

대기 경계층내에서 바람에 의해 발생하는 부유 물질 제어를 위한 Windbreaks의 풍동 시뮬레이션

강 건

경남전문대학 기계설계과
(1994년 10월 31일 접수)

Wind-Tunnel Simulation of Windbreaks to Control Windblown Dusts in the Atmospheric Boundary Layer

Kun Kang

Dept. of Mechanical Design, Kyung-Nam Junior College, Pusan, Korea
(Manuscript received 31 October 1994)

Abstract

Transport rate of windblown dusts such as soil, sand, snow is proportionate to U_*^3 and U_* , friction velocity, approximately to flow velocity of wind. Therefore, through measurement and the flow velocity of wind, it turned out that, considering different velocity distributions caused by downstream distance and porosity percent, windbreaks with appropriate porosity rate to the protection area should be chosen for the optimal fence effect. In the economic respect, better are fences with gap of 20%~30%. Among the windbreaks to have the optimal fence effect.

Key Word : Windbreaks, Saltation, Surface creep, Suspension

1. 서 론

산업이 고도화 되어감에 따라 다종 다양한 기체상 물질 및 입자로 된 고체상 물질이 대기 중에 방출되어 현대 도시의 대기 중에는 오염물질의 질적, 양적인 증가와 더불어, 많은 연구자들에 의하여 오염물질의 확산, 장거리 이송 및 기체-고체상 물질의 2상 유동에 관한 거동을 규명하기 위해 상당한 관심을 갖기에 이르렀다. 대기 경계층 풍동 시뮬레이션은 오염 지역에서의 대기확산은 물론 고층건물에 대한 바람의 영향 평가 및 교각을 건설할 때에 풍 하중을 시험하기 위하여 사용되어지고 있다.

특히 바람이 심한 곳에서의 흙먼지 및 모래 등의 이동 현상이나 겨울에 차량, 도로 및 비행장의 활주로와 같은 곳에서 눈이 쌓이지 않게 제어하는 문제들도 풍동 연구에서 이루어지고 있으며, 우리나라의 봄에는 바람에 의해 아시아 대륙으로부터 이송되어지는 황사현상등과 같은 부유분진을 제어하는 문제는 오랜 숙원 연구라 할 수 있다. 이러한 문제들의 해결을 위하여 대기 경계층과 유사한 경계층을 실험실 내의 풍동에서 발생시켜 실험 모델상을 통과하게 하여 그 주위의 유동장을 측정하는 대기 경계층 풍동 시뮬레이션에 수행하게 된다.

대기 경계층 실험에서의 측정치들은 실제 대기를 대상으로 한 실측보다 정확하고 직접적인 비교

가 가능하여 이론 모델의 보완 및 평가에 효과적으로 이용될 수 있다.

본 연구에서는 바람에 의해 발생하는 흩먼지나 눈과 모래 등과 같은 고체입자들의 이동현상 개념을 요약하고 바람의 유동속도를 제어할 수 있는 방법으로 방풍망을 이용하므로써 대기유동에 항력을 발생시켜 방풍망 후류에서의 바람 유동속도를 관찰하고 실험적으로 바람의 유동속도를 제어할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 그 결과는 바람에 의해 생성되는 고체입자들의 이동현상을 제어할 수 있는 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 이동현상과 이론 및 상사 고찰

2-1. 고체입자들의 물리적 이동현상

바람이 부는 지역에서 대기에 노출된 고체입자들의 이동현상을 보면, 바람의 속도가 낮을 경우에는 고체입자들이 움직임을 거의 없지만 바람속도가 증가하여 임계값(Threshold Value)을 넘을 경우, 일부 고체입자들은 공기 유동에 의하여 움직이기 시작하고 바람의 속도가 더욱 증가하면 격렬히 요동하던 고체입자들의 이동이 초래된다. 이러한 이동과정은 3가지로 뜬짐(Saltation)과 밀짐(Surface Creep) 그리고 부유(Suspension)로 분류할 수 있다.

상대적으로 작고 가벼운 고체입자들은 유동 공기 중으로 부유하게 된다. 이와 같은 작은 유동 입자들은 느린 낙하속도를 가지며 난류확산에 의하여 비교적 높이 뜨게 된다. 상대적으로 크고 무거운 고체입자들은 지표면에서 얼마간의 높이로 뛰어 오르면서 약간의 거리를 이동하게 되는데, 이러한 현상을 뜬짐이라 한다. 뜬짐하는 유동입자의 높이는 수cm정도이며, 지표면에 떨어지면 어떤 경우는 두 세개의 입자로 분해되거나 아니면 그대로 반복하게 되고, 때로는 지표면에 충돌시 유동입자는 작은 거리를 유동 방향으로 뛰면서 구르게 되는데, 이러한 현상을 밀짐이라 하며 이와 같은 세 가지 이동과정을 도시적으로 Fig.1에 나

타내었다. 뜬짐입자의 궤도는 일반적으로 Fig.1에서와 같이 유사하다. 바람의 유동속도가 증가하게 되면 고체입자들은 공중으로 도약한 후, 짧은 거리를 이동하게 되는데 이때 고체입자가 공중으로 도약하는 높이와 뜬짐거리는 바람의 유동속도 제곱에 비례한다.

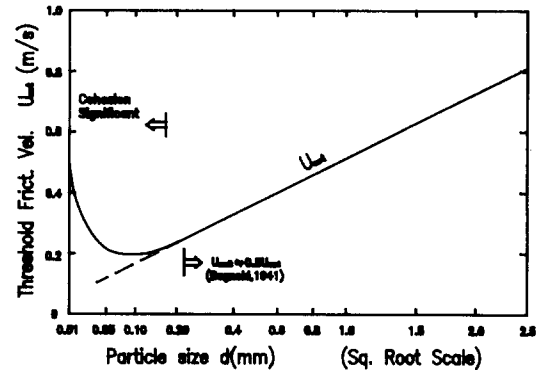


Fig. 1. Sketch of typical saltation, suspension and creep trajectories.

뜬짐을 하는 입자는 그 크기가 비교적 커서 공기난류에 대한 직접적인 영향을 적게 받고, 뜬짐하여 가는 궤도가 매우 완만한 경사로 간다. 뜬짐 궤도는 표면으로부터 75° 에서 90° 사이에서 초기속도 U_i 에 의하여 시작된다(Bagnold, 1941; Chepil, 1945; Kobayaski, 1973).

입자의 표면에 대한 충돌 각도는 10° 에서 16° 정도이다(Bagnold, 1941; White와 Schulz, 1977). Anderson과 Hallet(1986)에 의한 계산결과에 의하면 양력의 영향과 항력의 수직성분이 궤도의 초기 부분에서는 다소 서로 상쇄되어 궤도의 높이는 약 $U_i^2/2g$ 정도가 된다고 제안했다. Owen(1980)은 일정크기의 입자에 대한 그의 연구에서 뜬짐거리 $L=10.3U_i^2/g$ 이고, 도약높이는 $H=0.8U_i^2/g$ 이 됨을 보여주었다. 대부분의 고체입자들은 뜬짐에 의해 이동되기 때문에 특정 바람유동 조건하에서 표면에 있는 입자들이 이동하는 전체적인 량을 알아내기 위하여 그 과정을 물리적으로 표현하면, 표면에 작용하는 전체적인 표면 전단 응력 τ 는 두 가

지 구성요소로 구분할 수 있으며, 그 하나는 바람에 의한 전달응력 τ_w 이고 이것은 표면 위에서 공기를 통하여 전달되는 난류와 점성이 작용하는 기체유동으로 전개되고 또 다른 하나는 입자에 대한 응력 τ_p 로 궤도운동시 입자가 유동공 기로부터 수평 운동량을 받게 되고 표면에 부딪히는 입자의 충격력으로부터 나오게 된다.

2-2. 기초 이론

고체입자가 수송되는 전체입자의 수송율은 다음과 같다.

$$q = c \frac{\rho}{g} (U_* - U_{*t})(U_* + U_{*t})^2 \quad (1)$$

여기서 q 는 단위폭당 평균 수송되는 전체입자의 이동율이고, 상수 C 에 대하여 Kawamura (1951)는 풍동 실험결과로부터 $C=2.78$ 을 제시하였고 White(1979)는 $C=2.61$ 을 제안하였다.

Bagnold(1941)는 그가 제안한 식(2)에서는 균일한 모래의 경우 $C=1.5$, 자연 모래에서는 $C=1.8$ 이 되며 여러 종류의 입자 크기에서는 $C=2.8$ 을 제안하였으며, Owen(1980)은 모래 바람에 대한 실험에서 $C=0.25 + U_f/3U_{*t}$ 로 제안하였다.

$$q = C \frac{\rho U_*^3}{g} \sqrt{\frac{D_p}{D_{p0}}} \quad (2)$$

식(2)에서 D_{p0} 는 표준이 되는 모래(0.25mm)입자의 지름이고 D_p 는 대상입자의 지름이다. 뜰짐에 의한 입자들의 이동율은 마찰속도 U_*^3 에 비례하고 U_* 가 대략적으로 바람의 속도에 비례하기 때문에 이동율은 바람의 속도가 증가함에 따라 급격히 증가한다.

식(1)에서 문턱 조건은 바람의 유동속도가 충분히 증가하여 고체입자에 작용하는 공기 역학적 힘이나 모멘트가 중력과 응집력에 따른 저항력보다 크게 작용할 때 고체입자는 움직이기 시작하고 이러한 조건을 문턱조건이라 한다. 문턱 조건에서 공기 역학적 힘과 모멘트 그리고 중력 모멘트의 관계는 Bagnold(1941)에 의해 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U_{*t} = A \sqrt{\frac{g \rho_p D_p}{\rho}} \quad (3)$$

식(3)에서 상수 A 는 Bagnold(1941)와 여러 학자들에 의해 문턱조건에서 입자의 마찰 레이놀즈 수($Re_{*t} = U_{*t} D_p / \nu$)의 함수가 되고 $A = A(Re_{*t})$ 의 조건은 대기압력 하에서 입자들의 움직일 때이다. 이 식(3)은 응집력 또는 부착력이 무시될 때에만 이용이 가능하며, 공기역학적 힘 및 중력은 지름이 0.1mm이하인 건광석 입자에서는 주 힘이 되지만, 지름이 0.01mm이하인 미세입자들인 경우에는 바람작용에 저항하는 힘은 주로 응집력 또는 부착력이 된다(Phillips, 1980). 그러나 습기가 존재하는 입자에서는 응집력 또는 부착력이 증가한다. Fig.2는 건입자층에서의 입자의 지름과 문턱 마찰속도 U_{*t} 의 관계를 보여주고 있다.

눈의 경우에는 응집력 또는 부착력이 항상 주가 되고 문턱 마찰속도 U_{*t} 를 결정하는 중요한 요소가 된다. 왜냐하면 신선한 눈 입자의 복잡한 형상은 열역학적으로 안정치 못하고 질량은 눈이 떨어짐과 동시에 재 분산 과정이 시작되거나 눈이 접착 면에 녹아 붙는 경향이 있기 때문이다. (Lachapelle, 1969)

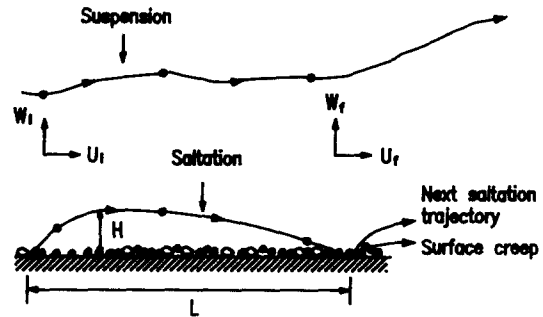


Fig. 2. Threshold velocity for S.G. 2.7 mineral particles in atmospheric air (Based on figure(6) of Iversen & White, 1987)

자연적으로 발생된 고체입자들은 일반적으로 입자크기에 대한 입자분포를 가지고 있어서 표면에서의 문턱속도는 입자의 크기 군에 영향을 받는 경우가 있다. 표면의 입자층 많은 부분이 공기유

동에 드러나 있기 때문에 문턱속도에 도달하면 표면에서의 입자들은 이동하거나 뜰 정도로 격렬한 요동을 하게 된다. 작은 입자들은 상대적으로 입자량이 작기 때문에 주된 입자 군에 의해 차단되어 비록 작은 입자의 문턱속도에 도달되었다 하더라도 움직이지 못한다. 주된 크기의 입자 군이 뜰치게 되면 모든 크기의 입자는 뜰치는 입자에 의해 충돌하게 되어 움직이게 된다. 주된 입자 크기 군이 응집력을 받고 큰 입자가 응집력을 받지 않을 경우 큰 입자가 표면에서 문턱속도를 결정한다. 일정높이 Z에서 문턱속도의 관계는 Bagnold(1941)의해 대수평균 속도 관계식으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U_t = 5.75A \sqrt{\frac{g\rho_p d_p}{\rho}} \log \frac{Z}{Z_0} \quad (4)$$

여기서 U_t 는 Z높이에서의 속도이고, Z_0 는 표면 거칠기 상수이다.

고체입자들의 이동은 바람의 유동속도에 따라 표면 밀집만 일어나는 경우와 바람의 유동속도가 증가함에 따라 3가지 물리적 이동현상 모두가 일어나는 경우로 구분할 수 있으며 대부분의 모래와 같은 입자들은 뜰짐에 의하여 이동되고 20%에서 25%정도의 입자들만 표면 밀집을 하게 된다 (Bagnold, 1941).

부유할 수 있을 만큼 작은 입자들의 이동현상은 공기의 난류운동과 밀접하게 연관되어 있어 예측 불허의 움직임을 초래하게 된다. 문헌들에 의하면 부유는 난류확산이 상승 이동을 제공하고 중력에 의한 정상 상태에서 입자가 평형을 이룬다는 가정을 할 때 부유는 계속될 수 있다 (Shiotani 와 Arai, 1953; Budd, 1966; Anderson과 Hallet, 1986).

부유입자들의 유동현상에 의한 이동 과정을 고찰하여 보면 이동 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial m}{\partial t} + V \cdot \nabla m = \nabla \cdot K_c \nabla m + Q \quad (5)$$

식(5)에서 m 는 부유입자의 체적농도이고, K_c 는 난류 확산계수이며 Q 는 용출이다.

식(5)에서 정상류이며 Z방향에 대한 일차원만 고려하고 용출이 없다고 가정하고, U_z 는 최종 낙하속도 이므로 $-U_f$ 로 고쳐 쓰면 식(6)과 같다.

$$-U_f \frac{\partial m}{\partial Z} = \frac{\partial}{\partial Z} K_c \frac{\partial m}{\partial Z} \quad (6)$$

부유되는 입자들은 유체입자에 비하여 대단히 크고,높이가 dZ인 작은 검사체적이라 생각하면 식(7)을 산출할 수 있다

$$-U_f m + A = KU_s Z \frac{\delta m}{\delta Z} \quad (7)$$

여기서 K 는 Von Karman 상수이다. 식(7)을 다시 쓰면

$$m = m_a \left(\frac{Z}{Z_a} \right)^{-\frac{U_f}{KU_s}} \quad (8)$$

식(8)에서 크기가 다른 입자 군에서의 부유입자는 서로 작용하지 않는다고 일반적으로 가정한다. 그래서 식(8)은 여러 크기군의 입자에 대해 독립적으로 적용될 수 있다.

Bagnold(1941)에 의하면 부유에 의한 입자들의 이동율은 U_*^3 에 비례하고 입자의 지름 D_p 에 반비례하므로 상수를 도입하여 식(9)과 같이 표현하였다.

$$q_s = C \frac{U_*^3}{D_p} \quad (9)$$

여기서 q_s 는 부유에 의한 입자들의 이동율이고, 이것은 입자들이 대기에 확산될 때에 난류확산 되기 때문에 체적농도와 비례한다.

2-3. 상사 고찰

2-3-1. 대상지와 모형의 상사

바람의 유동에 의해 생성되는 부유물질(흙먼지, 눈, 모래 이동등)은 앞절에서 언급한 바와 같이 고체입자들의 이동율은 U_*^3 에 비례하고 마찰속도 U_* 가 대략적으로 바람의 유동속도에 비례하기 때문에 방풍망을 이용함으로써 공기유동에 항력을

발생시켜 유동속도를 줄이는 방법으로 여러 종류의 방풍 망을 이용하여 방풍망 뒤편에서의 속도분포를 관찰하는 실험을 하게 된다.

본 연구에서의 대상 지역은 California에 있는 Owens 호수를 원인 제공처로 가정하며, 대상지역 Owens 호수는 어떤 이유로 인하여 지금은 물이 말라 모래와 흙먼지로만 되어있는 건조수이며, 이곳에서 바람의 유동에 의하여 각종 부유물질이 도시로 이송되는데 이와 같은 현상은 봄에 아시아 대륙으로부터 이송되어지는 우리 나라의 황사현상과 흡사하다.

실제 축척에서 방풍망의 조건들을 적절히 상사되게 하기 위하여 바람의 유동에서 동적, 열적성질 뿐만 아니라 자연적으로 일으키는 바람에 대한 특성들의 모형이 필요하다. 그러나 중력과 공기의 동점성계수는 공기의 속도나 방풍망의 높이 등과 같은 변수들처럼 측정할 수 없는 성질들 때문에 모든 실제축척의 변수들을 동시에 조화시키는 것은 일반적으로 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 그 영향을 적게 하는 상사기준을 세워 합리적인 계산을 얻고자 한다.

2-3-2. 국부 바람 특성 상사

풍동 경계층 난류유동에 대한 평균속도 분포는 실제 축척 내에서 존재한다고 알려진, 경계층 전 깊이에 걸쳐 식(10)에 의해 주어지는 지수함수 법칙과 반드시 일치하여야 한다.

$$\frac{U}{U_\infty} = \left(\frac{Z}{\delta}\right)^\alpha \tag{10}$$

여기서 U_∞ 는 경계층 상부의 풍속이고 δ 는 경계층 두께이며 경계층내 높이 Z 에서의 유속은 U 이다. 시뮬레이션 하고자 하는 실제 축척에 대한 지수 α 값은 표면의 거칠기에 따라 다르며 매우 큰 도시인 경우에 α 값은 0.40이고 고요한 바다인 경우에 α 값은 0.10으로 이 값은 대상지역에 따라 변화시킬 수 있다. 특히 모래와 흙먼지로 이루어진 사막의 경우에는 여러 데이터들에 의해 평균적으로 0.15로 한다. 이 값은 사막분지 표면에 대한 E.S.D.U.(Engineering Science Data Unit)에서 제공

된 Table과 비교하면 실제 축척에서 0.12와 비교적 잘 일치한다.

식(10)은 또한 경계층 20%내에서 대수 평균 속도관계식(11)과 일치하여야 하고 이것은 대수영역 내에서 축소된 모형을 갖기 위해서이다.

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{Z}{Z_0}\right) \tag{11}$$

여기서 K 는 Von Karman의 상수로서 그 값은 0.418이고, U 는 Z 높이에서의 평균 풍속이며, Z_0 는 대상지역의 거칠기 길이이다.

1m의 풍동 경계층 두께에 대하여 방풍망 모형의 높이는 약 10cm 이하가 될 것이며 1 : 10의 모형 축소에 대하여 10cm높이는 실제축척에서 1.0m높이에 해당된다. 실제 축척에서 대기 경계층은 난류이므로 풍동에서도 경계층 유동이 난류이어야 한다. 동일한 유동조건하에서 매끄러운 표면과 일치되는 점성 하부층의 두께보다 거칠은 표면(나무, 바위, 건물 등)이 크다면 즉, 지구표면과 같이 거칠은 표면을 공기역학적 거칠기라 할 수 있다. 거칠기 레이놀즈수 Re_z 가 2.5보다 크다면 그 표면은 공기역학적 거칠기가 되고 경계층은 난류가 된다(Sutton, 1949).

$$Re_z = \frac{U_* Z_0}{\nu} > 2.5 \tag{12}$$

본 실험에 사용되어지는 풍동 데이터는 자유유동 풍동속도 U_∞ 가 3.8m/s, 거칠기 높이 Z_0 가 0.0025m, 마찰속도 U_* 가 0.21m/s가 주어진다. 공기의 동점성계수 ν 를 $1.51 \times 10^{-5} m^2/s$ 로 사용하면 거칠기 레이놀즈 수는 약 35이어서 앞에서 언급된 식(12)를 만족한다.

난류 강도분포를 나타내는 u'/U 와 Z 의 관계는 전단층을 통하여 유동방향의 난류변화를 나타낸다. 풍동에서 난류강도 분포는 실험이 행하여지는 경계층의 하단부 20%내에서 실제 축척과 일치한다.

2-3-3. 방풍망의 모형 상사

실제축척의 크기에 대한 축소는 풍동의 크

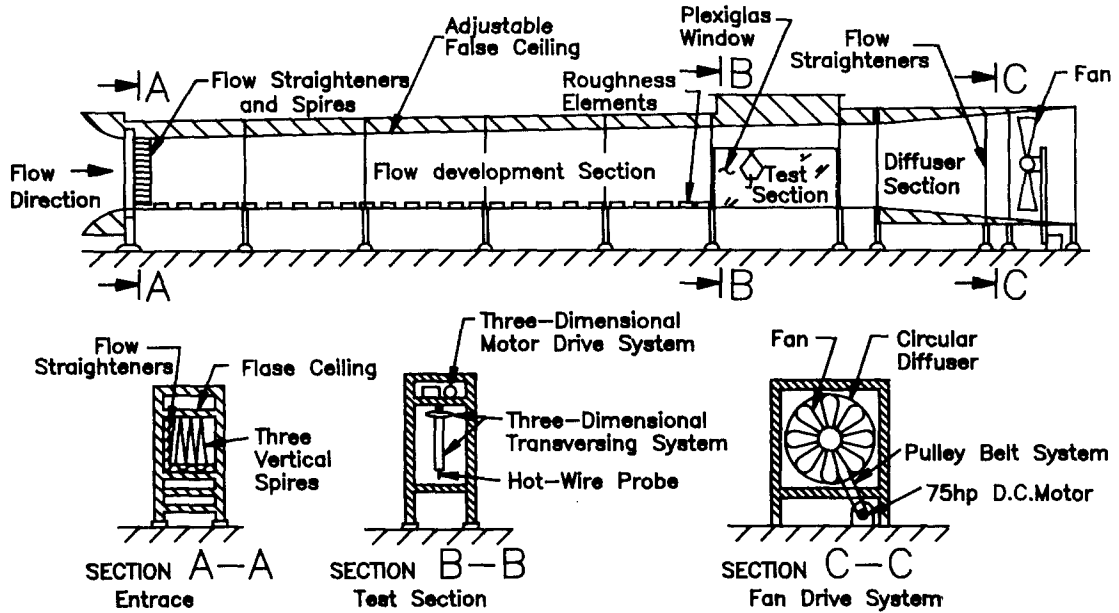


Fig. 3. Diagram of the wind-tunnel showing entrance cone and flow straighteners(Section A-A), test section with various probes(Section B-B), and diffuser-drive system(Section C-C)

기에 의존된다. 일반적인 기하학적 상사 비는 1 : 10으로부터 1 : 1000정도이며 매우 큰 상사비의 경우는 더 큰 풍동 시설일수록 최적에 유동상사와 풍동효율을 가질 수 있다. 본 실험에서의 모형은 1 : 10으로 축소하였다.

2-3-4. 바람 속도 상사

실제축척에서의 대상이 되는 바람속도는 3~20m/s범위이다. 자연풍의 상사 비는 방풍망이 없는 상태에서 방풍망 높이에서의 바람속도를 기준으로 하며, 풍동에서의 속도는 약 1~7m/s범위이며 이 속도는 만족할 만한 안정된 속도가 주어질 때까지 풍동을 작동한 후의 속도이다.

2-3-5. 방풍망 레이놀즈수의 상사

방풍망 레이놀즈수는 망표면에서 마찰력 또는 점성력과 관성력의 비로 결정된다. 그 관계식은 식(13)과 같다.

$$Re_h = \frac{U_h h}{\nu} \quad (13)$$

여기서 h 는 망의 높이이고 U_h 는 그 높이에서의 속도이며 ν 는 동점성계수이다.

식(13)에서 U_h 와 h 는 축척인자 S 에 따라 작은 값으로 조정되는 반면 동점성계수는 풍동과 실제 축척에서 서로 같은 값을 가지기 때문에 망 레이놀즈수는 실제축척에서 보다 모형의 레이놀즈수가 100배 내지 1000배 정도 작아져서 모형을 축소하여 풍동 시물레이션을 할 경우에 큰 제약을 받는다.

대기 유동에서는 레이놀즈수가 충분히 큰 난류 구조가 전반적으로 유지되기 때문에 대부분의 모형들은 더 작은 레이놀즈수에서도 합당하다고 가정하였고 이것은 레이놀즈수의 독립의 원리에 기초를 두었다. 이 원리에 가정은 열과 Coriolis 효과가 없으며, 기하학적 상사 유동은 충분히 큰 레이놀즈수에 대하여 유사하다(Townsend, 1956).

대기 유동에서와 같이 매우 작은 난류로 유동

이 균일하게 지나가는 구조물에 대하여 확립된 임계 레이놀즈수는 11,000이다.(Snyder, 1972)

작은 표면 거칠기로 구성된 위를 유동하는 경우를 보면, 작은 구조물을 지나는 유동에 대하여 매우 낮은 풍동 속도와 매우높은 풍동속도 대한 평균 속도분포를 구하여 비교하면 임계 레이놀즈수가 3,500이나, 낮은 경우에도 난류강도 분포는 비교적 유사하다.

3. 실험 장치 및 방법

3-1. 풍동

본 실험에서 사용되어지는 풍동은 대기 경계층 풍동으로서 Fig.3에서 보는바와 같이 풍동은 Tunnel을 통하여 공기를 팬으로 흡입하는 개방형으로 되어있다. Tunnel은 입구부분, 유동발달 부분, 3차원 원격조정이 가능한 탐침장치가 있는 시험부분과 확산부분으로 되어있으며 75마력의 DC 모터로 작동되며 총길이는 22m이다. Tunnel내부에서의 바람의 속도는 1m/s 에서 10m/s까지 변화시킬 수 있다.

Fig.3에서 입구부분 A-A는 입구에서 유동 난류 수준이 최소가 되는 흡입유동의 수축 면적비(4 : 1)가 되도록 타원형으로 되어있다. 수축 면적비 다음에는 공기 필터가 있고 이 공기 필터는 흡입 공기중 지름이 거의 2-3micron이상의 공기중 먼지 입자들을 걸러내는 역할을 하며 큰 압력변동을 줄이는데 이용된다. 필터 뒤에는 벌집부형상의 유동 직류화 장치가 있어서 난류강도를 더욱 줄이는데 이용된다. 유동발달 부분의 길이는 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 바닥표면에 나무로된 직사각형 블록들을 놓아서 문제의 대상지역과 일치하는 속도분포를 이룰 수 있게 하였다. 또한 유동 발달 부분의 입구에는 유동 직류화 장치 바로 뒤에 3개의 수직 삼각형 수직 탐이 설치되었

다.

B-B부분은 유동방향으로 3.7m이고 가로,세로는 1.7m×1.2m이며, 유동방향의 압력구배를 없애기 위해 조정이 가능한 천정으로 제작되었다. 시험부분의 출입문은 Plexiglas의 재질로서 되어있으며 크기는 2m×1m이고 두께는 0.23m이다. 3차원 탐침장치는 정확한 탐침의 위치와 탐침장치로 인한 유동의 영향을 줄이고 빠른 속도로 이동이 가능하게 되어있다. 확산부분은 길이가 2.4m이고 직사각형 단면 시험부분에서부터 원형단면까지 계속적으로 확장되어 있다.

C-C부분은 8개의 날개를 가지고 있고, 팬의 지름은 1.8m이고 75HP에 의하여 구동된다. 모터와 팬의 연결은 폴리와 벨트로 되어 있다.

3-2. 측정 장치

속도 측정은 Dantec 저속 분석기와 열선 탐침(TSI -1210)으로 모든 속도와 난류를 측정하는데 사용된다. Dantec 센서는 보정되어 제작되었으나 열선 탐침을 보정하기 위해 사용된다.

열선 탐침 보정은 TSI 1125 보정기와 Merian micro -manometer를 사용하여 보정하고, 보정하기에 앞서, Micro manometer를 영에 맞추고 측정하기 전에 몇 분동안 평형상태가 될 때까지 기다린 후, 단열선 탐침을 보호장치에 끼워서 위의 장치에 벽을 통하여 안쪽으로 중심까지 밀어 넣고 중심에 있는가를 확인하고 주위 온도와 압력을 확인한 후, Micro-manometer에서 압력의 눈금은 최대 유동속도에서 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 단열선교정 데이터는 1kHz 표본율에서 이루어지며 필터를 사용하여 주파수를 500Hz이내로 제한한다. Dantec 탐침과 열선 탐침에서 풍속측정은 TSI model 1125 교정장치를 이용한 실험에서 5%의 오차가 있는 것으로 알려졌다.

탐침은 시험부분 내에서 3차원으로 움직이게

장치되었고 출력은 각각 X,Y,Z방향을 가리키는 3개의 전위차계에 연결되어 위치가 변할 때마다 전위차계에 전위차가 변한다. 디지털 전압계를 사용함으로써 3방향의 탐침의 위치를 확인할 수 있다.

Dantec 탐침을 방풍망 주변의 지정된 위치에 놓으면 유동속도와 난류치는 60초 주기로 추출되어 나타난다. 이때에 평균속도와 난류의 데이터들은 자동적으로 On-Line을 통하여 분석되며 Dantec 저속 분석기는 60초 주기로 평균한 근 평균 제곱 속도 값과 평균 속도 값을 디지털로 나타낸다.

3-3. 방풍망의 모델

방풍망의 모델은 Fig.4에서와 같이 10cm높이와 폭은 풍동의 횡단길이에 맞추어 제작하였다.

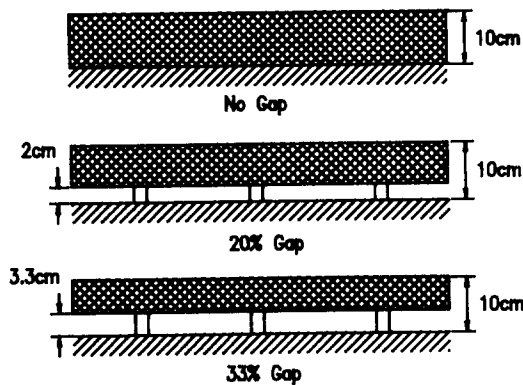


Fig. 4. Model of fence.

망의 재질은 PVC로된 재질로서 다공성은 0%, 25%, 50%,75%로 제작되어 평균속도를 측정 비교한다.

망의 각도는 90°로 고정시키고 망의 공간은 망의 전체높이에서 0%, 20%, 33%로 제작하였고 Fig.4에서 보는 바와 같다

Fig.5는 다공성 면적에 대한 구멍들의 지름과 구멍의 형상을 보여주고 있으며 이 구멍들은 격자로된 천과 같이 짜여진 것과 원형 구멍, 타원형 구멍으로 제작하였다.

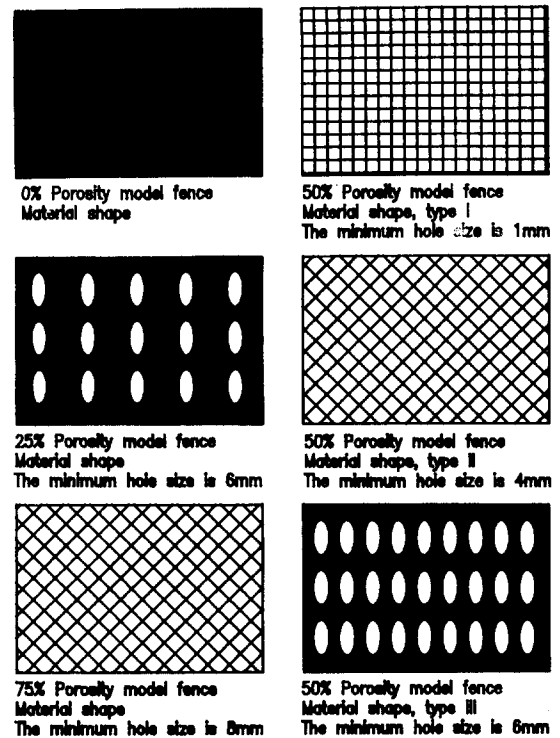


Fig. 5. Material shape of model fence.

4. 결과 및 고찰

Fig.6(a,b)는 다공성 0%, 25%, 50%, 75%의 방풍망을 설치하여 망의 하류유동의 무차원 거리에 대한 무차원된 마찰속도 분포와 표면 전단응력비의 분포를 보여준다.

무차원 거리 X/H 는 망으로부터의 거리와 망의 높이이며 U_0 는 망이 없는 상태에서 속도분포를 측정한 다음 마찰속도항으로 나타내었고, U_s 는 망이 설치된 상태에서 평균속도를 측정하여 마찰속도항으로 나타내어 무차원화된 속도분포와 전단응력비의 분포를 나타내었다.

다공성 0%는 방풍망을 통하여 흘러나오는 유동이 없기 때문에 망뒤의 가까운 지역에 정체지역이 형성되어 난류강도가 낮아져 평균속도가 크게 감소하고, 하류유동의 먼 거리에서는 25%보다 높은 속도분포로 회복됨을 보여주고 있다. 다공성 50%

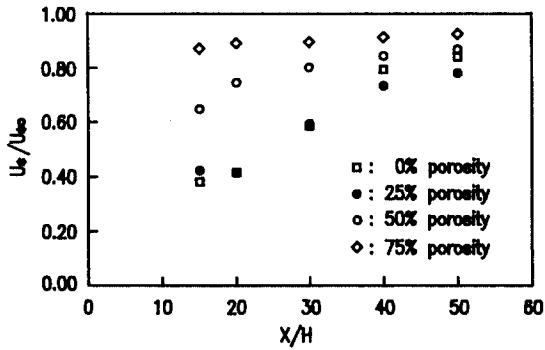


Fig. 6(a). Downstream variations of friction velocity.

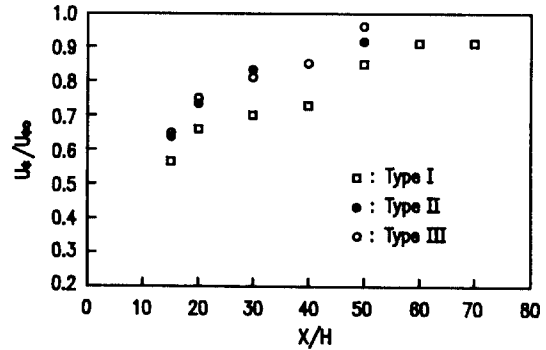


Fig. 7(a). Downstream variations of friction velocity for 50% porosity.

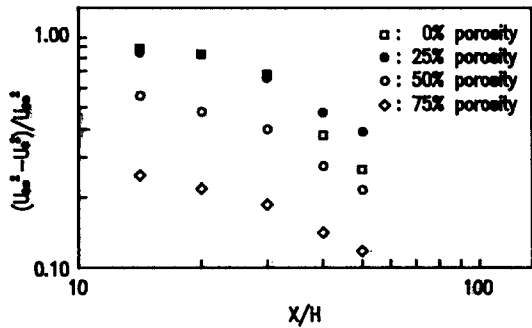


Fig. 6(b). Downstream variations of surface shear stress.

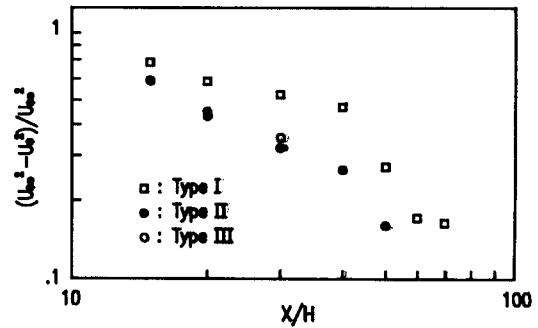


Fig. 7(b). Downstream variations of surface shear stress perturbation for 50% porosity.

의 방풍망은 망 가까운 지역에서는 난류강도가 0%나 25%망에서보다 높아져 평균속도가 빨라지는 경향을 보이고 있으나 X/H=50에서는 거의 유사한 경향을 나타낸다.

다공성 75%의 방풍망은 바람의 속도를 줄이는 데에는 큰 효과가 없음을 보여주고 있어서 바람의 속도를 줄이고자 하는 지역과 바람의 영향에서 보호하고자 하는 거리에 따라 방풍망의 다공성 %를 선택해야 하는 결과를 얻었으며 넓은 지역에서 바람의 평균속도를 줄이기 위해서는 여러 방풍망중 다공성 50%의 방풍효과가 본 실험에서는 최적으로 나타났다.

Fig.7(a,b)은 다공성 50%의 방풍망을 Fig.5에서 보는바와 같이, 같은 다공면적비에서 구조 형태를 바꾸어 제작된 Type I, Type II, Type III에 대

한 마찰속도와 전단응력 분포를 거리에 따라 나타내었다.

Fig.7(a)에서 U_{e0} 는 망이 없는 상태에서 망의 높이 10cm에서 측정된 평균속도와 망 하류의 거리변화에 따라 측정된 평균속도를 마찰속도항으로 나타내었다. Fig.7에서 보는 바와 같이, 같은 50%의 다공성이라 할지라도 면적비의 구성형상에 따라 속도분포가 망의 가까운 거리에서 많은 차이가 있음을 보여주고 있으며 Type I, Type II, Type III중에서 Type I이 가장 좋은 속도감소를 나타내고 있다.

Fig.8(a,b)은 Type I, Type II, Type III중에서 방풍효과가 가장 좋게 나타난 Type I의 방풍망으로 Fig.4에서와 같이 20%와 33%의 Gap있는 방풍망

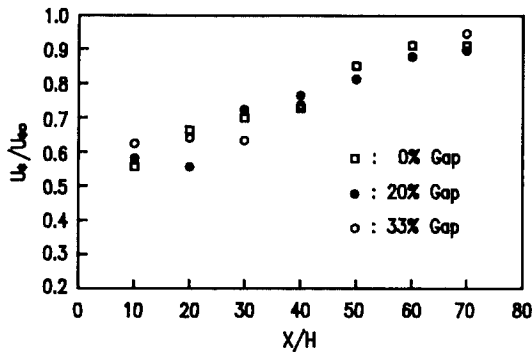


Fig. 8(a). Downstream variations of friction velocity for 50% porosity, Type I fence of different gaps.

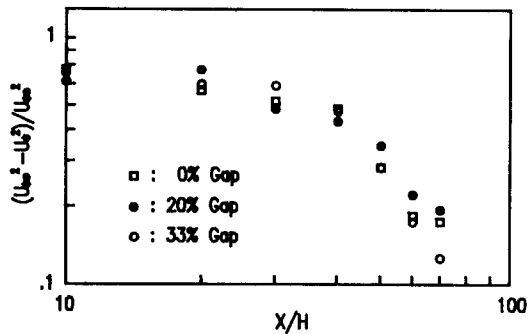


Fig. 8(b). Downstream variations of surface shear stress perturbation for 50% porosity, Type I fence of different gaps.

을 설치하여 속도분포의 경향을 나타내었고 0%는 Gap이 없는 방풍망을 설치하여 속도를 측정 후 Gap의 영향을 비교하였다. Gap에 의한 속도분포의 영향은 5%정도이므로 경제적인 면에서 방풍망을 제작할 적에는 20%또는 33%의 Gap을 두는 것이 바람직하고 사료된다. Gap에 의한 속도분포의 영향은 5%정도이므로 경제적인 면에서 방풍망을 제작할 적에는 20%또는 33%의 Gap을 두는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 바람의 유동에 의해 발생하는 흙

먼지, 모래또는 눈등과 같은 고체입자들의 이동율은 U_*^3 에 비례하고 마찰속도 U_* 가 대략적으로 바람의 유동속도에 비례하기 때문에 바람의 유동속도를 제어할 수 있는 방법으로 여러 가지 방풍망의 모델을 선정하여 그 후류의 유동속도 분포를 측정하고 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 방풍망의 방풍 효과는 망 후류에서 거리와 다공성 %에 따라 속도분포가 달라지므로 보호지역에 알맞은 방풍망의 다공성 %를 선택해야하는 것으로 나타났다.
2. 방풍망을 설치할 때에는 경제적인 면을 고려하여 20% 또는 33%의 Gap을 두는 것이 바람직하게 나타났다.
3. 다공성 50%의 방풍망 중 천과 같이 부드럽게 짜여진 Type I의 방풍망이 최적 효과로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1993년 대학교수 국비해외파견 지원 계획에 의하여 University of California, Davis에서 이루어졌으며 관계자 여러분들에게 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- Anderson, R.L. and Hallet, B., 1988, Sediment Transport by Wind, Toward a General Model, Geological Society of America Bulletin, Vol.97, pp.523-535.
- 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 A332, pp.473.
- Budd, W. F., Dingle, W.R.J. and Radok, U.,

- 1966, The Byrd Snow Drift Project, Outline and Basic Results, in Rubin, M. <ed.> Studies in Antarctic Meteorology, American Geophysical Union Antarctic Research Series, Vol.9, pp.71-115.
- Chepil, W. S., 1945, Dynamics of Wind Erosion
1. Nature of Movement of Soil by Wind, Soil Science, Vol.60, pp.305-320.
- Kawamura, R., 1951, Study of Sand Movement by Wind, University of Tokyo, Report of the Institute of Science and Technology 5, Number 314.
- Kobayashi, D., 1973, Studies of Snow Transport in Low-Level Drifting Snow, Contributions No.1200 from the Institute of low Temperature Science, Sapporo, Japan, Series A, Report A31, pp.1-58.
- Lachapelle, E. R., 1989, Field Guide to Snow Crystals, University of Washington Press, Seattle.
- Owen, P. R., 1980, Sand Movement Mechanism, Workshop on Physics of Decertification, Int. Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy.
- Phillips, M., 1980, A Force Balance Model for Particle Entrainment Into A Fluid Stream, Journal of Physics D : Applied Physics, Vol.13, pp.221-233.
- Shiotani, M. and H. Arai, 1953, A Short Note on the Snow Storm, Congress on Applied Mechanics, Science Council of Japan.
- Sutton, G.H., 1949, Atmospheric turbulence, Methuen, London, pp.111.
- Townsend, A. A., 1958, The structure of turbulent shear flow, Cambridge Univ. press, England, pp.3156.
- Townsend, A. A., 1958, The Structure of Turbulent Shear Flow. Cambridge University Press.
- White B.R., 1988, The Encyclopedia of Fluid Mechanics, Publishing Company, pp.239-282.
- White B.R. and J.C. Schulz, 1977, Magnus Effect in Saltation , Journal of Fluid Mechanics, Vol.81, pp.497-512.