

기존 건축물 내진보강 현황과 과제

유영찬
한국건설기술연구원
선임연구위원

건축물 내진안전 정책과 기준의 변천

우리나라에서는 1962년 1월에 「건축법」이 제정될 당시부터 제10조 제1항에 “건축물은 자중, 적재, 하중, 적설, 풍압, 토압, 수압, 지진 기타 진동 및 충격에 대하여 안전한 구조를 가져야 한다”라고 내진설계를 명문화하였다. 하지만 이를 위한 세부 시행령이 구비되지 않아 실질적으로 시행되지 못하다가, 1988년에 관련 「건축법 시행령」 및 「건축물의 구조기준 등에 관한 규칙」이 정비되면서 6층 또는 10만 m^2 이상의 신축 건축물에 대해서만 우선적으로 지진에 대한 안전성을 확인하기 위한 제반 기준이 마련되면서 건축물 내진설계의 첫발을 내딛게 되었다. 그러나 내진설계의 대상이 고층 또는 대규모의 건축물로 제한되고, 더욱이 건축허가 등을 수반하는 행정행위 시에만 확인하는 절차에 한정되면서 기존 건축물에 대해서는 지진 안전 확인을 면제함에 따라 매우 제한적인 범위에서만 유효한 한계성을 내포하였다.

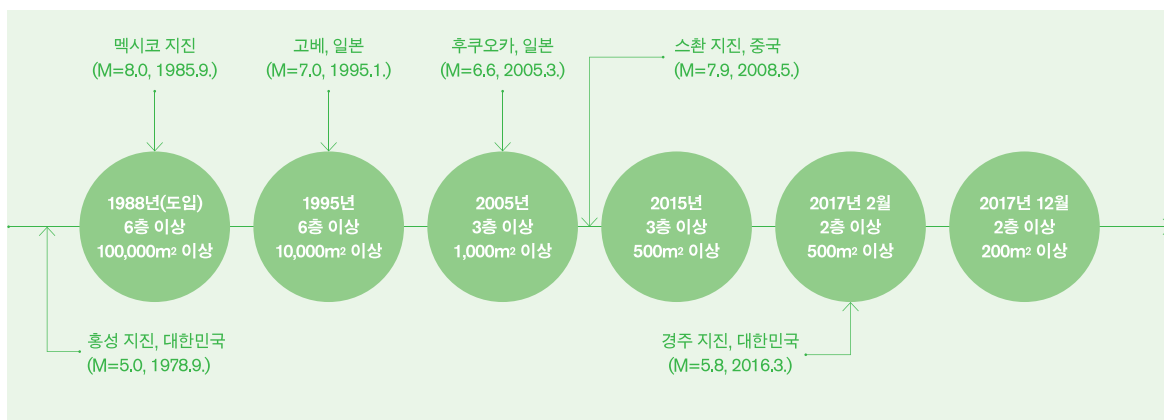
당시의 건축물 내진설계 대상을 매우 제한적으로 실시하게 된 정책 결정의 배경을 되짚어보면 먼저 1988년도는 우리나라가 중진국으로 도약하는 경제성장기로서 내진설계로 인하여 증가되는 비용의 증가가 부담으로 작용하였을 것이다. 둘째로 건축물 내진설계를 본격적으로 수행할 수 있는 건축구조기술사 등 전문 기술자가 부족하여 내진설계라는 공급 대비 전문 기술자의 수급 불균형으로 인한 부작용 등을 들 수 있을 것

이나, 근본적인 원인으로서는 국내에서는 인명피해를 수반하는 지진 발생이 거의 없었기 때문에 내진설계의 당위성에 대해서 회의적 의견이 있었던 것으로 생각된다. 즉 내진설계 분야에 오랫동안 관여해 온 필자의 경험을 회고해 보면, 경주 지진 발생 2~3년 전만 하더라도 일부 건설 전문가들 사이에서도 내진설계를 왜 하는지에 대하여 의문을 제기하는 분들이 종종 있었으니 내진설계 제정의 초기에 여러 가지 고려사항이 있었음을 충분히 이해할 수 있을 듯하다.

또한 우리나라에서 건축물 내진설계의 초기 대상이 6층 이상의 신축 건축물로 제한된 배경으로는 1985년에 발생한 멕시코 지진에서 주된 피해가 중·고층 건축물에서 집중된 것을 들 수 있다. 그러나 실질적으로는 어느 정도의 규모를 가진 신축 건축물만이 내진설계로 인한 비용을 부담할 수 있는 경제적인 여건을 상기하면 우리나라의 건축물 내진안전 정책은 현실 경제와 타협한 불완전한 출발이었다고 생각된다.

이후 한반도에 발생하는 유감 지진빈도가 증가하고 외국의 중대한 지진피해 사례를 고려하여 2005년도부터는 3층 이상, 1000m² 이상의 건축물에 대해서도 구조계산에 의해 지진에 대한 안전을 확인하도록 하는 절차를 마련하면서 내진설계 대상 건축물이 대폭 확대되었다. 또한 2017년 2월에는 2016년에 발생한 경주 지진을 계기로 내진설계 대상을 2층 이상, 500m² 이상의 건축물에 대하여 대폭 확대하는 정책적 결정을 하게 되었고, 이에 2017년 12월에는 강진 지역인 이웃 일본과 동일한 수준인 2층 이상, 200m² 이상의 건축물로 전면 확대하여 오늘에 이르고 있다.

국내외 주요 지진 발생 현황과 내진설계 대상 건축물의 변천 과정



하지만 이렇게 내진설계 대상 건축물을 전면 확대한 정책적 시행에도 불구하고, 내진설계가 적용되지 않은 기존 건축물에 대해서는 자발적인 내진보강 시 세금 감면과 같은 인센티브 제공 등 소극적인 정책에 한정되어 여전히 실효적인 대책이 부족하다고 할 수 있다.

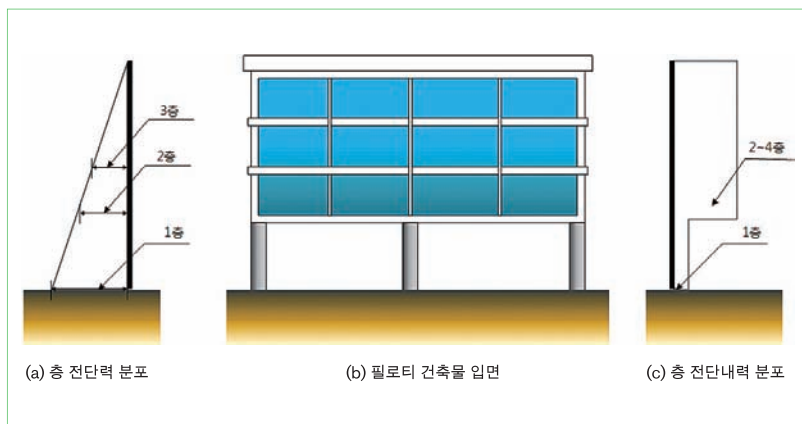
2017년 11월에 발생한 포항 지진은 우리나라에서 건축물의 지진 안전에 대한 정부의 정책과 일반 국민의 인식을 근본적으로 바꾸게 하는 계기가 되었다. 포항 지진은 경주 지진과 규모 면에서는 유사한 수준의 지진이었으나, 포항 지진의 진앙 깊이가 경주 지진에 비하여 상대적으로 얕아 지표면에 전달되는 지진에너지가 지진 규모에 비하여 컸다. 특히 경주 지역은 주된 지반 구성이 화강암 지역이라 지표면에서의 지진가속도의 증폭이 상대적으로 작은 반면 포항 지역은 퇴적층의 연약지반으로 이루어진 특성 때문에 지표면에 도달한 지진파가 증폭되어 지진가속도가 증가됨에 따라 건축물에 작용한 지진에너지도 동반 상승되었다.

더욱이 포항의 장성동 일대는 2005년 이후 새롭게 개발된 지역으로 시대적·지역적 특성으로 인하여 필로티 형태의 건축물이 다수 건설되었다. 이와 같은 필로티 형태의 건축물은 지진에 취약한 구조 특성으로 인하여 내진설계를 특히 정밀하게 실시해야 하는데, 지진 피해 후 현장조사 결과에 따르면 일부 건축물에서 내진설계에 오류가 있었을 뿐만 아니라 지진 피해를 입은 건축물에서 다수의 부실시공이 관측되는 등 매우 복합적인 요인으로 인하여 큰 지진 피해를 초래하였다. 이와 같이 내진설계를 실시하지 않은 건축물에서 관측된 다양한 건축물의 지진 피해 현상과 내진설계를 적용하였음에도 지진 피해를 입은 다수의 필로티 건축물 등의 지진 피해를 목격하면서, 지진에 취약한 건축물에 대한 내진설계 기준 개정은 물론이고 기존 건축물에 대한 내진 보강을 포함한 국가 내진종합 대책이 절실하다는 목소리가 높아졌다.

지진 취약 건축물의 내진설계 강화

필로티 건축물 등 비정형 건축물

포항 장성동 일대의 건축물 중 상당수는 2005년 이후에 지어진 것으로 그중에서 다세대·다가구 용도의 주거용 건축물은 「주택건설기준 등에 관한 규정」에서 원룸형 주택에 대한 강화된 주차장 요구 조건에 따라 형



필로티 건축물의 지진하중 거동

태적으로 지상 1층에 주차장을 설치하고 2층 이상에는 주거공간을 구성하는 소위 필로티 형태의 건축물이 다수 건설되었다. 이러한 필로티 건축물은 주차장 설치를 위해 1층에는 최소한의 수직부재(벽체 또는 기둥)를 설치하고 이후 2층 이상의 주거공간에는 공간구획 요소에 대부분 콘크리트 벽체를 시공하기 때문에 수직 방향으로 강성의 비정형성을 지니는 소위 ‘약층(soft story) 구조’의 특성을 지니게 된다.

이러한 약층 구조는 외국에서 일어난 다수의 지진 피해에서 보고된 바와 같이 지진에 매우 취약하다. 일반적으로 지진에 의해 건축물에 작용하는 힘인 ‘층전단력’은 지표면에 가까운 1층에서 최댓값이 되고 최상층에서 최소가 되는 역대칭 형태로 분포되는 반면, 지진에 저항할 수 있는 내력인 ‘층전단내력’은 필로티 구조에서 1층에 약층이 설치됨에 따라 1층에서 최소가 되기 때문이다.

이러한 필로티 건축물의 지진 취약성을 설계기준상에서 보완하기 위하여 미국과 일본 같은 내진 선진국에서는 약층 구조를 가지는 필로티 건축물의 경우에 특별지진하중을 적용하여 설계 지진전단력을 증가시키는 규정을 도입하였다. 우리나라에서도 2005년에 건축구조설계기준(KBC2005)을 개정하면서 “필로티 등과 같이 전체 구조물의 불안전성이나 붕괴를 일으키거나 지진하중의 흐름을 급격히 변화시키는 주요 부재의 설계 시에는 지진하중을 포함한 하중조합에 지진하중 대신 특별지진하중을 사용하여야 한다”라는 규정을 신설하였다. 그러나 허가권자의 전문성 부족으로 상기의 규정이 구조설계에 제대로 반영되었는지 확인하

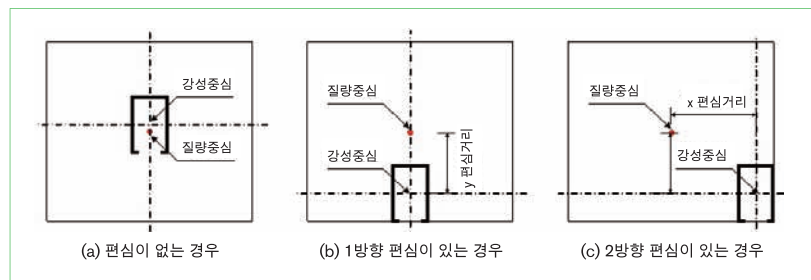
는 절차가 부족하여 포항 지진에서 피해를 입은 일부 필로티 건축물에서는 특별지진하중이 적용되지 않은 사례도 보고되고 있다.

더욱이 수직 비정형성을 지닌 필로티 건축물이 수평적으로 비정형성을 지닐 경우에 지진취약성은 더욱 증폭되는 것으로 보고되고 있다. 수평 비정형성은 지진하중의 작용점인 건물의 중심점(질량중심)과 지진하중에 저항하는 건물의 중심점(강성중심)이 어긋나는 정도를 말하는 것으로, 이러한 수평 비정형성에 의하여 건축물에는 질량중심에 작용하는 지진력 이외에 비틀림 모멘트(Torsional moment)가 추가로 발생해 취약한 구조가 된다.

한편 필로티 건축물에 있어서 강성중심은 통상 엘리베이터와 계단실 코어의 위치에 따라 결정되는 것을 고려하면, 다세대·다가구의 주거용 건축물에 있어서 기준평면의 절대면적(즉 건축면적)이 큰 경우는 엘리베이터·계단실 코어의 위치를 평면의 중앙에 설치할 수 있지만, 건축평면이 작은 경우에는 평면구조상 코어의 위치를 편향되어 설치할 수밖에 없는 상황이 발생하게 된다. 이에 따라 작은 규모의 주거용 필로티 건축물은 지진하중에 대하여 이중으로 취약한 건축물이 될 가능성이 높아진다.

따라서 주거용 필로티 건축물의 경우에는 오히려 규모가 크지 않은 건축물이 구조적으로 취약할 가능성이 더 높아 고도의 전문지식을 지닌 지진공학 엔지니어(국가자격 기준으로 건축구조기술사 등)만이 설계에 참여하도록 제한하는 것이 바람직하다. 그러나 구조안전의 확인 시에 관계 전문 기술자와의 협력을 의무화한 현행「건축법 시행령」 제91조의3 제1항에서는 규모 기준으로 6층 이상의 건축물에 대해서만 건축구조기술사의 협력을 의무화하고 있어 정책적인 보완이 필요하다.

이에 따라 국토교통부에서는 포항 지진 시에서 피해를 받은 건축물에 대한 원인을 조사하고 이에 대한 결과를 종합적으로 분석하기 위한 연



필로티 건축물의 수평 비정형성

구 용역을 발주하여 시행 중에 있다. 이 연구를 통해서 필로티 건축물 등의 지진취약 특성을 구조설계에 반영할 수 있는 설계지침과 현행의 건축 구조 기준을 보완하는 기술적 기준을 준비하고 있으며, 이와 동시에 수직 및 수평 비정형성이 증가되어 내진 전문가의 협력이 필요할 것이라 예상되는 중소규모 필로티 건축물에 대해서도 건축구조기술사의 협력을 의무화하기 위한 정책을 추진 중에 있다.

치장벽돌 등 비구조재

2016년 경주 지진 시에도 지진으로 구조체가 심각한 손상을 입지 않았지만 아파트나 일반 상가의 가구나 전시물 등이 전도되면서 2차적인 물적·인적 피해가 있었던 것으로 보고되었다. 특히 2017년 포항 지진에서는 외벽 치장벽돌이나 캐노피·물탱크 등이 탈락되거나 전도되어 높은 위치에서 낙하하면 매우 심각한 물적·인적 피해가 발생할 수 있다는 것을 우리에게 각인시켰다.

콘크리트나 벽돌 등 중량물의 탈락·전도와 낙하로 인한 인명피해가 우리나라에서 보고되지 않은 것은 매우 다행스러운 일로 볼 수 있다. 그러나 외국의 지진피해 사례에서는 이미 구조부재의 파괴에 따른 건축물의 붕괴 외에도 비구조재의 탈락과 낙하로 인한 인명피해가 다수 보고되고 있다. 특히 우리나라처럼 지진의 강도가 크지 않은 중약진 지역으로 건축물의 내진설계가 잘 되어 있지 않은 경우에는 낮은 수준의 지진이 발생했을 때 건축물이 붕괴에 도달해 발생하는 피해보다 비구조재의 탈락과 낙하로 인한 피해가 더 클 수 있어, 향후 비구조재에 대한 내진설계 강화가 중요할 것으로 판단된다.



포항 지진 때 비구조재 낙하로 인한 2차 피해 가능성 사례

자료: 윤병익(2017), 「포항지진 비구조요소 피해사례」, 한국지진공학회.

하지만 건축물의 비구조재는 그 종류와 범위, 용도와 중요성 등에 있어 워낙 다양한 특성을 지니고 있기 때문에 모든 경우를 포함하는 내진설계 기준을 작성하는 것은 매우 어렵다. 즉 비구조재는 천장·칸막이벽 등 실내 마감재 이외에도 커튼월·외벽 마감재 및 캐노피, 건물 옥상에 설치되는 물탱크 등 급수설비, 승강기·발전기와 같은 전기·기계설비 등 매우 다양한 종류를 포함하며, 설계와 시방의 주체도 단순 부품 공급에서부터 전문 제작 업체에 이르기까지 다양하다. 이에 따라 선진외국에서도 비구조재의 지진 안전을 확보하는 방안을 NE, PR, ER 세 범주로 구분하여 진행하고 있다.

비구조재 범주 및 내용

구분	내용	예시
NE(Non-Engineered)	전문적인 기술자의 도움 없이 설계되고 내진안전성이 확보될 수 있는 항목	천장 마감, 덕트
PR(Prescriptive)	표준상세가 제시되어 시공자 또는 숙련된 개인이 내진보강을 실시할 수 있는 항목	칸막이벽, 파라펫, 치장벽돌
ER(Engineering Required)	내진설계 전문가에 의해 기준에 따라 내진설계가 요구되는 항목	비보강조적조, 옥탑 물탱크, 보일러 등 기계설비, 승강기·에스컬레이터

우리나라에서는 비구조재에 대한 내진설계기준이 건축구조기준에 도입된 이래 내진설계를 위한 기술적 기반은 확보하고 있으나, 비구조재의 내진설계를 의무적으로 실시하여야 하는지에 대한 법적 근거가 불명확하고 내진설계의 주체와 책임 귀속, 비구조재의 광범위성 등 다양한 이유로 실질적인 수행에 어려운 점이 있었다. 그러나 포항 지진을 계기로 비구조재의 내진설계에 대한 법적 근거를 「건축법」 하위규정으로 명확히 하는 정책적 전환 이외에도 다양한 종류의 비구조재에 대한 내진설계 기준을 정립하기 위한 국가 R&D를 3개년 계획으로 착수하여 2018년부터 수행 중에 있다. 이를 통해 포항 지진에서 가장 피해의 가능성이 높았던 외벽의 치장벽돌·파라펫 등은 표준상세의 제공에 의해 시공 시에 고려할 항목으로 구분되어, 빠른 시일 안에 건축공사 표준시방서 등에 상세기준으로 추가되어 시행될 예정이다.

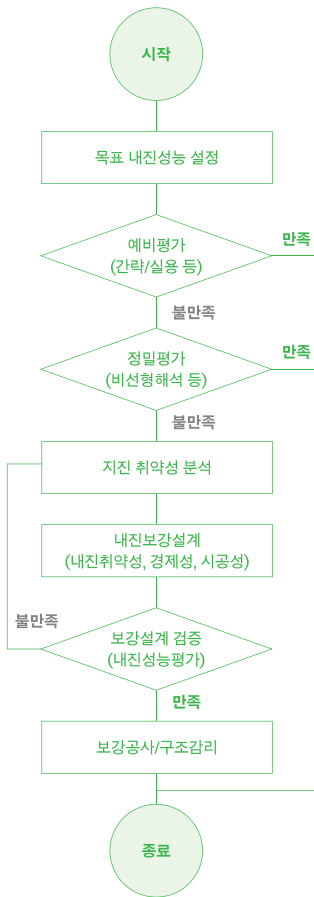
기존 비내진 건축물의 내진안전 강화

서두에서 기술한 바와 같이 1988년 우리나라에 내진설계기준이 도입된 이래 건축물 내진안전을 확인하는 절차는 건축허가 등을 수반하는 행정행위로 한정하면서, 사실상 기존 건축물에 대해서는 지진 안전 확인을 면제함에 따라 포항 지진 시에 비내진 건축물의 지진피해 사례가 다수 보고되는 결과를 초래하였다. 이는 적합한 행정절차에 따라 준공·사용승인을 받은 건축물이라면 새로 입법된 법령에 위반된다고 하여 불법 건축물로 볼 수 없다는 법적 논리에 따른 것이다. 일본과 같은 내진 선진국에서도 주기적으로 반복되는 지진으로 물적·인적 피해가 발생하고 비내진 건축물이 지진에 취약하다는 공학적 논리가 명확함에도 내진보강을 의무화하는 법령을 시행하지 못하고 있는 점을 고려하면 어쩌면 당연한 것인지도 모른다. 그러나 이러한 논리에도 불구하고 일본에서는 공익이 목적일 때 경우에 따라서는 기존 건축물의 내진보강을 의무화하는 것을 포함하여, 국가에서 내진보강을 촉진하기 위한 다양한 정책을 추진하고 있는 것 또한 사실이다.

우리나라에서도 2008년 중국 쓰촨(四川)성 지진이 발생했을 때 특히 다수의 학교 건물이 피해를 입고 수만 명에 이르는 어린 학생들의 인명피해를 입은 사례를 경험 삼아 교과부 중심의 학교 내진보강 사업이 시작되었고, 이후 「지진·화산재해대책법」이 정비됨에 따라 공공소유 건축물은 관리 주체별로 5개년 주기의 내진보강계획을 수립·시행하는 법령체계를 구축하였다. 그러나 사회적인 인식의 부족에 따른 국가 예산 확보의 어려움, 내진 성능평가와 보강설계에 필요한 국가기준의 부재 등의 사유로 실질적인 내진보강효과는 매우 부족한 실정이었다. 더욱이 민간 소유 건축물은 개인 재산으로 분류되고, 국가에서 내진보강에 예산을 직접 지원하거나 강제하는 소위 ‘당근과 채찍’ 정책을 시행하는 데 어려움이 있었다. 현재까지 민간 소유의 건축물에 대하여 국가에서 시행하는 내진보강 촉진정책으로는 인센티브를 제공하는 방식으로, 건축물의 내진보강을 실시하는 경우 용적률 상향이나 지방세 일부 감면 등의 혜택을 제공하고 있다. 그러나 이러한 인센티브 정책에 의해 내진보강을 자발적으로 시행하는 민간 소유 건축물이 거의 없는 것을 상정하면 실효적인 정책으로 보기에는 무리가 있다.

한편 기존 건축물의 내진보강을 위한 절차를 살펴보면 첫 번째 단계에서는 대상 건축물이 내진설계를 적용하였는지의 여부를 떠나서 특정

일반적인 내진보강 절차 흐름도



건축물이 현행 기준에서 요구하는 목표성능^{*}에 대하여 어느 정도의 내진 성능을 보유하고 있는지에 대한 평가가 이루어져야 한다. 두 번째 단계로 내진성능평가에 따라 내진성능이 부족한 것으로 판명되거나, 최소 내진 성능을 만족하더라도 더 높은 수준의 목표성능을 만족하고 싶은 경우에는 해당 건축물의 지진취약성 분석을 실시하여야 한다. 분석 결과에 따라 세 번째 단계에서 성능·비용 측면과 시공 측면에서 최적의 공법을 선정하여 보강설계를 실시하고, 마지막으로 보강설계된 건축물에 대한 내진 성능평가를 재실시하여 목표 성능을 어느 정도 만족하는지에 대한 검증 후에 보강공사를 실시하게 된다. 이때 보유 내진성능을 평가하는 방법으로서 약산식에 의한 간단한 방법에서부터 비선형해석을 포함하는 정밀한 방법에 이르기까지 다양한 방법이 국내외로 제공되고 있다.

여기에서 내진보강의 절차에 따른 기술적 이슈를 검토해 보면, 우선 내진성능을 평가하기 위한 단계에서 세부적인 기술기준이 필요하게 되는데, 통상 이를 ‘내진성능평가법’이라 부른다. 이러한 내진성능평가법에 있어서 일본과 미국 그리고 대만 등 지진 발생이 빈번한 국가에서는 국가 차원에서의 표준화된 내진성능평가법을 제공함으로써 평가 주체가 다르더라도 동일한 결과를 도출할 수 있는 기반을 제공하고 있다. 그러나 우리나라에서는 아직 내진성능평가에 대한 사회적 인식과 수요의 부족으로 일부 제공되고 있는 내진성능평가법이 연구주체나 기관별로 평가요령과 가이드 등의 권고(안) 수준으로 제공되고 있어 내진성능평가 결과 및 이에 기반한 내진보강 결과에 대한 신뢰성에 일부 이견이 제시되고 있는 실정이다.

포항 지진을 계기로 늦게나마 국토교통부에서 국가 내진종합 대책 마련 연구용역을 통해 비내진 건축물 등 내진취약 건축물에 대하여 지차체별 실태 파악을 위한 DB를 구축하고, 대표 샘플 건축물에 대한 내진성능평가(간략·실용, 정밀평가)를 통해 내진성능평가법을 개발·기준화하며, 지진취약성 분석을 통해 일반 엔지니어들도 손쉽게 적용할 수 있는 내진보강공법 표준화 개발 등의 기술적인 이슈를 정비하는 것은 매우 시급적절한 조치라고 판단된다.

* 통상 ‘기능 유지’, ‘즉시 거주’, ‘인명 안전’, ‘붕괴 방지’의 4단계로 구분

이 외에도 이 영역에서는 우리나라에서 작동 가능한 기존 건축물에 대한 내진보강 추진을 위한 정책·제도의 틀을 심도 있게 검토하고 있다. 즉 민간 소유의 건축물에 대하여 내진보강을 추진하기 위해서 소유주인 건축주가 내진보강을 자발적으로 실시할 정도의 경제적 동기를 제공할 수 있는 창의적인 인센티브 제도를 개발하는 등 실효성 있는 지원 제도를 마련하고, 동시에 해당 건축물의 지진취약 정도와 예상 피해 수준 등을 정확히 이해할 수 있는 내진실태조사 DB 구축을 통해 건축주 개인뿐만 아니라 사회 구성원이 건축물의 사회적 공공 책임을 인식함으로써 자발적이지는 않지만 내진보강에 동참할 수 있는 분위기를 구축하는 것이 매우 중요할 것으로 판단된다.

좋은 사례로 일본에서는 지진취약 건축물에 대하여 내진성능평가를 의무화하면서 그 비용의 일부를 국가와 지자체가 보조하고, 내진성능평가 결과를 의무적으로 공개하도록 함으로써 그 건물을 이용하는 사람이나 실제 거주하는 사람, 잠재적인 부동산 구매자 등이 건축물의 지진 안전에 대한 필요한 정보를 공유할 수 있도록 해 자발적인 내진보강에 동기를 제공하고 있다.

우리나라에서도 이러한 제도 시행을 통해 건축물의 지진 안전에 대한 정보가 사회 구성원 간에 공유되고 그 중요성이 인식된다면, 개인 소유 건축물이라 하더라도 내진진단 및 내진보강과 관련한 일련의 절차를 통하여 내진보강을 추진하는 긍정적인 효과를 거둘 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1 대한건축학회(2016), 「건축구조기준」, 국토교통부.
- 2 일본건축방재협회(2001), 「기존 철근콘크리트조 건축물의 내진진단 기준 및 해설」, 국토교통성 주택국 건축지도과.
- 3 ASCE(2013), *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, American Society of Civil Engineers.
- 4 한국시설안전공단(2013), 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령(해설집, 예제집)」, 국토해양부.
- 5 윤병익(2017), 「포항지진 비구조요소 피해사례」, 한국지진공학회.