

동특성 계측을 통한 건물 구조형식별 FE 구조해석 모델의 검증

Verification of FE models for various types of structures using measured dynamci properties

김 지 영* · 박 재 근** · 조 자 옥*** · 유 은 종**** · 김 대 영*****
Kim, Ji-Young · Park, Jae-Keun · Cho, Ja-Ock · Yu, Eun-Jong · Kim, Dae-Young

요 약

동적응답과 하중을 정확히 산정하기 위해서는 구조물의 동적특성을 정확히 평가하는 것이 중요하기 때문에, 현재 대부분의 경우 FE 모델을 이용한 Modal 해석을 dldydg하여 동특성을 평가하고 있다. 그러나 실제 건물의 계측결과와 동적특성의 해석결과가 많은 차이를 나타내고 있으므로 해석결과의 신뢰성을 향상하기 위해서는 FE 모델에 대한 Calibration이 수행될 필요성이 있다. 이 논문에서는 초고층, 아파트, 대공간 구조물에 대한 계측을 수행하고 이 결과를 바탕으로 동특성을 정확히 예측하기 위한 FE 모델의 Calibration 과정을 제시하였다. 이 결과를 바탕으로 동적특성의 정확성이 풍동실험결과의 신뢰성에 미치는 영향을 분석하였다.

keywords : FE modal analysis, FE model Calibration, 풍응답 계측, 풍동실험

1. 서 론

건물의 설계에 적용되는 풍하중 및 지진하중은 동일한 조건에 작용한 경우라고 하더라도 구조물의 동적특성에 따라 다르게 결정된다. 풍하중과 지진하중의 변동성분에 의해 구조물에서 공진이 발생하고 이에 의해 발생한 관성력이 구조물에 추가적인 외력으로 작용하기 때문이다. 그러므로 정확한 동특성의 평가가 이루어져야 신뢰성 있는 동적응답 및 등가정적 설계용 하중을 산정할 수 있으며, 이를 위해 현재는 거의 대부분 FE modal analysis를 이용해 동특성을 추출하고 있다.

그러나 현장 가속도 계측 등을 통해 실제 구조물의 동적특성을 분석한 결과를 보면, FE 해석결과와 많은 차이를 나타낸다. 특히, RC 건물의 경우에는 실제 계측된 고유진동수와 해석결과가 50%에 가까운 차이를 나타내는 경우도 있다. 이러한 현상을 규명하고자 초고층, 벽식아파트, 대공간과 같은 7가지 타입의 구조물에 대해 풍응답 및 진동 가속도 계측을 수행하고 FE 해석결과와 비교하는 연구를 수행하였다. 이와 함께 실제 계측된 동특성을 기준으로 FE model을 Calibration함으로써 향후 FE model 작성 시 참고할 수 있는 FE 모델 작성법을 제시하고자 하였다.

* 정회원 · (주)대우건설 기술연구원 책임연구원 jiyong.kim@daewoenc.com
** (주)대우건설 기술연구원 선임연구원
*** (주)대우건설 기술연구원 전임연구원
**** 한양대학교 건축공학과 교수
***** (주)대우건설 기술연구원 연구위원

2. 풍응답 계측

FE model의 개선을 위한 Calibration을 위해 표 1과 같이 7개의 구조물에 대해 풍응답 계측이 수행되었다. No. 1~6는 건물(Building)이며, No. 7은 대공간 구조물이다. 건물의 경우 총 24개의 서보타입 가속도 센서를 이용하여 층별 가속도를 측정하였으며, 각 층에는 3개의 가속도계를 배치하여 병진 및 회전 진동모드를 추출할 수 있도록 하였다. No. 5의 경우에는 2개의 타워가 10층 높이까지 저층부 Podium으로 서로 구축되어 있다. 따라서 두 타워를 동시에 측정하여 모드형상을 추출하기 위해 최상층에만 가속도계를 배치하여 가속도를 계측하였다. 대공간 지붕(No. 7)의 경우 총 9개의 지점에서 수직 및 수평 진동가속도 데이터를 취득하여 모드형상 및 고유진동수를 추정하였다. 각각의 구조물에 대한 동적특성의 추출을 위해 Frequency Domain Decomposition(FDD)법이 System Identification의 방법으로 사용되었다.

표 1 풍응답 계측 대상 구조물

번호	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
건물형식	건물						지붕
구조형식	RC 코어-모멘트 프레임	RC 코어-모멘트 프레임/아웃리거		RC 코어-플랫플레이트	전단벽식	철골트러스	
높이(m)	142	113	134	140	119	57	*Span 200m

3. 동특성 비교 및 FE 모델 Calibration

3.1. 건물 No. 1~4 및 No. 6

RC 코어-모멘트 프레임 및 아웃리거 구조형식의 건물에 대해 고유진동수에 대한 계측결과와 해석결과를 비교하면 표 2와 같다. 표 2에서 나타난 바와 같이 계측된 건물의 고유진동수가 초기 FE 해석결과와 비교하여 상당히 높은 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 일반적으로 FE model에서 현장타설 콘크리트 탄성계수, 비구조부재, 슬래브 휨강성 및 Beam-end-offset 등이 모델링의 편이를 위해 가정되거나 생략되기 때문이다.

현장타설 콘크리트의 경우 콘크리트의 품질관리를 위해 배합강도를 약 20% 정도 크게 하기 때문에 10% 정도 탄성계수가 증가한다. 또한 조적과 같은 비구조부재의 경우에도 사용성 레벨에서 건물에 부가적인 휨강성을 부여하며, 바닥슬래브도 휨강성으로 휨강성에 기여하게 된다. 또한 기둥과 보의 조합에 따라 Beam-end-offset도 휨강성에 크게 영향을 미칠 수 있다.

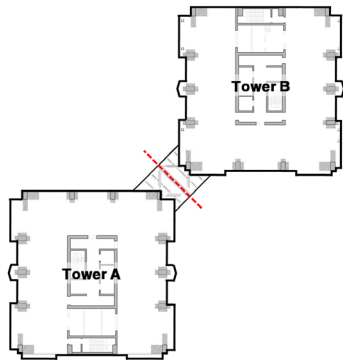
이러한 요소를 고려하여 초기 FE model을 개선한 뒤 고유진동수를 산정한 결과를 나타내면 표 1과 같다. 비교결과에서 나타난 바와 같이 FE 모델의 개선을 통해 고유진동수의 차이가 약 5% 이내로 향상된 것을 볼 수 있다. 건물 No. 4의 경우 초기 FE 모델 해석결과에서 1차모드(y-방향)는 2%의 차이를 나타냈지만 2차모드(x-방향)의 경우에는 약 36%의 차이를 나타내었다. 건물 No. 4의 경우 실제 건물에서 x-방향으로 조적벽이 설치된 것이 확인되어 이를 FE 모델에 반영하여 개선하였으며, 개선 후 x-방향을의 고유진동수가 3% 이내로 감소한 것을 볼 수 있다.

또한 건물 6의 경우에는 각 세대별 발코니의 파라렛이 FE 모델에서 생략되었으나 FE 모델 개선시 이를 등가보로 모델링하였다. 이에 따라 초기 모델의 해석결과에서는 고유진동수가 최대 50%까지 차이가 발생하였으나 모델개선 후 계측과 해석의 결과 차이가 6% 이내로 감소하였다.

표 1 풍응답 계측 대상 구조물

구분	번호	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5*	No. 6	No. 7
계측	1차	0.356	0.328	0.356	0.256	0.352	1.190	0.745
	2차	0.381	0.360	0.415	0.349	0.455	1.203	0.874
	3차	0.713	0.609	0.811	0.625	0.687	1.920	0.950
초기 FE 모델	1차	0.226	0.232	0.236	0.252	0.302	0.627	-
		(63%)	(71%)	(66%)	(98%)	(86%)	(53%)	-
	2차	0.282	0.238	0.315	0.260	0.440	0.875	-
		(74%)	(66%)	(76%)	(74%)	(97%)	(73%)	-
	3차	0.461	0.337	0.399	0.455	0.575	0.961	-
		(65%)	(55%)	(49%)	(73%)	(84%)	(50%)	-
개선 FE 모델	1차	0.350	0.341	0.336	0.255	0.339	1.192	0.717
		(98%)	(104%)	(94%)	(100%)	(96%)	(100%)	(96%)
	2차	0.372	0.356	0.434	0.338	0.497	1.252	0.847
		(98%)	(99%)	(105%)	(97%)	(109%)	(104%)	(97%)
	3차	0.591	0.551	0.734	0.516	0.669	1.796	0.934
		(83%)	(90%)	(91%)	(83%)	(97%)	(94%)	(98%)

주) *는 1차 3차 5차 모드임 (그림 1 참조)



(a) 타워 평면

(b) 1차 및 5차 모드형상 (계측)

그림 1 건물 No. 5

3.2. 건물 No. 5 및 대공간 구조물 No. 7

그림 1 (a)와 같이 건물 No. 5는 저층부가 Podium에 의해 묶여 있기 때문에 두 개의 타워가 함께 연성적인 동적거동을 나타낸다. 초기 모델에서는 두 타워의 연결부분이 Expansion Joint로 분리되어 있기 때문에 각각의 Tower가 독립적으로 거동한다고 가정하고 분리하여 해석하였으나, 실제 계측에서는 그림 2 (b)와 같이 모드형상 구분되지 않고 Couple되어 나타났다. 따라서 개선 FE 모델에서는 Expansion Joint의 강성을 반영할 수 있는 탄성스프링으로 두 개의 타워를 연결하였으며, 이를 통해 표 2에서 나타낸 바와 같이 Modal 해석결과가 계측결과와 유사하게 개선되었다.

대공간 지붕인 No. 7은 모든 구조물이 철골 구조물로만 이루어졌기 때문에 음향 및 조명설비와 같은 고정 하중분포와 Suspension 케이블의 프리스트레스 및 시공단계만을 고려하여 FE 모델을 작성하였다. 작성된 모델을 이용한 Modal 해석결과와 구조물의 실제 고유진동수와 비교한 결과 3% 이내로 거의 일치하는 것으로 나타났다.

3.3. 풍동실험결과의 검증

FE 해석모델의 차이가 풍동실험을 통한 풍응답의 산정결과에 미치는 영향을 살펴보기 위해 실측된 풍응답과 풍동실험의 결과를 그림 2와 같이 비교하였다. 건물 No. 3과 지붕 No. 7의 풍응답을 측정할 당시 태풍이 작용하여 평상시 보다 큰 풍응답을 측정할 수 있었으며, 이를 풍동실험에 의한 결과와 비교하였다. 그림 2 (a)와 같이 초기 FE 모델을 이용한 풍동실험의 해석결과는 실제 계측된 풍응답과 비교하여 과대평가되는 것으로 나타났으나 개선된 FE 모델 해석결과를 사용할 경우 계측결과와 풍동실험의 결과가 어느정도 일치하는 결과를 보인다. 또한 지붕구조물에서도 해석된 구조물의 동특성이 실제 건물과 유사할 경우 계측된 풍응답과 풍동실험의 결과가 잘 일치하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

(a) 건물 No. 3 (b) 지붕 No. 7
그림 2 풍동실험결과와 계측된 풍응답의 비교

4. 맺음말

본 논문에서는 풍 또는 지진에 의한 동적영향 평가 시 사용되는 FE 해석모델의 정확성 향상을 위해 실측된 동특성을 이용한 FE 모델의 개선과정에 대해 기술하였다. RC 건물의 경우 해석의 편이를 위해 가정되는 부분에 의해 실제와 해석결과가 큰 차이를 보이는 것으로 나타났으며, FE 모델 개선을 통해 이러한 차이를 최소화할 수 있는 것을 알 수 있었다. 또한 이러한 동적특성의 부정확한 예측에 의해 풍동실험의 결과가 크게 과대평가될 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이 연구에서 계측된 데이터는 사용성 레벨에서 계측된 데이터이므로 지진에 대해서는 직접 적용하기 어려울 것으로 판단된다. 따라서 향후 극한 상태의 구조실험 결과 등을 이용해 FE 모델을 보정할 수 있는 실무적인 방법이 제시되는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Kim JY, et. al. (2009) Calibration of analytical models to assess wind-induced acceleration responses of tall buildings in serviceability level, *Engineering Structures*, doi:10.1016/j.engstruct.2009.03.010
- Eunjong Yu, et. al. (2006), "Parameter identification of framed structures using an improved finite element model-updating method-Part I: Formulation and verification," *Earthquake Engng Struct. Dyn. (in press)*, Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/eqe.646.
- 김지영 외 (2009) 대공간 구조물 계측유지관리 적용사례, *한국공간구조학회지*, 35(9)