



바람에 의한 고층건축물의 풍진동

조 강 표*

(원광대학교 건축학부)

1. 머리말

최근 들어 고층아파트뿐만 아니라 주상복합 건축물 혹은 초고층 오피스 건축물의 건설이 날로 증가하고 있는 추세이다. 이와 같은 고층건축물들은 지진하중 보다는 오히려 풍하중에 의해 구조시스템이 결정되는 경우가 더 많다. 고층건축물의 내풍설계는 “건축물하중기준 및 해설”에 의해 등가정적하중을 근간으로 하여 실행되어지고 있다. 그러나 고층건축물의 경우에는 내풍 안전성이 확보되었다 하더라도 풍진동에 의한 거주 성능이 현저히 떨어질 우려가 있음에도 불구하고 아직 이에 대한 기준이 제정되어 있지 않다. 풍공학 선진국가들은 고층건축물의 거주성을 확보하기 위해서 자국 실정에 맞는 기준을 가지고 있으며 우리나라에서도 조만간 이에 대한 기준이 마련될 것으로 기대하고 있다.

고층건축물의 풍진동 현상을 보다 쉽게 이해하기 위해서는 유체와 구조물의 동력학뿐만 아니라 수학과 통계학 등 여러 가지의 학문분야를 두루 섭렵할 필요가 있다. 필자는 고층건축물의 풍진동이 일어나는 메카니즘과 그에 대한 대책을 위주로 이 글을 전개하고자 한다.

2. 바람의 특성과 건축물의 풍진동

우선 건축물의 풍진동에 영향을 주는 인자는 접근하는 바람의 특성이라고 할 수 있을 것이다. 일반적으로 건축물에 접근하는 바람의 속도는 접근류의 평균성분과 변동성분, 그리고 횡방향과 수직방향의 변동성분으

로 이루어져 있다고 볼 수 있다. 물론 자연바람은 비정류성(non-stationary)을 띄지만 횡방향과 수직방향의 평균성분은 접근류방향의 평균성분에 비하면 무시할 수 있다고 할 때 일반적으로 고려하는 것은 평균류 방향의 평균풍속과 세 축 방향의 변동풍속으로 볼 수 있을 것이다. 그림 1은 접근류의 평균류 방향의 평균풍속과 변동풍속을 함께 보여주고 있다. 평균류 방향의 평균풍속은 평균류 방향의 정적변위와 관련이 있고 변동성분은 평균류방향의 풍진동과 관련이 있다. 또 횡방향의 변동성분은 평균류 방향의 직각방향으로의 풍진동과 그리고 수직방향의 풍진동과 관련지을 수 있다. 그러나 건축물의 경우 수직방향의 변동성분에 의한 수직방향의 풍진동은 무시할 수 있을 것이다.

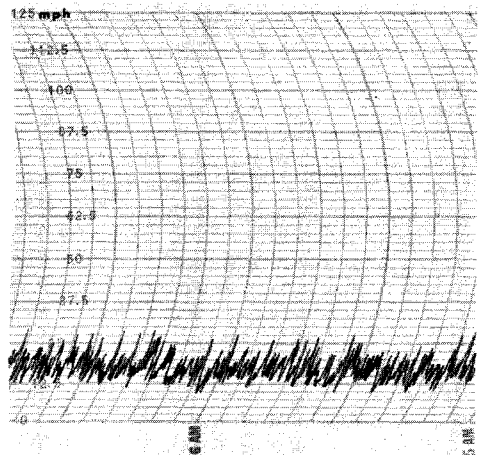


그림 1 풍속관측데이터의 예

건축물의 풍진동은 접근류의 특성에 의존하므로 접근류의 난류강도가 크면 클수록 더 풍진동이 증가한다는 것을 알 수 있다. 건축물의 평균류 방향의 풍진동은 변동성분에만 의존하므로 이론적 방법으로 구할 수 있다. 이론적인 접근 방법은 Davenport에 의해 처음으로 시도되었다. 평균류 직각방향의 풍진동은 접근류의 횡방향의 변동풍속 뿐만 아니라 건축물의 모서리에서 떨어져 나가는 기류의 박리 와 웨이크 등에 의해 크게 의존하기 때문에 각각의 영향을 파악하기가 어려워 현재까지 이론적 방법으로 풍응답을 구할 수 없다.

건축물의 풍응답에는 평균류 방향의 풍응답과 평균류 직각방향의 풍응답이외에도 간과해서는 안되는 비틀림진동 있다. 건축물의 형상이 정형이 아니거나 건축물의 탄성중심과 풍하중의 중심이 일치하지 않은 경우에 흔히 발생할 수 있다. 과도한 비틀림 진동은 건축물의 사용자들로 하여금 불쾌감을 유발할 수 있다.

3. 건축물의 형상과 풍환경

지진하중과는 달리 풍하중은 건축물의 형상에 따라 다르게 나타날 수 있다. 지진하중의 경우에는 건축물의

중량에만 의존하지만 풍하중은 건축물에 접근하는 기류가 구조물의 형상에 따라 다르게 진로를 결정함에 따라 건축물에 작용하는 풍하중도 달라진다. 건축물에 작용하는 기류의 패턴은 똑 같은 건축물의 형상에 대해서도 풍속의 차이에 따라서도 달라지게 되어 실제 건축물을 풍동에서 모형실험을 할 때 주의를 요하는 경우가 많이 있다. 그림 2는 건축물의 평면이 원형인 경우에

레이놀즈 수: $Re = \frac{\rho VB}{\mu}$ (ρ = 공기의 밀도, V = 풍속,

B = 평균류직각 방향의 폭, μ = 공기의 동적점성계수)에 따른 기류패턴의 변화를 잘 보여주고 있다.

그림 2(b)와 2(c)에서 알 수 있듯이 건축물 평면이 곡선으로 이루어진 경우에 레이놀즈 수에 따라 기류의 박리점이 달라진다. 즉 평균류 방향의 풍력과 평균류 직각방향의 풍력이 레이놀즈 수에 의존한다 것이다. 그러므로 평면이 곡선으로 이루어진 건축물의 경우 실험실에서 시뮬레이션을 할 경우 레이놀즈 수를 적절히 상사시키는 일은 중요하다. 반면에 사각형 평면을 갖는 건축물의 경우에는 그림 3과 같이 박리점이 건축물의 모서리에서 일어남으로 레이놀즈 수에 영향을 크게 받지 않는다. 그러나 사각형 평면을 갖는 건축물의 경우에는

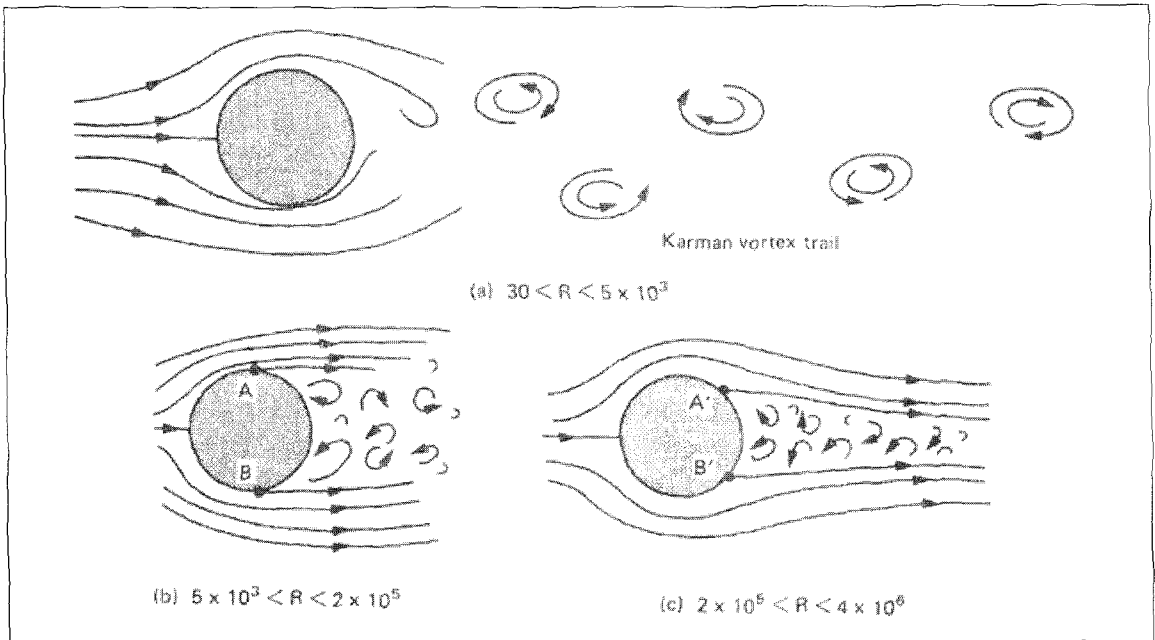


그림 2 레이놀즈 수에 따른 원형 평면의 기류패턴의 변화

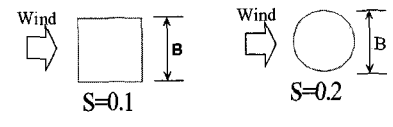
건축물의 변장비에 따라 기류의 패턴이 달라지므로 그에 따른 건축물의 풍진동도 달라지게 된다.

건축물의 풍진동과 관련하여 그림 2와 3의 공통적인 현상은 풍하측(down stream)에서 볼텍스가 번갈아 발생한다는 사실이다. 이와 같이 번갈아 발생하는 볼텍스 때문에 건축물에는 번갈아서 평균류 직각방향으로 힘이 발생하게 되어 풍진동을 일으키게 된다. 1초당 한쌍의 볼텍스의 빈도수를 볼텍스 주파수로 정의하며 그 빈도수는 접근류의 풍속이 클수록 커진다. 이와 같은 현상은 스트로우할 수(Strouhal number)로 나타낼 수 있다.

$$\text{Strouhal number} = \frac{N_s B}{V}$$

여기에서 N_s = 볼텍스 주파수, B = 평균류 직각방향의 건축물의 폭, V = 접근류의 풍속이다. 건축물의 평면이 사각형인 경우에 스트로우할 수는 약 0.1 근처의 값을 갖는다. 건축물이 원형평면을 갖는 경우에는 레이

놀즈 수에 따라 스트로우할 수도 달라지지만 주기적인 볼텍스를 발생시키는 레이놀즈 수가 $2 \sim 3 \times 10^5$ 정도에서는 0.2에 가까운 값을 나타낸다.



건축물의 고유진동수 f_0 과 볼텍스 주파수 N_s 가 일치하게 되는 경우에 공진현상이 발생하여 건축물이 격렬한 풍직각방향의 진동을 하게 된다.

건축물의 평면형상이 사각형인 경우에 아래와 같이 공진풍속을 구할 수 있다.

$$S = N_s B / V$$

$$0.1 = N_s B / V$$

$$\uparrow$$

$$f_n$$

$$V_{cr} = f_n B / 0.1$$

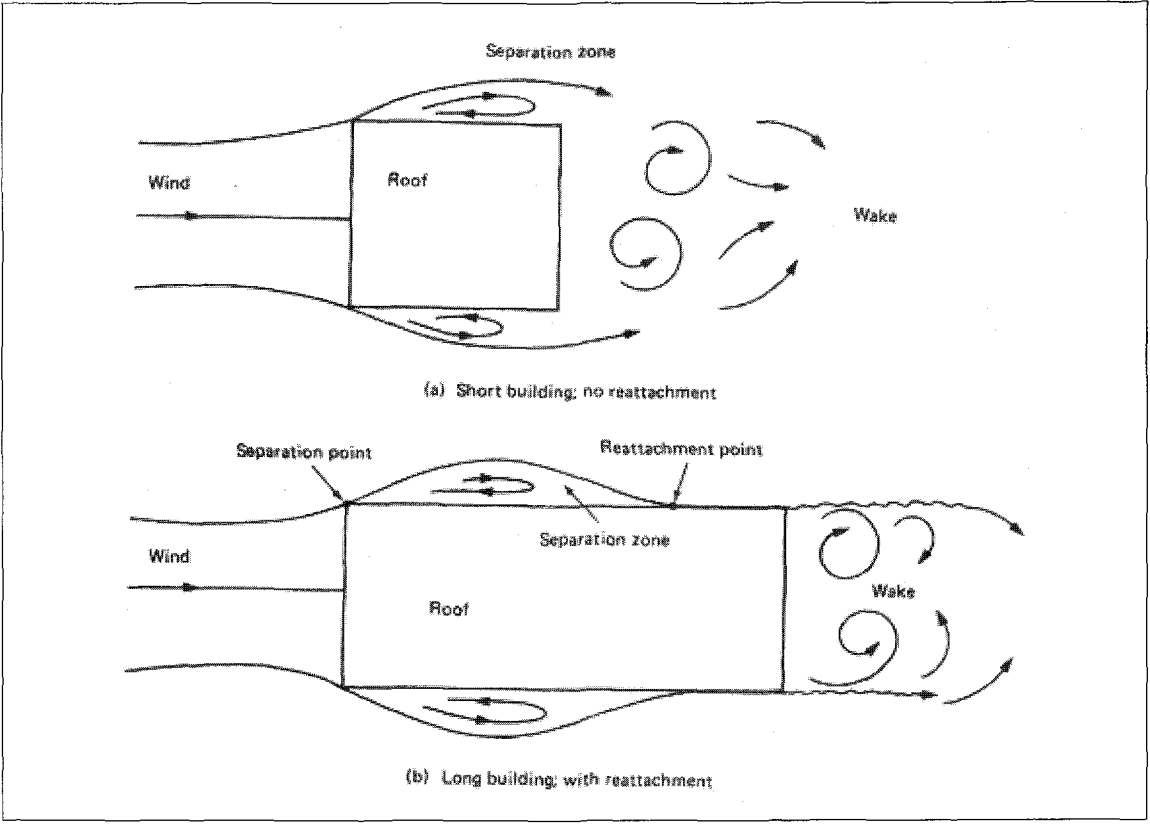


그림 3 변장비가 다른 건축물의 사각형 평면 주위의 기류 변화

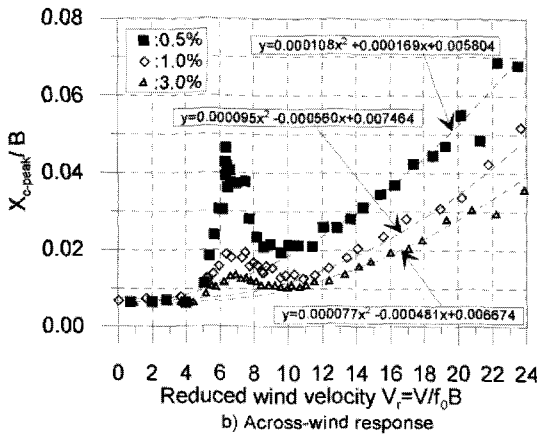


그림 4 원형단면의 풍직각방향의 풍진동 응답에

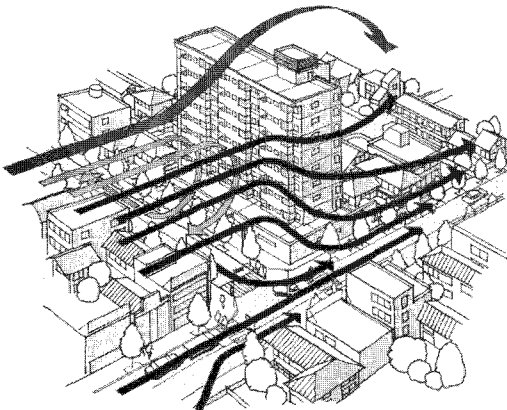


그림 5 건축물군에 부는 기류의 변화

건축물이 건설될 예정지의 설계풍속 이하에 공진풍속이 놓이게 되는 경우에는 각별한 주의를 요할 필요가 있다. 건축물이 경량이며 구조강도가 낮은 경우에는 별도의 감쇠장치를 도입하는 경우도 발생할 수 있을 것이다.

실제상황에서는 건축물이 단독으로 서 있는 경우보다는 오히려 주변건물에 의해 둘러싸이게 된다. 그림 5는 건물군에 기류가 접근을 할 때 기류의 변화를 스케치한 것이다. 이와 같은 경우에는 주변건물에 의해 기류가 영향을 받으므로 그에 따른 풍하중 상호간섭을 적절히 고려하지 않으면 안 된다. 그림 5에서처럼 건축물이 복잡하게 배치되어 있을 경우에는 보다 정확한 풍하중을 산출하기 위해 풍동실험을 수행해야 할 것이다. 건설교통부 제정 “건축물 하중기준 및 해설(2000)”에서

규정하고 하고 있는 풍하중은 상호간섭효과를 고려하지 않고 있다. 또한 건축물과 건축물 사이에 부는 빌딩 풍으로 인해 보행자들이 심한 불편감에 시달리는데 이에 대한 풍환경 기준도 아직 마련되어 있지 않다. 한국 풍공학회에서 풍환경에 대한 지침서를 적극 검토하고 있다.

4. 건축물의 풍진동 저감대책

바람에 의한 고층 건축물의 풍진동을 저감시키는 방법을 크게 3가지로 요약할 수 있을 것이다. 첫째로 공력학적으로 유리한 건축평면의 선택을 들 수 있을 것이다. 앞서 서술한 바와 같이 기류는 건축물의 형상에 따라 달라지므로 기류의 박리 메카니즘에 변화를 줌으로써 평균류 직각방향의 풍진동을 저감시킬 수 있다. 그림 6은 사각형 건축평면의 모서리를 변화시킴으로써 박리 메카니즘을 변화시킨 예들을 보여 주고 있다.

고층건축물의 풍진동을 저감시키기 위한 방법으로 건축평면이외에도 고층 건축물의 입면에 개구부를 줌으로써 풍하중의 감소를 유도할 수도 있을 것이다.

그림 7은 모서리절단에 따른 풍하중의 저감을 나타낸 것이다. 그림에서 실험시리즈 R은 모서리를 엇자른 상태이고 C는 모서리를 빗자른 상태, P는 사각형의 모서리를 절단하지 않은 기본형을 나타낸다. 풍향에 따라 평균류 직각방향의 풍력계수가 최대 50%까지 감소하기도 한다는 것을 알 수 있다.

둘째로 풍하중과 같은 횡력에 대해 잘 저항할 수 있는 구조시스템을 선택하는 것도 풍진동을 저감시킬 수 있는 한 방안이 될 것이다. 고층 건축물에서 흔히 채택하는 아우트리거 시스템, belt/bandage 시스템, 튜브 시스템 등이 풍진동을 줄이기 위한 구조시스템이라고 할 수 있다. 셋째로, 고층 건축물에 보조감쇠장치를 도입하는 것이다. 보조감쇠장치는 크게 관성력을 이용하는 방식과 에너지를 흡수하는 방식 등으로 나누기도 하며 또는 외부의 동력을 필요로 하는 능동(active) 방식과 외부의 동력을 필요로 하지 않는 수동(passive) 방식으로 나누기도 한다. 그림 8은 관성력을 이용하는 다양한 보조감쇠장치의 개념도를 보여주고 있다. 고층 건축물의 풍진동을 줄이기 위해 사용되는 수동 보조감쇠장치는 TMD, TLD, TLCD, VED, VDD, FD 등이 많이 적용되고

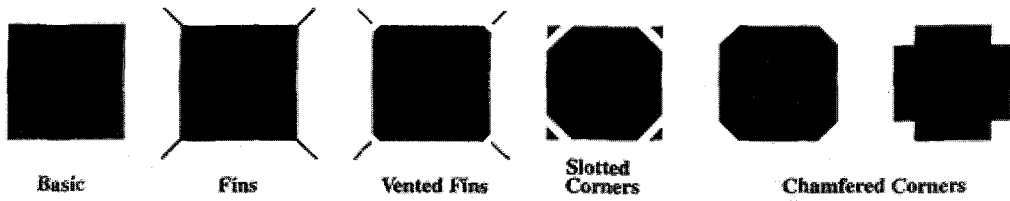


그림 6 사각형 건축평면의 모서리변경을 통한 풍응답 저감

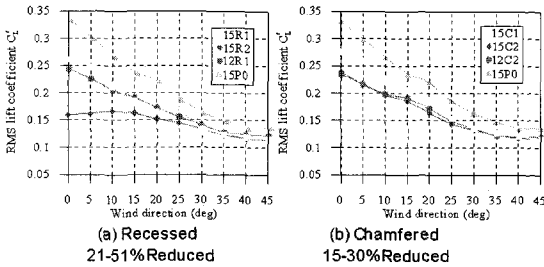


그림 7 모서리절단에 따른 풍하중의 비교

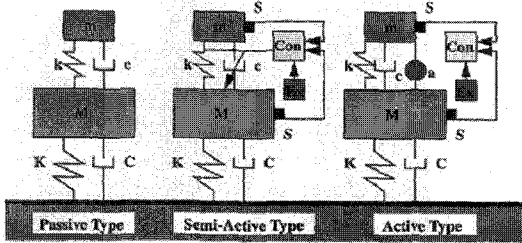


그림 8 관성력을 이용하는 다양한 보조감쇠장치의 개념도

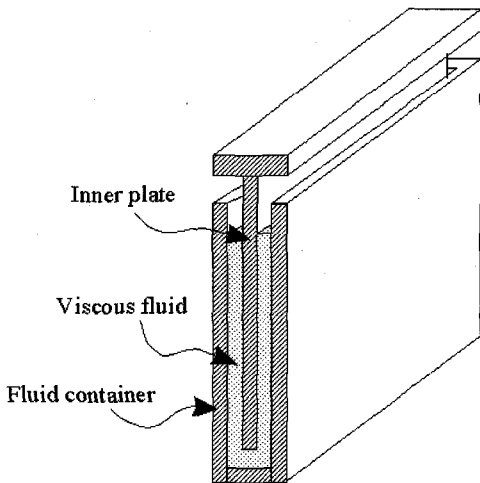


그림 9 벽식점성감쇠기의 유닛

있다. 근래에 와서는 능동형 보조감쇠장치가 널리 개발되어 응용되고 있으며 수동과 능동의 중간단계인 하이브리드(hybrid) 감쇠장치도 사용되고 있다. 그림 9는 벽식점성감쇠기의 유닛을 보여 주고 있다. 이 유닛의 구성은 내부판은 위층에 연결되고 점성유체용기는 아래층에 연결시켜서 강풍과 같은 동적 횡력을 받으면 고층 건축물이 수평방향으로 진동을 할 때 위층과 아래층 사이에 수평상대변위가 발생한다. 이 때 벽안에 들어 있는 점성유체 때문에 층간변위와 반대방향으로 점성감쇠력을 유발한다. 이와 같은 원리때 내부판이 점성유체용기안에서 상대적으로 움직이게 에 의하여 건물의 감쇠가 증가하여 건물의 동적응답을 줄이는 것이다.

고층 건축물의 풍진동을 억제하는 방법을 간단히 서술하여 보았으나 효율적으로 사용되기 위해서는 각각의 방법을 복합적으로 이용하도록 해야 할 것이다.

5. 맺음말

고층 건축물은 구조물이 갖고 있는 감쇠가 충분히 크지 않아 풍진동을 억제하기가 힘들게 되는 경우가 흔히 발생한다. 구조물의 안전성 이외에도 풍진동은 건물의 가속도 때문에 사용자에게 불쾌감을 야기시킬 수 있다. 또 과도한 건물의 진동은 소음을 일으키고, 간막이벽의 균열이나 피로로 인한 건축물의 생명을 단축시킬 수 있고, 엘리베이터의 기능에 장애를 가져 올 수도 있다.

고층 건축물은 주로 풍하중에 의해 안전성이 지배되는 경우가 많으므로 고층 건축물을 내풍설계시 풍진동에 효율적이면서 경제적으로 대비하기 위해서는 건축설계를 담당하는 건축가와 풍공학에 조예가 있는 구조엔지니어가 설계초기단계에서부터 함께 참여하는 것이 바람직할 것이다. 