

Global Report

건물의 성능설계 기준 FEMA P-58 개정판

1. 성능 기반 설계 소개
2. 성능 기반 프로젝트를 위한 옵션
3. 비용 고려 사항
4. 적용 사례
5. 결 론

1. 성능기반 방법의 소개

성능기반 접근 방법을 사용하면 신규 및 기존 건물에 대해 미래의 다양한 지진 결과를 고려할 수 있다. 지진 설계 및 평가에 대한 성능 기반 접근 방법은 지진이 발생할 경우 발생할 수 있는 결과와 그 결과에 대한 자세한 정보를 제공한다. 이 정보를 통해 건물 소유주와 입주자가 얼마나 많은 피해를 입을 수 있는지에 대해 이해하고 사전에 결정을 내릴 수 있다. 새 건물을 설계하거나 기존 건물을 리모델링 할 때 성능 기반 접근 방법은 기존의 코드 기반 접근 방법과 보완적이며 근본적으로 다르다. 일반적인 설계기준(코드) 접근 방법은 수십년의 경험을 바탕으로 규제 기관이 사회의 요구를 충족시키는 것으로 간주되는 일련의 규칙을 따르게 된다. 반면에, 성능기반 접근 방법은 특히 건물 소유자 또는 의사 결정자의 요구를 반영하여 건물의 지진 위험을 제어하기 위해 설계 결정을 내리게 된다. 건물은 표준 기준을 준수하고 소유자가 정의한 성능 요구를 충족하도록 설계될 수 있다.

아래에서 볼 수 있듯이 현재 기준은 엔지니어가 수리 기간 또는 안전하지 않은 플래카드를 받을 가능성과 같은 잠재적으로 중요한 지진 성능 요소를 고려할 필요가 없다. 그러나 이에 반하여 성능기반 접근 방법을 사용하면 구조에 영향을 줄 수 있는 잠재적인 흔들림 수준에서 다양한 결과를 고려할 수 있다.

성능 기반 접근 방법은 일부 빌딩 프로젝트에는 해당되지 않는다. 성능 기반 접근 방법은 건물의 예상 지진 성능에 대한 확신을 갖는 것이 중요한 상황에서 사용된다. 다음과 같은 프로젝트에 적합할 수 있다.

- 건물에 상당한 재정 투자를 보인다.
- 오랫동안 건물에 대한 지속적인 관심을 유지하고자하는 의사가 있다.
- 지진 발생 후 건물을 신속하게 재 확보 할 수 있어야 한다.
- 건물 내부에는 고가의 자산이 있어 교체 또는 이동이 어렵거나 불가능할 수 있다.
- 건물은 특히 지진 위험이 높은 장소에 있다.
- 건물은 상징적, 역사적, 문화적 또는 브랜드 중요성을 가지고 있다.
- 건물은 지진 복원력이 있는 것으로 판명될 경우 재판매 또는 임대 가치가 높아질 수 있다.
- 건물의 기준상의 목표와 동등성을 입증하면 비용을 절감하거나 일반적으로 기준에서 허용하지 않는 건축적인 기능을 구현할 수 있는 설계 유연성이 허용된다.
- 건물 소유주 또는 사용자는 투자 옵션을 비교하거나 자산 포트폴리오의 위험을 관리하기 위해 노출 및 불확실성에 대한보다 정확한 정보를 원한다.

다음에서 성능 기반 접근 방법이 기존 및 신규 건축 프로젝트에 도움이 될 수 있는 네 가지 상황을 보여준다.

성능 기반 프로젝트를 위한 4 가지 상황

1) 고성능 설계

성능 기반 접근 방법을 사용하면 기존 기준을 따르는 건물보다 지진에서 더 나은 성능을 발휘할 새 건물을 설계할 수 있다. 소유주는 설계팀과 협력하여 지진으로 인한 피해 수준을 정의하고, 높은 수준의 확실성으로 자신의 요구를 충족시키는 설계를 생성하게 된다.

2) 개선된 디자인 유연성

성능기반 방법을 사용하여 일부 기준에서 요구하는 사항에서 벗어나거나 혁신적인 시스템 또는 재료를 사용하는 건물이 기존에 기준을 충족하도록 설계된 경우, 예상보다 성능이 우수하거나 성능이 우수함을 보여줄 수 있다. 이방법의 사용에는 현지 건축 관리인의 재량에 따른다.

이는 내진성능이 더 잘된 건물, 선 결제공사 비용 절감 또는 다른 방법으로는 허용되지 않는 새로운 기술에 대한 승인으로 이어질 수 있다.

3) 위험 평가

기존 건물의 지진 위험에 대해 알고자 하는 소유자, 투자자, 구매자 및 임차인이 성능기반 해석을 사용할 수 있습니다. 다양한 수준의 세부 사항 및 정확성으로 위험 평가를 수행할 수 있다.

4) 효과적인 지진 리모델링

기존 건물의 내진 리모델링 과정에서 설계팀과 건물 소유주는 건물의 내진성을 개선할 방법과 규모를 선택하게 된다. 성능 기반 설계는 소유자에게 다양한 설계 옵션의 지진위험에 대한 자세한 정보를 제공할 수 있으며 비용 및 기타 제약 조건으로 계량화할 수 있다.

FEMA P-58 방법론은 최첨단 성능기반 설계 및 평가 방법이다.

FEMA (Federal Emergency Management Agency)의 응용 기술위원회 (Applied Technology Council)에서 준비한 FEMA P-58 방법론은 원래 수년간의 개발 끝에 2012년에 발표되었으며 이전보다 가능한 많은 지진 성능 측면을 계산하는 데 사용할 수 있다. 이를 통해 의사 결정자는 지진에서 다양한 유형의 결과를 수량화하여 실현 가능성과 가치에 따라 건물 옵션을 비교할 수 있다. FEMA 및 일부 상용 서비스에서 무료로 배포하는 다운로드 가능한 프로그램을 포함하여 다양한 모델링 패키지가 FEMA P-58 방법론을 구현한다.

다음 두 페이지의 다이어그램은 FEMA P-58 방법론으로 계산할 수 있는 지진 결과의 범위와 건물 유형에 따라 어떻게 다른지 설명하고 있다.

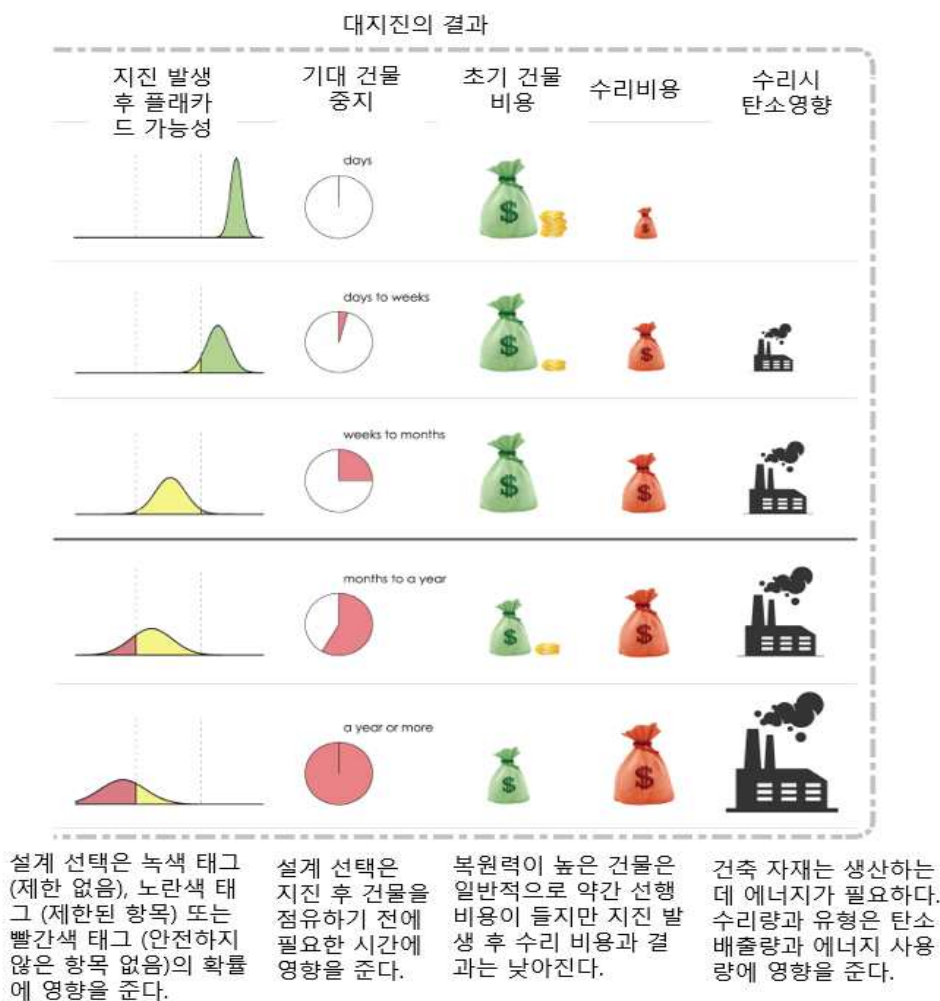


지진 피해는 흔들리는 수준과 건물 구조 및 기타 시스템의 특성에 따라 다르다. 설계 선택은 가능한 손상의 양과 유형에 영향을 준다.

*내진기능이 강화된 위험 범주 IV 및 기타 건물이 포함된다.

** 일부 리모델링 된 건물은 피해가 훨씬 적다.

새로운 기준 호환 건물은 미국에서 사상자의 위험이 매우 낮다. 일부 오래된 건물은 안전 위험이 높다.



<그림 1. 지진력 저항 설계를 위한 선택사항>

<표1. 코드 기반 및 성능 기반 접근법의 비교>

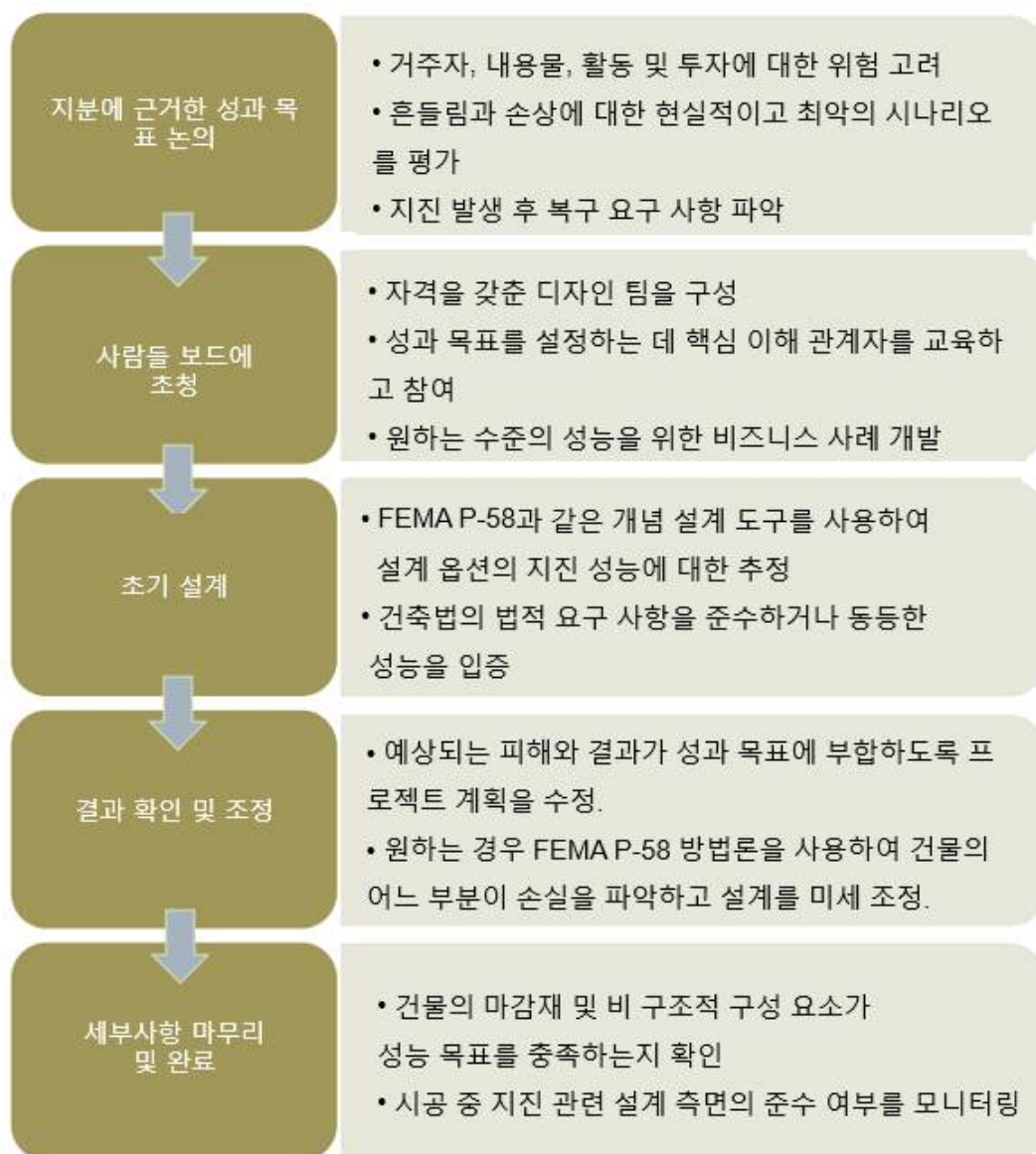
손실 유형	기준설계 접근법	성능기반 설계
구조적 손상	대규모 지진 발생시 거주자를 안전하게 보호할 것으로 예상되는 수준 이하의 손상.	건물 구조의 손상 가능성을 평가하고 제어.
비 구조적 손상	일부 구성 요소는 그대로 유지되도록 설계. 다른 구성 요소 및 내용은 규제되지 않음.	건물의 비 구조적 요소와 일부 내용물에 대한 손상 정도를 평가하고 제어.
사망 및 부상을 포함한 사상자	새로운 건물에서는 탑승자가 안전할 것으로 예상. 기존 건물의 리모델링은 안전을 개선하기 위한 것이지만 보장하지는 않음.	건물 손상으로 인한 사망 또는 부상 가능성을 평가하고 제어.
구조적 및 비 구조적 손상으로 인한 재정 손실	평가되지 않음.	평가는 손상으로 예상되는 직접 달러 손실을 통제.
안전하지 않은 플래 카드 가능성	평가되지 않음.	건물의 진입 및 사용을 제한하는 지진 후 안전하지 않은 플래 카드 (빨간색 태그)를 받을 가능성을 평가하고 제어.
수리 시간	평가되지 않음.	지진 후 건물을 사용할 수 없는 기간 및 건물 철거가 필요한 주요 요인인 수리가 가능 기간을 평가하고 제어함.
환경 영향	평가되지 않음.	건물 수리 또는 철거로 인한 탄소 및 에너지 영향을 평가하고 통제함.

* 참고 : FEMA P-58 방법론 나열된 모든 지진 성능을 추정할 수 있음.

2. 성능 기반 프로젝트를 위한 옵션

다양한 수준의 노력과 이점으로 다양한 프로젝트 단계에서 성능 기반 설계법을 사용할 수 있다. 성능 기반 설계 또는 리모델링 프로젝트는 기존 프로젝트와 거의 동일하다. 가장 큰 차이점은 프로젝트 팀이 수용 가능한 지진 결과를 명시적으로 결정하는 단계를 추가하고 해당 목표를 달성하기 위한 조치를 취한다는 것이다.

성능기반 설계 방법은 프로젝트 초기 단계에서 개념 설계 결정을 안내하거나 프로젝트 전체에서 마무리 및 장비의 선택 및 설치를 포함하여 설계 및 시공의 모든 측면에 정보를 제공하는 데 사용될 수 있다. 성능기반 설계법을 구현하기 위한 적절한 노력과 정도는 프로젝트와 의사 결정자마다 다를 수 있다.



<그림 2. 성능 기반 내진 설계 프로세스의 흐름도>

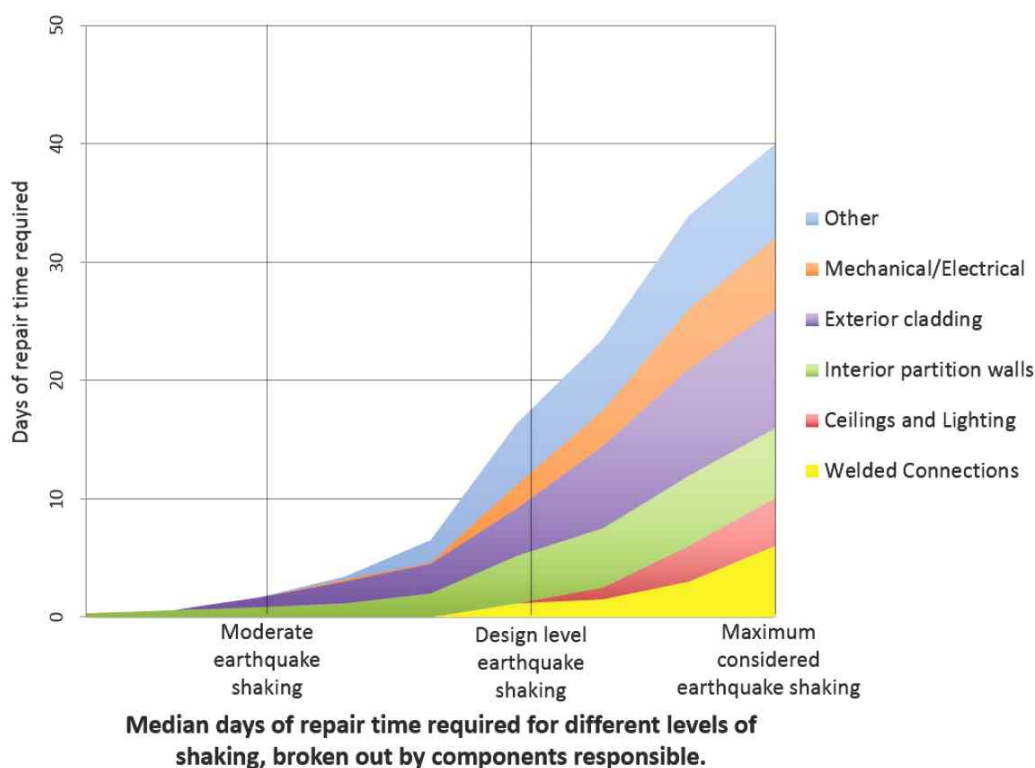
개념 설계 단계에서 성능 기반 접근 방법을 통해 가장 적합한 구조 시스템을 선택할 수 있다. 개념 설계 단계에서 건물 설계 프로세스 초기에 의사 결정을 하면 건물의 지진 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. 새로운 건물 설계를 위한 중요한 초기 결정에는 건물의 모양과 구조 시스템의 선택이 포함된다. 성능 기반 방법을 사용한 간단한 해석은 이러한 선택을 안내하는 정보를 제공할 수 있다. 프로젝트 초반에 구조 엔지니어는 성능기반 내진 설계 건물 지침 (FEMA P-58-6) 및 컴퓨터 도구 (FEMA P-58-6)를 사

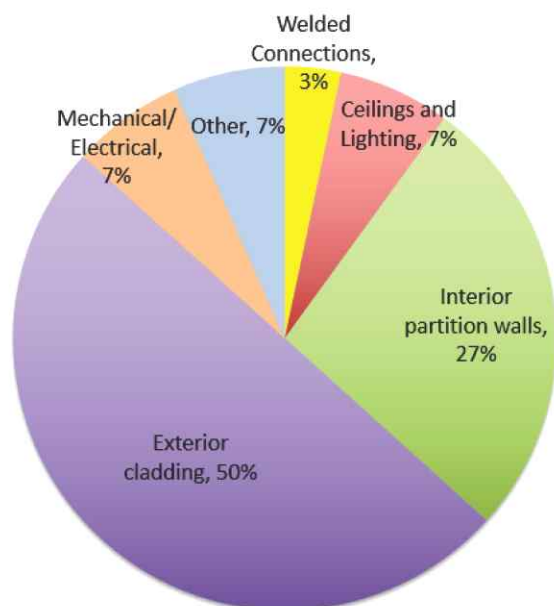
용하여 다양한 구조 시스템 및 설계 옵션의 지진 성능 관련 영향을 광범위하게 조사할 수 있다. 몇 가지 가정을 통해 엔지니어는 지진 성능의 중요한 측면에 대한 추정치를 제공하고 고객의 지진 성능 목표를 달성할 가능성이 가장 높은 대안을 좁히면서 다른 실질적인 제약 조건을 충족할 수 있다.

세부 구조 설계 중에 성능 기반 설계법은 절충을 이해하는 데 도움이 되는 정보를 제공한다. 세부 구조 설계 단계에서 엔지니어는 성능 기반 설계법을 사용하여 프로젝트별 달러 손실, 필요한 수리 시간, 지진 후 안전 태깅, 탄소 배출 영향 및 다양한 강도의 지진에 대한 잠재적 사상자를 추정할 수 있다. 또한 건물 설계의 어떤 측면이 허용할 수 없는 손실을 유발하는지 파악하고 그에 따라 계획을 조정할 수 있다. 이 정보는 자세한 의사 결정을 안내할 수 있으며 확립된 성능 목표가 달성되고 있는지 확인하는 데 사용될 수 있다.

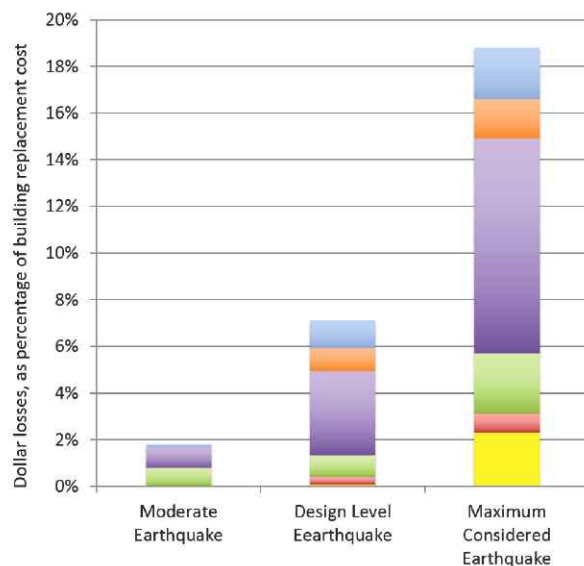
성능 기반 해석을 통해 지진 복원 빌딩 구성 요소, 앵커링 시스템 및 장비를 선택할 수 있다. 신축 또는 리모델링 프로젝트의 후반 단계에서 성능 기반 설계법을 사용하여 지진 복원 구성 요소 및 마감재에 대한 결정을 내릴 수 있다. 예를 들어, FEMA P-58 방법론은 아래 그림에서 볼 수 있듯이 각 빌딩 요소가 얼마나 기여하는지에 따라 총 손실을 해석한다. 허용할 수 없는 손실의 주요 원인이 파악되면 설계팀은 대체 설계 선택, 마감, 앵커 시스템 및 재료의 성능을 명시적으로 비교하여 선택 및 사양을 지원할 수 있다.

지진 위험에 경우 성능기반 평가는 금융 거래에 대한 신뢰할 수 있는 위험 추정치를 제공한다. 상업용 대금업자와 투자자는 SEL (Scenario Expected Loss), SUL (Scenario Upper Loss) 및 PML (Probable Maximum Loss)과 같은 지진 위험 조치에 익숙할 수 있다. 이러한 전통적인 접근 방법은 지진으로 인해 건물이 손상될 것으로 예상되는 달러 손실에 대한 정보를 제공한다. 그러나 이러한 해석의 정확성과 품질은 크게 다를 수 있다. 성능 기반 해석을 사용하여 위험과 잠재적 결과를 정확하게 이해하는 것이 중요한 상황에서 신뢰할 수 있는 고품질 SEL, SUL 및 PML 값을 계산할 수 있다





Percent of dollar losses due to various building components in a M6.5 scenario earthquake



Median expected dollar losses, broken out by responsible component

<그림 3. 건물 구성 요소가 건물의 지진 성능에 어떻게 기여하는지에 대한 정보 고려방법 세가지 예>

3. 비용 고려 사항

성능 기반 프로젝트는 반드시 기존 프로젝트보다 비싸지는 않지만 더 복잡할 수 있다. 모든 건물 프로젝트마다 성능기반 프로젝트의 비용을 성능 기반 방법을 사용하지 않는 프로젝트와 비교하는 일반적인 진술은 불가능하다. 경우에 따라 지진 성능 기반 엔지니어링에 초기 투자를 하면 시공 단계에서 비용을 절감할 수 있다. 반대로, 더 큰 지진 복원력에 투자하기로 한 결정으로, 더 비싼 건물 프로젝트를 초래할 수도 있다.

“고객은 최대의 지진 발생 후 새로운 공공 안전 빌딩을 운영해야 했다. 우리의 설계팀은 성능 기반 방법을 사용하여 지진이 덜 발생할 것으로 예상되는 지역에 건물 내에 민감한 장비를 전략적으로 배치함으로써 프로젝트에 상당한 비용을 들이지 않고도 고객의 목표를 달성할 수 있다는 것을 알게되었다.”

케빈 밀러, AIA

GSBS Architects, 유타 주 솔트 레이크 시티

다음은 몇 가지 중요한 비용 및 고려사항이다.

• 목표 설정 시간

모든 설계 팀 구성원은 이상적인 협업 방법으로 원하는 건물 성능 목표를 결정, 해석 및 충족시키는 데 생각과 시간을 투자해야 한다. 이 작업이 포함되지 않은 프로젝트보다 컨설턴트에게 더 많은 시간이 필요할 수 있다.

• 해석 시간

설계기준 기반 접근법에 필요한 것보다 성능기반 설계 평가를 수행하는 데 더 많은 시간과 입력 정보가 필요할 수 있다.

• 구조 요소

최소 코드 표준에서 제공하는 것보다 높은 지진 성능이 필요한 경우 구조 시스템 자체는 최소 코드 호환 구조 이상의 비용이 들 수 있다. 그러나 항상 그런 것은 아니다. 때때로, 설계에 더 많은 시간을 소비하면 더 크고 더 비싼 구조 요소를 필요하지 않는 더 나은 성능의 구조로 이어질 수 있다.

더 나은 구성 요소. 마감재, 유틸리티 및 방화 시스템과 같이 최소 기준상의 성능보다 우수한 비 구조적 요소 및 콘텐츠의 경우, 각 시스템이 명시된 성능 목표를 충족하는지 확인하려면 설계 팀 구성원의 해석 및 반복이 필요할 수 있다. 아마도 설계팀은 이 해석을 수행하기 위해 추가 컨설턴트를 포함해야 할 것이다. 이로 인해 다른 방법보다 더 비싼 구성 요소를 선택할 수도 있다.

• 내부 배치

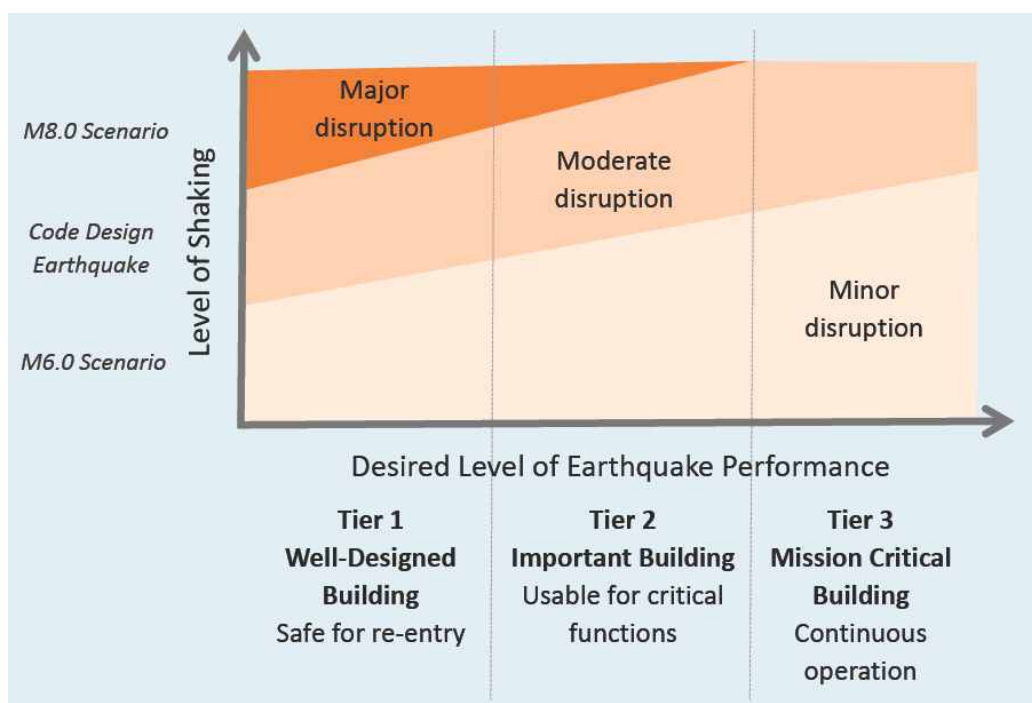
우수한 성능을 달성하기 위해 이러한 기능에 대한 지진 영향을 최소화하기 위해 일부 중요한 비즈니스 또는 건물 기능을 낮은 수준으로 배치해야 할 수도 있다. 이로 인해 다른 관점에 대한 최적의 배치가 이루어지지 않거나 건물 배치에 다른 조정이 필요할 수 있다.

• 하나 이상의 기준의 요구사항을 피하기 위해 성능 절차를 사용하는 경우, 건물 당국은 프로젝트를 검토하고 건물 허가를 발행하는 데 추가 시간이 걸릴 수 있다. 건축 공무원은 다른 설계 전문가의 독립적인 검토가 필요할 수도 있다.

4. 적용사례

1) 캠퍼스 규모의 지진 성과 계획

캘리포니아 대학 샌프란시스코 (UCSF)는 세계적 수준의 병원, 연구소 및 의과 대학을 운영하고 있다. 수십억 달러 규모의 시설 확장 및 리모델링 프로그램의 일환으로, 기관 지도자들은 건물에서 허용할 수 있는 지진 피해에 대해 상당한 고민을 했다. UCSF는 3 계층의 내진 성능을 생성했으며 통합 설계팀이 각 계층에 대한 옵션을 제시하여 비용 및 이점 측면에서 비교할 수 있도록 해야 했다. 각 계층은 UCSF의 핵심 미션, 인력 및 자산에 영향을 줄 수 있는 다운 타임 (건물의 사용중지 시간) 및 손상에 대한 명시적 제한을 포함하여 구조적 및 비 구조적 시스템의 목표를 다룬다. 각 계층에 대한 UCSF의 원하는 성능은 아래 다이어그램과 같이 지진의 크기에 따라 다르다. 상세한 정책은 실험실 샘플의 파괴, 학생 기숙사 손실 또는 위험한 화학 물질 방출과 같이 UCSF에 의미가있는 용어 "사소한", "중간" 또는 "중요한" 중단을 의미한다.





<그림 4. 캠퍼스 규모의 지진 성능 계획>

2) 로즈빌 시청 별관 : 파이프 스타 빌딩

2016 년 캘리포니아 로즈빌시는 신축 시청 별관 건물의 건설을 완료했다. 이 건물은 성능 기반 접근 방법을 사용하지 않고 기존 코드 기준을 충족하도록 설계되었다. 그러나 건물에서 수행될 중요한 운영 및 서비스로 인해 설계 팀은 건물의 지진 성능을 높이기 위해 여러 가지 기능을 통합했다. 설계팀과 시는 건물이 최소 코드 요구 사항을 준수하는 일반 건물보다 성능이 훨씬 뛰어나다고 믿었다. 이것이 사실임을 확인하고 결과를 명확하게 전달하기 위해 시는 건물의 지진 성능 등급을 찾았다. 설계 팀은 성능 기반 평가를 수행하여 시에서 미국 탄력성위원회 (US Resiliency Council)가 가장 높은 등급인 안전, 수리 비용 및 복구시간을 획득할 수 있도록 했다. 비영리 미국 복원력위원회 (USRC)는 2011년에 지진 성능 평가 시스템을 구현하기 위해 설립되었다. USRC는 자격을 갖춘 엔지니어가 지진 위험 구축에 대한 세 가지 중요한 고려 사항에 대해 등급 (1-5 등급)을 발행하도록 인증하고 있다. (1) 안전; (2) 수리 비용; 및 (3) 기능을 회복하는 시간. USRC 시스템에서 5성 등급은 사망률이 0에 가까우며 손상이 교체 비용의 5 % 미만이며 대규모 지진 발생 후 며칠 내에 건물을 점유 할 수 있음을 의미한다. 이는 최소 코드 요구 사항에 따라 설계된 일반적인 건물에서 기대할 수 있는 것 이상이다.



<그림 5. 로즈빌 시청 별관 : 오성급 건물>

성능 기반 해석을 사용하여 안전, 수리 비용 및 복구 시간에 대한 5 등급 지진 탄력성 등급인 캘리포니아 시청 별관 Roseville을 획득했다.

- 사진 크레딧 : John Swain

5. 결 론

자세한 지진 성능에 대한 정보는 건물에 대한 정보에 입각한 결정을 내릴 수 있게한다. 성능기반 지진 설계 및 평가를 통해 개발자, 소유자, 임차인 및 투자자는 수용 가능한 수준의 지진 피해 및 손실 수준을 정확하게 파악할 수 있다. 성능 기반설계가 제공하는 정보로 이해 관계자는 다음을 수행할 수 있다.

- 지진 발생 후 피해가 적고 기능이 개선되고 환경 영향이 감소된 탄력적인 건물을 구축할 수 있다.
- 위험 노출을 보다 잘 이해하고 통제하며 불확실성을 줄인다.
- 판매시 부동산의 가치를 높일 수 있다.
- 임차인이 보다 탄력적인 건물에 있으며 지진 이후에 더 빨리 운영을 재개할 수 있기 때문에 임대 부동산을 경쟁 부동산과 차별화 할 수 있다.
- 구매 또는 리모델링 대안을 고려할 때 선택 사항을 철저히 평가할 수 있다.
- 최소한의 요구 사항을 넘어 직원과 생계를 보호하고 거주자를 더 잘 보호함으로써 채용, 유지, 평판 및 홍보를 강화할 수 있다.
- 지진 발생 후 지역 사회 회복력에 기여하고 지역 및 지역 경제를 회복시키는 데 기여한다.
- 지진 성능 목표를 명확하게 정의하고 이를 달성하기 위한 계획을 통해 더 큰 자신감과 마음의 평안을 얻을 수 있다.

“지진 성능 기반 방법은 미래이다. 새로운 구조 엔지니어는 이러한 방법을 사용하여 안전한 구조와 큰 지진 후에 안전하고 신속하게 재사용될 수 있는 구조의 차이점을 더 잘 이해하는 방법을 배우고 있다.”

스티븐 마힌 박사

- Nishkian 캘리포니아 버클리 구조 공학 대학의 교수

성능 기반 내진 설계 및 해석은 미래이다. FEMA P-58 방법론과 같은 새로운 기술 해석 도구는 이전보다 훨씬 빠르고 안정적으로 예상되는 피해 및 손실, 지진 후 수리 시간 및 환경에 미치는 영향을 계산할 수 있다. 이를 통해 각 건물 프로젝트에 지진 복원력에 대한 투자 유형과 금액에 대한 더 나은 결정을 내릴 수 있다.

<원문제목> A Guide to State-of-the-Art Tools for Seismic Design and Assessment

<원문출처> FEMA

https://www.fema.gov/media-library-data/1557508361927-d67f745e88e04e54a1f40f8e94835042/FEMA_P-58-7_BuildingThePerformanceYouNeed.pdf