

농업시설의 환기효율성연구를 위한 풍동경계층 설계

Design of Wind and Turbulence Profiles in a Wind Tunnel for Study of Ventilation Efficiency of Agricultural Buildings

이인복 최규홍 전종길 김경원
정희원 정희원 정희원 정희원
I. Lee K. Choi J. Chun K. Kim

1. 서론

농촌지역의 인구가 급속히 감소하고 있는 가운데, 농촌인력의 노약화, 여성화가 매우 빠르게 진행되고 있다. 인력을 효율적으로 이용하고 농업생산성을 높이기 위하여 현재 온실, 축사 등 농업시설은 자동화, 대형화되어 가고 있는 추세에 있다. 이러한 농업시설의 대형화에 따른 최적환경조성의 중요성이 대두되고 있어서 이에 따른 적합한 시설환경이 요구되고 있으나 적정환기가 이루어지지 않아 생산성 향상에 어려움이 많이 있다. 또한 외국 농업선진국으로부터 새 모델의 농업시설들이 많이 도입되고 있으나 우리나라 기상환경상태에 적합한 환기구조 및 시스템 구축은 아직 부족한 실정이다. 농업시설에서의 환기는 매우 중요한 분야이면서도 현재까지 충분한 연구가 이루어지지 않은 가장 큰 이유는 눈에 보이지 않는 공기의 흐름을 대상으로 한다는 점이다. 농업생산성 향상을 위하여 환기 및 시설구조 설계시 가장 중점을 두는 사항은 내부환경의 적정성, 안정성, 및 균일성이다 (Lee 등, 2003a).

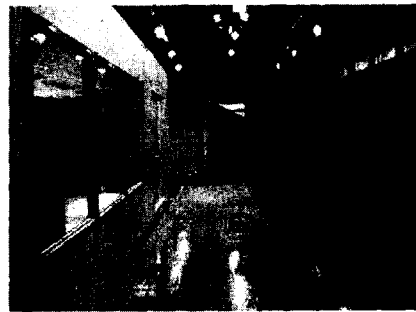


Fig. 1 General view of wind tunnel at National Agricultural Mechanization Research Institute of Rural Development Administration in Suwon

이러한 문제점들을 위하여 현재 농업기계화연구소에서는 공기유동 해석을 통한 농업시

설 및 환기구조개선을 위하여 다양한 연구를 수행하고 있다. 가장 많이 사용하고 있는 공학적 틀은 전산유체역학과 대형 경계층풍동이다. 농업기계화연구소의 풍공학실험실은 2002년 10월말에 완공을 하였으며, 국내에서 농업분야에서의 연구를 위한 최초의 풍동이다 (Fig. 1). 이 논문에서는 풍동의 의미 및 풍동내에 축소모델의 상사법칙에 따른 유속 및 난류발생법에 대하여 소개하고자 한다

2. 농업시설내 환경실태

적정성이라 함은 생물의 성장과정중에 적정 온도, 습도 등이 변하게 되는데 내부환경이 이에 얼마나 근접하게 조절되는가를 나타내는 것이다. 동물의 경우를 예를 들어 보면, 여름과 같은 경우에는 고온스트레스가 큰 문제가 되는데 이는 성장과 더불어 내려가는 적정온도를 만들지 못하기 때문이다. 식물환경을 위한 시설인 온실도 고온스트레스 때문에 여름에는 거의 이용을 못하고 있는 실정이다.

안정성은 특히 봄이나 가을과 같이 환절기에 많이 대두되는 문제인데, 낮과 밤의 기온차 등 외부기상의 큰 변화가 내부 생물환경에 얼마나 영향을 주는지를 나타내는 것이다. 대부분 기관지성 질환 등 시설내에 생물들에게 큰 피해를 줄 수 있는 질병들이 발생하게 되는데 이는 주 환경요소들의 안정성 부족이 주 원인이 되고 있다. 균일성도 또한 매우 중요한 요소인데, 동물의 쏠림현상, 미성장 등의 주 원인이 되고 있다. 시설내에 동물을 입식할 때 각 마리당 최소 필요한 공간을 고려하여 입식을 하는데, 시설내 균일한 환경조건이 이루어지지 않으면 닭들이 보다 좋은 환경조건을 따라서 몰리기 때문에 시설면적을 효과적으로 활용을 못 할 뿐만 아니라 압사, 폐사 등 심각한 피해가 발생할 수 있다. 또한 현재 축사가공에서는 균일한 크기의 동물들을 원하는데, 균일성이 떨어지면 미성장 등 생산성에서도 균일성이 떨어지게 된다. 이러한 균일성 문제는 동절기에 크게 발생을 하는데, 비싼 에너지비용을 절감하기 위해서 제한된 환기만이 이루어지고 있는 실정이다. 현재 하절기와 비교하여 동절기에는 보통 약 10%정도의 환기만이 이루어지기 때문에 온도는 유지가 되지만 내부의 NH₃ 등 유해한 가스나 분진 등의 환경은 매우 열악한 실정으로 질병발생율이 매우 높은 것으로 나타나고 있다.

3. 풍동이란

인위적으로 바람을 일으키는 실험장치인 풍동은 19세기말 영국에서 항공기의 개발을 위하여 처음으로 만들어진 이래 항공기계분야뿐만 아니라 토목, 건축, 환경, 전기 등 각종 공학분야에서 바람에 의한 각종 현상을 파악하기 위하여 사용되고 있다. 농업분야와 관련하여 세계적으로 풍동은 시설 및 환기구조설계, 방제효율성 향상연구, 풍력에너지이용연구, 농장설계 연구 등을 위하여 다양하게 이용되어지고 있는데, 가장 활발하게 연구가 진행되는 곳은 미국, 영국, 일본, 캐나다 등이다 (Lee 등, 2001; Lee 등, 2003b). 풍동이 가장 많이 이용되어지고 있는 분야는 방제효율성 향상연구와 시설 및 환기구조 설계이다. 농업기

계화연구소에 신축된 대형경계층풍동의 제원을 Fig. 2에 나타낸다.

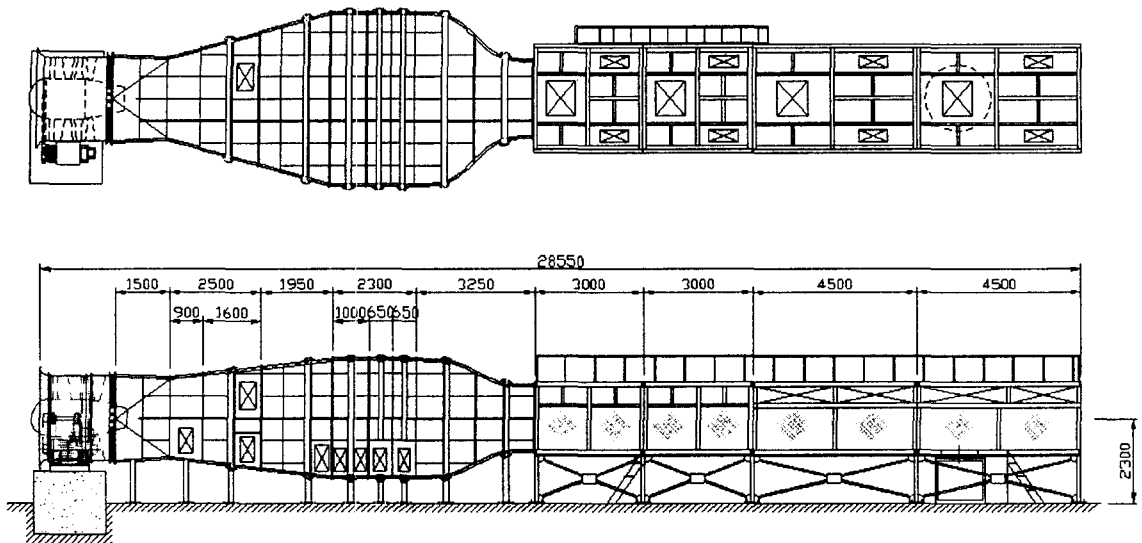


Fig. 2 Plane and side figures of the wind tunnel

Table 1 Specifications of wind tunnel at National Agricultural Mechanization Research Institute

BOUNDARY LAYER WIND TUNNEL	
Type	Eiffel type
Total Length	28.5m
Test Area	2.0(W)×1.7(H)×15.0(L)m
Wind Speed	0.3 ~ 15m/s
Turbulence Intensity	Less than 0.5%
Flow Uniformity	Within 0.5%
Contraction Ratio	4.0 : 1
FAN	
Type	Aerofoil Type Axial Fan
Diameter	2.5m
Maximum Speed	Maximum 635RPM
Flow Rate	5000m ³ /min
MOTOR	
Type	DC Motor(Torque Constant Type)
Power	132KW, 60Hz, 3Phase
Maximum speed	Maximum 1150RPM
Voltage	380Voltage

풍동의 형식은 Eiffel type이며 측정부의 크기는 2.0m(W)×1.7m(H)×15.0m(L)이다. 측정부의 길이는 대기경계층의 형성이 용이하도록 결정되었다. 본 풍동의 주요성능은 Table 1과 같다. 최대출력: 132KW 최고회전수: 1,150RPM의 직류모터를 Thyristor Leonard방식에 의해 제어한다. 송풍기는 일단축류송풍기로 직경이 2.5m이며 회전날개의 수는 12개이다. 최고회전수는 635RPM이며 이때의 풍량은 5,000m³/min 총합은 55mmH₂O이다. 측정부 15m를 포함한 풍동의 전체길이는 29m이다. 송풍기에서 축류부, 측정부까지의 구간은 전부 강재로 제작되어 있으며 풍동제어실측의 벽면은 15m 전구간이 관측창으로 되어 있다. (Fig 2) 지름이 1.5m인 1개의 turntable이 설치되어 있으며, 시험부의 천장에는 관측창이 일정한 간격으로 4군데에 설치되어 있다. 정류망은 $\Phi=0.2\text{mm}$ 및 0.23mm인 16, 22, 28mesh의 스텔레스 스크린을 사용하였으며 확산부에 2매, 정류실에 3매를 배치하였다. 또한 정류실에는 길이 12.5cm의 알루미늄 정류격자를 설치하였다. 확산부의 중간지점에는 각면의 1개씩 합계 4개의 전동식 breathing door 가 설치되어 있다. 송풍기의 RPM으로 조정이 가능한 최저풍속이 0.3m/s인데 이 breathing door를 사용하여 이보다 낮은 풍속의 제어가 가능하도록 하였다.

본풍동의 측정부에는 1개의 turntable이 설치되어 있다. 이 turntable의 중심축은 축류부의 출구로부터 하류측으로 약 12m지점에 위치하고 있으며, 모든 구동은 전동식으로 원격제어 되도록 하였다. 3차원 트레버스 시스템의 이송거리는 X, Y, 그리고 Z축이 각각 0 ~ 7,000mm, 0 ~ 1,500mm, 0 ~ 1,000mm이다. X축방향의 이송거리를 많이 준 이유는 turntable에 모델을 설치하고 수행하는 시험 이외에도 시험부의 다양한 위치에서 연구들이 이루어지리라고 예상하기 때문이다. 송풍기 및 turntable, traverser의 작동은 네트워크로 연결된 1대의 컨트롤 패널과 1대의 PC중 어느 곳에서도 제어가 가능하다.

4. 경계층 설계

구조물의 내풍설계에 있어 초기의 풍동실험은 이러한 층류중에서 이루어졌으나, 자연풍의 현지 관측이 활발히 이루어지고 많은 관측 결과로부터 시간 및 공간적으로 변동하는 자연풍의 구조 및 성질이 확률·통계학적으로 어느 정도 정립되게 되었다. 이러한 배경으로부터 구조물의 실제거동을 풍동내에 재현하고자 하는 욕구가 생기게 되었고, 1958년 Jensen은 “실제의 공기역학적 거동을 정확히 재현하기 위해서는 자연풍과 그 성질이 동일한 기류에 의한 풍동실험이 필요하다.”고 주장하고 풍동실험시 갖추어야할 조건이라 할 수 있는 상사법칙을 제안하였다. 그 후 자연풍의 성질을 가진 난류를 풍동 내에 재현하기 위한 여러 가지 방법들이 소개되었다.

이러한 난류는 층류상태인 기류에 적절한 변동을 줄 수 있는 장치를 풍상측에 설치함으로써 측정단면에서 시·공간적으로 변화하는 기류를 얻을 수 있다. 난류발생방법으로서는 사용하는 장치에 따라 크게 수동적 방법과 능동적 방법으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 풍

동 내에 생성되는 난류는 크게 균등질, 경계층, 특수층으로 분류할 수 있다 (Holmes, 2001).

가. 자연풍에 관한 상사법칙

풍동에서는 대개 축척모형을 이용하여 풍력, 풍압, 동·정적 응답 등의 실험이 행해진다. 따라서 풍동에서 실시된 모형에 의한 실험의 결과와 실제현상과 일치해야 하며, 이를 위하여 실제 현상을 풍동에서 재현하기 위한 어떤 규정이 필요하다. 이러한 실제현상과 풍동실험에서 일치해야 될 여러 조건을 규정한 것을 “상사법칙”이라 한다. 일반적으로 상사법칙은 자연풍과 풍동기류, 실제구조물과 모형, 바람과 구조물의 상호작용에 의한 것의 3가지 관점에서 각종 무차원 parameter의 일치를 규정하고 있으나, 여기서는 풍동 내 난류발생시 고려해야 될 자연풍과 풍동기류에 관한 법칙은 평균풍속의 연직분포, 난류강도, 난류 Scale, 풍속의 power spectrum, 경계층의 두께 등에 적용하여야 한다.

나. 능동적 및 수동적 난류발생방법

능동적 방법은 풍동 내에 기계장치를 설치하여 이를 전기적으로 구동시킴으로서 측정부에 유입되는 풍량 및 풍향을 강제로 변화시켜 난류를 발생시키는 방법으로 측정부가 짧은 풍동에서 격자난류에서는 얻기 힘든 큰 scale의 난류를 생성할 수 있다는 이유에서 여러 가지 형태의 능동적 난류발생 장치가 개발되고 있다. 기본적인 장치의 구성은 대개 기류의 변동을 제어할 수 있는 능동적 회전판과 이를 구동시키는 전기장치로 이루어진다. 수동적 방법은 측정부의 풍상측에 고정설치된 저항물체에 의하여 공기흐름에 변동을 꺾는 것으로 격자를 사용한 격자난류, 표면조도에 의한 난류 등을 이용한 경계층난류로 대변할 수 있다.

격자에 의한 방법은 풍로가 짧은 2차원 풍동에서 손쉽게 난류를 얻을 수 있는 장점을 가지며 격자의 간격 및 크기 또는 설치위치의 조절함에 따라 손쉽게 다양한 난류 특성을 지닌 기류를 생성할 수 있다. 격자난류를 엄밀히 다루자면 수평, 수직뿐만 아니라 모형축 방향으로도 변동하는 3차원난류이나 모형축 방향은 고려하지 않는 것이 보통이고, 2차원 모형의 실험에 적합하다.

일반적으로 생성되는 기류의 난류강도 및 난류scale은 격자의 크기에 비례하고 격자의 간격과 측정점에서부터 격자까지의 거리에 반비례한다. 따라서 임하고자하는 풍속 및 난류 측정치가 결정되면 크기가 다른 몇 종류의 격자를 준비하고 그 설치위치를 변화시켜 가면서 기류를 측정하여 목표로 하는 난류를 얻을 수 있다. 경우에 따라 2장 이상의 격자를 풍상측에 배열하여 비교적 큰 난류강도를 가진 기류를 생성할 수도 있으며, 하부에서 상부로 갈수록 격자의 간격을 넓게 배치하면 측정단면에서 연직방향의 평균풍속 및 난류강도분포가 경계층난류의 특성과 유사한 기류를 얻을 수 있다.

표면조도에 의한 방법은 풍동의 바닥에 조도block 인공잔디 등을 배치하여 표면마찰에 의해 경계층을 발달시켜 측정점에서 자연상태와 바람과 유사한 연직방향 풍속분포 및 난류

특성을 가진 난류를 재현하는 방법이다. 경계층 내의 평균풍속의 연직분포 및 기류의 난류 특성은 표면조도의 종류와 크기 및 길이에 의해 결정해진다. 충분히 두꺼운 경계층을 발달시키기 위해서는 상당히 긴 측정부를 가진 풍동이 필요하고, 경계층의 두께가 매우 두꺼운 경우나, 측정부의 길이가 경계층을 발달시키기에 충분하지 못한 경우는 상류측에 spire, fence 등과 같이 속도성층발생용 부재를 병용하기도 한다. 또, block 및 spire의 치수는 경계층의 두께 및 연직분포에 대한 지수법칙의 고도분포지수에 따라 결정된다 (Irwin, 1980).

5. 결 론

이상으로 농촌진흥청 농업기계화연구소의 대형경계층풍동에 대한 개요와 대표적인 경계층 설계방법을 소개하였다. 농업시설에서 효율적인 연구가 거의 이루어지고 있지 않았던 환기연구, 시설 및 농장설계, 자연에너지 활용, 방제효율성 향상연구 등을 위하여 공기유동 해석적 연구가 많은 기여를 할 것으로 기대하고 있다. 현재 자연환기식 육계사 환기개선연구와 자연환기식 다연동온실의 환기효율성 정량화 연구를 위하여 경계층 설계 실험을 수행하고 있다.

6. 참고문헌

- Holmes, J. 2001. Wind loading of structures. Spon Press, London, UK
- Jenson, M. 1958. The model-law for phenomena in natural wind, Ingeri ψ ren International Edition, Vol 2(4):121-128
- Irwin, H. 1980. The design of spires for wind simulation. Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 7:361-366
- Lee, I., S. Sase, L. Okushima, and A. Ikeguchi. 2001. Performance of particle image velocimetry for aerodynamic study of natural ventilation in large-sized multi-span greenhouses. Presented at the 2001 ASAE Annual International Meeting. ASAE Paper No.014055. St.Joseph, Mich.: ASAE.
- Lee, I., K. Choi, J. Yun, J. Jeun, G. Kim. 2003a. Optimization of a large-sized wind tunnel for aerodynamic study of agriculture. Presented at the 2003 ASAE Annual International Meeting. ASAE Paper No.034068. St.Joseph, Mich.: ASAE.
- Lee, I., S. Sase, L. Okushima, A. Ikeguchi, J. Yun and K. Choi. 2003b. A wind tunnel study of natural ventilation for multi-span greenhouse scale models using two-dimensional particle image velocimetry. Transactions of ASAE 46(3)