

스카이브릿지 설치위치에 따른 고층건물의 진동제어 성능평가

Performance Evaluation of Vibration Control According to Installation Location of a Sky-bridge

김 현 수* 박 용 구** 고 현** 이 의 현*** 이 동 근****
Kim, Hyun-Su Park, Yong-Koo Ko, Hyun Lee, Ui-Hyun Lee, Dong-Guen

요 약

본 연구에서는 스카이브릿지 설치위치 및 연결된 구조물의 고유진동주기 차이에 따른 전체 구조물의 진동제어 효과를 분석하였다. 이를 위하여 스카이브릿지로 연결된 40층과 50층 구조물을 예제 구조물로 사용하였고, 등가모형화기법을 이용하여 예제 모델을 구성하였다. El Centro 및 Taft 지진을 사용하여 경계비선형 시간이력해석을 수행하였고 구조물의 동적거동과 진동제어 효과를 분석하였다. 해석결과 변위응답은 스카이브릿지를 상부층에 설치할수록 더 효과적으로 제어할 수 있었고 가속도응답은 구조물의 중간층 부근에 설치할 때 더 효과적으로 저감시킬 수 있었다.

Abstract

In this study, the vibration control effect according to the installation location of the sky-bridge and the difference of natural periods of the connected buildings has been investigated. To this end, 40-story and 50-story building structures connected by a sky-bridge were used as example structures and the equivalent modeling method was used. Boundary nonlinear time history analyses were performed using El Centro and Taft earthquakes to investigate the dynamic behavior of the example structures and vibration control effect of the sky-bridge. Based on numerical results, it has been shown that displacement responses can be effectively controlled as the installation floor of the sky-bridge increases and acceleration responses can be effectively reduced when the sky-bridge is installed on the mid-stories of the example building.

키워드 : 스카이브릿지, 고층건물, 진동제어, 시간이력해석

Keywords : Sky-bridge, Tall buildings, Vibration control, Time history analysis

1. 서 론

도시화가 발달할수록 좁은 대지 면적, 경제적인 문제 등의 이유로 고층 건물을 인접하여 배치하는 경우가 증가하고 있다. 근래에는 이러한 인접한 구조물의 진동 및 변위 제어를 위하여 두 구조물을 스카이브릿지로 연결하는 방법이 연구되고 있다. 인접

한 고층 구조물을 연결하는 스카이브릿지의 본래의 목적은 비상시의 피난통로였으나 연결되는 구조물의 동적특성 차이를 바탕으로 스카이브릿지를 통해서 제어력을 서로 전달함으로써 전체 구조물의 진동을 저감하는 방법에 대한 연구¹⁻⁶⁾가 수행되어 왔다. 연결되는 구조물의 동적특성의 차이를 이용하여 제어하는 원리는 각 구조물이 서로 다른 주기로 진동하면서 상호간의 응답을 상쇄시켜서 전체적인 구조물의 응답이 저감되도록 하는 것이다.

스카이브릿지를 진동제어의 목적으로 설계할 때 고려하여야 하는 중요한 점은 연결되는 두 구조물의 동적특성에 적합한 연결방식을 선정하는 것이다.

* 교신저자, 정회원, 선문대학교 건축학부 조교수

Tel: 031-530-2315 Fax: 031-530-2839

E-mail : hskim72@sunmoon.ac.kr

** 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 박사과정

*** 마이다스아이티 건축기술연구팀 사원

**** 성균관대학교 건축공학과 교수

서로 다른 동적특성을 가지는 구조물이 강접합 된다면 전체 구조물의 비정형성이 증가하여 황하중에 대하여 스카이트릿지의 연결이 불리하게 작용할 수 있다. 전체 구조물의 비정형성을 방지하기 위해서는 스카이트릿지의 연결부가 변위를 허용하여 각각의 구조물이 유연하게 거동하도록 설계되어야 한다. 따라서 기존 연구에서는 스카이트릿지의 연결시스템의 특성에 따른 진동제어성능의 검토가 주로 이루어졌다^{1,3)}. 이렇게 스카이트릿지의 연결방식을 다양하게 적용하고 그 영향을 분석하기 위해서는 반복적인 구조해석이 수반된다. 그러나 고층구조물 전체를 일반적인 방법으로 모형화한 유한요소 원형 모델을 사용하게 된다면 실제 구조물의 동적특성을 유사하게 반영하는 점은 유리하지만 반복적인 구조해석을 위해서는 효율적이지 못하다. 이에 따라 스카이트릿지가 연결된 고층건물에 대한 효율적인 동적해석방법들이 등장하였다. 최근의 연구에서는 일반적인 상용 프로그램에서도 손쉽게 사용할 수 있는 등가모델이 제안되었다^{7,8)}. 이렇게 스카이트릿지를 이용한 진동제어에 관한 연구가 수행되어 왔지만 아직까지 스카이트릿지의 설치 위치에 따른 진동제어성능에 대한 검토 및 분석은 미흡한 실정이다. 이것은 스카이트릿지의 설치위치는 일반적으로 건축적인 목적에 의해서 결정되며 구조 실무에서는 스카이트릿지의 안전성만을 검토하는 보편화 되어 있기 때문이다. 그러나, 건축적인 용도를 만족시키는 범위 내에서 최적의 구조적 제어성능을 발휘할 수 있는 스카이트릿지의 설치 위치를 파악하는 것은 구조설계단계에서 매우 의미 있는 일일 것이다.

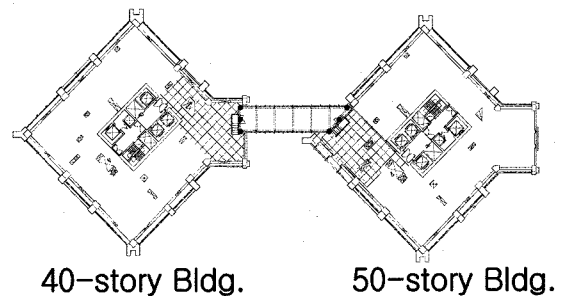
따라서 본 연구에서는 스카이트릿지의 설치 위치에 따른 연결된 구조물의 진동제어성능을 검토해보았다. 또한 연결된 건물의 고유진동주기 차이에 따른 진동제어효과도 분석하였다. 이를 위하여 50층 구조물과 40층 구조물을 예제구조물로 사용하였고 3차원 캔틸레버 다자유도 막대모델을 이용하여 다양한 변수에 따라서 반복해석을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 스카이트릿지와 예제구조물의 연결시스템은 LRB 및 점성감쇠기를 이용하여 구성하였다. 수치해석을 위하여 Midas/Gen 프로그램을 사용하였으며 연결시스템의 비선형적인 동적특성을

고려하기 위하여 경계비선형 시간이력해석을 수행하였다. 시간이력해석을 통하여 얻은 각 구조물의 변위 및 가속도 응답의 최대값과 RMS 값을 검토하였다.

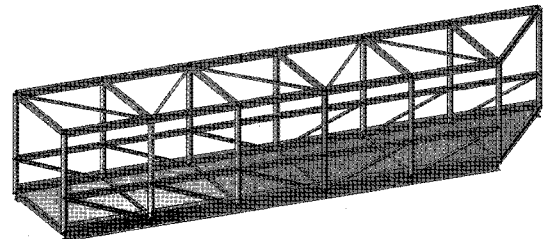
2. 예제구조물 및 지진하중

2.1 예제구조물과 해석모델의 구성

본 연구에서 사용하는 예제구조물은 스카이트릿지로 연결된 50층과 40층의 철근 콘크리트 구조물로서 <그림 1>에 평면을 나타내었다. 두 구조물의 중심 간의 거리는 55m이고 스카이트릿지의 순길이는 15m이다. 이것은 스카이트릿지가 구조물의 중심과 중심을 연결하는 것이 아니라 구조물의 외부 지점에 연결되는 것이기 때문이다. 따라서 실제적인 스카이트릿지의 영향을 고려하기 위하여 스카이트릿지를 구조물의 외부 지점에 연결되는 것처럼 해석모델을 구성하였다. 예제구조물에 사용된 스카이트릿지를 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 1> 예제구조물의 평면도

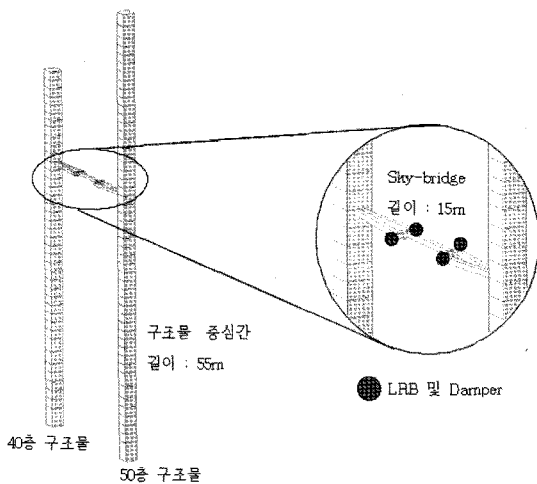


<그림 2> 스카이트릿지

두 예제구조물은 각각의 구조물이 가지고 있는 고유진동주기 등과 같은 특성이 다르기 때문에 구조물의 동적거동이 차이가 나게 된다. 이러한 두 구

조물을 강접합으로 연결하게 된다면 전체 구조물의 비정형성이 증가한다. 비정형성이 큰 구조물은 국부적인 응력집중이나 전체 구조물의 응답 증가할 가능성이 있다. 따라서 스카이브릿지의 연결시스템은 전체 구조물의 비정형성이 최소화되도록 선택하여야 한다. 예제 구조물은 납을 삽입한 Lead Rubber Bearing(LRB)과 감쇠기로 스카이브릿지와 구조물을 연결한다. LRB와 감쇠기로 연결시스템을 구성하므로 두 구조물과 스카이브릿지는 개별적인 동적 거동이 가능하여 비정형성을 감소시킬 수 있다.

예제 구조물은 선행연구의 등가모형화 방법에 따라서 3차원 캔틸레버 막대모델로 모형화하였으며 각 층마다 자유도를 갖는 다자유도 모델로 구성되었다. 또한 전체 구조물의 진동제어 효과를 파악할 때에 스카이브릿지의 변형에 의한 진동제어 효과의 발생을 배제하기 위하여 스카이브릿지는 강체로 가정하여 모델링하였다. 스카이브릿지와 구조물의 연결부는 4개소로 LRB 및 감쇠기가 모델링되었다. 본 연구에서 사용한 예제 모델은 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 스카이브릿지로 연결된 예제모델

두 개의 구조물과 스카이브릿지의 연결시스템은 LRB 및 감쇠기를 사용하여 구성하였다. 감쇠기의 감쇠력과 LRB의 강성은 기존 스카이브릿지의 연결부에 사용되었던 실제 시공 데이터를 참고하여 설정하였다. LRB와 동일한 위치에 설치된 감쇠기의 감쇠상수는 100kN·sec/cm를 사용하였으며, 본 연

구에서 사용한 LRB 모델의 물성치는 <표 1>에서 보는 바와 같다.

<표 1> LRB의 특성치

초기수평강성 (kN/cm)	42.2
항복 후 수평강성 (kN/cm)	4.1
초기항복하중 (kN)	72.6
수직강성 (kN/cm)	1351.04

예제구조물의 고유진동주기는 <표 2>에 나타낸 바와 같이 50층 구조물의 1차 모드 고유진동주기를 40층 구조물의 1차 모드 고유주기의 1.0배에서 1.6배까지 순차적으로 변경하면서 설정하였다. 이때 40층 구조물의 1차모드 고유진동주기를 4.0초로 고정하였다. 동시에 구조물에 스카이브릿지를 설치하는 연결위치도 10층에서부터 40층까지 5개 층 간격으로 변경하면서 모델링을 하여 스카이브릿지의 설치 위치와 구조물의 고유진동주기 차이가 전체 구조물의 진동제어성능에 어떠한 영향을 미치는지 알아볼 수 있도록 하였다. 스카이브릿지의 설치 위치에 따른 모델명을 <표 3>에 나타내었다.

<표 2> 50층 구조물의 1차모드 고유진동주기 변화

구분	특징
1.0·T ₄₀	40층 구조물 진동주기의 1.0배
1.1·T ₄₀	40층 구조물 진동주기의 1.1배
1.2·T ₄₀	40층 구조물 진동주기의 1.2배
1.3·T ₄₀	40층 구조물 진동주기의 1.3배
1.4·T ₄₀	40층 구조물 진동주기의 1.4배
1.5·T ₄₀	40층 구조물 진동주기의 1.5배
1.6·T ₄₀	40층 구조물 진동주기의 1.6배

<표 3> 스카이브릿지 설치 위치에 따른 모델명

구분	특징
Link 10	10층에 스카이브릿지 설치모델
Link 15	15층에 스카이브릿지 설치모델
Link 20	20층에 스카이브릿지 설치모델
Link 25	25층에 스카이브릿지 설치모델
Link 30	30층에 스카이브릿지 설치모델
Link 35	35층에 스카이브릿지 설치모델
Link 40	40층에 스카이브릿지 설치모델

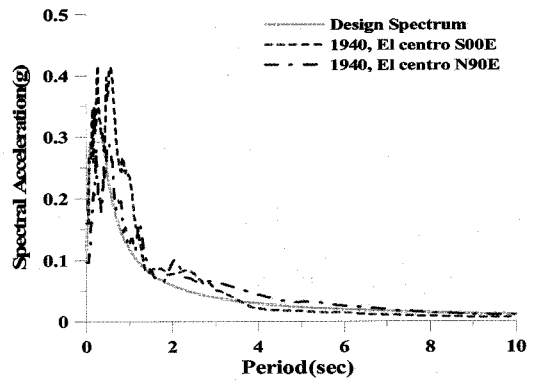
앞서 구성한 예제구조물의 고유진동주기 및 스카이브릿지의 설치위치에 따라서 해석모델을 구성하였고 이 해석모델을 이용하여 고유치해석을 수행하였다. <표 4>에 스카이브릿지로 연결된 예제모델의 1차 모드 고유주기를 나타내었다.

<표 4> 예제모델의 1차모드 고유진동주기

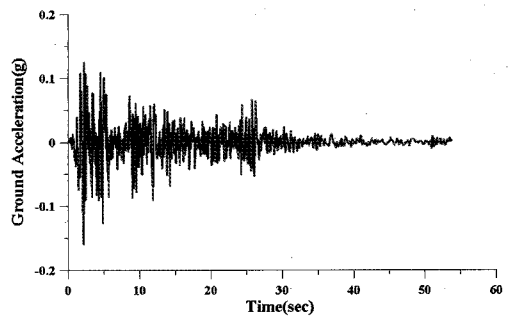
구 분	1.1·T ₄₀	1.2·T ₄₀	1.3·T ₄₀	1.4·T ₄₀	1.5·T ₄₀	1.6·T ₄₀
Link 40	4.3791	4.7718	5.1639	5.5550	5.9448	6.3333
Link 35	4.3848	4.7795	5.1736	5.5667	5.9586	6.3493
Link 30	4.3903	4.7868	5.1828	5.5780	5.9721	6.3652
Link 25	4.3941	4.7920	5.1895	5.5864	5.9826	6.3780
Link 20	4.3970	4.7959	5.1946	5.5929	5.9908	6.3882
Link 15	4.3988	4.7983	5.1977	5.5971	5.9961	6.3950
Link 10	4.3997	4.7995	5.1994	5.5992	5.9989	6.3986

2.2 지진하중

스카이브릿지로 연결된 구조물의 진동제어 성능을 평가하기 위하여 지진하중을 사용하여 해석을 수행하였다. 사용된 지진하중은 건설교통부 고시 건축구조설계기준(KBC 2005)을 바탕으로 작성하였다. 설계응답스펙트럼은 지역계수는 0.11, 지반종류는 S_A로 가정하여 작성되었다. 입력 지진하중은 El Centro지진(1940)과 Taft지진(1952)을 사용하였고 두 개의 지진하중을 KBC2005의 설계응답스펙트럼에 맞추어 조정하였다. 즉, 예제구조물의 동적거동에 큰 영향을 미치는 1차 및 2차 고유진동수를 포함하는 진동수대역에서 El Centro 및 Taft 지진 응답스펙트럼과 KBC2005 설계응답스펙트럼의 면적을 같도록 지진하중을 조정하였다. 이렇게 조정된 지진하중의 응답스펙트럼 및 가속도 시간이력을 <그림 4, 5>에 나타내었다. 앞 절에서 설명하였던 스카이브릿지의 설치위치, 구조물의 고유주기변화라는 변수에 따라 작성된 해석모델에 대하여 본 절의 지진하중을 사용하여 경계비선형 시간이력해석을 수행하였고, 이에 따른 해석 결과 중 스카이브릿지 연결 위치에 따른 전체 구조물의 진동제어 효과를 다음 절에서 알아보았다.

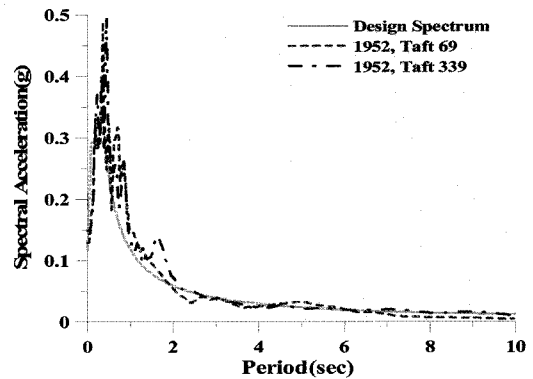


(a) 응답스펙트럼

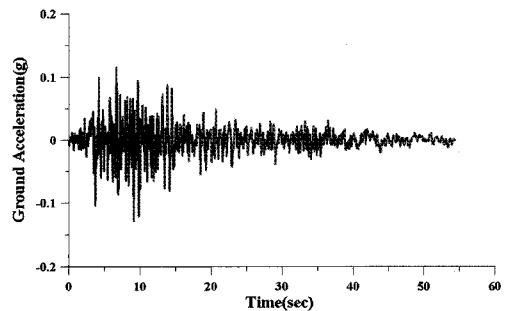


(b) 가속도 시간이력

<그림 4> El Centro 지진하중(1940)



(a) 응답스펙트럼



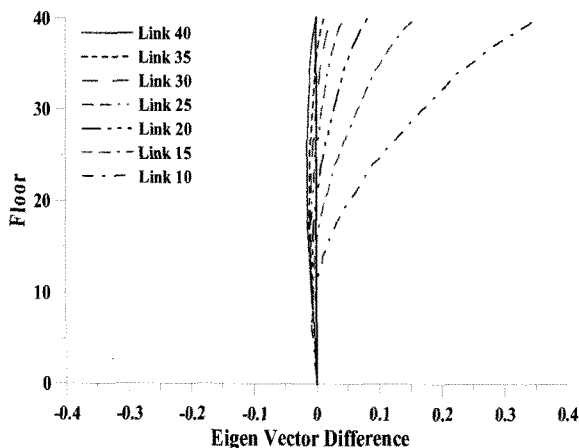
(b) 가속도 시간이력

<그림 5> Taft 지진하중(1952)

3. 스카이브릿지의 연결 위치에 따른 진동제어 성능비교

3.1 구조물의 고유모드형상

연결된 구조물의 진동제어성능은 두 구조물의 고유진동주기와 고유모드형상에 의하여 영향을 받을 것이라고 예상된다. 두 구조물의 고유모드형상의 차이가 가장 큰 위치에 스카이브릿지를 설치한다면 전체 구조물의 진동을 저감시키는데 있어서 가장 효과적인 역할을 할 수 있을 것이다. 따라서 스카이브릿지로 연결된 구조물의 고유모드형상의 차이가 가장 큰 위치를 찾기 위하여, 먼저 스카이브릿지와 구조물이 강접하여 연결되었다고 가정하였다. 스카이브릿지와 구조물의 연결부가 강접합되었다고 가정하였을 때, 스카이브릿지가 연결된 위치에서 두 구조물은 함께 거동하게 된다. 각각의 구조물의 1차 모드 고유벡터에서 스카이브릿지가 연결되었다고 가정된 위치의 값을 1이 되도록 두 구조물의 모드 벡터를 스케일링(scaling)하였다. 그리고 스카이브릿지의 연결위치를 기준으로 조정된 두 구조물의 고유모드벡터의 차를 <그림 6>에 그래프로 나타내었다.



<그림 6> 스카이브릿지 연결위치에 따른 구조물의 고유벡터 차이

그래프의 Y축은 층수를 나타내며, 그래프의 X축은 40층과 50층 구조물의 스카이브릿지의 연결위치에 따라 조정된 1차모드 고유벡터의 차를 나타내

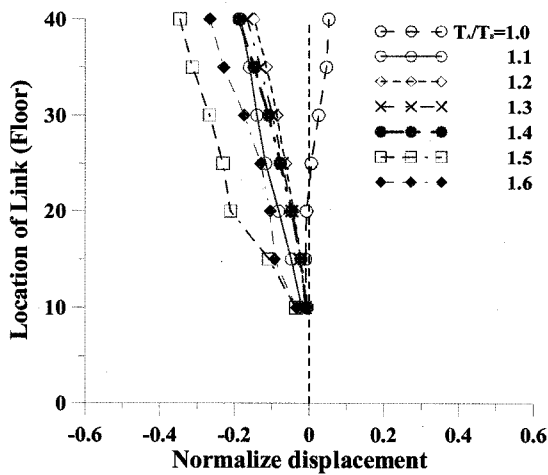
고 있다. 예를 들어 스카이브릿지의 설치 위치가 30층일 경우에는 40층 구조물과 50층 구조물의 30층 위치의 고유벡터를 1로 하여 모든 벡터 값을 조정 한 후 두 구조물의 고유모드벡터의 차이를 <그림 6>에 나타낸 것이다. 이때, 그래프에 나타난 차이가 실제 응답의 차이라고 할 수는 없지만 스카이브릿지로 연결된 구조물의 대체적인 경향은 파악할 수 있다고 판단된다. 따라서, <그림 6>에서 알 수 있듯이 10층에 스카이브릿지가 연결되었을 경우에는 다른 위치에 스카이브릿지가 연결된 경우보다 두 구조물의 1차모드 고유벡터간의 차이가 크며, 특히 40층 위치의 고유벡터의 차이가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 또한 스카이브릿지가 40층 위치에서 구조물과 연결되었을 경우의 고유벡터의 차이가 다른 위치에서 연결된 두 구조물의 고유 벡터 차이보다 가장 작은 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 스카이브릿지의 연결위치에 따른 구조물의 동적 응답은 스카이브릿지가 40층에 연결되었을 경우에 전체 구조물의 변위응답이 가장 효과적으로 제어될 것이라고 예측할 수 있다. 즉, 스카이브릿지를 낮은 위치에 연결하면 할수록 전체 구조물의 동적거동에 스카이브릿지가 미치는 영향이 작아지므로 두 구조물의 고유모드형상 차이가 증가한다고 볼 수 있다.

3.2 스카이브릿지의 연결위치에 따른 응답

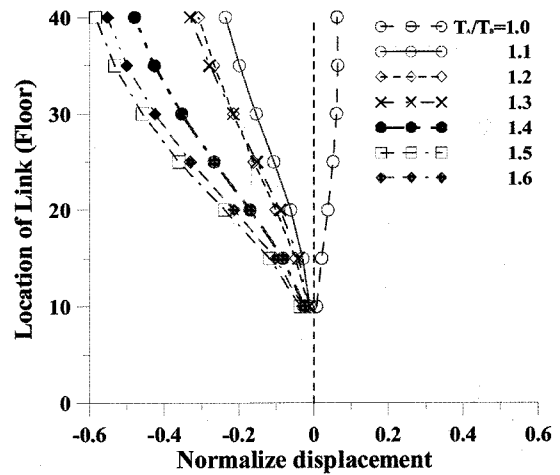
앞 절에서 설명한 바와 같은 스카이브릿지 설치 위치에 따른 해석결과를 <그림 7-14>에 나타내었다. <그림 7-10>은 El Centro 및 Taft지진하중에 의한 50층 구조물 최상층의 변위와 가속도응답의 최대치와 RMS값을 나타내고 있으며 <그림 11-14>에서는 40층 구조물에 대한 동일한 응답을 나타내고 있다. 각 그래프의 Y축은 스카이브릿지가 연결된 위치(층수)를 나타내고 X축은 스카이브릿지가 연결되었을 경우의 응답(D)을 스카이브릿지가 연결되지 않았을 경우의 응답(D_0)을 기준으로 아래의 식과 같이 정규화 시킨 값을 나타낸다. 따라서 0을 기준으로 값이 음수인 경우에는 구조물의 응답이 감소하게 되었을 경우이며, 양수인 경우에는 구조물의 응답이 증가하는 불리한 경우를 나타낸다.

$$\frac{D - D_0}{D_0} \quad (1)$$

해석 결과에서 볼 수 있듯이 입력된 지진하중의 종류와 관계없이 스카이버릿지가 구조물의 상부층에 연결될수록 전체 구조물의 변위응답이 감소하였다. 이것은 스카이버릿지가 구조물의 위쪽에 연결될수록 연결된 전체 구조물의 강성이 증가하기 때문으로 판단된다. 두 구조물의 고유진동주기가 동일한 경우에는 구조물의 변위응답에 대하여 스카이버릿지의 연결위치가 미치는 영향이 크지 않았고 50층 구조물의 변위응답에 있어서는 오히려 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 가속도 응답은 대체적으로 스카이버릿지가 최상층에 연결되었을 경우보다 20층 정도의 위치에 연결되었을 경우에 더 많이 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 구조물의 고차모드에 의한 영향으로 가속도 응답이 감소하는 것이라고 판단된다.

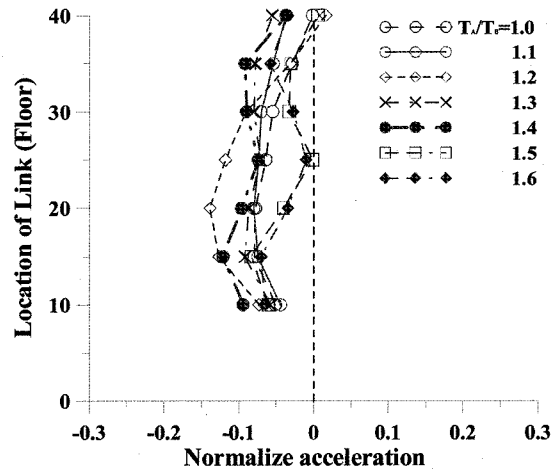


(a) 최대 변위응답

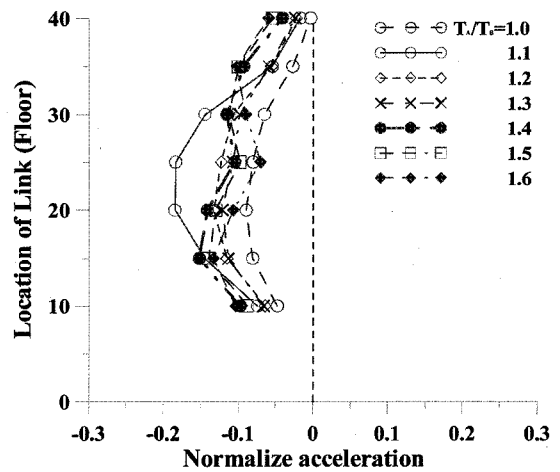


(b) RMS 변위응답

〈그림 7〉 El Centro지진에 대한 50층 구조물의 변위응답

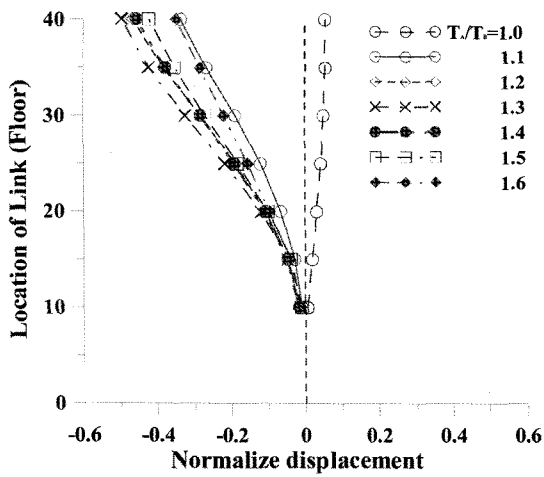


(a) 최대 가속도응답

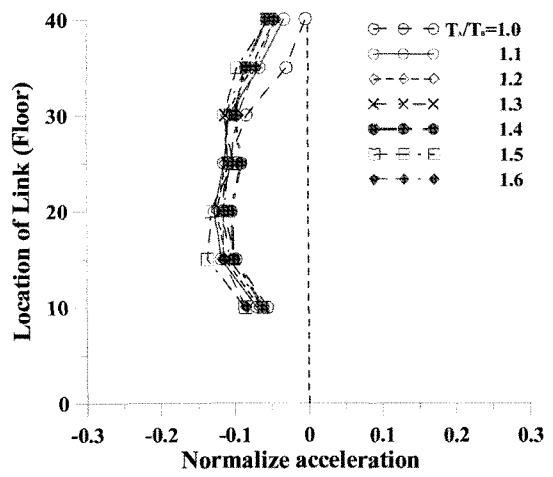


(b) RMS 가속도응답

〈그림 8〉 El Centro지진에 대한 50층 구조물의 가속도응답

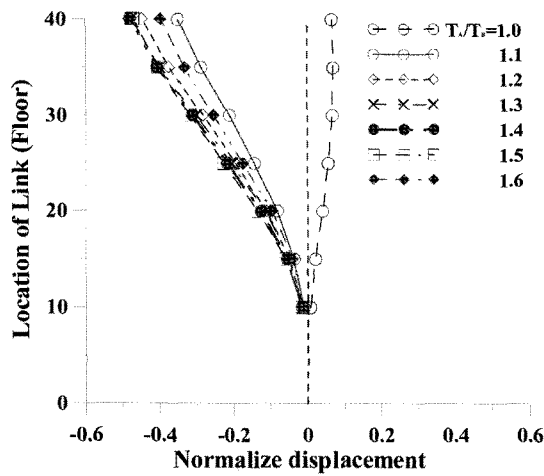


(a) 최대 변위응답



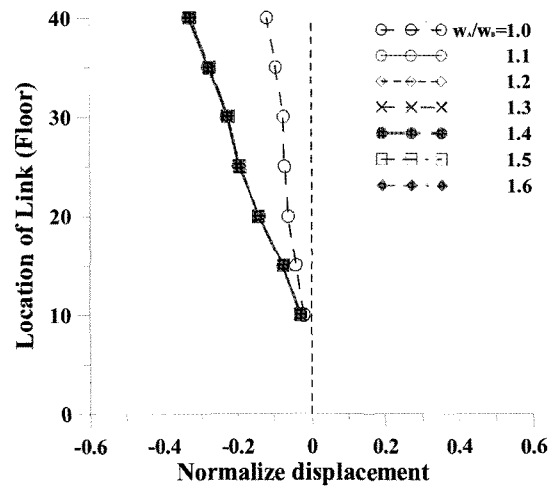
(b) RMS 가속도응답

<그림 10> Taft지진에 대한 50층 구조물의 가속도응답

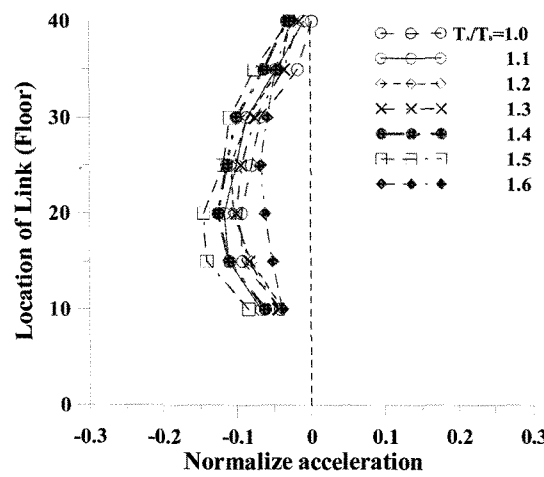


(b) RMS 변위응답

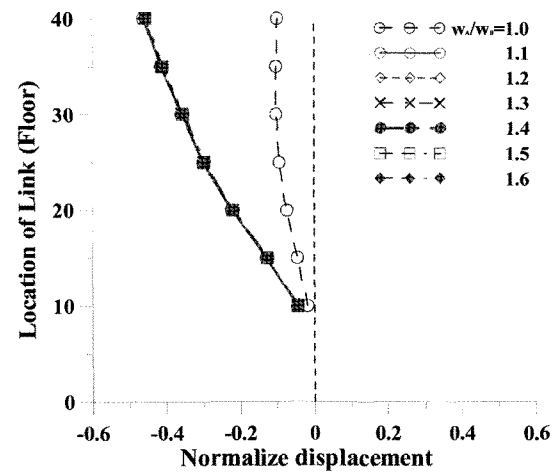
<그림 9> Taft지진에 대한 50층 구조물의 변위응답



(a) 최대 변위응답

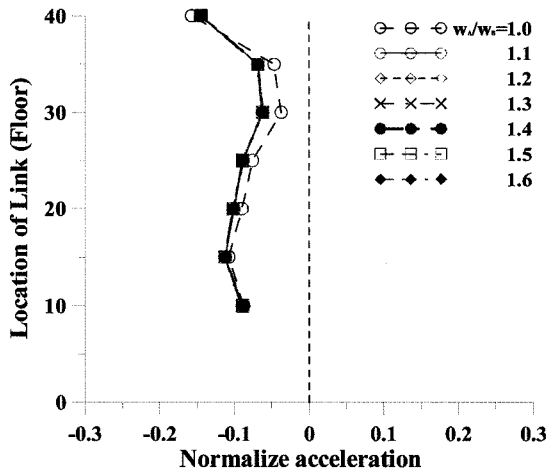


(a) 최대 가속도응답

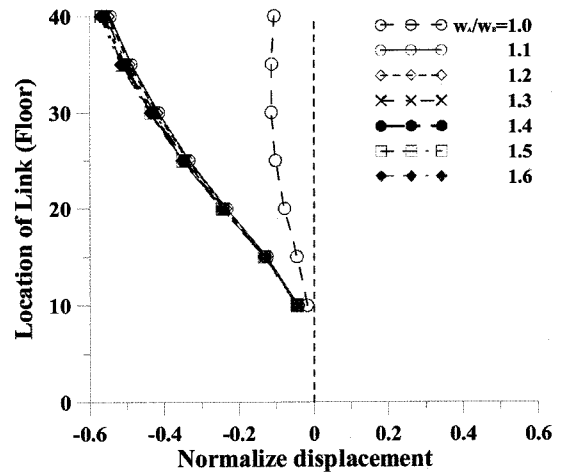


(b) RMS 변위응답

<그림 11> El Centro지진에 대한 40층 구조물의 변위응답

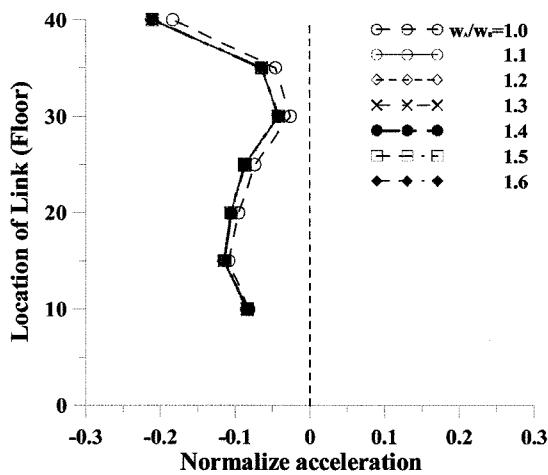


(a) 최대 가속도응답



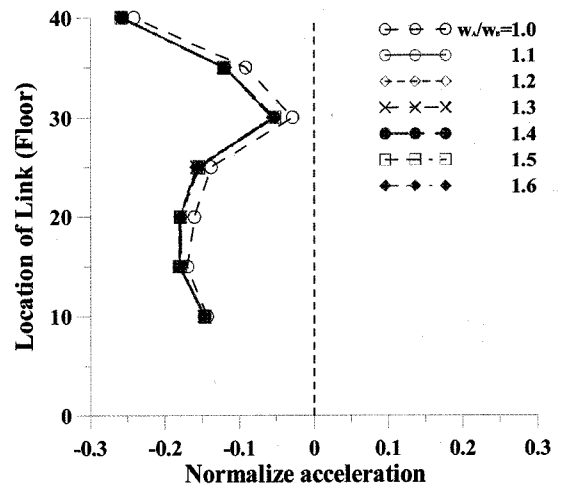
(b) RMS 변위응답

<그림 13> Taft지진에 대한 40층 구조물의 변위응답

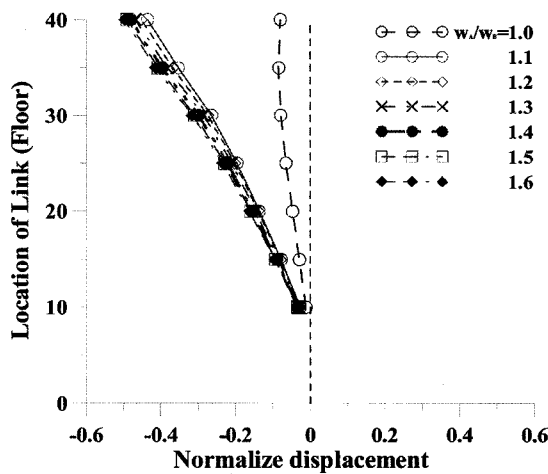


(b) RMS 가속도응답

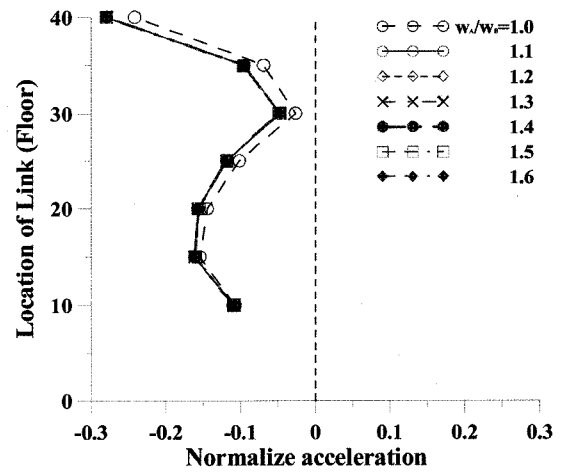
<그림 12> El Centro지진에 대한 40층 구조물의 가속도응답



(a) 최대 가속도응답



(a) 최대 변위응답



(b) RMS 가속도응답

<그림 14> Taft지진에 대한 40층 구조물의 가속도응답

El Centro 및 Taft지진하중에 대한 40층 구조물의 변위 및 가속도응답을 <그림 11-14>에 나타내었다. 위의 40층 구조물의 지진응답을 보면 50층 구조물의 경우와는 다르게 변위응답과 가속도응답 모두 스카이브릿지가 40층(최상층)에 연결되었을 때에 가장 뛰어난 진동제어 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 즉, 변위응답에 대해서는 50층 구조물의 응답과 동일하게 두 구조물의 상층부에 스카이브릿지가 연결될수록 진동제어 효과가 크게 나타나며, 가속도응답의 경우에는 30층 정도의 위치에 스카이브릿지가 연결되었을 때가 가장 불리하고, 최상층에 스카이브릿지가 연결되었을 경우에 가속도 응답이 최소가 된다는 것을 알 수 있다. 한편, 40층 구조물의 응답에서 고유주기 차이에 따른 구조물의 응답의 차이는 미소하다. 그래프를 살펴보면 두 구조물의 고유진동주기가 동일한 경우의 응답이 가장 불리하게 나타나고, 구조물의 고유진동주기가 다른 경우에는 고유주기의 차이와 관계없이 거의 유사한 진동제어 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

4. 결론 및 추후연구 간제

본 연구에서는 스카이브릿지로 연결되는 구조물 간의 고유진동주기 차이와 스카이브릿지의 연결위치에 따른 진동제어성능을 검토해보기 위하여 지진하중을 받는 예제구조물을 사용하여 경계비선형 시간이력해석을 수행하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스카이브릿지로 연결되는 구조물의 주기가 동일한 경우에는 두 개의 구조물이 거의 함께 거동하기 때문에 스카이브릿지에 의한 전체 구조물의 진동제어 효과를 기대하기 어렵다. 그러나 가속도 응답을 살펴보면 연결된 구조물의 고유주기가 동일하다고 하더라도 두 구조물의 높이가 다를 경우에는 진동제어 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다.
2. 해석결과 스카이브릿지의 설치위치가 50층 구조물의 1/2 지점에서 가속도 응답에 대한 저감 효과가 뛰어났다. 반면 변위응답이 최소가 되

는 지점은 구조물의 최상층으로 가속도 응답이 최소가 되는 지점과 일치하지 않는다. 그러므로 구조물의 응답제어 목표에 따라서 적절한 위치를 선정하여야 할 것이다.

3. 두 구조물간의 이동 및 피난 용도라는 스카이브릿지의 건축적인 목적을 고려한다면 스카이브릿지를 구조물의 최상층에 연결하는 것은 바람직하지 못할 것이다. 그러나 변위와 속도 응답의 저감을 위해서는 구조물의 최상층에 스카이브릿지를 연결하였을 경우가 가장 유리하다. 따라서 건축적인 목적과 진동제어라는 구조적인 목적을 함께 고려하여 설치위치를 결정하여야 할 것이다.
4. 입력 지진하중의 주기 성분에 따라서 구조물의 진동제어효과가 달라지기 때문에 지진응답스펙트럼을 구조물의 주기와 비교하여 파악해보아야 하며, 다양한 주기 성분을 가진 지진하중을 이용한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.
5. 본 연구를 통하여 두 구조물의 고유주기가 동일한 경우에도 진동제어 효과가 나타날 수 있다는 것을 확인하였다. 이것은 개별 구조물의 높이 차이에 의한 효과라고 판단된다. 따라서 스카이브릿지로 연결된 구조물의 높이 차이에 따른 진동제어 효과를 분석해보는 연구를 추후 수행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-331-D00642)을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 안상경, 오정근 (2005), Sky-bridge를 이용한 초고층 건물의 진동제어, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 25, No. 1, pp.35-38.
2. 김진구, 류진국 (2004), Sky-bridge로 연결된 건

- 물의 진동제어, 한국전산구조공학회 논문집, Vol. 17, No.2, 2004, pp.203-213.
3. 김현수, 양아람, 이동근, 안상경, 오정근 (2008), 스카й브릿지로 연결된 고층건물의 진동제어성능평가, 한국공간구조학회 논문집, Vol. 8, No. 4, pp. 91-100.
 4. Y.L. Xu, Q. He and J.M. Ko (1999), Dynamic response of damper-connected adjacent buildings under earthquake excitation, Engineering structures, Vol. 21, No. 2, pp.135-148.
 5. Jinkoo Kim, Jingook Ryu and Lan Chung (2006), Seismic performance of structures connected by viscoelastic dampers, Engineering structures, Vol. 28, No. 2, pp.183-195.
 6. 옥승용, 박관순, 고현무 (2006), 인접구조물의 진동제어를 위한 선형감쇠시스템의 최적설계, 한국지진공학회 논문집, Vol. 10, No. 3, pp.85-100.
 7. 김현수, 이동근, 양아람, 고현 (2009), 스카й브릿지로 연결된 벨트월이 있는 고층건물의 효율적인 동적해석, 한국전산구조공학회 논문집, Vol. 22, No. 3, pp.231-242.
 8. 양아람, 스카й브릿지로 연결된 구조물의 효율적인 동적해석을 위한 등가모델, 석사학위논문, 성균관대학교.