

한반도의 최적 지진원 변수 b값 및 그의 적용에 관한 연구

A Study on the Best Estimate of Seismicity Parameter b-Value and Its Application for the Seismic Hazard Analysis of the Korean Peninsula

서정문¹⁾ · 이현미²⁾ · 최인길³⁾

Seo, Jeong Moon · Rhee, Hyun Me · Choi, In Kil

국문 요약 >> 한반도의 Gutenberg-Richter b값에 관한 기존 국내 연구결과로부터 최적값을 전문가 패널을 통해 도출하였다. 전문가 패널에 의한 평가 결과, Gutenberg-Richter b값은 지진원 구역에 상관없이 한반도 전체에 걸쳐 비교적 일정하며 그의 평균값은 0.96으로 추천되었다. 지진지체구조는 4가지로 의견이 수렴되었다. 패널평가 결과를 신울진 1.2호기 원전부지에 적용하여 지진재해도에 미치는 영향을 분석하였다. 연구대상 부지의 평균재해도 수준은 전문가 패널평가결과 적용 이전에 비해 0.2g에서 최소 약 70-80% (0.6-0.7 order) 감소하였고, 지진재해도의 불확실성 폭은 0.2g (15%-85% 신뢰구간)에서 현저하게 감소하였다. 향후, 지진재해도분석 시 b값을 지진원 전체에 균일하게 보수적으로 0.95를 적용할 것을 제안하였다.

주요어 지진재해도, Gutenberg-Richter b값, 불확실성

ABSTRACT >> The best estimate Gutenberg-Richter b-value of the Korean Peninsula was estimated through an expert panel assigned to evaluate the currently available study results. The panel's assessment yielded that the Gutenberg-Richter b-value was relatively constant over the Korean Peninsula and was independent of seismic zones with an average value of 0.96. Also, the currently most reliable four seismotectonic structural maps were produced. The effects on the seismic hazard were analyzed by applying the results to the Shinwuljin Units 1&2 NPP site. As a result, the mean hazard level at 0.2g was decreased by about 70-80% (on the order of 0.6-0.7), and the uncertainty band at 0.2g for the reliability band of 15%-85% was significantly reduced. It was proposed, for conservatism, to use $b=0.95$ over all seismic zones for seismic hazard analysis in the future.

Key words Seismic hazard, Gutenberg-Richter b-value, uncertainty

1. 서론

지진재해도분석에서는 지진원, 지진원특성 (최대지진규모, Gutenberg-Richter 변수, 진원깊이), 감쇄식 등이 고려되며, 이들 값은 통상 전문가 패널 (개인 또는 팀)에 의해 평가된다. 1980년대 이후 수행된 국내 원자력발전소의 지진재해도분석 입력자료에 대한 분석결과 이들 변수값의 불확실성이 큰 것을 알 수 있다. 특히, 우리나라의 경우에는 여러 변수 중에서 Gutenberg-Richter 변수값 (통상 a, b값) 및

감쇄식의 불확실성이 매우 크며, 지진재해도에 미치는 영향이 큰 것으로 밝혀진 바 있다.^{(1),(2)}

우리나라의 Gutenberg-Richter a, b값에 관한 연구는 Lee and Young⁽³⁾, Lee and Jung⁽⁴⁾, 노명현 외⁽⁵⁾, 서정문 외⁽⁶⁾, 경재복 외⁽⁷⁾, 이종립 외⁽⁸⁾, 연관희⁽⁹⁾에 의해 수행되었다. 표 1은 각 연구자의 결과를 정리한 것으로서 연구자별로 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 참고문헌 (3)-(7)의 연구결과는 한반도 전체를 하나의 지진원으로 가정한 결과로서, 역사지진자료, 계기지진자료 또는 이들을 함께 고려한 것이지만 지진자료의 완전성에 대하여는 정량적으로 평가되지 않았다. 참고문헌 (8)-(9)는 남한을 경위도 1도 격자로 나누고, 각 격자에 대해 지진목록의 완전성을 평가하여 Gutenberg-Richter a, b 값을 평가하였다. 그 결과, 완전성 평가여부가 결과에 큰 영향을 미치며, 지진의 탐지확률 및 리히터 a, b 값이 시기별로 큰 차이가 나는 것을 밝혔다. 지진이 활발하

¹⁾ 정회원·한국원자력연구소 종합안전평가부 전문역, 공학박사
(교신저자: jmseo@kaeri.re.kr)

²⁾ 정회원·한국원자력연구소 종합안전평가부, 석사후연수생

³⁾ 정회원·한국원자력연구소 종합안전평가부, 책임연구원, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2010년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2009. 10. 26 / 수정일 : 2009. 12. 3 / 게재확정일 : 2009. 12. 3)

〈표 1〉 한반도의 Gutenberg-Richter 변수값에 관한 연구결과 및 외국의 b값

연구자	a값	b값	비고
Lee and Yang ³⁾	6.09	0.71	역사지진(2 - 1904)
Lee and Jung ⁴⁾	-	0.8	계기지진(1926 - 1943)
노명현 외 ⁵⁾	5.66	1.11	계기지진(1978 - 2000)
이종립 외 ⁸⁾ *	-	0.61 - 0.64 0.98 0.89 - 0.92	역사지진(1500 - 1750), 불완전성 미보정 계기지진(1905 - 1989), 불완전성 미보정 역사 및 계기 지진, 불완전성 보정
서정문 외 ⁶⁾ **	5.44	0.84	역사지진 (2 - 1904)
경제복 외 ⁷⁾	4.45 - 4.27	0.76 - 0.78	계기지진(1978 - 2007)
연관희 ⁹⁾ *	-	0.99 - 1.04	계기지진(1905 - 2008)
중국 ¹⁰⁾	4.77	1.01	
미국 ¹¹⁾ ***		0.95	
일본 ¹²⁾ ***		0.9	

주) * 남한지역 경위도 1도x1도 격자에 대해 계산된 값임.

** 평가당시의 값. 최종값은 a=5.32, b=0.95로 변경됨.

*** 패널평가시에는 고려되지 않음.

었던 1500년-1750년의 역사지진기록과 1905년-2008년의 계기지진기록 기간에 대한 분석결과, Gutenberg-Richter a 값은 기간 및 지역에 따라 매우 큰 차이를 보였고, b 값은 기간 및 지역에 따라 약간의 차이를 보이거나 중국⁽¹⁰⁾과 같이 안전지각구조에서 보이는 범위와 유사함을 밝혔다. 참고문헌 (6)에서도 b값은 기간에 따라 약간의 차이를 보였으나 참고문헌 (8), (9)의 결과와 유사하였다. 이 같은 편차는 연구자들이 사용한 자료의 불확실성, 평가방법, 데이터 처리방법 등 다양한 요인에 의한 인식론적 불확실성에 기인한다.

지진재해도분석에서는 표 1과 같은 다양한 연구결과 및 전문가 (개인 또는 그룹) 의견을 모두 반영한다. 다만, 그 값의 편차가 클 경우 시설의 설계 또는 리스크 평가에 사용되는 지진재해도의 불확실성이 크기 때문에 입력변수에 대한 불확실성을 줄이는 노력이 필요하다. 본 연구에서는 표 1의 다양한 b값 각각에 대한 가중치를 전문가가 결정하도록 하여 가장 신뢰성이 큰 b값을 구하였다. 이렇게 구한 값 자체에 대한 과학적 타당성을 객관적으로 평가하기는 어려우나, 다만 그 값이 과학적 의미를 갖도록 하는 통계처리 프로세스의 신뢰성 여부가 더 중요한 고려사항이다.

b값의 적용과 관련하여 미국과 일본의 지진재해도 지도 작성 사례를 보면, 미국⁽¹¹⁾의 경우, 우리나라와 유사한 점이 많은 것으로 알려진 중동부지역(대부분의 지진원 구역을 포함)에 대해서는 배경지진원(면적지진원)의 b값으로서 다소 보수적인 0.95를 사용하였다. 일본⁽¹²⁾의 경우에는 내륙에서 발생하는 지진 중 활성단층 이외의 장소에서 발생하는 지진 즉, 과거에 발생한 지진목록에 기초한 재해도 기여부분을 평가할 때 대부분의 지역 (대부분의 지진원 구역을 포함)에

대해 b값으로서 매우 보수적인 값인 0.9를 적용하였다. 미국과 일본에서는 일정한 b값을 사용하는 대신에 지진원 구역별로 최대규모 및 a값을 달리 적용하였다. 이러한 점은 우리나라가 지진원 구역에 따라 a, b값 및 최대지진규모를 달리 적용하여 왔던 관행과는 큰 차이점이다. 미국, 일본의 관행은 지진자료의 불확실성을 고려하여 재해도를 평가하는 방법의 하나로서, 우리나라에도 적용할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 Gutenberg-Richter 변수값 및 지진지체구조와 관련된 원자력발전소의 지진재해도분석 입력자료 및 국내 연구결과에 대해 최근의 기술동향을 반영한 지진학계의 평가를 조사하였으며, 그 결과가 지진재해도에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 2009년 5월 29일 전문가 워크숍을 개최하였다. 워크숍에서는 지진재해도분석과 관련된 주제에 대해 전문가의 발표 및 토론을 거쳤다. 그리고, 지진학 전문가로 구성된 전문가 패널을 구성하였고, 설문항목을 결정한 후, 각 항목에 대해 전문가 패널의 의견을 조사하였다. 그리고, 전문가 패널의 평가결과를 신울진 1,2호기 원전 부지에 적용하여 지진재해도에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 토대로 지진재해도분석을 위한 최적 b값 및 그의 적용 방법을 제안하였다.

2. 전문가 패널 평가

2.1 전문가 패널 구성 및 평가방법

전문가 패널은 지진학 전문가 9명 (학계 4명, 연구계 4명, 산업계 1명)으로 구성되었다. 패널평가에 참여한 전문가 중 학계 4명 및 산업계 1명은 국내 지진재해도평가 시 평가자

료를 직접 작성하였거나 또는 분석하였던 경험이 풍부한 전문가이며, 연구계 4명은 관련 분야의 연구경력이 많은 전문가이다.

평가 전에 개최된 워크샵에서는 지진재해도분석과 관련된 한반도 지체구조, 논리수목, 역사지진의 완전성 분석, 중약진 지역의 Gutenberg-Richter 변수값, 울산-양산 단층의 특성, 한반도 스펙트럼 감쇄식 등의 주제에 대해 전문가의 발표 및 토론을 거쳤다. 워크샵 종료 후에 패널의 일부 전문가와 협의를 거쳐 설문 내용을 결정하였다. 설문과 함께 워크샵 발표자료를 제공하였으며, 전문가는 약 2주간의 충분한 시간여유를 갖고 단독 또는 동료와의 토론 등을 통해 자유롭게 설문지에 답하도록 하였다.

2.2 설문 내용 및 결과

설문내용에는 Gutenberg-Richter 변수값 관련 5개 항목 및 지진지체구조도 관련 1개 항목이 포함되었다. Gutenberg-Richter 변수값과 관련된 설문 및 결과는 다음과 같다.

- 1) Gutenberg-Richter 변수값 계산 시 지진목록의 완전성 평가의 필요성 및 중요성: 9명 전원이 필요성 및 중요성을 인정하였다.
- 2) Gutenberg-Richter 변수값에 관한 기존 국내 연구결과의 신뢰성을 가중치로 표시: a값에 관해서는 연관회 및 KEPRI의 연구결과가 남한에 대해 경위도 1도 x 1

도 크기의 격자 단위로 주어졌기 때문에 타 결과와 직접 비교하기 곤란하므로 분석에서 제외하였고, b값에 대하여만 분석하였다. 또한, b값이 표 1에서와 같이 어느 범위의 값으로 주어진 경우에는 중간값을 택하였다. b값에 관해 9명의 전문가가 부여한 신뢰도 값을 종합한 것을 %로 나타내면 표 2와 같다. b값의 평균 값으로는 0.96이 도출되었다. 특기할 점은 경제복⁽⁷⁾의 연구결과가 당초 설문서에는 반영되지 않았으나 일부 전문가가 포함시켰다.

- 3) 한반도 지체구조 지도에서 지진원별 b값의 차이에 대한 의견: 9명의 전문가 중에서 6명이 한반도의 지진원 사이에는 b값의 차이가 적다고 답하였다.
- 4) 그동안 국내에서 수행된 지진재해도분석에서 전문가가 제시한 지진원별 Gutenberg-Richter 변수값이 과도하게 낮거나 높게 평가되었다고 판단한 경우, 지진원별 Gutenberg-Richter 변수값에 대한 한계 설정 필요 여부: a값에 대해서는 9명중 6명이, b값에 대해서는 9명중 7명이 한계를 설정하는 것이 필요하다고 답하였다.
- 5) 위의 3항 및 4항에서와 같이 지진원별로 b값의 차이가 작은 경우 또는 b값의 상.하 한계설정이 필요하다고 판단하는 경우, b값의 한계값 및 가중치를 표시: 전문가 패널이 평가한 b값의 상.하한값 및 각각의 신뢰도를 정리한 결과는 표 3과 같다. b값의 가중평균 상한값은 1.06, 하한값은 0.74가 도출되었다.

〈표 2〉 연구결과별 b값의 신뢰도에 대한 전문가 패널 평가결과

연구자	b값	가중치 (%)	비고
Lee and Yang ⁽³⁾	0.71	5.8	가중평균 b값=0.96
Lee and Jung ⁽⁴⁾	0.80	7.4	
노명현 외 ⁽⁵⁾	1.11	23.0	
이종림 외 ⁽⁸⁾	0.90	16.3	
연관희 ⁽⁹⁾	1.10	20.8	
서정문 외 ⁽⁶⁾	0.84	19.2	
중국 ⁽¹⁰⁾	1.01	5.2	
경제복 외 ⁽⁷⁾	0.77	2.2	

〈표 3〉 b값의 상.하한 값에 대한 전문가 패널 평가결과

b값의 상한값	비율(%)	비고	b값의 하한값	비율(%)	비고
1.2	22.5	가중평균 상한값 =1.06	0.6	12.9	가중평균 하한값 =0.74
1.1	35.6		0.7	34.3	
1.0	27.5		0.8	52.9	
0.9	11.9				
0.8	2.5				

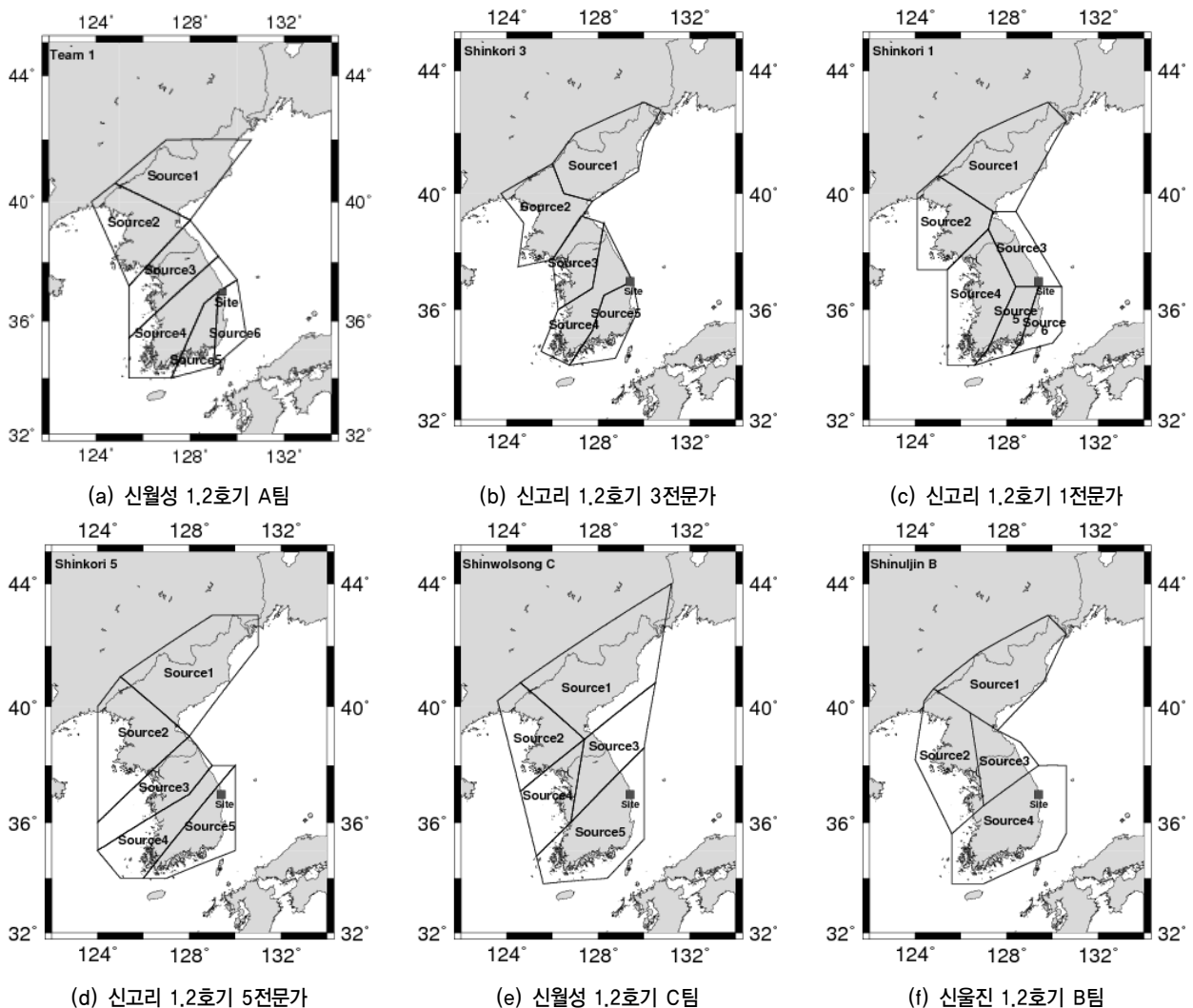
지진지체구조와 관련된 설문 및 결과는 다음과 같다.

1) 원전에 대해 기수행된 지진재해도분석 결과 중에서 2000년 이후에 전문가 패널이 제시하였던 최적 지진 지체구조 지도 11개 중 (설문지에 제시함) 가장 타당하다고 판단되는 것부터 순서대로 번호 부여: 각 전문가가 각각의 지도에 부여한 순서에 따라 1번은 11점, 2번은 10점, ...11번은 1점을 부여한 후, 점수를 합산하고 비율을 구하였으며 그 결과는 표 4와 같다. 표에서 비율이 10% 이상인 것은 신월성 1.2호기 A팀 지도 (13.1%), 신고리 1.2호기 3전문가 지도 (12.5%), 신고리 1.2호기 1전문가 지도 (11.8%), 신고리 1.2호기 5전문가 지도 (11.4%)이며, 10%에 가까운 비율을 갖는 것은 신월성 1.2호기 C팀 (9.9%), 신울진 1.2호기 B팀 (9.9%), 신울진 1.2호기 C팀 (9.8%)의 지도이다. 상위 비율 6개 지도를 그림 1에 보였다. 신울진

1.2호기 C팀의 지도는 신고리 1.2호기 5전문가 지도와 거의 유사하였다.

2.3 토의

위의 평가결과에서 살펴본 바와 같이, Gutenberg-Richter 변수값 평가 시 지진목록의 완전성이 평가되어야 한다는 점에서 모든 전문가가 일치된 견해를 보였다. 또한, 한반도 전체에 대한 b값은 비교적 균일하다고 간주할 수 있으며, 그 평균값은 0.96으로 도출되었다. 표 2에서 계기지진에 의한 b값^{(4),(5),(7),(9)}은 전체의 약 50% 정도를 차지하고, 역사지진^{(3),(6)}은 전체의 약 25%, 역사지진 및 계기지진에 의한 b값⁽⁸⁾은 전체의 약 15%를 차지한다. 앞서 기술한 미국 및 일본의 사례 및 전문가 패널평가 결과를 종합적으로 고려할 때, 우리나라에서도 지진재해도분석시 모든 면적지진원에 대해 평균적인 b값을 적용하여도 공학적으로는 무방함을 시사한다.



〈그림 1〉 기존 지진지체구조지도에 대한 전문가패널 평가결과 (상위 분포 6개)

〈표 4〉 지진지체구조도에 대한 전문가 패널 평가결과

지체구조구 지도	비율(%)	지체구조구 지도	비율(%)
신월성 1.2호기 A팀 지도	13.1	신월성 1.2호기 B팀 지도	9.4
신월성 1.2호기 C팀 지도	9.9		
신고리 1.2호기 1전문가 지도	11.8	신고리 1.2호기 3전문가 지도	12.5
신고리 1.2호기 4전문가 지도	5.1	신고리 1.2호기 5전문가 지도	11.4
신울진 1.2호기 A팀 지도	2.2	신울진 1.2호기 B팀 지도	9.9
신울진 1.2호기 C팀 지도	9.8	신울진 1.2호기 D팀 지도	4.9

〈표 5〉 상위 4개 지진지체구조의 지진원별 가중평균 $v_{M>5.0}$, b값 및 최대규모 (M_{max})

지진원 번호	지체구조 1 (신월성 1.2 A팀)			지체구조 2 (신고리 1.2 1전문가)			지체구조 3 (신고리 1.2 3전문가)			지체구조 4 (신고리 1.2 5전문가)		
	$v_{M>5.0}$	b값	M_{max}	$v_{M>5.0}$	b값	M_{max}	$v_{M>5.0}$	b값	M_{max}	$v_{M>5.0}$	b값	M_{max}
1	0.052	0.650	6.2	0.024	0.870	6.4	0.021	0.755	6.6	0.014	0.809	5.7
2	0.085	0.776	6.5	0.051	0.870	6.4	0.126	0.940	6.8	0.079	0.840	6.9
3	0.036	0.657	6.7	0.031	0.870	6.3	0.108	0.775	7.0	0.054	0.748	6.5
4	0.066	0.675	6.6	0.107	0.870	6.4	0.034	0.795	7.0	0.065	0.811	6.5
5	0.021	0.635	6.2	0.045	0.865	6.2	0.074	1.045	7.0	0.085	0.589	6.7
6	0.021	0.630	6.7	0.014	0.810	7.1						

한편, 한반도 지진지체구조구에 대해서는 전문가 의견이 매우 분산되어 있음을 보인다. 11개 지체구조 지도 중에서 일부 특이한 것을 제외하고 비교적 유사하게 구분된 것을 하나로 묶으면, 표 4에서 비율이 11% 이상인 4개 정도의 지체구조 지도 (그림 1 참조)로 수렴된다고 할 수 있다.

3. 지진재해도 비교

앞 항에서 도출된 b값 및 지체구조가 지진재해도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 신울진 1,2호기 원자력발전소 (이하 원전이라고 함) 부지를 연구대상으로 선정하였다. 1차 영향분석에는 원래 신울진 1,2호기 원전의 지진재해도분석 (이하 당초라고 함)에 사용된 지체구조를 공통으로 적용하고 b값을 달리 적용하였다. case 1은 당초의 지진원 및 b값을 적용한 경우이며, case 2 및 3은 당초의 지진원 및 전문가 패널평가에서 도출된 b값을 2가지로 구분한 적용한 것이다: 1) case 2 (최소값 보정)-당초 지진지체구조의 b값이 0.74보다 작은 지진원은 0.74를 적용하고, 이보다 큰 지진원은 원래의 값을 그대로 적용, 2) case 3 (평균값 적용)-당초 지진지체구조의 모든 지진원의 b값을 0.96으로 사용.

또한, 2차 영향분석에는 전문가 패널평가에서 도출된 4개의 지진지체구조 (그림 1 참조)를 공통으로 적용하되 각각의 지진원별 b값을 2가지로 구분 (case 4 및 5) 비교하였다: 1) case 4 (최소값 보정)-개선 지진지체구조 (4개)의 b값이 0.74보다 작은 지진원은 0.74를 적용하고, 이보다 큰 지진원은 원래의 값을 그대로 적용, 2) case 5 (평균값 적용)-개선 지진지체구조 (4개)의 모든 지진원의 b값을 0.96으로 사용. 연구대상 부지에 대한 지진재해도 계산에는 대수정규분

포를 가정하였으며, 원자력연구원이 개발한 EQHAZAS 코드가 사용되었다.

3.1 입력자료 비교

재해도분석 입력자료 중에서 최대 및 최소 지진규모는 각각 6.7 및 5.0으로서 모든 case에 동일하게 적용하였다. 진원깊이는 10 km로 동일하게 적용하였고, 감쇄식은 당초 연구⁽²⁾와 동일하게 8가지 식 및 그의 가중치를 모든 case에 대해 적용하였다. 이는 지진원 및 b값 두 가지 변수에 의한 영향을 분석하기 위하여 다른 변수의 영향을 배제하기 위한 것이다. 각 case에서의 지진원 및 Gutenberg-Richter a, b값은 다음과 같이 사용되었다.

3.1.1 지진원

case 1-3은 당초 신울진 1,2호기 원전부지에 고려된 지진원으로서 한반도를 1개의 지진원으로 본 것, 그림 1과 유사한 것 등 다양한 지진원이며, 각각에 대한 가중치와 함께 고려되었다.⁽²⁾ case 4-5에 대해서는 그림 1의 4가지 지진지체구조에 동일한 가중치를 부여하였다.

3.1.2 Gutenberg-Richter변수 a, b값

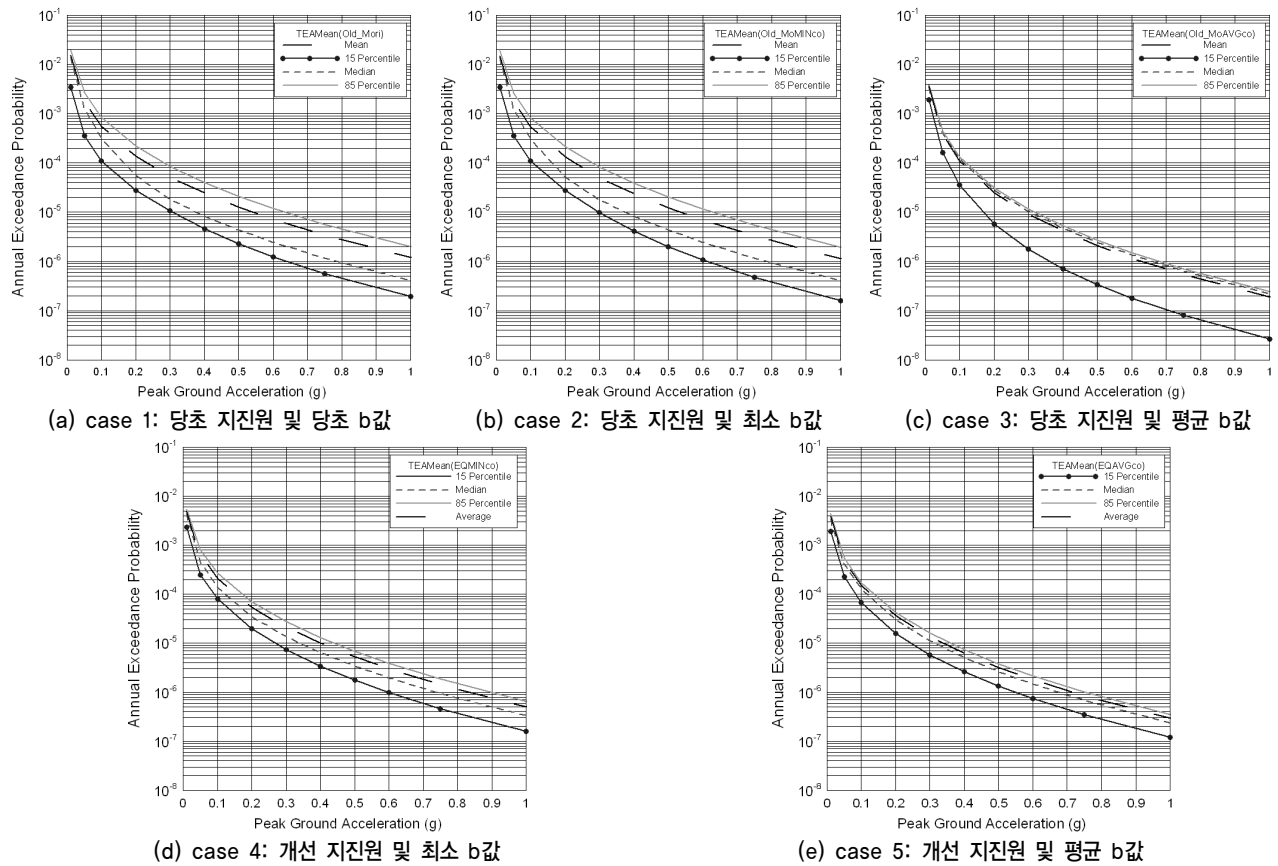
case 1에서 고려된 a, b 값은 당초 신울진 1,2호기 원전 부지에 고려된 값과 동일하며, 지체구조 및 지진원별로 a값은 4.32-6.25 (가중치를 고려하여 규모 5.0 이상인 지진의 연간발생률 $v_{M>5.0}$ 로 변환한 경우 0.0037-0.0869), b값은 0.43-0.99 사이에 분포한다. case 4 및 5에 사용된 a, b값 (해당 입력자료에 대한 가중치가 고려된 값)을 표 5에 지체

구조 및 지진원별로 나타내었다. 표에서 a값은 $v_{M>5.0}$ 로 변환되었으며, case 4 및 5에 공통적으로 동일하게 사용되었다. case 4에서 b값은 표 5의 밑줄 친 값만 0.74로 적용하였고 나머지는 그대로 사용하였다. case 5에서는 모든 지진원의 b값을 0.96으로 사용하였다.

3.2 재해도결과 비교

연구대상 부지인 신울진 1,2호기에 대한 각 case별 지진 재해도를 그림 2에서 4가지 분위수 (15%, 중앙값, 평균,

85%)에 대해 비교하였다. 표 6은 각 case에 대한 지진재해도를 주요 지진가속도 수준에 대해 나타낸 것이다. 표 및 그림에서 지진재해도의 불확실성 및 평균 재해도는 당초 (case 1)보다 b값을 보정한 경우가 (case 2 및 3) 감소하였으며, b값 및 지진지체구조를 보정한 경우가 (case 4 및 5) 가장 크게 감소함을 알 수 있다. 원전 설계지진 수준인 0.2g에서 평균 재해도 수준은 case 3 (2.51e-5) 및 case 5의 (3.67e-5) 경우가 case 1 (1.37e-4)에 비해 약 80~70% (0.7~0.6 order) 감소하였다. 또한, 불확실성 폭은 당초 case 1의 경우, 0.2g에서 15%~85% 분위수 구간에서 2.76e-5~2.19e-4



〈그림 2〉 case별 지진재해도곡선 비교, 신울진 1,2호기

〈표 6〉 case별 지진재해도 비교, 중앙값 및 평균값

지반 가속도 수준	지진재해도 (회/년)				
	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
	중앙값 (평균)	중앙값 (평균)	중앙값 (평균)	중앙값 (평균)	중앙값 (평균)
0.1 g	3.132e-4 (5.615e-4)	3.008e-4 (5.491e-4)	1.197e-4 (1.113e-4)	1.39e-4 (2.11e-4)	1.28e-4 (1.53e-4)
0.2 g	5.652e-5 (1.367e-4)	5.239e-5 (1.329e-4)	2.808e-5 (2.507e-5)	3.48e-5 (5.46e-5)	3.03e-5 (3.67e-5)
0.5 g	4.329e-6 (1.268e-5)	4.329e-6 (1.225e-5)	2.439e-6 (2.108e-6)	3.44e-6 (5.28e-6)	2.62e-6 (3.24e-6)
1.0 g	4.060e-7 (1.190e-6)	4.060e-7 (1.146e-6)	2.199e-7 (1.883e-7)	3.32e-7 (5.01e-7)	2.36e-7 (2.93e-7)

이며 가속도 수준이 증가할수록 그 폭은 증가함을 보인다. 반면에, case 3의 경우 동일한 15%~85% 분위수 구간에서 불확실성 폭은 $5.83e-6 \sim 3.12e-5$ 를 보이며, case 5의 경우에는 $9.50e-5 \sim 2.23e-4$ 로 불확실성 폭이 감소하며 가속도 수준이 증가하여도 그 폭은 대략 일정한 경향을 보인다.

3.3 토의

본 연구에서 도출한 b값 및 지진지체구조를 고려하여 연구대상 부지의 지진재해도를 계산한 case 3 및 5의 결과로부터, 재해도 수준 및 불확실성 폭은 당초 이를 고려하지 않은 경우에 비해 각각 약 70-80% (0.6-0.7 order) 및 2-3배 (1/2-2/3 order) 감소하였다. b값만 보정한 경우의 (case 3) 재해도 수준은 지진지체구조와 b값을 함께 고려한 경우보다 더 감소하였다. 본 연구에서 편의상 고정시킨 최대규모, 진원심도 등의 당초 입력자료를 사용할 경우 재해도의 불확실성 폭은 다소 증가할 것이나 중앙값 및 평균값의 변화는 적을 것으로 판단된다.

4. 최적 b값 및 그의 적용에 관한 고찰

현재까지 원전의 지진재해도분석 시에는 b값을 지진원 구역별로 달리 적용하여 왔다. 그러나, 지진원별 b값의 편차가 크고, 유사한 지진원에서도 (예, 경상부지 지역) 전문가별로 평가값의 편차가 매우 커서 지진재해도의 불확실성이 컸다. 2항에서 기술한 바와 같이 지진 전문가들이 최근 기술 동향을 반영하여 평가한 한반도의 평균 b값은 0.96으로 추천되었으며, 지진원 구역에 상관없이 b값을 균일하게 적용할 수 있는 것으로 의견이 수렴되었다. 한편, 미국 중동부 및 일본의 경우에는 균일한 b값을 모든 지진원 구역에 적용하되 다소 보수적인 값을 사용하였다. 이를 종합하면, 우리나라의 경우에는 b값 0.96을 0.05 단위로 절삭시킨 0.95를 모든 지진원 구역에 균일하게 적용시킴으로써 입력자료의 불확실성을 감소시키고 보수성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, a값에 관한 국내 연구결과와 계기지진 및 역사지진의 진앙분포를 고려하면, a값은 지진원 구역 또는 그의 설정 방법에 따라 차이가 있다. 미국 및 일본의 경우에는 지진원 구역별로 최대규모 및 a값을 달리 적용하고 있으며, 우리나라도 동일한 관행을 따르고 있다. 다만, 불확실성을 줄이기 위해 우리나라 역사 및 계기 지진의 목록을 먼저 정비한 후 그로부터 a값을 재평가 하여야 할 필요가 있다. 일례로, 표 5에 보인 지진원별 최대규모에서 함경도 또는 경주 지역의

최대지진규모는 전문가별로 큰 편차를 보임을 알 수 있다.

5. 결론

지진재해도의 불확실성을 감소시키기 위해 지진재해도분석과 관련된 입력변수에 관해 지진학자로 구성된 전문가 패널을 대상으로 하여 조사하였다. 전문가 패널에 의한 재평가 결과, Gutenberg-Richter b값의 평균은 0.96, 지진지체구조는 대략 4가지로 의견이 수렴되었다. 전문가 패널평가 결과를 신울진 1.2호기 원전부지에 적용하여 지진재해도에 미치는 영향을 분석하였다. 전문가 패널평가 결과를 이용하여 계산된 연구대상 부지의 평균재해도 수준은 0.2g에서 약 70-80% (0.6-0.7 order) 감소하였고, 지진재해도의 불확실성 폭은 0.2g, 15%-85% 신뢰구간에서 약 2-3배 (1/2-2/3 order) 감소하였다.

본 연구에서 추천된 단일 b값과 개선된 지체구조구는 가능한 여러 경우의 수의 하나이며, 원전부지에의 적용 예는 추천값에 근거하여 계산된 지진재해도 및 그의 불확실성 폭이 그렇지 않은 경우보다 감소하는 하나의 예를 보인 것이다. 향후 지진재해도 분석 시 본 연구결과를 논리수목 (logic tree)에서 하나의 가지 (branch)로 고려하거나, 또는 미국 및 일본의 사례를 참조하여 한반도 전체에 대해 b값 0.95를 일정하게 보수적으로 적용하고, 지진지체구조 역시 본 연구에서 제시한 결과를 사용하는 것도 공학적으로는 무방하다고 판단된다. 그러나, 향후에도 이에 관한 연구가 지속적으로 수행되어 지진재해도의 불확실성이 개선되어야 한다. 최대규모 및 a값에 대해서는 향후 지진목록이 정비된 후 지진원별로 재평가하여 고려하여야 한다. 이렇게 함으로써 지진활동변수의 인식론적 불확실성 및 우리나라 지진재해도의 불확실성을 줄일 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 기상지진사업개발단 CATER 2009-5208의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 노명현, 김연중, "한국의 지진재해도곡선의 민감도 분석," 지질학회지, 제32권, 제3호, 199-207, 1996.
2. 서정문, 이현미, 최인길, "우리나라의 지진 변수값이 지진재해도에 미치는 민감도 분석," 2009년도 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, 31-38, 2009.
3. Lee, K., and Yang, W.-S., "Historical Seismicity of

- Korea,” *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 3, 846-855, 2006.
4. Lee, K., and Jung, H. O., “A study of instrumental earthquake data of Korea,” *J. Geol. Soc. Korea*, Vol. 16, No. 1, 32-45, 1980.
 5. 노명현, 이상국, 최강룡, “지진활동 매개변수 추정을 위한 기상청 지진목록의 최소규모 분석,” *지구물리*, Vol. 3, No. 4, 261-268, 2000.
 6. 서정문, 최인길, 이현미, “A Study on the Historical Earthquake Catalogs and Gutenberg-Richter Parameter Values of the Korean Peninsula,” *Nuclear Engineering and Technology* (accepted).
 7. 경제복, 김송이, 김욱, 서원탁, “1978년 이후 우리나라 지진활동,” 2009년도 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, 55-62, 2009.
 8. 이종림, 장천중, 신진수, 연관희, 정의호, 지진재해도 평가의 불확실성 개선에 관한 연구, TR.96NJ21.J1999.72, 전력연구원, 1999.
 9. 연관희, “역사지진의 완전성 분석 기법 및 적용 예,” 지진재해도분석 전문가 워크샵, 한국원자력연구원, 2009.
 10. Johnston, A.C., Coppersmith, K.J., Kanter, L.R., and Cornell, C.A., *The Earthquakes of Stable Continental Regions (Volume 1: Assessment of Large Earthquake Potential)*, EPRI TR-102261-V1, Electric Power Research Ins., 1994.
 11. Petersen, M.D., Frankel, A.D., Harmsen, S.C., Mueller, C.S., Haller, K.M., Wheeler, R.L., Wesson, R.L., Zeng, Y., Boyd, O.S., Perkins, D.M., Luco, N., Field, E.H., Wills, C.J., and Rukstales, K.S., *Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps, open-file report 2008-1128*, USGS, 2008.
 12. Fujiwara, H., Kawai, S., Aoi, S., Kunugi, T., Okumura, T., Ishii, T., Hayakawa, Y., Morikawa, N., Kobayashi, K., Ooi, M., Senna, S., and Okumura, N., *A Study on Probabilistic Seismic Hazard Maps of Japan, Technical Note No. 275*, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2005.