

대만 지진피해평가 system에 대한 검토

강 익 범 (정회원, 한국지질자원연구원)

요 지

대만 국가과학위원회에서는 1998년에 지진재해·구조물 피해·사회경제적 손실을 위한 연구를 위해 HAZ-Taiwan 연구 project를 착수하였다. 관련 software인 TELES(Taiwan Earthquake Loss Estimation System)는 3가지 목표를 위해 다양한 입력 및 분석 module로 구성되어 있다.

1. 피해 지진후 재해 평가
2. 재해복구계획 및 가상 시나리오 제공
3. 재해보험을 포함한 재해대응방안 제시

본 논문은 초기재해평가에 이용될 분석 modules개발 및 적용에 초점을 맞추고 있으며, 분석 module은 지반운동 강도·액상화·건물피해 및 사상자 평가분석을 포함하고 있다.

• 핵심용어 : 지진재해, 지반운동강도, 액상화

1. 서론

지진에 대한 위험이란 지진발생에 대한 재산 및 인명 피해의 확률로 정의할 수 있다. 이러한 정의를 기초로 GIS와 PC를 결합한 지진재해평가방법이 미국에서 개발되었다. 방법과 관련 software는 HAZUS(RMS, 1997)에 소개되어 있다. 필수적으로 HAZ-Taiwan project와 관련 software TELES가 HAZUS형태를 추구하였다. TELES는 Taiwan의 특수환경 및 공학적인 실습등을 적용했을 뿐만 아니라 최신기술을 반영하여 HAZUS에 포함한 분석 model과 인자들을 변경시켰다. 또한, HAZUS에는 없는 자동분석 재해분석기능을 추가하였다.

HAZ-Taiwan project는 지진재해를 완화시키고

재해로부터 신속히 대응하고 복구하는 방안을 강구하고자 하는 것이다. 또한 표준화된 위험평가 및 손실평가방법을 제공하는 것이다. 표준화된 방법은 지방 및 중앙정부에 효율적으로 재해에 대처하는 방안과 효과적으로 자원과 지식을 공유할 수 있는 방법을 제공해 준다.

관련된 software인 TELES는 다음 기준에 의해 개발되었다.

1. 표준화
2. 편리성
3. 다양한 계층이 이용
4. 입출력 변경이 가능
5. 유연성
6. 최신 model 및 인자적용

이러한 기준은 HAZUS와 비슷한 것이나 기능면을 최신화한 것이다.

2. 본 론

2.1 지진재해

HAZ-Taiwan은 크게 3가지로 분류할 수 있다(그림 1 참조).

- 1) 자료수집
- 2) 재해분석 modules 개발
- 3) software적용 및 재분석

입력자료는 3가지로 분류할 수 있는데 3가지는 다음과 같다. 첫째로 GIS정보, 둘째로 지진재해로 및 지질로, 셋째로 분석인자이다. 분석 module은 입력 자료를 기초로 하여 가상 시나리오를 통한 재해 및 손실평가를 분석하는 것이며 PC에서 GIS software를 이용하여 table 또는 graph형태로써 입출력을 표현할 수 있다.

HAZ-Taiwan project의 성공 여부는 database 구축에 크게 의존한다. database구축은 장시간의 기간이 소요되며 막대한 비용이 소요되는데 자료는 사

용과 기능에 따라 분류할 수 있다. 공학적인 면에서 4가지로 분류하면 다음과 같다.

1. 건물
2. 기간 시설물
3. 교통
4. 전기·상하수도

위의 4가지는 특수한 사용목적에 따라 세분할 수 있다. 자료는 지반운동강도 및 지반 붕괴정도를 측정하기 위해 구조물 형태, 내진 성능등에 따라 분류할 수 있으나 자료 내용에 크게 의존한다.

분석 modules은 다음과 같은 4가지로 되어 있다.

1. PESH (potential earth science hazard)분석
2. 직접적인 1차 피해 분석
3. 간접적인 2차 피해 분석
4. 사회·경제적 손실 분석

각 module은 상호 보완적으로 한 module의 출력은 다른 module의 입력으로 사용될 수도 있다. 전체적인 수정없이 입력과 module이 추가 및 교체가 가능하도록 되어있다. 부분적인 평가와 지방 피해 평가 분석도 가능하도록 구성되어 있으며 사용자에게 편리하고 다양한 service를 제공하도록 되어 있으나 이를 위해서는 입력자료의 정확성을 요구하고 있다.

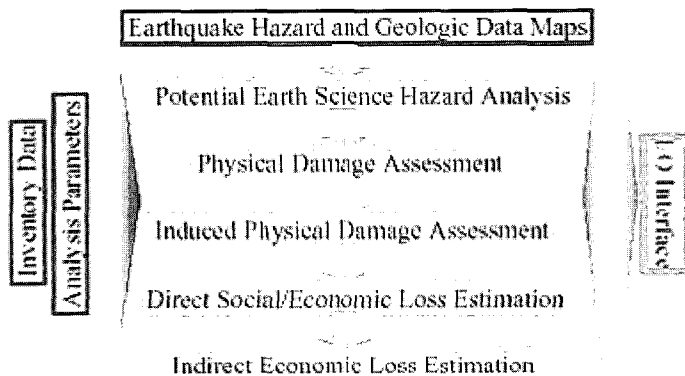


그림 1. Methodology framework of HAZ-Taiwan.

2.2 지반운동강도

지반운동강도 PESH module은 지반운동 및 지반 붕괴정도를 제공한다. 지진 시나리오와 국지적인 지질조건을 기초로 하여 지반운동은 반응스펙트럼과 최대가속도와 속도(PGA와 PGV)로 나타낼 수 있다. 반응 스펙트럼은 0.3초와 0.1초 주기에서의 스펙트럼 가속도값인 S_{as} 와 S_{al} 값으로 나타낼 수 있으며, 액상화 정도 및 지반변형(PGD)도 측정된다. 해일과 홍수같은 재해는 현TELES에서는 취급되지 않는다.

첫단계는 지진 source인자를 결정하는 것이다. source인자를 결정하는 방법중 결정론적 방법은 3가지가 있는데 다음과 같다.

- ① 역사적 지진 규모값
- ② 활성단층
- ③ 임의 지진 규모값

source인자값에는 발생시간·규모·진앙위치 및 깊이를 포함하고 있으며 단층일 경우 정·역·단층등 단층종류·단층방향·단층의 길이·넓이·경사각등이 제시

되어야 하며 Wells등(1994)이 사용한 경험식을 이용하기도 한다.

2.3 액상화 정도

배수가 제대로 이루어지지 않았을 시 대규모 지진이 발생한다면 횡단력이 전무하므로 액상화 현상이 일어나게 된다. 액상화 발생요인으로 지반진동강도 및 지속시간과 지하수면의 깊이등을 들 수 있는데 PGA는 지반진동의 강도를 나타낼 때 지진규모는 진동의 지속시간을 나타낼 때 사용한다.

HAZUS와 마찬가지로 액상화 정도는 6가지로 “매우 높음”, “높음”, “중간정도”, “낮음”, “매우 낮음”, “없음”으로 분류한다.

Yeh등(2002a)은 11,000시추공자료를 이용 대만에서 액상화 정도를 분류하였으며 경험식을 유도하기도 하였다.(Yeh et al, 2002b). 또한, 지진규모, PGA 및 지하수 깊이등을 이용하여 경험식을 유도할 수 있다.

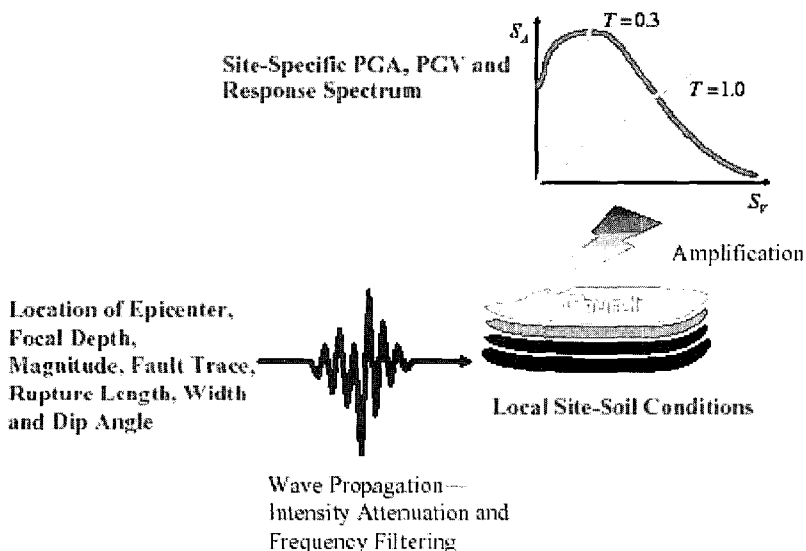


그림 2. Procedures in estimation of ground motion intensities.

2.4 건물피해 예측

건물은 손실과 사상자를 예측하기 위해 구조별·내진설계별·용도별로 구별한다. 건물에 대한 과세자료가 건물 분류시 중요한 자료로 이용된다. 구조별로는 15 가지로 분류되는데 wood(L), steel(L, M, H), light steel(L), reinforced concrete(L, M, H), pre-cast concrete(L), reinforced masonry(L, M), un-reinforced masonry(L) and steel reinforced concrete(L, M, H)로 분류되며 L은 저층, M은 중층, H는 고층건물을 나타낸다. 구조별 건물은 다시 4가지 내진설계별로 high-, moderate-, low- and pre-seismic design으로 분류된다. 분류된 건물은 건축연도·지진발생지역·부지 효과등에 의해 총 floor면적 단위로 계산된다. 여기서 교각과 터널은 점으로 표시되며 고속도로와 공항 활주로는 선으로 표시된다.

TELES는 지반운동과 액상화등을 고려하여 구조별·내진설계별로 건물의 피해 확률을 예측하는데 과정은 그림 3에 도시되어 있다. 지지 지진발생후에 수집한 다양한 자료를 통해 각 구조별 건물형태에 대한

seismic capacity curve와 fragility curve 및 내진설계정도를 결정할 수 있었다.

2.5 사상자 예측

TELES는 건물의 붕괴에 의한 사상자를 계산한다. 화재·댐 붕괴·교각 붕괴등에 의한 사상자는 TELES에서는 고려하지 않는다. 그림 4에서 사상자계산 첫 단계로 시간별 인구의 분포를 예측하는데 3가지 시간별 낮, 밤, 통근시간으로 구별한다. 인구밀도(단위 floor당 인구수)는 3가지 시간별로 각 용도별로 예측될 수 있는데 각 주거형태별 총 floor면적은 과세자료로부터 추출되기 때문에 인구 이동형태는 인구밀도나 floor면적을 곱함으로써 계산될 수 있다.

사상자 예측은 4가지 형태로 분류할 수 있는데 다음과 같다.

1. 병원입원이 필요 없는 가벼운 경상
2. 중상
3. 신속한 병원 입원이 필요한 심각한 중상
4. 사망 혹은 사망에 가까운 중상

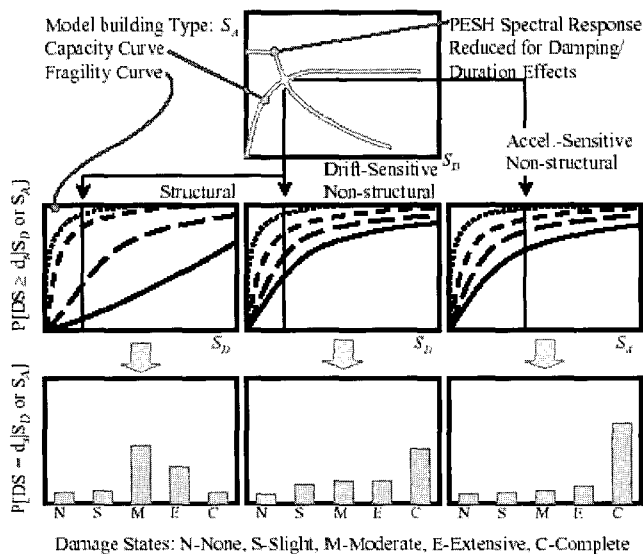


그림 3. Damage assessment of general building stocks.

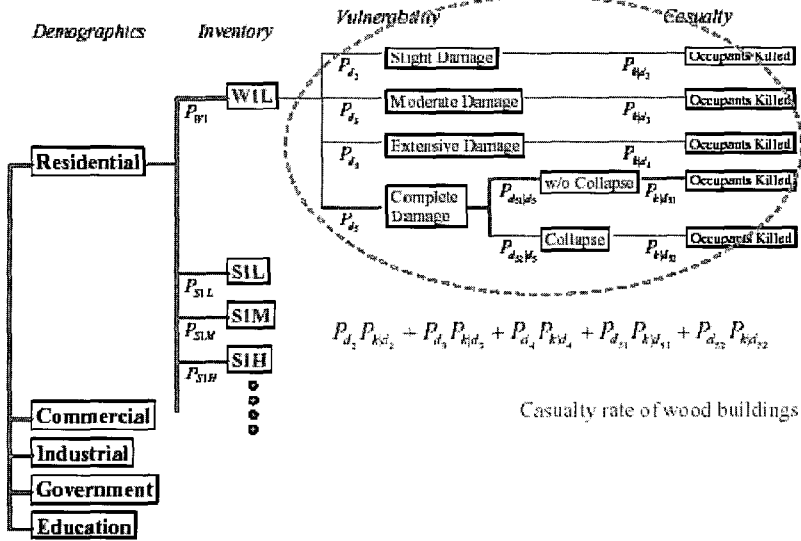


그림 4. Assessment of casualties caused by building damage.

구조적·비구조적 피해에 의해서 건물별로 다양한 정도의 피해별로 사상자를 예측할 수 있으며 건물피해는 붕괴와 비붕괴로 분리할 수 있다. 병원기능상실과 인명피해에 관한 정보를 공유함으로써 피해자에 대한 신속한 대응방안을 제시할 수도 있다.

2.6 software구조

Software TELES는 Visual, C++, MapInfo와 호환이 가능한 MapBasic으로 쓰여졌다. TELES는 GIS에서 널리 사용하고 있는 Map Info의 기능 및 사용법을 종합하였다.

TELES에서의 MapInfo의 기능은 기록을 편집하여 보여주고 다양한 자료를 지도에 표시하는 것이다. 수치계산은 C++와 FORTRAN으로 계산되며 각각의 module에서의 계산은 독립적이어서 다른 module에 영향을 끼치지 않는다. TELES는 여러 개의 문서 및 자료를 동시에 볼 수 있게 되어있기 때문에 비교가 용이하고 입출력자료의 관계의 이해를 넓힐 수 있도록 한다. 지진발생과 지진 scenario는 별도의 win-

dow를 통해서 볼 수 있도록 구성되어 있다.

2.7 초기손실측정 system

HAZUS와 같이 TELES는 가상지진scenario를 구상하는데 결과물은 지진 방재계획 및 대체 우선순위를 정하는데 이용된다. 재해예측은 database구축 여부에 크게 의존하므로 기간시설물 및 lifeline system의 공간적 분포 및 내진성 측정이 필요하다. TELES는 신속대응 system의 역할시 편리해야 하며 자동분석이 이루어져야 하므로 지진발생 전에 모든 절차등이 이미 갖추어져 있다.

TELES에서는 초기손실측정 module이 이미 개발되어 있다. 지진발생시 대한중앙기상청에서 지진발생 상황을 메일로 보고하고 있는데, TELES는 계속적으로 메일을 확인하고 대규모 지진발생시 자동적으로 이를 인식하고 분석을 시작하며 분석까지 마치는 시간은 2분내에 종료한다. 지진이 미치는 지역은 지반 운동강도에 의해 표시되며 PGA가 80cm/sec²이상 지역은 분석해당지역이 된다. 지반운동강도·액상화

정도·건물피해·사상자등이 각 시군별로 계산되며 중요사항은 지도와 table로 표시된다. 지도와 table은 중앙비상재해center長과 지방비상재해center長에게

매우 유용하다. 또한 저층·중층·고층 건물별로 피해를 산출할 수 있다.

초기손실측정 system은 3단계로 나눌 수 있는데

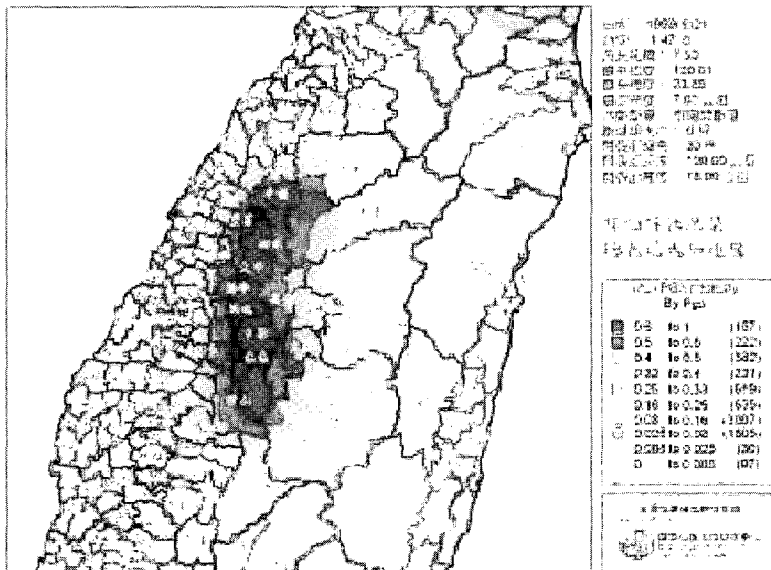


그림 5. Estimated distribution of peak ground acceleration in Chi-Chi Taiwan earthquake. The black line represents the trace of Chelongpu fault

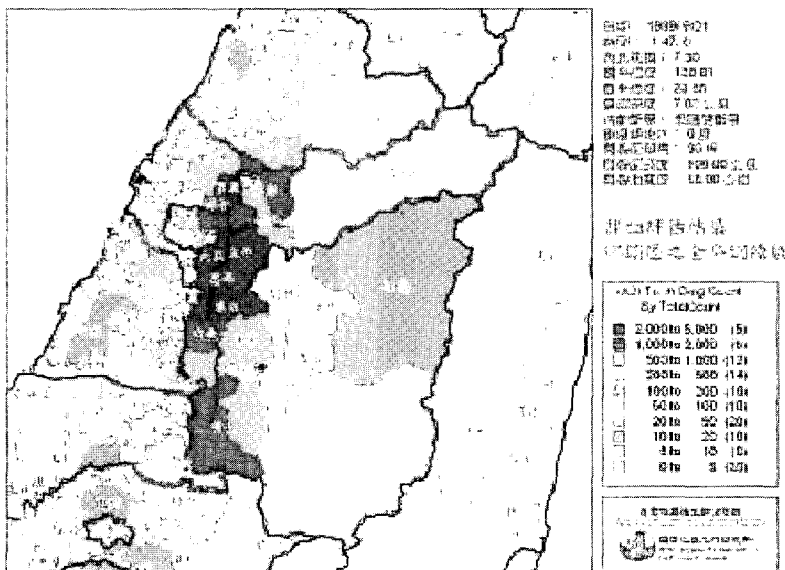


그림 6. Estimated distribution of building counts in at least severe-damage state in Chi-Chi Taiwan earthquake.

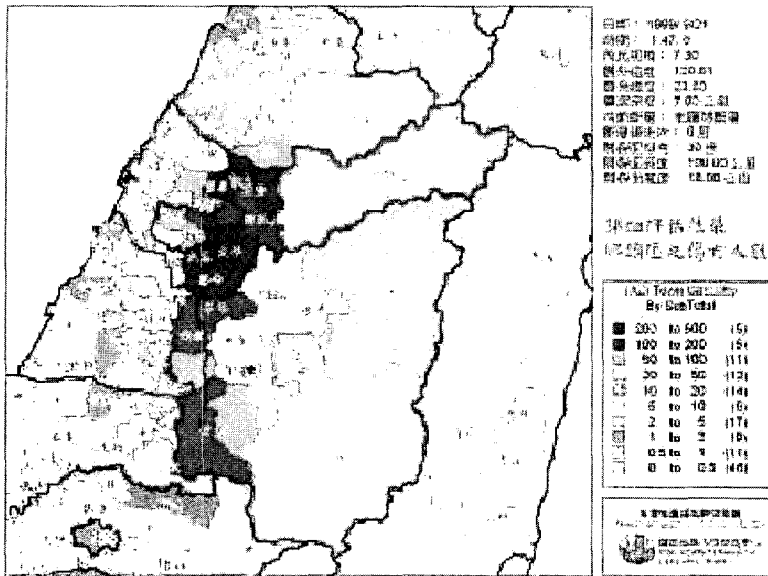


그림 7. Estimated distribution of casualties in injury levels 3 and 4 in Chi-Chi Taiwan earthquake.

첫단계는 TELES가 대만중앙기상청의 지진통보를 메일로 받아 point source를 이용하여 지반운동강도와 피해를 예측하는 것이다. 이 단계에서는 지진크기·깊이·발생위치만을 사용한다. 대규모 지진일 경우 단층활동도 이용하는데 단층의 방향·경사각·길이·넓이 등이 이용된다. 두 번째 단계에서는 가상의 지진 발생원인 분석을 통해 재해의 정도 및 재해분포를 예측하는 것이다. 실제 재해정보가 수집되고 지진발생 원인이 규명되면 세 번째 단계가 실행되어 가장 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있다. 그림 5, 6, 7은 지지 지진발생시 야기된 PGA, 건물피해 및 사상자들을 예측

한 결과를 보여주고 있다.

3. 결론

TELES는 HAZ-Taiwan의 연구 성과물의 일부이며 피해지진 발생 후 재해복구계획 및 재해대응system을 적용하기 위한 것이다. 머지않은 장래에 TELES는 확률론적 지진험도분석방법을 적용할 것이며 각 군의 최대 확률값 및 고유의 보험정책을 제안할 것이다.

참고문헌

Risk Management Solution, Inc. (1997), Earthquake Loss Estimation Method- HAZUS 97 Technical Manual, National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.

Wells, K. L. and Coppersmith, K. J. (1994), "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement", Bulletin of Seismological Society of America, 84, 4, pp. 974-1002

- Wu, Y.M., Shin, T.C., and Chang, C.H. (2001) "Near real-time mapping of peak ground acceleration and peak ground velocity following a strong earthquake", *Bulletin of Seismological Society of America*, 91, 5, pp.1218-1228
- Jean, W.Y. (2001) "A study on the characteristic earthquake and site effects and its application to the hazard evaluation", Report of National Center for Research on Earthquake Engineering, NCREE-01-036
- Boore, D.M. Joyner, W.B. (1997) "Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western north American earthquakes : a summary of recent works", *Seismological Research Letter*, 68, pp.128-153
- Yeh, C.H., Jean, W.Y., and Chung, L.L. (2003) "Development of early estimation system for seismic disasters in Taiwan", submit to review in *Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*
- Yeh, C. H., Hsieh, M.Y., and Loh, C.H. (2002a) "Classification and parametric study on soil liquefaction potential", *Proceedings of the Second Japan-Taiwan Workshop on Lifeline Performance and Disaster Mitigation*, Kobe, Japan, May 13-15
- Yeh, C.H., Hsieh, M.Y., and Loh, C.H. (2002b) "Estimations of soil liquefaction potential and settlement in scenario earthquakes", *Proceedings of the Canada-Taiwan National Hazards Mitigation Workshop*, Ottawa, Canada, July 17-19