

특 집

|| 국내 초고층 RC 건축물에 사용된 최신 콘크리트 기술 ||

초고층 RC 건축물의 내진 내풍설계 - Design of Tall Buildings for Seismic and Wind Loads -



김지영*
Kim, Ji Young



김대영**
Kim, Dae Young



김상대***
Kim, Sang Dae

1. 머리말

태풍과 지진이라는 자연현상에 맞서서 안전한 구조물을 설계하는 것이 구조설계자의 임무이다. 건축구조 설계자의 입장에서 보았을 때 우화 “아기돼지 삼형제” 이야기는 내풍설계의 중요성에 대하여 교훈을 주는 이야기가 될 수 있지만, 바람이 아닌 지진에 대한 설계 측면에서 볼 때는 이야기의 내용이 완전히 반대가 될 수 있다. 즉, 바람과 지진은 동적하중이라는 범주에 있지만 근본적으로 특성이 다른 하중이며, 건축 구조 측면에서 상호 대조되는 면이 많다.

초고층 건물의 구조설계에서 중요하게 평가되는 항목 중의 하나로서 지진과 바람에 의한 횡방향의 거동이 있다. 현재 국내에서는 주로 50층 규모의 주상복합건물이 시공되고 있는데, 설계 시 일반적으로 지진하중보다는 바람에 의한 풍하중이 주로 설계에 반영되는 것으로 나타난다. 이러한 판단은 주로 지진과 바람에 대하여 등가정적으로 산정된 횡하중의 총합을 단순 비교함으로써 이루어지게 된다.

그러나 실제로는 지진과 마찬가지로 풍하중에도 동적성분이 포함되어 있으며, 지진의 경우에는 건물의 비탄성 거동을 유발하기 때문에 보다 정확한 설계를 위해서는 비선형 동적해석을 통해 건물의 거동을 평가하는 것이 필요하다.

그러나 실무적인 측면에서 모든 구조물에 대하여 비선형 동적

해석으로 구조물의 거동을 평가하는 것은 시간과 비용적인 측면에서 어려운 점이 있다. 본고에서는 지진과 바람에 의한 하중의 특성을 살펴보고, 초고층 RC 구조물에 대한 지진하중과 풍하중 산정 시의 유의할 사항을 기술하고자 한다. 이를 바탕으로 규준 또는 일반화된 방법을 통하여 횡하중을 산정하더라도 합리적인 판단을 내릴 수 있는 방향을 제시하고자 한다.

2. 하중의 발생

지진하중과 풍하중은 발생원인이 근원적으로 다르지만 발생하는 하중의 요소에서 유사한 부분이 있다. <그림 1>에서 지진하중과 풍하중의 발생과정을 개념적으로 나타내었다. 지진하중은 진앙으로부터 발생한 진동이 지반을 통해 건물의 기초에 전달되어 건물이 진동함으로써 발생하게 된다. 즉, <그림 1(c)>와 같은 건물 밑면의 지반가속도에 의해 건물의 변동변위 및 가속도가 발생하게 되고 이 가속도가 건물의 질량에 작용하여 발생한 관성력이 식 (1)과 같이 지진하중이 된다.

$$F_s(t) = M A_s(t) \quad (1)$$

여기에서, $F_s(t)$ = 시간이력 지진하중

M = 건물의 질량

$A_s(t)$ = 지진에 의한 건물의 가속도 시간이력

풍하중은 대기의 기압차로 발생하는 바람에 의해 발생하게 되

* (주)대우건설 기술연구소 선임연구원

** 정희원, (주)대우건설 기술연구소 책임연구원

*** 고려대학교 건축공학과 교수

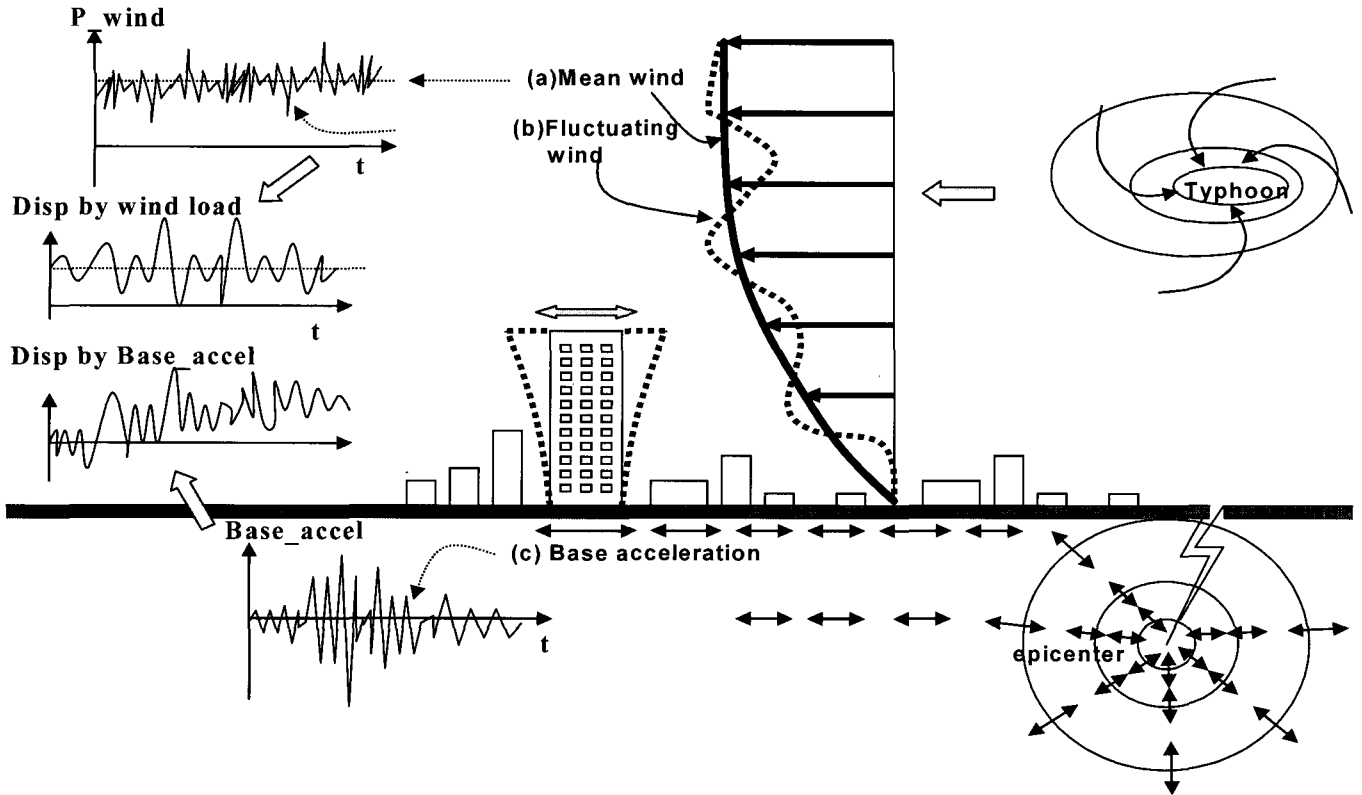


그림 1. 지진하중과 풍하중의 생성과정

며, 우리나라의 경우 주로 태풍에 의해 건물의 최대 풍하중이 결정된다. 태풍에 의해 발생한 바람은 대상건물 주변지역의 건물 밀집도, 주변 지형 등의 조건에 의해 <그림 1(a)>와 같은 높이별 평균풍속의 분포를 가지고 건물에 접근하게 된다. 그리고 인접한 건물에 의해 다시 변화된 바람이 건물 외벽면에 작용하여 풍압력을 발생시킴으로써 건물에 풍하중이 작용하게 된다. <그림 1(b)>와 같이 바람은 평균성분과 함께 변동성분을 포함하고 있으므로 건물의 거동 또한 평균변위와 함께 변동변위가 발생하게 된다. 따라서 건물에 작용하는 풍하중은 평균변위를 발생시키는 성분과 함께 지진과 같이 건물의 동적 움직임으로 발생하는 가속도에 의한 관성력 성분으로 구성되며, 식 (2)와 같이 건물에 작용하는 하중으로 나타낼 수 있다.

$$F_w(t) = F_{avg} + MA_w(t) \quad (2)$$

여기서, $F_w(t)$ = 시간이력 풍하중

F_{avg} = 바람의 평균성분에 의한 풍하중

M = 건물의 질량

$A_w(t)$ = 바람에 의한 건물의 가속도 시간이력

변동변위에 의한 하중의 관성력 성분은 지진하중과 풍하중에서

유사한 부분이 있지만 각각은 독특한 특성을 가진다. 지진하중의 경우 지반가속도만 정해지면 건물의 형상과는 관계없이 질량 및 강성과 같은 동적특성에 의해 하중이 결정된다. 그러나 풍하중은 동일한 바람이라고 하더라도 건물의 동적특성과 함께 풍압력을 받는 건물의 면적, 건물의 단면형상 및 높이, 주변건물의 배치 등과 같은 복잡한 요소에 의해 결정된다.

따라서 지진하중의 경우에는 해당지역의 지반조건 및 지진강도에 의해 지진규모가 정해지면 질량과 강성으로 표현되는 건물의 동적특성을 변수로 하여 어느 정도 일반화가 가능하다. 그러나 풍하중은 건물의 형상, 주변조건 등과 같은 다양한 변수로 인해 일반화가 어려우므로 기준에서 제시된 조건을 벗어나게 되면 대부분 풍동실험을 통해 풍하중을 산정하게 된다.

표 1. 바람과 지진의 특성비교

분류	바람	지진
하중의 기본인자	풍 속	지반가속도
하중 지속 시간	1시간 ~ 3시간	10초 ~ 100초
주파수 특성	장주기 성분	단주기 성분
영향인자	건물 주변의 영향	지반종류의 영향
하중의 표준편차	15%	30%
Signal 특성	정상확률과정	비정상 확률과정
설계개념	탄성설계	비탄성 설계
동적응답평가	스펙트럼 응답 해석	시간이력응답 해석

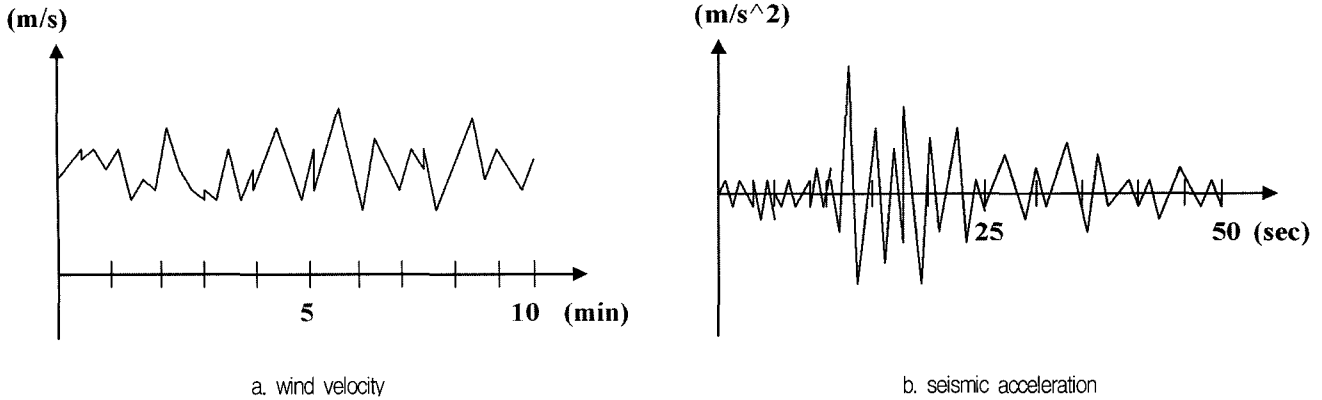


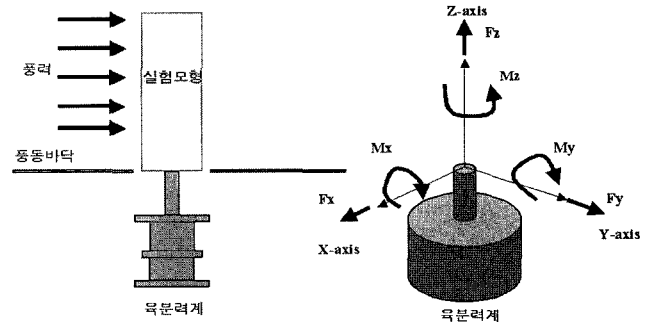
그림 2. 지진과 바람의 특성

3. 지진하중과 풍하중의 특성

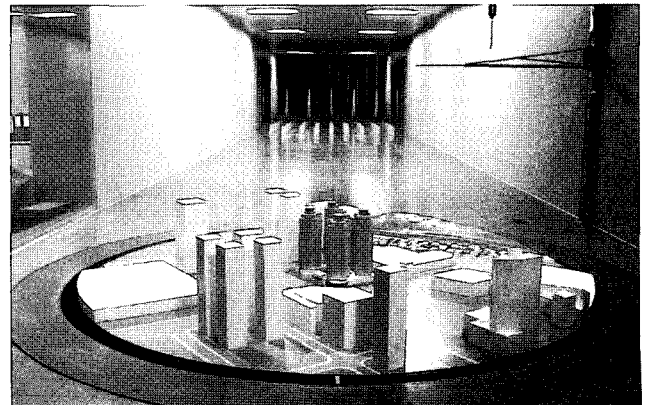
지진하중과 풍하중은 발생 및 전달과정의 차이에 의해 서로 다른 특성을 가지고 있으며 <표 1>과 같이 정리할 수 있다. <그림 2(a)>와 같이 바람은 일정한 평균성분과 함께 정상확률과정으로 가정될 수 있는 불규칙 변동을 가진다. 즉, 바람에서는 불규칙한 변동이 변화가 없이 지속적으로 발생하는 것이다. 지진의 경우, 진앙에서 단층의 갑작스런 움직임에 의해 충격이 발생하면 지반을 통해 주변의 지역으로 진동이 전달되게 된다. 이 때, 지반의 특성에 의해 진동의 크기가 증폭 또는 감소될 수 있으며, 주파수 대역별 충격에너지의 전달속도가 다르기 때문에 진앙에서 1초에서 수 초간 발생한 충격이 100 km 떨어진 위치에서 10초에서 100초간 지속하는 진동이 된다. 따라서 <그림 2(b)>와 같이 일반적으로 지진동의 초기에서는 미진동이 발생하고 이 후 급격한 진동이 갑자기 발생하였다가 다시 진동이 줄어들게 되며 진동의 주기도 초기에는 짧다가 후반으로 갈수록 길어지게 된다. 이러한 진동의 변화로 인해 지진은 비정상적인 확률과정으로 취급된다. 바람은 정상과정으로 취급되기 때문에 바람에 의한 동적인 건물의 거동은 확률적인 해석과정을 통해 평가되고 이러한 거동의 평가를 바탕으로 풍하중을 산정하게 된다. 그러나 지진의 경우에는 바람과 같이 정상확률과정을 적용할 수 없기 때문에 실제 지진과 데이터를 이용한 시간이력해석을 통해 직접 건물의 응답을 구하여 거동을 평가하게 된다. 하지만 시간이력해석을 통한 거동의 평가는 확률적인 해석보다 시간이 오래 걸리며, 특정한 하나의 지진과 기록이 앞으로 발생할 지진을 대표한다고 보기 어렵기 때문에 일반화된 지진하중을 산정하기에는 부적당한 측면이 있다. 따라서 유사한 지반조건을 가진 많은 지진 데이터에 대한 건물의 응답을 동적특성에 따라 일반화하여 지진 스펙트럼을 만들고 이를 표준화하여 지진하중을 산정하게 된다.

지진하중은 10초에서 100초 정도의 짧은 시간에 작용하는 하중이지만 강풍으로 발생하는 풍하중은 1시간에서 최대 3~4시간 정도 지속하게 된다. 강풍이 지속되는 시간동안 풍속이 최대가 되는 구간이 대략 10분 단위로 존재하게 되므로, 우리나라의

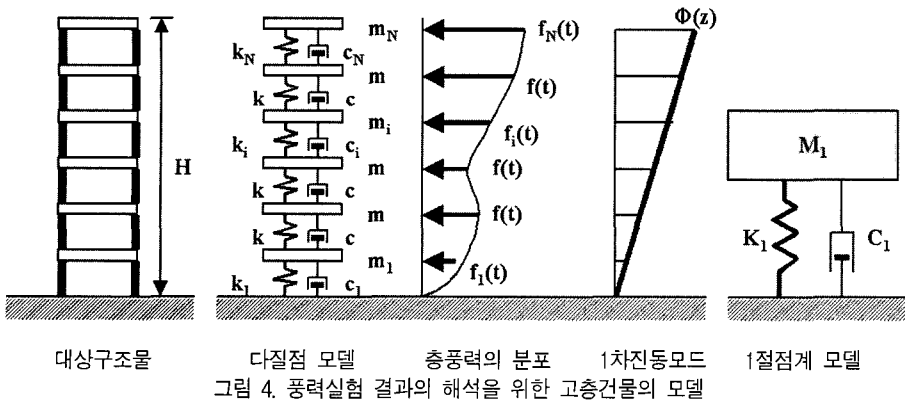
경우 풍하중의 평가시간을 규준에서 10분으로 정하고 있다. 일본의 경우에도 평가시간을 10분으로 하고 있으나, 캐나다의 경우 풍속의 장주기 성분을 고려하기 위해 1시간을 평가시간으로 정하고 있다. 또한 유럽의 경우 3초간 거스트 평균풍속을 기준으로 풍하중을 산정하고 있으며, 유럽의 영향을 받은 일부 동남아에서도 이러한 3초간 거스트 평균풍속을 사용하는 경우가 있다. 앞서서도 설명한 바와 같이 풍하중의 경우 여러 가지 변수에 의해 영향을 받으므로 일반화하기 어렵기 때문에 풍동실험결과를 해석하여 풍하중을 산정하게 되는데, 하중의 평가시간이 지진하중에 비해 훨씬 길기 때문에 시간이력해석으로 거동을 평가할 경우 많은 시간이 필요하게 된다.



a. 실험 장치

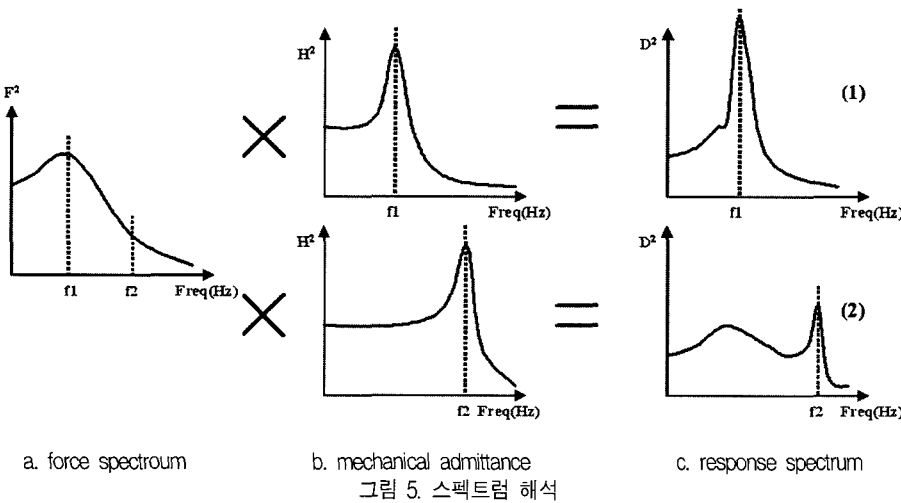


b. 실험전경
그림 3. 풍력실험



4.2 응답의 평가

초고층 건물의 풍하중을 평가하기 위해서는 바람에 의한 건물의 동적거동을 먼저 평가하여야 한다. 풍력실험에 의한 건물의 동적응답 평가는 건물의 1차 고유진동모드가 전체 동적거동의 대부분을 차지한다는 가정 하에 전체건물을 <그림 4>와 같이 1절점계로 치환하여 운동방정식을 구성하고 이에 대한 해를 구함으로써 이루어진다. 운동방정식의 해는 스펙트럼 해석법에 의한 확률적 예측방법이 적용되며 <그림 5>와 같이 개념적으로 나타낼 수 있다. <그림 5>에서 나타낸 바와 같이 건물의 변위응답 스펙트럼<그림 5(c)>는 풍력 스펙트럼<그림 5(a)>에 건물의 기계적 어드미턴스<그림 5(b)>를 곱하여 구할 수 있으며, 변위 스펙트럼의 면적이 건물의 동적 변위응답의 분산이 된다. 변위응답의 분산으로부터 확률적으로 평가된 피크팩터(peak factor)를 반영하여 건물 각 층의 최대 변위를 구할 수 있으며, 최상층 변동변



4. 풍응답의 평가와 풍하중의 산정절차

일반적으로 현재 지어지는 초고층 주상복합 건물의 경우 기본 설계단계에서는 기준으로 풍하중을 산정하여 설계를 실시하고, 이후 풍동실험을 실시하고 정확한 풍하중을 산정하여 검토·확인 및 설계수정의 과정을 거치게 된다. 그러나 대규모 프로젝트의 경우에는 풍하중을 저감할 수 있는 건물단면형상 및 구조시스템의 선정을 위해 기본설계단계에서 풍동실험을 수행하는 경우도 있다. 따라서 대부분의 설계에 있어서 풍하중이 실험을 통해 최종 결정되게 되므로 기준을 이용한 산정방법에 대해서는 설명을 생략하고 풍동실험을 통한 풍응답 및 풍하중 산정방법과 이에 대한 유의 사항을 기술하고자 한다.

4.1 풍력실험의 개요

초고층 구조물의 풍력은 일반적으로 풍력실험을 통해 산정된다. 풍력실험은 <그림 3(a)>와 같이 가볍고 강성이 큰 실험모형을 밀면전단력과 밀면 모멘트를 측정할 수 있는 센서(유분력계)에 설치하여 실험을 통해 구조물에 작용하는 힘을 직접 측정하는 실험이며 실험전경은 <그림 3(b)>와 같다. 실험을 통해 측정된 밀면전단력과 밀면모멘트를 이용하여 해석적인 방법을 통해 건물의 응답과 풍하중을 산정하게 된다.

위에 각진동수의 제곱을 곱해 유사 가속도를 구하여 변동 풍하중과 진동에 대한 건물의 사용성을 평가하게 된다.

스펙트럼 해석에서 풍력 스펙트럼은 실험에서 얻은 값을 사용하여 건물의 동적특성을 나타내는 기계적 어드미턴스는 고유치 해석(eigen-value Analysis)을 통해 구한 값을 적용한다. 기계적 어드미턴스는 건물의 질량과 강성에 의해 결정되며 건물의 고유진동수 부근에서 극값을 가진다. <그림 5>의 (1)과 같이 건물의 고유진동수가 풍력 스펙트럼 중에서 에너지가 큰 저주파 성분과 일치할 경우 건물의 응답이 증가하게 되며, (2)와 같이 에너지가 적은 고주파 성분과 일치할 경우 건물의 응답은 감소하게 된다.

철골건물도 마찬가지이지만, RC 건물의 경우 동적특성평가에 필요한 건물의 강성을 평가하는데 어려움이 있다. 상용프로그램을 이용한 동적특성의 평가 시 코어와 기둥 및 보의 모델링되지만 해석의 편이를 위해 층별 바닥판은 다이어그램으로만 가정되어 슬래브의 휨강성은 반영되지 않는다. 또한, 코어와 기둥 및 보의 강성도 균열발생 시 감소되는 정도를 고려하여야 하지만 이에 대한 강성의 저감 정도를 명확하게 규정하기 어려운 면이 있다. 그리고 간막이 벽과 같은 비구조 요소도 강성에 기여하는 부분이 있지만 대부분 무시되고 있다. 따라서 강성평가 시 이러한 부분에 대한 고려가 충분히 되지 않을 경우 건물의 고유진동수가 실제와 크게 다르게 평가될 수 있으며, 이로 인해 과대 또는 과

소한 풍응답과 풍하중이 산정될 수 있다. 강성과 함께 건물의 감쇠도 평가하기 어려운 부분인면서 동적 응답에 크게 영향을 주는 인자이다. 일반적으로 1%~2% 사이의 값을 풍응답 해석 시 적용하고 있지만 정확한 평가를 위해 실제 RC 구조물에서 어느 정도의 감쇠가 나타나고 있는지 평가해 볼 필요성이 있다.

현재까지 국내의 철골 구조물에 대해서는 동적특성을 평가한 사례가 있으나 초고층 RC 건물은 시공이 근래에 활발해졌기 때문에 아직 평가가 실시되지 못한 실정이다. 향후, 초고층 RC 건물에 대해서도 동적특성에 대한 평가를 실시하여 해석상의 결과 값을 보정하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4.3 풍하중의 산정

식 (2)에서 나타낸 바와 같이 건물에 작용하는 풍하중은 평균 하중에 변동풍하중으로 발생하는 진동에 의한 관성력을 더하여 산정된다. 관성력은 진동 가속도에 질량을 곱하여 계산되며 가속도는 건물의 변위응답으로부터 구해진다. 따라서 합리적인 풍하중을 산정하기 위해서는 정확한 변위응답의 산정이 필요하며, 이를 위해 앞 절에서 기술한 바와 같이 건물의 동적특성에 대한 정확한 평가가 무엇보다 중요한 요소가 된다.

4.4 사용성의 평가

일반적으로 초고층 건물은 세장하기 때문에 바람의 변동성분에 의해 발생하는 진동으로 인해 거주자의 사용성에 문제가 발생할 수 있다. 사무소 건물에서는 강풍에 의해 진동이 발생하여 사용자가 어지럼증과 구토 등의 불편감을 느끼게 될 경우 낮은 층으로 이동하여 강풍이 지나갈 동안 휴식을 취하면 되지만, 특히 초고층 주상복합 건물에서 심야에 진동에 대한 문제가 발생하게 되면 거주자가 큰 불편함을 겪을 수 있다. 따라서 각 국에서는 이러한 문제점을 예방하기 위해 횡하중으로 인해 발생하는 건물의 진동 크기에 제한을 두고 있다.

대체로 초고층 RC 건물의 경우 철골건물보다 중량과 강성이 크기 때문에 진동에 대한 영향이 적은 것으로 알려져 있다. 그러나 해안가에 인접한 지역에서는 기본풍속이 크기 때문에 RC 건물이라고 하더라도 사용성 기준을 만족하지 못하는 경우가 발생하고 있다. 또한 초고층 주상복합 건물의 경우 아름다운 조망을 확보하기 위해 해안가 바로 옆에 인접하여 건설되는 경우가 많기 때문에 시가지보다 높은 풍속의 바람이 작용하게 되어 사용성을 확보하기가 더욱 어려워지는 경향이 있다. 이에 따라 횡하중의 크기보다 사용성 기준에 의해 구조부재의 물량이 결정되는 경우도 발생하고 있다.

사용성 평가에 이용되는 건물 최상층부의 가속도도 풍력실험결과와 건물의 동적특성에 의해 결정되므로 RC 건물에 대한 합리

적인 동적특성의 평가가 무엇보다 중요하다.

4.5 풍하중 산정에 대한 향후 연구방향

현재 일반적인 기준에서는 임의 지역의 최대풍속이 모든 방향에 대해 동일하다고 규정하고 있다. 그러나 실제로는 기후적인 요인에 의해 각 풍향별로 최대풍속이 다르게 나타난다. 따라서 보다 효율적인 설계를 위해서는 풍향별로 최대풍속을 다르게 평가하여 최적화된 설계를 하는 것이 바람직하므로 풍향별 최대풍속의 산정에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 풍향별 최대풍속의 평가가 일반화되면 건물에 작용되는 풍하중을 보다 합리적으로 평가할 수 있으며 최대풍속이 발생하는 풍향을 고려함으로써 보다 안전한 건물을 설계를 할 수 있다.

일반적으로 건물의 구조 축방향별로 발생한 최대 풍하중을 적절히 조합하여 설계풍하중을 산정하고 구조설계에 적용한다. 그러나 현재 기준에서는 풍향별 최대풍속을 동일하게 규정하고 있기 때문에 각각의 건물 구조축에 작용하는 최대 풍하중을 조합하여 적용할 경우 다소 과도한 설계가 될 수도 있다. 이러한 점을 고려하여 기준에서는 강제적으로 구조축 방향별로 발생한 최대 풍하중에 대한 조합을 실시하여 설계하도록 하지는 않고 있다. 그러나 풍향별 최대풍속을 다르게 적용할 경우에는 각각의 건물 구조축에 작용하는 최대풍하중을 반드시 조합하여 구조설계에 적용하여야 안전한 설계가 될 수 있으므로 향후 풍향별 최대풍속을 다르게 평가할 경우에는 합리적인 풍하중의 조합방법에 대해서도 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이와 함께, 현재 풍하중의 평가는 대부분 평균풍하중과 변동풍하중의 조합으로만 이루어지고 있는데 실제로는 풍하중이 작용할 때 구조물에서 발생하는 하중효과(밀면모멘트, 밀면전단력 등)을 고려하여 풍하중이 산정되어야 한다. 즉, 동적인 풍하중을 정적인 설계하중으로 치환할 때 실제 풍하중이 발생시키는 하중효과와 동일한 하중효과를 발생시킬 수 있는 정적 풍하중이 산정되어야 한다는 것이다. 따라서 향후 하중효과를 고려한 풍하중 산정 절차를 일반화하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

5. 지진하중의 산정

건물에 작용하는 지진하중은 하중기준에 제시된 식 (3)에 의해 등가정적하중으로 산정된다.

$$V = \left(\frac{A I_E C}{R} \right) W = \left(\frac{A I_E C}{R} \right) g M \quad (3)$$

여기에서, V = 밀면전단력, A = 지역 계수,
 I_E = 중요도 계수, C = 동적 계수,

R = 반응수정계수, W = 건물의 총중량
 g = 중력가속도, M = 건물의 질량

이다. 위의 식 (3)은 식 (1)에서 나타낸 바와 같이 지반가속도에 의한 건물의 최대 진동가속도에 건물의 질량을 곱한 형태가 된다. 즉 $(AI_E C/R \cdot g)$ 의 항이 진동가속도이며, 여기에 질량 M 이 곱해짐으로써 지진하중이 산정된다.

그런데 여기에서 건물의 최대가속도를 결정하는 변수 가운데 동적계수는 건물의 고유주기 T 에 의해 아래의 식 (4)와 같이 결정되며 (그림 6)의 형태로 나타난다.

$$C = \frac{S}{1.2 \sqrt{T}} \quad (4)$$

여기에서, S = 지반계수, T = 고유주기

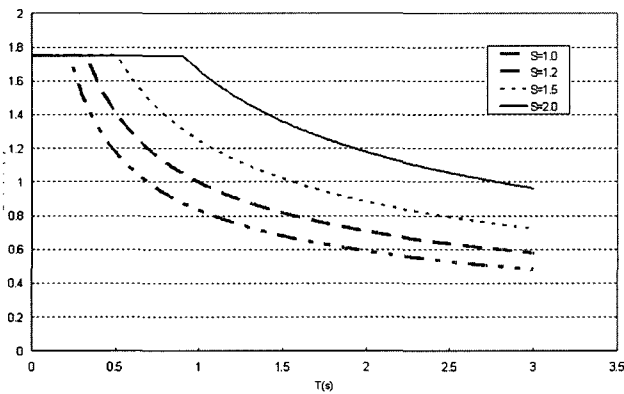


그림 6. 지진하중산정 동적계수

동적계수에는 실무에서 신중하게 판단해야 할 중요한 요소 두 가지가 있다. 먼저, 건물의 주기에 의해 가속도의 크기가 달라지므로 풍하중 산정과 마찬가지로 건물의 동적특성 평가가 합리적이어야 한다. 초고층 건물의 경우 고유주기가 장주기 영역에 포함되

므로 주기산정이 다소 달라져도 산정되는 지진하중이 크게 달라지지 않을 수 있으나 정확한 평가를 위해서는 건물의 동특성 평가가 정확히 이루어져야 한다. 이와 함께 지반계수가 포함되어 있는데 이는 지반의 성질에 따라서 구조물의 거동에 상당한 차이가 있기 때문에 이러한 현상을 동적계수에 반영한 것이다. (그림 6)에서 볼 때 초고층 건물의 고유주기에 따른 지진하중의 변화와 비교하여 지반계수에 따라서 지진하중의 크기가 다소 크게 달라질 수 있으므로 지반계수의 평가에 유의하여야 한다. 또한 건물이 건설되는 지반이 한 가지 종류로 이루어진 경우는 거의 없으므로 실무자가 지질조사의 결과를 바탕으로 정확하게 평가하여야 한다.

6. 지진과 바람에 효과적인 구조설계

일반적으로 건물은 풍하중 작용 시 탄성범위 내에서 거동하게 하고, 지진하중에 대해서는 비탄성 거동을 하도록 설계된다. 대체로 실무에서는 산정된 풍하중과 지진하중의 크기를 단순 비교하여 큰 쪽을 기준으로 정적 탄성해석을 통해 건물을 설계한다. 하지만 초고층 건물의 경우 고차모드의 영향이 크기 때문에 복잡한 거동이 발생할 수 있으므로 단순히 정적으로 큰 하중을 기준으로 설계한다고 해서 강풍 시 탄성거동을 하고 지진 시 비탄성 거동을 함으로써 안정성이 확보된다고 볼 수 없다. 즉, 강풍 작용 시에 국부적으로 변형이 집중되어 건물의 잔류변형이 남을 수 있으며, 지진하중에 대해서도 과도한 저층부의 변형으로 인해 안정성이 상실될 수 있다. 따라서 정적인 하중에 대해 설계하고 난 후 (그림 7)과 같은 동적 비선형 시간이력해석을 통해 건물의 거동을 검토해 볼 필요성이 있다. (그림 7)은 풍압실험을 통해 건물의 각 면에서 동시 측정된 풍압데이터를 이용하여 비선형 동적 시간이력해석을 수행한 것이다. 이를 통해 강풍 작용 시 건물의 국부적인 부재에 변형이 집중되어 소성거동을 보이는 부분이 있는지 살펴보고 설계 시 평가된 응답보다 더 큰 풍응답이 발생하는지 검토하게 된다. 지진하중에 대해서도 지반 가속도의 시간이력 데이터를 이용하여 이와 동일하게 동적거동을 평가할 수 있다.

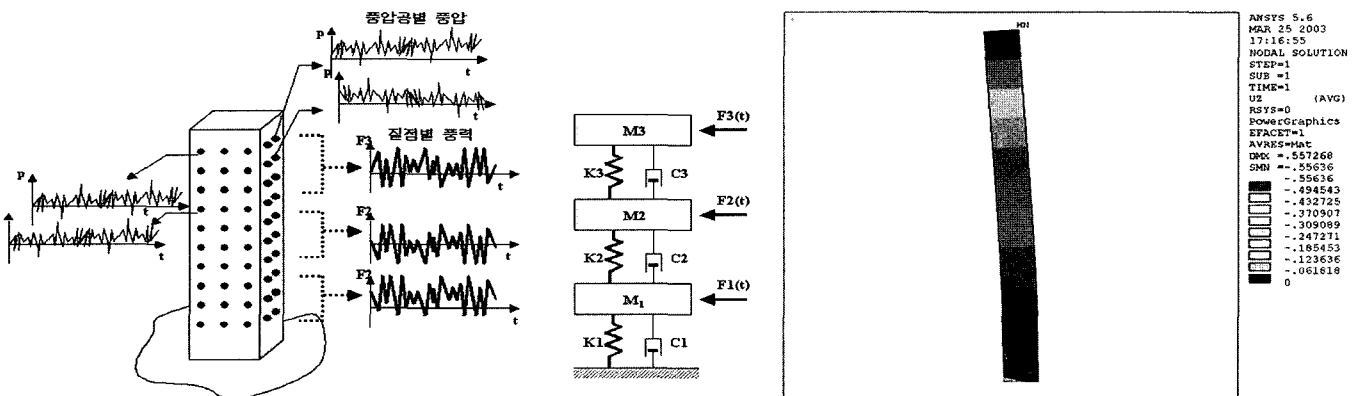


그림 7. 풍압데이터를 이용한 시간이력해석

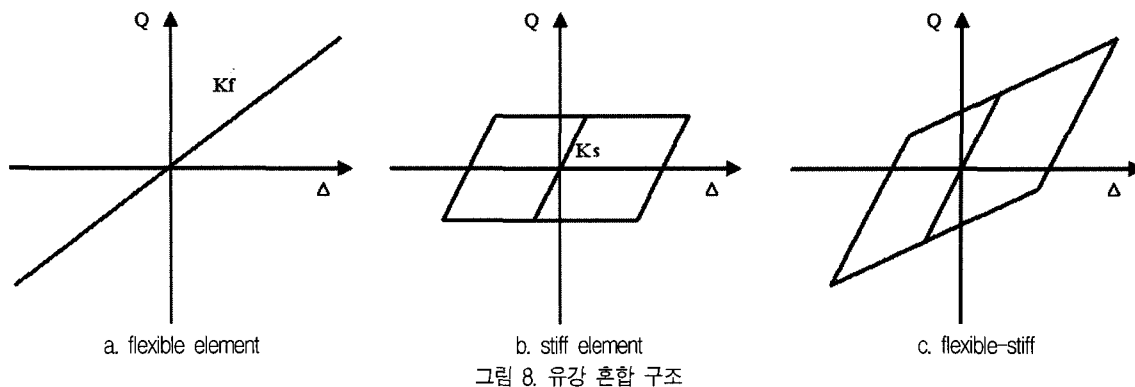


그림 8. 유강 혼합 구조

그러나 비선형 동적 시간이력해석에 있어서도 해결되어야 할 문제점이 있다. 합리적인 건물의 비선형 시간이력 거동을 해석하기 위해서는 건물을 구성하고 있는 각 부재의 강성에 대한 정확한 모델링이 이루어져야 하며, 이러한 부재들의 이력거동에 대한 규명이 필요하다. 특히, 현재 건설되고 있는 주상복합 건물 중에는 전단벽 구조형식으로 이루어진 것이 다수이므로 전단벽에 대한 유한요소 모델과 이력모델의 정립이 요구된다. 이와 함께 비구조 요소에 대한 모델방안이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

지진과 풍하중에 대해 효과적인 구조로 유강혼합구조가 있다. 유강혼합구조는 <그림 8>에서 나타낸 바와 같이 지진발생 시 유(Flexible)한 요소는 탄성을 유지하게 하고 강(stiff)한 요소는 소성거동을 하게 하여 지진 시 효과적인 건물의 거동을 발생시키는 구조이다. 유강혼합구조의 장점은 <그림 8(c)>와 같이 강(stiff)요소가 항복하여 소성이 진전되는 하중영역에서도 어느 정도 강성을 확보하고 있기 때문에 소성변형의 진전이 억제됨으로써 반복적인 지진하중을 받으면서도 건물의 변형이 한쪽으로 치우치는 거동을 나타내지 않는다는 것이다.

유강혼합구조의 강(stiff)요소는 풍응답을 저감시키는데 유효한 요소가 될 수 있으며, 평균 풍응답이 구조물의 탄성범위를 넘지 않는다면 최대 풍응답이 일부 탄성범위를 넘어 비선형 구간에 들어가더라도 누적된 소성변형을 막을 수 있게 된다. 즉, 유강혼합구조의 예와 같이 대부분의 구조물은 지진과 바람에 대하여 최적화된 설계가 가능하며, 이를 통해 경제적이면서 안전성과 사용성이 확보된 건물을 설계할 수 있다.

7. 결 론

앞에서 풍하중과 지진하중의 발생기구를 살펴보았으며 각각의 특성에 대하여 비교해 보았다. 이와 함께 풍하중과 지진하중을 산정하는 절차와 함께 보다 합리적인 하중산정을 위해 유의해야 할 사항과 향후 추가적으로 연구해야 할 부분을 고찰하였다.

발생원인 및 전달과정의 차이로 인해 지진하중과 풍하중은 서로 다른 특성을 가지고 있지만 건물의 진동에 의한 관성력으로 발생하는 하중 산정에 있어서는 유사한 방법을 사용하고 있다.

그리고 관성력 산정 시 건물의 고유한 진동특성을 정확히 평가하는 것이 합리적인 하중산정을 위해 중요하다. 이를 위해서는 초고층 RC 건물의 경우 향후 연구를 통해 횡강성을 평가하는 해석방법이 정립되어야 하며 RC 건물의 동특성 실측을 통해 정립된 해석방법을 검증하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

초고층 건물의 설계에 있어서 지진하중 및 풍하중과 함께 진동에 대한 사용성이 중요한 설계기준이 되고 있다. 특히, 주상복합 건물의 경우 이러한 문제가 크게 부각되고 있으며 RC 건물이라 할지라도 풍속이 큰 해안가에 위치할 경우 사용성 기준에 의해 구조물량이 결정될 수 있으므로 이에 대한 정확한 평가가 요구된다.

현재, 등가정적으로 산정된 풍하중과 지진하중의 절대적인 크기를 비교하여 큰 쪽을 기준으로 정적 탄성설계만 실시하고 있지만 초고층 건물의 경우 고차모드의 영향이 증대되기 때문에 복잡한 동적효과가 거동에 크게 영향을 미칠 수 있다. 따라서 비선형 동적 시간이력해석을 실시하여 건물전체의 변형분포를 검토하는 것이 필요하며, 이와 함께 설계 시 평가되었던 동적응답에 대해서도 확인하는 것이 요구된다.

또한, 바람과 지진에 대하여 동시에 효과적인 건물의 설계가 가능하며 이를 통해 경제적이면서 안전성을 확보한 건물을 설계하는 것이 바람직하다. □

참고문헌

1. H. Liu, "Wind Engineering", Prentice Hall, 1991.
2. J. E. Cermak, etc, "Wind Tunnel Studies of Buildings and Structures", ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 67, ASCE, 1999.
3. 川村純夫, "建築風工学". 技報堂出版, 1997.
4. 김영문, 윤성원, 정영배, "건축물의 내풍설계", 한림원, 2002.
5. 日本建築センタ, "実務者ための建築物風洞実験ガイドブック", 日本建築センタ, 平成 6.
6. "건축물 하중기준 및 해설", 대한건축학회, 2000.
7. 神田 順, "風と地震", 建築技術, 第531号, 1994. 7.
8. Hiroshi Akiyama, "Interaction of seismic design and wind design in high-rise buildings," ISWE1, 2004.