

## 요약

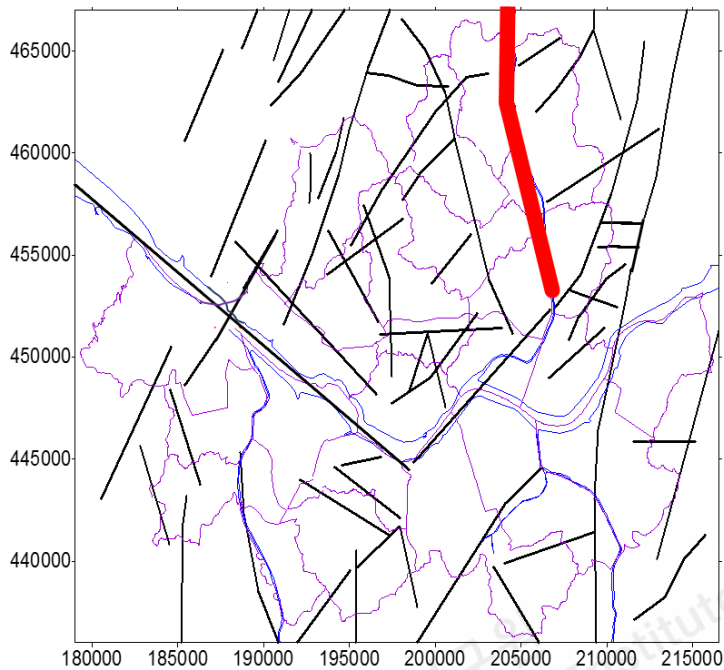
## 지진위험도 평가 구체적 목표 단계별로 세분 지형·지반·건축물 관련 데이터 지속적 구축

### 수도권 일대 역사적으로 강진 23차례... “서울도 지진 안전지대 아니다”

역사 및 계기지진 발생현황을 살펴보면 수도권 일대에서 크고 작은 지진이 일어났으며, 진도 6 이상의 강진이 23차례나 발생하였다. 서울지역의 선구조선도를 보면 동부지역을 남북으로 가로지르는 큰 단층과 한강 하류를 따라서 큰 단층이 존재하는 것으로 나타났다. 이렇게 긴 선구조선은 다른 선구조선보다 지진발생 가능성이 높고 더 많은 에너지가 방출될 수 있다. 더욱이 최근 추가령 단층([그림 1]에서 굵은 선)이 활성단층으로 밝혀졌다. 서울을 포함한 수도권은 사회기반시설, 노후시설, 인구 등이 밀집되어 있기 때문에 지진 발생 시 통신두절, 화재발생, 인명 및 재산 등의 적지 않은 피해가 생길 것으로 예상된다.

**[표 1]** 수도권 지역 역사 및 계기지진의 발생횟수

지진 계측	구분	발생 횟수
역사지진 (27년~1726년)	진도(MMI) 5 이상	59
	진도(MMI) 6 이상	23
	지진피해 보고	8
계기지진 (1917년~현재)	규모 2.0 이상	24
	규모 4.0 이상	2



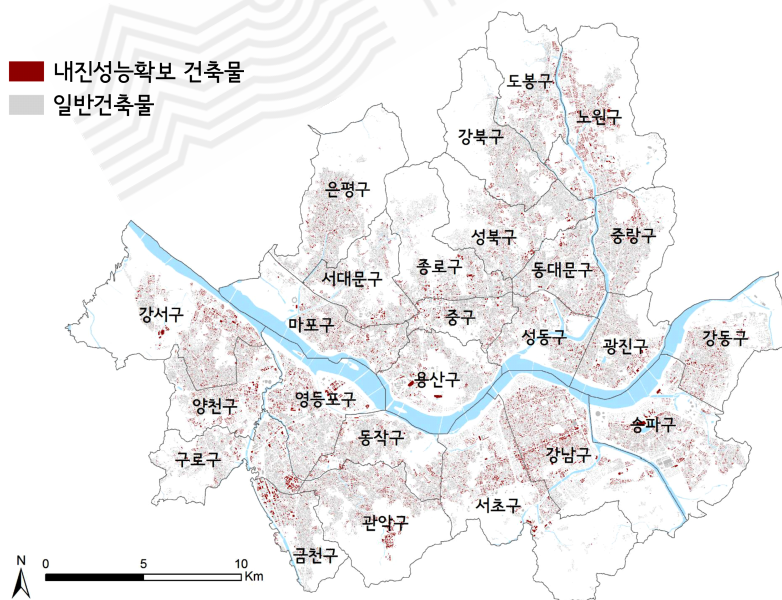
[그림 1] 서울지역의 선구조선도(서울시, 1999)

## 서울에 비내진 건물 다수… 노후 저층 조적조 건물, 지진에 매우 취약

내진설계 건축법령은 1988년부터 도입되었으며, 이전 건축물들에는 내진설계가 도입되지 않았다. 1988년 내진설계 건축법령은 지상 6층, 연면적 10만 $\text{m}^2$  이상 건축물에 대한 내진설계를 도입할 것으로 규정하였으나, 2005년에는 지상 3층, 연면적 1천 $\text{m}^2$  이상 건축물에 대한 내진설계를 도입하는 것으로 법적 규제가 높아졌다. 2015년 기준 서울시 총건축물 684,532개 중 39,129개(5.72%)가 내진설계된 건축물에 해당하며 주거용은 21,625개(3.16%), 비주거용은 17,504개(2.56%)이다.

[표 2] 내진설계 건축법령 변경과 내진설계 건축물 현황(2015년 기준)

연도	대상 건축물				
	건축규모	건축용도	해당 건축물 수 (개)	주거용 (개)	비주거용 (개)
1988	- 지상 6층 - 연면적 10만㎡ 이상	- 연면적 5천㎡ 이상 박물관	3,601	1,854	1,747
1992	- 지상 6층 - 연면적 10만㎡ 이상	- 연면적 5천㎡ 이상 운동, 운수, 전시, 기념관 - 연면적 1천㎡ 이상 위험물시설	5,152	2,805	2,347
1996	- 지상 6층 - 연면적 1만㎡ 이상	- 연면적 5천㎡ 이상 판매시설 - 5층 이상 아파트	3,862	2,128	1,734
1999	- 지상 6층 - 연면적 1만㎡ 이상	- 연면적 1천㎡ 이상 소방서, 아동·노인·사회근로복지시설 - 연면적 5천㎡ 이상 공연장, 집회장, 관람장	8,620	4,074	4,546
2005	- 지상 3층 - 연면적 1천㎡ 이상	- 창고, 축사, 작물재배사 제외	17,894	10,764	7,130
서울시 총건축물 수 684,532(100%)			39,129 (5.72%)	21,625 (3.16%)	17,504 (2.56%)



[그림 2] 서울시 내진성능확보 건축물 현황

2016년 9월 12일 지진 발생 진앙지 인근 경주, 울산, 포항뿐만 아니라 부산, 대구까지 피해가 발생하였다. 균열, 붕괴 등의 피해는 진앙지(경주시 내남면)에 인접한 경주, 울산 부분에서 발생하였으며 피해지역은 양산단층대에 많았다.

민간건축물의 피해는 내진설계 제외 대상인 소규모 건축물(500㎡ 미만의 1, 2층)에서 주로 발생하였고, 기와 등 건축비구조요소의 파손으로 보행자, 자동차 등 2차 피해가 발생하였다.

경주사례에서 얻은 교훈은 서울시 지붕, 조적벽, 각종 부착물 등 건축비구조요소 파손으로 인한 피해발생이다. 국내 지진파는 10Hz 이상의 고주파이므로 저층건축물에 대한 피해 발생 가능성이 높다. 특히, 조적식 구조는 규모에 비해 중량이 크기 때문에 노후된 저층 조적식 건축물은 지진에 매우 취약하다.

## 지진위험도 평가 관련자료 확보 필수...서울시, 건물자료만 일부 확보

‘지진위험도’란 「내진설계의 기초가 되는 지진구역」<sup>1)</sup>을 설정하기 위해 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진의 위험 정도<sup>2)</sup>이며 ‘지진위험도 평가’는 「지역별 발생 가능한 지진위험 정도를 제시」하는 것이다.

지진위험도 평가를 수행하기 위해서는 ‘지진발생 및 지진피해 자료’가 필요하다.<sup>3)</sup> 지진발생 자료는 지진 발생 시 지반의 흔들림 척도인 지반가속도를 포함한 지형지반에 관한 것이며 지진피해 자료는 피해에 직접 노출될 수 있는 건축물(건축비구조요소 포함) 등에 관한 것이다.

특히 7년 만에 개정된 건축구조설계기준(2016)에는 지진하중 산정 시 지진발생 자료인 ‘지반특성’을 반영하고 기초구조 설계 시에도 ‘지반조건’을 고려하도록 하였다. 지진피해 자료인 건축물 중 조적조 건축물(국내 단독주택 대부분)은 지진에 매우 취약한 것으로 나타났다. 최근 실험결과(부산대 지진방재센터) 대략 규모 6의 지진이 발생하고 10초 만에 건물이 완전히 붕괴되었다. 지붕재료, 건축연도(노후도), 비내진 설계 건축물, 옹벽, 불법건축물 등도 지진피해 자료이다. [표 3]과 [표 4]는 지진발생 및 피해자료이며, 서울시에서 확보 가능한 자료는 지진피해 자료(건축물) 중 건축물 층수와 건축연도이다.

1) 2013년 소방방재청에서 공표한 국가지진위험지도에 근거함(대한건축학회, 2016)

2) 지진화산재해대책법(2017) 제2조 5항

3) 서울시(2011), 서울시 재난위험도 평가 및 활용방안

[표 3] 지진발생 자료

구분	지표	데이터 분석 및 GIS 작업 수량	비교
설계지반 가속도 ( $A_{max}$ )	지진발생 시 지표면 위에서의 지진세기(중력가속도의 단위)	978,567개 셀 (필지 단위) 좌표: GCS_Korea_2000	공학식을 활용하여 산정 기존 자료를 필지 단위/ 건축물 단위로 가공하여 다른 자료와 조합
전단파 속도 ( $V_s$ )	지반진동이 구조물에 미치는 여러 가지 영향에서 전단력에 의한 구조물 파괴가 지배적임. S파(Secondary wave) 매질에서의 속도로 지반 강성 및 동적 계수 산정 시 사용	978,567개 셀 (필지 단위) 좌표: GCS_Korea_2000	공학식을 활용하여 산정 기존 자료를 필지 단위/ 건축물 단위로 가공하여 다른 자료와 조합
증폭계수	진원에서 발생한 지진파가 암반에 도달 후 표토층에 의한 증폭 정도	978,567개 셀 (필지 단위) 좌표: GCS_Korea_2000	공학식을 활용하여 산정 기존자료를 필지 단위/ 건축물 단위로 가공하여 다른 자료와 조합
암반종류	충적층, 화강암 등 지진파에 영향을 주는 요소	53개 영역 좌표: GCS_Korea_2000	충적층 영역을 필지 단위/ 건축물 단위로 가공하여 다른 자료와 조합
산사태 위험지역	경사, 지형 등을 고려한 산사태 발생 우려 지역	302,664개 영역 좌표: GCS_Korea_2000	지진으로 인한 2차 대형재난 산사태 위험지역의 영역을 필지 단위로 가공하여 다른 자료와 조합
단층	서울 동부지역의 남북방향의 큰 단층과 한강 하류를 따라서 단층이 존재함. 활성단층인 1등급 추가령단층대가 서울시를 관통	37,668개 셀 (필지 단위) 좌표: GCS_Korea_2000	단층대가 지나는 필지를 선택 하여 가공 및 다른 자료와 조합
매립지	강진 뒤 지반이 액체처럼 거동하는 '액상화 현상'은 단단한 지반보다 매립지와 같은 무른 지반에서 매우 취약	54개 영역 좌표: GCS_Korea_2000	지진발생 시 액상화 발생 우려 지역 매립지가 위치하는 지역을 필지 단위로 가공하여 다른 자료와 조합

[표 4] 지진피해 자료

구분	지표	데이터 분석 및 GIS 작업 수량	비고
조적조	벽돌로 쌓은 조적조 건물은 지진과 같은 횡방향 하중에 매우 취약	분석수량: 303,812개소 좌표: GCS_Korea_2000	조적조의 분류 중 조적구조, 벽돌구조, 블록구조, 석구조, 기타조적구조를 모두 포함
기와 재료	지붕 방수층 접착재로 충전한 기와는 경주지진에서 대부분 붕괴 및 탈락	분석수량: 100,158개소 좌표: GCS_Korea_2000	지붕 재료 중 탈락에 취약한 기와재료만 선정
비내진 설계된 노후 건축물	1988년 이후 건축물 내진 설계 의무화 도입 노후 건축물은 두 가지로 분류할 수 있음 1988년 이전에 준공된 건축물(내진설계가 반영되기 이전 건물) 준공된 지 20년 이상 된 건축물(『도시 및 주거환경정비법』 및 시행령에서 정의하는 노후 불량건축물 기준)	분석수량: 430,929개소 좌표: GCS_Korea_2000	비내진설계는 건축허가 중 내진설계를 반영하는 연도에 따라 구분함 1988년 이전: 전부 비내진설계 1988년~1994년: 5층 이하 비내진설계 1995년~2005년: 2층 이하 비내진설계
옹벽	지진발생 시 옹벽(2m 이상) 붕괴로 인한 인명피해 우려	분석수량: 76,474개소 좌표: GCS_Korea_2000	서울시 전체 옹벽 중 높이 2m 이상인 것 선정
한옥 (조적구조)	건축구조는 조적조이면서 기와지붕인 건축물	분석수량: 67,662개소 좌표: GCS_Korea_2000	순수한옥은 지진에 강함. 건축물 대장에 한옥은 별도로 구분이 되어있지 않음
불법 건축물	건축법에 적합하게 건축물을 시공하여 준공을 받은 후 법에 위반되는 건축행위를 한 건축물	분석수량: 41,012개소 좌표: GCS_Korea_2000	건축물대장 자료에 따른 불법 건축물은 무허가건축물과 위반건축물로 분류될 수 있으나 무허가건축물은 거주특성을 지니고 있지 않아 지진 피해 영향이 적음. 이에 증개축을 했으나 준공허가를 받지 않은 위반건축물을 불법건축물로 선정
비내진 설계된 3층 미만 건축물	우리나라 지진특성: 대부분 10Hz 이상으로, 저층건축물이 이에 취약	분석수량: 307,705개소 좌표: GCS_Korea_2000	비내진설계는 건축허가 중 내진설계를 반영하는 연도에 따라 구분함

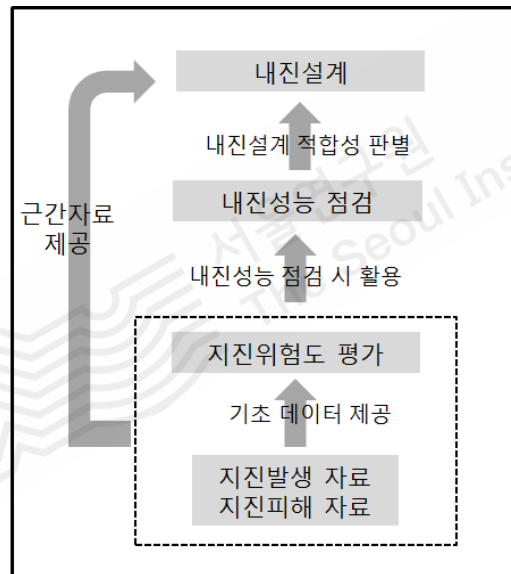
[표 5] 국내의 지진발생 및 피해 자료와 이번 연구에 필요한 자료의 서울시 보유현황

	국내 (국립방재 연구소, 2002)	일본 (도쿄도 지진위험도 평가)	미국 (HAZUS)	이번 연구	서울시 관련부서 보유현황
지진발생 자료 (지형, 지반)	연약한 토사 지반, 부지 고유의 특성 평가가 요구 되는 지반	지반 특성 (액상화, 단층)	표층지반특성 (깊이, 특성)	지질도 (층적층, 화강암 등)	X
	매립지, 조성지(철도, 성도지역)	토양분류	토질종류	매립지	X
			토층두께	토층두께	X
	고지대, 저지대, 급경사지		경사도	사면재해 위험지구	X
			전단파속도	설계지반 가속도	X
지진피해 자료 (건축물)	구조	건물구조	구조형태	건축구조 (조적구조, 철골구조 등)	X
	층수	층수	층수	건물층수	O
	건축재료 (외벽재료, 지붕재료)	건축재료		지붕재료	X
	건축연도	건축연도		건축연도	O
	증개축 여부				X
	침하 및 손상 여부				X
	안정성평가 등급 D 이하		설계기준 (내진설계수준)	비내진설계	X
	기타 (불법건축물)			불법건축물	X
		건물수		구별 건물 수	X
			비구조요소		
			건물용도	한옥	X
	담장, 옹벽, 계단			옹벽	X

## 지진발생·피해자료는 내진설계, 내진성능점검 등 다용도로 활용 가능

지진으로부터 건축물의 안전성을 확보하기 위해서는 ‘내진설계’<sup>4)</sup>가 필요하며 앞서 언급한 ‘지진위험도 평가’를 위한 지진발생 및 지진피해 자료’는 ‘내진설계’의 근간 자료를 제공한다(한국과학기술한림원, 2008).

건축물의 내진성능은 지반의 흔들림 등 ‘지진발생 자료’와 지진에 직접 노출되는 건축물 등 ‘지진피해 자료’에 근거하여 판단된다. 결국 ‘지진발생 및 지진피해 자료’는 ‘내진성능 점검’에도 활용된다.



[그림 3] 지진발생 및 피해 자료의 활용

내진성능 점검<sup>5)</sup>은 대규모 시설물의 경우 법적 절차에 따라 시행되고 있지만, 민간 소규모 건축물의 경우 법적 구속력이 없어 건축주가 스스로 점검해야 하는 실정이다. 반면, 미국과 일본에서는 모든 건축물에 대한 내진성능 점검을 의무적으로 수행하고 있다.

4) 내진설계는 지진에 의한 구조물과 인명 피해 방지를 목표로 함

5) 일반적으로 ‘내진성능 평가’로 통칭되며 이 연구에서는 서울시 ‘내진성능 점검’ 시스템과의 용어 혼동을 피하고자 ‘내진성능 점검’으로 명칭함

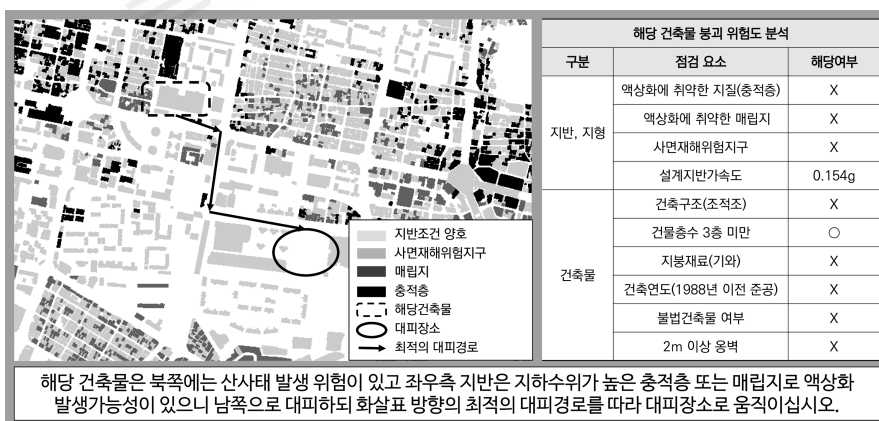


서울시 ‘건축물 내진성능 자가점검’ 사이트를 이용하여 건축물 내진설계 여부를 확인할 수 있지만 구체적인 내진성능 정보 획득에는 한계가 있다. 지진위험도 평가를 위한 지진발생 및 피해 자료는 서울시 ‘건축물 내진성능 자가점검’ 시스템에 반영 및 활용될 수 있다.



[그림 4] 서울시 건축물 내진성능 자가점검 시스템

지진 피난 정보 제공을 위해 안전한 대피소 및 대피로 선정 시 지진발생 및 피해 자료가 활용될 수 있다. 자치구별 지진 대응체계 구축을 위해 지진발생 시 건축물 주변 위험지역을 고려해 대피소와 대피로를 지역주민에게 안내한다.



[그림 5] 서울시 지진발생 및 피해 자료를 활용한 대피로 선정방안

## 기초자료 지속 구축·관리하려면 추진협의체 구성하고 예산 확보 필요

지진위험도 평가를 위하여 단계별로 지속적인 자료 구축 및 관리를 추진할 필요가 있다. 추진협의체는 분야별 전문가, 용역 주체, 담당 공무원 등으로 구성한다.

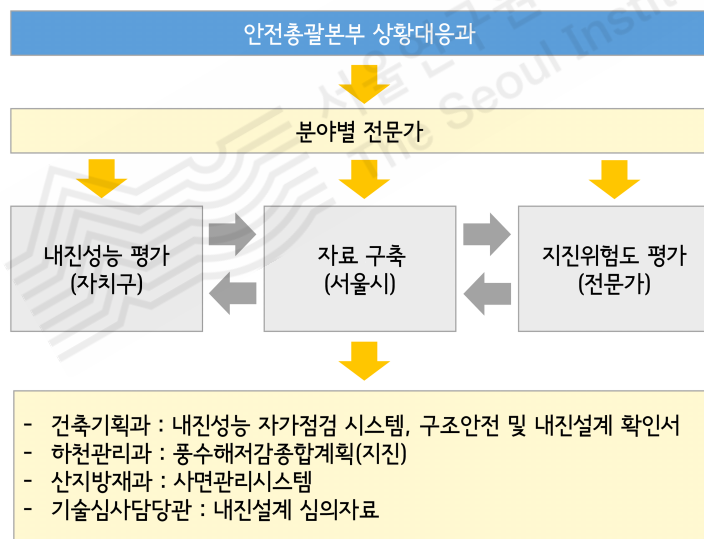
1단계: 추진협의체 구성 및 사업 계획 수립

2단계: 자료 구축 및 서울시 건축물 지진위험도 평가

3단계: 내진설계 및 내진성능 자가점검 시스템에 반영

4단계: 자치구별 건축물 지진 대응체계 점검

5단계: 주기적인 자료 보완



[그림 6] 추진 체계 및 운영조직

아울러 지속적인 지진위험도 평가 자료구축 및 관리를 위한 예산 확보가 필요하며 그 근거로는 지진·화산재해대책법 제6조, 지진·화산재해대책법 시행령 제5조, 지진가속도계측기 설치 및 운영기준(국민안전처 고시 2015-1호) 방침, 서울시 지진방재 종합계획(시장방침 제163호) 등이 있다.