

콘크리트구조물의 내진상세 및 보강대책

한반도의 지진활동 : 과거, 현재, 미래

Seismicity of the Korean Peninsula: The Past, Present and Future



김성균*

〈 편집자 주 〉

지난해 12월 13일 강원도 영월군을 진앙지로 한 규모 4.5의 중형지진이 발생하여 제주도를 포함한 한반도 전역에서 콘크리트 벽체에 금이 가는 등의 피해가 있었다. 특히 이번 지진 직후 건설교통부는 시행중인 내진 설계기준이 지진으로 인한 인명과 재산피해를 최소화하는데 미흡하다고 보고, 주요 구조물별로 우리 지반의 특성에 맞는 세부 내진 설계 기준을 마련, 98년부터 시행키로 했다고 밝혔다. 이러한 시점에 이번 우리 학회에서 한반도 지진 활동의 현황과 우리나라에서 경험하지 못한 강한 지진으로 인한 철근콘크리트 구조물의 피해는 과연 어떠한 것인가를 알아보고, 그 적절한 철근콘크리트 구조물의 내진 대책은 어떠한가 하는가의 교훈을 삼고자 본 특집을 준비하였다. 이를 위해 가장 최근에 발생하여 막대한 인명과 재산피해를 끼친 일본 고베 지진과 미국 노드리치 지진에 의한 철근콘크리트 구조물의 피해를 분석하며 적절한 보수·보강 대책을 소개하고자 한다. 또한 합리적인 내진설계에 유용하게 사용될 수 있는 철근콘크리트 구조물의 동적비선형 해석을 포함한 지진응답해석에 대해 알아보고 철근콘크리트 구조물의 내진설계 상세에 대해 소개하고자 한다.

한정된 시간과 지면에도 불구하고 특집 원고를 집필해 주신 필자 여러분께 감사드리며 본 특집이 철근콘크리트 구조물의 내진 연구에 좋은 참고가 되기를 바라마지 않는다.

(특집주간 : 연세대학교 토목공학과 송하원 교수)

1. 서 언

지난해 12월 13일 영월 동쪽 20km 지점(128.8° E, 37.2° N)에서 발생한 규모 4.5의 지진은 한반도 거의 전지역에 걸쳐 감진되었다. 이 지진은 국가적, 사회적으로 지진에 대한 경각심을 높이게 되었으며, 지진연구와 지진방재에 대한 근본적인 대책수립을 위한 활발한 논의를 불러일으키는 계기가 되었다. 이와 같은 지진에 대한 대책수립의 필요성은 1978년의 홍성지진과 그 후의 멕시코지진, 고오베지진 발생 직후에도 제기되었으나 일부 건축물에 대한 내진설계 기준을 작성한 것외에 뚜렷한 성과가 없다고 볼 수 있다.

다행히도 금번 발생한 영월지진으로 인한 피해는 진앙지부근에서 극히 경미하게 나타났으나, 홍성지진에 의한 피해는 당시의 금액으로 약 4억원에 달하는 것으로 알려져 있다. 최근의 경제발전이 따른 산업시설의 밀집과 인구집중으로 보아 만일 20여 년전

* 전남대학교 자연과학대학 지구환경과학부 교수

에 발생한 홍성지진과 같은 규모(대략 5.0)의 지진이 현재의 도시화된 지역에서 발생한다면, 그 피해는 우리의 상상을 초월할 것으로 예상된다. 이러한 관점에서 국내의 인공구조물에 적절한 내진설계기준의 보완 및 확대적용에 대한 근본적인 대책수립이 시급히 요청되고 있다.

한편, 기상청의 지진관측자료에 의하면, 1990년대에 들어 한반도에서 관측된 지진이 숫자적으로 급증하고 있는 것으로 보고되고 있다. 이에 대하여 일부에서는 한반도가 지진활동기에 접어 들었지 않는가 하는 우려와 함께 장래의 지진활동의 추이에 대한 관심이 집중되고 있다. 이 시점에서 본 연구에서는 한반도의 과거와 현재의 지진활동을 검토하여 미래의 지진활동이 어떻게 변화할 것인가를 추정하여 보고자 한다.

2. 과거의 지진활동

2.1 역사지진자료로 본 지진활동

지진활동의 변화양상을 알기 위해서는 장기간의 지진기록이 필요하다는 것은 주지의 사실이다. 한반도의 지진자료는 약 2000여년에 걸친 역사지진 자료와 1905년 이래의 계기지진자료로 나눌 수 있다. 역사지진자료는 삼국시대의 초기부터 조선시대에 걸쳐, 여러 역사문헌에 서술되어 있다. 역사지진에 관한 연구는 和田(1912)이래 여러 연구자에 의하여 수행되어 왔다.

和田(1912)은 삼국사기, 고려사, 이조열성실록 등의 역사문헌 14종으로부터 지진에 관한 기사 1717개를 발췌하여 진도를 분류하였다. 그의 진도분류기준은 현재 우리가 사용하고 있는 MM진도(수정머컬리진도)나 JMA진도(일본기상청진도)와는 다르게 4등급으로 나뉘어져 있다. 즉 단지 地震地動이라고만 기술되어 있는 경우는 진도 1을, 진동방향을 나타내거나, 또는 우뢰와 같은 소리, 또는 가옥이 흔들림, 또는 大地震과 같은 기술이 있는 경우는 진도 2를 부여하고 있다. 또한 다소의 피해가 있거나 큰 피해 또는 사상자가 있는 경우는 각각 진도 3, 4를 부여하였다. 그는 지역별 발생빈도를 분석하여 발생빈도에 따른 震數密度分布圖를 작성하였다. 또한 武者(1951)는

한반도 및 일본, 중국의 지진, 지변 및 화산에 대한 기록을 작성하여 제시하였다.

한편 서정희등(1978)은 和田(1912)의 자료중 주요지진에 대한 분석을 수행하였으며, 진도는 Wada진도를 그대로 인용하였다. 또한 김소구(1978)는 和田(1912)의 자료를 재검토하여 Wada진도를 JMA진도로 고쳐 지역별 빈도분포도를 작성하였다. 정봉일(1981)은 삼국사기, 고려사, 조선왕조실록, 일성록 및 동국문헌비고 등의 역사문헌으로부터 총 1766개의 지진을 발췌하여 지역별 시대별 발생빈도를 제시하였다. 이기화(1990)와 Kyung(1989)이 한반도의 지진활동분석에 이용한 역사지진목록은 근본적으로 정봉일(1981)의 자료와 같다. 그들은 역사문헌중의 지진에 관한 서술을 해석하여 MM진도를 부여하였으며, 진도 VIII, IX, X에 해당되는 지진으로서 각각 23, 37, 1개의 지진을 제시하였다.

한국동력자원연구소(1983)는 원자력발전소의 지진에 대한 안전성을 검토할 목적으로 역사지진과 1905년 이래의 계기지진목록을 만들어, 이 목록에 근거하여 한반도의 지진활동도를 작성하였다. 이 연구에서는 和田(1912)의 자료에 나타난 지진기사를 원래의 문헌으로부터 발췌하여, 역사학자들의 충분한 검토해석을 거쳐 진앙지와 진도를 평가하였다.

위에서 열거한 역사지진에 관한 연구들은 한반도의 지진활동연구에 기여한 바가 크며, 특히 원자력발전소의 지진에 관한 안전성평가에 크게 활용되어 왔다. 그러나 위에서 지적한 바와 같이 역사지진자료는 역사문헌중에 서술적인 문장으로 기술되어 있어 당시의 정치, 문화, 경제의 중심지 및 인구밀집지역의 분포와 건축물양식의 차이에 따라 기록자체의 균질성과 완전성이 보장되기 어렵다. 또한 시대적으로 인구분포와 세력범위가 다른 여러 왕조의 관점이 다른 사가들에 의하여 기록된 것이므로 누락과 과장, 오기의 가능성을 인정하지 않을 수 없다. 그 예로서 삼국-고려시대의 지진기록은 대부분 감진지역이 누락되어 있으며, 기간에 비하여 수록된 지진의 수가 조선시대에 비하여 상대적으로 적다. 물론 이러한 사실은 지진활동의 차로서도 해석될 수 있으나, 고대로 갈수록 작은 규모지진의 누락가능성을 배제하기 어렵다. 이러한 이유로 진앙지나 지진의 규모를 평가하는 데에 있어서 연구자의 주관이 개입되기 쉬우며,

그 결과 지진활동의 해석에 서로 상이한 결과를 얻기 쉽다. 예를 들면, 연구자에 따라 일부 지진에 대한 자료의 누락이 나타나며, 특히 진앙지 결정과 진도평가에 큰 차를 보여주고 있다. 즉 정봉일(1981), Kyung (1989) 및 이기화(1990)에서는 최고진도의 지진을 MM진도 X으로 평가하고 있으나, 한국동력자원연구소(1983)에서는 VIII로 평가하고 있다. 이러한 최고진도의 지진에 대한 평가의 불일치는 결정론적인 최대잠재지진의 평가에 큰 차를 가져오게 된다. 따라서 이러한 해석상의 불합리를 피하기 위해서 피해지진만을 대상으로 함으로써 어느 한계 이상의 규모를 가진 지진자료에 균일성을 유지할 수 있다.

김성균등(1995)은 역사지진에 관한 현재까지의 연구를 충분히 검토하여 피해가 기술된 주요 역사지진의 목록을 제작성하였다. 이러한 목적을 위하여 그들은 和田(1912)의 자료중 Wada진도 3이상의 지진 58개에 관한 기사를 해석하여 진앙지와 진도를 재평가하였다. 지진기사로부터 진도를 결정하기 위하여, 먼저 널리 쓰이고 있는 MM진도(Wood and Neumann, 1931)와 JMA진도설명에 관한 원문을 정리, 분석하였다. JMA진도는 일본기상청이 설정한 진도로 일본에서 주로 쓰이고 있으며, 우리나라의 가속구조가 일본과 유사하다는 관점에서 진도평가가 용이한 점이 있으나, 기술자체가 너무 단순하고 0에서 7까지 8등급으로 되어 있어 내진설계에 활용하기 위한 가속도전환에 있어서 오차가 크게 개입될 가능성이 있다. 따라서 1~12등급으로 되어 있는 MM진도가 채택되었다. 특히 이 연구에서는 미리 설정된 진도평가기준에 근거하여 평가함으로써 객관성을 높이고자 노력하였다.

피해지진은 총 36개로서, MM진도 VII, VIII, IX의 발생횟수는 각각 7, 10, 19회이다. 피해지진의 진앙지(□표)를 규모 4.5이상의 계기지진(○표)과 함께 그림 1에 도시하였다. 조선시대 이전의 진앙지는 대부분 역사문헌에 명시되지 않거나 당시의 수도에만 감진기록이 있는 관계로 그 시대의 수도에 지진이 집중되어 발생한 것처럼 나타난다. 이러한 결과는 실제의 지진활동을 그대로 반영하기 보다는 고대의 인구분포, 지진발생에 대한 보고체제상의 결과로 해석할 수 있을 것이다. 이에 반하여 조선시대는 진앙지가 한반도 전체에 걸쳐 분산되어 나타난다.

그림 1에서 피해역사지진과 계기지진들의 공간분포는 전혀 상관을 보여주지 않는다. 이 사실로부터 역사지진의 공백역에 계기지진이 발생한 것으로 해석하기는 곤란하다. 왜냐하면, 통상 지진은 활동이 활발한 지역에서 장기간에 걸쳐 지속적으로 발생하며, 한반도와 같이 판의 경계로부터 멀어 지각내의 응력축적속도가 느린 지역에서는 지진이 여러 장소로 옮겨가며 발생하는 것을 기대하기는 어렵다. 이러한 관점에서 계기지진과 역사지진의 공간적 무상관은 역사지진의 진앙지의 불확실성에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 역사지진의 진앙지 분포만으로부터 활성단층을 추정하는 것은 주의할 필요가 있을 것이다.

그림 2는 피해지진의 세기별 빈도분포를 나타내고 있다. 이 그림으로부터 지진의 발생률은 일정하지 않고 시대에 따라 빈도수에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 15~17세기에 지진활동이 특히 활발했으며, 빈도수는 비교적 적지만 대략 4~8세기에도 활동기가 지속되었다고 볼 수 있다. 물론 15~17세기는 조선 중기로서 인구의 분포나 보고체제로 보아 비교적 지진에 대한 누락의 가능성이 적다는 점을 고려하더라

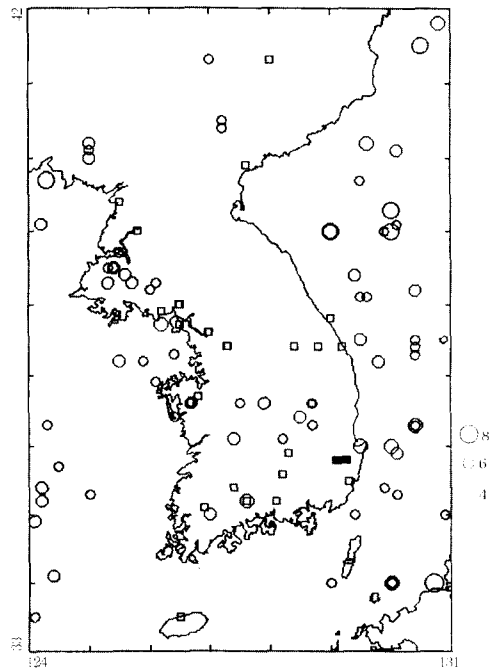


그림 1 피해역사지진(□)과 규모 4.5이상의 계기지진(○) 분포

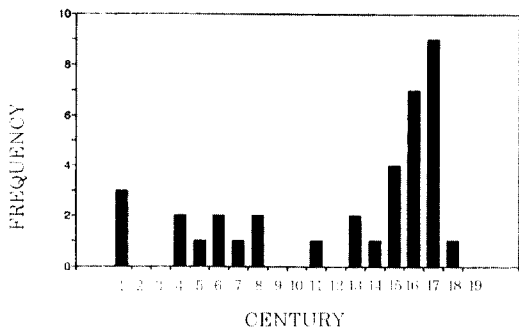


그림 2 피해 역사지진의 세기별 발생빈도

도, 여기서 MM진도 7이상의 피해지진만을 고려하고 있으므로 15~17세기를 지진활동이 활발했던 시기로 인정할 수밖에 없다. 그 이후 18~19세기는 지진활동의 정온기로 볼 수 있다.

2.2 인접지역과의 지진활동의 상관

동아시아의 지진활동을 분석한 여러 연구들은 북동중국, 한반도, 서남일본의 지진활동이 서로 상관성이 있음을 지적하였다. 茂木(1976)은 이 지역들의 지진활동이 1700년경을 정점으로 가상 활발하였으며, 그 후 활동이 급격히 저하한 것으로 나타남을 지적하였다. 따라서 이 지역의 급후의 지진활동을 예측하기 위해서는 한반도의 지진활동의 추이를 주목할 필요가 있다고 결론지었다. 한편 Kyung(1989)은 북동중국과 한반도에서 지진의 규모별 빈도분포곡선의 특성을 나타내는 지진활동상수 b 값의 시대별 변화가 유사함을 지적하였다. 또한 그는 세 지역에서 시간에 따라 지진으로 방출된 에너지사이의 상호상관을 계산하여, 이들 지역의 지진활동에 큰 상관성이 있음을 나타내었다. 그는 서남일본의 활동기보다 약 60년 후에 한반도의 활동이 활발해지며, 중국의 활동기는 한반도보다 약 25년 후에 나타난다는 결과를 얻었다. 이외에도 다수의 연구(趙志新 등, 1987; 崔在和 등, 1995)가 이들 세 지역의 상관을 지적하였다.

이들 세 지역사이의 지진활동의 상관을 조사하기 위하여, 이 지역들의 역사지진자료(東京天文臺, 1982)를 발췌하였다. 먼저 북동중국의 지진자료는 경도 110°이동, 위도 30°이북에서 발생한 지진중 규모 6.5이상인 지진을 선정하였으며, 서남일본의 지진

자료로서는 경도 137.5°보다 서쪽에서 발생한 지진중 규모 6.5이상인 지진만을 선택하였다. 북동중국의 자료는 대략 서기 1000년 이후부터, 서남일본의 자료는 대략 700년경부터 큰 규모의 지진에 대하여 어느 정도 균질한 것으로 생각되나 고대로 갈수록 자료의 완전성과 균질성이 떨어짐은 자명한 사실이다. 따라서 세 지역의 장기간에 걸친 상관을 조사하는 것은 불가능한 것으로 판단되며, Kyung(1989)이 시도한 수치적인 분석은 큰 의미가 없을 것으로 판단된다.

그림 3에 이들 세 지역에서 발생한 지진의 시공간 분포를 나타낸다. 이 그림에서 진앙지의 위도는 무시하고 세로축을 경도로 가로축을 시간으로 하여 지진을 나타내었다. 여기서 지진이 시공간적으로 집중되어 나타나는 영역을 그늘진 구간으로 표시하였다. 세 지역에서 지진활동은 1600년경부터 1700년경에 걸쳐 가장 활발한 것으로 나타나며, 1700년경 이후 한반도의 지진활동이 급격히 감소한 반면, 중국과 일본의 활동은 약간 감소경향을 보이고 있다. 또한 1200년 전후에 일본과 중국, 500~700년 사이의 중국과 한반도의 상관을 인정할 수 있으나 그렇게 뚜렷하지는 않다. 일본의 자료가 700년 이후부터라는 사실을 감안한다면, 이들 세 지역의 지진활동은 상당히 긴 주기를 가지고 있으며, 서로 어떤 상관을 가지고 있음을 알 수 있다. 단지 한반도는 일본이나 중국에 비하여 활동의 주기가 비교적 긴 것으로 해석할 수 있다. 한반도에서의 피해지진의 주기성에 대해서는 다음 절에서 다시 취급하게 된다.

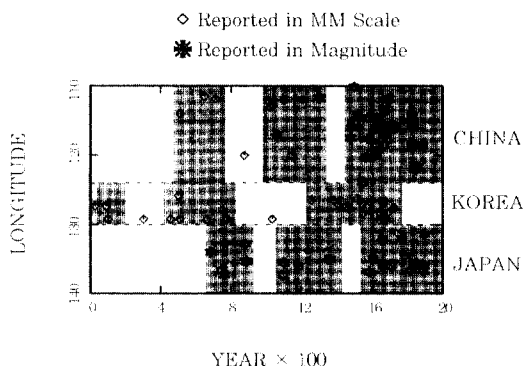


그림 3 북동중국 - 한반도 - 서남일본 지진활동의 시공간분포

3. 현재의 지진활동

3.1 계기지진자료로 본 현재의 지진활동

한반도에 근대적인 지진계가 설치되어 계기지진자료가 획득되기 시작한 것은 1905년 부터이다. 한국 동력자원연구소(1983)와 기상청(1992)으로부터 발췌한 계기지진목록을 조사해 보면, 당연한 사실이지만 지진관측망의 특성(즉 지진관측소의 수, 지리적 분포 및 지진계의 성능)과 관측된 지진의 수가 서로 큰 상관성이 있음을 알 수 있다. 왜냐하면 관측소가 지리적으로 적절히 분포되어 있고 그 수가 많고 지진계의 성능이 좋을수록, 지진관측의 기회가 증가하기 때문이다. 국내 지진관측망의 변화는 복잡하지만 대체로 4시기로 나누어 지진활동을 분석해 보기로 한다.

제1기는 1905 ~ 1945년까지 일본에 의해 지진관측이 이루어졌던 시기이며, 이 시기에는 3 ~ 5개소의 관측소가 운영되고 있었다. 1946년부터 1963년초까지는 국내에 지진계가 운영되지 않았던 시기로 이 시기에는 일본 및 중국에서 관측된 비교적 큰 지진외에 기록이 없다. 1963년에 세계지진관측망(WWSSN) 구성의 일환으로 서울에 지진계가 설치되었으며, 그 후 1981년에야 6개의 관측소가 설치되었다. 1945 ~ 1981년까지를 제2기로 볼 수 있다. 1981년에 6개의 관측소가 설치된 이래 1992년 후반에 이르러 관측소는 12개소로 증가하였으므로, 1981 ~ 1992년을 제3기로 1993 ~ 1996년까지를 제 4기로 간주하기로 한다.

표 1 기간별, 규모별 지진관측 횟수

기간	1905-1945	1946-1980	1981-1992	1993-1996
관측지진 총수	100	70	183	116
(년간 관측수)	(2.44)	(2.00)	(15.25)	(29.00)
규모 3 이상	100	70	93	43
(년간 관측수)	(2.44)	(2.00)	(7.75)	(10.75)
규모 3.5 이상	86	55	29	20
(년간 관측수)	(2.10)	(1.57)	(2.42)	(4.00)
규모 4 이상	43	31	11	8
(년간 관측수)	(1.05)	(0.89)	(0.92)	(2.00)
규모 4.5 이상	27	13	3	5
(년간 관측수)	(0.66)	(0.37)	(0.25)	(1.25)
규모 5 이상	11	8	0	0
(년간 관측수)	(0.27)	(0.23)	(0.00)	(0.00)

표 1에 각 기간별 지진관측 총수와 연간 평균관측 횟수를 지진규모별로 나누어 제시한다. 관측된 지진의 총수는 지진관측소의 수의 증감과 큰 상관성을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉 관측소가 1 ~ 2개에 불과했던 1946 ~ 1981년의 시기에는 연간 평균 2개의 지진이 관측되었을 뿐이나, 관측소가 12개로 증가한 1993년 이후는 연간 평균관측수는 29개로 크게 증가

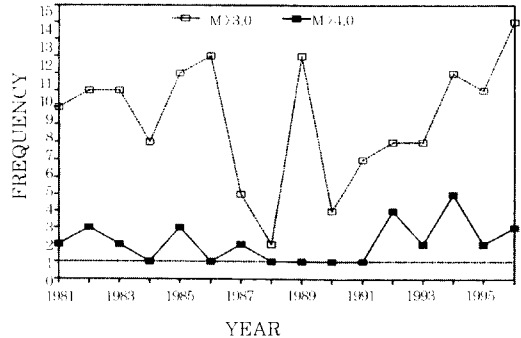


그림 4 1981-1996년 일정규모이상의 지진관측횟수

했음을 알 수 있다. 그러나 일정 규모 이상의 지진에 대해 비교할 때는 1905년부터 1992년까지는 큰 차이가 없으나, 1993년 이후에는 상당한 증가를 보여주고 있다.

그러면 여기서 1981년 이후에 관측된 지진수를 좀더 상세히 고찰하기로 하자. 그림 4는 1981년부터 16년 동안 일정규모 이상 지진의 관측수를 나타낸다. 점선은 규모 3이상의 지진수를, 실선은 규모 4이상의 지진수를 표시하고 있다. 관측된 지진의 수는 연도별로 변화폭이 크나, 1990년 이후 대체로 증가하는 경향을 보인다. 그러나 관측소가 12개소로 증가한 1992년 이후 규모 3이상의 지진수는 1986년과 1989년의 지진횟수에 비하여 그렇게 큰 증가로 볼 수는 없으며, 지진발생을 통계이론의 Poisson분포로 간주할 때 최근의 지진의 증가는 이상징후로 받아들이기 어렵다.

어떤 지역의 지진활동이 활발해진다는 것은 그 지역에 작용하는 지체구조적 응력이 증가하여 지진으로 방출되는 에너지가 증가함을 의미한다고 볼 수 있다. 다음으로 최근에 관측된 지진을 방출된 에너지로 환산하여 그 변화를 고찰하여 보기로 한다. 지진의 규모 M과 그 지진으로 방사된 탄성에너지 사이에는

일반적으로 다음과 같은 지수함수적인 관계가 인정되고 있다.

$$\log E = 12.24 + 1.44 M \quad (\text{erg}) \quad (1)$$

이 식에 의하면 규모가 1 만큼 증가할 때의 에너지 증가는 약 30배이며, 규모가 2만큼 증가할 때는 약 900배가 증가하게 된다. 그림 5에 1981년부터 1996년

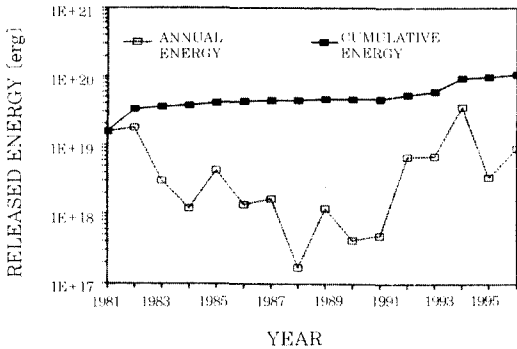


그림 5 1981 - 1996년 지진으로 방출된 에너지

간에 걸쳐 지진으로 방출된 연도별 에너지와 그 누적빈도를 도시하였다. 그림에서 최근의 지진관측수의 증가는 에너지증가에 그렇게 민감하게 나타나지 않고 있으며, 1994년의 비교적 큰 증가는 흉도 북서쪽에서 발생한 규모 4.9의 지진의 기여가 크다. 따라서 1981년부터 현재까지 한반도에서 지진으로 방출된 에너지는 시간에 대하여 거의 일정하다고 볼 수 있다.

규모 M이상의 지진의 누적 발생빈도는 일반적으로 다음과 같은 회귀식으로 나타낼 수 있음이 널리 알려져 있다.

$$\log N = a - bM \quad (\text{단 } a, b \text{는 상수}) \quad (2)$$

여기서 a는 관측기간 및 관측범위와 관련된 상수이며, 이 식의 기울기 b는 지진활동도를 나타내는 상수로 알려져 있다. 즉 지진활동이 활발한 지진대에서는 상수 b가 대략 0.8 ~ 1.2 범위의 값을 가지며, 안정대륙에서는 0.8 ~ 0.6 정도의 값을 나타낸다(김성균, 1996). 이 식의 의미는 작은 규모의 지진이 큰 규모 지진에 비하여 그 발생빈도가 지수함수적으로 증가함을 의미한다. 본 연구에서는 전향에서와 같이, 계기지진자료를 지진관측망의 변천과 관련된 4시기

로 나누어 식 (2)의 기울기 b를 구했다. 여기서 관측기간과 자료의 수가 불충분하여 직선회귀의 규모범위를 변화시키며 세심하게 그 값을 결정했다. 그림 6, 7, 8, 9에 각 시기에 해당되는 규모별 누적빈도를 도시하였다.

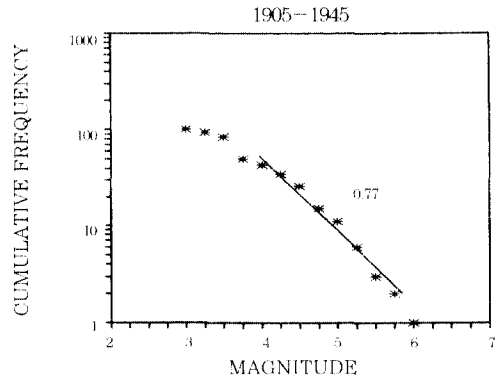


그림 6 1905 - 1945년의 규모별 누적빈도

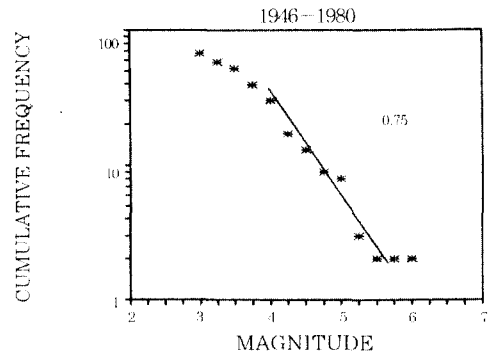


그림 7 1946 - 1980년의 규모별 누적빈도

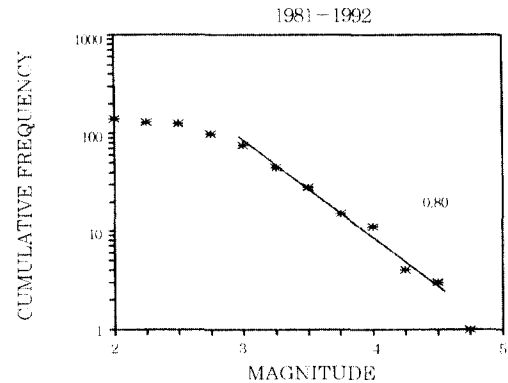


그림 8 1981 - 1992년의 규모별 누적빈도

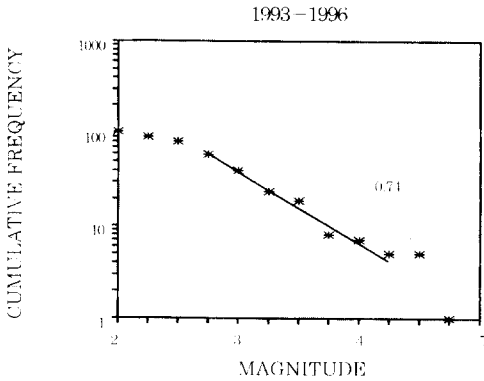


그림 9 1993 - 1996년의 규모별 누적빈도

먼저 그림 6에서 규모가 4보다 작을 때 누적빈도가 회귀직선보다 아래쪽에 있는 것은 규모 4이하 지진의 일부가 관측망에 기록되지 않은 결과로 해석할 수 있으며, 이 시기의 관측한계는 규모 4.0 이상이라고 볼 수 있다. 이 시기의 회귀직선의 기울기 b 는 0.77로 나타나며, 이 값은 안정대륙의 값에 해당된다. 다음 시기인 1946 ~ 1980년에는 기울기가 0.75로 큰 변화가 없다. 그러나 지진관측소의 수가 6개소로 증가한 1980 ~ 1992년에는 관측의 한계가 3.0까지 상향되었으며, 기울기가 0.80으로 증가한 것으로 나타난다. 끝으로 최근 4년간인 1993 ~ 1996년에는 기울기가 0.74로서 역시 뚜렷한 변화가 없으며, 관측의 한계가 2.75 이상으로 증가한 것으로 나타난다. 이상에서 고찰한 바와 같이 지진활동도를 나타내는 지진규모-누적빈도곡선의 기울기는 계기관측 이래 뚜렷한 변화를 보여주지 않으며, 이것은 최근의 지진관측횟수의 급증이 대부분 관측소의 증가효과를 반영하는 것으로 해석할 수 있다.

3.3 지진발생의 주기성

전항에서 검토한 최근 지진관측횟수의 증가는 최근 지진관측소의 증가와 관련이 큰 것으로 나타났다. 그러나 이 분석에 사용한 계기지진자료는 그 기간과 양적, 질적인 면에서 통계적인 결론을 내리기에 기간이 충분치 않다고 볼 수 있다. 여기서 좀더 장기간에 걸친 역사지진 자료로부터 지진발생의 주기성을 분석하기로 한다. 제 2 절에서 언급한 바와 같이 역사지진자료는 시대에 따라 완전성과 균질성을 보장하

기 어렵다는 특성이 있다. 따라서 여기서는 어느 정도 균질성이 보장되는 MM진도 7이상의 피해지진만을 대상으로 하기로 한다. 지진의 발생에 어떤 주기성이 있는가, 그렇지 않은가를 안다는 것은 지진의 예지와 재해 경감이라는 측면에서 대단히 중요하다. 이러한 주기성의 검정은 지진발생을 하나의 시계열로 취급하여 스펙트럼분석법을 이용함으로써 가능하다(島崎, 1972).

시간축을 단위시간으로 분할하여 차례로 번호 0, 1, ..., N-1을 붙여, 각 구간내의 지진수를 $X(k)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$)이라 하자. 이 시계열을 Fourier변환하면,

$$A(p) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \exp[-2\pi i \frac{pk}{N}] \quad (3)$$

$(p=0, 1, 2, \dots, N-1)$

이 된다. $A(p) = a(p) - ib(p)$ 라 놓으면 파워스펙트럼 $Y(p)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Y(p) = a^2(p) + b^2(p) \quad (4)$$

위와 같은 방법으로 파워스펙트럼을 구하면, 최대의 파워를 갖는 주기를 구할 수 있다. 그러나 Shimshoni (1972)는, 실제로는 주기성이 없는 일양란수(random number)로 만든 시계열의 경우에도 파워스펙트럼에 최대의 파워를 갖는 정점이 나타남을 지적하였다. 따라서 의미있는 주기를 추출하기 위해서는 통계적인 검정이 필요하다고 강조하였다. 즉 다음 식과 같이 정규화된 파워 $g(j)$ 를 나타낼 때,

$$g(j) = Y(j) / \sum_k Y(k) \quad (5)$$

최대치 g_{max} 가 특성의 값 a 를 초과할 때, 파워스펙트럼으로부터 구한 주기는 의미를 갖게 된다. 여기서 a 는 시계열의 자료수와 위험률(significance level)의 함수로서 계산된다.

표 2 주요주기와 정규화된 파워

순서	주기(년)	$g(j)$
1	43.5	0.05167
2	1000	0.04367
3	500	0.03735
4	400	0.03494

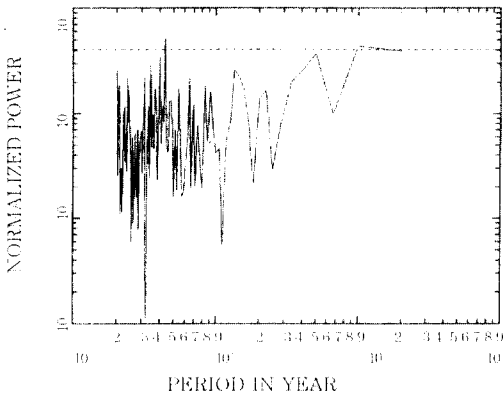


그림 10 피해지진의 파워스펙트럼

본 연구에서는 위의 검정법을 적용하여 피해 역사 지진의 주기성을 검정하였다. 먼저 시간축의 단위시간을 10년으로, 피해 역사지진목록을 시계열로 취급하여, 그 파워스펙트럼을 구하였다(그림 10 참조). 그림에서 점선은 위험률 5%에서의 α 값을 나타내며, 그 값은 0.04074 정도이다. 여기서 얻어진 주요한 주기와 그 주기에서의 정규화된 파워 $g(j)$ 는 표 2와 같으며, 위험률 5% 이상의 값을 갖는 주기는 43.5년과 1000년으로 나타난다. 이 결과를 참조할 때 한반도에서 발생하는 큰 지진의 주기는 45년 정도의 단주기와 1000년 정도의 장주기 성분을 가지고 있음을 알 수 있다. 이러한 주기성분 외에 중간주기로서 400~500년 주기도 고려할 수 있을 것이다.

4. 미래의 지진활동 및 대책

이상에서 계기지진자료와 피해역사지진 자료를 폭넓게 분석하여, 과거 및 현재의 지진활동을 평가하였다. 과거 및 현재의 자료를 이용하여 확률적으로 신뢰도가 높게 장래를 예측하기 위해서는 장기간에 걸친 양질의 자료가 필요하다는 것은 더 말할 필요가 없다. 현실적으로 한반도의 지진자료는 이러한 예측에는 미흡하다고 볼 수 있다. 그러나 분석결과를 종합하여 다음과 같이 잠정적인 결론을 내릴 수 있다. 즉 시간에 따른 일성규모이상의 지진 관측횟수, 에너지의 누적빈도변화, 지진규모-발생빈도 곡선의 기울기 변화 등을 참조할 때, 최근 지진관측횟수의 증가는 관측소의 증가에 따른 길보기효과로 설명할 수 있을 것이다. 이 결론은 어디까지나 짧은 기간의 자료

로부터 얻은 단기적인 예측에 지나지 않는다는 점을 강조하고 싶다. 따라서 "미래의 지진활동이 현재보다 상대적으로 활발해질 것인가?"에 대한 확실한 해답을 얻기 위해서는 다량의 질 높은 자료의 획득이 필요하다. 일반적으로 작은 규모 지진의 발생횟수는 큰 규모 지진에 비하여 지수함수적으로 증가하므로 짧은 기간에 이러한 목표를 달성하기 위해서는 소규모 지진을 관측할 수 있는 효율적인 관측망의 설치가 시급하다.

다음으로 장기적으로 한반도의 지진활동이 어떻게 변화할 것인가에 대하여 검토하기로 하자. 3.3항에서는 피해지진의 주기성을 분석하여, 400~500년과 1000년의 주기를 얻었다. 또한 한반도의 지진활동과 중국 북동부 및 서남일본의 지진활동이 서로 큰 상관이 있으며, 단지 한반도의 활동주기가 인접지역에 비하여 상대적으로 긴 것으로 추정되고 있다(그림 3 참조). 현재 서남일본은 고오베지진이후 지진활동이 활발한 시기에 돌입했다는 가설(島池, 1996)이 있으며, 이러한 설을 받아들인다면 한반도의 지진활동도 활발한 시기에 들어가고 있는 것으로 추정할 수 있을 것이다. 그림 2, 3에서 한반도의 지진활동이 활발했던 시기는 16~17세기이며, 400~500년의 주기를 고려한다면 미래의 한반도의 지진활동은 활발한 시기로 접어들었다고 볼 수 있다. 그러나 서남일본이 활동기에 들어왔다는 것은 가설의 단계에 지나지 않으므로, 이러한 예측결과는 어디까지나 잠정적인 결론이라는 점을 유의해야 할 것이다.

현재의 지진예지(prediction)는 일기예보(fore-casting)와 같이 언제, 어디서, 어떤 규모의 지진이 발생할 것인가를 예측하는 단계까지는 도달되어 있지 않다. 그러나 어떤 지역에서 어떤 기간내에 어느 정도의 가속도를 가진 지진이 발생할 것인가를 확률적으로 예측할 수는 있다. 이러한 지진위험분포에 관한 연구는 한국동력자원연구소(1983)를 비롯하여 다수가 있다(예를 들면 김성관, 1986; 김성관, 1995).

현재 지진공학회에서는 한반도의 지진위험분포도를 재작성하여 건축물 및 인공구조물에 대한 내진설계기준안을 보완하는 연구를 수행중에 있다. 지진 그 자체의 예지는 불가능하더라도 내진설계라는 능동적인 수단으로 지진재해를 경감시킬 수 있다. 일반적으로 내진설계진도의 증가는 건설비용을 크게 증가시

키므로 안전성과 경제성이 적절히 조화될 수 있는 방향으로 내진설계가 이루어져야 하며, 내진성이 강한 경제적인 설계에 대한 충분한 연구가 뒷바침 되어야 할 것이다. 비록 미래의 지진활동이 현재와 큰 변화가 없다고 가정하더라도, 최근의 도시화에 의한 인구 집중, 주요 산업 시설물의 증가는 지진의 재해를 더욱 크게 증폭시킬 것이 틀림없기 때문에 이에 대한 대비가 필요하다.

참고 문헌

1. 기상청, "1978-92 지진관측보고", 기상청, 1992.
2. 김성균, 김우한, 김준경, 박창업, 조봉곤, "피해역사지진의 재평가", 한국자원연구소 위탁연구보고서, 1996.
3. 김성균, "고체지구물리학", 1996, 교학연구사.
4. 김성균, "한반도내 주요 인공구조물의 적정 내진설계진도", 광산지질, 1986, 19, pp.297-304.
5. 김성균, 송미정, "한반도의 확률론적 지진위험분포", 지질공학, 1995, 5, pp.45-58.
6. 김소구, "한반도의 지진활동", 자원개발연구소보문, 1978.
7. 서정희등, "원자력발전소 내진설계를 위한 지진학적 및 지질학적 기술지침 작성을 위한 연구(1)", 서울공대 생산기술연구소, 1978.
8. 이기화, "경상분지의 지진활동(부록 1), 양산단층조사 중간보고서", 한국전력기술주식회사, 1990.
9. 정봉일, "한국의 고지진에 관한 연구, 지질학회지, 1981, 17, pp.257-268.
10. 조선지진연구소, "조선지진목록", 1987.
11. 한국동력자원연구소, "한반도의 지진위험도", 1983.
12. 東京天文臺, "理科年表", 丸善株式會社, 1982.
13. 尾池和夫, "活動期に入った地震列島, 1996, 岩波書店.
14. 茂木清夫, "アジア東北地方の地震活動期, 1976年地震學會講演豫集集", 1976, No. 1, 140.
15. 武者金吉, "日本及隣接地域地震, 噴火, 地變年表, 日本地震史料, 毎日新聞社, 1951.
16. 島崎邦彦, "地震發生の週期性について", 地震, 1972, 25, pp.24-32.
17. 趙志新, 松村一男, 尾池和夫, 石川有三, "東アジアにおける地震活動變化の地域的 特徴と關聯性について, 地震, 1987, 40, pp.383-396.
18. 崔在和, 佐藤裕, "朝鮮半島における歴史被害地震", 地震, 1995, 48, pp.483-486.
19. 和田雄治, "朝鮮古今地震考, 朝鮮總督府觀測所學術報文", 1912, 2, pp.16-38.
20. Gutenberg, B. and Richter, C. F., "Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration", Bull. Seis. Soc. Am., 1956, 46, pp.128,145.
21. Kyung, J. B., "The characteristics of the seismicity of the Korean Peninsula", Ph.D. Thesis, 1989, Seoul National Univ.
22. Shimshoni, M., "On Fisher's test of significance in harmonic analysis", Geophys. J. R. astr. Soc., 1971, 23, pp.373-377.
23. Wood, H. O. and Neumann, F., "Modified Mercalli intensity scale", Bull. Seis. Soc. Am., 1931, 21, pp.277-283. 