한국소음진동공학회지 제 5 권 제 1 호, pp. 21~27, 1995.

일본 고베 대지진의 특징과 지진피해 개요

전 대 한
(동서공과대학교 건축공학과)

1. 지진의 개요 및 특징

1995년 1월 17일 오전 5시 46분에 발생한 고베 대지진(일본내에서의 정식명칭은 "효고현(兵庫縣) 남부 지진"이라 부른다)은 고베(神戶)에서 남쪽으로 약 20km 떨어진 아와지시마(淡路島)를 진앙지(동경 135도, 북위 35도)로 한 지진규모(Magnitude) 7.2의 대지진이다. 진원의 깊이는 약 20km이고 파괴된 단층면의 길이는 약 50~60km로 추정되고 있다.

이번 지진의 원인은 효고현 아시야(芦屋)시 부근에서 아와지시마 중앙에 걸쳐 있는 길이 약 50km의 야지마(野島) 단층이라고 일컬어지는 얕은 활단층이 움직이므로써 발생한 것으로 추정하고 있다. 이 증거로 진앙에 가까운 아와지시마 북서 해안에서는 약 9km에 이르는 지표의 균열이 확인되었고, 단층선을 경계로 지면이 수평방향으로 최대 1.3m, 수직으로 약 50 cm 어긋나 있는 것이 발견되었다.

이번 고베 대지진은 전형적인 단층의 횡이동에 의한 내륙직하형 지진으로 밝혀졌다. 그림 1에서 보는 바와 같이 일본 부근에는 일본 열도가 얹혀 있는 유라시아 플레이트(plate)에 대하여 동쪽으로 부터는 태평양 플레이트, 남동에서는 필리핀해 플레이트가 서로 밀고 들어가는 상태에 놓여 있다. 이렇게 서로 밀고 들어가는 압력에 의해 유라시아 플레이트 내의 암반이 약한 부분에서 변형 에너지가 축적되게 되며, 이 에너지를 한순간에 방출하면서 지진이 발생한다. 이 중에서 육지의 플레이트에 의해 발생하는 지진을 내륙직하형 지진이라고 말한다.

이번의 고베 대지진에서 주목해야 할 것 중에 하나는 일본열도에서 비교적 지진 안전지대로 알려진 지역에서 발생한 강한 지진에 의한

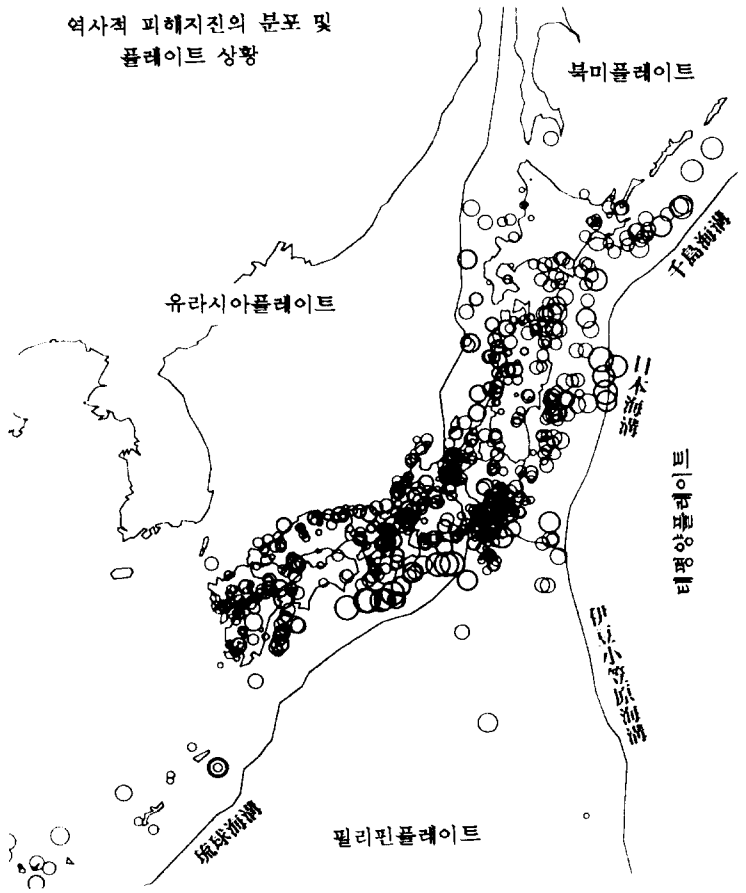


그림 1 일본열도 근방의 지각(地殼) 분포

대참사라고 하는 것이다. 일반적으로 지진은 플레이트의 경계부에서 발생하기 쉬운 것으로 알려져 있다. 그러나 고베 대지진을 일으킨 야지마 단층은 유라시아 플레이트 끝단에서 상당히 벗어난 위치에 있다. 유사한 예로 1993년 인도 남부에서 발생하여 1만명 가까운 사상자를 낸 지진도 인도 대륙에서 가장 안전한 지역으로 알려진 곳에서 발생한 지진이다. 1994년 미국 L. A. 지역의 Northridge 지진을 일으킨 활단층은 지금까지 존재가 전혀 알려지지 않은 역단층이 일으킨 지진이다. 또한 1976년 중국 唐山 지진은 역사적인 지진기록조차 없었던 지역에서 발생하여 도시 전체의 괴멸적인 파괴를 가져온 대표적 지진으로 꼽히고 있다. 그러므로 지금까지 지진학자들 조차 무시해 온 작은 활단층 지역이나 지진 안전지역으로 분류된 곳에서도 재산과 인명의 피해를 가져오는 대소 지진이 일어날 가능성을 충분히 내포하고 있다고 볼 수 있다. 즉, 우리의 한반도도 언제나 지진 안전지역으로만 보고, 지진 재해에 대한 대책을 소홀히 해서는 안된다고 생각한다.

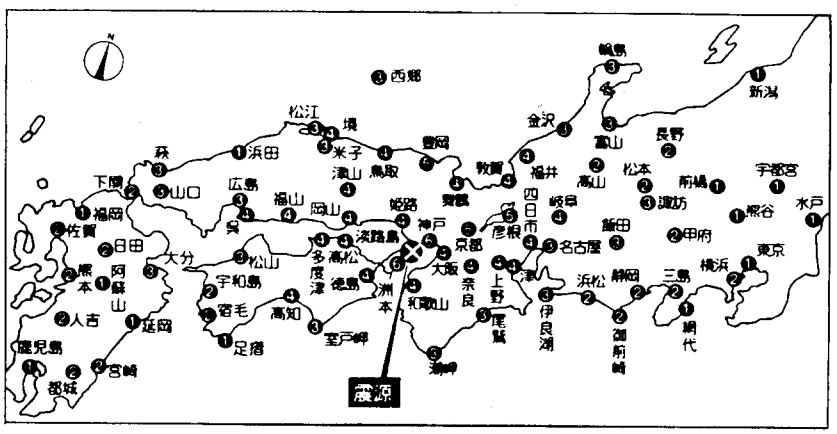


그림 2 고베 대지진에 의한 각 지역의 진도 분포

2. 지진동의 특징

2.1 진도 분포

그림 2는 고베 대지진에 의한 주변 각 지역의 震度 분포를 나타낸다. 여기에 표시한 진도는 일본 기상청 진도계에 의한 것이다. 지진의 크기를 나타내는 척도로는 규모(Magnitude)와 진도(Intensity)가 사용되고 있다. 규모(Magnitude)는 흔히 리히터(Richter) 규모라고 일컬어지고 있으며, 지진에 의해 방출되는 에너지(Energy)의 양을 대수(log)로 표현하여 지진 규모의 대소 관계를 나타내는 절대적 척도로써 사용된다. 이에 반하여 진도(Intensity)는 지진에 의한 지면 진동의 효과를 나타내는 척도이므로 지반의 종류, 진앙거리 등에 따라 동일한 지진일지라도 지역에 따라 달라지는 상대적 척도이다. 진도 계급은 일본 기상청의 진도(약칭 JSK 진도 : 8계급), 미국의 수정 머켈리 진도(약칭 MM 진도 : 12계급), 동유럽의 소련, 동독, 체코가 공동으로 발표한 MSK 진도(Medvedev, Sponheuer, Karnik : 12계급) 등이 널리 사용되고 있다. 이들 각각의 진도 계급들은 결정방법에 있어 약간의 차이가 있으며, 그림 3에 나타낸 것과 같은 상관관계를 갖는다.

그림 2에서 보는 바와 같이 진앙

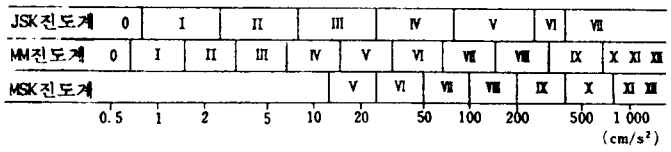
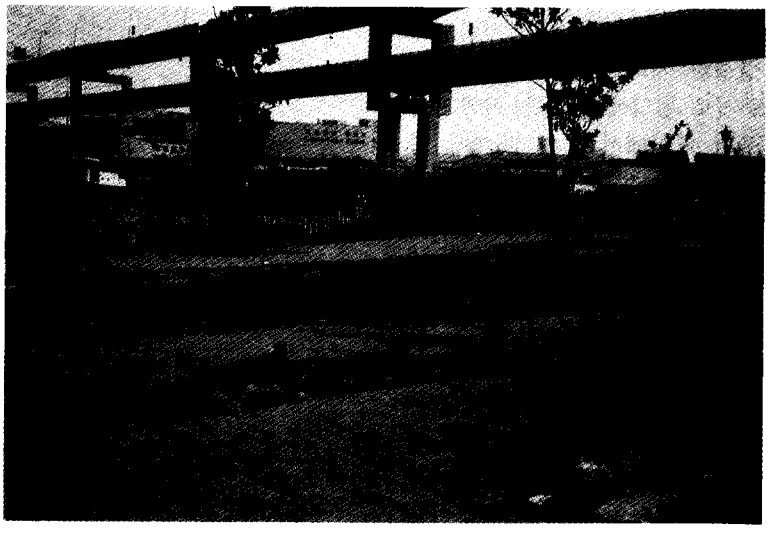
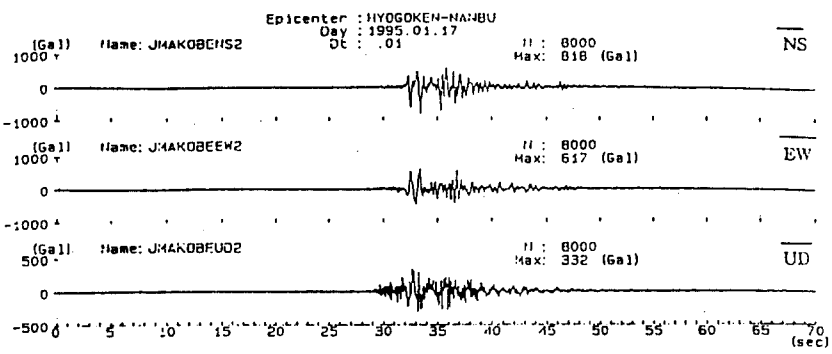


그림 3 각국의 진도계급 비교

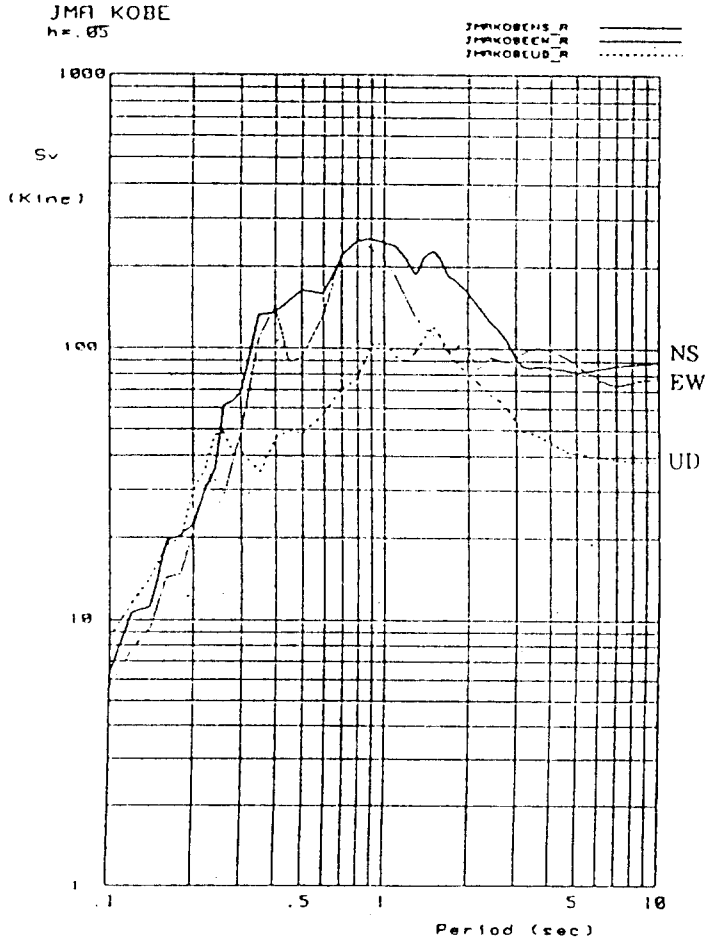


〈액상화에 의한 지면의 상승〉

지 부근의 아와지시마와 고베가 진도 6을 기록했으며, 진앙에서 멀어질수록 진도는 낮아지는 경향을 보이고 있다. 일본 기상청의 진도 6은 烈震으로 표현되어 가옥이 무너지는 비율이 30% 이하로 기술되어 있다. 실제 고베 시내와 아와지시마 내에서는 30% 이상의 가옥이 무너지고 지면이 갈라져 단층이 생기는 정도의 진도 7의 激震으로 보는 것이 타당할 것으로 생각된다.



(a) 시각력 파형



(b) 속도 응답스펙트럼

그림 4 지진동의 시각력 파형 및 속도 응답스펙트럼

2.2 지진동 특성

진앙에서 가장 가까운 경질 지반인 고베 해양기상대에서 관측된 지진동의 시각력 파형과 응답 스펙트럼을 그림 4에 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 지진파형의 주요동 계속시간은 약 10초 정도로 짧은 편이지만, 최대 가속도는 남북성분(NS) 818cm/sec^2, 동서성분(EW) 617cm/sec^2, 상하성분(UD) 332cm/sec^{2}으로 수평성분과 상하성분 모두 매우 큰 가속도 값을 기록하고 있다. 이외의 다른 지역에서 기록된 지진가속도를 분석해 보면, 대체적으로 주요동의 계속시간은 10~15초 정도로 짧은데 비하여 지진동의 수평동 성분에 비하여 상하동 성분의 가속도 값이 상대적으로 큰 값을 나타내고 있는 것이 이번 고베 대지진의 큰 특징으로 기록되고 있다. 그림 4에서 속도 응답스펙트럼을 분석해 보면, 수평동은 0.8~1.0초에서 탁월 주기가 나타나고 속도 응답스펙트럼 값은 약 Sv=200cm/sec의 값을 가지고, 상하동은 1.0~1.5초 및 0.25초에서 탁월 주기가 나타나고, 속도 응답스펙트럼 값은 약 Sv=100cm/sec의 값을 가진다. 일반적으로 내진 설계용으로 많이 이용되고 있는 1945년 El Centro 지진가속도의 수평성분(NS)의 속도 응답스펙트럼은 약 Sv=75cm/sec 정도인 것에 비하면, 이번 고베 대지진의 파괴력은 약 3배 정도 큰 것으로 추측할 수 있다.

고베 일대는 북으로는 산악지대를 이루고 남으로는 오사카 만을 끼고 있는 산지와 평지의 경계지역이 발달되어 있는 지역이다. 또한 고베 항에는 인공섬 등이 많이 축조되어 대단위 매립지역이 산재되어 있는 곳으로 유명하다. 이번 고

베 대지진은 이와 같은 항만을 끼고 있는 연약 지반위에 건립된 구조물에 대한 피해가 많이 나타났다. 그러므로 앞으로 고베 대지진에서 기록된 지진동을 세밀하게 분석하게 되면 매립지역에서의 지진동 특성 및 산지와 평지의 경계 영역에서의 지진동 증폭 현상을 규명하는 좋은 자료가 나올 것으로 기대되며, 장래 이 분야의 내진설계 기술에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

3. 지진피해 상황

그림 5에 개략적인 지진피해 분포 상황을 나타낸다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 큰 피해 분포는 효고현(兵庫縣) 남부를 중심으로 오사카(大阪府) 서부까지 연속되지만, 특히 심한 피해를 입은 지역은 아와지시마 북쪽 끝에서 아캐이시(明石) 해협을 거쳐 고베 시내를 해안선에 평행하게 동북동 방향으로 뻗어 있는 폭 1~2km, 길이 30km 정도의 가늘고 길게 펼쳐진 띠모양의 지역에 집중되어 있다.

이번 고베 대지진은 Magnitude 7.2의 대규모 지진이 대도시 주변의 깊이 20km 정도의 얕은 진원에서 발생한 전형적인 도시 직하형

〈고속도로의 교각 붕괴〉

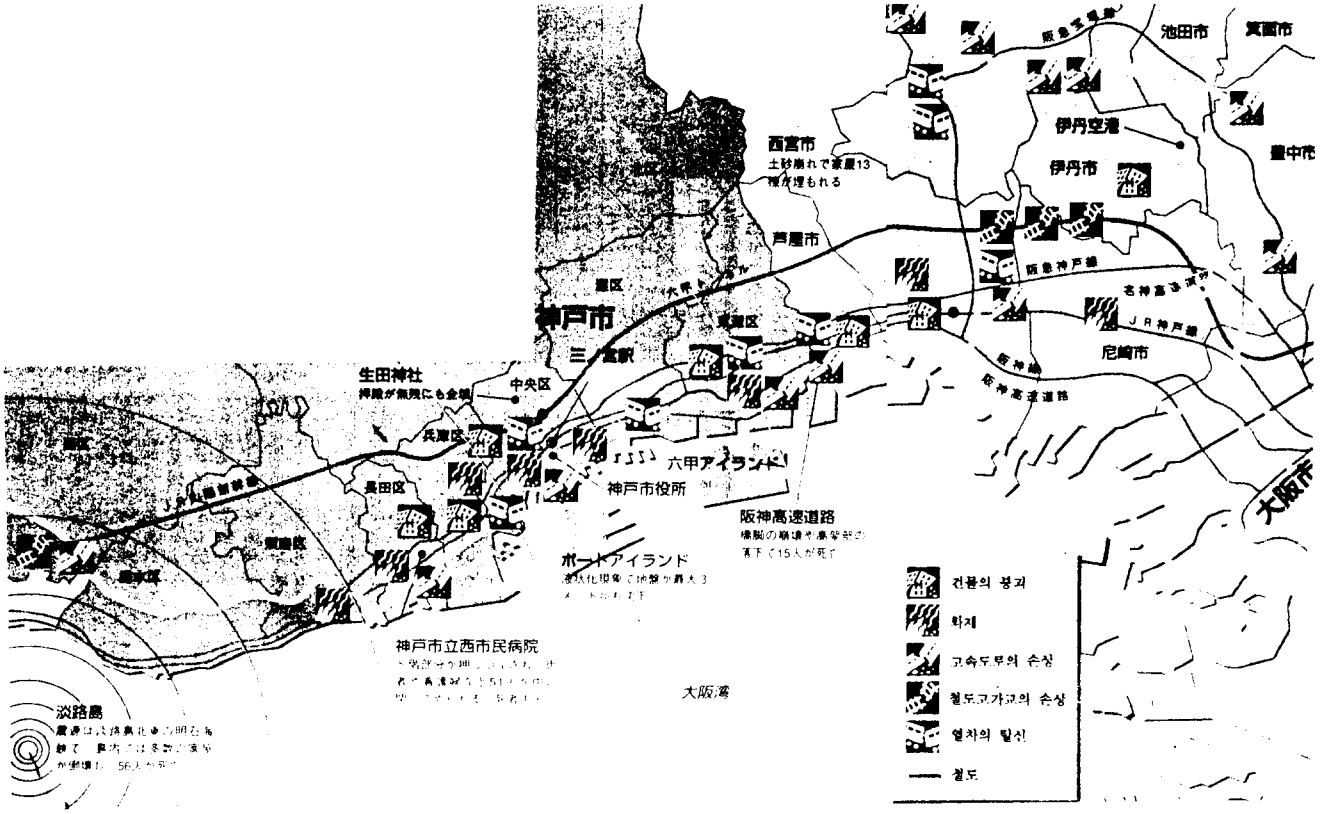


그림 5 고베 지역의 지진피해 분포 상황도

〈비틀림에 의한 중간층 붕괴〉

지진이다. 따라서 지금까지 경험하지 못한 지진피해 특성도 여러 곳에서 나타나고 있다. 철근 콘크리트 건물에서는 중, 저층 건물을 중심으로 최하층이 파괴한 건물이 많고, 5~10층 정도의 건물은 중간층의 기둥이 파괴되어 층 붕괴를 일으킨 건물이 많았다. 철골조 건물에서는 기둥-보 접합부의 손상과 함께 기둥의 취성 파괴도 나타났다. 또한 해안 연안에서의 지반의 액상화 현상과 함께 토사의 측방유동(側方流動)이 발생하여 인공섬 바깥 둘레를 비롯하여 호안의 대규모 피해가 발생했다. 특히 일본이 자랑하는 철도, 고속도로 등의 수송로에 큰 피해가 발생하여 교통체계에 큰 혼잡을 가져오고, 부상자의 수송 및 화재 진압이 늦어져 더 많은 인명 피해를 초래하는 결과를 낳았다.

주요한 지진 피해 상황을 표 1에 나타낸다.

4. 복구현황 및 재해대책

필자는 1월 17일의 지진 발생으로 부터 21일이 지난 2월 8일 아침 고베에 들어가게 되었다. 지진피해의 여파로 아직 교통 수단이 제기능을 발휘하지 못하고 있는 관계로, 오사카에서 스미요시(住吉)까지는 전철을 이용하고 스미요시역에서 고베 시내 까지는 버스를 이용하였다. 오사카 시내의 지진피해 흔적은 거의 찾아볼 수 없었지만, 오사카시 경계를 벗어나면서 철도변의 주택 붕괴 등이 하나씩 눈에 들어오기 시작하였다. 고베에 가까워 질수록 주택 및 구조물의 피해가 눈에 띄게 많아지는 것을 느낄 수 있었다.

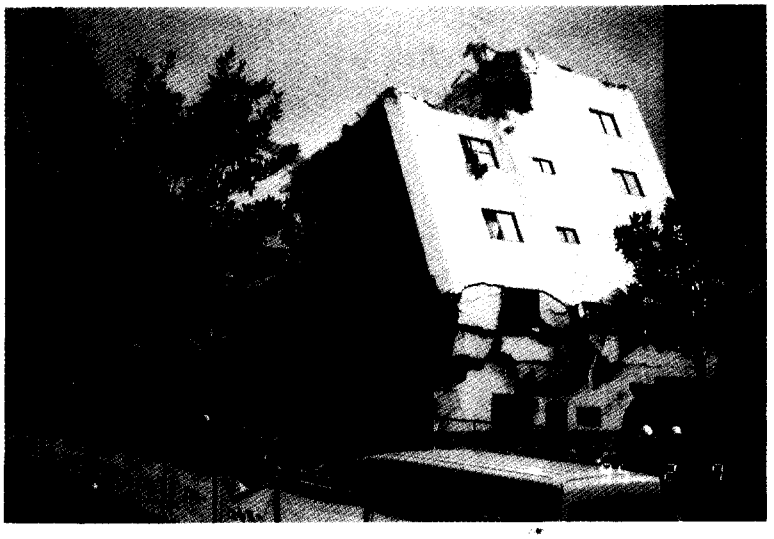
지진 발생 직후에는 도로의 붕괴 등으로 부상자 및 구호물자의 수송로가 막혀 큰 어려움을 겪었다고 하지만, 20일 정도가 지난 후에는 도로가 일반차량 차선과 긴급 및 버스 전용차선으로 구분되어 비교적 대중교통 수단은 원활히 소통되고 있는 편이었다. 특히 세계 매스컴의 초점이 된 고속도로의 붕괴지역은 이미 모두 철거되고 새로운 건설공사가 진행되고 있는 상태였다. 이 외에도 철도, 고가도로 등의 보수, 보강에 전력을 쏟고 있는 것을 보면서 일본 건설기술 수준에 감탄을 자아내게 하였다. 복구는 도로 등 도시 기반시설(life line)을 우선으로 행하여지고 있었으며, 건물등의 철거 및 보수, 보강도 부분적으로 진행되고 있는 상태였다.

지진으로 인한 이재민의 수용 및 구호활동은 원활히 이루어지고 있는 편이었다. 특히 피해를 입은 가옥에는 사람들이 드나들 수 있는 상태인지를 전문가들이 판단하여, 의견서를 입구에 붙어 놓아 위험

〈서로 다른 주기를 갖는 건물에 연결된 다리의 파손〉

표 1 일본 고베 대지진의 피해 일람표

	人的被害				建物被害						火災	集計日
	死者	行方不明	負傷者		住家被害					非住家		
			重傷	輕傷	全壊	半壊	一部損壊	全焼	半焼			
	名	名	名	名	棟	棟	棟	棟	棟	棟	件	建物被害
兵庫県	5,088	9	24,580		81,260	62,071		7,119	337		502	2月7日
神戸市					54,949	31,783		7,046	331			그 외
尼崎市					603	3,966		8				2月2日
西宮市					17,716	13,474		48	4			
芦屋市					2,543	1,519		13	2			
伊丹市					354	623		1				
宝塚市					1,339	3,718		2				
川西市					410	1,830						
明石市					105	678						
三木市					25	113						
洲本市					17	574						
淡路町					73	583						
東浦町					265	420						
北淡町					1,014	786		1				
津名町					510	591						
一宮町					1,032	813						
五色町					178	270						
西淡町					92	137						
大阪府	14		76	1,439	708	3,515	22,387				30	2月8日
大阪市	9		4	354	159	1,506	2,825				16	
豊中市	4		45	639	517	1,514	188				5	
池田市			17	108	19	220	2,753					
吹田市	1			21	6	158	3,937				2	
箕面市				63	3	62	1,127					
京都府	1		1	46	3	3	1,109			115		2月3日
京都市				29	1		500					
亀岡市			1	3	1	2	177			70		
大山崎町	1			2			228			11		
滋賀県			7				5			17		1月17日
奈良県				4			5			18		1月19日
和歌山県				7			33			8		1月26日
徳島県			8	12	1	24	94			1		1月20日
香川県			1	6			2			1		
岡山県				1			37					1月24日
広島県										8		1月19日



〈건물의 전도〉

정도를 알려주고 있었다. 또한 피해를 입은 가옥에서 피신하여 있는 경우는 문패에 가족의 무사함과 피신 장소를 붙어 놓은 집들이 많이 눈에 띄어 평소에 지진 재해에 대한 훈련이 잘 이루어져 있다는 것을 느낄 수 있었다.

5. 교 훈

이번의 고베 대지진은 지진이 빈발하는 일본열도 내에서도 비교적 지진발생 횟수가 적은 지역에서 전혀 예기치 못한 상태에서 발생한 것이다. 일본은 후지산을 깃점으로 동북지방에서는 대소 지진이 빈발하는 지역으로, 이 지역의 주민들은 비교적 지진 재해에 대비한 훈련이 잘 이루어져 있다. 또한 일본의 지진 전문가들은 약 15년 전부터 후지산 앞면의 해안에서 대지진(이 지진을 일본 국내에서는 "東海大地震"으로 부르고 있다)이 발생할 가능성이 매우 높다는 가설이 나와, 이 지역에서는 몇 년전 부터 노후 건물의 대대적인 보수, 보강 및 방재 훈련에 전념하여 왔다. 그러나 역사적으로도 지진발생 횟수가 적고, 수 십년간 비교적 큰지진을 경험하지 않은 고베 지역에서는 다른 지역에 비해 지진 대비 훈련이 충분히 이루어지지 않았고, 일반 주민들의 지진에 대한 경각심도 다소 느슨해진 상태에 있었다. 따라서 이번의 대지진으로 인한 피해는 지진에 대한 충분한 대응과 훈련이 부족한 상태에서 더 큰 재난을 입었다는 사실도 간과해서는 안될 것이다. 만약 똑같은 지역 조건에서 동일한 지진이 일본내의 東海지역이나 關東지역에서 일어났을 경우, 혹은 미국의 LA 지역에 발생하였다면 이러한 人災는 훨씬 줄었을 것이라고 주장하는 학자들도 많다.

우리들은 이번의 고베 대지진을 보면서 한반도도 관연 지진 안전지대 인가를 생각하지 않을 수 없으며, 고베 대지진 보다는 작은 지진일지라도 만약 한반도에서 피해를 가져오는 지진이 발생할 경우를 대비하여 구조물 뿐만 아니라 지진재해 대책과 국민의 행동 요령을 확립하여 두어야 된다고 생각한다. 또한 병원, 소방서, 관공서 등 주요 건물의 내진설계를 강화하여 강한 지진이 발생하여도 이러한 건물들은 안전성이 충분히 확보되어, 지진 후의 인명 구호 활동에 원활히 활용되도록 하여야 할 것이다.