

Global Report

자연 재해 공학을 위한 시뮬레이션의 최신 기술

1. 위험 특성화
2. 응답 추정
3. 소프트웨어 및 시스템
4. 결론 및 Simcenter의 목표

1. 위험 특성화

1.1 지진 - 땅의 흔들림

이 장에서 제시된 소프트웨어를 사용하는 목적은 특정 지역에서 발생한 지진으로 인해 지반 흔들림 강도를 특성화하는 것이다. 코넬(1968)은 지진 위험에 관한 특정 현장에서 과거의 지진 데이터의 양은 적지만, 엔지니어들은 여러 현장에서 사용 가능한 정보를 결합하고 수량화할 수 있는 지진 위험 모델을 만들 수 있다고 하였다. 예상되는 지진 위험 및 해당 불확실성 확률론적 지진 위험 평가 (PSHA)와 계산된 위험의 분해(Bazzurro and Cornell, 1998)는 관심있는 장소에서 지진을 특징짓는 가장 보편적인 방법이다. 지진 엔지니어링 커뮤니티는 운 좋게도 이 작업에 사용할 수 있는 많은 무료 및 오픈소스 도구를 이용할 수 있다. PSHA 도구 외에도 시나리오 기반 결정론적 해석을 수행하는 도구가 제공되고 있다. 확률론적 분석론과 결정론적 분석법은 일반적으로 GMPE (Ground Motion Prediction Equations) 진앙지로부터 거리가 멀어짐에 따라 흔들림 강도의 감쇠를 설명하는 실험함수를 기반으로 한다.

- * 참고 : GMPM (Ground Motion Prediction Model) 명칭은 현대의 감쇠 관계가 단일 방정식보다 더 복잡하다는 점을 강조하기 위해 최근의 일부 출판물에서 GMPE 방법보다 선호되고 있다. 물리 기반 지반운동 시뮬레이션과 같은 다른 접근 방식도 위험 평가에 광범위하게 적용할 수 있을 정도로 충분히 강력해지고 있으며 가까운 시일 내에 널리 사용될 것이다.

GMPE를 사용한 IM 추정

이 유형의 방법론은 과거 지진 데이터를 기반으로 GMPE를 사용하여 추정된 IM(Intensity Measures)을 사용하는 잘못된 위험성에 대해 설명한다. GMPE 사용의 이점은 계산의 효율성이다. GMPE는 일반적으로 IM을 임의 변수로 설명한다. 이 접근 방식을 통해 엔지니어는 지진 시나리오의 특성, 부지 위치 및 기타 매개 변수(토질 조건)를 고려하여 사전 정의된 IM레벨을 초과할 확률을 추정(조건, 댐핑 등)할 수 있다. 엔지니어는 이러한 초과 확률과 해당 지역에 해당하는 지진 시나리오의 발생률을 집계하여 관심 있는 지역에서 사전 정의된 IM수준의 총 초과 확률을 추정할 수 있다. 여러 IM수준에 대해 이러한 계산을 수행하면 특정 지역에 대한 위험곡선이 생성된다. 지진 위험은 일반적으로 다양한 진동주기에서 스펙트럼 가속에 해당하는 일련의 위험 곡선을 사용하여 설명된다. 이러한 위험 곡선은 구조적 응답 추정을 위한 UHS 또는 CS의 기초가 될 수 있다.

물리 기반 파동 전파를 사용한 지반 움직임 기록 추정

이 유형의 방법론은 해당 모델에서 지각파의 지각과 전파의 물리적 모델에 의존한다. 신뢰할 수 있는 결과를 얻으려면 지역 지질학에 대한 상당한 양의 정보가 필요하다. 또한, 계산 비용이 많이 들고 일반적으로 고성능 컴퓨팅(HPC) 환경을 필요로 한다. 물리 기반 모델의 유효성이 검증되고 신뢰할 수 있는 모델 매개 변수(지질 데이터)를 기반으로 하는 경우, 경험적 GMPE에 의해 포착되지 않은 지역 지질 효과(심층 지질 분지 등)를 나타낼 수 있다. 지진 시뮬레이션은 기존의 GMPE 방식에 사용되는 IM 프록시와 달리 지반 움직임 기록을 직접 제공한다. 이러한 기록은 응답 추정에 직접 적용할 수 있어 GM 스펙트럼과 관련된 불확실성과 모호성 및 IM 스펙트럼과 일치하는 지반운동 기록 선택을 제거한다. 이 접근 방식이 일반화되기 전에 계산 및 모델링 문제가 있지만, 연구 커뮤니티 (예 : SCEC, <https://www.scec.org/>, Lawrence Livermore National Laboratory, <https://www.llnl.gov/>)의 초기 채택자 및 USGS (<https://earthquake.usgs.gov/>)는 성능 및 위험 평가에 적용되는 물리 기반 시뮬레이션을 제공하고 있다.

2. 응답 추정

응답 추정에는 자연 위험 공학과 관련된 고체 및 유체의 물리적 반응을 시뮬레이션하기 위한 유한 요소 및 기타 해석방법이 수반된다. 구조 시스템 장에서는 중력하중 영향에 대한 건축구조 (건물, 교량 및 기타 시설)의 응답을 해석하기 위한 시뮬레이션 기술에 대해 설명한다. 지진, 폭풍 (바람과 폭풍 해일), 쓰나미 침수. 지반 시스템에 관한 섹션은 입력 지상 운동에서 토양과 토양-구조 상호 작용의 상세한 응답을 명시적으로 시뮬레이션하는 방법을 설명한다. 시뮬레이션 결과는 다른 현상으로 인한 지반 변형, 액화, 토양-구조 상호 작용 및 지반 불안정성을 판단하는 데 사용된다 (예 : 지하수 레벨의 변화, 수세 등). 유체 역학에 관한 장에서는 물의 침수와 쓰나미로 인한 바람과 물의 흐름을 시뮬레이션하는 방법을 다루고 있다.

2.1 구조 시스템

입력 및 출력 데이터

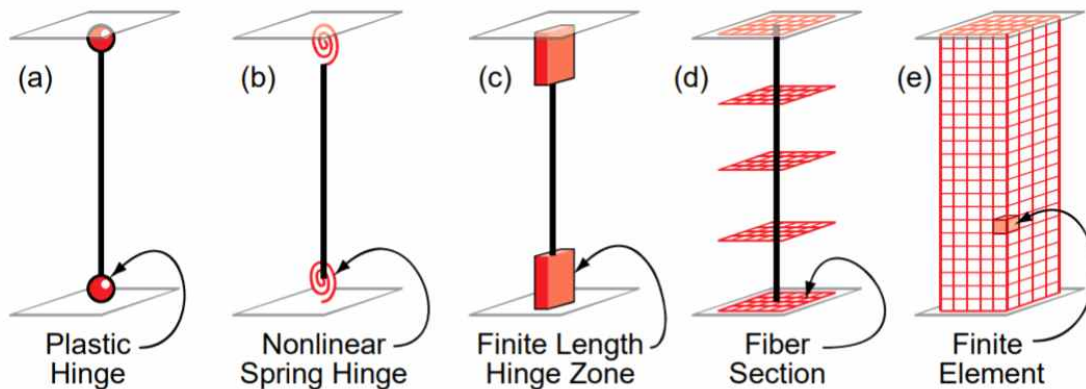
자연 위험 공학의 맥락에서, 구조적 응답 시뮬레이션은 필요한 구조적 응답을 평가하기 위한 이상적인 구조 모델의 개발 및 해석을 수반한다. 건설된 시설 및 시스템에 대한 피해 및 결과 (생명 안전 위험, 경제적 손실, 가동 중지 시간 등)를 평가한다. 구조적 응답 모델을 개발할 때, 특히 위험 부하 효과가 어떻게 통합되고 해석 결과가 어떻게 사용되는지와 관련하여 모델의 목표와 범위를 명확하게 정의하는 것이 중요하다. 하나의 극단적인 구조적 응답 해석에는 구조적 재료 및 구성 요소의 국부적(점열) 응답을 검토하기 위한 고해상도 모델이 포함될 수 있다. 다른 극단적인 경우, 매우 이상적인 빌딩 구조 모델을 사용하여 대규모 건물 재고에 대한 지역 평가를 위한 경제적 손실과 비즈니스 정지시간을 평가할 수 있다. 지진 엔지니어링 응용 분야에서 구조 시뮬레이션을 위한 하중 입력은 일반적으로 하나 이상의 IM (예 : 스펙트럼 가속, 스펙트럼 변위, 지속 시간 등) 또는 지반 운동 지진과 같은 지진이다. 일부 경우에, 지진 입력은 매장된 파이프 라인 및 터널 또는 구조적 기초와 같은 입력 접지 변형을 특징으로 할 수 있다.

풍공학에서 하중 입력은 일반적으로 동등한 정적 풍압 또는 풍압에 대한 반응 이력은 바람과 동적으로 상호 작용하는 유연한 구조물에 더 중요하다. 폭풍해일 및 쓰나미 침수를 평가하기 위해 하중 입력은 일반적으로 동일한 정적 수압 또는 잔해 흐름을 의미한다. 전통적으로 구조 응답 시뮬레이션은 구조 프레임 구성 요소 및 시스템에 중점을 두었다. 보다 전체적인 위험 평가에는 구조적 응답 및 최종 손상 상태에 영향을 줄 수 있는 소위 비구조적 구성 요소의 모델링이 필요하다. 풍하중 및 물의 유입의 경우 바람 / 물 흐름과 건축 클래딩, 칸막이 벽 및 기타 표면 간의 상호 작용이 특히 중요하다. 지진 공학의 경우에는 건축 클래딩 및 칸막이벽은 특정 유형의 경량 프레임 구조에 대해서 모델링 할 경우에 중요하다. 이러한 구성 요소는 상당한 강도와 강성을 제공할 수 있기 때문이다. (예 : 목재 프레임 주거용 주택).

모델링 접근법

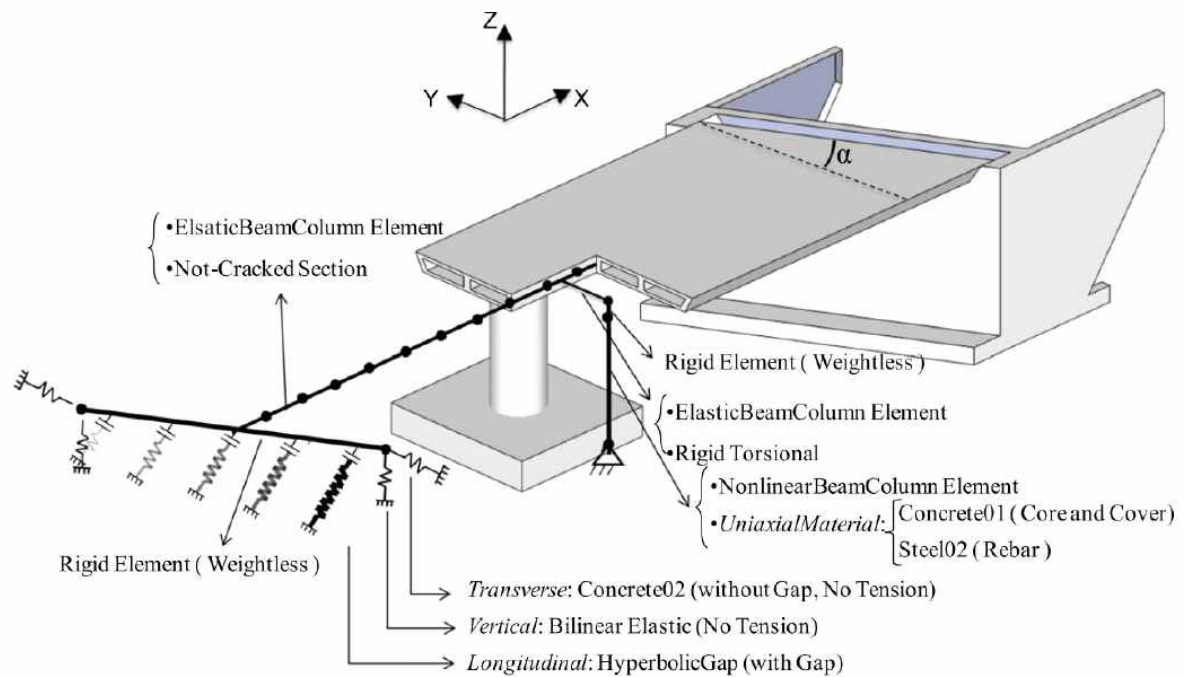
그림 2-1에서 보여 지듯이, 구조의 비선형 해석 모델은 단축 스프링 또는 힌지모델에서 보다 기본적인 섬유 단면 및 연속 유한 요소 모델에 이르기까지 다양하다. 일반적으로 모든 모델은 경험에 의존하여 어떤 수준의 이상화에서 거동을 관찰한다는 점에서 현상학적이라고 할 수 있다. 집중 모델 (그림 2-1a-b 참조)은 구조적 거동을 설명하는 기본 기능이 전체 구성 요소 거동에 대한 반 임계 교정을 기반으로 한다는 점에서 매우 현상학적이다 (예 : Ibarra et al. (2005), Folz et al. (2001), Lowes et al. (2003) 및 Do et al. (2017)). 그림 2-1은 모멘트 회전 힌지 모델로, 집중 스프링은 모든 변화 응답량 (예 : 축 또는 전단 스프링)에 적용할 수 있다. 다른 극단적인 경우, 연속 유한 요소 모델 (그림 2-1e 참조)은 재료 수준 (예 : Lemaitre and Chaboche (1990), Dettmer and Reese (2003), Lee and Fenves (1998) 및 Maekawa)에서 교정된다. et al. (2003)], 여기서 부재의 운동학 및 평형은 모델공식

에 의해 보다 직접적으로 표현된다. 이와 같이, 연속체 모델은 상이한 기하학적 구조 및 하중체제에 보다 적합하다; 그러나 가능한 범위 내에서 모델은 구조적 구성 요소의 지배적 현상을 나타내는 시험 데이터에 대해 검증되어야 한다.



<그림 2-1. 구조 모델 유형의 범위 (Deierlein et al., 2010)>

집중 힌지 모델과 연속 모델 사이에는 섬유 단면 또는 섬유 힌지 모델 (그림 2-1c-d 참조)이 있으며, 여기서 운동학적 가정(예 : 평면 섹션이 평면으로 유지됨)은 일축 재료 응답을 일반 변형을 및 응력 결과에 관련시키는 데 사용된다(예를 들어, 부재 단면에서의 모멘트-곡률). 섬유 모델을 포함하는 일축 재료 모델은 일축 재료 응력-변형 거동에 기초하여 교정될 수 있다. [예를 들면, Man-der et al. (1988), Dodd et al. (1995), Mengetto and Pinto (1973)] 또는 유사 응력-변형에 관한 것으로서, 강 재 보강 철근 좌굴과 같은 현상을 설명하기 위해 물성값이 조정된다 [예 : Kunnah et al. (2009) 및 Dhakal and Maekawa (2002)]. 주어진 응용 프로그램에 대한 모델 유형의 선택에는 사용 가능한 소프트웨어 및 계산 기능에 따라 안정성, 실용성 및 계산 효율성 간의 균형이 필요하다. 최적의 모델 유형은 구조 시스템 및 재료, 거동 모드 관리, 예상되는 비선형 양, 입력 및 출력 데이터에 사용 가능한 세부 수준 등 여러 요소에 따라 다르다. 모델의 신뢰성은 모델을 만드는 사람이 관심을 갖는 중요한 변형유형을 포착하고 응답을 제어 할 수 있는 능력에서 비롯된다. 최근에는 성능 기반 지진 엔지니어링에 대한 응용으로 비선형 구조 해석 모델의 개발 및 교정이 크게 개선되어 건물, 교량 및 기타 구조물의 손상이 발생하여 붕괴될 때까지의 응답을 시뮬레이션이 가능하다. 최근 일련의 NEHRP 보고서는 지진 평가, 리트로피 및 건물 설계를 지원하기 위해 비선형 해석을 위한 구조 모델 및 모델링 매개 변수를 검토한다 (NIST, 2017a-c). 이 NIST 문서에는 콘크리트 및 철골 모멘트 프레임, 브레이스 프레임, 콘크리트 전단벽, 강화된 조적 및 경량 프레임 목재 전단벽에 대한 많은 기본 연구 간행물에 대한 참조와 함께 모델 및 매개 변수가 요약되어 있다. NIST 기술 요약 (Deierlein et al., 2013)은 건물의 성능 기반 내진 엔지니어링에 대한 제안된 연구 및 개발 요구를 요약하여 비선형 해석 방법에 대한 광범위한 검토를 제공한다. 비선형 모델링 및 해석에 대한 기타 자료로는 고층 건물에 대한 PEER / ATC 보고서 (Malley et al., 2010), Spacone and El-Tawil (2004), 복합 철골 콘크리트 구조물에 대한 자료 및 Nurbaiah et al. (2017)는 조적조로 채워진 RC 프레임에 관한 것이 있다. 교량에 대한 자세한 성능 기반 모델링 및 해석 지침은 Aviram 등의 PEER 보고서에 설명되어 있다. (2008), 캘리포니아에서 일반적으로 사용되는 철근 콘크리트 (단일 또는 다중 스패) 교량을 대상으로 한다. (NBI, 2016) 일반적인 교량 모델링과 관련된 구성 요소의 예는 그림 2-2에 나와 있다.



<그림 2-2. OpenSees의 일반적인 교량 수치 모델의 개략도 (Kaviani et al., 2012)>

이후 Aviram 보고서와 간행물에서 인용된 연구는 다음과 같은 교량에 대한 구조적 모델링 세부 사항을 다루고 있다. (1) 직선 및 경사 각도 지지대 백업 모델 (Shamsabadi et al., 2010) : (2) 접합 운동학 상호 작용 모델 (Zhang and Makris, 2002) : (3) 전단 키 모델 [예 : Silva et al. (2009)]; (4) 기존 (Hutchinson et al., 2001; Taciroglu et al., 2006), 그룹 (Lemnitzer et al., 2010) 및 대구경 (Khalili-Tehrani et al., 2014) 말뚝에 대한 말뚝-토양 상호 작용 모델 ; (5) 인-스팬 힌지 모델 (Hube and Mosalam, 2008); 및 (6) 기동 모델 (Terzic et al., 2015; Xu and Zhang, 2011). 위의 모델은 Kaviani et al.의 연구를 포함하여 최첨단의 연구에서 사용되었다. (2014), Omrani et al. (2015), Aviram 등의 교량 PBSA 지침을 종합적으로 검토하고 개선했다. (2008) 및 Omrani et al. (2017), 모델링 불확실성에 대한 취약성 민감도를 조사했다.

OpenSees (McKenna, 2011)는 위에서 언급된 모델의 대부분에 대해서 공개적으로 사용 가능하다. 구조물의 비선형 응답 시뮬레이션에 대한 대부분의 자연 위험 연구는 비탄성 응답을 다루는 것이 설계 기반운동에서 필수로 오랫동안 인식되어 왔다. 반대로, 비탄성적인 구조적 효과는 중력, 풍하중 및 기타 하중 효과의 평가에서는 잘 쓰이지 않는 경향이 있다. 폭풍에 의한 바람 및 파도 하중 또는 해일의 경우, 가장 큰 비선형 응답은 동적 유체 (공기 또는 물) 흐름과 구조물과의 상호 작용으로 인한 하중과 관련있다. 유체 흐름에 대한 구조의 응답을 연구하기 위한 최근 연구의 예로 Minjie et al. (2014, 2018), Ataei and Padgett (2015), Petrone et al. (2017), Madurapperuma and Wijeyewickrema (2013), 및 Attary et al. (2016) 있다. 지진 취약성을 추정하거나 지역적으로 분산된 시스템의 시뮬레이션을 수행하기 위한 반복된 비선형 반응 이력 해석에는 일반적으로 대규모 계산 리소스가 필요하다. 각 구조 해석의 세부적인 특성으로 인해 필요한 계산은 매우 병렬적이다 (즉, 병렬 컴퓨팅 의미에서 완벽하게 확장 가능). 계산 요구 사항 외에도 건물, 교량 또는 기타 분산 인프라를 해석하려면 구조 시스템 응답의 상관관계와 함께 지역 전체의 위험 요구 사항 (예 : 지진운동)의 상관관계를 고려해야 한다. 이러한 지역 규모 해석은 흔하지 않으며 표준은 아니지만 다양한 시도가 이루어졌다 [참조 : Miller et al. (2015)].

3. 소프트웨어 및 시스템

다양한 기능을 갖춘 많은 수의 소프트웨어 시스템이 있지만 이 요약문에서는 자연 위험 공학과 관련된 연구에 적합하고 널리 사용되는 소프트웨어 프로그램에 중점을 두고 소개를 한다. 현재 NHERI DesignSafe 컴퓨팅 플랫폼에서 널리 사용되는 몇 가지 상용 코드와 함께 사용 가능하고 지원되는 오픈 소스 소프트웨어에 중점을 두고 있다.

오픈시스 (OpenSees)

OpenSEES (Open Earth System for Earthquake Engineering Simulation)는 구조 및 시스템의 지진 응답을 시뮬레이션하기 위한 오픈 소스 객체 지향 소프트웨어이다. OpenSees는 성능 지진 엔지니어링 연구 (PEER) 센터에서 성능 기반 지진 엔지니어링 연구를 위해 개발 및 유지 관리하며 전세계의 연구원들이 널리 사용하고 있다. OpenSees는 광범위한 재료 모델, 보-기둥 요소 및 연속 요소, 솔루션 알고리즘을 사용하여 구조 시스템의 비선형 반응을 모델링하고 해석하는 고급 기능을 갖추고 있다. 이 소프트웨어는 고급 컴퓨터 또는 매개 변수 연구에서 확장 가능한 시뮬레이션을 가능하게 하는 병렬 컴퓨팅 용으로 설계되었다. 이 소프트웨어는 DesignSafe에서 사용 가능하며 Linux, Windows 또는 Mac OS에서 실행되도록 다운로드 할 수 있다 (<http://opensees.berkeley.edu/>). LS-DYNA LS-DYNA는 자동차, 우주 항공, 건설, 군사, 제조 및 생명 공학 산업의 주요 사용자와 복잡한 실제 문제를 시뮬레이션 할 수 있는 범용 유한 요소 프로그램이다. 비선형 프레임과 연속 유한 요소가 있으며, 유체와 함께 강재, 콘크리트 및 토양에 대한 재료 모델이 있다. LS-DYNA의 기원은 명시 적 시간 통합을 사용하여 매우 비선형적이고 일시적인 동적 유한 요소 해석에 있으며 공유 및 분산 메모리 Unix, Linux 및 Windows 기반 플랫폼에 최적화되어 있다. 이 소프트웨어는 Livermore Software Technology Corporation에서 유지 관리하고 판매하며 상업 및 학술 시장 모두에서 라이선스를 사용할 수 있다. 교육용 라이선스를 보유한 사용자를 위해 DesignSafe에서 사용할 수 있다. (<http://www.lstc.com/products/ls-dyna>)

FEAP

유한 요소 해석 프로그램 (FEAP)은 비선형, 정적 및 과도 부분 미분 방정식을 풀기 위한 범용 유한 요소 프로그램이다. 주요 응용 분야로는 견고한 역학 문제 해결에 관한 것이다. 그러나 시스템은 유체 역학, 다공성 매체를 통한 유동, 열전 계 등의 문제를 해결하기 위해 사용자 개발 모듈을 추가하여 다른 주제 영역에서 문제를 해결하기 위해 확장 될 수 있다. 이 소프트웨어는 UNIX / Linux / Mac 또는 Windows 환경에서 실행할 수 있다 (<http://feap.berkeley.edu/> 참조).

기타 상용 소프트웨어

다음은 산업 및 학술 연구에서 일반적으로 사용되는 자연 위험 공학을 위한 시뮬레이션 기능을 갖춘 기타 상용 소프트웨어 목록이다.

SAP 2000, ETABS, PERFORM3D (<https://www.csiamerica.com>)

ABAQUS Unified FEA (<https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/> 참조)

LARSA (<https://www.larsa4d.com/>)

마크 (<http://www.mscsoftware.com/product/marc>)

DIANA (<https://dianafea.com>)

구조 재료 및 시스템 시뮬레이션을 위한 도구는 이미 상당한 단계에 와있지만, 기존 모델의 개선된 교정 및 검증에 대한 지속적인 요구와 함께 모델링 기능에는 여전히 상당한 한계점이 있다. 한계와 요구는 모델의 규모와 해상도, 즉 현지(특성)화된 거동을 파악하기 위해 구조 재료 및 구성 요소의 상세 모델 또는 완전한 구조 시스템 (건물, 교량)의 거동을 안정적으로 시뮬레이션 할 수 없는 상세하지 않은 모델에 여부에 따라 결과값이 달라질 수 있다. 세부 수준에서는 인터페이스와 재료 간의 상호 작용을 포함하여 임의의 주기적 하중 하에서 비선형 동작과 구조 재료 및 구성 요소의 손상을 시뮬레이션 할

수 있는 연속 유한 요소 모델을 개발, 구현 및 검증해야 한다. 강재 및 기타 연성 재료에 대한 모델은 큰 소성 변형 및 변형을 시뮬레이션하기 위해 상당히 잘 확립되어 있다 (예 : 국소 및 전체 좌굴 시뮬레이션 (NIST-ATC, (2018) 참조). 반면에 주기적 비탄성 하중 하에서 균열을 안정적으로 파악하는 방법은 여전히 철근 콘크리트, 목재 기반 및 석조를 포함한 다른 구조 재료의 경우 물리적 테스트에서 볼 수 있듯이 비탄력적인 손상 및 분해를 안정적으로 시뮬레이션 하기까지 많은 과제가 남아 있습니다. 모델 자체 외에도 추가 연구 및 개발이 필요하다. 오픈 소스 소프트웨어에서 모델을 구현하고 검증하여 고성능 컴퓨팅에서 실행하여 자연 위험 공학에 미치는 영향을 넓힐 수 있다.

대규모 시스템 또는 해석 / 시스템 수준에서는 규모에 따라 계산적으로 효율적인 모델을 개발, 교정 및 관리하는 시스템적인 접근 방식이 필요하며, 이로 인해 지배적인 거동 효과가 정확하게 포착될 수 있다. 이러한 소프트웨어의 경우 많은 과제는 모델 자체만큼 모델링 및 데이터 관리 도구를 지원하는 것과 관련이 있다. 관련된 불확실성에 대한 정보와 불확실성에 대한 상관관계에 대한 정보를 포함하는 신뢰할 수 있는 시스템 설명으로 재고 데이터를 개발할 필요가 있다.

4. 요약 및 Simcenter 목표

전산 시뮬레이션은 지진, 폭풍우 및 관련 쓰나미 및 지역 사회에 대한 폭풍 해일 영향을 평가하고 완화하기 위한 자연 재해 공학 연구 및 실습의 필수 구성요소이다. 광범위한 규모의 자연 재해를 포괄하는 SimCenter의 접근 방식은 기존 소프트웨어 플랫폼을 활용하는 것이다. 광범위한 컴퓨팅 소프트웨어를 고성능 컴퓨팅 플랫폼 및 데이터 리포지토리와 완벽하게 통합 할 수 있는 워크 플로우 기술. SimCenter는 계산 워크 플로 도구 및 교육 모듈을 개발 및 공표하는 것 외에도 NHERI(Natural Hazards Engineering Research Infrastructure) 연구원과의 협업을 통해 시뮬레이션 기능을 확장하기 위해 연구원과 협력하고 있다. 협업 기회는 응용 프로그램 테스트 베드에 대한 연구 촉진에서 다양하다.

SimCenter는 자연 위험 이벤트가 제공된 단일 건물의 응답을 연구하여 커뮤니티에 대한 자연 위험 영향의 시뮬레이션을 수행하는 다른 건물에 이르기까지 다양한 워크 플로 도구를 만들고 있다. 워크 플로우의 중요한 점은 계산 시뮬레이션을 통해 고유 변동성과 모델링 불확실성을 통합하고 전파하는 기능이라 할 수 있다. NHERI DesignSafe 플랫폼에서 사용할 수 있는 데이터 및 시뮬레이션 소프트웨어에 중점을 두어 데이터 세트를 개발하고 계산 도구와 통합하는 도구에 중점을 둔다.

대부분 SimCenter 시뮬레이션 도구의 가장 혁신은 NHERI 연구 커뮤니티가 전례 없는 기능을 수행하여 시뮬레이션을 수행 할 수 있는 컴퓨팅 환경을 제공하는 것이다. 생태계는 오픈소스 프레임 워크를 채택함으로써 연구원들이 시뮬레이션 기능의 일부 또는 모든 측면에 기여할 수 있도록 한다. 자산 (건물, 교량, 토목 인프라 및 건축 환경의 기타 구성 요소), 위험 영향 (지진, 바람, 물 침수), 자산에 대한 영향 및 사회에 미치는 영향을 통해 모델과 데이터를 연결하는 기능과 회복. SimCenter 전산 및 데이터 톨은 시뮬레이션의 핵심이라 평가하며, 데이터를 자연 위험 모델에서 사회 경제적으로 연결하고자 한다.

다음은 SimCenter가 적극적으로 작업하고 있으며 이미 배포되었거나 곧 배포 될 컴퓨팅 워크 플로 구현에 대해 요약한 것이다.

- CWE-UQ : CWE (Computational Wind Engineering) 도구는 풍하중에 대한 구조물의 응답을 시뮬레이션하는 애플리케이션이다. 이 도구의 V2.0 버전을 통해 사용자는 확률적 하중 모델 및 온라인 풍력 공학 데이터베이스에서 OpenFOAM과 같은 응용 프로그램을 사용하여 계산적으로 강렬한 CFD (Computational Fluid Dynamics) 해석을 수행할 때까지 구조물에 풍력을 지정할 수 있는 다양한 옵션을 선택할 수 있다. 이 도구는 풍동 테스트와 함께 NEHRI 연구원이 세부 CFD 모델링에 보다 쉽게 액세스 할 수 있도록 하기 위해 (예 : 계산 모델을 검증하고 NHERI 관풍 시설에서 테스트 할 수 있는

스케일 및 매개 변수 공간을 넘어) 연구원이 현장 연구에서보다 현실적인 조건을 고려하고 지역 시뮬레이션을 위한 대리 모델 작성을 지원하고 있다. 특히 CFD 분석의 경우 CWE-UQ 도구는 템플릿 기반 모델을 중심으로 구성된다. 현재 (V1.1.1에서) 두 가지 템플릿이 있다 : 구조화되지 않은 메시를 사용하는 견고한 건물 형상의 2D 시뮬레이션; 구조화되지 않은 메시를 사용한 견고한 건물의 3D 시뮬레이션. LES에 대한 원하는 유입 조건 시뮬레이션, 에어로 탄성 응답 및 다중 충실도 시뮬레이션 기능이 개발 단계에 있다. 쓰나미 또는 구조물에 대한 폭풍 해일 영향을 모델링 하기위한 물 흐름을 시뮬레이션하기 위해 CWE-UQ 도구의 적응을 조사하기 위한 탐사 작업이 진행 중이다. 향후 릴리스에는 uqFEM과 유사한 방식으로 불확실성 정량화 (UQ)가 통합될 예정이다.

- PBE : PBE 도구는 다양한 위험에 대한 성능 기반 엔지니어링 계산을 수행할 수 있는 확장 가능한 워크 플로 응용 프로그램이다. 현재 (V1.0)는 연구원들에게 지반 운동을 한 건물의 성능을 평가할 수 있는 도구를 제공하고 있다. 이 응용 프로그램은 비선형 건물 응답의 정량화에 중점을 둔다. 의사 결정 변수를 통한 피해. PBE는 EE-UQ 도구를 기반으로 건물 구성 요소의 손상 및 해당 손상의 결과를 평가하기 위해 구조적 응답 추정치를 사용하고 있다. 사용자는 시뮬레이션 모델, 구조물의 손상 및 손실 모델 및 PBE의 지진 위험 모델을 특성화한다. 이 도구에는 손실을 평가하기 위한 위험 및 자산과 무관한 라이브러리인 PELICUN (손실, 부상 및 자연재해 발생시 지역 사회 회복력 추정)이라는 기본 워크 플로 응용 프로그램이 통합되어 있다. PELICUN은 지진 손실 평가를 위한 FEMA P58 프레임 워크를 모델로 하지만 대체적으로 위험 (바람, 물 침수 등) 및 건물 이외의 시설을 다루는 더 넓은 목표를 가지고 있다. PBE 도구 내의 모든 구성 요소는 사용자가 문제에 대한 유연한 확률적 모델을 정의할 수 있는 불확실성 정량화 프레임 워크로 상호 연결된다.
- RDT : RDT 도구는 지역 사회에 미치는 위험의 영향을 정량화할 수 있는 확장 가능한 워크 플로 응용 프로그램이다. 이 도구는 2020년에 최초 공표될 예정이다. 이 도구는 사용자에게 지역, 위험을 선택하고 지역 규모로 결과를 볼 수 있는 옵션을 제공한다. 이 도구는 CWE-UQ, EE-UQ 및 PBE 도구용으로 개발된 많은 워크 플로우를 활용하고 있다. 이 도구 개발의 일환으로 (1) 지역 지진 워크 플로 및 (2) 지역 폭풍 워크 플로우 같은 두 가지 워크 플로 응용 프로그램이 개발되어 제공되고 있다. RDT 도구는 완료되면 이러한 명령 줄 응용 프로그램에 그래픽 프론트 엔드를 제공하고 있다.
- 지역 지진 작업 흐름 : 지역 지진 작업 흐름은 지역 규모로 사회에 지진이 주는 피해를 정량화하는 응용 프로그램이다. 워크 플로는 포괄적인 위험 시뮬레이션을 구현하고 있다. 정의를 포함하여 워크 플로우에 대한 추가 세부 사항 및 워크 플로 구성 요소는 그림 6.2에 나와 있다. 지역 지진 작업 흐름을 보여주기 위해 두 개의 테스트 베드 예제가 있다. 첫 번째 테스트 베드는 Hayward 결함에서 7.0 규모의 지진이 발생한 후 샌프란시스코 지역의 모든 건물에 대한 다운 타임(비즈니스 정지시간) 및 손실을 추정하고 있다. 두 번째 테스트 베드는 알래스카 앵커리지에서 열리는 2018 M7.0에 대한 소규모 연구를 보여준다. 다른 SimCenter 도구와 유사한 전략에 따라 워크 플로는 다양한 독립형 소프트웨어 응용 프로그램 및 모듈을 통합하고 있다. “performSIM”과 같은 일부 응용 프로그램은 OpenSees와 같은 기존 소프트웨어를 사용하는 반면 다른 응용 프로그램은 초기 테스트 베드 워크 플로를 위해 특별히 개발되었다. 프레임 워크 애플리케이션의 두 가지 인스턴스가 개발되다.
- AI 응용 프로그램 : 지역 위험 시나리오를 구축하기위한 주요 과제 중 하나는 해당 지역의 건물에 대한 실제 BIM(건물 정보 모델) 및 SAM(구조 해석 모델)을 만드는 것이다. 이를 해결하기 위해 SimCenter는 인공 지능 (AI) 방법을 적용하여 “aiBIM” 및 “aiSAM”어플리케이션. “aiBIM”애플리케이션은 다른 데이터베이스와 결합된 시각적 이미지를 사용하여 건물 및 해당 기능에 대한 자세한 데이터베이스를 개발한다. “aiSAM”애플리케이션은 BIM 정보를 SAM으로 변환하여 지진, 바람 및 침수로 인한 피해 효과를 시뮬레이션한다.

이 보고서는 각 장에서 작성자가 본 최신 기술과 SimCenter의 현재 및 미래 개발이 어떻게 부합되는지를 제시하였다. 따라서 이 보고서는 일반 소비에 대한 최신 보고서뿐만 아니라 SimCenter에 대한 안내 문서로도 사용된다. NHERI 커뮤니티의 콘텐츠가 널리 사용되고 연구 및 소프트웨어 개발 요구에 집중할 수 있기를 바란다.

<원문제목> State-of-Art in Computational Simulation for Natural Hazards Engineering

<원문출처>

https://simcenter.designsafe-ci.org/media/filer_public/13/b5/13b5ba3e-f94a-48af-9d12-ca5d0abad5c1/state_of_art_report.pdf