

# ETABS 2015를 활용한 성능기반 내진설계 및 제3자 검증의 필요성

## Performance-Based Seismic Design Using ETABS 2015 and Peer Review Process

### 1. 서 론

1994년 미국의 Northridge 지진과 1995년 일본의 Kobe 지진을 겪으면서 기존의 내진설계에 대한 한계점들을 극복하고자 성능기반 내진설계가 대두되기 시작하였다. 일반적인 구조물의 내진설계는 기준에 따라 수행하였기 때문에, 건물의 내진성능과 손상수준을 사전에 인지하기 힘들었다. 또한 경험적이고 간접적인 설계가 많고 획일화된 설계로 인해 많은 한계점들이 있었다. 이에 따라 건축주가 건물의 목표내진성능을 사전에 인지할 수 있으며 기준에 의한 설계의 한계를 극복할 수 있는 성능기반 내진설계에 관심을 갖게 되었다. 컴퓨터 해석 속도의 증가와 구조해석 프로그램의 발전으로 비선형동적해석이 가능한 여건이 갖춰지면서 실무진들도 성능기반 내진설계를 수행할 수 있게 되었다.

기존의 선형해석 설계의 경우 반응수정계수를 통해 구조물의 비선형거동을 반영하였지만 구조물의 횡력저항시스템에 따라 획일적으로 적용되는 한계가 있었다. 비선형정적해석의 경우 구조물의 고차모드의 영향이 무시되며 동적인 거동이 제대로 반영되지 못한다. 따라서 구조물의 내진성능을 해석을 통하여 정확히 파악하기 위해서는 비선형동적해석이 필요하다. 그리고 성능기반 내진설계의 비선형동적해석은 엔지니어의 판단과 노하우에 따라 그 품질에 많은 차이가 나타나고 해석상 발생할 수 있는 실수를 줄이기 위해 제3자 검증이 동반된다. 필자가 2000년대 중후반 미국 캘리포니아에서 실무를 수행할 때 병원 건축물에 대하여 PERFORM-3D를 활용하여 설계사의 엔지니어로서 성능기반 내진설계에 실제 참여하였는데, 까다로운 제3자 검증 절차(캘리포니아 병원 건축물에 대해서는 주정부 기관인 OSHPD의 엔지니어가 제3자 검증 수행)가 존재하기 때문에 부단히 신경쓰고 노력하는 설계자의 자세를 견지한 경험이 있다. 본 기사에서는 건축 구조물의 비선형해석 프로그램인 ETABS 2015를 소개하고, 제3자 검증의 필요성에 대해 기술하고자 한다.



강 현 구

서울대학교 건축학과 교수



정 승 용

서울대학교 건축학과 석사과정

### 2. ETABS 2015를 활용한 성능기반 내진설계

#### 2.1 ETABS 2015의 특징

컴퓨터 기술의 발전을 통해 이제는 개인 컴퓨터에서 고층건물에 대한 비선형동적 해석까지 가능한 시대가 왔다. 또한 상용 구조해석 프로그램 역시 발전을 거듭하여 이제는 한 프로그램에서 건물의 모델링과 구조해석 및 설계, 더 나아가 시공상세 3D

렌더링까지 진행할 수 있게 되었다. ETABS 2015는 건축 구조 해석 및 도면 생성 등에 특화된 프로그램으로 비선형해석 기능이 있었지만 비선형해석을 통한 내진성능평가는 주로 동일사의 PERFORM-3D를 통해서 수행되어 왔다. 하지만 ETABS 2015 버전까지 지속적인 기능의 추가로 현재는 PERFORM-3D에 준하는 비선형해석이 가능하고 해석의 정확성 및 안정성을 확보하면서도 내진성능평가 기능까지 포함하는 등 여러 가지 측면에서 개선되었다.

다른 기존 상용 구조해석 프로그램과 다른 ETABS 2015만의 특징이라면 빠르고 편리한 드로잉과 3D 그래픽일 것이다. AutoCAD 같은 별도의 드로잉 프로그램이 필요하지 않을 정도로 템플릿 기능 등 편리한 드로잉 기능들을 포함하고 있다. 이는 최근 BIM(Building Information Modeling)의 발전과도 궤를 같이 한다.

그리고 모델링한 구조물의 도면과 구조해석 결과에 따른 철근콘크리트 및 강구조 부재의 배근 도면을 자동으로 얻을 수 있으며 배근 상태를 3D로 확인하여 시공시 참고할 수 있다.

또한 ETABS 2015로 업데이트 되면서 ETABS 2013과 비교하여 성능기반설계를 위해 ASCE 41-13을 기반으로 한 소성힌지 자동 생성 기능, 전단벽과 기둥을 위한 파이버(fiber) 모델, 소성힌지의 이력거동 모델, 내진성능평가 기능 등이 추가되었다. 이를 통해 기존에 실무에서 PERFORM-3D로 수행하던 성능기반 내진설계를 ETABS 2015에서도 수행할 수 있게 되었다.

## 2.2 지진파의 선정 및 스케일링

비선형동적해석은 선형해석이나 비선형정적해석보다 비교적 정확하다고 알려져 있지만 입력된 지진파에 의한 편차가 큰 편이다. 해석 시 동적인 효과를 반영하기 때문에 입력된 지진파에 따라 공진효과의 차이로 해석 결과가 크게 차이가 날 수 있다. 따라서 적절한 지진파의 선정이 중요하며 신뢰성 확보를 위해 많은 수의 지진파 해석이 필요하다. 부지에 맞는 지진파의 선정이 필요하며, 이를 보정한 후 해석에 사용한다. 건축구조기준(KBC 2009; KBC 2016은 곧 고시 예정)에서는 입력지진파를 산정할 때 다양한 지진파를 선정하도록 실시지진기록 및 인공지진기록을 혼합하여 해석에 이용하며 최소 3개 이상의 지진파를 이용하여 해석하기를 추천하고 있다. 동적해석 시 지진파를 최소 3개 이상 사용하여야 하며 3개의 지진파 사용 시 최대응답, 7개 이상의 지진파 사용 시 평균응답을 사용하여 구조 설계에 반영하여야 한다. 선정된 입력지진파는 설계 스펙트럼에 맞게 보정하여 해석하도록 정하고 있다. 또한 개별

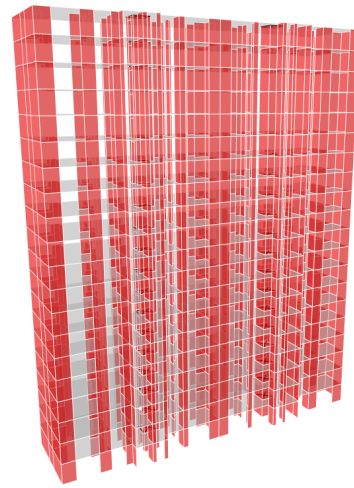


그림 1 ETABS 2015 비선형동적해석 모델링(저자 수행)

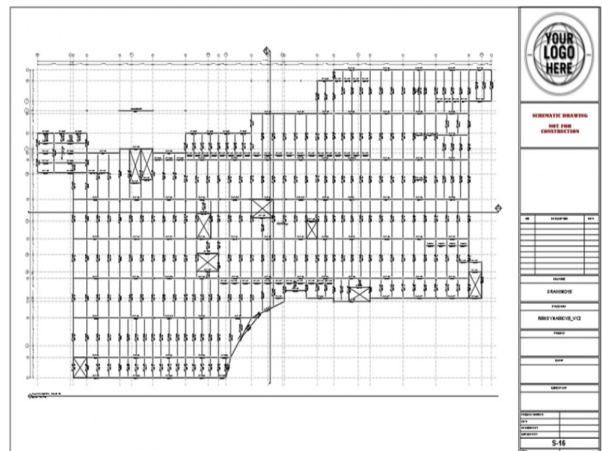


그림 2 ETABS 도면 생성 기능<sup>1)</sup>

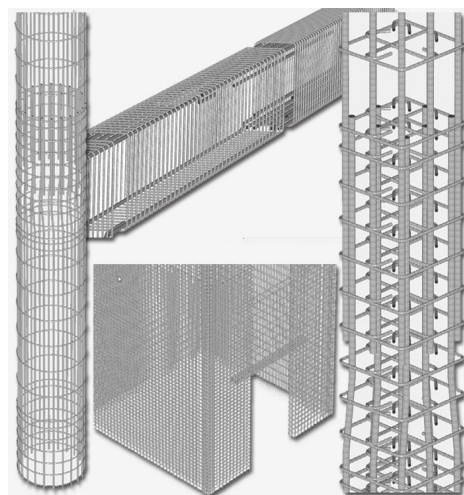


그림 3 3D Cage 렌더링<sup>2)</sup>

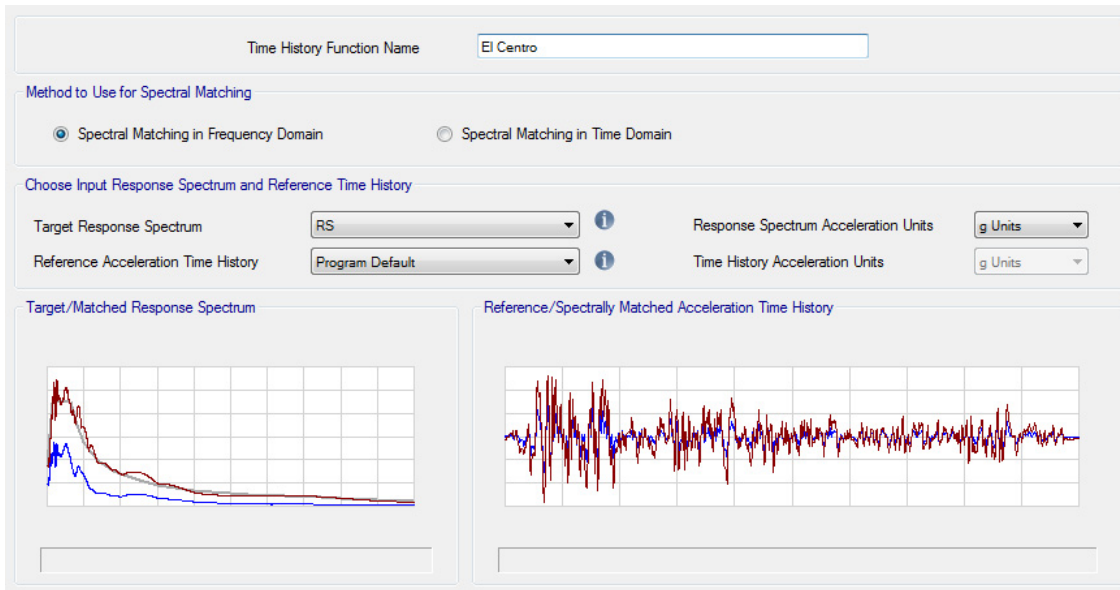


그림 4 ETABS 2015를 활용한 지진파의 스케일링(저자 수행)

지진파의 5% 감쇠비의 응답스펙트럼을 작성하고, 이것이 설계 구조물의 진동주기의 0.2~1.5배에 대해서 설계스펙트럼의 1.3배보다 10%이상 작지 않도록 하고 있다.<sup>2)</sup>

ETABS 2015에서는 설계스펙트럼에 맞게 지진파를 스케일링할 수 있는 기능이 있어 지진파의 기록만 있으면 별도의 프로그램없이 해석용 지진파를 생성할 수 있다.

### 2.3 이력거동 모델

비선형동적해석 시 이력거동 모델은 구조물의 에너지소산 능력을 반영하며 따라서 설정된 소성히나 파이버 재료의 이력거동 모델의 정확성이 해석의 정확성에 직결된다. 따라서 상용 구조해석 프로그램에서는 해석상 필요한 여러 가지 이력거동 모델을 제시해야 하며 설계자는 적합한 모델을 선택하여 사용해야 된다. 이력거동 모델 내에는 여러 가지 변수들이 존재하며 이를 조절하여 실제 구조물의 거동을 나타낼 수 있도록 해야 된다. 일반적으로 변수들이 많을수록 정확한 거동을 나타낼 수 있지만 그만큼 실무자가 활용하기 어렵기도 하다. 따라서 해석에 사용된 모델과 변수들에 대해 제3자 검증을 수행하는 전문가 또는 전문가 집단과 상호 검토가 필요하다.

### 2.4 내진성능평가

ETABS 2015에서는 비선형동적해석이 가능하며 해석결과를 바탕으로 내진성능수준을 확인하는 기능을 제공하고 있다. 성능기반 내진설계 시 주로 사용되는 기준 중 하나인 ASCE 41-13에서는 목표성능을 부재 및 접합부의 소성회전각을 바탕으로 한 모델링파라미터 및 허용기준으로 제시하고 있으며, 우리나라에서는 한국시설안전공단의 기존 시설물 내진성능평가에서도 ASCE 41-13과 동일한 모델링파라미터 및 허용기준을 제시하고 있다.<sup>3,4)</sup> 이에 따라 ETABS 2015에서도 부재의 소성회전각에 따른 성능평가를 확인할 수 있다. 또한 ETABS 2015

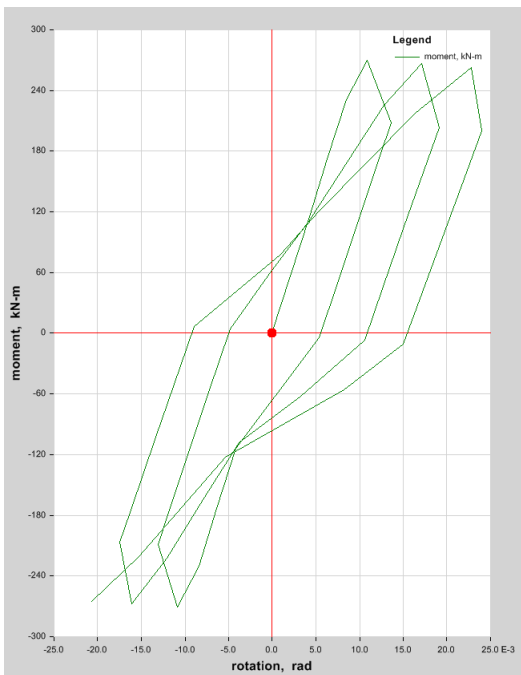


그림 5 ETABS 2015 Pivot 이력거동 모델(저자 수행)

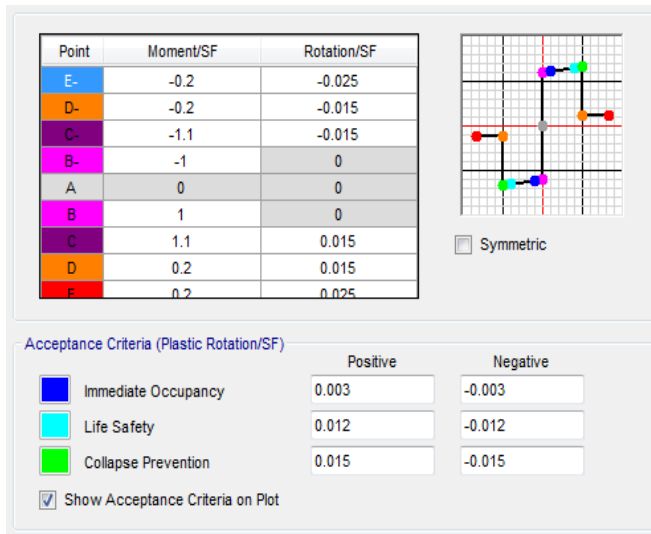


그림 6 소성힌지 설정 및 성능기준(저자 수행)

에서는 추가적인 성능평가 기법으로 파이버 모델에 대한 성능 평가로 파이버에 사용된 재료의 변형률을 기준으로 한 성능기준을 설정할 수 있다. 이렇게 설정된 부재별 성능기준에 대해 해석 시 목표성능 수준을 정하면 그에 대한 요구성능비(Demand Capacity Ratio)로 내진성능을 평가한다.

### 3. 제3자 검증의 필요성

기존의 기준에 의한 설계방식은 일반화된 설계 양식을 통하여 안전성이 검증된 방식이다. 하지만 성능기반 내진설계에서는 목표성능을 세분화하고 이를 달성하기 위해 기존의 기준대로의 설계가 아닌 다른 대안들을 제시할 수 있다. 이에 따라 안전성이 검증된 기준을 벗어난 다른 대안들을 제시할 경우 이에 대한 타당성 검증이 필요하다. 또한 SDC-D(Seismic Design Category-D)로 판정된 구조물에 대하여 특수벽체 또는 특수모멘트골조 상세를 횡재항시시스템에 일률적으로 적용하여야 하는데, 이에 대한 시공성이 현저히 떨어져 자칫 콘크리트 타설 불량과 시공 불량으로 이어질 수 있다.

성능기반 내진설계를 수행할 때 대표적으로 참고하는 기준인 ASCE 41-13의 경우 해석을 수행함에 있어서 여러 가지 대안을 제시하고 있으며 설계자는 해석하고자 하는 구조물에 적절한 기준, 지침, 자료 등을 판단 및 선택해야 한다. 따라서 같은 건물일지라도 설계자에 따라 내진성능 평가기준과 해석 방법이 다를 수 있다. 또한 구조물의 비선형 동적해석의 경우 절차가 복잡하고 다양한 변수들이 존재하며 때로는 작은 변수들의 차이에 따라 해석결과의 차이는 크게 나타나

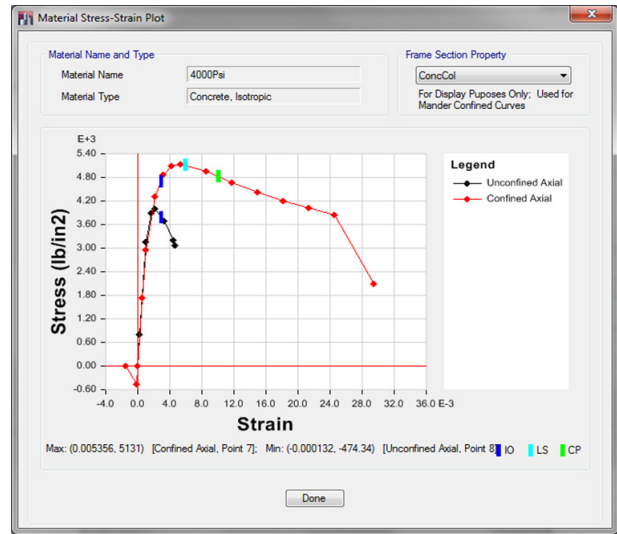


그림 7 재료의 응력-변형률 곡선 및 성능기준<sup>3)</sup>

기도 한다. 그리고 구조물의 내진설계는 안전과 직결되어 있으며 부적절한 설계는 지진 발생 시 또는 지반 불안정화 등에 의하여 야기될 수 있는 횡변위와 진동 발생 시 막대한 재산피해와 최악의 경우 인명피해로 확대될 수 있다. 따라서 설계상의 치명적인 실수를 막고 설계 시 사용된 다양한 변수들의 확인을 위해 관련분야 전문가의 검증이 필요하고 이를 통해 내진설계의 질을 확보해야 한다. 특히 특수상세에 대한 대안상세 적용 또는 부분 적용을 위해 성능기반 내진설계가 수행될 때 구조물 성능 관련 의도적인 과다평가의 소지를 미연에 차단하고 때론 소모적이고 비경제적인 과설계를 완화할 수 있는 역할을 수행하는 것은 중요하다.

### 4. 결론

본 기사에서는 상용 구조해석 프로그램인 ETABS 2015를 활용한 성능기반 내진설계의 소개와 제3자 검증의 필요성을 논하였다.

컴퓨터와 구조해석 프로그램의 발전으로 비선형동적해석의 정확도가 증가하고 있고, 이를 통한 성능기반 내진설계가 점차 활성화되고 있으며, 점차 하나의 프로그램에서 설계, 구조 등 모든 정보를 통합 관리하는 시스템이 생성되고 있다. 아직까진 비선형해석 프로그램에서 해석 이외의 기능 추가는 더딘 편이지만 최근 BIM의 발전으로 건축 모든 분야의 통합 정보 관리가 추진될 것으로 기대된다.

우리나라의 경우 건물의 고층화로 인해 기존 기준을 벗어난 설계가 많이 진행되고 있으며 이를 극복하기 위해 성능기반

내진설계가 점차 활성화되고 있다. 기존 기준을 이용한 설계가 아니기 때문에 설계자에 따라 해석 시 참고하는 부분들이 다를 수 있고 현실과 이론 사이의 합리적이고 합법적인 방법을 도출하기 위해서 제 3자 검증은 반드시 필요하다. 더구나 BIM이 활성화되었을 때 부작용으로 발생할 소지가 있는 치명적인 구조설계 결함 및 비전문가의 구조설계 개입을 차단하기 위해서라도 성능기반 내진설계와 제3자 검증의 제도화는 필수적이라 할 수 있다.

## 5. 참고문헌

1. <http://www.csiamerica.com/products/etabs>
2. 국토해양부, 건축구조기준 (KBC 2009), 2009
3. American Society of Civil Engineers (ASCE), Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE 41-13), Reston, VA., 2014
4. 한국시설안전공단, 기존 시설물 내진성능평가, 2011 