



## 구조풍공학의 연구동향

조 강 표

풍공학은 기본적으로 유체역학을 응용한 학문으로 1940년대초 Tacoma Narrow Bridge가 바람에 의해 붕괴된 이후 학문으로써 급성장하였다고 할 수 있다. 필자가 수행했던 연구과제와 그리고 국제학술지 및 국제학회에서 얻은 경험을 토대로 구조풍공학의 연구동향에 대해 글을 전개해 볼까 한다.

풍공학은 여러학문 분야의 혼합으로 이루어진 분야라고 할 수 있다. 즉 유체역학, 구조공학, 기상학, 통계학, 공업수학, 항공공학, 기계공학, 환경공학, 경제학등이 어우러져 생성된 분야로 우리나라에서는 주로 건축공학, 토목공학, 기계공학분야에 종사하는 분들이 풍공학을 연구하고 있고, 1997년 한국풍공학회가 발족된 후로는 날로 풍공학이 발전하고 있다. 우리나라에서는 아직 풍공학이 하나의 프로그램으로 자리를 잡기까지는 시간이 더 요구되고 있다. 흔히들 풍공학 하면, 풍력발전소를 이야기하는 것을 필자는 여러번 경험하였다. 물론, 풍력발전도 풍공학내에서 하나의 분야를 이루고 있다. 일반적인 관점에서 풍공학에 관련된 현상을 쉽게 접할 수 있다. 가깝게는 실내외의 기류변화로 부터, 고층건물군사이의 골바람문제, 고층건물의 진동문제, 사장교의 진동문제, 항공기의 이착륙문

제, 통신케이블의 진동문제, 환경오염물질의 확산, 지층건물의 풍재해 등등 많이 있다.

흔히들 풍공학을 편의상 세가지 부분으로 구분지어 생각한다. 바람이 구조물에 미치는 영향을 다루는 구조풍공학, 바람이 건물 및 주변에 미치는 환경풍공학 그리고 바람을 에너지 자원으로 이용하는 풍력발전이 그것이다. 그 중에서 구조풍공학이 70-80%(연구과제 및 용역 기준)를 이루고 있고 환경풍공학이 10-20%, 풍력발전이 5% 정도를 차지하고 있다고 보면 별 무리가 없을 것이다. 구조풍공학은 도로의 교통표지판에서 초고층 건물 및 사장교(cable-stayed bridge)에 이르기까지 적용범위가 대단히 방대하다. 과거에는 외국에 대형프로젝트용역을 주문 했는데 현재는 우리나라에서도 몇몇 기업연구소 및 대학에서 이를 수용할 만큼 급성장하였다.

미국, 영국, 일본 및 캐나다 등지에서는 일찌기 풍공학이 발달하여 지금에 이르러도 국가에서 막대한 양의 연구비가 풍공학의 기초 연구에 쓰여지고 있다. 이와 같이 여러국가에서 관심을 갖는 주된 이유중의 하나가 바람으로 인한 재해가 천문학적 수치에 이른다는 것이다. 하나의 예로 1992년

\* 정회원 · 아이오와 주립대, 연구원

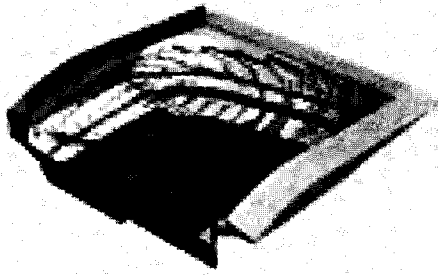


사진 1 경기장내의 기류변화시물레이션

8월 24일 미국 플로리다 남부를 강타한 태풍 앤드류(Andrew)가 가져다 준 재산피해만도 150억~200억불에 이르렀다. 미국에서는 산업이 발달하면서 1970년대에서 80년중반까지 고층빌딩에 주로 연구의 초점이었으나 80년 후반에서 90년대까지 저층 구조물에 관심을 보여 왔다. 미국과학재단이 10년간 지원한 콜로라도주립대(Fort Collins소재)와 텍사스공과대학(Lubbock 소재)의 공동연구프로젝트(CSU/TTU CPWE: Colorado State University/Texas Tech University Cooperative Program on Wing Engineering)도 저층건물의 풍환경 및 내풍설계 기술을 습득하기 위한 것이었다.

CSU는 풍동실험연구를 그리고 TTU는 실제 크기의 건물을 지어놓고 실측모형연구를 주로 하였다. CPWE는 그 당시 신뢰할 만한 실측모형 데이터가 부재한 실정에서 세계각국의 풍동실험 연구자들의 관심을 충분히 끌어 모았다. 이것이 시발점이 되어 지금에도 세계 도처에서 TTU의 실측데이터를 풍동에서 재현하기 위해 분발하고 있다. 필자가 보기에 끝없는 경쟁과도 같이 보였다. 왜냐하면 풍압의 평균값, 표준편차는 이미 모사되었는데 최대값을 똑같이 모사하려는 부모한(?) 경쟁이 시작되었기 때문이었다. 풍압의 최대값을 야기시키는 주요 요소가 무엇이나에 초점이 맞추어진 것이 아니라 누가 더 실측과 동일한 데이터를 얻었는가 경쟁하는 것처럼 보였다. 물론 실측과 동일한 데이터를 얻은 다음에 피이드백 시스템에 의해서 원인을 규명할 단서를 찾기가 쉬울 수 있다. 그러나 여러번 시행착오를 한 다음 얻어진 모사가 실측과 동일한 값을

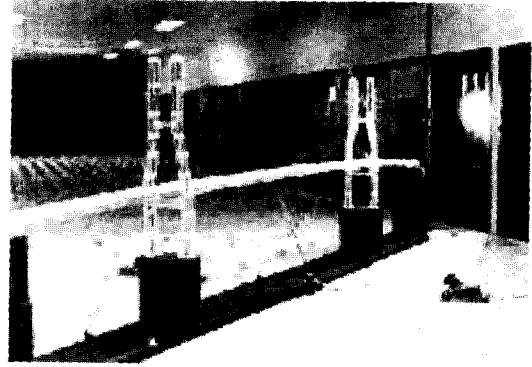


사진 2 대스판교량의 진동평가

찾는다 하더라도 그 미커니즘을 알지 못한다면 무슨 의미가 있겠는가하는 의구심이 떠나지 않았다. 지금도 그것이 난류의 영향이니 풍압공의 영향이니 등등 논쟁이 한창이다. 물론 모든 요소가 다 영향을 줄 것이고 문제는 어떤 요소가 지배적으로 작용을 하느냐 하는 문제에 초점이 맞추어 지지 않을까 사료된다.

환경풍공학은 컴퓨터 및 수치해석의 발달로 급부상하고 있는 풍공학의 갈래이다. 자동차나 공장 굴뚝으로부터 나오는 오염물질의 확산 및 건물 주변의 기류의 변화를 다루는 환경풍공학은 풍동실험에서도 많이 수행되어 오고 있지만 현재 전산유체공학의 도움으로 수치해석도 활발히 이루어지고 있다. 일본 동경의 경우 100미터가 넘는 건축물의 건물이 시공되기전과 시공후에 각각 1년간 시공될 건물의 풍환경을 검토하도록 규정하고 있다. 그만큼 메트로폴리탄의 경우 풍환경이 중요시되어지고 있다. 눈이 많이 내리는 지역에서는 바람에 의한 적설평가 및 그로 인한 적설하중 산정 등에 관한 연구도 널리 행하여지고 있다. 우리나라의 경우 산악지역이 많아 지형에 따른 바람의 특성을 연구하는 것도 참으로 흥미로운 것이다. 특히 군초소가 있는 곳은 지형에 따른 바람의 영향으로 실제로 내리는 적설량보다 수배 혹은 수십배에 이르기까지 한다. 이와 같은 문제는 공기역학적으로 설계된 울타리를 설치하면 적설에 의한 재해를 미리 예방할 수도 있을 것이다.

구조풍공학은 바람과 구조물의 상호작용을 다룬다. 구조물에 영향을 미치는 바람의 종류는 크게

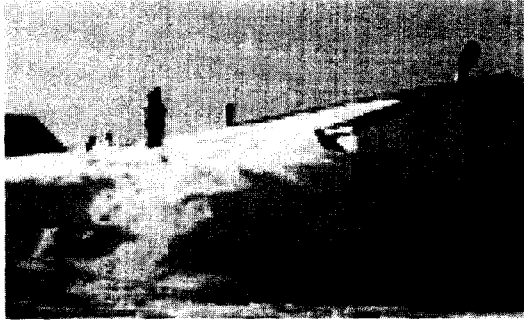


사진 3 바람에 불리어 쌓인 눈



사진 4 바람에 의한 오염물질의 확산

태풍, 토네이도, 다운버스트 등을 들 수 있다. 지금까지 풍동에서 재현되는 바람은 대부분 태풍에 관한 것이고 현재 세계 여러나라에서 실험실에서 토네이도를 재현하고자 하는 노력을 기울이고 있다. 필자가 있는 아이오와 주립대에서도 토네이도 와 다운버스트를 재현하고자 실험단계에 있으며 머지 않아 토네이도에 의한 구조물의 응답이 큰 주제가 되는 날이 올 것이다. 그러나 현재 토네이도의 구조에 대한 실측연구도 활발히 진행중이다. 태풍에 대해서는 특정지역에 발생하는 태풍의 빈도수와 진행방향 및 속도 등에 관한 통계적 해석과 컴퓨터 시뮬레이션이 널리 연구 되어지고 있다. 실제로 세계 여러나라의 내풍구조규준이 태풍의 방향성을 고려하기 위해 개정했거나 개정하고 있다.

바람이 구조물에 미치는 힘은 유체의 흐름에 의해 결정되기 때문에 구조물 주위의 유체의 흐름을 연구하기 위해 가시화(visualization)해석이 널리 이용되고 있다. 과거에는 주로 연기를 이용해 정성적으로 유체의 흐름을 관찰하곤 했지만 최근에는 레이저를 이용한 PIV(Particle Image Velocimetry)시스템이 발달하여 관심있는 영역의 3차원 속도벡터를 일순간에 잡아내는 단계까지 왔다. 과거와는 달리 컴퓨터와 계측장비의 발달로 풍공학이 급속도로 발전을 하고 있다. PIV시스템외에도 몇가지 예를 들면, 유속계로 초음파 유속계와 도플러 소나 유속계가 있으며, 고층건물의 진동을 측정하기 위해 인공위성 신호를 이용한 RTK-GPS 시스템 등이 그것이다.

고층건물은 주로 도심에 자리잡고 있어서 이론

적인 해석으로는 곤란하다. 이론적인 해석은 지형이 거의 수평이거나 조도가 거의 균일해야 하는 가정을 만족시켜야 하는데 도심에 서있는 고층건물은 주변의 건물에 영향을 많이 받으므로 풍동실험에 절대적으로 의존하고 있는 실정이다. 세계 곳곳에서 주변 건물의 영향을 평가하기 위해서 지형, 난류강도, 건물의 상관위치 등을 매개 변수로 하여 영향계수를 평가하는 연구를 수행하고 있다. 이 연구는 현존하는 건물 뿐만 아니라 미래에 지어질 건물 그리고 사라질 건물 등의 효과를 파악하기 위해 필요하다. 고층건물에 대한 차세대 연구는 주로 바람에 의한 동적하중을 어떻게 처리할까에 대한 것이 관건일 것이다.

바람에 의한 고층건물의 풍진동을 억제하기 위해 여러가지 연구들이 시도되고 있다. 우선은 공기역학적으로 풍하중이 적게 받도록 기본평면을 설계하는 방법이 있다. 이와 같은 평면은 주로 건물 모서리에서 박리하는 와류를 최대한 억제하여 건물의 벽면에 형성되는 풍압차를 최대한 줄이는 그 목적이 있다. 횡으로 작용하는 풍하중을 저항하기 위해 여러가지 형태의 구조시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 마지막으로 고층건물의 풍진동을 억제하기 위해 다양한 감쇠장치(Damper)가 개발되고 있으며 이 감쇠장치의 도움으로 건물의 초고층화는 가능한 것이다.

그동안 기존의 풍동실험으로 평균풍속의 연직분포, 난류강도, 난류스케일 등 재현하여 풍하중 및 풍응답을 평가해 왔으나 최근에는 실제로 부는 바람과 같이 갑자기 바뀌는 풍향에 대한 연구를 위해서 특별한 풍동이 요구되고 있다. 즉 순간적으로

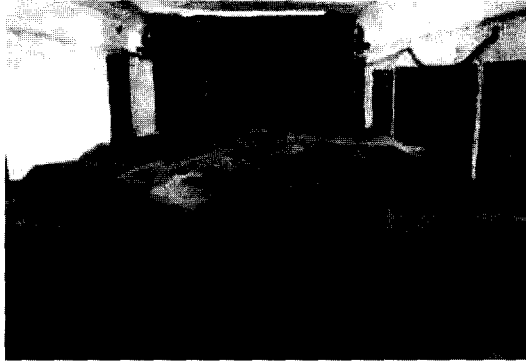


사진 5 복잡한 지형의 기류변화 사진

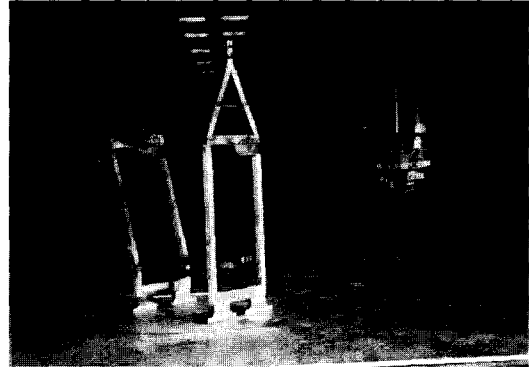


사진 6 대형 크레인의 풍응답 평가

바뀌는 풍향의 효과가 건물에 미치는 효과가 얼마나 되는지 조사할 필요가 있는 것이다.

정적 풍하중이외에도 동적풍하중에 민감한 구조물은 수없이 많이 찾아 볼 수 있다. 교통표지판, 항구에서 작동하는 대형크레인, 사장교, 송신철탑, 케일블, 산악에 위치한 건물, 굴뚝, 쿨링타워 등이 있다. 대부분의 경우, 이와 같은 구조물은 공력학적

불안정 때문에 공력탄성모형을 이용하여 직접 풍응답을 구하고 있다.

최근에는 전산유체학의 도움으로 태풍 등 유체시뮬레이션 뿐만 아니라 건물의 주위의 기류변화, 풍압분포 등을 산출해 내고 있다. 미래에는 현재 진행되고 있는 풍동실험의 대부분이 전산유체로 대체되는 날이 올지도 모른다. [7]