

지진에 대비한 기초분리 교량의 설계법에 관한 연구(II)

A Study of Seismic Resistant Design for Base-Isolated Bridges(II)

이 상 수¹⁾ · 유 철 수²⁾

Lee, Sang Soo Yu, Chulsoo

요 약 : 제1편에서 언급한 바와 같이 기초 분리 장치의 사용은 지진의 위험으로부터 구조물의 안전을 유지시키고, 지진 응답 감소에 필요한 비선형 거동은 교체가 용이한 분리 장치에 국한 함으로써 구조물의 중요 부재들은 탄성 거동을 확보할 수 있다. 본 연구는 강재 Damper를 사용한 교량의 지진 응답에 대하여 연구하였다. 강재 Damper의 특성에 따른 응답을 분리 장치의 매개 변수 영향 별로 분리하여 검토 함으로써 지진시 거동을 파악하고, 적정한 분리 장치를 선정 할 수 있는 기준과 단순화된 설계 방법을 제시하였다. 제시된 시방서 형식의 설계 방법은 비선형 스펙트럼에 의한 모드 해석법으로, 관성력 또는 기초 분리 장치를 포함한 연결부 및 하부 구조의 높이별 설계력을 비교적 정확하게 평가될 수 있다. 따라서 제시된 설계 방법은 기초 분리된 교량의 기본 또는 최종 설계용으로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 설계 방법의 타당성 검증을 위해 bilinear 이력의 강재 Damper를 사용한 P.C 교량에 대해 인공 지진파를 이용한 비선형 시간 이력 해석과 설계 응답 스펙트럼에 의한 탄성 수치 해석을 수행하여 단순 설계 방법과 비교 검토하였다.

ABSTRACT : As stated in Part(I), the use of the isolator is meant to protect a structure from seismic risk, by concentrating the inelastic deformations to relatively cheap and replaceable devices while the rest of the structures remains elastic. This research has been carried out to investigate the effects of various structural parameters and isolator characteristics on the seismic response of Base Isolated Bridges. Simplified analysis method for practical design is developed by using the results. The Proposed Code-Type approach method can be used to estimate the inertial forces accurately, not only at the isolator but throughout the height of the Base-Isolated Bridges. The proposed

1) 정회원, 새길엔지니어링 구조기술사, 공학박사

2) 정회원, 고려대학교 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 1998년 5월 31일까지 학회로 보내
주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

method is recommended to use in preliminary design tool or even a final design tool for Base Isolated Bridges. For the validation of simplified design method, examples with artificial earthquake time history and design response spectrum for P.C Box Bridge with bilinear hysteretic steel damper are evaluated.

핵심 용어 : 지진, 기초 분리, 교량, 면진 간편 설계법, 인공지진파

KEYWORDS : Earthquake, Base-Isolation, Bridges, Simplified Design Methods, Artificial earthquake

1. 서 론

본 연구의 1편에서 분리 장치의 이력 곡선 특성에 따른 주기 이전과 추가 감쇠의 산정 방법, 분리 장치의 상태 변화에 따른 변위 및 설계력에 대해 연구하였다. 또한, 유효 강성에 따른 주기 이전율과 분리 장치의 상태별 지진 응답 계수의 범위 및 수렴성을 검토하여, 선형 설계 방법의 적용 가능성을 검토하였다.

과거 많은 연구가 등가 선형 해석법의 개발에 집중적으로 수행되었으나, 등가 선형 해석법은 대규모의 소성 변위 거동 예측이 곤란하며, 해석의 정도가 낮고, 정확한 해석법은 적용의 복잡성과 통계적 기법에 의존해야 하는 문제가 있다. 설계 방법에 대한 연구(II)는 비선형 응답의 선형 해석 방법에 대한 연구를 바탕으로 근사적인 비선형 해석법을 제시하며, 기초 분리 장치의 특성과 구조 특성에 대한 영향을 정리하여 결과를 단순 설계 방법의 개발에 활용하였다.

지진에 대한 구조 응답은 분리 장치의 이력 곡선 형상에 따른 유효 강성과 추가 감쇠에 지배되며, 구조물의 고유 주기 및 질량 및 강성의 배치 등의 기하학적 형상에 따라 달라진다. 그러나 본 연구에서는 지진 하중에 대한 단순 설계법의 개발을 목적으로 하여 질량과 강성 중심의 편심에 의한 비틀 효과와 P-Δ 효과는 고려하지 않았으며, 구조 감쇠는 Rayleigh에 의한 구조물의 감쇠와 기초 분리 장치에 의한 추가 감쇠를 별도로 고려

하였다.

또한, 해석법의 검증을 위하여 직접 적분법에 의한 비선형 시간 이력 해석(Time History Analysis : T.H.A)과 단순화된 설계법의 결과를 검토하였다. 검토 결과 간편 설계법은 80% 이상의 높은 정도를 갖으며, AASHTO 또는 등가 선형 방법에 비해 결과가 우수하였다. 단순 설계법은 설계 과정이 단순할 뿐만 아니라, 지진에 대해 계측 자료가 부족 국내의 지진 연구 실정을 감안할 때 설계 목적으로 적합한 방법이 될 수 있을 것이다.

2. 매개 변수의 영향 검토

2.1 분리 장치의 매개 변수 영향

분리 장치의 종류는 매우 다양하고 각각의 특성과 장단점 및 적용 대상이 서로 상이하지만 분리 장치는 재료 및 구성 요소의 조합에 따른 매개 변수로 표시될 수 있으며, 지진 응답에서 분리 장치의 형식은 중요하다.

본 연구에서는 매개 변수가 지진 응답에 미치는 영향에 대한 검토를 수행하였으며, 이력 곡선(Hysteresis loop) 특성의 강재 Damper를 bilinear 모형으로 사용하였다. 지반 운동은 지반 형식 1에 지속 시간 24.0초, 최대 지반 가속도 0.14g의 인공 지진파를 사용하였다.

매개 변수에 따른 지진 응답은 분리 장치의 이력 곡선 특성에 따른 고유 주기의 이전과 상부 구조와 하부 구조의 상대 변위 및 하부 구조의 설계력으로서의 교각 전단력과 전도 모멘트에 대해 해석 결과를 정리하였다.

2.2.1 분리 장치의 매개 변수

정형화된 bilinear 이력 곡선은 항복력 F_y 의 변화에 따라 (그림 1)과 같이 여러 형상을 나타내며, 전체 응답 이력은 반복적인 탄성과 소성 거동을 포함하고 있다. 또한, 분리 장치의 기능인 지진 지배 주기의 이탈과 추가 감쇠 효과는 항복력과 강성 및 분리 장치의 연성도에 따라 지배된다.

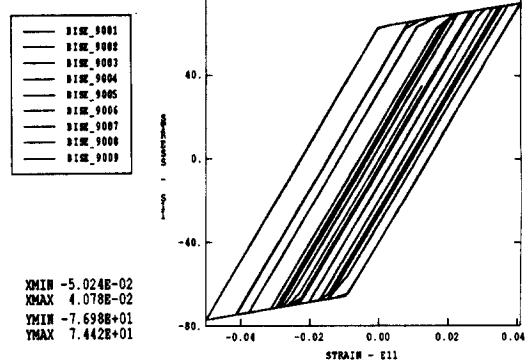
bilinear 이력 곡선에 대해서 유효 강성 K_{eff} 과 추가 감쇠 E_h 는 초기 강성 k_o 와 초기와 항복 후의 강성비 α 및 최대 변위 연성도 μ 를 사용하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$K_{eff} = K_o \left[\frac{1-\alpha}{\mu} + \alpha \right] \quad (1)$$

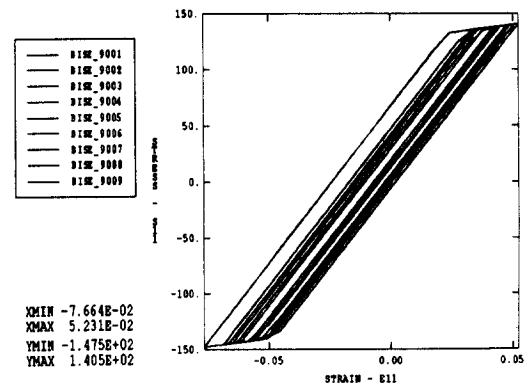
$$E_h = \frac{2}{\pi} (1-\alpha) \left(\frac{\mu-1}{\mu^2} \right) \frac{k_o}{K_{eff}} \quad (2)$$

추가 감쇠는 이력 곡선의 대각선 폭에 의해 추정되며 이력 곡선의 최대 힘과 변위에 의한 사각형 면적 대 이력 곡선 면적 비를 계수 R 로 표시하면, R 은 선형 탄성일 경우 0.0이며, 초기 강성이 대단히 크고 완전 탄-소성 상태일 때 최대 1.0의 값을 갖는다.

$$0.0 \leq R = \frac{(1-\alpha)(\mu-1)}{\mu[1+\alpha(\mu-1)]} \leq 1.0 \quad (3)$$



(a) $K_o=2.0W/m$, $\alpha_Ko=10\%W/m$, $\sigma_y=5\%W$



(b) $K_o=2.0W/m$, $\alpha_Ko=10\%W/m$, $\sigma_y=10\%W$

그림 1. 항복력별 bilinear 이력 곡선

2.2.2 유효 강성 및 추가 감쇠

연성도 μ 와 항복후 강성비 α 에 따른 유효 강성과 추가 감쇠는 (그림 2,3)와 같다. (그림 2)과 같이 유효 강성은 항복후 강성의 증가에 따라 증가하며, 연성도 μ 의 증가에 따라 감소한다. 또한 유효 강성의 감소율은 연성도가 2.0에서 6.0사이일 때 현저하며, 15.0이상일 경우에는 유효 강성의 변화율이 감소한다.

또한 (그림 3)에 표시된 바와 같이 연성도와 항복후 강성비에 따른 추가 감쇠 곡선에서 항복후 강성이 감소함에 따라 추가 감쇠가 증가하고, 연성도의 증가에 따라 감쇠하는 추세를 나타내지만, 3.0에서 6.0의 연성도 구간에서 추가 감쇠가 최대치를 나타냄을 알수 있다.

따라서 bilinear 이력 특성의 분리 장치에 의한 주기 이전과 추가 감쇠에 의한 에너지 소산 기능을 최대화하기 위해서는 항복후 강성이 작을수록 효과가 있으며, 연성도는 최소 3.0에서 최대 7.0일 때 bilinear 이력 특성 분리 장치가 최적의 기능을 확보할 수 있다.

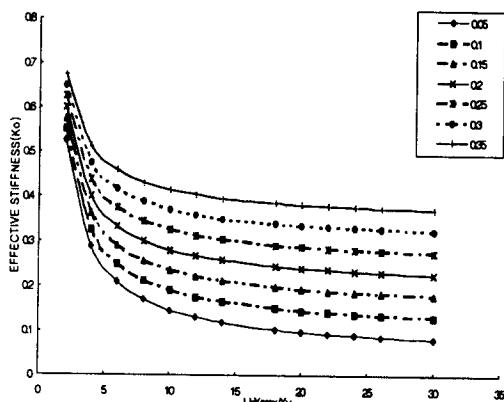


그림 2. 연성도에 따른 유효 강성 변화

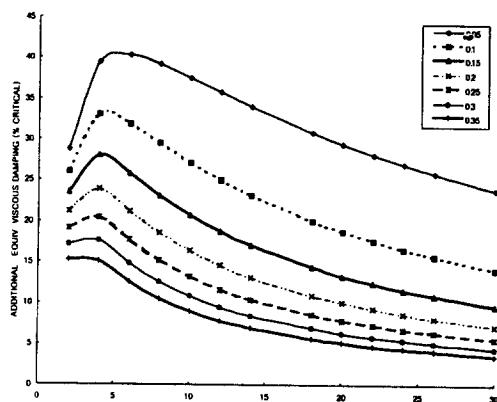


그림 3. 연성도에 따른 추가 감쇠 변화

2.2.3 유효 강성에 의한 주기 이전

bilinear 이력의 분리 장치에 의한 주기 이전 영향은 1편에서와 같이 분리 장치의 상태와 비분리 구조의 고유 주기에 따라 변화된다.

본 연구에서는 유효 강성의 변화에 따른 주기 이전의 영향을 보다 세부적으로 검토하였다. 유효 강성은 사하중에 대한 계수로 1.0W, 1.2W, 2.0W, 3.0W, 4.0W, 5.0W, 6.0W, 7.0W, 8.0W, 8.3W를 사용하여 10단계로 변화시켰으며, 비분리 구조의 고유 주기는 0.4초, 0.6초, 0.8초, 1.0초, 1.2초, 1.5초의 6가지 형식의 교량으로 P.C Box 교량을 선정하였으며, 교각의 높이를 변화시켰으며, 교각당 상부 사하중 W는 1400ton으로 가정하였다.

검토 결과는 (그림 4)와 같으며, 유효 강성의 감소에 따라 고유 주기의 이전 효과가 현저하고, 비분리 구조의 고유 주기가 작은 강성 구조인 경우에 분리 장치의 효과가 증가한다. 그러나 고유 주기가 1.0초를 넘는 연성 구조에서의 유효 강성 변화에 대한 주기 이전비는 미소하며 분리 장치에 의한 주기 이전의 효과가 매우 작다.

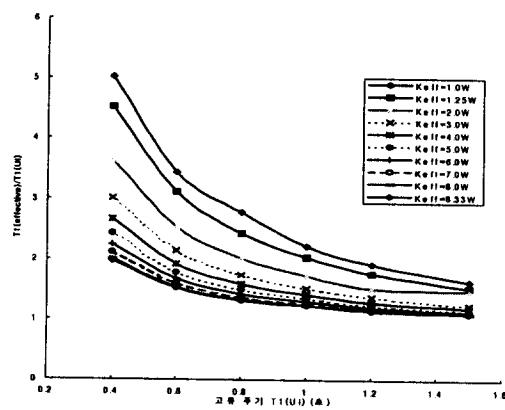


그림 4. 유효강성에 따른 주기이전비

2.2.4 상대 변위량

0.1초 이상의 고유 주기에 대한 응답 스펙트럼은 절대 변위보다 상대 변위가 지배적이라는 연구

(Chia-Ming Uang, 1988)와 상대 변위에 의한 설계력 산정 과정을 고려하여, 분리 장치의 초기 와 항복후 강성 및 항복력의 변화에 따른 최대 상대 변위량을 검토하였다.

매개 변수의 영향을 독립적으로 분석하기 위해 비분리 구조의 고유 주기 0.4초인 교량에 대해, 항복후 강성 a 를 고정하고, 초기 강성 K_0 과 항복력 F_y 를 변화시켜, (그림 5)와 같이 초기 강성과 항복력의 변화에 따른 상부의 최대 변위 거동을 나타내었다. (그림 5)과 같이 초기 강성의 증가에 따라 변위량은 감소하고, 항복력의 증가에 따라 변위가 감소와 증가를 나타내는 곡선을 나타내며, 항복력 5.0%~7.0%W 구간에서 최저점이 존재한다. 항복력이 과소한 경우, 분리 장치는 지진에 의해 소성 거동하며, 이력 곡선이 협소한 폭을 유지함으로 추가 감쇠가 적어져 응답이 증가하므로 초기 강성의 영향은 작고, 항복력 10%W 이상에서는 항복력의 영향이 작다.

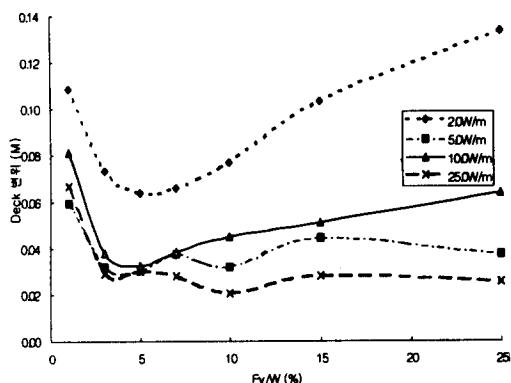


그림 5. 초기 강성과 항복력에 따른 변위

항복력이 5%W 이상인 경우, 추가 감쇠의 증가로 상대 변위 및 고유 주기의 감소를 유발한다. 초기 강성 K_0 을 2.0W로 일정하게 유지하고, 항복후 강성 aK_0 과 항복력 F_y 를 변화시킬 때의 상판의 변위를 (그림 6)에 표시하였다.

일반적으로 항복후 강성이 감소할수록 응답 변위가 증가하나, 증가율은 일정 항복후 강성 경우 보다 크지 않다. 특히 항복력 5%W 이하에서 상판의 변위는 항복력 F_y 의 감소에 따라 증가하며, 항복력 5%W 이상에서 변위는 초기 강성의 영향에 의해 지배되기 때문에 항복력에 따른 변위의 변화는 매우 작다.

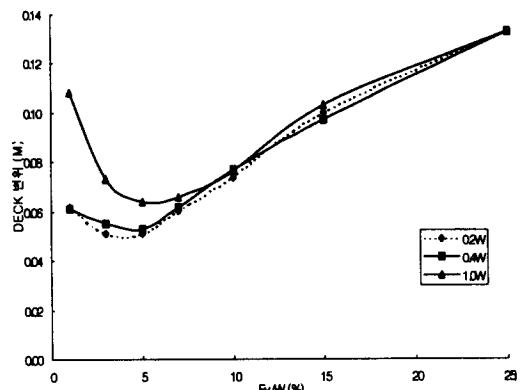


그림 6. 항복후 강성과 항복력에 따른 변위

2.2.5 설계 전단력 및 모멘트

상대 변위에 대한 검토 방법과 동일한 방법을 교각 하부의 전단력과 전도 모멘트에 적용하여 검토하였다. 검토 결과, 구조물의 설계력의 매개 변수에 대한 추세는 변위와 유사하며, 분리 장치의 bilinear 이력 곡선의 형상에 지배됨을 알 수 있다.

매개 변수의 영향을 독립적으로 분석하기 위해 비분리 구조의 고유 주기 0.4초인 교량의 항복 후 강성 a 를 고정하고, 초기 강성 K_0 과 항복력 F_y 를 변화시켜 (그림 7), (그림 8)과 같이 초기 강성과 항복력의 변화에 따른 최대 전단력과 모멘트 곡선을 작성하였다. (그림 7), (그림 8)에서 나타난 바와 같이 초기 강성의 증가에 따라 전단력과 모멘트는 감소하고, 항복력의 증가에 따라 전단력이 감소와 증가를 나타내는 곡선을 나타내며, 항복력이 3.0%W~5.0%W 구간에서 기울기가 영

이 되는 최저점이 존재한다.

항복력이 과소한 경우, 초기 강성의 영향은 미소하고, 항복력이 5%W 이상인 경우, 작은 초기 강성에 대해 항복력과 변위량은 항복후 강성에 비례하며, 초기 강성이 10W이상인 경우 항복력에 의한 영향이 매우 미소하다.

항복력이 5%W이상인 경우, 추가 감쇠의 증가와 상대 변위 및 고유 주기의 감소를 유발한다. 초기 강성 K_0 을 2.0W로 일정하게 유지하고, 항복후 강성 ak_0 과 항복력 F_y 을 변화시킬 때의 전단력과 모멘트를 (그림 9)과 (그림 10)에 표시하였다. 일반적으로 항복후 강성이 감소할수록 전단력

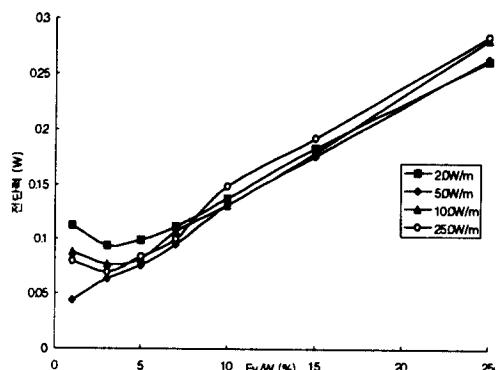


그림 7. 초기 강성과 항복력에 대한 전단력

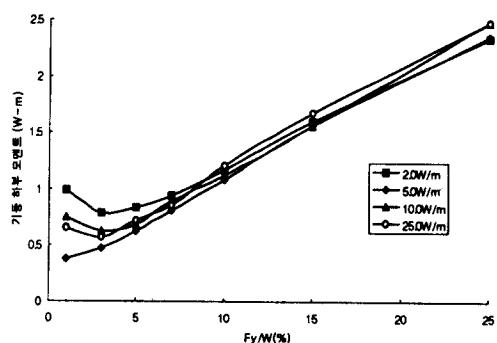


그림 8. 초기 강성과 항복력에 대한 모멘트

이 다소 감소하나, 감소율은 일정 항복후 강성 경우보다 크지 않다.

특히 항복력이 5%W 이하인 경우, 전단력은 항복력 F_y 의 감소에 따라 급격히 증가하며, 항복력이 5%W 이상인 경우에 전단력은 초기 강성의 영향에 의해 지배되어 항복력 변화에 따른 변위의 변화가 매우 작다.

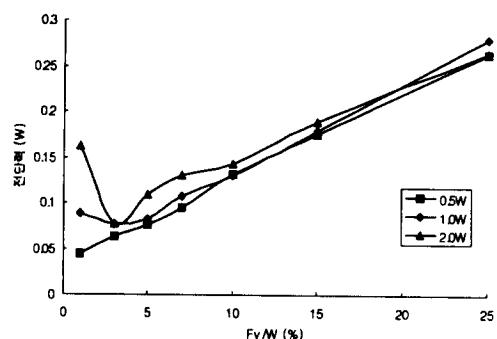


그림 9. 항복후 강성과 항복력에 대한 전단력

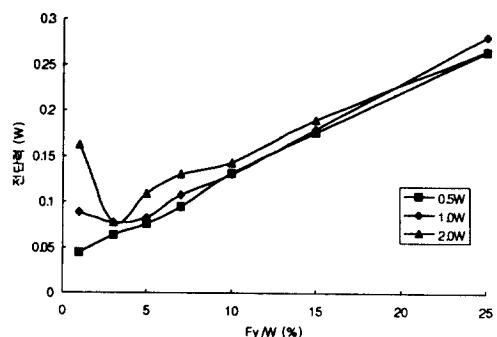


그림 10. 항복후 강성과 항복력에 대한 모멘트

2.3 단순화된 설계 방법

현재의 국내 시방서의 접근 방법은 등가 정적 해석 또는 단일 모드 해석 방법을 원칙으로 하고,

내진 설계가 의무 실행된 후 상당한 기간이 경과 하여, 설계 기술 및 경험이 축적되었고, 모드 해석법에 대한 인지가 높은 상태이다.

따라서 본 연구에서 제안하는 분리 장치에 대한 설계 방법도 내진 설계 방법과 유사한 설계 과정으로 기술자들의 친밀성을 확보하여 분리 기법의 활용성을 제고하기 위해, 탄성 모드 해석 방법을 적용하기에 적합한 설계 과정의 개발에 목적을 두었다. 단순 설계 방법의 단계별 해석 과정 흐름도는 (그림 11)과 같다.

(1) 제1단계 : 비분리 구조의 주기 결정

분리 장치를 사용하지 않은 구조물의 고유 주기를 산정한다. 계획 단계 또는 기본 설계 단계에서의 고유 주기 산정식에 대해서는 비분리 구조계의 고유 주기를 산정할 수 있으며, 분리 장치 적용성에 대해서도 검토한다.

(2) 제2단계 : 분리 장치의 선정

분리 장치의 선정 또는 분리 장치의 이력 곡선의 지배 변수는 설계 수평력이며, 상시 설계 하중에 대한 최대 허용 수평 변위량과 지진 하중의 강도와 분리 장치의 극한 하중 수준에 의한 분리 장치의 안정성을 확보하여야 한다.

분리 장치 변수의 변화에 따른 영향은 2장에서 검토한 바와 같으며, 2장의 해석 결과를 참조로 분리 장치의 매개 변수의 조합 범위를 산정할 수 있다. 또한, 설계자는 최적의 변수 선정을 위하여 구조물의 동적 특성과 지역적 특성에 의한 설계 지진 하중의 변화 및 기초 분리 장치의 특성에 대한 이해가 필요하다.

(3) 제3단계 : 변위 및 연성도의 가정

최대 변위 x_{max} 과 연성도 μ_{assum} 를 가정한다.

(4) 제4단계 : 유효 강성의 산정

(식 1)에 의해 최대 변위와 항복후 강성에 의한 유효 강성을 산정한다.

(5) 제5단계 : 추가 감쇠 산정

유효 강성과 분리 장치의 초기 강성 및 연성도와 항복후 강성에 따른 분리 장치의 이력 특성으로 추가 감쇠를 (식 2)로 부터 결정한다. 전체 구

조계의 유효 감쇠는 구조물의 고유 감쇠치와 재료의 이력 감쇠치의 합으로 표시된다

$$Add.\lambda = E_h = \frac{2}{\pi} R \quad (4)$$

$$R = (1 - \alpha) \left(\frac{\mu - 1}{\mu^2} \right) \frac{k_0}{k_{eff}} \quad (5)$$

여기서 R은 이력 곡선비로 이력 곡선의 직사각형 대 이력 곡선 내부 면적비이다.

(6) 제6단계 : 유효 고유 주기의 결정

(그림 5) 또는 (식 6)을 이용하여 유효 고유 주기를 산정한다. 비정형 구조물에 대해서는 적절한 모드 해석법에 의하여 고유 주기를 산정하여야 한다.

$$\text{Log}_e \frac{(T_{EFF})}{T_1(UI)} = A \text{Log}_e T_1(UI) + B \quad (6)$$

$$\text{여기서 } \text{Log}_e(A) = 0.62258 \text{ Log}_e(K_{EFF}) + 0.16055$$

$$B = -0.192836 \text{ Log}_e(K_{EFF}) + 0.863318$$

(7) 제7단계 : 수정 설계 응답 스펙트럼 산정

제5단계와 6단계에서 결정된 유효 주기와 구조물의 추가 감쇠에 대한 수정 설계 응답 스펙트럼을 작성한다. 이때 유효 주기와 전체 강성에 의한 수정 가속도 응답 스펙트럼 계수는 다음식에 의한다.

$$\text{Log}_e C_s = -A \text{Log}_e(T_{EFF}) - B \quad (\text{식 } 6)$$

$$\text{여기서 } A = -0.1433 \text{ Log}_e(\lambda_{ADD} + \lambda_{STRUC}) + 1.641$$

$$B = 0.4393 \text{ Log}_e(\lambda_{ADD} + \lambda_{STRUC}) + 0.768$$

(8) 제8단계 : 주기와 감쇠에 의한 변위 산정

5단계와 6단계에서 결정된 유효 고유 주기와 구조물의 전체 감쇠에 대한 설계 규정 또는 시방서에서 규정한 가속도 스펙트라를 수정한 수정 설계 응답 스펙트럼을 이용하여 변위를 산정한다. 또한 최대 상대 변위 및 변위 연성도 μ_{cak} 를 계산한다.

(9) 제9단계 : 연성도 산정 및 비교

제3단계에서 가정한 가정 연성도 μ_{ass} 와 제7단계에서 계산된 최대 연성도 μ_{cak} 를 비교한다. 가정치와 계산치에 5% 이상의 오차가 발생한 경우

단계 3에서 단계 8의 과정을 반복한다.

이때 연성도는 새로운 계산치를 사용하며 계산치가 수렴할 때까지 반복한다.

(9) 제10단계 : 분리 장치에 대한 상세 설계 종류별 분리 장치 설계법과 자료에 의해 선정된 분리 장치의 세부 설계를 수행한다. 그러나 분리 장치 성능에 대한 시험은 분리 장치나 받침의 제작 또는 공급자의 특성에 따른 것으로, 본 연구의 범위를 초과하므로 본 연구에서는 다루지 않았다.

(10) 제11단계 : 설계력 결정

추가 감쇠와 구조 감쇠의 합인 전체 감쇠 계수에 의한 스펙트럼 수정 계수로 수정 설계 응답 스펙트럼에 의한 동적 탄성 해석을 한다.

(11) 제12단계 : 구조 부재의 상세 설계 단계 제10단계에서 결정된 설계력에 대한 부재의 상세 설계를 수행하는 단계로서, 기초의 안정성 및 부재의 보강 철근량의 산정과 철근 상세 설계에 따른 도서 작성 단계이다.

구조물의 내진설계 방법을 단일 모드 해석 방법 또는 등가 정적 해석 방법으로 규정하고 있는 국가나 설계 관련자들에게, 기초 분리 구조의 해석법을 시방서 형식의 단일 모드 해석 방법으로 접근하는 것이 적합할 것이다.

특히 지진에 관한 계측 자료나 지진 파형에 따른 구조물의 응답에 대한 정확한 설계 자료의 축적이 부족하고 지진 파형의 결정이 내진설계의 과정 범위를 초과하는 한반도와 같은 지역에서의 지진에 대한 설계에는 단일 모드 해석에 의한 설계 응답 스펙트럼을 이용한 설계 방법이 합리적이다.

2.4 해석 방법별 결과

제시된 설계법의 타당성 검토를 위하여 모형 교량에 대한 방법별 결과를 비교하였다.

해석 방법은 Bilinear 이력(BLH 2-10-5)의 분리 장치를 사용한 교량에 대해 인공 지진파를 이용한 비선형 시간 이력 해석과 감쇠와 유효 강

성에 의한 선형 시간 이력 해석 및 감쇠별 수정 응답 스펙트럼에 의한 모드 스펙트럼 해석을 수행하였다. 해석 결과의 비교 대상은 설계 관점에서, 교량 상부의 변위 및 주기와 교각 하부의 전단력과 모멘트를 비교하였다.

해석 모형은 (그림 12)과 같고, 상부 구조의 모델링은 질량 중심의 부재 축선과 교각 상단을 강체 보로 지지하고, 양단을 연결한 다중 모드 해석 모형(M-RSA)과 집중 질량과 집중 강성에 의한 단일 모드 해석 모형(S-RSA)으로 가정하였다. 연결보의 강성을 유효 강성으로 모형화하고, 추가 감쇠는 응답 스펙트럼의 수정 및 등가 감쇠를 이용하여 감쇠기과 탄성 스프링을 병렬로 연결하였다. 비선형 및 선형 시간 이력과 모드 해석 법에 의한 결과를 (표 1)과 (표 2) 및 (그림 13)에 나타내었다.

표 1. 비분리 주기 0.3초의 해석 방법별 결과

구 분	변 위 (cm)		전단력 (ton)	교각 모멘트 (t-m)	고유 주기 (sec)
	교각 상부	분리 장치			
비선형 T.H.A BLH 2-10-5 $x_y = 2.5 \text{ cm}$	0.131	5.11	92.76	800.70	2.18 Turking
선형 T.H.A $k_{eff} = 1603.18t/m$	0.120	4.226 (88%)	88.79 (96%)	733.60 (91.7%)	2.40 Turking
동가 점성 감쇠기 25% C_a					
M-R.S.A $k_{eff} = 1603.18t/m$	0.125	4.788 (94%)	88.34 (95%)	787.25 (98.3%)	T1(IY) = 2.010 T eff = 2.038
25% 감쇠 IDRS					
S-R.S.A $k_{eff} = 1612.63t/m$	0.123	4.671 (91%)	88.47 (95%)	775.64 (96.9%)	T1(IY) = 2.004 T eff = 2.00
25% 감쇠 IDRS					

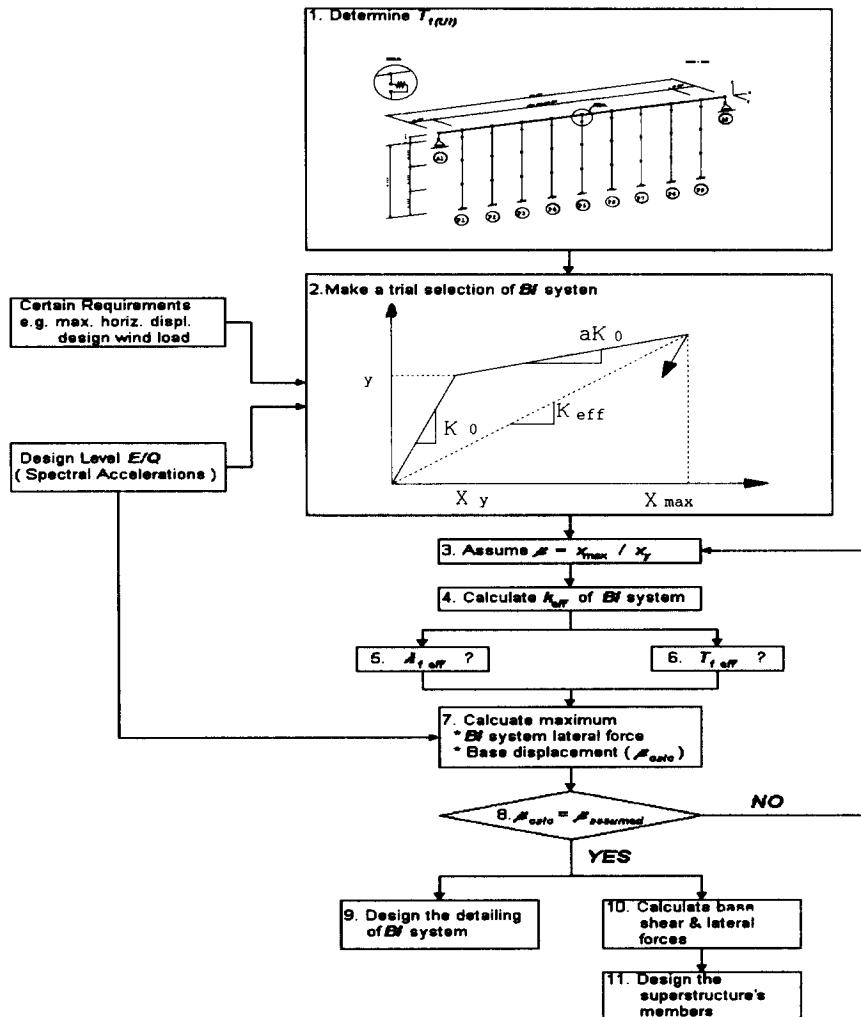


그림 11. 간편 설계방법의 설계 흐름도

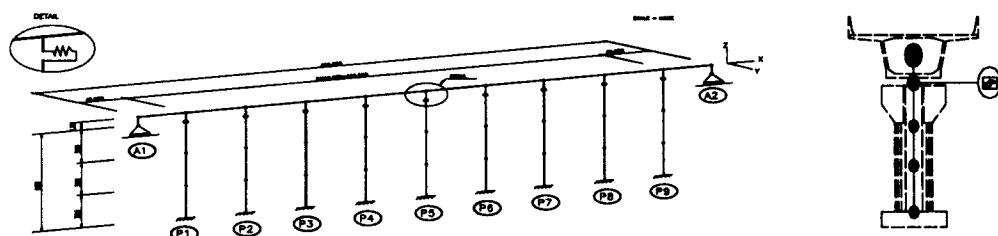


그림 12. 해석에 사용된 교량 모형

3. 결론

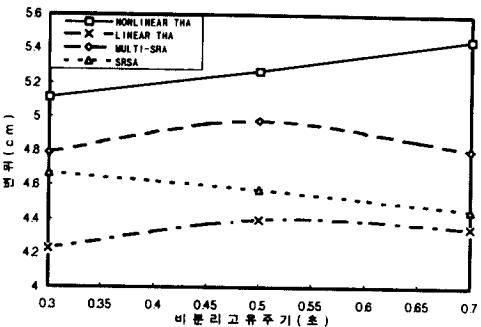
기초 분리 방법은 구조물에 대한 지진 피해를 방지하는 효과적인 방법으로 지반 및 지진 특성에 의한 구조 진동을 제어하여 사용 및 안전성을 확보할 수 있다.

구조의 비선형 응답은 비선형 THA에 의할 수 밖에 없으나, 비선형 THA은 과정이 복잡하고, 결과가 불안정하다. 따라서, 기초 분리 교량의 응답 계산 또는 분리 장치의 선정 목적으로 간편하고, 안정적인 근사치를 제공하는 간편한 설계 방법의 개발이 필요하다.

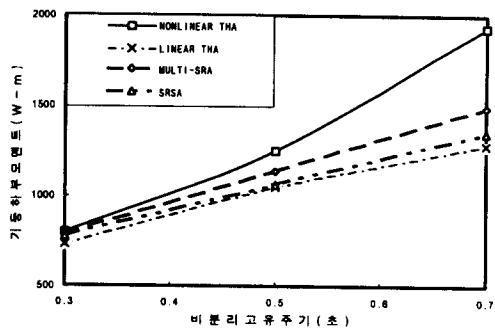
표 2. 비분리 주기 0.5초의 해석 방법별 결과

구분	변위 (cm)		전단력 (ton)	교각 모멘트 (t-m)	고유 주기 (sec)
	교각 상부	분리장치			
비선형 T.H.A BLH 2-10-5 $x_c = 2.5 \text{ cm}$	0.349	5.27	115.	1,248.9	2.08 Turking
선형 T.H.A $k_{eff} = 1543.79$	0.296	4.40 (84%)	99.66 (87%)	1,052.4 (84.3%)	2.06 Turking
M-RSA $k_{eff} = 1543.79$	0.313	4.98 (94%)	103.6 (90%)	1,140.0 (91.3%)	$T_1(IY) = 2.065$ $T_{eff} = 2.047$
S-RSA $k_{eff} = 1621.35$	0.293	4.58 (87%)	95.46 (83%)	1,060.2 (84.9%)	$T_1(IY) = 2.033$ $T_{eff} = 2.000$
25% 감쇠IRDS					

이에, 본 연구의 목적인 교량의 효과적인 내진 설계를 위한 간편 설계법의 적용 가능성을 확인하여, 최대 응답 변위에 따른 유효 강성과 감쇠별 수정 응답 스펙트럼을 사용한 기초 분리 교량의 실용 내진 설계법을 제시하였다.



(a) 해석 방법 별 변위



(b) 해석 방법 별 모멘트

그림 13. 주기에 따른 해석 방법별 결과

기초 분리 교량에 대해 간편 설계법에 의한 결과를 비선형 및 선형 수치 해석 결과와 비교하였으며, 다음과 같은 구체적인 결론을 얻을 수 있다.

① 해석 방법별 결과의 추세는 비선형 THA 결과와 일치하며, 지진 하중에 의한 비선형 거동은 분리 장치에서만 발생하고 상부와 하부 구조는 탄성적으로 거동한다.

② 선형 THA, 다중-RSA, 단일-RSA에 의한 결과, 변위는 80%, 설계력은 70% 이상의 정확도를 나타내며, 제시된 실용 방법이 가장 높은 정확도를 나타내었다.

③ 분리 장치된 교량의 비선형 응답은 유효 강성으로 표시가 가능하며, 유효 주기와 고유 주기 간에는 선형 관계식이 성립한다.

④ 비선형 응답 변위는 주로 초기 강성 및 항복력에 의해 지배되며, 하중과 동적 특성에 따른 적정 항복력과 연성도 μ 에서 최적치를 가지며, 추가 감쇠 또한 적정 연성도에서 최대값을 나타낸다. 따라서 간편 구조 해석법에 의해서 적정한 기초 분리 장치의 선정이 가능하다.

기초 분리된 교량의 설계법은 지진 특성과 분리 장치의 특성에 따라 제시되고 있으므로, 국내의 지진 특성과 기술 수준에 적합한 설계 규정 제정, 기초 분리된 구조의 설계, 해석법 및 기초 분리 장치의 개발이 시급하다.

따라서, 추가 연구로서, 해석 결과의 비교를 위한 인공 지진파의 작성, 해석 방법의 개발 및 실험 방법등에 대한 추가 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) A. Der Kiureghian(1981), 'A Response Spectrum Method for Random Vibration and Analysis of MDF Systems', Int. J. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 9, no. 5, pp 419-435.
- (2) A. H Hadjian and W. S. Tseng, 'A Comparative Evaluation of Passive Seismic Isolation Schemes', Proceeding of a Seminar and Workshop on Base Isolation and Passive Energy Dissipation, Mar 12-14, 1986. A.T.C 17.
- (3) A. Ibrahimbegovic and E.L. Wilson, 'Simple Numerical Algorithms for the Mode Superposition Analysis of Linear Structural Systems with Non-Propotional Damping'
- (4) A.K. Chopra, D.P. Clough, R. W. Clough, 'Earthquake Resistance of Buildings with a Soft First Storey', Int. J. Earthq. Engng. Struct. Dyn., vol.1, pp. 347-355, 1973.
- (5) Anil. K. Chopra, Dynamics of structures, Prentice-Hall New-Jersey, 1995.
- (6) ATC-6, 'Seismic Design Guidelines for Highway Bridges', Oct., 1981.
- (7) ATC-6-1, 'Proceedings of a Workshop on Earthquake Resistance of Highway Bridges', Oct., 1981.
- (8) ATC-6-2, 'Seismic Retrofitting Guidelines for Highway Bridges', Oct., 1981.
- (9) ATC-10, 'Proceedings of a Workshop on Earthquake Resistance of Highway Bridges', Nov., 1979.
- (10) ATC-17, 'Proceedings of a Seminar and Work shop on Base Isolation and Passive Energy Dissipation', March., 1986. 19.
- (11) ATC-17-1, 'Proceedings of a Seminar on Base Isolation, Passive Energy Dissipation and Active control', March., 1993.
- (12) Base Isolation Subcmmt. of the Seismology Committee, Struct. Eng. Assoc. of Northern Calif., 'Tentative Seismic Isolation Design Requirements California, 1986.
- (13) Bayo, E. and Wilson, E. L., 'Numerical Techniques for the Evaluation of Soil-Structure Interaction Effects in the Time Domain', Report No. UCB/EERC-83/04, Uni. of Calif, Berkeley, 1983.
- (14) Berg, Glen. V., 'A Study of the Earthquake Response of Inelastic Systems', Proceedings, 34th Annual Convention of the Struct. Eng. Association of Calif, Coronado, Oct. 7-9, 1965, pp 63-67.
- (15) Biggs, J. M. Introduction to Structural Dynamics, McGraw-Hill, New-York, 1964.
- (16) Blakeley, R.W.G., 'Parameter Studies for Seismic Design of Bridges', Edited by Park, R. and Blakeley, R.W.G., Part 2: Seismic Design of Bridges Incorporating Mechanical Energy Dissipating Devices, RRU Bulletin 43, National Roads Board.

- New Zealand, 1979, pp 117-142.
- (16) Caughey, T. K., 'Sinusoidal Excitation of a system with Bilinear Hysteresis,' Journal of Applied Mechanics, Vol. 27, No.4, Dec., 1960, pp.640-643.
 - (17) Chriss, D. J., 'Damping Models for Inelastic Structures', Me Project Report, Dept. of Civil. Eng. Univ. of Canterbury, 1980.
 - (18) Chia-Ming Uang., Vitelmo V. Bertero., 'Use of Energy as A Design Criterion in Earthquake-Resistant Design', Report No. UCB/EERC-88/ 18, University of California, Berkeley, 1988.
 - (19) D.J. Dowrick, Earthquake Resistance Design for Engineers and Architects, 2nd, John Wiley and Sons, Chichester
 - (20) F.G. Fan and G.Ahmadi, 'Floor Response Spectra for Base-Isolated Multistorey Structures', Eng. Struct., 19, no. 3, pp377-388.,1990.
 - (21) Newmark, N. M. and Hall, W. J., 'Procedures and Criteria for Earthquake Resistancnt Design,' Building Practice for Disaster Mitigation, Building Science Series 46, National Bureau of Standards, Washington, D.C., Feb., 1973, pp.209-236.
 - (22) Hurty, W.C., Collins, J. D.,and Hart, G. C., ' Dynamic analysis of Large Structures by Modal Synthesis Techniques. Computer & Structures, Vol.1, 1971, pp 535-563.

(접수일자 : 1997. 11. 7)