

# 랭거아치교의 라이즈-경간-형고의 최적관계를 위한 정적 및 동적해석

## Static and Dynamic Analysis for the Optimal Relation of Rise-Span-Girder Depth in Langer Arch Bridge

허 은 미<sup>1)</sup> · 최 지 훈<sup>2)</sup> · 조 병 칠<sup>3)</sup> · 이 용 재<sup>4)</sup>  
*Hur, Eun Mi Choi, Jee Hoon Cho, Byoung Chil Lee, Young Jae*

요 약 : 강재의 고강도화 및 경량화가 실현되고, 해석기법이 발달함에 따라 장경간을 갖는 강아치교의 건설이 가능하게 되었다. 장경간 아치교를 설계하기 위해서 경제적으로는 재료를 최소화시키며 구조적으로는 안전해야 한다. 이에 본 연구의 목적은 최적설계를 위한 형고의 높이를 제시하고 강재량에 영향을 주는 라이즈-경간비에 대해서 우리나라 활하중을 재하하여 검토하였다. 또한 구조적 안전성을 검토하기 위해 지진에 대한 동적거동을 비교·연구하였다. 라이즈-경간-형고에 대한 관계식은 60, 70, 80, 90, 100m의 5개 기본경간을 SAP2000 프로그램을 이용하여 값을 산출하고 회귀분석을 통하여 관계식을 얻었다. 그리고 지진에 대한 동적 거동을 파악하기 위해 포트받침과 탄성받침을 사용했을때 교각형태, 교각높이 및 라이즈-경간비등을 변화시켜 교축방향과 교축직각방향에 대한 단면력을 확인하였다.

ABSTRACT : Development of high-strength and light-weight structural steel as well as advancement in steel structure analysis enable construction of long span steel arch bridge. In an economic viewpoint, however, the design values of long span steel arch bridge needs to be optimized to reduce construction cost and achieve proper levels of structural safety. This study investigated the girder depth and the rise-span ratio for optimum design values, as well as the spectral analysis for protection against earthquake. The relationship between rise-span ratio and girder depth was derived based on the parametric studies of the basic span lengths of 60, 70, 80, 90, and 100m using a commercial C/S SAP2000. The equation relating the two variables was derived using linear regression.

핵심용어 : 랭거아치, 라이즈비, 선형회귀분석, 형고, 스펙트럼해석

KEYWORDS : Langer arch, Rise-span ratio, Linear regression, Girder depth, Spectral analysis

### 1. 서론

아치교는 구조적으로 매우 이상적일 뿐만 아니라 독특한 곡선의 아름다움 때문에 예로부터 널리 이용되어 온 교량형식 중의 하나이다. 과거에는 아치교의 재료로서 인장보다 압축력에 대한 저항능력이 우수한 암석을 이용하여 석조 아치교를 건설하였으나, 최근 재료공학의 발달로 강재의 고강도화 및 경량화가 실현되고, 해석기법이 발달함에 따라 장경간을 갖는 강아치교의 건설이 가능하게 되었다. 이런 아치교는 강구조이

기 때문에 재료비가 많이 들고 경간이 길어질수록 강중이 증가하는데 강중을 줄이므로써 경제적인 설계를 할 수 있다.

1980년 Lipson 등<sup>(17)</sup>은 균일 분포 하중을 받고 있는 포물선형 아치를 최적화하기 위하여 복소법을 사용하였다. 그 결과 지간의 0.342배의 높이를 갖는 아치가 최적임을 제안하였다. 1988년 Ang 등<sup>(14)</sup>은 비평활목적 함수를 근사화하기 위하여 평활함수를 채용하고 스플라인 함수<sup>(18)</sup>를 사용하여 규정되지 않은 아치축을 매개변수화함으로써 아치 최적화 문제를 풀었다. 그리고 아치의 최적형상은 지간의 0.433배의 높이를

1) 건국대학교 토목공학과 공학석사  
2) (주)한구엔지니어링 구조/철도사업본부 이사, 공학박사  
3) 정희원, 건국대학교 토목공학과 박사과정, 공학석사  
4) 정희원, 건국대학교 토목공학과 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2002년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

갖는 포물선임을 제시하였다. 그러나 이러한 결과는 이전의 결과와 일부 불일치되는 점이 있다. 1990년 McDavid<sup>(19)</sup>은 여러 가지 하중 및 지지조건에 대한 원형 아치의 중량을 최적화하는 연구를 하였다. 그는 최소중량 아치구조물을 설계하기 위하여 아치를 균등길이의 직육면체의 요소들의 조합으로 근사화하였으며 요소 단면의 폭만을 변화시켜 연구하였다.

일반적으로 강중은 라이즈-경간의 비( $f/l$ ) 및 사하중( $w$ )과 활하중 $p$ 의 비( $w/p$ )에 의해 많은 영향을 받는다. 또 라이즈-경간비가 변함에 따라 그에 따른 형고의 높이 또한 변하게 된다.<sup>(12)</sup> 그러나 기존에 사용되었던 방법들은 일본 도로 교시방서<sup>(8)</sup>를 기준으로 만들어진 것이므로 이에 국내의 활하중크기에 맞춰 라이즈-경간비에 따른 형고변화를 관찰하고 이를 토대로 강중이 최소가 되는 아치의 최적화된 라이즈비의 상태를 구하였다. 이로서 경간과 형고 높이의 관계를 파악하여 기존의 사용되었던 실용식보다 더 신뢰성이 있는 관계식을 제안하였다. 그리고 교량에서 중요한 검토사항으로 여겨지는 지진시 동적거동을 파악하기 위해서 시방서의 설계스펙트럼을 이용하여 랭거아치교의 단면력을 검토하였다. 지진시 동적거동은 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있으므로 포트받침과 탄성받침을 각각 사용하여 비교하였다.<sup>(10)</sup> 그리고 각 받침에 대하여 교각형태, 경간길이, 라이즈비 및 교각높이를 변화시키면서 교축방향과 교축직각방향에 대한 단면력을 확인하였다.

## 2. 모델링

본 연구에서는 기존에 설계되어있는 경간 120m의 충남 부여군 규암면 내리~부여군 부여읍 군수리를 연결하는 노선으로 금강을 횡단하고있는 교량인 부여대교를 모델로 삼았다. 부여대교의 경간과 강중의 비율을 맞추어 3-D 모델링을 실시하였고 라이즈-경간-형고의 최적관계를 알아보기 위하여 2-D

모델링으로 바꾸어서 설정하였다.

또한 보강형의 I 단면의 플랜지의 형고, 두께 그리고 아치 리브의 박스단면의 크기 및 두께를 가정하였으며 최대 작용응력이 도로교 설계기준의 허용응력 규정의 90%가 될때까지 반복 계산하여 적당한 단면을 결정하였다. 동적해석교량의 모델링은 탄성받침이 들어가는 부분을 제외한 모든 부재를 3차원 프레임으로 모델링하였다.

탄성받침은 허용수직하중을 790t으로 수직강성이 115,600t/m, 수평강성이 294.8t/m인 받침을 사용하여 해석을 수행하였다. 참여질량은 도로교시방서의 규정 상, 해석에 고려하는 모드는 경간수의 3배이상 25개 이하로 규정하고 있다. 질량참여율이 90%이상이어야 오차가 적어지므로 고려한 모드수는 120개이다.<sup>(1)</sup>

## 3. 보강형 형고와 경간과의 관계식 결정

### 3.1 보강형 형고와 경간과의 관계식

형고에서 형고는 응력 및 처짐에 큰 영향을 미치는데, 설계시 이 값은 임의로 가정한 후 작용응력이 허용응력을 초과하지 않도록 하는 제약조건을 조사하여 이것이 만족될 때까지 반복해서 계산을 실시해야 한다. 따라서 이 결정방법이 적절하지 않으면 반복횟수가 많아져 계산이 많아진다. 일반적으로 설계에서 사용되고 있는 형고와 경간과의 관계는 서로 비례하는 것으로 보아  $h=al$  형의 실용식을 사용한다.<sup>(4)</sup> 그러나 일반형교의 형고와 경간의 관계는 그림 3의 경간장과 형고 관계 그래프에서 보이는 것처럼 완전히 비례한다고 볼 수 없다. 이에 랭거아치교의 보강형 형고결정 관계식을 제안한다.

또한 아치교의 경우 경간이 길어질수록 보강형 형고  $h$ 가 낮게 억제되는 것으로 나타난다.<sup>(5)</sup>

따라서 지금까지 실용적으로 사용해진  $h=al$  형 보다는  $h=al^b$  이 더 신뢰성 있는 관계식을 제공해 줄 수 있다.<sup>(14)</sup> 식을 선형화 시키기 위해  $h=al^b$  의 양변에  $\log$ 를 취해서

그림 1. 3-D 모델링

그림 2. 2-D 모델링

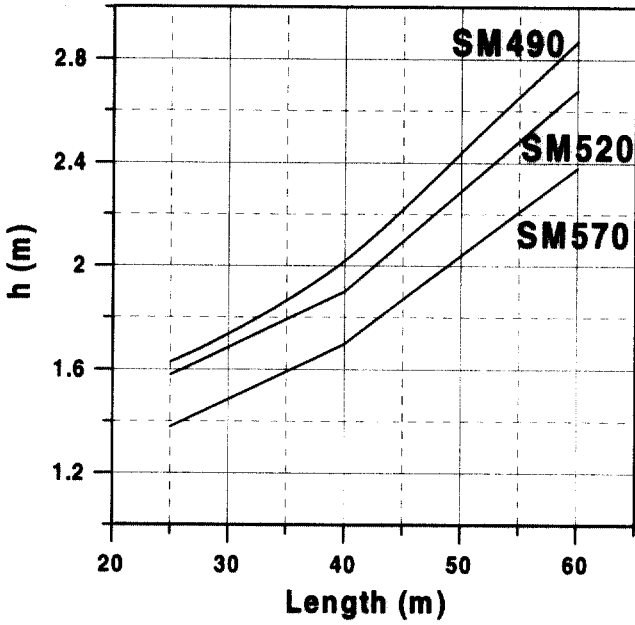


그림 3. 일반 형교에서의 경간장과 형고의 관계

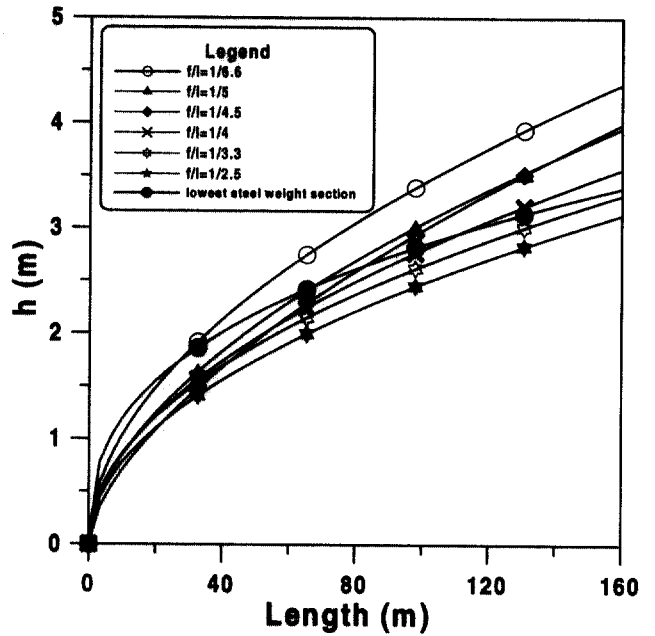


그림 4. 회귀분석을 통한 경간과 보강형 형고의 관계

표 1. 라이즈비( $f/l$ )에 따른 각 경간의 보강형 형고 (단위 : m)

$f/l$	$1/6.6$	$1/5.0$	$1/4.5$	$1/4.0$	$1/3.3$	$1/2.5$
100	3.5	3.1	3.0	2.8	2.6	2.5
90	3.1	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3
80	3.1	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2
70	2.9	2.5	2.5	2.4	2.3	2.1
60	2.6	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9

$$\log h = b \log l + \log a \quad (1)$$

형태로 바꿀 수 있고, (1)식을 회귀분석을 통해 적절한  $a$ ,  $b$  값을 구해내면  $l$ 과  $h$ 의 정확한 관계식을 만들어 낼 수 있다.

보강형 및 아치리브의 단면검토는 건설교통부(2000)제정 도로교 설계기준 강교편의 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재로 설계하였고, 선정된 단면들은 면내 및 면외 좌굴에 대한 도로교 설계기준의 시방조건 등을 만족하도록 결정하였다.

형고의 높이를 구하기 위한 최대 발생응력은 허용응력 ( $2100 \text{ kg/cm}^2$ )의 약 90%인  $1900 \text{ kg/cm}^2$  으로 통일하였다.<sup>(1)</sup> 여기서 구한 라이즈비에 따른 각 경간의 보강형 형고는 표 1과 같다.

### 3.2 회귀분석에 의한 관계식

표 1의 데이터를 이용해 회귀분석을 수행하였고, 회귀분석은 포트란 프로그램을 이용하여 수행하였다. 아치교에서는 경

표 2. 회귀분석을 통해 얻은 관계식

$f/l$	관계식	결정계수
$1/6.6$	$h = 0.313369 l^{0.519368}$	93.34 %
$1/5.0$	$h = 0.235995 l^{0.555348}$	97.99 %
$1/4.5$	$h = 0.167163 l^{0.625272}$	93.74 %
$1/4.0$	$h = 0.256591 l^{0.518565}$	95.99 %
$1/3.3$	$h = 0.282167 l^{0.48556}$	93.99 %
$1/2.5$	$h = 0.244768 l^{0.502001}$	97.92 %
강중 최저 단면	$h = 0.502099 l^{0.376099}$	92.88 %

간이 길어질수록 보강형 높이  $h$ 가 낮게 억제되는 것으로 나타나므로 표 2의 관계식  $h = al^b$  ( $b \approx 0.5 \sim 0.6$ )는 이러한 아치교의 경향과 일치하는 것이다.

표 2의 강중 최저 단면의 경우 표 6의 최적강중의 라이즈비  $f/l$ 에서의 형고를 경간장과 형고와의 관계식으로 회귀분석한 것이다. 그림 4 그래프는 회귀분석을 통해 얻은 관계식과 평균값을 이용해 얻은 관계식, 그리고 실제 데이터를  $f/l$  비별로 나타낸 것이다.

### 3.3 강성비와 보강형 형고

랭거아치교의 아치리브는 축력만을 받는 것으로 설계되므로 보강형의 강성에 비해 아치리브의 강성은 매우 작은 편이다.<sup>(12)</sup> 아치리브와 보강형의 강성비를 강중이 최소가 되는

$f/l$  일때의 단면을 사용하여 강성비가 0.1이 될 때까지 0.01씩 변화시켜가면서 그 변화를 확인하였다. 하지만 강성비의 변화에 따른 단면력의 변화가 미세하여, 그 변화량을 보강형 형고의 변화량으로 표현하기에 무리가 있으므로 보강형 형고의 결정에 지배적 응력인 하부의 인장응력과의 관계로 나타내었다. 표 3은 강성비와 응력에 대한 관계식을 나타낸 것이다.

표 3. 강성비와 응력과의 관계

경간=100m, $f/l=1/4$			
강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )
0.0385	1900	0.0688	1874
0.0405	1898	0.0818	1867
0.0496	1888	0.0890	1861
0.0600	1881	0.1005	1856
관계식	$y = -714x + 1925$		
경간=90m, $f/l=1/4.5$			
강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )
0.0383	1895	0.0695	1866
0.0404	1891	0.0795	1860
0.0497	1883	0.0905	1854
0.0605	1873	0.0984	1849
관계식	$y = -752x + 1921$		
경간=80m, $f/l=1/4.7$			
강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )
0.0292	1899	0.0687	1849
0.0390	1881	0.0790	1840
0.0510	1865	0.0903	1833
0.0594	1857	0.0985	1829
관계식	$y = -976x + 1920$		
경간=70m, $f/l=1/4.5$			
강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )
0.0274	1897	0.0694	1841
0.0400	1875	0.0806	1830
0.0504	1861	0.0887	1825
0.0593	1849	0.1020	1814
관계식	$y = -1078x + 1919$		
경간=60m, $f/l=1/5$			
강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )	강성비	응력 (kg/cm <sup>2</sup> )
0.0274	1906	0.0704	1861
0.0410	1903	0.0786	1853
0.0495	1888	0.0922	1840
0.0593	1871	0.1021	1833
관계식	$y = -1067x + 1939$		

\*  $x$  = 강성비,  $y$  = 응력

#### 4. 라이즈와 경간의 관계식 설정

##### 4.1 라이즈비와 강중의 관계

강성비와 보강형 형고를 적절히 맞춘 기준단면을 가지고 각 경간에 라이즈비를 변화시키면서 강중과의 관계를 알아보았다. 강중은 Sap2000프로그램에서 반력 R을 면적 A(m<sup>2</sup>)로 나누어서 구하였다. 사용한 활하중은 우리나라 시방서에 의한 1등교 DB-24와 DL-24를 사용하였다.<sup>(1)</sup>

그림 5의 그래프는 각 경간의 라이즈비와 강중과의 관계를 그래프로 나타내었다.

기존의 라이즈비가 1/5 ~ 1/10까지 설계하므로 최적 라이즈비와 라이즈비가 1/5의 강중의 차이를 알아보았다.

경간당 최적 라이즈비와 라이즈비가 1/5인 경우의 강중의 차이는 표 4처럼 크지 않지만 100m에서 60m로 경간이 감소하면서 최적 라이즈비는 작아짐을 알 수 있고 최적라이즈비는 기존의 1/6.6~1/6.8보다는 1/4~1/5로서 설계하는 것이 더 효율적임을 알 수 있다.<sup>(8)</sup> 이는 기존의 최적 라이즈비

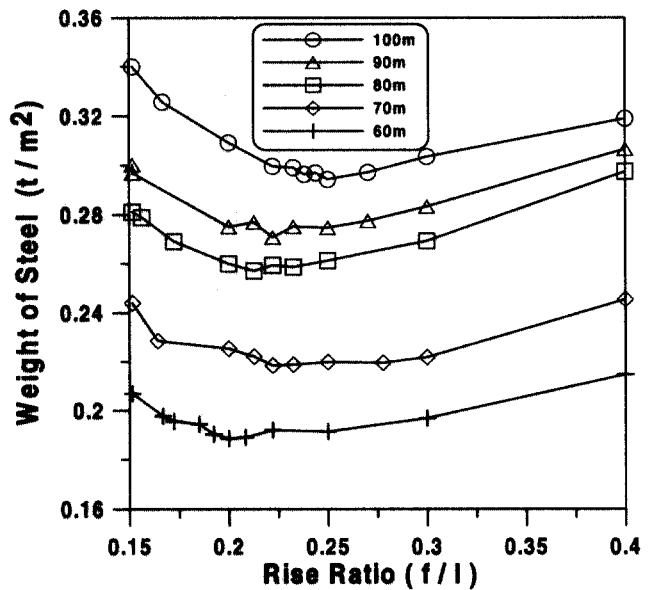


그림 5. 라이즈비와 강중과의 관계

표 4. 각 경간당 최적단면의  $f/l$  와 강중

경간	최적 $f/l$	최적강중 (t/m <sup>2</sup> )	$f/l=1/5$ 일때 강중 (t/m <sup>2</sup> )	강중 차이
100m	1/4	0.2943	0.3093	0.0150
90m	1/4.5	0.2708	0.2751	0.0043
80m	1/4.7	0.2571	0.2599	0.0028
70m	1/4.5	0.2184	0.2254	0.0007
60m	1/5	0.1885	0.1885	0

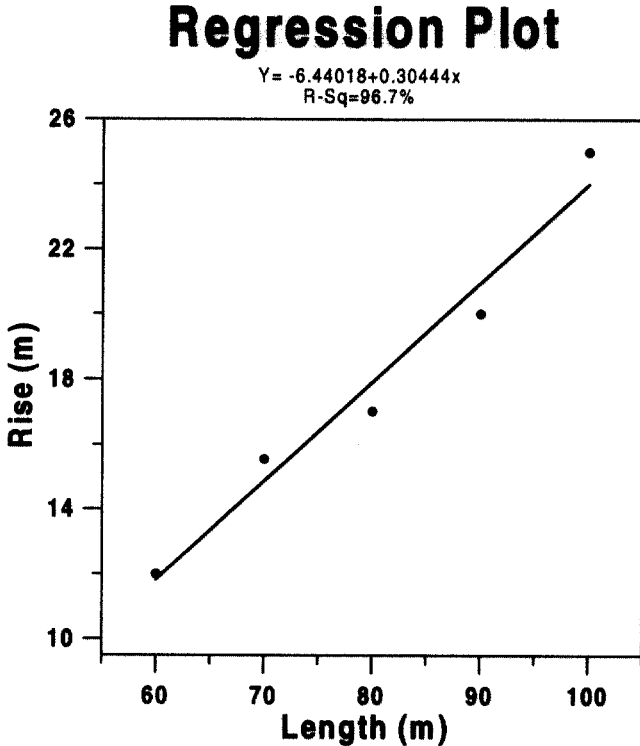


그림 6. 라이즈와 경간의 관계

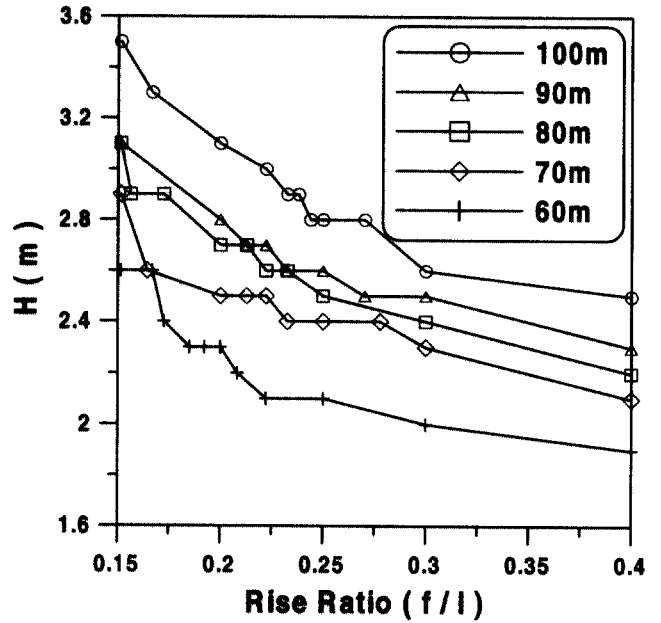


그림 7. 라이즈비( $f/l$ )와 보강형 형고의 관계

표 5. 100m의 형고 높이의 감소량

라이즈비 $f/l$	1/10	1/4	1/2.5
형고높이 $h(m)$	6.1	2.8	2.5
형고높이 감소량	0	-3.3	-0.3

표 6. 최적 강중의 라이즈비  $f/l$  에서 형고 높이  $h$

지 간	100m	90m	80m	70m	60m
$f/l$	1/4	1/4.5	1/4.7	1/4.5	1/5
$h(m)$	2.8	2.7	2.7	2.5	2.3

가 일본 도로교 표준 시방서의 활하중 규정에 따라 설계된 경우이기 때문에 우리나라의 도로교 설계기준의 활하중을 적용할 경우 최적 라이즈비가 달라지는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 라이즈-경간의 회귀분석

위의 검토를 통한 최적의 강중에 있어서 라이즈와 경간의 관계를 회귀분석한 결과 그림 6과 같은 그래프와 이에 대한 식이 유출되었다.

$$f = -6.44018 + 0.30444l \quad (2)$$

$f$ : 라이즈(m)

$l$ : 경간길이(m)

식 (2)는 60m~100m까지의 슬래브 타설시의 랭거아치교에 대한 라이즈-경간 관계식이며, 결정계수는 96.7%이다.

#### 5. 형고와 라이즈비( $f/l$ )의 관계

그림 7에서는 라이즈비와 형고의 관계를 그래프로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 보강형 형고는 라이즈비가 증가할수록 줄어든다. 그러나 그림 5와 그림 7을 비교할 때 경간장 100m의 경우를 예를 들면 라이즈비 1/4를 기준으로 이

보다 라이즈비가 작으면 아치리브와 기타 부부재들의 강중이 감소되는 양보다 보강형의 형고가 높아져 강중이 증가하는 양이 많아져 전체 강중은 증가한다. 반대로 라이즈비가 1/4보다 커지면 보강형의 형고가 낮아져 강중이 감소되는 양보다 아치리브와 기타 부부재들의 강중이 증가하는 양이 많아져 전체 강중은 증가한다. 따라서 라이즈비와 보강형 형고와의 관계는 최적강중일때의 라이즈비  $f/l$  에서의 보강형 형고의 그 의미를 갖는다. 강중이 최적값인 라이즈비에서 형고의 높이는 표 6과 같다.

#### 6. 동적해석

##### 6.1 해석모델의 분류

지진시 교량의 응답은 여러 가지 상황에 따라 달라질 수 있다. 포트받침과 탄성받침의 지진응답을 비교하고 각받침당 경간길이의 변화, 교각높이의 변화, 라이즈비의 변화, 교각형

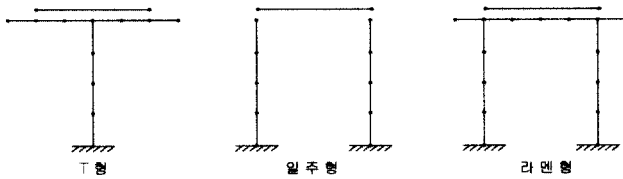


그림 8. 교각 형태

태의 변화를 주어 동적응답을 비교, 분석하였다. 다양한 교각 형태의 변화에 의한 응답치를 비교하기 위하여 T형, 일주형, 라멘형 교각을 선택하여 이들의 강성을 같게 하기 위하여 T형은  $D=5m$ 인 한 개의 기둥, 일주형과 라멘형은  $D=4.15m$ 인 두 개의 기둥으로 하였다. 일주형과 T형에서 경간길이를 60m, 70m, 80m, 90m, 100m로 변화시켰다. 라이즈비  $f/l$ 는 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7로 변화시켰다. 교각높이는 10m, 20m, 30m, 40m, 50m로 변화시켰다. 그림 8은 교각형상이며 T형, 일주형, 라멘형 순이다.

해석에 사용된 응답 스펙트럼은 건설교통부(2000)제정 도로교 설계기준<sup>(1)</sup> 내진설계편의 지진구역 I, 내진1등급교 및 지반계수 II의 값을 이용하였다.

## 6.2 해석모델의 주기 변화

### 6.2.1 경간길이 변화에 따른 주기

포트받침의 경간길이 변화에 따른 교축방향의 첫번째 주기는 교량길이가 길어짐에 따라 각각 0.395, 0.430, 0.467, 0.506, 0.536초이며 교축직각방향의 첫 번째 주기는 1.139, 1.325, 1.357, 1.516, 1.609초이다. 탄성받침의 경간길이 변화에 따른 교축방향의 첫번째 주기는 1.142, 1.585, 1.801, 1.869, 2.003초이며 교축직각방향의 첫번째 주기는 1.793, 2.029, 2.238, 2.335, 2.513초이다. 경간 길이가 길어질수록 고유주기는 길어지는 것을 알 수 있다.

### 6.2.2 라이즈비의 변화에 따른 주기

포트받침의 라이즈비 변화에 따른 교축방향의 첫번째 주기는 0.586, 0.571, 0.542, 0.538, 0.541초이며 교축직각방향의 첫번째 주기는 2.363, 1.780, 1.608, 1.556, 1.531초이다. 탄성받침의 라이즈비 변화에 따른 교축방향의 첫번째 주기는 2.035, 2.007, 2.001, 2.008, 2.021초이며 교축직각방향의 첫번째 주기는 2.860, 2.579, 2.513, 2.489, 2.482초이다. 라이즈비의 변화는 교축방향 고유주기에는 큰 변화가 없고 교축직각방향 고유주기가 라이즈비가 작아짐에 따라 짧아지는 것을 알 수 있다.

### 6.2.3 교각높이 변화에 따른 주기

포트받침의 교각높이 변화에 따른 교축방향의 첫번째 주기는 0.376, 0.810, 1.451, 2.242, 3.176초이며 교축직각방향의 첫번째 주기는 1.577, 1.663, 1.888, 2.334, 2.999초이다. 탄성받침의 교각높이 변화에 따른 교축방향의 첫번째 주기는 1.987, 2.031, 2.169, 2.203, 2.216초이며 교축직각방향의 첫 번째 주기는 2.494, 2.546, 2.681, 2.789, 2.887초이다. 교각높이의 변화에 따른 포트받침의 고유주기는 교각이 길어짐에 따라 크게 상승하지만 탄성받침을 쓰는 경우는 상승폭이 작다.

### 6.2.4 교각형태 변화에 따른 주기

포트받침의 교각형태 변화에 따른 교축방향의 첫번째 주기는 T형, 일주형, 라멘형교각순으로 0.536, 0.511, 0.482초이며 교축직각방향의 첫번째 주기는 1.609, 1.570, 1.598초이다. 탄성받침의 교각형태 변화에 따른 교축방향의 첫 번째 주기는 2.003, 1.998, 1.998초이며 교축직각방향의 첫 번째 주기는 2.513, 2.494, 2.499초이다. 교각형태의 변화에 따른 고유주기는 거의 차이가 나지 않지만 일주형이나 라멘형교각이 T형교각에 비해 작아진 것을 알 수 있다.

## 6.3 해석모델의 단면력 비교

### 6.3.1 경간길이의 변화에 따른 단면력

그림 9와 그림 10에서 보면 경간길이 변화에 따른 응답은 포트받침을 사용시 교축방향과 교축직각방향에 대하여 경간길이가 증가할수록 전단력과 모멘트가 모두 증가하였다.

이는 경간길이가 늘어나면 전단력이 증가하고 추가적으로 상부질량의 증가로 단면력이 커진다. 탄성받침의 경우 탄성받침이 변형하면서 완만하게 증가한다.

### 6.3.2 라이즈비의 변화에 따른 단면력

그림 11과 그림 12에서 보면 라이즈비 변화에 따른 응답은 포트받침을 사용시 교축방향과 교축직각방향에 대하여 라이즈비가 증가할수록 전단력과 모멘트가 모두 완만하게 증가하였다. 탄성받침의 경우 탄성받침이 변형하면서 완만하게 증가하거나 거의 일정한 단면력이 생긴다. 라이즈비의 변화시 교각의 변화에는 상관이 없으므로 라이즈비에 따른 아치리브, 보강재등의 강제증가로 상부질량의 증가가 원인인 것으로 판단된다.

### 6.3.3 교각높이 변화에 따른 단면력

그림 13과 그림 14에서 보면 교각높이 변화에 따른 응답

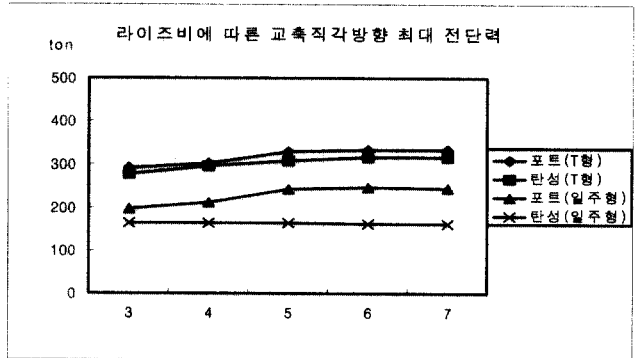
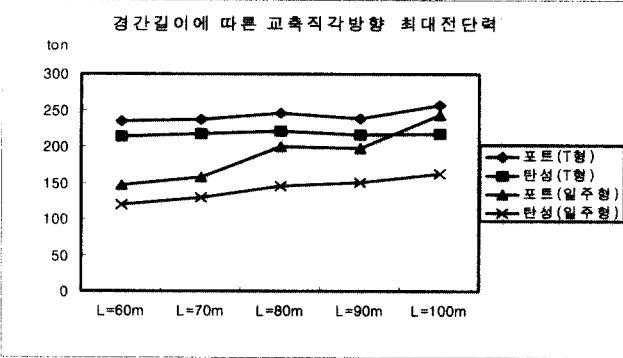
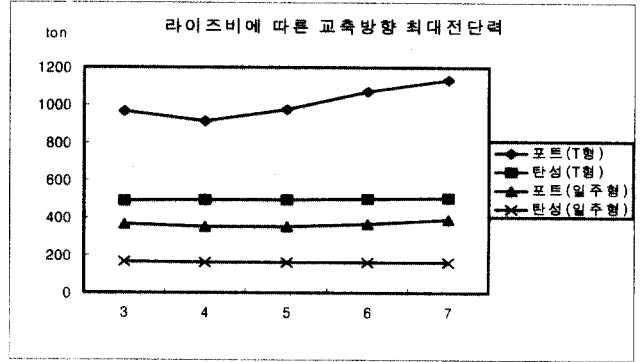
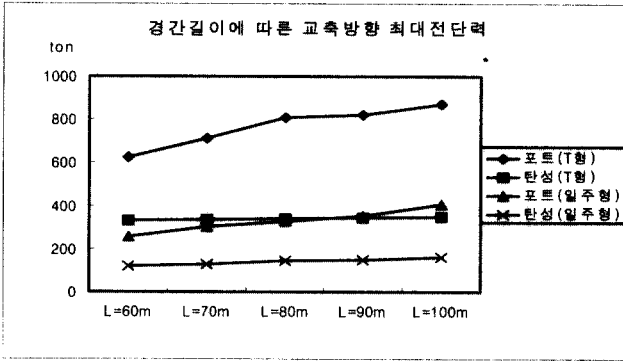


그림 9. 경간길이에 따른 전단력

그림 11. 라이즈비의 변화에 따른 전단력

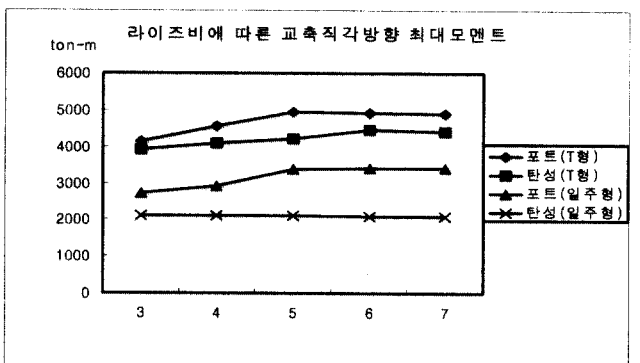
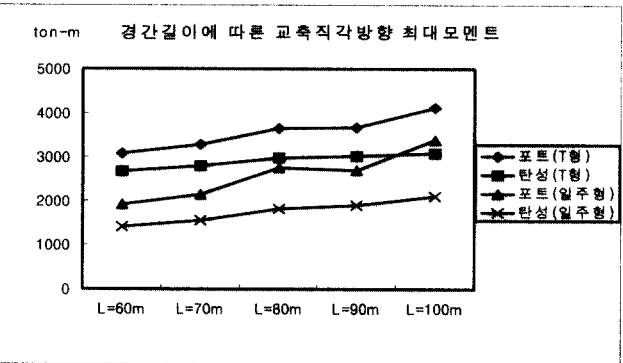
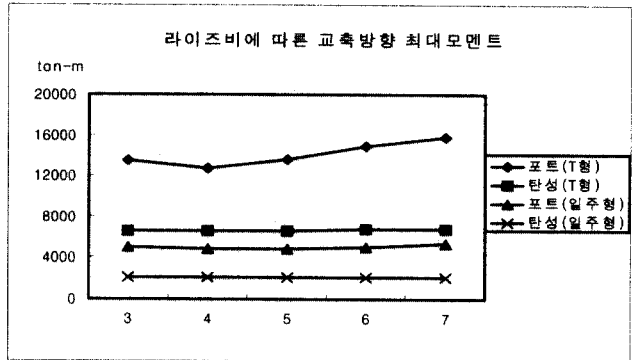
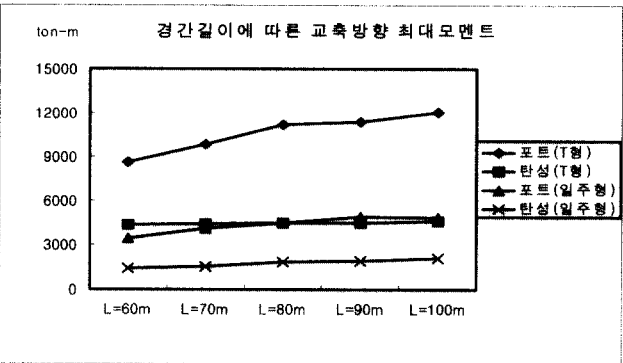


그림 10. 경간길이의 변화에 따른 모멘트

그림 12. 라이즈비의 변화에 따른 모멘트

은 T형교각의 경우 포트받침을 사용시 교축방향 전단력은 감소하고 모멘트는 증가하였고 교축직각방향에 대하여 전단력은 일정하고 모멘트는 모두 증가하였다. 일주형 교각의 경우 포트받침을 사용시 교축방향, 교축직각방향에 대하여 전단력,

모멘트가 모두 증가한다. 탄성받침을 사용시 완만하게 증가하는 단면력이 생긴다. 상부질량이 일정한 상태에서 교각이 유연성이 커짐에 따라 주기가 증가하여 지진력이 감소한다. 그러나 모멘트는 교각높이에 비례하므로 증가하게 된다. 탄성

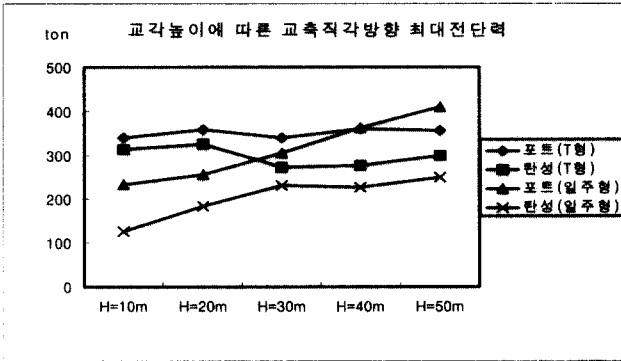
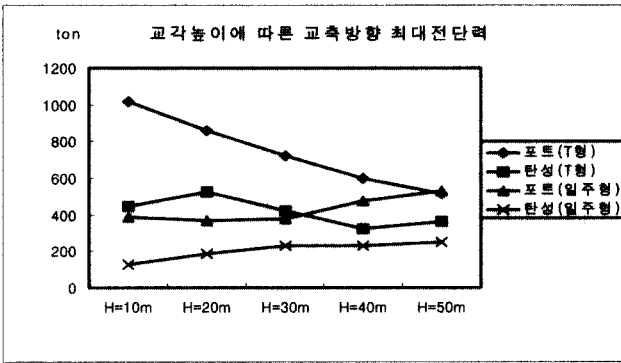


그림 13. 교각높이의 변화에 따른 전단력

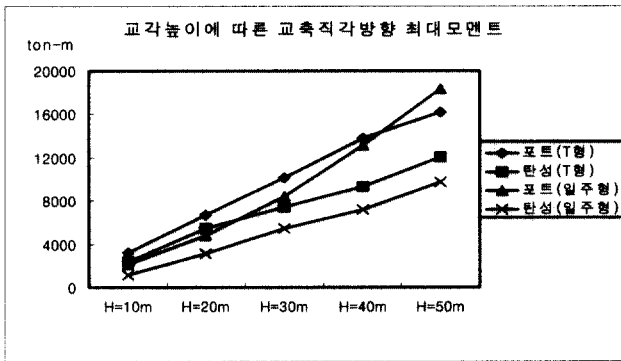
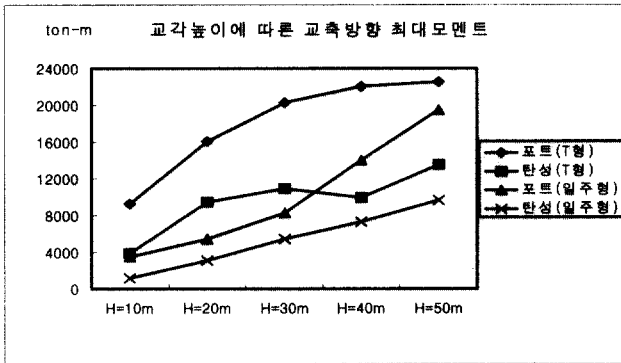


그림 14. 교각높이의 변화에 따른 모멘트

받침에서는 교각의 높이가 높아질수록 주기가 길어지므로 탄성받침의 효과가 떨어지는 것을 알 수 있다.

6.3.4 교각형태에 따른 응답

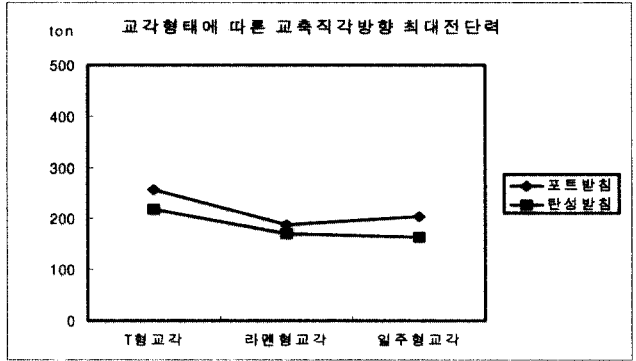
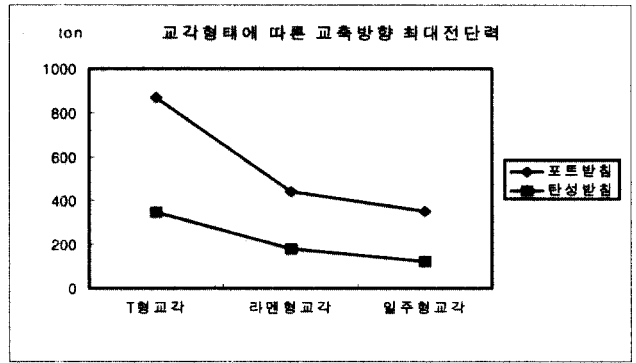


그림 15. 교각형태의 변화에 따른 전단력

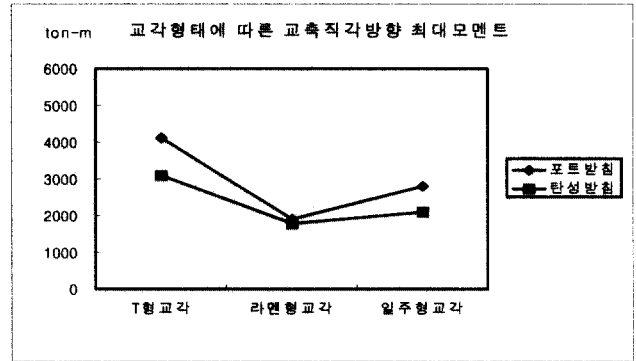
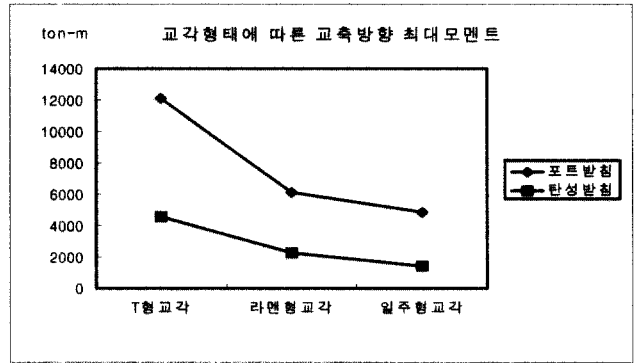


그림 16. 교각형태의 변화에 따른 모멘트

그림 15와 그림 16은 교각형태에 따라 기둥1기당 교축 및 교축직각방향의 최대 단면력을 나타낸다. 그래프에서 보면 교각형태의 양방향에 대해서 일주형교각이 탄성받침을 사용하는 경우 효과적임을 알 수 있다.



탄성받침을 사용하면 교축방향에서는 단면력이 많이 줄지만 교축직각방향에 대해서는 장주기 성분으로 인해서 효과가 떨어진다.

## 7. 결론

본 논문에서는 부재의 강중을 줄이기 위해 라이즈비와 강중과의 관계와 경간과 형고의 보완된 관계식을 유출하였다. 그리고 랭거아치교의 지진에 대한 동적 거동을 알아보았다.

- (1) 형고와 경간의 관계는 실용적으로  $y = ax$  형태의 1차식의 관계식을 사용하였으나 실제로는  $y = ax^b$  ( $b=0.5\sim 0.6$ )의 관계가 있음을 알 수 있다.
- (2) 라이즈비  $f/l$  가 너무 높으면 강중이 증가하고 너무 낮아도 강중이 증가하는데 이러한 최적 라이즈비의 회귀분석결과 랭거아치 경간장 60~100m 일때  $f = -6.44018 + 0.304444l$  이고 결정계수는 96.7%로 산출되었다.
- (3) 강성비를 0.04~0.1 까지 변화시키는 동안 보강형의 응력은 2.2%~3.68%의 미소한 감소를 일으켰다. 보강형의 응력감소는 형고에 지배적인 요소이므로 강성비의 증가에 의한 보강형 형고의 감소 역시 이와 비슷하다고 할 수 있다. 랭거아치교의 아치 리브는 축력만을 분담하므로, 아치리브의 강성을 증가시켜도 보강형에는 영향이 거의 없다는 것을 알 수 있다.
- (4) 아치교의 경간당 라이즈비( $f/l$ )와 형고는 라이즈비( $f/l$ )가 커짐에 따라 형고 높이는 작아진다.
- (5) 탄성받침을 사용시 포트받침을 사용하는 것보다 교축직각방향보다는 교축방향에 대하여 더 우수한 것을 알 수 있다. 이는 랭거아치교의 고유주기를 보면 교축직각방향으로는 장주기의 성분을 포함하고 있기 때문이다. 그리고 모든 경우에 대하여 포트받침을 사용한 것보다 완만한 단면력을 가진다.
- (6) 지진에 대한 단면력은 상부의 질량과 하부의 강성에 의해 결정이 된다. 경간길이의 변화와 라이즈비의 변화는 상부의 질량이 증가함에 따라 단면력이 커짐을 보여주고 있다. 교각높이의 변화는 하부의 유연성이 증가함에 따라 주기가 증가하여 지진력이 감소하고 모멘트는 교각높이에 비례하므로 증가하게 된다는 것을 보여주고 있다. 그러나 구조물 자체에 주기가 클 때는 오히려 탄성받침의 효과가 떨어지는 것을 알 수 있다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부, 2000, "도로교 설계기준", 한국도로교통협회.
2. 金東植, 1992, "剪斷變形을考慮한 비등방성 적층원호 아치의 분석", 서울시립대 석사학위논문.
3. 金生彬, 柳又秀, 2000, "강구조공학", 기문당.
4. 方明錫, 1998, "강교 설계의 기초", 건설도서.
5. 小西一郎, 1997, "강교-설계편 II", 건설도서.
6. 孫炫柱, 2000, "평면 아치의 정적 및 동적해석", 전남대 대학원 석사학위논문.
7. 이희목, 2000, "탄성받침을 이용한 기초분리교량의 지진 응답에 관한 수치적 연구", 경기대학교 대학원 박사 학위논문.
8. 일본교량건설협회, 1997, "강교의 계획과 설계·시공", 과학기술.
9. 張東一, 1995, "강구조 보강설계", 건설도서.
10. 철도청, 1998, "지진대비 기존철도 구조물의 보강대책에 대한 연구", 한국 철도기술연구원.
11. 한국강구조학회, 2000, "강구조공학", 구미서관.
12. 한국강구조학회, 1995, "강구조편람 제4권-도로교의 설계".
13. 黃鶴周, 1995, "최신 교량공학", 동명사.
14. Ang, B.W., Teo, K.L. and Wang, C.M., 1988, "Optimal Shape of Arches Under Bending and Axial Compression", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 114, pp. 898-905.
15. Austin, W.J., 1982, "Numerical Bending Analysis of Arches", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST4, pp.849-867.
16. Chopra A.K., 1995, "Dyanmic of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering", Prentice Hall.
17. Lipson, S.L. and Muhammad, I.H., 1980, "Optimal Design of Arches Using the Complex Method", Journal of the Structural Division, ASCE, ST12, pp. 2509-2525.
18. Li, Y.S. and Qi, D.X., 1974, "Spline Functions Methods", Science Press, Beijing, China.
19. Mcdavid, C.S., 1990, "Weight Optimum Arch Structures", Master's Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

(접수일자 : 2001년 10월 18일)