

## 지진 파형의 부지응답 보정

강태섭

부경대학교 지구환경과학과, [tskang@pknu.ac.kr](mailto:tskang@pknu.ac.kr)

### Correction of Site Response from Seismic Waveforms

Tae-Seob Kang

Department of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University

지질 매체를 전파하는 지진파가 얼마나 효율적으로 전파하는지를 결정하는 요소로서 지진 임피던스를 설명하여야 한다. 지진 임피던스는 지진운동에 대한 매질의 저항 정도를 나타내며 밀도와 강성률(즉, 전단파 속도)의 곱으로 표현할 수 있다. 매질의 두 경계면에서 임피던스 차이로 인한 진폭의 차이를 분석하면 기반암 상부를 덮고 있는 국지적인 연약한 지반조건이 어떻게 지진 지반운동을 변화시키는지 쉽게 이해할 수 있다.

퇴적층과 같이 임피던스가 작은 지질 매체에서는 지진운동에 대한 저항이 감소하기 때문에 에너지 보존 법칙에 따라서 진폭의 증가로 인한 증폭이 일어난다. 그러나 상당량의 에너지는 다시 연약한 퇴적층의 damping 효과로 인하여 흡수된다.

한편 국지적인 부지 증폭 효과는 기반암 고유의 임피던스에 의해서도 영향을 받게 된다. 더 큰 강성률을 갖는 기반암일수록 더 높은 증폭을 형성하게 된다. 따라서 국지적인 부지조건을 설명하기 위해서는 해당 부지 하부 기반암의 탄성 특성에 대한 분석이 필수적이다. 토양 이외에 기반암의 조건에 따라서 증폭효과가 크게 영향을 받는다는 사실은 실제 지진운동 기록, 즉 지진 파형을 분석하는 단계에서 지진 파형이 해당 지진관측소 부지 하부의 어떤 기준 암반면 상태의 조건으로 환원될 필요가 있다는 것을 의미한다.

현장시험, 스펙트럼 비 또는 전단파 역산 과정 등을 통하여 도출한 지진관측소에 고유한 부지응답 특성 함수는 모두 주파수에 따른 지진응답 진폭의 형태로 제시된다. 이러한 주파수 함수를 실제 시간영역에서의 시계열로 나타나는 지진기록에 적용하기 위해서는 특별한 고려가 필요하다. 즉, 시계열 자료는 주파수 영역에서 진폭과 위상으로 표현할 수 있는 반면에, 부지특성 함수는 응답 진폭에 대한 정보만을 포함하기 때문이다. 따라서 부지특성 함수를 주파수 영역에서 다루기 위하여 위상에 대한 정보를 준비하여야 한다.

가장 간단한 방법은 위상을 0으로 만들고 진폭 스펙트럼을 역푸리에 변환하는 과정을 거치는 것이다. 이러한 과정은 영위상 필터를 생성하게 된다. 영위상 필터는 원래의 시계열 자료, 즉 지진기록의 위상을 변화시키지 않으며 일반적으로 원래 신호의 최대값의 위치를 변화시키지 않는다. 영위상 필터의 시계열은

푸리에 변환이 실수이기 때문에 원점에 대한 대칭이어야 한다. 그러므로 이러한 필터는 근본적으로 인과성이 결여되어 있는 특징을 지닌다.

이러한 특징을 이용하여 부지특성 함수의 진폭을 갖는 선형 위상의 Finite Impulse Response (FIR) 필터를 설계할 수 있다. FIR 필터는 지진계 센서에서 획득한 자료를 기록계에 전달하는 과정에서 원래 신호보다 낮은 샘플 수로 디지털이징하는 과정에서도 사용된다.

지진 파형 시계열 자료에 대하여 FIR 필터를 이용한 부지응답 특성 보정 절차를 설명하면 다음과 같다. 먼저, 다양한 방법을 통하여 추정된 각 지진관측소의 부지응답 함수를 준비하고, 이 함수에 상응하는 FIR 필터 계수를 계산한다. 이 계수를 이용하여 부지응답 함수에 상응하는 선형 위상의 FIR 필터 응답 함수를 계산한다. 하나의 지진관측소에서 기록한 지진 파형 시계열 자료를 푸리에 변환한 후, 미리 준비한 FIR 필터 응답 함수로 deconvolution을 수행한다. 이 결과를 다시 역 푸리에 변환하면, 해당 지진관측소 지진 파형에 대한 부지응답 보정이 이루어진 지진 파형을 얻을 수 있다.

FIR 필터 계수를 계산하는 과정에서, 부지응답 특성 함수의 진폭을 유지하며 선형 위상을 갖는 임의의 필터를 작성하고 필터의 계수가 입력 부지응답 함수에 대하여 최소자승 오차를 갖는 FIR 필터를 작성한다. 이 때, 필터계수의 개수는 곧 입력 부지응답 함수와의 최소자승 오차를 계산하기 위한 주파수 샘플 점의 밀도와 상관된다. 필터계수의 개수가 클수록 FIR 필터의 진폭 응답은 입력 부지응답 함수를 더 잘 근사하게 된다. 반면에 필터계수의 길이가 짧을수록 입력 부지응답 함수를 smoothing한 효과에 상응하게 된다.

특정한 지진관측소에서 기록한 지진 파형 시계열 자료에 대한 부지응답 보정 결과 파형은 지표면 하부의 어떤 기준깊이에서의 관측 결과와 같이 하향 연속한 결과와 같은 의미로 해석할 수 있다. 이러한 깊이는 해당 지진관측소 하부의 부지효과가 없는 기준면에 해당한다. 이러한 기준면으로부터 지진관측소 부지의 관측 여건과 무관한 실제 부지응답 효과를 다시 결합하면 지진계 설치 조건에 따라 왜곡될 수 있는 부지응답 효과를 제거한 형태의 자유장 관측결과를 얻을 수 있다. 이 때, 실제 부지응답 효과는 토질의 조건 및 기준점 상부에 위치한 암석의 탄성 특성 등에 의하여 좌우된다.