



THEME 02

건설분야의 풍동 활용

권순덕 | 전북대학교 토목공학과, 교수/KOCED대형풍동실험센터장 | e-mail : sdkwon@chonbuk.ac.kr

우리나라는 매년 평균 세 개의 태풍이 내습하는 지역으로서 최근에 긴 교량, 높은 빌딩, 거대 복합시설 등이 건설됨에 따라 바람의 영향에 대한 정확한 평가가 필요하다. 이 글에서는 건설분야(교량, 건물, 환경 등)에서 풍동의 활용 방안과 최근에 건설된 대형 경계층 풍동을 소개한다.

바람과 건설 구조물

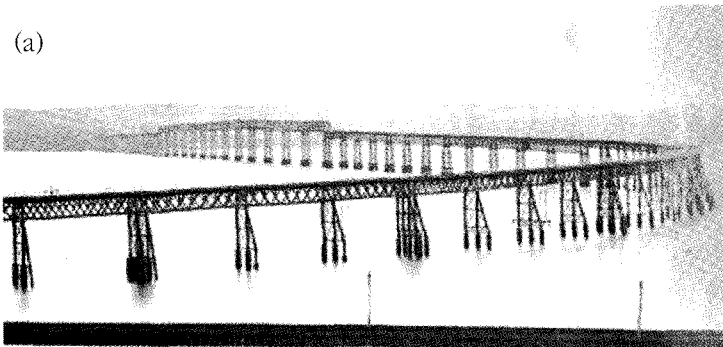
과거에는 주로 석재를 사용하여 중후한 구조물을 건설하였고, 역학적인 지식보다는 경험에 의존하여 설계하였기에 바람의 영향에 대하여 고려하지 않았다. 하지만 산업혁명 이후에 주철 트러스를 사용함에 따라 이전보다 훨씬 길고 유연한 구조물이 등장하게 되었다. 이로 인하여 이전에는 경험하지 못했던 바람에 의한 구조물 붕괴사고를 경험하게 된다.

스코틀랜드 Tay 만을 가로지르는 철로를 연결하는 주철 트러스교인 Tay 교는 85개의 경간으로 이루어진 총 길이 3.2km로 그 당시로서는 혁신적인 교량이었다(그림 1a). 하지만 1879년 12월 폭풍에 의해 통과 중인 열차와 함께 13경간의 연속 트러스부가 바다로 떨어

져 75명 탑승자 전원이 사망한 참혹한 사고가 발생하였다.

Tay 교 사고 이후로 교량이나 건축물 등의 설계에 있어서 자연적인 바람의 영향이 중요하다는 점이 기술자들 사이에 널리 인식되었고, 풍하중을 정량적으로 평가하기 위한 방안이 강구되기 시작했다. 그리고 1889년에 완공된 에펠탑의 설계를 위하여 에펠이 간단한 풍동을 고안하고 풍압을 측정했다는 사실은 잘 알려져 있다. 이러한 노력에 의하여 19세기 후반부터 구조물 설계에 정적 풍하중이 반영되기 시작했다. 하지만 바람과 구조물의 상호 작용에 의한 진동문제는 1940년에 발생한 Tacoma Narrows 교의 붕괴(그림 1b)가 발생하고 나서야 인지하기 시작했다.

(a)



(b)

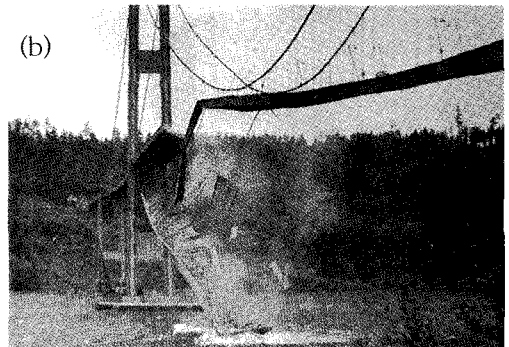


그림 1 바람에 의하여 붕괴된 스코틀랜드 Tay 교(a)와 미국 Tacoma Narrows 교(b)

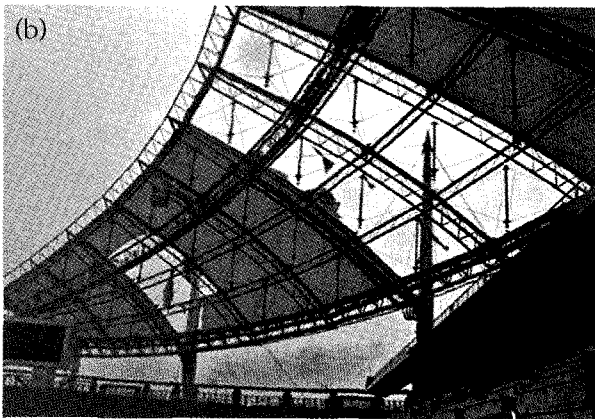


그림 2 태풍 매미에 의하여 피해를 입은 부산항 크레인(a)과 제주 월드컵경기장(b)

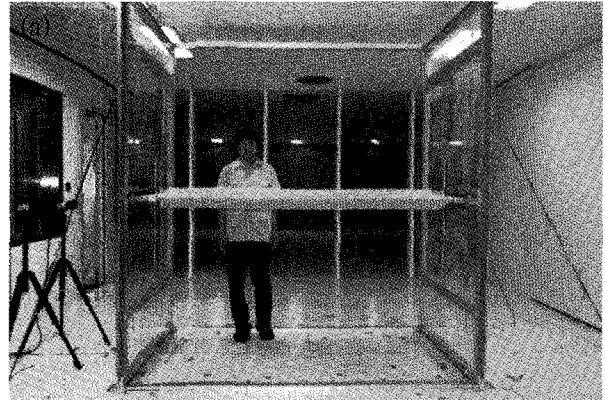


그림 3 풍동에 설치된 교량 부분모형; 진동실험(a)과 풍압측정실험(b)

우리나라의 바람

우리나라는 지형학적으로 강한 태풍의 영향을 받는 위치에 있다. 기상청의 통계에 따르면 매년 평균 3개의 태풍이 우리나라를 내습하는 것으로 알려져 있다. 특히 2002년에는 태풍 '루사'가 그리고 2003년에는 태풍 '매미'가 우리나라 기상관측 이래 최대 풍속을 연이어 경신하면서 제주도, 영남, 호남 일원을 강타하여 엄청난 인적 및 물적 피해를 발생시켰다. 이처럼 우리나라가 태풍의 상습 피해지역임에도 불구하고, 내풍설계는 내진설계에 그늘에 묻혀 일부의 구조물을 제외하고는 설계자가 큰 관심을 가지지 않았다.

국내에서 바람에 의한 구조물 붕괴 사례가 다수 있

다. 1997년에 아산만 인근에 소형 토네이도가 상륙하여 서해대교 가설장비와 인근 공장건물에 큰 피해를 입혔다. 그리고 2003년에 태풍 매미가 왔을 때 부산 신감만부두의 크레인 붕괴(그림 2a)와 서귀포 월드컵 경기장 지붕파손(그림 2b) 외에 많은 건물의 지붕이 날아가거나 도로표지판 등이 파괴된 사례도 다수 있다. 그리고 2010년에 태풍 곤파스에 의하여 인천 문학경기장 지붕 파손을 비롯하여 수도권 일대에 큰 피해를 입었다.

토목분야에서의 풍동 활용

최근 육지와 섬을 연결하거나 대륙과 대륙을 연결하는 교량이 많이 건설되고 있다. 국내의 경우를 보면

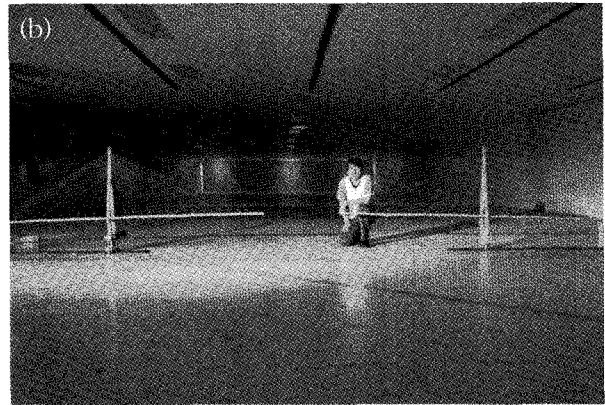
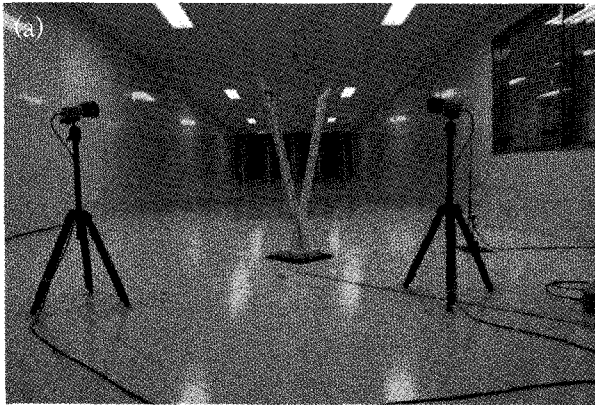


그림 4 교량 독립주탑모형(a)과 전교모형(b) 풍동실험(전북대 대형풍동실험센터)

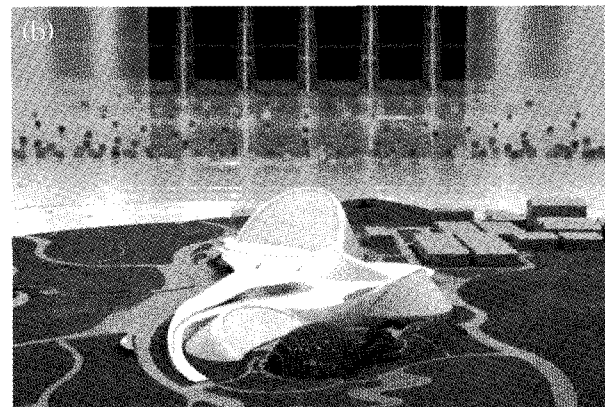
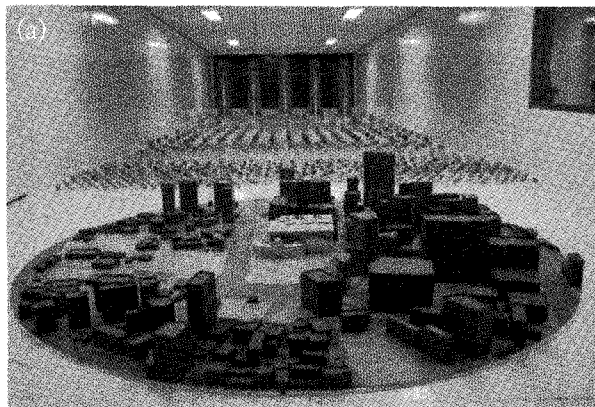


그림 5 건축물 풍동실(전북대 대형풍동실험센터)

평양만을 횡단하여 여수와 평양을 연결하는 이순신대교가 건설 중에 있다. 이순신대교의 경우에 주경간장(탑과 탑 사이에 순수하게 매달려 있는 거리)이 1,545m나 된다. 세계적으로는 이탈리아 반도와 메시나 해협을 연결하는 주경간장 3.3km 교량이 설계를 완료하고 건설 예정이다. 그리고 유럽과 아프리카를 연결하는 지브롤타교, 아시아와 아메리카를 연결하는 베링해협교, 아시아와 아프리카를 연결하는 예멘-지부티교 등이 계획 중에 있다.

Tacoma Narrows 교의 붕괴에서 보듯이 케이블로 매달린 현수교나 사장교는 매우 유연해서 바람에 취약하다. 교량설계 단계에서 이러한 문제점을 해결하

고자 다양한 종류의 풍동실험을 수행한다. 먼저 교량 거더의 일부분을 모형화하고 이를 적절하게 강성을 갖춘 스프링으로 지지하는 부분모형실험(그림 3)이 있다. 이 실험을 통하여 교량의 붕괴를 일으키는 플러터나 와류진동과 같은 유해 진동이 발생하지 않는 적절한 단면 형상을 찾는다. 그리고 전체 교량의 질량, 강성, 기류조건 등을 갖춘 전교모형실험(그림 4)을 수행하여 설계된 교량이 공기역학적으로 문제가 없는지 최종 확인한다. 이때 교량의 건설 과정에 따라 달라지는 구조계를 모사하는 시공단계 실험도 수행한다.



(a) 전주시 도심 모형



(b) 목포지역 모형

그림 6 전주시 도심모형과 목포지역모형(전북대 대형풍동실험센터)

건축분야에서의 풍동 활용

최근 건축물은 초고층화로 인해 기본적인 동적 특성이 점점 유연해지며 고유진동수가 낮아지고 있다. 그런데 바람은 저주파수 영역에 많은 에너지를 가지고 있기 때문에 건물이 고층화될수록 바람의 영향을 더욱 크게 받는다. 또한 건설 재료의 발전으로 인해 더욱 경량화됨으로써 풍하중에 의한 횡변위나 진동에 대해 건물은 더욱 민감하게 반응하게 된다. 최근 초고층빌딩, 대형 전시·관람·운동시설, 공항관제탑 등과 같은 구조물이 늘어나면서 풍하중의 중요성이 대두되고 있다.

건축물의 풍동실험은 항공이나 기계 분야에서 일반적으로 수행하는 풍동실험과 약간의 차이가 있다. 첫 번째는 기류의 차이로, 높은 상공에서 부는 썸 바람이 지상에 가까워질수록 지표와의 마찰에 의하여 난류강도가 커지고 풍속은 낮아진다. 풍동 내에서도 고도에 따라 변하는 풍속과 난류강도를 가진 대기경계층을 구현해야 한다. 그림 4와 5에 나타난 구조물 모형 앞의 삼각형뿔 스퍼리어와 작은 블록들을 사용하여 대상 구조물이 들어설 지역의 지표조건에 따른 대기경계층을 모사한다. 두 번째는 주변 지형의 영향이다.

대상 구조물 주변에 이미 기존 건물들이 있는 경우가 많다. 따라서 그림 5에서 보듯이 대상 구조물뿐만 아니라 인근의 건물들도 기류에 영향을 주므로 제작하여 주변에 설치한다.

건축물의 설계 중에 수행하는 풍동실험은 크게 ① 외장재 설계풍압 산정, ② 구조적 안정성 평가, ③ 사용성 평가로 구분할 수 있다. 최근 건물의 외벽을 유리나 다양한 재질의 재료를 사용하여 구성하고 있다. 이러한 외장재의 파손, 박리, 비산에 의한 피해 등이 발생했을 때 보행자 및 공공에 대한 2차 피해가 발생할 수 있다. 그림 5에서 보듯이 외장재 및 마감재의 설계풍압을 측정하기 위한 풍동실험에서는 건물 모형의 주요 부위에 수백 개의 풍압공을 설치한다. 그리고 풍향을 바꾸면서 압력을 측정하고, 확률통계적 분석을 수행한 후 설계풍압으로 사용한다.

고층 건물의 경우에 구조적으로는 안전하더라도 진동이 크면 근무자나 거주자가 불편할 수 있다. 이러한 건물의 사용성을 평가하기 위해서는 건물의 진동 특성을 완전히 재현한 공탄성모형을 사용하여 풍동실험을 할 수도 있고, 강체 모형의 하부에 스프링을 사용하여 흔들릴 수 있도록 만든 짐발장치를 사용할 수도 있으며, 강체 모형 하부에 설치한 밸런스로부터 측정하

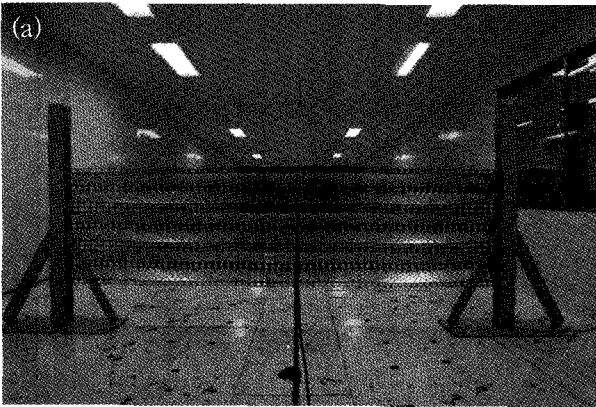


그림 7 시설물 풍동실험(전북대 대형풍동실험센터)

힘과 모멘트로부터 역해석을 통하여 건물의 가속도 레벨을 평가할 수도 있다.

환경 및 기타 분야에서의 풍동 활용

최근에 도시로 유입되는 바람길이 막혀서 평균 기온이 올라가거나 오염물질이 잘 배출되지 않는 현상이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 도시의 바람길을 열어주는 방법이 있다. 그림 6 (a)는 전주시 도심 전체를 축척 1/800로 모형화한 후 주요 지점에 무지향 소형 풍속계를 다수 매설하고 풍속을 측정하여 바람길을 파악한 풍동실험을 보여주고 있다. 이 실험의 또 다른 목적은 도심 풍력자원의 평가로, 풍속의 분포를 파악하여 소규모 풍력발전이 유리한 지점을 파악하였다. 교량의 건설 시에 지형적인 영향을 보기 위하여 지형모형실험을 하는 경우도 있다. 그림 6 (b)는 유달산을 넘어오는 바람의 특성을 보기 위하여 축척 1/1,000로 목포지역을 모형화한 경우이다.

복합 건물군(예를 들면 그림 5(a)의 경우에 사람들이 건물 주위에서 산책하거나 휴식을 취하는 경우가 있다. 그런데 건물 주위를 휘돌아 나오는 바람이나 제트효과에 의하여 발생하는 강풍에 의하여 보행자 혹



은 휴식자가 불편을 겪을 수 있다. 풍동실험에서는 건물 주변에 무지향 소형 풍속계를 매설하고 풍속을 측정하여 풍환경을 평가한다. 만약 건물 주변 풍속이 높아서 통행자에게 불편을 준다면 조경을 적절히 배치하여 풍속이 감소되도록 계획한다.

그 외에 다양한 시설물의 성능을 평가하기 위한 풍동실험도 수행된다. 예를 들면 원자력발전소나 공장 시설을 보호하기 위한 방풍막의 성능을 평가하기 위한 풍동실험(그림 7 (a))도 가능하다. 그리고 횡풍에 의한 차량의 주행안정성을 확보하기 위하여 도로 양쪽에 설치하는 방풍벽의 성능 평가, 풍압을 저감시키기 위한 새로운 재질의 도로표지판 성능 확인(그림 7 (b)), 방음벽의 설계풍압을 산정하기 위한 풍동실험, 새로운 형식의 방음벽 실험 등도 포함될 수 있다.

전북대 KOCED풍동

국내 건설기술의 향상을 위하여 국토해양부에서는 분산공유형 건설연구인프라 구축사업(이하 KOCED 사업)을 시작하였다. KOCED사업은 건설산업에 필요한 다양한 종류의 대형건설실험시설을 구축하고, 이를 대학, 연구기관, 산업계가 공동으로 활용하도록 하는 사업이다.(www.koced.net)

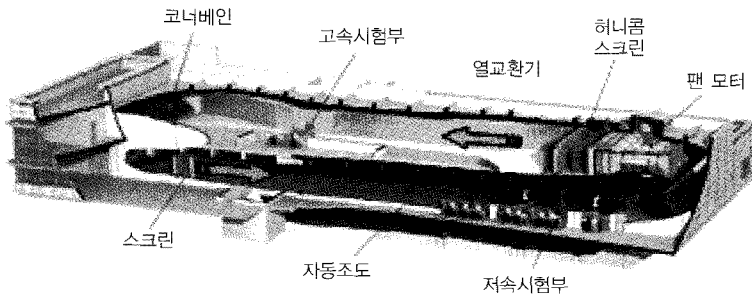
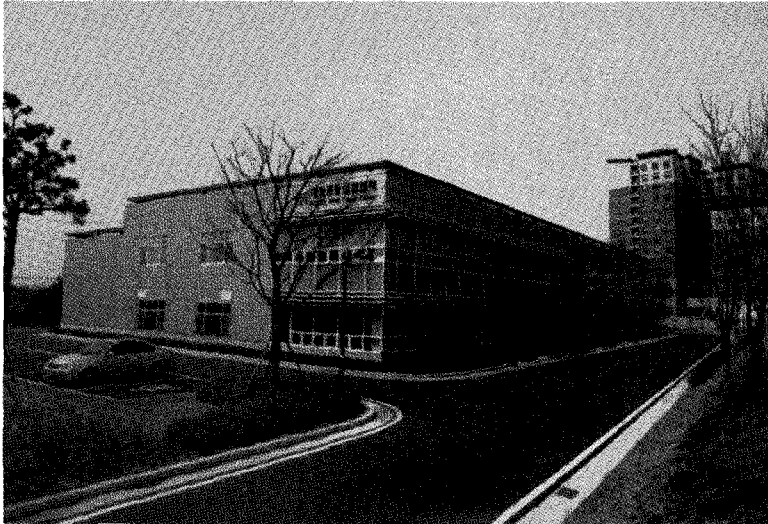


그림 8 전북대 KOCED 대형풍동실험시설

KOCED사업의 일환으로 대형풍동의 유치기관으로 전북대학교가 선정되었다. 이후 미국의 Aero System Engineering(ASE)이 유로 설계, 대우엔지니어링이 제작 및 설치를 담당하여 2009년 5월에 풍동을 완공하였다. KOCED풍동은 수직 순환형 폐회로 방식의 풍동으로 세계 4위권 규모의 경계층 풍동이다(wind.koced.net). 풍동의 활용도를 높이기 위하여 1층과 2층에 두 개의 시험부를 각각 배치하여 실험 종류와 목적에 따라 선택적으로 이용이 가능하다(그림 8 참조). 2층 고

속시험부는 폭 5m, 높이 2.5m, 길이 20m이며, 최대 풍속 31m/s까지 실험이 가능하다. 그리고 폭 12m, 높이 2.5m, 길이 40m인 1층 저속시험부의 최대 풍속은 13m/s이다. 저속 및 고속 시험부 모두 충분한 길이를 확보하여 다양한 경계층 기류를 만들 수 있도록 구성하였다.

풍동에는 자동경계층 생성장치, 능동난류 발생장치, 3차원 트레이버스, 대형 턴테이블, 온도조절용 열교환기 등의 설비를 갖추고 있다. 그리고 흐름가시화장치, 열선풍속계, 압력측정장치, 자료획득장치, 외부밸런스 등의 측정장비를 갖추고 있다. KOCED 풍동은 인가된 사용자가 세계 어디서나 네트워크를 통하여 접속하면 총 6대의 카메라를 조정하여 풍동실험을 관찰할 수 있고, 제한된 범위 내에서 풍속을 바꾸거나 턴테이블을 돌리는 등과 같은 원격실험이 가능하다.

건설과 풍동

우리 기술진에 의해 설계되고 시공 중인 이순신대교와 두바이에 건설된 초고층 빌딩인 버즈칼리파에 이르기까지 건설기술은 날로 높아져가고 있다. 이에 맞추어 건설분야에서도 풍동실험은 필수적인 기술이며, 더 높이 더 멀리 나아가고자 하는 인간의 열망, 즉 초고층 및 초장대화를 위해서는 바람에 대한 합리적인 평가가 필요하다.