

풍동실험을 이용한 다공성 방풍팬스의 방풍성능실험

Experiment of the Shelter Effect of Porous Wind Fences based on the Wind Tunnel Test

유 장 열* 전 중 길** 김 영 문***
You, Jang-Youl Jeon, jong-Gil Kim, Young Moon

ABSTRACT

We have conducted the study about the shelter effect against the wind by using the wind fence with various porosities and the measured distance from the wind fence, in three different types of it ; (Circle wind fence, Vertical wind fence, Horizontal wind fence) The shelter effect and turbulence characteristics of the selected wind barrier is thoroughly investigated by wind tunnel test. flow characteristics of velocities and turbulences behind wind fence were measured using hot-wire anemometer. we characterize the turbulence behind the wind fence by varying the porosity of 0 %, 20 %, 40 %, and 60 %, and the distances from the wind fence from 1 H to 9 H with maintaining the uniform flow velocity of 6 m/s. In addition, we investigated the overall characterization of the wind fence by measuring total of twenty eight points on the wind fence, which forms the lattice structure on it with seven points in lateral direction and four points in vertical direction. The results of analysis from the circle wind fence indicate that the degree of the turbulence is lowered and the velocity of the wind is decreased when the porosity of 40 % are used at the distance from 3 H to 9 H. On the other hand, the vertical, horizontal wind fence with the porosity of 20 % is more advantageous at the distance of 2 H to 9 H. For the effectiveness of the wind fence depending on the position, the center part is the greatest and it decreases at the edges with 10 % to 30 % less than that of at the center.

Keywords : hot-wire anemometer, wind fence(Circle, Vertical, Horizontal), porosity, uniform flow

1. 서 론

방풍팬스(wind fence)는 바람에 의한 원료 야적장의 원료 비산 방지와 농작물 피해방지 및 바람이 심한 곳에서의 흙먼지 차단 및 비행장의 활주로와 같은 곳에서의 눈이 쌓이지 않게 하는 등 바람에 의한 물질을 제어하기 위한 수단으로 많이 사용되어 오고 있다.¹⁸⁾ 더욱이 산업이 고도화 되면서 도심 및 근교에 많은 공장들이 건설되어 대기오염 물질의 확산으로 인한 피해들이 많이 발생하게 되었다.

특히, 대기오염물질의 확산과 겨울철 고속도로 주변의 눈바람에 의한 차량 주행 시 시야 확보에 어려움이 있어 이를 제어하기 위한 풍공학적 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 지금까지 대기경계층내의

방풍벽의 공극률 변화에 따른 방풍벽 뒷면에서 발생하는 후류에 관한 연구가 이루어지고 있지만, 다공벽 후류운동은 공극률의 기류 조건과 설치조건이 방풍팬스 주위에서의 바람의 특성에 따라 여러 구역으로 구분되어 복잡하기 때문에 최적의 조합을 얻기는 어려운 실정이다. 그러나 공극률의 변화에 따라 이러한 효과는 다양하게 나타나고 있어 1960년부터 이에 대한 연구가 많이 이루어지게 되었다. Perera(1981),⁷⁾ Ranga(1988)⁹⁾ 등은 방풍팬스의 다공률 변화에 대한 방풍팬스 후면에서 발생하는 평균 풍속과 난류강도의 변화를 중심으로 연구를 하여 다공률이 30 % 이상이 되었을 때 방풍벽 후면에서 발생하는 회전와류현상이 사라지는 것을 알아냈다. 국내에서도 Lee,¹⁶⁾ Park(1998,1999)에 의해 방풍팬스의 높이, 다공률, 팬스간격에 따른 삼각형 야적장에 대한 풍압실험을 실시하여 다공률이 30%-40%일 때

* 전북대학교 건축·도시공학과 박사과정

** 전주비전대학 건축과 교수

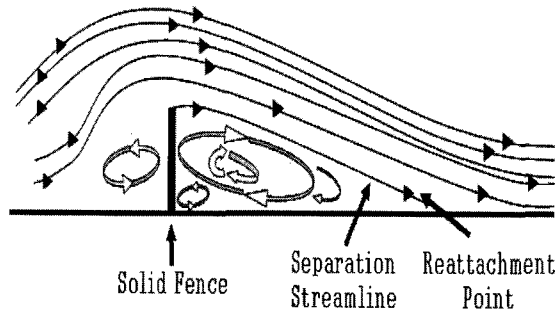
*** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학과교수, 공업기술연구소장

방풍팬스의 최적에 방풍효과를 발휘한다는 것을 발표하였다. 본 논문은 방풍팬스의 형태(원형, 수직, 수평)에 따라 원형 방풍팬스, 수직 방풍팬스, 수평 방풍팬스로 분리하여 공극률(0%, 20%, 40%, 60%) 변화와 방풍팬스 후면의 거리별(1 H ~ 9 H) 측정에 따른 기류특성에 대해서 면밀히 분석하여, 방풍팬스의 설치를 통한 풍속의 저감방법을 적용하고자 하는 경우, 보다 효율적이며 실용적인 방풍팬스 설계를 위해 고려되어야 할 변수들을 실험적 연구를 통해 제시하고자 한다.

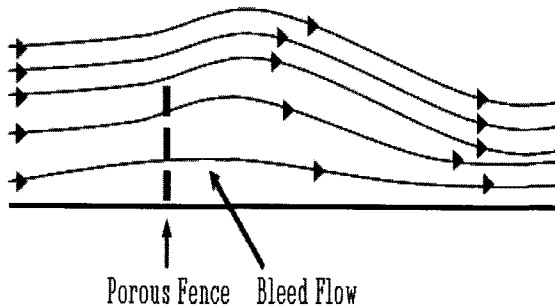
2. 방풍팬스 풍동실험

2.1 방풍팬스의 종류와 특성

방풍팬스는 3가지 형태로 Windbreak, Shelter belt, Fence로 구분할 수 있다. Windbreak는 수직으로 된 판을 지상에 고정된 장애물로 바람의 속도를 줄이는 방풍망이고, Shelter belt는 Windbreak의 형태로서 식물로 된 나무를 세워 울타리 형태로 만들어 사용하는 것을 말하며, Fence는 Windbreak보다 얇은 평판으로 금속이나 플라스틱, 나무 등 여러 가지 재료들로 구성 되어 있다. 그러나 Windbreak,



공극률이 없는 방풍팬스의 기류 흐름



공극률이 있는 방풍팬스의 기류 흐름

<그림 1> 다공률 변화에 따른 기류의 흐름

Shelter belt, Fence는 가끔 용어가 바뀌어 사용되기도 하며, 국내에서는 그 모양에 따라 방풍망, 방풍림 또는 울타리로 사용되고 있다. <그림 1>은 방풍팬스의 공극률 유무에 따른 방풍팬스 후면에서 발생하는 기류의 형상을 나타내고 있으며, 공극률이 없는 방풍팬스의 경우는 방풍팬스 후면에 재 부착점(reattachment) 존재하고 이에 따른 작은 와(渦)가 발생을 하지만 공극률이 있는 방풍팬스의 경우는 팬스 구멍 사이로 바람이 투과되어 방풍팬스 후면에 재 부착이 억제가 되면서 작은 와(渦)의 발생이 소멸됨을 보여주고 있다.

2.2 풍동실험

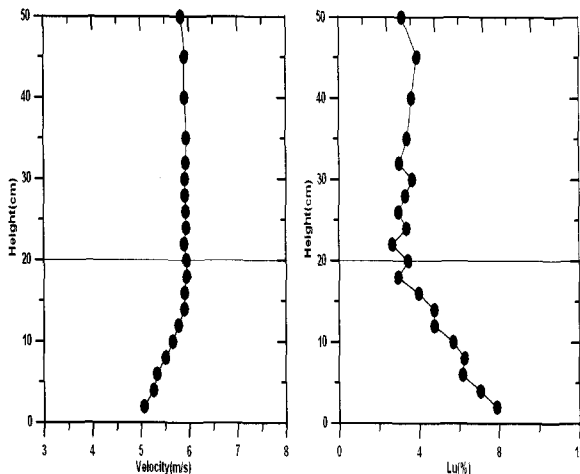
본 논문에서 방풍팬스 실험은 전북대학교 건축도시공학부에 속한 경계층 풍동 실험실(BLWT Laboratory)에서 실시하였으며, 풍동의 실험부 단면은 폭이 1.5 m 높이가 1.2 m이고 길이는 12 m인 개방형 풍동이다. 측정에 사용된 풍동내 기류는 균류류(uniform flow)로서 일정한 바람의 상태를 유지하기 위해서 풍동 측정부내의 조도블럭(roughness block), 스파이어(spire), 월(wall), 바(bar)를 모두 제거하여, 풍동 바닥면에서 5 cm간격으로 높이 50 cm까지 각각의 높이에 대해 풍속을 측정하여 평균풍속과 난류강도를 측정하였다. <그림 2>는 균류류(uniform flow)상태에서 높이별 평균풍속의 수직분포와 난류강도의 수직분포를 나타내고 있으며, 자유경계층이 형성되고 있는 것을 확인할 수 있었다. <그림 3>은 자유경계층의 영향이 없는 균류류(uniform flow) 상태로 실험하기 위해서 풍동 안에 높이 20 cm이고 길이가 120cm인 실험테이블(120×120×20)을 설치하여, 그 위에 풍동에서 불어오는 풍속방향과 방풍팬스면이 수직(풍향각 0°)이 되도록 풍동내에 설치한 모습과 계측과정을 나타내고 있다. 풍속은 I자형 Probe에서 받은 전기신호를 열선풍속계 IHW-100 (Hot-wire anemometer)을 거쳐 전압(volt)신호로 바꾼 후 AD 카드에 의해 컴퓨터에 저장된다. 한 지점에서 측정되는 샘플링 주파수는 100 Hz로 측정계수는 3072개 즉, 1024개씩 3번을 측정하여 평균하였으며, 측정위치로 이동하는 장치는 2축 방향(X, Y) 트레버스를 사용하였다. 방풍팬스의 기하학적 스케일은 야적장

의 높이를 4m높이로 가정하여 1/40모형스케일을 사용하여 모든 방풍팬스에 대한 팬스높이는 10 cm, 팬스길이는 40 cm로 하였으며, 형상비(B / H)=0.03의 기하학적 형상을 갖는다. 본 논문은 8가지의 다양한 공극률을 갖는 대상을 선정하여 공극률이 없는 경우를 기준으로 하여 원형 방풍팬스는 2개(20 %, 40 %), 수직과 수평 방풍팬스는 3개(20 %, 40 %, 60 %)의 공극률에 대해서 실험모형을 제작하여 실험을 실시하였다. <표 1>은 모형의 종류에 따른 방풍팬스의 Parameters를 나타내고 있다. <그림 4>는 방풍팬스에서의 측정위치를 나타내고 있다. 수직높이(H)는 2 cm 간격으로 4개 지점(2 B, 4 B, 6 B, 8 B)으로 나누었으며, 수평간격(L)은 방풍팬스의 중앙(C)부를 중심으로 하여 좌우 5 cm 간격으로 7개 지점(15 L, 10 L, 5 L, C, 5 R, 10 R, 15 R)으로 나누어 방풍팬스

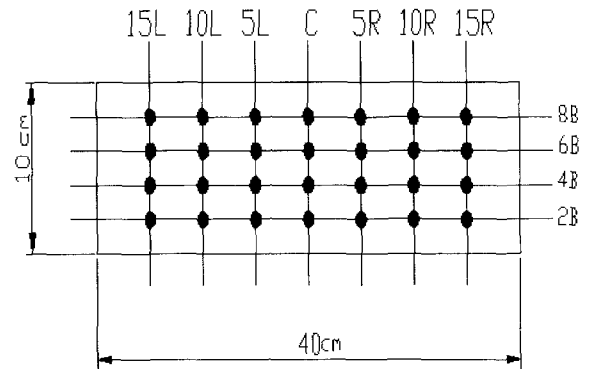
<표 1> 측정된 방풍팬스의 파라메타

공극률 형태	공극률 ϕ (%)	팬스높이(H) (cm)	팬스길이(L) (cm)	팬스두께(T) (cm)
원형	20 %	10	40	0.3
	40 %			
수직	20 %	10	40	0.3
	40 %			
	60 %			
수평	20 %	10	40	0.3
	40 %			
	60 %			

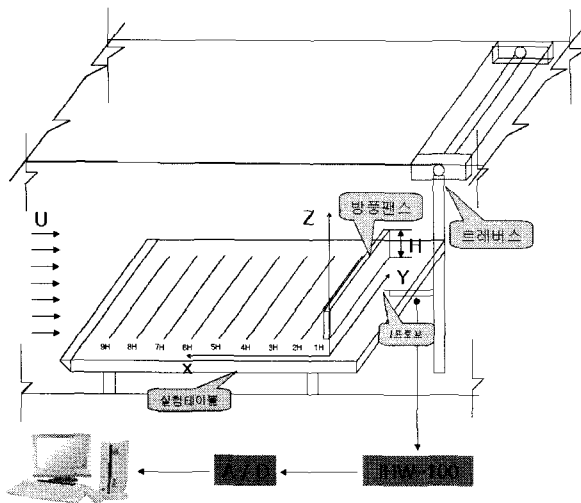
한면에 대해서 총 28지점을 측정하였다. 그리고 거리별 측정에 따른 방풍성능실험을 위하여 열선풍속계의 측정부를 중심으로, 방풍팬스의 높이 H(10 cm)를 기준으로 1 H간격으로 1 H~9 H까지 측정하였다. 사진 1은 풍동내에 설치하여 실험한 방풍팬스의 형태를 보여주고 있다.



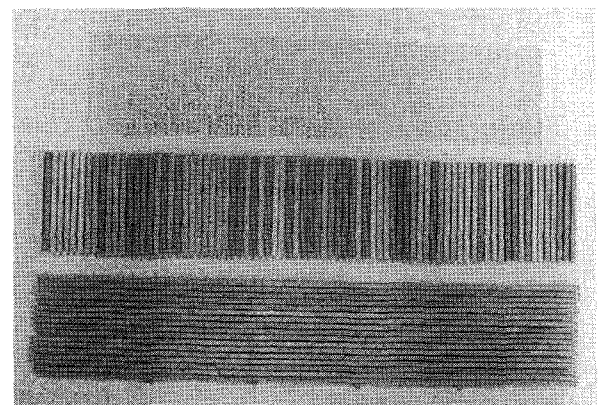
<그림 2> 평균풍속과 난류강도의 수직분포



<그림 4> 계측점 위치



<그림 3> 풍동내 균등류경계층 보정과 계측과정



<사진 1> 방풍팬스 형태

2. 실험결과 및 분석

실험분석은 3가지(원형, 수직, 수평) 방풍팬스 형

태에 대해서 공극률 변화(0 %, 20 %, 40 %, 60 %)와 거리별(1 H~9 H) 측정 위치에 따른 풍향각 0°에서의 방풍성능결과를 나타내고 있으며, 측정된 실험 데이터는 2가지로 나누어서 분석하였다.

- 1) 공극률 변화에 따른 중앙(C)부에서의 측정거리별 평균풍속과 난류강도의 변화율
- 2) 공극률 변화에 따른 방풍팬스의 우측(15 R)과 중앙(C)지점에서의 측정 거리별 평균풍속과 난류강도 변화율

실험분석에 사용된 1), 2)의 데이터 값들은 무차원 높이(각 측정높이(B) / 방풍팬스의 높이10 cm(H))와 무차원 거리(x축 거리 / 방풍팬스의 높이10 cm(H))에 대해서 무차원화 된 평균풍속과 무차원화 된 난류강도를 나타내고 있다.

무차원화 평균풍속은 식 1을 무차원화 난류강도는 식 2을 이용하여 구하였다.

$$\frac{U}{U_0} \quad (1)$$

U : 공극률별 평균풍속 U₀ : 균등류의 평균풍속

$$\frac{I}{I_0} \quad (2)$$

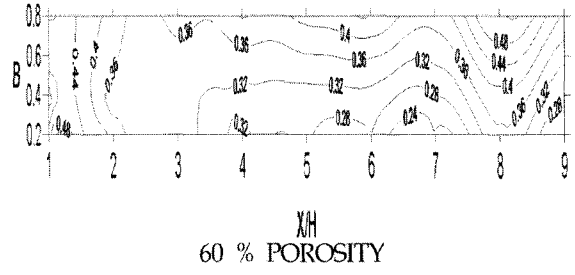
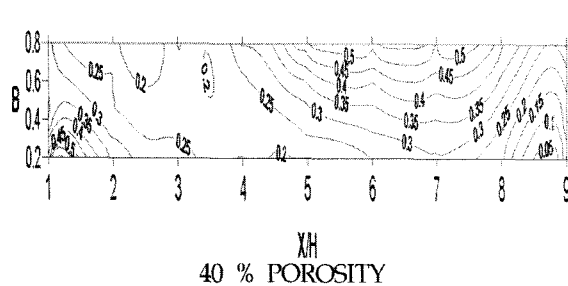
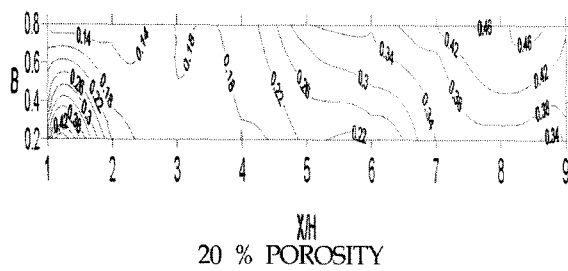
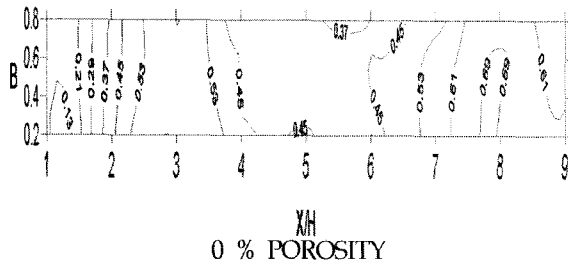
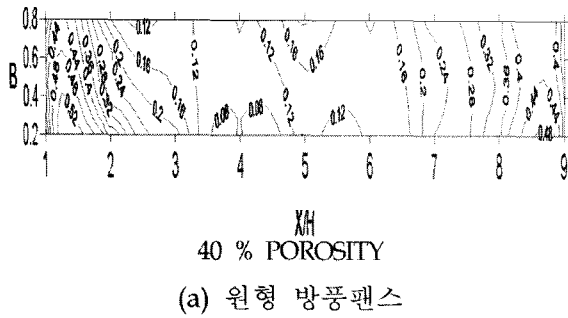
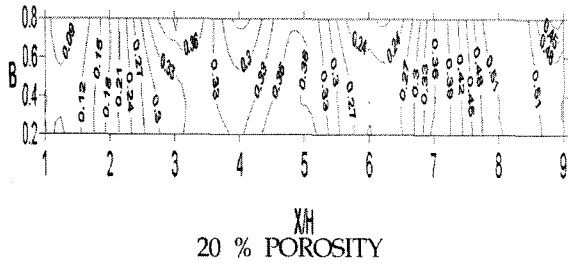
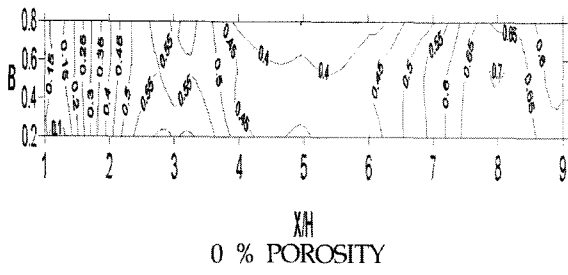
I : 공극률별 난류강도 I₀ : 균등류의 난류강도

3.1 공극률 변화에 따른 중앙(C)부에서의 측정 거리별 평균풍속과 난류강도의 변화율

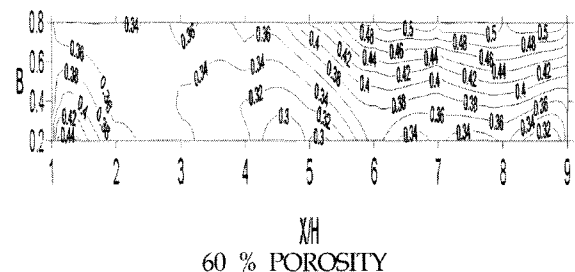
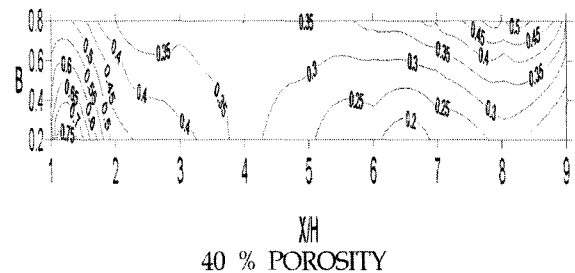
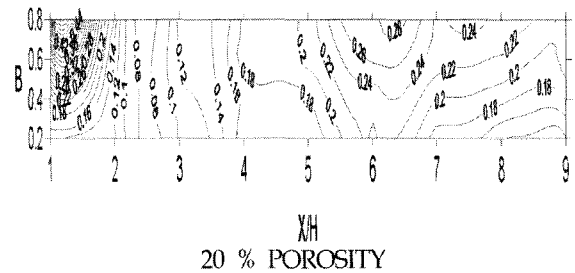
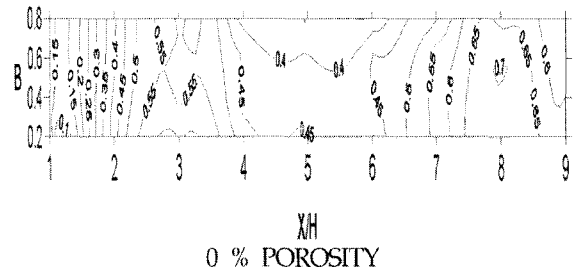
측정된 실험 데이터의 분석은 중앙(C)부에서의 3가지(원형, 수직, 수평)의 방풍팬스 형태에 대해서 분석하였다. <그림 5>와 <그림 6>은 공극률 변화와 거리별 측정에 따른 평균풍속 변화율과 난류강도의 변화율을 나타내고 있다. <그림 5>는 다공률 변화와 거리별 측정에 따라 각각 평균풍속 변화율이 다르게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 원형 방풍팬스에서는 평균풍속 감소율이 1H~2H를 제외하고는 공극률 0%와 20%보다 모든 거리별 측정위치에서 공극률 40%에서 가장 유리하게 나타나고 있는 것을 확인 할 수가 있다. 공극률 0%의 경우 1

H부분에서 평균풍속 감소에 있어서 가장 유리하나 그 밖의 모든 측정 거리에 대해서 불리하게 작용하는 것을 알 수 있다. 결과적으로 중앙(C)부 위치에서 원형 방풍팬스의 경우 전체적으로 공극률 증가에 따른 평균풍속의 감소 효과가 크게 나타나고 있으며, 공극률 40%가 공극률 0%를 기준으로 많게는 80%, 적게는 30%정도 평균풍속 감소 효과가 있다. 수직 방풍팬스는 1H부분에서 공극률 0%가 유리한 반면에 2H~7H구간의 측정위치에 대해서 공극률 20%가 공극률 0%를 기준으로 많게는 66%, 적게는 33%정도 유리하게 나타나고 있다. 전체적으로 원형 방풍팬스와는 다르게 공극률이 증가할수록(40%, 60%) 평균풍속 감소 효과에 불리하게 작용하고 있다. 수평 방풍팬스를 보면 대체적으로 수직 방풍팬스의 경우처럼 공극률이 증가할수록(40%, 60%) 평균풍속 감소 효과에 불리하게 작용하고 있으며, 1H부분에서 공극률 0%를 제외하고는 모든 거리별 측정위치에 대해서 공극률 20%가 공극률 0%를 기준으로 많게는 70%, 적게는 43%정도 평균풍속 감소 효과가 있다.

<그림 6>은 공극률 변화에 따른 방풍팬스의 난류강도 변화율을 나타내고 있다. 전체적으로 공극률 0% 기준으로 공극률 20%를 제외하고는 공극률 40%와 공극률 60%에서 난류강도가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 공극률이 증가 할수록 팬스 구멍으로 많은 바람이 통과하기 때문에 난류강도가 감소하는 것으로 보여진다. 특히 수직, 수평 방풍팬스의 경우 원형 방풍팬스보다 난류강도 감소효과가 크게 나타나고 있다. 원형 방풍팬스에서는 공극률 40%가 1H~3H구간에 있어서 공극률 0%에 비해 평균 40%정도 난류강도 감소효과에 유리하게 작용하고 있으며, 4H~5H구간에서는 공극률 20%가 평균 10%정도 유리하게 나타나고 있다. 수직 및 수평 방풍팬스에서는 공극률 0%를 기준으로 모든 거리별 측정위치에 대하여 공극률 20%를 제외한 공극률 40%와 공극률 60%에서 많게는 60%, 적게는 20%정도 난류강도 감소효과에 유리하게 나타나고 있다. 특히 수직 방풍팬스보다는 수평 방풍팬스에서 난류강도의 변화가 적고 일정하게 나타나고 있다.

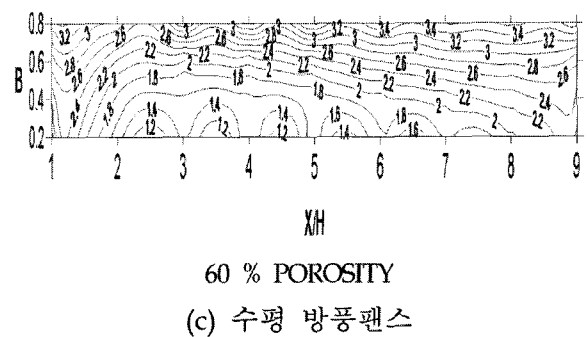
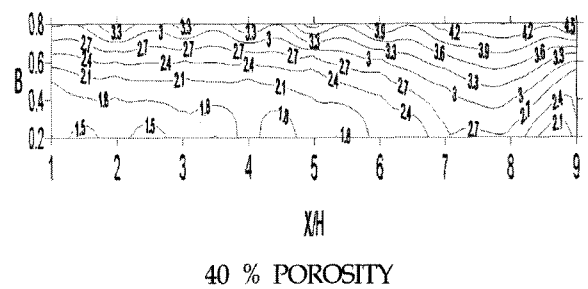
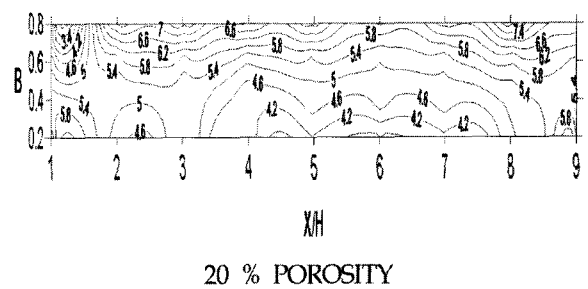
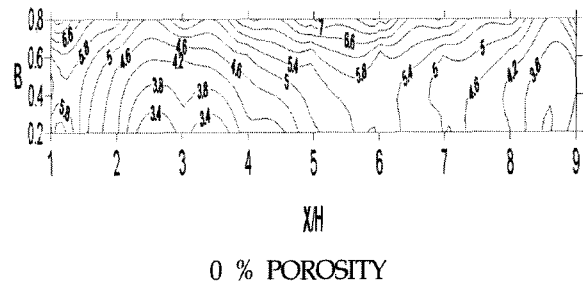
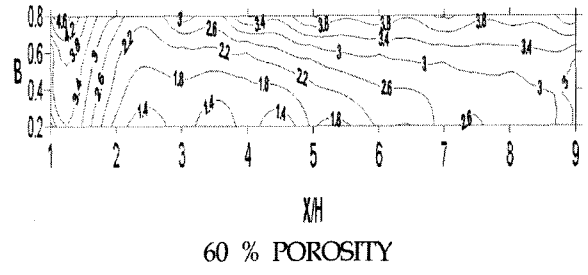
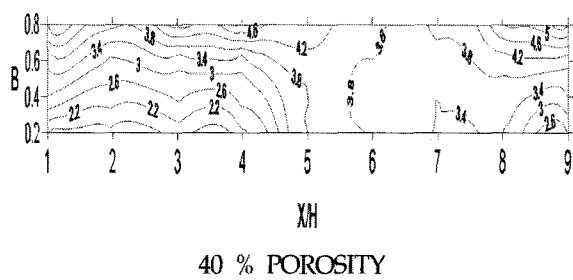
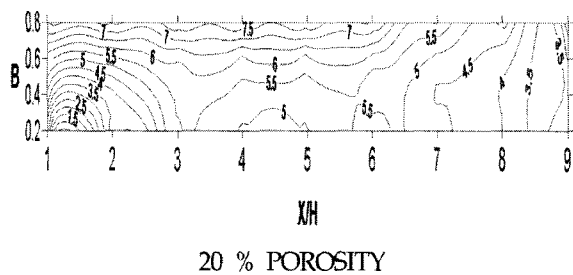
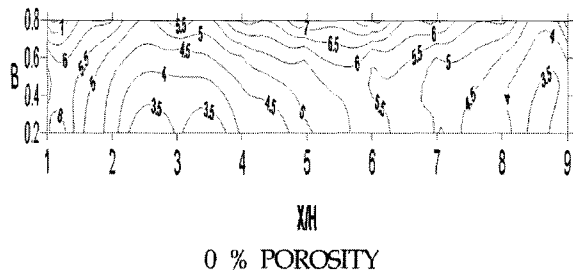
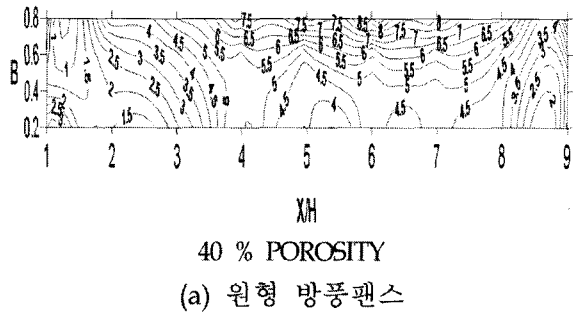
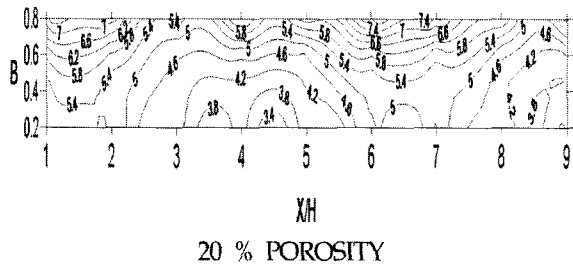
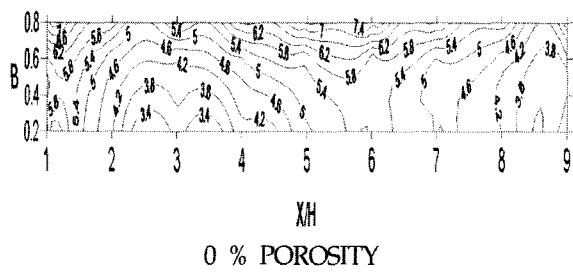


(b) 수직 방풍팬스



(c) 수평 방풍팬스

<그림 5> 공극률 변화에 따른 측정거리별 평균풍속변화율



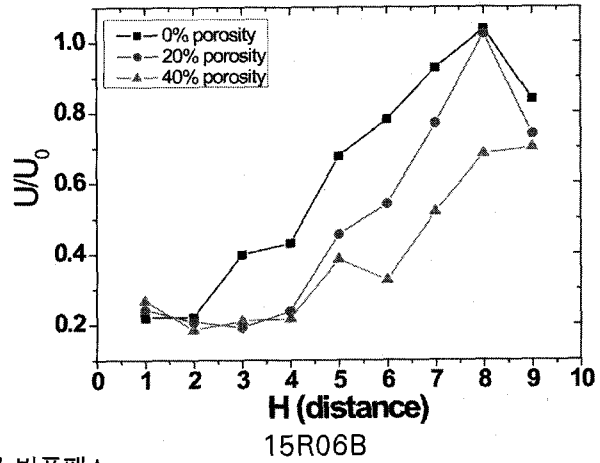
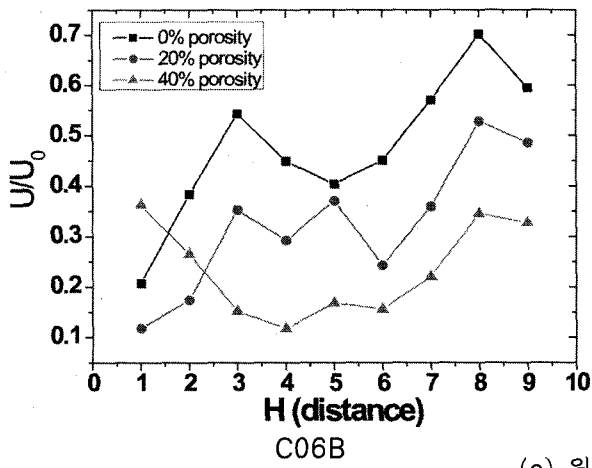
〈그림 6〉 공극률 변화에 따른 측정거리별 난류강도변화율

3.2 공극률 변화에 따른 방풍팬스의 우측(15R)과 중앙(C)지점에서의 측정거리별 평균풍속과 난류강도 변화율

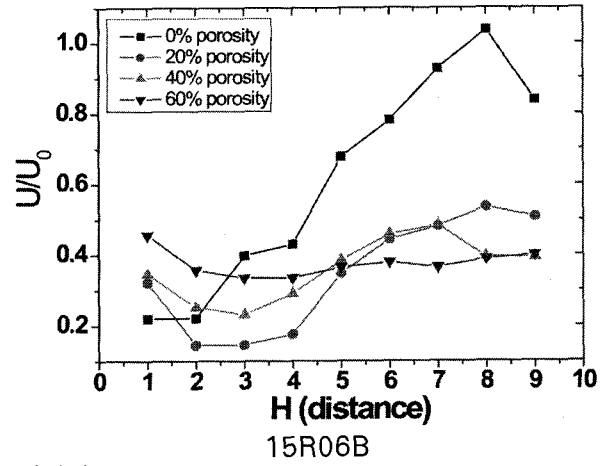
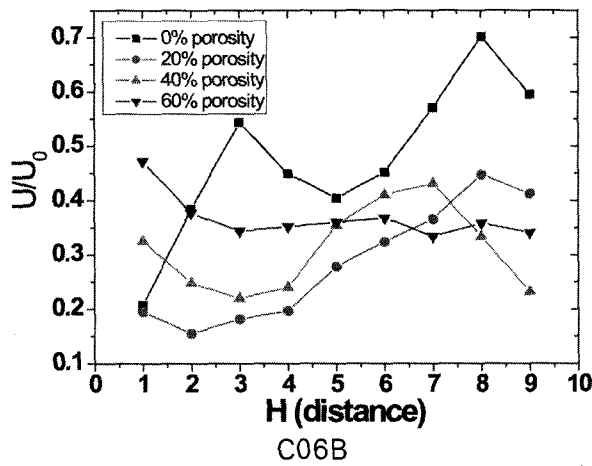
<그림 7>과 <그림 8>은 3가지(원형, 수직, 수평) 방풍팬스 형태에 대해서 방풍팬스 높이가 0.6 H일 때 공극률 변화에 따른 방풍팬스의 우측(15 R)과 중앙(C)지점에서의 거리(1 H~9 H)별 측정위치의 무차원화 된 평균풍속과 난류강도 변화율을 나타내고 있으며, 중앙(C)과 높이(0.6B)의 측정위치는 C0.6B로 우측(15R)과 높이(0.6B)의 측정위치는 15R0.6B로 하였다. <그림 7>은 측정거리에 따른 측정위치별 평균풍속의 변화율을 나타내고 있다. 원형 방풍팬스에서의 위치에 따른 방풍효과를 살펴보면 우측보다는 중앙지점에서 방풍효과가 좋게 나타나고 있다. 이러한 원인은 중앙지점보다는 우측이 방풍팬스 모서리에 위치하여 모서리의 와류가 영향을 미치는 것으로 판단된다. 측정거리에 있어서는 중앙(C)부와 우측(15R)지점 모두 공극률 40 %에서 가장 많은 평균풍속 감소율을 보이고 있으며, 1 H~3 H까지를 제외하고는 모든 측정거리에 있어서 우측보다는 중앙부분에서 방풍효과가 크게 나타나고 있다. 수직 방풍팬스에서는 공극률 20 %에서 가장 효과적으로 나타나고 있으며 위치에 따른 방풍효과를 살펴보면 공극률 0 %를 제외하고는 우측과 중앙모두에서 일정하게 나타나고 있다. 특히 공극률 20 %는 5 H~6 H까지 평균풍속 감소효과에 유리하게 나타나고 있으나 7 H이후부터는 공극률 40 %와 60 %에서 유리하게 나타나고 있다. 수평 방풍팬스에서는 대체적으로 수직 방풍팬스와 유사하게 나타나고 있으나 중앙에서는 공극률 20 %가 1 H제외한 그리고 우측에서는 2 H까지를 제외한 모든 측정 거리에 대해서 평균풍속 감소효과가 다른 공극률에 비해서 상당히 크게 나타나고 있다. 특히 수직과 수평 방풍팬스 모두 공극률 40 %와 60 %를 비교해 볼 때 1 H~4 H까지는 공극률 40 %가 유리하게 나타나고 있으나 5 H이후부터는 공극률 60 %가 유리하게 나타나고 있다. 전체적으로 공극률이 없는 방풍팬스에 비해서 공극률이 있는(20 %, 40 %) 방풍팬스의 방풍성능이 훨씬 더 효과적임을 알 수 있다.

<그림 8>은 측정거리에 따른 측정위치별 난류강

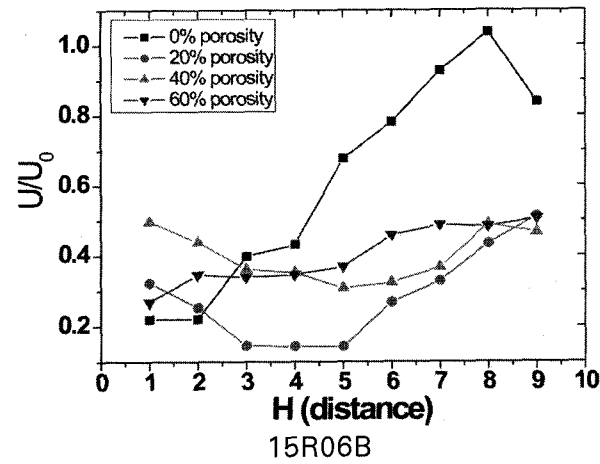
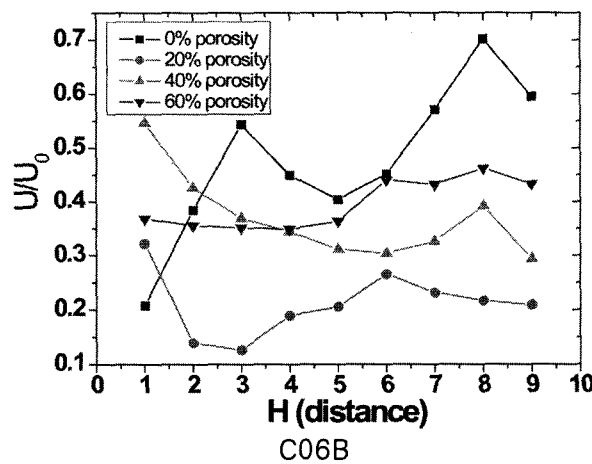
도의 변화율을 나타내고 있다. 원형 방풍팬스에서의 난류강도 증가율은 중앙(C)부보다는 우측(15 R)에서 크게 나타나고 있다. 중앙(C)부의 공극률 0 %와 20 %는 3 H이상 되는 부분에서 난류강도의 증가율이 거의 일정하게 분포를 하고 있지만 공극률 40 %일 경우 1 H에서 가장 적게 나오면서 3 H까지 증가하다가 4 H이후부터는 일정하게 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 공극률 40 %일 경우 팬스구멍으로 많은 바람이 흘러 들어가기 때문이라 판단된다. 우측(15 R)의 경우 공극률 0 %일 때 가장 큰 난류의 증가율을 보이지만 공극률 20 %, 40 %로 증가할수록 난류의 증가율은 감소하고 위치에 따라서도 다르게 나타나고 있다. 특히 공극률 20 %와 40 %는 1 H~5 H까지는 난류강도 증가율이 서서히 커지다가 6 H이후부터는 공극률 0 %보다 더 큰 난류강도를 유지하며 서서히 감소하고 있다. 이는 측정거리가 멀어지는 동시에 공극률이 증가할수록 측면 모서리에서 발생하는 와(渦)의 크기가 감소하기 보다는 많은 팬스구멍에서 나오는 바람이 방풍팬스의 모서리에서 발생하는 와(渦)와 섞여 큰 후류를 발생시키기 때문으로 판단된다. 수직, 수평 방풍팬스에서도 원형 방풍팬스처럼 난류강도 증가율에 있어서 중앙(C)부보다는 우측(15 R)에서 크게 나타나고 있다. 반면에 원형 방풍팬스와는 달리 공극률 40 %와 60 %가 공극률 0 %와 20 %에 비해서 현저하게 난류강도 변화율이 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 수직 방풍팬스의 경우 공극률 20 %가 공극률 0 %보다도 난류강도 증가율에 있어서 더 크게 나타나고 있다. 특히 중앙(C)지점과 우측(15 R)지점에서 공극률 60 %가 난류강도 증가율에 있어서 가장 유리하게 나타나고 있으나 우측(15 R)지점의 6 H이후부터는 공극률 40 %가 유리하게 나타나고 있다. 수평 방풍팬스의 경우도 수직 방풍팬스와 유사하게 중앙(C)부와 우측(15 R) 모두 공극률 60 %에서 난류강도 변화율이 적게 나타나고 있으나 우측(15 R)지점에서의 4 H~7 H까지는 공극률 40 %가 적게 나타나고 있다. 전체적으로 원형 방풍팬스보다는 수직, 수평 방풍팬스가 측정거리에 상관없이 유리하게 나타나고 있다.



(a) 원형 방풍팬스

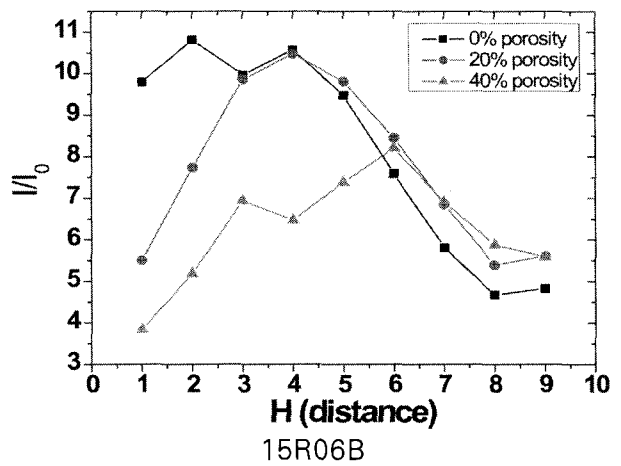
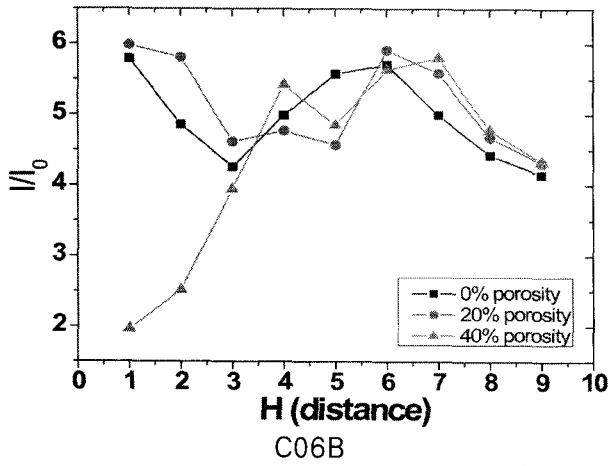


(b) 수직 방풍팬스

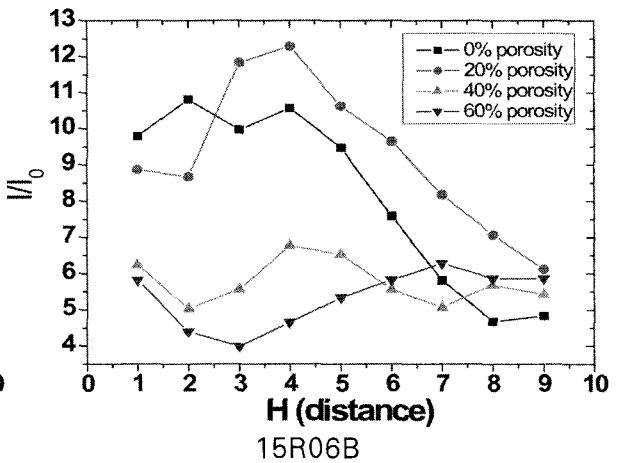
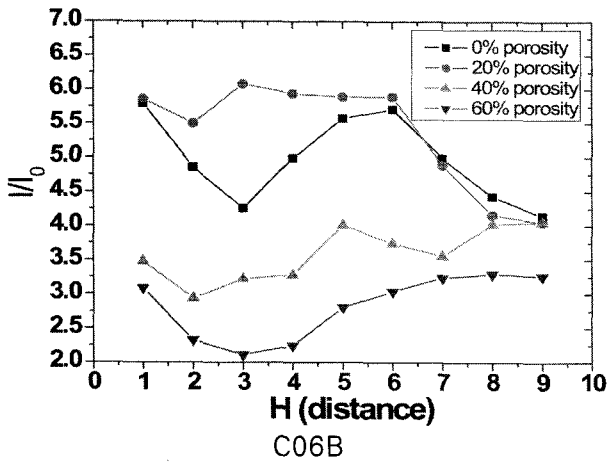


(c) 수평 방풍팬스

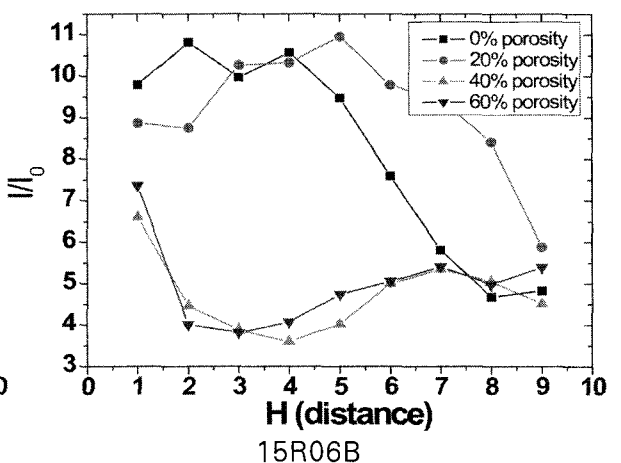
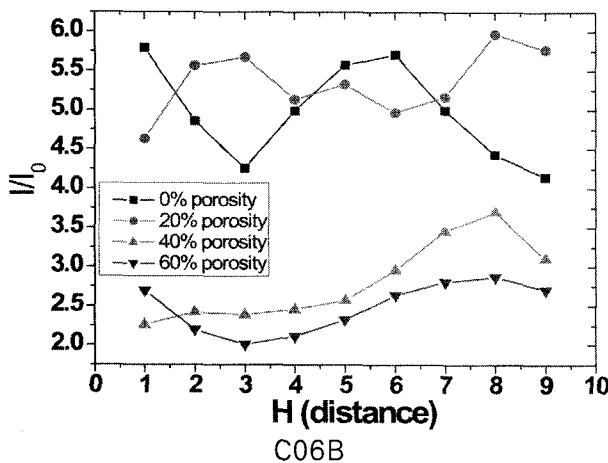
〈그림 7〉 거리별 측정위치에 따른 평균풍속 변화율



(a) 원형 방풍팬



(b) 수직 방풍팬



(c) 수평 방풍팬

<그림 8> 거리별 측정위치에 따른 난류강도 변화율

4. 결 과

본 논문의 방풍팬스 모형실험은 균등류 상태에서 3가지(원형, 수직, 수평)형태의 방풍팬스에 대하여 풍향각 0°에서 공극률변화(0%, 20%, 40%, 60%)와 측정거리(1 H ~ 9 H)에 따른 평균풍속과 난류강도 변화율에 관한 방풍성능실험을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 평균풍속 변화율에 있어서 원형 방풍팬스의 경우 중앙(C)부 위치에서 전체적으로 공극률 증가에 따른 평균풍속의 감소효과가 크게 나타나고 있으며, 특히 측정거리 3 H부터는 공극률 40%가 공극률 0%를 기준으로 최대 80%에서 최소 33%정도 유리하게 나타나고 있다. 수직 및 수평 방풍팬스에서는 1 H부분에서 공극률 0%가 유리한 반면에 모든 거리별 측정 위치에 대해서 공극률 20%가 가장 효과적이며 유리하게 나타나고 있다. 난류강도 변화율에 있어서는 수직 및 수평 방풍팬스가 공극률 0%를 기준으로 하여 측정거리별 변화에서 원형 방풍팬스보다 큰 변동 없이 일정하게 나타나고 있으며, 수직 및 수평 방풍팬스의 경우 공극률 40%와 60%가 공극률 0%와 20%에 비해서 현저하게 난류강도 변화율이 감소하고 있다.

전체적으로 원형 방풍팬스의 경우 공극률 40%에서, 수직 및 수평 방풍팬스의 경우 공극률 20%에서 방풍성능실험 결과가 유리하게 나타나고 있지만 일반적으로 풍속감소 효과가 클수록 난류강도의 크기도 증가하는 것으로 나타나기 때문에 방풍팬스 설치 시 위의 방풍성능실험 결과를 토대로 풍속뿐만 아니라 난류의 영향을 종합적으로 고려하여 공극률 변화와 측정거리에 따라 가장 실용적인 방풍팬스를 선정하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2005년 과학기술부 선정 국가지정연구실 사업의 연구비 지원으로 이루어진 논문입니다.

참고문헌

1. Moysey, E. B. and McPherson, F. B.(1964), "The effect of porosity on the performance of windbreaks", the 1964 Summer Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Ft. Collins, Colorado.
2. van Eimern, J., Karschon, R., Razumova L. A. and Robertson, G. W.(1964), "Windbreak and shelter belts", World Meeting Org. Tech Note No.59.
3. Castro, I. P., 1971, "Wake Characteristics of Two-Dimensional Perforated Plates Normal to an Air-Stream", J. Fluid Mech., Vol. 46, pp. 599-609
4. Raine, J. K. and Stevenson, D.C., Wind Protection by Model Fences In a Simulated Atmospheric Boundary layer, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol.2, p.p. 159~180, 1977
5. Guyot, G., Les effets aerodynamiques des brises ven, Promoclim E. Etudes Theriques et Aerauliques. T.8E(3), pp.157~188, 1977
6. Durst, F. and Rastogi, "Turbulent Flow over Two-Dimensional Fences", Turbulent Shear Flow 2 Berlin Springer-Verlag, pp. 219~231, 1979
7. Perera, M.D.A.E.S. Shelter Behind Two-Dimensional Solid and Porous Fences, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol.8, p.p. 93~180, 1981
8. Gandemer, J., The Aerodynamic Characteristics of Windbreaks, Resulting in Empirical Design Rules, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol.7, pp. 15~36, 1981
9. Ranga, R. K. G., Garde, R. J., Singh, S. K. and Singh N., "Experimental Study on Characteristics of Flow Past Porous Fences", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol. 29, pp. 155~163, 1988
10. Sang-Joon, Lee., "Surface-pressure variation on a triangular prism by porous fence in a simulated atmospheric boundary layer", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol.73 pp. 48~58, 1998
11. Plate, E.J. "The aerodynamic of Shelter Belts",

- Agric. Meteorol, 8 pp.203-222, 1971.
12. Sang-Joon, Lee., Laboratory measurements of velocity and turbulence filed behind porous fences, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. Vol.80 pp. 311~326, 1999
 13. Sang-Joon, Lee., "The shelter effect of porous wind fence on coalpiles POSCO open storage yard", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. Vol.84 pp. 101~118, 2000
 14. 강건, 대기경계층내에서 바람에 의해 발생하는 부유물질 제어를 위한 Windbreaks의 풍동시뮬레이션 *한국환경과학회지*, 제4권 제1호 pp. 29~39, 1995
 15. 정상진, "저탄장 상류에 설치된 방풍벽의 비산먼지 발생 효과에 관한 연구" *産業技術綜合研究所 論文集 Inst. of Ind. Tech. Journal, Kyonggi Univ.* Vol. 12, 1996
 16. 이상준, "방풍벽을 이용한 야적원료의 비산억제에 관한 풍공학적 연구", *한국풍공학회지*, 제1권, 제1호, pp.106~115, 1997
 17. 강건, "방풍망 효과에 대한 풍동 시뮬레이션" *한국환경과학회지* 제7권 (제1호) pp.20~26, 1998
 18. 임희창 · 이상준, "다공성 방풍팬스의 방풍효과에 관한 수치해석적 연구" *한국풍공학회지*, 제4권, 제1호, pp.74~81, 2000
 19. 박태규, "다공성 방풍벽의 방풍성능에 대한 실험적 평가" *건국대학교 토목공학과 석사학위논문*, 2002년
 20. 유기표, "방풍팬스의 다공률 변화에 따른 방풍효과에 대한 풍동실험" *대한건축학회논문집 구조계* 21권 4호(통권198호) 2005년 4월
 21. 김영문 역 「실무자를 위한 건축물 풍동실험 가이드북」, *한국풍공학회*, 1998
 22. 김영문 외 2인(2002), 「건축물의 내풍설계」, *한림원*, 2002