

## 방풍망 효과에 대한 풍동 시뮬레이션

강 건  
경남전문대학 기계설계과  
(1997년 7월 5일 접수)

### Wind-Tunnel Simulation on the Wind Fence Effect

Kun Kang

Dept. of Mechanical Design, Kyung Nam Junior College, Pusan, Korea  
(Manuscript received 5 July 1997)

In establishing artificial fences in a certain locality, type of its area or wind blown against them from the front side is primarily considered. Researchers on fences also concentrate on upstream, wind blown against them from the front side in  $90^\circ$  angle.

In this research, simulations were carried out on the direction of wind changed by each season, and regardless of seasonal wind, on the fences effect of wind direction on fences, through an atmospheric boundary layer wind tunnel.

When I compared the velocity distribution of upstream against the fences in  $90^\circ$  angle with that of  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ , and  $45^\circ$  respectively, the velocity distribution at downstream of the latter cases generally surpassed that of the former one.

Key words : Windbreak, Shelter belt, Fence

#### 1. 서 론

바람이 부는 지역에서 대기에 노출된 고체 입자들의 이동 현상을 보면 바람의 속도가 낮을 경우에는 고체 입자들이 움직이는 거의 없지만 바람 속도가 증가하여 문턱값(threshold value)을 넘을 경우 일부 고체 입자들은 공기 유동에 의하여 움직이기 시작하고 바람의 속도가 더욱 증가하면 격렬히 요동하던 고체 입자들은 이동이 초래된다. 이러한 이동 과정 현상은 3가지로 뜬짐(saltation)과 밀짐(surface creep) 그리고 부유(suspension)로 분류할 수 있다.

이러한 고체 입자들의 이동 현상 등은 사막이나 또는 도심의 연탄공장 야적장과 운동장 같은 곳에서 모래 및 흙먼지 이동으로 공해의 대상이 된다.

겨울에 도로상이나 비행장의 활주로와 같은 곳에서 눈이 쌓여 생긴 피해로서 도로나 활주로를 일시적으로 폐쇄되어 모든 운송 수단이 중지되는 경우가 있다. 이러한 곳에서 눈이 쌓이지 않게 하는 문제들은 방풍망과 그 주변 유동 현상을 분석하여 제어할 수 있다.

방풍망에 대한 공기 역학으로부터 방풍망 효과와 그 설계에 대한 매우 유용한 정보를 얻을 수 있다. 방풍망에 대한 항력과 그 주변 유동 현상을 파악하기 위해서는 대기 경계층과 유사한 경계층을 실험실내의 풍동에서 발생시켜 방풍망을 통과하게 하여, 그 주위의 유동장을 측정하는 대기 경계층 풍동 시뮬레이션을 수행하게 된

다.

대기 경계층 풍동 시뮬레이션은 방풍망 뿐만이 아니라 오염 지역에서의 대기 확산은 물론 고층건물에 대한 바람의 영향 평가 및 교각 건설시 풍하중 시험에 사용 되는가 하면, 바람이 심한 지역에 있는 농장에서의 국부 바람의 유동 형태를 바꾸기 위해서도 사용되고, 또한 고층 건축물 사이의 바람이 심한 지역에서 보행자를 보호 하는 연구 등에 이용된다.

대기 경계층 풍동 실험에서의 측정치들은 실제 대기를 대상으로 한 실측치보다 정확하고 직접적인 비교가 가능하여 이론 모델의 보완 및 평가에 효과적으로 이용 될 수 있으므로 방풍망의 방풍효과 및 설계에 대한 연구는 바람직하다.

방풍망에 대한 기초적인 문제들은 Plate(1971) 등 여러 연구자들에 의해 상세히 논의되어져 왔다.

모래의 이동을 제어하는 모래 방풍망(sand fence)의 경우 모래 이동율은 바람의 속도 3제곱에 대략적으로 비례하기 때문에 바람의 속도가 감소하면 모래 이송률 또한 감소하는 원인이 된다.

방풍망은 3가지 형태로 Windbreak, Shelter belt, Fence로 구분할 수 있다. Windbreak은 수직으로 된 판을 지상에 고정된 장애물로 바람의 속도를 줄이는 방풍망이고, Shelter belt는 Windbreak의 형태로서 식물로 된 나무를 세워 울타리 형태로 만들어 사용되는 것

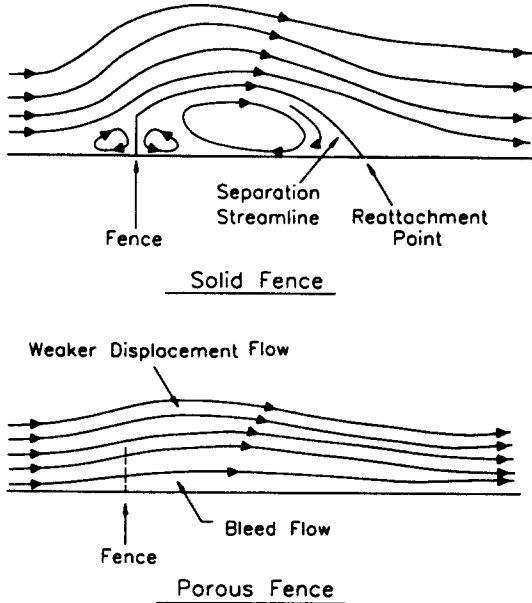


Fig. 1. Flow patterns around solid and porous fence.

을 말하며, Fence는 Windbreak보다 얇은 평판으로 금속이나 플라스틱, 나무 등 여러 가지 재료들로 구성된다 (Guyot, 1977).

그러나 Windbreak, Shelter belt, Fence는 가끔 용어가 바뀌어 사용되기도 하고, 국내에서는 그 모양에 따라 방풍망, 방풍림 또는 울타리로 사용되고 있다. 방풍망(fence)주위에 유동장의 형태는 난류 경계층, 와류(vortices)와 분리, 역류 등이 복잡하게 조합된 형태로 구성되어 있다. 다공성 0%인 고체 방풍망(solid fence, 0% porosity)은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 방풍망 하류(downstream)에서 회전 유동을 하는 특징이 있으며, 방풍망 하류에서 재부착점(reattachment point)이 생겨나고 그 재부착점은 하류에서 방풍망 높이의 약 10에서 15배 사이의 거리 부분에서 일어난다.

다공성 방풍망(porous fence)에서는 고체 방풍망의 경우 보다 더 늘어나게 되고, 다공성 방풍망을 통하여 흘러나오는 투과류(flow bleed)의 유동량이 적은 경우는 회전 와류가 생기지만, 그 양이 많은 경우에는 회전 와류가 생기지 않는다. 이러한 방풍망 설치에 따른 유동형태의 복잡성때문에 국내에서는 방풍망 설계의 기초자료가 불충분한 실정에 있다.

본 연구는 고정 설치된 방풍망에 대해 대기 공기 유동에 항력을 발생시켜 유동 속도를 줄인 유동장에서, 고체 방풍망과 다공성 방풍망에 대한 속도 분포 형상을 관찰하고, 또한 방풍망을 향해 불어오는 앞바람(up stream)의 유동방향이 달라지는 경우 유동 각도에 따른 속도 분포를 관찰하여 효과적인 방풍망 설치에 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1 방풍망의 공기 역학적 배경

- ① Undisturbed Boundary Layer (Outer Layer)
- ② Region Of Hill Influence (Middle Layer)
- ③ Region Of Reestablishing Boundary Layer (Inner Layer)
- ④ Blending Region Between Middle And Outer Layer
- ⑤ Blending Region Between Inner And Middle Layer
- ⑥ Standing Eddy Zone
- ⑦ Potential Outer Flow

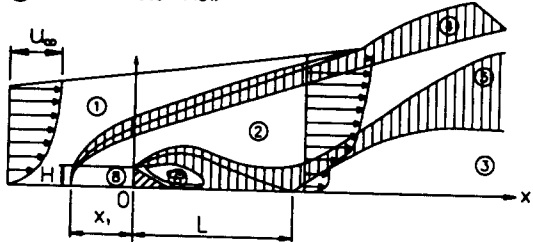


Fig. 2. The flow zones of a boundary layer disturbed by a shelter belt.

Fig. 2는 Plate(1971)에 의하여 제시된 고체 방풍망 주위의 난류 경계층내의 다양한 유동 구역을 나타낸다. Fig. 2에서 제①구역은 방풍망과 상관없는 원래의 유동인 바깥 경계층이고 그 속도 분포는 지면에서부터 Log 함수이다. 제②구역은 방풍망의 영향을 받는 구역으로 중간층이 된다.

제③구역은 경계층이 재형성되는 내부층 구역이며, 제④구역은 바깥층과 중간층 사이에 혼합되는 구간이다. 제⑤구역은 중간층과 내부층 사이에 혼합되는 구역이며, 제⑥구역은 에디(eddy)구역으로서 낮은 다공성 방풍망에 의한 역류에 의해 만들어진다.

제⑦구역은 경계층밖의 유동 구역이며, 제⑧구역은 방풍망 앞쪽의 에디구역이다.

Fig. 2에서 흥미로운 구역은 모래 방풍망을 응용하는 경우에 나타나게 되는 앞뒤의 두 에디구역이다. 이 구역은 바람의 속도가 낮아지는 구역으로 고체입자들을 쌓이게 하여 모래언덕과 같은 형태로 된다.

Castro(1971)의 풍동 연구에 의하면 방풍망에 대한 다공성이 30%이상이 되면 회전 와류 현상이 거의 없는 것으로 되어 있고, 여러 문헌에서도 그 회전 와류는 25%에서 30%사이에서는 정의되지 않았다.

방풍망에 대한 항력계수는 식(1)과 같이 표현된다.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho u^2(H)H \quad (1)$$

여기서  $F_D$ 는 항력이고  $C_D$ 는 항력계수이며  $u(H)$ 는 방풍망 높이  $H$ 인 곳에서의 바람의 속도이다. 식(1)에서의 속도는 자연적인 조건하에서 지면부근에서 바람의 속도 분포를 나타내는 식(3)에 의하여 나타낸다.

### 2.2 방풍망의 모형 제작

방풍망의 모형은 Fig. 3에서와 같이 높이는 10Cm이고, 폭은 풍동의 횡단 길이에 맞추어 제작하였다. 폭의 길이를 풍동의 횡단 길이에 맞추는 것은 각도의 변화에 따라 그 길이가 달라지기 때문이다. 망은 PVC로 된 재질로서 다공성 형상은 Table 1에서와 같이 0%, 25%, 50%, 75%로 제작되었으며 100%의 의미는 망이 없는

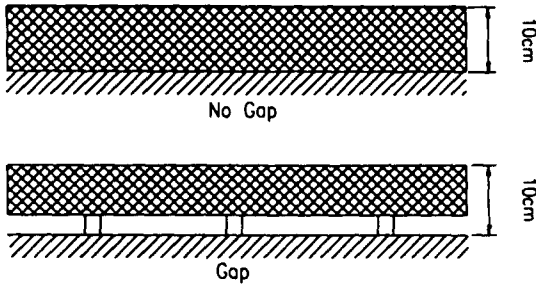


Fig. 3. Model of fence.

Table 1. Parameters of fence

Porosity	Degree	Gap	Geometry of Fence Hole
0%	90°	0%	Fine Mesh
25%	75°	20%	Medium Mesh
50%	60°	33%	Coarse Mesh
75%	45°	100% (Open)	

상태에서 풍동을 가동시켜 속도를 측정 비교한 경우를 나타낸 것이다.

망의 각도는 90°, 75°, 60°, 45°로 변화시킬 수 있게 제작하였고, gap은 Fig.3과 같이 망의 전체 높이에서 0%, 20%, 33%로 제작되었다.

Fig. 4는 다공성 면적에 대한 구멍(hole)들의 지름과 구멍의 형상을 나타내고 있고, 이 구멍들은 격자 형태로 된 천과 같이 짜여진 것과 타원형 형태의 구멍으로 제작하였다.

2.3 모형의 상사

실제 축척(full scale)에서 방풍망의 조건들을 적절히 상사되게 하기 위하여 바람의 유동에서 동적, 열적 성질뿐만 아니라 자연적으로 일으키는 바람에 대한 특성들의 모형이 필요하다. 그러나 중력과 공기의 동점성 계수는 공기의 속도나 방풍망의 높이 등과 같은 변수들처럼 측정할 수 없는 성질들 때문에 모든 실제 축척의 변수들을 동시에 조화시키는 것은 일반적으로 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 그 영향을 적게 하는 상사 기준을 세워 합리적인 계산을 얻고자 한다.

2.3.1 국부 바람 특성 상사

풍동 경계층 난류 유동에 대한 평균 속도 분포는 실제 축척 내에서 존재한다고 알려진, 경계층 전 깊이에 걸쳐 식(2)에 의해 주어지는 지수함수 법칙과 반드시 일치하여야 한다.

$$\frac{U}{U_\infty} = \left(\frac{Z}{\delta}\right)^\alpha \quad (2)$$

여기서  $U_\infty$ 는 경계층 상부의 풍속이고  $\delta$ 는 경계층 두께(boundary layer thickness)이며 경계층내 높이  $Z$ 에서의 유속은  $U$ 이다. 시뮬레이션 하고자 하는 실제 축척에 대한 지수  $\alpha$ 값은 표면의 거칠기에 따라 다르며 매우

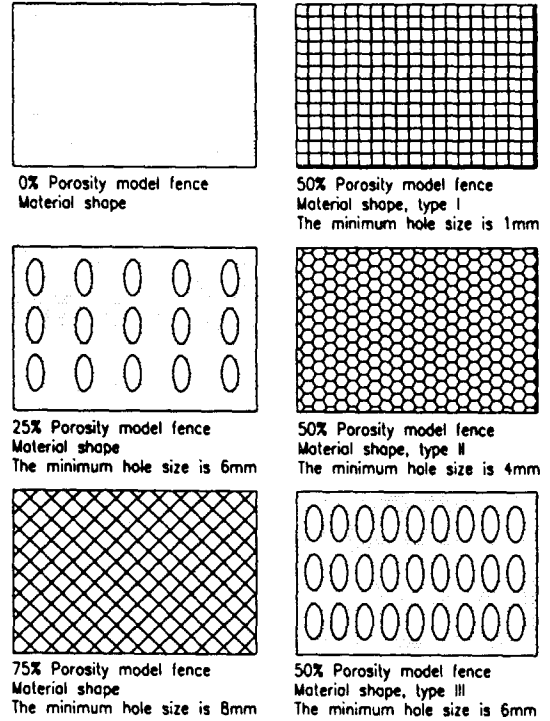


Fig. 4. Material shape of model fence.

큰 도시인 경우에  $\alpha$ 값은 0.40이고 고요한 바다인 경우에  $\alpha$ 값은 0.10으로 이 값은 대상 지역에 따라 변화시킬 수 있다. 특히 모래와 흙먼지로 이루어진 사막의 경우에는 여러  $Z$ 값들에 의해 평균적으로 0.15로 한다. 이 값은 사막 분지 표면에 대한 E.S.D.U.(engineering science data unit)에서 제공된 Table에서와 같이 실제 축척에서의 0.12와 비교적 잘 일치한다.

식(2) 또한 경계층 20%내에서 대수 평균 속도 관계식 (3)과 일치하여야 하고, 이것은 대수 영역 내에서 축소된 모형을 갖기 위해서이다.

$$\frac{U}{U_\infty} = \frac{1}{K} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad (3)$$

여기서  $K$ 는 Von Karman의 상수이며 그 값은 0.418이고  $U$ 는  $Z$ 높이에서의 평균 풍속이며  $Z_0$ 는 대상 지역의 조도 길이이며  $U_\infty$ 는 마찰속도이다.

1m의 풍동 경계층 두께에 대하여 방풍망 모형의 높이는 약 10cm이하가 될 것이며 1 : 10의 모형 축소에 대하여 10cm 높이는 실제 축척에서 1.0m 높이에 해당된다. 실제 축척에서 대기 경계층은 난류이므로 풍동에서도 경계층 유동이 난류이어야 한다. 불규칙한 표면이 동일한 유동 조건하에서 매끄러운 표면(smooth surface)과 일치되는 점성 하부층(viscous sublayer)보다 두께가 크다면, 지구 표면과 같이 거친 표면을 공기 역학적 거칠기(aerodynamically rough)라 할 수 있다. 조도 레이놀즈수(Reynolds number)  $R_e$ 가 2.5보다 크면, 그 표면은 공기 역학적 조도가 되고 경계층은 난류가 된다. <Sutton, 1949>

$$R_{cz} = \frac{U \cdot Z_0}{\nu} > 2.5 \quad (4)$$

본 실험에 사용되어지는 풍동 데이터는 자유 유동 (freestream) 풍동 속도  $U_\infty$  가  $3.8m/s$ , 거칠기 높이  $Z_0$  가  $0.0025m$ , 마찰 속도  $U_\tau$  가  $0.21m/s$ 로 주어진다. 공기의 동점성 계수  $\nu$  값으로  $1.51 \times 10^{-5} m^2/s$ 를 사용하면 조도 레이놀즈수는 약 35이므로 앞에서 언급된 식(4)를 만족한다.

### 2.3.2 방풍망의 모형 상사

실제 축척의 크기에 대한 축소비는 풍동의 크기에 의존된다.

일반적인 기하학적 상사 비는 1 : 10으로부터 1 : 1000정도이며 매우 큰 상사비의 경우는 더 큰 풍동 시설일수록 최적의 유동 상사와 풍동 효율을 가질 수 있다. 본 실험에서의 모형은 1 : 10으로 축소하였다.

### 2.3.3 바람 속도 상사

자연 바람의 상사비는 방풍망이 없는 상태에서 방풍망 높이에서의 바람 속도를 기준으로 하며, 풍동에서의 속도는 약  $1 \sim 7m/s$  범위이며 이 속도는 만족할 만한 안정된 속도가 주어질 때까지 풍동을 작동한 후의 속도이다.

### 2.3.4 방풍망 레이놀즈수의 상사

방풍망 레이놀즈수는 망 표면에서 마찰력 또는 점성력과 관성력의 비로 결정된다. 그 관계식은 식(5)과 같다.

$$R_{ch} = \frac{U_h H}{\nu} \quad (5)$$

여기서  $H$ 는 망의 높이이고,  $U_h$ 는 그 높이에서의 속도이며,  $\nu$ 는 동점성 계수이다.

식(5)에서  $U_h$ 와  $H$ 는 축척 인자  $S$ 에 따라 작은 값으로 조정되는 반면 동점성 계수는 풍동과 실제 축척에서 서로 같은 값을 가지기 때문에 망 레이놀즈 수는 실제 축척에서 보다 모형의 레이놀즈수가 100배 내지 1000배 정도 작아져서 모형을 축소하여 풍동 시뮬레이션 할 적에 큰 제약을 받는다.

대기 유동에서는 레이놀즈 수가 충분히 큰 난류 구조가 전반적으로 유지되기 때문에 대부분의 모형들은 더 작은 레이놀즈수에서도 합당하다고 가정한다. 이것은 레이놀즈 수의 독립의 원리(principle of Reynolds number independence)에 기초를 두었다. 이 원리에서의 가정은 열(thermal)과 Coriolis 효과가 없으며 기하학적 상사 유동은 충분히 큰 레이놀즈수에 대하여 유사하다.<Townsend, 1956>

대기 유동에서와 같이 매우 작은 난류로 유동이 균일하게 지나가는 구조물에 대하여 확립된 임계 레이놀즈 수는 11,000이다.<Snyder, 1972>

작은 표면 거칠기로 구성된 지면 위를 유동하는 경우를 보면, 작은 구조물을 지나는 유동에 대하여 매우 낮은 풍동 속도와 매우 높은 풍동 속도에 대한 평균 속도 분포를 구하여 비교하면 임계 레이놀즈 수가 3,500이

나 낮은 경우에도 난류 강도 분포는 비교적 유사하다.

## 3. 실험 장치

### 3.1 풍 동

본 실험에서 사용되어지는 풍동은 대기 경계층 풍동으로서 Fig. 5에서 보는바와 같이 풍동은 Tunnel을 통하여 공기를 팬(fan)으로 당기는 개방형(open return type)으로 되어있다.

Tunnel은 입구 부분, 유동 발달 부분, 3차원 원경 조정이 가능한 탐침(probe)장치가 있는 시험 부분과 확산 부분으로 되어있으며 75마력의 DC모터로 작동되고 총 길이는 22m이다.

Tunnel내부에서의 바람의 속도는 1m/s에서 10m/s까지 변화시킬 수 있다.

Fig. 5에서 입구 부분 A-A는 입구에서 유동 난류 수준이 최소가 되는 흡입 유동의 수축 면적비(4 : 1)가 되도록 타원형으로 되어있다.

수축 면적비 다음에는 공기 필터가 있고 이 공기 필터는 흡입 공기중 지름이 거의 2~3micron 이상의 공기중 먼지 입자들을 여과하는 역할을 하며 큰 압력 변동을 줄이는데 이용된다.

필터 뒤에는 벌집부(honeycomb) 형상의 유동 직류화 장치(straightener)가 있어서 난류 강도를 더욱 줄이는데 이용된다. 유동 발달 부분은 길이가 12m이고 유동 방향의 압력구배를 줄일 수 있게 확장되었고 천장 또한 압력구배를 조절하는데 이용된다.

풍동바닥은 여러 상태의 표면 거칠기를 만들기 위하여 쉽게 움직일 수 있도록 하여 그 바닥 표면에 나무로 된 직사각형 블록(roughness element)들을 놓아서 문제의 대상 지역과 일치하는 속도 분포를 이룰 수 있게 하였다. 또한 유동 발달 부분의 입구에는 유동 직류화 장치 바로 뒤에 3개의 수직 삼각형 수직탑(spire)이 설치되었다.

Fig. 5에서 B-B부분은 유동 방향으로 3.7m이고 가로와 세로는 1.7m x 1.2m이며, 유동 방향의 압력구배를 없애기 위해 조정이 가능한 천장으로 제작되었다.

시험 부분의 출입문은 Plexiglas의 재질로 되어 있으며, 크기는 2m x 1m이고 두께는 0.023m이다.

3차원 탐침장치는 정확한 탐침의 위치와 탐침장치로 인한 유동의 영향을 줄이고 빠른 속도로 이동이 가능하게 되어 있다.

확산 부분은 길이가 2.4m이고 직사각형 단면 시험 부분에서부터 원형 단면까지 계속적으로 확장 되어 있다.

Fig. 5에서 C-C부분은 8개의 날개를 갖고 있는 팬으로 지름은 1.8m이고 75HP에 의하여 구동된다. 모터와 팬의 연결은 풀리와 벨트로 되어있다.

### 3.2 측정 장치

Dantec 저속 분석기와 열선 탐침(hot wire, TSI-1210)이 모든 속도와 난류를 측정하는데 사용된다. Dantec 센서는 보정되어 제작되었으나 열선 탐침으로 재차 보정하기 위해 사용된다.

열선 탐침 보정은 TSI 1125 보정기와 Mertan mi-

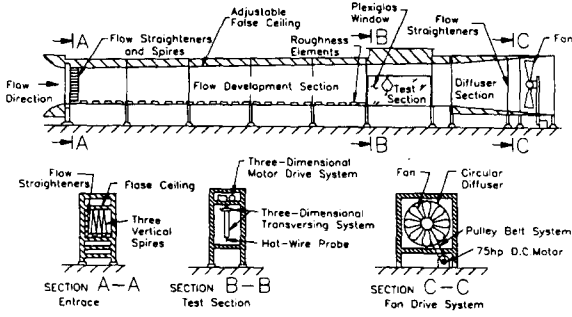


Fig. 5. Diagram of the wind-tunnel showing entrance cone and flow straighteners (Section A-A), test section with various probes (Section B-B), and diffuser-drive system (System C-C).

cro manometer를 사용하여 보정한다. 보정하기에 앞서, micro manometer를 영에 맞추고 측정하기 전에 몇 분 동안 평형 상태가 될 때까지 기다리며, 그리고 나서 단열선 탐침을 보호 장치에 끼워서 위의 장치에 벽을 통하여 안쪽으로 중심까지 밀어 넣어 중심에 있는가를 확인하고 주위 온도와 압력을 확인한 후, micro manometer에서 압력의 눈금은 최대 유동 속도에서 기록한다. 속도는 열선 탐침에서 속도계를 지나 PC에 전압으로 입력되고 이때의 압력은 높이 차에 의해 읽는다. 위와 같은 과정으로 열선 탐침을 보정한 후 Dantec(Model LVFA <Vel./Temp.>) 탐침을 보정하는데 사용하였다. 모든 단열선 교정 데이터는 1kHz 표본율에서 이루어지며 필터를 사용하여 주파수를 500Hz 이내로 제한한다. Dantec 탐침과 열선 탐침에서 풍속 측정은 TSI model 1125 교정 장치를 이용한 실험에서 5%의 오차가 있는 것으로 알려졌다.

탐침은 시험 부분 내에서 3차원으로 움직이게 장치되었고 출력은 각각 X, Y, Z 방향을 가리키는 3개의 전위 차계에 연결되어 위치가 변할 때마다 전위 차계에 전위차가 변한다. 디지털 전압계를 사용함으로써 3방향의 탐침의 위치를 확인할 수 있다.

Dantec 탐침을 방풍망 주변의 지정된 위치에 놓으면 유동 속도와 난류치는 60초 주기로 추출되어 나타난다. 이때에 평균 속도와 난류의 데이터들은 자동적으로 On-Line을 통하여 분석되며 Dantec 저속 분석기는 60초 주기로 평균한 rms 속도값과 평균 속도값을 디지털로 나타낸다.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 6은 다공성 0%의 방풍망을 설치하여 gap 0%, 20%, 33%에 대해 앞바람의 각도를 45도와 90도로 하여 측정된 결과를 망 하류 유동의 무차원화된 거리에 대해 표시한 무차원 마찰 속도 분포를 나타낸다.

무차원 거리  $X/H$ 는 망으로부터의 거리와 망의 높이와의 비이며,  $U_w$ 은 망이 없는 상태에서 측정된 속도 분포를 마찰 속도 항으로 나타낸 것이고,  $U_w$ 은 망이 설치된 상태에서 평균 속도를 측정하여 마찰 속도 항으로

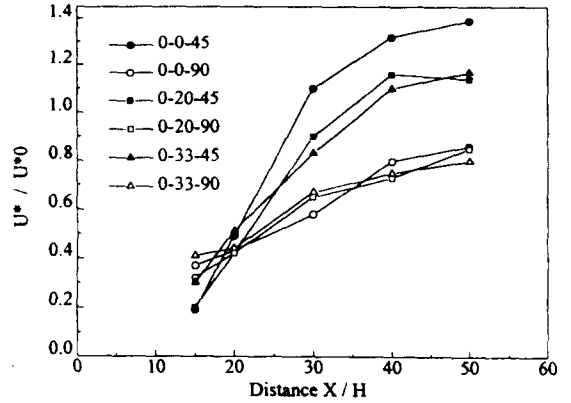


Fig. 6. Downstream variations of friction velocity. (Fences effect of 0% porosity, bottom gap and wind angle [45°, 90°]).

계산한 것으로서  $U_w/U_w0$ 는 무차원화 된 속도 분포를 나타내게 된다.

Fig. 6에서의 표식 방법은 첫 번째가 다공성을 나타낸 것이며, 두 번째는 gap을 나타낸 것이고, 세 번째는 고정 설치된 방풍망으로 불어오는 앞바람의 방향 각도를 의미한다. 그 예로서 0-0-45는 다공성 0%, gap 0%를 의미하고 45는 고정된 방풍망에 대한 앞바람 방향의 각도가 45도임을 나타낸 것이다.

여기서 앞바람방향이 45도와 90도인 경우를 비교한 것은 예비실험 결과에서 60도 방향과 75도 방향의 경우는 90도 방향의 바람에 비하여 큰 변화가 나타나지 않았기 때문이다. Fig. 6에서 다공성 0%와 gap 0%로 설치된 방풍망에서 바람방향이 45도와 90도인 경우를 비교하면  $X/H=15$ 에서는 90도에 비하여 45도 방향의 속도 분포가 약 48%정도 감소하였다가  $X/H=20$ 에서는 거의 유사한 속도분포를 보이고  $X/H=30$  이후의 유동에서는 속도분포가 평균적으로 72%정도 상승하는 것으로 나타났다.

다공성 0%와 gap 20%일 때 바람방향이 45도와 90도인 경우를 비교하면  $X/H=15$ 에서는 90도에 비하여 45도 방향의 속도 분포가 약 37%정도 감소하였다가  $X/H=20$ 에서는 거의 유사한 속도분포를 보이고  $X/H=30$  이후의 하류 유동에서는 속도분포가 평균적으로 44%정도 상승하는 것으로 나타났다.

다공성 0%와 gap 33%일 때 앞바람방향이 90도와 45도인 경우를 비교하면  $X/H=15$ 에서는 90도에 비하여 속도 분포가 약 27%정도 감소하였다가  $X/H=20$ 에서는 거의 유사한 속도분포를 보이고  $X/H=30$  이후의 유동에서는 속도분포가 평균적으로 39%정도 상승하는 결과를 나타내었다.

이러한 결과는 다공성 0%인 경우 방풍망을 통하여 흘러나오는 유동이 없기 때문에 망 뒤편의 가까운 지역에서 정체지역이 형성되어 난류강도가 낮아져 평균 속도 분포가 감소되고 하류로 갈수록 속도분포가 회복되는 것을 보여주는 것이다. 여기서 앞바람 방향이 45도와 90도인 경우를 비교하면,  $X/H=30$ 이후 하류 유동에

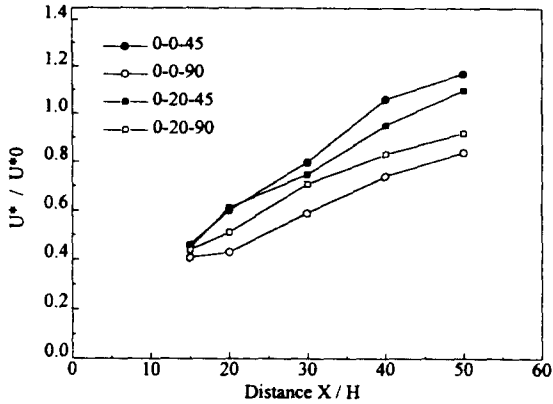


Fig. 7. Downstream variations of friction velocity. (Fences effect of 25% porosity, bottom gap and wind angle [45°, 90°]).

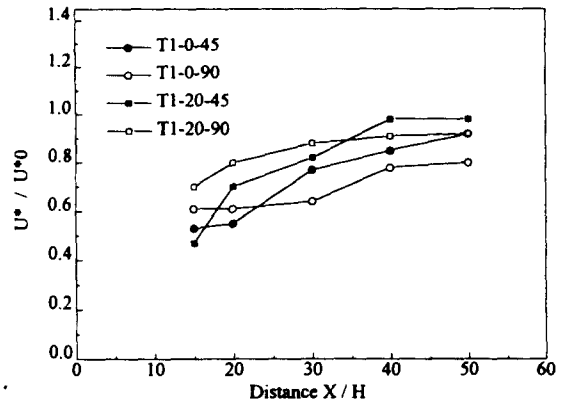


Fig. 8. Downstream variations of friction velocity. (Fences effect of 50% porosity, bottom gap and wind angle [45°, 90°]).

서 평균적으로 90도인 경우에 비하여 45도가 72%의 속도분포 상승을 초래하므로 방풍망을 설치할때 앞바람 방향의 변화에 대한 고려가 포함되어야 하는 것으로 나타나있다.

그러나 gap을 설치하는 경우는 그 gap의 %에 따라 속도분포가 달라진다. 즉, 20%인 경우는 속도분포 상승률이 44%정도인 반면 33%에서는 39%로 gap의 %가 커질수록 속도분포 상승률이 작아짐을 보여주고 있다. 이러한 현상은 gap의 %가 클수록 투과류가 많아짐에 따른 현상이라 할 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 4에서 다공성 25%에 대해 gap 0%와 20%, 고정 설치된 방풍망에 대한 앞바람 방향의 각도가 45도와 90도인 경우를 비교하여 실험한 결과를 나타낸 것이다.

다공면적이 0%인 경우와는 달리  $X/H=15$ 에서의 속도분포가 감소되는 현상을 볼 수 없다. 이러한 현상은 다공면적을 통한 투과류 유동에 의한 것이고, gap이 0%인 경우  $X/H=20$ 이후 하류 유동에서 바람방향이 90도인 경우에 비하여 45도인 경우는 평균적으로 39.5%가 상승되는 속도분포를 보여주고 있으며, gap이 20%인 경우  $X/H=20$ 이후 하류 유동에서 앞바람방향이 90도일 때에 비하여 45도일 때는 평균적으로 15%정도 상승되는 속도분포를 보여주고 있다.

Fig. 8은 다공성 50%인 방풍망 재료 중에서 천과 같은 형태로 짜여진 망으로서 그 구멍이 가로, 세로 각각 1mm로 Fig. 4에서 type I 해당되는 방풍망이며, 표식에서 T1은 type I 을 의미한다.

gap이 0%인 경우 고정 설치된 방풍망에 대한 앞바람방향이 90도인 경우와 45도인 경우를 비교하면,  $X/H=15$ 와  $X/H=20$ 에서는 45도인 경우의 속도분포가 평균적으로 11% 감소하였다가  $X/H=30$ 이후의 하류 유동에서 15% 증가하였다. 이러한 현상은 다공성 25%와 비교하여 보면, Fig. 4에서 보는바와 같이 방풍망에 뚫어진 구멍의 면적 크기로 인한 항력계수의 영향으로 나타난 현상으로 사료된다.

gap이 20%인 경우도 마찬가지로 고정 설치된 방풍망

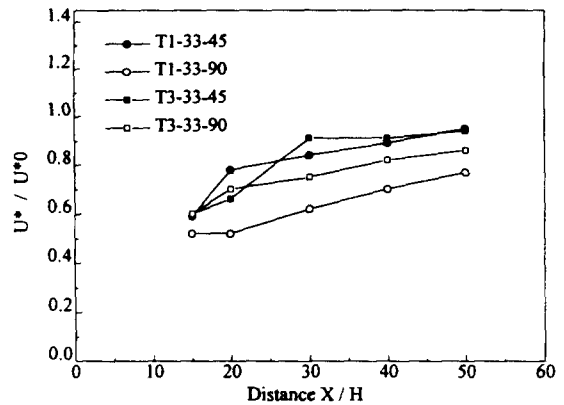


Fig. 9. Downstream variations of friction velocity. (Fences effect of 50% porosity, bottom gap and wind angle [45°, 90°]).

에 대한 앞바람방향이 90도인 경우와 45도인 경우를 비교하면,  $X/H=15$ ,  $X/H=20$ ,  $X/H=30$ 에서 45도인 경우의 속도분포가 17%감소하였고  $X/H=40$ 이후 하류 유동에서 평균적으로 7%정도 서서히 상승하는 것으로 나타났다.

이러한 현상도 다공성 %와 gap의 영향에 상관없이 방풍망 뒤편의 하류 유동에서의 속도분포가 상승됨을 보여주고 있다.

Fig. 9는 다공성 50%인 방풍망 재료 중에서 타원형과 같은 형태로된 망으로서 그 구멍이 크기는 6mm로 Fig. 4에서 type III에 해당되는 방풍망이며, type II와 비교하면 다공성은 같으나 구멍에 따른 면적 크기가 다르다. 이에 대한 비교를 행한 강건(1995)의 풍동 시뮬레이션에서 유사한 결과를 얻었으므로 본 실험에서는 Type I 과 Type III을 비교하였다.

표식에서 T3은 type III을 의미하고 T1은 type I 을 의미한다. 다공성 50% 재료중 서로 다른 형태를 갖는 방풍망 재료를 사용하여 gap 33%를 제작하여 앞바람방향이 90도인 경우와 45도인 경우를 비교하였다.

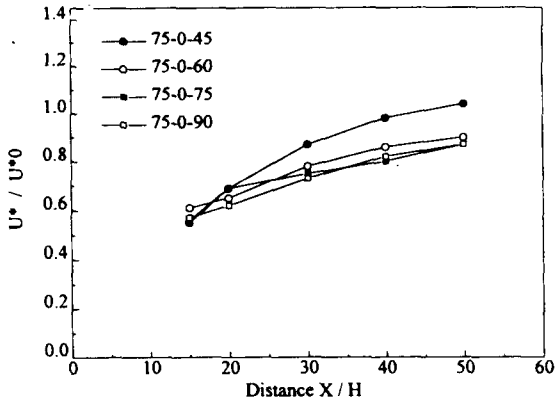


Fig. 10. Downstream variations of friction velocity. (Fences effect of 75% porosity, bottom gap and wind angle [45°, 90°]).

type I의 재료를 사용한 방풍망의 경우, 앞바람방향이 90도인 경우에 비하여 45도인 경우가 평균적으로 30% 증가하는 속도분포를 보여주고 있으며, type III인 경우는 7%만 상승되는 속도분포를 보여주고 있다.

이러한 현상은 다같은 다공성을 갖더라도 형상에 따른 항력계수의 차에서 발생하는 것으로 사료되고 앞으로 연구되어야 할 과제이다.

Fig. 10은 다공성 75%인 경우에 gap 0%로 제작하여 고정 설치된 방풍망에 대해 앞바람방향이 45도, 60도, 75도, 90도인 경우에 속도분포를 실험한 결과를 나타낸 것이다. 다공성 75%는 다공면적이 크기 때문에 gap에 대한 실험은 생략되었다. Fig. 10에서 나타난 바와 같이 60도, 75도와 90도는 10%내외의 거의 유사한 하류 유동을 보이고 있으며, 45도만 X/H=30이후의 하류 유동에서 증가되는 속도분포를 보여주고 있다.

이러한 현상은 바람방향이 60도와 75도인 경우는 90도 방향과 별 차이는 없으나, 45도 방향으로 바람이 불어올 때는 방풍망 효과가 저하되는 것을 의미하고 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 고정된 방풍망에 대한 바람의 유동 방향에 따른 방풍 효과를 알아보기 위하여 방풍망의 모델을 선정하여 그 하류의 유동 속도 분포를 측정하고 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고정 설치된 방풍망을 향해 불어오는 앞바람의 방향이 45도인 경우와 90도인 경우를 비교한 결과, 45도

방향으로 불어오는 바람이 망 하류에서의 속도분포가 보편적으로 크게 나타났다. 따라서 앞바람 방향 변화의 영향이 방풍망 설치시에 고려되어야 할 점으로 생각된다.

2) 방풍망을 설치할 때에는 20% 또는 33%의 gap을 두면, 바람방향이 바뀌더라도 망 하류에서 속도분포의 증가가 비교적 낮게 나타났다.

3) 다공성 75%의 방풍망 실험에서 바람방향이 60도, 75도, 90도인 경우는 망 하류에서 10%내외의 유사한 속도분포를 보였으나 45도인 경우는 속도분포가 30% 증가하는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었기에 이에 감사의 뜻을 표합니다.

### 참 고 문 헌

- 강 건, 1995, 대기경계층내에서 바람에 의해 발생되는 부유물질 제어를 위한 Windbreaks의 풍동 시뮬레이션, 한국환경과학회지, 4 (1), 29-39.
- Bagnold, R.A., 1941, The physics of blown sand and desert dunes, Methuen, London.
- Bagnold, R.A., 1973, The nature of saltation and of bedload transport in water, Proc. Royal Society, A 332, 473-503.
- Castro, I.P., 1971, Wake characteristics of two-dimensional perforated plates normal to an airstream, J. Fluid Mech., 46, Part 3, 599-609.
- Guyot, G., 1977, Les effets aerodynamiques des brise ven, Promoclim E. Etudes Theriques et Aerauliques, T. 8 E (3), 157-188.
- Plate, E.J., 1971, The aerodynamic of shelter belts, Agric. Meteorol, 8, 203-222.
- Owen, P.R., 1964, Saltation of uniform grains in air, Journal of Fluid Mechanics, 20, 225-242.
- Snyder, W.H., 1972, Similarity Criteria for the application of fluid model to the study of air pollution meteorology, Boundary Layer Meteorology, 3, 113-134.
- Sutton, G.H., 1949, Atmospheric turbulence, Methuen, London, 111.
- Townsend, A.A., 1956, The structure of turbulent shear flow, Cambridge University Press 315.