

수정된 등가선형 해석 기법의 사례를 통한 검증

Verification of Modified Equivalent Linear Analysis Through Case Study

정창균* · 곽동엽** · 박두희***

Jeong, Chang-Gyun · Kwak, Dong Yeop · Park, Duhee

Abstract

Equivalent linear method indirectly reflects a variation of shear modulus(G/G_{max}) and damping ratio (ξ) by selects mean value of every response analysis. Existing equivalent linear method does not properly consider variation of shear strain along frequencies and uses mean value. Real dynamic soil behavior is affected by shear stiffness and damping ratio. Modified equivalent linear method is developed to consider variation. Modified equivalent linear method can reflects high strain at low frequency and low strain at high frequency by using an easement curve. This study presents propriety of method by case study.

key words : Modified Equivalent Linear Analysis, Case Study, Equivalent Linear Analysis

1. 서 론

지반의 동적거동을 예측하는 해석 기법 중의 하나인 등가선형 해석기법(Schnabel et al., 1972)은 매 해석마다 변형률의 대표값을 선택하여 반복해석을 수행, 변형률에 따라 변하는 전단탄성계수비(G/G_{max})와 감쇠비(ξ)를 간접적으로 반영하는 기법이다. 기존의 등가선형 해석기법은 전단변형률을 일정한 평균값으로 나타내어 실제 지반의 거동을 정확히 모사하고 있지 못하다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 개발된 수정된 등가선형 해석기법은 주파수에 따라 변하는 변형률을 완화곡선을 이용하여 선택함으로써 저주파수의 높은 변형률과 고주파수의 낮은 변형률을 해석에 반영시킬 수 있다. 본 연구에서는 등가선형 해석기법, 비선형 해석기법과 현재 발표된 수정된 등가선형해석기법을 이용하여, 실제 발생하였던 지진 데이터에 적용, 비교하고 그 적정성을 판단해 보고자 한다.

2. 수정된 등가선형해석기법

현재 발표된 수정된 등가선형 해석기법으로는 Kausel과 Assimaki(2002)와 Yoshoda 등(2002)이 제안한 방법과 곽동엽(2004)이 제안한 방법이 있다. 위 제안식을 각각 K method, Y method, N1 method라고 명하도록 하겠다. 본 연구에서는 아래와 같이 제안한 변형률 곡선식을 N2 method라고 명하고 이를 추가로 이용하여 기존의 방법과 비교를 해보고자 한다.

$$\begin{cases} r_{eff} = r_{max} & f_{max} > f \\ r_{eff} = r_{max} \times \left\{ \frac{\exp(-af_n)}{(f_n + 1)^b} \right\} / \max & f_{max} \leq f \end{cases}$$

각 해석방법으로 Yerba_EW과의 토층 I 에서 해석한 결과 최상층에서의 변형률 스펙트럼과 완화곡선은 그림 1과 같다.

* 비회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · cgjeong721@gmail.com

** 한양대학교 토목공학과 석사과정 · duckkwak@hanyang.ac.kr

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 전임강사 · dpark@hanyang.ac.kr

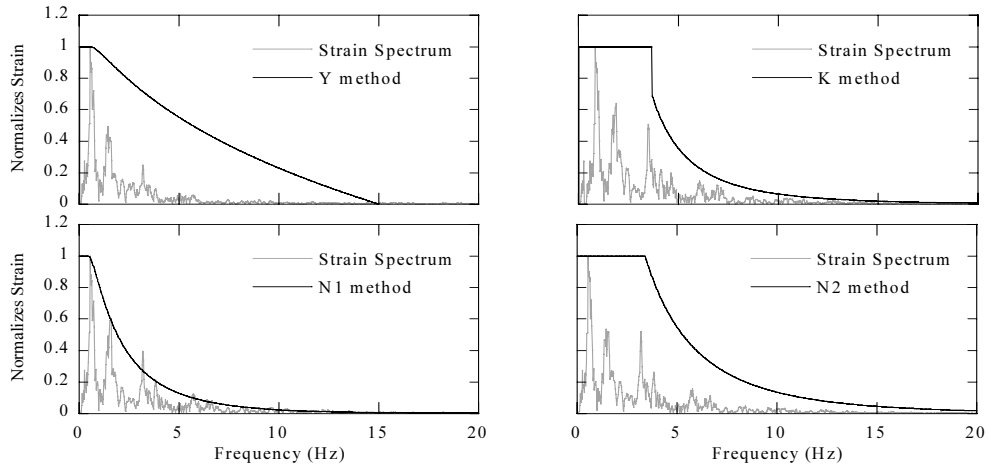


그림 1. Y method, K method, N1 method, N2 method에 의한 Yerba_EW파, 토층 I 최상층의 변형률 스펙트럼 완화곡선과 변형률 스펙트럼

3. 결과값 비교

해석에 사용된 지진파는 Yerba EW파와 Turkey Flat EW파, La Cienaga EW파이며 토층은 Treasure Island지역 토층 I, Turkey Flat 토층 II, La Cienaga 토층 III를 이용하였다. 사용된 토층과 지진파의 세부 사항, 시간이력곡선 및 주상도는 각각 표 1, 2와 그림 2, 3에 나타내었다.

표 1. 사용된 토층의 세부사항

구 분	위 치	두 계 (m)	기반암 V_s (m/sec)
I	Treasure Island, USA	88	2500
II	Turkey Flat, USA	22	1340
III	La Cienaga, USA	21	320

표 2. 사용된 지진파의 세부사항

구 분	발생 지역	지진파의 계측위치	a_{max} (g)
I	Loma Prieta, USA	Yerba BuenaIsland	0.815
II	Parkfield, USA	Turkey Flat	0.406
III	Los Angeles, USA	La Cienaga	0.22

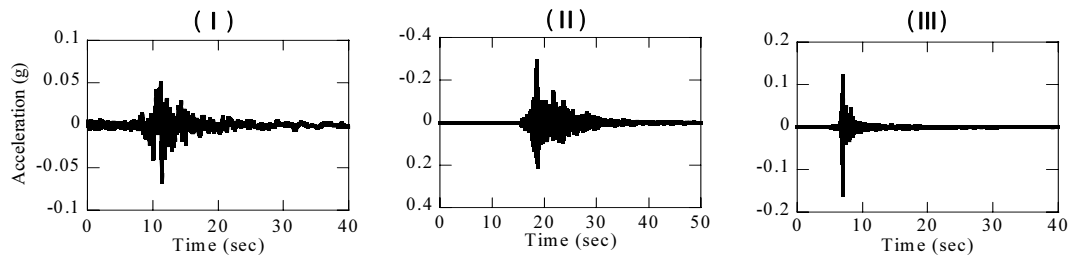


그림 2. 사용된 지진파의 시간이력곡선

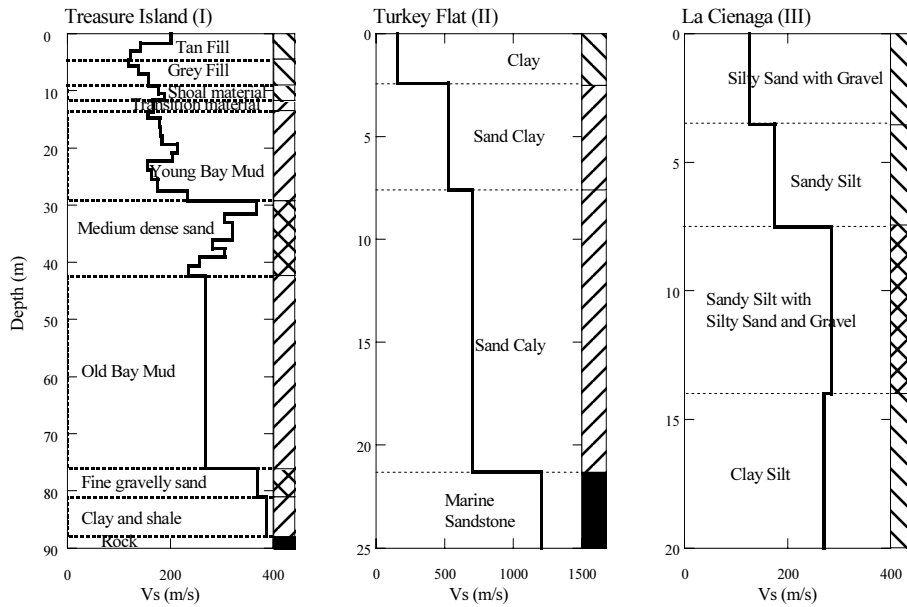


그림 3. 사용된 토층의 주상도

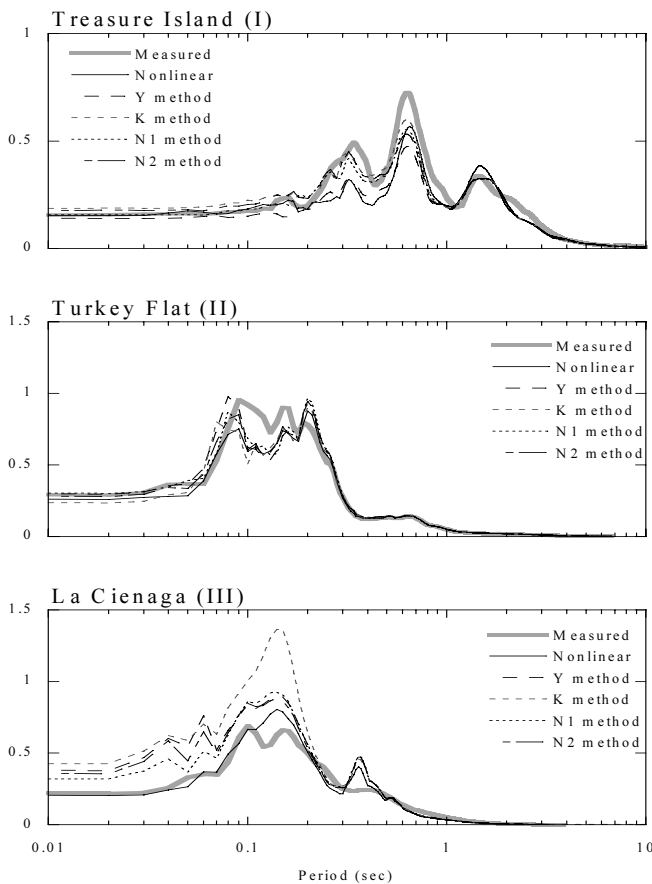


그림 4. 각 토층 최상층의 응답 스펙트럼

등가선형 해석기법(Schnabel et al., 1972), Deepsoil에 의한 비선형해석기법(Park and Hashash, 2004), Y method, K method, N1 method, N2 method를 이용한 해석치와 계측자료를 비교하였다. 그림 4, 그림 5에 나타난 응답스펙트럼과 PGA를 비교해 보았을 때, 토층 I의 경우 비선형 해석기법을 이용한 예측 결과에 비하여 수정된 등가선형 기법을 이용한 응답스펙트럼의 예측이 전반적으로 계측된 최상층의 응답에 가까운 것을 볼 수 있으며, PGA의 경우 비선형 해석기법과 N1 method가 가장 정확함을 볼 수 있다. 토층 II 또한, 비선형 해석기법을 이용한 예측 결과보다 수정된 등가선형 기법을 이용한 응답스펙트럼의 예측이 측정된 스펙트럼에 가까우며, PGA는 Y method, N1 method, N2 method가 잘 예상하였음을 알 수 있다. 하지만, 토층 III은 위 두 토층과는 상이한 결과를 보여주었다. 비선형해석기법을 통한 예측이 응답 스펙트럼과 PGA에서 모두 실제 토층의 거동과 가장 유사한 결과를 예측해 내었으며, 수정된 등가선형 기법을 이용한 예측은 실제 거동에 비하여 높은 평가를 보여 주었다. 이러한 결과로 보아 일반적으로 과대 예측되는 등가선형 해석의 단점을 보완하기 위하여 개발된 수정된 등가선형 해

석기법 또한 토층 및 입력 지진파에 따라 상이한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 등가선형해석의 단점을 보완한 수정된 등가선형 해석기법을 프로그래밍하고 그 적정성에 대해서 판단해 보았다. Treasure Island 토층 I, Turkey Flat 토층 II, La Cienaga 토층 III 과 Yerba EW, Turkey Flat EW, La Cienaga EW 지진파를 이용하여 Y method, K method, N1 method, N2 method를 비선형해석 기법과 실측 데이터와 비교한 결과, 수정된 등가선형해석이 항상 향상된 결과를 나타내지는 않았다. 저주파수의 높은 변형률에서는 높은 변형률을 선택하고 고주파수의 낮은 변형률에서는 낮은 변형률을 선택하는 수정된 등가선형해석이 실제 토층의 거동과 유사한 결과를 나타낼 것으로 예상했으나, 실제 거동보다 고평가된 결과를 예측하는 경우도 발생하였다. 반면 비선형 해석기법을 이용한 예측의 경우 어느 정도 안전한 결과를 얻을 수 있었다. 수정된 등가선형해석의 핵심은 적절한 완화곡선의 선택에 있다. 주파수의 변화를 잘 적용 할 수 있는 완화곡선의 선택과, 적절한 곡선을 선택을 판단하기 위해서는 더욱 다양한 실측 자료와의 비교가 필요하다.

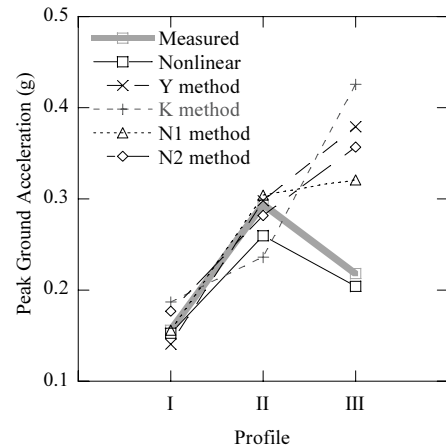


그림 5 각 토층에서의 PGA

참고문헌

1. 광동엽, 박두희, 이현우 (2002). “수정된 등가선형 해석 기법 개발 및 검증.” 2007 대한토목학회 정기학술대회, pp. 3526-3529.
2. Schnabel, P. B., Lysmer, J. L., and Seed, H. B. (1972). “SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites.” EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA.
3. Kausel, E., and Assimaki, D. (2002). “Seismic simulation of inelastic soils via frequency-dependent moduli and damping.” *Journal of Engineering Mechanics-Asce*, 128(1), pp. 34-47.
4. Park, D., and Hashash, Y. M. A. (2004). “Soil damping formulation in nonlinear time domain site response analysis.” *Journal of Earthquake Engineering*, 8(2), pp. 249-274.
5. Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I., Miura, K. (2002). “Equivalent linear method considering