

용접된 판의 종횡비에 따른 진동 특성에 관한 연구

백승현 · 하영록* · 배성용†

국립부경대학교(학생) · *거제대학교(교수) · †국립부경대학교(교수)

A Study on the Vibration Characteristics of Welded Plates with Horizontal Ratio

Seung-Hyun BACK · Young-Rok HA* · Sung-Yong BAE†

Pukyong National University(student) · *Geoje University(professor) · †Pukyong National University(professor)

Abstract

Welding is the main method for manufacturing and repair in various industries. Welding a structure can change the mechanical properties of an object. Among them, since vibration affects the life of an object, the study considering the effect of welding on the structure design is being conducted. Only small-sized samples were tested in the study so far, but the size of the samples had to be increased to confirm the shape of the mode more clearly. We will also study the characteristics of welding vibration according to aspect ratio among the various factors to be considered in the specimen.

Key words : Vibration analysis, Natural frequencies, Resonance, Welding, Fatigue fracture

I. 서론

건축, 토목, 자동차, 해양구조물, 조선 등 산업 전반 구조물의 크랙이나 파단이 일어났을 때 수리의 방법으로 용접이 가장 널리 사용되고 있다.

현대의 대부분의 구조물들은 초기 설계 시 동적 특성을 고려하여 건조에 적용하지만, 수리 과정에서 사용한 용접이 이러한 고유 특성을 변화 시킴으로 공진의 가능성을 고려해야 한다. 공진의 구조물에 미치는 영향은 적게는 피로 파괴 현상을 일으키고 구조물의 수명에 영향을 주며 극단적으로는 구조물이 단숨에 파손될 수 있을 정도의 위험을 야기 시킬 수 있다. 따라서 용접된 판의 동적 구조를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다고 생각된다.

Kim et al.(2017) and Kim(2018)은 이러한 문제점 해결을 위해 TIG(Tungsten Inert Gas) 용접법을 이용하여 용접한 박판에 관한 연구를 수행하였다. 유한요소해석을 이용하여 실험 방법과 결과에 대한 신뢰성을 확보하였으며, 해석값과 실험값의 유사성을 확인하며 고유 진동수에 대한 연구를 진행하였다.

이러한 연구에 더하여, 실험 시편의 현장실무에 대한 적용성을 늘이기 위한 연구를 진행하였고, 이를 위해 두께와 용접면적 등 진동 특성에 다양한 영향을 끼치는 요소들을 이용하며 정성적인 고찰을 하였다(Park, 2019, Park et al., 2019).

한편, Moon and Bae (2020, 2021), Moon (2021)은 용접 판의 두께별, 용접 위치별, 경계조건별로 실험하는 종합적 연구를 수행하여 왔다. 또한,

† Corresponding author : 051-629-6616, sybae@pknu.ac.kr

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의해 연구되었음.

Baek(2024)은 고유 모드 형상을 좀 더 명확하게 확인하고 비교하기 위하여 충분한 크기의 시편을 이용하여 진동 특성을 연구하였다.

본 연구에서는 중횡비가 서로 다른 직사각형 판의 진동 특성을 비교하기 위해 양단 고정된 가로가 긴 직사각형 판을 사용하여 연구를 진행하였다. 또한, 실험에 사용한 시편의 크기가 현장의 용접 판에 비교하여 작기 때문에 인한 오차 가능성을 검증하기 위하여 크기가 서로 다른 시편을 비교 하였다. 현장에서는 용접자, 작업환경 및 현장의 환경적 요인인 온도, 습도 등의 다양한 변수 때문에 정량적 분석은 거의 불가능하므로 정성적으로 고찰하였다.

II. 연구 방법

1. 실험 시편

본 연구의 실험은 <Table 1>에서 용접 조건을 나타내고 있으며, <Table 2>와 같이 가로 300 mm, 세로 200 mm, 두께 3 mm(3T), 두께 4 mm(4T)인 직사각형 판과 가로 1200 mm, 세로 400 mm, 두께 3T, 4T, 5T, 6T인 직사각형 판을 시편으로 사용하였다. 용접 방향은 [Fig. 1]과 같은 방법으로 하였다. 마운트와 수직으로 용접한 경우는 세로 용접(Vertical) 마운트와 나란한 방향으로 용접한 것은 가로 용접(Horizontal), 두 용접을 모두 한 것은 교차용접(Cross)으로 표기하였다.

<Table 3>부터 사용되는 V10', V20' 및 H10', H20'의 표기는 [Fig. 1] 의 A, B의 그림과 같이 마운트의 중심선 V와 H에서 각각의 방향으로 10% 및 20%를 이동하여 용접 하였을 때를 나타낸다.

중횡비, 두께, 용접 방향에 따라 모두 30개의 시편이 사용되었다. 또한 시편은 양쪽 Length 부분을 고정하는 양단 고정으로 제작하였다.

2. 실험 방법

용접하지 않은 원판과 각 방향의 용접한 판의

진동수의 변화율을 비교하여 경향을 파악하는 실험을 하였다.

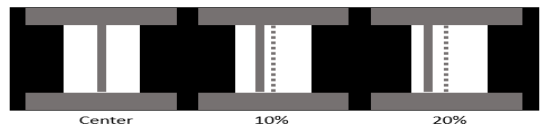
실험은 FFT 분석기(B&K, 3560-B-040), 충격해머(B&K, 8206-001), 가속도계(ENDEVCO, 751-100), Analysis System(Laptop Computer)로 구성된 측정장치를 사용하여 제작된 시편에 충격 가진 실험(Impact Test)을 실시하였다. 또한 MATLAB 프로그램을 이용해 고유 모드를 표현하여 각 차수별 3차원 형상을 비교하며 정성적 분석을 하였다.

<Table 1> Welding conditions

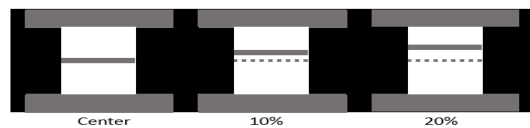
Process	Electrode	Current intensity [A]	Shield gas
TIG (GTAW)	AWS A5.18 ER70S-6	100 ~ 120	Ar

<Table 2> Specification of rectangular plate

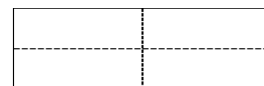
Aspect ratio	1 : 1.5	1 : 3
Length(Fixed) [mm]	200	400
Width [mm]	300	1,200
Thickness [mm]	3, 4	3, 4, 5, 6
Young's Modulus [GPa]	210	210
Mass Density [kg/m ³]	7.86×10 ³	7.86×10 ³
Poisson's Ratio	0.26	0.26



A. Vertical Welding



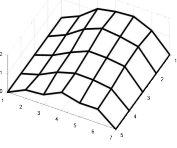
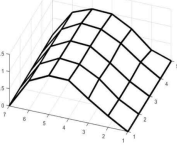
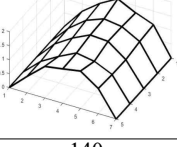
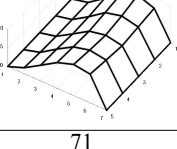
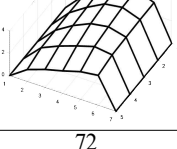
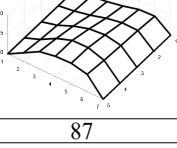
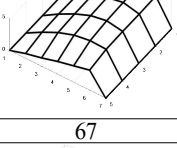
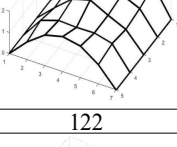
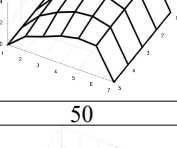
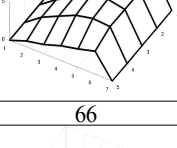
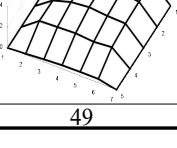
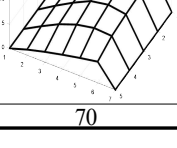
B. Horizontal Welding



C. Cross Welding

[Fig. 1] Welding direction.

<Table 3> Experimental mode shapes and natural frequencies of the rectangular plate (mode 1st, Aspect ratio 1:1.5)

1st	3mm	4mm
None welding (Hz)	 121	 142
Vertical welding (Hz)	-	 140
V10% (Hz)	 71	 72
V20% (Hz)	 87	 67
Horizontal welding (Hz)	-	 122
H10% (Hz)	 50	 66
H20% (Hz)	 49	 70

Ⅲ. 연구 결과

1. 종횡비 1 : 1.5인 평판에 대한 용접

종횡비가 1 : 1.5인 두께 3 mm, 4 mm 직사각형 판에서의 실험을 통한 고유 모드와 고유 진동수를 1차 모드에서 3차 모드까지 나타내었다.

V', V10', V20', H', H10', H20'은 원판의 고유 진동수를 기준 각 용접한 판의 고유 진동수 변화율을 나타내었다.

<Table 3>, <Table 4>, [Fig. 2]와 같이 1차 모드의 경우 3 mm 판에서 V10'과 V20'이 H10'과 H20'보다 고유 진동수 변화율의 폭이 작고 4 mm 판에서 V', V10', V20'이 H', H10', H20'보다 고유 진동수 변화율의 폭이 작은 경향을 보인다.

<Table 5>, <Table 6>, [Fig. 3]과 같이 2차 모드의 경우 3 mm 판과 4 mm 판에서 V10'이 V20'보다 H10'이 H20'보다 고유 진동수 변화율의 폭이 큰 경향을 보인다.

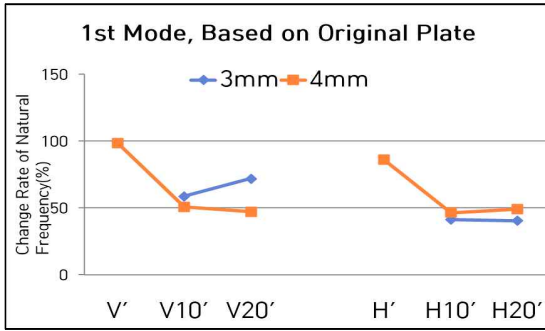
또한 4 mm 판은 모든 Vertical 용접이 모든 Horizontal 용접보다 고유 진동수 변화율의 폭이 작은 경향을 보인다.

<Table 7>, <Table 8>, [Fig. 4]와 같이 3차 모드의 경우 3 mm 판과 4 mm 판에서 V10'이 V20'보다 고유 진동수 변화율의 폭이 크고, H10'이 H20'보다 고유 진동수 변화율의 폭이 작은 경향을 보인다.

또한 4 mm 판은 모든 Vertical 용접이 모든 Horizontal 용접보다 고유 진동수 변화율의 폭이 큰 경향을 보인다.

<Table 4> The rate of change in the natural frequency (mode 1st, Aspect ratio 1:1.5) (unit : %)

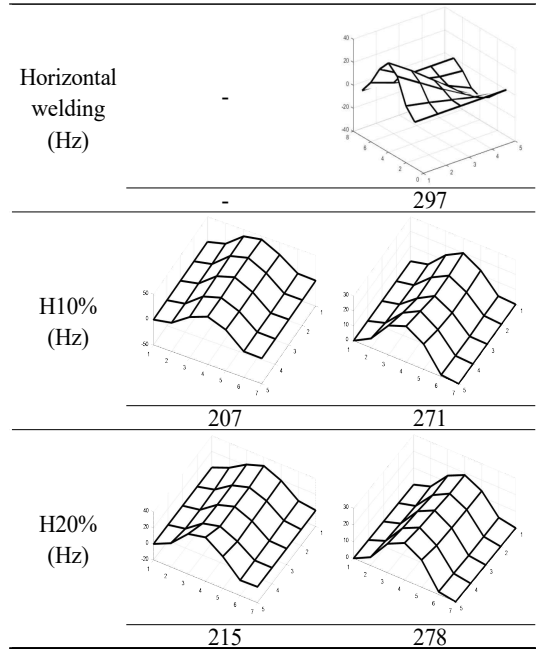
1st	3mm	4mm
V'	-	98.5
V10'	58.6	50.7
V20'	71.9	47.1
H'	-	85.9
H10'	41.3	46.4
H20'	40.4	49.2



[Fig. 2] The rate of change in the natural frequency (mode 1st, Aspect ratio 1:1.5).

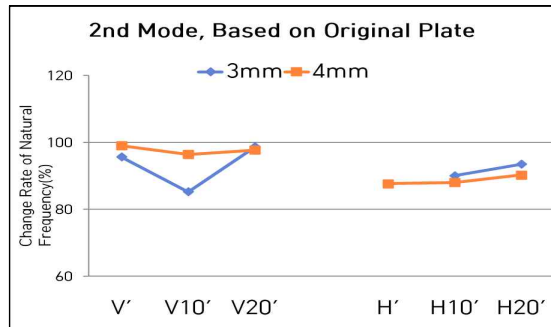
<Table 5> Experimental mode shapes and natural frequencies of the rectangular plate (mode 2nd, Aspect ratio 1:1.5)

2nd	3mm	4mm
None welding (Hz)	230	308
Vertical welding (Hz)	220	305
V10% (Hz)	196	301
V20% (Hz)	227	270



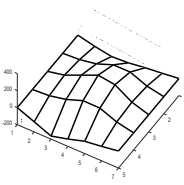
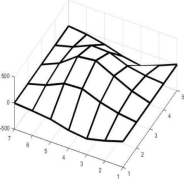
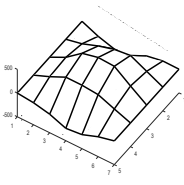
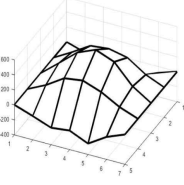
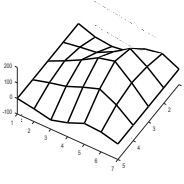
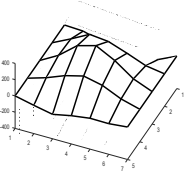
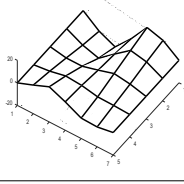
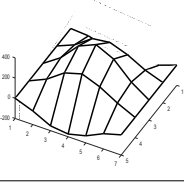
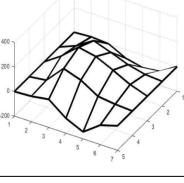
<Table 6> The rate of change in the natural frequency (mode 2nd, Aspect ratio 1:1.5) (unit : %)

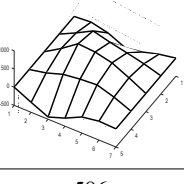
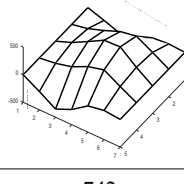
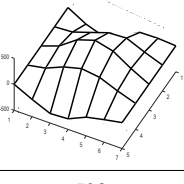
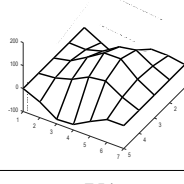
2nd	3mm	4mm
V'	95.6	99
V10'	85.2	96.4
V20'	98.6	97.7
H'	-	87.6
H10'	90	87.9
H20'	93.4	90.2



[Fig. 3] The rate of change in the natural frequency(mode 2nd, Aspect ratio 1:1.5).

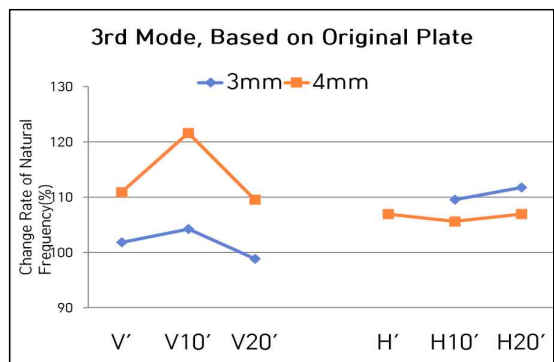
<Table 7> Experimental mode shapes and natural frequencies of the rectangular plate (mode 3rd, Aspect ratio 1:1.5)

3rd	3mm	4mm
None welding (Hz)	 535	 702
Vertical welding (Hz)	 545	 779
V10% (Hz)	 558	 854
V20% (Hz)	 529	 769
Horizontal welding (Hz)	-	 751

H10% (Hz)	 586	 742
H20% (Hz)	 598	 751

<Table 8> The rate of change in the natural frequency (mode 3rd, Aspect ratio 1:1.5) (unit : %)

3rd	3mm	4mm
V'	101.8	110.9
V10'	104.2	121.6
V20'	98.8	109.5
H'	-	106.9
H10'	109.5	105.6
H20'	111.7	106.9



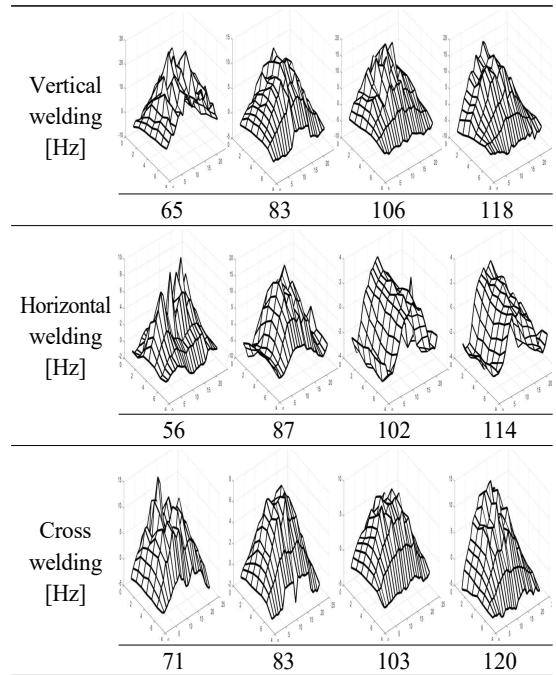
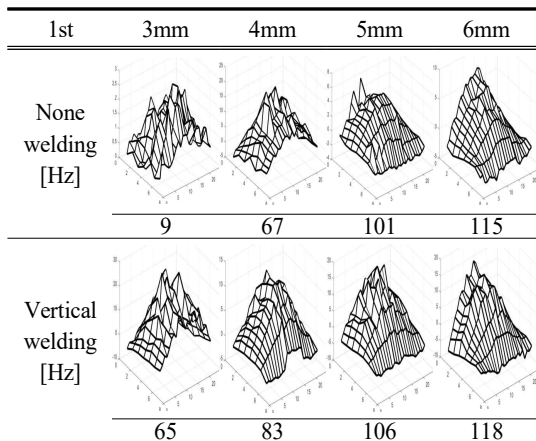
[Fig. 4] The rate of change in the natural frequency (mode 3rd, Aspect ratio 1:1.5).

2. 종횡비 1 : 3인 평판에 대한 용접

종횡비가 1 : 3인 두께 3T, 4T, 5T, 6T 직사각형 판에서의 실험을 통한 고유 모드와 고유 진동수를 1차 모드에서 4차 모드까지 나타내었다.

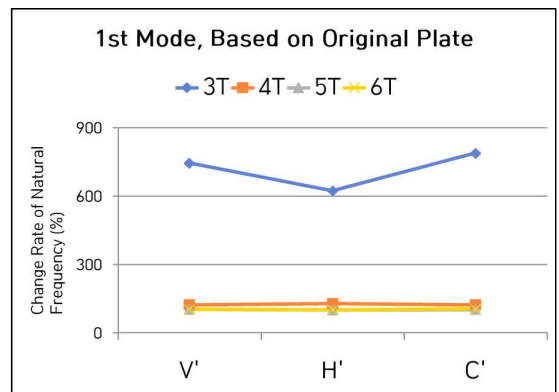
<Table 9>, <Table 10>, [Fig. 5]와 같이 1차 모드의 경우 3 mm, 5 mm, 6 mm 판에서 H'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 작게 나타났고 3 mm, 6 mm 판에서 C'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 크게 나타났다. 또한 4 mm, 5 mm, 6 mm의 판은 3 mm의 판과 비교하여 전체적으로 변화율의 폭이 작게 나타났다. <Table 11>, <Table 12>, [Fig. 6]과 같이 2차 모드의 경우 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm 판에서 H'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 작게 나타났고 C'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 크게 나타났다. <Table 13>, <Table 14>, [Fig. 7]과 같이 3차 모드의 경우 3 mm, 4 mm, 5 mm 판에서 H'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 작게 나타났고 3 mm, 4 mm 판에서 C'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 크게 나타났다. <Table 15>, <Table 16>, [Fig. 8]과 같이 4차 모드 경우 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm 판에서 H'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 작게 나타났고 C'이 고유 진동수 변화율의 폭이 가장 크게 나타났다.

<Table 9> Experimental mode shapes and natural frequencies of the rectangular plate (mode 1st, Aspect ratio 1:3)



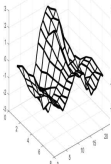
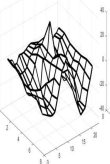
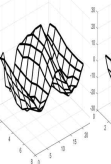
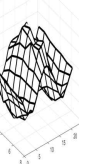
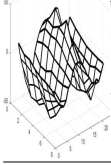
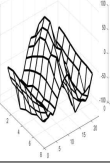
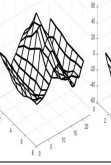
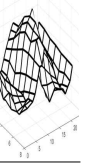
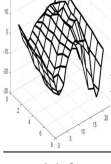
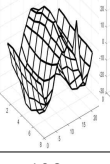
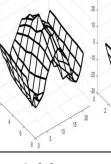
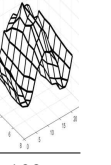
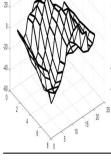
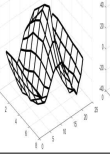
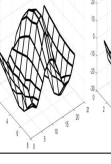
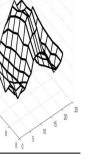
<Table 10> The rate of change in the natural frequency (mode 1st, Aspect ratio 1:3) (unit : %)

1st	3mm	4mm	5mm	6mm
V'	744	123	104	102.6
H'	622	129	100.9	99.7
C'	788	123	101.9	104.3



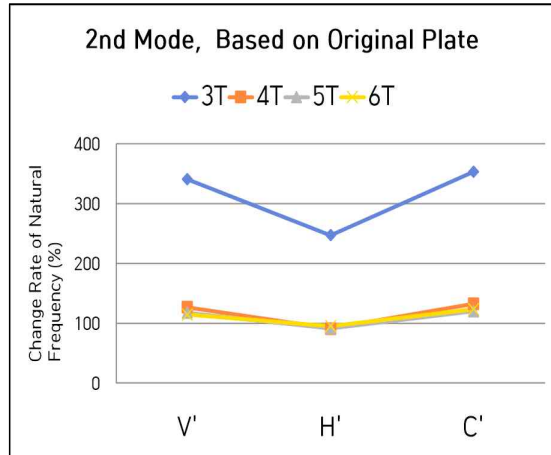
[Fig. 5] The rate of change in the natural frequency (mode 1st, Aspect ratio 1:3).

<Table 11> Experimental mode shapes and natural frequencies of the rectangular plate (mode 2nd, Aspect ratio 1:3)

2nd	3mm	4mm	5mm	6mm
None welding [Hz]	 47	 151	 181	 201
Vertical welding [Hz]	 160	 191	 213	 231
Horizontal welding [Hz]	 116	 138	 166	 192
Cross welding [Hz]	 166	 200	 218	 249

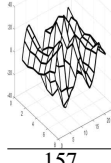
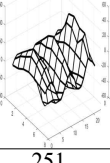
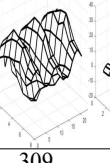
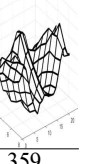
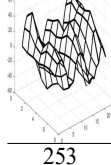
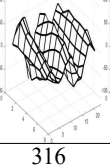
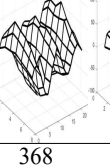
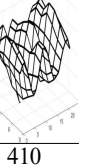
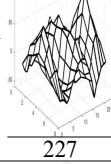
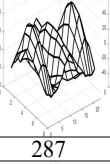
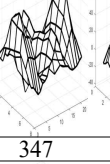
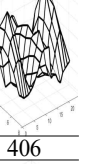
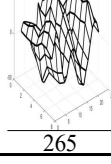
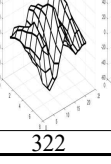
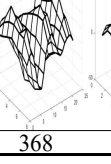
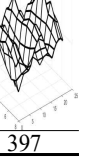
<Table 12> The rate of change in the natural frequency (mode 2nd, Aspect ratio 1:3) (unit : %)

2nd	3mm	4mm	5mm	6mm
V'	340.4	126.4	117.6	114.9
H'	246.8	91.3	91.7	95.5
C'	353.1	132.4	120.4	123.8



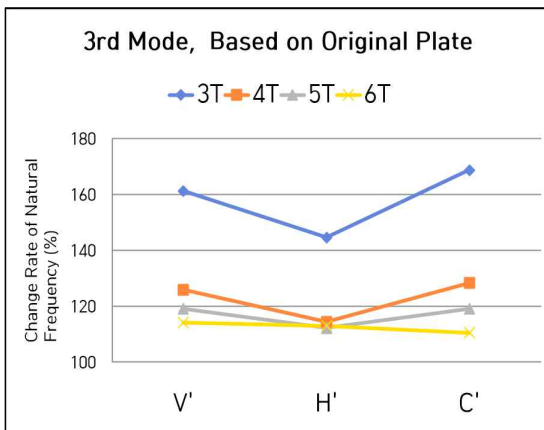
[Fig. 6] The rate of change in the natural frequency (mode 2nd, Aspect ratio 1:3).

<Table 13> Experimental mode shapes and natural frequencies of the rectangular plate (mode 3rd, Aspect ratio 1:3)

3rd	3mm	4mm	5mm	6mm
None welding [Hz]	 157	 251	 309	 359
Vertical welding [Hz]	 253	 316	 368	 410
Horizontal welding [Hz]	 227	 287	 347	 406
Cross welding [Hz]	 265	 322	 368	 397

<Table 14> The rate of change in the natural frequency (mode 3rd, Aspect ratio 1:3) (unit : %)

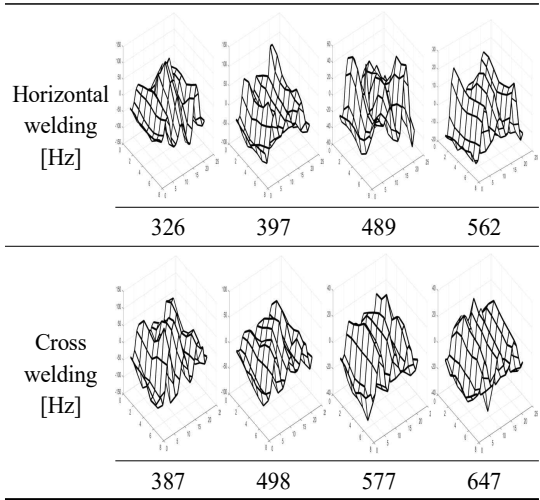
3rd	3mm	4mm	5mm	6mm
V'	161.1	125.8	119	114.2
H'	144.5	114.3	112.2	113
C'	168.7	128.2	119	110.5



[Fig. 7] The rate of change in the natural frequency(mode 3rd, Aspect ratio 1:3)

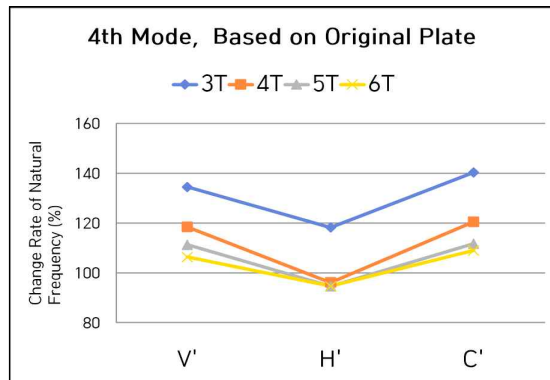
<Table 15> Experimental mode shapes and natural frequencies of the rectangular plate (mode 4th, Aspect ratio 1:3).

4th	3mm	4mm	5mm	6mm
None welding [Hz]				
	276	413	517	594
Vertical welding [Hz]				
	371	489	575	632



<Table 16> The rate of change in the natural frequency (mode 4th, Aspect ratio 1:3) (unit : %)

4th	3mm	4mm	5mm	6mm
V'	134.4	118.4	111.2	106.3
H'	118.1	96.1	94.5	94.6
C'	140.2	120.5	111.6	108.9

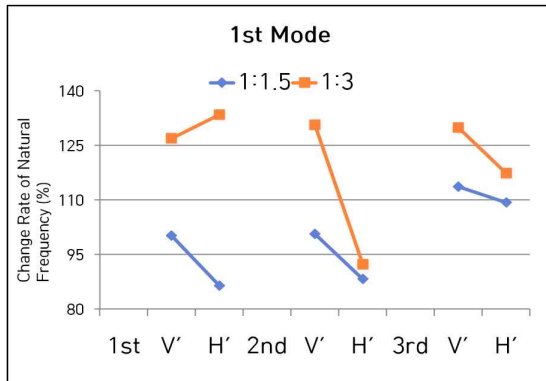


[Fig. 8] The rate of change in the natural frequency (mode 4th, Aspect ratio 1:3).

3. 종횡비와 크기가 다른 시편의 비교

두께 4T인 크기가 다른 두 시편을 비교하였다.

중횡비 1:1.5인 시편은 가로가 200 mm 세로가 300 mm이고 중횡비 1:3인 시편은 가로가 400 mm 세로가 1200 mm이다. 두 시편의 원판과 Vertical 용접고유 진동수 변화율과 원판과 Horizontal용접고유 진동수 변화율을 1차 모드부터 3차 모드까지 나타내었다.



[Fig. 9] The rate of change in the natural frequency (Thickness : 4T).

[Fig. 9]와 같이 1차 모드에서 중횡비 1:3인 시편을 제외한 모든 값이 Vertical 용접이 Horizontal 용접보다 더 큰 값을 보여 유사한 경향성을 나타낸다. 이를 통해 여러 요인의 영향을 고려하더라도 모드의 형태가 명확하지 않은 비교적 크기가 작은 시편을 이용한 연구 또한 현장에서 사용하는 판을 연구하는 것과 유사한 신뢰도를 가지는 것으로 보인다.

IV. 결론

본 연구에서는 중횡비가 서로 다른 가로가 긴 직사각형 판을 양단 고정하여 실험하였다. 모드 해석을 참고하여 고유 진동수의 변화율을 비교하였고 정성적인 경향을 분석하였다. 또한, 본연구의 시편의 타당성을 확인하기 위하여 두 시편의 실험결과를 비교 하였다.

1) 두께가 4 mm인 중횡비가 1:1.5인 직사각형 판의 경우 중심부에서 떨어진 정도에 상관없이 1

차, 2차, 3차 모드에서 Horizontal 용접이 Vertical 용접에 비하여 고유 진동수 변화율이 작게 나타난다.

2) 두께가 3 mm인 중횡비가 1:1.5인 직사각형 판의 경우 여러 요인의 영향을 많이 받아 뚜렷한 경향성을 확인하기 힘들다.

3) 중횡비가 1:3인 직사각형 판의 경우 1차, 2차, 3차, 4차 모드에서 Horizontal 용접이 Vertical 용접과 Cross 용접에 비하여 고유 진동수 변화율이 작게 나타나는 경향을 보인다.

4) 중횡비가 1:3인 직사각형 판의 경우 용접의 방향과 상관없이 두께가 두꺼워질수록 고유 진동수의 변화율이 작아지는 경향을 보인다.

5) 두께가 4 mm인 가로 200 mm, 세로 300 mm인 시편과, 두께가 4mm인 가로 400mm, 세로 1200 mm인 시편 모두 2차, 3차 모드에서 Horizontal 용접이 Vertical 용접에 비하여 고유 진동수 변화율이 작게 나타나는 동일한 경향성을 보인다.

여러 요인으로 인하여 오차가 있을 수 있으나 전반적으로 Horizontal 용접을 했을 경우 고유 진동수의 변화율의 폭이 작은 경향을 보였다. 또한 두께가 두꺼워질수록 고유 진동수의 변화율이 작아지는 경향을 보인다. 이를 통해 용접으로 인해 추가되는 중량이 시편에 미치는 영향을 연구할 필요가 있어 보인다. 또한 동일한 가로, 세로, 두께의 비율을 가진 여러 크기의 시편을 비교하여 보다 구체적인 경향을 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

Kim JH, Park DY and Bae SY(2017). 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, 29(5): 1356~1364.
<https://doi.org/110.13000/JFMSE.2017.29.5.1356>.
 Kim JH(2018). A Study on Vibration Characteristics

- of Welded Thin Plate, MS thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea.
- Park DY(2019). A Study on Vibration Characteristics of Welded Plates, MS thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea.
- Park DY, Seo WY and Bae SY(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, 31(3), 801~809.
<https://doi.org/10.13000/jfmse.2019.6.31.3.801>
- Moon JY and Bae SY(2020). A Study on the Vibration Characteristics According to the Position of the Welding Part”, Journal of the Korea Society For Power System Engineering, 24(5), 19~25.
<https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.5.019>
- Moon JY and Bae SY(2021). A Study on the Change of Natural Frequency of Rectangular Plate according to the Position of TIGWelding Part, Journal of the Korea Society For Power System Engineering, 25(4), 14~22.
<https://doi.org/10.9726/kspse.2021.25.4.014>.
- Moon JY(2021). An Experimental Study on the Vibration Characteristics of Welded Plates, MS thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea.
- Baek SH(2024). A Study on the Vibratin Characteristics of Welded Plates of the Size in Shipyard, MS thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea.
-
- Received : 21 November, 2024
 - Revised : 24 December, 2024
 - Accepted : 08 January, 2025