

우리나라의 지진특성

노 명 현

원자력안전기술원

요 약

한반도는 판 내부지역으로서 지구조적 과정이 느리게 진행된다. 그 결과 지진발생빈도가 낮으며 불규칙한 지진발생특성을 보인다. 우리나라에는 약 1900년 간의 역사지진기록과 약 100년 간의 계기지진자료가 있어 지진발생특성 연구에 중요한 정보를 제공하고 있으나, 이들 지진자료를 이용할 때에는 자료의 신뢰성과 정밀도에 유의할 필요가 있다.

1. 서 론

우리나라는 지진에 대하여 안전지대로 생각되어 왔다. 그러나 1990년대 들어 일본 고베 지진(1995, M=7.2), 중국 운남성 지진(1996, M=7.0)과 같은 대규모 피해를 유발한 지진이 인접국가에서 발생하고, 우리나라에서도 영월지진(1996, M=4.5), 경주지진(1997, M=4.2) 등 중규모 지진이 발생함에 따라 사회적으로 지진안전성에 대한 우려와 관심이 고조된 바 있다. 이는 국가 지진관측을 담당하는 기상청의 지진관측망을 대폭적으로 개선·확충하는 계기가 되었다(기상청, 2001).

이 논문에서는 지진학을 전공하지 않은 지질학자 및 지질공학자를 대상으로 우리나라의 전반적인 지진특성을 제시하였으며, 지진특성 분석의 기반이 되는 지진자료의 현황을 소개하였다. 모든 지구과학 정보가 그러하듯이, 지진자료 역시 지하에서 진행되는 지구활동에 대하여 시·공간적으로 제한된 정보만을 제공하며 많은 불확실성을 내포하고 있으므로 지진자료 활용방법의 소개와 함께 활용의 제한성을 진단하였다. 이 논문은 우리나라 지진활동의 전반적인 특성을 소개하는데 주안점을 두었기 때문에 결론을 제시하지 않았다.

2. 판구조적 환경

지진은 암권(Lithosphere) 변형의 산물이며, 변형은 응력에 의하여 발생한다. 암권의 변형을 초래하는 응력은 판(Plate)과 판 사이의 상호작용과 밀접한 관계가 있으므로, 지진특성을 이해하기 위해서는 판구조적 환경에 대한 정보가 필요하다. 판구조적으로 우리나라는 유라시아판에 속한다. 유라시아판과 활발한 상호작용을 하는 판으로 인도판, 필리핀판, 태평양판을 들 수 있다. 필리핀판과 태평양판은 해양판으로서 유라시아판의 동남측에서 섭입(Subduction)하며, 인도판은 대륙판으로서 유라시아판의 남측에서 충돌하여 히말라야산맥을 형성한다. 일반적으로 섭입경계의 경우 대부분의 응력이 경계부에서 방출되나 충돌경계에서

는 상대적으로 많은 응력이 판 내부까지 전파한다. 우리나라에 가장 가까운 판 경계는 태평양판의 섭입경계 중 하나인 Ryukyu Trench로서 약 600 km 동남쪽에 위치한다. 거리로는 그다지 멀지 않으나, 섭입경계의 특성 상 대부분의 응력이 경계부에서 방출되므로 우리나라의 지진활동은 판 내부(Intra-plate) 지진의 특성을 보인다. 판 내부 지진의 특성은 1) 지진 발생빈도가 낮고, 2) 시간적 주기성이 약하며, 3) 공간적으로 발생위치가 분산된다는 것으로 요약할 수 있다.

우리나라 지진의 근원이 되는 응력은 주변 판과의 상호작용에 기인하는데, 판 사이의 상호작용의 수준은 판의 이동속도와 접촉유형에 따라 결정된다. 유라시아판, 태평양판, 필리핀판, 인도판의 이동속도는 각각 약 2.6 cm/yr, 7.1 cm/yr, 3.9 cm/yr, 5.5 cm/yr이다. 판 사이의 상호작용은 판 자체의 이동속도보다 상호간 상대속도와 밀접한 관계가 있다. 유라시아판에 대한 태평양판, 필리핀판, 인도판의 상대적 이동속도는 각각 약 9.7 cm/yr, 6.5 cm/yr, 5.3 cm/yr이다. 우리나라를 중심으로 볼 때, 판 경계까지의 거리와 상대적 이동속도를 고려하면 태평양판이 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 실제로 우리나라 북동부 동해에서 발생하는 심발지진은 유라시아판 밑으로 섭입된 태평양판에서 발생한 것으로 추정된다. 그러나 전술한 바와 같이 태평양판과의 경계는 섭입경계로서 대부분의 에너지가 경계부에서 방출되고, 더욱이 섭입된 태평양판이 우리나라에 근접할 때에는 이미 지하 수 백 km 하부의 연약권(Asthenosphere)까지 하강한 상태이기 때문에 진원깊이 70 km 이하의 천발지진이 전적으로 태평양판과의 상호작용에 의하여 발생한다고 보기는 어렵다. 반면에 인도판은 거리도 멀고 상대적 이동속도도 작으나 충돌경계의 특성상 판 내부 지역까지 응력이 효과적으로 전달될 수 있다. 이러한 이유로 우리나라의 지진발생을 인도판과 연계하는 학자도 있다.

3. 지진활동의 통계적 분석

3.1 지진의 기술

지진을 기술하는 가장 기본적인 요소를 지진원 요소(Origin parameter)라고 한다. 지진원 요소는 지진의 발생시각 및 위치, 크기를 말한다.

어떤 지점에서 발생한 지진이 다른 지점에 도달하기까지 일정시간이 소요되므로 시각과 위치는 상호 결부되어 동시에 추정된다. 발생시각은 지진계를 이용할 경우 보통 1초~0.1초 크기까지 결정된다. 지진이 발생한 위치를 진원(Hypocenter)라 하며, 진원은 지하에 존재한다. 진원을 지표에 투영한 지점을 진앙(Epicenter)라고 하며, 위도와 경도로 표기한다. 진앙에서 지표까지의 거리를 진원깊이(Focal depth)라고 하며 km로 표기한다.

지진의 크기는 진도(Intensity) 또는 규모(Magnitude)로 기술한다. 진도는 사람의 느낌, 자연현상(지면균열, 사태, 물이나 토사의 분출 등), 구조물 피해(건물의 붕괴, 선로 이탈 등)의 정도를 등급화한 것으로서 로마자의 대문자로 표기한다. 지역에 따라 그 지역의 구조물

특성에 적합한 진도척도를 개발하여 이용해 왔다. 현재까지 가장 많이 쓰이는 진도척도는 MM 진도라고 불리는 수정머컬리 진도척도(Modified Mercalli Intensity Scale)로서 진도 I (무감, 무피해)부터 진도 XII(대부분의 구조물 파괴, 지면 가속도 1g 이상)까지 12 등급으로 구성된다. 그러나 진도는 지진계가 설치되기 이전에 이용되던 척도로서 지금은 지진피해의 개략적인 표현에 사용될 뿐 지진의 크기를 기술하는데는 더 이상 이용되지 않고 있다. 규모는 지진계로 측정한 지면진동의 진폭으로부터 계산된 지진의 척도로서, 이 개념을 최초로 도입한 Richter의 이름을 딴 Richter 규모가 가장 널리 알려져 있다. 그러나 Richter 규모보다 실체파 규모(m_b), 표면파 규모(M_s)가 더 널리 사용되어 왔으며, 최근에는 모멘트 규모(M)로 통일되는 추세이다.

3.2 통계분석 모델

지진활동의 통계적 분석에 아래의 규모-빈도 관계식이 가장 보편적으로 이용된다.

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

위 식에서 M 은 지진의 규모이고 N 은 규모 M 보다 크거나 같은 지진의 발생빈도이다. 계수 a 와 b 는 대상 지역의 지진활동 특성을 나타내는 양의 상수이다.

상수 a 는 그 지역의 지진발생빈도와 관계가 있다. a 가 클수록 지진이 많이 발생하는 지역이다. 예를 들어 규모 0 이상의 발생빈도는 $N = 10^a$ 개이다. 상수 b 는 규모에 대한 지진빈도의 분포를 나타낸다. b 가 클수록 전체 지진빈도 중 작은 규모의 지진이 차지하는 비율이 높다. 전 세계 지진에 대한 평균은 $b \approx 1$ 이다. 이 경우, 규모가 1 증가할 때마다 지진의 발생빈도는 1/10로 감소한다. 만일 $b = 2$ 라면, 규모가 1 증가할 때마다 지진의 발생빈도는 1/100로 감소한다.

3.3 역사지진 자료

역사지진이란 역사문헌에 기록된 피해보고로부터 추정된 지진을 말한다. 지진(地震)에 관련된 표현은 “삼국사기”에서 서기 2년 8월(고구려 유리왕 21년)에 처음 등장한다. 전술한 바와 같이 우리나라는 판 내부지역으로서 지진빈도가 낮다. 따라서 관측기간이 약 100년에 불과한 계기지진자료에 비하여 약 2,000년의 역사지진자료가 장기적인 지진특성에 많은 정보를 제공한다. 그러나 역사지진은 근본적으로 정성적 정보를 제공하므로 그 정확도가 계기지진에 비하여 매우 낮다는 점을 염두에 두고 분석에 이용해야 한다. 역사지진 평가에 불확실성을 초래하는 주요 요인은 다음과 같다.

- 피해의 원인: 지진이 아닌 다른 원인에 의한 피해의 가능성
- 진앙 위치: 당시의 수도 및 대도시에 집중, 중국 지진의 가능성

○진도 평가: 정성적, 주관적 특성으로 인해 평가자간 편차 심각
 상기 요인으로 인하여, 역사지진목록은 편집자(평가자)마다 심각한 차이를 보여 이를 활용하는데 큰 장애가 되고 있다. 표 1은 2가지 역사지진목록을 비교한 결과를 보여준다. 목록 A에서 MM 진도 VIII이 3회, IX가 7회로 평가된 반면, 목록 B에서는 VIII만 6회이고 IX는 없다. 특히 목록 A에서 진도 IX로 평가한 7회의 지진 중 3회는 목록 B에서 지진으로 보지 않았으며, 진도 VIII의 지진 중 1회는 목록에 등재되지 않았다.

표 1. 경주 인근에서 발생한 것으로 추정되는 MM 진도 VIII 이상의 평가현황 비교.

년	월	피해 현황	MM 진도	
			목록 A	목록 B
34	2	땅이 갈라지고 샘이 솟음	IX	NE
100	10	가옥이 무너지고 사람이 죽음	IX	VIII
123	5	집이 가라앉고 모래가 분출됨	IX	NE
304	8	샘이 솟음	VIII	VIII
	9	가옥이 무너지고 사람이 죽음	IX	VIII
458	2	남대문이 손상됨	VIII	VIII
471	3	땅이 갈라지고 샘이 솟음	IX	NE
510	5	가옥이 무너지고 사람이 죽음	IX	VIII
630		궁궐의 땅이 갈라짐	VIII	ND
779	3	가옥이 무너지고 약 100명이 죽음	IX	VIII

NE: 지진으로 판단하지 않았음, ND: 목록에 수록되지 않았음.

그럼에도 불구하고 역사지진은 우리나라의 지진활동과 관련하여 몇 가지 중요한 정보를 제공하고 있다. 역사지진의 발생빈도를 보면, 16, 17세기 때 지진활동이 유난히 활발했음을 알 수 있다. 이 시기에는 지진뿐만 아니라 한발(旱魃), 하기(夏期) 중 우박(雨雹) 등 자연재해가 심각했는데, 이에 대하여 이 시기가 소빙기(小氷期)였다는 주장도 있다. 이로부터 개략적으로 평가할 때, 우리나라의 활발한 지진활동 약 1,500년 이상의 주기로 반복되며, 100년~200년 간 지속된다고 할 수 있다.

3.4 계기지진 자료

우리나라의 계기지진자료는 1900년대 초부터 약 100간의 관측자료이다. 그러나 국내 지진관측망 관측을 통해 체계적으로 작성된 지진목록은 1978년부터 시작된다(기상청, 2001). 따라서 관측시기, 관측 주체에 따라 관측의 정확성이 크게 변하며, 지진의 규모도 실제과 규

모, 표면과 규모, 쓰보이 규모 등 상이한 지진규모가 혼용되어 일관성 있는 지진특성 분석에 장애가 되고 있다.

1978년 이후의 기상청 지진목록에 대한 주요 분석결과를 기술하면 다음과 같다. 기상청 지진목록(기상청, 2001)에 기재된 최소지진의 규모는 1.9이나, 이것이 규모 1.9 이상의 모든 국내지진을 계측했다는 것을 의미하는 것은 아니다. 지진관측소가 밀집된 지역에서는 상대적으로 작은 지진까지 계측하지만, 관측소가 성긴 지역에서는 그렇지 않다. 일례로 2000년대 이전에 기상청 발표 연평균 지진발생빈도는 20회~30회 정도였으나, 그 이후에는 40회를 초과하여 한반도의 지진발생빈도가 증가했다는 해석이 제시되기도 하였다. 그러나 규모 3 이상의 지진은 연평균 약 10회 미만으로서 변화가 관찰되지 않는다. 이는 1990년 후반부터 시작된 기상청 지진관측망 보강과 관련하여 해석할 수 있는데, 지진관측소가 조밀해짐에 따라 이전에는 관측되지 않았던 작은 지진이 관측되었기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 이를 정량적으로 분석해 보면(노명현 외, 2000), 기상청 지진목록은 83% 일치수준에서 규모 3 이상에 대하여 완벽하게 기재된 것으로 나타난다. 이 경우 식 (1)의 지진활동 변수는 $a = 5.66$, $b = 1.11$ 로 나타나며, 규모 2.0~3.0 사이의 지진 중 연간 110여 개가 관측에서 누락된 것으로 추정된다.

기상청 관측 지진의 진앙위치를 보면, 진앙 밀집 지역이 한반도 서부에서 남-북 방향으로 내려오다 남부에서 동-서 방향으로 이어지는 'L' 형태를 보인다. 이 형태는 우리나라의 주 선구조 방향인 북북동-남남서 방향과 일치하지 않아, 현재 발생하는 지진이 북북동-남남서 방향의 선구조 또는 이를 형성한 응력과 직접적으로 연관되지 않을 수 있다는 가능성을 시사한다. 여기에서 지진과 (알려진) 지표단층과의 관계를 규명하기 위해서는 계기지진 위치의 정확도를 검토해 볼 필요가 있다. 기상청은 진원깊이를 발표하고 있지 않으며, 진앙은 위도 및 경도를 소수 첫째 자리까지 발표한다. 위도를 기준으로 0.1° 는 약 10 km에 해당하므로, 이 정도 오차를 갖은 진앙을 단층과 결부시켜 해석하기에는 무리가 있다. 지진과 단층의 연관성을 규명하기 위해서는 좀 더 조밀한 지진관측망이 요구된다. 그러나 전국을 대상으로 조밀한 지진관측망을 구축하는 것은 적절하지 못하며, 지진과 연관된 것으로 추정되는 단층을 중심으로 별도의 조밀한 국지관측망을 설치하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

지진관측망을 아무리 조밀하게 설치하더라도 진원 위치의 정확도 향상에는 한계가 있다. 반면에 소규모 단층까지 포함하면 반경 1 km 안에 수 개~수십 개의 단층이 포함될 수 있고, 더욱이 지표에 드러나지 않은 지하단층도 있다. 따라서 진원 위치의 정확도에 더하여 '지진의 크기'와 '지진활동의 일관성'을 함께 고려해야 한다. 지진의 크기 및 지진활동의 일관성을 고려한다는 것은, 단층이 적어도 규모 5 이상의 '수' 개의 지진과 연관될 경우, 큰 지진의 여진(After shock) 분포와 연관될 경우, 또는 지속적으로 발생하는 많은 중·소규모의 지진과 연관될 경우에 비로소 지진과 단층의 연관성을 말할 수 있다는 것을 의미한다.

4. 참고문헌

노명현, 이상국, 최강룡, 2000. 지진활동 매개변수 추정을 위한 기상청 지진목록의 최소규모 분석, 지구물리, 제3권, 제4호, pp.261-268.

기상청, 2001. 지진관측보고, 발간등록번호 11-1360000-000052-14, 서울.