

穀物の 空氣選別에 關한 空氣動力學的 研究(I)⁺

- 垂直風洞의 設計에 關한 實驗的 研究 -

Aerodynamic Study on Pneumatic Separation of Grains(I)

- An Experimental Study on The Vertical Wind Tunnel -

李 鍾 瑚* 趙 鏞 珍,** 金 滿 秀***

C. H. Lee, Y. J. Cho, M. S. Kim

Summary

It is desirable for the vertical wind tunnel which can build uniform air flow across the vertical duct to be used for the purpose of the investigation of the aerodynamic properties of grains.

This study was conducted to examine how the air velocity profile in the vertical duct is influenced by the various alternations of the elements of the wind tunnel, and to prepare design guidance of the vertical wind tunnel which can be used for investigating aerodynamic properties of grains.

In addition, several tests were conducted to locate the test section which can be applicable for determining the terminal velocity of grain.

The following conclusions were obtained from the study:

1. The size and the location of the outlet of the plenum chamber should be determined such that the outlet air flow is less affected by the air flow and the back pressure by the side wall of the chamber.
2. The honeycomb was not helpful for attaining uniform air flow in case that the air flow profile at the bottom of the vertical duct is severely different from the ideal one.
3. Even though considerable pressure drop was resulted from the screens installed within the vertical duct, the screens were helpful for attaining uniform air flow in the duct.
4. It is desirable for the test section to be located at the position that not only the air flow of the duct is not disturbed by the distorted back pressure in the plenum chamber, but also less boundary layer is developed.

1. 서 론

곡물의 공기동력학적 특성은 곡물선별기, 반송기 설계에 있어서 매우 중요한 인자라고 할 수 있다.

공기동력학적 특성을 연구하는 방법은 매우 다양하며 이 가운데 풍동을 이용하는 연구가 대표적인 방법으로 알려져 있다. 농산물의 공기동력학적 특성 규명에 사용되고 있는 풍동의 종류는 수직기류물이

⁺本 研究는 韓國科學財團의 研究費支援(1988~1989)으로 遂行되었음.

* 全北大學校 農科大學 農業機械學科

** 서울大學校 農科大學 農工學科

*** 忠南大學校 農科大學 農業機械工學科

용하는 수직풍동과 수평기류를 이용하는 수평 풍동으로 크게 구분될 수 있다. 土屋功位 등(1981)이 곡립이 수평 이동한 거리를 측정하기 위해 수평풍동을 사용한 예가 있기는 하지만 공기동력학적 특성 규명에는 대부분 수직풍동이 사용되어 왔다. 수직 풍동은 다시 기류를 형성하는 방식에 따라 송풍식과 흡인식으로 분류할 수 있으며 또한 유지하는 수직관의 형태에 따라 직경이 균일한 원통(Circular Column)을 사용한 풍동과 윗쪽으로 벌어진 원추형관(Tapered Column)을 사용한 풍동이 있다. Hawk 등(1966), Wolfe와 Tatepo(1972), 川上克己와 野村喬(1972), 土屋功位 등(1981), Smith와 Stroschine(1985)은 송풍식 균일관 풍동을 사용하여 농산물의 공기동력학적 특성을 연구한 바 있고, Bilanski(1965), Shellard와 Macmillan(1978)은 송풍식 원추형 풍동을, 川上克己(1973)는 흡인식 원추형 풍동을 사용하여 농산물의 공기동력학적 특성을 연구한 바 있다. 이와 같이 농산물의 공기동력학적 특성을 연구하는데 사용된 풍동에는 여러가지 형태가 있으나 모든 형태의 주안점은 공히 관 단면의 속도 분포를 균일하게 하는 데 있다고 할 수 있다. 농산물의 공기동력학적 특성을 정확히 규명하기 위해서는 관 단면에서 균일한 속도 분포를 얻을 수 있는 풍동이 제작되어야 하는 바 이를 위해서는 우선 풍동의 구성요소가 풍동의 성능에 미치는 영향에 관하여 검토되는 것이 바람직 하다.

따라서 본 연구는 농산물의 공기동력학적 특성 연구에 사용하기 위한 송풍식 균일관 수직 풍동의 각 구성요소가 풍동의 성능에 미치는 영향에 관해서 검토하고 수직관내에서 균일한 속도분포를 갖는 기류를 얻을 수 있는 방안을 제시하기 위하여 수행되었다.

2. 풍동의 구성 요소에 관한 고찰

풍동의 구성 요소는 용도 및 유형에 따라 다소 차이가 있다. 대표적인 수직풍동은 전동기와 송풍기, 이송관, 충만실, 수직관, 관내요소 등으로 구성되어 있다.

가. 전동기와 송풍기(Motor and Fan)

전동기는 송풍기를 구동하는 동시에 송풍기의 회전속도를 조절할 수 있어야 한다. 일반적으로 풍동에 이용되고 있는 전동기로는 교류VS전동기와 직류전동기가 있다. 교류VS전동기는 직류전동기에 비해 정확한 속도조절면에서 약간 뒤지나 가격이 비교적 저렴하여 널리 이용되고 있다. 한편 매우 정확한 속도제어가 필요한 경우에는 속도보상장치인 타코제네레이터(tachogenerator)가 부착된 전동기가 이용되기도 한다.

한편 풍동에 사용될 수 있는 송풍기로는 원심식과 프로펠러식이 있다. 프로펠러식은 저회전에서 정상유동을 얻기가 어려우므로 현재에는 잘 사용되지 않고 있으며 저속에서도 정상유동을 얻을 수 있는 원심식이 주로 사용된다. 경우에 따라서는 더욱 균일한 유동을 얻기 위하여 안내날개(guide vane)가 부착된 원심식 송풍기가 이용되기도 한다.

나. 이송관(Transfer Duct)

송풍기의 출구에서부터 필요한 곳까지 공기를 이송하기 위하여 이송관이 필요하다. 이송관으로는 균일관이 이용될 수 있다. 균일관내에서는 공기가 이송관을 통과하는 동안 관벽면에서 마찰로 인한 압력손실이 나타나므로 압력손실이 문제가 되는 경우에는 원추형관이 사용되어야 한다. 이때 원추형관내에서 확산각의 최적치는 유체의 자유분사시의 확산각과 같은 값을 이용한다. 그러나 압력손실이 심각한 문제가 되지않는 대부분의 경우에는 제작이 용이하고 비용이 저렴한 균일관이 이용되고 있다.

다. 충만실(Plenum Chamber)

충만실은 유동공기의 동압을 정압으로 변환하고 충만실의 출구에서 다시 동압으로 변환하여 보다 균일한 관내유동을 형성하는 역할을 한다. 특히 이송관에 길이가 짧은 균일관이 사용되는 경우에는 매우 유용하다. 또한 수직관의 지지대 역할도 한다.

라. 수직관(Vertical Duct)

수직관은 농산물의 공기동력학적 특성 실험을 수행할 수 있는 실험부(test section)로 이용되며 균일유동(uniform flow)이 요구되는 부분이다. 수직

관으로 균일관이나 원추형 확대관이 사용될 수 있는데 확대관이 사용될 경우 관의 확산각은 유체의 자유분사시의 확산각과 같아야 한다.

마. 관내요소

관내요소는 관내유동을 보다 균일하게 형성시키기 위해 이용된다. 대표적인 관내요소로는 벌집(honeycomb)과 스크린(screen)이 있는데 스크린은 주로 공기의 진행방향으로 나타나는 난류성분을 감소시킬 목적으로 이용되고 벌집은 횡방향의 난류성분을 감소시킬 목적으로 이용된다. 그러나 스크린과 벌집은 공기의 진행방향과 횡방향 모두의 속도 성분을 감소시킨다. 한편 압력손실은 벌집 보다는 스크린에서 크게 발생된다고 알려져 있다.

3. 재료 및 방법

가. 실험장치

1) 풍동

실험에 사용된 풍동의 구성요소별 규격은 각각 그림 1 및 표 1과 같다.

전동기는 SCR제어방식에 의해 변속되는 교류VS 전동기가 사용되었고 송풍기는 최고 1720rpm 에서 90cmm의 풍기를 송풍할 수 있는 원심식이 사용되었다. 풍관실은 직육면체로서 120cm×120cm×90cm와

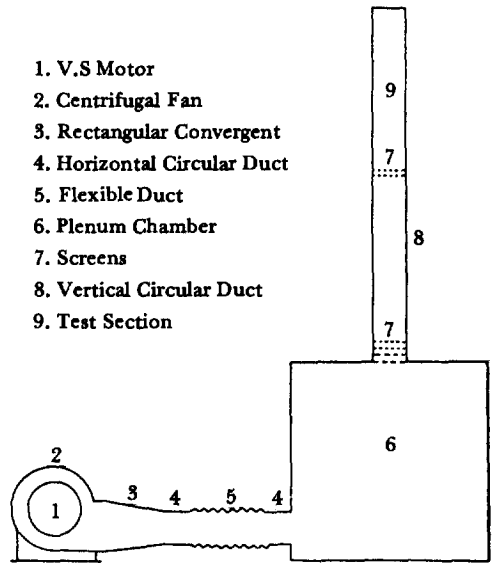


Fig. 1 Schematic diagram of wind tunnel

Table 1. Specifications of elements of the wind tunnel used for the experiment

Element	Specification or Dimension
VS motor	2.2 kW, 150 - 1500 rpm Controller: SCR Type
Fan	Max. 1720 rpm, 90cmm Centrifugal Type
Convergent	Inlet: 152 mm x 300 mm Outlet: 115 mm x 190 mm Length: 345 mm
Duct I	Inner Dia.: 188 mm Length: 150 mm Horizontal; Transparent
II	Inner Dia.: 188 mm Length: 2150 mm Vertical; Transparent
III	Inner Dia.: 200 mm Length: 450 mm Flexible

Plenum Chamber	Size: 120 cm x 120 cm x 90 cm
I	Center of Inlet: 20 cm above ground
	Center of Outlet: 30, 60 or 90 cm from frontal end
II	Size: 90 cm x 45 cm x 45 cm
	Center of Inlet: 20 cm above ground
	Center of Outlet: 60 cm from frontal end
Screen I	Aperture: 3 mm x 3 mm
	Wire Dia.: 0.50 mm
II	Aperture: 1.5 mm x 1.5 mm
	Wire Dia.: 0.25 mm
Honeycomb	Rectangular Type I
	Cell Size: 20 mm x 20 mm
	Length: 40 mm
	Rectangular Type II
	Cell Size: 13 mm x 13 mm
	Length: 50 mm
	Circular Type
	Cell Dia.: 13 mm
	Length: 50 mm

90cm×45cm×45cm 두 가지가 사용되었으며 충만실의 입구는 두가지 모두 입구의 중심이 충만실 전면 하단으로부터 20cm에 위치하였다. 출구는 크기가 120cm×120cm×90cm인 충만실의 경우 충만실의 윗면 중앙선을 4 등분하고 중앙선과의 교점을 택하여 3 가지 위치로 변화시켰으며 크기가 90cm×45cm×45cm인 충만실의 경우에는 출구의 중심이 전단으로부터 60cm 지점에 위치하게 하였다. 이송관과 수직관은 모두 균일관이 사용되었으며 송풍기와 이송관 사이에는 축소관이 사용되었다. 또한 이송관과 이송관 사이에는 연결의 편이상 유연관(flexible)이 사용되었다. 관내 요소로는 벌집과 스크린이 사용되었으며 벌집은 Cell의 크기와 모양이 상이한 3 가지 유형이 사용되었으며 스크린은 2 가지 종류가 사용되었다.

2) 유속측정

유속은 피토관과 정밀마노메타에 의해 측정되었다. 이때 계측량은 동압으로서 동압은 식 (1)에 의해 다시 유속으로 환산되었다. 계산식에 포함된 공기밀도는 표준공기밀도(1.225kg/m³)가 이용되었고 관내에서 정압이 2500 Pa 이하였기 때문에 정압의 효

과는 무시되었으며 기압은 1000mbar로 일정하다고 가정하였다.

$$v = 1.291\sqrt{(T \cdot P_a / 289)} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 v : 공기속도 (m/s)

T : 절대온도 T(K) = 273 + t(°C)

P_a : 동압 (Pa)

한편 피토관으로 관내의 유속을 측정할 때 관벽에 접근할 때의 영향과 횡방향의 속도 경사로 인한 영향이 나타날 수 있으나 이들의 영향이 서로 반대 방향으로 작용할 뿐만 아니라 그 영향은 미미할 것으로 간주하여 무시되었다. 이러한 가정은 피토관의 직경이 기류가 유동하는 관의 직경보다 1/26 이하일 때 더욱 유효하다고 알려져 있기 때문에 실측 시에는 직경이 6mm인 피토관이 사용되었다.

나. 실험방법

충만실의 크기와 출구 위치의 영향, 관내요소의 영향 등을 분석하기 위하여 수직관내의 유속을 측정하였다. 이때 수직관의 횡단면에서 위치별로 유속을 측정하기 위해서 특정 높이에서는 피토관이

수평이동만 가능하도록 하였다. 피토크의 수평이동 시 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 조정하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 수직관 입구에서의 유속 분포

관내의 유동이 균일속도유동이 되도록 하기 위해서는 여러가지 장치 및 방법이 이용될 수 있으나 가장 간단한 경우는 충만실의 윗면에 설치된 수직관에서의 관입구 유동을 이용하는 방법이다. 이상적인 관입구 유동은 관의 시작점에서 완전한 균일속도분포를 가지며 하류로 이동할수록 경계층이 점점 발달하여 특정 거리에 도달하게 되면 관의 전단면에서 경계층이 나타나는 경계층 유동으로 유지된다. 이와 같은 유동에서 균일 속도유동에 해당되는 심류(core) 부분만을 농산물의 공기동력학적 특성 규명에 응용할 수 있다.

여기서 심류 부분을 활용할 수 있는 기준이 되는 것으로서 관입구로부터 완전히 전개된 유동이 나타나는 지점까지의 거리(x)를 고려할 수 있다. 심류의 활용은 완전히 전개된 유동이 나타나기 전에 가능하게 된다. 층류의 경우 x를 구하는 문제는 이론적으로 잘 알려져 있는 바 식(2)와 같다.

$$x_2 = 0.029 \cdot Re \cdot D \dots\dots\dots (2)$$

여기서 x_2 : 관입구로부터 완전히 전개된 층류 유동이 나타나는 지점까지의 거리
 Re: 레이놀즈 수
 D: 관의 직경

한편 난류의 경우는 x를 구하는 일반적인 관계식이 없고 실험적으로 구하게 되는 데 입구의 조건에 따라 x의 값은 크게 달라진다. Nikuradse가 제시한 개략적인 관계식은 다음과 같다.

$$x_1 = (25 \sim 40) \cdot D \dots\dots\dots (3)$$

여기서 x_1 : 난류의 경우 관입구로부터 완전히 전개된 유동이 나타나는 지점까지의 거리
 D: 관의 직경

그러나 실제 대부분의 경우 충만실로부터 기류가 형성되어 수직관으로 유동할 때 속도 분포는 편의(偏倚)되게 된다. 또한 편이된 유동이 하류로 갈수록 편이성을 상실하여 관의 중심축에 대해 대칭적인 유속분포를 갖게 된다. 그림2는 하나의 예를 나타낸 것이다.

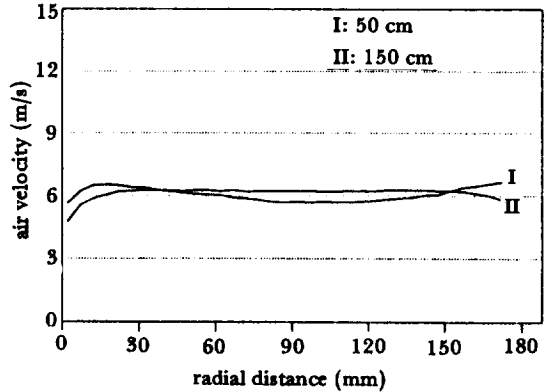


Fig. 2. The air velocity profiles across the vertical duct at the different measuring positions from the bottom of the duct.

따라서 관입구 유동에서 유동이 완전히 전개되기 전이라도 균일속도유동을 얻기 위해서는 여러가지 검토가 필요하게 된다.

나. 충만실이 수직관내의 속도 분포에 미치는 영향

풍동에 충만실을 사용하는 것은 송풍기로부터 주어지는 동압을 정압으로 전환시키고 다시 출구에서 동압으로 전환시킨 후 수직관의 입구에서 이상적인 관입구 유동을 형성시키기 위해서이다. 여기서는 충만실의 크기와 출구의 위치가 수직관에서의 관입구 유동에 미치는 영향을 검토하였으며 그 한 예를 그림3에 표시하였다. 이때 충만실의 출구는 충만실 전면으로부터 충만실 길이의 3/4이 되는 지점이었다. 그림에서 보는 바와같이 두 가지 충만실의 경우 충만실의 출구로부터 150cm 지점에서의 수직관 내 유속 분포는 큰 차이를 보이지 않았지만 120cm × 120cm × 90cm 충만실의 경우에는 충만실의 입구 반대편에서 유속이 약간 크게 나타났고 90cm × 45cm × 45cm 충만실의 경우에는 공기 유입구 편에서 수직

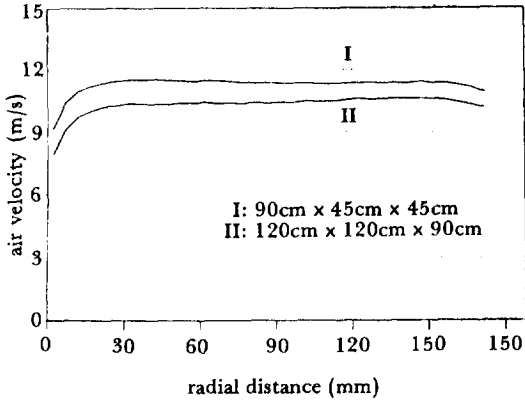


Fig. 3. The effect of the size of the plenum chamber on the air velocity profile when the air velocity was measured at 150 cm from the bottom of the duct

관내의 유속이 약간 크게 나타났다. 이것은 관의 입구로부터 유동이 진행함에 따라 원의성이 어느 정도 상실되긴 하였지만 전자의 경우 중만실의 평면이 상방향인 까닭에 중만실의 유입공기가 유입구의 반대편 벽면에 부딪히면서 형성된 배압이 수직관 입구에 영향을 크게 미친 때문이라고 판단되었다.

또한 후자의 경우에는 중만실의 평면이 상방향으로써 반대편 벽면에 형성된 배압의 영향보다 중만실의 유입구로 들어오는 공기의 동량이 수직관 입구에서 더 크게 작용한 때문에 나타나는 현상으로

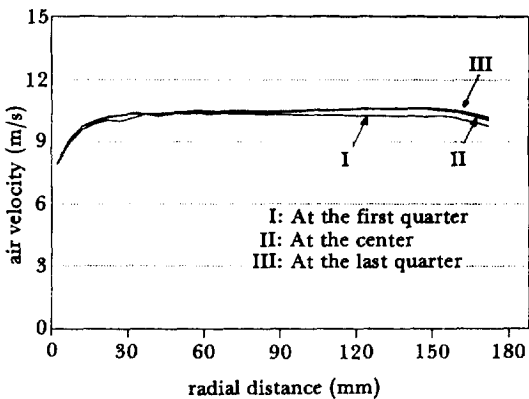


Fig. 4. The effect of the location of the plenum chamber outlet on the air velocity profile when the air velocity was measured at 150cm from the bottom of the duct

판단되었다.

그림 4는 중만실의 출구 위치가 수직관내의 유속 분포에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림 4는 중만실의 출구 위치를 3가지로 구분하여 나타낸 것으로 I은 출구 위치가 중만실의 입구로부터 전체 중만실 길이의 1/4이 되는 경우이고 II는 1/2이 되는 경우를 나타낸 것이며 III은 3/4이 되는 경우를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 I의 경우에는 중만실의 입구 편 수직관내 유속이 다소 크게 나타났으며 II와 III의 경우에는 반대편의 유속이 다소 크게 나타났다. 이러한 이유는 그림 3의 경우에 고찰한 바와 같이 I의 경우에 유입공기의 영향이 중만실 입구의 반대편 벽면에 나타나는 배압의 영향보다 크게 나타나기 때문이고 II와 III의 경우에는 그 반대 경향이 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 유속의 크기면에서 볼때는 III, II, I의 순으로 유속이 크게 나타났으나 그 차이는 매우 미소한 것이었다. 한편 중만실 출구로부터 150cm 지점에서 수직관내 유속이 8m/s 이하의 저속인 경우가 지점에서는 그림 3 및 4에서 나타나는 바와같은 유속편의 경향이 약화되어 관벽으로부터 약 2cm를 벗어나는 부위에서는 유속 분포가 매우 균일하였다.

따라서 중만실의 출구의 위치와 크기는 중만실의 입구로 유입되는 공기가 수직관 입구의 유동에 직접 영향을 미치는 정도를 가능한 작게 할 수 있고 중만실의 각 측면에서 나타나는 배압의 영향이 가능한 편이되지 않도록 설계되어야 한다는 사실을 알 수 있었다.

다. 관내 요소의 영향

관내 요소는 주로 유동 방향과 유동의 수직방향에서 나타나는 난류 성분을 감소시킬 목적으로 사용되고 있다. 즉 번짐은 유동의 수직 방향의 난류 성분을 감소시키기 위해 사용되고 스크린은 주로 유동 방향의 난류 성분을 감소시킬 목적으로 사용되고 있다.

1) 벌집의 영향

관내 유동에서 벌집으로 인한 압력손실은 벌집의 셀(cell)의 크기에 따라 다소 차이가 있지만 매우

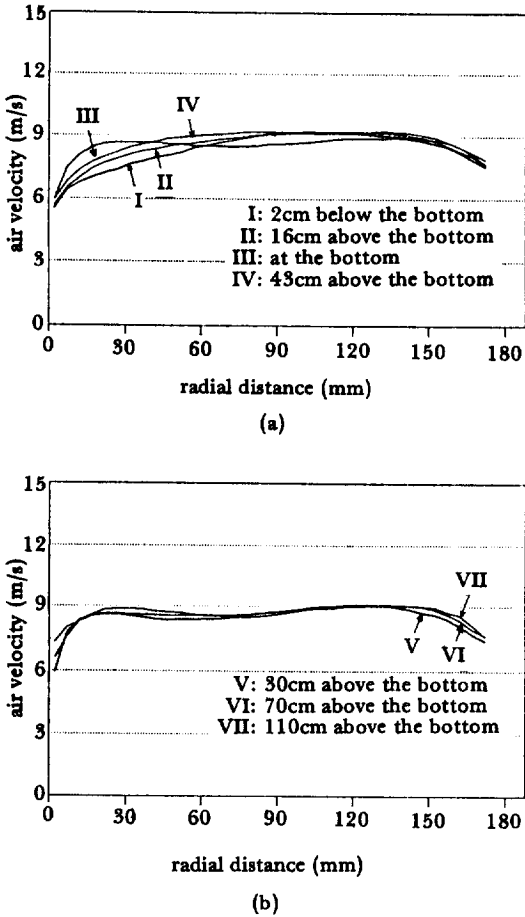


Fig. 5. The effect of the installing position of the circular-cell honeycomb on the air velocity profile when the air velocity was measured 150 cm from the bottom of the duct

작기 때문에 유속에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다.

그림 5는 수직관내에서 벌집의 위치가 유속 분포에 미치는 영향을 나타낸 것으로 벌집의 길이가 50 mm이고 셀의 직경이 13mm인 원형 벌집을 사용한 것이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 벌집의 위치는 수직관내의 유속 분포에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 벌집이 수직관 입구나 수직관 입구보다 낮게 설치되는 경우에는 유속분포는 전적으로 충만실내의 압력 분포에 의해 영향을 받는 것으로 파악되었으며 벌집이 수직관 입구보다 하류쪽에 설치된 경우, 유속 분포는 벌집의 위치에 따라 다르게 나타남을 알 수 있었다. 벌집이 수직관 입구로부터 16

cm 지점에 설치된 경우에는 수직관 입구에 설치된 경우와 유사한 유속 분포를 보였으나 수직관 입구로부터 30cm 이상 높게 설치된 경우에는 중앙부위의 유속이 수직관 벽측의 유속보다 낮게 나타났다. 이것은 수직관 입구로부터 특정 거리까지는 충만실내의 압력 분포가 수직관내의 유속 분포에 크게 영향을 미치고 그 이상 거리에서는 충만실내의 압력 분포보다는 수직관내의 기류의 양태가 더 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 유속분포를 관내요소가 설치되지 않은 경우와 비교해 보면 벌집이 수직관 입구에 설치되는 경우 완전히 전개된 유동(fully developed flow)이 빨리 형성되고 벌집이 수직관 입구로부터 비교적 멀리 떨어진 지점에 설치되는 경우의 유속분포는 벌집상류에 형성된 유속 분포보다 더욱 불균일해짐을 알 수 있었다. 또한 다른 종류의 벌집을 설치할 경우에도 이와 유사한 경향을 나타내었다.

그림 6은 동일한 위치에 설치한 여러가지 종류의 벌집이 수직관내의 유속 분포에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 관내에 벌집을 설치하는 것은 균일속도분포를 얻기 위해서는 바람직하지 않음을 알 수 있다. 다만 원형 벌집의 경우는 개구율(opening ratio)이 사각형 벌집보다 작기 때문에 압력 손실이 크게 나타났으나 유

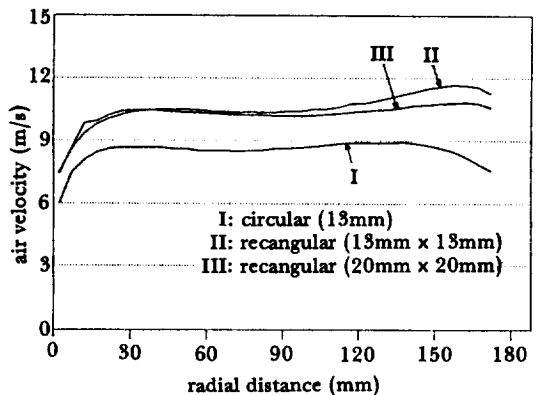


Fig. 6. The effect of the type and the size of the honeycomb cell on the air velocity profile when the honeycomb was installed at 43cm from the bottom of the duct and the air velocity was measured at 150cm from the bottom of the duct

속 분포의 불균일성을 어느정도 경감시키는 효과가 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과로부터 수직관 입구에서의 유동이 이상적인 관입구 유동형태와 차이가 큰 경우에는 벌집을 사용하지 않는 것이 유리하다고 판단된다.

2) 스크린의 영향

스크린은 유동의 수직방향보다는 유동 방향의 난류 성분을 감소시키는 효과가 있으나 압력손실을 크게 유발한다고 알려져 있다.

스크린을 설치했을 때 압력 손실과 난류 성분 감소 효과를 추정하기 위해 다음과 같은 식이 널리 이용되고 있다.⁶⁾

$$K = K_0 + 55.2/Re$$

$$K_0 = (1 - 0.95 \cdot \beta / (0.95 \cdot \beta))^2$$

$$\beta = (1 - d/M)^2 \dots\dots\dots(2)$$

여기서 d : 스크린 와이어의 직경
 M : 매쉬의 길이
 Re : 스크린 와이어 직경(d)을 기준으로 한 레이놀즈 수
 K : 압력 손실 계수

$$f_a = 1/(1+K) \text{ (Prandtl Eq.)} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 f_a : 유동 방향의 난류 성분 감소 척도

$$f_2 = 1/\sqrt{1+K}$$

(Dryden & Schubauer Eq.) \dots\dots\dots(4)

여기서 f₂ : 유동과 수직 방향에서의 난류 성분 감소 척도

만약 여러 개의 스크린이 설치되는 경우에 K 값은 각각의 스크린에 대한 값의 합으로 표시되고 f 값은 곱으로 표시된다.

표 3 은 스크린으로 인한 압력손실계수 (pressure loss coefficient)와 난류 성분 감소 척도(turbulence reduction factor)를 나타낸 것이다. 1 개의 3.0mm × 3.0mm 스크린을 설치함으로써 압력은 13.1% 만큼 손실되는 것으로 나타났는 바 식(2)에 의해 추정된 값과 비교해 보면 차이가 매우 큼을 알 수 있다. 2 개의 3.0mm × 3.0mm 스크린이 설치되었을 때는 24.3%의 압력 손실이 나타났으며 3 개의 3.0mm × 3.0mm 스크린과 2 개의 1.5mm × 1.5mm 스크린이 동시에 설치되었을 경우의 압력 손실은 50.7%로 나타났다. 또한 난류성분 감소척도를 실측치의 압력손실계수를 이용하여 식(3)과 (4)에 의해 계산한 결과 1 개의 3.0mm × 3.0mm 스크린이 설치되었을 때 유동 방향의 난류성분은 스크린이 없을 때에 비해서 88.4%로 감소되었으며 유동의 수직 방향에 대해서는 94.0%로 감소되는 것으로 추정되었다. 한편 여러개의 스크린을 설치할 때 스크린 사이의 간격은 스크린 눈 크기의 30배 정도가 적합하다는 제안도 있으나 여기서는 스크린 사이의 간격을 3cm 로 고정하였다.

Table 3. Pressure loss coefficients and turbulence reduction factors of screens (rev. of motor= 800rpm)

screen	pressure loss coeff.		turbulence reduction factor*	
	estimated	measured	axial direction	lateral direction
1.5mm × 1.5mm 1 screen	0.488	—	—	—
3.00 × 3.0mm 1 screen	0.337	0.131	0.884	0.940
3.0 mm × 3.0mm 2 screens	0.674	0.243	0.805	0.897
3.0mm × 3.0mm 3 screens	—	0.507	0.664	0.815
1.5mm × 1.5mm 2 screens	—	—	—	—

*calculated with measured pressure loss coefficients

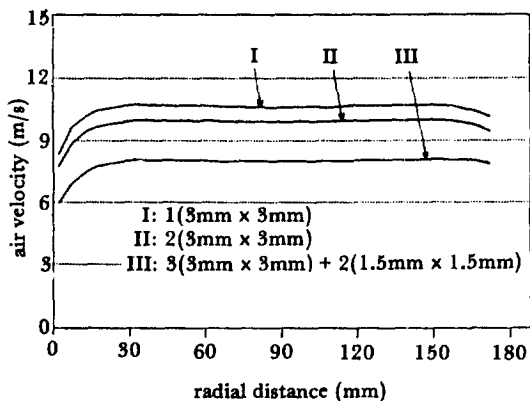


Fig. 7. The effect of the number of the screens on the air velocity profile when the screens were installed at the bottom of the duct and the air velocity was measured at 150cm from the bottom of the duct

그림 7은 수직관내에 설치된 스크린이 유속 분포에 미치는 영향을 나타낸 한 예이다. 그림에서 보는 바와 같이 수직관내 스크린을 설치하였을 때 유속 분포는 관벽면으로부터 2~3cm의 경계층을 제외하면 매우 균일하게 나타났다. 여기서도 표 3에서 고찰한 바와 같이 스크린을 여러 개 설치할수록 보다 유속은 감소하나 균일한 유속 분포를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

3) 벌집과 스크린의 조합에 의한 영향

벌집과 스크린을 조합하여 설치하였을 경우 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 수직관 입구에서의 유동이 이상적인 관입구 유동과 상이하게 되면 벌집으로 인해 유속의 불균일 분포가 더욱 심화되기 때문에 스크린의 효과가 별로 나타나지 않는 것으로 나타났다.

라. 실험부(test section)의 설정

만약 수직관 입구에서 이상적인 유동을 얻을 수 있다면 관내 경계층이 크게 발달하지 않은 수직관의 어느 위치를 농산물의 공기동력학적 특성을 규명하기 위한 실험부로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 좁은 공간에 설치되는 대부분의 간이 풍동의 경우에는 수직관의 입구에서 유속 분포의 불균일성이 어느 정도 나타나게 된다.

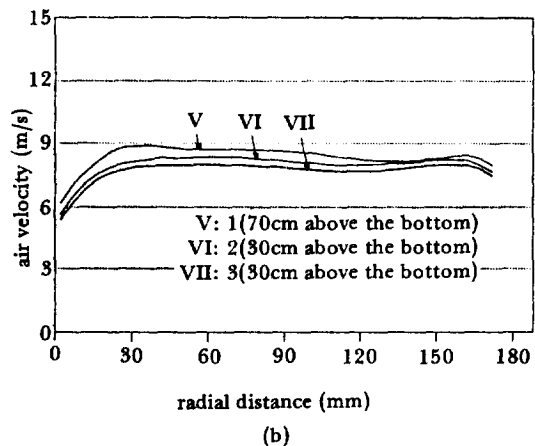
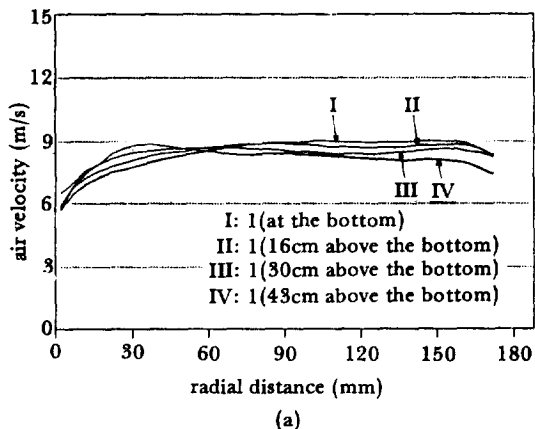


Fig. 8. The effect of the number of screens installed at the bottom of the duct and the installing position of the circularcell honeycomb on the air velocity profile when the air velocity was measured at 150cm from the bottom of the duct

따라서 중만실내의 불균일한 압력 분포로 인해 나타나는 수직관내 유속 분포의 불균일성이 배제될 수 있는 지점으로부터 관내에서의 경계층이 비교적 덜 발달된 지점까지의 범위를 실험부로 활용하는 것이 바람직하다고 사료된다. 이때 유속분포가 불균일한 수직관 벽측 부분은 길이가 짧고 두께가 매우 얇은 실린더를 경계층에 놓으므로써 유속분포가 불균일한 부분과 균일한 부분을 구분할 수 있으며 균일한 부분만을 실험부로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에 사용된 수직풍동의 경우에는 수직관 입구로부터 1m~2m 구간이 실험부로서 적합한 것으로 파악되었다.

한편 수직관의 직경이 너무 클 경우 원하는 유속을 얻기가 어려울 뿐만 아니라 균일 유속분포를 얻기가 어려운 반면 너무 작은 경우에는 균일 유속분포의 범위가 좁아진다는 것을 고려한다면 용도에 따라 적합하게 수직관의 직경이 선정되어야 할 것으로 판단되었다.

5. 요약 및 결론

농산물 특히 곡물의 종말속도와 같은 공기동력학적 특성을 구명하기 위하여 송풍식 균일관 수직 풍동을 사용할 경우 정밀도가 높은 실험을 수행하기 위해서는 실험에 사용될 수직풍동이 균일한 유속분포를 얻을 수 있도록 설계되어야 할 것이다. 본 연구는 수직풍동의 구성요소의 종류, 크기, 수, 설치 위치등이 수직관내의 유속 분포에 미치는 영향을 구명하여 곡물을 비롯한 농산물의 공기동력학적 특성을 정도 높게 측정할 수 있는 수직풍동의 설계지침을 마련함과 동시에 수직관의 어느 단면부위와 위치를 실험부로 설정하는 것이 바람직한가를 알아보기 위하여 수행되었는 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 충만실의 크기와 출구의 위치는 충만실의 입구로부터 유입되는 공기가 수직관 입구에서의 유동에 직접 영향을 미치는 정도를 가능한 작게 할 수 있고 충만실의 각 측면에서 나타나는 배압의 영향이 가능한 편이되지 않도록 설계되어야 한다.

2) 수직관 입구에서의 유동이 이상적인 관입구 유동과 차이가 큰 경우에는 벌집을 사용하지 않는 것이 균일 속도 유동을 얻는 데 유리한 것으로 나타났다.

3) 수직관내에 스크린을 설치할 경우 수직관내에서 보다 균일한 속도 분포를 얻을 수 있었다. 그러나 스크린을 설치하였을 때의 압력손실이 고려되어야 한다.

4) 수직관에서 실험부는 충만실내의 불균일한 압력 분포로 인하여 나타나는 수직관내 유속 분포의 불균일성이 배제될 수 있는 지점으로부터 관내에서의 경계층이 비교적 덜 발달된 지점까지의 범위로 설정하는 것이 바람직 하다.

참 고 문 헌

1. Bilanski, W.K. and E. Lai. 1965. Behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. *Trans. of ASAE* 8(3): 411-413, 416.
2. Hawk, A.L., D.B. Brooker and J.J. Cassady. 1966. Aerodynamic characteristics of selected farm grains. *Trans. of ASAE* (1): 48-51.
3. Kawakami, K.. 1972. Air resistance of chopped forage (I): Apparent drag coefficient of forage stem particles. *J. of JSAM* 34 (2): 175-180.
4. Kawakami, K.. 1973. Air resistance of chopped forage (II): Suspension velocities and behavior of forage stem particles. *J. of JSAM* 35(1): 75-79.
5. Ower, E. and R.C. Pankhurst. 1977. The measurement of air flow. Pergamon Press, U.K.
6. Rae, W.H. and A. Pope. 1984. Low speed wind tunnel testing. John Wiley & Sons.
7. Schlichting, H., 1979. Boundary layer theory. McGraw-Hill, Inc.,
8. Shellard, J.E. and R.H. Macmillan. 1979. Aerodynamic properties of threshed wheat materials. *J. of Agric. Engng res.* 23: 273-281.
9. Smith, R.D. and R.L. Strohshine. 1985. Aerodynamic separation of cobs from corn harvest residues. *Trans. of ASAE* 28 (3): 893-897, 902.
10. Tsuchiya, M., J. Kamide and K. Ishiwada. 1981. Study on the separation of unhulled rice and brown rice by winnowing. *J. of JSAM* 43(3): 433-442.
11. Wolfe, R.R. and C.G. Tatepo. 1972. Terminal velocity of chopped forage materials. *Trans. of ASAE* 15(2): 137-138, 140.