



# 흡입식 풍동 사용자 매뉴얼

(울산대학교)

**(주)삼덕엔지니어링**

경기도 성남시 중원구 사기막골로99, 성남센트럴비즈타워2차 520~522호

TEL: 031-789-6710~3, FAX: 031-789-6714

## A. 풍동 운용 매뉴얼

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 1   | 풍동개요 .....   | 3  |
| 2   | 기술 사양 .....  | 3  |
| 2.1 | 풍동의 기능 ..... | 4  |
| 2.2 | 풍동의 구성 ..... | 5  |
| 3   | 안전 .....     | 10 |
| 4   | 조작법 .....    |    |
| 4.1 | 풍동 조작법.....  | 11 |
| 4.2 | 풍동 프로그램..... | 12 |
| 5   | 용어 정리 .....  |    |
| 5.1 | 용어정리.....    | 21 |

## B. 송풍기 취급 설명서

## A. 풍동 운용 매뉴얼

### 1 풍동개요

풍동은 공기역학 또는 유체 역학 분야에서 유동 모사 또는 시험을 위한 시험장비로 속도에 딸 초음속 풍동, 천음속 풍동, 아음속 풍동으로 구분하며, 구조 형식에 따라 폐회로 풍동 혹은 개방형 풍동으로 구분한다.

본 장비는 흡입식 풍동(Suction Type Wind Tunnel)풍동으로 사각형 단면 시험부를 가진 개방형 풍동이다.

### 2 기술 사양

공주대 풍동의 구성을 다음과 같다.

- 유동 발생을 위한 송풍기(Blower)
- 안정적인 유동 확산을 위한 확산부(Diffuser)
- 유동 안정을 위한 허니컴과 유동 진정망을 포함한 정체실(Settling Chamber)
- 유동 가속을 위한 수축부(Contraction)
- 모델 시험과 측정을 위한 시험부(Test Section)

공주대 풍동의 성능 사양은 다음과 같다.

- 시험부 유속: Max. 20.0m/s
- 시험부 크기: 0.4(W) x 0.4(D) x 0.2(L)m
- 풍속 분포:  $\pm 0.7\%$ (at 20m/s)
- 난류 강도:  $\pm 0.7\%$ (at 20m/s)
- 외곽치수: 1,2(W) X 1,7(H) X 6,0(L)m App.

본 풍동은 개방형 풍동으로 송풍기에 의해 만들어진 흡입 유동이 단계적으로 안정화 되면서 시험부로 빠져 나가는 형식으로, 유체는 되돌아 가지 않는 구조이다. 이러한 형식의 풍동은 낮은 유속( $0 < M < 0.2$ )에서 유용하다.

본 풍동의 설계 마하수는  $M \approx 0.088$  이다.

빠른 유속이 요구 될 때는 내부 유동이 연속적인 폐회로 풍동이 사용된다. 폐회로 풍동은 에너지의 효율이 개방형 풍동에 비교하여 높다. 그러나 폐회로 풍동은 제작/설치 비용은 상대적으로 높은 단점이 있다.

## 2.1 풍동의 기능

본 풍동의 유동은 송풍기에 의한 흡입 정압에 의해 흡입구(Intake)로부터 순차적으로 진행하며 안정화되고 가속되어 필요한 유속을 만들고 확산 배출된다.

풍동 외부의 유동은 송풍기에 의해 만들어진 흡입정압에 의하여 벨마우스(Bell Mouth) 형태의 흡입구(Intake)로 들어가게 된다.

흡입구를 통과한 유동은 정체부의 첫번째 유동 진정망을 통과하게 된다. 첫 번째 유동 진정망(mesh)은 유동을 일차적으로 정류하는 역할을 한다. 또한 유동의 직진성을 증가 시키는 허니컴을 이물질로부터 보호하는 역할을 한다.

허니컴은 육각형의 알루미늄 관 구조로 진정망을 통과한 공기가 일정한 방향성을 가지도록 한다.

두 번째, 세 번째 유동 진정망은 공기를 가속하기 전에 유동의 난류를 감소 시키는 역할을 한다.

정체부에서 충분히 안정화된 유동은 수축부를 통과한다. 수축부는 유동을 가속시키는 역할을 하며, 내부 유동을 약 9배의 유속으로 가속 시킨다.

이후 유동은 일정 단면을 가진 시험부를 통과 한다. 시험부는 모델 장착 및 측정에 유리하도록 상부가 개방되도록 되어 있다.

또한 좌우 및 하단에는 2D 모델 또는 3D 모델 장착이 가능하도록 되어 있다.

시험부를 통과한 유동은 확산부로 유로 내부의 유동을 팽창시켜 유속을 감소한다. 확산부의 유동감속으로 정압을 회복 시키고 고속 흐름으로 인하여 마찰 손실을 감소시킨다.

확산부에는 송풍기로 유입되는 이물질 또는 모델파편을 막기 위한 안전망이 있다.

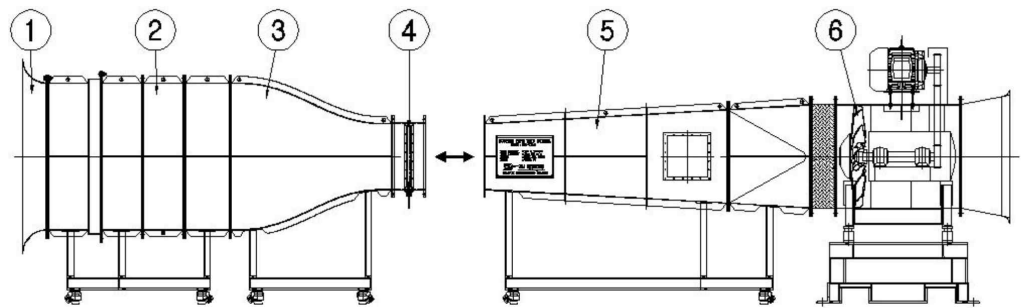
송풍기는 원심식 송풍기로 큰 유량과 정압의 유동을 효과적으로 만든다.

## 2.2 풍동의 구성

### 2.2.1 풍동

풍동의 외부 크기는 대략 1.2(W) x 1.7(H) x 6.0(L)m 이고, 시험부에서 최대 유속은 20.0 m/s 이상이다.

시험부는 0.4(W) x 0.4(H) x 0.2(L)m의 크기로 아크릴로 제작 되어 있다.



- ① Intake ② Settling Chamber(with Honeycomb & Meshes) ③ Contraction  
④ Test Section ⑤ Diffuser ⑥ Blower & Motor

그림 Configuration of the Suction Type Wind Tunnel

주요 풍동 구조물은 다음과 같다.

- 송풍기와 구동 모터
- 정체실(하니컴 및 유동 진정망 포함)
- 수축부
- 시험부
- 확산부

#### 2.2.1.1 송풍기와 구동 모터(Blower & Motor)

송풍기는 축류형(Axial Type) 송풍기로 유량은  $210\text{m}^3/\text{min}$  이고 유효 정압은  $40\text{ mmH}_2\text{O}$  이다.

구동모터는  $5.5\text{kw}$  동력의 AC모터로 인버터로 제어한다.

송풍기에 의해 발생하는 진동이 풍동의 본체로 전달되지 않도록 송풍기와 풍동의 확산부 사이는 캔버스로 분리 연결되어 있다.

#### 2.2.1.2 정체실(Settling Chamber)

벨마우스 형태의 흡입구로 들어온 유동이 시험부에 적합한 유질을 형성하도록 한다. 정체실에서 적용된 허니컴( $3/8\text{inch}$ ,  $t=75\text{mm}$ )은 유동의 직진성을 강화하여 Uniformity를 개선한다.

또한 세장의 조밀한 유동 진정망( $\#22$ ,  $\#23$ ,  $\#28\text{ mesh}$ ) 조합은 시험부 유동의 난류를 제어하여 시험에 필요한 유동을 형성 하도록 한다.

#### 2.2.1.3 수축부(Contraction)

정체실의 유동을 시험부의 시험 유속으로 가속하는 영역이다.

면적비는 5:1이며, 오차 다항식의 곡선으로 유동의 박리가 없이 부드럽게 가속되도록 한다.

#### 2.2.1.4 시험부(Test Section)

전체 시험부의 규격은  $0.3(\text{W}) \times 0.3(\text{H}) \times 0.9(\text{L})\text{m}$ 의 크기이다.

시험부는 폴리카보네이트로 제작되었으며, 상부는 모델 장착과 계측장비를 장착 및 향후 업그레이드를 고려하여 설계 제작 되었다.

측면과 하부는 2D 또는 3D 모델 장착으로 압력 및 힘을 측정하도록 되어 있다.

#### 2.2.1.5 확산부(Diffuser)

확산부의 확산각은 7도 내외로 유동 박리를 최소화하도록 권장되지만 설치 환경 여건 상 17도의 광각확산부 설계되어 확산부 내부의 유동 박리를 제어하기 위한 진정망을 확산부 앞/뒤로 설치 하였다.

확산부의 진정망은 시험 중 모델의 분리 파손 등으로 비산하는 파편들이 송풍기에 유입 되지 않도록 안정망의 역할을 한다.

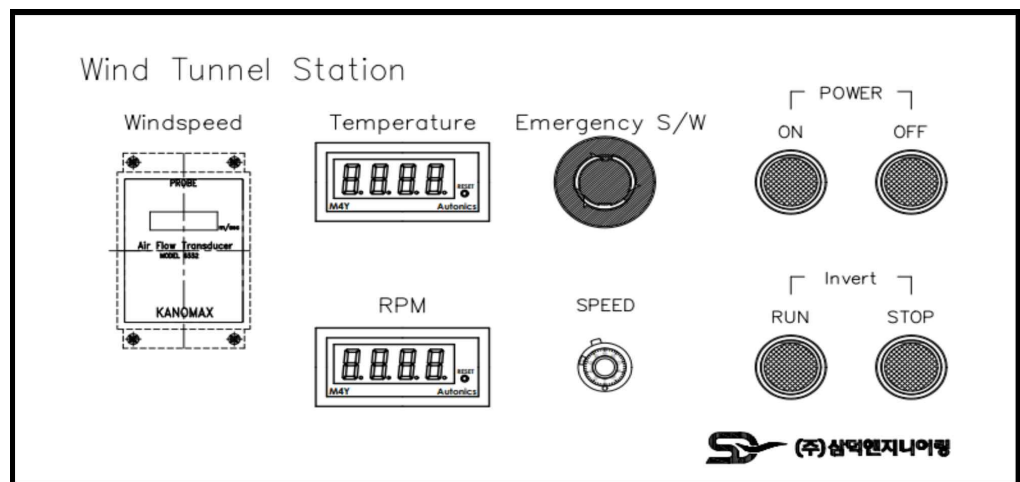
## 2.2.2 컨트롤 랙 (제어반)

컨트롤 랙은 풍동의 제어와 계측을 위한 부분으로 구성되어 있다.

컨트롤 랙은 주 전원을 인가하는 전원부, 송풍기를 제어하는 제어부로 구성된다.

주 전원을 인가하는 전원부는 풍동 송풍기 제어를 위한 주 전원을 공급하고 작동 하도록 한다.

송풍기 제어부는 송풍기 수동 제어를 하도록 한다.



## 2.2.3 계측 센서

풍동 제어를 위한 센서에는 유속센서와 온도센서가 있다.

- 유속센서는 가노막스 (Airflow Transducer-Model6333)
- 온도센서는 PT100Ω



### 3 안전

#### 전기 위험



컨트롤 랙 또는 주 전원 박스를 점검하기 전에 전원을 차단 한다.

컨트롤 랙 또는 주 전원 박스를 점검하기 위하여 개방 할 경우에는 관련 자격자 또는 적합한 관리자가 한다.

#### 전기 위험



계측기 센서박스를 열기 전에는 주 전원을 차단 한다.

센서의 점검은 관련 자격자 또는 관리자가 한다.

#### 회전 날개와 벨트 및 모터 움직임에 의한 부상 위험



풍동을 조작 중에는 절대 송풍기 점검구 혹은 토출구에 이물질이나 손을 넣지 않도록 한다.

#### 주의



유동을 토출하는 송풍기 토출부에 움직일 수 있는 물체 또는 날릴 수 있는 물체를 두지 않는다.

풍동을 조작 중에는 절대 송풍기를 점검하지 않는다.

**주의:** 아날로그 센서들의 측정 정확도를 위하여 시험 전 최소 30분 이상의

웜업(Warm-up) 시간을 가진다.

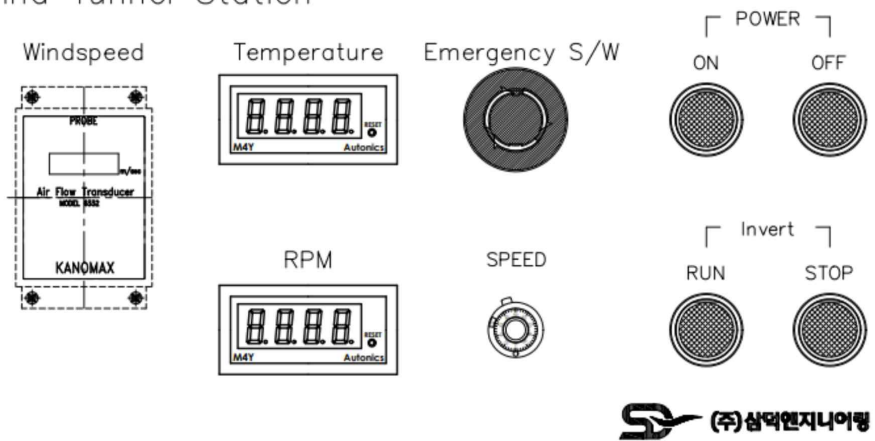


## 4 조작

### 4.1 풍동 로컬 조작법

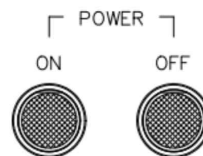
#### 4.1.1 주 전원 작동

##### Wind Tunnel Station



##### 4.1.1.1 전원 투입

주 전원 패널의 ON 스위치를 누른후 19인치 랙 및 송풍기 인버터의 RUN 스위치를 눌러서 인버터에 전원을 입력한다.



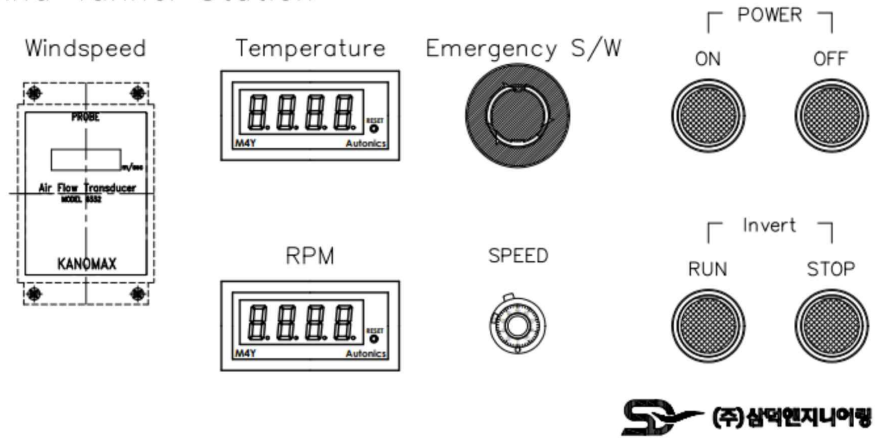
##### 4.1.1.2 응급 차단

EMERGENCY 스위치는 응급 상황에서 인버터 및 랙 전체 구동 전원을 차단 한다.



### 4.1.1 송풍기 제어

#### Wind Tunnel Station



#### 4.1.1.1 송풍기 작동 인가

주 전원이 투입된 상황에서 ON 스위치를 누르면 송풍기 작동을 위한 신호를 송풍기 모터 인버터에 입력한다.

#### 4.1.1.2 속도 조절

속도 조절은 10턴 노브를 돌려서 한다.

최대 속도에 대하여 0~100% 비율로 제어하며 한바퀴당 10% 속도 증가를 한다.

노브를 돌려 시험부의 유속을 실험 조건이 되도록 설정한다.

#### 4.1.1.3 회전수 표시

회전수는 송풍기 모터의 회전수를 나타낸다.

## 5 성능 시험결과

### 5.1 균일도

#### 5.1.1 개요

시험부의 단면에 대하여 양사가 계약 합의한 시험 유속인 15m/s속도 영역에서 단면의 유속 분포를 확인한다.

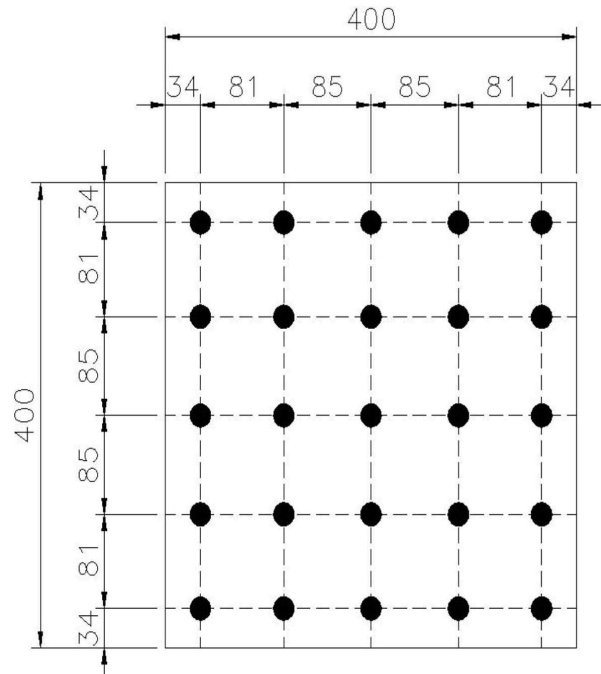


그림 12 유속 균질도 측정 지점

측정 지점은 시험부 단면의 중심을 기준으로 64mm 간격으로 5X5 개소의 매트릭스로 구성된다.

#### 5.1.2 데이터 분석

풍동 내부의 시험부 단면에 대한 유동 균질도는 다음과 같이 정의 된다.

$$U_i^{unif} = \frac{U_i - \bar{U}}{\bar{U}} \times 100\%$$

$U_i^{unif}$  = i번째 위치에서 유동 균질도

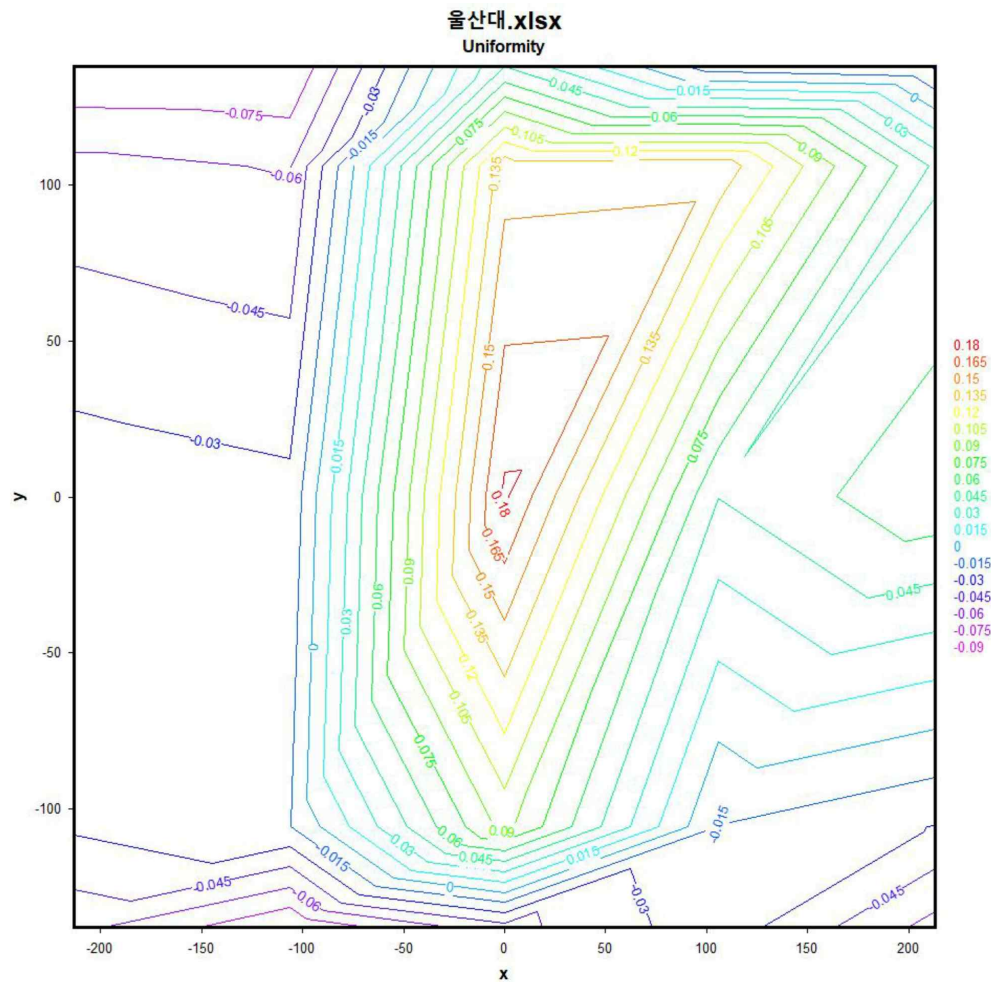
$U_i$  = i번째 위치에서 평균 유속

$\bar{U}$  = 측정 단면에서 평균 유속

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}$$

측정 규정:  $\max(|U_i^{unif}|) \leq 0.7\%$

### 5.1.3 시험 결과



## 5.2 난류도

### 5.2.1 개요

시험부의 단면에 대하여 속도 영역에 따른 단면의 난류 분포를 확인한다.

측정 지점은 시험부 단면의 중심을 기준으로 5X5 개소의 매트릭스로 구성되어 유동 균질도 측정을 위한 측정 지점과 동일하다. (균일도 그림 참조)

### 5.2.2 데이터 분석

풍동 내부의 시험부 단면에 대한 난류도는 amplitude domain에서 측정하며 다음과 같이 정의 된다.

$$TI_i = \frac{U_i^{rms}}{\bar{U}_i} \times 100\%$$

$TI_i$  = i번째 위치에서 난류도

$\bar{U}_i$  = i번째 위치에서 평균 유속

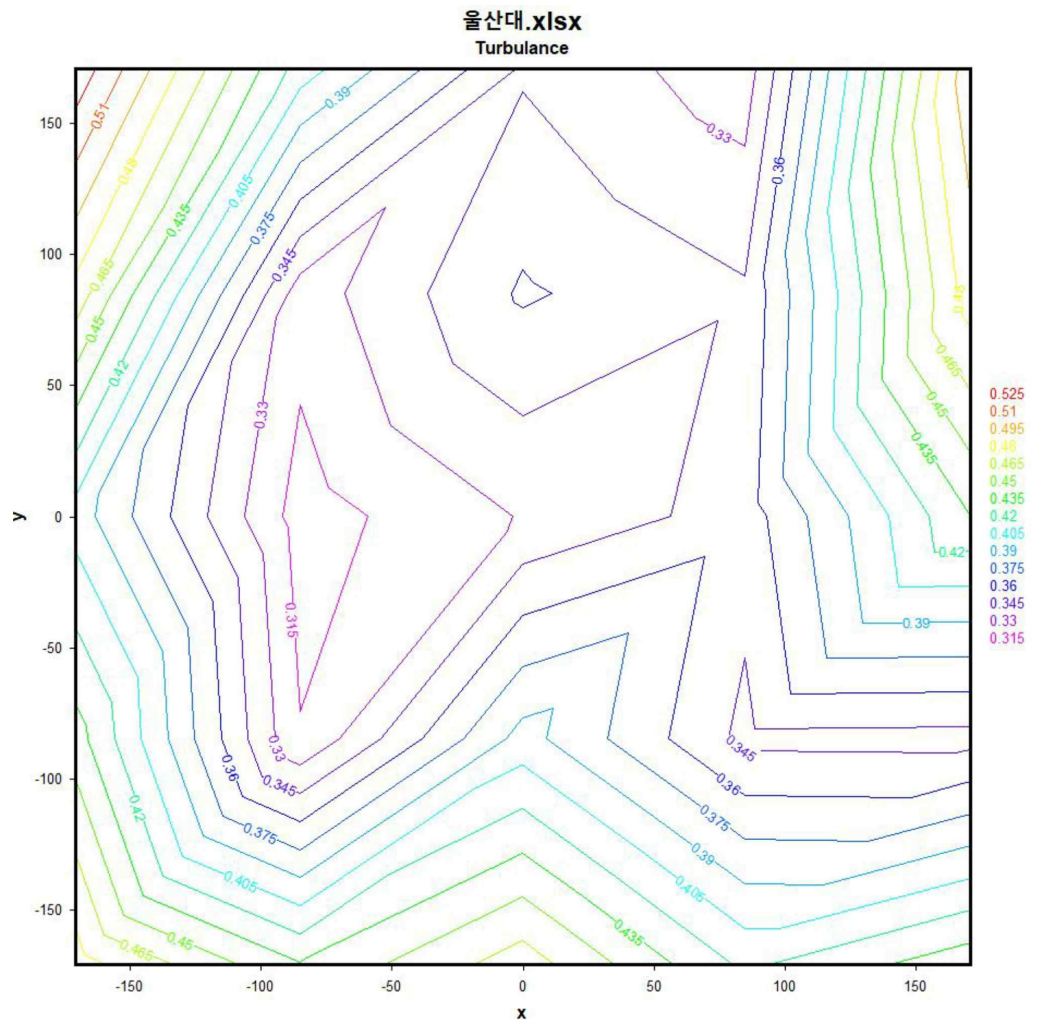
$$\bar{U}_i = \frac{1}{N} \sum_1^N U_i$$

$U_i^{rms}$  = i번째 위치에서 표준편차

$$U_i^{rms} = \left( \frac{1}{N-1} \sum_1^N (U_i - \bar{U}_i)^2 \right)^{0.5}$$

측정 규정:  $\max(|TI_i|) \leq 0.7\%$

### 5.2.3 결과



## 6 용어 정리

1. **공기 밀도(Air Density):** 공기 밀도는 공기의 단위 체적당 질량이다.
2. **표준 공기(Standard Air):** 표준 공기는 밀도  $1.20 \text{ kg/m}^3$ , 비열비 1.400, 점성 계수  $1.8 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$ 의 특성을 갖는 공기로 정의한다. 기압  $101.3 \text{ kPa}$ 에서  $20^\circ\text{C}$ , 상대 습도 50 %의 공기가 근사적으로 이러한 특성을 갖는다.
3. **압력(Pressure):** 압력은 단위 면적당 작용하는 힘이다. 이것은 단위 체적의 유체가 갖는 에너지에 상응한다.
4. **절대 압력(Absolute Pressure):** 절대 압력은 완전 진공을 절대 제로(0)로 하고, 절대 제로를 기준으로 측정한 압력이다. 절대 압력은 항상 양의 값을 갖는다.
5. **대기 압력(Atmospheric Pressure):** 대기(기압계) 압력은 대기에 의하여 생기는 절대 압력이다.
6. **동압(Differential Pressure):** 동압은 공기 압력 중 운동 에너지에 해당하는 압력 부분이다. 동압은 양의 값을 가진다.
7. **정압(Static Pressure):** 정압은 공기 압력 중 압축 정도에 의하여만 생기는 압력 부분으로서, 계기 압력으로 표시할 경우에는 음 또는 양의 값을 가질 수 있다.
8. **속도:** 속도 단위는 초당 미터 를 사용하고  $\text{m/s}$ 로 표기한다.
9. **전압(정체 압력: Total Pressure):** 전압은 압축 정도와 운동 속도로 인하여 야기되는 공기 압력이다. 한 점에서의 전압은 그 점에서의 동압과 정압의 대수적 합이다. 그러므로 정지 상태에 있는 공기의 전압은 정압과 같게 된다.
10. **압력 손실(Pressure loss):** 압력 손실은 마찰과 섭동 때문에 생기는 전압의 강하이다.



## **B. 송풍기 취급 설명서**

별첨