

◆특집◆ 가공과 진동

## 자전거 프레임 포크에서의 진동 해석

조재웅\*, 한문식#

(\* 공주대학교 기계자동차공학부, # 계명대학교 기계자동차공학과)

### Vibration Analysis at Bike Frame Fork

Jae Ung Cho\*, Moon Sik Han#

(Received 29 January 2014; received in revised form 24 February 2014; accepted 27 February 2014)

#### ABSTRACT

This study investigates structural and vibration analyses for three types of bike frame fork models. As long as the maximum equivalent stresses of these models are lower than the yield stress, the three models are considered to be safe structurally. Type 3, with a maximum equivalent stress of 169.23 MPa, has the lowest stress among the three models and the strongest strength. Types 1, 2 and 3 have natural frequencies lower than 270 Hz. Type 3, with a critical frequency of 118 Hz, has the best durability under vibration among the three models. In order to decrease the vibration transmitted to a bike rider riding on a rough road, the impact due to vibration can be relieved by selecting a Type 3 model from among the three models. The results of this study can be effectively utilized for the design of a bike frame fork as this allows the anticipation and prevention of damage caused by durability issues.

**Key Words** : Bike frame fork(자전거 프레임 포크), Vibration analysis(진동 해석), Natural frequency(고유 진동수), Harmonic vibration analysis(하모닉 진동 해석), Durability(내구성)

#### 1. 서 론

지구 환경 개선을 최우선 해결과제로 내세우고 있는 21세기를 맞아 스포츠, 레저 분야는 물론 무공해 교통수단으로서 자전거의 역할이 새롭게 평가되고 있어 이용자의 급속한 증가가 예상되며, 따라서 다양한 수요층의 요구에 대응할 적극적인 기술 개발이 요구되고 있다.

요즘 들어, 고유가 시대에 접어들면서 많은 사람들이 자전거에 관심을 갖기 시작했다. 도로에 보면 자전거를 타고 출퇴근하는 직장인, 등하교하는 학생들이 사이클 복장을 갖추고 움직이는 자전거 동호인들을 쉽게 볼 수 있다. 각 지역의 인도에는 자전거 도로가 설치되어 있고, 고수부지에도 자전거 도로가 설치되어 있다. 이렇게 자전거를 타고 운행을 하려면 도로 사정 또는 운전자가 핸들에 주는 힘에 따라, 핸들 포크가 잘 견뎌야 한다. 포크가 휘거나 부러짐에 의해서 운행 안전성에 위험을 주어서는 안 된다. 그 동안 자전거의 용도, 기능, 형태, 소재 등에 있어 다양한 변화와 발전이 있었다. 그 중에서도 자전거 포크의 경우도 다른 부품과 같이 많은 발전이 있었으나 특히 운행 안전성에 직접적인 영향을 주는 주요 부품임을 감안할 때, 더 많은 개발이 필요하다<sup>1-3)</sup>.

\* Kongju National University Mechanical and Automotive Engineering Div.

# Corresponding Author :

Keimyung University Mechanical and Automotive Engineering Dept.

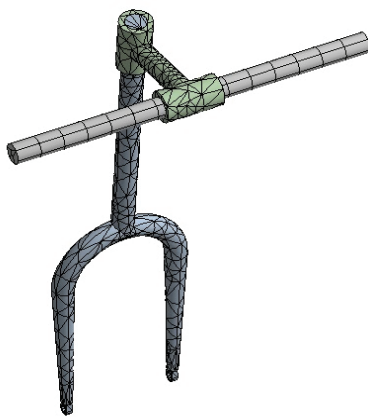
E-mail : sheffhan@kmu.ac.kr

따라서 본 연구에서는 자전거 포크의 종류별로 구조 및 진동해석을 수행하였다<sup>[4,5]</sup>. 종류별 형상의 차이는 Type 1의 경우에는 바퀴 연결부분에서 하부의 두개의 다리 부분이 평평하면서 바닥부분으로 갈수록 다리두께가 가늘어지고 있고, Type 2의 경우는 하부의 두개의 다리 부분이 벌어지면서 바닥부분으로 갈수록 다리두께가 가늘어지고 있다. 또한 Type 3의 경우는 하부의 두개의 다리 부분이 평평하면서 다리두께는 일정하다. 이러한 포크들의 형상별 구조적 안정성을 파악하고 어떤 모델이 진동에 대하여 내구성이 있는지를 검토하였다.

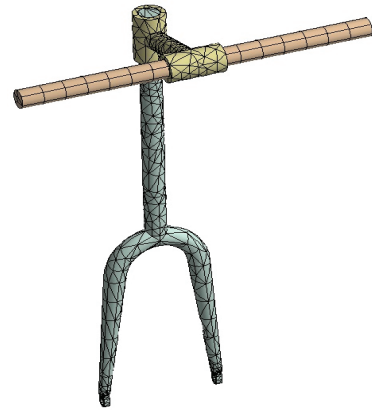
## 2. 연구모델 및 해석결과

### 2.1 연구 모델

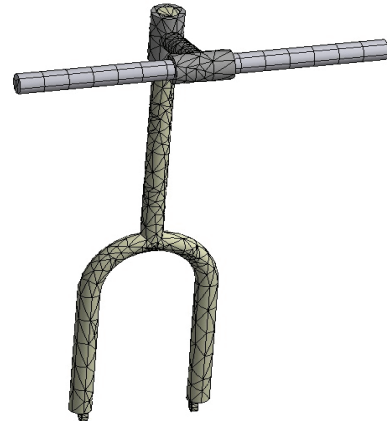
CATIA를 이용하여 모델링한 후 ANSYS를 이용하여 해석하였다<sup>[4]</sup>. 본 연구 모델의 크기는 프레임 포크의 바퀴 연결부분의 거리는 최대 168mm, 핸들부터 바퀴의 연결부분까지의 길이는 최대 800mm이며 포크와 핸들 봉의 연결부분은 기본적으로 많이 사용되는 연결고리를 사용하여 모델을 설계하였으며 시중에 사용되는 세 가지 모델들의 Type들은 Fig 1과 같으며 해석을 위한 Type 1, 2 및 3에 대한 메시들을 나타낸다.



(a) Type 1



(b) Type 2

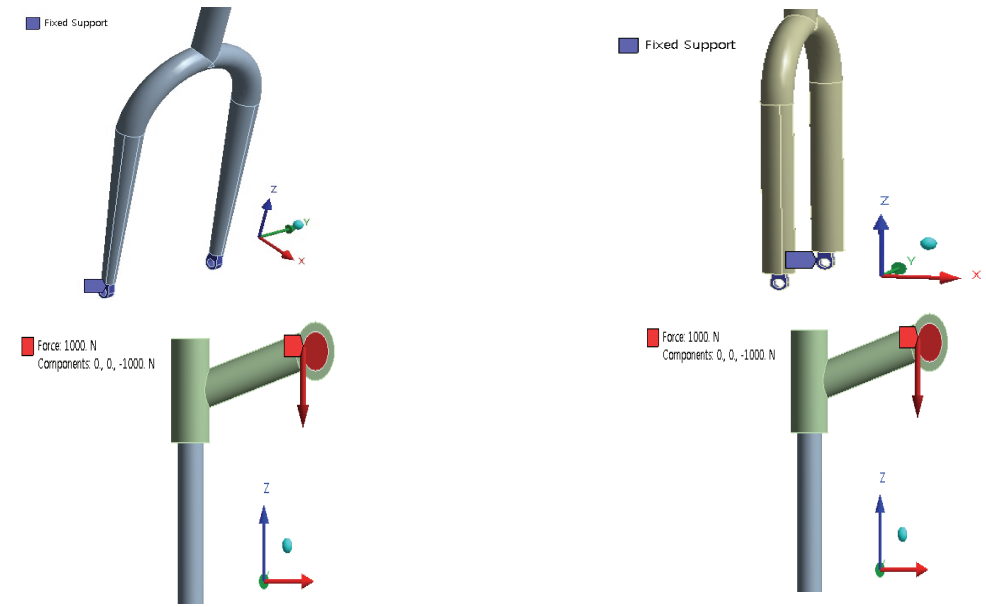


(c) Type 3

Fig. 1 Mesh Configurations

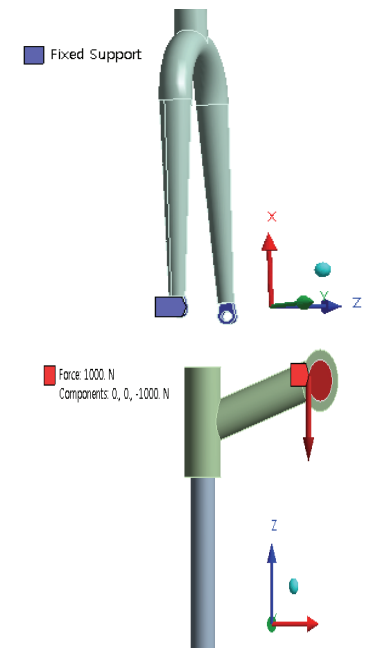
### 2.2 모델의 경계 조건

구속 조건은 Type 1, 2, 3들은 각각 Fig 2의 (a), (b) 및 (c)에서와 같이 바퀴부분을 고정한다. 또한 힘의 크기는 사람의 몸무게를 기준으로 하여 최대 100kg이 작용한다고 가정하여 각각 Z방향으로 Force를 1000N을 적용하였다. 포크인 안장에 사람이 힘을 주었을 때, 달리는 중 길바닥에서 요철을 만나거나 비포장도로를 달릴 때, 사람의 힘에 의해 진동이 가해진다고 가정하여 프레임 포크에 어떤 영향을 미치는지 알아볼 수 있도록 설정하였다. Table 1은 본 연구 모델인 강철의 물성치이다.



(a) Fixed support and force at type 1

(c) Fixed support and force at type 3  
Fig. 2 Constraint conditions



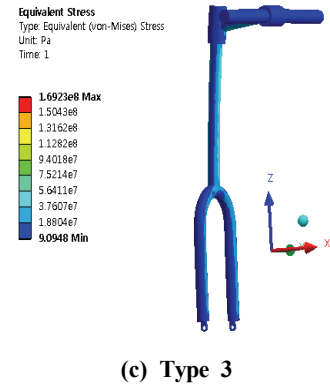
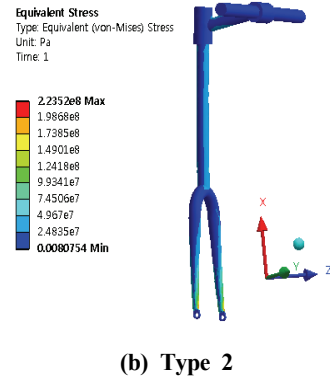
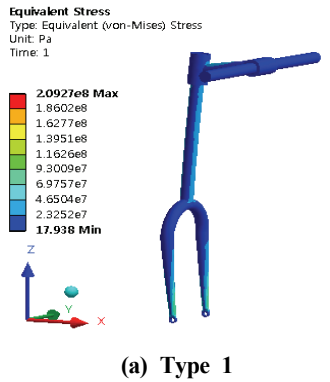
(b) Fixed support and force at type 2

Table 1 Material property

Young's Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0.3
Density	7850kg/m <sup>3</sup>
Tensile Yield Strength	250 MPa
Compressive Yield Strength	250 MPa
Tensile Ultimate Strength	460 MPa

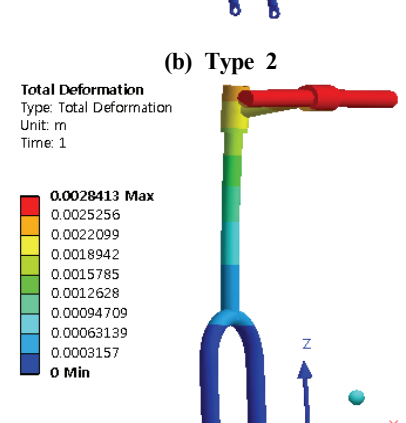
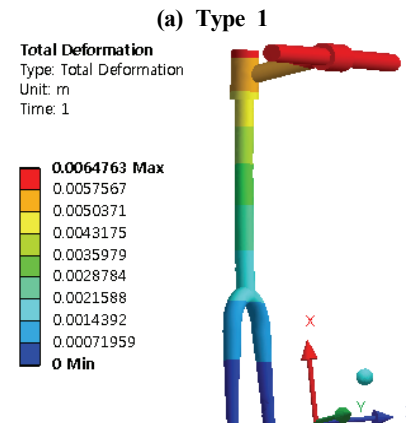
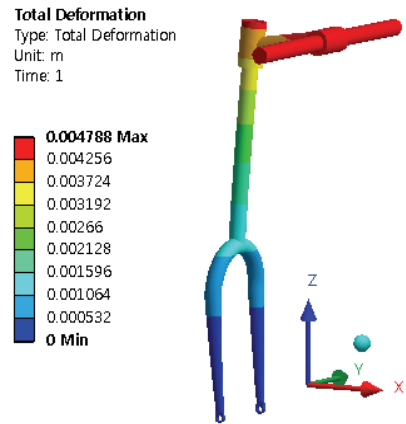
### 3. 구조해석

구조 해석 결과, Fig. 3 및 4는 Type 1, 2 및 3에서의 등가응력과 변형량의 등고선들을 나타낸 그림들이다. Fig. 3은 안장 위의 부분에서 힘을 주었을 때 Type 1, 2 및 3에서 최대 등가응력이 각각 209.27 MPa 223.52 MPa 및 169.23 MPa를 나타낸 그림이다. Fig. 4는 안장과 봉의 연결 부분에서 최대 변형량을 나타내어 각각 Type 1, 2 및 3에서의 최대 변형량이 각각 0.0004788m, 0.0064763m 및 0.0028413m가 변형된 것을 알 수 있다. 결과적으로 Type 1, 2 및 3 공히 각각의 최대 등가응력이



**Fig. 3 Contour of equivalent stress**

항복응력 이내에 들어가서 안전성을 보이고 있다[6-8]. 단, Type 3은 최대 등가응력이 169.23 MPa로서 구조 해석에 대한 강도가 가장 양호함을 보이고 있고 그 응력이 209.27 MPa인 Type 1, 223.52 MPa인 Type 2 순으로 됨을 보인다.



**Fig. 4 Contour of total deformation**

## 4. 진동 해석

### 4.1 고유 진동 해석

Type 1, 2 및 3에서 Fig. 2에서 고정 조건만을 주어서 고유진동 해석을 하여 Model 1, 2 및 3에 대하여 1차부터 6차까지의 진동모드에 대하여 z방향의 최대 변형량을 계산하였다. 그 표는 Table 2와 같다.

**Table 2 Natural frequencies due to mode 1, 2, 3, 4, 5 and 6 at Type 1, 2 and 3**

Mode	Natural frequency(Hz)	Directional deformation(m)
Mode 1	15.746	0.02578
Mode 2	36.33	0.27317
Mode 3	73.86	0.54739
Mode 4	98.519	0.51908
Mode 5	115.02	0.79659
Mode 6	201.93	0.36058

(a) Type 1

Mode	Natural frequency(Hz)	Directional deformation(m)
Mode 1	14.607	0.30023
Mode 2	35.595	0.60198
Mode 3	66.985	0.56799
Mode 4	103.67	0.25917
Mode 5	129.72	0.36776
Mode 6	265.95	0.17696

(b) Type 2

Mode	Natural frequency(Hz)	Directional deformation(m)
Mode 1	25.469	0.02141
Mode 2	39.716	0.32643
Mode 3	76.876	0.5449
Mode 4	118.21	0.54267
Mode 5	126.99	0.8252
Mode 6	256.33	0.21524

(c) Type 3

고유진동해석을 한 결과, 6차까지의 진동 모드에서 270Hz까지 일어 날 수 있음을 알 수 있다. 따라서 실제적인 하중을 받는 경우에서의 위험 진동수를 해석할 수 있었다[6-8].

### 4.2 하모닉 진동 해석

실제적으로 Fig 2에서와 같이 Type 1, 2 및 3에 대하여 고정 및 하중 조건을 주었다. 그리고 고유진동 해석을 한 결과로 최대 프레임 포크에 270Hz를 가하여 그에 따른 진동과 변형에 대해서 해석하였다.

그러한 하모닉 진동 해석을 한 결과, Type 1의 경우, Fig. 5에서와 같이 진동수 99Hz에서의 최대의 변형량을 보였다. 위험 진동수는 99Hz이며, 이 때의 변형량과 등가응력은 Fig. 6 및 7과 같다.

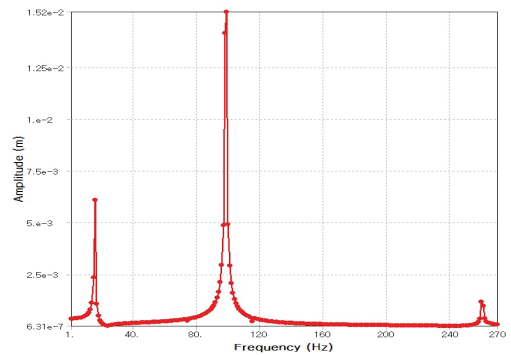


Fig. 5 Frequency response at type 1

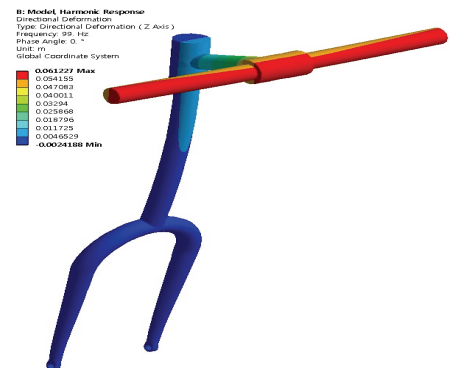


Fig. 6 Directional deformation at the critical frequency of 99Hz at type 1

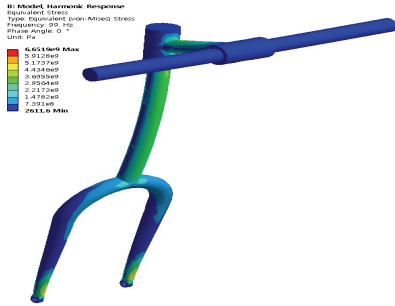


Fig. 7 Equivalent stress at the critical frequency of 99Hz at type 1

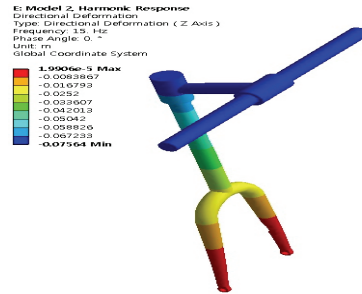


Fig. 9 Directional deformation at the critical frequency of 15Hz at type 2

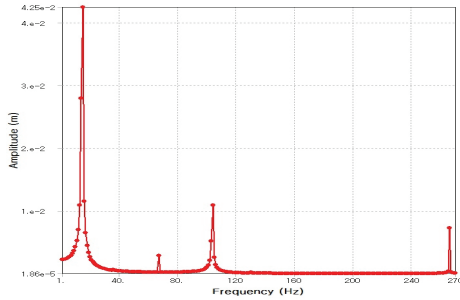


Fig. 8 Frequency response at type 2

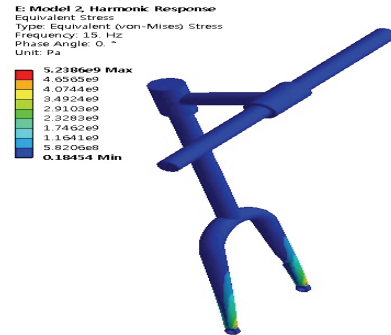


Fig. 10 Equivalent stress at the critical frequency of 15Hz at type 2

또한 하모닉 진동 해석을 한 결과, Type 2의 경우, Fig. 8에서와 같이 진동수 15Hz에서의 최대의 변형량을 보였다. 위험 진동수는 15Hz이며, 이 때의 변형량과 등가응력은 Fig. 9 및 10과 같다.

또한 하모닉 진동 해석을 한 결과, Type 3의 경우, Fig. 11에서와 같이 진동수 118Hz에서의 최대의 변형량을 보였다. 위험 진동수는 118Hz이며, 이 때의 변형량과 등가응력은 Fig. 12 및 13과 같다.

결과적으로 Type 3은 위험 진동수가 118Hz로서 진동에 대한 내구성에 가장 양호함을 보이고 있고 그 진동수가 99Hz인 Type 1, 15Hz 인 Type 2 순으로 됨을 보인다. 자전거를 거칠은 노면에서 탈 때에는 몸에 전달되는 진동을 덜 느끼기 위해서 3개의 모델 중에서 변형량이 Type 3을 선택함으로써 그 진동에 의한 충격을 덜 받을 수 있다고 사료된다.

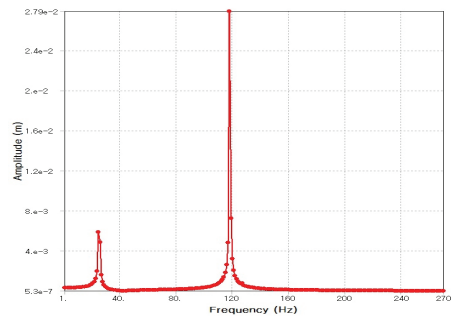


Fig. 11 Frequency response at type 3

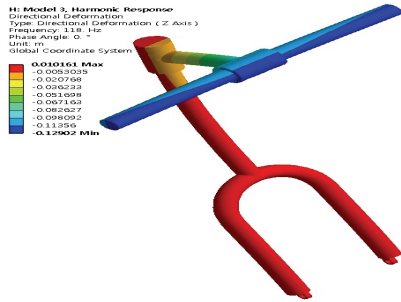


Fig. 12 Directional deformation at the critical frequency of 118Hz at type 3

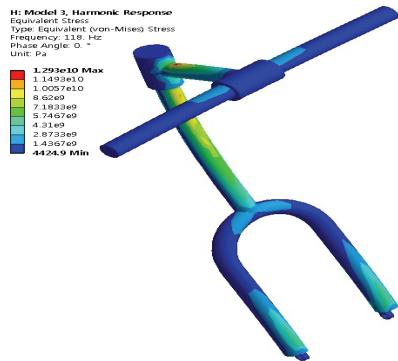


Fig. 13 Equivalent stress at the critical frequency of 118Hz at type 3

## 5. 결론

본 연구에서는 3가지 종류에 대한 자전거 프레임 포크의 구조 및 진동 해석을 한 결과, 다음과 같은 연구결과를 나타냈다.

1. 구조해석 결과 Type 1, 2 및 3 공히 각각의 최대 등가응력이 항복응력 이내에 들어가서 안전성을 보이고 있다.
2. Type 3은 세 가지 모델 Type 중, 최대 등가응력이 169.23 MPa로서 가장 작음으로서, 구조 해석에 대

한 강도가 가장 양호함을 보이고 있고 그 응력이 209.27 MPa인 Type 1, 223.52 MPa인 Type 2 순으로 됨을 보인다.

3. Type 1, 2 및 3 세 가지 모델의 고유진동수는 270Hz 이내에 들어가고, Type 3은 세 가지 모델 Type 중, 위험 진동수가 118Hz로 가장 큼으로서 진동에 대한 내구성에 가장 양호함을 보이고 있다. 또한 그 진동수가 99Hz인 Type 1, 15Hz인 Type 2 순으로 됨을 보인다.
4. 자전거를 거칠은 노면에서 탈 때에 운전자에게 전달되는 진동을 덜 느낄 수 있도록 3개의 모델 중에서 변형량이 Type 3을 선택함으로써 그 진동에 의한 충격을 덜 받을 수 있다고 사료된다.
5. 본 연구의 결과를 종합하여 자전거 프레임 포크의 설계에 응용한다면 진동에 의한 변형이나 파손되는 것을 방지하고, 그것들에 대한 내구성 검토 및 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Cho, Y. T., Lee, K. Y., Lee, C. H., 2010, "Development of Flange Flexible Urethane-key Coupling", Korean Journal of Machine Tools, Vol.19, No.5, pp. 667-671.
2. Han, M. S. and Cho, J. U., 2012, "Structural Safety Analysis on Bicycle Suspension Seat Post", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 72-81.
3. Han, M. S. and Cho, J. U., 2012, "Structural and Fatigue Analysis on Shock Absorber Mount of Automobile", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 125-133.
4. Swanson, J., 2008, "Ansys 11.0, Ansys Inc.," U.S.A.
5. Ko, J. Y. 2009, "ANSYS and Finite Element Method", Sigma Press, pp. 123-153.
6. Kim, K. J., Jung, M. R., Kim, Y. T., Baek, K. Y. and Lee, J. H., 2008, "Inelastic Nonlinear Analysis of Arch Truss and Space Truss Structures", Journal of the Korean Association for Spatial

Structures , Vol. 8, No. 5, pp. 47-58.

7. Yoon, S. W. and Park, Y., 2009, “Comparison of Natural Frequency of Domestic and Foreign Long-spaned Structure ”, Journal of the Korean association for shell and spatial structures, Vol. 9 No. 3, pp. 79-85.
8. Cho, J. U. and Han, M. S., 2013, “Structural strength analysis according to the configuration of speaker placer with wall hanger type ”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 1, pp. 1-8.