

SeisHaz_GUI

Ver. 1.0

검증·검산 보고서



PN's Solution

목 차

1. 서론	1
2. 검증(Validation)	3
2.1 확률적 불확실성의 처리	3
2.2 해석적 불확실성의 처리	6
2.2.1 가중치	7
2.2.2 지진원 조합	8
2.2.3 지진재해도	9
2.2.3.1 백분위수	9
2.2.3.2 평균값	9
3. 검산(Verification)	12
3.1 확률적 불확실성	12
3.1.1 Test Set 1	13
3.1.1.1 Test 1.1	13
3.1.1.2 Test 1.2	14
3.1.1.3 Test 1.3	14
3.1.1.4 Test 1.4	15
3.1.1.5 Test 1.5	15
3.1.1.6 Test 1.6	16
3.1.1.7 Test 1.7	16
3.1.1.8 Test 1.8a	17
3.1.1.9 Test 1.8b	17
3.1.1.10 Test 1.8c	18
3.1.1.11 Test 1.10	18
3.1.1.12 Test 1.11	19
3.1.2 Test Set 2	19
3.1.2.1 Test 2.1	19
3.1.2.2 Test 2.2	20
3.1.2.3 Test 2.3	20
3.1.2.4 Test 2.4	21
3.1.2.5 Test 2.5	21
3.1.3 Test Set 3	22
3.1.3.1 Test 3.1	22
3.1.3.2 Test 3.2	23

3.1.3.3 Test 3.3	23
3.1.3.4 Test 3.4	24
3.2 해석적 불확실성	24
3.2.1 단일 지진원도 사례	24
3.2.2 복수 지진원도 사례	25
3.2.3 접기(Collapsing)	26
3.2.3.1 동일한 지진원의 추가	27
3.2.3.2 동일한 지진원도의 추가	29
4. 참고문헌	31
부록 A Test Set 1에 대한 검산결과	33
부록 B Test Set 2에 대한 검산결과	59
부록 C Test Set 3에 대한 검산결과	85

1. 서론

이 보고서는 SeisHaz_GUI에 대한 검증(Validation) 및 검산(Verification)에 관한 내용을 기술하고 있다. 이 보고서에서 검증이란, 프로그램의 이론적 배경과 방법론의 타당성을 말하며, 검산이란 검증과정에서 의도한 (수치적) 결과가 산출되도록 프로그램이 코딩되었는가 확인하는 것을 말한다.

검증 내용은 2장에 기술되어 있다. 검증은 지진의 발생 및 전파 과정에 존재하는 불확실성(Uncertainty)의 처리에 관한 것이다. 현대 PSHA(Probabilistic Seismic Hazard Analysis)에서는 통상적으로 불확실성을 확률적 불확실성(Aleatory Uncertainty)과 해석적 불확실성(Epistemic Uncertainty)으로 구분하여 취급한다. 확률적 불확실성은 지진 현상 고유의 변동성으로서 새로운 자료가 추가되거나 새로운 이론이 개발되어도 저감되지 않는 불확실성이다. 확률적 불확실성은 Random Variability라고도 한다. 반면에 해석적 불확실성은 지진 현상에 대한 우리의 자료나 지식이 부족하여 발생하는 불확실성으로서 새로운 자료가 추가되거나 새로운 이론이 개발됨에 따라 저감의 여지가 있다.

SeisHaz_GUI는 2개의 본 프로그램과 1개의 보조 프로그램으로 구성된다(그림 1-1). 이하에서 이들 3개의 프로그램은 각각 단위 프로그램이라 한다.

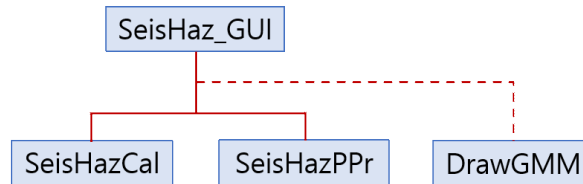


그림 1-1. SeisHaz_GUI의 구조

SeisHazCal은 SeisHaz_GUI의 핵심 프로그램으로서, 대화창을 통해 PSHA 입력자료 받아 논리수목(Logic Tree)을 구성하고 논리수목의 종단가지(End Branch)에 대한 지진 재해도를 계산한다. SeisHazCal의 논리수목 구축은 해석적 불확실성의 처리과정이며, 지진재해도 계산은 확률적 불확실성을 처리하는 과정이다. SeisHazPPr은 후처리(Post-processing) 프로그램이다. SeisHazCal이 종단가지 별로 계산한 재해도로부터 재해도 곡선, 등재해도응답스펙트럼(Uniform Hazard Response Spectrum), 재해도 분해(Deaggregation) 등을 계산한다. 이 과정은 SeisHazCal의 해석적 불확실성을 처리하는 과정의 연장이다. 한편, DrawGMM은 일종의 유틸리티 프로그램으로서, PSHA에 사용할 지진동 모델¹⁾(Ground Motion Model; GMM)에 대한 부프로그램(Subroutine)을 검증하고 지진동 모델의 특성을 분석하는 데 유용하다. 그러나 DrawGMM은 검증 및 검산대상 프로그램이 아니므로, 이후의 내용에서는 논의하지 않는다.

확률적 불확실성 검산은 SeisHazCal에 대한 검산으로서 3장에 검산 결과가 수록되

1) 과거에는 감쇄식(Attenuation relation) 또는 예측식(Predictive Equation)이라고 하였으며, 본 보고서에 서는 이 두 가지 용어와 지진동 모델(Ground Motion Model)을 포함한 3 가지 용어를 혼용한다.

어 있다. 계산에 사용된 계산 모델은 Hale et al.(2008)의 모델이다. 계산 모델별로 SeisHaz_GUI의 계산 결과를 Hale et al.(2008)의 계산 결과와 비교하여 표 및 그래프로 제시하였다.

해석적 불확실성 계산은 SeisHazPPr에 대한 계산으로서 4장에 계산 결과가 수록되어 있다. 전술한 바와 같이, SeisHazPPr은 SeisHazCal의 논리수목과 연동되므로, SeisHazPPr의 계산은 암시적으로 SeisHazCal의 계산을 포함한다. 계산 모델 및 방법은 자체적으로 개발한 방법으로서 완전한 계산으로 보기 어렵다.

2. 검증(Validation)

현대 PSHA(Probabilistic Seismic Hazard Analysis)에서는 통상적으로 불확실성을 확률적 불확실성과 해석적 불확실성으로 구분하여 취급한다. 그러므로 확률적 불확실성(Aleatory Uncertainty)과 해석적 불확실성(Epitemic Uncertainty)으로 구분하여 검증하였다.

2.1 확률적 불확실성의 처리

확률적 불확실성(Aleatory Uncertainty)은 다른 말로 Random Variability라고도 한다. SeisHaz_GUI에서 취급하는 확률적 불확실성은 지진의 발생 위치, 크기, 위치와 지진동모델²⁾(Ground Motion Model)의 산포도, 규모-파열 관계식의 산포도이다. 확률적 불확실성의 처리를 위해 불확실성 인자별로 적합한 확률분포를 도입하여 지진재해도를 계산한다.

SeisHaz_GUI의 단위 프로그램 SeisHazCal이 확률적 불확실성을 처리한다. SeisHazCal은 지진원 기반 방법(Source-based Approach)으로서, 기본적인 이론은 Cornell(1968)을 따른다.

규모 M 의 지진이 1회 발생할 때 거리 r 에 위치한 부지에서 지진동 Y (확률변수)가 y 를 초과할 확률을 $P(Y > y | m, r)$ 라고 하자. 그러면 1개의 지진에 대해 가능한 모든 거리 및 크기를 고려하였을 때의 초과확률 p_y 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} p_y &= P(Y \geq y) \\ &= \int_r \int_m P(Y \geq y | m, r) dm dr \\ &\equiv \int_r \int_m P(Y \geq y | m, r) f_{M,R}(m, r) dm dr \end{aligned} \quad (2-1)$$

위에서 $f_{M,R}(m, r)$ 은 지진의 규모 및 거리에 대한 확률밀도함수 (Probability Density Function)이다. 이후의 수식에서 특별한 언급이 없는 한, 대문자는 확률변수(Random Variable)를 나타내며 소문자는 정해진 값을 나타낸다.

부지로부터 거리 r 에서 규모 m 의 지진이 발생하였을 때 부지에 발생하는 지진동 Y 의 예측식은 다음과 같이 표현된다.

$$\log Y = y_{mean}(m, r) + E \quad (2-2)$$

2) 이 보고서에서 지진동모델, 지진동 예측식, 지진동 감쇄식은 모두 같은 의미이다.

위에서 $y_{mean}(m,r)$ 은 지진의 규모와 거리에 의해 결정되는 함수이며, E 는 $y_{mean}(m,r)$ 를 중심으로 한 지진동의 산포도로서 정규분포 $N(0, \sigma^2)$ 를 따르는 확률변수이다. 일반적으로 $y_{mean}(m,r)$ 는 규모와 거리뿐만 아니라 부지 분류, 운동감각, 지구조 환경 등을 포함하지만, 여기에서는 주 관심 대상인 규모와 거리만의 함수로 표현하였다.

식 (2-2) 형태의 지진동 예측식에 대해, 식 (2-1)의 피적분함수 중 조건부 확률은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} P(Y \geq y|m,r) &= P(\log Y \geq \log y|m,r) \\ &= 1 - \phi\left(\frac{\log y - \log y_{mean}}{\sigma}\right) \\ &= \phi^c\left(\frac{\log y - \log y_{mean}}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (2-3)$$

위에서 ϕ 는 누적표준정규분포 (cumulative of standard normal distribution)이며, $\phi^c = 1 - \phi$ 이다. 식 (2-3)을 식 (2-1)에 대입하면 다음과 같다.

$$p_y = P(Y \geq y) = \int_r \int_m \phi^c\left(\frac{\log y - \log y_{mean}}{\sigma}\right) f_{M,R}(m,r) dm dr \quad (2-4)$$

SeisHazCal에서, 면적지진원³⁾에서 발생하는 지진은 하나의 점에서 모든 지진에너지가 방출되는 것으로 가정된다. 지진의 위치는 수평적으로는 균질분포(Uniform Distribution)로 가정되며, 수직적으로는 다른 분포를 가정할 수 있다. 지진의 위치를 점으로 가정하면 규모(M)와 거리(R)은 서로 독립이므로, 식 (2-4)의 피적분 항 중에서 규모와 거리에 대한 확률밀도함수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_{M,R}(m,r) = f_M(m) f_R(r) \quad (2-5)$$

단층지진원에서 발생하는 지진은 파열면(Rupture Plane)으로 구현된다. 파열면은 지진 발생에 수반되는 단층 파열면의 길이, 폭, 또는 면적을 말한다. 파열면의 크기는 다음과 같은 형태의 규모-파열면 경험식으로부터 결정된다.

$$\log D_R = a_R + b_R M + E_R \quad (2-6)$$

위에서 D_R 은 파열면의 크기(길이, 폭, 또는 면적)이고 M 은 규모이며, E_R 은 정규분포

3) 진원깊이가 확률적으로 변화하므로, 체적지진원이라 해야 하나, 이 보고서에서는 관례에 따라 면적지진원이라 한다.

$N(0, \sigma_R^2)$ 을 따르는 확률변수이다. 파열면은 단층면을 벗어나지 않는 것으로 제한된다. 단층면보다 파열면의 작을 때에는 단층면 전체가 파열된 것으로 가정한다. 즉, 파열면의 크기는 단층면의 크기와 같다. 파열면이 단층면보다 작은 경우 파열면의 위치는 확률적으로 변한다. 단층면 내에서 파열면의 위치는 수평적으로는 균질분포(Uniform Distribution)로 가정되며, 수직적으로는 다른 분포를 가정할 수 있다. 지진과 부지 사이의 거리는 부지와 파열면의 배치에 의해 결정된다. 규모가 달라지면 파열면의 크기가 달라지며, 파열면의 크기가 다르면 파열면의 분포가 달라지므로 거리 역시 달라진다. 즉, 단층지진원에서 규모와 거리는 독립적이지 않으며, 다음과 같이 표현된다.

$$f_{M,R}(m,r) = f_M(m)f_{R|M}(r|M) \quad (2-7)$$

SeisHaz_GUI는 직사각형의 파열면을 가정하며, 파열면의 형상에 대한 형상비(Aspect Ratio)를 활용한다. 형상비는 파열면의 길이/폭의 비이다. 형상비를 사용하는 경우 파열면의 면적은 단층면의 면적보다 작는데, 파열면의 길이나 폭이 단층면을 벗어나는 경우가 있다. 이 경우 SeisHaz_GUI는 형상비를 버리고 면적에 파열면의 형상을 맞춘다.

i 번째 지진원에서 연간 $\nu^{(i)}$ 개의 지진이 발생한다면, 이 지진원으로 인해 부지에서 발생하는 지진동이 y 를 초과할 연간 초과빈도 $\lambda_y^{(i)}$ 는 다음과 같다.

$$\lambda_y^{(i)} = \nu^{(i)} p_y^{(i)} \quad (2-8)$$

위에서 $p_y^{(i)}$ 는 식 (2-4)를 i 번째 지진원에 대해 계산한 초과확률이다. 만일 부지에 영향을 미치는 지진원이 다수 있다면 총 연간 초과빈도는 다음과 같다.

$$\lambda_y = \sum_i \lambda_y^{(i)} \quad (2-9)$$

주요 지진의 발생이 Poisson 분포를 따른다면, 연간 초과빈도 λ_y 에 대하여 t 년 동안 n 회 발생할 확률은 다음과 같다.

$$P[N=n] = \frac{e^{-\lambda_y t} (\lambda_y t)^n}{n!}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2-10)$$

공학적으로 특히 관심 있는 것은 $Y_{\max}^{(t)}$, 즉 기간 t (보통 1년) 동안 발생하는 최대 지진동 값의 분포이다. 이에 대한 누적확률분포는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
F_{Y_{\max}^{(t)}}(y) &= P[Y_{\max}^{(t)} \leq y] \\
&= P[N=0 | Y > y] \\
&= \exp(-\lambda_y t) \\
&= [F_{Y_{\max}^{(1)}}(y)]^t
\end{aligned} \tag{2-11}$$

위 식에서 $F_{Y_{\max}^{(1)}}(y)$ 는 1년 동안의 관측 최대값 $Y_{\max}^{(1)}$ 에 대한 누적확률분포이다.

1년 동안 관측된 지진동 중 최대값 $Y_{\max}^{(1)}$ 가 y 를 초과할 확률, 즉 연간 지진재해도는 다음과 같이 주어진다.

$$H(y) = 1 - F_{Y_{\max}^{(1)}}(y) = 1 - \exp(-\lambda_y) \tag{2-12}$$

위 식에서 $H(y)$ 는 지진재해도함수 (Seismic Hazard Function), 또는 간단히 지진재해도(Seismic Hazard)이다.

2.2 해석적 불확실성의 처리

해석적 불확실성(Aleatory Uncertainty)은 지진 현상에 대한 자료나 지식의 부족으로 인해 동일한 자료에 대해 상이한 해석모델이 제시되어도 최적 모델을 확정할 수 없는 현상을 말한다. SeisHaz_GUI는 지진원모델, 지진동 감쇄식, 지진원 특성에 관련된 불확실성을 분석한다. 특히 지진원 특성의 경우, 지진원의 위치 및 형상, 진원깊이 분포, 운동감각(Slip Sense), 지진발생률뿐만 아니라, 단층지진원에 대해서는 경사각, 규모-파열 경험식, 단층분절(Fault Segmentation)에 대한 해석적 불확실성을 분석한다. 해석적 불확실성은 논리수목(Logic Tree)을 이용하여 통계적으로 처리된다.

부지 주변에 M 개의 지진원도(Map)가 있고, m 번째 지진원도는 S_m 개의 지진원(Source)으로 구성되었다고 가정하자. 지진원도 별로 적용되는 지진동 감쇄식이 다른 경우, m 번째 지진원도에 적용되는 지진동 감쇄식 그룹이 G_m 개의 지진동 감쇄식으로 구성되었다고 가정한다.

지진원의 지진 특성(기하학적 특성 포함)에는 해석적 불확실성(Epistemic Uncertainty)이 존재하므로, 지진원 별로 여러 개의 대안(Alternative)을 가진다. 이들 대안을 가지(Branch)라고 하자. e_m 번째 지진원이 B_{e_m} 개의 가지를 갖는다고 가정하면, 하나의 부지에 대한 가지의 총 개수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
N^B &= \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \sum_{e_m=1}^{E_m} \sum_{b_{e_m}=1}^{B_{e_m}} = \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \sum_{e_m=1}^{E_m} B_{e_m} \\
&= \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} (B_{1_m} + B_{2_m} + \dots + B_{E_m}) \\
&= \sum_{m=1}^M G_m \times (B_{1_m} + B_{2_m} + \dots + B_{E_m})
\end{aligned} \tag{2-13}$$

위에서 지진원별 가지의 개수 B_{e_m} 은 모든 지진동 감쇄식에 대해 같다는 것이 이용되었다. 가지별로 가중치가 부여되어야 한다.

2.2.1 가중치

m 번째 지진원도의 가중치(Weight)를 w_m^M 이라 하면 모든 지진원도에 대한 가중치의 합은 1이다.

$$\sum_{m=1}^M w_m^M = 1 \tag{2-14}$$

하나의 지진동 감쇄식 그룹을 구성하는 지진동 감쇄식에 대한 가중치의 합은 1이다.

$$\sum_{g_m=1}^{G_m} w_{g_m}^G = 1, \quad m = 1, 2, \dots, M \tag{2-15}$$

모든 지진원은 가중치가 1이다.

$$w_{e_m}^E = 1, \quad m = 1, 2, \dots, M \tag{2-16}$$

지진원도와 지진동 감쇄식의 가중치를 고려하지 않았을 때, 각 지진원의 가지에 대한 가중치의 합은 1이다.

$$\sum_{b_{e_m}=1}^{B_{e_m}} w_{b_{e_m}}^B = 1, \quad e = 1, 2, \dots, E_m; \quad m = 1, 2, \dots, M \tag{2-17}$$

지진원도와 지진동 감쇄식의 가중치를 고려하면(모든 지진원은 가중치가 1이므로 생략), 지진원 별 가지의 가중치 $\hat{w}_{b_{e_m}}^B$ 는 다음과 같다.

$$\hat{w}_{b_{e_m}}^B = w_m^M w_m^G w_{b_{e_m}}^B, \quad e = 1, 2, \dots, E_m; \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (2-18)$$

전체 가지에 대한 $\hat{w}_{b_{e_m}}^B$ 의 합은 지진원을 구성하는 지진원 개수의 평균이다.

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \sum_{e_m=1}^{E_m} \sum_{b_{e_m}=1}^{B_{e_m}} \hat{w}_{b_{e_m}}^B &= \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \sum_{e_m=1}^{E_m} \sum_{b_{e_m}=1}^{B_{e_m}} w_m^M w_m^G w_{b_{e_m}}^B \\ &= \sum_{m=1}^M w_m^M \sum_{g_m=1}^{G_m} w_m^G \sum_{e_m=1}^{E_m} 1 \sum_{b_{e_m}=1}^{B_{e_m}} w_{b_{e_m}}^B \\ &= \sum_{m=1}^M w_m^M E_m \end{aligned} \quad (2-19)$$

위에서 왼쪽의 합산인자(Summation Index)는 오른쪽의 합산에 영향을 주므로, 오른쪽에서부터 합산해야 함에 유의한다.

2.2.2 지진원 조합

식 (2-9)와 같이, 주어진 부지에서의 지진동 초과빈도는 모든 지진원에 의한 초과빈도의 합이다. 각 지진원은 해석적 불확실성을 나타내는 복수의 가지를 가지므로, 지진원별 초과빈도를 합산할 때는 이들 가지의 조합을 고려해야 한다. 이를 지진원 조합(Source Combination)이라 하자. 지진원 조합은 같은 지진원도에 속하는 지진원들 간의 조합이다. m 번째 지진원도에 대한 지진원 조합의 개수는 다음과 같다.

$$N_m^{SC} = G_m \times \left(\sum_{b_1=1}^{B_1} \sum_{b_2=1}^{B_2} \cdots \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} \right) = G_m \times \prod_{e_m=1}^{E_m} B_{e_m}, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (2-20)$$

일반적으로, 하나의 지진원도에 다수의 대체 지진동 감쇄식을 포함한 지진동 감쇄식 그룹이 적용된다. 그러나 식 (2-20)에서 지진동 감쇄식 개수는 고려되지 않음에 유의한다. 지진동 감쇄식은 지진원 특성뿐만 아니라, 경로 효과 및 부지 특성의 조합효과이므로, 지진원 조합에 포함할 수 없다. 그러므로 모든 지진동 감쇄식에 대해 지진원 조합은 동일하다. 다만 지진원 조합이 동일해도 초과빈도는 지진동 감쇄식에 따라 다르므로, 지진원 조합은 지진동 감쇄식 별로 구성되어야 한다.

하나의 가지에 대응하는 지진동 초과빈도는 지진원의 지진 특성과 감쇄식에 의해 결정되므로, (m 번째 지진원도에서) g_m 번째 지진동 감쇄식을 적용했을 때, e_m 번째 지진원의 b_{e_m} 번째 종단가지에 대응하는 지진동 초과빈도를 $\lambda_{b_{e_m}|g_m}$ 로 나타내면, 모든 지진원을 고려한

하나의 조합에 의한 지진동 초과빈도는 다음과 같다.

$$\lambda_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC} = \lambda_{b_{1_m} | g_m} + \lambda_{b_{2_m} | g_m} + \dots + \lambda_{b_{E_m} | g_m} = \sum_{e_m=1}^{E_m} \lambda_{b_{e_m} | g_m} \quad (2-21)$$

지진원 조합의 초과빈도가 $\lambda_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}$ 때, 초과확률은 다음과 같이 계산된다.

$$P_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC} = 1 - \exp(-\lambda_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}) \quad (2-22)$$

별도의 언급이 없을 때, 지진재해도란 식 (2-22)의 초과확률을 말한다.

가중치는 초과빈도 $\lambda_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}$ 와 초과확률 $P_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}$ 에 대해 같으며, 다음과 같이 계산된다.

$$w_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC} = w_m^M w_{g_m}^G (w_{b_{1_m}}^B w_{b_{2_m}}^B \dots w_{b_{E_m}}^B) = w_m^G w_{g_m}^G \prod_{e_m=1}^{E_m} w_{b_{e_m}}^B \quad (2-23)$$

개별 가지의 가중치 $w_{b_{e_m}}^B$ 은 개별 가지의 초과빈도 $\lambda_{b_{e_m} | g_m}$ 와 달리, 지진동 감쇄식과 무관함에 유의한다.

2.2.3 지진재해도

2.2.3.1 백분위수(Percentile)

식 (2-20)은 하나의 지진원도에 하나의 지진동이 적용될 때의 지진원 조합의 개수이다. 전술한 바와 같이, 지진재해도 계산에 다수의 지진원도가 고려될 수 있으며, 하나의 지진원도에 다수의 지진동 감쇄식으로 구성된 지진동 감쇄식 그룹이 적용되는 것이 일반적이다. 또한 지진원도 별로 다른 지진동 감쇄식 그룹이 적용될 수 있다. 모든 지진원도와 지진원도 별 지진동 감쇄식 그룹을 고려할 때, 지진원 조합의 개수는 다음과 같다.

$$N^{SC} = \sum_{m=1}^M N_m^{SC} = \sum_{m=1}^M \left[G_m \times \prod_{e_m=1}^{E_m} B_{e_m} \right] \quad (2-24)$$

그러므로 N^{SC} 개의 지진원 조합에 대응하는, N^{SC} 개의 $(\lambda_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}, w_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC})$ 초과빈도-가중치 쌍 또는 $(P_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}, w_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC})$ 초과확률-가중치 쌍이 생성된다. 백분위 초과빈도(또는 초과확률)는 N^{SC} 개의 쌍을 초과빈도(또는 초과확률)의 크기가 증가하는

순서로 정렬한 후, 누적 가중치를 계산하여, 주어진 백분위에 해당하는 누적 가중치에서의 초과빈도(또는 초과확률)을 취하면 된다.

2.2.3.2 평균값

평균값은 N^{SC} 개의 초과빈도(또는 초과확률)의 가중평균이다. 백분위수와 달리, 평균값은 지진원 조합을 생성하지 않고 계산할 수 있다. 먼저, 초과빈도의 평균을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \bar{\lambda} &= \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \left\{ \sum_{b_{1_m}=1}^{B_{1_m}} \sum_{b_{2_m}=1}^{B_{2_m}} \cdots \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} w_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m}|g_m}^{SC} \times \lambda_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m}|g_m}^{SC} \right\} \\
 &= \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \left\{ \sum_{b_{1_m}=1}^{B_{1_m}} \sum_{b_{2_m}=1}^{B_{2_m}} \cdots \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} \left[w_m^M w_{g_m}^G \left(w_{b_{1_m}}^B w_{b_{2_m}}^B \cdots w_{b_{E_m}}^B \right) \times \left(\lambda_{b_{1_m}|g_m} + \lambda_{b_{2_m}|g_m} + \cdots + \lambda_{b_{E_m}|g_m} \right) \right] \right\} \\
 &= \sum_{m=1}^M w_m^M \sum_{g_m=1}^{G_m} w_{g_m}^G \left\{ \sum_{b_{1_m}=1}^{B_{1_m}} w_{b_{1_m}}^B \times \lambda_{b_{1_m}|g_m} + \sum_{b_{2_m}=1}^{B_{2_m}} w_{b_{2_m}}^B \times \lambda_{b_{2_m}|g_m} + \cdots + \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} w_{b_{E_m}}^B \times \lambda_{b_{E_m}|g_m} \right\} \\
 &= \sum_{m=1}^M w_m^M \sum_{g_m=1}^{G_m} w_{g_m}^G \sum_{e_m=1}^{E_m} \bar{\lambda} \quad \because \bar{\lambda}_{e_m|g_m} = \sum_{b_{e_m}=1}^{B_{e_m}} w_{b_{e_m}}^B \times \lambda_{b_{e_m}|g_m} \\
 &= \sum_{m=1}^M w_m^M \sum_{g_m=1}^{G_m} w_{g_m}^G \bar{\lambda}_{g_m} \quad \because \bar{\lambda}_{g_m} = \sum_{e_m=1}^{E_m} \bar{\lambda}_{e_m|g_m} \\
 &= \sum_{m=1}^M w_m^M \bar{\lambda}_m
 \end{aligned} \tag{2-25}$$

위 식 우변에서, 두 번째 줄은 식 (2-21) 및 식 (2-23)을 이용하여 변환하였다. 세 번째 줄에서는 가지에 대한 합산과 관계없는 w_m^M 과 $w_{g_m}^G$ 을 분리하고, 대괄호 안의 항을 항별로 합산하였다. 이 과정에서 가지의 가중치에 대한 식 (2-17)을 이용하였다. 대괄호 내의 각 항은 지진원 별 종단가지에 의한 초과빈도의 가중평균으로서, 이는 해당 지진원에 의한 평균 초과빈도, $\bar{\lambda}_{g_m|e_m}$ 이다(네 번째 줄). 그러므로 평균 초과빈도를 계산할 때 지진원 조합을 생성하지 않아도 된다. 다섯 번째 줄에서 $\bar{\lambda}_{g_m}$ 는 g_m 번째 지진동 감쇄식에 대한 m 번째 지진원도의 모든 지진원에 의한 평균 초과빈도이다. 마지막 줄에서 $\bar{\lambda}_m = \sum_{g_m=1}^{G_m} w_{g_m}^G \bar{\lambda}_{g_m}$ 은 모든 지진동 감쇄식을 고려한 평균 초과빈도로서, m 번째 지진원도에 의한 평균 초과빈도이다. 그러므로 최종 초과빈도는 지진원도별 초과빈도의 가중평균이

다.

평균 초과확률을 계산하기 위해서는 식 (2-25)에서 $\lambda_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}$ 를 식 (2-22)의 $P_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC}$ 로 치환하면 된다.

$$\begin{aligned}
 \bar{P} &= \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \left\{ \sum_{b_{1_m}=1}^{B_{1_m}} \sum_{b_{2_m}=1}^{B_{2_m}} \cdots \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} w_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC} \times P_{b_{1_m}, b_{2_m}, \dots, b_{E_m} | g_m}^{SC} \right\} \\
 &= \sum_{m=1}^M \sum_{g_m=1}^{G_m} \left\{ \sum_{b_{1_m}=1}^{B_{1_m}} \sum_{b_{2_m}=1}^{B_{2_m}} \cdots \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} \left[w_m^M w_{g_m}^G (w_{b_{1_m}}^B w_{b_{2_m}}^B \cdots w_{b_{E_m}}^B) \times \left(1 - e^{-(\lambda_{b_{1_m} | g_m} + \lambda_{b_{2_m} | g_m} + \cdots + \lambda_{b_{E_m} | g_m})} \right) \right] \right\} \\
 &= \sum_{m=1}^M w_m^M \sum_{g_m=1}^{G_m} w_{g_m}^G \left\{ 1 - \sum_{b_{1_m}=1}^{B_{1_m}} w_{b_{1_m}}^B e^{-\lambda_{b_{1_m} | g_m}} \times \sum_{b_{2_m}=1}^{B_{2_m}} w_{b_{2_m}}^B e^{-\lambda_{b_{2_m} | g_m}} \times \cdots \times \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} w_{b_{E_m}}^B e^{-\lambda_{b_{E_m} | g_m}} \right\} \\
 &= 1 - \sum_{m=1}^M w_m^M \sum_{g_m=1}^{G_m} w_{g_m}^G \left\{ \sum_{b_{1_m}=1}^{B_{1_m}} w_{b_{1_m}}^B e^{-\lambda_{b_{1_m} | g_m}} \times \sum_{b_{2_m}=1}^{B_{2_m}} w_{b_{2_m}}^B e^{-\lambda_{b_{2_m} | g_m}} \times \cdots \times \sum_{b_{E_m}=1}^{B_{E_m}} w_{b_{E_m}}^B e^{-\lambda_{b_{E_m} | g_m}} \right\}
 \end{aligned} \tag{2-26}$$

식 (2-25)의 평균 초과빈도와 비교하여 다소 복잡하기는 하지만, 평균 초과확률 역시 지진원 조합을 생성하지 않고 계산할 수 있다는 것을 알 수 있다.

3. 검산(Verification)

지진의 발생 및 전파는 시공간적으로 너무 방대하여 실험실에서 재현할 수 없으므로 엄밀한 의미에서 PSHA 코드 검산은 불가능하다. 그러므로 이 장에서 사용한 검산 방법은 참값에 대한 검산이 아니고 근사값에 대한 검산이다.

3.1 확률적 불확실성

확률적 불확실성 처리결과와 검산을 위해, 일종의 간접적인 검산인 Hale et al.(2008)을 사용하였다. Hale et al.(2008)은 PSHA 코드의 검산을 위한 검산 모델을 개발하고(그림 3-1 참조), 다수의 PSHA 코드에 의한 계산 결과를 비교하였다. 이 프로젝트에는 총 15개⁴⁾ PSHA 코드 소유자가 참여하였다. 계산 결과 중 상호 차이가 가장 작은 5개 코드를 핵심코드(Core Code)로 선정하고, 이들 핵심코드의 평균을 Benchmark Answer라 하여, 참값에 가까운 값이라고 가정하였다. Hale et al.(2008)의 검산 모델은 3개의 Set으로 구성되었다. 그들은 Set 1과 Set 2에 대해서는 Benchmark Answer와 차이가 $\pm 5\%$ 이내를 수용기준(Acceptance Criteria)으로 제시하였으며, Set 3에 대해서는 Benchmark Answer를 도출하지 않았다(그러므로 수용기준도 없다.). 전술한 바와 같이, 확률적 불확실성에 대한 검산은 단위 프로그램 SeisHazCal에 대한 검산이다.

Test	Description
1.1	Rate calculation
1.2	Rupture location variability
1.3	Rupture area variability
1.4	Dipping fault
1.5	Truncated exponential magnitude pdf
1.6	Truncated normal magnitude pdf
1.7	Youngs and Coppersmith magnitude pdf
1.8a	Ground-motion variability, untruncated
1.8b	Ground-motion variability, truncate 2σ
1.8c	Ground-motion variability, truncate 3σ
1.10	Areal zone with point sources, single depth
1.11	Areal zone with point sources, depth range

그림 3-1. 검산모델의 기술(Hale et al., 2008)

4) 15개 중 4개(HAZ45, HAZ45b, HAZ38-URS, THAZ)는 같은 코드 기반이 같다.

3.1.1 Test Set 1

Set 1의 검산 모델은 코드의 기본요소 검산을 위한 것으로서, 단층면 상의 파열면 구현 방법, 규모분포 모델, 면적지진원 구현, 지진동 감쇄식의 산포도 반영 등을 포함한다. 검산 모델의 특징이 그림 3-1에 간략하게 기술되어 있다. 지진원 별 상세 특성과 부지 배치에 대해서는 Hale et al.(2008)을 참조한다.

검산에 참여한 대부분의 코드가 Set 1을 완료했으나, 일부 코드는 그렇지 않다. 핵심 코드는 검산 모델에 따라 다르며, 같은 검산 모델에서도 부지에 따라 다른 경우도 있다. 그림 3-2는 Set 1의 검산 모델에 대한 PSHA 코드 간 차이를 보여주고 있다.

Test	Range in results for core codes						Range in results for all codes				
	<1%	<2%	<3%	<4%	<5%		<2%	<4%	<6%	<8%	<10%
1.1	✓						✓				
1.2	✓									✓	
1.3				✓						✓	
1.4		✓								✓	
1.5		✓							✓		
1.6		✓							✓		
1.7			✓							✓	
1.8a	✓									✓	
1.8b			✓					✓			
1.8c	✓									✓	
1.10			✓						✓		
1.11				✓						✓	

그림 3-2. PSHA 코드간 차이(Hale et al., 2008)

3.1.1.1 Test 1.1

검산 모델 Test 1.1은 주향이동 단층의 단층면 전체가 파열되는 단일 규모(M=6.5)의 지진에 의한 재해도 계산이다. Sadigh et al.(1997)의 지진동 감쇄식이 사용되었으나 지진동 감쇄식의 변동성은 고려하지 않는다. 이 검산 모델은 단층의 활동률, 파열면까지 최단거리, 중앙값 지진동에 대한 계산능력을 검산한다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, 단층의 활동률은 2.8524E-03으로 계산하였으며, 이 값은 수계산으로 계산한 값과 같다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의

2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.1에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-1에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-1에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.2 Test 1.2

검산 모델 Test 1.2는 검산 모델 Test 1.1과 동일하나, 파열면이 단층면보다 작은 단일 규모($M=6.0$) 지진에 대한 검산 모델이다. 이 검산 모델은 단층면보다 작은 파열면 위치의 확률적 분포를 구현하는 능력을 검산한다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 $1.6040E-02$ 로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.05	0.0

검산 모델 Test 1.2에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-2에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-2에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.3 Test 1.3

검산 모델 Test 1.3은 Test 1.2와 같으나, 규모-파열 관계식(식 2-6)의 변동성이 고려되었다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 $1.6040E-02$ 로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.95

검산 모델 Test 1.3에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-3에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-3에 제시되었다. Site 4와 Site 6에서 0.5g에 대한 재해도를 제외한 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다. 다른 모든 경우에서 잘 일치하다 이들 두 가지 경우에서만 큰 차이를 보이는 것은 매우 부자연스러운 현상으로서, 그 원인에 대해서는 Hale et al.(2008)과 함께 검토해 볼 필요가 있는 것으로 생각된다.

3.1.1.4 Test 1.4

검산 모델 Test 1.4는 60° 경사의 역단층에 대한 검산이다. 단일 규모(M=6.0)의 지진이며, 지진동 감쇄식과 규모-파열 관계식의 변동성은 고려되지 않았다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 1.6978E-02로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.05	0.0

검산 모델 Test 1.4에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-4에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-4에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.5 Test 1.5

검산 모델 Test 1.5는 규모분포가 절단지수분포(Truncated Exponential Distribution)인 경우에 대한 검산이다. 최소규모 및 최대규모는 각각 5.0 및 6.5이며, Richter-b 값은 0.9이다. 나머지 입력변수는 Test 1.1에서와 같다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 4.0670E-02로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.5에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-5에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-5에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.6 Test 1.6

검산 모델 Test 1.6은 규모분포가 절단정규분포(Truncated Normal Distribution)인 경우에 대한 검산이다. 최소규모, 중앙규모, 최대규모는 각각 5.0, 6.3, 6.5이며, 표준편차는 0.25이다. 나머지 입력변수는 Test 1.1에서와 같다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 7.7568E-03으로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.6에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-6에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-6에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.7 Test 1.7

검산 모델 Test 1.7은 규모분포가 특성지진모델(Characteristic Earthquake Model)인 경우에 대한 검산이다. 최소규모, 특성지진규모, 최대규모는 각각 5.0, 6.2, 6.45이며, Richter-b값은 0.9이다. 나머지 입력변수는 Test 1.1에서와 같다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 1.1658E-02로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.7에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-7에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-7에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.8 Test 1.8a

검산 모델 Test 1.8a는 지진동 감쇄식의 변동성을 고려한 지진재해도 계산에 대한 검산이다. 규모 6.0의 단일규모 지진을 가정하였으며, 지진동 감쇄식 변동성을 절단 없이 고려하였다. 나머지 입력변수는 Test 1.1에서와 같다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 1.6040E-02로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.8a에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-8에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-8에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.9 Test 1.8b

검산 모델 Test 1.8b는 지진동 감쇄식의 변동성을 고려한 지진재해도 계산에 대한 검산이다. 지진동 감쇄식 변동성을 $\pm 2\sigma$ 까지 고려하였으며, 나머지 입력변수는 Test 1.8a에서와 같다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 1.6040E-02로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.8b에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-9에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-9에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.10 Test 1.8c

검산 모델 Test 1.8c는 지진동 감쇄식의 변동성을 고려한 지진재해도 계산에 대한 검산이다. 지진동 감쇄식 변동성을 $\pm 3\sigma$ 까지 고려하였으며, 나머지 입력변수는 Test 1.8a에서와 같다.

단층의 이동률이 2 mm/yr일 때, SeisHaz_GUI는 이 검산 모델에 대한 단층의 활동률을 1.6040E-02로 계산하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.8c에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-10에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-10에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.11 Test 1.10

검산 모델 Test 1.10은 진원깊이가 5 km에 고정된 면적지진원에 대한 검산이다. 규모 5 이상 지진의 연간 발생빈도는 0.0395이며, Sadigh et al.(1997)의 지진동 감쇄식을 변동성 구간의 절단 없이 사용하였다. 절단지수분포를 사용하였으며, 최소규모 및 최대 규모는 각각 5.0 및 6.5이고 Richter-b값은 0.9를 적용하였다. 면적지진원 내에서 지진(점지진)은 균질하게 발생하는 것으로 가정하였다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.10에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-11에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-11에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.1.12 Test 1.11

검산 모델 Test 1.11은 진원깊이가 5-10 km 구간에 균질하게 분포하는 면적지진원에 대한 검산이다. 나머지 입력자료는 검산 모델 Test 1.10과 동일하다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.5	0.1	0.0

검산 모델 Test 1.11에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 A의 표 A-12에 제시되었으며, 그래프 비교는 그림 A-12에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.2 Test Set 2

Set 2의 검산 모델은 지진재해도 분해 기능(Test 2.1), NGA West2의 지진동 감쇄식 구현 기능(Test 2.2, 2.3), 지원깊이 분포 구현 기능(Test 2.4), 그리고 지진동 감쇄식의 표준편차 혼합모형(Test 2.5)로 구성되었다.

3.1.2.1 Test 2.1

검산 모델 Test 2.1은 하나의 면적지진원과 2개의 단층지진원에 의한 지진재해도의 분해에 대한 검산이다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 2.1에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 B의 표 B-1a, 1b, 1c에 제시되었으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 B-1에 제시되었다. 표 B-1c를 살펴보면, 전체적으로 SeisHaz_GUI와 Benchmark 값이 5% 이내에서 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 다만 3곳에서 갑작스럽게 큰 차이를 보이는데, 이는 다른 대부분의 값이 잘 일치하는 성향과 부합하지 않는다. 그 원인에 대해서는 Hale et al.(2008)과 함께 검토해 볼 필요가 있는 것으로 생각된다.

3.1.2.2 Test 2.2

검산 모델 Test 2.2는 NGA West2 지진동 감쇄식에 대한 검산이다. NGA West2 지진동 감쇄식은 기존의 지진동 감쇄식보다 훨씬 많은 입력변수를 필요로 한다. 지진재해도 계산 프로그램이 NGA West2 지진동 감쇄식의 이용에 필요한 입력변수를 제대로 생산할 수 있는지 시험하기 위해 4개의 NGA West2 지진동 감쇄식을 선정하였다. 절단하지 않은 표준편차를 상정하였다. 경사 90°의 주향이동 단층 주변에 분포하는 6개 부지에 대해 지진재해도를 계산한다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 2.2에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 B의 표 B-2a ~ 2d에 제시되었으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 B-2a ~ 2d에 제시되었다. 그림 또는 표 B-2a ~ 2d는 차례대로 Abrahamson et al. (2014), Boore et al. (2014), Campbell and Bozorgnia (2014), Chiou and Youngs (2014)에 대한 결과이다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.2.3 Test 2.3

검산 모델 Test 2.3은 검산 모델 Test 2.2와 유사하다. 경사 45°의 역단층 주변에 분포하는 6개 부지에 대해 지진재해도를 계산한다. 지진동의 변동성은 고려하지 않았다

($\sigma = 0$).

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 2.3에 대한 SeisHaz_GUI의 계산한 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 B의 표 B-3a ~ 2d에 제시되었으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 B-3a ~ 2d에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.2.4 Test 2.4

검산 모델 Test 2.4는 단층면 상의 파열면의 분포에 대한 구현능력을 검산한다. 진원(파열면의 중심)이 균질분포(Uniform Distribution)인 경우와 삼각분포(Triangular Distribution)인 경우를 상정한다. 경사 90°의 주향이동단층 주변에 분포하는 1개 부지에 대해 지진재해도를 계산한다. Chiou and Youngs (2014)의 지진동 감쇄식을 이용하였으며, 지진동의 변동성은 고려하지 않았다($\sigma = 0$).

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 2.4에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 B의 표 B-4a 및 표 B-4b에 제시되었으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 B-4a 및 그림 B-4b에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.2.5 Test 2.5

검산 모델 Test 2.5는 지진동 감쇄식의 표준편차 형태의 대안에 대한 구현능력을 검산한다. 변동성의 범위를 제한하지 않은 Extreme Tail(일반적인 모델)과 2개의 표준편차를 가중평균한 Mixture Model을 상정한다. 경사 90°의 주향이동단층 주변에 분포하는

1개 부지에 대해 지진재해도를 계산한다. Chiou and Youngs (2014)의 지진동 감쇄식을 이용하였으며, 지진동의 표준편차를 $\sigma = 0.65$ 로 고정하였다.

이 계산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 2.5에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과와 Benchmark Answer의 수치 비교가 부록 B의 표 B-5a 및 표 B-5b에 제시되었으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 B-5a 및 그림 B-5b에 제시되었다. 모든 경우에서 Benchmark Answer와의 차이가 5% 이내임을 알 수 있다.

3.1.3 Test Set 3

Set 3의 검산 모델은 주향이 굽은 단층(Test 3.1), 논리수목 및 백분위수(Test 3.2), 섭입대 내부 지역(Test 3.3), 그리고 가상단층을 이용한 면적지진원(Test 3.4)로 구성되었다. 이들 4가지 검산 모델에 대한 구현방법이 아직까지 확립되지 않은 상태이므로, 수용기준을 제시하지 않았다.

3.1.3.1 Test 3.1

검산 모델 Test 3.1은 주향이 변하는 경사단층에 의한 지진재해도의 계산 결과를 비교한다. 경사단층의 주향이 변하는 경우 단층면 하부가 겹치거나 벌어지므로 2가지 경사($\pm 60^\circ$)를 가정하였다.

이 계산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 3.1에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과의 수치 비교를 부록 C의 표 C-1a 및 표 C-1b에 제시하였으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 C-1a 및 그림 C-1b에 제시하였다. 모델링 방법별로 평균값과 비교하였다. SeisHaz_GUI의 계산 결과는, 주향이 변하는 경사단층의 모델링과 관련하여 Hale et al.(2008)이 기술한 3가지 모

모델링 방법 중 Stirling의 단층모델과 거의 일치한다.

3.1.3.2 Test 3.2

검산 모델 Test 3.는 간단한 논리수목 구성과 백분위 지진재해도 계산 기능을 검산한다. SeisHaz_GUI는 내삽을 이용하여 백분위수를 계산한다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

SeisHaz_GUI는 내삽을 이용하여 백분위수를 계산한다. 검산 모델 Test 3.2에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과의 수치 비교를 부록 C의 표 C-2에 제시했으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 C-2에 제시하였다. 전체적으로 Hale et al.(2008)의 결과와 잘 일치한다.

3.1.3.3 Test 3.3

검산 모델 Test 3.3은 섭입판 내부의 지진원대(Intraslab Zone)에 의한 지진재해도의 계산 결과를 검산한다. SeisHazCal은 수직으로 켄(Slice) 면적지진원의 중첩이나 단층지진원의 중첩 또는 섭입판 자체를 단층면으로 모델링할 수 있다. 이 중에서 입력자료 작성이 가장 용이한 마지막 방법을 채택하였다. 즉, 섭입판 상부 표면을 단층면으로 가정하였다. 참고로, SeisHazCal은 섭입판 상부 표면에 평행한 다수의 단층면(예를 들면, 상부 표면, 가운데, 하부 표면)을 수직적으로 배열하여 지진재해도를 계산할 수 있으나, 이에 대한 결과는 보고서에 제시하지 않았다.

이 검산 모델에서 지진재해도 계산을 위한 수치적분에 사용된 변수(사용자매뉴얼의 2.2.3.1절 참조)들의 값은 아래 표와 같다.

변수	Magnitude Step Size	Distance Step Size	Depth Step Size	Rupture Shift Step Size	Fraction of Rupture Size
설정값	0.05	0.02	0.1	0.1	0.0

검산 모델 Test 3.3에 대한 SeisHaz_GUI의 계산 결과의 수치 비교를 부록 C의 표 C-3에 제시했으며, 지진재해도 그래프 비교는 그림 C-3에 제시하였다. 동일한 모델링을 사용한 HAZ45 및 OpenQuake의 계산결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

3.1.3.4 Test 3.4

검산 모델 Test 3.4는 면적지진원에 의한 지진재해도를 가상단층(Virtual Fault)를 이용하여 계산한 결과를 검산한다. SeisHaz_GUI는 가상단층에 대한 기능이 없으므로 이 검산 모델에 대한 검산을 수행하지 않았다.

3.2 해석적 불확실성

3.1절에서 사용한 검산모델(Hale et al., 2008)은 확률적 불확실성의 처리에 대한 것으로서 단위 프로그램 SeisHazCal의 검산에 활용되었다. 그러나 Hale et al.(2008)은 해석적 불확실성에 대한 검산모델을 제시하지 않았다. 후속 절에 기술된 바와 같이, 해석적 불확실성의 처리에 대한 검산을 위해 자체적으로 검산모델을 개발하였다. 그러나 이 검산모델은 제한된 유형으로서 Hale et al.(2008)의 검산모델처럼 포괄적이지 않다. Hale et al.(2008)에서처럼 다수의 프로그램이 참여하여 결과를 비교하는 방법을 적용한다면 해석적 불확실성에 대한 포괄적인 검산모델을 구축할 수 있을 것이다.

3.2.1 단일 지진원도 사례

검산모델로 개발된 단일 지진원도는 3개의 지진원으로 구성되었으며, 지진원(Map)을 구성하는 지진원도의 지진원 배치는 그림 3-3과 같다. 부지는 Source 1의 중심에 위치한다. 지진원별 지진활동 특성은 표 3-1에 기술되어 있다.

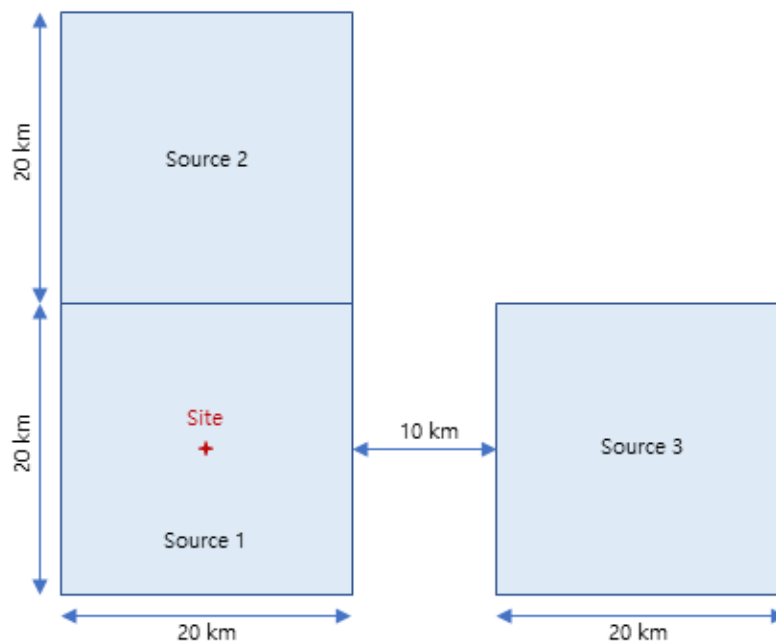


그림 3-3. 단일 지진원도에서 지진원의 배치

표 3-1. 지진원의 지진활동 특성

지진원	진원깊이 (가중치)	규모분포 (가중치)	이동감각 (가중치)	최대지진 (가중치)	ν^*, b (가중치)	종단가지
1	5 km (1.0)	지수모델 (1.0)	주향이동 (1.0)	6.5 (0.4)	0.001, 0.9 (1.0)	2개
				7.0 (0.6)		
2	3 km (0.6)	지수모델 (1.0)	주향이동 (1.0)	6.5 (0.4)	0.001, 0.9 (0.6)	8개
	5 km (0.4)			7.0 (0.6)	0.002, 0.9 (0.4)	
3	3 km (0.6)	지수모델 (1.0)	주향이동 (1.0)	6.5 (0.4)	0.001, 0.9 (1.0)	4개
	5 km (0.4)			7.0 (0.6)		

* 규모 5 이상 지진의 연간 발생빈도

지진동 모델은 2개로서, Baag-I(박창업 외, 2015)과 Baag-II(박창업 외, 2015)에 가중치 0.6과 0.4를 각각 부여하였다.

표 3-1로부터, 3개의 지진원에 대한 지진원 조합의 수는 $2 \times 8 \times 4 = 64$ 개이며, 동일한 조합이 2개의 지진동 모델에 각각 적용되므로, 총 128개의 지진원 조합이 생성된다. 128개의 지진원 모델 각각에 대한 가중치 및 초과확률을 MS Excel을 통해 계산하여, 그 결과를 SeisHazPPr의 결과와 비교하였다(표 3-2). 3개의 지진동 수준(0.01 g, 0.1 g, 0.5 g)에 대한 초과확률의 평균값, 15 백분위수, 50 백분위수(중앙값), 85 백분위수를 계산하였다.

표 3-2. 단일 지진원에 대한 검산 결과.

	Exceeding Probability											
	0.01g				0.1g				0.5g			
	Mean	15-th	50-th	85-th	Mean	15-th	50-th	85-th	Mean	15-th	50-th	85-th
Excel	3.2579E-03	2.7897E-03	2.9806E-03	3.9757E-03	5.9840E-04	3.4916E-04	3.7406E-04	9.8986E-04	8.2183E-06	3.3539E-07	1.1577E-06	2.2559E-05
SeisHaz_GUI	3.2579E-03	2.7896E-03	2.9806E-03	3.9756E-03	5.9840E-04	3.4915E-04	3.7406E-04	9.8986E-04	8.2183E-06	3.3539E-07	1.1577E-06	2.2559E-05
% difference	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

3.2.2 복수 지진원도 사례

검산모델로 개발된 복수 지진원도는 3개의 지진원도(Map)로 구성되었다. Map 1은 3.2.1절의 단일 지진원도와 동일하다. Map 2는 Map 1에서 지진원 3을 제외한 2개의 지진원으로 구성되었다. Map 3은 Map 1에서 지진원 2를 제외한 2개의 지진원으로 구성되었다.

지진동 모델은 3.2.1과 동일하게 Baag-I(Baag, 2015)과 Baag-II(Baag, 2015)에 가중

치 0.6과 0.4를 각각 부여하였다.

전술한 바와 같이 Map 1의 지진원 조합은 총 128개이다. Map 2의 2개의 지진원에 대한 지진원 조합은 $2 \times 8 = 16$ 개로서 2개의 지진동 모델을 고려하면 총 32개의 지진원 조합이 생성된다. Map 3의 2개의 지진원에 대한 지진원 조합은 $2 \times 4 = 8$ 개로서 2개의 지진동 모델을 고려하면 총 16개의 지진원 조합이 생성된다. 그러므로 3개의 지진원도로부터 생성되는 지진원 조합은 총 $128 + 32 + 16 = 176$ 개이다. 176개의 지진원 모델 각각에 대한 가중치 및 초과확률을 MS Excel을 통해 계산하여, 그 결과를 SeisHazPPr의 결과와 비교하였다(표 3-2). 3개의 지진동 수준(0.01 g, 0.1 g, 0.5 g)에 대한 초과확률의 평균값, 15 백분위수, 50 백분위수(중앙값), 85 백분위수를 계산하였다.

표 3-3. 복수 지진원에 대한 검산 결과.

	Exceeding Probability											
	0.01g				0.1g				0.5g			
	Mean	15-th	50-th	85-th	Mean	15-th	50-th	85-th	Mean	15-th	50-th	85-th
Excel	2.5807E-03	1.8257E-03	2.7848E-03	3.7527E-03	5.6842E-04	3.4133E-04	3.7221E-04	9.0317E-04	8.1997E-06	3.3509E-07	1.1577E-06	2.2525E-05
SeisHaz_GUI	2.5807E-03	1.8257E-03	2.7848E-03	3.7527E-03	5.6842E-04	3.4133E-04	3.7221E-04	9.0317E-04	8.1997E-06	3.3509E-07	1.1577E-06	2.2525E-05
% difference	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

3.2.3 접기(Collapsing)

SeisHazPPr은 최대 1,000,000개의 지진원 조합을 처리할 수 있다. 그러나 실제 지진재해도 계산에서 지진원 조합이 1,000,000개를 초과하는 경우가 드물지 않다. 지진원 조합이 1,000,000개를 초과하는 경우, SeisHazPPr은 지진원별로 재해도가 유사한 종단가지를 통합하여(즉, 종단가지 개수를 줄여) 지진원 조합이 1,000,000개를 초과하지 않도록 조정한다. 이 행위를 접기(Collapsing)라 한다.

SeisHazPPr의 접기 과정은 다음과 같다. 먼저 각 지진원이 취할 수 있는 최대 지진원 조합의 수를 결정한다. 다음, 허용된 지진원 조합 수를 초과하지 않을 때까지, 종단가지가 많은 지진원부터 접기를 실시한다. 이를 위해, 지진원의 종단가지를 재해도 순으로 정리한 후, 재해도가 작은 것부터 인접한 2개의 종단가지를 통합한다. 통합한 종단가지의 지진재해도는 통합 전 2개 종단가지 지진재해도의 평균이며, 가중치는 2개 가중치의 합이다. 접기를 통해 계산된 지진재해도는 일종의 근사값이다. 그러므로 접기가 의도한 방법대로 정확하게 이행되었다고 하더라도 그 결과는 참값이 아니다.

한편, 평균 지진재해도는 지진원 조합을 이용하지 않고, 식 2-25나 식 2-26을 통해 계산되므로 검산 대상이 아니다.

만일, 확률적 불확실성 검산에서처럼 다수의 프로그램이 접기 검산에 참여했다면 포괄적인 검산이 가능했을 것이다. 상황이 허락하지 아니하여, 부득이 자체적으로 개발한 검산 모델을 이용하여 검산을 수행하였다. 접기 검산을 위해 2가지 검산 모델을 개발하였다. 첫 번째 모델은 하나의 지진원도에서 동일한 지진원이 점차적으로 증가하는 모델이며, 두 번째 모델은 동일한 2개의 지진원도가 동일한 가중치를 갖은 모델이다. 자세한

내용은 후속 절에 기술되었다.

3.2.3.1 동일한 지진원의 추가

동일한 지진원이 많아질수록 이로 인한 지진재해도도 증가할 것이다. 평균 초과빈도의 경우 동일한 지진원이 n 개 있으면 1개만 있을 때보다 정확하게 n 배 증가할 것이다 (식 2-25 참조). 그러나 평균 초과확률은 그렇지 않다(식 2-26 참조). 지진원이 추가될 때마다 지진원 조합이 변경되므로 백분위수는 정확하게 추가된 지진원 개수만큼 증가하지 않는다. 그럼에도 불구하고, 지진원이 증가함에 따라 재해도도 증가하는 추세를 보일 것이다. 이러한 증가 추세는 지진원 조합이 많을수록 선형에 가까울 것이며, 초과확률보다 초과빈도에서 더 명확하다. 그러므로 초과빈도를 지진원 개수로 나누면 하나의 값으로 수렴할 것이다.

이와 같은 계산 결과를 표 3-4 ~ 표 3-6에 정리하였다. 표 3-4는 지진동 수준 0.01 g에 대한 결과이다. 초과빈도에 대해 평균값 및 15 백분위수, 50 백분위수, 85 백분위수를 계산하였다. 평균값은 접기의 대상이 아니나, 참고로 제시하였다. 전술한 바와 같이 지진원의 개수는 1개부터 시작하여 7개까지 증가한다. 표 3-4의 초과빈도는 실제 초과빈도를 지진원 개수로 나눈, 정규화된 값이다. 그림 3-5와 그림 4-6은 각각 지진동 수준 0.1 g와 0.5 g에 대한 결과이다.

표 3-4. 동일한 지진원의 증가에 따른 정규화된 초과빈도의 변화(지진동 수준 0.01 g).

지진원 수	0.01g				지진원 조합 수
	Mean	15-th	50-th	85-th	
1	1.3753E-03	9.7081E-04	9.9946E-04	1.9961E-03	16
2	1.3754E-03	9.7160E-04	1.4565E-03	1.9395E-03	128
3	1.3753E-03	9.9943E-04	1.3326E-03	1.6657E-03	1,024
4	1.3754E-03	1.2126E-03	1.4554E-03	1.6988E-03	8,192
5	1.3753E-03	1.1652E-03	1.3601E-03	1.5991E-03	65,536
6	1.3753E-03	1.1337E-03	1.3326E-03	1.6181E-03	524,288
7	1.3753E-03	1.1422E-03	1.3871E-03	1.5706E-03	4,194,304

표 3-5. 동일한 지진원의 증가에 따른 정규화된 초과빈도의 변화(지진동 수준 0.1 g).

지진원 수	0.1g				지진원 조합 수
	Mean	15-th	50-th	85-th	
1	9.0803E-05	1.9047E-05	4.4344E-05	0.00022046	16
2	9.0805E-05	2.0811E-05	3.7372E-05	0.00020007	128
3	9.0803E-05	2.2614E-05	3.5237E-05	0.00018935	1,024
4	9.0803E-05	2.3551E-05	0.00003409	0.00019657	8,192
5	9.0804E-05	0.00002422	0.00003324	0.00019281	65,536
6	9.0803E-05	2.4533E-05	3.2807E-05	0.00019383	524,288
7	9.0803E-05	0.00002482	3.2533E-05	0.00019231	4,194,304

표 3-6. 동일한 지진원의 증가에 따른 정규화된 초과빈도의 변화(지진동 수준 0.5 g).

지진원 수	0.5g				지진원 조합 수
	Mean	15-th	50-th	85-th	
1	6.1846E-08	2.1729E-11	9.2084E-10	1.8466E-07	16
2	6.1845E-08	1.6734E-10	6.436E-10	1.9391E-07	128
3	6.1847E-08	2.2079E-10	6.31E-10	1.7271E-07	1,024
4	6.1848E-08	2.505E-10	6.2885E-10	1.6936E-07	8,192
5	6.1846E-08	2.6876E-10	6.2332E-10	1.7056E-07	65,536
6	6.1847E-08	3.132E-10	5.7995E-10	1.6908E-07	524,288
7	6.1846E-08	3.1589E-10	5.8074E-10	1.6696E-07	4,194,304

각 표의 오른쪽 끝에는 지진원 조합의 개수가 표시되어 있다. 지진원 개수가 7개 일 때, 처음으로 지진원 조합의 개수가 1,000,000개를 초과한다. 그러므로 지진원 개수 6개 이하에서는 접기가 적용되지 않은 정확한 값이며, 지진원 개수가 7개일 때 접기가 적용된다. 따라서, 지진원 개수 7개 일 때 정규화된 초과빈도가 지진원 개수 6개 이하일 때 정규화된 초과빈도와 유사하다면, 접기가 타당하게 이행되었음을 간접적으로 추정할 수 있다. 이러한 경향을 좀 더 직관적으로 이해하기 위해 3개 표에 제시된 결과를 그림 3-4 ~ 그림 3-5에 도시하였다. 지진원의 개수가 증가할수록 정규화된 초과빈도가 하나의 값으로 수렴하는 추세가 명확하게 나타난다.

지진동 수준이 증가할수록 초과빈도 분포의 비대칭이 심화되어, 평균값과 50 백분위수(중앙값)의 차이가 증가한다. 이는 지진동 수준이 증가할수록 특정 영역에 재해도가 몰리기 때문이다. 그림 3-6의 Y축만 로그 스케일이며, 나머지는 선형 스케일이다.

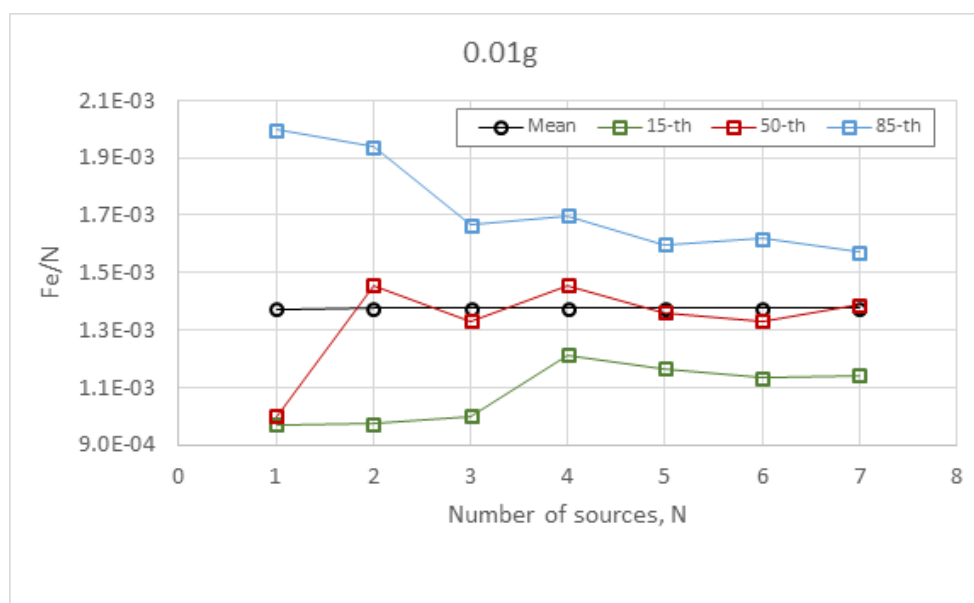


그림 3-4. 동일한 지진원의 증가에 따른 정규화된 초과빈도의 변화(지진동 수준 0.01 g). Fe는 초과빈도이며, N은 지진원의 개수이다.

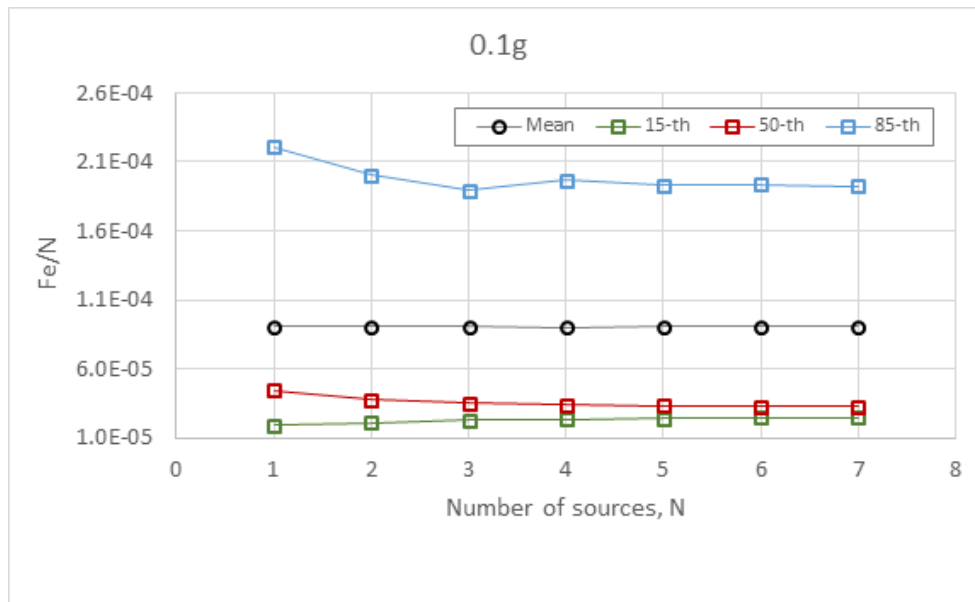


그림 3-5. 동일한 지진원의 증가에 따른 정규화된 초과빈도의 변화(지진동 수준 0.1 g). Fe는 초과빈도이며, N은 지진원의 개수이다.

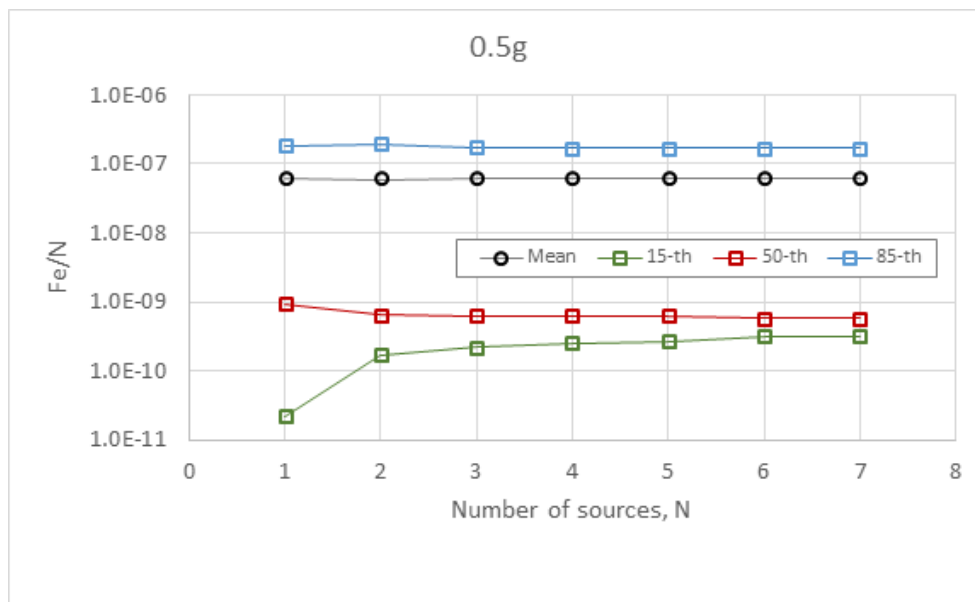


그림 3-6. 동일한 지진원의 증가에 따른 정규화된 초과빈도의 변화(지진동 수준 0.5 g). Fe는 초과빈도이며, N은 지진원의 개수이다.

3.2.3.2 동일한 지진원도의 추가

3.2.3.1절에 사용된 지진원도 중 지진원 6개로 이루어진 지진원도(표 3-7에서 1 Map)에 동일한 지진원도를 추가하여(2 Maps) 그 결과를 비교하였다(표 3-7 참조). 지진원도 가중치의 총합은 1이어야 하므로 각 지진원에 0.5의 가중치를 동일하게 부여하였

다. 하나의 지진원도(1 Map)의 지진원 결합 개수는 1,000,000보다 작으므로 접기가 적용되지 않으나, 두 개의 지진원도(2 Maps)에는 접기가 적용된다.

2 Maps의 경우 2개 지진원도의 구성이 동일하므로, 2 Maps에서는 1 Map의 각 지진원 결합과 동일한 지진원 결합이 2회 발생한다. 또한 2개 지진원도의 가중치가 동일하므로, 1 Map의 지진원 결합에 상응하는 2 Maps의 지진원 결합에 대한 지진재해도는 동일하되 가중치는 1/2이된다. 이는 동일한 조건에서 표본을 1회 추출한 경우(1 Map)와 2회 추출하여 각각 0.5의 가중치를 부여한 경우(2 Maps)에 해당한다. 1 Map의 지진원 결합 개수가 충분히 크므로, 이러한 조작이 백분위수에 미치는 영향은 극히 미미할 것이다. 그러므로 표 3-7에서 15 백분위수와 85 백분위수에 나타난 차이는 접기에 의한 차이일 것으로 추정할 수 있다.

표 3-7. 동일한 지진원도의 추가에 따른 초과확률의 변화.

지진원도	지진원 결합(개)	Median			15-th Percentile			85-th Percentile		
		0.01g	0.1g	0.5g	0.01g	0.1g	0.5g	0.01g	0.1g	0.5g
1 Map	524,288	7.9956E-03	1.9684E-04	3.4797E-09	6.8019E-03	1.4720E-04	1.8792E-09	9.7083E-03	1.1630E-03	1.0145E-06
2 Maps	1,048,576	7.9956E-03	1.9684E-04	3.4797E-09	6.8024E-03	1.4728E-04	1.8818E-09	9.7083E-03	1.1642E-03	1.0159E-06
% difference		0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%	0.14%	0.00%	0.10%	0.14%

표 3-7을 살펴보면, 중앙값에서 멀어질수록 백분위수의 차이가 증가함을 알 수 있다. 또한 지진동 수준이 증가할수록 차이가 증가함을 보인다. 그럼에도 불구하고 두 지진원도 간의 차이, 즉 접기의 적용 전후의 차이는 1% 미만으로서 무시할만한 수준이므로, 접기가 의도한 대로 타당하게 이루어졌음을 입증하는 또 다른 증거이다.

4. 참고문헌

- 박창업 외, 원전부지 최대지진 조사·연구(I), 한수원(주) 보고서, 2015.
- Abrahamson N.A., Silva W.J., and Kamai R., 2014. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions, *Earthq. Spectra*, Vol.30(3), 1025-1055.
- Boore D.M., Stewart J.p., Seyhan E., Atkinson G.M., 2014. NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes, *Earthq. Spectra*, Vol.30(3), 1057-1085.
- Campbell K.W. and Bozorgnia Y., 2014. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra, *Earthq. Spectra*, Vol.30(3), 1087-1115.
- Chiou B.S.-J. and Youngs R.R., 2014. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra, *Earthq. Spectra*, Vol.30(3), 1117-1153.
- Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.58, pp.1583-1606.
- Hale, C., N. Abrahamson, and Y. Bozorgnia, 2008. Probabilistic Seismic Hazard Analysis Code Verification, PEER Report No. 2018/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, UC Berkeley, California.
- Sadigh K., Chang C.-Y., Egan J.A., Makdisi F., Youngs R.R. (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, *Seismol. Res. Lett.*, Vol.68(1), pp.180-189.

부록 A. Test Set 1에 대한 검산결과

표 A-1. 검산모델 Test 1.1에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03			
	Benchmark	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03			
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%			
Site 2	SeisHaz_GUI	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03										
	Benchmark	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03										
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%										
Site 3	SeisHaz_GUI	2.8483E-03	2.8483E-03																
	Benchmark	2.8487E-03	2.8487E-03																
	% difference	-0.02%	-0.02%																
Site 4	SeisHaz_GUI	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03			
	Benchmark	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03			
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%			
Site 5	SeisHaz_GUI	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03										
	Benchmark	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03										
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%										
Site 6	SeisHaz_GUI	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03			
	Benchmark	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03			
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%			
Site 7	SeisHaz_GUI	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03	2.8483E-03										
	Benchmark	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03	2.8487E-03										
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%										

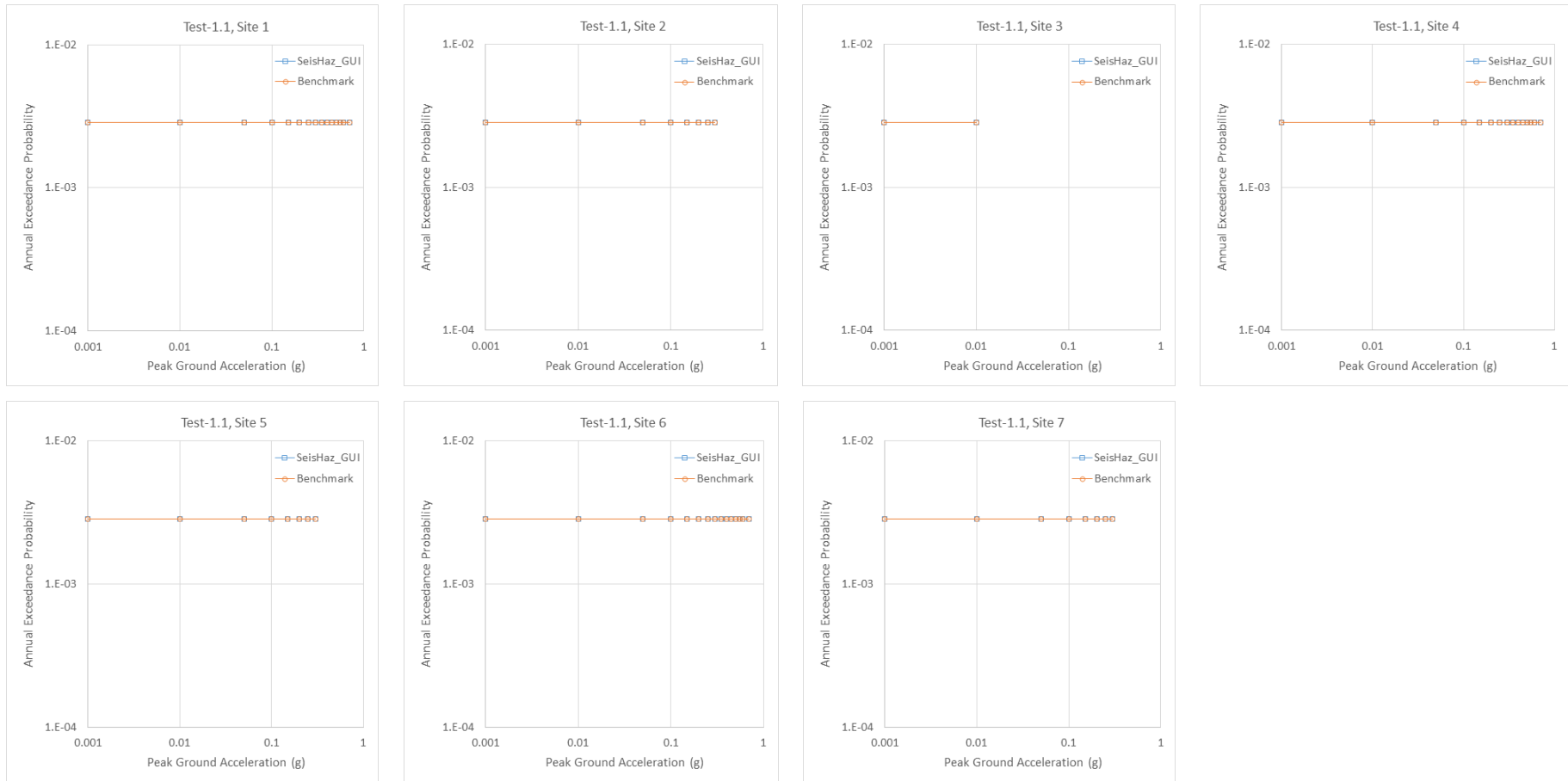


그림 A-1. 검산모델 Test 1.1에 대한 결과.

표 A-2. 검산모델 Test 1.2에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.1642E-02	8.1464E-03	5.2789E-03	2.7230E-03					
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.1734E-02	8.2201E-03	5.2292E-03	2.6374E-03					
	% difference	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	-0.79%	-0.90%	0.95%	3.24%					
Site 2	SeisHaz_GUI	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02												
	Benchmark	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02												
	% difference	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
Site 3	SeisHaz_GUI	1.5915E-02	1.5915E-02																
	Benchmark	1.5915E-02	1.5915E-02																
	% difference	0.00%	0.00%																
Site 4	SeisHaz_GUI	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5811E-02	1.1948E-02	8.6377E-03	5.7142E-03	3.0972E-03	1.5234E-03	6.2375E-04						
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5818E-02	1.1963E-02	8.6445E-03	5.7256E-03	3.0905E-03	1.5112E-03	6.0998E-04						
	% difference	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	-0.04%	-0.12%	-0.08%	-0.20%	0.22%	0.81%	2.26%						
Site 5	SeisHaz_GUI	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	7.7500E-03	1.6182E-03												
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	7.7448E-03	1.6002E-03												
	% difference	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.07%	1.13%												
Site 6	SeisHaz_GUI	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5811E-02	1.1948E-02	8.6377E-03	5.7142E-03	3.0972E-03	1.5234E-03	6.2375E-04						
	Benchmark	1.5918E-02	1.5918E-02	1.5918E-02	1.5918E-02	1.5918E-02	1.5812E-02	1.1943E-02	8.6308E-03	5.7182E-03	3.0859E-03	1.5093E-03	6.0911E-04						
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.01%	0.04%	0.08%	-0.07%	0.37%	0.93%	2.40%						
Site 7	SeisHaz_GUI	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02												
	Benchmark	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02	1.5915E-02												
	% difference	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												

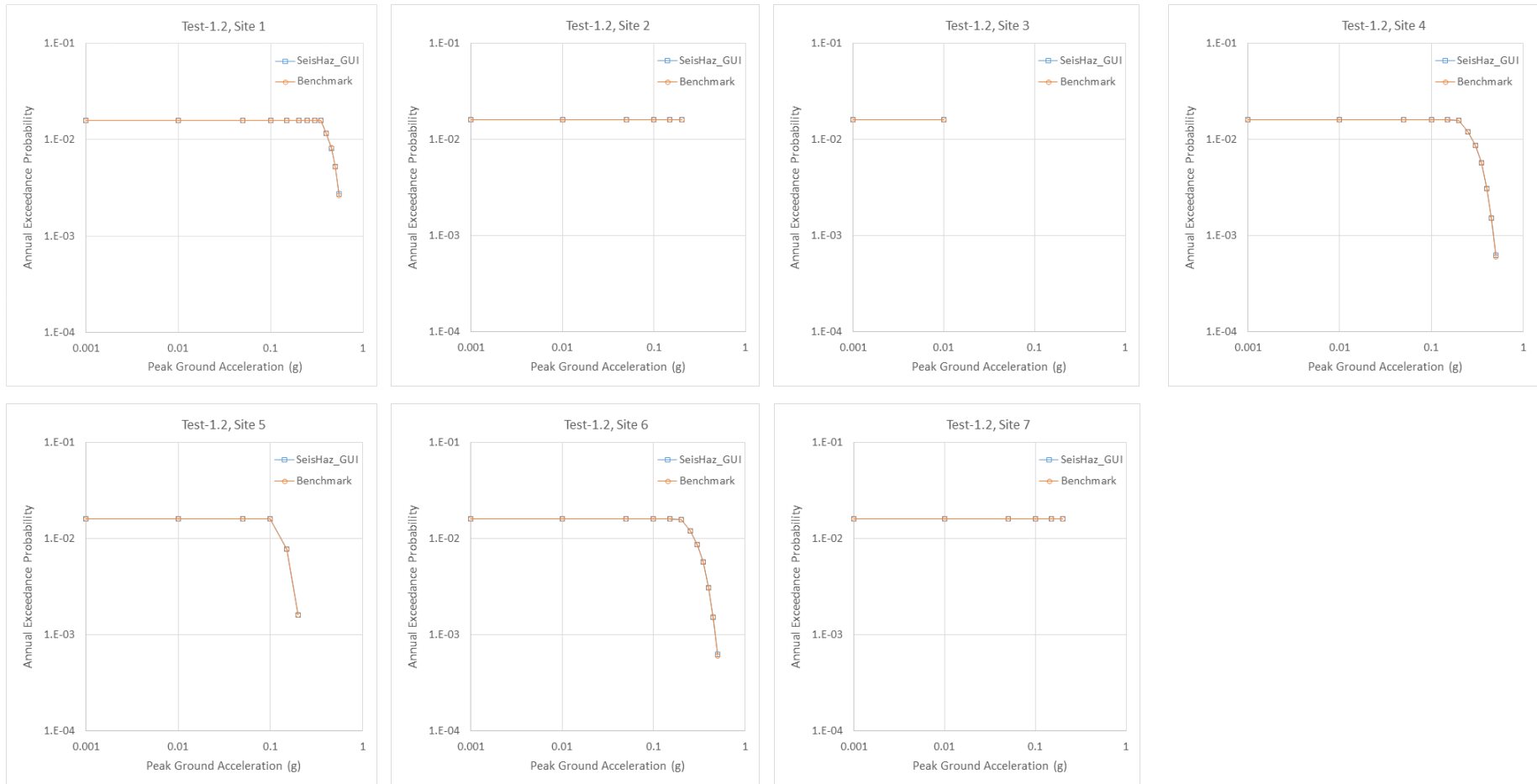


그림 A-2. 계산모델 Test 1.2에 대한 결과.

표 A-3. 검산모델 Test 1.3에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5605E-02	1.4246E-02	1.2154E-02	9.1532E-03	6.6345E-03	3.6412E-03					
	Benchmark	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5912E-02	1.5671E-02	1.4369E-02	1.2070E-02	9.3139E-03	6.4966E-03	3.6621E-03					
	% difference	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	0.00%	-0.42%	-0.86%	0.70%	-1.72%	2.12%	-0.57%					
Site 2	SeisHaz_GUI	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5036E-02												
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5106E-02												
	% difference	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.47%												
Site 3	SeisHaz_GUI	1.5912E-02	1.5912E-02																
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02																
	% difference	-0.01%	-0.01%																
Site 4	SeisHaz_GUI	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5779E-02	1.4372E-02	1.2286E-02	9.4133E-03	6.9703E-03	4.9290E-03	2.8643E-03	1.4443E-03						
	Benchmark	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5817E-02	1.4502E-02	1.2195E-02	9.5979E-03	7.0052E-03	4.7202E-03	2.8905E-03	1.5449E-03						
	% difference	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.24%	-0.90%	0.75%	-1.92%	-0.50%	4.42%	-0.90%	-6.51%						
Site 5	SeisHaz_GUI	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5067E-02	8.7998E-03	2.2716E-03												
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5091E-02	8.8978E-03	2.3849E-03												
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.16%	-1.10%	-4.75%												
Site 6	SeisHaz_GUI	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5779E-02	1.4372E-02	1.2286E-02	9.4133E-03	6.9703E-03	4.9290E-03	2.8643E-03	1.4443E-03						
	Benchmark	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5815E-02	1.4497E-02	1.2185E-02	9.5891E-03	6.9971E-03	4.7252E-03	2.8837E-03	1.5458E-03						
	% difference	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.23%	-0.86%	0.83%	-1.83%	-0.38%	4.31%	-0.67%	-6.57%						
Site 7	SeisHaz_GUI	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5912E-02	1.5036E-02												
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5106E-02												
	% difference	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.47%												

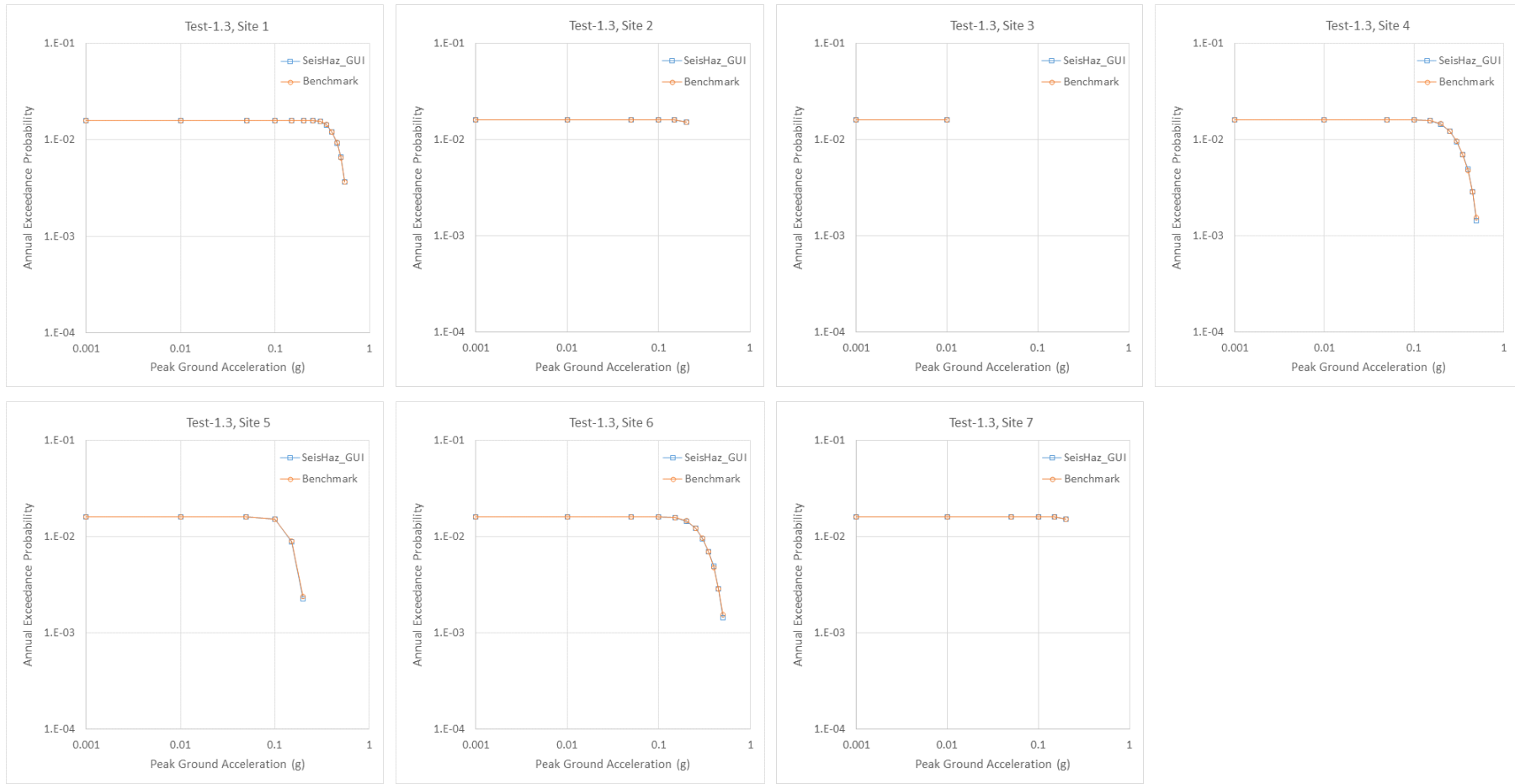


그림 A-3. 계산모델 Test 1.3에 대한 결과.

표 A-4. 검산모델 Test 1.4에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.3607E-02	1.0075E-02	6.9747E-03	4.4577E-03					
	Benchmark	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.3615E-02	1.0057E-02	7.0162E-03	4.3602E-03					
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.06%	0.17%	-0.59%	2.24%					
Site 2	SeisHaz_GUI	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02											
	Benchmark	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02											
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%											
Site 3	SeisHaz_GUI	1.6833E-02	1.6833E-02																
	Benchmark	1.6837E-02	1.6837E-02																
	% difference	-0.03%	-0.03%																
Site 4	SeisHaz_GUI	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.5661E-02	1.1777E-02	8.4130E-03	5.0906E-03	2.8883E-03	1.4909E-03	6.4333E-04					
	Benchmark	1.6838E-02	1.6838E-02	1.6838E-02	1.6838E-02	1.6838E-02	1.6838E-02	1.5659E-02	1.1775E-02	8.4055E-03	5.0827E-03	2.8819E-03	1.4891E-03	6.4179E-04					
	% difference	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	0.01%	0.02%	0.09%	0.16%	0.22%	0.12%	0.24%					
Site 5	SeisHaz_GUI	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.2369E-02	5.2537E-03												
	Benchmark	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.2382E-02	5.2508E-03												
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.11%	0.06%												
Site 6	SeisHaz_GUI	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.5661E-02	1.1777E-02	8.4130E-03	5.0906E-03	2.8883E-03	1.4909E-03	6.4333E-04					
	Benchmark	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.6836E-02	1.5651E-02	1.1762E-02	8.3925E-03	5.0668E-03	2.8607E-03	1.4703E-03	6.2651E-04					
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	0.06%	0.13%	0.24%	0.47%	0.97%	1.40%	2.69%					
Site 7	SeisHaz_GUI	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6833E-02	1.6394E-02	4.3094E-03											
	Benchmark	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6837E-02	1.6309E-02	4.1784E-03											
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	0.52%	3.14%											

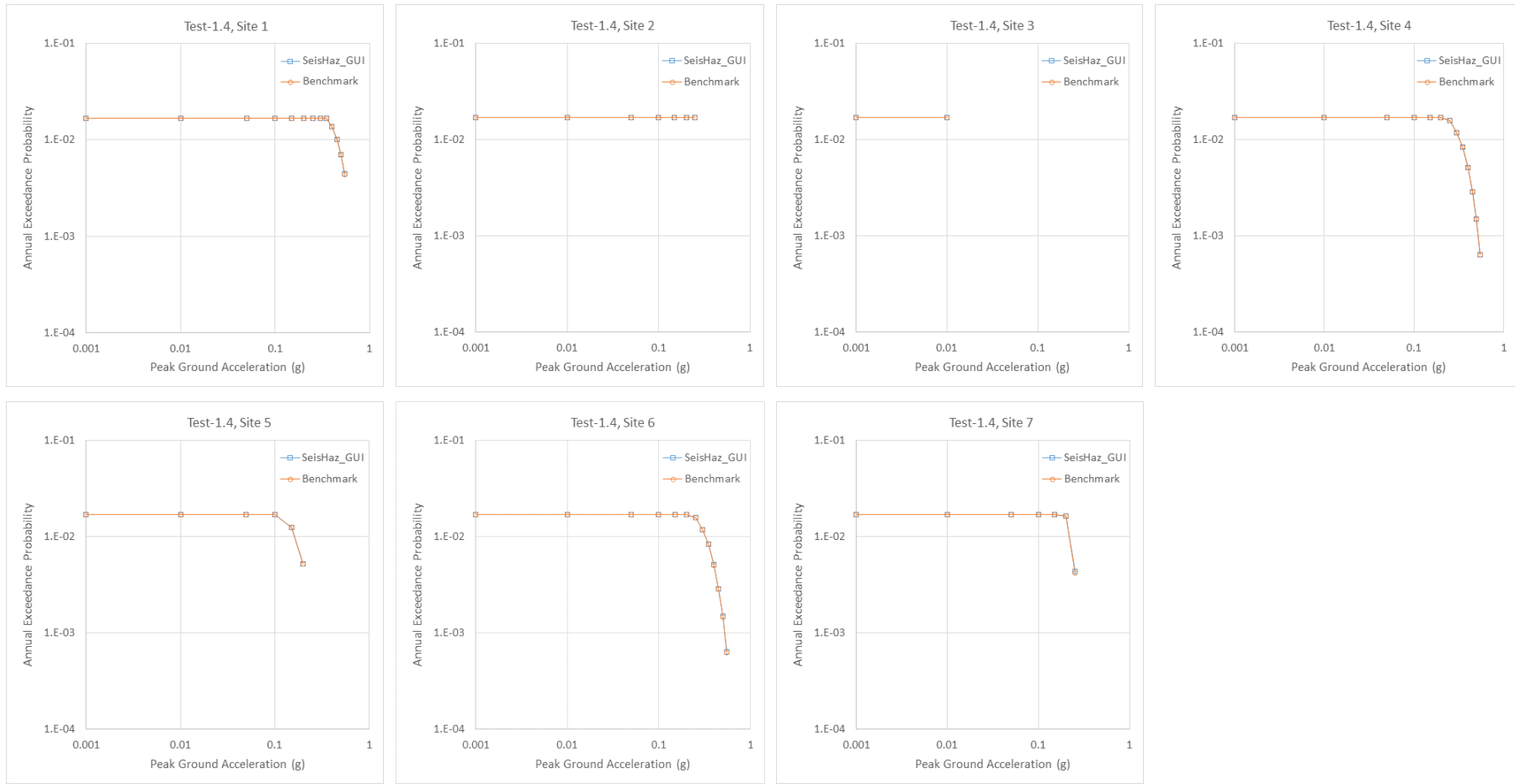


그림 A-4. 계산모델 Test 1.4에 대한 결과.

표 A-5. 계산모델 Test 1.5에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	3.9906E-02	3.9906E-02	3.9906E-02	3.9850E-02	3.4788E-02	2.6117E-02	1.9042E-02	1.3722E-02	9.7878E-03	6.8362E-03	4.7622E-03	3.2954E-03	2.2645E-03	1.4943E-03				
	Benchmark	3.9873E-02	3.9873E-02	3.9873E-02	3.9819E-02	3.4837E-02	2.6167E-02	1.9058E-02	1.3730E-02	9.7516E-03	6.7872E-03	4.7320E-03	3.2864E-03	2.2317E-03	1.4710E-03				
	% difference	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%	-0.14%	-0.19%	-0.09%	-0.06%	0.37%	0.72%	0.64%	0.27%	1.47%	1.58%				
Site 2	SeisHaz_GUI	3.9906E-02	3.9906E-02	3.9906E-02	3.3378E-02	1.2384E-02	4.8421E-03	1.8144E-03											
	Benchmark	3.9861E-02	3.9861E-02	3.9861E-02	3.3405E-02	1.2361E-02	4.8791E-03	1.7873E-03											
	% difference	0.11%	0.11%	0.11%	-0.08%	0.19%	-0.76%	1.52%											
Site 3	SeisHaz_GUI	3.9906E-02	3.9906E-02																
	Benchmark	3.9864E-02	3.9864E-02																
	% difference	0.10%	0.10%																
Site 4	SeisHaz_GUI	3.9906E-02	3.9906E-02	3.9816E-02	2.9873E-02	1.9973E-02	1.3040E-02	8.5998E-03	5.7512E-03	3.8984E-03	2.6996E-03	1.9199E-03	1.3758E-03	9.6997E-04	6.9035E-04				
	Benchmark	3.9861E-02	3.9861E-02	3.9774E-02	2.9839E-02	1.9978E-02	1.3020E-02	8.5771E-03	5.7234E-03	3.8779E-03	2.6869E-03	1.9074E-03	1.3656E-03	9.7245E-04	6.7118E-04				
	% difference	0.11%	0.11%	0.10%	0.11%	-0.03%	0.15%	0.26%	0.49%	0.53%	0.47%	0.66%	0.75%	-0.25%	2.86%				
Site 5	SeisHaz_GUI	3.9906E-02	3.9906E-02	3.1378E-02	1.2147E-02	4.4206E-03	1.8999E-03	7.5479E-04											
	Benchmark	3.9858E-02	3.9858E-02	3.1371E-02	1.2134E-02	4.4149E-03	1.8930E-03	7.5337E-04											
	% difference	0.12%	0.12%	0.02%	0.11%	0.13%	0.37%	0.19%											
Site 6	SeisHaz_GUI	3.9906E-02	3.9906E-02	3.9816E-02	2.9873E-02	1.9973E-02	1.3040E-02	8.5998E-03	5.7512E-03	3.8984E-03	2.6996E-03	1.9199E-03	1.3758E-03	9.6969E-04	6.9036E-04				
	Benchmark	3.9860E-02	3.9860E-02	3.9765E-02	2.9853E-02	1.9982E-02	1.3027E-02	8.5855E-03	5.7319E-03	3.8848E-03	2.6921E-03	1.9104E-03	1.3678E-03	9.7396E-04	6.7269E-04				
	% difference	0.12%	0.12%	0.13%	0.07%	-0.04%	0.10%	0.17%	0.34%	0.35%	0.28%	0.50%	0.59%	-0.44%	2.63%				
Site 7	SeisHaz_GUI	3.9906E-02	3.9906E-02	3.9906E-02	3.3378E-02	1.2384E-02	4.8421E-03	1.8144E-03											
	Benchmark	3.9861E-02	3.9861E-02	3.9861E-02	3.3405E-02	1.2361E-02	4.8791E-03	1.7873E-03											
	% difference	0.11%	0.11%	0.11%	-0.08%	0.19%	-0.76%	1.52%											

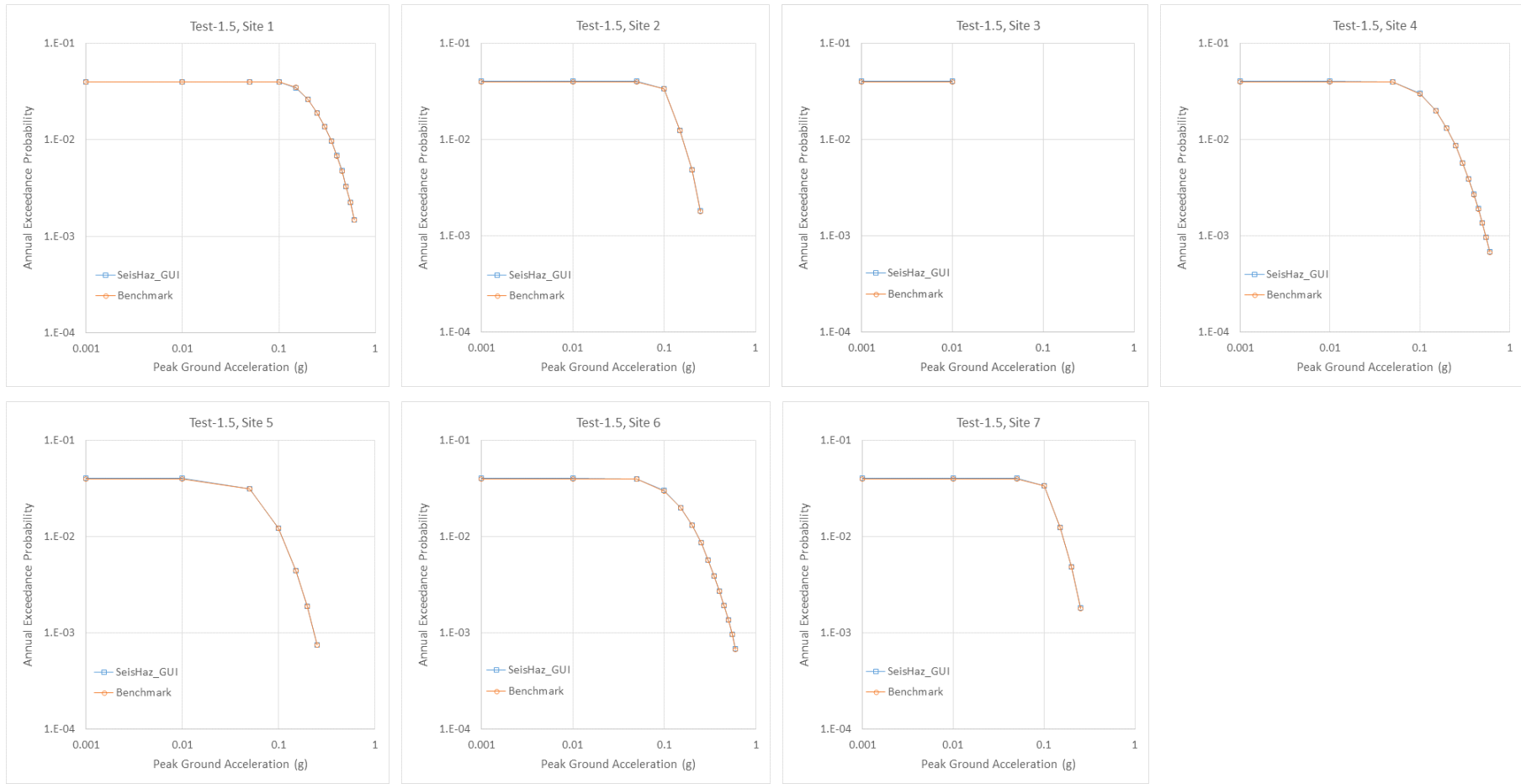


그림 A-6. 계산모델 Test 1.5에 대한 결과.

표 A-6. 검산모델 Test 1.6에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7264E-03	7.7202E-03	7.6759E-03	7.5211E-03	7.1850E-03	6.6465E-03	5.9270E-03	5.0061E-03	3.9972E-03	2.9244E-03				
	Benchmark	7.7263E-03	7.7263E-03	7.7263E-03	7.7263E-03	7.7261E-03	7.7202E-03	7.6767E-03	7.5260E-03	7.1962E-03	6.6605E-03	5.9277E-03	5.0308E-03	3.9984E-03	2.9073E-03				
	% difference	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.01%	-0.07%	-0.16%	-0.21%	-0.01%	-0.49%	-0.03%	0.59%				
Site 2	SeisHaz_GUI	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7264E-03	7.6783E-03	6.7634E-03	3.6849E-03											
	Benchmark	7.7273E-03	7.7273E-03	7.7273E-03	7.7272E-03	7.6791E-03	6.7722E-03	3.6431E-03											
	% difference	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.13%	1.15%											
Site 3	SeisHaz_GUI	7.7266E-03	7.7266E-03																
	Benchmark	7.7276E-03	7.7276E-03																
	% difference	-0.01%	-0.01%																
Site 4	SeisHaz_GUI	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7207E-03	7.6183E-03	7.2828E-03	6.7057E-03	5.9663E-03	5.1190E-03	4.2503E-03	3.4186E-03	2.6427E-03	1.9290E-03	1.3801E-03				
	Benchmark	7.7270E-03	7.7270E-03	7.7270E-03	7.7212E-03	7.6193E-03	7.2844E-03	6.7103E-03	5.9644E-03	5.1238E-03	4.2566E-03	3.4145E-03	2.6328E-03	1.9380E-03	1.3474E-03				
	% difference	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.02%	-0.07%	0.03%	-0.09%	-0.15%	0.12%	0.38%	-0.46%	2.42%				
Site 5	SeisHaz_GUI	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7248E-03	7.3469E-03	5.7862E-03	3.5685E-03	1.5247E-03											
	Benchmark	7.7262E-03	7.7262E-03	7.7245E-03	7.3497E-03	5.7891E-03	3.5556E-03	1.5205E-03											
	% difference	0.01%	0.01%	0.00%	-0.04%	-0.05%	0.36%	0.28%											
Site 6	SeisHaz_GUI	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7207E-03	7.6183E-03	7.2828E-03	6.7057E-03	5.9663E-03	5.1190E-03	4.2503E-03	3.4196E-03	2.6427E-03	1.9290E-03	1.3801E-03				
	Benchmark	7.7261E-03	7.7261E-03	7.7261E-03	7.7203E-03	7.6190E-03	7.2850E-03	6.7115E-03	5.9659E-03	5.1260E-03	4.2566E-03	3.4166E-03	2.6317E-03	1.9333E-03	1.3453E-03				
	% difference	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	-0.01%	-0.03%	-0.09%	0.01%	-0.14%	-0.15%	0.09%	0.42%	-0.22%	2.59%				
Site 7	SeisHaz_GUI	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7266E-03	7.7264E-03	7.6783E-03	6.7634E-03	3.6849E-03											
	Benchmark	7.7273E-03	7.7273E-03	7.7273E-03	7.7272E-03	7.6791E-03	6.7720E-03	3.6421E-03											
	% difference	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.13%	1.17%											

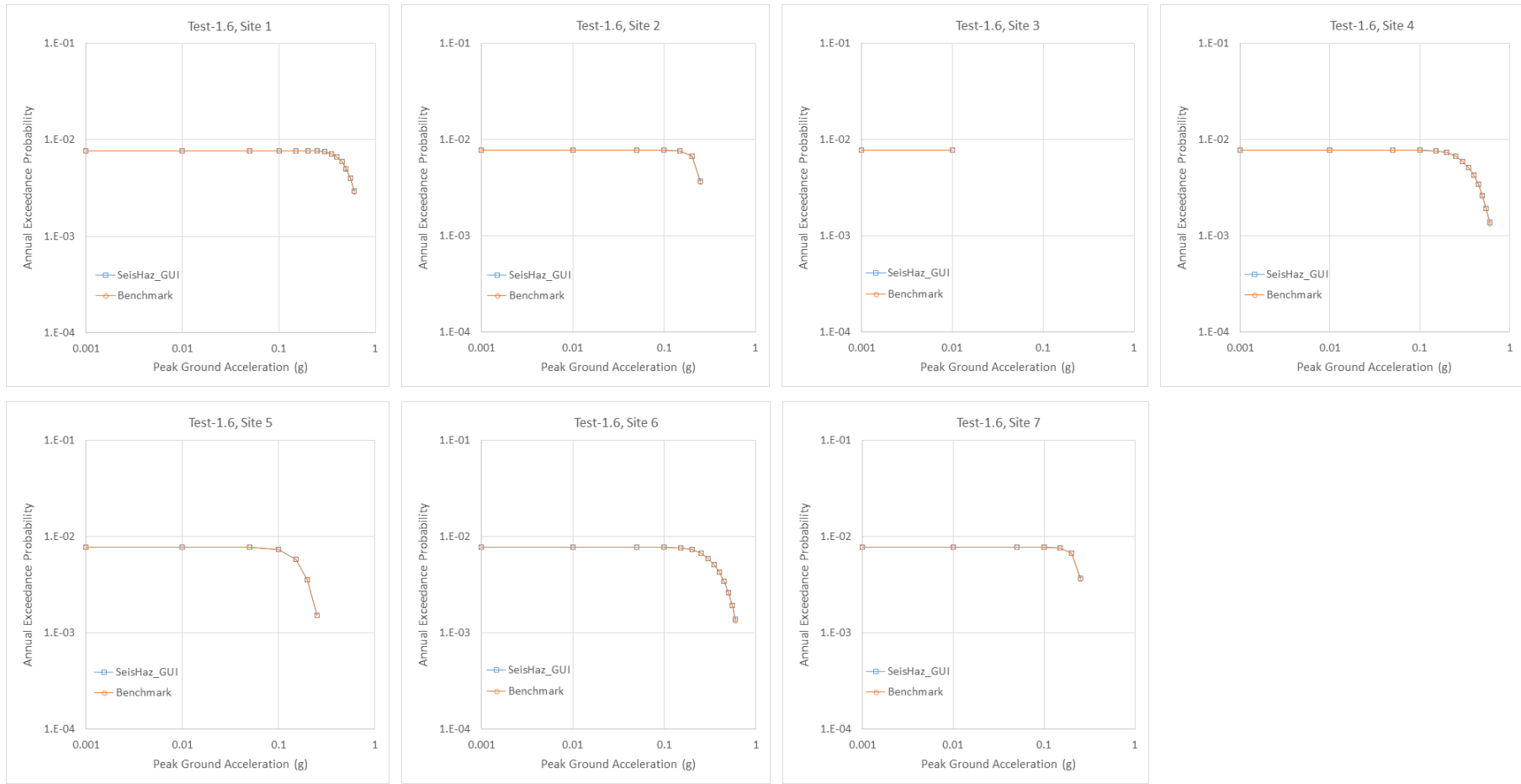


그림 A-6. 검산모델 Test 1.6에 대한 결과.

표 A-7. 검산모델 Test 1.7에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	1.1588E-02	1.1588E-02	1.1588E-02	1.1580E-02	1.0883E-02	9.6750E-03	8.6994E-03	7.9667E-03	7.3834E-03	6.6717E-03	5.8724E-03	4.9526E-03	3.9757E-03	2.9031E-03				
	Benchmark	1.1593E-02	1.1593E-02	1.1593E-02	1.1585E-02	1.0888E-02	9.6820E-03	8.7003E-03	7.9686E-03	7.3864E-03	6.6805E-03	5.8713E-03	4.9708E-03	3.9755E-03	2.8844E-03				
	% difference	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.07%	-0.01%	-0.02%	-0.04%	-0.13%	0.02%	-0.37%	0.00%	0.65%				
Site 2	SeisHaz_GUI	1.1588E-02	1.1588E-02	1.1588E-02	1.0690E-02	7.7830E-03	6.7546E-03	3.6317E-03											
	Benchmark	1.1591E-02	1.1591E-02	1.1591E-02	1.0686E-02	7.7764E-03	6.7407E-03	3.5760E-03											
	% difference	-0.03%	-0.03%	-0.03%	0.04%	0.08%	0.21%	1.56%											
Site 3	SeisHaz_GUI	1.1588E-02	1.1588E-02																
	Benchmark	1.1592E-02	1.1592E-02																
	% difference	-0.03%	-0.03%																
Site 4	SeisHaz_GUI	1.1588E-02	1.1588E-02	1.1575E-02	1.0197E-02	8.8275E-03	7.8476E-03	6.9281E-03	6.0288E-03	5.1247E-03	4.2293E-03	3.3913E-03	2.6079E-03	1.8586E-03	1.2662E-03				
	Benchmark	1.1590E-02	1.1590E-02	1.1578E-02	1.0194E-02	8.8277E-03	7.8457E-03	6.9299E-03	6.0241E-03	5.1281E-03	4.2355E-03	3.3867E-03	2.5958E-03	1.8730E-03	1.2236E-03				
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.03%	0.03%	0.00%	0.02%	-0.03%	0.08%	-0.07%	-0.15%	0.13%	0.47%	-0.77%	3.48%				
Site 5	SeisHaz_GUI	1.1588E-02	1.1588E-02	1.0410E-02	7.7506E-03	5.7282E-03	3.5592E-03	1.4276E-03											
	Benchmark	1.1588E-02	1.1588E-02	1.0403E-02	7.7447E-03	5.7285E-03	3.5488E-03	1.4290E-03											
	% difference	0.00%	0.00%	0.06%	0.08%	0.00%	0.29%	-0.10%											
Site 6	SeisHaz_GUI	1.1588E-02	1.1588E-02	1.1575E-02	1.0197E-02	8.8275E-03	7.8476E-03	6.9281E-03	6.0288E-03	5.1247E-03	4.2293E-03	3.3913E-03	2.6079E-03	1.8586E-03	1.2662E-03				
	Benchmark	1.1591E-02	1.1591E-02	1.1579E-02	1.0194E-02	8.8268E-03	7.8428E-03	6.9273E-03	6.0198E-03	5.1247E-03	4.2319E-03	3.3817E-03	2.5895E-03	1.8695E-03	1.2128E-03				
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.03%	0.03%	0.01%	0.06%	0.01%	0.15%	0.00%	-0.06%	0.29%	0.71%	-0.58%	4.41%				
Site 7	SeisHaz_GUI	1.1588E-02	1.1588E-02	1.1588E-02	1.0690E-02	7.7830E-03	6.7546E-03	3.6317E-03											
	Benchmark	1.1591E-02	1.1591E-02	1.1591E-02	1.0686E-02	7.7764E-03	6.7407E-03	3.5760E-03											
	% difference	-0.03%	-0.03%	-0.03%	0.04%	0.08%	0.21%	1.56%											

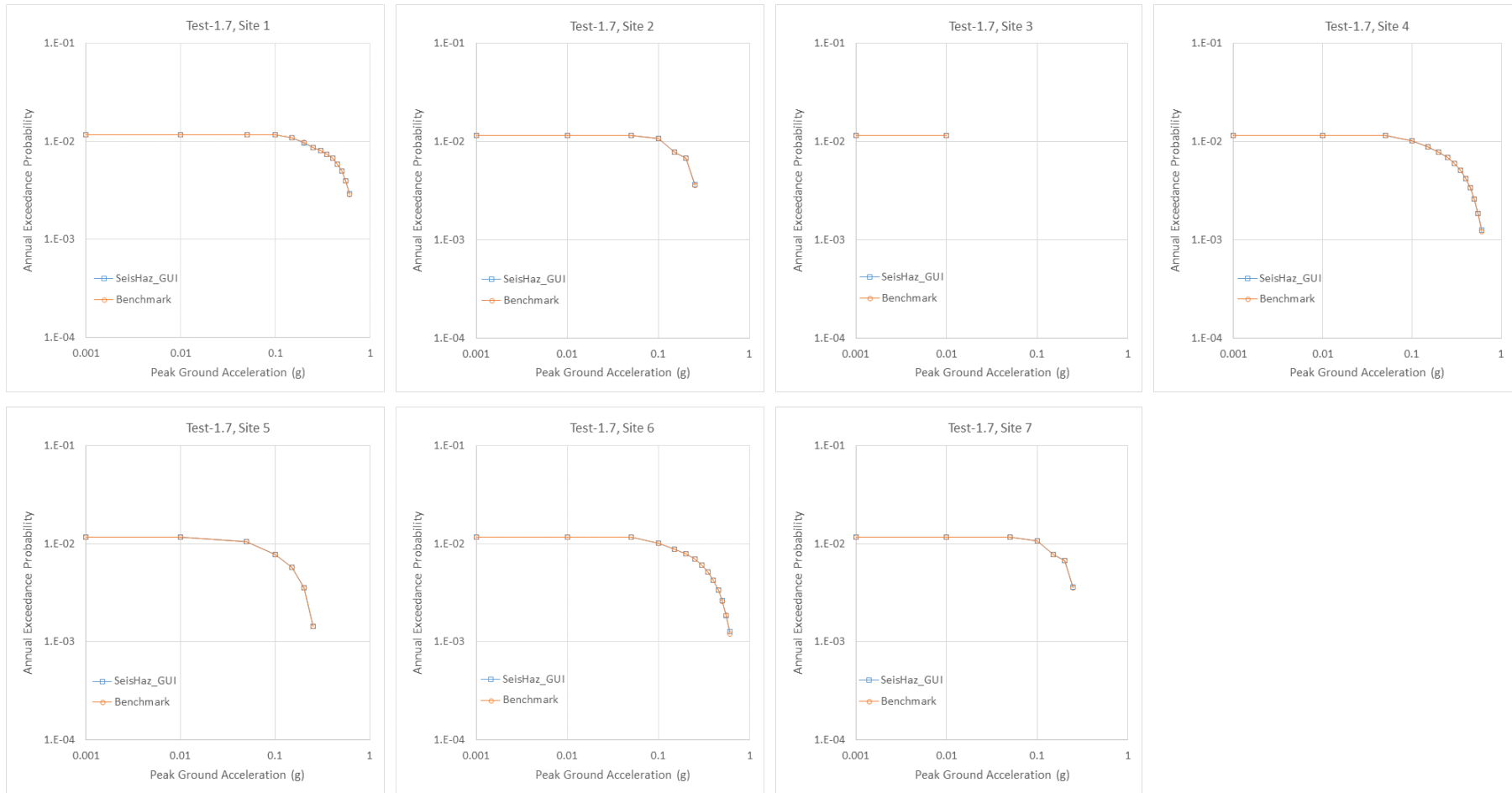


그림 A-7. 검산모델 Test 1.7에 대한 결과.

표 A-8. 계산모델 Test 1.8a에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5849E-02	1.5500E-02	1.4724E-02	1.3586E-02	1.2234E-02	1.0814E-02	9.4281E-03	8.1393E-03	6.9782E-03	5.9545E-03	5.0655E-03	3.6492E-03	2.6263E-03	1.8954E-03	1.3747E-03
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5913E-02	1.5852E-02	1.5505E-02	1.4732E-02	1.3594E-02	1.2242E-02	1.0820E-02	9.4318E-03	8.1405E-03	6.9772E-03	5.9517E-03	5.0614E-03	3.6433E-03	2.6199E-03	1.8892E-03	1.3691E-03
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.02%	-0.03%	-0.05%	-0.06%	-0.06%	-0.05%	-0.04%	-0.01%	0.01%	0.05%	0.08%	0.16%	0.24%	0.33%	0.41%
Site 2	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5852E-02	1.4660E-02	1.1954E-02	8.9444E-03	6.3927E-03	4.4701E-03	3.1000E-03	2.1484E-03	1.4941E-03	1.0453E-03	7.3655E-04	5.2309E-04	2.7030E-04	1.4418E-04	7.9250E-05	4.4781E-05
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5854E-02	1.4663E-02	1.1959E-02	8.9496E-03	6.3969E-03	4.4736E-03	3.1028E-03	2.1504E-03	1.4957E-03	1.0464E-03	7.3741E-04	5.2373E-04	2.7066E-04	1.4439E-04	7.9366E-05	4.4850E-05
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.02%	-0.04%	-0.06%	-0.07%	-0.08%	-0.09%	-0.10%	-0.11%	-0.11%	-0.12%	-0.12%	-0.13%	-0.14%	-0.15%	-0.15%
Site 3	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5651E-02	3.4155E-03	3.1957E-04	4.1949E-05	7.3358E-06	1.5899E-06	4.0599E-07	1.1796E-07	3.8049E-08	1.3380E-08							
	Benchmark	1.5914E-02	1.5653E-02	3.4158E-03	3.1960E-04	4.1955E-05	7.3373E-06	1.5903E-06	4.0616E-07	1.1802E-07	3.8077E-08	1.3391E-08							
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.02%	-0.03%	-0.04%	-0.05%	-0.07%	-0.08%							
Site 4	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5893E-02	1.5434E-02	1.4098E-02	1.2216E-02	1.0225E-02	8.3827E-03	6.7917E-03	5.4691E-03	4.3929E-03	3.5276E-03	2.8362E-03	2.2852E-03	1.4963E-03	9.9272E-04	6.6779E-04	4.5541E-04
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5896E-02	1.5439E-02	1.4107E-02	1.2226E-02	1.0233E-02	8.3877E-03	6.7942E-03	5.4694E-03	4.3915E-03	3.5251E-03	2.8329E-03	2.2814E-03	1.4924E-03	9.8913E-04	6.6469E-04	4.5283E-04
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.03%	-0.06%	-0.08%	-0.08%	-0.06%	-0.04%	-0.01%	0.03%	0.07%	0.12%	0.16%	0.26%	0.36%	0.47%	0.57%
Site 5	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5429E-02	1.2020E-02	7.9704E-03	4.9847E-03	3.0746E-03	1.9048E-03	1.1941E-03	7.5968E-04	4.9088E-04	3.2212E-04	2.1453E-04	1.4489E-04	6.8716E-05	3.4139E-05	1.7667E-05	9.4774E-06
	Benchmark	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5432E-02	1.2021E-02	7.9655E-03	4.9779E-03	3.0678E-03	1.8989E-03	1.1893E-03	7.5607E-04	4.8817E-04	3.2009E-04	2.1303E-04	1.4379E-04	6.8101E-05	3.3793E-05	1.7470E-05	9.3619E-06
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.01%	0.06%	0.14%	0.22%	0.31%	0.40%	0.48%	0.56%	0.63%	0.70%	0.77%	0.90%	1.02%	1.13%	1.23%
Site 6	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5893E-02	1.5434E-02	1.4098E-02	1.2216E-02	1.0225E-02	8.3823E-03	6.7914E-03	5.4690E-03	4.3929E-03	3.5277E-03	2.8362E-03	2.2852E-03	1.4963E-03	9.9272E-04	6.6779E-04	4.5541E-04
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5895E-02	1.5437E-02	1.4106E-02	1.2223E-02	1.0230E-02	8.3856E-03	6.7925E-03	5.4683E-03	4.3908E-03	3.5246E-03	2.8326E-03	2.2814E-03	1.4924E-03	9.8928E-04	6.6488E-04	4.5301E-04
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.02%	-0.06%	-0.05%	-0.05%	-0.04%	-0.02%	0.01%	0.05%	0.09%	0.13%	0.17%	0.26%	0.35%	0.44%	0.53%
Site 7	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5852E-02	1.4660E-02	1.1954E-02	8.9444E-03	6.3927E-03	4.4701E-03	3.1000E-03	2.1484E-03	1.4941E-03	1.0453E-03	7.3655E-04	5.2309E-04	2.7030E-04	1.4418E-04	7.9250E-05	4.4781E-05
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5854E-02	1.4663E-02	1.1959E-02	8.9499E-03	6.3970E-03	4.4739E-03	3.1030E-03	2.1506E-03	1.4958E-03	1.0465E-03	7.3748E-04	5.2379E-04	2.7069E-04	1.4441E-04	7.9376E-05	4.4855E-05
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.02%	-0.04%	-0.06%	-0.07%	-0.08%	-0.10%	-0.10%	-0.12%	-0.12%	-0.13%	-0.13%	-0.14%	-0.16%	-0.16%	-0.17%

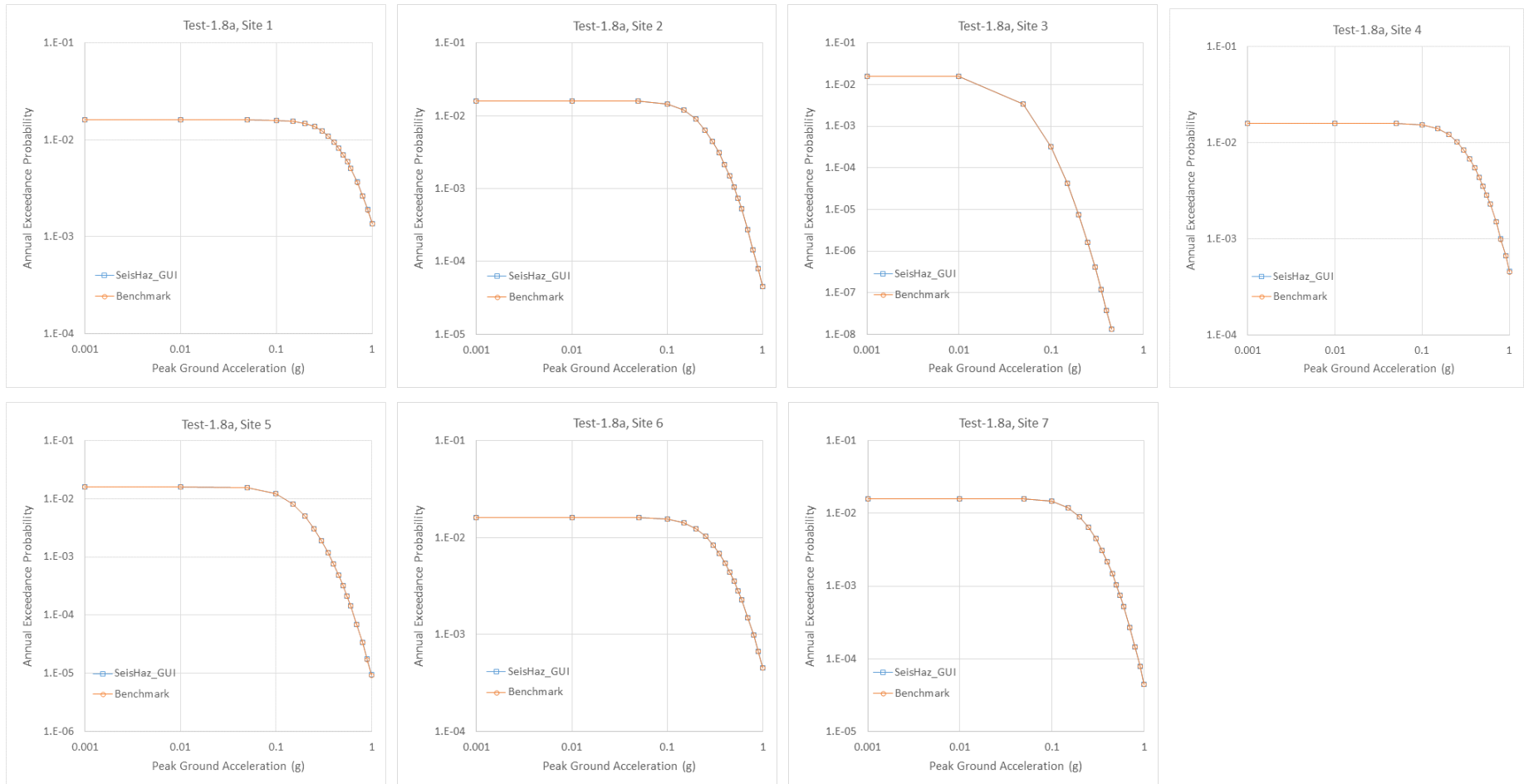


그림 A-8. 검산모델 Test 1.8a에 대한 결과.

표 A-9. 계산모델 Test 1.8b에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5769E-02	1.5044E-02	1.3852E-02	1.2436E-02	1.0948E-02	9.4968E-03	8.1465E-03	6.9300E-03	5.8575E-03	4.9259E-03	3.4419E-03	2.3700E-03	1.6041E-03	1.0584E-03
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5774E-02	1.5051E-02	1.3862E-02	1.2445E-02	1.0958E-02	9.5042E-03	8.1524E-03	6.9342E-03	5.8601E-03	4.9272E-03	3.4412E-03	2.3680E-03	1.6019E-03	1.0561E-03
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.03%	-0.05%	-0.07%	-0.07%	-0.09%	-0.08%	-0.07%	-0.06%	-0.04%	-0.03%	0.02%	0.08%	0.14%	0.21%
Site 2	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.4977E-02	1.2143E-02	8.9900E-03	6.3165E-03	4.3021E-03	2.8670E-03	1.8691E-03	1.1835E-03	7.1312E-04	3.8956E-04	1.6585E-04				
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.4977E-02	1.2142E-02	8.9887E-03	6.3152E-03	4.3010E-03	2.8657E-03	1.8688E-03	1.1833E-03	7.1300E-04	3.8952E-04	1.6583E-04				
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%				
Site 3	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	3.1970E-03															
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	3.1913E-03															
	% difference	-0.02%	-0.02%	0.18%															
Site 4	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5667E-02	1.4377E-02	1.2417E-02	1.0332E-02	8.4015E-03	6.7346E-03	5.3488E-03	4.2212E-03	3.3145E-03	2.5900E-03	2.0127E-03	1.2028E-03	7.1193E-04	4.1302E-04	2.3164E-04
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5672E-02	1.4382E-02	1.2423E-02	1.0337E-02	8.4050E-03	6.7366E-03	5.3493E-03	4.2207E-03	3.3130E-03	2.5880E-03	2.0103E-03	1.1999E-03	7.0925E-04	4.1067E-04	2.2971E-04
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.03%	-0.04%	-0.05%	-0.05%	-0.04%	-0.03%	-0.01%	0.01%	0.04%	0.08%	0.12%	0.24%	0.38%	0.57%	0.84%
Site 5	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5690E-02	1.2212E-02	7.9695E-03	4.8413E-03	2.8398E-03	1.6138E-03	8.7788E-04	4.6213E-04	2.3036E-04	1.0387E-04	3.8531E-05					
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5692E-02	1.2207E-02	7.9603E-03	4.8319E-03	2.8317E-03	1.6074E-03	8.7294E-04	4.5862E-04	2.2793E-04	1.0222E-04	3.7531E-05					
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.01%	0.04%	0.12%	0.20%	0.29%	0.40%	0.57%	0.77%	1.07%	1.62%	2.66%					
Site 6	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5666E-02	1.4377E-02	1.2417E-02	1.0331E-02	8.4011E-03	6.7343E-03	5.3488E-03	4.2213E-03	3.3145E-03	2.5900E-03	2.0127E-03	1.2028E-03	7.1193E-04	4.1302E-04	2.3164E-04
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5671E-02	1.4381E-02	1.2420E-02	1.0334E-02	8.4016E-03	6.7331E-03	5.3459E-03	4.2176E-03	3.3105E-03	2.5858E-03	2.0084E-03	1.1986E-03	7.0822E-04	4.0997E-04	2.2927E-04
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.01%	0.02%	0.05%	0.09%	0.12%	0.16%	0.21%	0.35%	0.52%	0.74%	1.04%
Site 7	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.4977E-02	1.2143E-02	8.9900E-03	6.3165E-03	4.3021E-03	2.8665E-03	1.8691E-03	1.1835E-03	7.1312E-04	3.8956E-04	1.6585E-04				
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5914E-02	1.4977E-02	1.2142E-02	8.9887E-03	6.3152E-03	4.3010E-03	2.8657E-03	1.8688E-03	1.1833E-03	7.1300E-04	3.8952E-04	1.6584E-04				
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.02%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%				

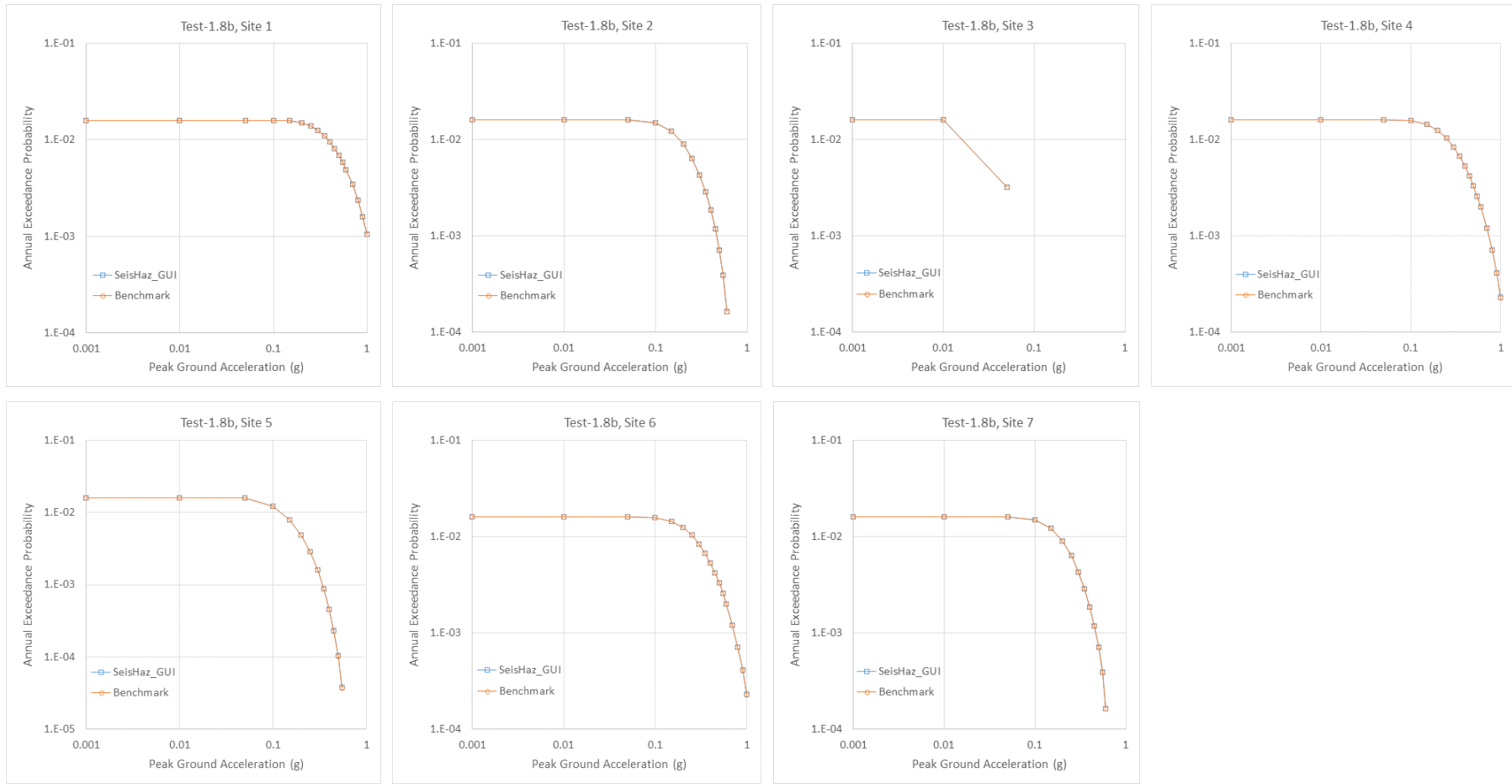


그림 A-9. 검산모델 Test 1.8b에 대한 결과.

표 A-10. 검산모델 Test 1.8c에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5868E-02	1.5520E-02	1.4743E-02	1.3601E-02	1.2246E-02	1.0822E-02	9.4321E-03	8.1397E-03	6.9754E-03	5.9491E-03	5.0576E-03	3.6374E-03	2.6117E-03	1.8789E-03	1.3568E-03
	Benchmark	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5858E-02	1.5510E-02	1.4734E-02	1.3592E-02	1.2237E-02	1.0812E-02	9.4212E-03	8.1282E-03	6.9635E-03	5.9369E-03	5.0456E-03	3.6262E-03	2.6019E-03	1.8704E-03	1.3497E-03
	% difference	-0.02%	-0.02%	-0.01%	0.06%	0.06%	0.06%	0.07%	0.08%	0.10%	0.12%	0.14%	0.17%	0.21%	0.24%	0.31%	0.38%	0.45%	0.53%
Site 2	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5873E-02	1.4678E-02	1.1965E-02	8.9470E-03	6.3883E-03	4.4606E-03	3.0868E-03	2.1325E-03	1.4765E-03	1.0264E-03	7.1685E-04	5.0280E-04	2.4933E-04	1.2287E-04	5.7755E-05	2.3191E-05
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5862E-02	1.4668E-02	1.1958E-02	8.9424E-03	6.3850E-03	4.4584E-03	3.0854E-03	2.1316E-03	1.4759E-03	1.0260E-03	7.1658E-04	5.0262E-04	2.4925E-04	1.2283E-04	5.7745E-05	2.3193E-05
	% difference	-0.02%	-0.02%	0.07%	0.07%	0.06%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	-0.01%
Site 3	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5671E-02	3.4031E-03	2.9872E-04	2.0352E-05													
	Benchmark	1.5915E-02	1.5668E-02	3.4024E-03	2.9867E-04	2.0350E-05													
	% difference	-0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%													
Site 4	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5903E-02	1.5453E-02	1.4115E-02	1.2228E-02	1.0231E-02	8.3838E-03	6.7884E-03	5.4622E-03	4.3832E-03	3.5155E-03	2.8222E-03	2.2697E-03	1.4787E-03	9.7372E-04	6.4790E-04	4.3494E-04
	Benchmark	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5903E-02	1.5452E-02	1.4115E-02	1.2228E-02	1.0233E-02	8.3834E-03	6.7871E-03	5.4599E-03	4.3800E-03	3.5121E-03	2.8187E-03	2.2661E-03	1.4755E-03	9.7098E-04	6.4560E-04	4.3307E-04
	% difference	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	-0.02%	0.00%	0.02%	0.04%	0.07%	0.10%	0.12%	0.16%	0.22%	0.28%	0.36%	0.43%
Site 5	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5449E-02	1.2031E-02	7.9703E-03	4.9765E-03	3.0613E-03	1.8882E-03	1.1756E-03	7.4004E-04	4.7051E-04	3.0128E-04	1.9340E-04	1.2409E-04	5.0832E-05	1.9857E-05	6.7969E-06	1.6615E-06
	Benchmark	1.5913E-02	1.5913E-02	1.5444E-02	1.2027E-02	7.9658E-03	4.9721E-03	3.0572E-03	1.8849E-03	1.1730E-03	7.3802E-04	4.6902E-04	3.0018E-04	1.9259E-04	1.2347E-04	5.0489E-05	1.9669E-05	6.6985E-06	1.6186E-06
	% difference	-0.01%	-0.01%	0.03%	0.03%	0.06%	0.09%	0.13%	0.18%	0.22%	0.27%	0.32%	0.37%	0.42%	0.50%	0.68%	0.96%	1.47%	2.65%
Site 6	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5903E-02	1.5453E-02	1.4115E-02	1.2228E-02	1.0231E-02	8.3834E-03	6.7881E-03	5.4621E-03	4.3832E-03	3.5156E-03	2.8223E-03	2.2697E-03	1.4787E-03	9.7372E-04	6.4790E-04	4.3494E-04
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5903E-02	1.5453E-02	1.4117E-02	1.2230E-02	1.0234E-02	8.3837E-03	6.7870E-03	5.4597E-03	4.3799E-03	3.5116E-03	2.8181E-03	2.2656E-03	1.4749E-03	9.7046E-04	6.4509E-04	4.3269E-04
	% difference	-0.02%	-0.02%	0.00%	0.00%	-0.01%	-0.01%	-0.03%	0.00%	0.02%	0.04%	0.08%	0.11%	0.15%	0.18%	0.26%	0.34%	0.43%	0.52%
Site 7	SeisHaz_GUI	1.5911E-02	1.5911E-02	1.5873E-02	1.4678E-02	1.1965E-02	8.9470E-03	6.3883E-03	4.4606E-03	3.0868E-03	2.1325E-03	1.4765E-03	1.0264E-03	7.1685E-04	5.0280E-04	2.4933E-04	1.2287E-04	5.7755E-05	2.3191E-05
	Benchmark	1.5914E-02	1.5914E-02	1.5862E-02	1.4668E-02	1.1959E-02	8.9421E-03	6.3847E-03	4.4582E-03	3.0852E-03	2.1314E-03	1.4757E-03	1.0260E-03	7.1651E-04	5.0258E-04	2.4922E-04	1.2282E-04	5.7734E-05	2.3187E-05
	% difference	-0.02%	-0.02%	0.07%	0.07%	0.05%	0.05%	0.06%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.04%	0.05%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.02%

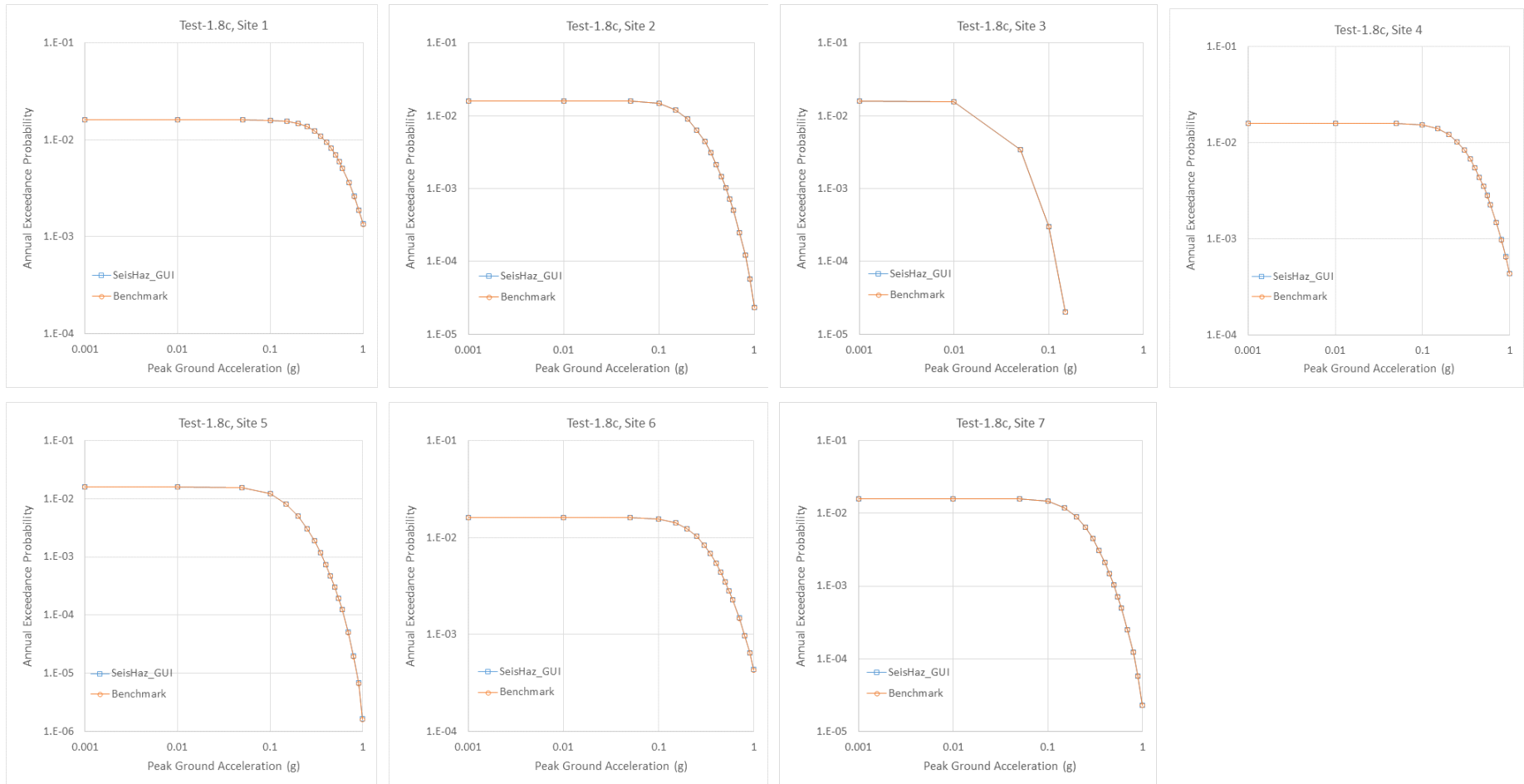


그림 A-10. 검산모델 Test 1.8c에 대한 결과.

표 A-11. 검산모델 Test 1.10에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	3.8648E-02	2.2684E-02	4.0544E-03	1.4505E-03	7.1029E-04	3.9699E-04	2.3916E-04	1.5141E-04	9.9393E-05	6.7104E-05	4.6349E-05	3.2633E-05	2.3356E-05	1.6959E-05	9.2794E-06	5.2946E-06	3.1293E-06	1.9065E-06
	Benchmark	3.8673E-02	2.2678E-02	4.0532E-03	1.4502E-03	7.1019E-04	3.9692E-04	2.3911E-04	1.5138E-04	9.9372E-05	6.7090E-05	4.6340E-05	3.2626E-05	2.3352E-05	1.6956E-05	9.2777E-06	5.2937E-06	3.1288E-06	1.9062E-06
	% difference	-0.07%	0.03%	0.03%	0.02%	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%
Site 2	SeisHaz_GUI	3.8329E-02	1.9071E-02	3.9453E-03	1.4457E-03	7.0984E-04	3.9692E-04	2.3914E-04	1.5141E-04	9.9392E-05	6.7104E-05	4.6349E-05	3.2633E-05	2.3356E-05	1.6959E-05	9.2794E-06	5.2946E-06	3.1293E-06	1.9065E-06
	Benchmark	3.8333E-02	1.9066E-02	3.9450E-03	1.4457E-03	7.0990E-04	3.9694E-04	2.3913E-04	1.5139E-04	9.9371E-05	6.7084E-05	4.6333E-05	3.2616E-05	2.3344E-05	1.6948E-05	9.2714E-06	5.2891E-06	3.1252E-06	1.9036E-06
	% difference	-0.01%	0.03%	0.01%	0.00%	-0.01%	-0.01%	0.01%	0.02%	0.02%	0.03%	0.04%	0.05%	0.05%	0.07%	0.09%	0.10%	0.13%	0.15%
Site 3	SeisHaz_GUI	3.6633E-02	1.0810E-02	1.8393E-03	6.7910E-04	3.3700E-04	1.8974E-04	1.1484E-04	7.2939E-05	4.7994E-05	3.2461E-05	2.2453E-05	1.5826E-05	1.1338E-05	8.2392E-06	4.5137E-06	2.5777E-06	1.5246E-06	9.2935E-07
	Benchmark	3.6625E-02	1.0786E-02	1.8342E-03	6.7755E-04	3.3642E-04	1.8951E-04	1.1475E-04	7.2918E-05	4.7999E-05	3.2476E-05	2.2471E-05	1.5844E-05	1.1354E-05	8.2537E-06	4.5243E-06	2.5838E-06	1.5298E-06	9.3238E-07
	% difference	0.02%	0.22%	0.28%	0.23%	0.17%	0.12%	0.08%	0.03%	-0.01%	-0.05%	-0.08%	-0.11%	-0.14%	-0.18%	-0.23%	-0.24%	-0.34%	-0.33%
Site 4	SeisHaz_GUI	3.4958E-02	6.8283E-03	4.6340E-04	6.8455E-05	1.5661E-05	4.5060E-06	1.5097E-06	5.6605E-07	2.3180E-07	1.0198E-07	4.7639E-08	2.3420E-08	1.2034E-08	6.4270E-09	2.0238E-09	7.1138E-10		
	Benchmark	3.4944E-02	6.8081E-03	4.6187E-04	6.8291E-05	1.5638E-05	4.5033E-06	1.5099E-06	5.6651E-07	2.3213E-07	1.0217E-07	4.7758E-08	2.3488E-08	1.2074E-08	6.4499E-09	2.0316E-09	7.1378E-10		
	% difference	0.04%	0.30%	0.33%	0.24%	0.15%	0.06%	-0.02%	-0.08%	-0.14%	-0.19%	-0.25%	-0.29%	-0.33%	-0.36%	-0.39%	-0.34%		

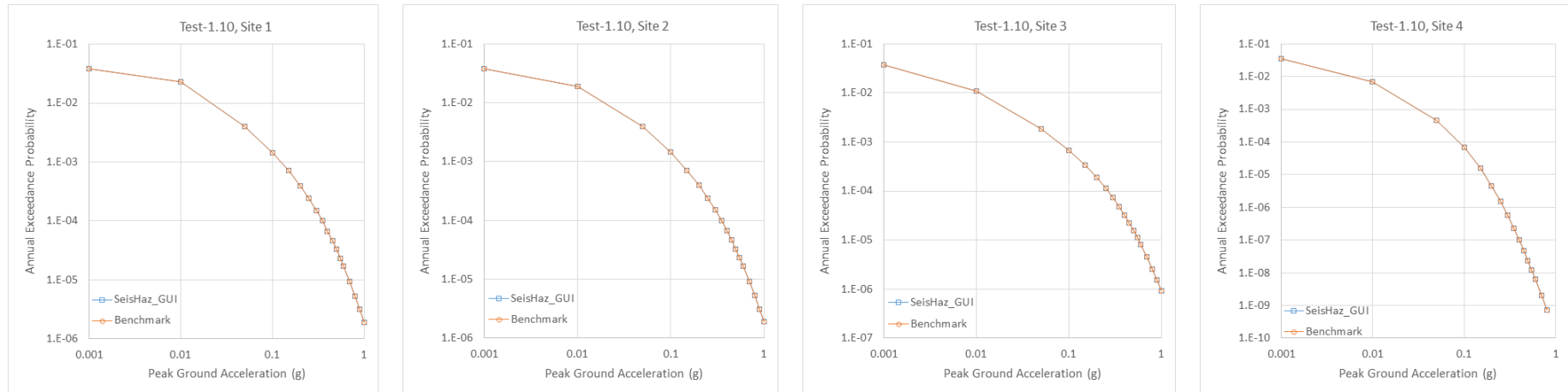


그림 A-11. 계산모델 Test 1.10에 대한 결과.

표 A-12. 검산모델 Test 1.11에 대한 결과.

	PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Site 1	SeisHaz_GUI	3.8646E-02	2.2583E-02	3.9265E-03	1.3383E-03	6.2169E-04	3.2968E-04	1.8879E-04	1.1392E-04	7.1544E-05	4.6344E-05	3.0781E-05	2.0905E-05	1.4459E-05	1.0173E-05	5.2537E-06	2.8479E-06	1.6080E-06	9.3983E-07
	Benchmark	3.8669E-02	2.2570E-02	3.9207E-03	1.3368E-03	6.2098E-04	3.2951E-04	1.8896E-04	1.1426E-04	7.1872E-05	4.6650E-05	3.1066E-05	2.1147E-05	1.4670E-05	1.0345E-05	5.3711E-06	2.9274E-06	1.6618E-06	9.7664E-07
	% difference	-0.06%	0.06%	0.15%	0.11%	0.11%	0.05%	-0.09%	-0.30%	-0.46%	-0.66%	-0.92%	-1.15%	-1.44%	-1.66%	-2.19%	-2.71%	-3.24%	-3.77%
Site 2	SeisHaz_GUI	3.8330E-02	1.8993E-02	3.8181E-03	1.3337E-03	6.2130E-04	3.2963E-04	1.8879E-04	1.1392E-04	7.1544E-05	4.6344E-05	3.0781E-05	2.0905E-05	1.4459E-05	1.0173E-05	5.2537E-06	2.8479E-06	1.6080E-06	9.3983E-07
	Benchmark	3.8327E-02	1.8977E-02	3.8144E-03	1.3320E-03	6.2055E-04	3.2945E-04	1.8896E-04	1.1426E-04	7.1876E-05	4.6653E-05	3.1068E-05	2.1148E-05	1.4670E-05	1.0346E-05	5.3718E-06	2.9278E-06	1.6619E-06	9.7653E-07
	% difference	0.01%	0.08%	0.10%	0.13%	0.12%	0.06%	-0.09%	-0.30%	-0.46%	-0.66%	-0.92%	-1.15%	-1.44%	-1.67%	-2.20%	-2.73%	-3.24%	-3.76%
Site 3	SeisHaz_GUI	3.6628E-02	1.0760E-02	1.7804E-03	6.2625E-04	2.9473E-04	1.5736E-04	9.0546E-05	5.4808E-05	3.4510E-05	2.2389E-05	1.4891E-05	1.0125E-05	7.0098E-06	4.9361E-06	2.5523E-06	1.3849E-06	7.8256E-07	4.5765E-07
	Benchmark	3.6617E-02	1.0731E-02	1.7727E-03	6.2332E-04	2.9332E-04	1.5672E-04	9.0264E-05	5.4733E-05	3.4495E-05	2.2418E-05	1.4942E-05	1.0177E-05	7.0620E-06	4.9820E-06	2.5868E-06	1.4094E-06	7.9986E-07	4.6986E-07
	% difference	0.03%	0.27%	0.43%	0.47%	0.48%	0.41%	0.31%	0.14%	0.04%	-0.13%	-0.34%	-0.51%	-0.74%	-0.92%	-1.33%	-1.74%	-2.16%	-2.60%
Site 4	SeisHaz_GUI	3.4948E-02	6.7913E-03	4.4907E-04	6.4525E-05	1.4442E-05	4.0810E-06	1.3469E-06	4.9838E-07	2.0177E-07	8.7909E-08	4.0705E-08	1.9853E-08	1.0129E-08	5.3753E-09	1.6732E-09	7.1138E-10		
	Benchmark	3.4937E-02	6.7752E-03	4.4794E-04	6.4448E-05	1.4436E-05	4.0818E-06	1.3477E-06	4.9899E-07	2.0212E-07	8.8072E-08	4.0789E-08	1.9899E-08	1.0152E-08	5.3853E-09	1.6740E-09	7.1378E-10		
	% difference	0.03%	0.24%	0.25%	0.12%	0.04%	-0.02%	-0.06%	-0.12%	-0.17%	-0.18%	-0.21%	-0.23%	-0.23%	-0.19%	-0.05%	-0.34%		

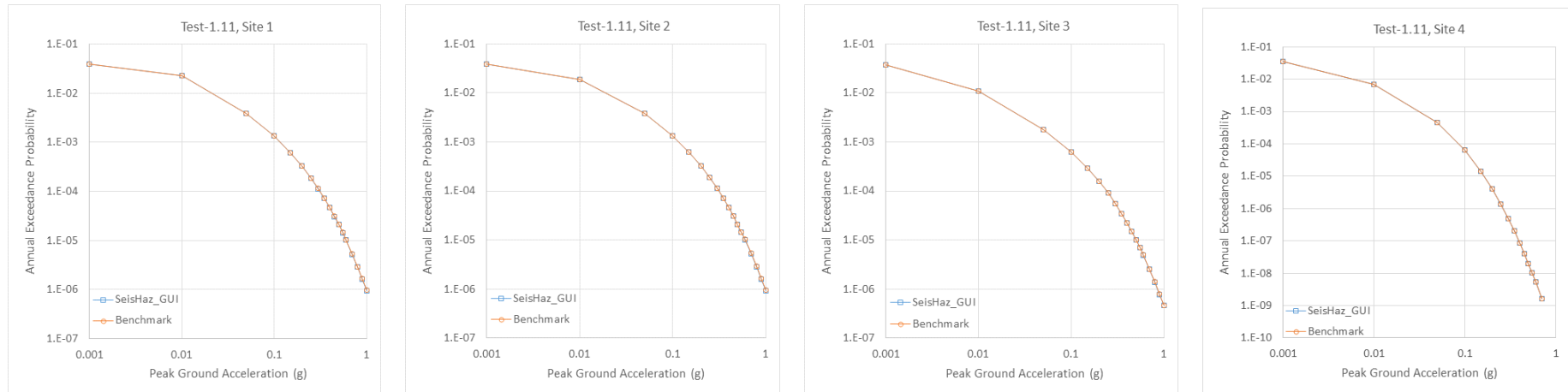


그림 A-12. 검산모델 Test 1.11에 대한 결과.

부록 B. Test Set 2에 대한 검산결과

표 B-1a. 검산모델 Test 2.1에 대한 결과(지진재해도).

PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
FE due to Area 2	3.95E-02	2.29E-02	3.93E-03	1.34E-03	6.22E-04	3.30E-04	1.89E-04	1.14E-04	7.16E-05	4.64E-05	3.08E-05	2.09E-05	1.45E-05	1.02E-05	5.25E-06	2.85E-06	1.61E-06	9.40E-07
FE due to Fault B	1.22E-02	1.02E-02	2.85E-03	5.06E-04	8.08E-05	1.41E-05	2.80E-06	6.27E-07	1.57E-07	4.33E-08	1.31E-08	4.27E-09	1.50E-09	5.60E-10	9.35E-11	1.92E-11	4.71E-12	1.35E-12
FE due to Fault C	5.91E-03	5.86E-03	3.98E-03	2.15E-03	1.05E-03	4.86E-04	2.22E-04	1.03E-04	4.88E-05	2.37E-05	1.18E-05	6.08E-06	3.20E-06	1.73E-06	5.40E-07	1.83E-07	6.64E-08	2.57E-08
sum of FE	5.77E-02	3.89E-02	1.08E-02	4.00E-03	1.76E-03	8.30E-04	4.14E-04	2.18E-04	1.20E-04	7.01E-05	4.27E-05	2.70E-05	1.77E-05	1.19E-05	5.79E-06	3.03E-06	1.67E-06	9.66E-07
SeisHaz_GUI	5.60E-02	3.82E-02	1.07E-02	3.99E-03	1.75E-03	8.30E-04	4.14E-04	2.18E-04	1.20E-04	7.01E-05	4.27E-05	2.70E-05	1.77E-05	1.19E-05	5.80E-06	3.03E-06	1.67E-06	9.66E-07
Benchmark	5.59E-02	3.81E-02	1.07E-02	3.99E-03	1.75E-03	8.30E-04	4.15E-04	2.18E-04	1.21E-04	7.05E-05	4.30E-05	2.73E-05	1.79E-05	1.21E-05	5.92E-06	3.11E-06	1.73E-06	1.00E-06
% diff 5 core	0.06%	0.10%	0.10%	0.19%	0.26%	0.32%	0.35%	0.36%	0.37%	0.33%	0.15%	0.33%	0.33%	0.81%	1.18%	2.21%	2.26%	2.74%
% diff all	0.31%	1.11%	2.05%	2.37%	2.41%	2.36%	2.49%	2.69%	2.88%	3.06%	3.20%	3.32%	3.41%	3.71%	4.39%	5.01%	5.57%	6.15%
% diff SeisHaz from Benchmark	0.16%	0.05%	0.01%	0.01%	-0.02%	-0.07%	-0.15%	-0.27%	-0.39%	-0.56%	-0.77%	-1.05%	-1.25%	-1.55%	-2.04%	-2.59%	-3.03%	-3.37%
Note: FE=exceeding frequency																		

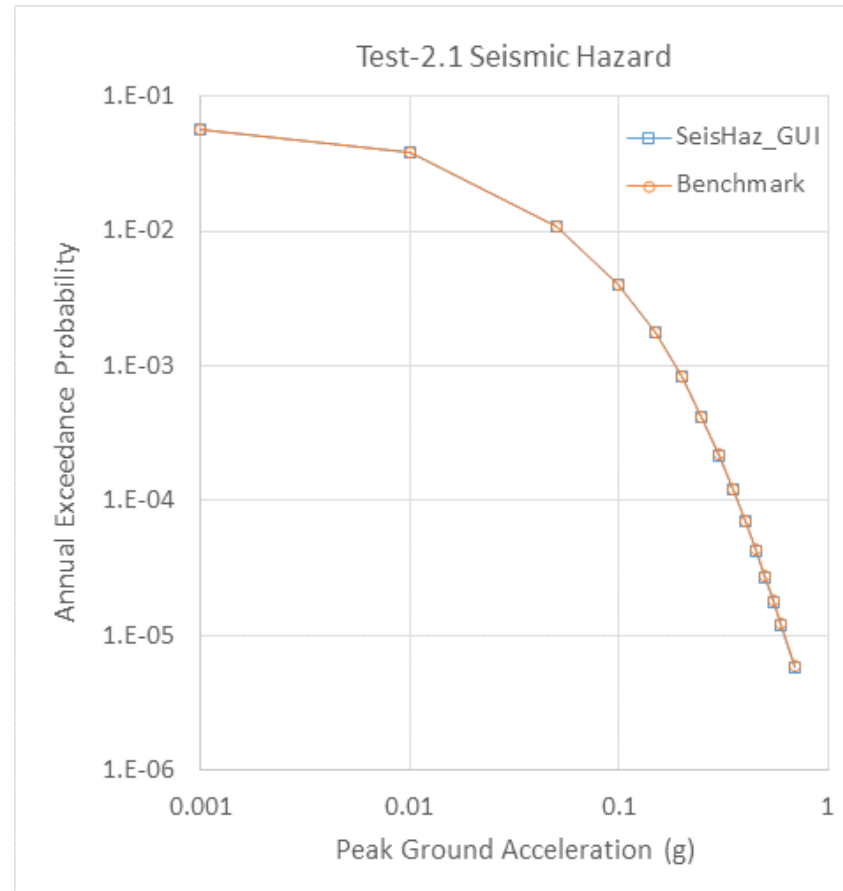


그림 B-1. 검산모델 Test 2.1에 대한 결과(지진재해도).

표 B-1b. 검산모델 Test 2.1에 대한 결과(평균값).

	@ PGA = 0.05			@ Hazard = 0.001			@ PGA = 0.35		
	Mean M	Mean D	Mean E	Mean M	Mean D	Mean E	Mean M	Mean D	Mean E
SeisHaz_GUI	6.02	33.98	-0.52	6.12	22.18	0.88	5.98	17.75	1.71
Benchmark	6.02	33.87	-0.52	6.12	22.20	0.88	5.98	17.70	1.71
% diff 5 core	0.22%	1.51%	2.08%	0.33%	0.03%	2.26%	0.05%	0.56%	0.49%
% diff all	0.55%	1.88%	2.08%	2.10%	2.37%	2.42%	0.08%	0.79%	0.70%
% diff SeisHaz from Benchmark	0.04%	0.32%	-0.35%	-0.06%	-0.09%	0.85%	-0.03%	0.26%	0.19%
Note: M=magnitude, D=distance, E=epsilon									

표 B-1b. 검산모델 Test 2.1에 대한 결과(지진재해도 분해).

	0.05g					@ Hazard of 0.001/yr					0.35g				
Distance (km)	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all
0-20	0.1057	0.1055	0.19%	0.09%	0.18%	0.2936	0.2937	-0.03%	0.36%	1.16%	0.5426	0.5432	-0.11%	0.05%	0.57%
20-40	0.5438	0.5440	-0.03%	0.11%	0.77%	0.6812	0.6807	0.07%	0.25%	1.48%	0.4556	0.4550	0.14%	0.05%	0.58%
40-60	0.3318	0.3318	-0.01%	0.07%	0.26%	0.0251	0.0254	-1.27%	0.15%	0.16%	0.0018	0.0018	-0.07%	0.00%	0.00%
60-80	0.0160	0.0160	-0.09%	0.03%	0.82%	0.0001	0.0001	-3.51%	0.00%	0.00%	0.0000	0.0000	0.80%	0.00%	0.00%
>80	0.0026	0.0026	0.91%	0.01%	0.16%	0.0000	0.0000	-0.75%	0.00%	0.00%	0.0000	0.0000	60.24%	0.00%	0.00%
Magnitude	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all
5.0-5.1	0.0684	0.0685	-0.08%	0.05%	0.94%	0.0452	0.0453	-0.23%	0.10%	0.84%	0.0582	0.0583	-0.25%	0.03%	1.05%
5.1-5.2	0.0628	0.0630	-0.17%	0.04%	1.13%	0.0427	0.0428	-0.25%	0.09%	0.86%	0.0551	0.0553	-0.23%	0.02%	1.30%
5.2-5.3	0.0577	0.0578	-0.13%	0.04%	0.78%	0.0404	0.0404	-0.19%	0.09%	0.75%	0.0524	0.0524	-0.16%	0.02%	0.95%
5.3-5.4	0.0529	0.0530	-0.14%	0.04%	1.24%	0.0383	0.0383	-0.18%	0.08%	0.82%	0.0498	0.0499	-0.14%	0.02%	1.18%
5.4-5.5	0.0485	0.0485	-0.15%	0.03%	0.66%	0.0363	0.0364	-0.20%	0.08%	0.68%	0.0475	0.0475	-0.10%	0.01%	0.87%
5.5-5.6	0.0443	0.0444	-0.12%	0.03%	0.82%	0.0345	0.0346	-0.14%	0.08%	0.64%	0.0454	0.0454	-0.04%	0.01%	1.03%
5.6-5.7	0.0404	0.0405	-0.14%	0.02%	0.69%	0.0329	0.0330	-0.20%	0.07%	0.68%	0.0435	0.0435	-0.04%	0.00%	0.82%
5.7-5.8	0.0368	0.0369	-0.16%	0.02%	1.61%	0.0314	0.0315	-0.14%	0.07%	1.29%	0.0417	0.0417	0.01%	0.01%	1.88%
5.8-5.9	0.0335	0.0335	-0.15%	0.02%	0.33%	0.0301	0.0301	-0.12%	0.07%	0.51%	0.0402	0.0402	0.01%	0.01%	0.72%
5.9-6.0	0.0304	0.0304	-0.11%	0.02%	0.52%	0.0288	0.0288	-0.14%	0.06%	0.44%	0.0387	0.0387	0.07%	0.01%	0.81%
6.0-6.1	0.0275	0.0275	-0.18%	0.02%	0.34%	0.0276	0.0276	-0.12%	0.06%	0.48%	0.0375	0.0374	0.07%	0.01%	0.68%
6.1-6.2	0.0248	0.0249	-0.11%	0.02%	0.34%	0.0264	0.0265	-0.08%	0.06%	0.35%	0.0363	0.0363	0.11%	0.01%	0.71%
6.2-6.3	0.0404	0.0403	0.37%	0.12%	0.65%	0.0542	0.0537	0.85%	0.37%	1.08%	0.0533	0.0532	0.10%	0.02%	1.05%
6.3-6.4	0.0577	0.0577	0.00%	0.06%	0.97%	0.0931	0.0932	-0.07%	0.21%	1.40%	0.0792	0.0791	0.11%	0.01%	1.31%
6.4-6.5	0.0571	0.0572	-0.01%	0.06%	0.48%	0.1088	0.1089	-0.04%	0.24%	0.57%	0.0924	0.0923	0.09%	0.02%	0.46%
6.5-6.6	0.0759	0.0760	-0.06%	0.06%	0.97%	0.1129	0.1132	-0.32%	0.25%	1.82%	0.0798	0.0797	0.09%	0.02%	1.37%
6.6-6.7	0.0809	0.0810	-0.08%	0.07%	1.48%	0.1306	0.1306	0.02%	0.27%	1.47%	0.0947	0.0946	0.09%	0.02%	0.93%
6.7-6.8	0.0637	0.0640	-0.40%	0.08%	0.81%	0.0746	0.0757	-1.49%	0.54%	1.66%	0.0539	0.0538	0.08%	0.01%	1.26%
6.8-6.9	0.0461	0.0462	-0.18%	0.02%	0.67%	0.0049	0.0049	-0.77%	0.03%	0.08%	0.0003	0.0003	-0.02%	0.00%	0.00%
6.9-7.0	0.0500	0.0501	-0.17%	0.02%	0.63%	0.0064	0.0065	-0.78%	0.04%	0.05%	0.0003	0.0003	-0.07%	0.00%	0.00%
Epsilon*	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all	SeisHaz_GUI	Benchmark	% diff SeisHaz	% diff 5 core	% diff all
<-1	0.0366	0.0366	0.03%	0.09%	0.36%	0.0002	0.0002	-10.65%	0.06%	0.08%	0.0000	0.0000	0.00%	0.00%	0.00%
-1 to 0	0.2050	0.2054	-0.17%	0.68%	1.16%	0.0125	0.0128	-2.50%	0.47%	0.51%	0.0005	0.0007	-21.51%	0.12%	0.13%
0 to 1	0.4148	0.4159	-0.26%	0.69%	0.69%	0.2540	0.2568	-1.09%	0.56%	2.00%	0.0539	0.0560	-3.76%	0.48%	0.48%
1 to 2	0.2652	0.2655	-0.10%	0.13%	0.30%	0.5225	0.5237	-0.23%	0.61%	1.96%	0.3091	0.3097	-0.18%	0.56%	1.80%
>2	0.0784	0.0785	-0.11%	0.06%	0.10%	0.2109	0.2117	-0.41%	0.07%	0.08%	0.6364	0.6337	0.44%	0.53%	2.32%

표 B-2a. 검산모델 Test 2.2에 대한 결과(Abrahamson et al., 2014).

Site 1:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.64E-02	4.02E-02	2.15E-02	1.24E-02	7.50E-03	4.73E-03	3.08E-03	2.06E-03	1.41E-03	9.87E-04	7.02E-04	5.07E-04	3.72E-04	2.07E-04	1.20E-04	7.24E-05	4.49E-05
Benchmark	6.89E-02	6.65E-02	4.01E-02	2.15E-02	1.24E-02	7.49E-03	4.72E-03	3.08E-03	2.06E-03	1.41E-03	9.86E-04	7.01E-04	5.07E-04	3.71E-04	2.07E-04	1.20E-04	7.23E-05	4.49E-05
% diff 5 core	0.01%	0.03%	0.14%	0.18%	0.20%	0.22%	0.24%	0.25%	0.25%	0.26%	0.27%	0.27%	0.28%	0.28%	0.29%	0.30%	0.30%	0.41%
% diff all	0.12%	0.13%	0.53%	0.72%	0.81%	0.85%	0.87%	0.88%	0.89%	0.91%	0.90%	0.93%	0.95%	0.97%	1.01%	1.00%	1.07%	1.10%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.12%	0.08%	-0.02%	0.10%	0.12%	0.11%	0.09%	0.10%	0.08%	0.08%	0.06%	0.07%	0.06%	0.06%	0.08%	0.09%	0.11%
Site 2:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.68E-02	4.44E-02	2.79E-02	1.88E-02	1.31E-02	9.40E-03	6.88E-03	5.12E-03	3.86E-03	2.95E-03	2.28E-03	1.78E-03	1.40E-03	8.85E-04	5.77E-04	3.85E-04	2.62E-04
Benchmark	6.89E-02	6.69E-02	4.44E-02	2.80E-02	1.88E-02	1.31E-02	9.42E-03	6.90E-03	5.13E-03	3.87E-03	2.96E-03	2.28E-03	1.78E-03	1.40E-03	8.89E-04	5.79E-04	3.87E-04	2.63E-04
% diff 5 core	0.02%	0.05%	0.11%	0.12%	0.11%	0.10%	0.09%	0.09%	0.08%	0.12%	0.12%	0.14%	0.17%	0.21%	0.22%	0.26%	0.28%	0.29%
% diff all	0.12%	0.13%	0.50%	0.71%	0.83%	0.90%	0.96%	1.01%	1.05%	1.12%	1.15%	1.19%	1.23%	1.28%	1.32%	1.38%	1.42%	1.45%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.09%	-0.03%	-0.20%	-0.18%	-0.25%	-0.20%	-0.26%	-0.32%	-0.34%	-0.35%	-0.35%	-0.35%	-0.39%	-0.38%	-0.41%	-0.41%	-0.41%
Site 3:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.64E-02	4.02E-02	2.15E-02	1.24E-02	7.50E-03	4.73E-03	3.08E-03	2.06E-03	1.41E-03	9.87E-04	7.02E-04	5.07E-04	3.72E-04	2.07E-04	1.20E-04	7.24E-05	4.49E-05
Benchmark	6.89E-02	6.65E-02	4.01E-02	2.15E-02	1.24E-02	7.49E-03	4.72E-03	3.08E-03	2.06E-03	1.41E-03	9.86E-04	7.01E-04	5.07E-04	3.71E-04	2.07E-04	1.20E-04	7.23E-05	4.49E-05
% diff 5 core	0.01%	0.03%	0.14%	0.18%	0.20%	0.22%	0.24%	0.25%	0.26%	0.26%	0.27%	0.28%	0.28%	0.29%	0.30%	0.30%	0.31%	0.41%
% diff all	0.12%	0.13%	0.53%	0.72%	0.81%	0.85%	0.87%	0.88%	0.89%	0.91%	0.90%	0.93%	0.95%	0.97%	1.01%	1.00%	1.07%	1.10%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.12%	0.08%	-0.02%	0.10%	0.12%	0.11%	0.09%	0.10%	0.09%	0.09%	0.06%	0.07%	0.06%	0.06%	0.06%	0.07%	0.05%
Site 4:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.57E-02	3.40E-02	1.50E-02	7.34E-03	3.88E-03	2.17E-03	1.28E-03	7.82E-04	4.94E-04	3.21E-04	2.14E-04	1.45E-04	1.00E-04	5.05E-05	2.68E-05	1.49E-05	8.57E-06
Benchmark	6.89E-02	6.58E-02	3.40E-02	1.50E-02	7.33E-03	3.87E-03	2.17E-03	1.28E-03	7.81E-04	4.93E-04	3.21E-04	2.13E-04	1.45E-04	1.00E-04	5.04E-05	2.68E-05	1.49E-05	8.56E-06
% diff 5 core	0.01%	0.03%	0.11%	0.09%	0.07%	0.05%	0.06%	0.11%	0.11%	0.13%	0.15%	0.16%	0.17%	0.20%	0.18%	0.20%	0.31%	0.35%
% diff all	0.11%	0.14%	0.54%	0.67%	0.69%	0.76%	0.81%	0.85%	0.89%	0.96%	1.00%	1.08%	1.10%	1.17%	1.26%	1.35%	1.42%	1.50%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.05%	-0.10%	0.05%	0.09%	0.15%	0.16%	0.16%	0.17%	0.16%	0.16%	0.16%	0.15%	0.14%	0.15%	0.12%	0.11%	0.12%	0.13%
Site 5:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.27E-02	2.14E-02	6.47E-03	2.39E-03	1.01E-03	4.73E-04	2.38E-04	1.27E-04	7.12E-05	4.15E-05	2.50E-05	1.55E-05	9.87E-06	4.27E-06	1.98E-06	9.77E-07	5.06E-07
Benchmark	6.89E-02	6.28E-02	2.15E-02	6.47E-03	2.39E-03	1.01E-03	4.73E-04	2.38E-04	1.27E-04	7.12E-05	4.15E-05	2.50E-05	1.55E-05	9.87E-06	4.27E-06	1.98E-06	9.79E-07	5.07E-07
% diff 5 core	0.10%	0.11%	0.14%	0.09%	0.07%	0.05%	0.04%	0.06%	0.09%	0.12%	0.15%	0.18%	0.21%	0.24%	0.32%	0.44%	0.60%	0.80%
% diff all	0.13%	0.16%	0.55%	0.76%	0.88%	1.04%	1.18%	1.29%	1.40%	1.49%	1.57%	1.65%	1.72%	1.78%	1.90%	2.01%	2.10%	2.19%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.06%	-0.16%	-0.07%	0.06%	0.06%	0.05%	0.05%	0.05%	0.04%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	-0.02%	-0.05%	-0.09%	-0.13%	-0.18%
Site 6:																		
SeisHaz_GUI	6.88E-02	5.19E-02	1.92E-02	9.17E-03	5.20E-03	3.20E-03	2.08E-03	1.40E-03	9.72E-04	6.91E-04	5.01E-04	3.69E-04	2.76E-04	2.09E-04	1.24E-04	7.68E-05	4.90E-05	3.20E-05
Benchmark	6.88E-02	5.19E-02	1.92E-02	9.17E-03	5.20E-03	3.20E-03	2.08E-03	1.40E-03	9.71E-04	6.90E-04	5.00E-04	3.69E-04	2.76E-04	2.09E-04	1.24E-04	7.68E-05	4.89E-05	3.20E-05
% diff 5 core	0.01%	0.09%	0.17%	0.26%	0.34%	0.42%	0.46%	0.53%	0.62%	0.70%	0.77%	0.82%	0.89%	0.98%	1.06%	1.40%	1.71%	2.01%
% diff all	0.12%	0.23%	0.60%	0.95%	1.27%	1.54%	1.80%	2.03%	2.28%	2.52%	2.75%	2.97%	3.18%	3.38%	3.76%	4.10%	4.42%	4.71%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.06%	-0.03%	0.00%	-0.04%	0.01%	0.05%	0.09%	0.12%	0.13%	0.14%	0.13%	0.13%	0.12%	0.12%	0.10%	0.08%	0.07%	0.03%

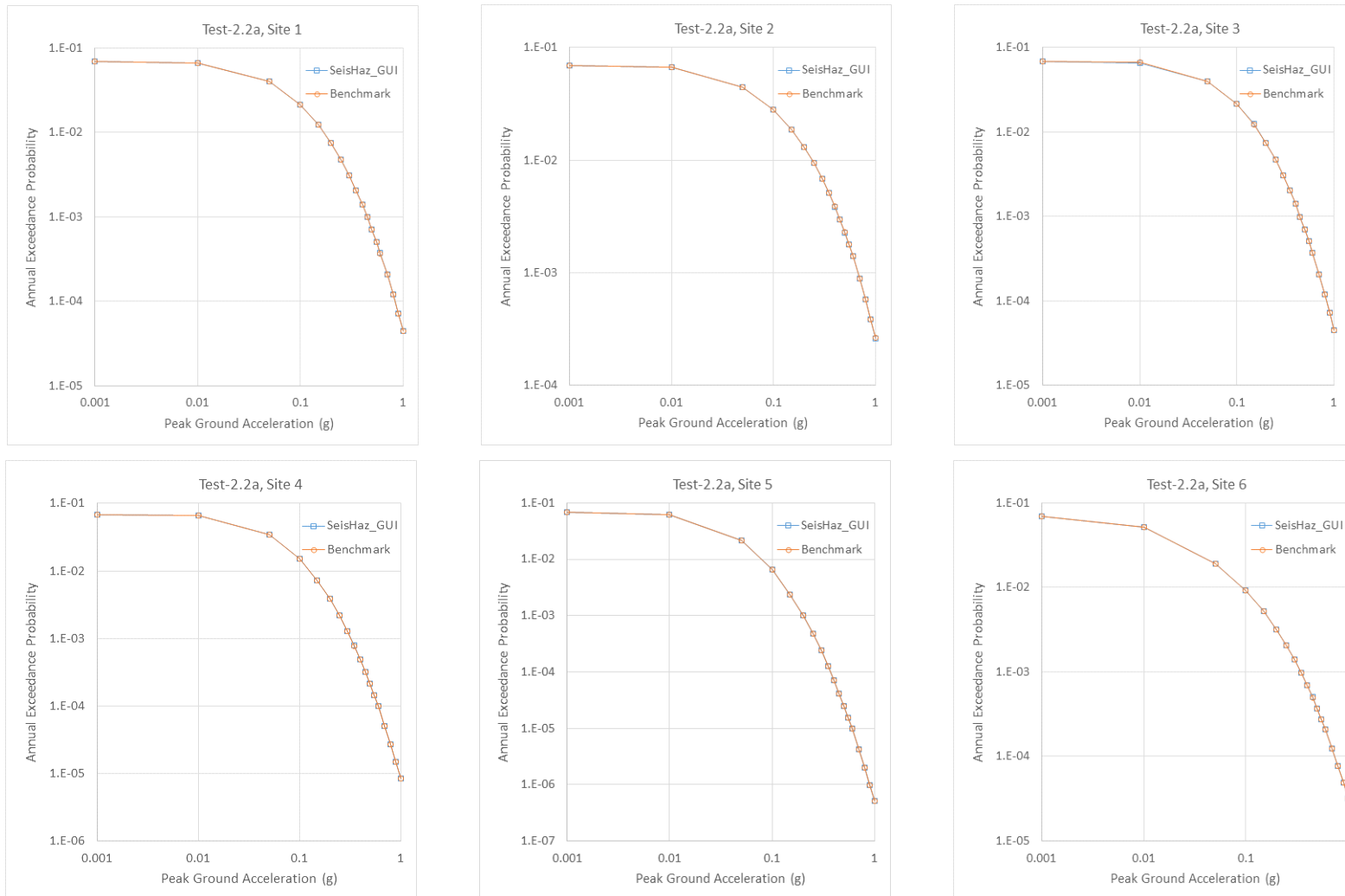


그림 B-2a. 검산모델 Test 2.2에 대한 결과(Abrahamson et al., 2014).

표 B-2b. 검산모델 Test 2.2에 대한 결과(Boore et al., 2014).

Site 1:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.70E-02	4.25E-02	2.34E-02	1.35E-02	8.18E-03	5.09E-03	3.25E-03	2.13E-03	1.43E-03	9.76E-04	6.78E-04	4.78E-04	3.42E-04	1.82E-04	1.01E-04	5.80E-05	3.45E-05
Benchmark	6.89E-02	6.71E-02	4.24E-02	2.34E-02	1.35E-02	8.16E-03	5.08E-03	3.25E-03	2.13E-03	1.43E-03	9.75E-04	6.77E-04	4.78E-04	3.42E-04	1.82E-04	1.01E-04	5.80E-05	3.45E-05
% diff 5 core	0.11%	0.09%	0.13%	0.18%	0.20%	0.21%	0.21%	0.22%	0.22%	0.21%	0.22%	0.22%	0.22%	0.21%	0.18%	0.12%	0.12%	0.23%
% diff all	0.19%	0.15%	0.37%	0.53%	0.59%	0.70%	0.76%	0.82%	0.88%	0.93%	0.94%	0.97%	1.00%	1.04%	1.11%	1.15%	1.20%	1.24%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.06%	-0.07%	0.10%	-0.06%	-0.02%	0.16%	0.09%	0.06%	0.01%	0.05%	0.07%	0.03%	0.04%	0.06%	0.04%	0.04%	0.05%	0.08%
Site 2:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.73E-02	4.63E-02	2.96E-02	2.01E-02	1.41E-02	1.01E-02	7.31E-03	5.38E-03	4.01E-03	3.01E-03	2.29E-03	1.75E-03	1.35E-03	8.25E-04	5.17E-04	3.32E-04	2.18E-04
Benchmark	6.89E-02	6.74E-02	4.63E-02	2.97E-02	2.01E-02	1.41E-02	1.01E-02	7.33E-03	5.39E-03	4.02E-03	3.02E-03	2.29E-03	1.76E-03	1.36E-03	8.27E-04	5.18E-04	3.32E-04	2.18E-04
% diff 5 core	0.01%	0.04%	0.09%	0.10%	0.11%	0.13%	0.14%	0.16%	0.18%	0.18%	0.18%	0.21%	0.21%	0.22%	0.19%	0.19%	0.23%	0.24%
% diff all	0.12%	0.11%	0.36%	0.51%	0.58%	0.65%	0.73%	0.73%	0.76%	0.79%	0.83%	0.86%	0.85%	0.85%	0.90%	0.94%	0.96%	0.96%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.07%	0.06%	-0.24%	-0.17%	-0.17%	-0.12%	-0.21%	-0.18%	-0.14%	-0.22%	-0.18%	-0.15%	-0.21%	-0.21%	-0.28%	-0.26%	-0.18%
Site 3:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.70E-02	4.25E-02	2.34E-02	1.35E-02	8.18E-03	5.09E-03	3.25E-03	2.13E-03	1.43E-03	9.76E-04	6.78E-04	4.78E-04	3.42E-04	1.82E-04	1.01E-04	5.80E-05	3.45E-05
Benchmark	6.89E-02	6.71E-02	4.24E-02	2.34E-02	1.36E-02	8.17E-03	5.09E-03	3.25E-03	2.13E-03	1.43E-03	9.76E-04	6.78E-04	4.78E-04	3.42E-04	1.82E-04	1.01E-04	5.81E-05	3.45E-05
% diff 5 core	0.03%	0.03%	0.13%	0.19%	0.21%	0.21%	0.22%	0.22%	0.21%	0.21%	0.21%	0.21%	0.21%	0.21%	0.21%	0.20%	0.20%	0.20%
% diff all	0.12%	0.11%	0.37%	0.52%	0.59%	0.68%	0.73%	0.79%	0.84%	0.88%	0.89%	0.93%	0.95%	0.99%	1.05%	1.09%	1.12%	1.17%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.06%	0.06%	-0.12%	-0.08%	0.10%	0.02%	-0.01%	-0.06%	-0.02%	0.00%	-0.05%	-0.03%	-0.01%	-0.04%	-0.04%	-0.04%	-0.05%
Site 4:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.65E-02	3.70E-02	1.71E-02	8.43E-03	4.42E-03	2.43E-03	1.40E-03	8.37E-04	5.15E-04	3.27E-04	2.12E-04	1.40E-04	9.48E-05	4.54E-05	2.30E-05	1.22E-05	6.77E-06
Benchmark	6.89E-02	6.66E-02	3.70E-02	1.71E-02	8.42E-03	4.41E-03	2.43E-03	1.40E-03	8.36E-04	5.15E-04	3.26E-04	2.12E-04	1.40E-04	9.48E-05	4.54E-05	2.30E-05	1.22E-05	6.77E-06
% diff 5 core	0.11%	0.09%	0.12%	0.15%	0.17%	0.17%	0.17%	0.18%	0.18%	0.16%	0.16%	0.16%	0.14%	0.14%	0.19%	0.15%	0.12%	0.19%
% diff all	0.12%	0.11%	0.37%	0.53%	0.65%	0.73%	0.79%	0.85%	0.92%	0.97%	1.01%	1.07%	1.09%	1.15%	1.23%	1.29%	1.34%	1.50%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.06%	-0.08%	0.02%	-0.03%	0.09%	0.08%	-0.01%	0.05%	0.09%	0.03%	0.05%	0.03%	0.09%	0.00%	0.03%	0.03%	0.04%	0.06%
Site 5:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.44E-02	2.55E-02	8.27E-03	3.09E-03	1.29E-03	5.91E-04	2.91E-04	1.51E-04	8.28E-05	4.71E-05	2.78E-05	1.68E-05	1.05E-05	4.35E-06	1.94E-06	9.24E-07	4.62E-07
Benchmark	6.89E-02	6.44E-02	2.56E-02	8.27E-03	3.08E-03	1.29E-03	5.91E-04	2.91E-04	1.51E-04	8.28E-05	4.71E-05	2.78E-05	1.68E-05	1.05E-05	4.35E-06	1.95E-06	9.24E-07	4.62E-07
% diff 5 core	0.03%	0.05%	0.16%	0.18%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.20%	0.19%	0.19%	0.18%	0.17%	0.14%	0.18%	0.19%	0.33%
% diff all	0.12%	0.11%	0.38%	0.58%	0.74%	0.90%	0.97%	1.08%	1.16%	1.26%	1.34%	1.44%	1.52%	1.61%	1.71%	1.83%	1.97%	2.09%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.07%	-0.21%	0.04%	0.09%	-0.01%	0.01%	0.02%	0.00%	0.03%	0.01%	-0.01%	0.00%	0.00%	-0.03%	-0.06%	-0.06%	-0.11%
Site 6:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	5.58E-02	2.17E-02	1.02E-02	5.71E-03	3.46E-03	2.21E-03	1.46E-03	9.92E-04	6.90E-04	4.89E-04	3.52E-04	2.57E-04	1.91E-04	1.08E-04	6.38E-05	3.89E-05	2.44E-05
Benchmark	6.89E-02	5.58E-02	2.17E-02	1.02E-02	5.71E-03	3.46E-03	2.20E-03	1.45E-03	9.87E-04	6.86E-04	4.86E-04	3.50E-04	2.56E-04	1.89E-04	1.07E-04	6.33E-05	3.85E-05	2.41E-05
% diff 5 core	0.02%	0.06%	0.17%	0.22%	0.31%	0.41%	0.50%	0.58%	0.67%	0.75%	0.83%	0.90%	0.99%	1.08%	1.29%	1.39%	1.58%	1.72%
% diff all	0.12%	0.12%	0.39%	0.78%	1.14%	1.47%	1.78%	2.09%	2.38%	2.67%	2.95%	3.21%	3.46%	3.69%	4.13%	4.53%	4.90%	5.24%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.03%	-0.09%	-0.02%	0.06%	0.11%	0.22%	0.30%	0.41%	0.46%	0.54%	0.58%	0.64%	0.67%	0.72%	0.77%	0.83%	0.87%	0.91%

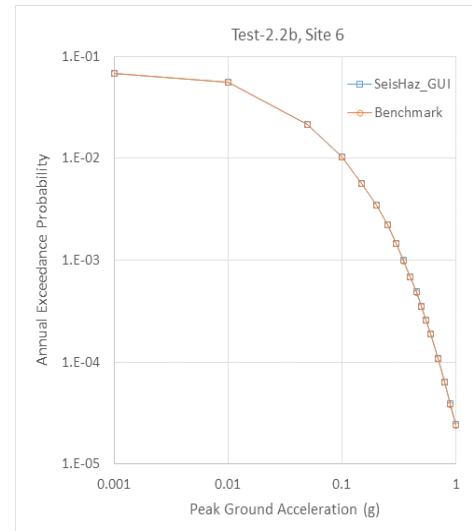
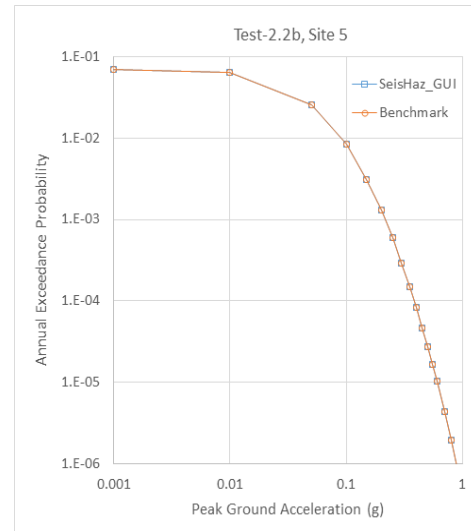
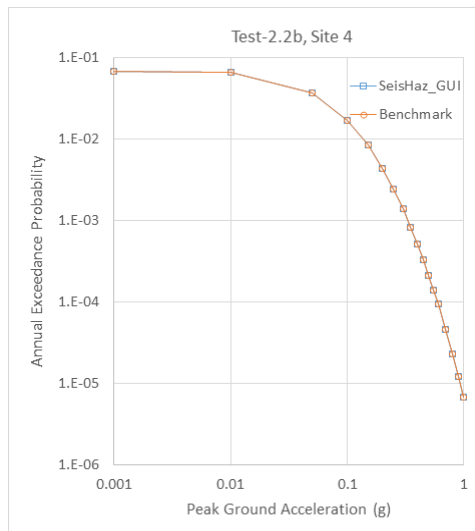
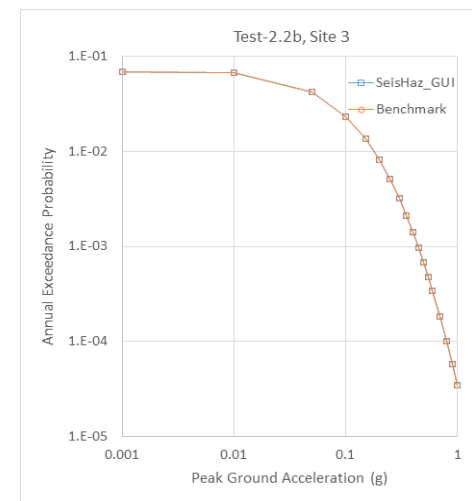
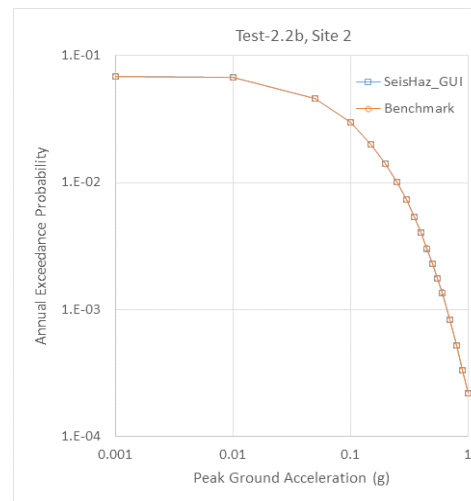
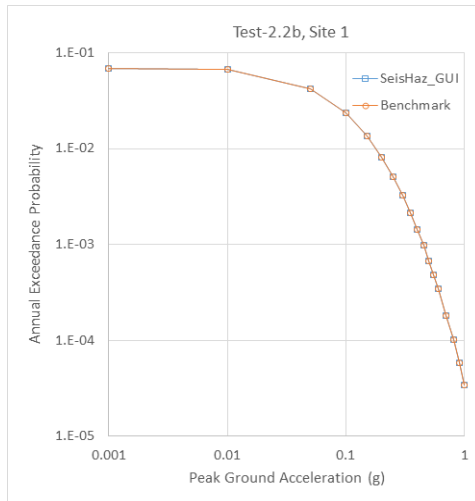


그림 B-2b. 계산모델 Test 2.2에 대한 결과(Boore et al., 2014).

표 B-2c. 검산모델 Test 2.2에 대한 결과(Campbell and Bozorgnia, 2014).

Site 1:																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.65E-02	4.04E-02	2.21E-02	1.30E-02	7.99E-03	5.11E-03	3.37E-03	2.27E-03	1.57E-03	1.10E-03	7.84E-04	5.66E-04	4.14E-04	2.29E-04	1.31E-04	7.79E-05	4.75E-05	
Benchmark	6.89E-02	6.66E-02	4.04E-02	2.21E-02	1.29E-02	7.98E-03	5.11E-03	3.37E-03	2.27E-03	1.57E-03	1.10E-03	7.84E-04	5.66E-04	4.14E-04	2.29E-04	1.31E-04	7.79E-05	4.75E-05	
% diff 5 core	0.01%	0.02%	0.07%	0.08%	0.11%	0.09%	0.08%	0.08%	0.07%	0.09%	0.08%	0.09%	0.10%	0.10%	0.11%	0.12%	0.20%	0.15%	
% diff all	0.12%	0.11%	0.42%	0.60%	0.71%	0.78%	0.86%	0.91%	0.96%	1.00%	1.00%	1.04%	1.06%	1.08%	1.13%	1.17%	1.17%	1.19%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.07%	0.03%	-0.05%	0.06%	0.06%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%	0.03%	
Site 2:																			
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.69E-02	4.44E-02	2.80E-02	1.89E-02	1.33E-02	9.57E-03	7.03E-03	5.24E-03	3.96E-03	3.03E-03	2.33E-03	1.82E-03	1.42E-03	8.94E-04	5.75E-04	3.78E-04	2.53E-04	
Benchmark	6.89E-02	6.69E-02	4.44E-02	2.80E-02	1.89E-02	1.33E-02	9.57E-03	7.03E-03	5.25E-03	3.96E-03	3.03E-03	2.34E-03	1.82E-03	1.42E-03	8.94E-04	5.76E-04	3.78E-04	2.54E-04	
% diff 5 core	0.01%	0.03%	0.07%	0.12%	0.10%	0.11%	0.12%	0.12%	0.12%	0.13%	0.13%	0.14%	0.14%	0.18%	0.15%	0.16%	0.18%	0.17%	
% diff all	0.12%	0.11%	0.40%	0.62%	0.76%	0.89%	0.95%	1.01%	1.05%	1.09%	1.13%	1.15%	1.19%	1.19%	1.21%	1.23%	1.23%	1.26%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.07%	0.02%	-0.08%	-0.08%	-0.04%	-0.02%	-0.05%	-0.05%	-0.05%	-0.06%	-0.06%	-0.05%	-0.06%	-0.06%	-0.07%	-0.07%	-0.07%	
Site 3:																			
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.65E-02	4.04E-02	2.21E-02	1.30E-02	7.99E-03	5.11E-03	3.37E-03	2.27E-03	1.57E-03	1.10E-03	7.84E-04	5.66E-04	4.14E-04	2.29E-04	1.31E-04	7.79E-05	4.75E-05	
Benchmark	6.89E-02	6.66E-02	4.04E-02	2.21E-02	1.29E-02	7.98E-03	5.11E-03	3.37E-03	2.27E-03	1.57E-03	1.10E-03	7.84E-04	5.66E-04	4.14E-04	2.29E-04	1.31E-04	7.79E-05	4.75E-05	
% diff 5 core	0.03%	0.02%	0.12%	0.11%	0.08%	0.07%	0.07%	0.06%	0.07%	0.08%	0.08%	0.09%	0.10%	0.10%	0.11%	0.12%	0.13%	0.13%	
% diff all	0.12%	0.11%	0.42%	0.60%	0.71%	0.78%	0.86%	0.91%	0.96%	1.00%	1.00%	1.04%	1.06%	1.08%	1.13%	1.17%	1.17%	1.21%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.05%	-0.07%	0.04%	-0.05%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	-0.01%	-0.01%	0.00%	-0.01%	-0.02%	-0.01%	-0.01%	0.00%	0.01%	0.02%	
Site 4:																			
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.58E-02	3.43E-02	1.55E-02	7.70E-03	4.13E-03	2.34E-03	1.39E-03	8.54E-04	5.40E-04	3.50E-04	2.32E-04	1.57E-04	1.08E-04	5.31E-05	2.76E-05	1.49E-05	8.37E-06	
Benchmark	6.89E-02	6.59E-02	3.44E-02	1.55E-02	7.70E-03	4.13E-03	2.34E-03	1.39E-03	8.54E-04	5.40E-04	3.50E-04	2.32E-04	1.57E-04	1.08E-04	5.31E-05	2.76E-05	1.49E-05	8.37E-06	
% diff 5 core	0.01%	0.03%	0.08%	0.12%	0.16%	0.17%	0.18%	0.14%	0.15%	0.14%	0.13%	0.13%	0.14%	0.19%	0.17%	0.18%	0.20%	0.19%	
% diff all	0.12%	0.11%	0.42%	0.56%	0.65%	0.74%	0.82%	0.88%	0.91%	0.97%	1.02%	1.08%	1.13%	1.19%	1.25%	1.34%	1.37%	1.58%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.08%	-0.11%	-0.02%	0.04%	0.03%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	-0.01%	-0.02%	-0.01%	-0.03%	
Site 5:																			
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.29E-02	2.16E-02	6.56E-03	2.45E-03	1.04E-03	4.89E-04	2.45E-04	1.30E-04	7.16E-05	4.11E-05	2.43E-05	1.48E-05	9.25E-06	3.83E-06	1.70E-06	8.03E-07	3.98E-07	
Benchmark	6.89E-02	6.30E-02	2.16E-02	6.55E-03	2.45E-03	1.04E-03	4.89E-04	2.45E-04	1.29E-04	7.16E-05	4.11E-05	2.43E-05	1.48E-05	9.25E-06	3.84E-06	1.71E-06	8.04E-07	3.98E-07	
% diff 5 core	0.01%	0.06%	0.22%	0.26%	0.25%	0.24%	0.21%	0.17%	0.15%	0.15%	0.15%	0.16%	0.15%	0.18%	0.21%	0.23%	0.21%	0.25%	
% diff all	0.11%	0.11%	0.55%	0.76%	0.78%	0.88%	1.02%	1.14%	1.26%	1.36%	1.44%	1.52%	1.59%	1.67%	1.80%	1.89%	2.00%	2.09%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.09%	-0.10%	0.02%	0.03%	0.02%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	-0.02%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.06%	-0.07%	-0.10%	
Site 6:																			
SeisHaz_GUI	6.88E-02	5.28E-02	1.96E-02	9.40E-03	5.34E-03	3.29E-03	2.13E-03	1.43E-03	9.88E-04	6.98E-04	5.02E-04	3.67E-04	2.72E-04	2.04E-04	1.19E-04	7.18E-05	4.46E-05	2.85E-05	
Benchmark	6.88E-02	5.28E-02	1.96E-02	9.39E-03	5.34E-03	3.29E-03	2.13E-03	1.43E-03	9.86E-04	6.97E-04	5.01E-04	3.67E-04	2.72E-04	2.04E-04	1.19E-04	7.18E-05	4.47E-05	2.85E-05	
% diff 5 core	0.01%	0.10%	0.18%	0.36%	0.52%	0.61%	0.67%	0.63%	0.67%	0.75%	0.84%	0.92%	1.01%	1.13%	1.57%	2.08%	2.63%	3.19%	
% diff all	0.12%	0.22%	0.70%	1.19%	1.74%	2.22%	2.61%	2.93%	3.19%	3.40%	3.60%	3.82%	4.02%	4.20%	4.53%	4.82%	5.39%	6.00%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.03%	-0.02%	0.02%	0.07%	0.09%	0.13%	0.15%	0.17%	0.18%	0.17%	0.15%	0.13%	0.10%	0.08%	0.02%	-0.07%	-0.14%	-0.20%	

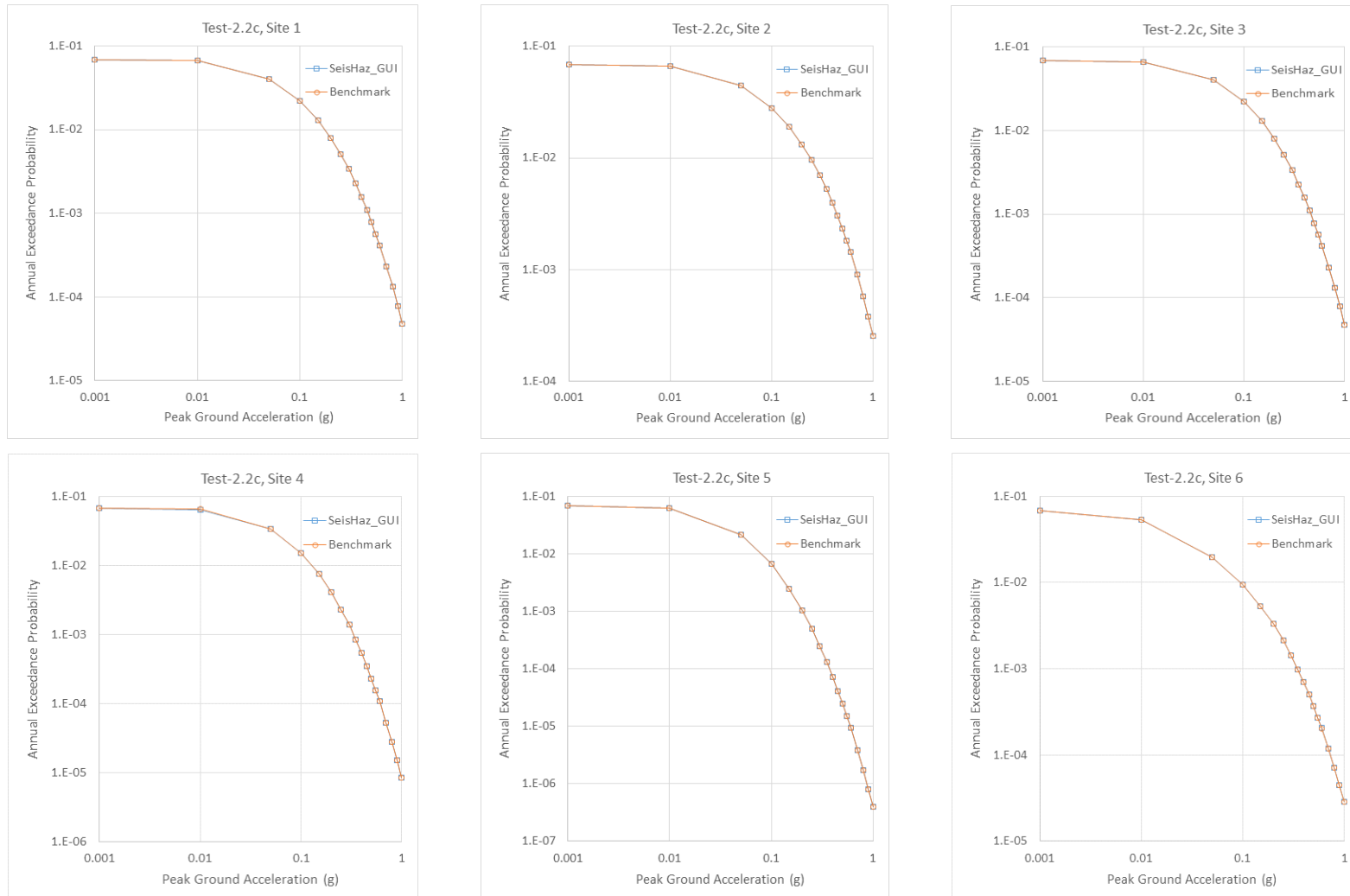


그림 B-2c. 계산모델 Test 2.2에 대한 결과(Campbell and Bozorgnia, 2014).

표 B-2d. 검산모델 Test 2.2에 대한 결과(Chiou and Youngs, 2014).

Site 1:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.51E-02	3.65E-02	1.90E-02	1.08E-02	6.43E-03	3.96E-03	2.51E-03	1.63E-03	1.08E-03	7.30E-04	5.01E-04	3.49E-04	2.46E-04	1.27E-04	6.86E-05	3.84E-05	2.22E-05
Benchmark	6.89E-02	6.52E-02	3.65E-02	1.90E-02	1.08E-02	6.42E-03	3.96E-03	2.51E-03	1.63E-03	1.08E-03	7.29E-04	5.00E-04	3.48E-04	2.46E-04	1.27E-04	6.85E-05	3.83E-05	2.21E-05
% diff 5 core	0.03%	0.06%	0.16%	0.22%	0.25%	0.27%	0.28%	0.29%	0.30%	0.30%	0.30%	0.32%	0.34%	0.32%	0.26%	0.30%	0.33%	0.36%
% diff all	0.11%	0.15%	0.54%	0.72%	0.80%	0.85%	0.92%	0.99%	1.06%	1.09%	1.15%	1.19%	1.23%	1.29%	1.37%	1.43%	1.48%	1.56%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.12%	-0.01%	0.05%	0.20%	0.15%	0.15%	0.14%	0.15%	0.14%	0.13%	0.14%	0.14%	0.15%	0.17%	0.19%	0.20%	0.24%
Site 2:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.57E-02	4.11E-02	2.53E-02	1.69E-02	1.17E-02	8.28E-03	5.97E-03	4.37E-03	3.24E-03	2.42E-03	1.83E-03	1.39E-03	1.07E-03	6.43E-04	3.97E-04	2.51E-04	1.62E-04
Benchmark	6.89E-02	6.57E-02	4.12E-02	2.54E-02	1.69E-02	1.17E-02	8.29E-03	5.99E-03	4.38E-03	3.25E-03	2.43E-03	1.83E-03	1.40E-03	1.07E-03	6.45E-04	3.99E-04	2.52E-04	1.63E-04
% diff 5 core	0.01%	0.02%	0.09%	0.12%	0.14%	0.16%	0.17%	0.19%	0.21%	0.24%	0.25%	0.26%	0.26%	0.26%	0.26%	0.27%	0.34%	0.32%
% diff all	0.11%	0.15%	0.52%	0.72%	0.82%	0.94%	1.00%	1.07%	1.13%	1.19%	1.27%	1.31%	1.38%	1.38%	1.49%	1.57%	1.64%	1.69%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.04%	-0.10%	-0.06%	-0.22%	-0.19%	-0.15%	-0.19%	-0.24%	-0.25%	-0.26%	-0.26%	-0.26%	-0.29%	-0.28%	-0.30%	-0.31%	-0.31%	-0.31%
Site 3:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.51E-02	3.65E-02	1.90E-02	1.08E-02	6.43E-03	3.96E-03	2.51E-03	1.63E-03	1.08E-03	7.30E-04	5.01E-04	3.49E-04	2.46E-04	1.27E-04	6.86E-05	3.84E-05	2.22E-05
Benchmark	6.89E-02	6.52E-02	3.65E-02	1.91E-02	1.08E-02	6.43E-03	3.97E-03	2.52E-03	1.63E-03	1.08E-03	7.31E-04	5.02E-04	3.49E-04	2.47E-04	1.27E-04	6.87E-05	3.84E-05	2.22E-05
% diff 5 core	0.10%	0.08%	0.14%	0.22%	0.25%	0.25%	0.26%	0.27%	0.28%	0.27%	0.26%	0.26%	0.25%	0.27%	0.28%	0.28%	0.28%	0.35%
% diff all	0.11%	0.15%	0.54%	0.72%	0.80%	0.85%	0.92%	0.99%	1.06%	1.09%	1.15%	1.19%	1.23%	1.29%	1.37%	1.43%	1.48%	1.56%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.06%	-0.16%	-0.12%	-0.10%	0.02%	-0.05%	-0.06%	-0.09%	-0.10%	-0.11%	-0.13%	-0.13%	-0.14%	-0.15%	-0.13%	-0.14%	-0.16%	-0.17%
Site 4:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	6.41E-02	2.99E-02	1.27E-02	6.00E-03	3.05E-03	1.64E-03	9.18E-04	5.33E-04	3.19E-04	1.96E-04	1.24E-04	7.96E-05	5.22E-05	2.36E-05	1.13E-05	5.72E-06	3.01E-06
Benchmark	6.89E-02	6.41E-02	3.00E-02	1.27E-02	6.00E-03	3.05E-03	1.64E-03	9.18E-04	5.33E-04	3.19E-04	1.96E-04	1.24E-04	7.96E-05	5.22E-05	2.36E-05	1.14E-05	5.72E-06	3.01E-06
% diff 5 core	0.10%	0.09%	0.16%	0.18%	0.19%	0.18%	0.16%	0.17%	0.16%	0.17%	0.15%	0.19%	0.16%	0.16%	0.17%	0.19%	0.18%	0.18%
% diff all	0.13%	0.16%	0.54%	0.66%	0.69%	0.75%	0.85%	0.96%	1.06%	1.14%	1.22%	1.28%	1.38%	1.44%	1.58%	1.67%	1.75%	1.82%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.06%	-0.10%	-0.26%	0.05%	0.02%	0.01%	0.02%	-0.01%	-0.02%	-0.04%	-0.04%	-0.06%	-0.06%	-0.07%	-0.07%	-0.09%	-0.10%	-0.10%
Site 5:																		
SeisHaz_GUI	6.89E-02	5.97E-02	1.73E-02	4.75E-03	1.60E-03	6.10E-04	2.57E-04	1.16E-04	5.61E-05	2.84E-05	1.50E-05	8.26E-06	4.69E-06	2.74E-06	1.01E-06	4.02E-07	1.72E-07	7.84E-08
Benchmark	6.89E-02	5.98E-02	1.73E-02	4.75E-03	1.60E-03	6.10E-04	2.57E-04	1.16E-04	5.61E-05	2.84E-05	1.50E-05	8.26E-06	4.69E-06	2.74E-06	1.01E-06	4.03E-07	1.73E-07	7.85E-08
% diff 5 core	0.10%	0.17%	0.30%	0.24%	0.15%	0.12%	0.09%	0.06%	0.03%	0.04%	0.05%	0.06%	0.07%	0.08%	0.12%	0.14%	0.16%	0.22%
% diff all	0.12%	0.17%	0.50%	0.67%	0.92%	1.17%	1.39%	1.54%	1.73%	1.89%	2.01%	2.15%	2.27%	2.36%	2.53%	2.71%	2.79%	5.58%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.07%	-0.11%	0.03%	0.10%	0.08%	0.05%	0.02%	0.00%	-0.01%	-0.03%	-0.05%	-0.06%	-0.07%	-0.10%	-0.11%	-0.12%	-0.14%	-0.15%
Site 6:																		
SeisHaz_GUI	6.87E-02	4.83E-02	1.69E-02	7.93E-03	4.43E-03	2.69E-03	1.71E-03	1.13E-03	7.69E-04	5.34E-04	3.77E-04	2.71E-04	1.97E-04	1.46E-04	8.19E-05	4.78E-05	2.89E-05	1.79E-05
Benchmark	6.87E-02	4.83E-02	1.69E-02	7.92E-03	4.43E-03	2.69E-03	1.71E-03	1.13E-03	7.68E-04	5.33E-04	3.77E-04	2.71E-04	1.98E-04	1.46E-04	8.21E-05	4.80E-05	2.90E-05	1.80E-05
% diff 5 core	0.01%	0.08%	0.21%	0.34%	0.51%	0.64%	0.75%	0.83%	0.90%	0.95%	1.00%	1.03%	1.07%	1.21%	1.58%	1.89%	2.20%	2.48%
% diff all	0.12%	0.23%	0.61%	0.98%	1.31%	1.61%	1.89%	2.16%	2.47%	2.77%	3.07%	3.35%	3.62%	3.88%	4.38%	4.90%	5.41%	5.83%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.05%	0.01%	0.04%	0.01%	0.07%	0.12%	0.15%	0.14%	0.12%	0.08%	0.04%	-0.02%	-0.06%	-0.11%	-0.23%	-0.32%	-0.42%	-0.52%

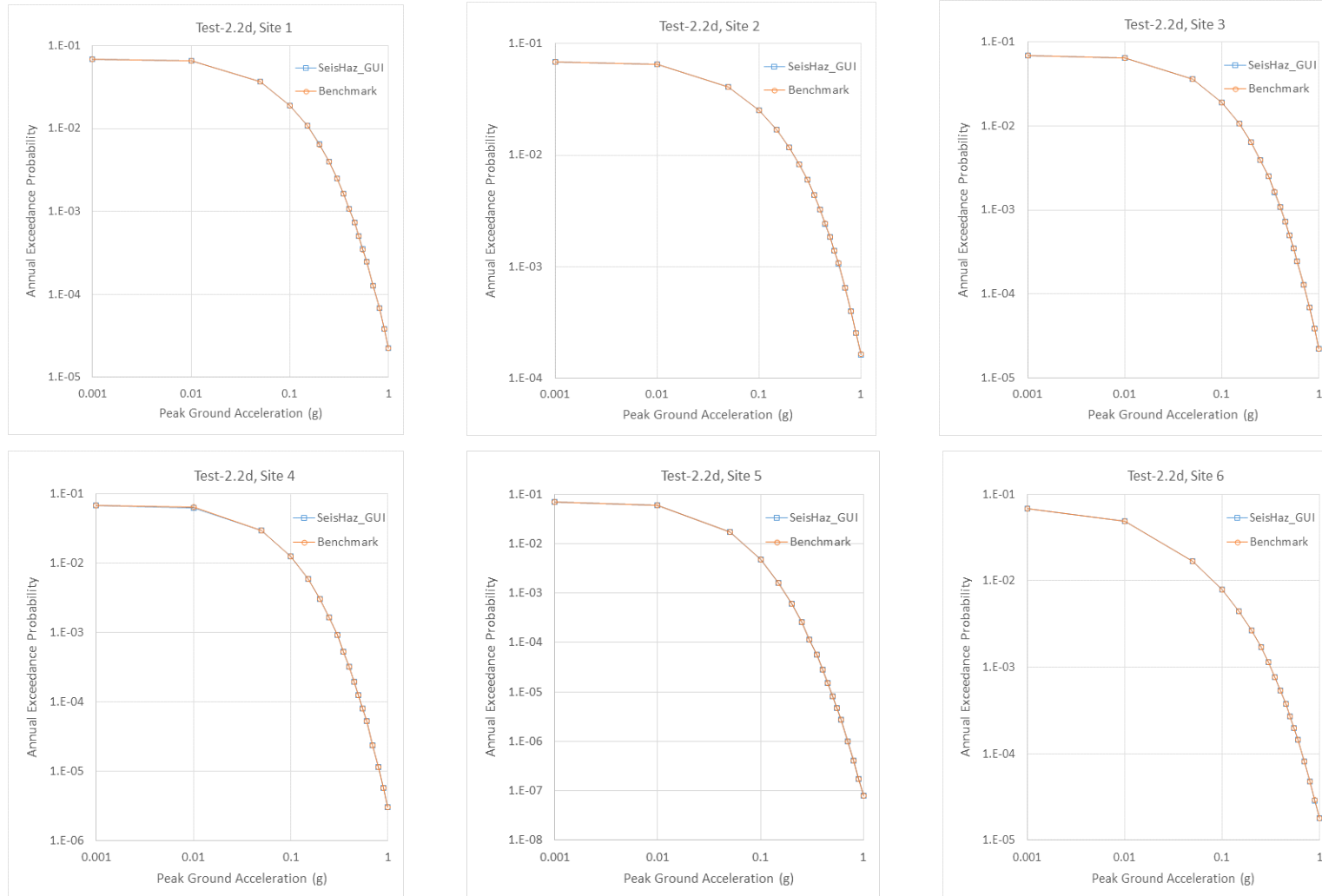


그림 B-2d. 검산모델 Test 2.2에 대한 결과(Chiou and Youngs, 2014).

표 B-3a. 검산모델 Test 2.3에 대한 결과(Abrahamson et al., 2014).

Site 1:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20										
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20										
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%											
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%											
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%											
Site 2:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20			
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20			
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%			
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%			
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%			
Site 3:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20			
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20			
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%				
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%				
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%				
Site 4:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
% diff 5 core	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%								
% diff all	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%								
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
Site 5:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
% diff 5 core	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%												
% diff all	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%												
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
Site 6:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.64E-03	9.78E-04	5.70E-04	2.90E-04	1.00E-20									
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.64E-03	9.82E-04	5.74E-04	2.91E-04	1.00E-20									
% diff 5 core	0.18%	0.18%	0.18%	0.18%	1.19%	0.65%	0.82%	2.33%										
% diff all	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%	4.37%	4.18%	4.63%	4.62%										
% diff SeisHaz from Benchmark	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	-0.08%	-0.44%	-0.80%	-0.38%										

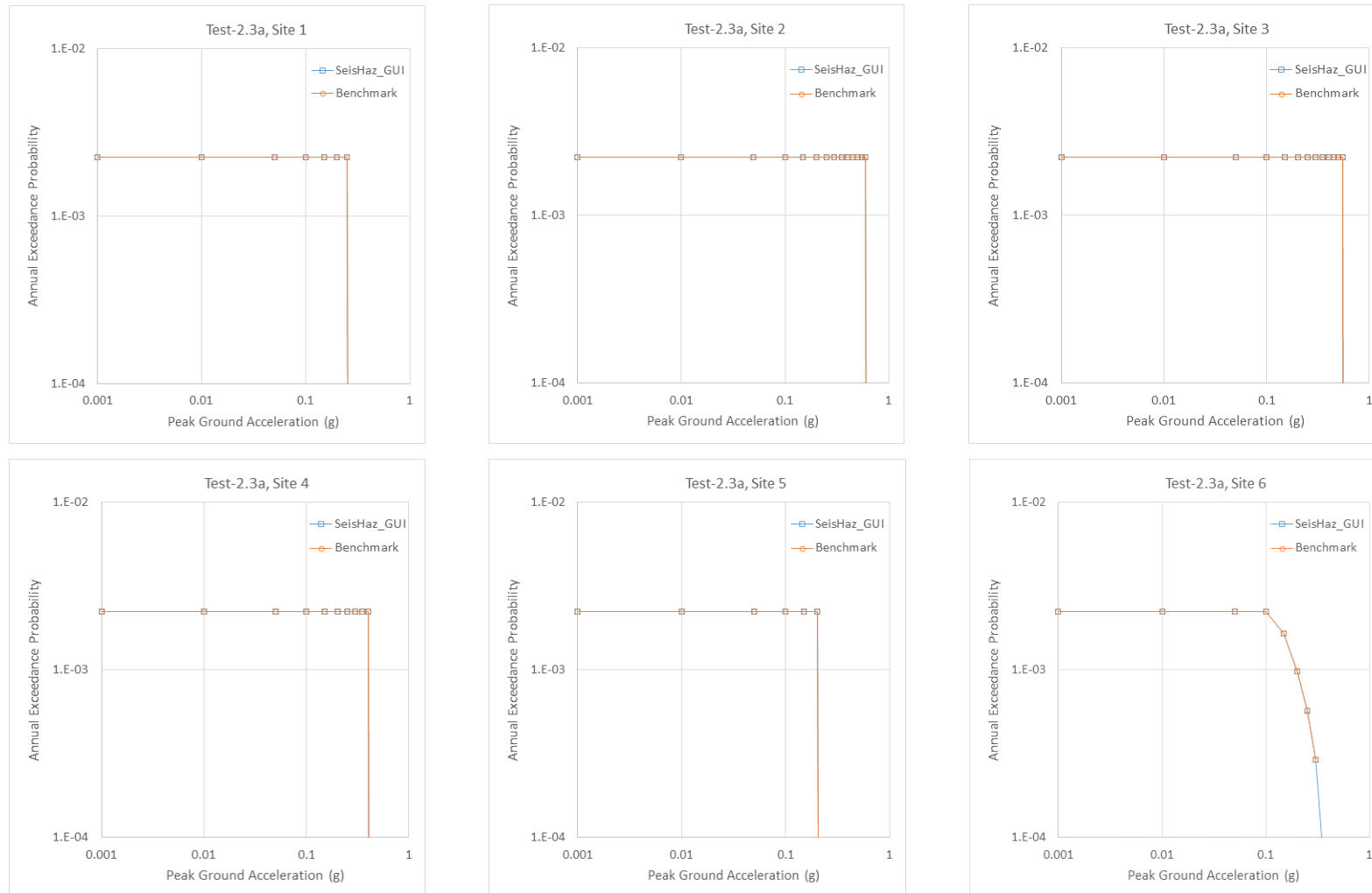


그림 B-3a. 검산모델 Test 2.3에 대한 결과(Abrahamson et al., 2014).

표 B-3b. 검산모델 Test 2.3에 대한 결과(Boore et al., 2014).

Site 1:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%												
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
Site 2:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%								
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
Site 3:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%								
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
Site 4:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%								
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
Site 5:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20												
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20												
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%													
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%													
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%													
Site 6:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.53E-03	8.49E-04	4.41E-04	1.61E-04	1.00E-20									
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.53E-03	8.51E-04	4.43E-04	1.61E-04	1.00E-20									
% diff 5 core	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.51%	0.09%	1.31%	1.35%										
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	4.10%	4.19%	4.88%	8.46%										
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.04%	-0.28%	-0.54%	0.36%										

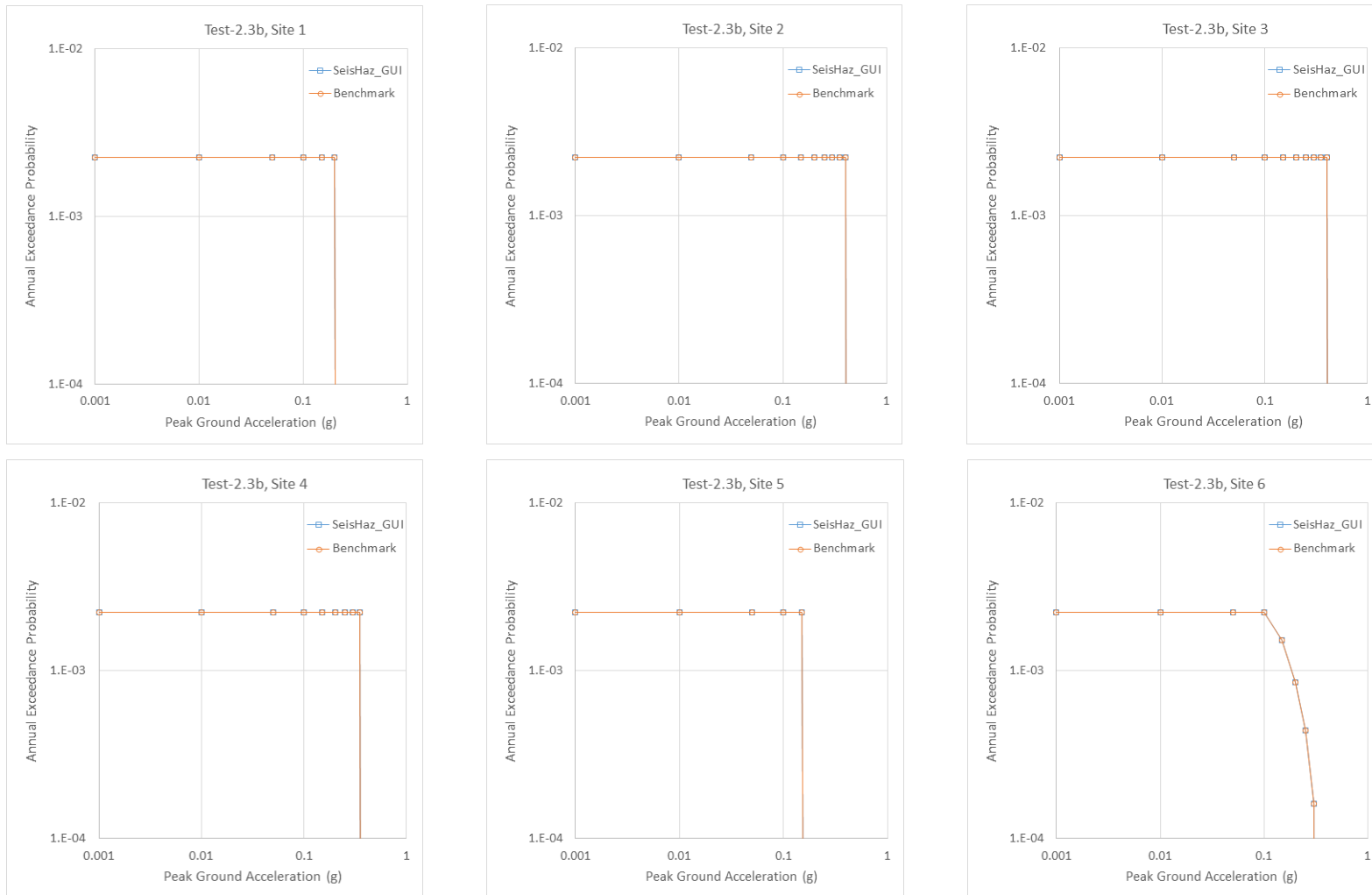


그림 B-3b. 계산모델 Test 2.3에 대한 결과(Boore et al., 2014).

표 B-3c. 검산모델 Test 2.3에 대한 결과(Campbell and Bozorgnia, 2014).

Site 1:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20										
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20										
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%											
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%											
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%											
Site 2:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20		
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20		
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9.65E-07		
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	2.69E-03		
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
Site 3:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20		
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20		
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9.65E-07			
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.002693			
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%			
Site 4:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%								
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
Site 5:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%												
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
Site 6:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.80E-03	1.17E-03	7.63E-04	4.73E-04	2.47E-04	1.00E-20								
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.81E-03	1.17E-03	7.60E-04	4.69E-04	2.41E-04	1.00E-20								
% diff 5 core	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.20%	0.21%	0.29%	0.50%	1.35%									
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	4.52%	3.93%	3.90%	3.90%	6.09%									
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.28%	0.29%	0.35%	0.93%	2.52%									

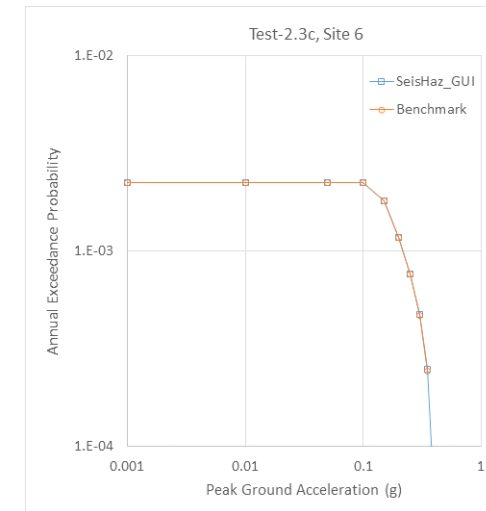
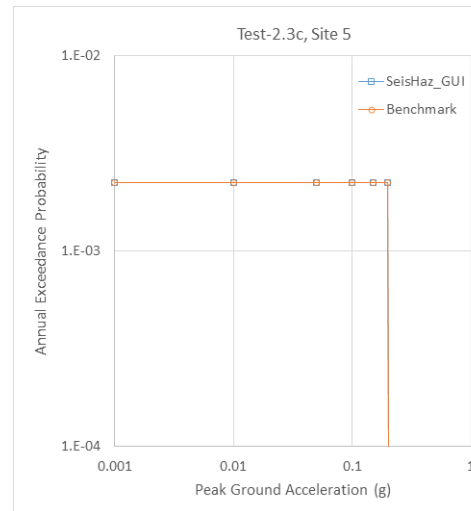
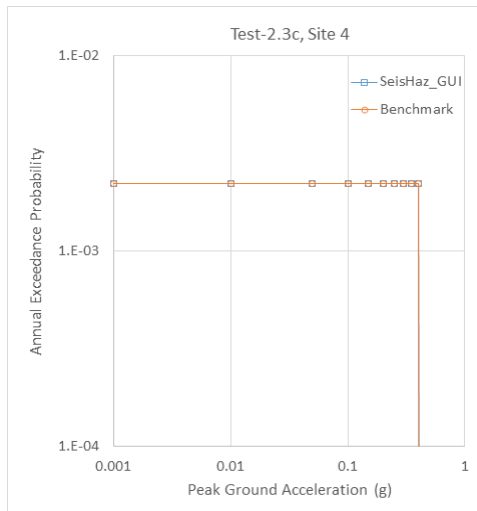
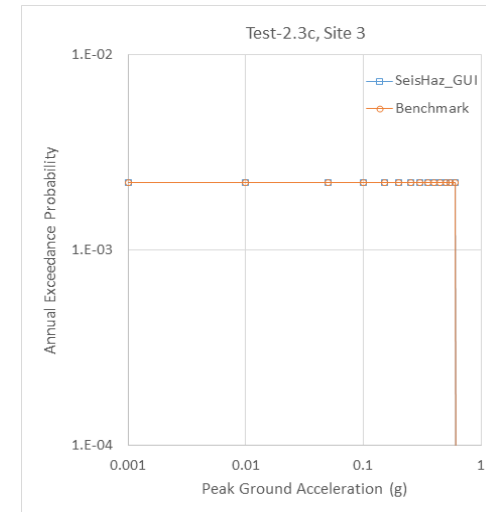
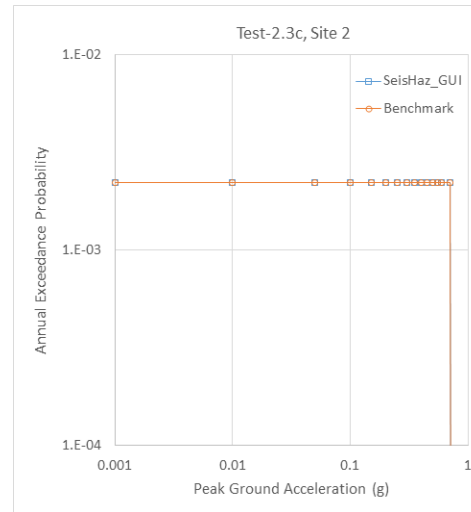
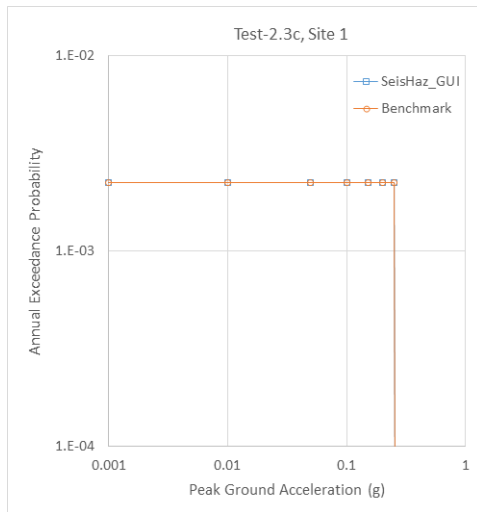


그림 B-3c. 검산모델 Test 2.3에 대한 결과(Campbell and Bozorgnia, 2014).

표 B-3d. 검산모델 Test 2.3에 대한 결과(Chiou and Youngs, 2014).

Site 1:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20										
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20										
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%											
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%											
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%											
Site 2:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20		
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20		
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%			
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%			
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%			
Site 3:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20			
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20			
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%				
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%				
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%				
Site 4:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20							
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%								
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%								
Site 5:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.00E-20											
% diff 5 core	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%												
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%												
Site 6:																		
SeisHaz_GUI	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.95E-03	1.29E-03	8.60E-04	5.48E-04	3.12E-04	1.18E-04	1.00E-20							
Benchmark	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	2.23E-03	1.95E-03	1.29E-03	8.56E-04	5.44E-04	3.08E-04	1.17E-04	1.00E-20							
% diff 5 core	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	1.21%	1.21%	1.24%	0.74%	0.40%	0.63%								
% diff all	0.27%	0.27%	0.27%	0.27%	4.05%	4.23%	4.35%	5.00%	5.85%	7.81%								
% diff SeisHaz from Benchmark	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.26%	0.32%	0.37%	0.70%	1.09%	1.03%								

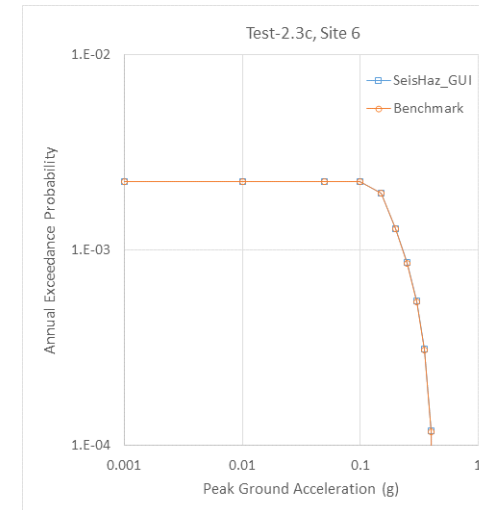
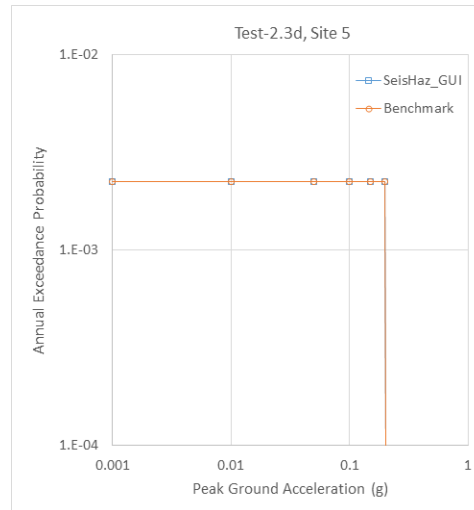
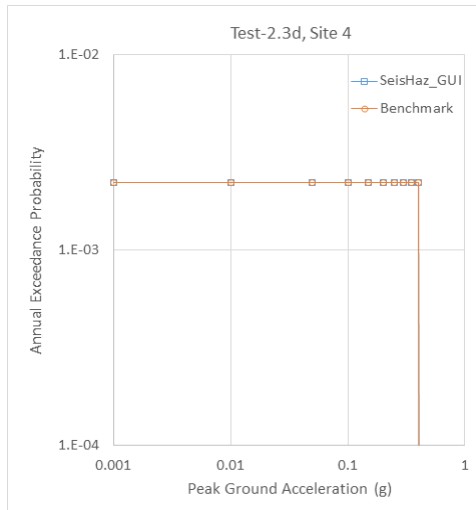
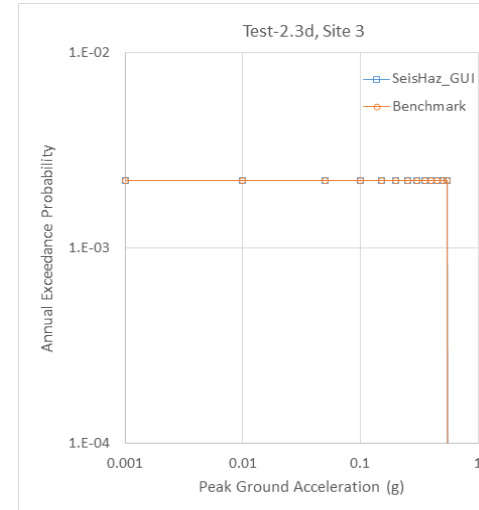
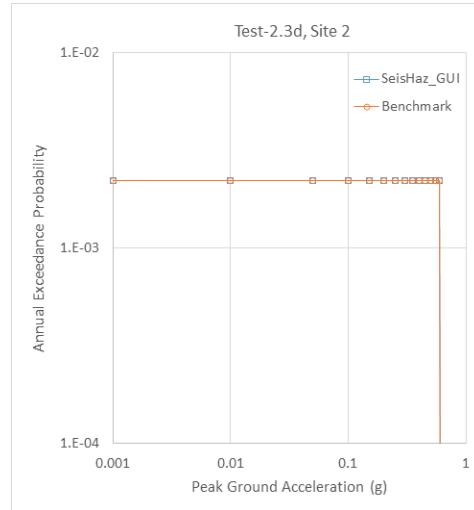
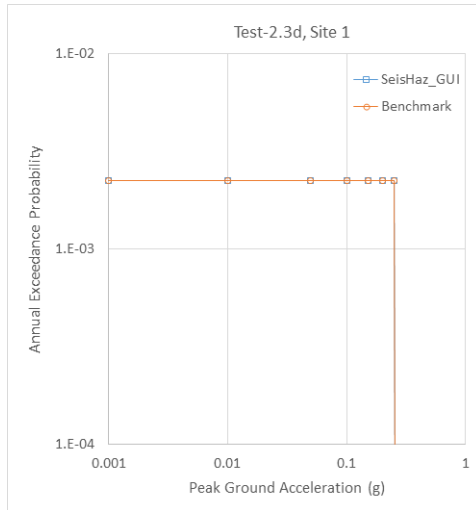


그림 B-3d. 검산모델 Test 2.3에 대한 결과(Chiou and Youngs, 2014).

표 B-4a. 검산모델 Test 2.4에 대한 결과(Uniform Distribution of Hypocenter).

PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
SeisHaz_GUI	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	2.16E-02	1.37E-02	8.85E-03	5.39E-03	2.61E-03	1.00E-20
Benchmark	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	2.16E-02	1.37E-02	8.86E-03	5.39E-03	2.52E-03	1.00E-20
% diff 5 core	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.08%	0.24%	0.16%	0.04%	0.86%	
% diff all	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%	2.44%	0.45%	1.99%	3.71%	4.33%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	0.01%	-0.10%	-0.05%	0.00%	3.83%	

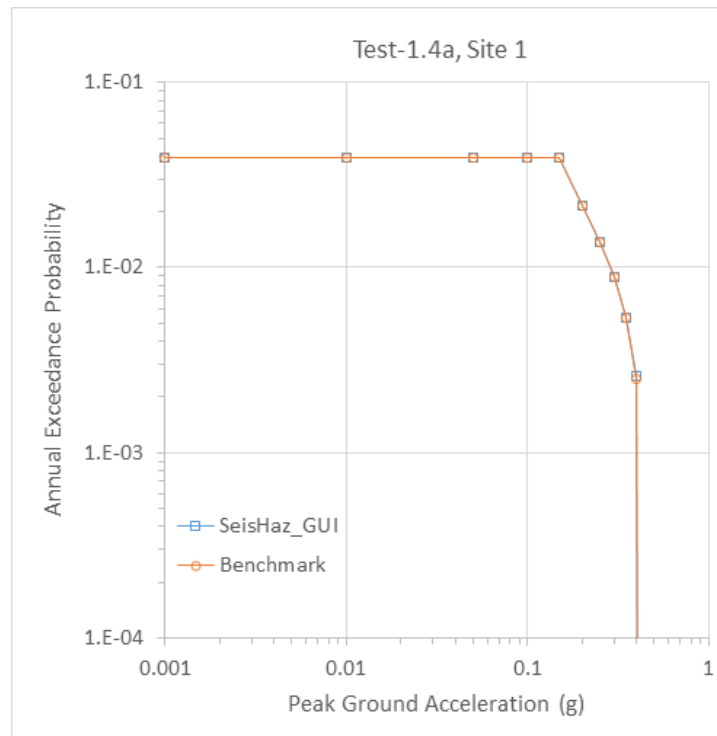


그림 B-4a. 검산모델 Test 2.4에 대한 결과(Uniform Distribution of Hypocenter).

표 B-4b. 검산모델 Test 2.4에 대한 결과(Triangular Distribution of Hypocenter).

PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
SeisHaz_GUI	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	2.67E-02	1.62E-02	8.74E-03	4.44E-03	1.81E-03	1.00E-20
Benchmark	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	3.93E-02	2.67E-02	1.63E-02	8.79E-03	4.47E-03	1.75E-03	1.00E-20
% diff 5 core	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.18%	0.16%	0.26%	0.36%	0.92%	
% diff all	0.11%	0.11%	0.11%	0.11%	0.11%	1.24%	6.34%	1.63%	4.92%	4.73%	
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.04%	-0.37%	-0.57%	-0.64%	3.43%	

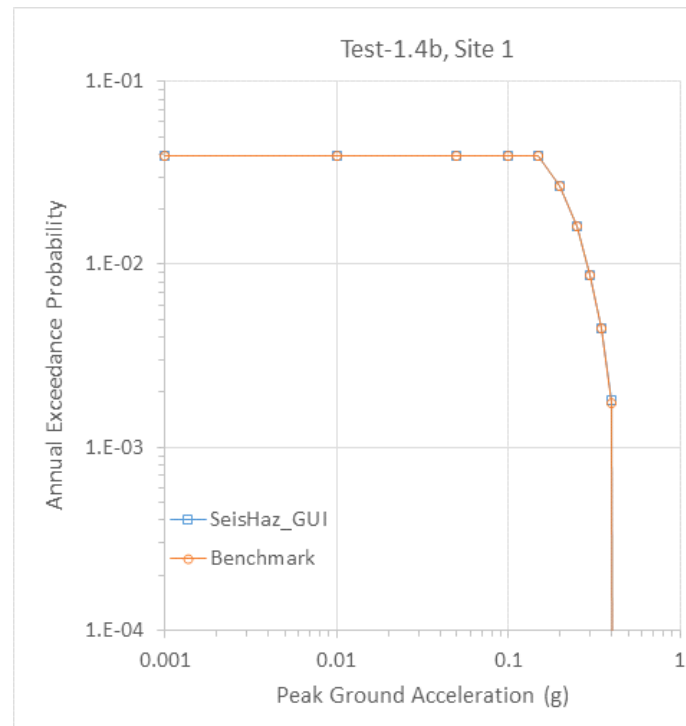


그림 B-4b. 검산모델 Test 2.4에 대한 결과(Uniform Distribution of Hypocenter).

표 B-5a. 검산모델 Test 2.5에 대한 결과(Extreme Tail).

PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7
SeisHaz_GUI	1.59E-02	1.59E-02	1.41E-02	8.84E-03	2.82E-03	3.70E-04	7.11E-05	1.78E-05	5.38E-06	1.45E-06	4.59E-07	6.40E-08	1.22E-08	2.90E-09	2.57E-10	3.44E-11	6.10E-12	1.33E-12
Benchmark	1.59E-02	1.59E-02	1.41E-02	8.84E-03	2.82E-03	3.70E-04	7.11E-05	1.78E-05	5.38E-06	1.45E-06	4.59E-07	6.40E-08	1.22E-08	2.90E-09	2.57E-10	3.44E-11	6.11E-12	1.34E-12
% diff 5 core	0.03%	0.02%	0.03%	0.05%	0.09%	0.11%	0.15%	0.17%	0.20%	0.21%	0.23%	0.24%	0.25%	0.25%	0.34%	0.42%	0.49%	0.56%
% diff all	0.10%	0.09%	0.20%	0.53%	1.09%	1.75%	2.16%	2.46%	2.70%	2.95%	3.16%	3.51%	3.79%	4.03%	4.42%	5.13%	5.03%	9.25%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	0.01%	0.02%	0.03%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%	0.03%	0.02%	0.02%	-0.01%	-0.03%	-0.05%	-0.08%

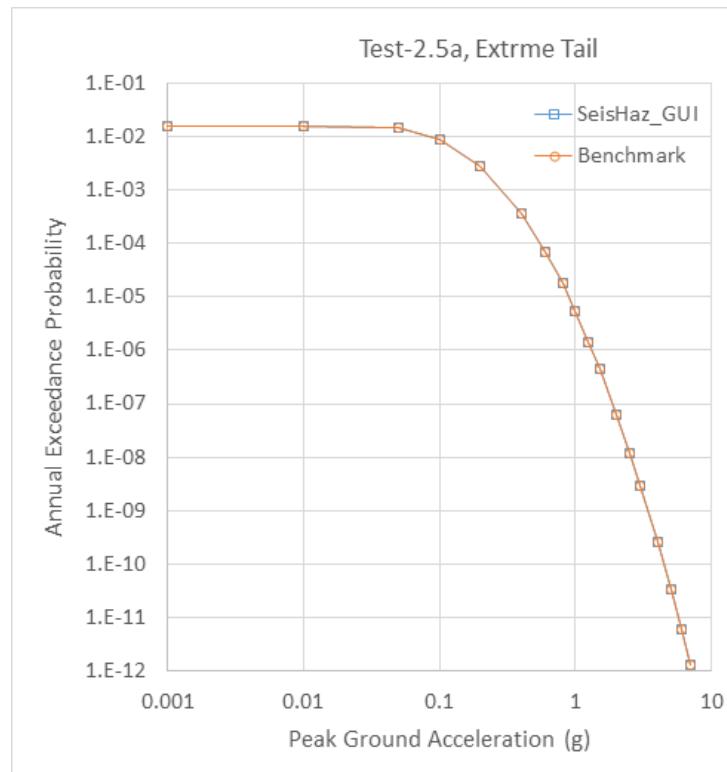


그림 B-5a. 검산모델 Test 2.5에 대한 결과(Extreme Tail).

표 B-5b. 검산모델 Test 2.5에 대한 결과(Mixture Model).

PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7
SeisHaz_GUI	1.59E-02	1.59E-02	1.41E-02	8.87E-03	2.74E-03	4.37E-04	1.21E-04	4.37E-05	1.84E-05	7.22E-06	3.18E-06	7.88E-07	2.44E-07	8.85E-08	1.61E-08	3.91E-09	1.16E-09	3.99E-10
Benchmark	1.59E-02	1.59E-02	1.41E-02	8.87E-03	2.74E-03	4.37E-04	1.21E-04	4.37E-05	1.84E-05	7.22E-06	3.18E-06	7.88E-07	2.44E-07	8.85E-08	1.61E-08	3.91E-09	1.16E-09	3.99E-10
% diff 5 core	0.10%	0.09%	0.09%	0.08%	0.06%	0.05%	0.07%	0.05%	0.06%	0.08%	0.09%	0.12%	0.15%	0.18%	0.24%	0.29%	0.33%	0.38%
% diff all	0.10%	0.11%	0.19%	0.55%	1.09%	1.43%	1.62%	1.79%	1.94%	2.09%	2.23%	2.45%	2.64%	2.79%	3.04%	3.25%	3.42%	3.58%
% diff SeisHaz from Benchmark	-0.03%	-0.03%	-0.04%	-0.03%	-0.01%	0.00%	-0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%

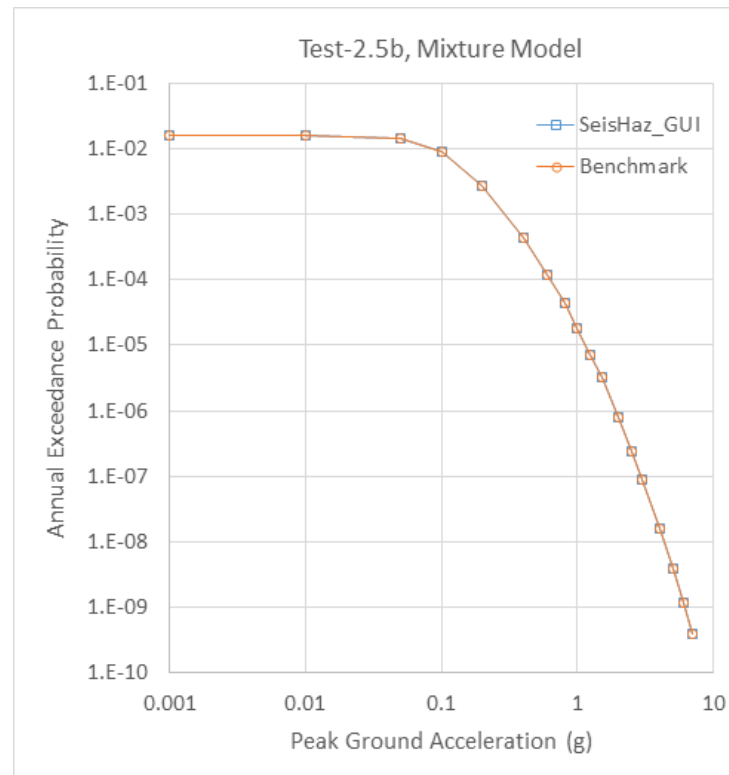


그림 B-5b. 검산모델 Test 2.5에 대한 결과(Mixture Model).

부록 C. Test Set 3에 대한 검산결과

표 C-1a. 검산모델 Test 3.1에 대한 결과(Dipping East).

Site 1:																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.31E-03	3.26E-03	3.16E-03	3.01E-03	2.82E-03	2.61E-03	2.39E-03	2.16E-03	1.94E-03	1.74E-03	1.37E-03	1.07E-03	8.26E-04	6.39E-04	
Stirling, GC2 - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.31E-03	3.26E-03	3.16E-03	3.01E-03	2.82E-03	2.61E-03	2.39E-03	2.16E-03	1.94E-03	1.74E-03	1.37E-03	1.07E-03	8.28E-04	6.41E-04	
Stirling, Rx closest - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.31E-03	3.26E-03	3.16E-03	3.01E-03	2.82E-03	2.61E-03	2.38E-03	2.16E-03	1.94E-03	1.73E-03	1.36E-03	1.06E-03	8.21E-04	6.35E-04	
Segments orthogonal, Rx closest - Mean	3.06E-03	3.06E-03	3.06E-03	3.05E-03	3.04E-03	2.99E-03	2.90E-03	2.77E-03	2.60E-03	2.40E-03	2.20E-03	1.99E-03	1.79E-03	1.60E-03	1.26E-03	9.85E-04	7.64E-04	5.91E-04	
Site 2:																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	3.33E-03	3.33E-03	3.31E-03	3.08E-03	2.63E-03	2.16E-03	1.74E-03	1.39E-03	1.11E-03	8.91E-04	7.16E-04	5.77E-04	4.67E-04	3.79E-04	2.53E-04	1.71E-04	1.18E-04	8.17E-05	
Stirling, GC2 - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.32E-03	3.12E-03	2.73E-03	2.29E-03	1.88E-03	1.53E-03	1.24E-03	1.01E-03	8.24E-04	6.73E-04	5.51E-04	4.53E-04	3.09E-04	2.13E-04	1.49E-04	1.05E-04	
Stirling, Rx closest - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.31E-03	3.10E-03	2.68E-03	2.22E-03	1.81E-03	1.46E-03	1.18E-03	9.49E-04	7.67E-04	6.21E-04	5.05E-04	4.12E-04	2.77E-04	1.89E-04	1.30E-04	9.11E-05	
Segments orthogonal, Rx closest - Mean	3.06E-03	3.06E-03	3.05E-03	2.88E-03	2.52E-03	2.10E-03	1.70E-03	1.36E-03	1.08E-03	8.60E-04	6.85E-04	5.47E-04	4.38E-04	3.53E-04	2.31E-04	1.54E-04	1.04E-04	7.12E-05	

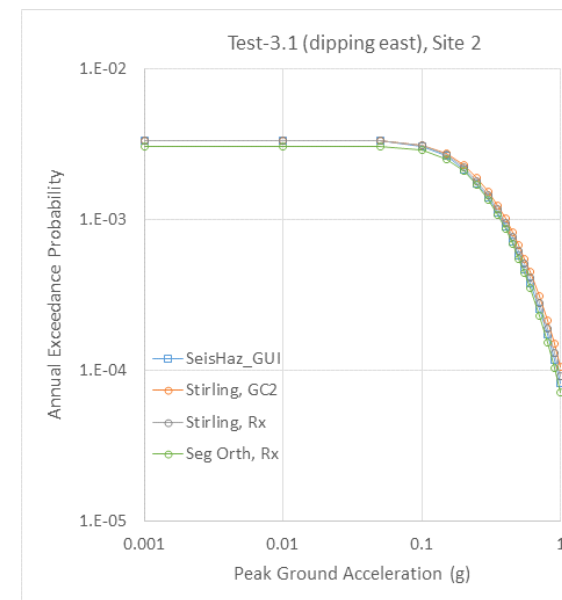
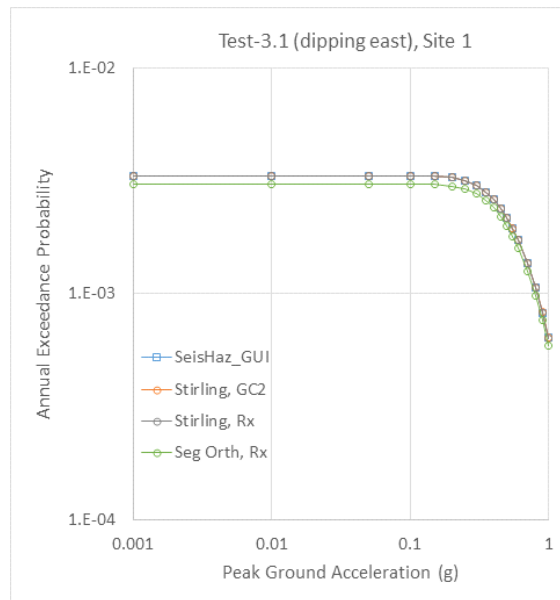


그림 C-1a. 검산모델 Test 3.1에 대한 결과 비교(Dipping East).

표 C-1b. 검산모델 Test 3.1에 대한 결과(Dipping West).

Site 3:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.32E-03	3.30E-03	3.22E-03	3.07E-03	2.87E-03	2.64E-03	2.39E-03	2.14E-03	1.89E-03	1.67E-03	1.46E-03	1.11E-03	8.33E-04	6.25E-04	4.69E-04
Stirling, GC2 - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.30E-03	3.22E-03	3.09E-03	2.90E-03	2.67E-03	2.43E-03	2.18E-03	1.94E-03	1.72E-03	1.51E-03	1.15E-03	8.75E-04	6.61E-04	4.99E-04
Stirling, Rx closest - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.30E-03	3.23E-03	3.10E-03	2.92E-03	2.70E-03	2.46E-03	2.22E-03	1.98E-03	1.75E-03	1.55E-03	1.19E-03	9.04E-04	6.86E-04	5.20E-04
Segments orthogonal, Rx closest - Mea	3.64E-03	3.64E-03	3.64E-03	3.64E-03	3.60E-03	3.51E-03	3.35E-03	3.14E-03	2.89E-03	2.63E-03	2.36E-03	2.10E-03	1.86E-03	1.63E-03	1.25E-03	9.48E-04	7.18E-04	5.43E-04
Site 4:																		
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1
SeisHaz_GUI	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.32E-03	3.27E-03	3.14E-03	2.94E-03	2.68E-03	2.40E-03	2.11E-03	1.84E-03	1.59E-03	1.36E-03	1.16E-03	8.40E-04	6.06E-04	4.37E-04	3.16E-04
Stirling, GC2 - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.32E-03	3.28E-03	3.16E-03	2.97E-03	2.73E-03	2.46E-03	2.18E-03	1.91E-03	1.66E-03	1.43E-03	1.23E-03	8.99E-04	6.55E-04	4.77E-04	3.48E-04
Stirling, Rx closest - mean	3.33E-03	3.33E-03	3.33E-03	3.32E-03	3.28E-03	3.17E-03	2.99E-03	2.75E-03	2.48E-03	2.20E-03	1.94E-03	1.69E-03	1.46E-03	1.26E-03	9.23E-04	6.75E-04	4.93E-04	3.61E-04
Segments orthogonal, Rx closest - Mea	3.64E-03	3.64E-03	3.64E-03	3.63E-03	3.56E-03	3.40E-03	3.17E-03	2.88E-03	2.58E-03	2.27E-03	1.98E-03	1.71E-03	1.48E-03	1.26E-03	9.23E-04	6.72E-04	4.89E-04	3.57E-04

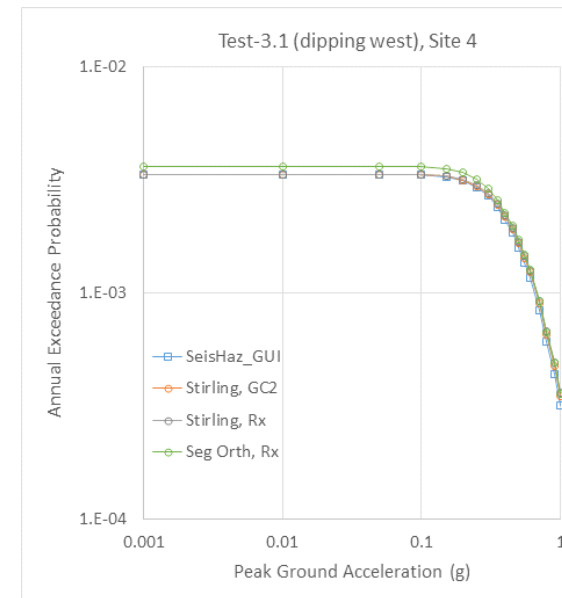
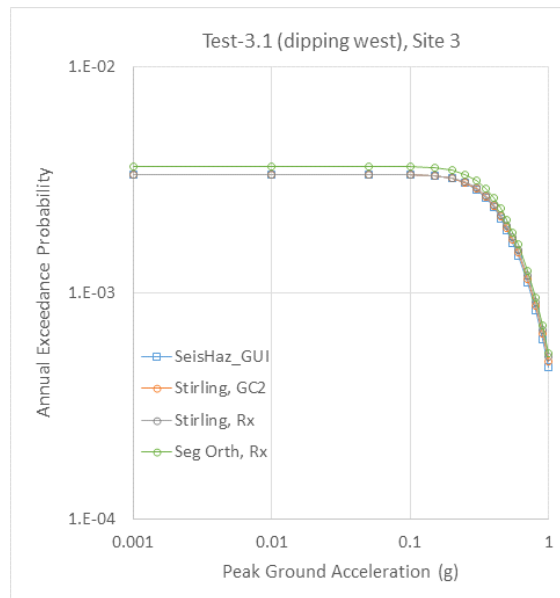


그림 C-1b. 검산모델 Test 3.1에 대한 결과 비교(Dipping West).

표 C-2. 검산모델 Test 3.2에 대한 결과.

Mean PE																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	8.53E-02	8.36E-02	5.74E-02	3.46E-02	2.18E-02	1.42E-02	9.55E-03	6.51E-03	4.50E-03	3.13E-03	2.20E-03	1.56E-03	1.12E-03	8.03E-04	4.27E-04	2.34E-04	1.32E-04	7.72E-05	
HazMapEQ	8.54E-02	8.37E-02	5.73E-02	3.45E-02	2.17E-02	1.42E-02	9.52E-03	6.49E-03	4.48E-03	3.13E-03	2.20E-03	1.56E-03	1.11E-03	8.01E-04	4.25E-04	2.33E-04	1.32E-04	7.69E-05	
RIZZO-HAZARD	8.54E-02	8.37E-02	5.75E-02	3.46E-02	2.18E-02	1.43E-02	9.56E-03	6.52E-03	4.50E-03	3.14E-03	2.21E-03	1.56E-03	1.12E-03	8.05E-04	4.27E-04	2.34E-04	1.33E-04	7.74E-05	
OpenQuake	8.54E-02	8.37E-02	5.72E-02	3.44E-02	2.17E-02	1.42E-02	9.49E-03	6.48E-03	4.47E-03	3.12E-03	2.19E-03	1.55E-03	1.11E-03	8.00E-04	4.25E-04	2.33E-04	1.32E-04	7.69E-05	
SISMIC	8.54E-02	8.37E-02	5.75E-02	3.46E-02	2.18E-02	1.43E-02	9.56E-03	6.53E-03	4.51E-03	3.14E-03	2.21E-03	1.57E-03	1.12E-03	8.07E-04	4.28E-04	2.34E-04	1.33E-04	7.75E-05	
CRISIS - rectangle	8.54E-02	8.37E-02	5.75E-02	3.46E-02	2.18E-02	1.43E-02	9.56E-03	6.52E-03	4.51E-03	3.14E-03	2.21E-03	1.57E-03	1.12E-03	8.06E-04	4.28E-04	2.35E-04	1.33E-04	7.76E-05	
PROBHAZ	8.54E-02	8.37E-02	5.74E-02	3.45E-02	2.18E-02	1.42E-02	9.53E-03	6.50E-03	4.49E-03	3.13E-03	2.20E-03	1.56E-03	1.11E-03	8.02E-04	4.26E-04	2.34E-04	1.32E-04	7.71E-05	
Median PE, interpolated																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	3.51E-02	3.43E-02	2.39E-02	1.65E-02	1.11E-02	7.49E-03	5.07E-03	3.78E-03	2.84E-03	2.10E-03	1.54E-03	1.08E-03	7.78E-04	5.66E-04	2.94E-04	1.54E-04	8.96E-05	5.53E-05	
HazMapEQ	3.51E-02	3.44E-02	2.39E-02	1.65E-02	1.11E-02	7.49E-03	5.07E-03	3.79E-03	2.84E-03	2.10E-03	1.54E-03	1.07E-03	7.73E-04	5.62E-04	2.94E-04	1.54E-04	8.89E-05	5.50E-05	
OpenQuake	3.51E-02	3.44E-02	2.38E-02	1.65E-02	1.11E-02	7.46E-03	5.06E-03	3.77E-03	2.84E-03	2.10E-03	1.54E-03	1.07E-03	7.75E-04	5.63E-04	2.93E-04	1.54E-04	8.93E-05	5.52E-05	
SISMIC	3.51E-02	3.44E-02	2.39E-02	1.65E-02	1.11E-02	7.51E-03	5.08E-03	3.80E-03	2.85E-03	2.12E-03	1.54E-03	1.08E-03	7.79E-04	5.66E-04	2.96E-04	1.55E-04	8.95E-05	5.52E-05	
PROBHAZ	3.51E-02	3.44E-02	2.39E-02	1.65E-02	1.11E-02	7.49E-03	5.07E-03	3.78E-03	2.84E-03	2.10E-03	1.54E-03	1.08E-03	7.78E-04	5.65E-04	2.93E-04	1.54E-04	8.95E-05	5.53E-05	
CRISIS - rectangle	3.51E-02	3.44E-02	2.39E-02	1.66E-02	1.11E-02	7.50E-03	5.08E-03	3.79E-03	2.85E-03	2.10E-03	1.54E-03	1.08E-03	7.80E-04	5.67E-04	2.95E-04	1.55E-04	8.99E-05	5.56E-05	
10 Percentile PE, interpolated																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	9.44E-03	9.25E-03	6.81E-03	3.74E-03	3.17E-03	2.19E-03	1.55E-03	1.09E-03	7.74E-04	5.57E-04	4.05E-04	2.98E-04	2.55E-04	1.89E-04	9.79E-05	5.14E-05	2.99E-05	1.84E-05	
HazMapEQ	9.57E-03	9.36E-03	6.87E-03	3.79E-03	3.17E-03	2.18E-03	1.54E-03	1.09E-03	7.72E-04	5.56E-04	4.06E-04	2.99E-04	2.52E-04	1.87E-04	9.80E-05	5.14E-05	2.97E-05	1.83E-05	
OpenQuake	9.56E-03	9.35E-03	6.86E-03	3.78E-03	3.17E-03	2.18E-03	1.55E-03	1.09E-03	7.74E-04	5.58E-04	4.07E-04	3.00E-04	2.54E-04	1.88E-04	9.77E-05	5.13E-05	2.98E-05	1.84E-05	
SISMIC	9.56E-03	9.35E-03	6.87E-03	3.79E-03	3.18E-03	2.18E-03	1.55E-03	1.09E-03	7.75E-04	5.59E-04	4.07E-04	3.00E-04	2.55E-04	1.89E-04	9.85E-05	5.18E-05	2.98E-05	1.84E-05	
PROBHAZ	9.46E-03	9.26E-03	6.82E-03	3.74E-03	3.17E-03	2.18E-03	1.55E-03	1.09E-03	7.73E-04	5.56E-04	4.05E-04	2.98E-04	2.55E-04	1.88E-04	9.78E-05	5.14E-05	2.98E-05	1.84E-05	
CRISIS - rectangle	9.56E-03	9.35E-03	6.88E-03	3.79E-03	3.18E-03	2.19E-03	1.55E-03	1.09E-03	7.78E-04	5.60E-04	4.09E-04	3.01E-04	2.56E-04	1.89E-04	9.83E-05	5.16E-05	3.00E-05	1.85E-05	
90 Percentile PE, interpolated																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	1.87E-01	1.82E-01	1.18E-01	6.59E-02	4.49E-02	2.77E-02	1.75E-02	1.24E-02	9.28E-03	6.84E-03	5.01E-03	3.59E-03	2.59E-03	1.88E-03	9.78E-04	5.14E-04	2.99E-04	1.84E-04	
HazMapEQ	1.87E-01	1.83E-01	1.19E-01	6.64E-02	4.50E-02	2.77E-02	1.76E-02	1.25E-02	9.31E-03	6.99E-03	4.98E-03	3.57E-03	2.58E-03	1.87E-03	9.80E-04	5.14E-04	2.96E-04	1.83E-04	
OpenQuake	1.87E-01	1.83E-01	1.18E-01	6.61E-02	4.47E-02	2.75E-02	1.74E-02	1.24E-02	9.27E-03	7.00E-03	4.99E-03	3.58E-03	2.58E-03	1.88E-03	9.77E-04	5.13E-04	2.98E-04	1.84E-04	
SISMIC	1.87E-01	1.83E-01	1.19E-01	6.64E-02	4.51E-02	2.78E-02	1.76E-02	1.25E-02	9.32E-03	7.03E-03	5.01E-03	3.60E-03	2.60E-03	1.89E-03	9.85E-04	5.17E-04	2.98E-04	1.84E-04	
PROBHAZ	1.87E-01	1.83E-01	1.18E-01	6.58E-02	4.48E-02	2.76E-02	1.75E-02	1.24E-02	9.27E-03	6.83E-03	5.00E-03	3.59E-03	2.59E-03	1.88E-03	9.78E-04	5.14E-04	2.98E-04	1.84E-04	
CRISIS - rectangle	1.87E-01	1.83E-01	1.19E-01	6.64E-02	4.50E-02	2.77E-02	1.76E-02	1.25E-02	9.31E-03	6.87E-03	5.02E-03	3.60E-03	2.60E-03	1.89E-03	9.82E-04	5.16E-04	3.00E-04	1.85E-04	

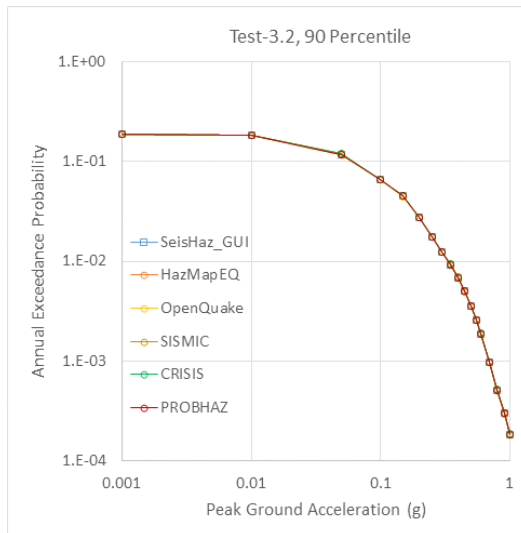
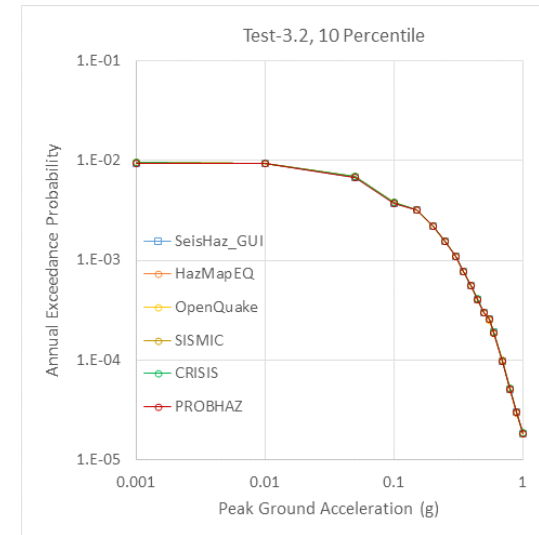
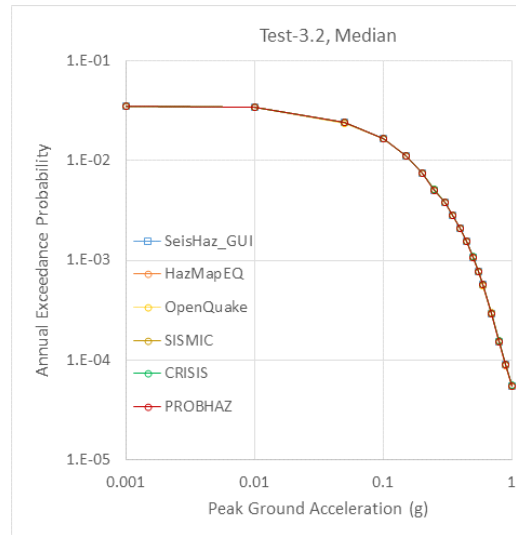
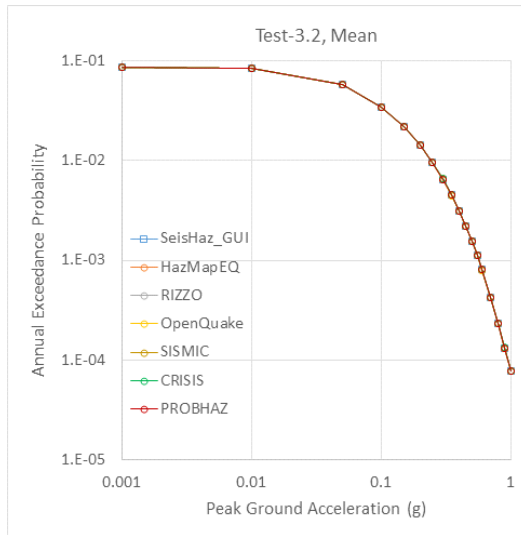


그림 C-2. 검산모델 Test 3.2에 대한 결과 비교.

표 C-3. 검산모델 Test 3.3에 대한 결과.

Site 1:																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	1.29E-02	1.18E-02	4.36E-03	1.72E-03	8.61E-04	4.95E-04	3.11E-04	2.07E-04	1.43E-04	1.03E-04	7.55E-05	5.67E-05	4.33E-05	3.36E-05	2.09E-05	1.36E-05	9.09E-06	6.25E-06	
HAZ45	1.29E-02	1.18E-02	4.35E-03	1.71E-03	8.60E-04	4.95E-04	3.11E-04	2.07E-04	1.44E-04	1.03E-04	7.57E-05	5.69E-05	4.35E-05	3.37E-05	2.10E-05	1.36E-05	9.11E-06	6.26E-06	
OpenQuake	1.29E-02	1.18E-02	4.35E-03	1.71E-03	8.60E-04	4.95E-04	3.11E-04	2.07E-04	1.44E-04	1.03E-04	7.59E-05	5.70E-05	4.36E-05	3.38E-05	2.11E-05	1.37E-05	9.14E-06	6.28E-06	
% difference	-0.02%	0.07%	0.30%	0.24%	0.12%	0.00%	-0.10%	-0.20%	-0.27%	-0.33%	-0.35%	-0.39%	-0.40%	-0.42%	-0.44%	-0.42%	-0.42%	-0.40%	
Site 2:																			
PGA (g)	0.001	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
SeisHaz_GUI	1.29E-02	8.98E-03	1.47E-03	3.71E-04	1.40E-04	6.41E-05	3.29E-05	1.82E-05	1.07E-05	6.59E-06	4.20E-06	2.76E-06	1.86E-06	1.28E-06	6.41E-07	3.41E-07	1.91E-07	1.11E-07	
HAZ45	1.29E-02	8.97E-03	1.46E-03	3.67E-04	1.38E-04	6.31E-05	3.23E-05	1.79E-05	1.05E-05	6.45E-06	4.11E-06	2.70E-06	1.81E-06	1.25E-06	6.26E-07	3.33E-07	1.86E-07	1.09E-07	
OpenQuake	1.29E-02	8.97E-03	1.47E-03	3.70E-04	1.39E-04	6.37E-05	3.27E-05	1.81E-05	1.06E-05	6.54E-06	4.16E-06	2.73E-06	1.84E-06	1.27E-06	6.37E-07	3.39E-07	1.90E-07	1.11E-07	
% difference	0.02%	0.12%	0.32%	0.62%	0.89%	1.07%	1.22%	1.33%	1.37%	1.44%	1.48%	1.51%	1.54%	1.53%	1.56%	1.56%	1.56%	1.55%	

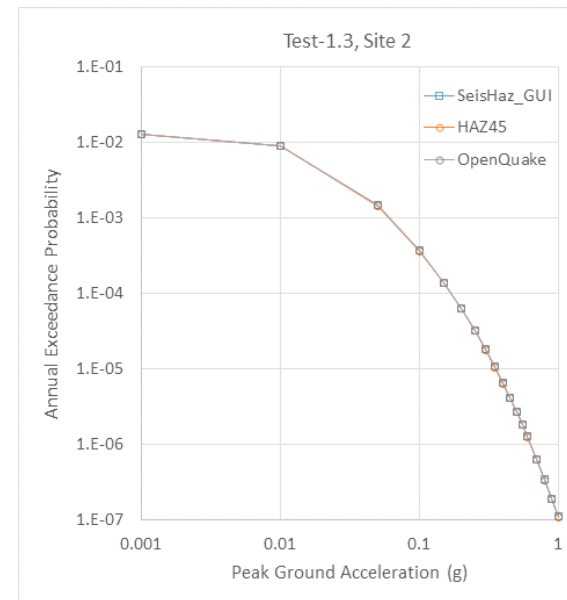
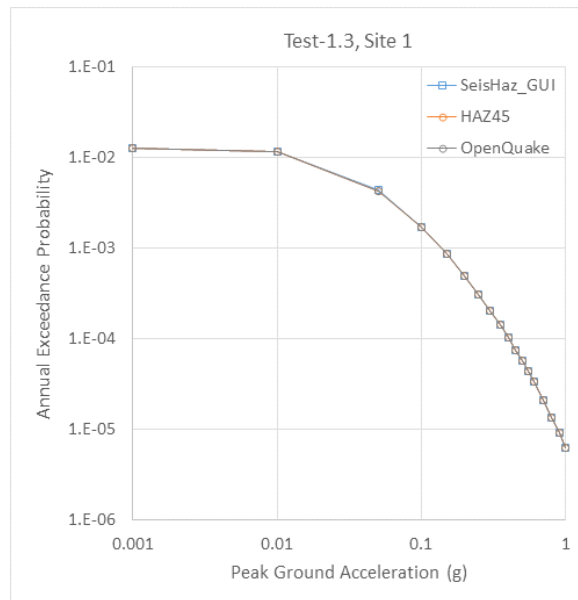


그림 C-3. 검산모델 Test 3.3에 대한 결과 비교.

