



# THEME 01

## 풍동의 역사와 종류

최종수 | 충남대학교 항공우주공학과, 교수/한국풍동기술연구회, 회장 | e-mail : jchoi@cnu.ac.kr  
이재형, 이재하 | 충남대학교 항공우주공학과, 대학원생

인류의 좀더 빨리 이동하고자 하는 욕구를 충족시키기 위해 항공기, 자동차, 기차 등 다양한 형태의 운송수단이 개발되고 있다. 이러한 운송체의 주위를 흐르는 공기의 유동과 유사한 환경을 만들어 실험하고자 하는 목적에서 풍동이라는 실험장치가 개발되었다. 이 글에서는 풍동의 역사와 종류에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

### 풍동의 역사

풍동이란 공기가 흐르는 현상이나 공기의 흐름이 물체에 미치는 힘 또는 흐름 속에 있는 물체의 운동 등을 조사하기 위해 인공적으로 공기가 흐르도록 만든 장치이다. 풍동이 개발되기 훨씬 전인 18세기 말 공중에 나는 물체에 공기가 어떤 영향을 주는지 측정하기 위한 노력이 있었다. 영국 군 엔지니어이자 수학자인 Benjamin Robins(1707~1751)가 항력측정과 항공이론에 대한 실험을 위해 whirling arm 장치를 개발하였다. 이 장치는 원심력을 이용하여 물체를 회전시켜 물체에 발생하는 항력의 크기를 측정하기 위하여 그림 1과 같은 장치를 고안하였다. 1746년에 그는 이 장치를 이용하여 공기저항이 비행체에 중요한 인자임을 증명해 보였다. 그 외 Georgy Cayley가 에어포일의 양력과 항력을 측정하기 위해 비슷한 형태의 장치를 개발하였다. 그러나 이러한 장치는 물체에 원심력이 작용하게 된다는 점과 물체가 자신이 만들어 낸 후류를 지나야 한다는 점 때문에 실제 공기가 모형에 부딪히는 조건을 만들어 내기에는 한계가 있었다.

영국항공학회의 Francis Herbert Wenham(1824~1908)는 이러한 문제점을 지적하며 1871년 처음으로 폐쇄형태의 풍동을 고안, 설계하여 운전하였다. 당시

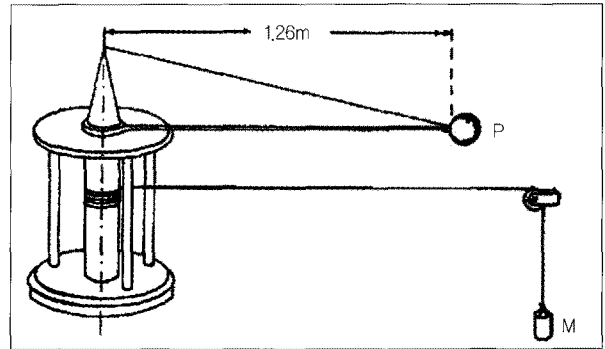


그림 1 추의 자중을 이용하여 실험 대상체를 회전시키는 실험장치

로서는 매우 혁신적인 풍동 발명을 통해 세밀한 기술적 데이터들이 획득되었다. Wenham과 그의 동료 Browning은 '양항비', '높은 가로세로비에 의한 효과' 등을 발견하여 실험을 통한 공기역학의 기초적 발전에 기여하였다. 1897년에는 Carl Rickard Nyberg는 Flugan이라는 비행기를 설계하는 과정에 풍동을 사용하였다. University of Manchester의 Osborne Reynolds(1842~1912)는 유동의 어떤 조건이 같을 경우, 축소모형 주변의 유동이 실제 크기의 물체 주변의 유동과 같은 패턴을 보임을 보였다. 이 조건은 Reynolds number로서, 유동 패턴의 모양, 열전달, 난류 발생 등 모든 유체 유동 상태를 설명하는 변수로 쓰이고 있다. 이러한 발견은 축소 모형의 풍동 실험이

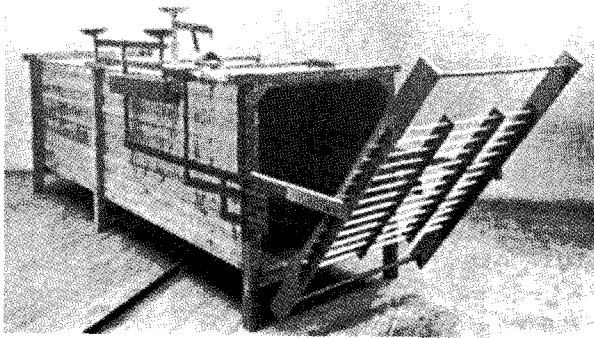


그림 2 Hiram Maxim이 비행체 모형에 작용하는 양력을 확인하기 위하여 제작한 초기 풍동장치

실제 현상을 모사할 수 있음을 정당화하는 계기가 되었다. Wright 형제는 1901년에 Wright Flyer를 개발하는 과정에서 다양한 형태의 에어포일 유동 효과를 관찰하기 위하여 간단한 형태의 풍동을 사용하였다.

20세기 중반에 이르러 공기역학과 항공 엔지니어링의 체계적인 발전, 비행기를 이용한 여행객 증가와 발전(發電)기술의 발달로 풍동 운용이 급격히 증가하게 된다. 2차 세계대전 이전 독일 과학자들은 자연의 동굴에 추가적인 굴착으로 터널을 확대하여 대형 풍동을 건설하고, 이를 폐쇄형태로 만들어 공기를 순환할 수 있도록 만들었다. 이러한 혁신적인 접근으로 독일은 높은 속도 영역에서까지 실험을 수행할 수 있었고 항공기술의 발전에 속도를 낼 수 있었다. 종전까지 독일은 세 개의 초음속 풍동을 보유하고 그 중 하나는 마하 4.4까지 낼 수 있었다. 1941년 미국은 오하이오주 데이튼에 4만 마력의 모터가 두 개의 40피트 팬을 돌리고 시속 400 마일의 풍속으로 대형 모형 항공기를 실험할 수 있는 대형 풍동을 건설했다.

세계대전 후 풍동은 음속 돌파를 위한 관련 실험들이 이뤄졌다. 압력 챔버에 공기를 고압으로 저장한 후, 좁은 노즐로 초음속 유동을 흘려 보내 원하는 속도의 유동에 물체를 측정부에 위치하여 측정하였다. 최근에 이르러 세계적으로 풍동을 운영하는 실험실이 운영을 중단하거나 실험시간을 줄이고 있는 추세에

있다. 이는 높은 운영 비용과 수치해석기법(CFD)과 컴퓨터 계산 속도의 비약적 발전에 따라 해석 결과로 풍동 실험 결과를 대신하는 경우가 증가하고 있기 때문이다. 그러나 현재에 이르기까지도 CFD가 실제 현상을 완벽하게 해석하는 데는 한계를 안고 있으며, 해석 결과의 신뢰도를 확인하기 위해서도 풍동 실험 데이터는 여전히 요구되고 있다. 최근 풍동은 군용 항공기 연구나 무인비행체의 시험을 위해 다양하게 활용되고 있다.

## 풍동의 종류

풍동의 유형은 개방 순환형 풍동(Open Circuit Wind Tunnel) 및 폐쇄 순환형 풍동(Closed Circuit Wind Tunnel)으로 구분할 수 있다. 이는 풍동의 작동 형태 및 구조에 따라 구분되는데 개방 순환형 풍동의 경우 바람이 발생하는 부분과 바람이 방출되는 부분이 분리된 형태의 구조이다. 개방 순환형 풍동의 경우 상대적으로 적은 비용으로 시설을 구축할 수 있는 장점이 있으며, 유동이 재순환되지 않기 때문에 연기를 이용하는 유동 가시화와 같은 실험을 수행할 경우, 유동 재순환에 대한 영향을 고려하지 않아도 되는 장점을 갖고 있다. 반면에 실험부의 크기는 장치가 설치되는 공간의 제약을 갖게 되며, 높은 작동 동력 및 운용 중 소음이 크게 발생하는 단점이 있다. 폐쇄 순환형 풍동의 경우, 날씨의 영향에 상관없이 실험을 수행할 수 있고 유동을 재순환 하여 유속을 유지하는 조건에서 운용을 하기 때문에 상대적으로 적은 작동 동력을 활용하여 시험 풍속을 높일 수 있고, 상대적으로 크기가 큰 시험부를 사용하여 실험을 수행할 수 있는 장점이 있다. 하지만 초기 시설투자 비용이 많이 필요하며 연기 등을 이용하는 유동가시화 실험을 진행할 경우, 그에 대한 제거 시설을 별도로 고려해야 하는 단점이 있다.

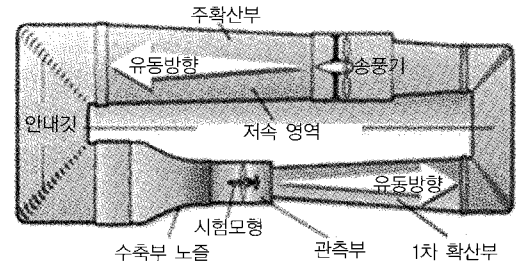
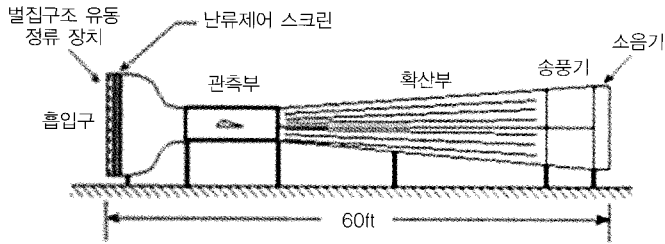


그림 3 개방 순환형 풍동(좌)과 폐쇄 순환형 풍동(우)

풍동은 실험 목적에 따라 종류를 분류할 수 있는데 실험대상이 무엇인가에 따라 사용되는 풍속 및 시험부의 크기가 달라지게 된다. 먼저 항공용 풍동의 경우 운용되는 풍속의 범위가 넓고 목적에 따라 높은 비행 속도를 필요로 하게 된다. 때문에 일반적인 공기를 사용하는 경우도 있지만 원하는 실험조건을 만들기 위해, 풍동에서 순환하는 기체의 밀도를 조절하여 운용을 하기도 한다. 차량용 풍동(Automobile Wind Tunnel)의 경우 개발 중인 자동차의 외형에 따른 공력 성능실험을 위해 사용되는 시설이다. 스모크풍동(Smoke Wind Tunnel)은 풍동시험의 모형의 외부형상에 따른 유동장의 흐름 분포를 연기를 사용하여 확인하는 실험을 수행하기 위해 사용한다. 현재는 유동장의 흐름을 가시화하는 많은 부가적인 실험장비의 개발로 일반적인 항공용 및 차량용 풍동에서도 실험을 수행할 수 있게 되었다. 냉각 풍동(Icing Wind Tunnel)은 항공기나 차량의 냉각 조건에 대한 실험을 분석하기 위해서 사용되는 풍동으로서 시험모델을 냉각시키며 풍속조건에 대한 실험을 수행할 수 있도록 구현된 시설이다. 해류수조(Water Tunnel)는 일반적으로 물속에서 사용되는 시험모델에 대하여 실험을 수용할 때 사용된다. 선박용 프로펠러나 방향타(rudder)와 같은 물속에서 운용되는 시험 모델에 대한 실험을 위해 사용되며 일반적인 풍동이 공기 흐름에 대한 실험을 하는 데 비해 해류수조의 경우 물을 순환시켜 운용한다. 환경시험용 풍동은 높은 고층건물이

나 다리에 대하여 바람의 영향 및 온도 등의 환경조건을 고려할 수 있도록 만들어진 풍동이며 앞서 항공용 풍동이나 차량용 풍동에 비해 상대적으로 저속 풍동의 범위에 포함된다.

### 풍동의 용도

풍동 실험을 수행하는 가장 큰 이유는 대상체의 공기역학적 특성을 확인하는 데 가장 경제적인 실험적 방법이기 때문이다. 완성되지 않거나 검증되지 않은 대상체, 또는 실제 필요한 특정 환경을 제공하기 어려운 경우 등에서 풍동실험은 가장 경제적이고 효과적인 방법이 될 수 있다. 풍동은 넓은 분야에 관련하여 활용되고 있는데 각각의 목적에 따라서 활용 방법에 조금씩 차이가 있다. 일반적으로 공기 유동과 대상체에 의하여 유발되는 유동의 변화, 공기력의 작용, 소음 등을 측정하는 데 사용되고 있다. 풍동 실험에서 주의할 점은 실제 모델과 측정 모델의 차이를 보정하는 상사 관계를 고려하여야 하며, 풍동실험 시 추가되는 간섭 조건 등을 고려하여야 한다.

풍동이 가장 많이 사용되고 있는 분야 중 하나로서는 운송체에 대한 연구 분야이다. 운송 수단에서 사용되는 풍동은 양력, 항력 등과 같은 공기력이 중요한 측정 대상이며, 근래에 들어서는 사용자의 환경을 고려하여 공기력에 의하여 발생하는 소음 특성을 측정하는 연구가 많아지고 있다. 운송 수단 중에서 공기역학

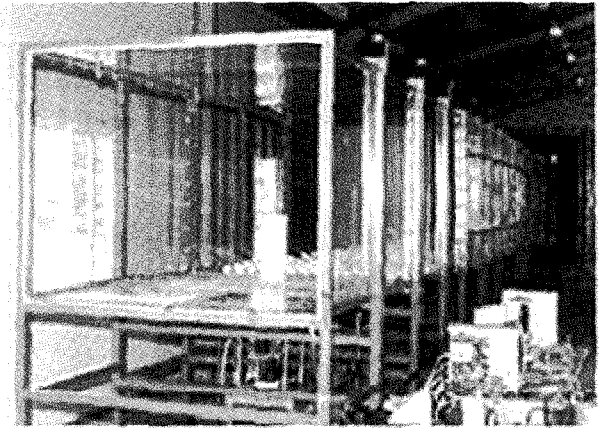
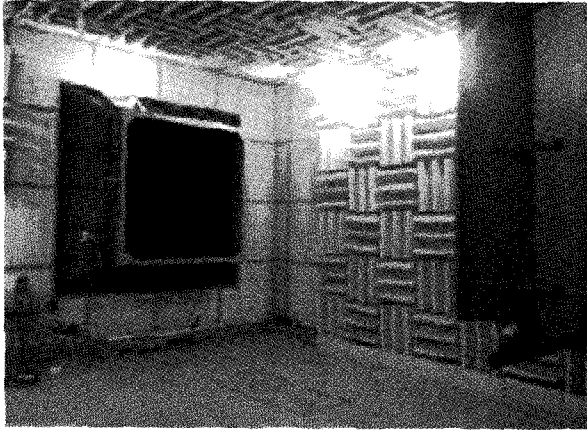


그림 4 음향풍동(좌)과 경계층 풍동(우)

적 특성이 직접적으로 성능에 영향을 미치는 항공기와 같은 경우에는 개발 과정에서부터 풍동실험이 매우 중요한 역할을 한다. 항공기의 운용 영역이 아음속에서부터 초음속에 이르기까지 넓은 영역에 걸쳐 있으며, 항공기의 크기도 다양하기 때문에 다양한 종류의 풍동이 사용되고 있다. 가장 보편적인 운송 수단인 자동차의 경우 더 빠르고 안전한 주행 성능을 위하여 공기 저항이 중요한 측정 요소이다. 그 밖에도 요트, 오토바이 등 모든 분야에 활용 되고 있다.

근래에 들어 건축 기술이 발달하여 대형 빌딩, 교량이나 타워, 송전탑, 크레인, 풍차 등과 같이 건축물의 규모가 커지고 모양, 종류가 다양해지고 있다. 이에 따라서 대기 중 유동에 의한 영향(*swaying, cladding, whistling noise, fumes coming in the ventilation system*)이 주요 고려 사항이 되고 있고 이러한 요소를 반영하기 위하여 내풍설계를 고려하고 있다. 풍동실험은 내풍설계 방법 중 하나로 특정 지역의 지형, 기후 등을 고려한 모델을 제작하여 실험을 한다. 최근에는 법적 규제로 인하여 전광판이나 에어컨 실외기 같은 구조물의 풍하중에 대한 안정성 성능 검증에도 이용 되고 있다.

### 국내의 풍동 활용 현황

국내에는 실험 목적에 따라 다양한 형태 및 성능을 가지는 풍동들이 존재한다. 이를 풍동의 성능과 사용 목적에 따라 초음속 풍동, 아음속 풍동, 환경 시험 풍동, 음향풍동, 경계층 풍동 등으로 크게 나눌 수 있다.

초음속 풍동은 주로 음속보다 빠른 속도에서 운용되는 운송체들의 성능을 평가하는 데 사용되는 것이다. 마하라는 속도의 단위는 바로 음속을 기준으로 하는 속도의 단위로서, 즉 마하 1은 음속인 약 340m/s의 속도를 말한다. 이는 1시간에 1,224km를 움직이는 것으로 이와 같은 속도로 바람을 불어주는 것이 바로 초음속 풍동이다. 이러한 초음속 풍동은 탱크에 고압의 공기를 넣었다가 한 번에 배출을 하여 초음속의 공기흐름을 만들어주는 원리로 작동을 한다. 작동원리가 이렇다 보니 바람을 불어주는 시간이 짧은 것이 단점이다. 국내에서는 국방과학연구소, 공군사관학교, 서울대학교, 인하대학교, 경북대학교 등이 보유하고 있다.

아음속 풍동이란 우리가 일상생활에서 느끼는 바람의 속도로 음속보다 느린 속도를 형성하여주는 풍동이다. 작동원리는 대형 선풍기를 떠올리면 될 것이다. 즉 대형 팬이 회전을 하여 바람을 불어주어 실험 대상

이 가만히 있어도 마치 달리는 것과 같은 효과를 주게 되는 것이다. 주로 자동차를 비롯하여 바람과 관련된 모든 분야에서 실험을 할 수 있는 풍동이다. 국내에는 실제 차량이 들어갈 수 있는 대형 아음속 풍동을 현대자동차가 보유하고 있으며, 그 외에 다양한 크기의 축소모형을 이용한 실험을 수행하기 위한 풍동이 한국항공우주연구원, 국방과학연구소, 한국에너지기술연구원 등의 국가연구기관 외에 공군사관학교, 포항공과대학교, 울산대학교 등의 교육기관에서 보유하고 있다.

환경 시험 풍동이란 실제 운용 되는 환경을 모사해주는 풍동으로 비나 눈이 올 때 자동차, 에어컨 실외기 등등 노출된 환경에서 어떠한 영향을 받는지에 대해서 실험을 하는 풍동으로서 위에서 설명한 아음속 풍동에 강우 및 강설을 비롯한 다양한 환경을 조성해 줄 수 있는 장비들이 포함되어 있는 풍동이다. 이러한 환경시험 풍동의 경우 현대자동차, 두원공조, 한라공조, 르노삼성자동차, 한국GM 등이 보유하고 있다.

음향 풍동이란 아음속 풍동과 동일한 형태로 실험하고자 하는 대상의 소음까지 측정 할 수 있는 풍동으로 다른 풍동과의 차이점은 덕트 내에 실험하고자 하는 대상 주변에 흡음재가 설치되어 있어 실험대상에서 나는 소음만을 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 실험대상의 어느 위치에서 소음이 발생하게 되는지 공력성능뿐만 아니라 소음의 레벨을 평가할 수 있는 특징을 갖는다. 이러한 풍동은 현대자동차, 국방과학연구소, 충남대학교 등이 보유하고 있다.

경계층 풍동이란 건축물의 배치에 따른 바람의 흐름 및 지하를 비롯한 대형시설물의 환배기 문제 등 다양한 분야를 실험하는 풍동으로 바람을 일으키는 목적으로 사용되며, 그 내부 구조는 아음속 풍동과 유사하나, 일반적으로 측정부의 폭이 높고 길이가 긴 것이 특징이다. 현대건설연구소, 대우건설연구소, 대림공전 등 일반기업과 전북대학교, 부산대학교, 금오공과대학교, 관동대학교 등의 교육기관에서도 보유하고 있다.



기계용어해설

에디 확산율(Eddy Diffusivity)

난류에서 맴돌이가 심한 혼합효과로 인하여 운동량, 열 및 물질 등이 수송, 확산되며, 그 크기를 유체 중의 경사에 비례한다고 간주하였을 때의 비례계수.

삼출냉각(Effusion Cooling)

다공질로 날개를 만들고 냉각공기를 그 내부로부터 배어 나올 수 있도록 불어 넣어 냉각시키는 방법으로, 가스 터빈의 날개 냉각법의 일종.

진공성형(Vacuum Molding)

플라스틱판 가장자리를 클램프로 하형에 압착시켜 놓고, 위에서 히터로 가열하여 충분히 연화되었을 때 형속의 공기를 빼내는 플라스틱 성형가공법의 일종.

진공침침(Vacuum Impregnation)

진공 속에서 재료에 포함 된 물, 공기 등을 배출시킨 후 필요한 성분을 침투시키는 것.

밸브 스프링 리테이너(Valve Spring Retainer)

밸브 스프링을 밸브축에 고정하고 스프링 힘을 받아 밸브축에 전달하는 역할을 하는 것으로, 밸브축의 한 끝에 장치된 작은 원판.

판데르 폴의 방정식(Van der Pol's Equation)

외부에서 일정 힘을 가하지 않아도 스스로 진동이 성장하거나 정상진동을 지속할 수 있는 자력 진동계에 속하는 방정식.