

지진발생시 아파트 옥탑층 물탱크의 구조적 영향 평가

Structural Effect Evaluation of an Apartment Building Due to the Water Tank under Earthquake Load

윤 석 한* 정 은 호** 김 희 철***
Yoon, Suk Han Jung, Eun Ho Kim, Hee Cheul

국문요약

주거용 건축물은 구조적 측면에서 고려해야 할 많은 문제점을 안고 있다. 특히 건물이 고층화 될수록 동적인 특성으로 인해 바람 또는 지진과 같은 횡하중의 영향이 커진다. 풍하중과는 달리 지진하중은 비슷한 구조물일지라도 동적특성에 의해 결정되고 예측이 어렵다. 본 연구의 목적은 지진 발생시 아파트 옥탑층 물탱크가 건물의 거동에 미치는 영향을 파악하는 것이다. 옥탑층 물탱크가 건물의 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 옥탑층 물탱크를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여 동적해석을 수행하였다. 또한 옥탑층 물탱크가 구조부재에 미치는 영향을 파악하기 위하여 아파트 건물의 구조설계를 수행하였으며 지진하중의 영향을 평가하기 위하여 최대지진가속도를 변화시키면서 구조설계를 수행하였다. 옥탑층 물탱크가 건물의 전체적인 거동에는 많은 큰 영향을 미친 것으로 나타났으나 각 부재의 설계에는 영향을 미치지 않았으며 0.4g의 최대지진가속도에서 일부 부재가 영향을 받는 것으로 나타났다.

주요어 : 지진하중, 옥탑층 물탱크, 아파트, 동적거동

ABSTRACT

High-rise building for dwelling has many factors to be considered in structural aspects. In particular, the higher the building, the bigger the lateral loads such as wind and earthquake due to its dynamic characteristics. Unlike the wind load, the earthquake load, even if the shape of the structures are similar, depends on structural characteristics and it is difficult to predict. For an apartment building, the water tank in the penthouse, due to its heavy weight, changes the behavior of a building when the earthquake occurs. The purpose of this study is to determine how the water tank affects the behavior of an apartment building when earthquake occurs. Dynamic analysis was accomplished on two cases - 1) water tank is considered 2) water tank is not considered - to understand how it affects the behavior of a high-rise apartment building. Structural design was accomplished to understand how the water tank and the peak acceleration affects each structural member. The effect of the water tank on the response of structure was large. Elsewhere the water tank has no effect on the design of a structural member. However some structural members were affected when the peak acceleration of an earthquake is 0.4g.

Key words : earthquake load, water tank, apartment, dynamic behavior

1. 서 론

최근 주거용 건축물은 한정된 부지를 효율적으로 활용하기 위하여 고층화되는 추세이다.

고층구조물은 자중은 물론 바람 및 지진으로 인한 횡하중에 대해 세심한 주의가 요구된다. 지진하중으로 인한 건물의 파괴형태는 구조요소의 파괴와 비구조요소의 파괴로 나눌 수 있다. 건물의 외부에 부착되어 있는 시설물의 파괴로 인한 도로의 보행자들이 피해를 받는 경우와 이와는 반대로 거대한 조명시설, 캐비닛,

* 경희대학교 건축공학과 석사과정

** 극동정보대학 건축학과 전임강사

*** 정희원 · 경희대학교 건축공학과 조교수

본 논문에 대한 토의를 6월 30일까지 학회로 보내주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

선반 및 천장의 파괴 등으로 인해 건물 내부의 사용자들이 피해를 입는다. 또한 재해의 복구 또는 부상자의 수송을 위한 건물의 출입구를 차단함으로써 피해를 가중시킨다. 다른 하나의 유형은 건물 내부 또는 외부의 전기적, 기계적 설비의 파괴는 화재 등을 발생시켜 건물에 직접적인 피해를 주는 것과 동시에 피해의 복구에 필수적으로 요구되는 수도, 전기 등을 적시에 공급하지 못하게 함으로써 피해를 확대시키는 결과를 초래한다. 외국의 경우 종래의 설비 지지물은 정적하중에 의해서만 설계되었고, 구조체에 대한 부착은 열변형이나 진동을 고려해서 설계하였다.

국내와 국외의 비구조요소에 대한 내진규준은 비구조물의 부착강도를 고려한 것이며 구조물의 거동에 미치는 영향은 고려하고 있지 않다. 또한 실무에서도 아파트에 대한 구조해석 시 옥탑층의 물탱크는 고려하고 있지 않다. 그러나 옥탑층의 물탱크를 고려하지 않는 것에 대한 이론적·법적 근거가 없다. 동적이론에 근거하여 지진하중은 요소의 중량의 영향을 받으므로 다른 비구조물에 비해 중량이 많이 나가는 아파트의 물탱크는 지진발생 시 구조물에 대한 영향을 고려해야 하며 따라서 물탱크가 아파트 건물의 거동에 미치는 영향에 대한 연구를 통해 이에 대한 근거를 제시하여야 할 것이다.

본 연구의 목적은 아파트 건물의 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대해 동적해석을 수행하여 지진발생 시 옥탑층 물탱크가 구조물의 거동에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 또한 국내규준의 수정요구에 대한 자료와 구조설계 시 아파트 옥탑층 물탱크의 포함여부에 대한 판단근거를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 이론식

전체 다자유도 시스템의 변위응답 및 각 층 전단력, 밀면 전단력, 전도모멘트는 다음과 같

이 구할 수 있다.

변위

$$u(t) = \sum_{r=1}^4 \phi_n q_n(t) \quad (1)$$

$$\sum_{r=1}^4 \phi_n \Gamma_n D_n(t)$$

층별 전단력

$$f(t) = ku(t) = k \sum_{r=1}^4 \Gamma_n D_n(t) \phi_n$$

$$= \sum_{r=1}^4 \Gamma_n D_n(t) \phi_n m w_n^2 \quad (2)$$

$$= \sum_{r=1}^4 \Gamma_n A_n(t) m \phi_n$$

밀면 전단력

$$V_0(t) = 1^T f(t) \quad (3)$$

$$= \sum_{r=1}^4 \Gamma_n 1^T m \phi_n A_n(t)$$

식 (3)에서 $\Gamma_n 1^T m \phi_n$ 은 유효 모달 질량이다. 밀면 전단력은 각각의 모드에 대한 유효 모달 질량에 유사 가속도를 곱한 값의 합으로 나타낼 수 있다.

전도 모멘트

$$M_0(t) = x^T f(t) = \sum_{r=1}^4 \Gamma_n x^T m \phi_n A_n(t)$$

$$= \sum_{r=1}^4 m_n^* \frac{x^T m \phi_n}{\phi_n^T m l} \quad (4)$$

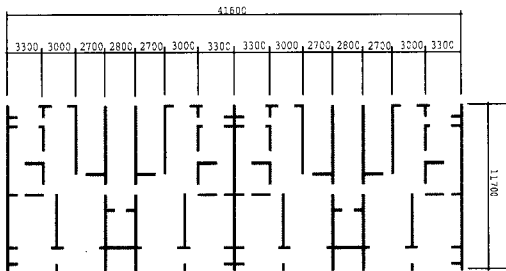
$$= \sum_{r=1}^4 m_n^* h_n^* A_n(t)$$

x 벡터는 각각의 자유도 질량의 높이를 나타내는 위치벡터이고 $\frac{x^T m \phi_n}{\phi_n^T m l} = h_n^*$ 은 유효 모달 높이이다. 즉, 전도모멘트는 각각의 모드에 대한 유효 모달 질량과 유효 모달 높이, 유사 가속도를 곱한 값의 합으로 나타낼 수 있다.

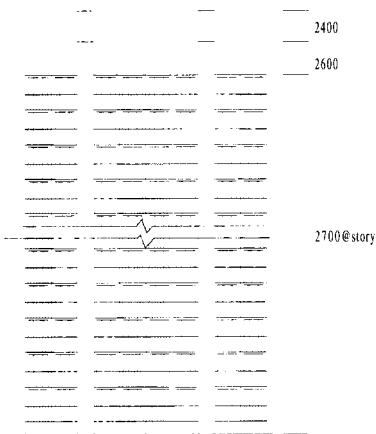
3. 전산해석

3.1 해석모델

구조해석 모델링은 그림 1과 같이 32평형 아파트의 일반적인 평면을 이용하여 층의 수를 변화시켰으며 내벽의 두께는 표 1과 같다. 지진발생 시 물탱크가 아파트 건물에 미치는 영향을 평가하기 위해 물탱크를 고려한 경우와 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대해 구조물의 고유주기, 전단력, 전도모멘트를 비교 평가하였다. 또한 층수의 영향을 평가하기 위하여 각각 15층, 20층, 25층, 30층에 대하여 해석을 수행하였다.



a) 해석모델 평면도



b) 해석모델 입면도

그림 1 해석모델

물탱크를 고려하지 않은 경우 물탱크의 질량을 입력하지 않고 해석을 수행하여 구조물의 고유주기와 응력값을 구하였다. 물탱크를 고려한

경우 물탱크의 질량을 고려하기 위하여 옥상탱크 용량을 결정하는 식을 이용하여 층수에 따라 물탱크의 용량을 계산하여 중력가속도를 나눈 값과 물탱크의 질량을 옥탑층에 면질량으로 입력하였으며 각각의 모델에 입력된 질량은 표 2와 같다. 물탱크는 아파트에 일반적으로 사용되는 500×1000 모듈의 패널을 조립하여 만든 것을 대상으로 하였다. 동적해석을 위한 지진입력 자료는 1940년 El Centro에서 발생한 지진의 수평방향성분을 X축 방향으로 작용시켰다. 동적해석 조건으로 지진구역 2(0.12g), 중요도 계수 2(도시계획 구역, 1.2), 지반계수 1(1.0)을 적용하였으며 해석에 사용한 전산해석 프로그램은 MIDAS/BDS를 사용하였다.

또한 물탱크가 실제 부재의 설계에 미치는 영향을 파악하기 위해서 각각의 모델에 대해서 구조설계를 수행하였다. 다시 같은 조건에서 최대지진 가속도 0.15g, 0.2g, 0.3g, 0.4g에 대하여 구조설계를 수행하여 최대지진 가속도에 따른 물탱크의 영향을 파악하였다.

표 1 해석모델 벽체(단위 cm)

a) 15층			b) 20층		
	계단실, 간막이벽	내부벽		계단실, 간막이벽	내부벽
1~5	20	18	1~10	20	20
6~10	18	15	11~15	18	16
21~옥탑	16	15	16~옥탑	16	16

c) 25층			d) 30층		
	계단실, 간막이벽	내부벽		계단실, 간막이벽	내부벽
1~10	20	20	1~5	25	20
11~20	18	16	6~15	20	18
21~옥탑	16	16	16~25	18	16
			26~옥탑	16	16

표 2 아파트 층수에 따른 탱크의 전체 질량

층	세 대	탱크 중량 (ton)	탱크 용량 (ton)	전체 탱크 중량(ton)
15	30	2.275	18	20.275
20	40	2.4975	24	26.4975
25	50	3.0375	30	33.0375
30	60	3.5775	36	39.5775

3.2 해석결과 및 고찰

3.2.1 15층 모델에 대한 구조해석 결과

선정된 모델에 대한 구조해석 결과는 다음과 같다. 표기의 편의상 그림과 표에서 옥탑층 물탱크를 고려한 경우를 CASE I, 고려하지 않은 경우를 CASE II으로 표기하였다.

① 고유주기

그림 2, 표 3에서 나타낸 바와 같이 15층의 아파트 건물에 있어서 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우 고유주기는 0.4767초였으며 물탱크를 고려한 경우 고유주기는 0.4820초로 0.0035초(0.73%)의 차이가 나타났으며, 고차모드로 갈수록 그 차이는 감소하여 4차 모드에서 0.0006초(0.57%)의 차이를 나타냈다.

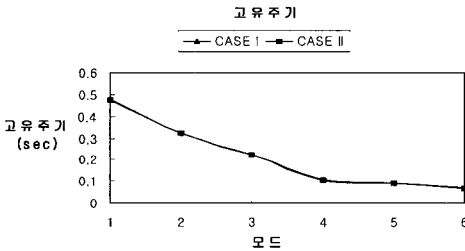


그림 2 15층 해석모델의 고유주기

표 3 15층 해석모델의 고유주기

모드	1	2	3	4
고유주기 (sec)	CASE I 0.4820	CASE II 0.4767	CASE I 0.3254	CASE II 0.3237
	CASE I 0.2245	CASE II 0.2235	CASE I 0.1056	CASE II 0.1050

② 층 전단력

그림 3, 표 4에서 나타낸 바와 같이 옥탑층의 물탱크를 고려하지 않은 경우 1층에서 206.8(ton)을 나타냈으며 최상층에서는 13.4(ton)을 나타냈다. 옥탑층의 물탱크를 고려한 경우 1층에서 209(ton)을 나타냈으며 옥탑층에서 15 (ton)을 나타냈다. 1층에서는 물탱크를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 층전단력의 차이는 2.3(ton)으로 나타났으며 이는 약 1.1%에 해당하는 값이다.

옥탑층에서 층 전단력의 차이는 1.92(ton)의 차이를 나타냈으며 이는 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대하여 약 14.3%에 해당하는 값이다.

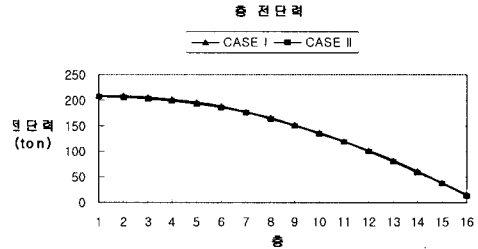


그림 3 15층 해석모델의 층 전단력

표 4 15층 해석모델의 응답

층	층 전단력(ton)		전도 모멘트(t·m)		변위(mm)	
	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II
1	209.0	206.8	5554.5	5468.1	0.031	0.031
2	207.9	205.7	4993.0	4912.7	0.079	0.079
3	205.4	203.1	4438.5	4634.2	0.131	0.130
4	201.3	199.0	3895.0	3826.9	0.187	0.186
5	195.6	193.4	3366.8	3304.7	0.244	0.242
11	120.0	117.9	826.9	800.0	0.539	0.534
12	101.9	99.8	551.9	530.5	0.582	0.576
13	82.3	80.3	329.8	313.8	0.621	0.615
14	61.2	59.2	164.6	154.0	0.658	0.651
15	38.8	36.9	59.9	54.5	0.692	0.684
16	15.3	13.4	18.5	18.3	0.738	0.725

③ 전도 모멘트

그림 4, 표 4에서 나타낸 바와 같이 전도 모멘트는 1층에서 물탱크를 고려한 경우 55542(t·m)로서 물탱크를 고려하지 않은 경우

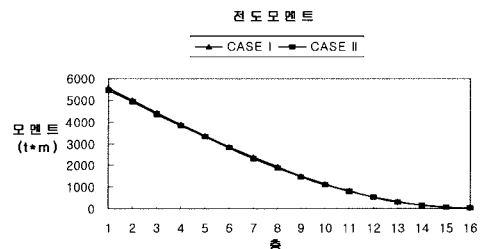


그림 4 15층 해석모델의 전도 모멘트

5468(t·m)에 대해 86.4(t·m)의 차이를 나타냈으며 이는 약 1.6%에 해당하는 값이며 옥탑층의 바닥에서는 각각 59.97(t·m), 54.5(t·m)로서 5.34(t·m)의 전도 모멘트 값의 차이가 나타났으며 이 값은 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대해 약 9.79%에 해당하는 값이다.

④ 변위

그림 5, 표 4에서 나타낸 바와 같이 탱크를 고려한 경우 1층에서 0.031mm, 옥탑층에서 0.738 mm이며 이는 물탱크를 고려하지 않은 경우 1층의 0.031mm에 대하여 차이가 없었으며, 옥탑층의 0.725mm에 대해 0.013mm의 차이가 나타났으며 이는 약 1.8%에 해당하는 값이다.

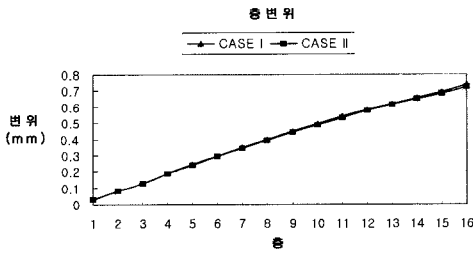


그림 5 15층 해석모델의 층변위

3.2.2 20층 모델에 대한 구조해석 결과

① 고유주기

그림 6, 표 5에서 나타낸 바와 같이 20층의 아파트 건물에 있어서 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우 고유주기는 0.6839초였으며 물탱크를 고려한 경우 고유주기는 0.6912초로 0.0073초(1.1%)의 차이가 나타났으며, 고차모드

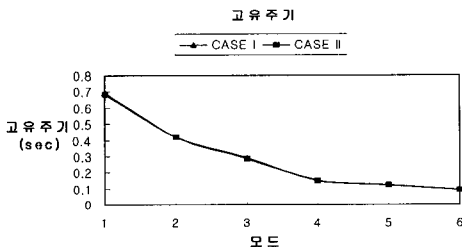


그림 6 20층 해석모델의 고유주기

로 갈수록 그 차이는 감소하여 4차 모드에서 0.0014초(0.92%)의 차이를 나타냈다.

표 5 20층 해석모델의 고유주기

모드	1	2	3	4
고유주기 (sec)	0.6912	0.4221	0.2902	0.1538
	0.6839	0.4192	0.2882	0.1524

② 층 전단력

그림 7, 표 6에서 나타낸 바와 같이 옥탑층의 물탱크를 고려하지 않은 경우 1층에서 207.0(ton), 옥탑층의 물탱크를 고려한 경우 206.3(ton)를 나타냈으며 이는 물탱크를 고려한 경우 0.72(ton)의 미소한 감소를 나타냈다. 10층까지 물탱크를 고려한 경우 164.6(ton), 물탱크를 고려하지 않은 경우 164.7(ton)로 0.12(ton)의 차이를 나타냈으며, 11층부터 물탱크를 고려한 경우 155.4(ton), 물탱크를 고려하지 않은 경우 155.3(ton)로 물탱크를

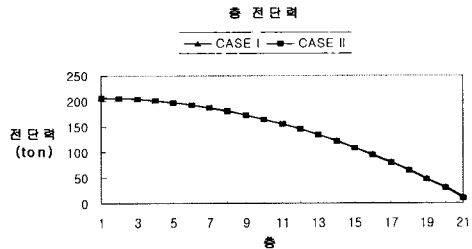


그림 7 20층 해석모델의 층 전단력

표 6 20층 해석모델의 응답

층	층 전단력(ton)		전도 모멘트(t·m)		변위(mm)	
	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II
1	206.3	207.0	7322.7	7299.1	0.03	0.03
2	205.5	206.3	6767.7	6742.1	0.076	0.076
3	203.8	204.5	6217.3	6189.9	0.126	0.126
4	201.0	201.7	5674.6	5645.4	0.182	0.181
5	197.2	197.8	5142.1	511.2	0.241	0.24
16	95.2	94.0	663.2	636.9	0.950	0.941
17	80.9	79.5	444.6	422.2	1.007	0.997
18	65.6	63.9	267.6	249.6	1.060	1.049
19	49.1	47.2	135.0	122.3	1.110	1.097
20	31.6	29.4	49.8	43.1	1.156	1.142
21	13.1	10.6	14.4	14.5	1.222	1.201

고려한 경우 층 전단력이 0.04(ton)의 증가를 나타냈다. 최상층에서는 물탱크를 고려한 경우 13.1(ton), 물탱크를 고려하지 않은 경우 10.5(ton)로 251(ton)의 증가를 나타냈으며 이는 약 23.67%에 해당한다.

③ 전도 모멘트

그림 8, 표 6에서 나타난 바와 같이 전도 모멘트는 1층에서 물탱크를 고려한 경우 7322(t·m)로서 물탱크를 고려하지 않은 경우 7299(t·m)에 대해 23.68(t·m)의 차이를 나타냈으며 이는 약 0.32%에 해당하는 값이며 물탱크가 위치한 옥탑층의 바닥에서는 각각 49.8(t·m), 43.1(t·m)로서 6.72(t·m)의 전도 모멘트 값의 차이가 나타났으며 이 값은 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대해 약 15.6%에 해당하는 값이다.

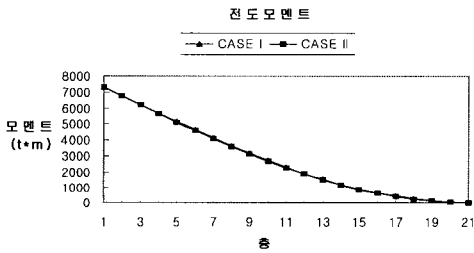


그림 8 20층 해석모델의 전도 모멘트

④ 변위

그림 9, 표 6에서 나타난 바와 같이 탱크를 고려한 경우 1층에서 3층까지 0.03mm, 0.076mm, 0.126mm로서 물탱크를 고려하지 않은 경우와 동일한 값을 나타냈다. 옥탑층에서는 물탱크를 고려한 경우 1.222mm로서 이는 물탱크를 고려하지 않은

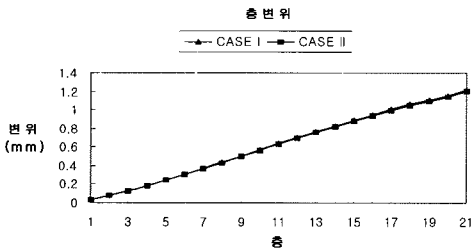


그림 9 20층 해석모델의 층변위

경우 1.201mm에 대해 0.021mm의 차이를 나타냈으며 이는 약 1.75%에 해당하는 값이다.

3.2.3 25층 모델에 대한 구조해석 결과

① 고유주기

그림 10, 표 7에서 나타난 바와 같이 25층의 아파트 건물에 있어서 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우 고유주기는 0.9729초였으며 물탱크를 고려한 경우 고유주기는 0.9836초로 0.0107초(1.1%)의 차이가 나타났으며, 고차모드로 갈수록 그 차이는 감소하여 4차 모드에서 0.0019초(0.19%)의 차이를 나타냈다.

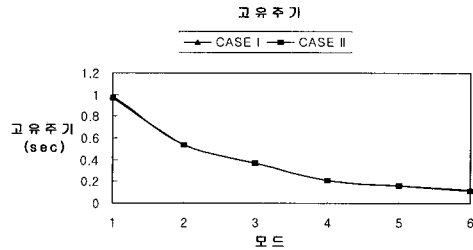


그림 10 25층 해석모델의 고유주기

표 7 25층 해석모델의 고유주기

모드	1	2	3	4
고유주기 (sec)	CASE I 0.9836	0.5421	0.3735	0.2106
	CASE II 0.9729	0.5383	0.3709	0.2087

② 층 전단력

그림 11, 표 8에서 나타난 바와 같이 옥탑층의 물탱크를 고려하지 않은 경우 1층에서 282.2(ton)를 나타냈으며 최상층에서는 11.2(ton)를 나타냈다. 옥탑층의 물탱크를 고려한 경우 1층에서 285.2(ton)를 나타냈으며 옥탑층에서 14.9(ton)를 나타냈다. 1층에서는 물탱크를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 층 전단력의 차이는 3(ton)로 나타났으며 이는 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대하여 약 1.06%에 해당하는 값이다. 옥탑층에서 층 전단력의 차이는 3.7 (ton)의 차이를 나타냈으며 이는 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대하여 약 32.98%에 해당하는 값이다.

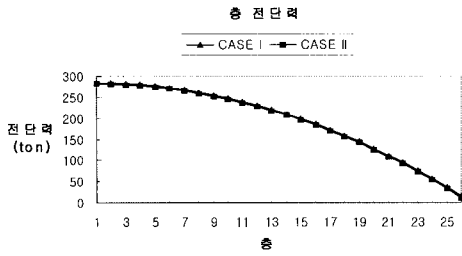


그림 11 25층 해석모델의 층 전단력

표 8 25층 해석모델의 응답

층	층 전단력(ton)		전도 모멘트(t·m)		변위(mm)	
	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II
1	285.1	282.2	12749.7	12558.7	0.043	0.042
2	284.5	281.6	11981.4	11795.7	0.113	0.112
3	283.0	280.1	11217.2	11036.9	0.195	0.192
4	280.7	277.6	10459.4	10284.6	0.287	0.283
5	277.4	274.3	9710.6	9541.2	0.387	0.382
21	111.9	108.4	770.5	721.5	2.342	2.298
22	94.7	91.2	514.9	475.4	2.449	2.402
23	76.4	72.8	308.5	278.7	2.552	2.502
24	57.1	53.4	154.4	134.4	2.650	2.596
25	36.6	32.9	55.5	45.5	2.736	2.68
26	14.0	11.2	15.2	15.1	2.902	2.825

③ 전도 모멘트

그림 12, 표 8에서 나타난 바와 같이 전도 모멘트는 1층에서 물탱크를 고려한 경우 12749(t·m)로서 물탱크를 고려하지 않은 경우 12558(t·m)에 대해 190(t·m)의 차이를 나타냈으며 이는 약 1.52%에 해당하는 값이며 옥탑층의 바닥에서는 각각 55.5(t·m), 45.5(t·m)로서 10(t·m)의 전도 모멘트 값의 차이가 나타났으며 이 값은 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대해 약 22.14%에 해당하는 값이다.

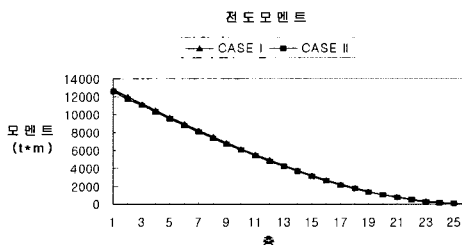


그림 12 25층 해석모델의 전도 모멘트

④ 변위

그림 13, 표 8에서 나타난 바와 같이 탱크를 고려한 경우 1층에서 0.043mm, 옥탑층에서 2.902mm이며 이는 물탱크를 고려하지 않은 경우 1층의 0.042mm에 대하여 0.001mm의 차이이며 이는 약 2.38%에 해당하는 값이며, 옥탑층의 2.825mm에 대해 0.077mm의 차이이며 약 2.73%에 해당하는 값이다.

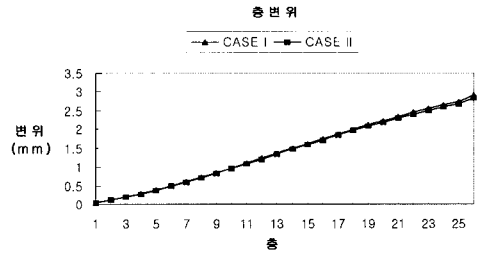


그림 13 25층 해석모델의 층 변위

3.2.4 30층 모델에 대한 구조해석 결과

① 고유주기

그림 14, 표 9에서 나타난 바와 같이 30층의 아파트 건물에 있어서 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우 고유주기는 1.2318초였으며 물탱크를 고려한 경우 고유주기는 1.2464초로 0.0146초(1.19%)의 차이가 나타났으며, 고차모드로 갈수록 그 차이는 감소하여 4차 모드에서 0.0027초(0.99%)의 차이를 나타냈다.

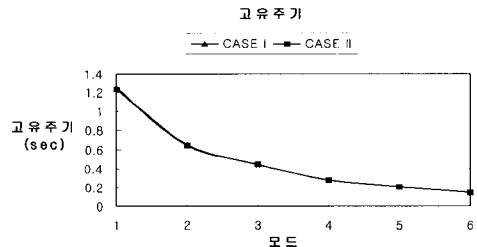


그림 14 30층 해석모델의 고유주기

표 9 30층 해석모델의 고유주기

고유주기(sec)	모드	1	2	3	4
		CASE I	1.2464	0.6481	0.4472
CASE II		1.2318	0.6433	0.4439	0.2717

② 층 전단력

그림 15, 표 10에서 나타낸 바와 같이 옥탑층의 물탱크를 고려하지 않은 경우 1층에서 324.4(ton)을 나타냈으며 최상층에서는 11.6 (ton)를 나타냈다. 옥탑층의 물탱크를 고려한 경우 1층에서 328.8(ton)을 나타냈으며 옥탑층에서 16.2(ton)를 나타냈다. 1층에서는 물탱크를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 층 전단력의 차이는 4.4(ton)로 나타났으며 이는 약 1.35%에 해당하는 값이다. 옥탑층에서 층 전단력의 차이는 4.6(ton)의 차이를 나타냈으며 이는 옥탑층 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대하여 약 39.81%에 해당하는 값이다.

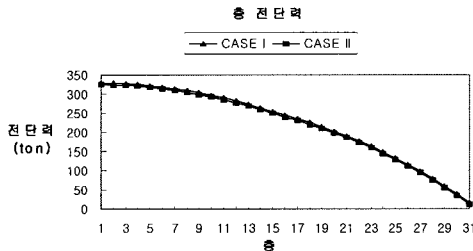


그림 15 30층 해석모델의 층 전단력

표 10 30층 해석모델의 응답

층	층 전단력(ton)		전도 모멘트(t·m)		변위(mm)	
	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II	CASE I	CASE II
1	328.8	324.4	17693.0	17322.7	0.037	0.036
2	328.2	323.9	16806.7	16448.3	0.098	0.097
3	326.9	322.4	15924.2	15577.7	0.169	0.169
4	324.6	320.2	15047.7	14713.2	0.251	0.25
5	321.6	317.1	14179.3	13856.9	0.342	0.34
26	116.3	111.9	803.5	742.8	3.226	3.19
27	98.4	94.0	537.8	489.0	3.351	3.313
28	79.5	75.0	323.3	286.4	3.473	3.431
29	59.4	54.0	162.9	138.0	3.589	3.545
30	38.4	33.8	59.5	46.8	3.702	3.654
31	16.2	11.6	15.7	15.6	3.880	3.811

③ 전도 모멘트

그림 16, 표 10에서 나타낸 바와 같이 전도 모멘트는 1층에서 물탱크를 고려한 경우 17692(t·m)로서 물탱크를 고려하지 않은 경

우 17322(t·m)에 대해 370(t·m)의 차이를 나타냈으며 이는 약 2.14%에 해당하는 값이며 옥탑층의 바닥에서는 각각 59.5(t·m), 46.8(t·m)로서 12.6(t·m)의 전도 모멘트 값의 차이가 나타났으며 이 값은 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대해 약 26.97%에 해당하는 값이다.

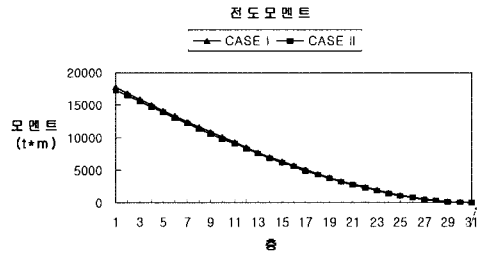


그림 16 30층 해석모델의 전도 모멘트

④ 변위

그림 17, 표 10에서 나타낸 바와 같이 탱크를 고려한 경우 1층에서 0.037mm, 옥탑층에서 3.88mm이며 이는 물탱크를 고려하지 않은 경우 1층의 0.036mm에 대하여 0.001mm의 차이이며 이는 약 2.78%에 해당하는 값이며, 옥탑층의 3.811mm에 대해 0.069mm의 차이이며 약 1.81%에 해당하는 값이다.

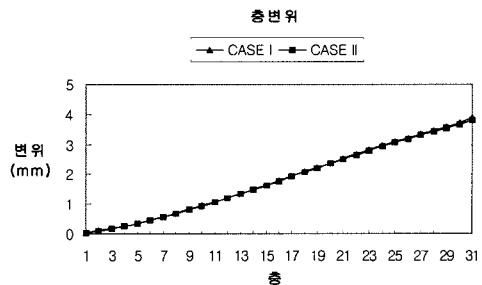


그림 17 30층 해석모델의 층 변위

3.2.5 각 모델에 대한 구조해석 결과 비교

위에서 각 모델에 대한 구조해석 결과를 비교한 결과 고유주기와 변위는 미소한 증가를 보였다. 그러나 층 전단력과 전도모멘트는

비교적 큰 증가를 보였으며 그림 18과 같이 층 전단력은 물탱크를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여 15층에서 14.3%, 20층에서 23.67%, 25층에서 32.98%, 30층에서 39.81%의 증가를 나타냈으며 전도모멘트는 물탱크를 고려한 경우 고려하지 않은 경우에 대하여 15층에서 9.79%, 20층에서 15.6%, 25층에서 22.14%, 30층에서 26.97%의 증가를 나타내었다.

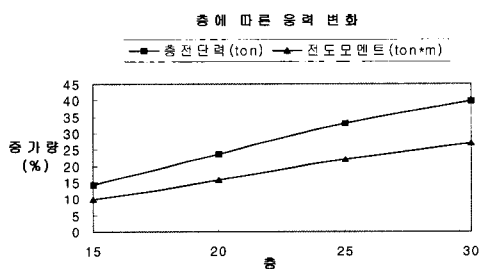


그림 18 층에 따른 영향

4. 구조설계

4.1 설계 개요

옥탑층 물탱크가 구조설계 시 미치는 영향을 파악하기 위하여 구조설계를 수행하였으며

조건은 실무에서 구조설계 시 사용하는 것과 동일하게 적용하였다.

4.2 구조설계 결과

표 11과 같이 15층, 20층, 25층, 30층의 모델에 대한 구조설계를 수행한 결과 옥탑층 물탱크를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여 수직근과 수평근이 동일하게 배근 되었다. 이는 현재의 설계가 대부분 최소 철근량만큼을 확보하고 있음을 알 수 있다.

4.3 지진하중의 영향

지진하중의 크기에 따른 옥탑층 물탱크의 영향을 파악하기 위하여 30층의 해석모델에 대하여 지진하중을 UBC 규준을 참고로 하여, 최대 지진가속도를 각 각 0.15g, 0.2g, 0.3g, 0.4g로 크기를 조절하여 구조해석을 수행한 후 설계를 수행하였다. 그 외의 다른 조건은 4.2 절과 동일하게 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

지진가속도 0.15g, 0.2g, 0.3g에 대하여 구조설계를 수행한 결과 수직근과 수평근은 국내 규준에 대하여 구조설계를 수행한 결과와 동일하게 배근 되었다. 지진가속도 0.4g에 대하여 구조설계를 수행한 결과 표 12와 같이 필

표 11 층에 따른 부재배근

	15층		20층		25층		30층	
	수직방향	수평방향	수직방향	수평방향	수직방향	수평방향	수직방향	수평방향
CASE I	D10-@450	1층~5층 D10-@350 6층~10층 D10-@390 11층~옥탑층 D10-@440	D10-@450	1층~10층 D10-@350 11층~15층 D10-@390 16층~옥탑층 D10-@440	D10-@450	1층~10층 D10-@350 11층~20층 D10-@390 21층~옥탑층 D10-@440	D10-@450	1층~5층 D10-@280 6층~15층 D10-@350 16층~25층 D10-@390 26층~옥탑층 D10-@440
CASE II	D10-@450	1층~5층 D10-@350 6층~10층 D10-@390 11층~옥탑층 D10-@440	D10-@450	1층~10층 D10-@350 11층~15층 D10-@390 16층~옥탑층 D10-@440	HD10-@45 0	1층~10층 D10-@350 11층~20층 D10-@390 21층~옥탑층 D10-@440	D10-@450	1층~5층 D10-@280 6층~15층 D10-@350 16층~25층 D10-@390 26층~옥탑층 D10-@440

요 철근량이 증가하였으나, 물탱크를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 차이는 나타나지 않았다.

표 12 지진하중의 크기에 따른 부재배근

	수직방향(mm)			수직방향(mm)	
	CASE I(D10)	CASE II(D10)		CASE I(D10)	CASE II(D10)
1층	355	355	16층~21층	315	315
2층~5층	450	450	22층~29층	450	450
6층~15층	283	283	30층~옥탑층	354	354

5. 결 론

본 연구에서 지진발생시 옥탑층의 물탱크가 아파트 건물의 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 15층, 20층, 25층, 25층의 해석모형을 선정하고, 선정된 해석모형에 대하여 동적해석과 구조설계를 수행한 결과를 비교·분석한 연구 결과를 종합적으로 분석하여 보면 다음과 같다.

지진발생 시 옥탑층의 물탱크를 고려한 경우 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대하여 고유주기와 층 변위는 30층 해석모형에서 각각 최대 1.19%, 2.78%으로 비교적 작은 증가율을 나타내었고, 층 전단력과 전도 모멘트는 30층 해석모형에서 각각 최대 39.81%, 26.97%으로 큰 증가율을 나타냈다. 또한 아파트의 층수가 증가할수록 옥탑층의 물탱크가 아파트 건물의 거동에 미치는 영향이 증가하였다.

부재설계에 대한 영향을 파악하기 위하여 각 모델에 대한 구조설계를 수행한 결과 수직방향과 수평방향에 대하여 동일하게 배근 되었다. 최대 지진가속도의 영향을 파악하기 위하여 30층의 해석모형을 최대 지진가속도 0.15g, 0.2g, 0.3g, 0.4g에 대하여 구조설계를 수행한 결과 물탱크를 고려한 경우와 물탱크를 고려하지 않은 경우에 대하여 동일하게 배근 되었다.

위와 같이 옥탑층 물탱크가 아파트 건물의 응답에는 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으

로 나타났으나 구조설계를 수행한 결과 부재설계에 대해서는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 30층의 해석모형에 대한 최대 지진가속도에 따른 구조설계를 수행한 결과 최대 지진가속도 0.4g를 적용한 경우 소요 철근량이 증가하였으나 물탱크의 영향은 나타나지 않았다. 따라서 현재 내진규준에서 지진발생시 옥탑층의 물탱크에 대한 지침을 추가 또는 비구조부재에 대한 규준을 수정해야 할 필요가 없으며 본 연구와 같은 조건의 아파트 건물의 구조설계를 하는 경우 옥탑층 물탱크에 대한 고려를 하지 않아도 무방할 것으로 판단된다. 그러나 지진에 대한 구조물의 거동은 일정하지 않으며 또한 예측이 어렵다. 따라서 본 연구에서 다른 아파트와 다른 조건의 아파트에 대하여 내진설계를 수행할 경우 물탱크 내부의 물에 의한 동적효과를 고려한 동적해석을 수행한 후 결정되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설부, "건축물의 내진구조 및 방재기준에 관한 연구", 제 1권, 1987.
2. 구조물 진동학, 초판, 구미서관 편집부, 서울, 1985.
3. 이종석, 건축설비, 5판, 성안당, 1995.
4. Warburton, G. B., *The Dynamical Behaviour of Structural*, 2nd ed, A. Wheaton & co., Exeter, Great Britain, 1976.
5. Boswell, L. F. and D'Mello, C., *Dynamics of Structural Systems*, 1st ed, Blackwell Scientific Publication, London, 1993.
6. Paz, M., *Structural Dynamics*, 4th ed, Chapman & Hall, NY, 1997.
7. MIDAS/BDS v. 1.4, "The most intelligent design & analysis system," POSCO Engineering & Construction Co., Ltd, 1998.
8. Newmark, N. M. and Rosenblueth, E., *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Prentice-

- Hall, inc., London, 1971.
9. Clough, R. W. and Penzien, J., *Dynamics of Structure*, 2nd ed, McGRAW-Hill, Singapore, 1993.
10. *Proc. 44th Annual Conv.*, Structural Engineering Association of California, 1975.
11. *Uniform Building Code*, 1997 ed, International Conference of Building Officials.