

## 왜곡된 시간이력 지진가속도를 수정하기 위한 기준선 조정기법의 적용성 검토

Gyu-Mahn Lee,<sup>a</sup> Woo-Seok Choi,<sup>a</sup> Jong-Wook Kim,<sup>a</sup> Jong-In Kim,<sup>a</sup>  
*a Korea Atomic Energy Research Institute, Yuseong, Daejeon, Korea, gmlee@kaeri.re.kr*

### 1. 서론

본 연구에서는 원자력 시설물의 내진설계에 적용되는 설계기준 지진의 주파수 응답 스펙트럼으로부터 시간이력 가속도를 생성하는 과정에서 인공적으로 생성한 시간이력 가속도를 실제의 지진특성과 유사하도록 조정하는 기준선 조정방법을 검토, 분석하고 적절한 기준선 조정방법을 제시하였다. 설계기준 지진의 응답스펙트럼으로 작성된 원자력 구조물에 대한 시간이력 가속도가 장주기 오류(long period error) 또는 기준선 왜곡(baseline distortion)으로 인하여 속도나 변위가 과도하게 계산되어 실제 지반의 물리적 특성과 상이할 경우 기준선 조정(baseline correction)을 통하여 시간이력 가속도를 수정한다. 실제 지진이 발생하고 지진이 종료된 상태에서는 지반의 가속도, 속도 및 변위의 크기는 영(零)이 되어야 한다. 그러나 인공의 시간이력 지진가속도에서는 지진이 종료된 상태에서 속도 및 변위가 영으로 접근하지 않는 경향이 나타나며 이는 실제 지반의 물리적 특성과 상이하다. 그러므로 가속도 및 속도 곡선에 기준선(baseline)을 적용하여 지반의 지진특성과 상이(相異)함을 제거하는 기준선 조정방법을 적용한다. 시간이력 가속도를 조정하는 기준선 조정방법으로써 Newmark 의 조정방법과 시간이력 가속도의 시작과 종료되는 시점에 속도 및 변위가 영(零)이 되도록 선형가속도를 초기 가속도에 가감(加減)하는 방법을 적용하였다. 각각의 기준선 조정방법은 FORTRAN 으로 프로그램을 작성함으로써 기준선 조정기법이 선택사항으로 제공되지 않는 유한요소 프로그램에서도 사용자가 적절한 방법으로 기준선 조정을 수행한 시간이력 가속도를 적용할 수 있음을 보였다. 또한 FORTRAN 으로 작성된 프로그램으로 초기가속도에 대한 기준선 조정을 실행한 시간이력 가속도에 대하여 ANSYS 유한요소 해석코드를 사용하여 응답스펙트럼을 생성하고 그 결과를 분석한 결과, 기준선 조정방법으로 수정된 가속도가 본래의 주파수 응답스펙트럼에 미치는 영향이 미소함을 입증하였다.

### 2. 설계응답 스펙트럼 및 시간이력 가속도

원자력 시설물에서 안전관련 구조물, 계통 및 기기들은 SSE 를 포함하는 어떠한 사건이 계속되는 동안이나 이후에도 안전 기능을 계속 유지하여야 한다. 설계기준 지진의 주파수 응답스펙트럼은 원자력 시설물의 지반에 대한 최대 지진 가속도를 선정하고 USNRC SRP 3.7.1(U.S. Nuclear Regulatory Commission, Standard Review Plan 3.7.1) 및 USNRC Reg. Guide 1.60 의 규정에 적합한 파워스펙트럼 밀도함수를 결정한다. 이렇게 선정된 파워스펙트럼 밀도함수 및 지반 응답 스펙트럼을 결정한 다음 이에 적합하도록 실제 기록된 지진파를 수정하거나 임의의 진동수를 갖는 정현파를 합성하여 시간이력 가속도를 작성한다.

### 3. 시간이력 지진가속도에 대한 기준선 조정 개념

주파수 응답스펙트럼을 기초로 하여 작성한 시간이력 지진가속도는 여러가지 구조물에 대하여 내진 설계의 입력자료로 사용되므로 시간이력 지진가속도는 실제로 지반에서부터 전달되는 지진가속도와 물리적 특성이 유사하여야 한다. 이를 위하여 시간이력 지진가속도를 시간에 대한 적분을 통하여 속도 및 변위 곡선을 계산하고 지반의 물리적 특성을 분석한다. 시간이력 지진가속도를 생성하는 방법에 따라 장주기 오류 또는 기준선 왜곡 등의 오차로 인하여 지반의 속도나 변위가 과도하게 계산되어 실제 지반의 물리적 특성과 상이하게 나타나는 경우가 발생한다. 이 경우에는 기준선 조정을 통하여 시간이력 가속도를 수정한다.

그림 1 에서는 시간이력 가속도 및 속도를 조정하는 기준선 조정방법을 예시하였다. 실제 지진이 발생하기 이전의 지반의 가속도 및 속도의 크기는 영(零)이며 지진이 멈춘 상태에서 지반의 가속도 및 속도의 크기는 영(零)이어야 한다. 그림 1 에서와 같이 속도 및 변위가 선형적으로 증가하는 경향은 실제의 지반의 물리적 특성과 상이하므로 가속도 및 속도 곡선에 least squares 1 차 맞춤 곡선을 기준선으로 적용하여 인공적으로 작성된 시간이력 지진곡선과 지반의 지진특성의 상이성(相異性)을 제거한다.

#### 4. 기준선 조정 방법

기준선 조정이 요구되는 시간이력 지진가속도에 대하여 기준선 조정방법을 수행하는 방법으로써, ① 최종 속도를 영(零)으로 수렴시키는 방법, ② 최종 변위를 영(零)으로 수렴시키는 방법, ③ Newmark 의 기준선 조정 방법, ④ 최종 속도 및 변위를 동시에 영(零)으로 수렴시키는 방법, 그리고 ⑤ Newmark 의 기준선 조정 방법과 최종속도 및 변위를 동시에 영(零)으로 수렴시키는 방법을 합성한 방법을 적용하였다. 위의 5 가지 방법에 대하여 FORTARN 으로 프로그램을 작성하여 기준선 조정을 수행하고, 기준선 조정이 수행된 시간이력 지진가속도와 초기의 지진가속도의 차이를 주파수 영역에서 검토하기 위하여 ANSYS 를 사용하여 주파수 응답스펙트럼을 작성하였다.

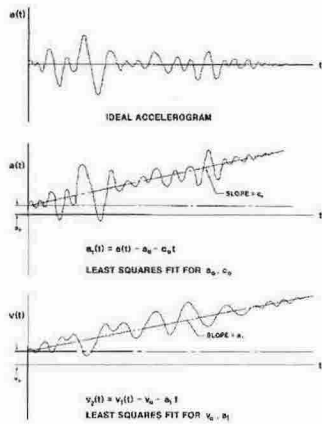


Fig. 1 Baseline Correction Concept

#### 5. 기준선 조정 결과 비교

여러가지 기준선 조정결과로 변하는 시간이력 지진가속도의 속도 및 변위를 검토하기 위하여 왜곡된 시간이력 지진가속도에 대하여 Newmark 의 기준선 조정방법, 최종 속도 및 변위를 동시에 영(零)으로 (Zero-VD) 수렴시키는 조정방법, 그리고 Newmark & Zero-VD 조정방법을 사용하여 기준선 조정을 실행하였으며, 그 결과는 그림 2 와 같다.

#### 6. 결론

기준선 조정기법을 적용하여 수정된 시간이력 가속도는 주파수 응답스펙트럼의 성분변화에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러므로 설계 지진의 시간이력 가속도를 시간에 대한 적분하여 나타나는 속도 및 변위 곡선이 실제의 지진특성을 모사하지 못하는

경우에 적절한 기준선 조정 기법을 사용하여 설계 지진의 시간이력 가속도를 수정하는 방법은 적절하다. 이 연구에서 제시하는 Newmark, Zero-VD, Newmark & Zero-VD 방법은 각각 하나의 기준선 조정방법으로 적용할 수 있으며, FORTARN 프로그램으로 작성된 기준선 조정방법을 적용하여 설계자가 실제 지진의 물리적 특성에 적합한 기준선 조정방법을 선택할 수 있다.

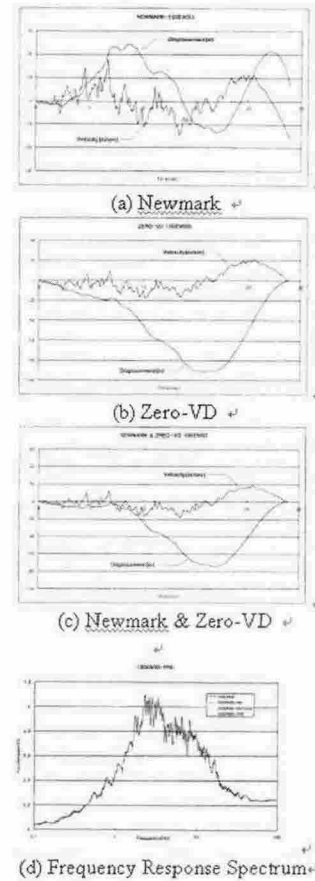


Fig. 2. Baseline Correction Results

#### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- [1] N.M. Newmark, "Earthquake Response Analysis of Reactor Structures", Nuclear Engineering and Design, North-Holland Publishing Company, 1971