

국내 도로교시방서 내진설계편의 지반계수에 대한 공학적 영향평가

Engineering Evaluation of Seismic Site Coefficient in the Korean Bridge Code

조 양 희* 조 인 범**
Joe, Yang Hee Cho, In Bum

국문요약

본 연구에서는 지반상태가 교량의 지진응답에 미치는 영향을 분석하기 위해 다양한 지반모델 상의 교량모델에 대한 지진해석을 수행하고, 그 결과를 비교·분석하였다. 이를 위해서 기존의 교량시방서에서 분류된 네가지의 서로 다른 지반종류를 대상으로 보다 세분된 지반모델 상에 위치하는 대표적인 교량에 대한 지진해석을 수행함으로써, 첫째로는 각 지반 종류 상호간의 지진응답 차이의 정도를 시방서 값과 비교·분석하였으며, 둘째로는 동일 지반으로 분류되는 상이한 두 지반간의 응답 차이의 정도를 확인하였다. 해석을 위해서는 시방서에서 제시된 두가지 방법 즉, 단일모드 스펙트럼해석법과 다중모드 스펙트럼해석법을 사용하였으며, 이들 결과를 별도로 작성된 인공시간이력을 입력으로 하는 시간이력해석법을 사용한 결과와 비교·분석하였다. 시간이력해석법에서는 진동수에 무관한 지반임피던스함수를 이용하는 시간영역해석법을 사용하였다. 해석결과, 시방서에서 제시한 단일모드 및 다중모드 스펙트럼해석방법은 일반적으로 안전측의 지반-구조물 상호작용 해석결과를 주는 것으로 확인되었다. 그러나, 유연성이 큰 지반 상의 구조물에 대한 지진해석을 위한 해석모델 작성 시에는 지반의 유연성이 반드시 고려되어야 하며 특히, 낙교방지를 위한 변위는 지반의 유연성을 고려한 정밀해석법에 의한 계산이 필수적으로 요구됨을 확인하였다.

주요어 : 지반종류, 단일모드 스펙트럼해석법, 다중모드 스펙트럼해석법, 시간이력해석법, 지반-구조물 상호작용

ABSTRACT

This study evaluates the applicability of code-specified method for considering soil flexibility in seismic design of bridge. The study is also purposed to find the variation of the seismic responses of the bridges on the different soil sites which are classified as the same "soil profile type" of the code. For the study, two major methods of the code, single-mode spectral analysis and multi-mode spectral analysis, were used and the time-history analysis method which was expected to give more accurate responses was also used for the comparison purposes. For the time-history analysis, time-domain analysis technique of the lumped-mass model with frequency-independent soil springs and dampers was adopted and artificially generated earthquake motions compatible to the spectra of the code were used as input motions. As the results of the study, the code specified methods for the seismic responses considering the site effects were verified to give conservative results for most of the cases. However, for the structures on the site with considerable flexibility, more detailed analysis considering the flexibility of the base soil may be required to set reasonable results.

Key words : soil profile type, single-mode spectral analysis, multi-mode spectral analysis, time-history analysis, soil-structure interaction

1. 서 론

국내 도로교시방서 내진설계편에서는 내진

설계법으로 그 실용성을 위하여 정밀한 해석이 아닌 간략법 즉, 단일모드 해석법 및 다중모드 해석법을 주 해석방법으로 채택하고 있다. 그러나, 이와같은 방법들은 국내실정을 고려한 연구결과가 아닌 AASHTO방법을 원

* 정회원 · 인천대학교 토목공학과 부교수

** 정회원 · (주) 삼안건설기술공사 구조부

용한 것으로서 그 실용성에 대한 검증이 요구된다.

특히, 연약지반의 경우에는 지반의 유연성이 교량의 지진응답에 영향을 주게 되어서, 고정지반과는 전혀 다른 응답을 주게 된다. 이와 관련하여 이미 구시방서⁽¹⁾에서 명시한 지반의 영향고려방법에 대해서 그 실용성 및 안전여유치가 확인된 바 있다.⁽²⁾ 그러나, 1996년에 개정된 도로교 시방서⁽³⁾에서는 지반의 종류를 종전의 3가지에서 4가지로 더욱 세분화하였고, 그 고려방법은 지반계수를 이용하여 지진응답을 일정량 증가 시키는 종전의 근사법을 그대로 사용하고 있다. 이와 같은 지반 영향고려방법은 지반의 분류기준이 명확하지 못하여 실무 적용상 어려움과 혼란이 많을 뿐만 아니라, 동일지반 상의 교량에 대해서 그 적용 결과가 서로 달라질 수 있다. 또, 복잡한 지반과 구조물의 상호작용 거동을 지나치게 단순화 시킨 방법으로 인하여 그 적용결과의 일반적인 신뢰성에도 의문의 여지가 있을 수 있다. 이와 같은 이유로 인하여, 최근 개정된 UBC기준⁽⁴⁾에서는 이와 같은 지반분류방법이 대폭 개선된 바 있고 현재 개정추진중인 국내도로교설계기준(가칭)에서도 이와 같은 개정내용을 충분히 반영할 예정인 것으로 알려져 있다. 그러나, 이와는 별개로 지난 92년 이후 현재까지 국내에서 설계 건설된 교량의 경우는 기존의 지반영향 고려방법을 사용하여 그 내진성이 확인되어 있는 상태이다.

본 연구에서는 이와 같은 현실을 감안하여 보다 정확한 지반-구조물 상호작용 해석방법인 시간이력해석법을 이용하여 다양한 지반-구조물 교량시스템에 대한 예제해석(case study)을 수행하고, 그 결과를 시방서방법의 적용결과와 상호 비교함으로써 현행시방서에서 규정한 지반영향 고려방법에 대한 적정성여부를 확인하였다. 또한, 시방서에서는 동일 "지반종류"로 분류될 수 있는 서로 다른 지반 간의 지진응답 차이를 확인함으로

써 설계 시 안전측설계를 유도할 수 있도록 하였다.

상대적인 정밀해석을 위해서는 진동수에 무관한 임피던스함수를 이용한 시간영역에서의 시간이력해석을 수행하였으며, 이를 위해 국내 도로교시방서에서 제시한 응답스펙트럼에 부합하는 별도의 인공시간이력곡선을 작성하여 사용하였다. 해석대상모델로서는 4경간 교량을 대상으로 했으며, 지반은 서로 다른 유연도를 가지는 8가지 지반을 사용하였다.

2. 교량의 지반-구조물 상호작용 해석

2.1 국내시방서 방법

국내시방서의 내진설계시 사용되는 주요 지진해석방법은 단일모드 스펙트럼해석법과 다중모드 스펙트럼해석법이 있으나, 단일모드 스펙트럼해석법을 근간으로 하고 있다. 이 경우 각 모드의 응답에 해당되는 탄성지진응답계수(C_s)는 다음식과 같이 계산된다.

$$C_s = \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} \quad (1)$$

여기서, A는 각 지역별 지진특성에 따른 가속도계수이고, S는 지반특성을 나타내는 지반계수이며, T는 교량시스템의 고유주기이다. 이때, 지반의 영향은 두가지 방법으로 고려된다. 즉, 지반종류에 따른 지반계수(S)를 표 1과 같이 4가지 종류로 분류함으로써 지반의 유연도에 따른 입력지진운동의 변화를 고려하고있다. 또, 이와는 별도로 지반을 표 2와 같은 강도를 갖는 탄성반무한체로 가정하여 지반스프링으로 모델링함으로써, 지반의 유연도에 따른 시스템특성 즉, 고유주기(T)를 통하여 지반에 의한 응답의 변화를 고려하도록 하고 있다. 단, 이때 지반의 유연성에 따른 지반감쇠값의 변화는 그 영향이 크지 않다는 전제 하에 무시하고 있다.

표 1 국내시방서의 지반계수

지반종류	I	II	III	IV
지반계수	1.0	1.2	1.5	2.0

표 2 국내시방서의 지반스프링계수

방 향	스프링 계수 (Ko)
수 직	$\frac{4GR}{1-\nu}$
수 평	$\frac{8GR}{2-\nu}$
비 틀 립	$\frac{16GR^3}{3}$
수평축회전	$\frac{8GR^3}{3(1-\nu)}$

주 : R=기초의 유효반경, G=지반의 전단탄성계수,
 ν =지반의 포아송비

2.2 시간이력해석법

본 연구에서는 국내시방서에서 제시된 지반계수에 의한 지반영향고려방법에 비해 상대적으로 정확한 해석결과를 얻기 위하여 별도의 시간영역에서의 시간이력해석을 수행하고 그 결과를 시방서방법의 결과와 비교하였다.

해석시, 지반의 유연성은 표 3과 같이 지반층상의 영향을 고려할 수 있는 진동수에 무관한 임피던스를 나타내는 지반스프링으로 모델링하였다.⁶⁾ 표 3에 제시한 지반스프링계수는 표 2에 제시한 개념을 사용하면서도 시방서의 지반종류 분류 시 중요인자로 고려되는 지반층상 깊이의 영향을 고려할 수 있기 때문에 상대적으로 신뢰성이 큰 해석결과를 줄 수 있을 것으로 예상된다. 이때 교각의 높이가 교각 단면폭에 비해 크기 때문에 발산감쇠의 영향이 미미할 것으로 판단하여 그 영향은 무시하였다. 각 교각에 대한 기초는 각각 독립된 직접기초로 가정하였으며, 각 교각간의 간섭현상은 없는 것으로 가정하였다. 해석은 전산프로그램 SAP90을 이용한 모드중첩법을 사용하여 수행하였으며, 이때 시스템전체의 감쇠값은 시방

서에서 가정한 값과 동일한 5%로 가정하였다.

표 3 본 연구에서 사용한 지반 스프링계수

방 향	스프링 계수 (Ko)
수 직	$\frac{4GR}{1-\nu} \cdot (1 + 1.28 \frac{R}{H})$
수 평	$\frac{8GR}{2-\nu} \cdot (1 + \frac{R}{2H})$
비 틀 립	$\frac{16GR^3}{3}$
수평축회전	$\frac{8GR^3}{3(1-\nu)} \cdot (1 + \frac{R}{6H})$

주 : H=최상 지반 층상의 두께

3. 해석모델 및 입력운동

3.1 교량모델

해석에 사용된 교량의 종류는 현재 기술수준으로 설계, 건설이 가능하다는 전제하에 가능한 한 최대의 지진응답을 유도할 수 있는 교량형태로서, 그림 1과 같은 4경간 슬래브교를 대상으로 하였다. 이때, 상판과 교각의 연결상태는 그림에 보인 것과 같이 중앙교각에서 수평지진력을 최대화 시킬 수 있도록 하였다. 이는 물론 지반 상태가 지진응답에 미치는 영향을 쉽게 확인하기 위한 모델형태이며, 실제 설계시에는 지진력의 정도에 따라 연결상태를 적절히 조절할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구과정에서는 지간수와 연결상태가 다른 별도의 모델을 대상으로 동일한 비교·분석 작업을 수행하였으나, 모두가 유사한 결과를 주는 것으로 확인되었기 때문에, 여기에서는 그림 1에 보인 대표적인 모델만 고려 대상으로 하였다. 그림 2는 이와 같은 교량의 해석을 위한 유한요소 프레임모델이며, 이 모델에 사용된 상판과 교각의 단면 및 질량특성은 표 4와 같다. 해석모델 작성시, 상판과 교각의 연결부인 힌지나 로울러의 모델링 방법에 따라 해석결과에 차이가 있을 수도 있음을 감안하여, 본 연구에서는 각각 이상적인 힌지 및 로울러로 모델링하였다.

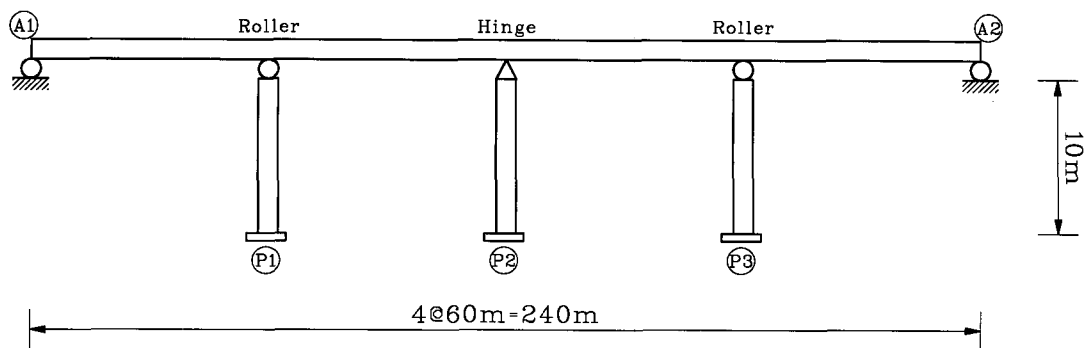


그림 1 예제해석을 위한 교량의 모델

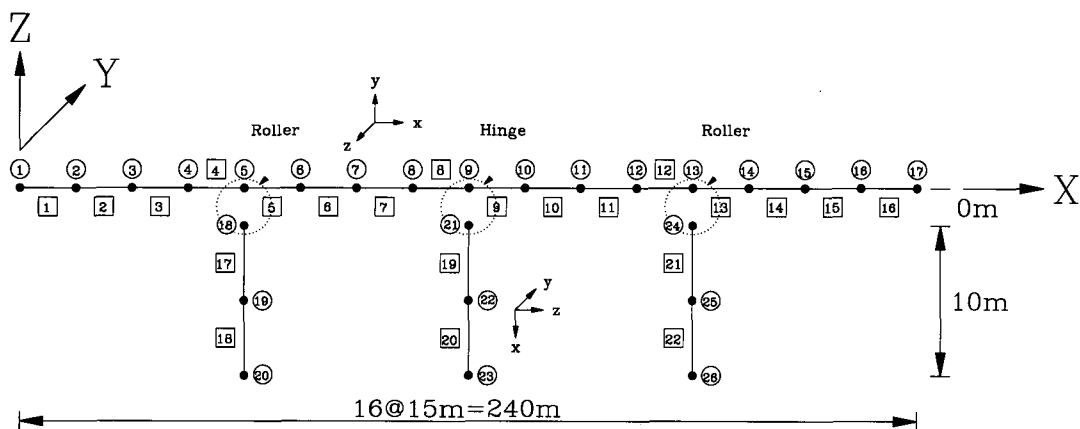


그림 2 해석에 사용된 유한요소모델

표 4 해석모델의 단면 및 질량특성

	상 판	교 각	비 고
단면적, A (m ²)	11.266	4.910	<p>상 판</p> <p>교 각</p>
단면2차모멘트, I ₂₂ (m ⁴)	72.981	1.920	
단면2차모멘트, I ₃₃ (m ⁴)	20.848	1.920	
회전단면2차모멘트, J (m ⁴)	30.753	3.840	
단위길이당 질량 (t · sec ² /m ⁴)	2.875	1.253	
탄성계수, E (t/m ²)	3.2×10 ⁶	2.8×10 ⁶	

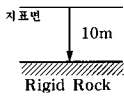
3.2 지반모델

해석대상 지반종류의 선택은 다음과 같은 목적을 위하여 8개의 서로 다른 지반을 선정

하였다.

첫째, 시방서에서 분류된 네가지 “지반종류”에 속하면서, 각 모델간의 실제 지진응답차이가 가능하면 최대로 될 수 있도록 서로의 지반특성

표 5 해석지반모델의 종류 및 특성

시방서 지반 종류	본연구 지반모델 번호	지반형태	전단파 속도 V_s (m/sec)	단위 중량 γ (t/m^3)	포아송비 ν	비 고
I	I 1		1000	2.15	0.28	어느형태이든 혈암이나 자연상태에서 결정체를 갖는 암반, 토층깊이가 60m이하인 견고한 지반으로서, 암반 위에 쌓인 토질이 모래, 자갈, 또는 단단한 점토의 안정된 퇴적물인 지반으로서 <u>최대강성</u> 을 갖는 경우
	I 2		800	2.15	0.28	어느형태이든 혈암이나 자연상태에서 결정체를 갖는 암반, 토층깊이가 60m이하인 견고한 지반으로서, 암반 위에 쌓인 토질이 모래, 자갈, 또는 단단한 점토의 안정된 퇴적물인 지반으로서 <u>최소강성</u> 을 갖는 경우
II	II 1		700	2.00	0.30	지반의 깊이가 60m를 초과하고, 암반위에 쌓인 모래, 자갈, 또는 단단한 점토의 안정된 퇴적물인 지반이거나, 비점착토가 두텁게 쌓인 지반으로서 <u>최대강성</u> 을 갖는 경우
	II 2		300	2.00	0.30	지반의 깊이가 60m를 초과하고, 암반위에 쌓인 모래, 자갈, 또는 단단한 점토의 안정된 퇴적물인 지반이거나, 비점착토가 두텁게 쌓인 지반으로서 <u>최소강성</u> 을 갖는 경우
III	III 1		200	1.80	0.32	연약 또는 중간 정도의 점토 또는 모래로 구성된 지반으로, 중간에 끼어 있는 모래나 다른 점착력이 없는 지층의 유무와 관계없이 9m이상의 점토층으로 형성된 지반으로서 <u>최대강성</u> 을 갖는 경우
	III 2		200	1.80	0.32	연약 또는 중간 정도의 점토 또는 모래로 구성된 지반으로, 중간에 끼어 있는 모래나 다른 점착력이 없는 지층의 유무와 관계없이 9m이상의 점토층으로 형성된 지반으로서 <u>최소강성</u> 을 갖는 경우
IV	IV 1		150	1.60	0.35	연약점토나 실트층의 깊이가 12m 이상 되는 지반으로서 <u>최대강성</u> 을 갖는 경우
	IV 2		150	1.60	0.35	연약점토나 실트층의 깊이가 12m 이상 되는 지반으로서 <u>최소강성</u> 을 갖는 경우

차이가 현저한 지반모델을 선정함으로써, 시방서 해석결과와 상대적으로 정확한 해석결과와의 차이를 확인하고자 하였다.

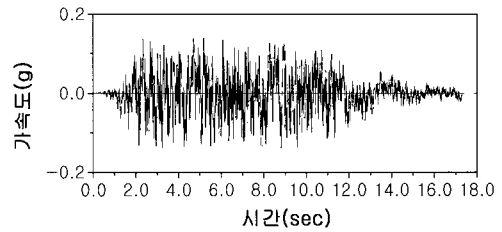
둘째, 현재의 시방서 기준에 따르면 동일 "지반종류"로 분류되지만, 실제 지반특성이 현저히 다른 두가지의 지반모델을 각 지반종류에 대하여 선택하였다.

이와 같은 기준에서 선정된 8개의 서로 다른 지반모델의 내용은 표 5와 같다. 이와 같은 지반모델 중 전단파 속도가 300m/sec 이하인 경우에는 실제의 경우 말뚝등을 사용하여 지반을 보강할 필요가 있을 것으로 예상되지만, 이와 같은 보강이 지반운동이나 교량의 수평응답에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단하여, 본 연구에서는 그 영향을 무시하였다.

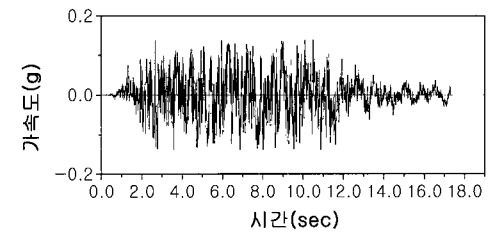
3.3 입력운동

단일모드 및 다중모드해석 시에는 시방서에서 제시된 탄성지진응답계수에 의한 응답스펙트럼 값을 그대로 사용하였다. 한편, 시간이력해석에 사용된 입력운동은 시방서에 제시된 응답스펙트럼에 부합되는 지진운동을 인공적으로 작성하여 사용하였다. 이때, 인공시간이력가속도의 작성은 Gasparini와 Vanmarcke가 제안한 정현파 중첩에 의한 인공시간이력작성법을 적용한 프로그램 SIMQKE (Simulated Earthquake)⁽⁶⁾를 이용하여 작성하였다. 이 경우, 동일한 응답스펙트럼에 대하여 작성된 서로 다른 시간이력을 사용한 경우, 서로 다른 해석결과를 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 서로 다른 위상차를 갖는 세 세트의 입력운동을 작성하여 동일한 해석을 수행하였으며, 이들 해석결과에 대한 평균값을 시간이력해석법의 결과로 사용하였다. 그림 3과 그림 4는 시방서에서 제시한 지반종류에 따라 작성된 대표적인 인공지진의 시간이력과 감쇠비 5%에 대한 응답스펙트럼을 각각 나타낸

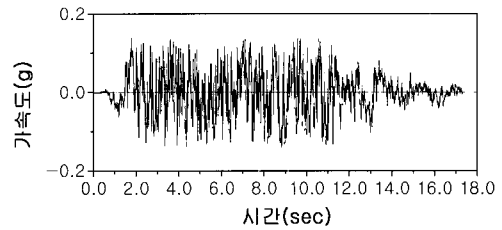
것이다. 또, 원거리 교각사이에서 발생할 수 있는 입력운동의 공간적인 변화는 별도로 고려하지 않고, 모든 교각에서의 입력운동이 동일한 것으로 가정하였다.



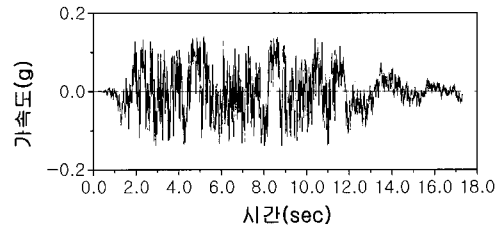
(가) 지반종류 I



(나) 지반종류 II



(다) 지반종류 III



(라) 지반종류 IV

그림 3 SIMQKE로 작성된 인공지진의 시간이력곡선

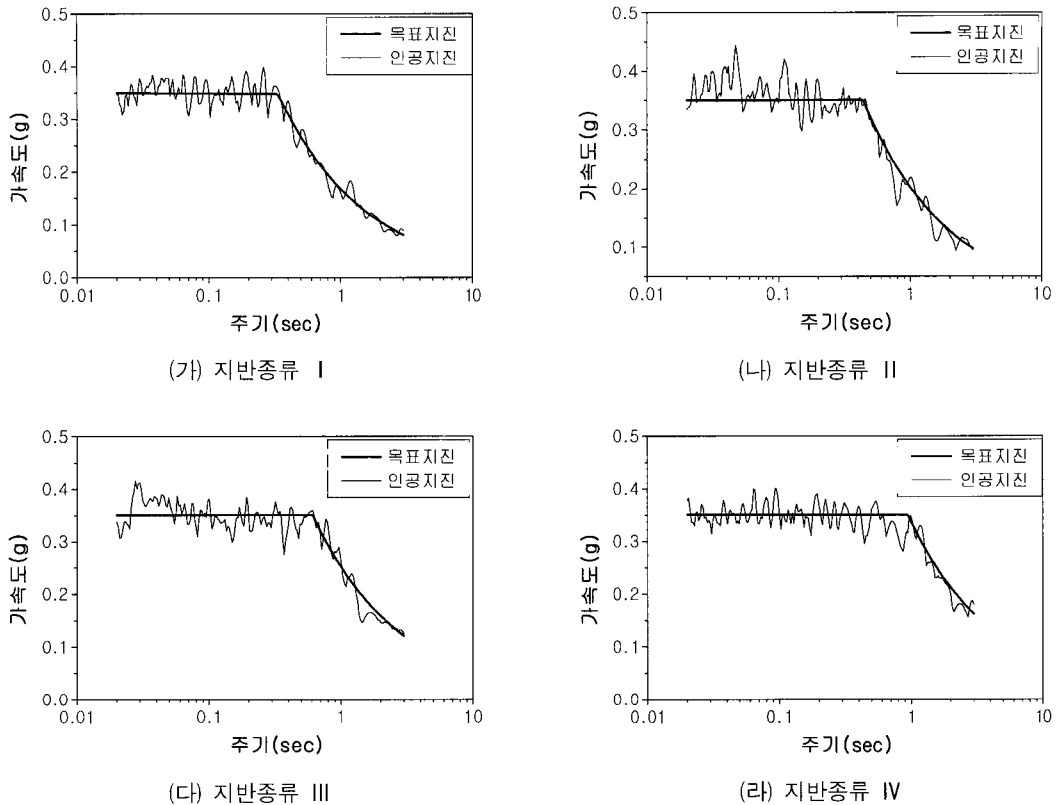


그림 4 SIMQKE로 작성된 인공지진의 응답스펙트럼

3.4 해석모델

해석에 사용된 지반-구조물 상호작용해석 모델은 상기 교량모델 및 각 지반모델을 조합하여 작성하였으며, 교축방향 및 교축직각방향의 주

모드에 대한 고유진동수는 각각 0.26~0.72Hz, 0.89~1.75Hz의 값을 가진다. 참고로, 모드 중첩법을 위한 응답해석시에는 총 98%이상의 모드 질량이 포함될 수 있도록 20개의 모드가 고려되었다. 각 지반모델에 대한 동특성과 고려된 모

표 6 해석모델의 동특성

지반 모델 번호	주모드의 고유진동수(cps)			해석시 고려된 모드질량의 최소값(%)			고려모드수
	교축 방향	교축직각 방향	수직 방향	교축 방향	교축직각 방향	수직 방향	
I 1	0.720 (1)	1.748 (2)	4.081 (5)	99.43	98.87	98.96	20
I 2	0.696 (1)	1.697 (2)	4.044 (5)	99.87	99.03	99.34	20
II 1	0.675 (1)	1.653 (2)	4.015 (5)	99.98	99.16	99.49	20
II 2	0.480 (1)	1.261 (2)	3.561 (5)	100.00	99.83	99.90	20
III 1	0.357 (1)	1.040 (2)	3.185 (5)	100.00	99.94	99.96	20
III 2	0.351 (1)	1.027 (2)	2.971 (5)	100.00	99.94	99.97	20
IV 1	0.272 (1)	0.899 (2)	2.622 (5)	100.00	99.97	99.98	20
IV 2	0.268 (1)	0.889 (2)	2.415 (5)	100.00	99.90	99.98	20

주 : ()한 숫자는 주모드의 번호

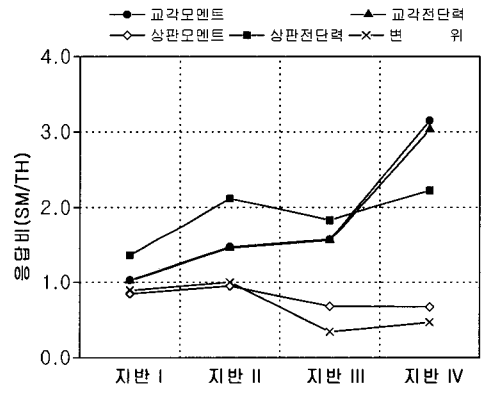
드질량 및 총모드수를 표 6에 표시하였다.

4. 해석결과 및 분석

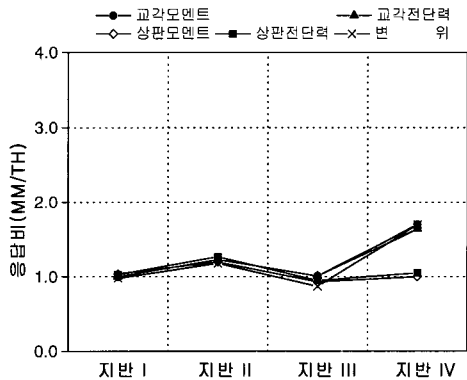
전술한 세가지 해석방법 즉, 시방서에서 제시한 단일모드 스펙트럼해석법(SM), 다중모드 스펙트럼해석법(MM), 또 상대적 정확해진 시간이력해석법(TH)에 의한 각종 해석결과를 그림 5~7에 비교하였다. 또, 표 7은 이들 해석결과중 가장 중요한 값들을 정리 요약한 것이다.

우선 그림 5는 해석방법별 최대응답비를 상호 비교한 그림이다. 이 그림에서 보듯이 지반 종류에 관계없이 시방서방법은 대부분의 경우 안전측 응답을 주고 있음을 알 수 있다. 특히, 상대적으로 지반의 유연성이 커질수록 더 큰 안전여유치를 주게되며, 지반종류IV의 경우에 단일모드 스펙트럼해석법은 실제 값의 3배가 넘는 큰 해석결과를 줄 수 있다는 사실에 유의할 필요가 있다. 단, 단일모드 스펙트럼해석법에 의한 상부구조의 모멘트응답 및 변위의 경우는 다소 비안전측의 결과를 나타낼 수 있지만, 상부구조의 지진력은 설계결과에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 그림 6은 지반종류에 따른 유연지반상 교량의 지진응답을 강체지반(지반종류 I)상 교량의 응답에 대한 최대응답비로서 나타낸 것이다. 이 그림의 결과중 정확해진 시간이력해석결과를 보면 하부구조응답(교각 단면력)의 경우에는 지반종류에 따라 큰 차이를 보이지 않는 반면에 상부구조응답은 상대적으로 큰 응답차이를 보이고 있다. 특히, 변위응답의 경우는 유연지반 응답이 고정지반응답의 최대 6배 이상의 큰 응답 차이를 보이고 있음에 유의할 필요가 있다. 이와 관련하여 시방서 방법 중 다중모드 스펙트럼해석법은 시간이력해석법과 유사한 해석결과를 보이고 있는 반면에, 단일모드 스펙트럼해석법은 이와 같은 지반종류에 따른 응답의 변화를 전혀 나타내지 못하고 있음을 알 수 있다.

한편, 그림 7은 시방서의 동일지반으로 분류될 수 있으면서, 서로 다른 지반특성을 갖는 두 지반간의 최대응답비를 각 응답 종류별로 비교한 그림이다. 이 그림에서 보듯이 지반종류 I, III, IV의 경우는 특성이 다른 두 지반(상대적인 견고지반과 상대적인 유연지반) 간의 응답이 큰 차이가 없는 반면에 지반종류 II로 분류되는 경우에는 시방서에서 동일지반으로 분류될 수 있는 두 지반 간에 발생할 수 있는 실제 최대 응답비는 1.45정도인데 비하여, 시방서방법을 사용하면 그 응답비가 1.3이하로 과소 평가 될 수 있음을 알 수 있다.

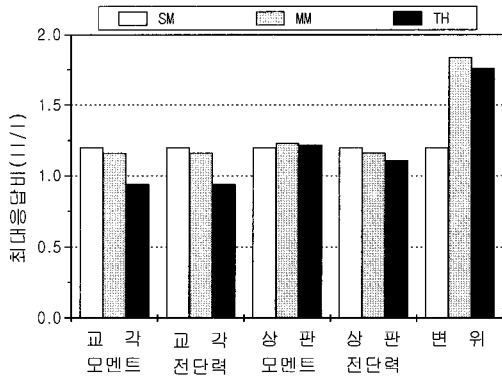


(가) SM/TH

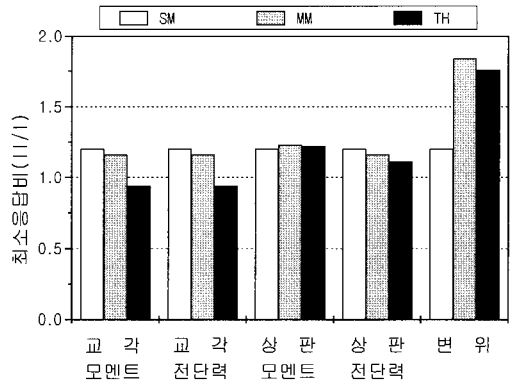


(나) MM/TH

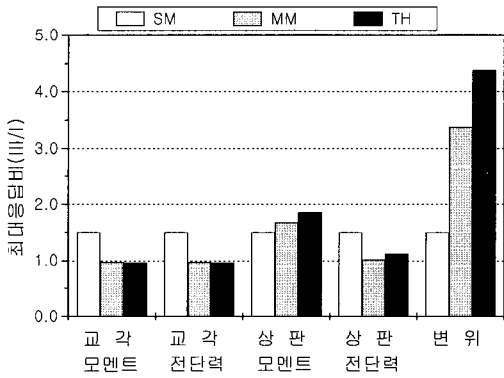
그림 5 해석방법별 응답비



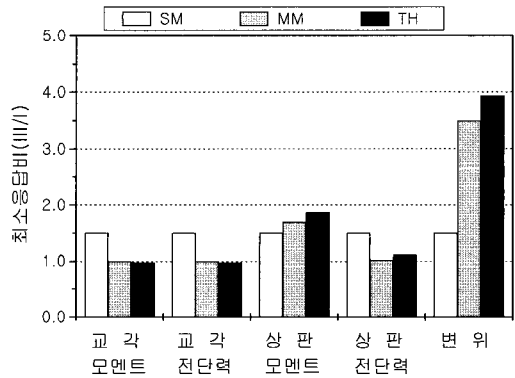
(가) 지반II/지반 I : 최대값



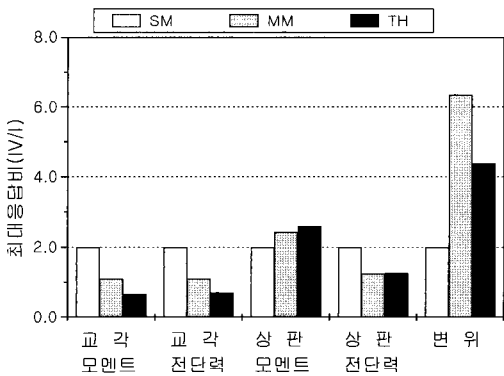
(나) 지반II/지반 I : 최소값



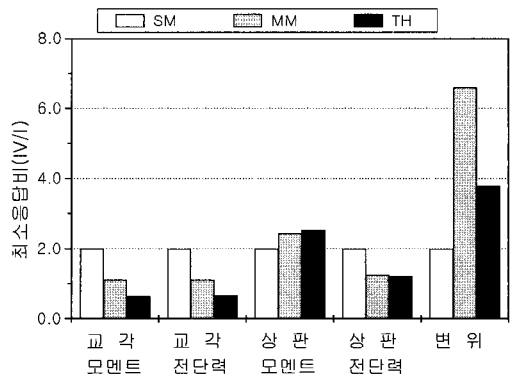
(다) 지반III/지반 I : 최대값



(라) 지반III/지반 I : 최소값

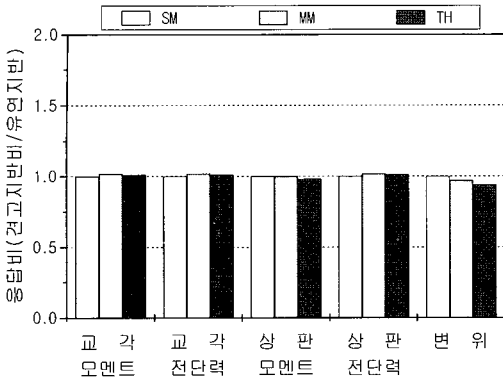


(마) 지반IV/지반 I : 최대값

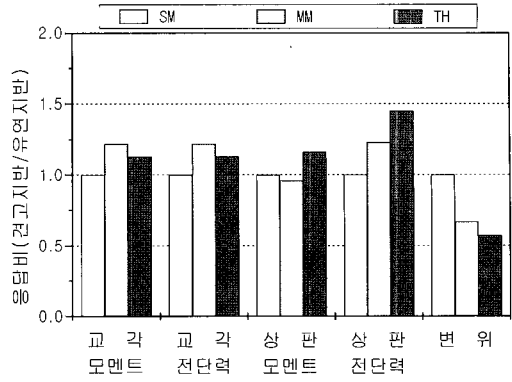


(바) 지반IV/지반 I : 최소값

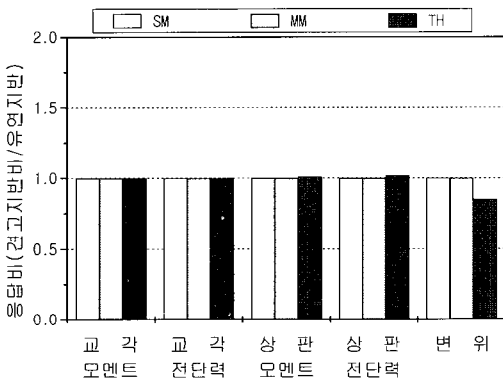
그림 6 강제지반응답에 대한 유연지반응답비



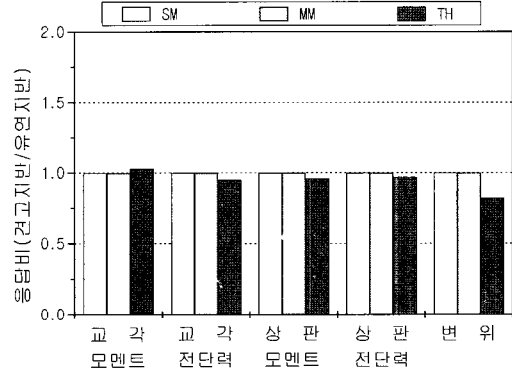
(가) 지반종류 I



(나) 지반종류 II



(다) 지반종류 III



(라) 지반종류 IV

그림 7 동일지반으로 분류되는 두 지반 사이의 응답비(건고지반/유연지반)

표 7 경우별 해석결과 비교

	방법별 최대응답비	지반종류에 따른 응답비				동일지반으로 분류되는 두 지반 사이의 최대응답 차이		
		SM/TH	MM/TH	II/I	III/I	IV/I	시방서	TH
단면력	교각	3.15	1.70	0.84~1.16	0.97~1.00	0.65~1.12	22%	13%
	상판	2.23	1.27	0.77~1.23	1.02~1.87	1.22~2.60	23%	45%
	변위	1.00	1.70	1.07~1.84	3.38~4.39	3.79~6.59	33%	43%

이상과 같은 해석결과 분석내용을 요약하면 다음과 같다.

- 시방서에서 제시한 지반계수에 의한 지반-구조물 상호작용 해석방법은 시간이력해석에 비해 안전측 해석결과를 준다. 특히, 단일모

드 스펙트럼해석법은 과도한 안전측결과를 줄 수 있다. 단, 상판의 경우 약간의 비안전측의 결과를 줄 수 있다.

- 지반의 유연성에 의한 지진응답의 영향 즉 지반종류별 응답비를 보면, 교각 단면력응답

의 경우는 큰 차이를 보이지 않는 반면에, 상판의 단면력응답의 경우는 유연지반(지반종류 II, III, IV)이 고정지반(지반종류 I)에 비하여 최대 2.5배 이상의 큰 응답을 나타낸다. 특히, 변위응답의 경우는 유연지반의 응답이 고정지반의 응답에 비해 6배 이상의 과다한 응답을 줄 수 있다. 이와 같은 사실은 유연지반상 구조물의 지진응답계산을 위한 모델 작성시 지반의 영향을 반드시 고려해야 하며, 해석방법은 다중모드 스펙트럼해석법이나 시간이력해석법을 사용해야 함을 시사하고 있다.

- 동일지반으로 분류되는 서로 다른 두 지반의 최대응답 차이는 지반종류 II의 경우 가장 심하며, 이때 시간이력해석의 경우는 최대 45%의 차이를 보이는데 비하여 시방서방법의 경우에는 약 30% 정도로서 과소평가 되고 있다.

5. 결 론

국내시방서 요건에 의한 지반영향 고려방법과 상대적으로 정확해를 줄 수 있는 교량의 지진응답을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지반을 고려한 내진해석시, 시방서에서 제시한 단일모드 스펙트럼해석 및 다중모드 스펙트럼해석방법은 일반적으로 안전측(최고 시간이력해석의 3.15배)의 결과를 준다. 단, 상판 모멘트응답의 경우 약간(약 20% 정도)의 비안전측결과를 줄 수도 있음이 확인되었다.
- 2) 시방서에서 분류한 지반종류 I 에 대한 지반종류 II, 지반종류 III, 지반종류 IV의 응답비는 단면력의 경우 입력운동의 비인 1.2, 1.5, 2.0 보다 상대적으로 작은 경향을 보이는 반면에, 변위의 경우는 상대적으로 큰 값을 보이고 있다. 따라서, 유연성이 큰 지반상 구조물의 지진해석 시에는 지반의 유연성이 고려될 수 있는 해석모델을 대상으로 하는 다중모드 스펙트럼해석법 혹은 시간이력해석법이 사용되어야 할 것으로 판단된다. 특히 낙교방지를 위한 변위의 계산 시에는 이와 같은 정밀해석법의 사용이 필수적이라고 할 수 있다.
- 3) 시방서에서 동일지반으로 분류되지만, 그 유연도가 다른 두 지반 간의 응답 차이가 가장 심한 경우는 지반종류 II의 경우이며, 이때 서로 다른 지반상 구조물 응답간에 최대 45% 정도의 차이를 나타낼 수 있음을 확인하였다. 그러나, 시방서방법을 사용할 경우 이러한 응답의 차이가 과소평가(30%이하)될 가능성이 크다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 도로교표준시방서, 내진설계편, 1992.
2. 조양희, 조인범, "지반상태가 교량의 지진응답에 미치는 영향", 대한토목학회, 1996년도 학술발표회 논문집, 1996.
3. 건설교통부, 도로교표준시방서, 내진설계편, 1996.
4. Structural Engineering Design Provisions, *Uniform Building Code*, Vol. 2, 1997.
5. Gazetas, G., "Analysis of machine foundation : state of the art," *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 2, No. 1, 1983, pp. 19.
6. SIMQKE : A Program for Artificial Motion Generation, *User's Manual and Documentation*, Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Nov. 1976.