 두 Mass가 인접한 부분에 응력이 집중한다는 점을 들수 있다. < 표 1 >은 3차원 동적해석에 의한 응력

표 1. 비정형아파트에서의 응력집중



Type	L (m)	W (m)	층수 (층)	편심거리 (m)	슬래브응력(kg/cm ²)	
					S ₁	S ₂
A	27.3	8.4	15	14.36	0.4	274
B	4.2	8.4	10	5.17	0.2	3.3

* 정회원, 주택공사 주택연구소 책임연구원, 공학

** 정회원, 주택공사 주택연구소 연구원

분포 결과로, 비정형아파트에서 강성의 중심과 질량의 중심의 거리가 클수록 응력집중의 정도가 높아짐을 보여주고 있다.

따라서 비정형아파트에서는 흔히 <그림 1>과 같은 방법으로 구조 분리 조인트 (Structural Separation Joint)를 두어 지진발생시 부분별로 정형건물의 거동을 할 수 있도록 유도한다.

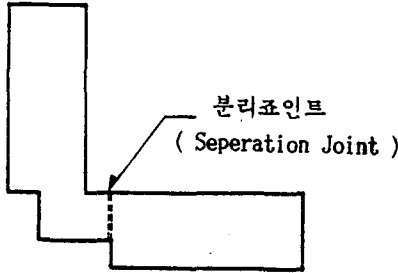


그림 1. 전형적인 비정형아파트의 구조분리 조인트 위치

구조분리조인트 설치시 유의해야 할 점은 조인트의 간격이 조인트로 분리된 정형건물의 최상층에 상변위의 합계의 최소한 2배가 되도록 하여야 한다는 점이다.

3. 아파트 건물의 구조적 특성

현재 국내에서 건설되고 있는 아파트건물은 거의 모두가 철근콘크리트 벽식구조로 되어있으며, <그림 2>에서 보는 바와같이 건물의 단면 방향으로는 많은양의 내력벽이 배치되어 있으나 장변 방향으로는 상대적으로 적은양의 내력벽이 배치되어있다. 이러한 벽식구조 건물의 진동 주기는 건물의 규모가 같은 경우 라멘구조로 된 건물보다 진동주기가 짧으며 지진하중에 대한 거동도 상이하다.

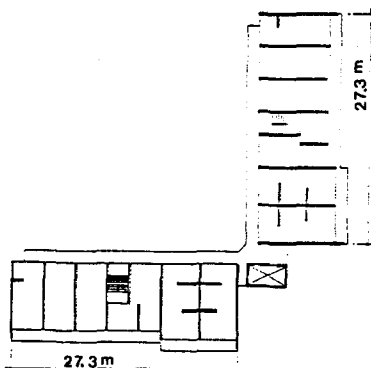


그림 2. 전형적인 비정형아파트 평면

또한 고층아파트에서 단위주호의 면적이 작은 경우는 편복도식 구조가 많으며 그 면적이 약 40평 이상인 경우는 계단실형 구조로 된 경우도 있다.

또한 대부분의 아파트는 모든층이 동일한 평면을 갖는다.

본 연구에서는 <그림 3>에서 보인 바와 같이 편복도식아파트에서 흔히 나타나는, 건물이 컷어는 부분에 1개의 코아(Core)만 있는 건물을 대상으로, 코아의 단부중 1곳에만 구조분리 조인트를 설치하는 것으로 가정하였다.

4. 구조해석 모델

복잡한 형태의 구조물을 해석 할때 유한요소법을 이용한 3차원 해석이 현재까지로는 가장 정확한 결과를 얻을수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이 방법으로 동적해석을 수행 할 경우 대용량의 컴퓨터와 많은시간의 노력이 소요되어 비실용적인 경우가 많다. 따라서 3 차원 구조물을 2차원 구조물로 이상화 하여 구조해석을 수행 할 필요성이 생긴다.

3 차원 구조물을 2차원으로 이상화 할때 그 변환방법에 따라 그 해석 결과가 크게 달라지기 때문에¹⁾ 실용적인 2차원 구조해석 모델작성방법에 대한 많은 연구가 필요하다.

본 연구에서 사용한 2차원 구조해석모델에서는 벽식구조물을 Shear Building으로 이상화하되 각층의 바닥을 flexible한 부재로 취급하였으며 그 방법을 요약하면 다음과 같다. (자세한 내용은 참고문헌 (2)에 수록되어 있음)

가) 수직부재

1) '1'자형 수직 부재는 벽의 전폭을 유효폭으로 하여 휨강성을 계산한 후, 벽의 중심위치에 동일한 크기의 단면적과 강성을 갖는 기둥으로 치환한다.

2) '+ '형이나 '┌'형 수직부재는 지진 방향과 직각되게 배치되어 있는 벽체를 후랜지(Flange)로 보고, 두께의 12배에 웨브(web)의 두께를 더한 값을 유효폭으로 하여 휨강성을 계산한 후, 단면의 중심(中心)에 같은크기의 단면적과 강성을 갖는 기둥으로 치환 한다.

나) 수평부재

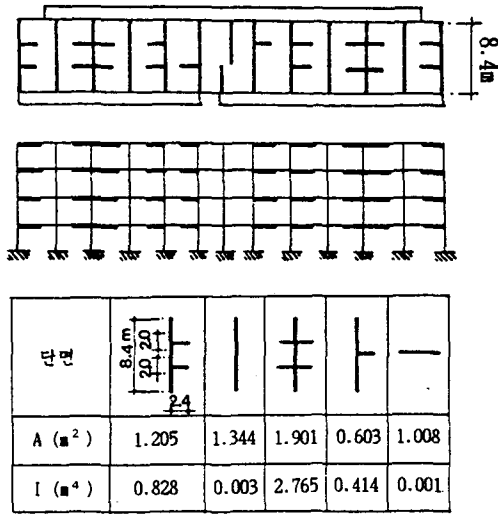
전단벽과 접촉하는 바닥부분은 무한 강성을 갖는 보로, 그외의 부분은 바닥의 전폭을 유효폭으로 하여 계산한 단면적과 휨강성을 갖는 보로 치환한다.

다) 경계조건

대부분의 아파트는 지하층을 갖고 있고 내력벽들이 지하층까지 연결되며, 지하층의 건물외곽부분은 옹벽으로 처리되어 있다. 이와같이 지하층의 강성은 지상 구조체에 비해 매우 높기 때문에 2차원 해석모델에서 1층 바닥부분을 고정된 것으로 가정하였다.

<표 2>는 이상과같은 방법에 따라 2차원 구조해석 모델을 작성한 예를 보여주고 있다. 여기서 단면 방향 벽두께는 16cm, 장변방향 벽두께는 15cm, 바닥의 두께는 12cm로 가정하였다.

표 2. 2차원 구조해석 모델작성 예



5. 설계용 가속도 스펙트럼

동적해석을 수행하기 위하여 사용된 가속도 스펙트럼은 "건축물의 구조기준 등에 관한 규칙" 3)에서 정해진 바에 따라 다음식을 사용하여 작성하였다.

$$a = AICS/R \quad \text{-----}(1)$$

식 (1)에서 a=가속도, A=지진구역계수, I=건물의 중요도계수, C=동적복성계수, S=지반계수, R=반응수정계수 이며 사용된 각 계수의 값 들은 다음과 같다.

A=0.12g (지진구역 2)
I=1.2 (아파트 건물)

C = 1 / 1.2√T (T는 건물의 진동주기)

S=1.2 (지반조사 미 시행)
R=3.5 (벽식아파트에서 전단벽의 단부가 기둥과 같은 방법으로 보강된 경우)

위에서 건물의 동적 특성 계수에 영향을 주는 진동주기 (T)는 동적 해석에서 건물의 각 진동모드별로 다른 값을 갖게 된다.

6. 해석변수

본 연구에서는 전층에 걸쳐 단변 방향 벽 두께는 16cm, 장변방향전단벽의 두께는 15cm, 바닥의 두께는 12cm, 층높이는 2.6m 로, 또한 각층의 평면은 동일하다고 가정 하였다. 건물최상층의 수평 방향 변위에 영향을 주는 주요 변수로는 건물의 길이, 총 높이, 전단벽의 길이, 전단벽의 형태, 층별 질량등을 고려하였다. 이들 각 변수가 건물변위에 주는 영향은 <표 3>에 정리되어 있는 바와 같이 그 값을 변화시켜 분석하였다.

표 3. 주요 변수들의 값

구분	변수	비고	
건물	길이(cm)	48, 66.6	
	폭(m)	7.8, 8.4, 9.0	
	높이(m)	23.4(9), 31.2(12), 39(15)	()는 층수
장변방향 전단벽	길이(m) 단면형태	2.4, 1.2 	
단변방향 전단벽	길이(m) 단면형태	7.8, 8.4, 9.0 	
바닥면적당 중량 (t/m ²)		0.136, 0.68, 1.088, 1.36, 2.04, 2.72	

7. 해석결과및 분석

앞절에서 언급한 여러가지 변수들의 효과를 3 차 모드까지 해석하여 분석한 결과, 다음과 같은 사항들이 발견 되었다.

가) 건물의 길이보다는 지진방향으로의 전단벽 강성의 합계(ΣI)와 건물의 길이(L)의 비가 건물의 수평변위에 큰 영향을 준다. <그림 3>은 건물의 길이는 다르나 장변 방향 전단벽 강성의 합계와 장변방향의 길이의 비가 같을경우, 건물 최상층에서의 변위에 큰 차이가 없음을 보여준다

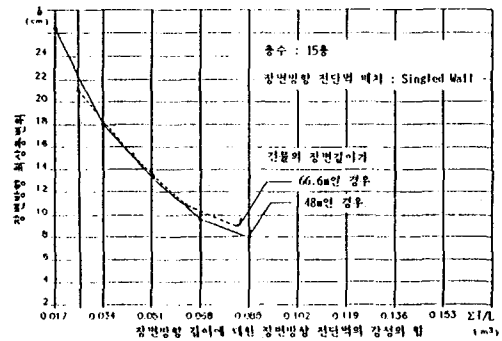


그림 3. I/L 과 건물 최상층 변위와의 관계

따라서 모든 변수의 분석은 <그림 4>와 같은 동일한 평면에 대하여 분석 되었다. 본 연구에서 대상으로 한 비정형 아파트는 <그림 4>와 같은 평면을 갖는 두 건물이 서로 직교하여 배치되어 있고 그 꺾어지는 부분에 계단실, 엘리베이터실과 같은 건물의 코아(Core)가 배치되는 것으로 가정하였다.

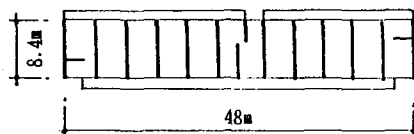


그림 4. 변수의 영향 분석에 사용한 평면

나) $\Sigma I/L$ 이 같아도 건물의 높이가 높을수록 최상층의 변위가 증가한다<그림 5 및 6 참조>. 이는 아파트 건물에서와 같이 층간질량분포가 동일한 경우 건물의 높이가 증가하면 진동 주기가 길어지기 때문으로 판단된다.

다) $\Sigma I/L$ 과 최상층 변위와의 관계는 비선형적으로 변화하여 $\Sigma I/L$ 이 2배로 증가하여도 최상층 변위가 1/2로 감소하지는 않으며, $\Sigma I/L$ 의 값이, 장변방향의 경우, 0.068 m^3 이하 일 경우는 $\Sigma I/L$ 의 증가에 따른 최상층 변위의 감소율은 매우 작다<그림 5, 6 참조>. 이러한 관계는 경제적인 내진설계에 중요한 지표가 된다.

라) $\Sigma I/L$ 이 같아도 전단벽을 2줄로 배치하는 것 보다는 1줄로 배치하는 것이 더 효과적인 것으로 나타났다. <그림 5 및 6 참조>

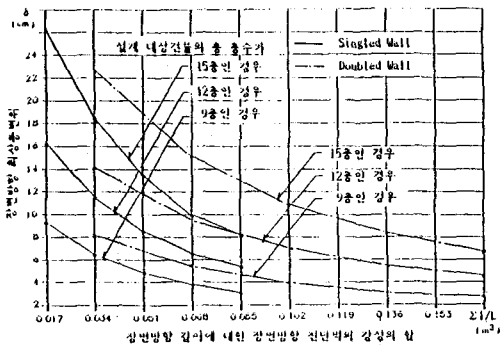


그림 5. 장변방향 $\Sigma I/L$ 과 최상층 변위와의 관계

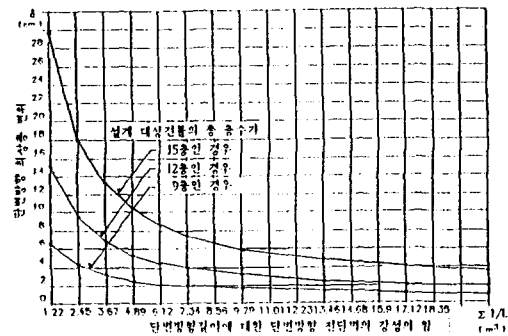


그림 6. 단변방향 $\Sigma I/L$ 과 최상층 변위와의 관계

마) 층별 질량이 증가하면 최상층의 변위량도 증가하나 이들의 관계는 비선형적이며 층별 질량이 2배 증가하여도 최상층 변위는 2배까지 증가하지는 않는다<표 3 참조>. 아파트 건물에서 층별 질량의 변화는 주로 건물의 폭과 바닥 두께의 변화에 기인한다.

표 3 층별 질량과 최상층 변위와의 관계

바닥면적당 중량(t/m^2)	최상층 변위 (cm)	중량비율	변위비율
0.136	0.51	0.1	0.15
0.68	2.08	0.5	0.61
1.088	2.89	0.8	0.85
1.36	3.42	1.0	1.0
2.04	4.61	1.5	1.35
2.72	5.75	2.0	1.69

8. 구조분리 조인트 간격 결정모델

서로 직교하는 Mass를 갖는 비정형 아파트건물의 구조분리 조인트의 폭은 다음 식에 의해 계산된다.

$$D_j = 2(\Delta_L + \Delta_s) \quad (2)$$

여기서 D_j = 구조분리 조인트의 폭
 Δ_L = 최상층에서의 장변방향예상 변위량
 Δ_s = 최상층에서의 단변방향예상 변위량

앞의 절에서 분석된 결과를 기초로, 벽이 1줄로 배치되어 있는 경우의 장변 방향최상층 예상 변위량은 식 (3)으로 계산할 수 있다.

$$\Delta_L = (\Delta_0)_L (\lambda_m)_L \quad (3)$$

여기서 장변방향 기준 변위량(Δ_0)_L, 및 보정계수(λ_m)_L,은 각각 다음식에 의해 계산한다.

$$\Delta_L = X^{-0.4} e^{(0.8-7X)} \quad (4)$$

$$(\lambda_m)_L = (w/w_0)^{1.35} (h/h_0)^2 \quad (5)$$

단변방향의 최상층 예상변위량은 다음식에 의해 계산할 수 있다.

$$\Delta_s = (\Delta_0)_s (\lambda_m)_s \quad (6)$$

여기서 단변방향 기준 변위량(Δ_0)_s, 및 보정계수(λ_m)_s,는 각각 다음식에 의해 계산한다.

$$\Delta_s = X^{-0.65} e^{(2.87-0.015X)} \quad (7)$$

$$(\lambda_m)_s = (w/w_0)^{1.35} (h/h_0)^{2.8} \quad (8)$$

위의 식들에서 w = 층 중량
 w_0 = 기준건물의 층중량(570 ton)
 h = 건물높이
 h_0 = 기준건물의 높이(23.4m)
 $X = \Sigma I/L$

식(4)와 식(7)에서의 기준변위량은, 내진설계 규정이 적용되는 아파트 중 일반적으로 건설하는 가장 낮은 층인, 9층을 기준으로 하였다.

식(5)와 식(8)으로 표시되는 건물높이에 대한 보정에서 지수가 다른것은, 단면방향에서는 전단변형이 주를 이루지만, 장변방향 변형은 휨변형과 전단 변형의 복합적 결과때문인 것으로 판단된다.

식(4)와 식(7)의 기준 변형식에서 지진방향으로 전단력이 설치되어 있지 않은 경우는 $X=0$ 이 되어 식의 적용이 불가능하나, 지진방향으로 전단력이 없는 경우, 층변위가 과도하게 발생하여 지진발생시 파괴의 위험이 크며 내진설계규정도 위반되게 되므로, 실제에서는 $X=0$ 인 경우는 발생하지 않는다.

〈그림 8〉은 장변방향에 대하여 식(3)에 의해 계산된 최상층 예상 변위량과 실제 해석 결과의 차를 비교한 것이다.

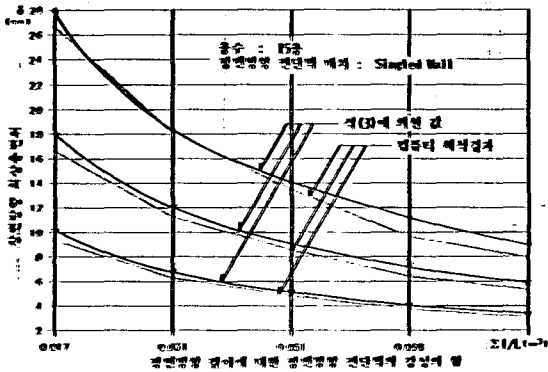


그림 8. 해석결과와 최상층 예상변위량의 비교

9. 결론

본 연구는 비정형 아파트 건물에서 건물의 정형적 거동을 유도할 목적으로 구조분리조인트를 설치할 경우, 동적해석을 수행하지 않고 간편하게 분리조인트의 특성을 결정할 수 있는 방법을 제시하기 위하여 수행되었다. 구조분리조인트를 사용하여 건물의 정형화를 유도한 후에는 정형화된 각 Mass에 대하여 등가정적 해석을 수행함으로써 전체적인 내진설계 과정을 단순화시킬 수 있을 것이다.

여기서 제시한 최상층 예상 변위량 및 구조분리 조인트간격 계산 방법은 우리나라 비정형 아파트 건물에서 흔히 나타나는 형태를 중심으로 도출된 것이나, 보정계수를 제시함으로써 건물의 층수나, Mass 의 크기가 변화할 경우에도 적용가능하도록 하였다.

구조시스템이 벽식구조가 아니거나, 비정형 형태가 본 연구에서 가정할 'J'자형이나 'T'자형이 아닌 건물 또는 건물의 층수가 20층이 넘는 경우에는 그에 적절한 새로운 분리 조인트간격 결정 방법이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 정하선, 양지수, 현창국, 윤영호, 공동주택의 내진성능 향상을 위한 구조계획기법 연구, 대한주택공사, 1987. 12.
2. 허영, 윤영호, 최옥훈, 약식구조해석방법 연구 대한주택공사, 1988. 12.
3. 건설부, 건축물의 구조기준등에 관한 규칙, 1988. 1.