

# 아치구조와 기둥간의 고유진동수비에 따른 아치구조물의 동적응답특성

## Dynamic Response of Arch Structure according to Natural Frequency Ratio between Arch and Columns

석근영\*  
Seok, Keun-Young

강주원\*\*  
Kang, Joo-Won

### Abstract

Long span arch structure is composed of arch as relatively flexible structure and column as relatively rigid structure. In this study, the characteristic of dynamic response is analyzed according to the natural frequency ratio between arch and columns. The result of analysis for arch as relatively vertical vibration mode is dominant, the influence of columns mainly appears at relatively high frequency band according to increase of 1st mode frequency in column. However, the dynamic characteristic of arch structure is expected to vary with not only frequency ratio but interaction between vibration modes of arch and columns.

*Keywords : Single layer arch, Open angle, Frequency ratio, Lower structure, Seismic response*

## 1. 서론

아치구조는 일반적으로 배럴볼트와 돔구조와 같은 대공간 구조물의 기본 구조로 정의되어질 수 있다. 이로 인해 배럴볼트와 돔구조에 나타나는 복잡한 동적특성은 아치구조의 동적특성을 분석함으로써 기본적인 특성을 파악할 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>1)2)</sup> 또한 이러한 아치형의 공간구조물은 일반적으로 하부구조인 기둥 또는 벽체 등에 의해 지지된다. 이러한 경우, 비교적 장경간을 형성하는 아치형 대공간 구조물은 고유진동수가 작은 연성구조물이며, 이를 지지하는 하부구조는 상대적으로 고유진동수가 큰 강성구조물로 구분할 수 있다. 따라서 상하부구조간의 고유진동수의 차이로 인해 전체구조물의 동적특성의 변화와 더불어 동적응답도 변하게

될 것을 예상할 수 있다.

기존 연구에서는<sup>3)4)</sup> 하부구조의 강성을 대상으로 하부구조 부재의 크기와 탄성계수 등을 이용하여 상부 공간구조의 동적특성 변화를 분석하였다. 그러나 공간구조의 강성을 특정한 값으로 정의하기는 명확하지가 않으며, 상하부구조간의 동적특성 차이 및 그에 따른 전체적인 동적특성에 영향을 분석하기 위해서는 보다 포괄적인 동적특성 변수를 이용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구에서는 일반적으로 구조물의 동적특성을 정의하는 고유진동수를 변수로 하여 상부 아치구조와 하부기둥의 고유진동수비에 따른 동적응답특성을 분석하고자 한다.

## 2. 예제구조물의 개요

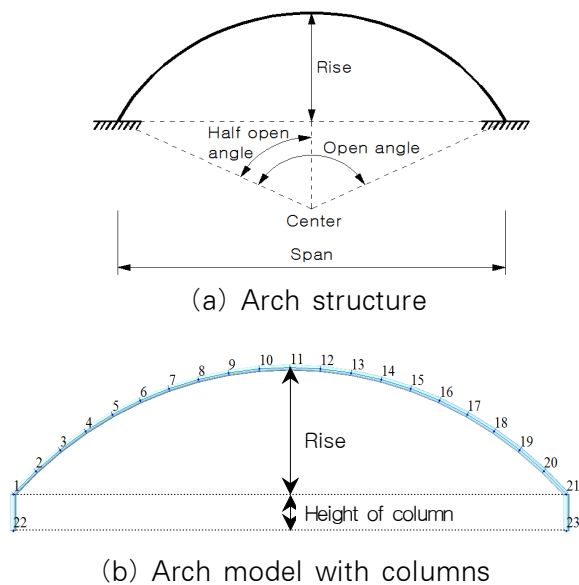
### 2.1 예제구조물의 주요 변수 설정

기존의 연구에 따르면, 단층 래티스 돔의 동적해석에 있어서, 반개각이 30°, 45°일때는 수직진동모드가 지배적이며, 반개각이 60°, 90°인 경우에는 수

\* 정희원, 영남대학교 공업기술연구소 연구원, 공학박사  
Institute of Industrial Technology, Yeungnam University

\*\* 교신저자, 영남대학교 건축학부 교수, 공학박사  
School of Architecture, Yeungnam University  
Tel: 053-810-2429 Fax:053-810-4625  
E-mail : kangi@ynu.ac.kr

평진동모드가 지배적인 것으로 나타났다.<sup>2),5)</sup> 아치형의 공간구조물의 경우, 일반라멘구조물과 달리 수평방향 동적하중에 대해 수직방향의 동적응답이 발생하게 되므로,<sup>3),5)</sup> 이에 대한 분석이 중요하다고 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 반개각을 개각으로 대체하여 수직진동모드가 지배적인 개각이 작은 아치구조를 대상으로 개각을 세분화하여 연구를 수행하고자 한다. 아치구조물의 기본적인 형상 변수는 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Aspect variables of arch structure

본 논문에서의 주요 변수인 고유진동수의 산정에

있어서, 아치구조는 양쪽 지점을 고정단으로 하여 1차 모드 진동수를 산정하였고, 양측기둥에 있어서는 하나의 기둥을 일단고정, 타단자유로 하여 1차 모드 진동수를 산정하였다. 장경간을 형성하는 대공간구조물의 경우, 상부 지붕구조가 상대적으로 연성구조물이므로 상부 아치구조와 연결되는 기둥의 절점을 자유단으로 가정하여 고유진동수를 산정하였다. 이러한 조건으로 하부 기둥들의 고유진동수를 조절하여 상하부구조간의 1차 모드 진동수비의 변화에 따른 예제구조물의 동적응답특성을 분석하고자 하였다. 예제구조물의 자세한 제원은 <Table 1>과 같다.

## 2.2 예제구조물의 모델링 및 해석

예제구조물의 부재는 원형강관으로 SM490에  $\phi - 216.3 \times 4.5$ 를 기본적으로 사용하여 모델링하였으나, 아치구조와 기둥의 1차 모드 진동수를 조절하기 위해 <Table 1>에서와 같이 탄성계수를 조절하였다. 이에 따라 구조부재의 강성에 따른 동적특성을 고려할 수 있으나, 본 논문에서는 이러한 동적특성을 1차 모드 진동수로서 고려하여 이에 따른 동적응답특성을 분석하고자 한다. 또한 아치구조와 기둥의 접합부를 강절로 가정하였다. 본 논문에서 예제구조물의 동적해석은 MIDAS/Gen 795를 사용하였다. 질량은 구조체의 자중만을 고려하고 감쇠비는 3%로 설정하여 시간이력해석을 수행하였다.

<Table 1> Specification of arch models

Span (m)	Arch			Column			Frequency of arch versus columns
	Open angle (deg)	Modulus of elasticity (kN/m <sup>2</sup> )	First mode frequency (Hz)	Height of columns (m)	Modulus of elasticity (kN/m <sup>2</sup> )	First mode frequency (Hz)	
50	30	$9.7320 \times 10^7$	1	0	0	0	N
				7.5290 × 10 <sup>5</sup>	1	1:1	
				3.0115 × 10 <sup>6</sup>	2	1:2	
				6.7755 × 10 <sup>6</sup>	3	1:3	
				1.2046 × 10 <sup>7</sup>	4	1:4	
				1.8822 × 10 <sup>7</sup>	5	1:5	
	45	1.0604 × 10 <sup>8</sup>		3	6	1:6	
				7	7	1:7	
				8	8	1:8	
				9	9	1:9	
				10	10	1:10	
				20	20	1:20	
60	1.1955 × 10 <sup>8</sup>	30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			
90	1.6840 × 10 <sup>8</sup>	30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			
		30	30	1:30			

### 3. 예제구조물의 고유진동수 분석

#### 3.1 전체구조물의 1차 모드 진동수

아치구조를 지지하는 양측 기둥의 1차 모드 진동수를 동일하게 변화시켜 아치구조와의 1차 모드 진동수비를 조절하였을 경우에 구조물의 동적특성 변화를 파악하고자 하였다. 본 논문에서의 동적특성치는 전체구조물의 1차 모드 진동수와 수평방향과 수직방향의 모드별 질량참여율이 최대인 경우에 진동수를 비교, 분석하였다.

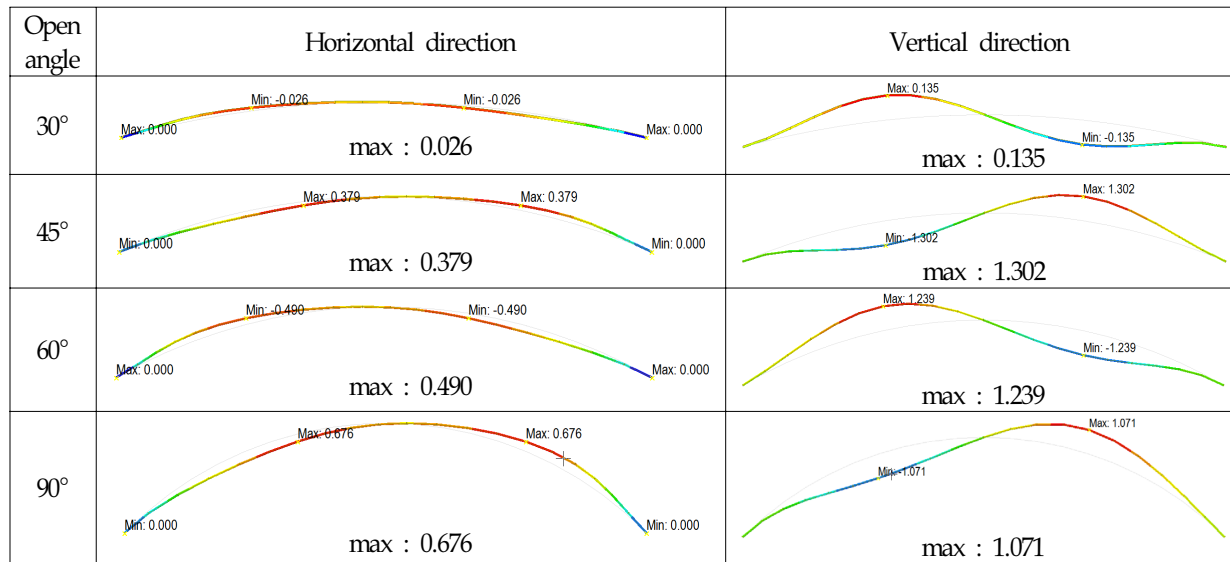
아치구조에 기둥을 설치한 경우, 기둥의 1차 모드

진동수가 증가함에 따른 전체구조물의 1차 모드 진동수와 수평, 수직방향 질량참여율이 최대일 때의 모드 진동수는 <Table 2>와 같다. 기둥이 없는 아치구조의 진동수에 비해 기둥이 있는 경우의 전체구조물의 1차 모드 진동수는 감소하였지만, 기둥의 1차 모드 진동수가 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. <Fig.2>에서는 개각별 1차 모드의 수평, 수직방향 모드 형상을 나타내고 있다. 개각이 증가함에 따라 수평방향과 수직방향의 최대 모드값 차이가 감소하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 개각이 증가함에 따라 수평진동모드의 영향이 증가한다는 것을 알 수 있다.

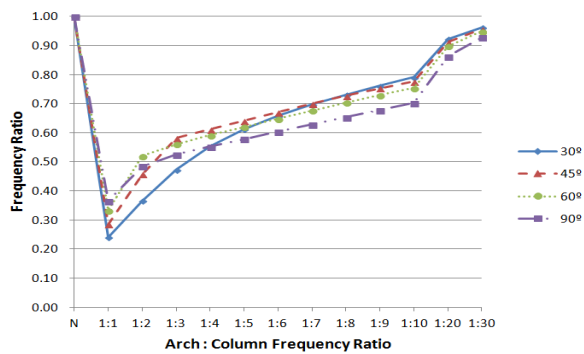
<Table 2> Natural frequency of arch models

Open angle (deg)	Frequency of arch versus columns	First mode frequency of arch with columns (Hz)	Frequency in horizontal maximum mass participation mode(Hz)	Frequency in vertical maximum mass participation mode(Hz)	Open angle (deg)	Frequency of arch versus columns	First mode frequency of arch with columns (Hz)	Frequency in horizontal maximum mass participation mode(Hz)	Frequency in vertical maximum mass participation mode(Hz)
30	N	1.0000	35.2159	5.8038	60	N	1.0000	38.7049	11.9544
	1:1	0.2409	0.4184	0.2409		1:1	0.3329	0.3899	0.3329
	1:2	0.3670	1.0431	0.3670		1:2	0.5198	0.5198	0.5487
	1:3	0.4737	1.3980	0.4737		1:3	0.5612	1.5266	0.7120
	1:4	0.5535	1.6726	0.5535		1:4	0.5912	1.7875	0.8224
	1:5	0.6128	1.8712	0.6128		1:5	0.6199	1.9628	0.8984
	1:6	0.6588	2.0183	0.6588		1:6	0.6485	2.0858	0.9554
	1:7	0.6970	2.1354	0.6970		1:7	0.6767	2.1808	2.2853
	1:8	0.7306	2.2353	0.7306		1:8	0.7039	2.2611	2.3704
	1:9	0.7617	2.3246	0.7617		1:9	0.7297	2.3331	2.4426
	1:10	0.7913	3.8993	0.7913		1:10	0.7537	2.4000	2.5055
	1:20	0.9229	5.1416	1.0751		1:20	0.8983	5.3522	2.9931
1:30	0.9623	8.1992	2.3988	1:30	0.9489	8.9145	3.4930		
45	N	1.0000	36.7498	8.0557	90	N	1.0000	1.0000	19.9661
	1:1	0.2851	0.4038	0.2851		1:1	0.3648	0.3648	0.4323
	1:2	0.4578	0.5404	0.4578		1:2	0.4849	0.4849	0.7190
	1:3	0.5815	1.4576	0.5962		1:3	0.5255	0.5255	0.9077
	1:4	0.6121	1.7246	0.6953		1:4	0.5528	0.5528	2.2776
	1:5	0.6418	1.9108	0.7669		1:5	0.5781	0.5781	2.4974
	1:6	0.6713	2.0451	0.8221		1:6	0.6034	0.6034	2.6785
	1:7	0.7001	2.1505	0.8680		1:7	0.6288	0.6288	2.8233
	1:8	0.7276	2.2400	0.9088		1:8	0.6539	0.6539	2.9398
	1:9	0.7533	2.3204	0.9468		1:9	0.6784	0.6784	3.0361
	1:10	0.7768	2.3947	0.9833		1:10	0.7018	0.7018	3.1184
	1:20	0.9120	5.2289	2.5800		1:20	0.8618	0.8618	6.3891
1:30	0.9564	8.5221	2.9485	1:30	0.9274	0.9274	6.9516		

※ N : arch without columns



<Fig. 2> First mode shape of arch models without columns



<Fig. 3> First mode frequency ratio of arch models with columns

<Fig. 3>에서는 양측 기둥의 진동수가 변할 경우에, 기둥이 없는 개각별 아치구조의 1차 모드 진동수에 대한 전체구조물의 1차 모드 진동수비를 나타내고 있다. 아치구조와 기둥의 진동수비가 1:1인 경우에는 개각 90°인 예제구조물의 1차 모드 진동수가 가장 크게 나타나고 있으나, 기둥의 진동수가 증가함에 따라 개각에 따른 1차 모드 진동수의 크기 순서가 변화되고 있다. 특히, 아치구조와 기둥 진동수비가 1:7이후에는 1차 모드 진동수의 크기 순서가 완전하게 바뀌는 것을 알 수 있다. 더불어, 개각 30°인 경우에 1차 모드 진동수의 증가율이 진동수비가 1:1~1:7에서 가장 크게 나타나고 있다.

### 3.2 최대 질량참여율 모드 진동수

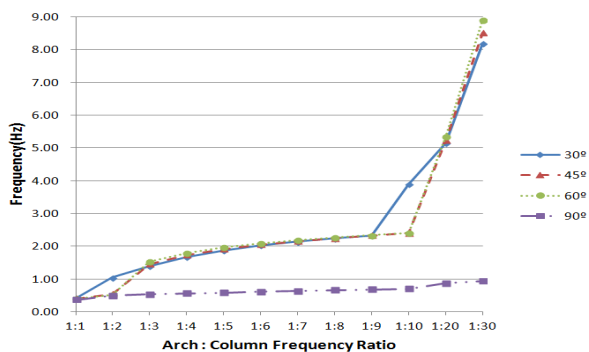
최대 질량참여율 모드 진동수는 <Fig. 4>, <Fig.

5>와 같다. <Fig. 4>과 같이 수평방향에 있어서는 개각 90°인 경우를 제외하고 최대 질량참여율이 나타나는 진동수대가 1차 모드 진동수보다 높은 진동수대역에서 발생되고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 <Table 2>에서와 같이, 기둥의 진동수가 증가할수록 1차 모드 진동수와 수평방향 최대질량참여율 모드의 진동수 차이가 커지는 것을 알 수 있다. 이는 수직진동모드가 지배적인 아치구조물의 경우, 1차 모드 진동수보다 높은 진동수대역에서 아치구조의 수평진동모드가 나타나고, 이때 기둥에 의한 수평진동모드가 추가적인 영향을 발생시키기 때문으로 판단된다. 하지만, 개각 30°, 45°, 60°인 경우, 아치구조와 기둥의 진동수비가 1:3~1:9에서는 기둥의 진동수 변화에 따른 수평방향 최대 질량참여율 모드 진동수의 변화율이 거의 유사한 것으로 나타났다.

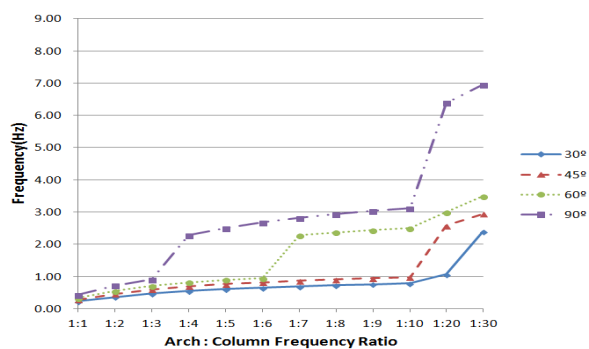
개각 90°인 경우에는 아치구조와 기둥의 진동수비에 관계없이, 수평방향 최대 질량참여율 모드가 전체구조물의 1차 모드 진동수에서 나타나고 있다. 이는 상대적으로 수평진동모드가 지배적인 개각 90°인 아치구조는 1차 모드 진동수에서 수평방향 최대 질량참여율 모드가 발생되고, 이에 기둥에 의한 수평진동모드 영향이 추가적으로 나타나기 때문으로 판단된다.

<Fig. 5>와 같이 수직방향에 있어서는 개각 90°인 경우가 상대적으로 높은 진동수대역에서 수직방향 최대 질량참여율이 나타나고 있다. 또한 개각 30°인

경우에 진동수비가 1:1~1:10 사이에서는 1차 모드에서 최대 질량참여율이 나타나는 것을 알 수 있다. 앞서 수평방향에 대해 언급된 것과 유사하게, 수직진동모드가 지배적인 아치구조의 경우, 1차 모드 이후에 수평진동모드가 나타나게 되고, 이 때 기둥에 의한 수평진동모드가 추가적으로 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한, 개각이 증가하여 수평진동모드의 영향이 커지는 것과 동시에 기둥의 진동수 증가에 따라 수직방향 최대질량참여율 모드 진동수와 1차 모드 진동수의 차이가 증가하게 된다.



<Fig. 4> Frequency in horizontal maximum mass participation mode



<Fig. 5> Frequency in vertical maximum mass participation mode

그러나, 개각 60°인 경우에는 진동수비가 1:7에서 139.2%, 개각 90°인 경우에는 진동수비가 1:4에서 150.9%로 진동수의 변화율이 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 수직방향 최대질량참여율 모드의 경우, 개각이 증가함에 따라 수평진동모드의 영향이 커지게 되면, 기둥의 진동수 또는 강성이 비교적 작은 영역에서도 수직방향 최대질량참여율 모드가 높은 진동수대역에서 발생되고, 개각이 클수록 기둥의 진동수 또는 강성이 더 작은 영역에서 수직방향 최대질량참여율 모드의 진동수가 급격하게 증

가된다고 할 수 있다.

## 4. 예제구조물의 가속도응답 특성

### 4.1 동적하중

본 논문에서는 지진하중 작용시 하부구조의 영향에 따른 동적응답 특성을 파악하고자 한다.

예제구조물을 전체구조물, 아치구조, 기둥으로 구분하고, 공진진동수를 각 구조부분의 1차 모드 진동수로 설정하여 정현파로써 적용하였다. 가진가속도의 크기는 1g로 적용하였다. 정현파는 수평지진하중으로 적용하였으며, 적용된 동적하중의 공진진동수는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Resonant frequencies of the dynamic load

Open angle (deg)	Frequency ratio of arch versus columns	Resonant frequency of arch with columns (Hz)	Resonant frequency of arch (Hz)	Resonant frequency of columns (Hz)
30 45 60 90	N	first mode frequency of example structures	1	-
	1:1			1
	1:2			2
	1:3			3
	1:4			4
	1:5			5
	1:6			6
	1:7			7
	1:8			8
	1:9			9
	1:10	10		
	1:20	20		
	1:30	30		

※ N : arch without columns

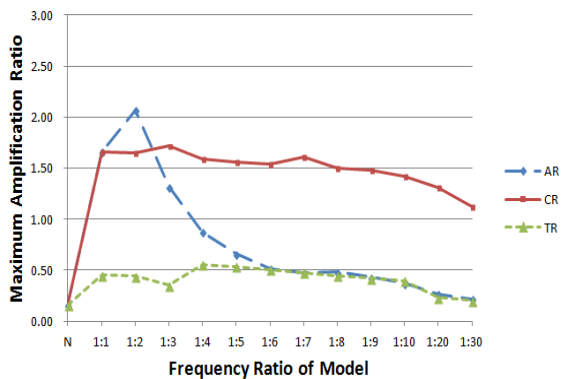
### 4.2 예제구조물 가속도응답

<Fig. 6>와 <Fig. 7>은 각 구조 부분별 1차 모드 진동수를 공진진동수로 한 정현파를 지진하중으로 적용하였을 때의 수평, 수직방향 최대 가속도 응답비를 나타내고 있다. 최대 가속도 응답비는 가진가속도인 1g에 대한 비를 의미한다.

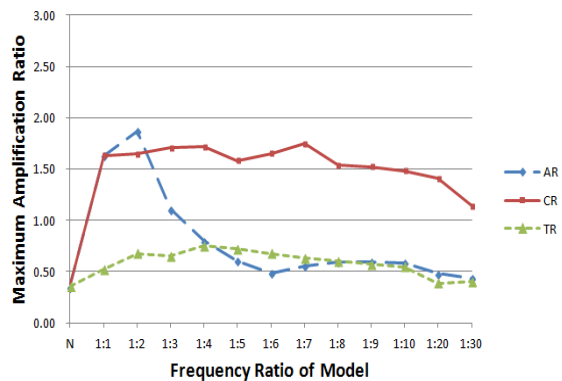
<Fig. 6>의 수평방향 최대 가속도 응답비는 전반적으로 기둥에 대해 공진시킨 경우가 가속도응답이 크게 나타나고 있다. 특히 아치구조와 기둥의 진동

수비가 1:3이상에서는 모든 진동수비에 있어서 기둥에 대해 공진시킨 경우에 최대 가속도 응답이 크게 나타나고 있다. 또한 수직진동모드가 지배적인 개각이 작은 아치구조에 있어서도, 수평방향 동적하중에 대해 수평진동모드를 주로 나타내는 기둥에 의한 영향을 주로 받게 된다는 것을 예상할 수 있다. 그러나 개각이 커짐에 따라 수평진동모드의 영향이 커지므로 수평방향 최대 가속도 응답비가 아치구조와 기둥의 진동수비에 따라 다소 변화가 심해지는 것을 알 수 있다. 특히 기둥의 1차 모드 진동수에 공진시킨 경우에 아치구조와 기둥의 진동수비가 1:4와 1:7에서 최대 가속도 응답이 개각이 증가함에 따라 증가폭이 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 반면에 개각이 증가함에 따라 아치구조의 1차 모드 진동수로 공진시킨 경우에 최대 가속도 응답비는 전반적으로 감소하고, 전체구조물의 1차 모드 진동수로 공진시킨 경우에는 최대 가속도 응답비가 증가하는 것을 알 수 있다.

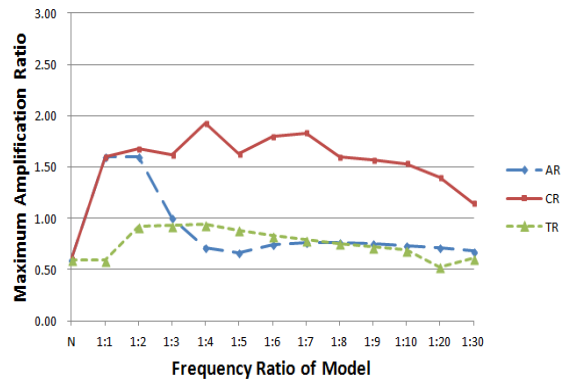
하지만, 앞서 언급된 바와 같이 아치구조와 기둥간의 진동수비가 1:3이상에서는 기둥의 1차 모드 진



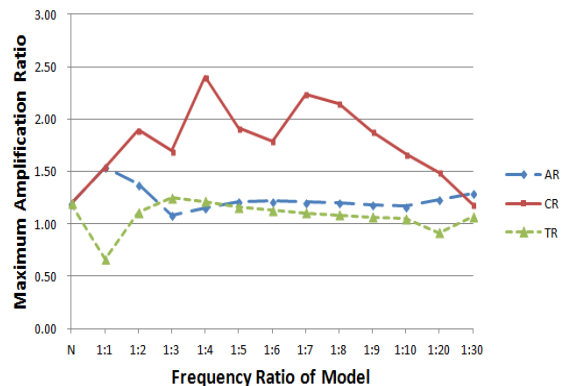
(a) Open angle : 30°



(b) Open angle : 45°



(c) Open angle : 60°



(d) Open angle : 90°

- ※ AR: First mode resonant frequency of arch structure
- ※ CR: First mode resonant frequency of columns
- ※ TR: First mode resonant frequency of arch structure with columns

〈Fig. 6〉 Maximum horizontal acceleration response ratio according to resonant frequency of each structural part

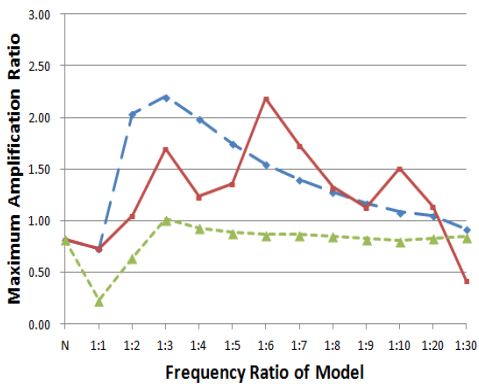
동수에 대해 공진시킨 경우가 가장 큰 최대 가속도 응답비를 나타내고 있다. 이는 일반적인 지진하중의 적용에서와 같이, 직접적으로 지진하중의 영향을 받는 기둥이 영향이 전체구조물의 수평방향 동적응답에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

개각 30°와 개각 45°인 경우에는 아치구조와 기둥의 진동수비가 1:2일 때, 아치구조에 대해 공진시킨 경우의 최대 가속도 응답이 가장 크게 나타나고 있다. 이는 개각 30°와 개각 45°인 경우에, 아치구조는 수직진동모드가 지배적이지만, 상대적으로 기둥의 강성이 작고, 기둥의 수평진동모드가 아치구조의 수평진동모드가 일치함에 따른 것으로 판단된다.

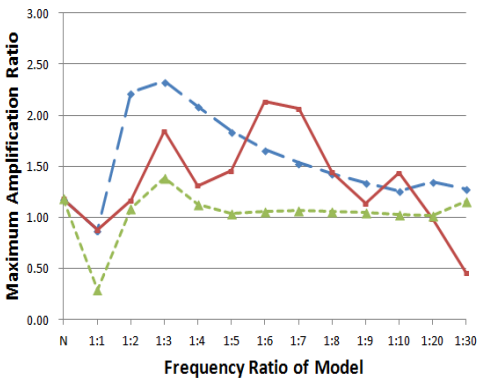
각 구조 부분별 공진진동수에 대한 수직방향 최

대 가속도 응답비는 <Fig. 7>과 같다. 아치구조의 진동수에 대해 공진시킨 경우에는 전반적으로 유사한 경향을 나타내고 있다. 그리고 아치구조와 기둥의 진동수비가 1:1~1:5사이에서는 개각 90°인 경우를 제외하고는 아치구조의 진동수로 공진시켜 경우가 가장 큰 최대 가속도 응답비를 나타내고 있다. 기둥의 진동수에 공진시킨 경우에는 아치구조와 기둥의 진동수비가 개각 30°, 45°인 경우는 1:6, 개각 60°, 90°인 경우는 1:7에서 최대 가속도 응답이 나타나고, 개각이 증가함에 따라 2.2배~2.9배까지 증폭되고 있다. 하지만, 아치구조와 기둥의 진동수비가 1:5이하에서는 개각 90°인 경우에 최대 가속도 응답비의 변화가 다소 다른 양상을 나타내고 있다. 대조적으로 개각이 30°, 45°, 60°에서 기둥의 1차 모드 진동수에 공진시킨 경우는 아치구조와 기둥 진동수비가 1:4와 1:5에서 가속도응답이 크게 감소한다.

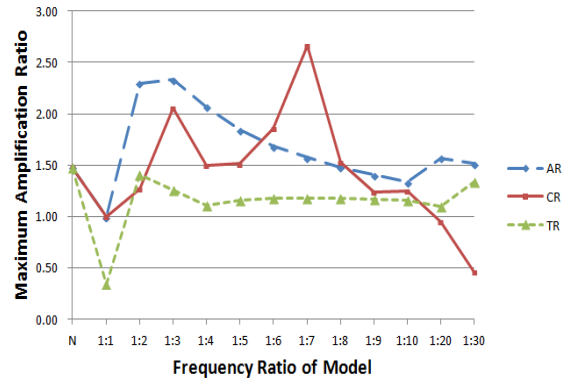
이와 같이, 아치구조와 기둥간의 1차 모드 진동수에 대해 특정 진동수비에서 최대 가속도 응답이 증가하거나 감소하는 현상은 동적하중의 가진진동수와 구조물의 공진진동수의 관계보다는, 기둥의 1차



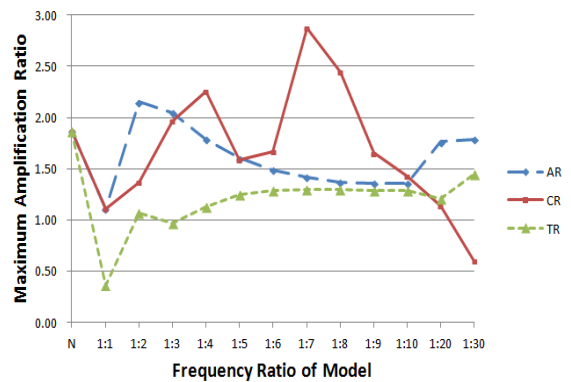
(a) Open angle : 30°



(b) Open angle : 45°



(c) Open angle : 60°



(d) Open angle : 90°

- ※ AR: First mode resonant frequency of arch structure
- ※ CR: First mode resonant frequency of columns
- ※ TR: First mode resonant frequency of arch structure with columns

<Fig. 7> Maximum vertical acceleration response ratio according to resonant frequency of each structural part

모드 진동수에 따른 수평진동모드와 아치구조의 1차 모드 진동수에 따른 수평 및 수직방향 진동모드관계에 의한 것으로 사료된다. 하지만, 본 연구에서는 아치구조와 기둥의 1차 모드 진동수비에 따른 분석을 수행하였으므로, 향후 보다 정확한 특성을 분석하기 위해서는 아치구조의 1차 모드 진동수 변화에 따른 고유모드와 기둥의 고유모드의 관계에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 수직진동모드의 영향이 비교적 큰 아치구조에서 하부구조에 따른 동적응답 특성 변화

를 파악하고자 하였다. 아치구조와 기둥의 진동수비에 따른 전체구조물의 1차 모드 진동수와 최대 질량참여율이 나타나는 수평, 수직방향 모드 진동수를 통해 동적특성 변화를 분석하고자 하였다. 또한 전체구조물, 아치구조, 기둥의 1차 모드 진동수에 따라 각 진동수별로 공진시켜 동적응답특성 변화를 분석하고자 하였다.

기둥의 1차 모드 진동수가 증가함에 따라 개각에 따른 전체구조물의 1차 모드 진동수의 크기 순서에 변화가 생기고, 특히 개각 30°인 경우에는 기둥의 1차 모드 진동수의 증가에 따라 전체구조물의 1차 모드 진동수가 상대적으로 급격하게 증가하였다.

기둥의 진동수가 증가함에 따라, 아치구조에서 수직진동모드의 영향이 클수록 수직방향 최대 질량참여율 모드 진동수는 1차 모드 진동수와 동일하게 증가하였으나, 수평방향 모드진동수에 있어서는 높은 진동수대역에 증가하는 경향을 보였다.

반면에 상대적으로 수평진동모드의 영향이 큰 경우에는 기둥의 진동수가 작은 범위에서도 수직방향 최대질량참여율 모드 진동수가 급격하게 증가하는 경향을 보였다.

각 구조 부분별 1차 모드 진동수에서 공진에 대한 수평, 수직방향 최대 가속도 응답에 있어서는 수직진동모드가 지배적인 아치구조에서 기둥의 진동수비가 1:3이상에서는 기둥에 대한 공진이 전체구조물에서 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만, 수직방향 최대 가속도 응답은 특정 진동수비에 최대값을 나타내는 것으로 나타났다.

본 연구결과를 통해 기둥의 진동수와 아치구조의 주요 동적특성의 관계에 따라 동적응답의 변화 특성을 알 수 있었다. 하지만, 동적하중에 대한 응답의 양상이 단순히 상하부구조간의 진동수비 뿐만 아니라, 고유모드의 상호작용에 의해서도 나타날 것이라 사료된다. 따라서 지반과 같은 무한 강성에 가까운 지지구조가 아닌 이상은 아치구조와 하부구조간에 적합한 동적특성치의 범위가 요구되며, 이와 관련된 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재

원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2011-0024354)

### 참고문헌

1. Chan Woo-Jung , "A Proposal of Quasi Static Seismic Force for Arches subjected to both the Horizontal and Vertical Seismic Wave", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.7, No.6, 2007.12, pp.103-110
2. Architectural Institute of Japan, Dynamic Behavior and Seismic Design of Spatial Structures, 2006.
3. Kim, Gee-Cheol, Kang, Joo-Won and Ko, Hyun, "Seismic Response of Large Space Structure with Various Substructure", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.10, No.3, 2010.9, pp.81~90
4. Lee, Sang-Hoon, Kim, Gee-Cheol and Kang, Joo-Won, "A Study on Seismic Response of Arch Structure By Experiment of Scale-Down Model on Shaking Table", Proceedings of KASS Symposium, Vol.6, No.1, 2009, pp.139-142
5. Han, Sang-Eul, Cheong, Myung-Chae and Yoo, Yong-Ju, "A Study on the Dynamic Characteristics of Single Layer Latticed Domes under Earthquake Loading", Proceeding of Spring Annual Conference of AIK, Vol.19, No.1, 1999.10, pp.27~32
6. Chan Woo-Jung and Jung, Hwan Mok, "Acceleration response of arch structure applied simultaneously horizontal and vertical earthquake", Proceedings of KASS Symposium, Vol.3, No.1, 2006, pp.239-245

(접 수 일 자 : 2013년 07월 10일)

(심사완료일자 : 2013년 08월 07일)

(게재확정일자 : 2013년 08월 23일)