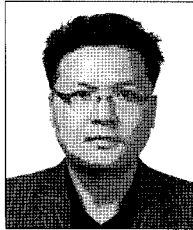
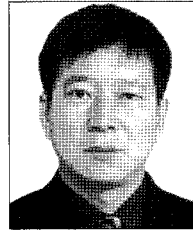


건축물 풍동실험에 대한 고찰

A Consideration of Wind Tunnel Test for Building Design



황 규 석*



이 대 우**



김 정 철***

*현대건설 기술연구소 건축지원팀

**현대건설 기술연구소 건축지원팀

***현대건설 건축사업본부 건축기술부

1. 서 론

1.1 풍동실험의 배경

우리나라는 지정학적으로 강한 태풍의 영향을 받는 위치에 놓여 있다. 기상청의 통계에 따르면 매년 평균적으로 3개 정도의 태풍이 우리나라를 내습하는 것으로 알려져 있다. 특히 최근에는 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미가 우리나라 기상관측 이래 최대의 풍속을 연이어 갱신하면서 제주도, 영남, 호남 일원을 강타하여 막대한 인적·물적 피해를 발생시켰다.

건축물의 내풍설계는 지금까지 내진설계의 그늘에 가려 일부 건축물을 제외하고 설계자에게 거의 관심을 끌지 못했다. 그러나 최근 초고층건물, 공항관제탑, 관광타워 등 강도상의 안전성 확보는 당연하고 거주성이라든지 사용성 등이 그 가치를 좌우하는 건축물이 급속하게 증가하기 시작하면서, 관심의 유형에 변화가 생기기 시작했다. 이러한 변화는 구조엔지니어뿐만 아니라 건축가에게도 형상의 타당성을 검증하기 위해서 풍동실험에 관심을 나타내기 시작하고 있다.

이러한 건축물은 바람에 민감해서, 종래와 같이 풍방향 풍하중에 대해서만 그 내력적인 검증만으로 내풍설계를

끝내면, 1년에 한번 또는 수년에 한번 불어오는 설계풍속과 비교해 볼 때 상당히 낮은 풍속인 경우에 있어서도 생각할 수 없는 진동을 발생시키는 경우가 있다. 바람에 의한 진동은 지진의 경우와 달리 한번 생기면 장시간 계속되기 때문에 거주자나 이용자에게 불쾌감을 주거나 업무나 행동에 지장을 주기도 한다. 실제로 이와 같은 현상이 현실적으로 확실해짐에 따라서 풍에 의한 건축물의 진동 혹은 그 제진에 관한 문제가 각광을 받게 되었다. 그래서 앞에서와 같이 고층건축물이 되면 거주성, 사용성의 문제만 아니라, 강도상 안전성의 문제에 있어서도 풍외력에 대한 배려가 매우 중요하게 되었다.

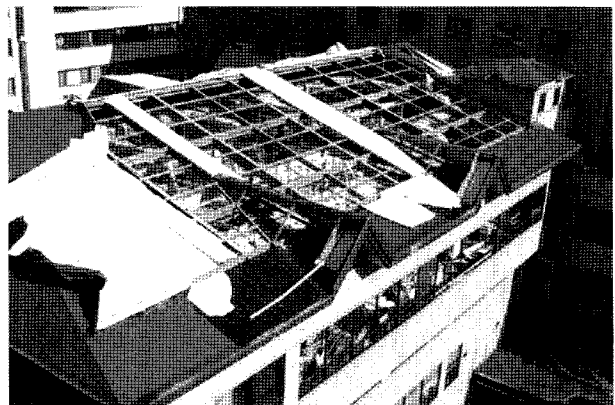


그림 1 풍피해 사례

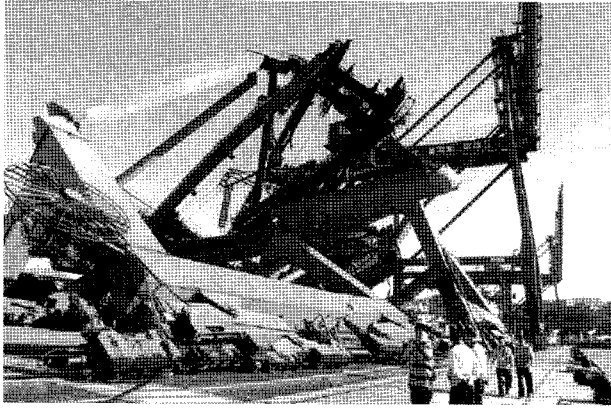


그림 2 풍피해사례

그렇지만 이러한 내풍설계는 용이하지 않다 오히려 내진 설계에 비해서 취지가 매우 다르다. 예를 들면, 내풍설계에서는 내진설계와는 달리 표준풍이 되는 디지털 데이터를 작성해도 그다지 유효한 수단이 되지 않는다. 왜냐하면 건축물이 받는 풍력이 건축물의 형상에 강하게 의존하기 때문이다.

하중기준에 명시되어 있는 풍동실험 대상 건축물은 다음과 같다.

1.1.1 ANSI/ASCE 7-95

- ① 비정형적인 기하학적 형상을 가진 건축물인 경우
- ② 풍직각방향진동, 비틀림진동, 와류진동, 공기력 불안정진동이 발생할 것으로 예상되는 건축물인 경우
- ③ 건물높이 45m이상으로 고유진동수가 1Hz이하인 유연건축물인 경우
- ④ 차폐 및 인접효과가 심각할 것으로 우려되는 건설지점인 경우

1.1.2 ISO 4354-1997(E)

- ① 유연하고 세장하며 높고 가벼운 건축물
- ② 비정형적인 기하학적 형상을 가진 건축물

1.1.3 한국

- ① 강풍의 작용에 의해 풍직각방향진동 및 비틀진동, 와류진동, 공기력 불안정진동이 예상되는 세장한 고층건축물의 구조골조용 풍하중을 산정할 경우
- ② 장스팬의 현수교나 공기막지붕 등과 같이 경량이며 면외강성이 낮아 공기력 불안정진동의 우려가 있는 구조물의 지분골조용 풍하중을 산정할 경우
- ③ 규모, 공법에 따른 진동으로 기준을 적용할 수 없는 외장재의 풍하중을 산정할 경우
- ④ 평면 및 입면이 비정형인 건축물의 외장재 설계용 풍압계수 및 구조골조 설계용 풍력(압)계수를 산정하고자 하는 경우

항공기의 경우에서 풍외력을 파악하는 수법으로 CFD (Computational Fluid Dynamics)를 적용하고 있다. 그러나 유감스럽게도 건축물의 형상이나 그 주변상황이 복잡하기 때문에 현시점에서는 실무적 수법으로 이용될 수 있는 수법으로 CFD가 확립되지 않았다. 결국 현 단계에서는 풍동실험에 의해 풍외력을 파악하고 이러한 풍외력에 의해 응답을 평가해서 골조를 설계하는 수법이 가장 실용적인 내풍설계수법이라고 말할 수 있다.

1.2 풍동실험의 역할

건축물에 작용하는 바람에 의해서 초래하는 각종 현상은 공기의 흐름, 그 자체를 해석적으로 추정할 수 없기 때문에, 실험적 수법에 의해 이것을 예측할 수 있다. 많은 기준에 있어서 풍하중 산정을 위한 풍력계수는 원칙적으로 풍동실험에 의해 결정하는 것으로 되어 있다. 이 때문에 대부분의 사람들은 풍동실험이라면 풍력계수를 결정하기 위한 것으로만 인식하고 있으나, 풍동실험에 의해 얻을 수 있는 것은 단순히 풍력계수만이 아니다. 바람과 관련된 대다수 설계상의 문제에 대해서, 풍동실험의 결과를 이용하

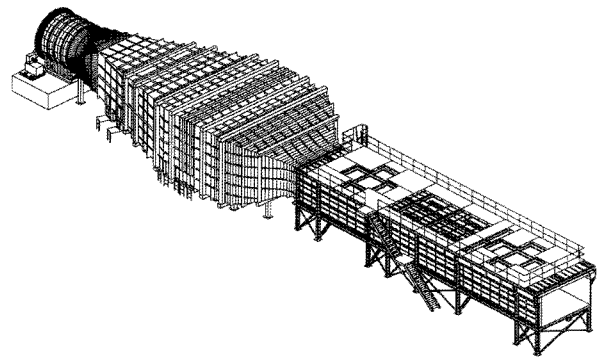


그림 3 현대건설 대형경계층풍동

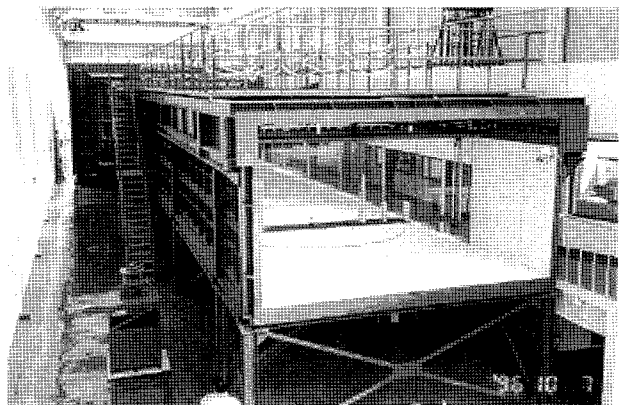


그림 4 현대건설 대형경계층풍동

는 것이 가능하다. 단, 적용하는 기준 혹은 설계를 감독하는 입장에 있는 사람의 결정에 따라서는 직접 이용하는 것이 허용되는 경우와 그렇지 않은 경우가 있다.

일반적으로 바람의 영향을 강하게 받기 쉬운 건축물이 풍동실험의 대상이 되는데, 예를 들면 초고층 건축물, 관광타워, 굴뚝, 장대교량, 송전철탑, 장스팬 지붕, 냉각탑, 장대 크레인 등이다. 이러한 풍동실험은 구조물에 작용하는 풍하중과 그 응답을 예측하기 위해서 실시되는 경우가 많다. 복잡한 지형 위에 세워진 경우나 근접해서 큰 건축물이 위치하는 경우도, 설계속도압이나 풍하중의 추정을 위해 풍동실험이 실시된다. 그러나 구조물의 내력적인 안정성만이 아니라 사용성, 거주성의 확보, 혹은 보행자나 주변 이용자를 위한 풍환경을 파악하기 위한 실험도 자주 실시된다.

2. 본 론

풍동실험을 하는 방법은 실험대상과 목적에 따라 각각 다르며, 여러 종류가 있다. 각 방법에 따라 모형제작하는 방법이나 요구되는 정밀도도 다르다. 목적을 달성하기 위해서는 부분적으로 간략화하거나 부분모형, 근사모형 혹은 기하학적으로 변형된 모형이 사용되며, 실험결과와 평가방식도 제작이 달라지게 된다.

건축물 풍동실험 항목 중에서 가장 널리 수행하고 있는 풍력측정실험, 풍압측정실험, 풍환경평가실험 항목에 대해서 기술하기로 한다.

2.1 풍압측정실험

풍압실험은 모형에 작용하는 풍압력을 풍압계에 의해 측정하는 실험이다. 이 실험은 외장재용 풍하중의 평가를 목적으로 하는 경우가 많지만, 구조골조용의 풍하중 평가에도 활용된다. 외장재에 작용하는 풍력은 외장재의 표면과 이면의 풍압력의 차에 의해 평가한다. 건축물 전체 또는 그 일부에 작용하는 풍력은 건축물 표면에 작용하는 풍압력을 적분하는 것에 의해 구할 수 있다.

일반적으로 풍압측정모형을 제작하는 경우에는 사용재료에 의해서 실험결과가 영향을 받지 않기 때문에 특정 재료로 국한하여 사용할 필요는 없다. 그러나 제작상의 편의성, 재료단가 등을 감안하여 가장 많이 사용되고 있는 재료는 아크릴이다. 아크릴로 제작된 풍압측정모형 표면에는 풍압공이 설치되며, 풍압공은 모형 표면에 작용하는 풍

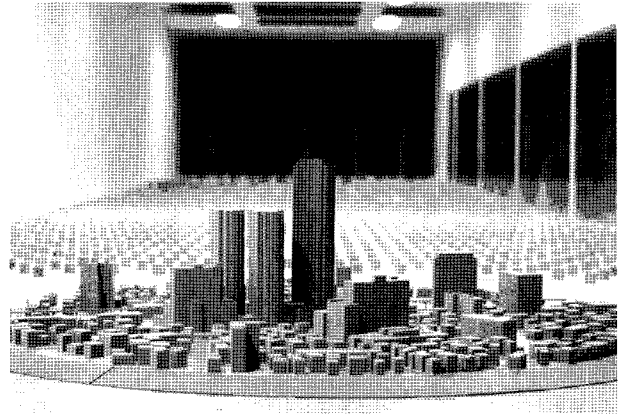


그림 5 풍압측정실험 예

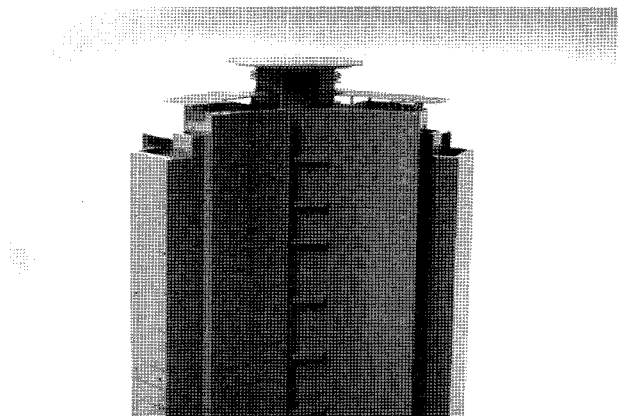


그림 6 풍압공 예

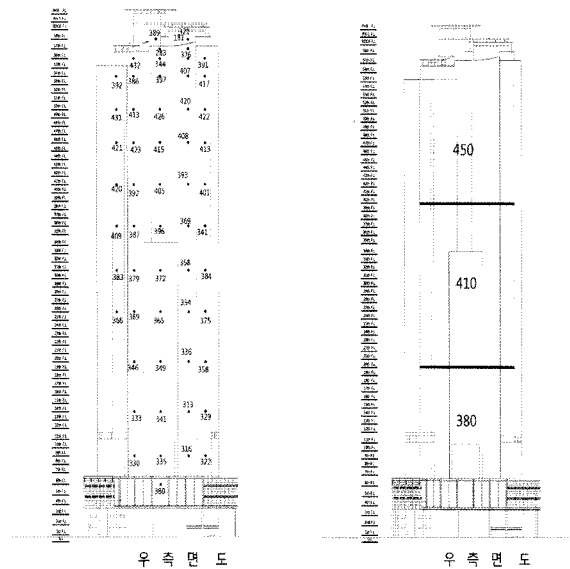


그림 7 측정점에서의 최대 풍압 예

그림 8 최대풍압 분포도 예

압력을 풍압계까지 유도하기 위한 압력튜브가 부착된다. 풍압측정모형의 크기와 주변상황의 모형화 범위의 크기는 풍동기류의 기하학적 축소율과 풍동의 폐쇄율을 감안하여

표 1 풍압측정실험 결과 비교 사례

구분	방향	의장재설계용 풍하중(kgf/m ²)		
		실험치	Code	감소율
A동	정압	452.84	600	24.5
	부압	-447.43	-700	36.1
B동	정압	428.52	600	28.6
	부압	-542.74	-700	22.5
C동	정압	436.93	600	27.2
	부압	-512.29	-700	26.8
D동	정압	492.39	600	17.9
	부압	-548.88	-700	21.6

결정된다. 일반적으로 풍동의 폐쇄율은 5%정도 이하로 하는 경우가 바람직하며, 최대 10%를 넘어서는 안된다. 폐쇄율이 너무 커지면 풍동기류의 왜곡이 발생하여 측정자료를 왜곡하는 경우가 발생한다.

풍압측정모형은 정확한 모형화가 바람직하나, 모형의 축소율의 제약으로부터 세부까지 상세히 모형화할 수는 없다. 그러나 곡면에 작용하는 풍압은 표면의 요철상황에 따라 크게 영향을 받기 때문에 곡면부분을 모형화하는 경우에는 충분한 고려가 필요하며, 또한 건축물의 실내압을 측정하는 경우에는 풍압측정모형의 기밀성이나 개구율 등에도 충분한 고려가 필요하다. 풍압공은 측정면에 작용하는 풍압력의 분포상황을 예상하면서 설치하며, 큰 국부풍압의 발생이 예상되는 부분에는 풍압공을 조밀하게 설치한다.

2.2 풍력측정실험

풍력측정실험은 건축물 전체 혹은 그 일부에 작용하는 풍하중의 평가를 위해서 실시된다. 예를 들면 고층건축물의 구조골조용 설계풍하중을 설정할 때에 이용된다.

풍력측정실험에서는 대상이 되는 건축물의 모형을 분력기(Load Cell) 위에 고정하고, 모형전체에 작용하는 풍력(전단력, 전도모멘트)을 측정한다. 바람에 의해 발생하는 풍력만을 정확히 측정하기 위해서, 모형은 진동하지 않는 강체모형을 사용한다. 측정된 풍력에 의해 하중의 설정이나 외력으로서 건축물에 작용시켜서 응답해석 등이 가능하다. 단, 이 실험에서는 바람에 의해 건축물이 진동하고, 이로 인해서 발생하는 부가적인 공기력에 대해서 예측하는 것은 할 수 없다. 부가적 공기력의 효과를 파악하기 위해서는 공력진동실험 등으로 측정하지 않으면 안된다. 부가적 공기력의 효과를 무시할 수 있는 경우에는 풍력측정실험 결과만을 이용해서 내풍설계를 하는 경우가 많다. 또 실험대상 건축물의 구조특성이 명확하지 않은 시점에서

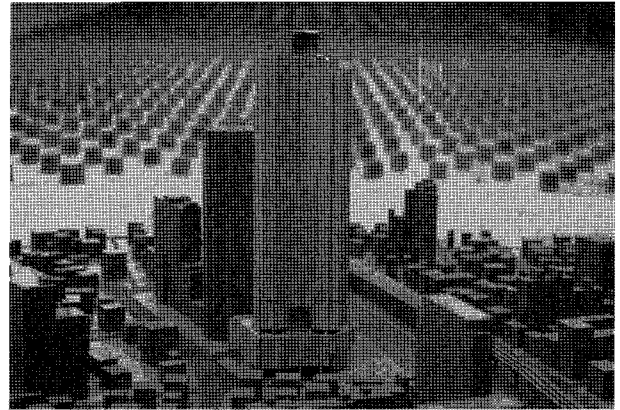


그림 9 풍력측정실험 예

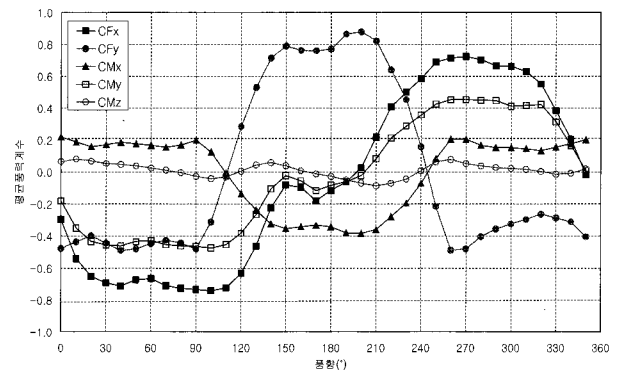


그림 10 풍력계수 예

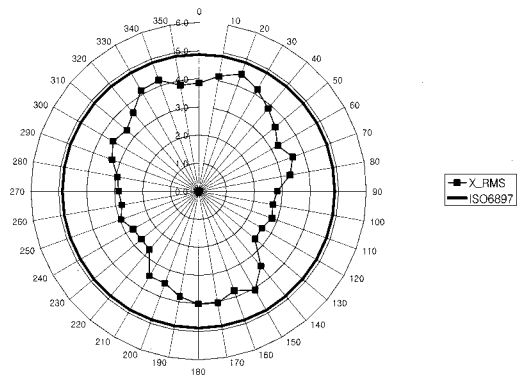


그림 11 가속도응답 예

건축물의 형상이 정해지면, 응답추정시 건축물의 구조특성을 파라미터로서 변경할 수 있는 등의 이점도 있다.

풍력측정용 모형을 제작할 경우에는 만족해야할 상사조건은 기하학적인 조건이며, 측정기기, 풍동장치의 조건 등에서 제약을 받는다.

우선 앞서 언급한 바와 같이 모형의 고유진동수를 높이기 위해서, 모형은 가능한 가볍게 하지 않으면 안된다. 그런 반면에 가볍게 하는데 주의를 기울여 강성이 적은 모형이 되면, 불필요한 진동을 일으키는 원인이 되기도 한다. 그러므로 될 수 있는 한 가볍고, 강성이 높은 모형을 제작한다.

표 2 풍력측정실험 결과 비교 사례

구분	방향	밀면전단력(tonf)		
		실험치	Code	감소율
A동	X-Dir.	1,094	2,162	49.4%
	Y-Dir.	995	1,928	48.4%
B동	X-Dir.	2,382	3,477	31.5%
	Y-Dir.	2,011	3,252	38.2%
C동	X-Dir.	2,307	3,814	39.5%
	Y-Dir.	2,145	3,539	39.4%

모형의 기하학적인 상사조건을 일치시키기 위해서 될 수 있는 한 세부까지 재현하는 것이 바람직하지만, 모형에 가볍게 만드는 등의 제한이나, 전체 풍력을 파악하는 것이 목적이므로 벽면의 작은 요철 등은 어느 정도 생략하여 제작하는 경우도 많다. 단, 건축물의 코너부의 형상이 와류의 발생에 미치는 영향이 크고 전체 하중에 대한 영향도 크기 때문에 가능한 충실히 재현한다.

상사조건으로 레이놀즈 수의 영향을 고려하지 않으면 안되는 경우도 있다. 일반적으로 예리한 모서리를 가진 경우에는 레이놀즈 수의 영향이 적다고 알려져 있지만, 둥근 모서리인 경우에는 영향을 많이 받는다. 유체로서 공기를 이용하는 이상, 레이놀즈 수의 일치는 곤란하고, 이런 점을 보완하기 위하여 모형 표면의 거칠기를 만들어 기류 박리점을 제어해서 모의적으로 보정한다.

2.3 풍환경평가실험

새롭게 건축물을 세운 경우, 그 건축물 주변에 부는 바람의 상황은 크거나 작게 변화한다. 고층·초고층 건축물, 혹은 대규모 건축물이 되면, 바람의 상황변화에 따른 영향은 무시할 수 없는 경우가 많고, 건설에 따른 문제나 장애의 발생을 미연에 막기 위해서, 풍환경의 변화를 풍동실험 등의 방법에 의해 예측해서, 사전에 조사·검토할 필요가 있다.

건축물에 의해 발생하는 바람을 평가하는 풍환경평가실험은 보통 『빌딩풍』이라고 부르는 분제를 대상으로 한 실험을 나타낸다.

건축물 부지내나 그 주변의 지표부근에서 생기는 강풍에 의한 일반적인 보행, 주행장애, 저층건축물 지역의 풍환경의 악화와 이에 수반하는 주변 건축물 이용자, 주변도로 이용자의 불쾌감의 증폭 혹은 트러블의 발생, 건축물의 통로, 발코니 등, 주로 중고층 건축물의 거주자가 이용하는 외부공간에서 생기는 강풍에 의한 풍환경의 악화에 수반하는 문제나 장애, 트러블의 발생 등과 같이 이러한 풍환경의 악화나 생활장애의 발생을 사전에 방지하기 위해

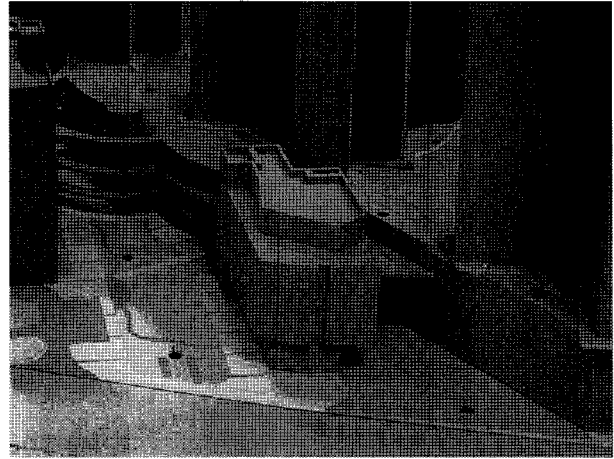


그림 12 풍환경평가실험 예

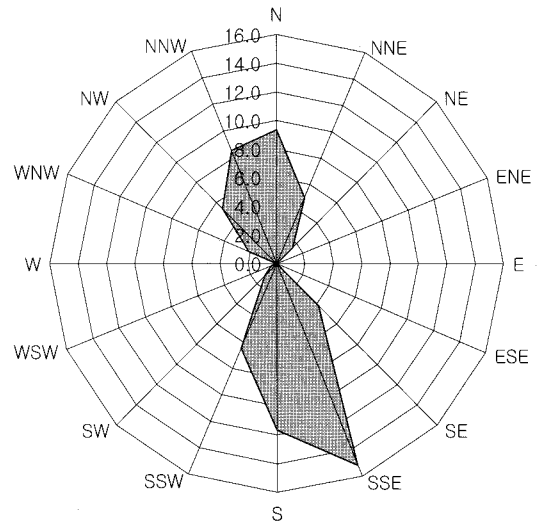


그림 13 풍환경평가실험 결과에

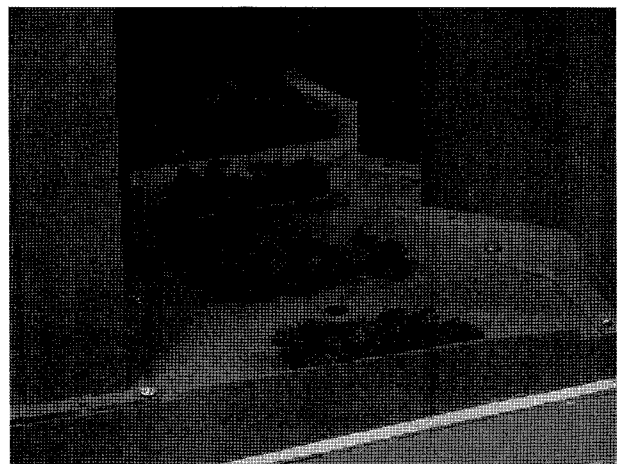


그림 14 풍속저감대책 예

서는, 건축물 건설에 따른 풍환경의 변화를 정확히 예측할 필요가 있다.

대상 건축물의 주변은 넓게 재현하는 것이 바람직하며,

최소한 대상 건축물의 영향을 고려해야 할 범위내의 시가지 등은 모형으로 재현한다. 일반적인 고층건축물의 경우에는 대상 건축물을 중심으로 반경 5블럭 또는 대상 건축물의 높이의 2~3배 이내의 범위를 모형으로 재현하며, 특히 풍상측에 고층건축물 등의 풍환경에 영향을 크게 미치는 구조물이 있는 경우에는 배치관계에 따라서 재현범위가 넓어지기도 한다.

지형의 요철, 경사 등은 비표면 부근의 풍환경에 미치는 영향이 크고, 재현하는 것이 바람직하다. 그러나 모형의 축소율로 인하여 모형에서 재현되는 고저차가 수 mm에 미친다면 일반적으로 요철이나 경사를 무시한 경우도 있다.

보통의 건축물 주변의 지상풍을 대상으로 하는 경우, 건축물 근처의 장소를 대상으로 하지 않는 한, 건축물 벽면의 작은 요철까지 재현하지 않는다. 그러나 건축물 표면에 연직방향으로 긴 돌기가 있는 경우에는 상부의 바람이 하부까지 영향을 주는 경우가 있기 때문에 건축물 윤곽에 관한 요철이나 모서리 부분은 상세히 재현하는 경우가 많다. 주변 건축물이나 시가지 부근의 모형화는 실무적인 차원에서 대체로 윤곽만을 표현하는 경우가 많다.

풍환경평가실험의 결과로서 측정점에서의 풍환경이 열악하다고 판단되는 지점에 대해서는 바람의 영향을 저감시킬 수 있는 대책을 강구하는데, 저감대책으로는 방풍벽이나 방풍림 등이 있다.

3. 결 론

건축물 내풍설계의 목적은 강풍시 구조물의 안정성을 확보하고, 나아가서는 거주자의 사용성까지 확보하는데 있다. 또한 건축물이 건설되어지기 전에 실험을 통하여 구조물에 작용하는 풍하중을 정확히 파악하여 구조설계나

외장재 설계에 반영함으로써 합리적인 구조체, 외장재를 설계하는데 있다. 특히 우리나라와 같이 매년 3~4차례 태풍이 통과하는 지역에서는 풍동실험을 통하여 구조물의 진동이나 외장재의 탈락과 같은 풍피해가 발생하지 않도록 설계, 시공되어야 한다.

건축물 풍동실험은 초고층 건축물에만 시행하는 특별한 실험이 아니며 중저층 아파트의 단지내 풍환경평가, 건축물의 형상이 복잡한 경우, 해안가에 건설되는 구조물 등에 폭넓게 시행되는 실험이다. 건축물 풍동실험은 설계의 신뢰성을 높일 뿐만 아니라, 대부분의 경우 외장재 및 구조골조의 경제적인 설계를 가능하게 하는 유효한 수단이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. American National Standard, Institute(ANSI), Minimum design loads for buildings and other structures, 7-95, 1995
2. ISO 4354-1997(E), ISO 6897-1984(E)
3. 대한건축학회, 건축물 하중기준 및 해설, 2002
4. 日本建築センター, 實務者のための風洞實驗ガイドブック, 東京, 1994
5. 정하선, 김윤석, 현대건설기술연구소 풍동실험실 소개, 대한건축학회 학회지, 1997.12
6. 하영철, 건축물의 내풍설계를 위한 풍동실험, 대한건축학회 학회지, 2004.7
7. 하영철, 김동우, 하중기준과 풍동실험에 의해 평가한 건축물의 풍하중에 고찰, 대한건축학회 학술발표논문집, 2002.4.27. 