

# 수평·상하 지진을 받는 아치구조물에 대한 등가정적지진력 제안

## A Proposal of Quasi Static Seismic Force for Arches subjected to both the Horizontal and Vertical Seismic Wave

정 찬 우\*

Jung, Chan-Woo

### 요 약

일반적인 각형 라멘 구조물에 있어서, 상하지진동은 수평지진동에 비하여 구조물에 미치는 영향이 작다고 간주되어, 내진설계에 있어서는 수평지진동만을 고려하는 것이 일반적이다. 그러나, 공간구조물에서는 수평지진동에 의해 수평방향뿐만 아니라 연직방향으로도 구조물의 동적응답이 크게 증폭되며, 또한 상하지진동에 의해서도 연직방향뿐만 아니라 수평방향으로도 구조물의 동적응답이 크게 증폭되는 특성을 가지고 있으므로, 수평·상하 양방향의 지진동을 모두 고려할 필요가 있다. 본 논문에서는 공간구조물의 가장 간단한 구조형식인 아치를 대상으로, 수평·상하지진동의 동시입력에 대한 순간가속도 응답배율의 특성을 고찰하였다. 또한, 지진동의 단독입력시의 등가정적지진력을 이용하여, 지진동의 동시입력에 대한 등가정적지진력을 제안하였다.

### Abstract

Only horizontal seismic waves are often applied as designed load to a rectangular rigid frame because the influence of vertical seismic waves is considered small so as to be able to ignore it. But, as for the seismic responses of shell and spatial structures, the responses in the vertical direction is significantly amplified and the vertical responses are amplified even if they are subjected to the horizontal seismic wave only. And also, the horizontal and vertical seismic responses of shell and spatial structures are amplified by vertical seismic waves. An arch has been often used as the main structure component of the large spatial structures and is the mostly simple structure with the seismic response characteristics of the spatial structures.

In this paper, for arches as a simple example of the shell and spatial structures, the dynamic characteristics when the structures are subjected to the horizontal and vertical seismic wave at the same time, are studied, and the horizontal and vertical static seismic force, which have simple forms but hold the response characteristics of arches, are proposed.

**키워드 :** 아치, 상하지진, 등가정적지진력

**Keywords :** Arch, Vertical seismic wave, Quasi static seismic force

## 1. 서 론

일반적인 각형 라멘 구조물에 있어서, 상하지진동은 수평지진동에 비하여 구조물에 미치는 영향이 작다고 간주되어, 내진설계에 있어서는 수평지진동만을 고려하는 것이 일반적이다. 그러나, 공간구조물에서는 수평지진동에 의해 수평방향뿐만 아니라

연직방향으로도 구조물의 동적응답이 크게 증폭되며, 또한 상하지진동에 의해서도 연직방향뿐만 아니라 수평방향으로도 구조물의 동적응답이 크게 증폭되는 특성을 가지고 있으므로, 수평·상하 양방향의 지진동을 모두 고려할 필요가 있다. 일본의 경우, 중요 구조물로 구분되는 원자력발전소의 A, As 클래스 시설에 있어서는 상하지진동을 고려하도록 규정되어 있고, 그 적용에 있어, 상하지진력은 수평지진력과 동시에 그리고 불리한 방향으로 조합되며, 상하지진력의 크기는 수평지진력의 1/2으로 하도록

\* 정회원 · 경북대학교 건설공학부 BK박사후과정, 공학박사  
TEL : 053-950-4766  
E-mail : kujou1029@hanmail.net

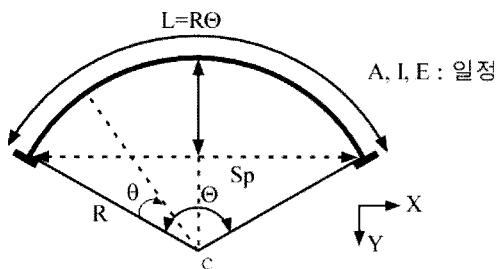
규정되어있다.<sup>1)</sup>

아치구조물은 대공간구조물의 주요 구조형식으로 종종 사용되고 있으며, 동시에 공간구조물의 지진응답특성을 나타낼 수 있는 가장 간단한 구조형식이다. 본 논문에서는 이와 같은 아치구조물을 대상으로, 수평지진동 및 상하지진동을 각각 고려하였을 경우 및 수평지진동·상하지진동을 동시에 고려할 경우에 대한 진동특성을 비교·분석하고, 그 결과를 바탕으로 지진동의 동시입력에 대한 등가정적지진력의 설정법을 제안하고자 한다.

## 2. 해석조건

### 2.1 해석모델

해석모델은 <그림 1>에 나타난 아치구조물을 20분할한 beam요소로 모델링하였다. 아치의 단면적  $A$ 는  $1\text{cm}^2$ , 단면2차모멘트  $I$ 는  $56.3\text{cm}^4$ , 단면계수  $Z$ 는  $7.5\text{cm}^3$ , 단면이차반경  $i$ 는  $7.5\text{cm}$ , 영계수  $E$ 는  $206\text{Gp}$ 로 고정한다. 아치의 주장  $L$ 을 조정함으로써, 아치의 걸보기 세장비  $\lambda = L/i$ 가 100, 150, 200이 되도록 설정하고, 아치의 개각(開角)  $\theta$ 는  $30^\circ \sim 180^\circ$ 까지  $30^\circ$ 간격으로 설정한다. 더하여, 단위길이당 질량  $\rho g$ 를 조정함으로써, 1차고유진동수  $f_1$ 이  $1\text{Hz} \sim 3.5\text{Hz}$ 까지  $0.5\text{Hz}$ 씩 차이가 나는 모델을 설정하였다. 즉, 걸보기 세장비  $\lambda$ 에 따라 3종류의 모델, 개각  $\theta$ 에 따라 6종류의 모델, 1차고유진동수  $f_1$ 에 따라 6종류의 모델, 즉,  $3 \times 6 \times 6 = 108$ 개의 모델을 검토하였다.



<그림 1> 해석모델(아치구조물)

### 2.2 지진동의 입력조건

지진동의 입력조건으로는 아래에 기술한 4종류의 실지진기록을 이용하여 동적응답해석을 수행한다. 각

지진동의 수평성분과 상하성분을 각각 독립적으로 입력할 경우와 동시에 입력할 경우에 대하여 응답해석하고 결과를 비교·고찰한다. 즉  $108(\text{모델수}) \times 4(\text{지진종류}) \times 3(\text{지진동방향}) = 1296$ 회의 해석을 수행하게 된다.

<표 1> 입력지진동

• El-Centro	1940, 5, 18	NS, UD
• Taft	1952, 7, 21	EW, UD
• Miyagi	1978, 6, 12	NS, UD
• Hachinohe	1968, 5, 16	NS, UD

수평·상하지진에 대한 연구로서, 矢花<sup>1)</sup> 등은 감쇠정수 5%의 1질점계의 상하·수평지진응답을 구하여, 각각의 최대응답치의 발생시각이 일치하지 않음을 확인하였다. 또한, 수평지진동의 최대가속도발생시각에 있어서의 상하지진력은 수평지진력 크기의 0.4~0.5배 정도라는 것을 밝혔다. 이에 의거, 본 논문에서는 수평지진동의 가속도의 최대치를 100gal로 기준화시키고, 상하지진력의 진도는 수평지진력의 1/2의 값을 채용하였다.

## 3. 순간가속도응답분포의 추출조건

아치구조물에 대하여, 특정 시각에 대한 순간적인 가속도응답분포를 비교함으로써 지진동응답특성을 고찰한다. 순간가속도응답분포를 추출하기 위한 시각의 판단조건으로서 아래의 <표 2>와 같은 4종류의 판단조건을 적용하고, 판단조건에 따른 응답분포특성의 차이의 유무를 고찰한다.

또한, 아래의 <표 3>과 같이 수평·상하지진동의 3가지 입력조건에 대하여, 절대가속도응답벡터의

<표 2> 순간가속도응답분포를 추출하기 위한 시각의 판단조건

D판정	변위벡터가 최대가 되는 시각(기호:□)
A판정	절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각(기호:△)
S판정	응력이 최대가 되는 시각(기호:▲)
R판정	입력방향 반력이 최대가 되는 시각(기호:○)

크기가 최대가 되는 시각(時刻)을 구한다. 대부분의 경우에 있어 TH와 TV는 서로 일치하지 않는다. 본 논문에 있어서는, THV와 TH, TV를 비교함으로써, 수평·상하지진동의 동시입력에 대하여 각 수평·상하지진동이 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

<표 3> 지진동의 입력조건에 따른 절대가속도응답벡터의 발생시각표기법

$T_H$	수평지진동 입력에 대하여 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각
$T_V$	상하지진동 입력에 대하여 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각
$T_{HV}$	수평·상하지진동의 동시입력시의 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각

## 4. 순간가속도응답분포특성

### 4.1 분포형에 관한 고찰 (최대응답을 보여주는 위치)

<그림 2~5>는 순간가속도응답의 분포특성을 잘 나타내고 있다. 각 그림의 횡축은 아치에 있어 무차원화한 좌측단에서부터의 각도( $\eta = \theta/\theta$ )를 나타내고, 종축은 순간가속도응답을 입력지진동의 최대치로 나눈 순간가속도응답배율을 나타낸다. 즉, 각 그림은 순간가속도응답배율의 분포특성을 나타내고 있다. 각 그림은 1지진파×4판단조건에 의한 4개의 분포로 구성되어 있다.

<그림 2~3>은, 1차고유진동수  $f_1 = 2.0\text{Hz}$  이고, 개각  $\theta = 30^\circ$  을 가지는 아치를 대상으로 하고 있고, <그림 4~5>는 1차고유진동수  $f_1 = 2.0\text{Hz}$  이고, 개각  $\theta = 180^\circ$  을 가지는 아치를 대상으로 한다. <그림 2>, <그림 4>는, 왼쪽에서 차례로, 수평지진동 입력에 대한 수평가속도응답배율분포(HH), 상하지진동 입력에 대한 수평가속도응답배율분포(VH), 수평·상하지진동 동시입력시의 수평가속도응답배율분포(HV\_H)를 나타낸다. 또한 <그림 3>, <그림 5>는, 왼쪽에서 차례로, 수평지진동 입력에 대한 연직가속도응답배율분포(HV), 상하지진동 입력에 대한 연직가속도응답배율분포(VV) 및 수평·상하지진동 동시입력시의 연직가속도응답배율분포(HV\_V)를 나타낸다.

각 그림에서 HH 및 VV의 분포는 대칭분포, HV 및

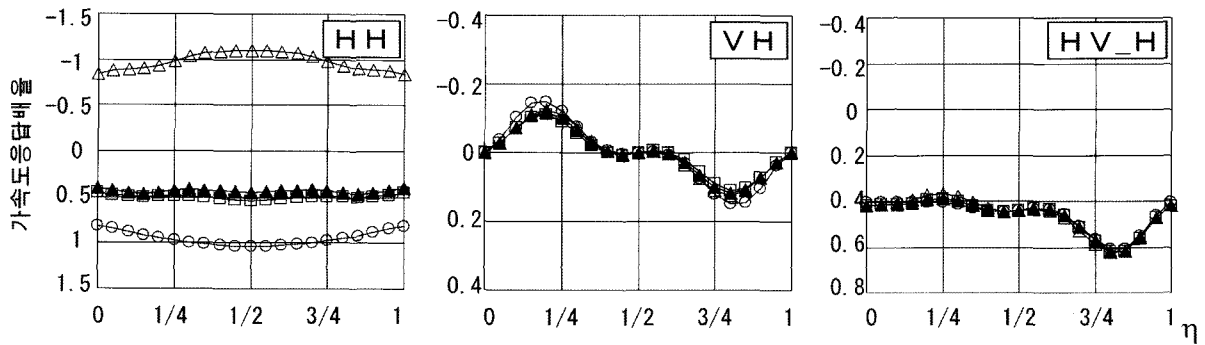
VH의 분포는 역대칭분포를 보이고 있으나, HV\_H 및 HV\_V분포는 대칭형분포가 아닌 비대칭분포를 보인다. HH, HV, VH분포는 개각적으로 하나의 분포형을 보이고 있으나, VV의 경우 개각 $\theta$ 의 영향에 의한 대칭2차모드의 고유진동모드형상<sup>3)</sup>의 특징이 강하게 발현하여, 아치의 중앙에서 진폭이 큰 3파형분포(VV1분포)와 아치의 양측면에서 진폭이 크게 발생하는 3파형분포(VV2분포)가 나타난다<sup>2)</sup>. <그림 5>의 중앙부 그림에 VV1분포와 VV2분포의 예를 굵은 실선과 파선으로 나타내었다. 여기서, VV1분포는 주로 휨에 의한 변형을 하는 휨지배형 가속도분포형이며, VV2분포는 주로 축력에 의한 변형을 하는 축력지배형 가속도분포형을 나타낸다.

HV\_H분포는 HH분포 및 VH분포가 더해진 형태의 분포형을 보인다. HH분포 및 VH분포가 하나의 분포형을 보이고 있으므로, HV\_H분포형도 하나의 분포형을 보인다. HV\_V분포형은 HV분포와 VV1 또는 VV2분포가 더해진 형태의 분포형을 보이고 있으며, 이를 HV\_V1분포 및 HV\_V2분포라 부르기로 한다. HV\_H분포, HV\_V1분포, HV\_V2분포는 HH분포와 VH분포의 진폭비, HV분포와 VV1분포 혹은 VV2분포의 진폭비에 따라 다양한 형태의 분포형을 형성한다.

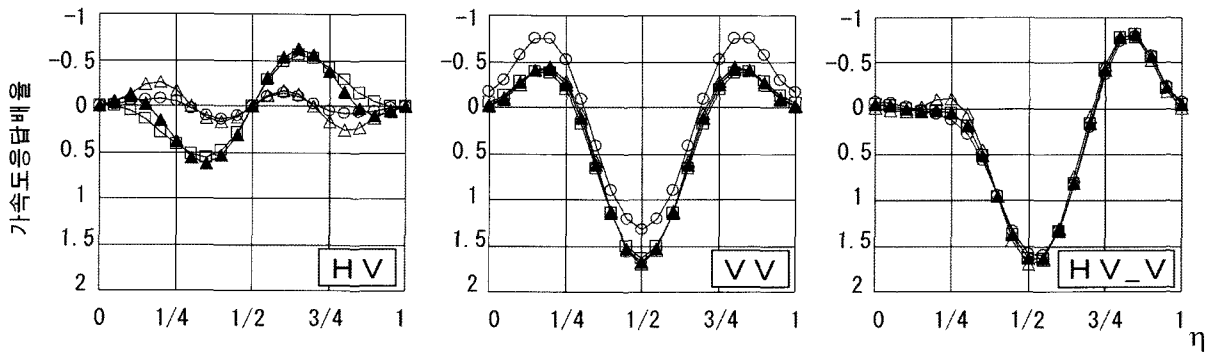
해석모델 설정시, 본 논문에서는 길보기세장비 $\lambda$ , 1차고유진동수 $f_1$  및 개각 $\theta$ 를 구조물 형상에 대한 파라메타로 삼았으나, 길보기세장비 $\lambda$ 에 대한 분포형의 변화는 비교적 작고, 주로, 개각 $\theta$  및 1차고유진동수 $f_1$ 에 의하여 변화하는 것을 알 수 있었다. 또한, 순간가속도응답분포를 추출하는 시각의 타당성을 보기위하여, 4종류의 판단조건을 선정하였으나, 판단조건에 따른 응답분포의 차이는 작았다.

### 4.2 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각 T에 관한 고찰

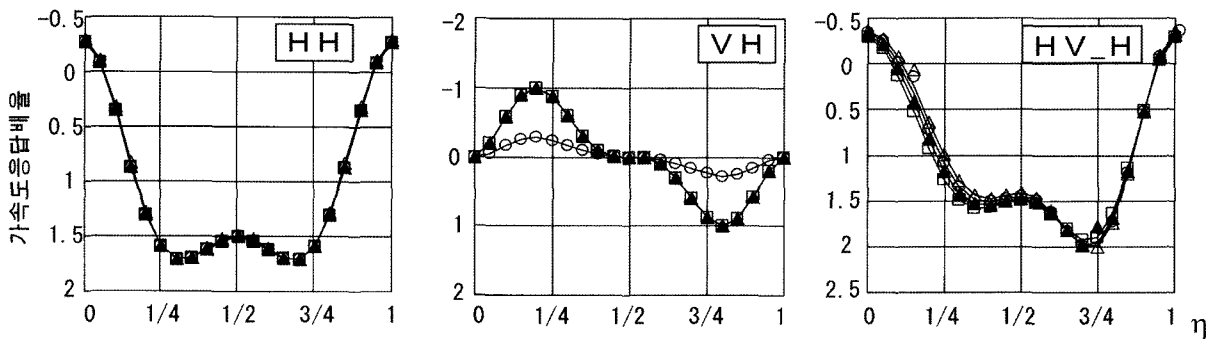
<그림 6>은 수평·상하지진동의 동시입력시, 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각과 각각 입력하였을 경우 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각이 일치하는 비율을 나타내고 있다. 여기서, 응답벡터란 지진동의 수평응답과 수직응답을 하나의 벡터로 합성하였다는 것을 나타낸다.



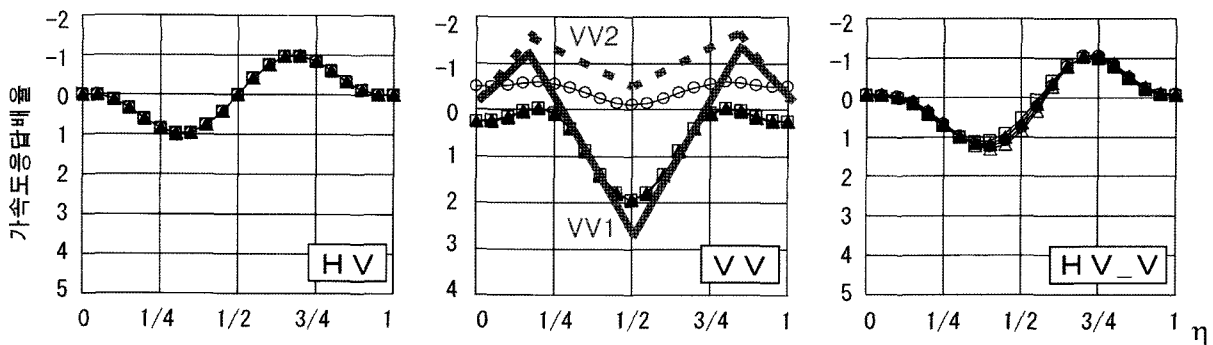
〈그림 2〉 수평방향의 순간가속도 응답배율분포( $f_1=2.0Hz$ , 개각=30°)



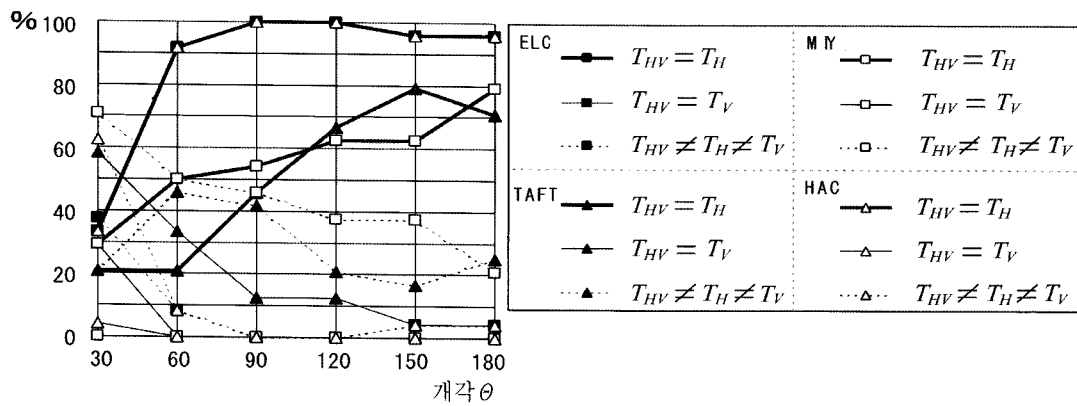
〈그림 3〉 연직방향의 순간가속도 응답배율분포( $f_1=2.0Hz$ , 개각=30°)



〈그림 4〉 수평방향의 순간가속도 응답배율분포( $f_1=2.0Hz$ , 개각=180°)



〈그림 5〉 연직방향의 순간가속도 응답배율분포( $f_1=2.0Hz$ , 개각=180°)



(그림 6) 4지진파입력에 대하여 THV와 TH, TV가 일치하는 비율

<그림 6>의 횡축은 개각 $\theta$ 를 나타내고, 종축은 6개의 1차고유진동수 $f_1 \times 4$ 판단조건으로 24회의 해석 횟수에 대해, 수평·상하지진동의 동시입력에 대하여 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각 $T_{HV}$ 과 수평동 입력에 대한 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각 $T_H$ 이 일치하는 경우,  $T_{HV}$ 가 상하동 입력에 대한 절대가속도응답벡터가 최대가 되는 시각 $T_V$ 와 일치하는 경우,  $T_{HV}$ 가  $T_H$ 와  $T_V$ 의 양쪽 시각과 모두 일치하지 않는 경우의 횟수를 전 해석수(24)에 대한 백분율로 표시하고 있다.

그림으로부터, 4지진파에 대하여 모두 개각 $\theta$ 이 클수록  $T_{HV} = T_H$ 가 되는 비율이 크게 되고, 개각 $\theta$ 가 작게 될수록  $T_{HV} = T_V$  또는  $T_{HV} \neq T_H \neq T_V$ 가 되는 비율이 커짐을 알 수 있다. El-Centro파와 Hachinohe파 입력의 경우, 개각 $60^\circ$ 이상이면, 90%이상의 비율로  $T_{HV} = T_H$ 가 되는 것을 알 수 있으며, 즉, 수평지진동입력에 의한 동적응답이 지배적이 됨을 알 수가 있다. Taft파와 Miyagi파의 경우,  $60^\circ$ 이상에서도  $T_{HV} \neq T_H \neq T_V$ 의 비율이 20%이상 발생함을 보임으로서, 수평·상하지진동의 동시입력시의 최대 응답발생을 고려할 필요성이 있음을 보여준다.

### 4.3 최대응답치에 관한 고찰

<그림 7~9>는, 1차고유진동수 $f_1$ 이  $1\text{Hz} \sim 3.5\text{Hz}$ 이고, 겹보기 세장비 $\lambda$ 가 100, 150, 200인 아치에 대하여 수평·상하지진동 동시입력시 HV\_H, HV\_V1 및 HV\_V2 분포의 최대치( $HV\_H,max$ ,  $HV\_V1,max$ ,  $HV\_V2,max$ )를 보여준다.

HH와 VH분포가 더해진 형태를 하고 있는 HV\_H

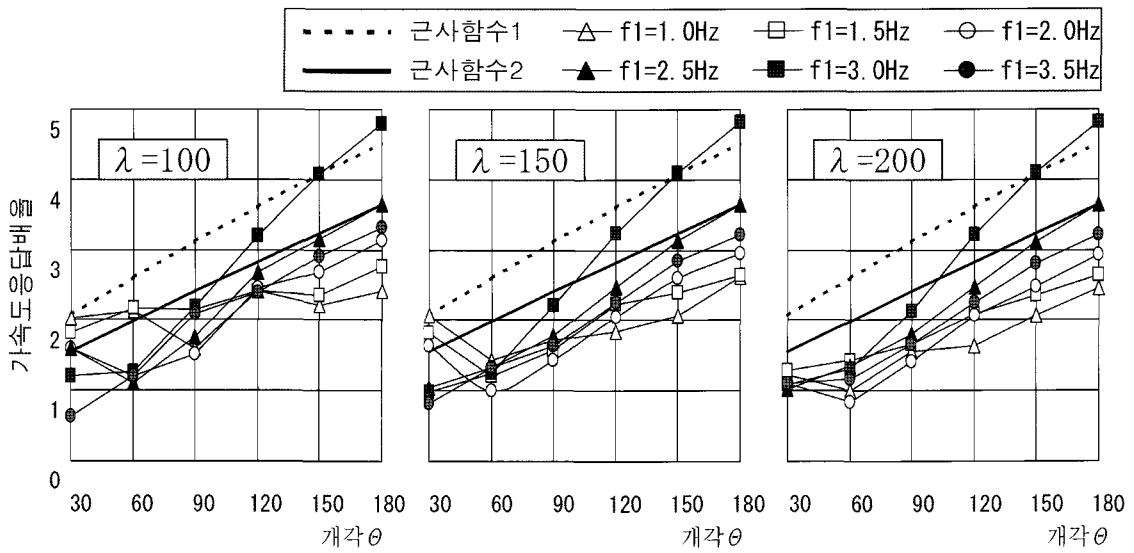
분포의 경우에는, HH분포에서 최대치를 보여주는 위치와 VH에서 최대치를 보여주는 위치가 중첩되는 영역이 존재하므로, HH, VH분포와 동일하게 전구간에서 최대치를 취한다.

수평·상하지진동의 동시입력에 대한 연직응답 HV\_V분포의 경우, 정확하게 HV\_V1과 HV\_V2분포로 구분하기 어렵다. 지진동을 각각 입력한 경우에는, 중앙의 값과 양측면의 값을 비교하여 중앙의 값이 큰 경우를 VV1분포, 양쪽의 값이 큰 경우를 VV2분포를 부르는 것이 가능하였으나, 지진동의 동시 입력의 경우 HV분포형이 가산됨으로써 VV1 및 VV2분포의 어느 쪽도 답지 않는, 오히려 HV분포형에 닮은 분포형도 HV\_V분포에 존재하기 때문이다. HV분포는 부재양측에서 최대값을 중앙에서는 항상 0의 값을 가지고 있으며, VV1분포는 중앙에서 최대값을 보여주기 때문에, HV\_V1분포의 경우 VV1분포형에 닮은 분포형과 HV분포에 닮은 분포형이 둘 다 존재가능하다.

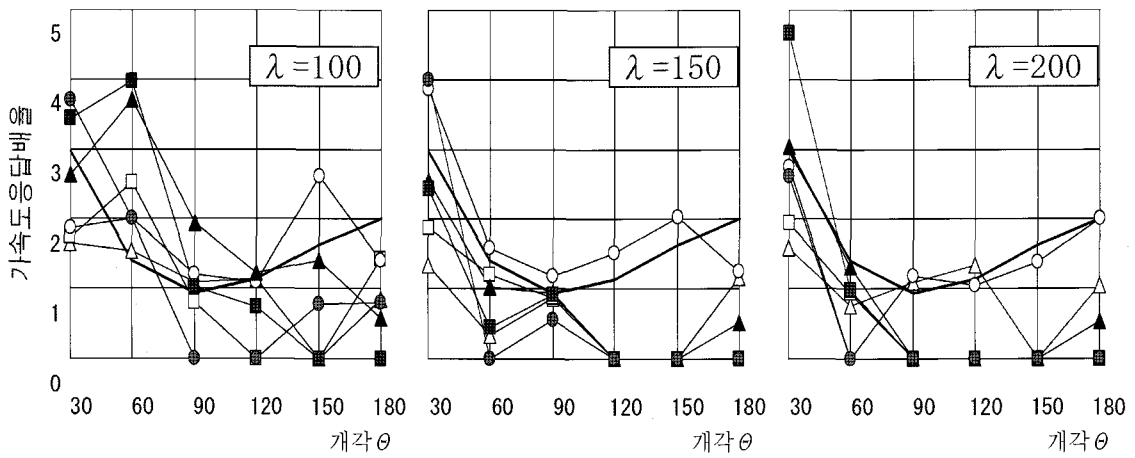
이에 본 논문에서는, 편이성을 위하여 아치의 정중앙절점 인근의 3절점내에서 최대값이 발생하는 경우 HV\_V1분포라 하고, 그의 최대값을 취한다. 또한, 정중앙절점 인근의 3절점 이외의 위치에서 최대응답이 발생할 경우 HV\_V2분포라고 하고, 그의 최대값을 취한다.

각 그림의 실선은, 4입력지진파 $\times 4$ 판단조건에 의한 16개의 분포 전체에 대한 최대응답치를 보여준다. 또한, 굵은 실선 및 점선은, 최대응답분포의 근사함수를 보여준다.

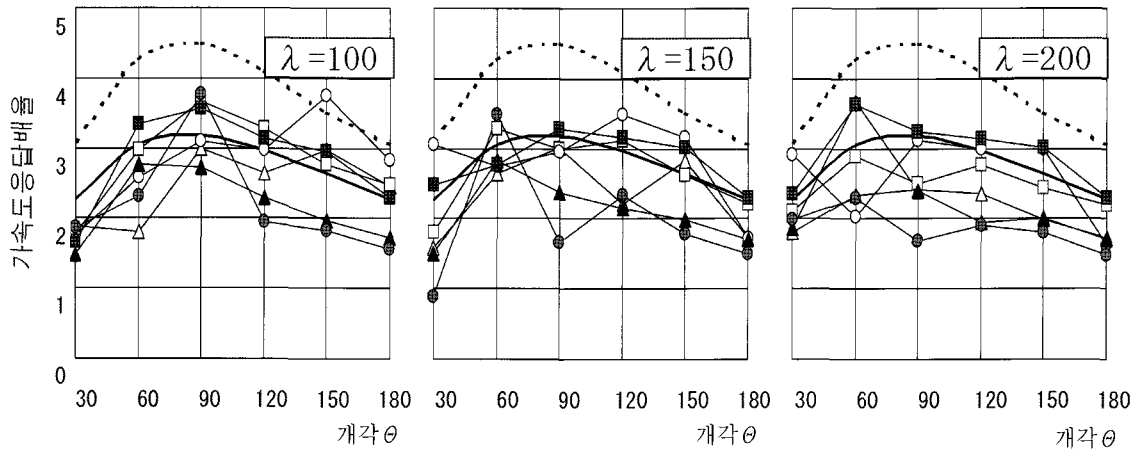
동시입력에 의한 절대가속도응답최대치는, 수평지진동 입력에 의한 수평응답최대치  $HH,max$ , 상하지진



〈그림 7〉 수평·상하진동의 동시입력시 수평응답최대치 HV\_H,MAX



〈그림 8〉 수평·상하진동의 동시입력시 연직응답최대치 HV\_V1,MAX



〈그림 9〉 수평·상하진동의 동시입력시 연직응답최대치 HV\_V2,MAX

동 입력에 대한 연직응답최대치 VV1,max, VV2,max 와 기본적인특징은 거의 변하지 않음을 알 수 있다.

그림으로부터, 동시입력에 대한 수평응답최대치(HH\_H,max)는, 개각θ가 커지면 선형적으로 증가하는 경

향을 보인다. 결보기세장비 $\lambda$ 가 최대응답치에 미치는 영향은 거의 없음을 알 수 있다. 또한,  $HH\_V1,max$ 는 개각 $90^\circ$ 를 기준으로, 개각이 작아지면 급격히 응답최대치가 크게 되고, 또한, 개각이 커지면 완만히 증가하는 경향을 보인다.  $HV\_V2,max$ 는, 개각 $\theta$ 이  $60^\circ \sim 120^\circ$ 에서 크게 되는 경향을 보인다. 결보기세장비 $\lambda$ 의 영향은 비교적 작음을 알 수 있으며,  $\lambda$ 가 100, 150, 200으로 증가할 때, 응답의 최대치를 보여주는 각도가  $60^\circ$ 에서  $90^\circ$ 의 위치로 변화함을 알 수 있다.

### 5. 등가정적지진력의 설정

#### 5.1 등가지진력설정에 있어서의 가정

운동방정식에서 감쇠력항을 소거하면, 관성력항을 하중항으로 둘 수 있고, 관성력항은 아래의 식과 같이 변형한다.

$$\text{관성력항} = mg \times \frac{\text{입력지진동의 가속도 최대값}}{g} \quad (1)$$

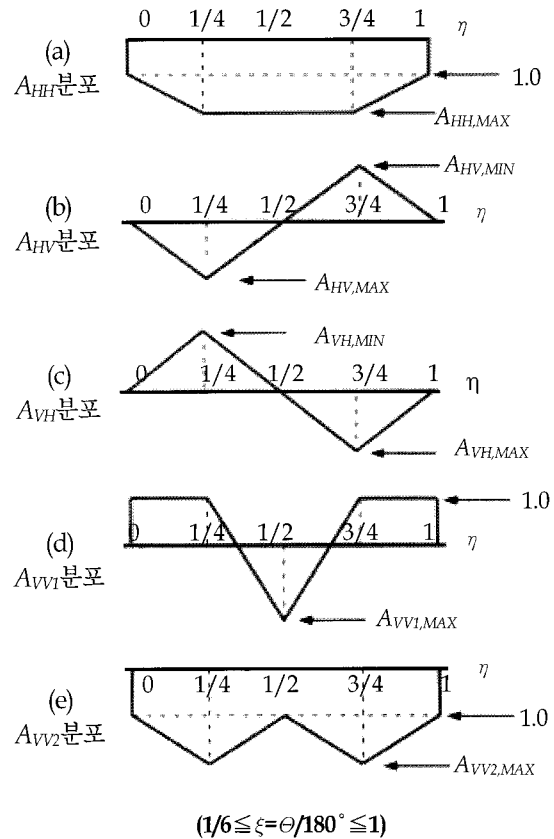
$$\times \frac{\text{순간절대가속도응답분포}}{\text{입력지진동의 가속도 최대값}}$$

본 논문에서 구한 절대가속도응답배율분포는, 입력진도로 기준화한 진도분포함수로 볼 수 있다. 따라서, 등가정적지진력은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{등가정적지진력}(P) = \text{단위 길이당 중량}(p) \times \text{진도}(C) \times \text{진도분포함수}(A) \quad (2)$$

본 논문에서는 가능한 간단한 정적진도분포의 모델화 및 정적지진력의 설정을 목표로 하며, 아래와 같은 가정을 이용한다.

- 1)  $\lambda$ 가 200의 결과를 이용한다. 아치의 미관 및 경제성의 면으로부터, 실존하는 아치의 결보기세장비 $\lambda$ 는 200이상인 경우가 많다.
- 2) A판정의 결과를 기준으로 한다. 가장 큰 응답을 보이는 응답의 그룹에 주목하며, 4차를 넘는 고차고유진동모드에 관한 응답은 무시한다.
- 3) 수평·상하 지진동 동시입력에 대한 연직응답은  $HV\_V1$ 과  $HV\_V2$ 의 두 모델로 표현한다.
- 4) 수평·상하 지진동 동시입력에 대한 등가지진력은 수평·상하지진동을 각각 입력하였을 경



$$A_{HH,MAX} = 1 + 2.5\xi$$

$$A_{HV,MAX} = -A_{HV,MIN} = -5(\xi - 0.7)^2 + 2.5$$

$$A_{VH,MAX} = -A_{VH,MIN} = -(\xi - 1)^2 + 2$$

$$A_{VV1,MAX} = -29\xi^3 + 68\xi^2 - 47\xi + 12$$

$$A_{VV2,MAX} = 27\xi^3 - 52\xi^2 + 26\xi + 1$$

<그림 10> 수평·상하 지진동을 각각 입력하였을 경우에 대한 진도분포함수(A)

우의 등가지진력을 이용한다.

수평·상하 지진동을 각각 입력하였을 경우의 등가지진력을 PHH와 PHV라 할 때 각 등가지진력에 대응하는 진도분포함수(A)는 가속도 응답분포 특성으로부터 <그림 10>과 같이 간략화 할 수 있다.<sup>2)</sup> 그림에서  $\eta (= \theta/\theta)$ 는 아치에 있어 무차원화한 좌측단에서부터의 각도(아치의 각부 위치)를 나타낸다. 각 진도분포함수의 최대·최소치는  $\xi (= \theta/180^\circ)$ 의 함수로 제안하였다. 이때,  $\xi$ 는  $180^\circ$ 로 무차원한 아치의 개각을 나타낸다.

#### 5.2 수평·상하 지진동 동시입력에 대한 등가정적지진력의 설정

본 논문에서는 상기 가정으로부터, 수평·상하지

진동을 각각 입력하였을 경우에 대한 등가정적지진력<sup>2)</sup>을 이용하여, 지진동의 수평·상하 동시입력에 대한 등가정적지진력을 구한다.

수평·상하지진동의 동시입력시의 등가정적지진력을 구하는 방법으로, 단순하게 수평지진동에 의한 지진력(P<sub>HH</sub>)과 상하지진동에 의한 지진력(P<sub>HV</sub>)을 더하는 방법과 P<sub>HH</sub>와 P<sub>HV</sub>의 제곱합의 제곱근 방법(Square Root of Sum of Square: SRSS)의 2종류의 방법을 검토하였다.

① 가산에 의한 방법

$$\begin{aligned} P_{HV\_H} &= P_{HH} + P_{VH} \\ P_{HV\_V} &= P_{HV} + P_{VV} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $(P_{HV\_V1} = P_{HV} + P_{VV1}$   
 $P_{HV\_V2} = P_{HV} + P_{VV2})$

② SRSS에 의한 방법

$$\begin{aligned} P_{HV\_H} &= \sqrt{(P_{HH})^2 + (P_{VH})^2} \\ P_{HV\_V} &= \sqrt{(P_{HV})^2 + (P_{VV})^2} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{aligned} P_{HV\_V1} &= \sqrt{(P_{HV})^2 + (P_{VV1})^2} \\ P_{HV\_V2} &= \sqrt{(P_{HV})^2 + (P_{VV2})^2} \end{aligned}$$

<그림 7~9>에 2종류의 방법에 대한 결과를 나타내었다. 그림중의 점선으로 표시된 근사함수1은 가산에 의한 방법에 따른 등가정적지진력을, 그림중의 굵은 실선으로 표시된 근사함수2는 SRSS법에 의한 방법에 따른 등가정적지진력을 나타낸다. 단, 단위 길이당 중량(p)=1, 수평입력진도(C<sub>BH</sub>)=1, 상하입력진도(C<sub>BV</sub>)=1/2로 둔 등가정적지진력, 즉, 진도분포함수를 나타낸다. 그림들로부터, 가산에 의한 방법은 실제 응답보다 다소 과다한 값을 보여주고 있고, SRSS에 의한 방법은 실제 응답의 최댓값에 근접한 값을 보여주고 있으며, 실제 응답의 특성을 잘 재현하고 있다고 할 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 수평·상하지진동을 동시에 입력하

였을 경우에 대한 순간가속도 응답배율의 특성을 고찰하였고, 지진동을 각각 입력하였을 경우에 대한 등가정적지진력을 이용하여, 지진동의 동시입력시의 등가정적지진력을 제안하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 수평·상하 지진동의 동시입력시 아치의 가속도응답은 대칭·역대칭을 벗어난 비대칭의 형태를 나타낸다. 이 비대칭의 형태는 수평·상하지진동을 각각 입력했을 때의 각 가속도응답이 더해진 것과 같은 형상을 하고 있다.
- 2) 개각θ이 클수록  $T_{HV} = T_H$ 가 되는 비율이 크게 되고, 개각θ가 작게 될수록, 특히 60°이하에서는  $T_{HV} = T_V$  또는  $T_{HV} \neq T_H \neq T_V$ 가 되는 비율이 크게 나타난다. 즉, 개각이 60°이하가 되면 상하지진동을 고려해줄 필요가 있다.
- 3) 수평·상하지진동을 각각 입력하였을 경우에 대한 등가지진력의 제곱합의 제곱근방법(SRSS)으로, 수평·상하지진동의 동시입력시의 등가지진력을 구할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비지원(#06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 矢花修一, 石田勝彦, 上下·水平地震荷重の設定法に関する検討, 電力中央研究所報告, U92005, 平成4年6月
2. 鄭讚愚, 山田大彦, アーチの地震時加速度応答分布特性(設計用静的地震力の提案), 日本鋼構造学会 年次論文報告集, 第8巻, 2000. 11, pp293~300
3. 정찬우, 석근영, 강주원, 깎러킴법을 이용한 아치의 고유진동해석, 한국 공간구조학회 논문집 제7권 제4호, pp55~61