

CEO BRIEFING

제690호
2023. 2. 16.

튀르키예 대지진을 재난 대응 점검 기회로

연구책임 정군우 경북연구원 연구위원

■ 규모 7.8의 대지진이 발생한 튀르키예

- 2023년 2월 6일, 튀르키예 남부 가지안테프 지역에서 규모 7.8, 카흐라만마라슈에서 규모 7.5의 지진이 연이어 발생하였다. 이 지진은 진원의 깊이가 매우 얇아 지진파가 지표면으로 이동하는 거리가 짧고 파괴력이 매우 강해 엄청난 인명·재산피해를 냈고 있다.
- 가지안테프는 과거에도 규모 6.7 등 지진이 지속적으로 발생한 지역으로 이번 지진의 진원은 남동부 동아나톨리아 단층 부근이었다. 미국지질조사국에 따르면, 튀르키예를 둘러싼 4개의 지각판 중 하나인 아라비아판은 아나톨리아판을 향해 매년 약 20mm 이동하고 있는데, 동아나톨리아 단층선을 따라 주향 이동하면서 규모 7.8의 지진이 발생하였다.

■ 튀르키예 대지진 피해 확산의 주요인

- 이번 지진이 엄청난 피해를 가져오게 된 주요인 중 하나는, 지진의 직접적인 영향을 받은 범위가 너무 넓다는 점이다. 직접적인 피해 범위는 진원지를 중심으로 남북 약 300km, 동서 450km로 추정되고 있는데, 이를 면적으로 환산하면 남한의 1.35배에 달한다.
- 미국지질조사국은 이번 지진으로 사망자가 최대 10만 명에 이를 확률을 36%로 전망했으며, 경제적 피해는 튀르키예 국내총생산의 10%에 달할 것으로 예측하고 있다. 또한, 진도 II 이상의 진동을 느낀 인구는 주변국을 포함하여 약 3억 명에 이를 것으로 추정하였다.
- 또 하나의 요인으로는 팬케이크 크러쉬 현상을 들 수 있다. 이는 강한 진동으로 지면에서 가장 가까운 1층의 기둥이 부서지면서 그 충격을 받은 위 각층 바닥이 겹쳐지듯이 순식간에 수직으로 무너져 내리는 가장 위험한 건물 붕괴 형태이다.

- 팬케이크 크러쉬는 건물의 기둥에 사용된 철근의 양이 적고, 지탱해야 할 하중에 비해 기둥이 취약한 경우 등 진동을 견딜만한 강도를 가지지 못할 때 주로 발생한다. 튀르키예는 1999년 대지진 이후 내진 설계 기준을 크게 상향하였으나 이번 지진 발생지역의 많은 건물이 이 기준에 미치지 못하고 지진에 무방비한 상태로 그대로 남아있어 피해는 더욱 클 수밖에 없었다.

■ 지진 발생빈도가 가장 높은 경상북도

- 경상북도는 우리나라에서 지진 발생빈도가 가장 높은 지역이다. 경북의 지진 발생빈도를 보면, 1999~2021년 기간 동안 규모 2.0~2.9 지진이 400회, 규모 3.0~3.9 지진 48회, 규모 4.0 이상 지진 7회 등 전국에서 가장 많이 발생하였다.
- 특히, 경주와 포항은 활성단층대로 지진에 취약하며, 동해안은 지진 발생 가능성이 높은 지진 위험도 잠재지역 중 하나이다. 경주는 지난 2016년 9월, 기상청 관측 이래 한반도에서 발생한 가장 큰 규모의 지진인 규모 5.8의 9.12 지진을 경험하였으며, 포항은 이듬해인 2017년 11월, 관측 사상 두 번째로 큰 규모 5.4의 포항지진을 겪은 바 있다.

■ 경북 차원의 지속적인 감재(減災) 노력 필요

- 튀르키예 대지진을 계기로 경상북도 차원의 지진 대비체계를 다시 한번 살펴보고 지역 차원의 지속적인 감재 노력을 더욱 강화해 나가야 한다.
- 첫째, 내진설계 미적용 건축물에 대한 내진보강이 필요하다. 내진설계 의무규정이 도입되기 이전에 지어진 건축물은 지진에 취약할 수밖에 없으며, 경상북도의 민간 건축물 내진율은 10.9%로 지역 차원의 지진 취약 건축물 관리 및 체계적인 내진보강 지원이 필요하다.
- 둘째, 지역의 특수성을 반영한 지진방재 역량 강화이다. 지진과 같은 자연재난은 지역 특유의 재해에 취약한 자연·사회환경에 기인한다. 지역 차원의 지진 피해 최소화를 위한 데이터 축적·관리, 조사 및 분석 등을 담당할 거점기관이 필요하다.
- 셋째, 원전과 대규모 산업시설에 대한 보호 대책을 강화해야 한다. 지진에 따른 원전 대형배관 파단 사고, 화재방호, 포스코와 같은 대규모 산업시설과 산업단지의 주요 설비 및 구조물 안전 상태 등 피해 최소화를 위한 체계를 다시 한번 점검해봐야 한다.
- 넷째, 경상북도 재난 대응체계 실행력 확보이다. 이를 위해 지진 발생에 대비한 대내외 협력체계를 더욱 공고히 하고, 지역 밀착형 감재를 위한 초기대응 부문별 협력체계 점검, 지진에 대한 과학적 이해도를 높이기 위한 지역주민 방재의식 향상 등이 필요하다.

이상의 내용은 이 연구를 “요약” 한 것입니다.

1. 대지진에 휩싸인 튀르키예

■ 남부지역 규모 7.8 강진 발생

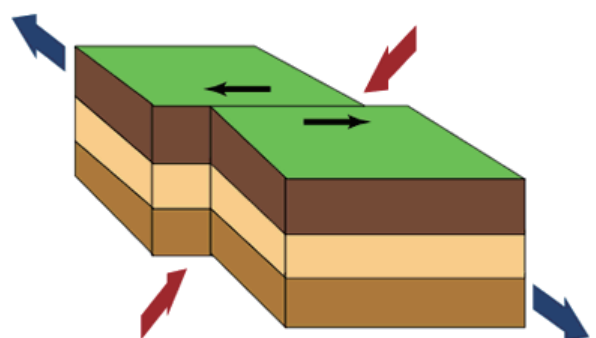
- 2023년 2월 6일 04시 17분 35초(현지 시각), 튀르키예 남부 가지안테프 누르다으(Nurdağ¹⁾) 동쪽 27km 떨어진 곳에서 규모 7.8의 지진 발생
 - 진원 깊이는 17.9km로 지진의 중심이 지표 가까이 위치하여 지진파가 지표면으로 이동하는 거리가 짧아 파괴력이 매우 강력
 - 이 지역은 과거에도 규모 6.7(1975년 9월), 6.6(1992년 3월), 5.4(2001년 6월)의 지진 발생
- 규모 7.8 지진 발생 후 약 9시간 후인 13시 24분 49초, 카흐라만마라슈의 에키뇌쥐(Ekinözü) 남남동쪽 4km 지역에서 규모 7.5의 지진이 연이어 발생
 - 이 지진 역시 진원의 깊이가 10.0km로 매우 얇아 엄청난 파괴력을 보유

■ 4개의 지각판에 둘러싸인 튀르키예

- 튀르키예는 4개의 지각판¹⁾이 만나는 지점에 있어 지진이 가장 자주 발생하는 국가 중 하나
 - 이번 지진의 진원은 아라비아판과 아나톨리아판의 주향이동단층의 경계인 튀르키예 남동부 동아나톨리아 단층(East Anatolian Fault) 부근
- 미국지질조사국에 따르면, 아라비아판은 아나톨리아판을 향해 매년 약 20mm 이동하고 있는데, 동아나톨리아 단층선을 따라 주향이동하면서 규모 7.8의 지진이 발생



<4개의 지각판>



<주향이동단층>

자료 : CNN, 文部科学省

▲ 튀르키예를 둘러싼 단층대와 주향이동단층

1) 아나톨리아판(Anatolian plate), 유라시아판(Eurasian plate), 아라비아판(Arabian plate), 아프리카판(African plate)

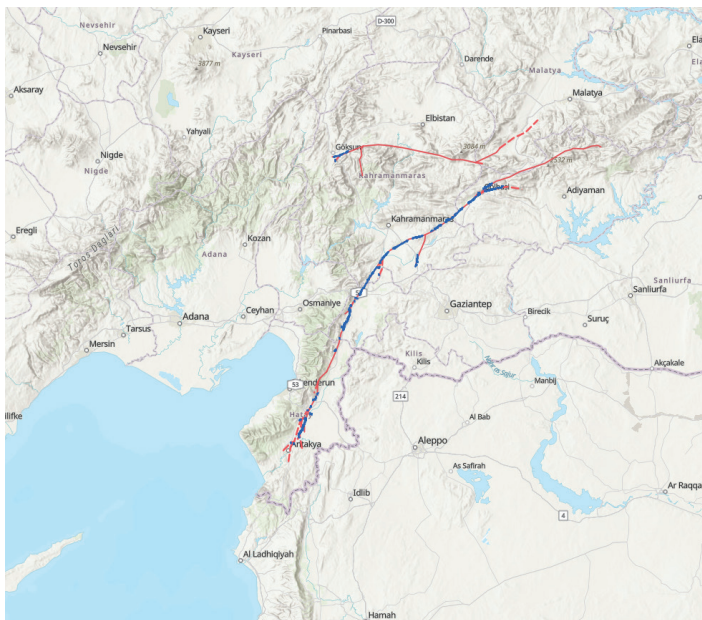
2. 튀르키예 대지진 피해 확산 주요인

■ 피해지역이 매우 광범위

○ 규모 7.8 지진의 직접적인 영향 범위는 진원지를 중심으로 남북 약 300km, 동서 450km에 달하며, 이를 면적으로 환산하면 13만 5천km²로 남한 면적의 1.35배

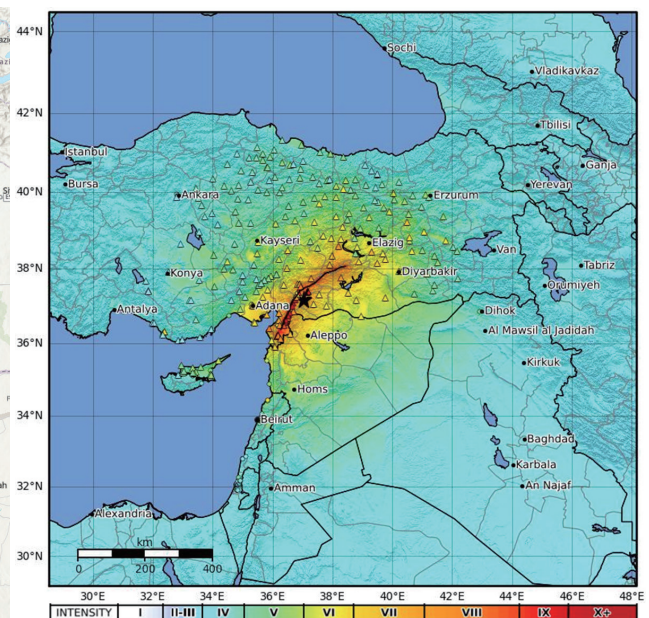
- 미국지질조사국은 규모 7.8 지진으로 사망자가 최대 10만 명에 이를 확률을 36%로 전망했으며, 경제적 피해는 튀르키예 국내총생산(GDP)의 10%²⁾에 달할 것으로 전망

○ 또한, 이번 지진의 최대 진도(MMI)³⁾를 X로 발표하고, 진도 II 이상의 진동을 느낀 인구는 주변국을 포함하여 약 3억 명에 이를 것으로 전망



〈단층 파열 발생지역〉

자료 : 미국지질조사국



〈규모 7.8 지진 진도 분포〉

▲ 규모 7.8 튀르키예 단층 파열 발생지역과 진도 분포

○ 이번 지진으로 사망자는 지금까지 4만 명을 넘었으며, 미국지질조사국은 튀르키예와 시리아에서 각각 12,141채, 490채⁴⁾의 건물이 파손된 것으로 집계

- 튀르키예 이스켄데룬 지역 지반 침하와 지진해일, 사이프러스 파마구스타와 튀르키예 에르뎀리 등에서 지질해일이 각각 발생

2) 미국지질조사국은 이번 지진의 경제적 피해가 GDP의 10%(천억 달러)에 달할 확률을 35%, 그 이상일 확률을 34%로 추정

3) Modified Mercalli Intensity

4) 2023년 2월 12일 기준

▼ 미국지질조사국 진도 구분 및 규모 7.8 튀르키예 지진 영향 인구

진도	진동	주요 현상	인구(천 명)
I	느끼지 못함	특수한 조건을 제외하면 거의 모든 사람이 느끼지 못함	0
II	매우 약함	휴식 중인 소수의 사람, 특히 건물 위층에 있는 사람이 느낌	11,572
III	약함	실내, 특히 건물 위층에 있는 사람이 확실히 느끼며, 정지하고 있는 자동차가 약간 흔들림. 트럭이 지나가는 것과 유사	
IV	가벼움	낮에는 실내에 있는 사람들 대부분이 느끼고, 밤에는 일부가 잠에서 깨며, 그릇과 창문이 흔들리고 벽에서 갈라지는 소리가 남. 대형트럭이 건물에 충돌하는 느낌과 유사	
V	중간	거의 모든 사람이 느끼며, 접시와 창문이 부서지고 불안정한 물체가 넘어짐	23,081
VI	강함	모든 사람이 느끼고 두려워함. 일부 무거운 가구가 움직임	12,668
VII	매우 강함	잘 설계된 건물은 피해가 없었으나, 잘 지어진 일반 건축물은 경미·중간 수준, 부실한 건축물·잘못 설계된 구조물은 상당한 손상을 입게 됨	7,816
VIII	심각함	잘 설계된 건물은 약간 손상, 일반적인 견고한 건물은 상당한 피해, 부실한 건물은 대규모 피해 발생. 벽이 무너지고 무거운 가구가 넘어짐	1,204
IX	격렬함	잘 설계된 구조물이 기울어지는 등 상당한 손상을 입으며, 견고한 건물은 부분적 붕괴 발생	740
X	극도로 심함	잘 지어진 목조 구조물이 파괴되고, 석조 및 프레임 구조물은 그 기초와 함께 파괴됨. 철도 레일이 휘어짐	1

자료 : 미국지질조사국

■ 팬케이크 크러쉬 : 가장 위험한 건물 붕괴 형태

○ 이번 대지진으로 엄청난 경제적 피해는 물론 수만 명의 사망자를 발생시킨 가장 큰 원인은 팬케이크 크러쉬 현상

- 팬케이크 크러쉬(pancake collapse)⁵⁾는 강한 진동으로 지면에서 가장 가까운 1층의 기둥이 부서지면서 그 충격을 받은 위 각층 바닥이 겹쳐지듯이 순식간에 수직으로 무너져 내리는 현상
- 한순간에 건물이 팬케이크와 같은 형태로 변하게 되므로 내부에 있는 사람들은 대피할 시간이 없을 뿐만 아니라 생존에 필요한 공간조차 없게 되는 가장 위험한 건물 붕괴 형태

○ 팬케이크 크러쉬는 건물의 기둥에 사용된 철근의 양이 적고, 지탱해야 할 하중에 비해 기둥이 취약한 경우 등 진동을 견딜만한 강도를 가지지 못할 때 주로 발생

- 튀르키예는 1999년 대지진 이후 내진설계 기준을 크게 상향하였으나 지진 발생지역의 건물들이 이 기준에 미치지 못하고 있다는 점이 피해 확산 요인으로 작용
- 내진설계 기준 상향 이전에 지어진 건물에 대한 철저한 내진보강·관련 지원 부족, 복잡한 절차, 전문가 부족 등으로 조적구조를 비롯한 취약한 건물들이 지진에 무방비한 상태로 존속

5) 팬케이크 크러쉬는 건축물 붕괴 형태 중 '층 붕괴'를 가리키는 것으로 일본에서 만들어진 표현이며, 영어식 표현의 pancake collapse에 해당(pancake collapse는 대개 '연쇄적인 층 붕괴'를 의미)

3. 관측 사상 최대 규모의 지진을 경험한 경북

■ 지진 발생빈도가 가장 높은 경북

- 우리나라는 9.12 지진과 포항지진의 영향으로 규모 2.0 이상의 지진이 지속적으로 발생
 - 한반도 누적 진앙 분포를 보면, 1978~2021년 발생한 총 2,024회 중 규모 4~5의 강진은 경주와 포항을 중심으로 한 동남권과 남부 내륙, 서해안지역에 L자형으로 집중
 - 이중 규모 3.0 이상의 지진은 2021년 70회 중 5회에서 2022년에는 77회 중 8회로 증가

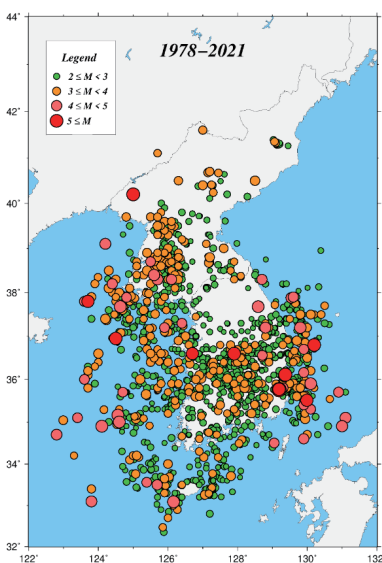
▼ 우리나라 지진 발생 현황

(단위 : 회)

연도	2.0≤M<3.0	3.0≤M<4.0	4.0≤M<5.0	5.0≤M	총횟수
2016년	218	30	1	3	252
2017년	204	17	1	1	223
2018년	110	4	1	0	115
2021년	65	3	2	0	70
2022년	69	7	1	0	77

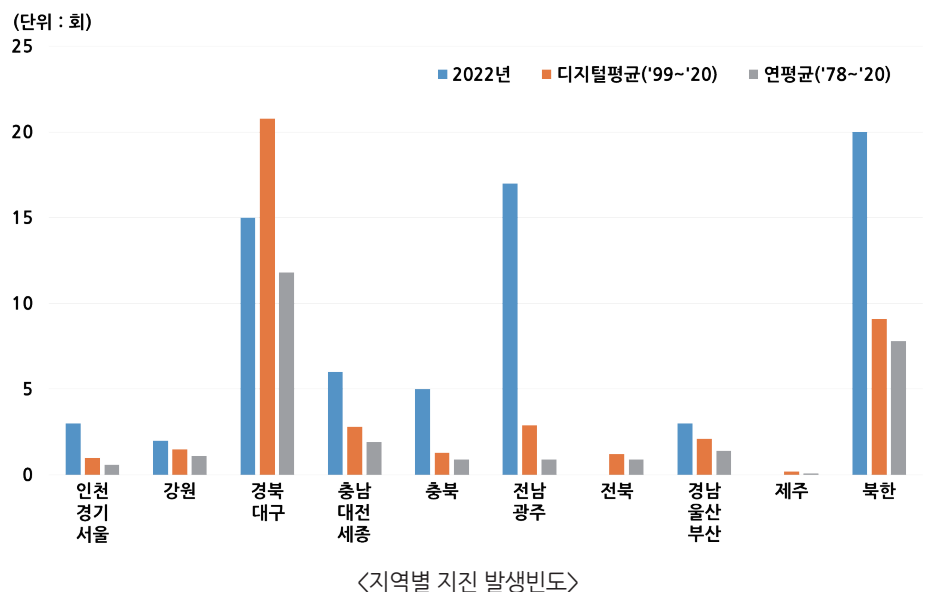
자료 : 기상청

- 경북의 지진 발생빈도는 전국 1위로 1999~2021년 기간 동안 규모 2.0~2.9 400회, 규모 3.0~3.9 48회, 규모 4.0 이상 7회 각각 발생
 - 특히, 경주와 포항은 활성단층대에 있으며, 동해안은 지진 발생 가능성이 높은 지진 위험도 잠재 지역 중 하나



〈누적 진앙분포도〉

자료 : 기상청



〈지역별 지진 발생빈도〉

▲ 규모 2.0 이상 진앙분포 및 지역별 지진발생 빈도

■ 관측 사상 최대인 규모 5.8 지진을 겪은 경북

- 2016년 9월 12일 경주시 남남서쪽 8.7km 지역인 내남면에서 발생한 규모 5.8의 9.12 지진은 기상청 관측 이래 한반도에서 발생한 가장 큰 규모의 지진
 - 진원 깊이가 15km로 얕아 경주와 대구에서 최대 진도 VI, 부산·울산·창원에서 V 감지⁶⁾
- 2017년 11월 15일에는 포항시 북구 흥해읍에서 규모 5.4의 포항지진이 발생하였으며, 이 지진은 관측 사상 두 번째로 큰 규모
 - 진앙지 반경 15~20km 이내에 진도 V 이상이 분포하여 좁은 범위에 피해가 집중

4. 지역 차원의 지속적인 감재(減災) 노력 필요

■ 내진설계 미적용 건축물 내진보강

- 우리나라는 지진구역 I, II⁷⁾로 구분하여 재현주기 2,400년 지진(진도 VII)에 견딜 수 있게 내진 설계 기준을 시행 중
 - 1988년 내진설계 규정 도입 이후 지속적인 건축법 개정을 통해 2017년 의무대상을 2층 또는 연면적 200m² 이상의 모든 건축물·주택으로 확대
- 내진설계 의무규정이 도입되기 이전에 지어진 건축물은 지진에 취약할 수밖에 없으며 내진성능 보강이 시급⁸⁾
 - 경상북도의 민간 건축물 내진율은 10.9%(2022년 11월 기준)로 낮은 상황, 지역 차원의 지진 취약 건축물 관리 및 체계적인 내진보강 지원 필요
 - 현행기준 준수 여부 점검, 내진성능평가·내진보강설계 검증 등 관련 전문가 양성

■ 지역의 특수성을 반영한 지진방재 역량 확충

- 지진과 같은 자연재난 발생 원인은 지역의 특수성과 깊은 관련이 있으므로 이를 반영한 지역 차원의 지진방재 역량 강화 필요

6) 우리나라 기상청 기준 진도 VI는 '모든 사람이 느끼고, 일부 무거운 가구가 움직이며, 벽의 석회가 떨어지기도 함'이며, V는 '거의 모든 사람이 진동을 느끼고, 그릇, 창문 등이 깨지기도 하며, 불안정한 물체는 넘어짐'을 의미

7) 지진구역은 각 지역의 지진 위험 수준을 나타내는 것으로, 우리나라는 강하고 약한 2등급으로 구분. 경상북도는 I에 포함되어 있으며, 지진구역은 등급이 높을수록 지반운동 가속도와 지진 위험수준이 더 높음을 의미

8) 정부는 국가 내진을 향상을 위해 내진보강 완료 목표를 2045년에서 2035년으로 10년 단축

- 액상화, 땅밀림, 산사태, 화재, 폭발 등 지진에 따른 2차 피해는 지역 특유의 자연·사회환경에 크게 기인
- 지역 차원의 지진 및 피해 최소화를 위한 데이터 축적·관리, 조사·분석 등을 담당할 거점 마련
 - 경상북도의 지형, 토지이용 형태, 지역별 인구, 도시 규모 등 지역에 기반한 다양한 고품질 데이터 수집 및 관리
 - 지역의 특수성과 취약성을 반영한 산관학 협력체계 구축을 통한 지진방재 대책 수립

■ 원전·대규모 산업시설 보호 대책 강화

- 경상북도는 신규원전 준공을 포함하여 국내 가동원전의 50%인 15기가 입지, 지진과 해일에 대한 원자력안전 검증 기반 구축 필요
 - 국내 원자로 및 관계시설의 내진율은 100%이나 지진에 따른 대형배관 파단 사고, 화재방호, 비상 상황 발생 시 방사선 영향 시뮬레이션 등 원전 관련 피해 최소화 대책 강화
- 포스코와 같은 대규모 산업시설을 비롯한 산업단지, 노후 산업설비 및 구조물 안전 점검
 - 화재, 화학사고, 가스폭발 등 지진 2차 피해 최소화를 위한 대피시설·대응 매뉴얼 정비

■ 경상북도 재난 대응체계 실행력 확보

- 지진 발생 시 경상북도 재난안전대책본부의 실행력을 높이기 위한 대내외 협력체계 강화
 - 재난안전대책본부 요원들의 업무가 대내외 협력체계 속에서 잘 분담되도록 면밀히 점검
 - 언제 발생할지 모르는 지진에 대비하고 피해를 최소화하기 위한 지진 특화 체크리스트 작성 및 관리, 평상시 대비체계-초기단계-응급단계-복구단계 등 단계별 대응체계 정비
- 지역 밀착형 감재를 위한 전력·에너지, 라이프라인 등 초기대응 부문별 방재 협력체계 점검
 - 충분한 인력과 장비, 신속한 정보공유, 상호 커뮤니케이션을 통한 재난 초기대응 철저
- 지진에 대한 과학적 이해도를 높이기 위한 지역주민 방재의식 향상 필요
 - 지진방재 교육연수 커리큘럼 구성·운영을 비롯한 구체적이고 실제적인 교육 훈련 강화
 - 지역의 특성을 반영한 신속하고 적절한 대응이 가능한 지역사회 구축

【 내용 문의 | 정군우 경북연구원 연구위원(jgw@gdi.re.kr) | 053-770-5129 】