

대공간 지붕 구조물의 실측을 통한 내풍설계의 검토

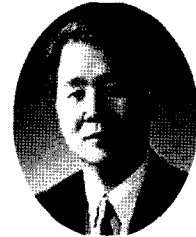
-Investigation of Design of a Large Span Roof through Ambient Vibration Measurement-



김 지 영*
Kim, Ji-Yeong



김 대 영**
Kim, Dae-Yeong



김 상 대***
Kim, Sang-Dae

1. 서 론

구조물에 미치는 바람의 영향은 주로 풍동실험에 의해 평가된다. 1960년대에 이론적으로 정립되기 시작한 대기경계층 풍동실험은 센서를 이용한 측정기술과 데이터 처리 및 실험결과에 대한 분석의 발전을 거치면서 현재에는 구조물의 내풍 설계에 필수 불가결한 기술로 자리 잡고 있다. 그러나 풍동실험 기술에 대한 신뢰성이 이론적으로 확립되었다고 하더라도 풍동실험 결과에 대한 정확성을 직접적으로 확인하기 위해서는 계측을 통해 실제 건물에 미치는 바람의 영향을 확인하는 것이 필요하다.

과거에는 구조물의 거동을 직접적으로 평가하기 위한 계측기술에 한계가 있어서 이러한 검증작업이 충분히 이루어지지 못했지만 최근에는 센서 및 계측장비의 발전으로 인해 초고층 및 대형 구조물에 대한 실시간 계측이 가능해졌으므로 이를 이용한 풍응답 계측이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 계

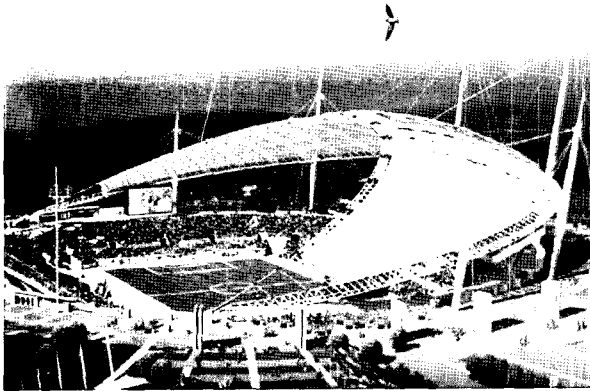
측 데이터를 바탕으로 실제 구조물의 풍응답 거동과 풍동실험결과와의 비교를 수행하고 풍동실험기술을 개선함으로써 보다 정확한 내풍 설계를 위한 노력이 이루어지고 있다.

이러한 목적으로 2005년과 2006년에 제주 월드컵 경기장에 대한 풍응답 가속도 계측을 수행하게 되었으며 이를 통해 내풍설계 기술의 검증과 구조물의 동적특성을 평가하게 되었다. 본 기술기사에서는 2005년도에 발생한 태풍 나비와 2006년도에 발생한 태풍 산산 시에 측정된 가속도 데이터를 이용하여 분석한 결과를 소개하고자 한다.

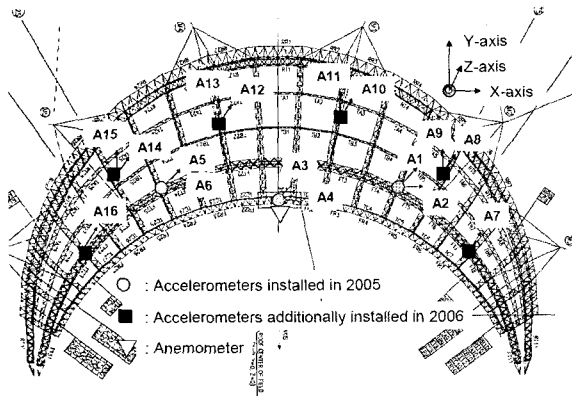
2. 계측 시스템 구성

대상구조물의 형상은 <그림 1>과 같으며 진동 가속도를 측정하기 위하여 <그림 2>와 같이 가속도계를 설치하였다. 설치된 가속도계는 태풍 작용 시 저주파수 대역의 진동을 측정할 수 있도록 사양이 선택되었으며, Modal 해석에서 나타난 진동모드형상을 고려하여 측정 점을 선정하였다. 가속도계는 <그림 3>과 같이 제작된 지그위에 설치되었으며, 계측

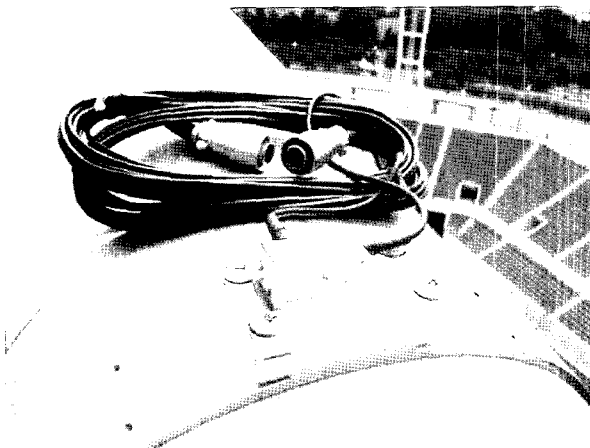
* 정회원, (주)대우건설 기술연구원, 선임연구원
** 정회원, (주)대우건설 기술연구원, 수석연구원, 공학박사
*** 고려대학교 건축공학과, 교수



〈그림 1〉 제주 월드컵 경기장



〈그림 2〉 가속도계 설치 위치

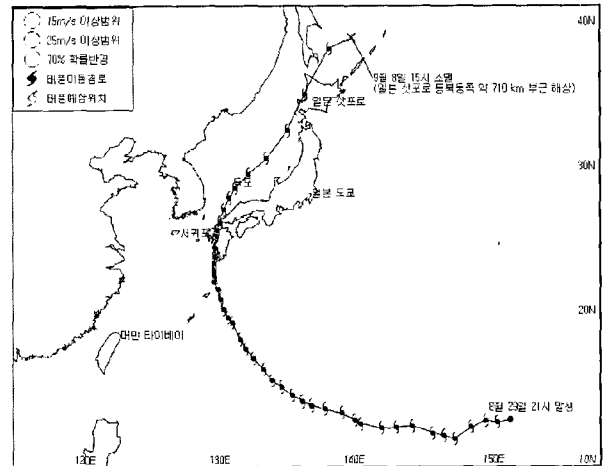


〈그림 3〉 가속도계 설치 상세

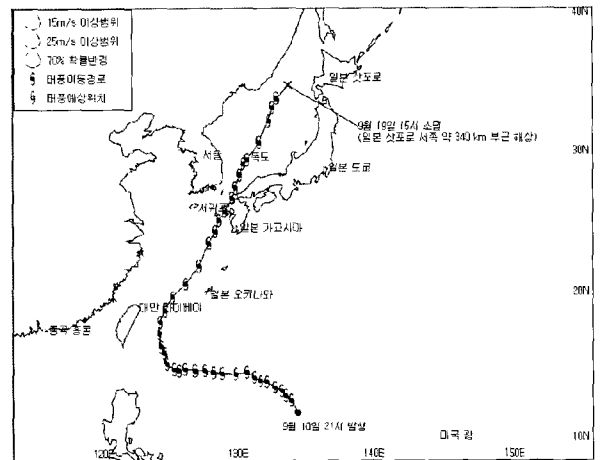
용 케이블을 통해 경기장내 계측실로 연결되었다. 그리고 원활한 측정 및 데이터의 전송을 위하여 서울에서 제주 경기장 내 계측기기에 원격조정이 가능하도록 하였다.

3. 풍향-풍속 측정결과

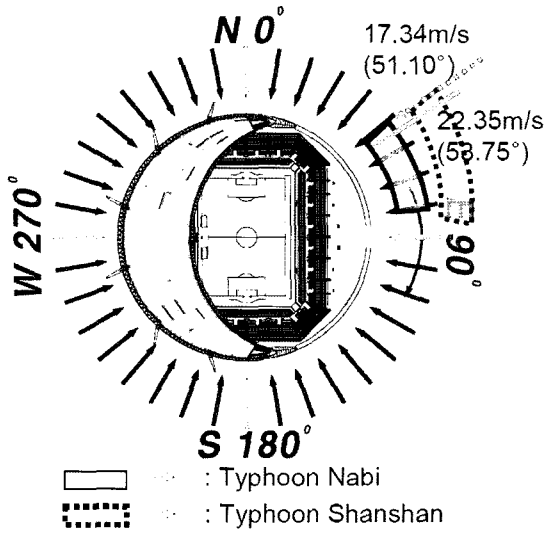
2005년과 2006년에 발생한 태풍 나비와 산산의 진행경로는 <그림 4>와 같으며, 각각의 태풍이 작용 한 시점에 발생한 풍향과 풍속을 분석하면 <그림 5>와 같다. <그림 4>와 같이 태풍 나비와 산산이 유사한 경로로 진행하였으며 이로 인해 경기장에 작용한 바람의 풍향이 <그림 5>에서와 같이 유사한 것으로 추정된다. 미국, 유럽 및 일본의 경우 이러한 현상을 고려하여 지역별로 풍향별 풍속을 기준으로 제정하여 내풍 설계에 반영하고 있다. 우리나라에서는 구조안전성 측면을 고려하여 아직 풍향별 풍속을 기준화하지 않고 있으나 향후 축적된 기상데이터를 이용하여 풍향별 풍속을 기준에 반영



(a) 태풍 나비



(b) 태풍 산산
〈그림 4〉 태풍 경로

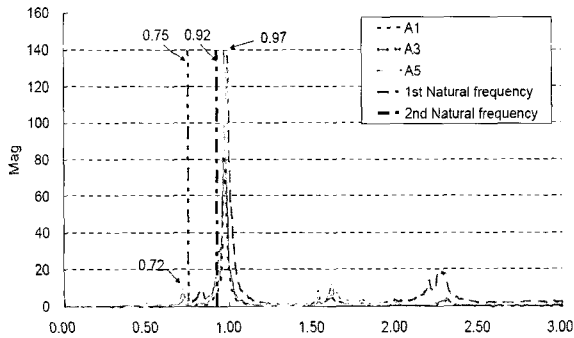


〈그림 5〉 태풍 발생 시 경기장 풍향-풍속 분석

하는 것이 보다 합리적인 내풍설계를 유도할 것으로 판단된다.

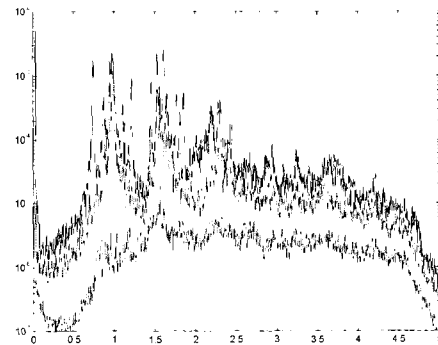
4. 동적특성 분석

측정된 가속도 데이터를 이용하여 대상 지붕구조

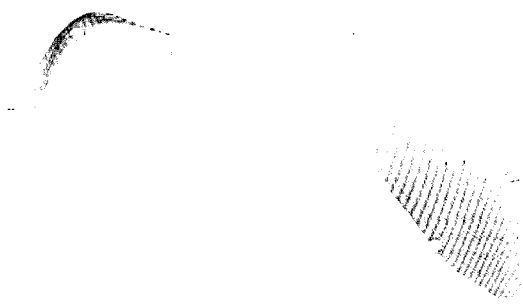


〈그림 6〉 파워스펙트럼

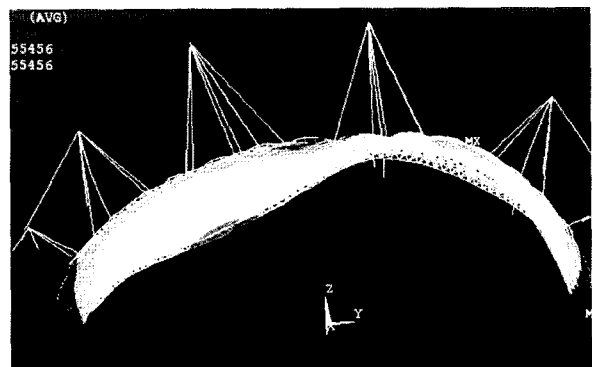
물의 동적특성(고유진동수 및 진동모드)를 평가하였다. 구조물의 동적특성을 평가하는 방법(System Identification)으로 가장 손쉬운 방법은 <그림 6>과 같이 계측 데이터의 파워스펙트럼의 피크값이 발생한 주파수로부터 고유진동수를 파악하는 것이다. 그리고 동시에 계측된 가속도간의 코스펙트럼을 이용하여 위상차를 분석함으로써 근사적인 진동모드를 추출할 수 있다. 그러나 풍하중과 같은 상시진동으로부터 보다 정확한 동적특성을 평가하기 위해서는 입력에 대한 정보가 없이 출력만을 이용하여 System Identification을 수행할 수 있는 방법이 요구된다. 이를 위해 FDD(Frequency Domain Decomposition)법 및 MRD(Multi Random Decrement) 법이 사용될 수 있으며, 이 방법을 이용할 경우 감쇠비도 비교적 정확하게 추출할 수 있다. FDD법은 파워스펙트럼에 대한 Singular value decomposition으로부터 <그림 7>과 같은 Singular value plot과 Singular vector를 산정하여 고유진동수 및 진동모드를 추정하는 방법이며, MRD법은 기존의 RD법을 수 개의 모드가 근접하여 분리하기 어려운 경우에도 적용할 수 있도록 개선한



〈그림 7〉 Singular value plot



(a) 실측 (1차 fn = 0.73Hz)



(b) 해석 (1차 fn = 0.75Hz)

〈그림 8〉 고유진동모드 분석

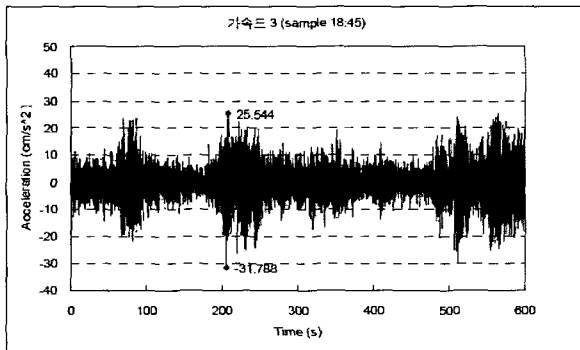
방법이다.

대상구조물에 대한 동적특성의 분석결과 중 1차모드에 대한 고유진동수 및 고유진동모드는 <그림 8 (a)>와 같이 나타났으며, 이 결과는 <그림 8 (b)>의 모드해석결과와 유사한 것으로 판단된다. 대상구조물은 철골구조이며 일반 건물과 같이 비구조요소와 같이 구조물의 동적특성에 크게 영향을 미치는 요인이 적으므로 측정결과와 해석결과가 크게 차이가 나지 않는 것으로 사료된다. 그러나 보다 정확한 동적특성의 분석을 위해서는 현재의 측정점보다 더 많은 가속도의 측정데이터가 필요할 것으로 판단된다.

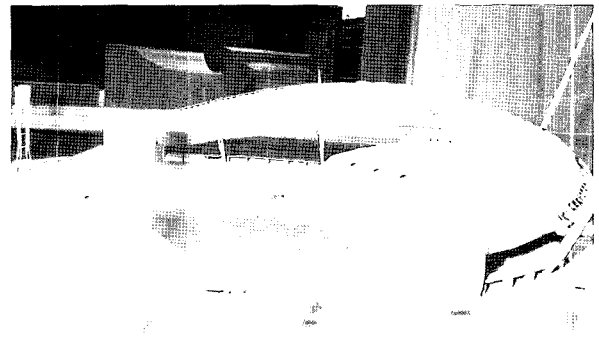
5. 가속도 데이터의 분석

2005년 태풍 나비의 작용 시 최대 22.35 m/s의 풍속이 약 54도(<그림 5> 참조)의 풍향으로 작용하였다. 따라서 이 순간에 지붕구조물의 최정상부에서 측정된 가속도 데이터 샘플을 추출하면 <그림 9>와 같다. 2003년 지붕막 형식 변경에 따른 내풍 설계를

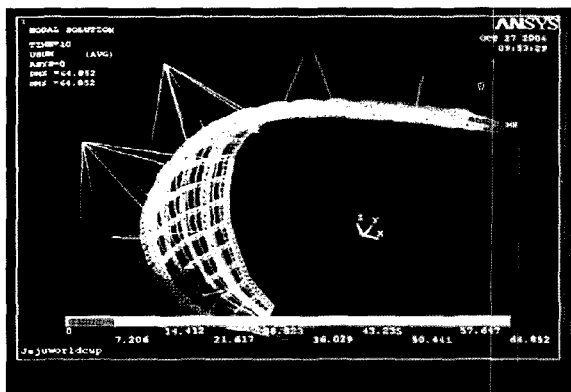
위해 (주)대우건설 기술연구원에서 <그림 10>과 같이 풍동실험을 실시하였으며, 이로부터 취득한 시계열 풍압데이터를 FE 모델에 입력하여 <그림 11>과 같이 시간이력을 수행하였다. 대상 구조물의 경우 내부가 오픈된 개방형 구조물이므로 시간이력해석을 위해서는 전 측정 점에 대하여 상·하부의 풍압을 동시에 측정하여야 한다. 따라서 풍동실험 수행 시 512채널의 풍압을 동시에 측정하는 풍압 측정 장비와 함께 상·하부의 풍압을 동시에 측정할 수 있는 Double skin 모델 제작기술을 이용하였다. 시간이력해석결과에 의한 지붕 구조물 최상부의 가속도 해석결과는 <그림 12>와 같으며, <그림 9>의 실측결과와 비교하면 최대 가속도의 값이 유사한 것으로 볼 수 있다. 하나의 샘플에 대한 비교를 통해 전반적인 결론을 도출하긴 어렵지만 풍동실험과 구조해석을 통해 설계에 유효한 데이터를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 해석결과의 정확성을 높이기 위해서는 실측결과에서 나타나는 비정상적 특성을 반영한 해석방법 등에 대한 연구개발이 필



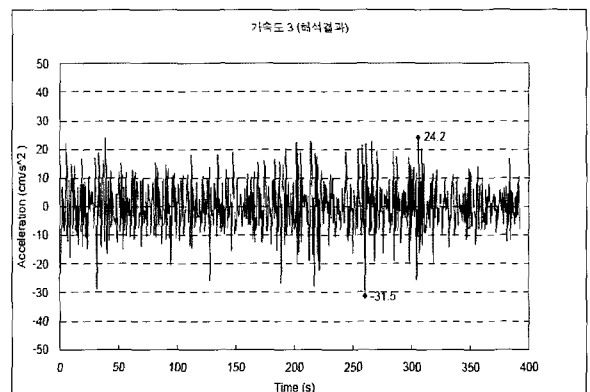
<그림 9> 최대 풍속 발생 시 가속도 샘플 (A3)



<그림 10> Double Skin 풍압모형실험



<그림 11> 시계열 풍압데이터를 이용한 시간이력해석



<그림 12> 가속도 해석결과

요할 것으로 사료된다.

6. 맺음말

풍동실험 및 내풍설계 기술의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위하여 구조물의 거동 실측을 통한 비교 검증 방안이 활용될 수 있다. 이를 위해 당 연구원에서는 대공간 지붕구조물에 대한 가속도 계측을 수행하였으며 이를 내풍설계의 결과와 비교하였다. 이 과정을 통하여 내풍설계 기준에 풍향별 풍속의 도입 필요성과 해석을 통한 구조물의 실제 동적특성 예측 가능성 및 풍동실험을 통한 구조물의 실제

거동 평가 가능성 등을 분석할 수 있었다. 대공간 지붕 구조물에 대한 비교평가 결과에 따르면 풍동 실험과 구조해석을 통해 실제 동적특성과 동적거동을 비교적 정확히 예측할 수 있는 것으로 나타났으므로 현재 수행하고 있는 내풍설계 절차를 바탕으로 이러한 구조물에 대한 합리적인 내풍설계가 가능한 것으로 판단된다. 그리고 향후 대공간 구조물 뿐만 아니라 초고층 건물, 교량 등에 대한 지속적인 실측 및 해석결과와의 비교를 통해 풍동실험 및 해석의 정확성을 향상함으로써 신뢰성 있는 내풍설계 기술의 확보가 가능할 것으로 사료된다.