



지진과 화재



신병철
방재시험연구원 교육팀장

1. 머리말

최근 동남아 지진(2004), 일본 니기타 지진(2004), 미국 노스리지 지진(1994), 일본의 효고현 남부지진(1995), 터키의 이즈미트지진(1999), 대만 지진(1999) 등 세계 각지에서 발생한 대지진으로 인하여 많은 인명 및 재산피해가 발생하고 있다.

우리나라에도 최근에 지진 발생 횟수가 연 20~30회에 이르는 등 증가하는 추세를 보여 지진 재해에 대한 국민적 경각심이 고조되고 있는 듯하다. 특히 1996년 12월 13일 영월에서 발생한 규모 4.5의 지진은 지난 1978년 10월 7일 홍성에서 발생한 규모

5.2 지진 이후 가장 큰 규모의 지진으로 진양지 근처에 상당한 피해를 주었다. 우리나라의 지진 활동은 지진대에 속하는 다른 나라들에 비하여 낮은 편이나, 과거에 일어난 한반도의 지진 기록을 분석할 때 매우 활발한 지진 활동 기간이 있어 이에 대한 적절한 대책이 요구된다.

우리나라는 지난 1970년 이후 국가 경제의 급속한 발전에 수반하여 원자력 발전소, 대규모 댐, 주요 공업단지, 고층건물 등 주요 산업시설이 급격히 증가하였다. 만일 앞으로 이들이 위치한 지역에 대규모 지진이 발생한다면, 지진으로 인한 직접적 피해와 지진이 발생한 이후 사회 기간망인 라이프 라인

시설의 손상 등으로 인한 2차적 화재 및 폭발로 인한 피해는 엄청날 것이다.

본 고에서는 지진 피해와 지진 이후 발생될 수 있는 화재 위험성에 대하여 알아보기로 한다.

2. 지진 피해

가. 지면변동에 의한 피해

산사태, 단층, 지반의 용기, 함몰, 침강 등에 의한 피해를 말하며 지면변동에 의한 구조물의 피해는 입지조건, 환경조건 등을 충분히 고려하여 2차적인 피해를 최소화하여야 한다. 지면변동에 의한 지진피해의 예로써는 일본 Nobi의 단층(상하 6m, 수평 2m), 알래스카 지진의 광범위한 산사태, 산 페르난도 지진의 단층지대 피해 등이다. 1970년에 페루의 산악지대에서 발생한 지진은 14km에 걸친 산사태를 촉발시켜 4만여 명에 달하는 인명손실을 일으켰다.

나. 지진해일(쓰나미)에 의한 피해

해저에서 수직단층운동이 일어나거나 연약한 퇴적지층이 잘 발달된 해저에 지진이 발생할 경우 해수에 진동이 전달되어 파도를 일으키게 되며, 이러한 해면파를 지진해일이라고 한다. 파도가 해안에 도착하면 파고가 급격히 증가하면서 해안에 큰 피해를 일으킨다. 지진해일의 피해를 최소화하기 위해서는 방파제나 방조림 등의 시설을 하는 이외에 마을을 고지대로 이전하여야 한다. 지진해일에 의한 피해의 예로서 최근에 발생한 동·서남아시아의 지진해일로 8만 명이 넘는 사망자가 발생하였고, 칠레 서해안에 발생한 지진에 의한 지진해일이 하와이와 일본 동해안에

까지 피해를 주었으며, 1896년 일본 북동해안의 산리쿠 근처에서 발생한 지진에 의한 지진해일의 파고는 10여 m에 달했다.

다. 진동에 의한 진동피해

구조물의 진동적인 파괴형식은 건물 전체의 전도, 활동 등과 구조물의 각부 파손에 수반되는 붕괴, 경서파손 등으로 나누어진다. 전도의 예로는 철도의 플랫폼, 지붕, 담장, 수조 등 상부가 무거운 구조물 등이 있고, 기초의 휨 저항력이 약하여 수평력에 내진요소가 약한 단순 구조물 등에서 많이 볼 수 있다. 골조파괴의 원인은 전단력의 강도부족에 의한 비교적 저진폭으로 파괴되는 경우와 진동이 증폭하여 과도한 변형에 대해 부재가 항복파괴를 일으키는 경우로 나누어진다.

구조재가 취성이 없는 경우 진동주기가 짧고, 가속도가 큰 충격적인 지진이 발생하는 경우 건물의 균일성이 없어지며, 강도가 약한 부분에서는 강도부족의 파괴형태가 발생, 강도가 약한 부분에 연쇄반응적으로 파괴된다. 변형파괴형태는 구조부재의 변형주중성이 크더라도 진동주기가 길고 건물의 진폭이 공진적으로 증대하는 위험이 있는 경우 국부적으로 과도한 변형이 생길 때 어떤 특수한 부분의 변형이 과도해져서 연직하중의 영향을 받음으로써 좌굴하는 경우 등을 말한다.

라. 지진 시 화재동반

대지진 시 반드시 동반하는 재해로 지반의 붕괴나 진동으로 인하여 누전 또는 가스관의 파열이 일어나 화재가 발생한다. 이는 도시 과밀지대의 지진피해



특집 | 지진과 위험관리

중에 가장 피해를 주는 요인으로, 사상자율이 매우 높은 특징을 갖는다. 대표적인 사례로는 1906년 샌프란시스코 지진, 1923년 동경지진, 그리고 1995년 고베지진의 경우로 화재가 주 피해요인이 되었다.

마. 혼란

공포에 의한 혼란은 이성 상실로 이어지고 이것은 폭력, 강도, 절도 등의 범죄행위 및 이상행동으로 이어지기도 한다.

3. 세계적인 대형지진 발생 현황

〈표 1〉 세계적인 대형지진 발생 현황

발생일시	지역	사망자수(명)	규모
1908.12.28	이탈리아, Messina	120,000	7.0
1920.12.16	중국, Kansu	180,000	8.5
1923.09.01	일본, Kanto	143,000	8.2
1932.12.26	중국, Kansu	70,000	7.6
1939.12.27	터키, Erzincan	23,000	8.0
1970.05.31	페루	66,000	7.8
1976.07.27	중국, Tangshan	242,000	7.6
1988.12.07	아르메니아, Spitak	25,000	6.8
1990.06.20	이란, Rasht	45,000	7.7
1999.08.17	터키, 이즈밋	15,650	7.4
2001.01.26	인도, 구자라트	20,000	7.7
2003.12.26	이란	26,200	6.6

4. 지진에 수반된 화재 (Fire Following Earthquake : FFE)

1906년 샌프란시스코 지진과 1995년 1월 일본에서 발생한 고베지진은 지진 자체에 의한 피해보다 폭발이나 화재 등 2차적 피해가 심각했던 대표적인 사례이다.

산업화가 진행됨에 따라 도시로 인구가 집중되고 경제활동의 규모가 대형화되며, 그 기능이 복잡하면 서도 정교해지고 있다. 고도 산업사회의 사회경제 체제를 유지하기 위해서는 교통, 통신시설을 비롯하여 라이프 라인 시스템이 잘 정비되어 있어야 하고, 그 기능이 원활하게 수행되어야 한다.

1989년 미국의 Loma Prieta 지진, 1994년 노스릿지 지진 및 일본의 1995년 고베지진에서 볼 수 있듯이 대도시에 발생한 지진으로 인해서 라이프 라인 시설이 큰 피해를 입었고, 그 때문에 도시의 사회·경제활동의 기능이 마비되었다. 이러한 경험으로부터 지진 발생 시 인명피해와 구조물 파괴라는 직접적인 피해를 방지하는 것도 중요하지만 사회경제체의 기능을 보존하는 것이 매우 중요하다고 하겠다. 이와 같이 통신단절로 인한 사태파악의 어려움, 교통두절로 인한 접근의 장애, 화재의 초기 진압불가, 가스와 유해물질의 누출로 인한 2차 피해발생 등으로 엄청난 피해를 가져올 수밖에 없는 것이 지진재해의 특징이라고 할 수 있다.

가. 지진 화재에 영향을 미치는 요소

〈표 2〉 지진화재에 영향을 미치는 요소

요 인	기본적 위험요소
1. 지진의 영향	○ 건물손상
	○ 내용물의 이동
	○ 가스 전력설비 및 배관망 등의 파손
2. 점화원	○ 나화 고온표면
	○ 보일러 플랜트의 붕괴
	○ 구조적 손상에 의한 단락
	○ 전력선의 탈락
3. 화재의 성립	○ 연료(내용물)
	○ 건물 내 진압설비의 고장

	- 스프링클러 : 건물에 연결되는 주 배관 - 가압 : 동력과 실링(이동손상에 의해)
4. 화재확산	○ 일반적 요인 - 높은 건물밀도 - 주변 방벽이 내화성능을 갖지 못함 ○ 사고 또는 장소의 특성 - 바람(강도와 풍향) - 건축적 조치(Passive measures)의 손상
5. 감지/구획/소화	○ 화재발생 위치를 알지 못함 - 경보시스템의 손상 또는 혼선 ○ 소방대 대응의 장애 발생 ○ 배관망 손상에 따른 수압 손실

나. 지진 화재의 특징

화재의 진행이 인접지역으로 전파되거나 연소가 확대되는 것은 일반적인 화재나 지진 발생 시의 화재에서 모두 같으나, 지진 발생 시의 화재에서는 지진과 그에 따라 일어나는 건물붕괴 등의 모든 상황이 출화나 연소를 조성하는 메커니즘을 가지고 있기 때문에 화재의 동시다발 또는 연소 확대가 쉽게 초래된다는 것이다. 따라서 지진시의 화재는 1) 화재발생 우려가 증가하고, 2) 소화활동을 저해하는 많은 요소가 생기며, 3) 연소하기 쉬운 상태가 만들어지는 특징을 보여주고 있으며, 지진 시의 직접적인 화재 원인은 다음과 같다.

- (1) 전기 및 관련설비로 인한 화재
- (2) 가스 등 가연성 기체로 인한 화재
- (3) 휘발유, 석유 등 가연성 액체로 인한 화재
- (4) 지진 발생시 정전기로 인한 화재
- (5) 자연발화
- (6) 방화(放火)
- (7) 지진 후의 연쇄작용(이 과정은 분석이 대단히 곤란함)

다. 지진 화재를 확대시키는 주 원인

- (1) 지진과 화재가 동시에 발생하여 소방 부문의 진화능력 부족
- (2) 도로붕괴, 교통두절 등으로 소방차량의 접근 곤란
- (3) 지진으로 소방용수 공급용 파이프가 파괴됨으로써 용수공급이 중단되어 소화전 등의 시설이 제 기능을 발휘할 수 없거나, 소화시설이 변형되어 밸브를 열 수 없거나, 소화시설이 변형되어 밸브 개방 불능
- (4) 기온, 풍향, 풍속 등의 갑작스런 영향
- (5) 건물이 밀집된 경우, 특히 목조건물은 연소 확대가 빨라 대규모 화재로 발전

라. 지진 화재의 진행과정

(1) 1단계(지진의 발생)

내화구조물의 구조기능 및 내화성 건축물의 내화 성능 손상, 화재방호시스템(즉 감지 및 진압시스템)의 파손

(2) 2단계(화재발생)

소방대원이 도착하기 전에 화재가 발생되고 확산된다.(건축물 재료, 건축물의 밀도, 바람 등의 영향을 심하게 받는다)

(3) 3단계(화재진압)

소방대의 화재진압 및 화학물질의 누출, 건축물 붕괴와 같은 비상사태에 대응, 모든 화재에 대해서 화재진압을 동시에 할 수 없으므로 화재의 일부가 확산됨. 가압수 공급부족, 통신 또는 그 외 시스템의 손상 때문에 진화작업의 어려움이 가중됨.

(4) 결과

일부 소규모 화재상황으로 종료되거나 대규모 화재상황으로 진전됨.



5. 화재피해가 많았던 지진 사례 소개

가. 1906년 샌프란시스코 대지진

미국의 캘리포니아주는 해안을 따라 남북으로 뻗은 대단층이 있는데 그 단층의 운동으로 발생한 지진으로 규모는 8.3이라 알려지고 있다. 당시의 샌프란시스코는 한창 개발이 진행되어 20~30층의 건물이 건설되고 있었지만 목조가옥도 많았고 지진 후 발생한 화재로 큰 피해를 냈다.

지진화재의 두려움을 세계적으로 알린 지진으로 총 피해의 약 70%가 화재로 인한 피해였다.



[사진 1] 샌프란시스코 지진 후 화재현장

나. 관동 대지진

일본에서 1923년에 발생한 지진으로, 지진 후에 발생한 화재로 14만명 정도가 사망하였다. 일부 학자는 샌프란시스코 지진의 정보를 입수하여 지진화재의 무서움을 인식하고 있었으나 관동지진이 발생하기 전에 지진화재에 대한 준비를 하는 것은 불가능하였다. 또한 화재뿐만이 아니고 벽돌건물과 목조가옥도 크게 피해를 입어 이 지진을 계기로 일본에서 내진설계 개념이 도입된 계기가 되었다

다. 고베지진

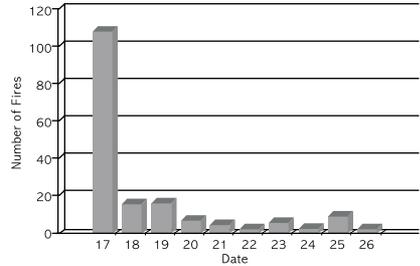
1995년 1월 17일 새벽 5시 46분에 고베시 남서쪽에 위치한 아와지 부근에서 발생한 지진으로, 일본 남부의 관서지방 효고현 남부일대에 막대한 피해가 발생하였다. 진원의 깊이는 약 14km로 추정되고 지진의 크기는 리히터 규모로 7.2였다. 고베지진의 특징은 고베시 하부를 동북으로 관통하는 활단층계의 활동으로 발생하였으며, 도시직하부의 얇은 지층에서 발생하였다하여 도시직하형 지진(都市直下型 地震)으로 불리고 있다. 내륙부의 도시직하형 지진은 일본에서도 사례가 많지 않은 것으로 1943년의 규모 7.2 지진과 1948년의 규모 7.1 지진이 발생한 이후 처음이다.

〈표 3〉 고베지진의 피해현황

피해구분	내 용	비 고
인명	사망 : 6,432명	이재민 : 290,000
	부상 : 41,531명	피난소 : 1,018개소
주택	390,719동	-
건물	3,669동	-
항만	고베항 부두 붕괴	매립지 액상화 현상
전기	약 100만 세대 정전	재공급 시 화재요인
수도	약 120만 세대 단수	소방용수 부족
통신	약 25% 차단	이동무선기(4,500대 대여)
가스	약 80% 공급 정지	재공급 시 폭발요인



[사진 2] 일본 고베지진 후 화재현장(1995. 1. 17)



[도표] 고베지진 후 화재발생 건수(1월17~26일)

6. 맺음말

우리나라의 경우 지진의 발생 위험도를 과소평가 하였다. 그러나 상당 기간동안 특별한 지진활동이 없었던 지역에서 강력한 지진이 발생한 중국의 당산이나 미국의 New Madrid의 경우와 같이 우리나라에서도 상당한 피해를 초래할 수 있는 지진이 발생할 가능성은 배제할 수 없다. 따라서 지진 발생 시 피해 경감을 위해 조기경보시스템의 체계적 운용, 사회기반시설, 건축물 및 건축물의 내진성능 강화, 지진 후 발생하는 화재에 대비한 내화설계, 건축물 밀집지역을 대상으로 한 도시방재계획의 수립 및 일반 국민을 대상으로 지진에 대비한 비상대응계획의 수립 및 체계적인 훈련 강화 등이 필요하다. ☞

<표 4> 고베지진발생 당일 화재 면적별 화재발생 건수 비교

화재면적(Fire Area)	화재발생 건수 (1월 17일 오전 7시)	화재발생 건수 (1월 17일 밤 12시경)
1,000㎡ 미만	23	60
1,000㎡이상 10,000㎡미만	20	31
10,000㎡이상	10	14

참고 문헌

1. Fire Following Earthquake : willington Lifeline Group 2002, 10(New Zealand)
2. 지진에 대한 지역위험도 분석연구 : 국립방재연구소, 2002, 12
3. 지진발생 및 대응방안 : 국립방재연구소, 1998

4. 1994 미국 Northridge 지진분석보고서 : [www. fire. nist. gov](http://www.fire.nist.gov)
5. 지진과 내진공학 : 서울대학교 지진공학연구센터, 2001
6. 지진발생현황 : 기상청(<http://www.kmaneis.go.kr>)
7. Hazard Mitigation for Earthquake and Subsequent Fire(<http://mceer.buffalo.edu/>)