

# 1999. 9. 21 타이완 지지(集集) 지진

Chichi Earthquake in Taiwan of 21 Sep. 1999

정길호 (학회편집위원회, 국립방재연구소 연구관)

이호준 (학회편집위원회, 국립방재연구소 연구관)

## 1. 서론

1999년 9월 21일 현지시간으로 새벽 1시 47분 경에 타이완의 지지(集集)에서 대규모의 지진이 발생하여 수많은 인명피해와 재산피해가 발생하였다. 이 지진은 불과 한달 전에 발생한 터키의 이즈미트 지진, 그리스 지진에 뒤이어 수많은 인명피해가 발생되었고, 이즈미트 지진에 이어 유라시아 판의 동쪽 일부에서 지진이 발생하여 우리나라 및 일본 등 동남아 국가들뿐만 아니라 세계적으로도 비상한 관심을 끌었던 지진이다.

현장조사는 각 지역별로 가장 피해가 많았던 건축물을 중심으로 댐, 교량, 산사태 및 파이프라인 등의 피해사례를 조사하였다. 현재 자연재해대책법에 내진설계 대상시설물로 지정된 시설물과 그 외의 시설물에 대해서도 가능한 한 다양한 시설물들의 피해형태를 파악하기 위하여 광범위하게 현장조사를 수행하였다. 현장조사 지역은 苗栗현, 타이중현과 난토우현을 지나가는 샤룽파오(車籠埔) 단층대를 따라 텡시(東勢), 시강(石岡), 황원(豐原), 다이핑(太平), 다리(大里), 우횡(霧峰), 난토우(南投), 쉐우산(竹山) 지역과 진앙지인 지지(集集) 및 지진피해가 컸던 부리(埔)지역 등이었다.

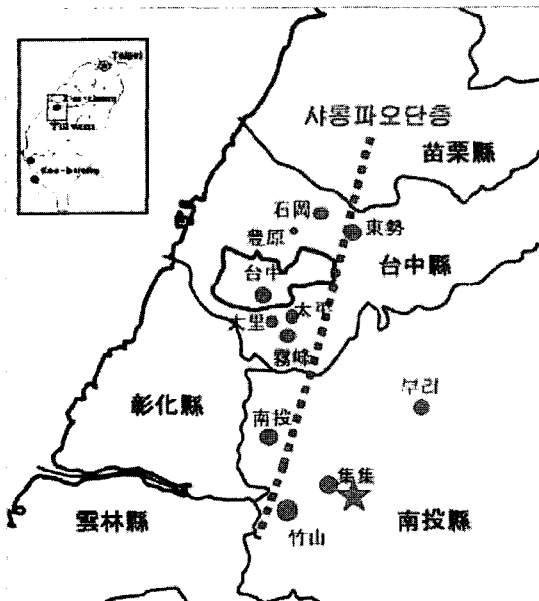


그림 1. 현장조사 지역 및 피해지역

## 2. 타이완의 지진발생 현황

### 2.1 타이완 부근의 지진대 및 지진의 특성

타이완은 환태평양 지진대의 동부에 위치하고 있으며, 판구조론으로부터 볼 때, 그림 2에서와 같이 필리핀 판(Philippine plate)과 유라시아 판(Eurasian plate), 그리고 인도-오스트레일리아 판(Indo-Australian plates)의 북부에 위치하는 선다 블록(Sunda block)과 맞닿아 있다. 또, 타이완은 알류산 열도, 일본, 필리핀, 뉴질랜드, 칠레, 미국 서부해안을 포함해 전세계 지진의 2/3가 집중되는 환태평양 지진대에 속해있다.

타이완에서는 1935년 3,276명이 숨진 규모 7.4의 지진, 1951년 353명이 숨진 규모 7.3의 지진, 1963년 18명의 피해가 난 규모 7.3의 지진, 1998년 4명이 숨진 규모 6.2의 지진 등 크고 작은 지진이 끊이지 않고 있다. 미세한 지진까지 합치면 타이완에서는 한해 평균 3,000여 회의 지진이 발생한다. 대부분은 동쪽 해안이나 해저에서 발생하여 피해가 없이 지나가지만, 이번처럼 진앙지가 타이완 내부인 지진일 경우 엄청난 피해가 속출하기도 한다. 특히 아직도 용암활동 등을 하고 있는 타이완 중앙의 아리산(阿里山)을 진앙으로 하는 지진이 많은데, 이번 지진의 진앙지인 난투우(南)의 지지(集集) 역시 아리산 바로 옆에 자리잡

고 있다.

전술한 바와 같이 타이완은 유라시아 판과 필리핀해 판이 교차되는 곳에 위치하고 있다. 타이완 동쪽 부근에서 판 경계부의 움직임은 필리핀해 판이 유라시아 판과 만나면서 북쪽 부분은 유라시아 판의 밑부분으로 밀려 내려가고 남쪽부분은 유라시아 판의 윗부분으로 밀려 올라가는 복잡한 구조를 갖고 있다.

타이완의 지형특성을 보면 섬 중앙에 남북으로 뻗은 산맥이 분포해 있고 이를 중심으로 동서방향으로 평지가 이루어져 있다. 중앙부의 산맥을 중심으로 동측에는 필리핀 판이, 서측에는 유라시아판이 분포하고 있고, 이들은 섬 중심부를 향해 진행하기 때문에 섬의 중앙부에 이처럼 산지가 형성되고 있다. 따라서 이러한 압축력 때문에 평지부분에 많은 활단층이 분포하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 판의 경계면이 남쪽부분은 완만하고 북쪽 부분은 급하기 때문에 남쪽부분에서는 천발지진이 많고, 북쪽 부분에서는 심발지진이 많다. 해마다 수 센티미터씩 이동하면서 점차 압축력이 증가되는 가운데 지표면에 가까운 곳에서 균열이 시작되어 남북으로 약 100km에 이르는 곳에서 변위를 일으킨 것이 이번 지지(集集) 지진인데, 유라시아 판 위로 필리핀해 판이 올라가면서 압축에너지를 형성하고 그 에너지를 해소하면서 지진이 발생한 것으로 알려지고 있다. 단층의 형태는 유라시아 판위로 필리핀 해 판이 올라가는 역단층 형태이고 횡방향의 변위 없이 판이동방향에 수직인 방향으로 단층이 형성되어 연직방향으로의 변위만이 있는 것이 이번 지진의 특징이라 할 수 있다. 또 지진과의 관측 결과로부터 볼 때도 동서방향의 진동이 남북방향의 진동의 1.5배 이상이 되는 것으로 나타났다. 이 단층 운동이 지표면으로부터 이루는 각도는 약 30°로서, 이러한 미끄러짐에 의해 지표면의 변위는 유라시아 판이 그대로 뗏은 상태에서 필리핀 해 판의 선단이 아래로 구부러지는 형태의 둥근 모습을 보이고 있다. 이 때의 변위량은 수직방향으로 7m 이상이 되는 곳이 있는데, 이는 현재까지 기록된 지진의 변위량으로서는 최고치로 알려져 있다.

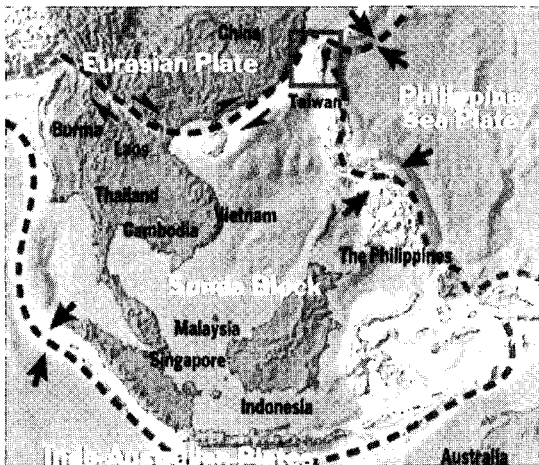


그림 2. 타이완 부근의 지진대(TIME 4 Oct. 1999)

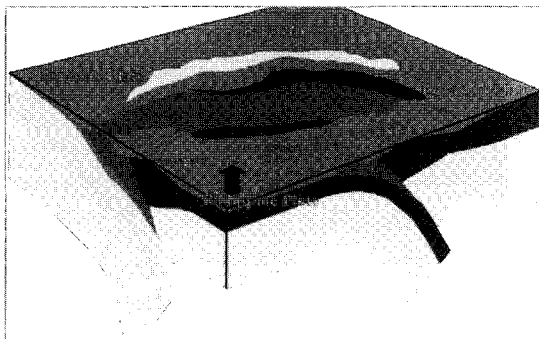


그림 3. 타이완 부근 판의 형태(Central Geological survey, Ministry of Economics Affairs, ROC, 1997)

2.2 타이완 인근 단층대에서의 지진발생 현황

그림 4에 타이완 부근에서 유라시아 판과 필리핀해

판이 만나면서 발생하는 지진의 발생현황을 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 타이완은 판과 판의 경계에 위치하기 때문에 일본 못지 않은 지진다발국가이다.

표 1. 최근 타이완에서 발생한 주요 지진 목록

발생일시	진 양	규 모	사망자수
1904. 11. 06	北港南方	6.5	145
1906. 03. 17	梅山附近	7.1	1,258
1906. 04. 14	白河	6.6	15
1916. 08. 28	南投濁水溪上游	6.4	16
1927. 08. 25	新營	6.5	11
1930. 12. 08	新營	6.1	4
1930. 12. 22	新營	6.5	
1935. 04. 21	卓蘭防近	7.1	3,276
1935. 07. 17	後龍溪口	6.2	44
1941. 12. 17	嘉義中浦	7.1	358
1946. 12. 05	台東新化	6.3	74
1951. 10. 22	花蓮東南東	7.3	68
1951. 11. 25	台東北方	7.3	17
1964. 01. 18	台南楠西	6.5	106
1986. 11. 15	花蓮東偏南 10km	6.5	
1994. 06. 05	宜蘭南方	6.2	5
1998. 07. 17	阿里山附近	6.2	5
1999. 09. 21	南投集集	7.7	2,161

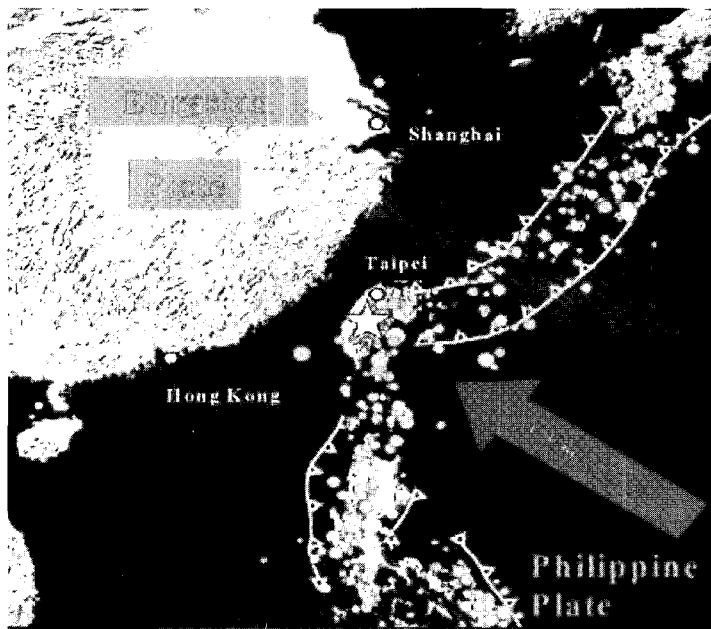


그림 4. 타이완 부근 지진태에서의 지진발생 현황

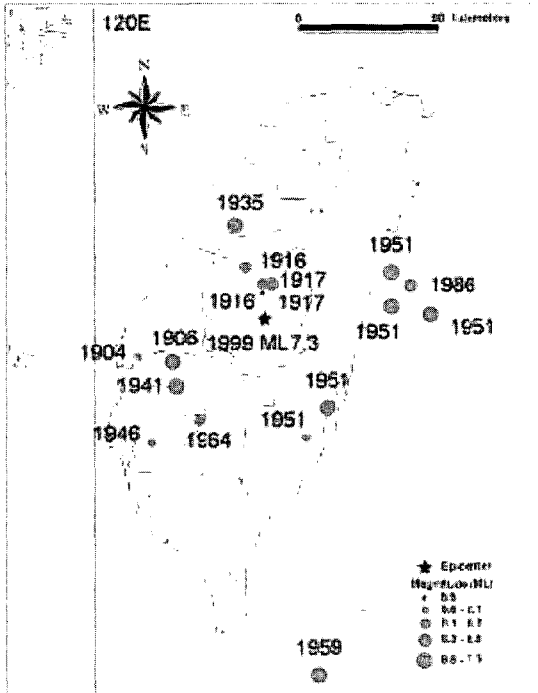


그림 5. 최근 타이완에서 발생한 주요 지진의 위치 (타이완 중앙대학)

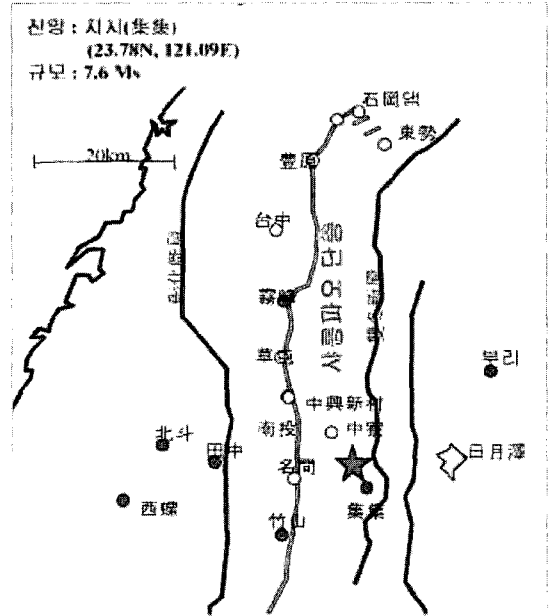


그림 6. 진앙 및 주요 피해지역

### 3. 1999. 9. 21 타이완의 지지(集集) 지진

#### 3.1 진앙 및 규모

##### 3.1.1 진앙

타이완의 지지(集集)에서 지진이 발생한 시각은 01시 47분(현지시간)경이며, 미국지질조사소(United States Geological Survey, USGS)에 의하면 진앙의 위치는 타이페이 남서쪽 150km, 화리옌(花蓮) 서남쪽 50km 지점인 난토우(南投)현의 지지(集集)(23.78N, 121.09E)였으며, 지진은 약 1분간 지속되었다.

지지(集集) 지진시 인근 지역의 최대지반가속도(Peak Ground Acceleration, PGA)의 수평방향 성분의 분포를 그림 7에 나타내었다. 그림에서 PGA의 단위는 gal(cm/s<sup>2</sup>, 1g=981gal)이다. 지진 데이터에 의하면 진앙부근에서는 약 980gal에 이르는 최대지

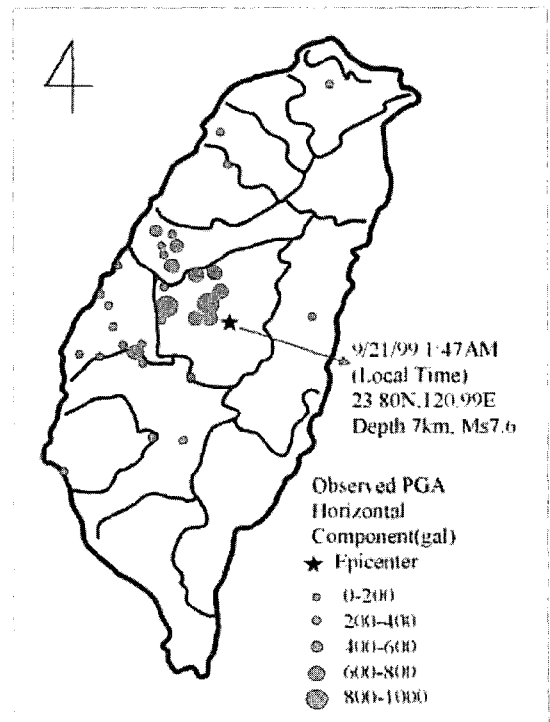


그림 7. 지역별 최대지반 가속도의 수평성분 (타이완 중앙대학)

반가속도 값이 기록되었고, 샤룽파오(車籠埔) 단층에 서부터 동북쪽 50km까지는 약 400gal 이상의 최대 지반가속도 값이 기록되었다.

### 3.1.2 규모

지진발생시 지진의 절대적인 크기를 나타내는 것으로 규모(magnitude)가 있고 발생한 지진에 대하여

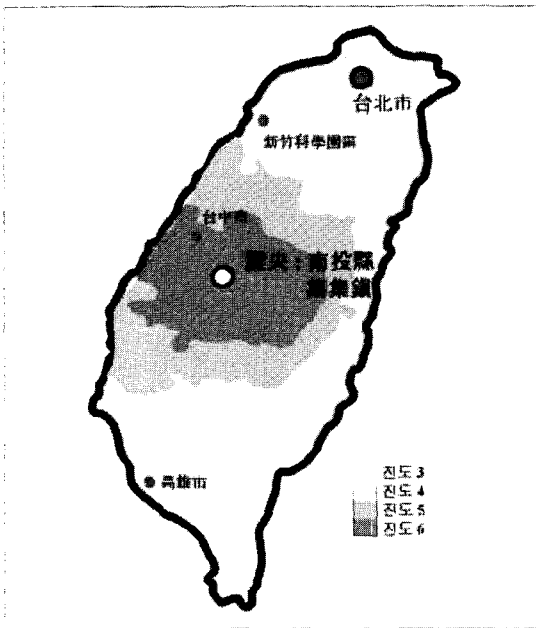


그림 8. 지지(集集) 지진으로 인한 타이완 전역의 진도분포

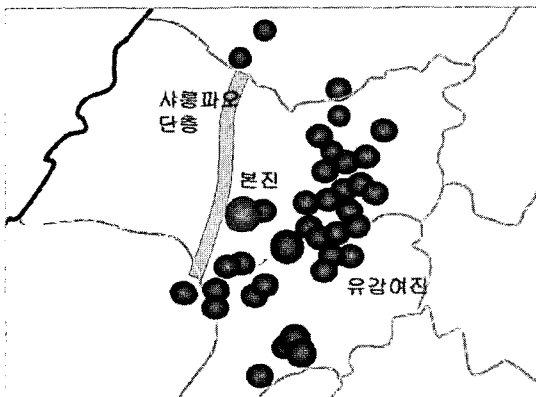


그림 9. 지지(集集) 지진의 유감 여진발생 위치

지역적으로 입은 피해 정도를 나타내는 것으로 진도(intensity)가 있다. 따라서 규모는 정량적인 값이지만 진도는 지역에 따라 서로 다른 값을 나타낸다. 즉 진도는 인명 및 재산상의 피해 정도, 또는 지진발생시의 현상을 체험한 사람의 느낌을 위주로 결정된다.

지지(集集) 지진은 1976년 중국의 탕산(唐山)에서 발생한 규모 8.3의 지진 이후 최대 강진이라고 분석하고 있는 가운데, 지지(集集) 지진의 규모에 대해 타이완의 중앙기상국(Central Weather Bureau, CWB)은 규모 7.3이라고 밝힌 반면, 미국의 국립지진정보센터(National Earthquake Information Center, NEIC)는 이보다는 약간 큰 표면파 규모(Surface Magnitude, Ms) 7.6, 미국지질조사소(US Geological Survey)는 7.7, 그리고 프랑스 국립지진관측소는 8.1로 다소 엇갈리는 측정치를 발표하였다. 지진의 최대 가속도는 명간(名間)에서 약 1g로 관측되어 사상최대의 규모를 보였고, 이 수치는 과거 고베지진 최대가속도의 1.2배에 해당할 정도로 대단히 큰 값이었다. 연직 방향의 최대 변위로는 8m나 움직인 곳이 있었고, 지표면의 변형으로 약 10m가량 상승한 지역을 직접 목격하였다.

지지(集集) 지진에 의해 전국에서 느낀 진도는 JMA 진도로 진양지에서 최대로 VI이었으며, 가장 약하게 느낀 곳의 진도가 III이었다. 진양지 근처인 난토우현의 명간(名間)과 타이중 시가 진도 VI,新竹현의 竹北, 台南현의 永康, 嘉義市, 屏東시 등에서 진도 V로 관측되었다. 그림 8에 이들 분포를 표시하였다.

### 3.2 여진 현황

그림 9는 중규모 이상의 유감여진만을 나타내었지만 미세한 규모의 지진까지 모두 합한다면, 약 8,500회 이상의 지진이 발생하였고 거의 10초마다 한번씩 발생하였다고 현지 통계결과가 말해주고 있다. 여진 중에서 그 규모가 7에 가까운 경우도 수회 발생하여 여진에 의한 건물피해도 발생하였다. 특히 지진발생 후 5일 이내에 규모 6.0이상의 여진이 6회 발생한 것

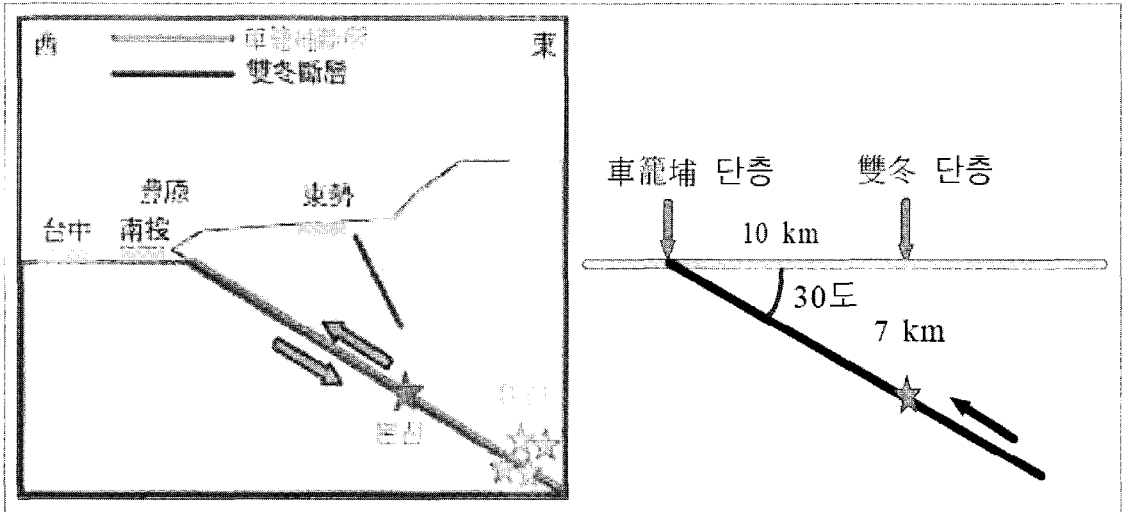


그림 10. 지지(集集) 지진의 진원위치와 단층

으로 나타났다. 그리고 지진발생 1주일 후에는 규모 6.8의 여진이 발생하여 여진의 규모로서는 대단히 큰 규모이어서 주민들을 공포에 떨게 하였다.

### 3.3 샤룽파오(車籠埔) 단층대

그림 10에서와 같은 형태의 단층을 역단층(inverse fault)이라고 하는데 샤룽파오 단층이 있는 곳이 상반이다. 역단층을 이루어 단차를 나타내는 지역의 길이가 약 50km에 달하는데, 단차의 크기가 큰 곳에서는 7m 이상, 작은 곳에서는 약 2m 정도로 나타나 세계 최대의 변위량을 나타내었다. 연직방향의 변위가 주로 작용하는데, 운동경기장의 트랙에 남은 단층의 흔적에서 트랙의 라인이 어긋나지 않고 그대로 위로 상승한 것으로부터도 이를 쉽게 추정할 수 있다. 또, 남북보다는 동서방향으로의 진동이 심했기 때문에 건물과 부락의 피해에 있어서도 동서방향으로 취약한 구조물이 더 큰 피해를 입었다. 시강(石崗)지역에서는 역단층 상반의 용기로 댐의 일부분이 8m 가량 상승하여 댐이 파괴되었으며, 인근의 교량이 역시 단차의 영향으로 붕괴되었다. 그 교량에 접하여 높이 수 m에 이르는 정도의 폭포가 그 지역의 단차의 높이를 보여주고 있다. 황

웬(豐原)지역에서는 도로변 지반이 수 m 상승하였으며, 주로 역단층 상반에 위치한 건물들이 파괴되었다. 우형(霧峯)지역에서는 사원이 파괴되고, 학교 운동장을 가로질러 한쪽 부분의 지반이 약 2m 가량 상승하는 등의 대표적인 피해가 발생하였다.

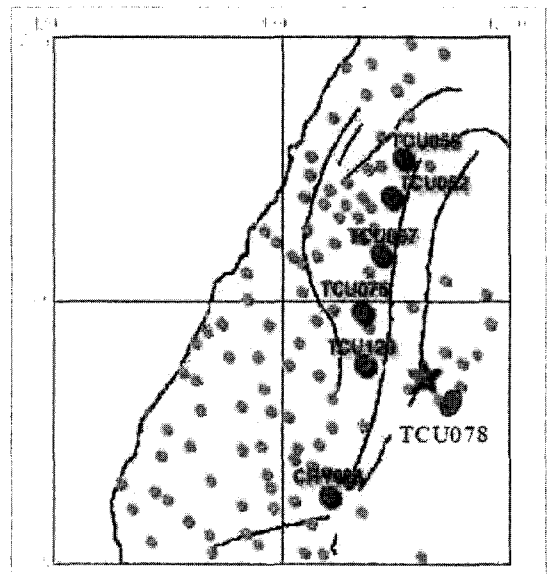


그림 11. 샤룽파오 단층대 인근에 위치한 지질관측소 위치

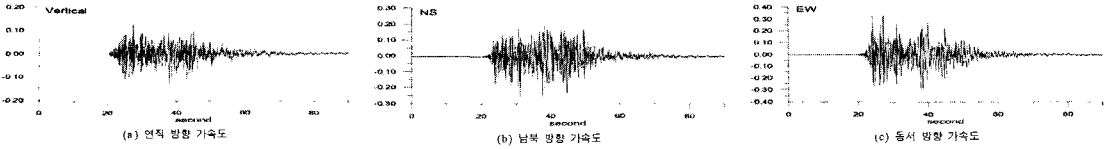


그림 12. TCU078 관측소에서 관측된 연직방향, 남북방향 및 동서방향 가속도

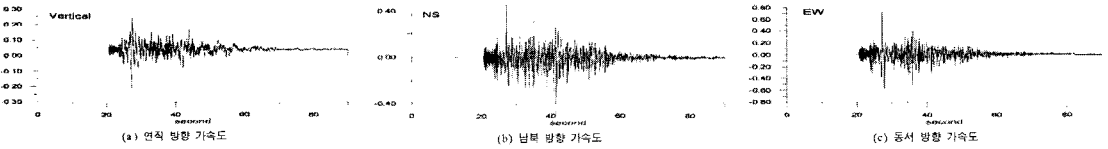


그림 13. TCU129 관측소에서 관측된 연직방향, 남북방향 및 동서방향 가속도

### 3.4 지진 데이터

지진관측소들 중에서 진앙지와 가까운 TCU078 관측소와 TCU129 관측소에서 관측한 지진 데이터를 그림 12~13에 나타내었다. 이 데이터는 각각 연직방향, 남북방향 및 동서방향의 가속도를 나타낸다. TCU078 관측소의 경우 연직방향 가속도는 0.17g, 남북방향 가속도는 0.30g, 그리고 동서방향 가속도는 0.44g를 기록했다. 그리고 TCU129 관측소는 각각에 대해서 0.34g, 0.61g, 0.98g를 기록했다. 각각의 경우에 동서방향 가속도 성분의 크기보다는 남북방향의 가속도 성분의 크기가 더 크다. 특히 TCU129 관측소의 경우 남북방향의 가속도 성분 크기가 거의 1g에 이를 정도로 대단히 크게 관측되었다.

### 3.5 지지(集集) 지진의 특징

지지(集集) 지진은 다음과 같은 측면에서 다른 지진과 특징적으로 구분된다.

- 내진코드에서 중지진대로 구분되는 타이완의 중앙부에서 발생한 점.
- 진원의 깊이가 지표로부터 불과 7km로 대단히 얇은 천발지진이라는 점.
- 동서방향의 진동이 강했다는 점.
- 횡방향보다는 종방향 변위가 크다는 점.

- 거의 본진의 규모에 이르는 여진이 계속 발생한 점.
- 최대지반가속도가 진앙지보다 샬롱파오 단층대의 주변 및 양단에서 더 크게 기록됨.

이와같은 이유들로 단층대를 따라 대규모의 피해가 발생했을 뿐만 아니라 타이중(台中)과 같은 타이완 섬 내부의 도시에서도 대규모의 피해가 발생하였다.

## 4. 지진피해 상황

### 4.1 주요 피해지역

지지(集集) 지진으로 인해 상당수의 건축물이 피해를 입었다. 건축물의 경우 피해현황은 다음과 같다. 붕괴된 것은 타이완 전역에서 빌딩이 9,900여 동, 주택이 11,000동 이상, 일부 파손된 것은 빌딩이 7,500여 동, 주택이 15,000동 이상으로 집계되었다. 지지(集集) 지진의 영향이 미친 구간은 진앙을 중심으로 100km×40km의 영역에 다다르고 있다. 진앙지인 지지(集集)를 중심으로 대규모의 영역에 피해가 발생하였다. 지진의 영향권이나 규모로 보아도 일본의 한신 아와지 대지진 이상의 대규모 지진으로 판명되었다. 주요 피해지역은 타이중 시, 난토우 현, 타이중 현 등에서 많은 피해가 발생하였다. 공식적으로 발표

된 피해 내역의 대부분은 가옥으로 특히, 단층대 부근의 지표면이 변화한 곳을 중심으로 피해가 발생하였다. 타이완은 지역별로 내진설계의 기준이 되는 지진규모에 차이를 두고 있는데, 중심부에 위치하는 타이중의 경우 현재까지 규정되어 있는 지진규모는 M6.0 정도의 중진지역으로 규정하고 있기 때문에 실제 내진설계가 고려된 단층건물일지라도 피해가 발생할 수 밖에 없는 상황이었다. 또한 주민들은 부서진 자신의 아파트와 가옥사이로 시공된 철근의 부실과 불안을 호소하려는 의지를 보이고 있었는데, 이 또한 피해를 가중시킨 원인으로 판단된다. 1960년대에 이미 내진에 대한 개념을 도입한 이래, 많은 수정과 보완을 통해 엄격한 설계기준안을 마련한 타이완은

1995년 일본의 한신 대지진을 계기로 그 기준에 큰 변화를 부여하였고 현재는 그들 나름대로 내진 기준안을 확정하려던 시기에 접어들었지만 이번 지진이 발생하였기 때문에 그 기준안은 또 다시 대폭 수정을 기할 것이라고 전하고 있다. 표 2에 건축물 피해현황을 지역별로 정리하였다. 그림 14에 이들 지역의 위치와 피해규모를 그림으로 나타내었다.

#### 4.2 사망자 및 피해건물

지진(集集) 지진으로 인해 1999년 10월 15일 현재 피해자 수는 사망자 수가 2,193명, 실종자 수가 55명, 부상자 수가 8,736명으로 집계되었다. 사망자는

표 2. 지역별 건물피해 현황

지역	붕괴		파손	
	빌딩	주택	빌딩	주택
台北市	3	76	20	325
台中市	496	10,366	516	13,720
台北縣	1	44	2	80
苗栗縣	136	136	221	221
南投縣	4,197	N/A	3,509	N/A
台中縣	4,728	N/A	3,018	N/A
彰化縣	30	84	2	2
雲林縣	256	605	250	910
其他	62	77	37	46
計	9,909	11,388	7,575	15,304

표 3. 지역별 사망자, 부상자 현황

	사망자수	부상자수	실종자수	구조자수
台北市	72	316	22	149
台中市	113	1,112		155
台北縣	39	145		192
苗栗縣	6	196		
南投縣	817	2,434	1	2,145
台中縣	1,050	3,606	23	1,408
彰化縣	23	388	1	281
雲林縣	65	423	4	624
其他	8	112	4	23
計	2,193	8,736	55	4,977



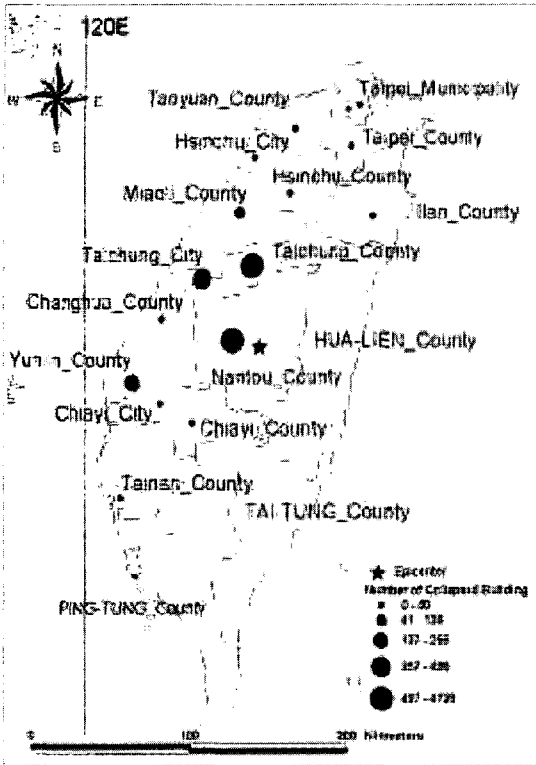


그림 14. 지역별 건물피해 현황

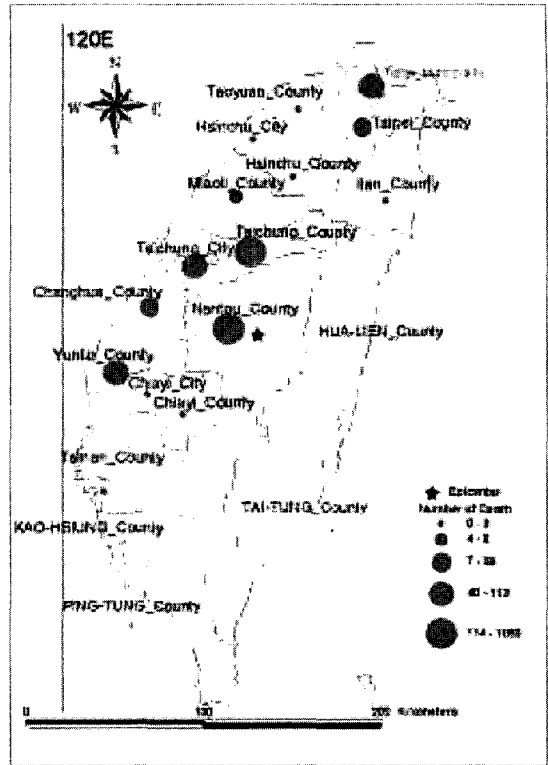


그림 15. 지역별 피해자 현황

진앙 근처인 난토우현과 타이중현에서 가장 많이 발생하여 각각 817명, 1,050명의 희생자가 발생하였다. 타이페이에서 건물의 피해는 송산(松山)호텔이 대표적이었고, 거의 모든 피해자가 이곳에서 발생하였다. 피해자 수가 많은 것은 피해 건물이 고층 건물이었고, 완전히 붕괴되었기 때문이다. 피해자가 가장 많은 곳은 타이중 시로 총 사망자의 약 절반을 차지하고 있다. 난토우 현에는 대규모의 해외 지원인력이 파견되어 구조작업을 실시하였기 때문에 구조자 수가 가장 많았다.

표 2와 3에서 타이중현과 타이중시는 그림 14에서 보는 바와 같이 서로 다른 지역이다. 우리나라의 경우로 보면 경기도와 인천광역시 정도의 행정구역이라고 생각하면 된다. 그림 15와 표 3에 각각 지역별 사망자 수를 나타내었다.

### 4.3 시설물별 피해

#### 4.3.1 건축물

##### 1) 타이페이(台北)

타이페이 시에서의 건축물 피해는 3곳으로 집계되었는데, 현장조사를 실시한 곳은 가장 인명피해가 심했던 송산구(松山區) 팔덕로(八德路)에 위치한 송산 호텔 건물이다. 그림 16(a)는 송산 호텔의 바로 옆의 12층 건물로 송산 호텔이 무너지면서 부딪혀서 건물의 외벽 및 층의 일부에 피해가 발생한 건물이고, 그림 16(b)는 송산 호텔의 지하모습으로 붕괴된 건물의 잔해를 치우고 난 후의 지하 1층 및 2층의 모습이다. 송산 호텔은 원래 12층 구조물로 8층 이하가 모두 붕괴되어 상부의 4개 층만이 모습을 드러내고 있다. 타지역의 지진피해에 있어 12층 정도의 고층 건물은 전도되는 경우가 많았고, 저층이 붕괴되더라도 3층 정도에 그치는 것이 대부



(a)



(b)

그림 16. 송산빌딩의 옆모습 및 지하층

분인데 반하여, 이 건물은 8개 층이 모두 주저앉아 특이한 양상을 보이고 있다. 또한, 타이페이 내에서 붕괴된 유일한 건물로, 동일한 진동을 받으면서도 주변에 내진설계가 이루어지지 않았을 것으로 사료되는 오랜

건물에 피해가 없었음에도 불구하고, 비교적 근래에 건축된 건물에 큰 피해가 발생한 특이한 경우이다.

#### 4.3.2 교량

##### 1) 쥬우산(竹山)

지진(集集) 지진으로 인한 교량의 파괴는 전체적으로 크고 작은 교량 전부를 합쳐서 100여 개에 이르는 것으로 조사되었다. 그림 17은 샤롱파오 단층대 인근의 교량이 파괴된 위치를 나타낸다. 본 절에서 소개

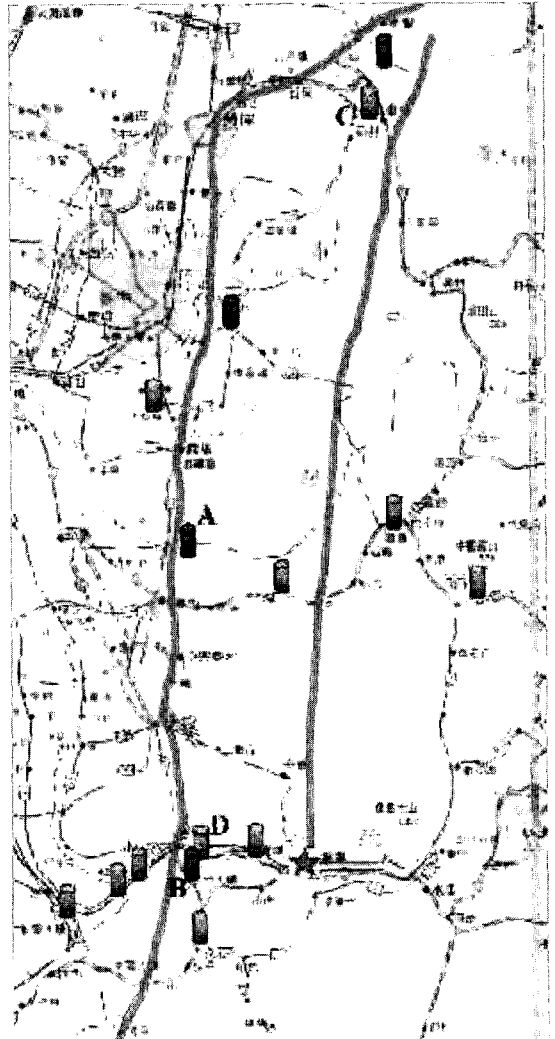


그림 17. 샤롱파오 단층대 인근의 교량파괴 위치

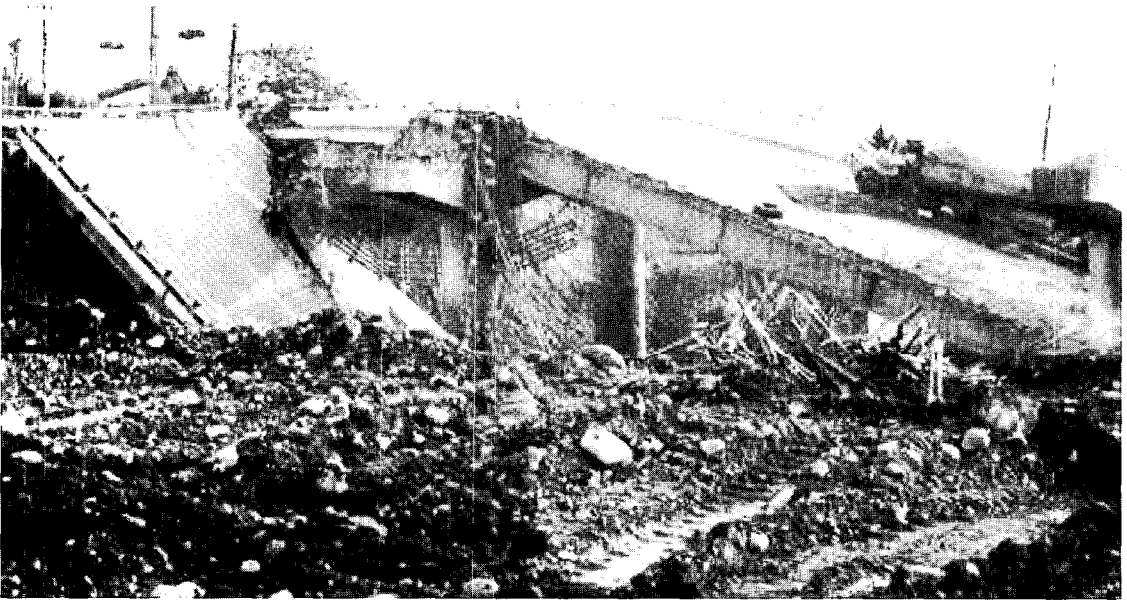


그림 18. 쉼우산(竹山)과 타이중(台中)을 연결하는 교량의 파괴



그림 19. 쉼우산(竹山)과 타이중(台中)을 연결하는 교량의 우측 부분

하는 파손된 교량은 쥬우산(竹山), 다이핑(太平)과 시강(石崗) 등에 위치한 교량들이다. 그림 18는 쥬우산(竹山)과 타이중(台中)을 연결하는 교량으로 이 교량이 붕괴되어 교통의 차단을 유발하였다. 이 교량의 길이는 약 300m 정도로 상판이 모두 낙교되어 교량으로서의 기능을 완전히 상실하였다. 긴급 대책반은

교량과 나란히 하천을 매립하여 우회도로를 설치하고 교통의 소통을 원활히 하고 있었다. 낙교된 상판 위에는 대형 트럭이 그대로 방치되어 지진당시 교량을 지나던 트럭이 상판과 함께 떨어졌음을 알 수 있다.

4.3.3 기타

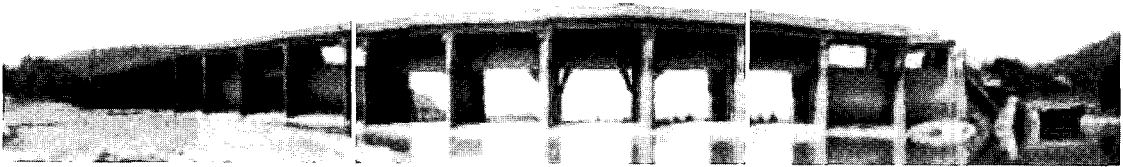


그림 20. 상류쪽에서 바라본 붕괴담 댐의 전경



그림 21. 상류쪽에서 본 댐의 파손부분



그림 22. 지진에 의해 파손된 상수도관

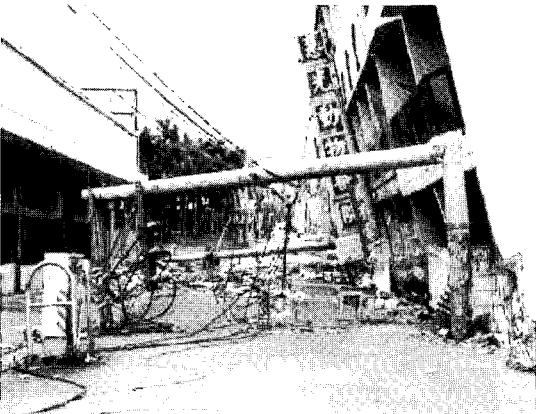


그림 23. 건물의 붕괴와 더불어 발생한 전신주 피해



그림 24. 도로를 가로지르는 단층



그림 25. 산사태로 산의 정상부분이 갈라진 모습



그림 26. 액상화에 의한 지반침하



그림 27. 철도의 뒤틀림



그림 28. 도로사면의 붕괴