

# 평판의 용접부 위치에 따른 진동특성에 관한 연구

## A Study on the Vibration Characteristics according to the Position of the Welding Part

문제영\* · 배성용\*\*†  
Je-Yeong Moon\* and Sung-Yong Bae\*\*†

(Received 2 April 2020, Revision received 27 July 2020, Accepted 3 August 2020)

**Abstract :** The negative effects of vibration on machine and vessel structures are known through the examples such as reduction of design life caused by excessive wear, noise, etc. Among them, the most significant effect is fatigue failure caused by resonance. For this reason, there was not much data although it is necessary to consider the effects of welding in designing structures. In order to collect data related to this, an experimental study was conducted. So far, only the specimens welded in the middle were tested. However, it is necessary to study the effects of the natural frequency of the plate expanding the diversity of the specimens to observe more diverse characteristics varying the location of the welded part of specimens.

**Key Words :** Vibration analysis, Natural frequencies, Resonance, Welded plate, Fatigue fracture

### 1. 서 론

조선, 해양, 자동차 등 산업 전반에서 조립 및 접합 방법으로 용접을 사용한다. 하지만 용접은 작업 과정에서 부재의 강성, 질량의 물성을 변화시키므로 물체의 진동 특성에 영향을 주어, 구조물을 설계할 때 이를 고려해야 한다.

Yu<sup>1)</sup>는 강판에 부가된 용접 부분이 진동 에너지에 영향을 미치는지에 관하여 연구하였고, 용접이 판의 강성을 증가시켜 모드 형상을 변화시키는 역할을 한다는 결론을 내렸다. 또한 Kang<sup>2)</sup>은 자동차 산업에서 많이 사용하는 점 용접을 적용한 박

판에 대한 진동 피로 해석을 연구하였고, Han<sup>3)</sup>은 진동 특성에 관한 연구를 진행하였다.

조선 분야에서는 아크 용접을 많이 사용하는데, 그 중 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)인 TIG용접이 있지만 이와 관련된 진동 특성에 대한 자료는 많지 않다. 실제 조선소에서 사용하는 용접에 대한 구조물의 진동 해석 연구는 찾아보기 어려워 Kim<sup>4,5)</sup>은 TIG용접을 적용한 박판에 관한 연구를 진행하였다. 충격가진실험과 측정 장치를 통해 용접된 박판에 대한 고유진동수를 측정하고, 이를 유한요소해석 결과와 비교함으로써 실험의 방법에 대한 정확성을 입증한 후, 용접부의 방향과 경

\*\*† 배성용(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-4583-4386) : 교수, 부경대학교 조선해양시스템공학과  
E-mail : sybae@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6616

\*문제영(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5860-4718) : 대학원생, 부경대학교 조선해양시스템공학과

\*\*† Sung-Yong Bae(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-4583-4386) : Professor, Department of Naval Architecture & Marine System Engineering, Pukyong National University.  
E-mail : sybae@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6616

\*Je-Yeong Moon(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5860-4718) : Graduate student, Department of Naval Architecture & Marine System Engineering, Pukyong National University.

계조건에 따라 실험을 진행하였다. 이후, Park<sup>6,7)</sup>은 Kim<sup>4,5)</sup>의 실험 시편 종류가 적어 진동 특성을 명확히 파악하는 데에 어려움이 있다는 것을 깨닫고, 두께와 용접부 면적, 방향에 따라 시편을 제작하여 실험을 진행하였으며, 용접 방향 및 면적에 따른 경향을 고찰하였다.

본 연구에서는 용접부 위치 변화에 따른 영향에 대해 파악하기 위해 용접부를 중심에서 옮겨 시편을 제작하였고, 기존의 실험방법과 조건을 참고하여 실험하였다.<sup>4,7)</sup> 실제 현장에서 발생하는 변수를 모두 고려하기 어려우므로 물성치를 정확하게 추정하여 정량적인 경향을 파악하기보다, 용접부의 위치가 고유진동수에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

## 2. 시편 및 실험

### 2.1 시편

본 연구의 실험에 사용된 판은 한 변이 300 mm인 정사각형의 형태이며 3 mm(3T), 4 mm(4T)의 두께별로 각각 제작하였다. 판은 용접부 방향에 따라 가로, 세로 방향으로 용접하였으며, 용접부의 위치는 정사각형 중심에서 한 변의 길이(300 mm)의 10%(30 mm)와 20%(60 mm)만큼 이동하여 용접하였다. 판의 한 부분만 마운트에 고정된 형태인 한 단 고정(Single-end-fixed), 양쪽 부분이 마운트에 고정된 형태인 양단 고정(Both-ends-fixed)의 지지조건으로 제작하였다. 이때, 사용된 마운트는 판과의 고유진동수 간섭을 피하고자 판의 두께별로 다른 마운트를 이용하였다.<sup>4,5)</sup> 두께가 3 mm인 판의 경우, 단면의 한 변이 60 mm이고 길이가 400 mm인 사각 강봉을 이용하였으며, 두께 4 mm판의 경우, 단면의 한 변이 70 mm, 길이가 400 mm인 사각 강봉을 이용하였다. 그리고 판을 마운트에 고정할 때, Fig. 1의 형태로 고정하였다.

한 단 고정의 가로 용접에서는 용접부의 이동 방향이 마운트 고정 방향과 반대 방향으로 나뉜다. 마운트 고정 방향의 경우에는 판의 중심에서 마운트가 고정된 방향으로 판 한 변 길이의 10%,

Table 1 Specification of Plate

	Length [mm]	Breath [mm]	Thickness [mm]	Young's Modulus [GPa]	Mass Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Poisson's Ratio
Square Plate	300	300	3, 4	210	$7.86 \times 10^3$	0.26

Table 2 Welding Condition

Process	Electrode	Current Intensity [A]	Shield Gas
TIG(GTAW)	AWS A5.18 ER70S-6	100 ~ 120	Ar

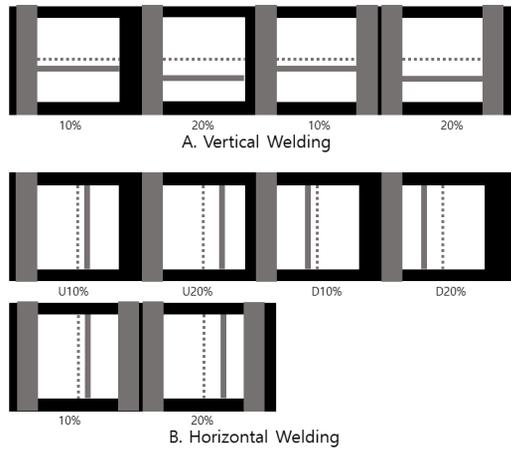


Fig. 1 Welding Point of Experiment Specimen

20%를 이동하여 용접하였고, 이를 D10%, D20%로 각각 표기하였다. 반대 방향의 경우에는 마운트가 고정되어 있지 않은 방향으로 10%, 20% 이동하여 용접하였으며, U10%, U20%로 표기하였다. 시편의 제원은 Table 1, 용접 조건<sup>8)</sup>은 Table 2에 나타내고 있다. Fig. 1은 A, B 그림 좌측부터, 중심(점선)에서 한 변 길이의 10% 이동, 20% 이동의 순서로 반복된다.

### 2.2 실험

용접하지 않은 판과 중심을 용접한 시편을 함께 비교하여 경향을 파악할 수 있도록 다양한 시편에 대해 실험하였다. 제작된 시편의 가로, 세로

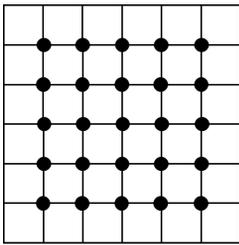


Fig. 2 Impact spot of welded plate

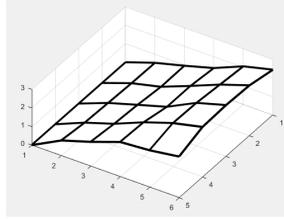


Fig. 3 Express natural frequencies using MATLAB(Single-end-fixed)

길이에 대해 Fig. 2와 같이 6등분 바둑판 형식으로 나눈 후, 표시된 부분에 충격가진실험(Impact Test)을 충격해머(B&K, 8206-001)로 각 3회씩 실험을 하였다. 측정 장치는 FFT 분석기(b&k, 3560-B-040), 가속도계(ENDEVCO, 751-100)와 Analysis System (Laptop Computer)로 구성된다. FFT 분석기로부터 측정된 신호를 이용하여 모드 특성치를 얻기 위해 신호 분석 프로그램인 PULSE Labshop(B&K)를 이용하였고, 3차원 형상의 고유모드를 표현하기 위해 MATLAB 프로그램을 이용하였다. 마운트 고정부는 한 단 고정은 Fig. 3에서와 같이  $x=1$ , 양단 고정은  $x=1$ 과  $x=7$ 에  $y=0$ 의 좌표로 고정하여 나타내었다.<sup>6,7)</sup>

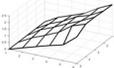
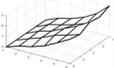
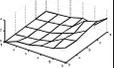
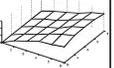
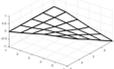
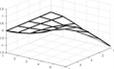
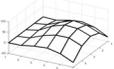
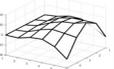
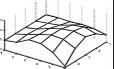
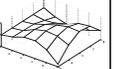
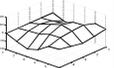
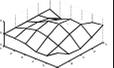
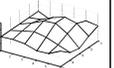
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 3T 정사각형 판의 세로 용접

##### 3.1.1 한 단 고정

한 단 고정, 세로 방향으로 용접된 정사각형판을 이용한 실험에서 얻은 고유진동수와 그에 따른 모드 형상은 Table 3에서 나타낸다. None welding은 용접을 하지 않은 원판, Middle(VER)은 판의 중심부에 세로 방향으로 용접한 것을 나타낸다. 용접으로 인해 모드가 잘 나타나지 않는 부분이 존재하여 원판과 같은 모드 형상을 비교하며 고유진동수의 차수를 파악하였고, 고유모드와 고유진동수도 그에 따라 정리하였다. 1차 고유진동수는 중심에서 10% 이동하여 용접한 판이 가장 크고, 판의 중심에 용접했을 때 두 번째로 컸으며, 원판과 20% 이동하여 용접한 판은 거의 비슷

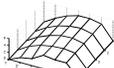
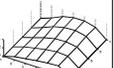
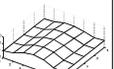
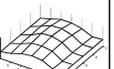
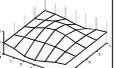
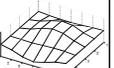
Table 3 Natural frequencies of square plate (Thickness : 3 mm, SM, Vertical) (unit : Hz)

	None welding	Middle (VER)	10%	20%
1	 18	 22	 25	 16
2	 52	 50	-	-
3	 207	 262	 223	 219
4	 403	 412	 468	 454

하였다. 3차에서는 중심에 용접한 경우가 가장 높고, 10%, 20%, 원판 순으로 고유진동수가 작아졌다. 4차는 10%가 가장 높았으며, 모든 차수에서 10%가 가장 크고, 20%와 원판 순으로 낮아졌다.

##### 3.1.2 양단 고정

Table 4 Natural frequencies of square plate (Thickness : 3 mm, DM, Vertical) (unit : Hz)

	None welding	Middle (VER)	10%	20%
1	 60	-	 64	 62
2	 163	-	 269	 249
3	 317	 428	 514	 491

1차 고유진동수는 10%가 20%보다 고유진동수가 크게 나타났다. 2, 3차에서도 10%가 20%보다 컸으며, 중심, 원판 순으로 작아졌다.

모든 차수에서 10%의 고유진동수가 가장 크고, 20%, 중심, 원판 순으로 감소하였다.

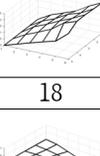
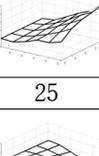
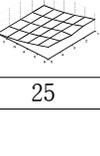
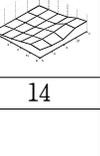
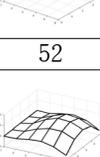
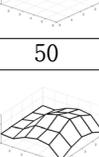
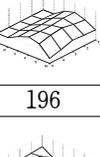
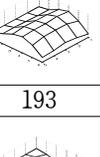
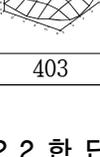
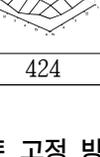
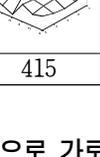
### 3.2 3T 정사각형 판의 가로 방향 용접

#### 3.2.1 한 단 고정 - 마운트 고정 반대 방향으로 가로 용접

한 단 고정일 때 마운트 고정 반대 방향으로 가로 용접할 경우, 1차 고유진동수는 중심과 10%가 가장 크다. 3차에서는 원판, 중심, 10%, 20% 순으로 작아졌고, 4차에서는 10%가 가장 크고, 20%, 원판 순이었다. 모든 차수에서 10%가 20%의 고유진동수보다 더 크다.

Table 5 Natural frequencies of square plate (Thickness : 3 mm, SM, Horizontal-U)

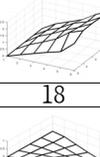
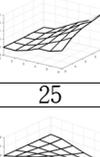
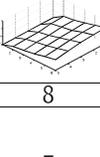
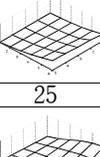
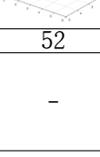
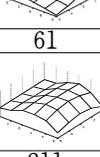
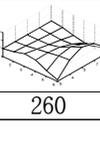
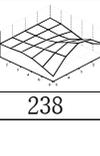
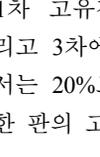
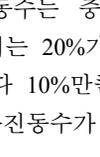
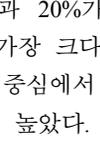
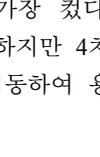
(unit : Hz)

	None welding	Middle (HOR)	U10%	U20%
1	 18	 25	 25	 14
2	 52	 50	-	-
3	-	-	 196	 193
4	 403	-	 424	 415

#### 3.2.2 한 단 고정 - 마운트 고정 방향으로 가로 용접

Table 6 Natural frequencies of square plate (Thickness : 3 mm, SM, Horizontal-D)

(unit : Hz)

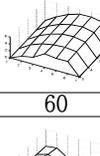
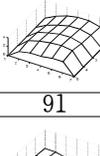
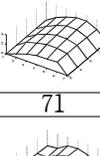
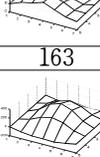
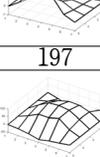
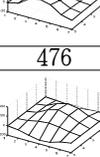
	None welding	Middle (HOR)	D10%	D20%
1	 18	 25	 8	 25
2	 52	 50	-	 61
3	-	-	 207	 211
4	 207	 203	 260	 238

1차 고유진동수는 중심과 20%가 가장 컸다. 그리고 3차에서는 20%가 가장 크다. 하지만 4차에서는 20%보다 10%만큼 중심에서 이동하여 용접한 판의 고유진동수가 더 높았다.

#### 3.2.3 양단 고정

Table 7 Natural frequencies of square plate (Thickness : 3 mm, DM, Horizontal)

(unit : Hz)

	None welding	Middle (HOR)	10%	20%
1	 60	-	 91	 71
2	 163	 197	 476	 241
3	 317	 399	 600	 370

1차 고유진동수는 20%보다 10%가 크고, 2, 3차 또한 1차와 같았으며 중심, 원판 순으로 고유진동수가 작아졌다. 모든 차수에서 10%가 20%보다 고유진동수가 더 높았다.

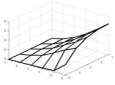
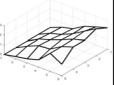
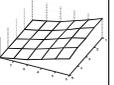
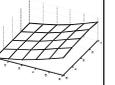
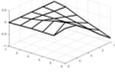
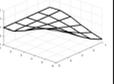
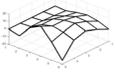
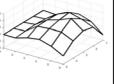
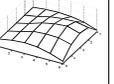
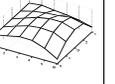
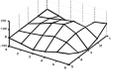
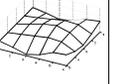
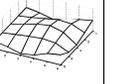
### 3.3 4T 정사각형 판의 세로 용접

#### 3.3.1 한 단 고정

1차 고유진동수는 원판과 10%가 가장 컸고, 20% 순으로 작아졌다. 3차에서도 1차와 비슷한 경향을 보였고, 4차에서는 10%, 20%, 원판 순으로 고유진동수가 작아졌다.

모든 차수에서 원판과 비교하였을 때 20%보다 10%의 고유진동수가 더 높았다.

Table 8 Natural frequencies of square plate (Thickness : 4 mm, SM, Vertical)

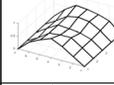
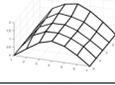
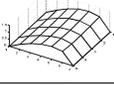
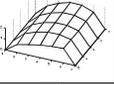
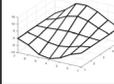
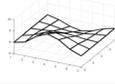
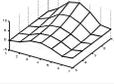
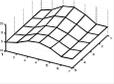
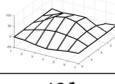
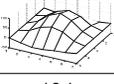
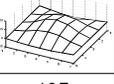
	None welding	Middle (VER)	10%	20%
1				
	33	27	34	31
2			-	-
	77	72	-	-
3				
	290	318	299	287
4		-		
	552	-	577	554

#### 3.3.2 양단 고정

1차 고유진동수에서 원판이 가장 높고, 다른 차수에서 10%, 20%, 중심, 원판 순으로 작아지는 것을 확인하였다.

Table 9 Natural frequencies of square plate (Thickness : 4 mm, DM, Vertical)

(unit : Hz)

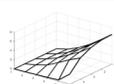
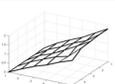
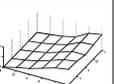
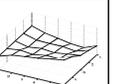
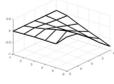
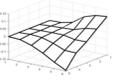
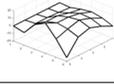
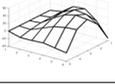
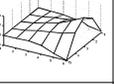
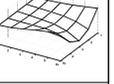
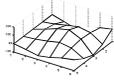
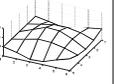
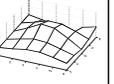
	None welding	Middle (VER)	10%	20%
1				
	100	96	89	61
2				
	242	263	279	273
3				
	426	481	494	495

### 3.4 4T 정사각형 판의 가로 용접

#### 3.4.1 한 단 고정 - 마운트 고정 반대 방향으로 가로 용접

Table 10 Natural frequencies of square plate (Thickness : 4 mm, Horizontal-U)

(unit : Hz)

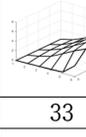
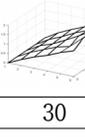
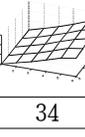
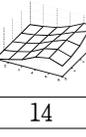
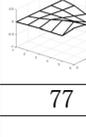
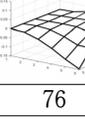
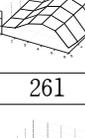
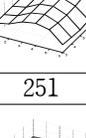
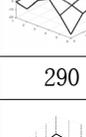
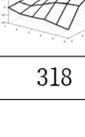
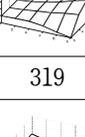
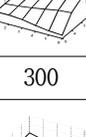
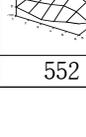
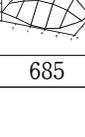
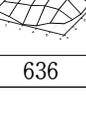
	None welding	Middle (HOR)	U10%	U20%
1				
	33	30	16	16
2			-	-
	77	76	-	-
3				
	290	318	330	354
4		-		
	552	-	590	578

1차 고유진동수는 원판이 가장 크고, 중심, 10%, 20% 순으로 고유진동수가 낮아졌다. 3차에서는 20%가 가장 컸고, 10%, 중심, 원판 순으로 작았다. 4차는 10%가 가장 크고, 20%, 원판 순으로 작았다. 세로 용접의 경우처럼 1차 고유진동수에서 원판의 값이 가장 크다는 것을 알 수 있었다.

### 3.4.2 한 단 고정 - 마운트 고정 방향으로 가로 용접

1차 고유진동수는 10%와 원판이 가장 높고, 중심, 20% 순으로 작았다. 모든 차수에서 20%보다 10%의 고유진동수가 크며, 마운트와 용접부의 위치가 가까워질수록 고유진동수가 작아지는 것을 알 수 있었다.

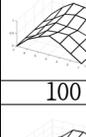
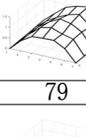
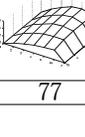
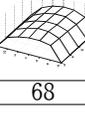
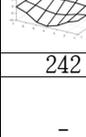
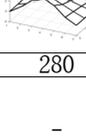
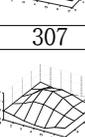
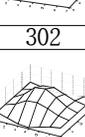
Table 11 Natural frequencies of square plate  
(Thickness : 4 mm, SM, Horizontal-D)  
(unit : Hz)

	None welding	Middle (HOR)	D10%	D20%
1				
	33	30	34	14
2			-	-
	77	76	-	-
3	-	-		
	-	-	261	251
4				
	290	318	319	300
5		-		
	552	-	685	636

### 3.4.3 양단 고정

1차 고유진동수는 원판이 가장 크고, 중심, 10%, 20% 순으로 작아졌다. 또한, 3차는 10%가 20%보다 컸으며, 4차는 10%와 20%의 고유진동수가 비슷했다. 대부분 차수에서 10%가 20%보다 고유진동수가 높았다.

Table 12 Natural frequencies of square plate  
(Thickness : 4mm, DM, Horizontal)  
(unit : Hz)

	None welding	Middle (HOR)	10%	20%
1				
	100	79	77	68
2			-	-
	242	280	-	-
3	-	-		
	-	-	307	302
4		-		
	426	-	514	516

## 4. 결론

본 연구에서는 평판의 용접부 위치에 따른 실험적 모드해석을 통해 결과값을 비교하여 정성적인 경향을 분석하였다.

- 1) 두께 3 mm판을 세로 방향으로 용접했을 경우, 20%보다 10%의 고유진동수가 크게 나타난다.
- 2) 한 단 고정에서 가로 용접의 경우, 두께 3 mm판은 용접부의 위치가 중심에서 고정되어 있지 않은 방향으로 갈수록 고유진동수가 감소하고, 두께 4 mm판은 고정된 방향으로 가까워질수록 고유진동수가 감소하였다.
- 3) 양단 고정에서 세로 용접했을 경우, 두께와 상관없이 중심을 벗어난 위치에 용접을 하였을 때,

중심에서 멀어질수록 고유진동수가 감소하였다.

4) 두께 4 mm 판의 경우, 1차 고유진동수에서 원판의 고유진동수가 모든 용접된 경우의 고유진동수보다 가장 크게 나타났다. 이는 4 mm 두께 판의 1차 고유진동수는 용접에 의한 강성보다 질량에 대한 영향이 더 크게 미쳐 고유진동수가 감소하므로, 용접부의 위치가 변화하더라도 이와 같은 현상이 나타난다는 것을 알 수 있었다.

5) 양단 고정의 세로 용접의 경우, 4T 원판의 1차 고유진동수가 가장 큰 점을 제외하고 두께와 상관없이 10%, 20%, 중심 용접, 원판 순으로 작게 나타났다.

## 후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.

## Author contributions

S. Y. Bae; Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Supervision, Validation. J. Y. Moon; Investigation, Project administration, Software, Experimental data analysis, Writing-original draft, Writing-review & editing.

## References

1. Y. H. Yu, 2002, "Relation Between Welding Shapes and the Vibration Energy Flows of Steel Plate", Journal of the Korean Society for Power System Engineering", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 6, No. 4, pp. 36-42.

2. K. W. Kang, I. J. Chang and J. K. Kim, 2010, "Vibration Fatigue Analysis for Multi-Point Spot-Welded SPCC Structure Considering Change of Dynamic Response", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers. A. A, Vol. 34, No. 9, pp. 1193-1198.  
(<https://doi.org/10.3795/KSME-A.2010.34.9.1193>)
3. D. S. Han, S. C. Ahn, C. W. Ahn and G. J. Han, 2002, "A Study on Vibration Characteristics of Plate Structures Spot-Welded with respect to Area Ratio and Distance Ratio", Journal of navigation and port research, Vol. 26, No. 1, pp. 43-49.  
(<https://doi.org/10.5394/KINPR.2002.26.1.043>)
4. J. H. Kim, D. Y. Park and S. Y. Bae, 2017, "A study on the effect of welding on natural frequencies of thin plate", The Korea Society for Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 29, pp. 1356-1363.  
(<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.5.1356>)
5. J. H. Kim, 2018, "A study on vibration characteristics of welded thin plate".
6. D. Y. Park, 2019, "A study on vibration characteristics of welded plates", p. 1.
7. D. Y. Park, W. Y. Seo and S. Y. Bae, 2019, "A study on the effect of boundary condition and thickness on the natural frequencies of welded thin plates", The Korea Society for Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 31, pp. 801-808.  
(<https://doi.org/10.13000/jfmse.2019.6.31.3.801>)
8. American Welding Society(2015). AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel.