

기상청 지진관측보고(1978-2001)를 이용한 지진 특성의 정성적 평가

The Qualitative Evaluation of Seismic Characteristics using the KMA Seismological Bulletin (1978-2001)

박동희* 연관희* 최원학* 장천중*
Park, Dong-Hee Yun, Kwan-Hee Choi, Won-hack Chang, Chun-Joong

ABSTRACT

A high frequency level of Fourier amplitude relates with stress drop and seismic moment. When we can not use this relation owing to absence of digital earthquake data, stress drop and seismic moment can be determined from Peak Ground Velocity(PGV) and felt area. We have qualitatively evaluated the seismic characteristics using PGV, and Magnitude from the well determined felt area in seismological records of Korea(1978~2001) by Korea Meteorological Administration(KMA). Observed relations between felt area and magnitude in the Korean Peninsula are explained by attenuation(Q), and stress drops comparing with the previous researches on stress parameter. This results are preliminary work for the study of stress parameter using the relationship of high frequency level, PGV, and felt area.

1. 서론

우리나라에서 계기지진관측은 1905년 일제의 조선 총독부 인천관측소에서 시작되었으며 1978년 이후 기상청에서 본격적으로 관측하게 되었다. 1994년경부터는 한국지질자원연구원 및 기상청을 중심으로 디지털 관측장비를 갖춘 지진관측소를 추가로 구축함에 따라, 현재 한국전력 전력연구원이 보유한 원전 주변 8개 관측소를 포함하여하여 전국에 속도, 가속도 지진관측소는 100여개소에 이르고 있다. 이에 따라 지진연구에 가장 기본이 되는 지진자료의 획득이 용이해졌으며 지진자료도 지속적으로 누적되고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 기상청에서는 지진관측을 1978년 이후 본격적으로 시작하였으며 이후 20회 이상 발생한 비교적 규모가 큰 지진인 규모 4이상의 지진기록도 보유하고 있다¹⁾. 그러나 이와 같은 초기 지진관측자료는 현재와 같은 디지털 자료가 아닌 종이에 기록된 아날로그 자료이다. 아날로그로 기록된 지진자료를 이용할 경우 지진파형에서 얻을 수 있는 정보는 초동의 극성, 최대진폭값, 지속시간등으로 지진의 발생시각, 진앙지, 규모 등을 구하는데에는 유용하지만, 응력강하량 등 스펙트럼 해석을 통해 간단하게 분석할 수 있는 지진원 요소를 연구하는데에는 다소 어려움이 있다.

이 연구에서는 초기 기상청 아날로그 지진자료의 신뢰성 여부를 판단하고, 감진면적-규모 관계

* 한국전력공사 전력연구원, 정희원

를 산정한 후 기존의 연구결과와 비교 검토하여 응력강하량, 감쇠양상 등의 한반도에서의 지진특성을 정성적으로 평가하였다.

2. 고주파수 스펙트럼 준위와 응력강하량

Atkinson 등(1995)²⁾에 의하면 가속도의 푸리에 스펙트럼에서 최대 진폭값, a_M 는 지진모멘트와 응력강하량과 다음과 같은 관계가 있다.

$$a_M \sim \Delta\sigma^{2/3} M_0^{1/3} \quad (1)$$

스펙트럼상에서 a_M 는 1 Hz이상의 고주파수에서 주로 나타나는데 지진모멘트, M_0 또는 모멘트 규모에도 영향을 받지만 $\Delta\sigma$ 에 더욱 민감한 값이다. 스펙트럼에서 직접 a_M 를 구할 수 없을 때에는 시간영역에서 속도파형의 최대값(PGV)을 이용하거나, 감진면적에 의해 구할 수 있다. 실제로, Atkinson은 PGV값과 감진면적을 이용하여 미국 동부지역(이후 EUS(Eastern United State))과 미국 서부지역(이후 WNS(Sestern United State)지역에서 응력강하량을 각각 150 bar, 70 bar로 평가하였다.

Brune spectrum에서 V_{rms} (root mean-square velocity)는

$$V_{rms} \sim \Delta\sigma^{2/3} M_0^{1/3} \quad (2)$$

이고 식(2)를 식 (1)과 비교하면 a_M 와 V_{rms} 는 모두 지진모멘트(M_0)와 응력강하량($\Delta\sigma$)에 의존함을 알 수 있다. 한편 PGV와 V_{rms} 는

$$PGV = c v_{rms} \quad (3)$$

(c는 상수)관계가 있다. 또한, 진도의 분포정도인 감진면적으로 산정한 감진면적규모와 최대진폭을 이용한 규모는 거의 일치한다. 결과적으로 감진면적과 최대값 및 스펙트럼에서의 고주파수 최대 진폭값은 모두 비례관계에 있다.

즉, 감진면적이거나 시간파형에서의 최대값을 알면 푸리에 스펙트럼상의 고주파수에서 나타나는 최대 진폭값을 추정하여 응력강하량이나 지진모멘트에 대하여 계산할 수 있다.

3. 기상청 초기 아날로그 자료

현재 구축되어 있는 지진관측소에서 획득되는 지진자료는 센서에서 기록계를 거치면서 디지털화된 자료이다. 1978년 이후 기상청 지진관측소에 기록된 아날로그 자료는 양질의 자료임에도 불구하고 지진의 규모를 결정하는 최소한의 정보만 제공할 뿐, 지진원 특성이나 감쇠특성을 분석하는데 이용되지 못하고 있다. 이에 기상청 아날로그 지진자료를 이용하여 지진원 특성을 유추할 수 있는지 자료에 대한 유용성을 검증하고자 한다.

본 연구에서 이용한 초기 기상청 자료는 기상청에서 발간한 1978-1992 지진관측보고²⁾에 수록되어 있는 것이다. 표 1 은 기상청에서 당시 운영하던 지진관측소에 대한 설명과 본 연구에 주로 이용된 지진관측소이다. 표 1에서 보는 바와 같이 서울, 광주, 부산, 강릉, 서산 5개의 관측소에 주로 기록된 자료를 이용하였으며, 서산과 광주 이외의 관측소에서는 S-13지진계가 설치되어 있다.

표 1. 기상청 지진관측망 위치 및 지진계명(1978-1992)

관측소	위도(N)	경도(E)	지진계명	운영기간
서울	37.34	126.58	S-13	1980.9-1992
광주	35.10	126.53	PK-103 S-13	1982.91.12 1991.12-92
부산	35.06	129.02	S-13	1980.9-1992
강릉	37.45	128.54	S-13	1980.9-1992
서산	36.46	126.28	S-500 S-13	1980.9-91.7 1991.7-92.

표 2는 기상청에서 발간한 '1978-1992 지진관측보고'에서 제공하는 지진 정보의 예이다.

표 2. 기상청 지진관측보고 양식의 예

STATION NEME	P-ARRIVAL			S-ARRIVAL			MAX AMPLITUDE			INITIAL MOTION			F-P
	H	M	S	H	M	S	Z	N	E	Z	N	E	
OT : Aug. 27, 1981 21h 35m 30.0s							EP : 35.8 N 129.8 E						
Mag : 3.5							Imax : 2						
REGION : 50 km ESE of Pohang													
PUSAN	21	36	48.5	21	36	01.5	2.25	2.75	2.88	-	+	+	
KWANGJU	21	36	20.5	21	36	53.6	1.67	2.00	1.67	+	-	-	
SEOUL	21	36	28.7	21	37	02.7	0.59	0.54	0.56	-	-	+	240.0

기상청 관측연보에서 획득 가능한 정보는 지진발생일시, 규모, 최대 진폭값, 초동의 극성 및 기타 유감지진이 발생하였을 경우의 진도분포도이다. 이 기간 동안 발생한 지진의 수는 234회로 시간영역의 지진파형은 아날로그로 기록되어 있다. 아날로그 자료를 디지털화 할 수 있다면 스펙트럼 해석을 통하여 지진원 요소에 대하여 정량적으로 평가 할 수 있지만, 이 기간동안의 아날로그 지진기록을 디지털화 하는 것은 거의 불가능하다.

우선, 기상청 관측연보에 기재된 최대 진폭값을 중심으로 거리에 따른 감쇠정도를 알아보았다. 관측연보에서 최대진폭값을 μm 로 기재하고 있는데, 이를 속도값으로 변환한 후 거리에 따른 감쇠를 그림 1에 나타내었다. 위의 표 1에 나타난 5개의 관측소에서 기록된 지진 중 규모가 비슷한 2.5~3.5 사이의 지진의 거리에 따른 최대진폭값을 나타낸 결과, 서울, 부산, 강릉관측소의 감쇠 양상은 거의 동일하게 나타났다. 그러나, 광주관측소의 경우 감쇠의 양상은 비슷하지만 전반적으로 진폭이 높게 평가되었으며, 서산관측소의 경우에는 거리에 따른 감쇠는 거의 보이지 않는다.

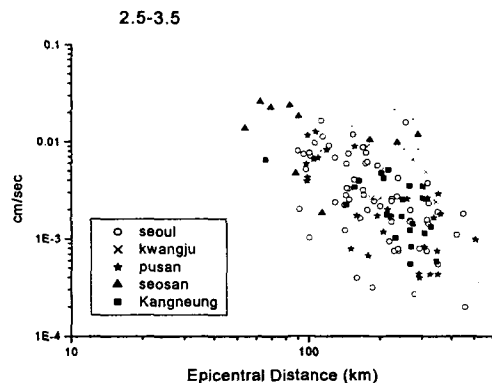


그림 1. 진앙거리에 따른 PGV의 감쇠(수직성분)

표 1에서 언급한 바와 같이 서울, 강릉, 부산 관측소는 동일한 지진계가 설치되어 있으며, 광주와, 서산 관측소는 각각 다른 지진계가 설치되어 있다. 따라서 이와 같이 거리에 따른 감쇠양상의 차이가 센서의 특성에 기인될 수도 있다. 그러나, 파형이 전파되는 과정의 감쇠와 관측소의 부지특성의 영향도 감쇠에 반영이 되므로 감쇠양상의 차이를 해석하기 위해서는 차후 추가적인 연구가 이루어질 필요가 있다.

앞에서 설명한 바와 같이 속도파형의 최대진폭값은 가속도 스펙트럼상의 고주파수 준위와 비례 관계가 있다. 그림 2-a, 2-b는 Yun(2002)³⁾에 의하여 1990년 이후 발생한 가속도 지진자료의 주파수별 거리에 따른 감쇠양상을 나타낸 것으로 가속도를 푸리에 스펙트럼으로 변환한 후 주파수별 준위를 거리에 따라 도시한 것이다. 그림 2에서 채운모양은 관측지진자료의 결과이며, 빈모양은 지진파 모사를 통한 결과이다. 그림 2-a는 0.1~1 Hz 사이의 저주파수 감쇠특성을 나타내고, 그림 2-b는 5~10 Hz 사이의 고주파수 감쇠특성을 나타낸다

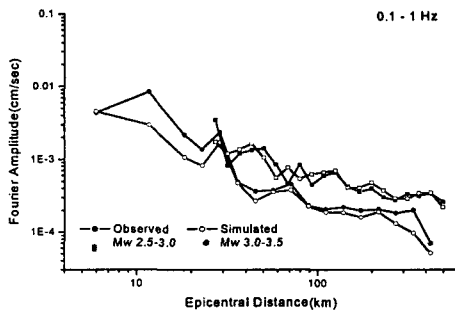


그림 2-a. 진앙거리에 따른 감쇠(0.1~1 Hz)

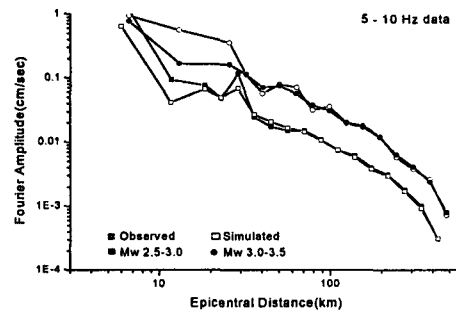


그림 2-b. 진앙거리에 따른 감쇠(5~10 Hz)

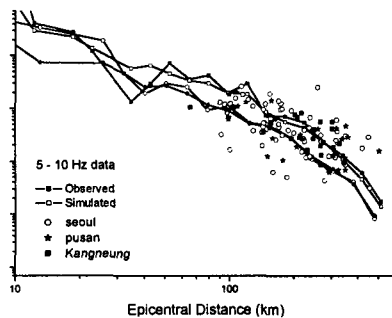


그림 3. 기상청 최대값의 감쇠양상과 고주파수(5~10 Hz)감쇠양상 비교

이 결과와 그림 1의 결과를 동시에 그림 3에 도시하였다. 그림 3에서 속도파형의 PGV와 가속도 스펙트럼상의 진폭은 절대값의 차이가 있어 PGV를 속도파형과 함께 도시하기 위하여 진폭값의 단위는 표기하지 않고 기울기 양상만을 함께 도시하였다. 그 결과 5-10 Hz의 고주파수 진폭의 감쇠양상과 비슷함을 알 수 있다. 즉, 기상청 초기 아날로그 자료의 최대값을 이용해도 고주파수 준위를 유추할 수 있어 응력강하량 등을 간접적으로 구할 수 있음을 확인하였다. 다만 기상청 기록에 대한 응답의 보정을 확인한 후에 재연구할 필요가 있다.

3. 감진면적 규모

지진의 진도는 단순히 지진 크기의 정보만 가지는 것이 아니라, 지진파의 에너지 정도나, 감쇠 정도에 따라 지역에 따라 다른 값을 보이기 때문에 규모나 지진모멘트 외 지진파 감쇠에 대한 정보도 함께 포함하고 있다.

Hanks(1975)⁴⁾는 서부지역의 지진모멘트에 대한 연구에서 지진모멘트와 진도에 관한 경험식을 구하였다. Hanks는 이 지역에서 발생한 16개의 지진에 대하여 MMI(Modified Mercalli Intensity) 진도VI이상의 감진면적과 계기지진자료 및 실제 야외조사를 통하여 구한 지진모멘트와의 관계를 밝히고, 1900년 초에 발생한 지진의 모멘트를 밝히는데 이용하였다. 현재까지 감진 면적을 이용하여 규모를 산정하는 경우는 역사지진 자료나 1900대 초기 지진자료 등 최대 진폭값으로 규모를 구할 수 없는 경우에 주로 이용된 방법이었다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 감진면적은 지진크

기 자체로서의 의미에 부가적으로 지진발생 전후의 응력변화정도를 나타내는 응력강하량, 지진파가 지표에 도달할 때까지의 비탄성적인 감쇠 및 기하학적 감쇠에 영향을 받는다.

이 연구에서는 한반도에서 기존에 발표된 감진면적-규모관계와 미국 WUS, EUS 지역 및 중국의 연구결과와 비교하면서 한반도에서의 응력강하량, 비탄성적 감쇠, 기하학적 감쇠에 대하여 고찰하였다.

1978년에서 2001년까지 기상청에서 진도분포도를 함께 발표한 비교적 큰 규모의 지진에 대하여 감진면적과 규모의 관계를 산정하였다. 표 3은 감진면적을 구하는데 이용된 데이터를 나타낸 것으로, 이 시기에 발생한 지진 중 규모 3.0 이상 지진이면서 진도분포도가 잘 알려진 총 31개의 지진에 대하여 감진면적을 구하였다.

표 3. 감진면적 산정에 이용된 지진자료

YY	MM	DD	Lat.	Long.	M _L	YY	MM	DD	Lat.	Long.	M _L
1978	09	16	36.6	127.9	5.2	1989	6	23	36.7	127.8	3.5
1978	10	7	36.6	126.7	5.0	1990	10	22	35.9	130.0	3.4
1978	11	23	38.4	125.6	4.6	1991	11	10	34.4	130.7	3.7
1980	1	8	40.2	125.0	5.3	1992	1	21	35.4	129.9	4.0
1981	4	15	35.9	130.1	4.8	1992	11	12	38.5	125.4	3.8
1981	8	27	35.8	129.8	3.5	1992	12	13	35.3	130.1	4.0
1982	2	14	38.3	125.7	4.5	1994	4	22	34.9	131.0	4.6
1982	3	1	37.2	129.8	4.7	1994	4	23	35.1	131.1	4.5
1982	8	29	37.2	125.9	4.0	1994	7	26	34.9	124.1	4.9
1983	9	17	38.3	126.1	4.2	1995	7	24	38.2	124.4	4.2
1985	1	14	34.6	129.9	4.2	1996	1	24	37.9	129.6	4.2
1985	6	25	37.3	126.4	4.0	1996	12	13	37.2	128.8	4.5
1986	8	11	37.1	126.0	3.5	1997	6	26	35.8	129.3	4.3
1987	3	6	38.7	125.5	4.0	1999	1	11	38.3	128.7	4.2
1987	10	6	35.9	129.9	3.1	2001	11	24	36.7	126.9	4.1
1989	10	25	37.5	127.8	3.7						

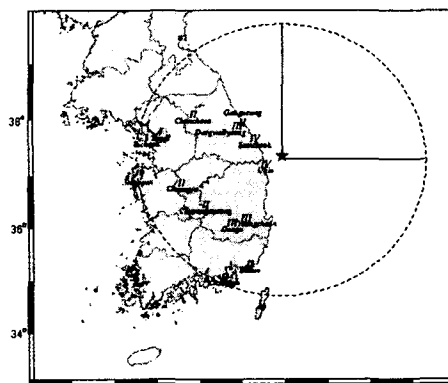


그림 4. 감진면적을 구하는 예 (JMA>I)

그림 4는 진도자료를 이용하여 감진면적을 구하는 예를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 진앙지를 중심으로 JMA 진도 I까지를 포함하는 타원을 그려 감진면적을 구하였는데 보수적으로 평가된 것으로 판단된다. 결과는 그림 5에 사각형으로 도시하였다. 이를 선형 회귀분석한 결과 감진면적 규모는 $M = 1.2662 \log A - 2.2116$ 의 회귀식을 구하였으며 □로 표시하였다.

기타 그림 5에 도시한 선은 이번 연구에서 구해진 결과와 기존의 연구결과를 비교한 것이다.

선②, ③은 Johnson(1992)⁴⁾에 의한 SCR(stable continental regions)에서의 지진모멘트와 진도의 관계를 나타낸 것이다. 선②는 MMI 진도 V이상의 감진면적규모이며, 선③은 MMI 진도 IV이상의 감진면적규모를 나타낸 것이다. 선③은 감진면적을 구하는데 있어 한계진도가 커짐에 따라 선 ②로 화살표 방향으로 이동한 것이다. 즉 감진면적을 구할 때 포함하는 진도가 커질수록 동일규모에 대한 감진면적이 좁게 평가되어 scaling이 됨을 알 수 있다.

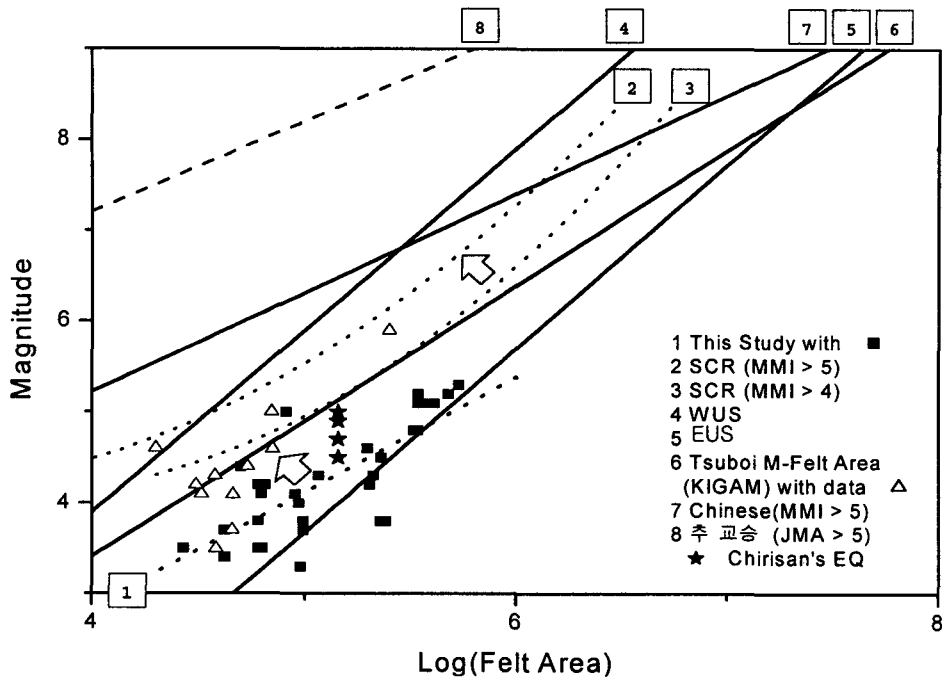


그림 5. 감진면적 규모 결과와 기존연구와의 비교

선④, ⑤는 각각 WUS지역과 EUS지역에 대한 감진면적-규모 관계식이다. EUS지역과 WUS지역의 감진면적규모는 Atkinson et al. (1995)²⁾에 의해 구해진 것으로 진도 II, III에 대한 것이다. EUS지역은 $M = -6.42 + 2.02 \log_{\text{felt area}}$, WUS지역 $M = 2 \log_{\text{felt area}} - 4.1$ 이다. 단순히 EUS지역과 WUS지역의 결과를 비교하면 둘 다 진도 2, 3에 대하여 나타난 것이나 동일한 지진의 규모에 대하여 미국 동부의 경우의 감진면적이 더욱 넓은 것을 알 수 있다. 이에 대한 원인으로 생각 할 수 있는 것 중 하나가 응력강하량이다. EUS지역의 경우에는 응력강하량이 150 bar 이며, WUS지역에 관하여서는 응력강하량이 75 bar이다. 즉, EUS 지역의 응력자체의 발산정도가 커서 동일 규모의 지진이 발생하였다 하더라도 EUS 지역의 감진면적이 크게 된다. 또 다른 원인중의 하나는 파형이 전파되는 과정의 감쇠효과이다. 그림 6은 EUS²⁾, WUS²⁾, 및 한반도⁽³⁾에서 감쇠효과를 나타내는 비탄성적 감쇠, Q값을 도시한 것이다. WUS지역의 감쇠정도가 EUS지역에 비하여 큰 것을 알 수 있으며 EUS 지역은 전달중의 지진파형의 감쇠가 상대적으로 적으므로 감진면적이 넓게 분포한다. 다음으로 미국 EUS, WUS 지역의 결과를 한반도에서 구해진 결과와 비교해보자. 이번 연구결과가 진도 1 이상을 포함하는 감진면적인데 비하여 WUS, EUS는 진도 2 이상에 대한 것이므로 앞서 설명한 바와 같이 감진면적에 비하여 규모가 크게 나타난다. 일반적으로 진도가 커질수록 방출되는 에너지의 양은 많아지는데, 규모가 1 증가하면 방출되는 에너지는 30배 증가하므로 규모 1 과 2의 방출되는 에너지 정도의 차이는 규모 4와 5의 방출되는 에너지의 차이에 비하여 그 정도가 적어서 scaling 되는 정도도 적을 것이다. 이번 연구 결과를 ④, ⑤와 비교하기 위하여 진도 II, III 감진면적으로 가정하면 확실표 방향으로 scaling하였다. 이번 결과에서 감진면적을 산정할 때 충분히 보수성을 두었음을 고려하더라도 EUS 지역보다는 감진면적이 좁게 평가되고, WUS 지역보다는 넓게 평가되면서 WUS 지역에 가깝게 치우친다. 그림 6에서 한반도의 기하학적 감쇠는 EUS 지역과 유사함을 알 수 있는

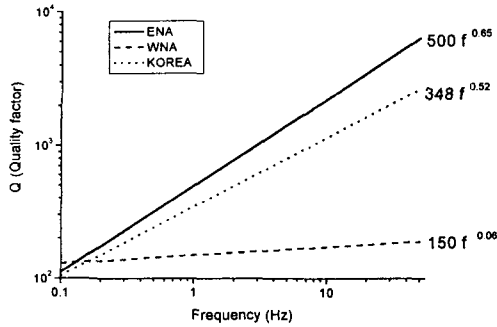


그림 6. 비탄성적 감쇠(Q 값) 비교

데 그럼에도 불구하고 EUS 지역보다 감진면적이 좁게 평가되는 이유는 응력강하량이 EUS 지역보다 작기 때문이라고 생각된다. 한편, WUS보다는 감진면적이 크게 평가되는 것은 WUS의 비탄성적 감쇠의 영향이 크기 때문이라 생각된다.

다음으로, [6]은 전명순 외(2001)⁶⁾에 의한 것이다. 이때 이용된 감진면적-규모 관계식은 Tsuboi⁷⁾에 의하여 제시된 식 $M=1.49 \times \log_{10}(\text{Felt Area})-2.55$ 이다. 전명순 외의 연구에서 초기 한반도 지진에서 (1905~1942) 감진면적이 기재된 지진자료를 이용

하여 감진면적에 포함된 진도의 범위는 알 수 없으나 [1]과, [1]의 scaling 정도를 고려하면 유사한 결과라고 할 수 있다. 별표로 나타낸 것은 1936년 발생한 지리산지진에 대하여 감진면적규모를 나타낸 것이다. 지리산 지진은 1936년 7월 4일 지리산 남쪽 쌍계사 부근에서 발생한것으로 지진 급세기에 한반도 육상에서 발생한 지진 중 가장 큰 지진 중의 하나인데, 여러 연구자들에 의한 규모산정 결과 M_L 은 4.5에서 5.0으로 제안되었다. 이 지진의 감진면적은 69.220km²으로 보고된 바 있는데 이 면적은 바다를 제외한 육상만의 면적이므로 진도 I을 포함하는 면적을 다시 구하여 도시하였다. 김성균(1998)⁸⁾은 북미대륙에서 얻어진 규모와의 관계식을 이용하여 지리산 지진의 규모를 지리산 지진의 규모를 최대 값을 이용하여 구한 규모 5.0보다 작은 4.4로 얻었으며, 감진면적으로 구한 규모가 작게 나타나는 이유를 한반도에서 지진파의 감쇠가 EUS나 WUS에 비하여 빠르기 때문이라고 해석하였다. 이는 이번 연구에서 감진면적규모가 EUS와 WUS 사이에 존재하는것과는 차이가 있다. 그러나 이번 연구결과와 [6] 및 지리산 지진의 결과를 살펴보면 한반도에서 발생한 지진의 진도 I ~ IV에 대한 감진면적-규모 관계는 Tsuboi식으로 대표될 수 있다.

선[7]은 Wu(2001)⁹⁾에 의하여 중국의 역사지진 평가시 이용된 것이다. 중국의 경우 감진면적과 규모와의 관계에 대하여 각각의 감진면적 한계 진도에 대하여 다음과 같이 제시되어있는데, $M=0.86+0.19 \log A_5$, $M=2.56+0.85 \log A_6$, $M=3.49+0.84 \log A_7$ (아래첨자가 진도를 의미함) 이 중 그림 [7]에 나타낸 것은 MMI진도 V이상에 대한 결과이다.

선[8]은 추교승(2001)¹⁰⁾에 의한 작업으로 JMA진도 V이상의 감진면적을 $M=2(\log R_v+1.85)$ 이용하여 도시한 것이다. JMA진도 V는 MMI진도 VII, VIII에 해당된다.

4. 결론 및 토의

우리나라와 같이 단층의 변위량이 지표로 드러나지 않는 지역에서 지진의 모멘트 및 응력강하량 등의 지진원 특성을 산정하기 위해서는 지진파의 스펙트럼분석에 의존하고 있는데, 푸리에 스펙트럼에서 고주파수 진폭의 준위는 응력강하량과 규모에 민감한 값을 가진다.

1978년 기상청에서 본격적인 지진 관측을 시작한 시점부터 1990년대 초기까지의 지진 자료는 아날로그 자료이다. 아날로그 자료와 같이 스펙트럼 분석을 실시할 수 없을 때에는 시간영역 파형에서의 최대값이나 감진면적 규모를 이용하면 스펙트럼에서 고주파수 최대 진폭 준위를결정할 수 있으며 이를 이용하여 응력강하량을 추정할 수 방법이 알려져 있다.

이번 연구에서는 먼저, 기상청 초기 아날로그 자료의 최대값을 이용하여서 고주파수 준위를 산정할 수 있음을 확인하였으나 기상청 기록에 대한 응답보정을 재확인한 후에 다시 수행하여야 할 것이다. 다음으로 감진면적-규모를 산정하여 기존의 결과와 비교, 검토하였다. 동일한 규모라도 감진면적이 다르게 평가되는 이유로 응력강하량, 비탄성적임 감쇠 등 및 기하학적 감쇠효과가 지역성을 가지고 반영되기 때문이다. 한반도에서 추정된 감진면적은 MMI진도 I ~ IV에 대한 감진면적-규모 관계는 *tusboi*식으로 대표될 수 있음을 알 수 있었다. 한반도의 기하학적 감쇠는 EUS 지역과 유사함에도 불구하고 동일규모에 대하여 EUS 지역보다 한반도에서의 감진면적이 좁게 평가되는 이유는 응력강하량이 작기 때문이라고 설명된다. 한편, WUS보다는 감진면적이 크게 평가되는 것은 WUS의 비탄성적 감쇠의 영향이 크기 때문이라 생각된다.

이번 연구는 응력강하량 등의 지진원 특성을 평가하기 위한 사전연구로, 차후 한반도에서의 PGV 및 감진면적으로부터 고주파수 스펙트럼 준위를 산정하여 지진원 특성을 정량적으로 평가할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 과학기술부 2001년도 원자력 연구개발 중장기 계획사업 “원전 내진설계를 위한 기반 구축연구” 과제의 일부로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. “1978-92 지진관측보고”, 기상청, 1992.
2. G.M. Atkinson and Ghomas C. Hanks., A High-Frequency magnitude Scale,” *Bull. seism. Soc. Am.*, Vol. 85, 1995, pp. 825-833.
3. 연관희, W. Silver, 박동희, 장천중, “수정된 Levenberg-Marquardt 역산방법에 의한 한반도 남부의 추계학적 지진 요소 평가”, 한국지진공학회 춘계 학술발표회 논문집(발표예정), 2002.
4. Hanks, T., J. Hileman, and W. Thatcher, “Seismic moments of the larger earthquakes of the southern California region,” *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 86, 1975, pp. 1131-1139.
5. Johnson, A., “The stable continental region earthquake data base, Methods for Assessing Maximum Earthquakes in Eastern United States,” EPRI Report RP-255-12 Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1992.
6. 전명순, 전정수, “한반도 초기 계기지진자료 (1905-1942),” *자원환경지질*, 제 34권 6호, 2001, pp. 573-581.
7. Tsuboi, C., “Determination of Gutenberg-Richter’s magnitude of earthquakes occurring in and near Japan,” *Zisin*, Vol. 7, 1954, pp. 185-193.
8. 김성균, “1936년 지리산 지진에 대하여,” 한국지진공학회 춘계 학술발표회 논문집, 1998 pp. 66-70.
9. Wu GE., “The effect of haicheng M=7.3 earthquake on the korean Peninsula,” 한반도 및 주변지역의 지진활동 워크샵, 서울대학교 지구환경과학부, 2001, pp. 57-72.
10. 추교승, “한반도에서 발생한 최대급 지진추정” 2001 한반도 및 주변지역의 지진활동 워크샵 서울대학교 지구환경과학부, 2001, pp. 12-31.