

2021

# 풍동실험 신뢰성 향상 가이드라인

# 목 차

1. 일반사항 .....	1
1.1 목적 .....	1
1.2 적용범위 및 적용조건 .....	1
1.3 용어의 정의 .....	2
1.4 기호의 정의 .....	3
1.5 참고기준 .....	3
2. 계측기기에 관한 사항 .....	4
2.1 계측기기의 교정 .....	4
3. 자연풍 모사에 관한 사항 .....	5
3.1 자연풍의 모사 .....	5
3.2 인접건축물과 지형의 영향 .....	11
4. 상사법칙에 관한 사항 .....	12
4.1 상사법칙 .....	12
4.2 폐쇄효과 .....	14
5. 풍동실험 시설에 관한 사항 .....	15
5.1 시험부의 규모 .....	15
5.2 평균풍속 및 난류강도의 정밀도 .....	15
5.3 풍속의 연직분포 .....	16
6. 풍동실험에 관한 사항 .....	18
6.1 풍력실험 .....	18
6.2 풍압실험 .....	27
6.3 공기력진동실험 .....	35
6.4 풍환경실험 .....	41
7. 풍동실험 체크리스트에 관한 사항 .....	50
8. 풍동실험기관에 관한 사항 .....	50
참고문헌 .....	52
[부록] 풍동실험 체크리스트 .....	54

## 풍동실험 신뢰성 향상 가이드라인 및 해설

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

이 가이드라인은 풍동실험 수행 시 검토해야 할 항목에 대하여 규정함으로써 일관성 있고 신뢰성 있는 풍동실험 결과를 확보하는 것을 그 목적으로 한다.

#### 1.2 적용범위 및 적용조건

##### 1.2.1 적용범위

- (1) 건축물 또는 공작물이 KDS 41 10 15(5.1.3 특별풍하중)의 조건에 해당하는 경우에 적용한다.
- (2) 건축물안전영향평가 대상과 빌딩풍의 영향으로 풍환경의 변화가 발생할 우려가 있는 경우에 적용한다.
- (3) 풍동실험 보고서를 작성, 납품할 때 포함해야 할 내용을 검토할 때 적용한다.

### 1. 일반사항

#### 1.1 목적

풍동실험은 현재까지 풍하중을 산정하는 가장 정밀한 방법으로 알려져 있다. 풍동실험을 통한 풍하중은 계측기기, 풍동 내 자연풍 모사, 축소모델 제작 및 설계 풍하중 평가 법에 따라 영향을 받기 때문에 각 실험절차, 단계별 발생 가능한 오류를 최소화함으로써 더욱 정밀하고 신뢰성 높은 풍하중 산정이 가능하다. 따라서 본 가이드라인은 실험항목별 절차, 실험단계별 오류 가능성을 최소화하는 방안을 검토하고 이를 반영하여 신뢰성 있는 풍동실험 결과를 제시하도록 하는데 목적이 있다.

#### 1.2 적용범위 및 적용조건

##### 1.2.1 적용범위

- (1) 풍동실험은 풍진동의 발생, 특수한 지붕구조, 골바람효과, 인접효과가 우려되는 건축물, 비정형적 형상의 건축물에 대해서 수행한다.
- (2) 건축물 안전영향평가 고시개정에 따라 기존건축물과 신축되는 고층건축물의 상호작용에 의해 빌딩 풍 영향이 우려되고, 그에 따라 외장재의 파손과 주변 풍환경의 변화가 발생할 가능성이 큰 건축물에 대해 적용한다.
- (3) 풍동실험보고서에는 자연풍을 모사한 대기경계층의 설정방법, 풍동실험법, 풍동실험결과가 포함되어야 한다. 또한 풍동실험에 사용된 계측기기의 정밀도, 정확도

를 확인할 수 있도록 하여야 한다.

**1.2.2 적용조건**

(1) KDS 41 10 15(5.풍하중)를 모두 만족하여야 한다.

**1.3 용어의 정의**

- 계측기기(Measurement system): 풍동실험에 사용된 풍속 및 모형에 작용하는 물리량(압력, 변위 등)을 측정하는 센서 및 이들로 구성된 시스템
- 계측 정밀도(Precision): 측정 조건내에서 측정시간, 측정자에 관계없이 계측의 재현가능성 또는 일관성 보장하는 것
- 계측정확도(Accuracy): 실제값에 대한 계측의 근접정도 또는 최소 오차를 보장하는 것
- 계측기기 검교정(Traceable calibration): 계측기기 제조사, 공인기관에서 표준절차에 따라 계측기기의 감도등을 평가하는 것
- 계측기기 보정( Correction): 계측기기의 설치 위치, 적용방법에 따라 센서의 출력 전압을 풍동모형에 작용하는 물리량으로 변화하는 감도를 조정하는 것
- 신호 잡음비 (signal-to-noise ratio, S-N): 실제값에 대한 계측기에 첨가되는 잡음의 비율으로써 계측신호의 신뢰성을 나타내는 비율
- 계측시간( Time interval): 계측기기를 이용하여 풍동풍속, 풍동모형에 작용하는 물리량을 계측하는 시작점과 종료시점의 시간간격

**1.2.2 적용조건**

(1) KDS 41 10 15(5.풍하중)에 따른다.

**1.3 용어의 정의**

(1) 이 가이드라인에서 사용되는 용어는 KDS 41 10 15(5.풍하중)에서 정의하고 있는 뜻을 따른다.

- 지표면조도 구분(Terrain Category): 지표면의 거칠기 상태로 일정지역의 지표면 거칠기에 해당하는 장애물이 바람에 노출된 정도의 구분
- 인접효과(Interference Effect): 건축물의 일정거리 풍상측에 장애물이 있는 경우 건축물은 장애물의 영향을 받아 진동이 증가하고 이로 인하여 건축물 전체에 가해지는 풍응답이 증가하며, 외장재에 작용하는 국부풍압도 크게 증가하는 현상
- 폐쇄율(Blockage Ratio) : 모형의 유동방향과 수직한 시험부의 단면적에 투영한 투영면적을 시험부의 단면적으로 나눈 값의 백분율

**1.4 기호의 정의**

(1) 이 가이드라인에서 사용되는 기호는 KDS 41 10 15(5.풍하중)에서 규정하는 정의를 따른다.

**1.5 참고 기준**

(1) KDS 41 10 15(5.풍하중)에 따른다.

**1.4 기호의 정의**

(1) 이 가이드라인에서 사용되는 기호는 KDS 41 10 15(5.풍하중)에서 규정하는 정의를 따른다.

**1.5 참고기준**

(1) KDS 41 10 15(5.풍하중)에 따른다.

## 2. 계측기기에 관한 사항

### 2.1 계측기기의 교정

(1) 풍동실험에 사용되는 계측기기(풍력계, 풍압계, 열선풍속계, 가속도계, 변위계 등)는 교정주기에 따라 정기적인 검교정을 받아야 한다.

#### 〈2.1.1〉 풍동실험용 주요 계측기기

구분	계측기기명
풍속계측	열선풍속계 (Hot-wire Manometer, Pitot Tube 등)
풍력실험	풍력계 (6-component Force Balance 등)
풍압실험	풍압계 (Scanner valve, PSI 등)
공기력 진동실험	가속도계, 레이저 변위계 등
풍환경 실험	무지향성 열선풍속계, 압력계 (Thermistor Monometer, Irwin Sensor 등)

(2) 풍동실험에 사용되는 계측기기는 실험 전 보정을 수행하고 응답평가에 반영하여야 한다.

(3) 풍동실험에 사용되는 계측기기의 제조사, 모델명 및 사양을 보고서에 표기하여야 한다.

## 2. 계측기기에 관한 사항

### 2.1 계측기기의 교정

(1) 국내에서 풍동실험에 사용되는 계측기기는 주로 미국, 호주 일본 등 해외 의존도가 높아 교정주기를 맞추기 힘든 상황이며, 교정비용, 시간이 소요되어 교정이 이루어지지 않는 경우도 있다. 계측기기의 구입 당시의 시험성적서가 대부분으로, 시간에 따른 정기적인 교정이 이루어지지 않아 최신의 시험성적서가 부재한 상황이며, 교정 미실시 등으로 센서의 감도 등이 확인이 어려운 경우도 있다. 풍동실험 결과의 신뢰성을 보장하기 위해서 풍동실험에 사용되는 계측기기는 정기적인 검교정을 받아야 한다.

국외의 경우 풍동실험용 주요 계측기기 (Load cell, Scanner valve, 풍속측정기, Datalogger)에 대해 제작사를 통하거나, 공인된 교정기기를 이용하여 풍동실험 기관에서 직접 교정을 수행하고 있다. 또한 해외 풍동실험가이드 기준에서는 풍동실험 전에 반드시 계측기기에 대한 검교정을 실시하도록 규정하고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 교정은 계측기기에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위한 조치이기 때문에 반드시 필요하다.

(2) 계측기기는 설치 위치 및 적용방법에 따라 트랜스듀서(transducer)의 출력 전압을 풍동모형에서 발생하는 물리량으로 전환되는 값을 명료하게 설정하고, 응답평가에 적용하여야 한다.

(3) 풍동실험에 사용되는 계측기기의 제조사, 모델명 및 사양을 풍동실험 보고서에 포함하여야 한다. 계측기기는 제조사에 따라 특

성이 다르다. 예를 들어 풍압계측기기는 제조사에 따라 튜브보정이 내부 프로그램화 되어 계측데이터의 신뢰성에 영향을 미칠 수 있으므로 계측기기의 명확한 사양을 표시할 필요가 있다. 계측기기의 정밀도, 정확도를 위하여 계측기기에 영향을 줄 수 있는 노이즈의 종류(S-N 값, 최대값, 표준편차 등)와 이를 적절히 제거할 수 있는 기법이 풍동실험 검토자의 요구에 따라 별도 제출할 수 있어야 한다.

### 3. 자연풍모사에 관한 사항

#### 3.1 자연풍의 모사

(1) 자연풍의 모사는 KDS 41 10 15(5.5.3 풍속 고도분포계수)에 따라 건설지점의 지표면 상태에 따른 풍속고도분포계수( $K_{zr}$ )에 부합하도록 재현하여야 하며, 풍방향에 대한 평균풍속 및 난류강도의 연직분포의 모사와 더불어, 대상건축물 높이에서의 변동풍속에 대한 파워스펙트럼밀도 및 난류적분 스케일도 모사하여야 한다.

##### 3.1.1 기본풍속

(1) 기본풍속은 건설지점에 위치한 지역에 따라 KDS 41 10 15(5.5.2 기본풍속)에 의해 설정하여야 한다.

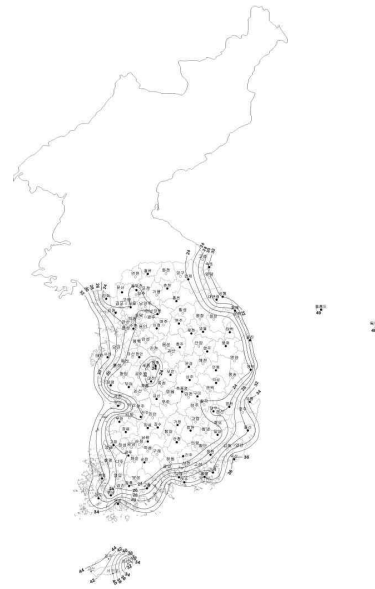
### 3. 자연풍모사에 관한 사항

#### 3.1 자연풍의 모사

(1) 풍동내에 자연풍을 모사하기 위해서는 대상지점의 대기 경계층 높이별 평균풍속의 연직분포, 높이별 난류강도, 풍동 내 변동풍속의 파워스펙트럼 밀도함수, 난류스케일, 공간 상관 등을 고려하여 이러한 것들이 자연풍과 상사적으로 잘 매칭이 되어야 한다. 대상지점의 지표면 상태를 모형의 축척에 따라 재현한다면 가장 좋은 자연풍 모사가 될 수 있다.

##### 3.1.1 기본풍속

(1) 기본풍속  $V_0$ 는 지표면상태가 지표면조도 구분 C인 경우, 지상 10 m 높이에서 10분간 평균풍속의 재현기간 100년에 대한 값이고, 건설지점이 위치한 지역에 따라 [그림 3.1.1] 또는 KDS 41 10 15(표 5.5-1 지역별 기본풍속)에 의해 정한다<sup>2)</sup>.



[그림 3.1.1] 기본풍속,  $V_0$  (m/s)

(2) 건설지점 부근에 유효한 기상관측자료가 있는 경우에는 극치분포해석법에 의해 정할 수 있다.

(2) 건설지점 부근의 유효한 풍관측자료가 있는 경우에는 그 값에 따라 설정할 수 있다. 이 경우 풍속자료를 처리할 때에는 공인된 극치통계해석법을 사용하고, 자료의 길이, 측정오차, 평가시간, 풍속계높이, 풍속계 주변의 지표면상태 등을 고려해야하며, 풍속자료는 지표면조도구분 C인 지상 10 m에서 10분간 평균풍속의 값으로 균질화해야 한다.

**3.1.2 지표면 조도구분**

(1) 풍속의 고도분포계수는 건설지점에 위치한 지역에 따라 KDS 41 10 15 (5.5.3 풍속고도분포계수)에 의해 설정하여야 한다.

**3.1.2 지표면 조도구분**

(1) 대상구조물 주변의 지표면상태를 그대로 모사하는 것은 많은 실험비용과 시간이 요구되기 때문에 현실적이지 못하다. 이러한 현실적인 이유 때문에 각 국의 풍하중 기준에서는 건물주변의 지표면이 풍동기류에 미치는 효과가 등가가 되도록 지표면조도에 대한 수개의 카테고리 나눈어 이를 풍동기류에 반영하고 있다<sup>3)4)</sup>. 우리나라의 경우, 지표면조도구분은 KDS 41 10 15 (5.5.3 풍속고도분포계수)에 따라 <표 3.1.1>과 같이 4개의 지표면상태로 제시하



고 있다<sup>2)</sup>.

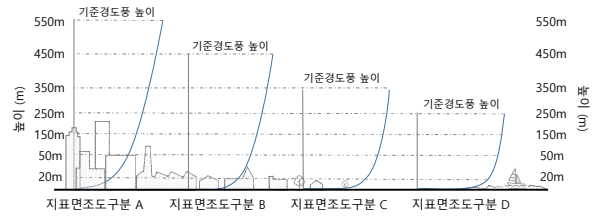
<표 3.1.1> 지표면조도 구분

지표면 조도구 분	주변지역의 지표면 상태	고도 분포 지수
A	대도시 중심부에서 고층건축물(10층 이상)이 밀집해 있는 지역	0.33
B	수목·높이 3.5 m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역 중층건물(4~9층)이 산재해 있는 지역	0.22
C	높이 1.5~10 m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 수목·저층건축물이 산재해 있는 지역	0.15
D	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5 m 이하인 지역 해안, 초원, 비행장	0.10

[그림3.1.2]과 [그림 3.1.3]은 각각 지표면조도 구분에 따른 지형현황과 풍속의 연직분포를 나타낸 것이다<sup>3)</sup>.



[그림 3.1.2] 지표면조도 구분



[그림 3.1.3] 조도구분에 따른 풍속 고도분포

### 3.1.3 평균풍속의 모사

(1) 연직방향의 평균풍속분포는 지수법칙 또는 대수법칙을 적용할 수 있으며, 일반적으로 (식 3.1.1)와 같이 지수법칙을 적용한다.

$$\frac{V_Z}{V_R} = \left( \frac{z}{z_R} \right)^\alpha \quad (\text{식 3.1.1})$$

여기서,  $z_R$ : 기준높이

$V_R$ : 기준풍속

$\alpha$ : 풍속고도분포 지수

### 3.1.3 평균풍속의 모사

(1) 강풍의 경우, 자연풍은 다음과 같은 두 가지 특성을 갖고 있다. 첫째, 지상에서 멀어질수록 풍속이 증대한다. 둘째, 바람은 일정한 속도로 불지않고, 시간적, 공간적으로 불규칙적으로 변동한다. 첫번째의 경우, 평균풍속분포를 의미하고, 이러한 연직방향의 평균풍속분포는 지수법칙 또는 대수법칙에 따른다<sup>6)</sup>. 지수법칙에 의한 평균풍속의 분포는 (식 3.1.1)과 같다.

$$\frac{V_Z}{V_R} = \left( \frac{z}{z_R} \right)^\alpha \quad (\text{식 3.1.1})$$

여기서,  $z_R$ 은 기준높이,  $V_R$ 은 기준풍속,  $\alpha$ 는 풍속고도분포 지수로, KDS 41 10 15(표 5.5-4)에 의하면 지표면조도 구분 A, B, C, D에 따라 각각 0.33, 0.22, 0.15, 0.10 이다. 한편, 대수법칙에 의한 평균풍속의 분포는 (식 3.1.2)와 같다.

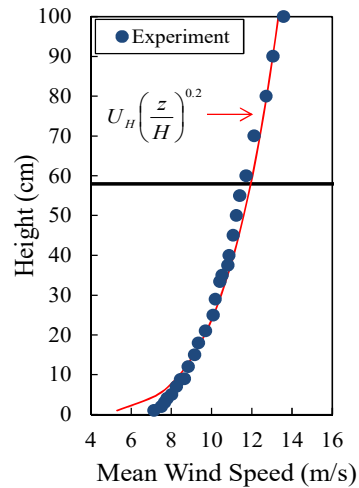
$$V_z = \frac{v^*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad (\text{식 3.1.2})$$

$z_0$ 는 풍속분포의 형상을 결정하는 계수로써 조도장이라고 부른다. 조도장은 해상에서는 0.003m, 고층건축물 밀집지역에서는 3m 정도이다. 더 나아가서  $v^*$ 는 마찰속도,  $k$ 는 칼만(Karman) 정수 이다. 특히  $z_0$ 는  $H/z_0$ 로 무차원화 시킬 수 있고, 이러한 무차

(2) 풍동 내 대기경계층에서 모사된 고도별 평균풍속의 연직분포를 나타내는 고도분포지수는 목표 고도분포지수의  $\pm 15\%$  이내 이어야 한다.

원량을 자연풍과 일치시키는 것을 Jensen 수라고 부른다<sup>6)</sup>.

(2) 건축구조 기준 및 해설 (KDS 41 10 15)에서는 실용상 편리하게 풍속분포로서 지수법칙을 채용하고 있으며, 풍동실험에서도 풍속분포를 상사하는데 주로 지수법칙을 적용하는 경우가 많다. [그림 3.1.4]는 풍동 내에서 평균풍속의 연직분포를 나타낸 것이다. 풍동실험 보고서에는 대기경계층 내에서 선별된 지점과 그 지점에서의 평균풍속 고도분포 형상 및 관계를 명시하여 기준에서 정한 목표 고도분포와의 상관관계를 비교·평가할 수 있도록 하여야 한다. ASCE 풍동실험 기준<sup>1)</sup>에서도 풍동 내 고도분포지수를 목표 고도분포지수의  $\pm 15\%$  이내가 되도록 규정하고 있다.



[그림 3.1.4] 평균풍속의 연직분포

**3.1.4 난류강도의 모사**

(1) 난류강도는 풍속의 표준편차와 평균풍속의 관계로, (식 3.1.2)로 산정한다.

**3.1.4 난류강도의 모사**

(1) 난류는 평균풍속분포와는 다르게 물리적인 파라미터가 필요하다. 난류는 풍속의 표준편차를 평균풍속으로 나눈 변동계수를 가지고 난류의 크기를 나타낸다. 이러

$$I_u = \frac{\sigma_u}{\bar{V}} \quad (\text{식 3.1.2})$$

여기서,  $\sigma_u$ : 변동풍속의 표준편차  
 $\bar{V}$ : 기준 높이에서 평균풍속

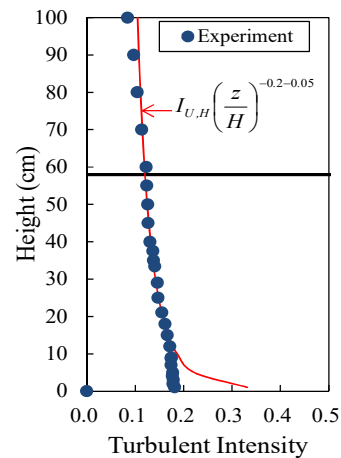
(2) 난류강도분도는 평균풍속분포와 일치시켜야 하며, (식 3.1.3)으로 산정한다.

$$\frac{\sigma_u}{\bar{V}} = I_{uR} \left( \frac{z}{z_R} \right)^{-\alpha-0.05} \quad (\text{식 3.1.3})$$

여기서,  $I_{uR}$ : 기준높이  $z_R$ 에서 난류강도  
 $\bar{V}$ : 기준높이  $z_R$ 에서 평균풍속

한 변동계수를 난류강도라고 한다.

(2) 난류강도도 평균풍속의 연직분포와 같이 그 값만이 아니라, 분포형상을 자연풍과 일치시켜야 한다. [그림 3.1.5]는 풍동 내에서 난류강도의 연직분포를 나타낸 것이다. 풍동실험 보고서에는 대기경계층 내에서 선별된 지점과 그 지점에서의 난류강도가 기준에서 정하는 목표 난류강도와의 상관관계를 명시하여야 한다.



[그림 3.1.5] 난류강도의 연직분포

### 3.1.5 파워스펙트럼밀도

(1) 파워스펙트럼밀도는 변동풍속의 주기와 크기의 함수로써, (식 3.1.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{nS_u(n)}{\sigma_u^2} = \frac{4n^*}{(1+70.8n^{*2})^{5/6}} \quad (\text{식 3.1.4})$$

여기서,  $n^*$ : 무차원진동수로 (식 3.1.5)와 같다.

### 3.1.5 파워스펙트럼밀도

(1) 자연풍 모사에 있어서, 변동풍속은 다양한 주기를 가진 여러가지 크기의 와류가 겹쳐져, 불규칙한 변동을 형성한다. 그러므로 다양한 주기의 와류의 크기가 자연풍과 상사되지 않으면, 실험기류와 자연풍이 상사되었다고 말할 수 없다. 이와 같은 불규칙한 변동의 주기와 그 크기의 관계를 나타낸 것을 파워스펙트럼밀도이며, 난류의 공간적인 넓이를 나타내는 길이의 척도를 난

$$n^* = \frac{nL_x}{V} \quad (\text{식 3.1.5})$$

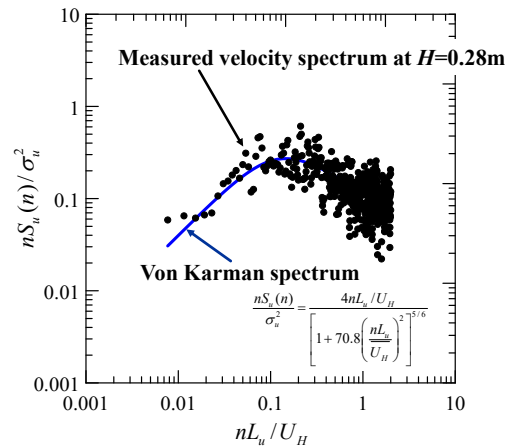
$L_x$ 는 난류적분스케일로, (식 3.1.6)으로 산정할 수 있다.

$$L_x = 100 \left( \frac{z}{30} \right)^{0.5} \quad (\text{식 3.1.6})$$

(2) 풍동 내 대기경계층에서 생성된 변동풍속의 파워스펙트럼은 목표하는 풍속파워스펙트럼과 일치시켜야 한다.

류의 적분스케일이라고 부른다.

(2) [그림 3.1.6]은 변동풍속의 파워스펙트럼 밀도를 나타낸 것이다. 풍동실험 보고서에는 대기경계층 내에서 선별된 지점과 그 지점에서의 풍속스펙트럼이 기준에서 정하고 목표 풍속스펙트럼과의 상관관계를 명시하여야 한다.



[그림 3.1.6] 파워스펙트럼밀도

### 3.2 인접건축물과 지형의 영향

(1) 대상건축물에 인접한 건축물의 모사는 대상건축물 높이의 2~3배 반경 이내에서 인접건축물을 재현하여야 한다.

### 3.2 인접건축물과 지형의 영향

(1) 대상건축물에 작용하는 바람의 특성은 주변의 큰 건축물이나 지형의 영향에 의해 크게 변화한다. 따라서 주변의 영향이 예상되는 경우에 주변 지형을 같은 축척으로 재현시켜 풍동실험을 수행할 필요가 있다. 기본적으로 주변 지형은 대상건축물 높이의 2~3 배 반경 이내에서 인접건축물 또는 지형을 재현해야 한다. 그 밖에도 인접

(2) 주변지형이 복잡하여 KDS 41 10 15에 따라 풍속을 예측하기 어려운 경우에는 1/1,000~1/5,000 정도의 지형모형실험을 통해 풍속을 추정하여야 한다.

(2) 대상건축물 주위의 지형이 복잡하여 건축 구조 기준 및 해설 (KDS 41 10 15)에 따라 예측하기 어려운 경우에는 1/1,000 ~ 1/5,000 정도의 대축척 지형모형의 풍동 실험을 실시하여 건설지점에서의 풍속과 기상관측소에서의 풍속을 비교해봄으로써, 건설지점에서의 풍속을 추정하는 경우도 있다<sup>6)</sup>.

최근에는 전산유체해석의 기술수준이 발달하여, 이와 같은 지형에 대한 풍속의 증감에 대해서는 전산유체해석에 의해서도 풍속 추정이 가능하다.

#### 4. 상사법칙에 관한 사항

##### 4.1 상사법칙

###### 4.1.1 실험모형의 상사

(1) 풍동실험 모형의 축척은 (식 4.1.1)와 같이 난류적분스케일,  $L_x$ 와 건축물의 축척과의 비를 모형과 실물에서 일치시켜야 한다.

$$\left(\frac{L_x}{L_t}\right)_m = \left(\frac{L_x}{L_t}\right)_p \quad (\text{식 4.1.1})$$

여기서,  $L_x$  : 난류적분스케일

$L_t$ : 건축물의 축척

$p, m$  각각 실물, 모형

(2) 상사율이 매우 큰 경우에는 풍동실험 보고서에 그 사유에 대하여 충분히 설명하고 상사율에 의한 데이터 변화를 확인하여야 한다.

#### 4. 상사법칙에 관한 사항

##### 4.1 상사법칙

###### 4.1.1 실험모형의 상사

(1) 풍동 내 모형의 크기는 풍동시설 크기에 영향을 받는다. 풍동의 단면적에 비하여 모형의 겉보기 면적 비율이 커지게 되면, 모형에 의해 풍로가 막혀 모형 주위에서의 풍속이 증가되어 모형에 작용하는 풍하중이 증가되는 경향이 있다. 이러한 폐쇄효과는 KDS 41 10 15에 따라 8% 이내로 하면 큰 영향이 없다. 풍동단면이 작으면 폐쇄효과를 차단하기 위하여 모형의 크기는 더 줄어 들게 된다.

(2) 모형의 크기가 줄어들면, 풍압실험에 사용되는 풍압공의 크기, 풍환경실험에서의 보행자높이에서의 풍속 등이 왜곡되는 경우가 있기 때문에, 풍동 단면크기 등 풍동설

비제원에 따른 모형의 축척율도 함께 확인하여야 한다.

**4.1.2 풍속의 상사**

- (1) 풍동풍속은 실험자가 측정기기의 감도와 주파수 특성 등을 고려하여 풍속을 설정하여야 한다.

**4.1.2 풍속의 상사**

- (1) 풍동실험의 풍속은 레이놀즈(Reynolds) 수를 일치시키는 것으로, (식 4.1.2)와 같다.

$$\left(\frac{VB}{\nu}\right)_m = \left(\frac{VB}{\nu}\right)_p \quad (\text{식 4.1.2})$$

여기서,  $V$ : 평균풍속

$B$ : 건축물의 대표 폭

$\nu$ : 동점성계수

풍동실험에서는 수백분의 일의 모형을 사용하기 때문에, 레이놀즈 수를 일치시키기 위해서는 풍속이 수백 배가 되어야 한다. 즉, 풍속의 레이놀즈 수를 일치시키는 것은 불가능 하다. 풍동풍속이 너무 낮은 경우에는 변동풍속에 대한 에너지가 발산하므로, 풍동풍속이 5m/s 이하인 경우에는 반드시 그 영향을 확인해야 한다. 따라서, 측정기기의 감도와 주파수 특성 등을 고려하여 풍속을 적절히 설정해야 한다.

- (2) 원형단면 또는 곡선을 가진 건축물의 경우 레이놀즈의 영향을 최소화해야 한다.

- (2) 원형단면 또는 곡선을 가진 건축물은 레이놀즈의 수에 따라 하중이 변할 수 있으므로, 모형표면의 조도를 증가시키는 등, 레이놀즈의 영향을 최소화해야 한다.

**4.1.3 시간의 상사**

- (1) 풍동실험에서의 시간의 축척은 모형의 축척율과 풍속의 축척율에 의해 (식 4.1.3)으로 산정한다.

**4.1.3 시간의 상사**

- (1) 시간축척률은 기하학적 축척률과 풍속의 축척률에 의하여 종속적으로 결정되는 인자이지만 이는 풍동모형실험으로부터 데이터를 취득하는 시간을 결정하는 주요한 인자이다.

$$\frac{T_m}{T_p} = \left(\frac{L_t}{V}\right)_m / \left(\frac{L_t}{V}\right)_p \quad (\text{식 4.1.3})$$

(2) 변동응답은 앙상블 평균이 수렴할 수 있도록 앙상블의 개수 또는 계측시간이 충분히 커야한다.

(2) 평균응답을 계측하는 데는 문제가 되지 않지만, 풍하중의 변동성분을 계측하는 경우에는 신호의 주파수분해능에 영향을 미치기 되기 때문에 신호분석의 안정성을 떨어뜨릴 수 있다. 그러므로 변동풍속, 최대풍압등과 같은 변동성분을 계측하는 경우의 앙상블의 개수를 10개 이상으로 하거나 변동 값이 수렴할 수 있도록 긴 계측시간을 가져야 한다.

#### 4.2 폐쇄효과

(1) 실험모형의 축척률을 결정하기 위해서는 풍동의 규모를 고려하여 폐쇄율을 8% 이하가 되도록 하여야 한다.

#### 4.2 폐쇄효과

(1) 앞서, 4.1.1에서 언급한 바와 같이 풍동 내 모형의 크기는 풍동시설 크기에 영향을 받는다. 풍동의 단면적에 비하여 모형의 겉보기 면적 비율이 커지게 되면, 모형에 의해 풍로가 막혀 모형 주위에서의 풍속이 증가되어 모형에 작용하는 풍하중이 증가되는 효과가 있다. 이러한 효과를 폐쇄효과라 한다.

현재 KDS 41 10 15에서는 폐쇄효과는 8% 정도 이하의 폐쇄율의 경우에는 건축물에 작용하는 풍력 등에는 영향이 없다고 규정하고 있다. ASCE 풍동실험 기준<sup>1)</sup>에서는 폐쇄율의 영향이 없도록 특별한 조치를 취하지 않은 경우 폐쇄율을 5% 이내로 규정하고 있다.

(2) 폐쇄율이 8% 이상인 경우, 풍하중을 왜곡할 수 있으므로, 왜곡을 보정하고 풍동내 풍속을 줄이는 등, 그 영향을 반드시 풍동 실험 보고서에 충분히 설명되어야 한다.

(2) 폐쇄율이 8% 이상인 경우에는 실험데이터의 검증이 반드시 필요하다. 즉, 모형의 축척을 더 작게 하여, 추가적인 실험 등을 통해 데이터 검증을 해야 한다<sup>4)</sup>. 미국, 일본 등 국외의 풍동실험기준에서는 폐쇄율이 5%~10% 사이에 있는 경우에는 풍하중을 왜곡할 수 있으므로, 왜곡을 보정하고 풍동 내 풍속을 줄이는 조치 등을 수행하고 그 영향을 반드시 확



인해야 하며, 그 내용이 풍동실험보고서에서 충분히 설명되도록 하고 있다.

## 5. 풍동실험 시설에 관한 사항

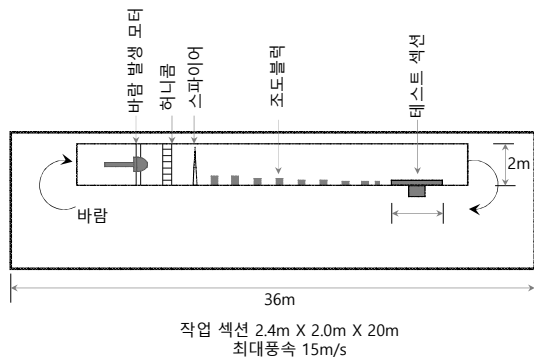
### 5.1 시험부의 규모

- (1) 풍동 시험부 크기는 폐쇄효과 및 벽면 간섭 효과에 의한 영향이 측정치에 미치지 않도록 충분히 커야 한다. 풍동실험 보고서에 풍동의 단면사이즈 등 풍동의 사양을 기재하여 상사율, 폐쇄율의 적정성에 대한 설명이 이루어져야 한다.

## 5. 풍동실험 시설에 관한 사항

### 5.1 시험부의 크기

- (1) 폐쇄율이 8% 이하일 경우, 구조물의 작용하는 풍력 등에 영향이 없다고 보고된바 있다.<sup>3)</sup> 또한, 모형과 풍 동 벽과의 거리가 너무 가까운 경우에는 벽의 영향으로 모형 주위의 흐름이 실물과 다르게 된다. 이것을 벽면 간섭효과라고 부른다. 풍동실험 시 시험부의 크기는 이러한 폐쇄효과 및 벽면 간섭효과가 영향이 미치지 않도록 충분히 커야 한다. [그림 5.1.1]은 풍동시설의 예를 나타낸 것이다.



[그림 5.1.1] 풍동시설<sup>7)</sup>

### 5.2 평균풍속 및 난류강도의 정밀도

- (1) 시험부 단면적의 80% 범위 내에서 평균풍속 및 난류강도의 편차는  $\pm 1\%$  이하여야 한다.

### 5.2 평균풍속 및 난류강도의 정밀도

- (1) 평균풍속의 균질도에 대해 일부 문헌에서는 0.2% ~ 1.5% 정도 혹은  $\pm 2\%$  이내라고 기술하고 있지만, 풍속의 왜곡은 가능한 작은 편이 바람직하고, 현재의 기술력으로 충분히 구현 가능하기 때문에 풍속분포는  $\pm 1\%$  이내로 한다. 또한, 난류는 물체 표면

상에 발달되는 경계층의 성질을 변화시키고, 경계층의 변이를 급하게 하며, 박리점을 이동시키는 효과가 있다. 항공분야에서는 항공기의 항력 등 미세한 난류가 큰 영향을 미치므로, 풍동 내 난류강도를 미세한 범위까지 재현할 필요가 있다. 하지만, 건축·토목분야에서의 난류강도는 지형 및 건축물의 영향으로 인하여 난류강도가 높은 편이기 때문에, 풍동 내에서도 난류강도는 1% 이하면 충분하다.

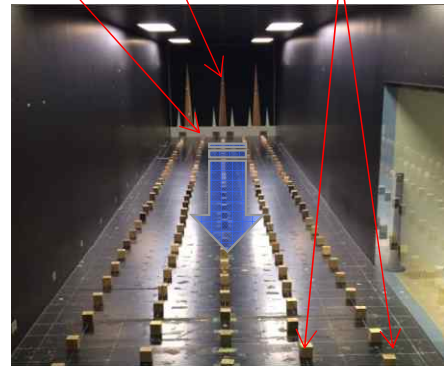
### 5.3 풍속의 연직분포

- (1) 풍동 내 대기 경계층에서는 자연풍을 모사할 수 있는 장치 등이 구축되어야 한다.
- (2) 풍동 시험부가 비교적 짧은 경우에는 스파이어(Spire)와 장벽(Barrier), 조도블록(Roughness Block) 등을 이용하여 경계층을 재현해야 한다.

### 5.3 풍속의 연직분포

- (1) 풍동실험에 있어서 자연풍을 모사하기 위해서는 비교적 긴 시험부를 필요로 한다. 풍동 시험부가 20m~40m 정도 되는 긴 풍동의 경우에는 바닥 자체와의 마찰에 의해 자연적으로 경계층을 만들 수 있다.
- (2) 풍동의 시험부가 짧아서 표면마찰에 의한 난류를 구현하기 어려울 때는 스파이어(spire), 펜스(fence), 장벽(barrier)등과 조도블럭(roughness block)을 조합하여 경계층의 발달을 돕기도 한다. 스파이어를 이용하여 경계층을 만드는 방법은 Cermak(1982)에 의하여 제안되었으며, 현재까지도 많이 사용되는 방법이다<sup>8)</sup>. 시험부가 20 m ~ 40 m 정도 되는 긴 풍동의 경우에는 바닥 자체와의 마찰에 의하여 자연적으로 약 0.2 m ~ 0.5 m 두께를 가지는 경계층을 만들 수 있다. 이러한 경우 통상적으로 정압구배를 맞추기 위하여 풍동의 하류측 천장높이를 조절한다. [그림 5.3.1]은 풍동 내 설치된 스파이어, 장벽, 조도블럭 등 배치를 나타낸 것이다.

장벽      스파이어      조도블럭



[그림 5.3.1] 스파이어, 장벽, 조도블럭 설치 사진<sup>9)</sup>

최근에는 이러한 장치 없이 능동형 난류 격자를 설치하는 경우도 많다. 능동적인 난류 생성방법에 의한 경계층은 다른 방법에 비하여 목표치에 잘 일치하고, 난류 크기도 자유롭게 제어할 수 있는 장점이 있다. 따라서 풍동 내 경계층 생성을 위해서는 풍동의 규모 및 실험목적 등 맞추어 다양한 조합이 가능하다.

## 6. 풍동실험에 관한 사항

### 6.1 풍력실험

#### 6.1.1 실험목적

- (1) 풍력실험은 설계대상 건축물의 구조골조 설계용 풍하중과 변위응답의 산정, 거주 성능이나 제진장치의 검토를 위해 실시한다.

- (2) 추가적인 공기력의 영향을 받는 경우에는 추가적으로 공기력진동실험을 수행하여야 한다.

#### 6.1.2 적용대상

- (1) 건축물 또는 공작물이 KDS 41 10 15(5.1.3 특별풍하중)의 조건에 해당하는 경우에 적용한다.

#### 6.1.3 실험모형 및 축척

- (1) 실험모형은 강체모형으로 모형의 고유진동수가 측정대상의 주파수영역 밖에 있도록 가볍고 강성이 높아야 한다.

## 6. 풍동실험에 관한 사항

### 6.1 풍력실험

#### 6.1.1 실험목적

- (1) 풍력실험은 설계대상 건축물의 구조골조 설계용 풍하중을 평가하기 위해 실시한다. 구체적으로 설계대상 건축물 등의 구조골조 설계용 풍하중, 즉 풍방향, 풍직각방향 풍력 및 전도모멘트와 비틀림모멘트를 산정하기 위해 실시한다.

풍력실험은 건축물의 안전성 확보뿐만 아니라, 경제적인 설계도 기대할 수 있기 때문에 계획설계 단계보다는 착공전 실시설계 단계에 실시하는 것이 바람직하다.

- (2) 자려진동 등과 같이 대진폭에 이르지 않는 선형응답의 범위에서 변동풍력 측정으로부터 얻어지는 변동풍력의 파워스펙트럼을 이용해서 건축물의 변위응답이나, 거주 성능 또는 제진장치의 검토를 위해 실시한다. 다만, 풍력실험에서는 바람에 의해 건축물이 진동하고, 이로 인해서 발생하는 추가적인 공기력에 대해서는 예측할 수 없음에 주의해야한다.

#### 6.1.2 적용대상

- (1) 건축물 또는 공작물이 KDS 41 10 15(5.1.3 특별풍하중)의 조건에 해당하는 경우에 적용한다.

#### 6.1.3 실험모형 및 축척

- (1) 일반적으로 풍력실험은 6성분 풍력천칭(6-component Force Balance)을 이용하여 실험을 실시하기 때문에 바람에 의해 발생하는 풍력만을 측정하기 위해 모형은 진동하지 않는 강체모형을 사용해야한다. 또한 풍력천칭과 실험모형으로 구성되는 진동계의 고유진동수가 측정대상의 주파

수 영역 밖에 있는 것이 바람직하기 때문에 실험모형은 가벼운 재료를 사용해야 한다. 다만, 재료가 가볍고 강성이 적은 재료를 사용하여 실험모형을 제작하는 경우, 풍동실험 시 재료의 진동으로 인한 잡음이 발생할 수 있기 때문에, 실험모형은 가볍고 강성이 높은 재료로 만들 필요가 있다.

(2) 모형의 축척은 풍동의 규모, 센서의 측정 정도, 폐쇄율 등을 고려하여 적절히 선정해야 하며, 모형의 모서리 부분은 정확하게 재현해야 한다.

(2) 모형의 축척은 건축물의 외곽 사이즈 및 각을 이루는 부분(박리점)은 정확하게 재현시켜야 한다. 단 모형 제작 및 강성을 배려하여 공력 특성에 악영향을 끼치지 않는 범위 내에서 간략화할 수 있다.

각 부재를 축소할 때 최소 길이를 1 mm 로 정한다. 최소 치수에 해당되지 않는 부재는 원형 그대로 제작하여야 한다. 모형의 부재 제작 시 허용오차는 작을수록 좋으며, 통상적으로 0.2 mm 이하로 제한하도록 한다<sup>10)</sup>. [그림 6.1.1]은 풍력실험모형을 나타낸 것이다.



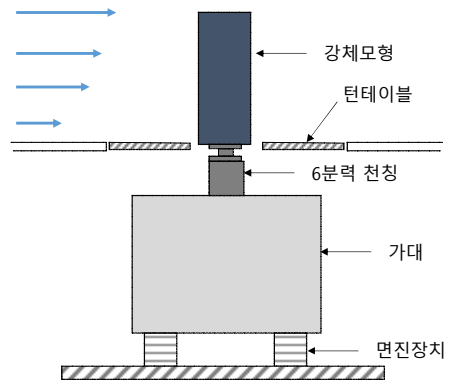
[그림 6.1.1] 풍력실험 모형

**6.1.4 풍력 계측 시스템**

(1) 일반적으로 건축물에 작용하는 풍력의 측정에는 6성분 풍력천칭을 사용한다.

**6.1.4 풍력 계측 시스템**

(1) 건축물의 풍력 계측 시스템은 [그림 6.1.2]와 같다.

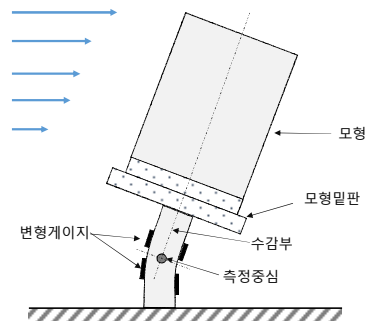


[그림 6.1.2] 풍력 계측 시스템 개요

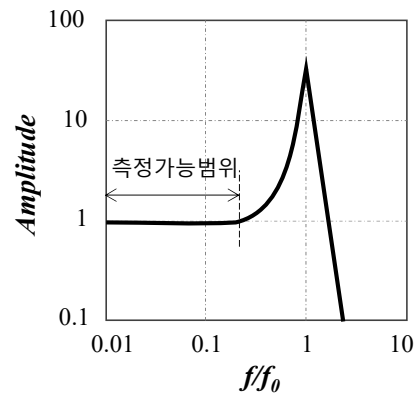
풍동 바닥면 아래에 설치된 풍력천칭은 6성분을 측정할수 있으나, 풍력실험의 특성상 주로 X, Y축 풍력 및 전도모멘트, Z축 비틀림모멘트의 5성분을 측정한다. 풍력천칭에는 여러 가지 방식이 있으나, 일반적으로 스트레인게이지로 측정하는 방식의 천칭이 주로 사용되고 있다.

(2) 풍력 측정 시에는 모형과 풍력천칭과의 공진에 유의해야 하며, 모형진동, 바닥진동 등과 같은 노이즈에 유의해야 한다.

(2) 풍력천칭은 [그림 6.1.3]과 같이 감지부와 강체모형이 전체로 하나의 진동계를 형성하여 진동특성을 보이게 되므로, 변동풍력을 측정하는 경우에는 측정하고자 하는 주파수의 범위가 [그림 6.1.4]와 같이 모형과 천칭 진동계의 공진범위에 들어가지 않도록 주의해야한다.



[그림 6.1.3] 풍력계의 원리



[그림 6.1.4] 풍력계의 진동특성

특히, 측정하고자 하는 주파수의 범위가 넓은 경우에는 모형의 중량은 작게하고, 강성은 크게하여 고유진동수를 충분히 확보되면 공진으로 인한 문제점은 쉽게 발생하지 않는다. 하지만, 풍력실험 시 바닥이나 풍동의 진동에 의한 노이즈 문제가 많이 발생하므로 유의해야 한다.

**6.1.5 실험풍향**

- (1) 실험풍향은 전풍향에 대해 0도에서 360도까지 최소 11.25도 이하 간격의 풍향을 고려해야 한다.
- (2) 건축물의 형상이 복잡하거나, 겔로핑의 검토가 필요한 경우에는 세밀한 간격의 풍향을 고려해야 한다.

**6.1.5 실험풍향**

- (1) 풍력실험 실험풍향은 실무에서 모형이 형상이 다양하고, 복잡한 경우가 많기 때문에 최소 32개 방향(11.25도 간격) 이상을 고려해야 한다.
- (2) 만약 실험대상의 형상이 복잡한 경우 또는 겔로핑 현상을 검토하고자 하는 경우에는 6도 이하의 세밀한 간격으로 풍력을 계측해야 한다.

**6.1.6 실험풍속**

(1) 실험풍속은 설계풍속, 건축물의 규모, 풍동의 규모 및 풍력천칭의 특성을 고려하여 설정하여야 한다.

**6.1.7 데이터 처리 방법**

(1) 풍력 데이터 취득을 위한 계측시간, 샘플링 진동수(Hz) 설정 근거가 풍동실험 보고서에 설명되어야 한다.

**6.1.6 실험풍속**

(1) 풍동 내 실험풍속을 설정할 때는 일반적으로 무차원주파수,  $f_0^* = f_0 B / V$ 를 이용한다. 예를들면,  
 대상건축물의 폭(B): 40m  
 1차모드 고유진동수( $f_0$ ): 0.25Hz  
 모형축척율: 1/400  
 풍속의 범위: 20m/s~60m/s  
 풍력천칭의 측정가능범위가: ~50Hz라고, 가정하면, 이때 1차모드 고유진동수의 무차원진동수는 다음과 같다.

$$f_0^* = \frac{0.25Hz \times 40m}{60m/s} \sim \frac{0.25Hz \times 40m}{20m/s} = 0.167 \sim 0.500$$

한편, 풍력천칭의 측정 가능범위가 50Hz 이고, 모형의 대표폭이 10cm이므로 실험 풍속,  $\frac{50Hz \times 0.1m}{V} > 0.500$ 이 되고, 풍속으로 변환하면,  $V < 10m/s$ 가 된다. 즉, 풍동 풍속을 10m/s 이하로 설정하면 된다. 다만, 해석범위를 확장하기 위해 풍속을 너무 낮게 설정하게 되면, 측정 정밀도가 저하되기 때문에 풍속은 최소 5m/s 이상 설정하는 것이 바람직하다.

**6.1.7 데이터 처리 방법**

(1) 계측 시간과 샘플링 진동수(Hz)는 풍력의 평가시간, 풍동실험의 시간 스케일을 고려하여 결정해야 한다. 축적모형의 계측 시간결정은 다음과 같다. 예를들어, 모형 스케일  $\lambda_m/\lambda_p=1/400$ , 설계풍속  $V_p=60m/s$ , 실험풍속  $V_m=15m/s$  이라고 가정하면, 풍속 스케일은  $V_m/V_p=1/4$  이 되며, 시간스케일은  $T_m/T_p=1/100$  이 된다. 따라서 평



- (2) 풍동 내 모형계측시간이 짧은 점과 변동응답의 분석 안정성을 위해, 10개 이상의 샘플링 수를 고려하여, 앙상블 평균을 수행하여야 한다.
- (3) 노이즈 제거 및 A/D 변환기의 분해능을 고려하여 샘플링 진동수(Hz)를 설정하여야 한다.

**6.1.8 실험결과**

(1) 풍력실험은 다음과 같은 결과를 포함하여야 한다. 단, 실험대상 건축물의 실험목적에 따라 조정할 수 있다.

- 1) 평균·변동풍력계수 및 모멘트계수
- 2) 밀면전단력 및 모멘트
- 3) 층풍하중
- 4) 층전단력 및 모멘트
- 5) 최대응답 수평변위
- 6) 최대응답가속도
- 7) 수평풍하중의 하중조합
- 8) 거주성능 평가 결과
- 9) 변동풍력의 파워스펙트럼
- 10) 층풍하중 산정을 위한 해석절차

가시간 600초에 해당하는 모형 계측 시간은 6초 이다.

- (2) 시간 축적율에 의하여 변동풍속과 응답의 계측시간은 매우 짧은 경우가 많다. 평균 응답의 경우에는 큰 문제가 없지만, 변동 응답을 분석하기에는 부적절한 경우가 발생하므로 10개 이상의 샘플링 수를 계측하여 해석의 신뢰성을 높여야 한다.
- (3) 예를 들어 100Hz 까지 변동풍력을 평가하는 경우의 시간간격은 Nyquist 정리에 의해,  $\Delta t = 1/(2 \times 100) = 0.005\text{sec}$  가 된다. 단, 노이즈 제거는 앞서 설정한 모형 계측 시간 보다 2~4배 정도 크게 하는 것이 좋다. 따라서 노이즈 제거를 위한 Low-pass 필터의 Cut-off 주파수는 200~400Hz 정도 고려하는 것이 바람직하다.

**6.1.8 실험결과**

(1) 풍력실험에 의해 측정된 무차원화 된 풍력 계수는 아래 식과 같이 정의한다.

$$C_F = \frac{F}{q_H A} \tag{식 6.1.1}$$

$$C_M = \frac{M}{q_H A L} \tag{식 6.1.2}$$

여기서,  $C_F, C_M$ : 축방향별 풍력 및 모멘트계수

$q_H$ : 설계속도압 =  $1/2 \rho V_H^2$

A: 대표면적( $\text{m}^2$ )

L: 대표길이(m)

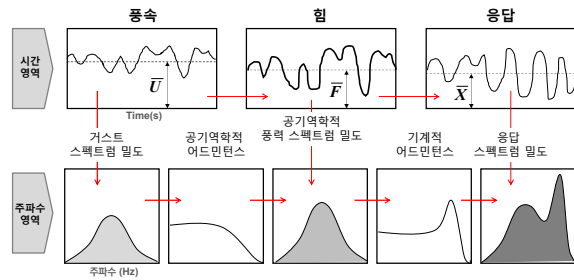
X,Y축 모멘트는 건축물의 높이(H),

비틀림모멘트는 건축물의 대표길이(D)

$\rho$ : 공기밀도( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_H$ : 건축물 높이에서의 설계풍속(m/s)

풍응답 해석에 있어서는 [그림 6.1.5]와 같이 주파수영역에서의 스펙트럴 모달 해석(Spectral Modal Analysis)에 의한 방법이 주로 이용되고 있다<sup>11)</sup>.



[그림 6.1.5] 스펙트럴 모달 해석<sup>11)</sup>

스펙트럴 모달 해석에 의한 변위응답 산정은 건축물 임의의 연직 축에 대한 운동방정식으로부터 시작된다.

$$[m]\{\ddot{\xi}(t)\} + [c]\{\dot{\xi}(t)\} + [k]\{\xi(t)\} = \{f(t)\} \quad (\text{식 6.1.3})$$

- 여기서,  $m$  : 건축물의 질량
- $c$  : 건축물의 감쇠
- $k$  : 건축물의 강성

이때, 건축물의 변위를 일반화 변위와 모드행렬의 곱으로 나타내면, (식 6.1.4)와 같다.

$$\{\xi(t)\} = [u]\{q(t)\} \quad (\text{식 6.1.4})$$

- 여기서,  $[u]$  : 모드 행렬
- $\{q(t)\}$  : 일반화 변위벡터

또한, (식 6.1.3)를 (식 6.1.4)에 대입하면 (식 6.1.5)와 같이 일반화 변위에 대한 운동방정식으로 나타낼 수 있다.

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [C]\{\dot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} = \{F(t)\} \quad (\text{식 6.1.5})$$

여기서,  $[M]$  : 일반화 질량 행렬 =  $[u]^T [m] [u]$   
 $[C]$  : 일반화 감쇠 행렬 =  $[u]^T [c] [u]$   
 $[K]$  : 일반화 강성 행렬 =  $[u]^T [k] [u]$   
 $\{F(t)\}$  : 일반화 외력 =  $[u]^T \{f(t)\}$

이 경우, 일반화 변위의 파워스펙트럼은 일반화 외력의 파워스펙트럼에 역학적 어드미턴스를 곱해 (식 6.1.6)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} [S_Q(\omega)] &= \{Q(\omega)\} \{Q(\omega)^*\}^T \\ &= [H(\omega)] \{F(\omega)\} \{F(\omega)^*\}^T [H(\omega)^*]^T \\ &= [H(\omega)] [S_F(\omega)] [H(\omega)^*]^T \quad (\text{식 6.1.6}) \end{aligned}$$

여기서,  $[S_Q(\omega)]$  : 일반화 변위의 파워스펙트럼  
 $H(\omega)$  : 역학적 어드미턴스  
 $S_F(\omega)$  : 일반화 외력의 파워스펙트럼

따라서, 일반화 변위의 평균과 분산은 각각 다음 식과 같다.

$$\{\bar{\xi}\} = [u] \{\bar{q}\} = [u] [K]^{-1} \{\bar{F}\} \quad (\text{식 6.1.7})$$

$$\sigma_\xi = \int_0^\infty [H(\omega)]^2 S_F(\omega) d\omega \quad (\text{식 6.1.8})$$

여기서,  $\omega = 2\pi f$

건축물의 감쇠정수가 작은 경우, 일반화 변위의 스펙트럼의 형태를 공진 성분( $A_R$ )과 비공진 성분( $A_B$ )으로 나누어 (식 6.1.9)와 같이 근사적으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_\xi &= (A_B + A_R)^{1/2} \\ &= \left[ \frac{\{\sigma_M^2\}}{\{(2\pi f)^2 [M]\}^2 H} + \frac{\pi f [S_{M(f)}]}{[4C] \{(2\pi f)^2 [M]\}^2 H^2} \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (\text{식 6.1.9})$$

여기서,  $\sigma_M$ : 전도모멘트의 표준편차

$S_M(f)$ : 전도모멘트의 파워스펙트럼

따라서, 최대변위응답의 산정은 (식 6.1.10)으로 구할 수 있다.

$$\hat{\xi} = \bar{\xi}(z) + g\sigma(z) \quad (\text{식 6.1.10})$$

여기서,  $g$ : 피크팩터 =  $\sqrt{2\ln(\nu T)} + \frac{0.577}{\sqrt{2\ln(\nu T)}}$

$\nu$ : 변위가 단위시간에 평균변위를 횡단하는 횟수(level crossing number)  
 $T$ : 평가시간(일반적으로 600초)

한편, 가속도응답의 표준편차는 변위응답의 공진성분의 표준편차와 각속도의 관계로부터 (식 6.1.11)로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{\xi} = (A_R)^{1/2} (2\pi f)^2 \quad (\text{식 6.1.11})$$

여기서,  $A_R$ : 변위응답의 공진성분

마지막으로 구조설계용 풍하중 산정 시 고려되는 하중조합계수는 (식 6.1.12)와 같다<sup>12)</sup>.

$$\hat{E} = \gamma_x c_x \hat{M}_x + \gamma_y c_y \hat{M}_y + \gamma_t c_t \hat{M}_t \quad (\text{식 6.1.12})$$

여기서,  $\gamma_{x,y,z}$ : 응답상관계수

$c_{x,y,z}$ : 하중계수

한편, 하중조합계수는 각 나라마다 다양한 방법으로 제시하고 있으나, 하중조합계수는 최소 6개 이상 제시해야 한다.

(2) 풍력실험에 적용된 조건, 실험방법 풍동실험 체크리스트에 포함되어야 한다.

(2) 본 가이드 라인에 첨부되어 있는 풍동실험 체크리스트에 풍력실험 정보가 정리되어 실험수행자가 일관성있게 실험을 수행할 수 있게하고, 풍동실험 검토자가 활용할 수 있도록 한다.

**6.2 풍압실험**

**6.2.1 실험목적**

- (1) 풍압실험은 설계대상 건축물의 외장재설계용 풍하중의 산정 또는 건축물 일부에 작용하는 부분하중의 산정을 위해 실시한다.

**6.2.2 적용대상**

- (1) 건축물 또는 공작물이 KDS 41 10 15(5.1.3 특별풍하중)의 조건에 해당하는 경우와 건축물안전영향평가대상에 적용한다.

**6.2.3 실험모형 및 축척**

- (1) 모형의 축척은 풍동의 규모, 센서의 측정정도, 폐쇄율 등을 고려하여 적절히 선정해야 하며, 모형의 모서리 부분은 정확하게 재현하여야 한다.

**6.2 풍압실험**

**6.2.1 실험목적**

- (1) 풍압실험은 모형에 작용하는 풍압력을 풍압계에 의해 측정하는 실험이다. 풍압실험은 외장재의 안전성의 확보뿐만 아니라, 경제적인 설계도 기대할 수 있기 때문에, 계획 단계보다는 실시설계 단계에 실시하는 것이 바람직하다. 외장재에 작용하는 풍하중은 풍동실험 모형표면의 외압과 실내압의 합으로 평가한다.

풍압실험은 외장재설계용 풍하중을 산정하는 것을 목적으로 하는 경우가 많지만, 구조골조설계용 풍하중이나, 건축물의 풍응답 및 거주성능 평가에도 활용되고 있다. 건축물 전체 또는 그 일부에 작용하는 풍력은 건축물 벽면에 작용하는 풍압력을 적분하는 것에 의해 구할 수 있으며, 최근에는 풍압적분법에 의한 건축물의 구조골조설계용 풍하중 산정, 변위응답 및 거주성능 평가 또는 건축물의 성능평가를 위해 층별 풍하중에 대한 시간이력 데이터 산정에도 많이 이용되고 있는 추세이다.

**6.2.2 적용대상**

- (1) 건축물 또는 공작물이 KDS 41 10 15(5.1.3 특별풍하중)의 조건에 해당하는 경우와 건축물안전영향평가 대상에 대하여 적용하여야 한다. 장경간의 현수, 사장, 공기막지붕 등 경량이며 강성이 낮아 공기력불안정진동 거동을 하는 지붕골조의 경우에는 풍하중의 효과를 적절히 검토해야 한다.

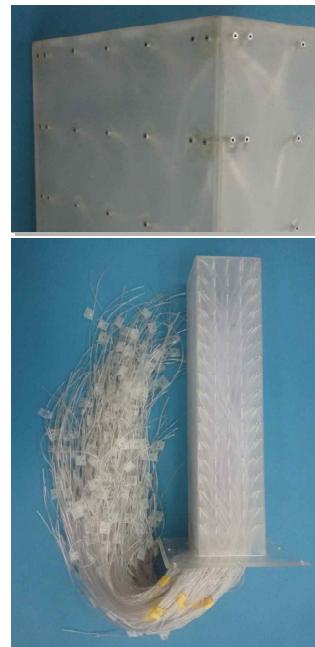
**6.2.3 실험모형 및 축척**

- (1) 일반적으로 풍압모형은 아크릴 판 등 외형 변화가 없는 재료를 이용하여 제작을 해야 한다. 실험모형은 강제모형으로 풍압공을 설치하고, 작용하는 풍압력을 풍압계에 전

(2) 풍압공은 건축물의 측정면에 작용하는 풍압력의 분포상황을 예상하여 설치해야하며, 큰 국부풍압이 발생할 수 있는 모서리, 돌출면 등에는 측정점을 조밀하게 설치해야 한다.

달할 수 있도록 풍압공은 압력튜브로 연결해야 한다. 풍압모형 제작 범위는 풍동기류의 기하학적 스케일과 풍동의 폐쇄율을 감안하여 결정해야 한다.

(2) 풍압모형의 풍압공에 붙어 있는 압력튜브는 내경 1mm정도의 비닐 튜브가 많이 이용되고 있으며, 풍압공은 측정면에 작용하는 풍압력의 분포상황을 예상하여 위치를 선정하고, 큰 풍압의 발생이 예상되는 모서리와 돌출부 등 입면변화가 있는 부면에 풍압공을 조밀하게 설치해야 한다. KDS 41 10 15에서는 큰 풍압이 예상되는 모서리 부면의 최소폭을 건축물 최소폭의 0.1배로 규정하고 있으며, 이에 해당하는 부위의 풍압공 개수를 크게 설치해야 한다. [그림 6.2.1]은 풍압실험모형을 나타낸 것이다.



[그림 6.2.1] 풍압실험 모형

예를들어, 고층건축물의 경우 풍압공의 배치는 아래와 같이 하는 경우가 많다.

(3) 건축물의 내압을 측정하는 경우에는 간극이나 환기부(루버 등)의 재현과 함께, 벽면 모형의 강성, 기밀성, 개구율을 고려하여야 한다.

**6.2.4 풍압 계측 시스템**

(1) 풍압을 측정하기 위해서는 동적응답성 확보 가능한 풍압계를 이용한다.

- 벽면, 유리면 : 각 면마다 적절하게 측정점을 배치한다.

배치 간격은 모서리 부분은 국부 풍압이 크게 작용하기 때문에 세밀하게 배치하고, 가운데에 가까울수록 적당한 간격으로 배치한다. 저층부에서 큰 풍압력이 발생할 수 있으므로, 저층부에서는 유리나 마감재가 사용되는 장소에 조밀하게 배치하고, 실링 마감이 있는 경우에도 배치한다.

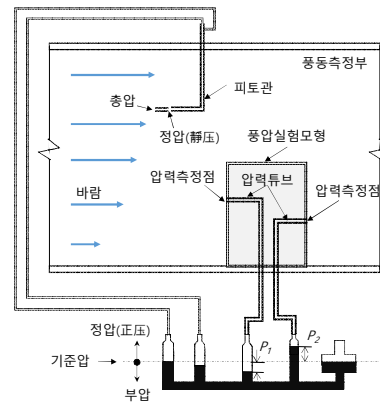
- 그 밖에 형상이 특이한 부분, 주변건축물의 영향으로 풍압이 크게 될 것으로 예측되는 부분 등에 풍압공을 조밀하게 배치한다.

(3) 파라펫과 같은 벽면에서는 내측과 외측에 풍압을 동시 측정할 수 있도록 배치한다.

**6.2.4 풍압 계측 시스템**

(1) 건축물에 작용하는 풍압은 동적응답성이 우수한 (500 Hz 이상의 동특성을 가진 풍압계)를 이용하여 계측하여야 한다.

일반적으로 건축물에 작용하는 풍압의 측정은 [그림 6.2.2]의 계측 시스템과 같이 벽면의 풍압공이 압력튜브를 통해 풍압계로 유도되고, 측정부를 대표하는 기준정압과의 차압으로 계측된다<sup>13)</sup>.



[그림 6.2.2] 풍압 계측 시스템 개요

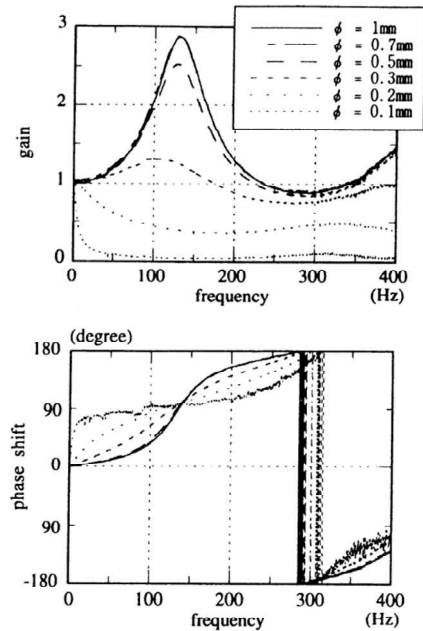
(2) 풍압계는 압력튜브를 이용하기 때문에 압력튜브 내의 공기의 공명현상의 영향을 억제하거나 제거하여야 한다.

(2) 압력튜브에 의한 변동 풍압력을 측정하는 경우에는 압력 튜브 내의 공기의 공명현상의 영향에 주의할 필요가 있다. 압력 튜브의 영향은 다음과 같은 방법이 주로 이용되고 있다.

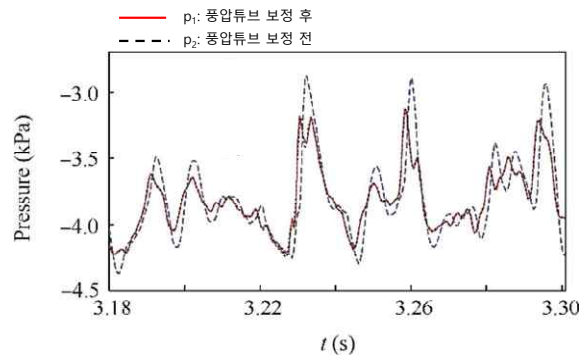
- 1) 압력튜브의 길이를 짧게 하거나, 압력튜브의 내경을 크게 하는 것으로 영향을 적게 한다.
- 2) 저항관(restrictor)을 압력 튜브의 적절한 장소에 삽입해서 공명현상을 제어한다<sup>14)</sup>.
- 3) 압력튜브의 압력전달특성을 구하여 보정한다<sup>15) 16)</sup>.

‘2)’의 저항관을 이용하여 측정 가능한 변동 풍압력의 상한 주파수는 200Hz 정도이며, 3)의 방법에서는 고주파수까지 압력 튜브의 영향을 보정하는 가능하다. [그림 6.2.3]은 압력전달특성을 나타낸 것이며, [그림 6.2.4]는 압력전달특성을 고려한 풍압 특성을 나타낸 것이다.





[그림 6.2.3] 압력전달 특성의 예<sup>16)</sup>



[그림 6.2.4] 압력 튜브 영향의 보정 전·후의 압력파형

**6.2.5 실험풍향**

(1) 실험풍향은 전풍향에 대해 0도에서 360도 까지 최소 11.25도 이하 간격의 풍향을 고려해야 한다.

**6.2.5 실험풍향**

(1) 건축물에 작용하는 풍압력은 풍향에 따라 크게 변화한다. 예를들어, 정방형 모형의 경우, 실험풍향은 16개 방향(22.5도 간격) 정도 고려하면 충분하다. 하지만 실무에서의 모형은 형상이 다양하고, 복잡한 경우가 많기 때문에 최소 32개 방향(11.25도 간격)정도 고려해야 한다. 일본의 경우에는 최근 5도 이하로 풍압을 측정하는 추세이다.

- (2) 건축물의 형상이 복잡하거나 인접효과에 의해, 국부풍압이 크게 발생할 우려가 있는 경우에는 좀 더 세밀한 간격의 풍향을 고려해야 한다.

**6.2.6 실험풍속**

- (1) 실험풍속은 풍압계의 성능과 설계풍속 및 상사법칙 등을 고려하여 설정하여야 한다.

- (2) 풍압모형에 곡면이 있는 경우 레이놀즈 수의 영향을 고려하여야 한다.

**6.2.7 데이터 처리 방법**

- (1) 최대 풍압처리시 공간평균효과를 고려해야 할 경우 풍압공 1점에 대한 보정을 수행하여야 한다.

- (2) 만약 실험대상의 입면형상이 복잡하고, 국부풍압이 크게 발생할 것으로 예측되는 부분에서는 실험풍향을 6도 이하로 세밀하게 변화시켜 풍압력을 측정하는 것이 바람직하다.

**6.2.6 실험풍속**

- (1) 풍압계의 최소분해능  $p = 0.5Pa$ , 풍압계수의 분해능을  $C = 0.05$ , 공기밀도  $\rho = 1.2kg/m^3$  이라 가정하면, 실험풍속,  $V \geq \sqrt{2p/\rho C}$  에 의해  $V \geq 11.25m/s$ 가 된다.

또한, 변동 풍압력을 평가하는 경우에는 무차원 풍속 ( $V^* = V/fB$ )를 고려하여 설정한다.

예를들면, 설계풍속  $V_p = 45m/s$

모형스케일  $L_m/L_p = 1/400$

시간스케일  $T_m/T_p = 1/100$

$V_m/V_p = (L_m/L_p) \times (T_p/T_m)$  의 관계로부터,

실험풍속  $V_m = V_p \times (L_m/L_p) \times (T_p/T_m)$

$$= 45 \times (1/400) \times (100/1) = 11.25m/s$$

즉, 풍압계의 최소분해능과 상사법칙의 관계로부터 풍동풍속을 11.25m/s 로 설정하면 된다.

- (2) 실험모형에 곡면이 있는 경우 레이놀즈 수의 영향이 있을 수 있으므로, 실험풍속을 적절한 범위로 변화시키면서 풍압력의 변화 상태를 검토해야 하며, 레이놀즈의 영향이 풍동실험보고서에 포함되어야 한다.

**6.2.7 데이터 처리 방법**

- (1) 외장재 설계용 풍하중 산정 시에는 표면적 A에 작용하는 변동 풍압력을 면 전체에 적분해서 패널풍력에 대한 피크치를 산정해야만 한다. 그러나, 풍동실험 시 실험모형

의 외장재는 매우 작기 때문에 풍압공을 각각의 외장재의 표면에 여러 개를 설치할 수 없으므로, 공간적분에 의해 각각의 외장재에 작용하는 패널풍력을 산정하는 것은 어렵다. 따라서, 풍동실험 시에는 해당 하는 외장재 부근의 풍압공의 변동 풍압력을 이용해서 평가할 수 있다. 즉, 패널풍력의 시간변동으로 착안하면, 풍압변동의 공간상관의 영향으로, 작은 스케일의 난류에 대한 고주파수의 변동은 면적 A가 클수록 평균화되어 풍력은 작아지게 된다. 즉, 면의 넓이는 패널풍력에 대한 로우패스필터(Low-pass filter)적인 효과를 갖는다. 그러므로, 해당 외장재를 대표하는 풍압공 1점의 풍압을 그대로 패널 풍력으로 사용하게 되면, 피크치를 과대평가할 수 있다. 따라서, 면에 분포하는 변동풍압의 공간평균효과를 1점의 변동풍압의 등가적인 시간평균효과로 환산해서, 그 영향을 편의적으로 고려하는 것이 TVL법 이다<sup>17)</sup>. 즉, 피크치의 등가적인 평균화시간,  $T_p$ 는 (식 6.2.1)과 같다<sup>18)</sup>.

$$T_p = k_p \frac{L}{V_H} \quad (\text{식 6.2.1})$$

여기서,  $k_p$  : 풍압변동의 루트코히런스의 decay constnat ( $k_p = 1$ )  
 $V_H$  : 건축물 높이에서의 설계풍속  
 $L$  : 외장재의 대표길이(=  $\sqrt{A}$ )

따라서,  $T_p$ 가 정해지면, 대표 풍압공의 변동풍압을 평균화 시간  $T_p$ 로 이동평균을 실시한다. 이때, 평균화 시간  $T_p$ 는 매우 짧고, 고주파수 대역에 해당하므로 샘플링 주파수를 높게 설정해야한다.  $T_p$ 에 따라 다르지만, 일반적으로 샘플링주파수를 풍압의

**6.2.8 실험결과**

(1) 풍압실험은 다음과 같은 결과를 포함하여야 한다. 단, 건축물의 실험목적에 따라 조정될수 있다.

- 1) 평균, RMS, 피크외압계수
- 2) 외장재 설계용 풍압 또는 풍압계수 구획도

(2) 풍압실험으로 얻은 풍압으로 풍압적분법을 통해 6.1.8과 같은 풍력실험결과도 산정할 수 있다.

(3) 풍압실험의 조건, 실험방법 등을 요약하여 풍동실험 체크리스트에 포함되어야 한다.

변동성분을 고려할 수 있도록 설정하는 것이 바람직하다.

**6.2.8 실험결과**

풍압실험에 의해 측정된 무차원화된 풍압계수는 다음 식과 같이 정의한다.

$$C_p = \frac{\bar{P}}{q_H} : \text{평균풍압계수} \quad (\text{식 6.2.2})$$

$$C'_p = \frac{\sigma_p}{q_H} : \text{변동풍압계수} \quad (\text{식 6.2.3})$$

$$\hat{C}_p = \frac{\hat{P}}{q_H} : \text{최대풍압계수} \quad (\text{식 6.2.4})$$

$$\check{C}_p = \frac{\check{P}}{q_H} : \text{최소풍압계수} \quad (\text{식 6.2.5})$$

단,

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \quad (\text{식 6.2.6})$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \quad (\text{식 6.2.7})$$

여기서,  $P_i$  : 평균풍압력

$\sigma_p$  : 변동풍압력

$\hat{P}$  : 최대풍압력

$\check{P}$  : 최소풍압력

$N$ : 샘플링 수

$q_H$ : 건축물 높이에서의 설계속도압

(2) 풍압적분법은 풍력실험으로부터 구해지는 밀면 전단력, 모멘트 외에도 층 전단력, 모멘트, 응답가속도, 변위를 구할 수 있다.

(3) 본 가이드라인에 첨부되어 있는 풍동실험 체크리스트에 풍압실험 요약정보가 정리되어 실험 수행자가 일관성 있게 실험을 수행할 수 있도록 하고, 풍동실험 검토자가 활용할 수 있도록 한다.

### 6.3 공기력진동실험

#### 6.3.1 실험목적

- (1) 공기력진동실험은 설계대상 건축물의 부가적인 공기력의 평가 또는 건축물의 동적 응답 및 하중평가를 위해 실시한다.

#### 6.3.2 적용대상

- (1) 풍력실험으로 얻어진 변동풍력의 무차원 진동수가 스트로할 수 부근에 근접하거나, 건축물의 변위응답이 크게 평가되는 경우에 적용하여야 한다.

#### 6.3.3 실험모형 및 축척

- (1) 공기력진동실험모형은 크게 로킹모형, 다질점모형, 전탄성모형, 2차원모형으로 나눌 수 있으며, 건축물의 진동특성에 따라 실험모형을 결정하여야 한다.

<표 6.3.1> 주요 공기력진동실험 방법<sup>9)</sup>

실험방법	실험대상 건축물
로킹모형실험	고층건축물
다질점모형실험	고층건축물(모드형상이 복잡한 경우)
전탄성모형실험	장스팬 건축물

### 6.3 공기력진동실험

#### 6.3.1 실험목적

- (1) 공기력 진동실험은 건축물의 진동특성을 재현한 탄성모형을 이용하여 풍동 내 풍속에 따른 건축물의 거동을 재현하는 실험이다. 이 실험은 동적응답과 더불어 풍하중 평가도 가능하다. 또한 공기력진동실험은 건축물의 응답을 직접적으로 측정이 가능하기 때문에 병진진동(X, Y방향 진동)과 비틀림 진동의 연성진동을 예측할 수 있다.

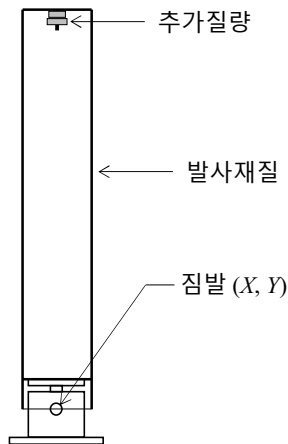
#### 6.3.2 적용대상

- (1) 풍력실험으로 얻어진 변동풍력(모멘트)의 파워스펙트럼의 무차원진동수가 스트로할 수(Strouhal Number) 부근에 근접하거나, 건축물의 변위 응답이 크게 평가된 경우에 적용한다. 또한 공기력진동실험은 높이 200m 이상의 건축물과 같이 유연(세장한 건축물)하고, 부가적인 공기력진동이 우려되는 건축물에 주로 이용되고 있다<sup>4)</sup>.

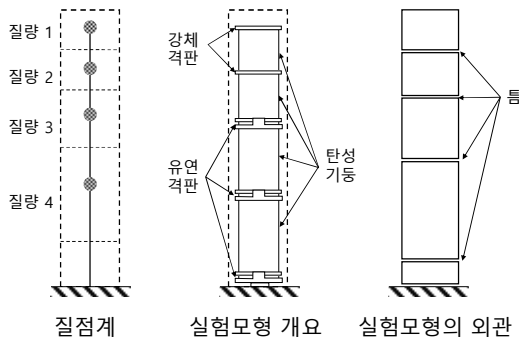
#### 6.3.3 실험모형 및 축척

- (1) 공력진동실험의 방법은 여러 종류가 있으며, 실험목적, 대상건축물의 진동특성에 따라 정한다. 대표적인 공력진동실험방법은 아래와 같다.

- 1) 로킹모형실험 : 고층건축물의 진동응답 예측을 위해 많이 이용되고 있다. 주로 X, Y방향의 진동응답을 레이저 변위계 등을 이용하여 동시에 계측한다. 단 강체모형을 사용해서 로킹모드로 실험을 하기 때문에 1차모드의 진동만을 재현하여 계측하는 방법이다. 특히 실험에 따라서는 비틀림진동 모드를 취급하는 것도 가능하지만 모형의 연직축 중심으로 회전만을 하는 장치로는 실제의 건축



(a) 로킹모형의 예<sup>20)</sup>



(b) 다질점모형의 예<sup>21)</sup>

[그림 6.3.1] 공기력진동실험 종류

(2) 공기력진동실험 모형 제작에는 반드시 건축물의 동적특성(고유진동수, 질량, 강성, 감쇠)을 모형에서 재현해야 하며, 모서리 부분은 정확하게 재현하여야 한다.

물의 비틀림 진동 모드를 재현하기 어려운 단점이 있다.

2) 다질점진동실험 : 로킹모형실험이 1차 모드를 대상으로 하는데 비해 보다 고차진동모드까지 재현하여 응답을 직접 계측할 수 있는 실험이다. 다질점진동 실험모형 제작 시에는 상세한 탄성모델의 설계가 필요하다. 특히 다질점진동실험의 경우 감쇠정수조정이 매우 어려우므로 이에 대한 충분한 대책 마련이 필요하다.

3) 전탄성모형실험 : 대상이 되는 건축물 전체를 연속체로 취급하기 위하여 상사법칙에 맞는 건축물의 동적 특성이 재현된 모형을 사용한 실험 방법으로서, 복잡하게 연성된 진동상태에서도 응답 측정이 가능하다. 장스팬 지붕 또는 공기막 구조를 대상으로 하는 경우에는 프루드수 (Floude Number), 무차원 음향강성, 무차원 음향감쇠, 내압속도압비 등의 상사가 중요하므로 이에 대한 충분한 대책 마련이 필요하다.

(2) 모형의 축척은 풍동의 규모, 센서의 측정 정도, 폐쇄율 등을 고려하여 선정해야 하며, 모형의 모서리 부분은 정확하게 재현해야 한다. 또한 공기력진동실험 모형은 아래의 상사파라미터를 모형에서 재현해야 한다.

$$\text{질량비} \quad M_{x(y)} / (\rho B^2 H) \quad (\text{식 6.3.1})$$

$$\text{무차원 진동수} \quad f_{x(y)} B / V \quad (\text{식 6.3.2})$$

$$\text{감쇠정수} \quad \eta_{x(y)} \quad (\text{식 6.3.3})$$

$$\text{탄성파라미터} \quad E_{eq} / \rho V^2 \quad (\text{식 6.3.4})$$

여기서,  $B, H, V$ : 건축물의 폭, 높이, 설계풍속  
 $\rho$ : 공기밀도

$M_{x(y)}$  : X, Y방향의 일반화질량

$$M_{x(y)} = \int_0^H m(z) \mu_{x(y)}^2 dz$$

$f_{x(y)}$  : x, y방향의 1차고유진동수

$\eta_{x(y)}$  : x, y방향의 감쇠정수

$E_{eq}$  : 건축물의 탄성과라미터

$m(z)$  : 건축물의 층(단위길이당)질량

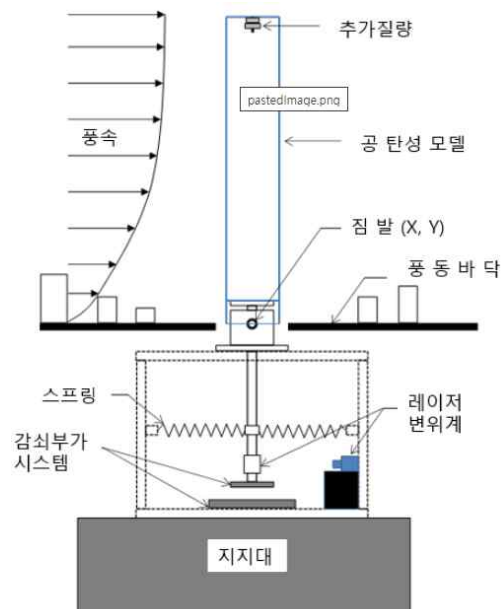
$\mu_{x(y)}$  : x, y방향의 1차 모드형상

### 6.3.4 공기력진동실험 계측 시스템

(1) 실험 시 모형이 진동하므로, 모형의 측정 진동수 범위 내에서 가대와 지지부가 진동하지 않도록 하여야 하며, 풍동의 바닥 진동이 전달되지 않도록, 진동실험계측 시스템과 풍동은 반드시 분리되어야 한다.

### 6.3.4 공기력진동실험 계측 시스템

(1) 일반적으로 고층건축물에 미치는 영향은 1차모드가 지배적이므로, 1차모드 재현이 쉬운 로킹모형실험이 많이 이용되고 있다. 로킹모형실험은 진동의 자유도를 조정하는 짐발(Gimbal)과 강성을 조정하는 스프링, 감쇠를 조정하는 감쇠장치로 [그림 6.3.2]와 같이 구성되어 있다.



[그림 6.3.2] 로킹모형실험 계측시스템의 예<sup>20)</sup>

로킹모형실험은 병진진동(X, Y방향) 재현이 가능하고, 비틀림진동의 계측은 어렵다. 또한 감쇠장치는 오일댐퍼 또는 자석댐퍼

등이 주로 사용된다. 로킹모형실험을 이용한 변위계측은 스프링에 설치된 변형률계이지 또는 스프링의 반력을 로드셀에 의해 계측하는 방법이 있으며, 비접촉식 방법으로는 변위계가 이용되고, 가속도를 계측하는 경우에는 소형 가속도계를 모형에 직접 설치하여 계측도 가능하다.

**6.3.5 실험풍향**

(1) 실험풍향은 전풍향에 대해 0도에서 360도까지 최소 11.25도 이하 간격의 풍향을 고려해야 한다.

(2) 건축물의 형상이 복잡하거나, 깎로핑의 검토가 필요한 경우에는 세밀한 간격의 풍향을 고려해야 한다.

**6.3.6 실험풍속**

(1) 실험풍속은 풍력실험과 같이 상사법칙에 의해 결정하여야 한다.

**6.3.5 실험풍향**

(1) 공기력진동실험 시 실험풍향은 정방향 모형인 경우, 16개 방향(22.5도 간격)정도 고려하면 충분하다. 하지만 실무에서의 모형은 형상이 다양하고, 복잡한 경우가 많기 때문에 최소 32개 방향(11.25도 간격)정도 고려해야 한다.

(2) 만약 실험대상의 형상이 복잡한 경우 또는 깎로핑 현상을 검토하고자 하는 경우에는 6도 이하의 세밀한 간격으로 풍력을 계측해야 한다.

**6.3.6 실험풍속**

(1) 공기력진동실험의 경우 상사조건으로부터 모형의 고유진동수를 일정하게 한 경우 단순히 실험풍속과 실물환산풍속의 비례관계가 주어지지만 실험풍속이 작아진다면 풍동 기류의 연직분포가 변화하기도 하고, 흐름의 패턴이 변화할 우려가 있다. 그러므로 실험풍속은 될 수 있는 한 높게 하는 것이 바람직 하다. 또한 공기력실험에서는 풍동풍속이나 건축물의 고유진동수를 변화시킬 수 있지만, 보통은 풍동풍속을 변화시키고, 모형의 고유진동수는 고정한다. 다만, 실험결과에 응답치는 풍속의 3승 정도로 급격히 변화하는 경우가 많고, 측정계에 있어서는 저풍속 범위에서 충분한 측정결과를 얻기 어려운 경우



도 있다. 이와 같은 경우에는 모형의 고유진동수를 크게 하고, 실험풍속을 증가시켜 대응해야 한다. 공기력실험 특성상 실험풍속은 설계풍속의 50%부터 점진적으로 증가시켜 설계풍속의 120% 정도까지 고려해야 한다.

**6.3.7 데이터 처리 방법**

(1) 응답 데이터 취득을 위한 계측시간, 샘플링 진동수(Hz) 설정 근거가 풍동실험 보고서에 설명되어야 한다.

(2) 샘플링 길이는 실구조물로 환산했을 때 1시간~2시간 이력 데이터를 얻을 수 있도록 계측해야 한다.

(3) 샘플링주파수는 실험모형 고유진동수의 10배 이상 고려하여야 한다.

(4) 노이즈 제거 및 A/D 변환기의 분해능을 고려하여 샘플링 진동수(Hz)를 설정하여야 한다.

**6.3.7 데이터 처리 방법**

(1) 공기력진동실험에 의한 응답측정은 풍속에 따라 급격한 변화가 있을 수 있기 때문에, 출력전압의 계인 조정에 주의가 필요하다.

(2) 샘플링 길이는 설계풍속의 실물환산으로 10분(600초) 정도에 상당하는 파형의 5배(5파형)정도 얻어지도록 하는게 일반적이다. 그러나, 공탄성 모형의 공력감쇠비를 추정하거나 와류하중 등을 분석하기 위해서는 실물환산 1시간~2시간의 이력데이터를 확보할 필요가 있다.

$$T \geq 5 \times 600(\lambda_L/\lambda_V) \quad (\text{식 6.3.5})$$

여기서,  $T$  : 샘플링 길이(sec)

$\lambda_L$  : 모형의 축척율

$\lambda_V$  : 풍속의 축척율

(3) 얻어진 파형으로부터 피크값을 구하기 위해서는 샘플링 주파수는 실험모형 고유진동수의 10배 정도의 주파수를 고려하는 것이 바람직하다.

(4) 실험데이터에 포함되는 노이즈는 아날로그 또는 디지털 필터를 이용해서 제거한다. 이 경우의 Cut-off 주파수는 대상으로 하는 고유진동수의 2~3배 정도 설정하는 것이 좋다.

(5) 구조감쇠의 변위의존성을 고려하기 위하여 모형에 대한 자유진동실험시 발생 가능한 변위를 고려하여야 한다.

(5) 실제 구조물은 변위가 증가할수록 감쇠비로 증가하는 경향이 있다. 이를 공탄성 모형에 적용하기 위하여 변위 크기에 따른 구조(모형)감쇠비를 구할 때에는 발생가능한 최대 크기를 고려하여 변위의존 감쇠비를 검토해야하며, 변위의존 감쇠특성 설정방법 및 결과가 풍동실험 보고서에 기재되어야 한다.

**6.3.8 실험결과**

(1) 공기력진동실험은 다음과 같은 결과를 포함하여야 한다. 단, 실험대상 건축물의 실험목적에 따라 조정할 수 있다.

- 1) 변위응답 및 가속도 응답
- 2) 무차원 응답 전도각
- 3) 전도각의 파워스펙트럼
- 4) 풍속-변위의 관계
- 5) 풍속-가속도의 관계
- 6) 응답 리사주
- 7) 주골조설계용 풍하중 산정
- 8) 거주성능평가
- 9) 하중조합 결과

**6.3.8 실험결과**

(1) 공기력진동실험에 의한 응답의 평가는 각 10분에 해당하는 시간이력데이터로부터 각각의 응답의 평균치, 표준편차, 최대치 등을 구하고, 앙상블 평균으로 구한다. 다만, 실 건축물의 진도모드형이 로킹모드과 크게 다른 경우에는 모드보정계수를 적용하여 보정해야 한다.

가속도 응답은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_{Hp} = \alpha_{Hm} \times \lambda_L / \lambda_T^2 \tag{6.3.6}$$

여기서,  $\alpha_{Hp}$  : 실 건축물 높이에서의 가속도  
 $\alpha_{Hm}$  : 모형 높이에서의 가속도  
 $\lambda_L$  : 모형의 축척율  
 $\lambda_T$  : 시간의 축척율

변위데이터를 이용하여 가속도를 구하는 경우에는 고주파수 성분 부근에서 노이즈 제거에 주의해야 한다.

설계용 풍하중은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W(z) = \overline{W}(z) + m_z (2\pi f_0)^2 x_{\max}(z) \tag{6.3.7}$$

여기서,  $\overline{W}(z)$  : 평균풍하중

$m_z(z)$  : 건축물 층질량

$f_0$  : 건축물의 고유진동수

$x_{\max}(z)$  : 건축물 층변위의 최대치

평균풍하중,  $\overline{W}$ 는 평균풍력계수가 있는 경우에는 그 값을 이용하여 구할 수 있다. 응답을 이용하여 평균풍하중을 구하는 경우에는 건축물 기부에서의 평균 전도모멘트 계수를 구해서, 각 층의 풍력이 풍속의 2승에 비례한다고 가정하고,  $\beta = 2\alpha$  ( $\alpha$ : 평균풍속 연직분포의 멱지수)로 하여 구할 수 있다. 또한, 응답변위에 기초해서 거스트 영향계수를 구하면  $\overline{W}(z)$ 는 간단히 구할 수 있다.

- (2) 공기력진동실험에 적용된 조건, 실험방법은 풍동실험 체크리스트에 포함되어야 한다.

- (2) 본 가이드라인에 첨부되어 있는 풍동실험 체크리스트에 공기력진동실험 정보가 정리되어 실험 수행자가 일관성 있게 실험을 수행할 수 있게 하고, 풍동실험 검토자가 활용할 수 있도록 한다.

## 6.4 풍환경실험

### 6.4.1 실험목적

- (1) 풍환경실험은 고층건축물이 건설되는 경우에 건설지점 주변의 풍환경을 평가하기 위해 실시한다.

## 6.4 풍환경실험

### 6.4.1 실험목적

- (1) 풍환경 실험의 목적은 대상건축물 부지 내 또는 그 주변 지표면 부근(약 1.5m~2m)에서 생기는 강풍에 의한 일반적인 보행·주행장애, 저층건축물 지역의 풍환경의 악화와 이에 수반되는 주변 건축물 이용자와 주변도로 이용자의 불쾌감의 증폭, 또는 트러블의 발생을 검토한다. 또한 건축물의 통로, 발코니 등 주로 중고층 건축물의 거주자가 이용하는 외부공간에서 생기는 강풍에 의한 풍환경 악화를 수반하는 문제나 장애, 트러블의 발생을 검토한다. 따라서 풍환경실험은 목적에 따라서는 실험결과

- (2) 풍환경실험의 검토내용은 다음과 같다.
- 1) 건설지점 주변의 기상특성(풍향·풍속 등) 조사
  - 2) 신축건축물 건설 전 풍환경 평가
  - 3) 신축건축물 건설 후 풍환경 평가
  - 4) 풍환경 대책검토

**6.4.2 적용대상**

- (1) 풍환경실험의 적용대상은 건축물안전영향평가 대상과 고층·초고층 건축물 또는 대규모 건축물이 건설되는 경우에 실시한다.

가 크게 변할 가능성이 있으므로, 실험 목적을 명확히 제시할 필요가 있다.

- (2) 풍환경실험의 검토 내용은 다음과 같다.
- 1) 건설지점 주변의 기상특성(풍향·풍속 등) 조사  
 풍환경실험을 실시할 계획지 상공의 바람의 특성을 파악하는 것이 중요하다. 건설지점에 대한 풍특성을 조사하면 가장 이상적이지만, 그렇지 않은 경우에는 건설지점과 가장 가까운 기상관측데이터를 이용할 수 있다. 기상관측에 의한 풍향·풍속데이터는 최소 1년 이상 관측된 자료가 필요하다.
  - 2) 신축건축물 건설 전 풍환경 평가  
 풍환경문제는 신축건축물의 건설로 풍환경이 어떻게 변하는지가 중요하기 때문에 신축건축물 건설 전의 바람 특성을 조사해야 한다.
  - 3) 신축건축물 건설 후 풍환경 평가  
 신축건축물의 건설 전 풍환경 상황과 비교하기 위해 실시한다.
  - 4) 풍환경 대책검토  
 신축건축물 건설 후, 풍환경 문제가 있다고 예측되는 경우에는 방풍대책 등을 수립하기 위해 실시한다.

**6.4.2 적용대상**

- (1) 고층·초고층 건축물 또는 대규모 건축물이 건설되면 바람의 영향을 무시할 수 없는 경우가 많고, 건설에 따른 문제 또는 장애발생을 미연에 방지하기 위해 풍환경의 변화를 풍동실험 또는 전산유체해석(CFD) 등의 방법에 의해 검토해야 한다.

**6.4.3 실험모형 및 축척**

(1) 풍환경실험 모형의 재현범위는 대상건축물 높이의 2~3배 반경 이내 주변을 재현하여야 한다.

(2) 대상건축물 주변의 지형이 복잡하고, 고저차가 있는 경우에는 지형의 상태를 재현해야 한다.

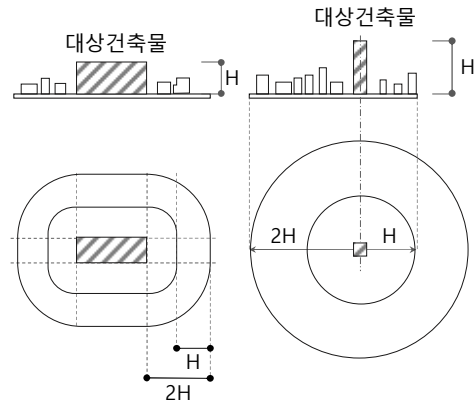
**6.4.3 실험모형 및 축척**

(1) 풍환경실험 모형은 대상 건축물을 포함한 주변지형을 충실히 재현해야 한다. 고층건축물의 경우의 재현범위는 그림 [6.4.1]과 같이 대상건축물을 중심으로 반경 5가구(5개의 도로의 범위) 또는 대상건축물 높이의 2~3배 반경 이내의 범위로 한다<sup>22), 23)</sup>. 풍상측에 고층건축물이 있거나 밀집되어 있는 경우에는 재현 범위를 더 넓게 하는 것이 바람직하다.

(2) 지형이 복잡하고, 고저차가 있는 경우 지형상태를 재현해야한다. 다만, 모형 축척을 고려하여 고저차가 수 mm로 극히 적은 경우에는 무시할 수 있다.



(a) 5가구의 범위 내<sup>22)</sup>

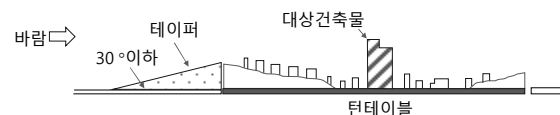


(b) 대상건축물 높이의 2~3배 이내<sup>23)</sup>

[그림 6.4.1] 풍환경실험모형의 재현범위

(3) 지형모사에 의해 턴테이블 경계부분에 고저차가 생기는 경우에는 테이퍼를 붙여야 하며, 그 각도는 30도 이하가 되도록 해야 한다.

(3) 지형의 상태를 재현한 경우 턴테이블과 풍동바닥면과의 경계부분에 고차가 생기는 경우에는 급격한 기류의 변화가 발생할 수 있다. 따라서 [그림 6.4.2]에 나타난 것과 같이 풍상측 턴테이블 단부에 테이퍼를 부착해 풍동 바닥면으로부터 완만한 경사가 되도록 해야 한다. 또는 [그림 6.4.3]에 나타난 것과 같이 턴테이블 단부 부근의 형상을 변형시켜 단부에서 풍동바닥면과 완만한 경사가 되도록 제작하는 경우도 있다.



[그림 6.4.2] 풍상측 턴테이블 밖에 테이퍼를 설치한 경우



[그림 6.4.3] 풍상측 턴테이블 내에 지형의 형상을 변형시킨 경우

(4) 모형의 축척율은 다음의 조건을 만족해야 한다.

(4) 모형의 축척율은 사용하는 풍동의 규모, 턴테이블의 크기, 모형의 재현범위, 측정

- 기기 특성, 폐쇄율, 벽효과, 풍동기류의 상사조건 등과 함께 다음의 조건을 만족해야 한다.
- 1) 모형재현범위가 턴테이블의 범위 내에 있고, 측정위치에 측정기기의 설치가 가능해야 한다.
  - 2) 풍동기류의 조건은 측정위치에서 재현이 가능하여야 한다.
  - 3) 폐쇄율 8% 이하를 만족하여야 한다.
  - 4) 풍동기류의 난류적분스케일의 축척율과 모형의 축척율은 일치되어야 한다.
- 1) 모형재현범위가 턴테이블의 범위 내에 있고, 측정위치가 측정기기의 설치가 가능해야 한다. 특히, 풍동벽면 부근에서의 벽효과로 인해 기류 특성이 매우 달라질 수 있으므로, 측정범위가 벽면 부근까지 미치지 않도록 해야 한다. 일반적으로 풍속 측정기기의 측정부위의 크기는 1mm 정도부터 수 mm까지 계측이 가능하지만, 풍환경실험의 경우 보행자의 위치에서의 풍속측정을 주로 하기 때문에 축척율이 너무 작게 되면, 측정위치에 측정기기를 설치하는 것이 불가능하다.
- 2) 풍동기류의 조건은 측정위치에서 재현이 가능해야 한다. 모형재현범위의 풍상측선단에서의 풍속과 측정위치에서의 풍속이 같으면 풍동기류는 재현되었다고 볼 수 있다. 하지만, 측정위치가 풍동 바닥면 근처를 지나가면, 풍동 바닥 마찰에 의한 경계층의 영향으로 측정위치에서의 기류 재현이 어려울 수도 있다. 따라서, 모형의 축척율이 너무 작아지지 않도록 주의해야 한다.
- 3) 폐쇄율 8% 이하를 만족해야 한다. 4.2에서 언급한 바와 같이 폐쇄율은 8% 이하가 되도록 제작해야 한다.
- 4) 풍동기류의 난류적분스케일의 축척율과 모형의 축척율은 일치되어야 한다. 풍동기류의 난류적분스케일의 축척율과 모형의 축척율은 다소 다르더라도 큰 문제가

없지만, 가능하면 기하학적 상사조건을 우선하는 것이 바람직하다. 다만, 변동풍속이나 순간최대풍속 측정을 목적으로 하는 경우에는 변동풍속의 주기에 관한 상사 파라미터는 난류스케일과 건축물의 대표길이의 비( $H/L_x$ )로 나타내기 때문에 풍동기류의 난류적분스케일의 축척율과 모형의 축척율은 일치시켜야 한다. 즉, 모형의 축척율은 가능하면 크게 하는 것이 바람직하다. 일반적으로 풍환경모형은 수백분의 일부터 천분의 일 정도의 축척모형을 사용하는 경우가 많다. 위에서 언급한 축척율보다 작아지게 되면 지형의 영향을 조사하는 경우는 가능하지만, 보행자 레벨에서의 풍속 등의 측정은 어려운 점에 유의해야 한다.

(5) 대상건축물은 강제모형으로 제작해야 하며, 모서리 부근이나 돌출부, 발코니, 출입구 부근은 세밀하게 재현하여야 한다.

(5) 풍환경실험을 위한 대상건축물은 건축물 자체의 진동에 의한 주변 풍환경에 영향은 미비하므로, 강제모형으로 제작한다. 다만, 대상건축물의 모서리 부분이나 돌출부가 있는 경우에는 모형축척율을 고려했을 때, 1mm 이상인 경우에는 세밀하게 재현해야 하며, 실험목적에 따라 발코니, 출입구 부근 등은 세밀하게 재현해야 한다.

(6) 주변건축물의 재현은 적어도 건축물의 형상(윤곽)까지 재현해야 한다. 수목, 가로수 등의 재현은 수목, 가로수의 윤곽(높이, 넓이), 통풍성을 고려하여 재현해야 한다.

(6) 측정범위 내의 주변건축물의 재현은 건축물의 윤곽정도까지 재현해야 하며, 특히 대상건축물 주변에 고층건축물이 있는 경우에는 고층건축물의 모서리 및 돌출부의 세밀한 재현이 필요하다. 측정범위 주변건축물 및 수목, 가로수 등의 재현은 수목, 가로수의 윤곽(높이, 넓이), 통풍성을 고려하며, 재현방법은 {2021 빌딩풍 가이드라인}을 따른다.



**6.4.4 풍환경실험 계측 시스템**

(1) 풍환경실험은 Thermistor 풍속계, 열선풍속계(1~3차원), PIV 시스템 또는 Irwin 센서 등 다양한 측정기기가 활용되고 있다.

(2) 순간풍속을 측정하는 경우에는 측정기기에 따라 응답특성이 다르기 때문에 측정기기의 응답특성에 주의하여야 한다.

**6.4.5 실험풍향**

(1) 실험풍향은 정북방향을 0도에서 360도까지 22.5도 이하(16방향) 간격의 풍향을 고려하여야 한다.

**6.4.6 실험풍속**

(1) 실험풍속은 시간, 레이놀즈 수 등의 상사조건, 실험결과의 평가방법, 측정기기의 성능을 고려하여 결정하여야 한다.

**6.4.4 풍환경실험 계측 시스템**

(1) 건축물 주변의 기류는 3차원적인 복잡한 흐름 특성을 갖고 있기 때문에, 측정항목에 따른 측정기기 및 측정방법을 적절히 고려해야 한다. 대표적인 측정기기로는 Thermistor 풍속계, 열선풍속계(I형, X형 열선풍속계, 3차원 열선풍속계), LDV 등이 있으며, 최근에는 풍향·풍속을 추적할 수 있는 PIV 시스템이 사용되고 있으며, Irwin 센서 등을 이용한 풍압측정기기를 이용해서도 풍속을 구하는 경우도 있다<sup>24)</sup>.

(2) 측정기기에 따라 응답특성은 매우 다르지만, Thermistor 풍속계 및 열선풍속계의 응답특성은 비교적 수백 Hz 이하로 비교적 양호하다. 그러나 순간풍속을 계측하는 경우에는 사용하는 측정기기의 응답특성에 대해 특히 주의해서 사용해야 한다.

**6.4.5 실험풍향**

(1) 실험풍향은 많을수록 좋지만, 적어도 대상 건축물 지역에서의 연간발생빈도가 높은 풍향, 발생빈도는 낮아도 태풍 등의 발생 경로에 있는 풍향 주변건축물과의 관계로부터 대상건축물 주변의 영향을 크게 미칠 것으로 판단되는 풍향 등에 대해 고려해야 한다.

**6.4.6 실험풍속**

(1) 실험목적이 평균풍속인 경우에는 측정기기의 성능을 우선해서 실험풍속을 결정하고, 평균풍속 5~15m/s의 범위에서 실험을 수행하는 경우가 많다. 변동풍속이나 최대순간풍속을 측정하는 경우에는 무차원풍속을 고려하는 등 데이터의 평가시간을 고려해서 실험풍속을 결정해야 한다. 다만, 저풍속에서 실험을 수행하는 경우에

는 기류의 안정성, 측정기기의 정밀도, 노이즈 등이 문제가 될 수 있으므로, 실험풍속은 적어도 5~15m/s 의 범위에서 설정하는 것이 바람직 하다.

**6.4.7 데이터 처리 방법**

- (1) 풍속의 측정시간은 아래의 상사조건을 만족해야 한다.

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{L_m}{L_p} \times \frac{V_p}{V_m} \quad (\text{식 6.4.1})$$

여기서,  $T_m, T_p$  : 풍동 및 실물 시간(sec)

$L_m, L_p$  : 모형 및 실 건축물 대표길이

$V_m, V_p$  : 풍동풍속 및 설계풍속

- (2) 변동풍속의 안정성을 위해 최소 10개 이상의 샘플링 수를 고려하여, 앙상블 평균을 수행해야 한다.

**6.4.8 실험결과**

- (1) 풍환경실험은 다음과 같은 결과를 포함하여야 한다.

- 1) 풍향별 풍속비
- 2) 측정정별 풍속누적빈도
- 3) 측정정별 초과빈도
- 4) 풍환경 평가 결과

**6.4.7 데이터 처리 방법**

- (1) 평균풍속을 측정하는 경우에는 측정시간의 총합으로부터 15~40초 정도는 필요하며, 기상관측데이터를 사용하여 풍환경을 평가하는 경우에는 실스케일 10분(600초)에 상당하는 측정시간이 필요하다.

- (2) 측정시간이 짧으면 측정결과의 편차가 크고, 측정점에 따라 장주기 변동을 갖는 경우도 있는 때문에 안정적인 풍속데이터를 계측하기 위해서는 충분한 측정시간이 필요하다. 특히 측정시간이 15초 이상이면 풍속평가에 미치는 영향은 적고, 안정된 평균치를 얻을 수 있다고 보고된 바 있다<sup>25)</sup>. 측정시간이 15초 이하인 경우에는 풍속데이터의 안정성 검토가 필요하다.

**6.4.8 실험결과**

- (1) 일반적으로 건설 전·후의 풍환경 대책안을 마련하기 위해서는 기상데이터와 풍속비의 데이터를 토대로 각 측정점에서의 풍속의 발생빈도 또는 누적빈도분포로 정리하는 경우가 많다.

- 1) 풍향별 풍속비

$$R_V(\alpha) = \frac{\text{측정점에서의 풍속}}{\text{기준점에서의 풍속}} \quad (6.4.1)$$

2) 풍속의 초과확률 및 누적빈도

풍환경 평가는 어느 정도의 바람이 어느 정도의 비율로 부는가가 평가의 판단척도가 되므로, 풍속의 초과확률(발생빈도), 누적빈도(비초과확률, 누적확률)가 필요하다. 일반적으로 풍속의 발생빈도는 와이블(Weibull) 분포로 근사시킬 수 있으므로, 대상지역에서 부는 바람의 상태를 기상데이터 또는 실측데이터에 의해 파악하고, 이 데이터를 바탕으로 풍향별 평균풍속 및 일 최대풍속, 일 최대순간풍속의 와이블계수 및 풍배도를 구해야 한다. 이를 이용해서 측정점에서의 풍향별 풍속의 초과확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(V \geq v, \alpha) = A(\alpha) \cdot e^{-\left[\frac{v}{R(\alpha) \cdot C(\alpha)}\right]^{K(\alpha)}} \quad (6.4.2)$$

여기서,  $P(V \geq v, \alpha)$  : 풍향  $\alpha$ 에서 풍속  $v$ 의 초과확률(발생빈도)

$A(\alpha)$  : 풍향  $\alpha$ 의 발생빈도

$R(\alpha)$  : 풍향  $\alpha$  일 때, 각 측정점에서의 풍속과 실측데이터 관측위치에서의 풍속과의 비

$C(\alpha), K(\alpha)$  : 와이블 계수

각 측정점에서의 풍속의 초과확률 또는 누적빈도를 다음과 같다.

$$P(V \geq v) = \sum_{\alpha} P(V \geq v, \alpha) \quad (6.4.3)$$

$$P(V < v) = 1 - P(V \geq v) \quad (6.4.4)$$

여기서,  $P(V \geq v)$  : 풍속  $v$ 의 초과확률

$P(V < v)$  : 풍속  $v$ 의 누적빈도

(2) 풍환경시험에 적용된 조건, 시험방법 풍동 시험 체크리스트에 포함되어야 한다.

(2) 본 가이드라인에 첨부되어 있는 풍동시험 체크리스트에 풍환경시험 정보가 정리되어 시험 수행자가 일관성 있게 시험을 수행할 수 있게 하고, 풍동시험 검토자가 활용할 수 있도록 한다.

**7. 풍동시험 체크리스트에 관한 사항**

**7. 풍동시험 체크리스트에 관한 사항**

(1) 풍동시험 종류에 따라 항목별 체크리스트를 작성하여 풍동시험의 일관성, 풍동시험 검토가 가능하도록 하여야 한다.

(1) 풍동시험은 모델제작, 기류의 생성, 계측 및 분석, 평가라는 독립적이며 다층적인 구조를 통하여 풍하중을 산정하게 된다. 각 단계마다 전문기술이 요구되고, 이들 단계 전체를 통합할 수 있는 일관성이 요구되는 작업이다. 풍동시험에 사용되는 많은 변수들, 풍동시험의 신뢰성을 보장하는 요구조건을 리스트로 작성하여, 시험수행자다 매 단계마다 확인함으로써 시험의 일관성을 유지할 수 있고, 제 3자의 검토과정에서 이를 확인함으로써 풍동시험의 전체적인 절차를 평가할 수 있다.

(2) 풍동시험 체크리스트는 풍동시험 발주자에 의하여 시험업체에 의뢰하여 풍동시험 보고서에 포함되어야 한다.

(2) 풍동시험 체크리스트는 정량적인 시험의 신뢰성을 보장하는 최소 요구조건이다.

**8. 풍동시험기관에 관한 사항**

**8. 풍동시험기관에 관한 사항**

(1) 풍동시험기관은 이 가이드 라인 5. 풍동시험시설에 관한 사항에서 정한 시설을 갖추고, 6. 풍동시험에 관한 사항에서 정한 시험을 수행할 수 있어야 한다.

(1) 풍동시험은 경험과 연구실적 등이 우수한 명망있는 기관/연구소/회사에 프로젝트 방식으로 의뢰하는 경향이 있다. 일본의 경우 주로 풍동시험은 대기업 연구소에서 이루어지며, 중국의 경우 대학에서 주로

(2) 풍동실험 발주자, 검토자의 요구에 따라 풍동설비, 계측기기 및 풍동실험 방법에 대해 의뢰하는 경우 별도 제출하여야 한다.

풍동실험이 수행된다. 풍동실험기관은 기본적으로 풍동설비(계측기기 포함)를 갖추고 이 가이드라인 6. 풍동실험에 관한 사항 또는 부록에서 정하고 있는 풍동실험을 수행하고 있다.

(2) 풍동실험 설비(계측기기 포함) 및 실험 방법에 대해 발주자, 풍동실험 검토자의 요구가 있는 경우 실험 기관이 보유하고 있는 설비, 실험방법의 특성을 반영한 보고서를 별도 제출하여야 한다.

## 참고문헌

1. ASCE (2102), Wind Tunnel Testing for Buildings and Other Structures, ASCE standard.
2. KDS 41 10 15 (2019), 건축구조기준 설계하중
3. ASCE, "Wind Tunnel Model Studies of Building and Structures", ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.67, 1987
4. Japanes Architectural Institute of Japan, Recommendations for Loads on Buildings, 2004
5. 日本建築センター, 実務者のための建築物風洞実験ガイドブック, 2008
6. Jensen, M., Franck, N. (1993), Model Scale Tests in Turbulent Wind, The Danish Technical Press.
7. Corchad, S., Letchford, C., Earl, T., Montalaur, A.(2012), Formation of tip-vortices on triangular prismatic-shaped cliffs Part 1: A wind tunnel study, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 109, pp.9-20.
8. Cermak, J.E.(1982), Wind Tunnel Modeling for Civil Engineering Application, Cambridge University Press, pp.97-125.
9. 김원술, 이진학, 타무라 유키오(2017), 나선형 형상의 초고층건물의 공력감쇠의 특성, 대한토목학회지, 37(1), pp. 9-17.
10. 本州四連絡橋公團, "明石海峽大橋耐風設計要領", 1990 .
11. Davenport, A.G., (1967), Gust Loading Factors, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 93(ST3), pp. 11 - 34.
12. Alan G. Davenport Wind Engineering Group, Wind tunnel testing: A general outline (2007), The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, The University of Western Ontario, Faculty of Engineering Science, London, Ontario, Canada, N6A 5B9
13. Aynsley, R.M., Melbourne, W., Vickery, B.J.(1977), Architectural aerodynamics, Applied Science Publishers LTD, London.
14. Surry, D., Stathopoulos, T. (1977), An experimental approach to the economical measurement of spatially-averaged wind loads, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2, pp. 1~10.
15. Irwin, H.P.A.H., Cooper, K.R., Girard, R.(1979), Correction of distortion effects caused by tubing system in measurements of fluctuating pressures, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 12, pp.93~107.
16. Yoshida, A., Tamura, Y, Kurita, T.(2001), Effects of bends in a tubing system for pressure measurement, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89, pp.1701~1716.
17. Lawson, T.V.(1980), Wind Effects on Buildings, 1, Design Application
18. Holmes, J.D.(1997), Equivalent time averaging in wind engineering, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 72, pp.411~419.

19. 하영철 (2021), 건축물 내풍설계, 구미서관.
20. Kim W., Yoshida, A., Tamura, Y., Yi, J-H., (2018), Experimental study of aerodynamic damping of a twisted supertall building, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 176, pp.1~12.
21. Isyumov, N. (1982), The aeroelastic modeling of tall buildings. In *Proceedings of the International Workshop on Wind Tunnel Modeling for Civil Engineering Applications*, Gaithersburg, MD, USA, April 1982.
22. 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説, 1993.
23. 風工学研究所, ビル風の知識, 鹿島駐阪界出版社, 1989.
24. Irwin, H.P.A. (1981), A simple Omnidirectional Sensor for Wind-Tunnel Studies of Pedestrian-Level Winds, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1(7), pp.219~239.
25. 日本建築センター, 建築物周辺気流の風洞実験法に関する研究報告書, 1984.

# [부록] 풍동실험 체크리스트

## 서식 1 풍압실험 체크리스트

1. 건축물 개요	
적용기준	<input type="checkbox"/> KDS ( ) <input type="checkbox"/> 기타( <input type="checkbox"/> 미국, <input type="checkbox"/> 유럽, <input type="checkbox"/> 일본, <input type="checkbox"/> 중국, <input type="checkbox"/> 호주 등)
대상건축물 (대표동)	층수 _____, 건축물 높이 _____ m, 건축물 폭 _____ m, 건축물 깊이 _____ m <input type="checkbox"/> 형상비 3 이상건축물, <input type="checkbox"/> 비정형적 형상의 건축물, <input type="checkbox"/> 특수한 지붕골조, <input type="checkbox"/> 골바람 효과 발생, <input type="checkbox"/> 인접효과가 우려되는 건축물 <input type="checkbox"/> 외장재의 파손에 주의해야할 건축구조물
	계획단계( <input type="checkbox"/> 기본설계단계, <input type="checkbox"/> 실시설계단계, <input type="checkbox"/> 최종설계단계)
	필요한도면( <input type="checkbox"/> 입면도, <input type="checkbox"/> 각층 평면도, <input type="checkbox"/> 배치도, <input type="checkbox"/> 기타도면)
	주변재현현황 <input type="checkbox"/> 주변건축물 고려, <input type="checkbox"/> 대상건축물만 고려, <input type="checkbox"/> 미래의 변화를 고려
지표면조도구분	지표면조도 체크( <input type="checkbox"/> A, <input type="checkbox"/> B, <input type="checkbox"/> C, <input type="checkbox"/> D)
구조모델링 정보	<input type="checkbox"/> 고유치 해석결과(고유진동수, 진동모드, 강성, 질량 등), <input type="checkbox"/> 감쇠정수
2. 실험 목적 및 측정 항목	
실험목적	<input type="checkbox"/> 구조골조설계용 풍하중평가( <input type="checkbox"/> 건축물 전체, <input type="checkbox"/> 절점별, <input type="checkbox"/> 층별, <input type="checkbox"/> 기타) <input type="checkbox"/> 외장재설계용 풍하중평가( <input type="checkbox"/> 벽면, <input type="checkbox"/> 지붕면, <input type="checkbox"/> 기타)
하중산정 방법	<input type="checkbox"/> 주파수응답해석, <input type="checkbox"/> 시간이력해석
측정항목	<input type="checkbox"/> 평균풍압, <input type="checkbox"/> 변동풍압, <input type="checkbox"/> 피크풍압( <input type="checkbox"/> 최대, <input type="checkbox"/> 최소) <input type="checkbox"/> 시계열 데이터 제공, <input type="checkbox"/> 기타
측 정 점	풍압측정점의 전체갯수 _____ 개 풍압공의 배치( <input type="checkbox"/> 모서리 주변, <input type="checkbox"/> 곡면 주변, <input type="checkbox"/> 기타)
3. 실험 방법	
풍동제원	측정부단면폭 _____ m, 높이 _____ m, 측정부 길이 _____ m, 턴테이블 직경 _____ m
계측기기	모델명: _____, 제조사: _____, 교정주기 _____
튜브보정	<input type="checkbox"/> 튜브보정, <input type="checkbox"/> 저항관 사용(저항관 설치 간격: _____ m)
실험모형	모형스케일(_____/_____), 폐쇄율( %)
	주변 모형 재현범위(대상건축물을 기준으로 실스케일 직경 _____ m)
실험풍향	_____ 개 풍향, 또는 _____ ° 간격, 기타 _____
실험풍속	건축물 최상부 높이에서 _____ m/s, 레이놀즈수 _____, <input type="checkbox"/> 풍압-풍속 동시 측정
설계풍속	기본풍속 _____ m/s, 재현기간 _____ 년, 설계풍속( $V_H$ ) _____ m/s
4. 상사조건	
자연풍모사	<input type="checkbox"/> 평균풍속의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류강도의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류스케일
	<input type="checkbox"/> 풍속고도분포지수, $\alpha =$ _____, 난류강도( $H =$ _____ m @ _____ %),
	<input type="checkbox"/> 변동풍속의 파워스펙트럼, <input type="checkbox"/> 난류스케일( $H =$ _____ m @ _____ m)
시간스케일	<input type="checkbox"/> 시간스케일(_____/_____), <input type="checkbox"/> 변동풍압의 평가시간(실스케일) = _____ sec
레이놀즈영향	<input type="checkbox"/> 레이놀즈 수( <input type="checkbox"/> 영향고려, <input type="checkbox"/> 영향이 작다고 판단, <input type="checkbox"/> 영향 없음)
5. 데이터 처리 방법	
데이터 계측 및 처리 방법	<input type="checkbox"/> 샘플링 주파수 _____ Hz, 샘플링 수 _____ 개, 계측시간 _____ sec <input type="checkbox"/> 로우패스필터사용 _____ Hz, <input type="checkbox"/> 양상불평균 수 _____ 개
6. 결과정리	
풍압계수	<input type="checkbox"/> 풍압계수 정의, <input type="checkbox"/> 실내압 평가( <input type="checkbox"/> 기준 준용, <input type="checkbox"/> 직접 계측)
하중관련	<input type="checkbox"/> 풍향별 풍압계수( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소)
	<input type="checkbox"/> 외장재설계용 풍압계수 분포도( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소)
	<input type="checkbox"/> 풍압을 이용한 구조골조설계용 풍하중 산정은 풍력실험의 “결과 정리”를 이용하여 체크
7. 계측기기	
종류:	제조사 :                                  교정주기:                                  시험성적서:



## 서식 2 풍력실험 체크리스트

1. 건축물 개요	
적용기준	<input type="checkbox"/> KDS ( ), <input type="checkbox"/> 기타( <input type="checkbox"/> 미국, <input type="checkbox"/> 유럽, <input type="checkbox"/> 일본, <input type="checkbox"/> 중국, <input type="checkbox"/> 호주 등)
대상건축물 (대표동)	층수____, 건축물 높이____m, 건축물 폭____m, 건축물 깊이____m
	<input type="checkbox"/> 형상비 3 이상건축물, <input type="checkbox"/> 비정형적 형상의 건축물, <input type="checkbox"/> 특수한 지붕골조, <input type="checkbox"/> 골바람 효과 발생, <input type="checkbox"/> 인접효과가 우려되는 건축물
	계획단계( <input type="checkbox"/> 기본설계단계, <input type="checkbox"/> 실시설계단계, <input type="checkbox"/> 최종설계단계)
주변재현현황	<input type="checkbox"/> 주변건축물 고려, <input type="checkbox"/> 대상건축물만 고려, <input type="checkbox"/> 미래의 변화를 고려
지표면조도구분	지표면조도 체크( <input type="checkbox"/> A, <input type="checkbox"/> B, <input type="checkbox"/> C, <input type="checkbox"/> D)
구조모델링 정보	<input type="checkbox"/> 고유치 해석결과(고유진동수, 진동모드, 강성, 질량 등), <input type="checkbox"/> 감쇠정수
2. 실험목적 및 측정항목	
실험목적	<input type="checkbox"/> 구조골조설계용 풍하중평가( <input type="checkbox"/> 건축물 전체, <input type="checkbox"/> 절점별, <input type="checkbox"/> 층별, <input type="checkbox"/> 기타) <input type="checkbox"/> 최상층 변위 검토, <input type="checkbox"/> 거주성 검토, <input type="checkbox"/> 제진장치 설계를 위한 검토
하중산정 방법	<input type="checkbox"/> 주파수응답해석, <input type="checkbox"/> 시간이력해석
측정항목	<input type="checkbox"/> 평균풍력, <input type="checkbox"/> 변동풍력, <input type="checkbox"/> 모멘트( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소) <input type="checkbox"/> 변동풍력 파워스펙트럼, <input type="checkbox"/> 시계열 데이터 제공, <input type="checkbox"/> 기타
3. 실험방법	
풍동제원	측정부단면폭____m, 높이____m, 측정부 길이____m, 턴테이블 직경____m
계측기기	모델명:____, 제조사:____, 교정주기____
실험모형	모형스케일(____/____), 폐쇄율(____%)
	모형 재현범위(대상건축물을 기준으로 실스케일 직경____m)
실험풍향	____개 풍향, 또는 ____° 간격, 기타____
실험풍속	건축물 최상부 높이에서 ____m/s, 레이놀즈수____
설계풍속	기본풍속 ____m/s, 재현기간 ____년, 설계풍속( $V_H$ ) ____m/s
실험모형진동수	실험모형 진동수 ____Hz
4. 상사조건	
자연풍모사	<input type="checkbox"/> 평균풍속의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류강도의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류스케일
	<input type="checkbox"/> 풍속고도분포지수, $\alpha=$ ____, 난류강도( $H=$ ____m @ ____%),
	<input type="checkbox"/> 변동풍속의 파워스펙트럼, <input type="checkbox"/> 난류스케일( $H=$ ____m @ ____m)
시간스케일	<input type="checkbox"/> 시간스케일(____/____), <input type="checkbox"/> 변동풍력의 평가시간(실스케일) = ____sec
레이놀즈영향	<input type="checkbox"/> 레이놀즈 수( <input type="checkbox"/> 영향고려, <input type="checkbox"/> 영향이 작다고 판단, <input type="checkbox"/> 영향 없음)
5. 데이터처리 방법	
데이터 계측 및 처리 방법	<input type="checkbox"/> 샘플링주파수 ____Hz, 샘플링 수 ____개, 계측시간 ____sec
	<input type="checkbox"/> 로우패스필터사용 ____Hz, <input type="checkbox"/> 양상블평균 수 ____개
6. 결과정리	
풍력계수	<input type="checkbox"/> 평균풍력계수, <input type="checkbox"/> 변동풍력계수( <input type="checkbox"/> 수평성분, <input type="checkbox"/> 비틀림성분, <input type="checkbox"/> 전도모멘트)
하중관련	<input type="checkbox"/> 밀면전단력, <input type="checkbox"/> 비틀림모멘트, <input type="checkbox"/> 밀면전도모멘트
	<input type="checkbox"/> 층풍하중, <input type="checkbox"/> 층전도모멘트
	<input type="checkbox"/> 최대응답변위( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소)
	<input type="checkbox"/> 최상층응답가속도( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소)
	<input type="checkbox"/> 하중조합 결과, <input type="checkbox"/> 거주성능평가
7. 계측기기	
종류:	제조사:                      교정주기:                      시험성적서:

### 서식 3 공기력진동시험 체크리스트

1. 건축물 개요	
적용기준	<input type="checkbox"/> KDS( ), <input type="checkbox"/> 기타( <input type="checkbox"/> 미국, <input type="checkbox"/> 유럽, <input type="checkbox"/> 일본, <input type="checkbox"/> 중국, <input type="checkbox"/> 호주 등)
대상건축물 (대표동)	층수 ____, 건축물 높이 __m, 건축물 폭 __m, 건축물 깊이 __m
	<input type="checkbox"/> 공기력불안정진동 발생 우려, <input type="checkbox"/> 형상비 4 이상건축물, <input type="checkbox"/> 특수한 지붕골조, 계획단계( <input type="checkbox"/> 기본설계단계, <input type="checkbox"/> 실시설계단계, <input type="checkbox"/> 최종설계단계)
	필요한도면( <input type="checkbox"/> 입면도, <input type="checkbox"/> 각층 평면도, <input type="checkbox"/> 배치도, <input type="checkbox"/> 기타도면)
주변재현현황	<input type="checkbox"/> 주변건축물 고려, <input type="checkbox"/> 대상건축물만 고려, <input type="checkbox"/> 미래의 변화를 고려
지표면조도구분	지표면조도 체크( <input type="checkbox"/> A, <input type="checkbox"/> B, <input type="checkbox"/> C, <input type="checkbox"/> D)
구조모델링 정보	<input type="checkbox"/> 고유치 해석결과(고유진동수, 진동모드, 강성, 질량 등), <input type="checkbox"/> 감쇠정수
2. 실험 목적 및 측정 항목	
실험목적	<input type="checkbox"/> 자려진동·안전성의 확인, <input type="checkbox"/> 거주성의 검토, <input type="checkbox"/> 제진장치 설계를 위한 검토
	<input type="checkbox"/> 응답평가( <input type="checkbox"/> 최대변위, <input type="checkbox"/> 최대가속도, <input type="checkbox"/> 연성진동, <input type="checkbox"/> 부가적공기력, <input type="checkbox"/> 기타)
실험방법	<input type="checkbox"/> 2차원모형, <input type="checkbox"/> 로킹모형, <input type="checkbox"/> 다질점계모형, <input type="checkbox"/> 기타
측정항목	<input type="checkbox"/> 풍속-응답 곡선, <input type="checkbox"/> 응답( <input type="checkbox"/> 변위, <input type="checkbox"/> 가속도, <input type="checkbox"/> 기타)
3. 실험 방법	
풍동제원	측정부단면폭 __m, 높이 __m, 측정부 길이 __m, 턴테이블 직경 __m
실험모형	모형스케일(__/__), 폐쇄율( %)
	모형 재현범위(대상건축물을 기준으로 실스케일 직경 __m)
실험풍향	__개 풍향, 또는 __° 간격, 기타 __
실험풍속	건축물 최상부 높이에서 __m/s, 레이놀즈수 __
설계풍속	기본풍속 __m/s, 재현기간 __년, 설계풍속( $V_H$ ) __m/s
4. 상사 조건	
모형상사	<input type="checkbox"/> 질량비, <input type="checkbox"/> 무차원진동수, <input type="checkbox"/> 감쇠정수
자연풍모사	<input type="checkbox"/> 평균풍속의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류강도의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류스케일
	<input type="checkbox"/> 풍속고도분포지수, $\alpha=$ __, 난류강도( $H=$ __m @ __%), <input type="checkbox"/> 변동풍속의 파워스펙트럼, <input type="checkbox"/> 난류스케일( $H=$ __m @ __m)
시간스케일	<input type="checkbox"/> 시간스케일(__/__), <input type="checkbox"/> 변동풍력의 평가시간(실스케일) = __sec
레이놀즈영향	<input type="checkbox"/> 레이놀즈 수( <input type="checkbox"/> 영향고려, <input type="checkbox"/> 영향이 작다고 판단, <input type="checkbox"/> 영향 없음)
5. 데이터 처리 방법	
데이터 계측 및 처리 방법	<input type="checkbox"/> 샘플링주파수 __Hz, 샘플링 수 __개, 계측시간 __sec <input type="checkbox"/> 로우패스필터사용 __Hz, <input type="checkbox"/> 앙상블평균 수 __개
6. 결과 정리	
하중관련	<input type="checkbox"/> 최대응답변위( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소)
	<input type="checkbox"/> 최대응답가속도( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소)
	<input type="checkbox"/> 최대응답전도각( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> RMS, <input type="checkbox"/> 최대·최소)
	<input type="checkbox"/> 전도각의 파워스펙트럼, <input type="checkbox"/> 풍속-변위(전도각)의 관계, <input type="checkbox"/> 풍속-가속도의 관계
	<input type="checkbox"/> 2방향의 응답 리사주, <input type="checkbox"/> 구조골조설계용 풍하중 산정, <input type="checkbox"/> 거주성능평가
	<input type="checkbox"/> 하중조합 결과, <input type="checkbox"/> 기타
7. 계측기기	
종류:	제조사:                      교정주기:                      시험성적서:

## 서식 4 풍환경실험 체크리스트

<b>1. 건축물 개요</b>	
적용기준	<input type="checkbox"/> KDS ( ), <input type="checkbox"/> 미국, <input type="checkbox"/> 영국, <input type="checkbox"/> 네덜란드, <input type="checkbox"/> 일본 등
대상건축물 (대표동)	층수 _____, 건축물 높이 _____m,
주변건축물	평균층수 _____, 건축물 수 _____,
주변재현현황	<input type="checkbox"/> 주변건축물 고려, <input type="checkbox"/> 미래의 변화를 고려
지표면조도구분	지표면조도 체크( <input type="checkbox"/> A, <input type="checkbox"/> B, <input type="checkbox"/> C, <input type="checkbox"/> D)
기상자료	<input type="checkbox"/> 기상자료를 바탕으로 계획 건축물 부근의 풍향·풍속
	<input type="checkbox"/> 대상건축물 내 기상관측자료( <input type="checkbox"/> 있음 : 관측높이 _____m, <input type="checkbox"/> 없음)
<b>2. 실험 목적 및 측정 항목</b>	
실험목적	<input type="checkbox"/> 초고층 건축물에 의한 풍환경 변화 예측
	<input type="checkbox"/> 복수의 건축물(아파트 단지 등)에 의한 풍환경의 변화 예측
	<input type="checkbox"/> 지형변화에 의한 풍환경의 변화 예측
측정대상	<input type="checkbox"/> 보행자의 영향
	<input type="checkbox"/> 건축물 단지 내 풍환경변화 예측, <input type="checkbox"/> 기타
측정항목	<input type="checkbox"/> 대상건축물 건설전의 풍환경, <input type="checkbox"/> 대상건축물 건설후의 풍환경
	<input type="checkbox"/> 풍환경 대책이 필요한 경우, 풍환경 저감 효과의 확인(대책 후의 풍환경)
	<input type="checkbox"/> 풍속( <input type="checkbox"/> 평균, <input type="checkbox"/> 최대순간풍속, <input type="checkbox"/> 변동풍속)
측정점	<input type="checkbox"/> 측정점의 전체갯수 _____ 개 측정점의 배치( <input type="checkbox"/> 측정점의 배치 검토, <input type="checkbox"/> 기타), <input type="checkbox"/> 측정점의 높이(지상 _____m)
<b>3. 실험 방법</b>	
풍동제원	측정부단면폭 _____m, 높이 _____m, 측정부 길이 _____m, 턴테이블 직경 _____m
실험모형	모형스케일(____/____), 폐쇄율(____%)
	모형 재현범위(대상건축물을 기준으로 실스케일 직경 _____m)
실험풍향	_____개 풍향, 또는 _____° 간격, 기타 _____
실험풍속	건축물 최상부 높이에서 _____m/s, 레이놀즈수 _____
측정높이	대표풍속 측정높이( <input type="checkbox"/> 대상건축물의 최정상부 높이, <input type="checkbox"/> 기상관측점 높이)
<b>4. 상사조건</b>	
자연풍모사	<input type="checkbox"/> 평균풍속의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류강도의 연직분포, <input type="checkbox"/> 난류스케일
	<input type="checkbox"/> 풍속고도분포지수, $\alpha=$ ____, 난류강도( $H=$ ____m @____%),
	<input type="checkbox"/> 변동풍속의 파워스펙트럼, <input type="checkbox"/> 난류스케일( $H=$ ____m @____m)
시간스케일	<input type="checkbox"/> 시간스케일(____/____), <input type="checkbox"/> 변동풍력의 평가시간(실스케일) = _____sec
레이놀즈영향	<input type="checkbox"/> 레이놀즈 수( <input type="checkbox"/> 영향고려, <input type="checkbox"/> 영향이 작다고 판단, <input type="checkbox"/> 영향 없음)
<b>5. 데이터 처리 방법</b>	
데이터 계측 및 처리 방법	<input type="checkbox"/> 샘플링주파수 _____Hz, 샘플링 수 _____개, 계측시간 _____sec
	<input type="checkbox"/> 로우패스필터사용 _____Hz, <input type="checkbox"/> 앙상블평균 수 _____개
<b>6. 결과정리</b>	
풍속비	<input type="checkbox"/> 풍향별 풍속비(측정점의 풍속/기준점의 풍속), <input type="checkbox"/> 풍향별 풍속비
풍환경평가	<input type="checkbox"/> 측정점별 풍속누적빈도, <input type="checkbox"/> 초과빈도, <input type="checkbox"/> 풍환경 평가 결과
<b>7. 계측기기</b>	종류: _____ 제조사: _____ 교정주기: _____ 시험성적서: _____

# 풍동실험 신뢰성 향상 가이드라인

---

2021년 11월 30일 발행

국토교통부

관련단체 한국풍공학회

30125 세종특별자치시 새롬남로 18(새롬동, 새뜸마을 1단지) 108동1301호

☎ 070-5110-3716 E-mail : weiksamu@gmail.com

<http://www.weik.or.kr/>