

## 한반도의 역사지진 평가를 위한 진도-규모 관계 분석

김현화 · 경재복\*

한국교원대학교 지구과학교육과, 28173, 충북 청주시 흥덕구 강내면 태성탑연로 250

### Analysis on the Relationship between Intensity and Magnitude for Historical Earthquakes in the Korean Peninsula

Hyeon-hwa Kim and Jai Bok Kyung\*

Department of Earth Science Education, Korea National University of Education,  
Chungbuk 28173, Korea

**Abstract:** Equations that could estimate the local magnitude of historical earthquakes, being difficult to calculate, in Sino-Korea craton was obtained using instrumental earthquake data for 22 Korean and 46 northeastern Chinese events. The obtained equations from intensity  $I_0$  is  $M_L = 1.7 + 0.57 \times I_0$ . The equation from felt area  $FA$  for the Korean Peninsula is  $M_L = 4.29 - 1.34 \times \log(FA) + 0.28 \times \log^2(FA)$ . When the information on earthquake damage, effects, and felt area is all recorded at the same time, the former equation of intensity is more feasible than that of felt area due to uncertainty in earthquake felt area.

**Keywords:** local magnitude, intensity, felt area, Korean Peninsula, historical earthquake

**요약:** 한반도의 22개 지진과, 북중국의 46개 지진자료를 활용하여 직접적으로 지진규모 평가가 어려운 우리나라 역사 지진의 규모 평가 방법을 도출코자 하였다. 한반도를 포함한 Sino-Korea craton에서 지진효과, 피해 등으로부터 구한 최대 진도( $I_0$ )와 지역규모( $M_L$ )와의 관계식은  $M_L = 1.7 + 0.57 \times I_0$ 이다. 감진면적만 추정이 가능한 역사지진의 경우, 한반도에서 적용 가능한 지역규모-감진면적( $FA$ ) 식은  $M_L = 4.29 - 1.34 \times \log(FA) + 0.28 \times \log^2(FA)$ 이다. 그러나 역사지진에서 감진면적에 대한 불확실성으로 인해 지진효과, 피해 기록과 감진 면적이 동시에 기록된 경우 최대진도-규모 관계식을 통해 규모를 평가하는 것이 더 타당하다고 본다.

**주요어:** 지역규모, 진도, 감진면적, 한반도, 역사지진

## 서론

우리나라 지진 자료는 역사지진 기록과 지진계를 이용한 관측을 통한 지진 기록이 있다. 역사 지진 기록은 당시의 지진에 의한 피해나 지진에 수반된 자연현상의 변화, 지진동에 대한 인간의 감진정도, 감

진 지역에 대한 기록만 기술되어 있어 지진의 크기를 평가하는 것이 상당히 불확실성이 내재되어 있다. 그러나, 이들 기록에 근거하여 지진의 크기(진도 혹은 규모)를 정량적으로 규명하는 것은 장기간에 걸친 한반도 지진학적 특성과 지진활동 평가에는 매우 중요한 연구라고 본다.

특히, 20세기 들어와서도 정치적인 격동, 지진계의 부족, 관측망의 부실로 지진계를 통한 지진관측 자료의 부족으로 각 지진의 지진파라메타 결정에 있어서 불확실성이 매우 큰 시기였다. 따라서 어느 정도 제대로 된 지진관측 자료 획득이 이루어지게 된 시기는 1978년 이후 현재까지 약 35년여에 불과하다. 장기간에 걸친 역사지진 및 계기지진 자료의 수집과 분석은 기초 지진연구 뿐만 아니라 공학적인 연구에

\*Corresponding author: jbkjung@knue.ac.kr

Tel: +82-43-230-3742

Fax: +82-43-231-7176

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도 매우 중요하다. 일반적으로 국내의 일반 구조물 혹은 중요 산업시설물의 합리적인 내진설계 기준 설정을 위한 지진재해도 산정 등에서 수백-수천년의 재현주기를 갖는 지진동의 크기 수준을 결정하기 위해서는 적어도 500여년 이상의 지진자료에 대한 지진 크기의 정량적 평가가 공학적으로 요구된다.

규모가 제대로 평가되지 않은 지진(예: 역사지진)에 대한 규모 평가는 진앙진도를 이용하는 방법(예: Gutenberg and Richter, 1956; Greenhalgh et al., 1988; Gu et al., 1989)과 지진의 감진 면적을 이용하는 방법 등이 있다(예: Nuttli and Zollweg, 1974; Street and Turcotte, 1977; Sibol et al., 1987). 우리나라의 경우 역사지진 혹은 1978년 이전의 계기지진 등에 이를 적용할 수 있다(Lee and Lee, 2003).

본 연구는 우리나라에서 역사지진 등과 같이 규모를 직접 산출할 수 없는 지진에 대하여 진도-규모 사이에는 어떤 관계식이 가능할지, 규모 추정 방법으로 어떤 방법이 더 불확실성이 작을지 등에 대한 검토를 통해 규모 추정에 대한 신뢰도를 높이는데 연구의 주 목적이 있다.

### 역사지진의 규모 평가 방법

지진의 크기를 평가할 때 진앙거리와 평가지점의 지표지질에 좌우되는 진도계급과 달리 지진의 규모는 지진계에 기록된 지진파형의 최대 진폭, 주기, 진앙거리 등을 이용하여 지진의 크기를 평가한다. 그러나 역사지진의 경우 지진계의 기록이 없고 역사 지진 관련 피해나 감진 정도만 기록으로 남아있어 규모를 산출하기 어렵다. 따라서, 역사지진의 규모를 추정하기 위해서는 동일 지역 내에서 1905년 이후 발생한 지진들에 대하여 계기에 의해 관측된 지진 자료에서 구한 규모, 이 지진에 대하여 평가된 진도, 감진 면적 사이에 어떤 관계가 성립하는지를 먼저 산출하고, 그 결과를 역사지진에 적용함으로써 규모를 산출할 수 있다. 즉, 규모 산출을 최대 진도를 이용하여 구하는 방법과 감진 면적을 이용하여 구하는 방법으로 나누어 다음과 같이 구하고자 한다.

#### 가. 최대 진도를 이용하는 방법

일반적으로 특정 지진에 대하여 어떤 지역에서 감지되는 가장 큰 진도를 최대 진도(maximum intensity,  $I_{max}$ ), 진앙에서 관측되는 진도를 진앙 진도(epicentral intensity,  $I_0$ ) 라고 한다. 지표지질의 지역적인 차이로

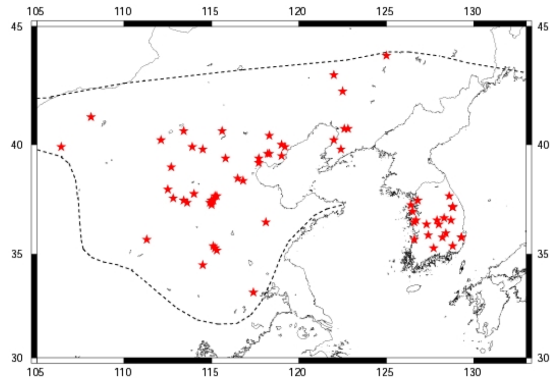


Fig. 1. Distribution of earthquakes used for the calculation of magnitude-intensity relation. Dots and dot-line indicate epicenters and boundary of Sino-Korean craton, respectively.

지진파 전달시 증폭효과(혹은 부지효과)가 지역적으로 달라지기 때문에 최대 진도와 진앙 진도가 반드시 일치하는 것은 아니다. 그러나 진앙 부근에서 최대 진도가 감지되는 경우가 대부분이다. 본 역사지진 평가에서는 최대 감진 지역 혹은 최대 피해 지역을 진앙으로 간주하므로 대부분 진앙 진도가 최대 진도가 된다.

우선 20세기 이후 발생한 주요 계기 지진들에 대하여 최대진도와 규모와의 관계식을 회기분석으로 우선 결정한다. 그 다음 어떤 지역에서 발생하는 지진의 최대진도-규모 관계는 역사시대나 20세기 이후나 동일하다고 보기 때문에 이 관계식을 역사지진에 적용하여 역사지진의 규모를 산출할 수 있다.

20세기 이후 한반도의 육상에서는 규모 5.0 이하의 중소규모 지진은 많이 발생하였으나, 규모 5.0 이상의 중대규모 지진이 거의 발생하지 않았다. 따라서 지진 자료수가 적어 진도와 지역규모 사이의 의미있는 관계식의 도출이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 중국 북동부와 한반도를 포함한 지체구조적 환경이 유사한 광범위 지역인 Sino-Korean Craton에서 발생한 20세기 이후의 강진 자료(Fig. 1)를 이용하여 진도와 지역규모 사이의 관계식을 구하고자 하였다.

1905년 이후 발생한 규모 3.0 이상의 한반도 지진 자료의 경우, 각 지진의 진도는 기상청(KMA)에서 발표한 최대진도 자료를 사용하였으며, 기상청에서 발표되지 않거나 JMA 진도로 발표된 지진은 Kyung (2011)의 MM진도를 이용하였다. 또한, 중국 북동부 지진 자료(Gu et al., 1989)는 표면파규모로 표기되어

있으므로 식 (1) (China Seismological Bureau, 1999) 을 이용하여 표면파 규모를 지역규모로 전환한 후 사용하였다.

$$M_S=1.13M_L-1.08 \quad (1)$$

여기서  $M_S$ 은 표면파 규모(surface wave magnitude),  $M_L$ 은 지역규모(local magnitude)이다.

Fig. 1은 위 지진자료를 한반도를 포함한 Sino-Korean Craton 지역에 나타낸 것이다. 최대진도-규모 관계를 규명하기 위해 진도가 평가된 한반도 자료 22개(Table 1)와 1900년 이후 발생한 중국 북동부 지진 자료 46개(Table 2)를 함께 사용하여 전체 68개 지진에 대하여 최대 진앙진도 별 지역규모의 평균값에 가장 잘 맞는 회귀식을 구하면 다음과 같다.

$$M_L=1.7+0.57 \times I_0 \quad (2)$$

여기서  $M_L$ 은 지역규모,  $I_0$ 은 진앙 진도(epicentral intensity)이다. 이를 그래프로 나타내면 Fig. 2와 같으며, 이 때  $R^2=0.96$ 이다.

위에서 구한 한반도 적용 가능식과 다른 지역에서 경험적으로 구한 지역규모-진도 관계식을 비교하면 Table 3 과 같으며, 이 식을 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다. 본 논문의 연구 결과는 타 국가 혹은 지역에 비해 낮은 진도계급에서 규모가 약간 커지고 높은 진도 계급에서는 이들 지역의 평균값에 근사한다. 동일 진도에 대응하는 규모의 지역 간 차이는 최대 0.4 이내로 그리 크지 않다. 최대 진도는 평가자의 주관적 판단, 부지효과, 진원 깊이에 따라 상당히 좌우될 수 있으므로 최대 진도로부터 구한 규모도 지역적 차이에 따른 오차가 동반된다.

한반도에서 발생한 역사지진 중 최대 크기의 지진 (Kyung, 2011)은 진도 VIII-IX 로서 이를 식 (2)에 대입하면 지역 규모  $M_L=6.5$ 에 해당한다.

나. 감진 면적을 이용하는 방법

역사지진 기록 가운데는 어떤 지진 발생 시 그 지진의 피해나 지진효과는 불확실하지만, 감진 지역들은 역사 문헌에 나타나 감진 면적 산출이 가능한 지

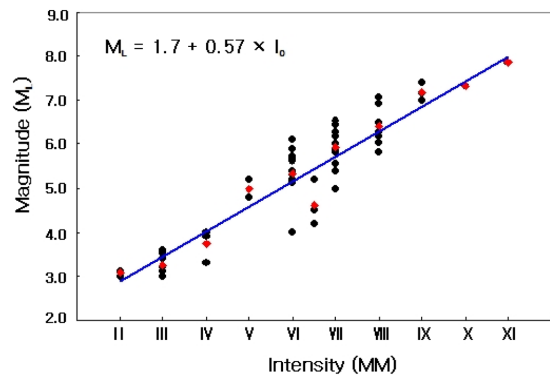
**Table 1.** List of the Korean earthquakes used for this study

No.	Year/Month/Date	Latitude/Longitude	M	Maximum Intensity		Radius (km)
				KMA	Kyung (2011)	
1	1936/ 07/ 04	35.3/127.7	5.0		MMI VII	192.5
2	1978/ 09/ 16	36.6/127.9	5.2	JMA IV	MMI VI-VII	179.8
3	1978/ 10/ 07	36.6/126.7	5.0	JMA V	MMI VII	156.6
4	1985/ 06/ 25	37.3/126.4	4.0	JMA III	MMI VI	87.4
5	1996/ 01/ 24	37.9/129.6	4.2			136.7
6	1996/ 12/ 13	37.2/128.8	4.5	JMA III	MMI VI-VII	200.6
7	1997/ 06/ 26	35.8/129.3	4.2	JMA IV	MMI VI-VII	170.8
8	1999/ 01/ 11	38.3/128.7	4.2			104.7
9	2001/ 01/ 29	35.7/126.6	3.0	MMI III		34.8
10	2001/ 07/ 23	36.4/128.0	3.5	MMI III		52.0
11	2001/ 11/ 21	36.7/128.3	3.5	MMI III		38.5
12	2002/ 01/ 07	35.4/128.8	3.1	MMI II		32.4
13	2002/ 03/ 07	36.5/126.6	3.0	MMI II		
14	2003/ 03/ 01	35.8/129.3	3.0	MMI III		29.1
15	2003/ 03/ 10	36.0/128.4	3.1	MMI III		
16	2003/ 10/ 13	37.0/126.5	3.6	MMI III		68.0
17	2004/ 04/ 26	35.8/128.2	3.9	MMI IV		104.8
18	2004/ 05/ 29	36.8/130.2	5.2			242.0
19	2004/ 08/ 26	35.9/127.4	3.3		MMI IV	
20	2005/ 11/ 15	37.2/128.8	3.1	MMI II		
21	2006/ 01/ 19	37.2/128.8	3.2	MMI III		31.1
22	2007/ 01/ 20	37.7/128.6	4.8	MMI V		160.1
23	2008/ 10/ 29	36.4/127.3	3.4	MMI III		56.8
24	2009/ 05/ 02	36.6/128.7	4.0	MMI IV		91.0
25	2010/ 02/ 09	37.5/126.8	3.0	MMI III		

**Table 2.** List of north-eastern China earthquakes used for this study (Gu et al., 1989)

No.	YY. MM.. DD	Latitude (°N)/ Longitude (°E)	Intensity (MM)	Magnitude (Ms)
1	1909. 02. 21	37.4/113.6	VI	5.00
2	1911. 01. 26	39.8/114.5	VII	5.50
3	1916. 08. -	35.7/111.3	VI	5.00
4	1918. 08. 09	34.5/114.5	VI	5.25
5	1923. 09. 14	39.4/115.8	VII	5.50
6	1931. 07. 25	36.5/118.1	VI	4.75
7	1934. 10. 27	39.9/119.2	VI	5.00
8	1935. 01. 19	39.6/118.3	VI	4.75
9	1936. 02. 13	40.4/118.3	VI	4.75
10	1937. 08. 01	35.4/115.1	IX	7.00
11	1937. 08. 01	35.3/115.2	VIII	6.75
12	1940. 08. 05	40.2/122.0	VIII	5.75
13	1942. 07. 09	43.0/122.0	VIII	6.00
14	1945. 09. 23	39.5/119.0	VIII	6.25
15	1952. 10. 08	39.0/112.7	VIII	5.50
16	1956. 08. 19	37.8/114.0	VII	5.00
17	1957. 06. 06	37.6/112.8	VI	5.00
18	1957. 06. 11	38.0/112.5	VI	5.00
19	1966. 03. 06	37.5/115.0	VII	5.20
20	1966. 03. 08	37.4/114.9	IX	6.80
21	1966. 03. 20	37.3/115.0	VI	5.60
22	1966. 03. 22	37.5/115.1	10	7.20
23	1966. 03. 26	37.7/115.3	VII	6.20
24	1966. 10. 02	43.8/125.0	VII	5.20
25	1967. 03. 27	38.5/116.5	VII	6.30
26	1967. 07. 28	40.6/115.6	VI	5.40
27	1967. 12. 03	37.7/115.2	VII	5.70
28	1971. 06. 05	37.5/113.4	VI	4.70
29	1972. 04. 14	39.8/122.4	VI	4.80
30	1973. 12. 31	38.4/116.8	VI	5.30
31	1974. 06. 06	37.5/115.0	VI	4.70
32	1975. 02. 04	40.7/122.8	IX	7.30
33	1976. 04. 06	40.2/112.1	VII	6.20
34	1976. 07. 28	39.6/118.2	XI	7.80
35	1976. 09. 23	39.9/106.4	VII	6.20
36	1976. 11. 15	39.4/117.7	VIII	6.90
37	1977. 05. 12	39.2/117.7	VII	6.20
38	1978. 05. 18	40.7/122.6	VII	5.90
39	1979. 03. 02	33.2/117.4	VI	4.90
40	1979. 08. 25	41.2/108.1	VII	6.00
41	1981. 08. 13	40.6/113.4	VII	5.60
42	1981. 11. 09	37.4/115.0	VI	5.80
43	1982. 10. 19	40.0/119.0	VI	4.90
44	1983. 11. 07	35.2/115.3	VII	6.00
45	1988. 02. 25	42.3/122.5	VI	4.80
46	1989. 10. 19	39.9/113.9	VIII	5.90

진이 상당히 있다. 이 경우, 역사지진의 규모는 계기 지진 자료에서 추정된 감진면적-규모 관계식(예, Tsuboi,



**Fig. 2.** Relation between local magnitude and MM intensity obtained from the earthquake events of Korea and north-eastern China.

1954, Street and Turcotte, 1977, Sibol et al., 1987) 을 고려하여 구할 수 있다.

본 연구는 한반도에서 최근까지 발생한 규모 5.2 이하의 지진 중 감진반경 측정이 가능한 20개 계기 지진 자료(Table 1)를 바탕으로 규모-감진 면적 관계에 대하여 다음과 같은 관계식 (3)을 산출하였으며, 이를 Fig. 4에 나타내었다.

$$M_L = 4.29 - 1.34 \times \log(FA) + 0.28 \times \log^2(FA) \quad (3)$$

여기서 FA는 감진 면적을 나타내며, 이 때 R<sup>2</sup> = 0.89이다.

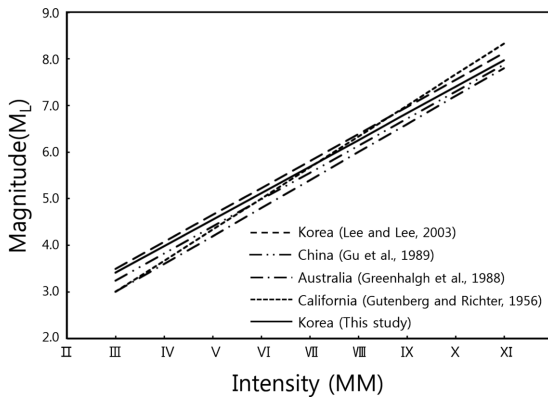
위 결과를 타 지역과 비교하기 위해 미국의 중동부 및 남동부 지역, 우리나라의 기존 연구에 나타난 규모-감진면적 관계식을 정리하면 Table 4와 같으며, 이를 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

한반도와 관련하여 Jun and Jeon(2001)는 20세기 초기(1905-1942)에 발생한 13개의 감진면적 산출이 가능한 계기지진 자료를 이용하여 Tsuboi 규모(Tsuboi, 1954)와 감진면적과의 상관 관계식을 구한 바 있다. 이는 포함된 데이터 수가 작고 1950년 이후 발생한 지진 자료와 감진 면적이 포함되지 않은 점이 있다. 미국에 비해 한반도에서의 감진면적은 규모가 4 이하에서는 미국보다 크고, 4 이상에서는 미국보다 작게 나타난다. 즉, 한반도의 경우 규모의 증가에 따라 감진면적의 증가가 미국에 비해 작다는 것을 알 수 있다.

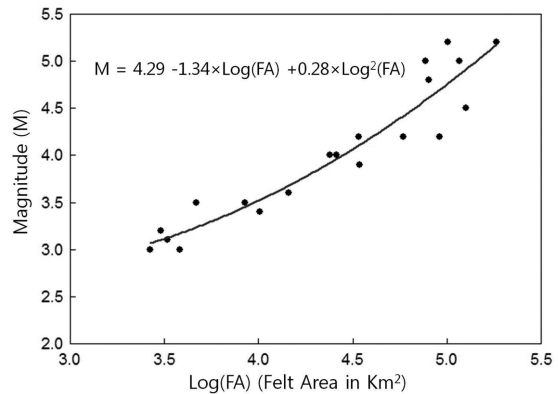
이 방법은 역사지진에 있어서 감진 면적에 대한 정보만 기록되어 있을 경우 적용하여 규모를 산출할 수 있다. 감진면적에 대한 기록만 있을 경우, 또 다

**Table 3.** The relation between local magnitude and MM intensity for several regions

$M_L-I_0$ relation	Region	Authors
$M_L=1.7+0.57 \times I_0$	Sino-Korean craton	This study
$M_L=1.75+0.58 \times I_0$	Sino-Korean craton	Lee and Lee (2003)
$M=1.5+0.58 \times I_0$	China	Gu et al. (1989)
$M_L=1.2+0.6 \times I_0$	Australia	Greenhalgh et al. (1988)
$M_L=1.0+2/3 \times I_0$	South California	Gutenberg and Richter (1956)



**Fig. 3.** Comparison of the relation between local magnitude and MM intensity for several regions.



**Fig. 4.** Magnitude-felt area relation for the Korean earthquakes.

른 방법은 우리나라 지진의 감쇄특성을 고려하여 진앙에서의 최대진도를 구하고(Lee and Yang, 2006), 그 다음 진도-규모 변환공식을 통해 규모를 산출할 수도 있다.

감진면적만 기록된 역사지진의 경우, 진도와 규모 산출에 불확실성이 크다고 본다. 그 이유는 첫째, 대부분의 역사지진에서 인구의 불균질한 분포, 통신수단의 부족, 산악 지형 등으로 감진정도와 구역을 정확히 파악하기 어렵다. 특히, 한반도와 같이 국토면적이 작고 해양으로 둘러싸인 곳에서 큰 지진이 발생할 경우 감진 면적의 산출에 오차가 크게 발생할 수 있다. 둘째, 우리나라의 경우 20세기 이후 규모 5.2 이상의 큰 내륙 지진의 발생 사례가 없어 규모에 따른 감진반경 관계를 구하는 데 한계가 있어 한반도에 대하여 신뢰성 있게 적용하기 어렵다. 큰 규모

의 역사지진의 감진 면적에 적용할 경우 불확실성이 커진다.

따라서, 역사 지진의 경우 피해 상황보다 감진 면적에 대한 불확실성이 높으므로 지진의 규모는 우리나라와 북중국 자료를 결합하여 구한 진도-규모 관계식인 식(2)을 적용하여 규모를 구하는 것이 더 타당하다고 본다. 부득이하게 감진면적에 대한 정보만 기록된 지진의 경우 위 방법을 이용하여 규모를 정할 수 있다.

역사지진의 규모 결정은 계기지진의 경우와는 달리 쉽지 않다. 따라서 연구자들이 각기 다른 기준에 의해 다른 진도와 규모를 제시할 수 있다. 이 경우 중요한 것은 연구자들의 기준이 지진학적으로 얼마나 합리적이고 객관적이냐 하는 점이다.

**Table 4.** Magnitude-felt area relations in Korea and America

Magnitude-felt area relation	Region	References
$M_L=4.29-1.34 \times \log(FA)+0.28 \times \log^2(FA)$	Korea	This study
$M=-2.55+1.49 \times \log(FA)$	Korea	Jun and Jeon (2001)
$M=2.48+0.0769 \times \log^2(FA)$	Central and eastern north America	Sibol et al. (1987)
$M_L=3.25-0.25 \times \log(FA)+0.098 \times \log^2(FA)$	Southeastern America	Nuttli et al. (1979)

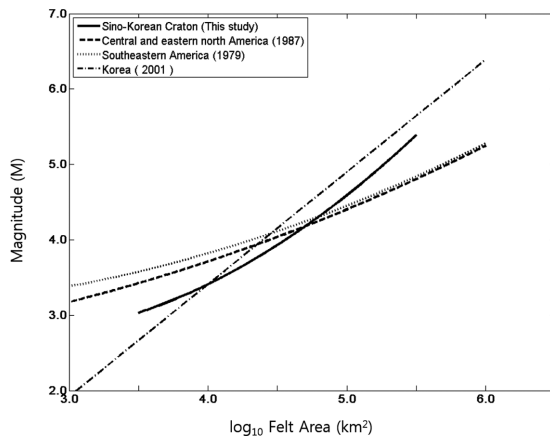


Fig. 5. Comparison of magnitude-felt area relations in Korea and America.

## 결론

역사지진과 같이 직접적으로 지진규모 평가가 어려운 지진은 계기지진을 통해 구한 다음의 관계식을 적용하여 구할 수 있다.

1. 한반도를 포함한 Sino-Korea craton에서 1905년 이후 발생한 지진(한국 22개, 북중국 46개)으로부터 회귀분석을 통해 구한 최대진도-규모 관계식은  $M_L = 1.7 + 0.57 \times I_0$ 이다. 이는 부지효과, 진원깊이에 따라 지역적으로 차이가 있겠지만 타 지역(예: 중국, 오스트레일리아, 남부 캘리포니아등) 과 비교하여 약 0.4 이내로서 약간의 규모 차이를 나타낸다.

2. 감진면적만 추정 가능한 역사지진의 경우, 한반도에서 적용 가능한 규모-감진면적 식은  $M_L = 4.29 - 1.34 \times \log(FA) + 0.28 \times \log^2(FA)$ 이다. 그러나 역사지진의 경우 감진면적에 대한 불확실성이 크다.

지진에 의한 효과나 피해와 감진 지역이 동시에 기록된 경우, 감진면적 산출의 불확실성으로 인해 위의 진도-규모 관계식을 통해 규모를 평가하는 것이 더 타당하다고 본다.

## References

- Kyung, J.B., 2011, Historical earthquake catalog and DB (III) of the Korean Peninsula, Korea Meteorological Agency, 645 p.
- China Seismological Bureau, 1999, Catalog of Recent Chinese Earthquakes, Science and Technology Press, Beijing, 637 p.
- Greenhalgh, S.A., Denham, D., MacDougall, R. and Rynn, J.M.W., 1988, Magnitude-intensity relation for Australian earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, 78, 374-379.
- Gutenberg, B. and Richter, C., 1956, Earthquakes magnitude, intensity, energy and acceleration (second paper), Bulletin of the Seismological Society of America, 46, 105-145.
- Gu, G., Lin, T., Shi, Z., Li, Q., Wu, H., Lu, S., Yang, Y., Chen, H., and Wang, S., 1989, Catalog of Chinese Earthquakes, Science Press, Beijing, China, 872 p.
- Jun, M.-S. and Jeon, J.-S., 2001, Early instrumental earthquake data (1905-1942) in Korea, Economic and Environmental Geology, 34, 573-581.
- Lee, K., and Lee, J., 2003, Short Note: Magnitude-intensity Relation for Earthquakes in the Sino-Korean Craton, Seismological Research Letters, 74, 350-352.
- Lee, K., and Yang, W., 2006, Historical seismicity of Korea, Bulletin of the Seismological Society of America, 96, 846-855.
- Nuttli, O. W. and Zollweg, J. E., 1974, The relation between felt area and magnitude for central United States earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, 64, 73-85.
- Nuttli, O. W., Bollinger, G. A., and Griffiths, D. W., 1979, On the relation between modified Mercalli intensity and body-wave magnitude, Bulletin of the Seismological Society of America, 69, 893-909.
- Sibol, M.S., Bollinger, G.A. and Birch, J.B., 1987, Estimation of magnitudes in central and eastern north America using intensity and felt area, Bulletin of the Seismological Society of America, 77, 1635-1654.
- Street, R.L. and Turcotte, F.T., 1977, A study of northeastern North American spectral moments, magnitude, and intensities, Bulletin of the Seismological Society of America, 67, 599-614.
- Tsuboi, C., 1954, Determination of Gutenberg-Richter's magnitude of earthquakes occurring in and near Japan, Zishin, 7, 185-193.

Manuscript received: December 4, 2015

Revised manuscript received: December 15, 2015

Manuscript accepted: December 16, 2015