한국음향학회지 제42권 제6호 pp. 552~558 (2023)
The Journal of the Acoustical Society of Korea Vol.42, No.6 (2023)
https://doi.org/10.7776/ASK.2023.42.6.552

pISSN : 1225-4428
eISSN : 2287-3775

단소의 비브라토 특성 분석에 대한 연구

A study on the characteristic analysis of danso vibrato tones

방희석[1†]

(Hee-Suk Pang[1†])

[1]세종대학교 전자정보통신공학과

(Received September 20, 2023; accepted October 21, 2023)

초 록: 국악의 관악기 중 하나인 단소의 요성, 즉 비브라토의 특성은 연구가 많이 되지 않은 분야이다. 본 연구에서는 단음 및 연주곡 음원을 이용하여 단소 비브라토의 특성을 분석하였다. 이를 위해 비브라토음들에 대해 시간에 따른 intonation, vibrato rate, vibrato extent 값을 측정하였고, 비브라토음별로 평균치도 산출하였다. Vibrato rate 결과에서는 비브라토의 속도가 느리게 시작된 후 빠르고 크게 속도가 증가하는 경향을 보였으며, 음별 평균치들은 매우 넓은 범위를 가지는 것으로 관측되었는데, 이상의 결과는 서양 음악과 차이가 있음을 보여준다. 또한, 단음과 연주곡은 vibrato rate와 vibrato extent 결과에서 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 국악기에서 비브라토의 intonation, vibrato rate, vibrato extent의 결과를 수치화하여 제시한 연구는 많지 않았으며, 단소의 경우는 더욱 그러하다. 본 연구에서 제시한 결과는 단소 비브라토에 대한 기초 자료로써 활용될 수 있을 것이다. 예를 들어, 단소의 비브라토와 관련된 교육이나 단소 가상 악기, 단소 어플리케이션 등에서 참고 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.
핵심용어: 국악, 단소, 요성, 비브라토

ABSTRACT: The characteristics of the vibrato of danso, one of the wind instruments in Korean traditional music, have not been studied much. In this study, the characteristics of the vibrato of danso were analyzed using monotones and musical performances. In particular, intonation, vibrato rate, and vibrato extent were measured as a function of time, and their average values for each vibrato tone were also calculated. The results for vibrato rate showed that the vibrato tended to start slowly and then increase very quickly and significantly and the average values for each tone were observed to have a very wide range, which shows that the characteristics of the vibrato of danso are different from those in Western music. In addition, monotones and musical performances showed some different results in vibrato rate and vibrato extent. There have not been many studies that have quantified the intonation, vibrato rate, and vibrato extent in Korean traditional musical instruments, and this is especially true in the case of danso. The results in this study can be used as basic data on danso vibrato. For example, they can be used as reference materials in education, danso virtual instruments, and danso applications.
Keywords: Korean traditional music, Danso, Yoseong, Vibrato

PACS numbers: 43.75.Zz, 43.75.Bc

I. 서 론

비브라토는 성악 및 악기음에서 기본주파수의 변조를 의미하며,[1,2] 음악의 음색을 더욱 풍성하게 만들기 위해서 사용되는 기법이다. 기존 연주곡의 비브라토 특성 분석은 비브라토를 연주하는 성악음과 악기음을 합성하는데 활용될 수 있으며,[3,4] 음악의 감정적 표현을 분석하는 인자로 사용될 수도 있다.[5] 또한, 수업에서 학생들의 비브라토 연주를 지도하거나,[6] 교육 목적의 소프트웨어를 이용해 비브라토를 연주할 때[7] 도움이 되도록 활용할 수 있다.

비브라토의 특성은 intonation, vibrato rate, vibrato

†**Corresponding author:** Hee-Suk Pang (hspang@sejong.ac.kr)
Department of Electrical Engineering, Sejong University, 209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05006, Republic of Korea
(Tel: 82-2-3408-3727, Fax: 82-2-3408-4329)

Copyright ⓒ2023 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

extent 등 3가지의 파라미터를 주로 사용한다.[1,2] 서양 음악의 비브라토 특성 분석은 연구가 활발히 수행된 편이지만, 국악의 경우 연구의 수가 상대적으로 적은 편이다. 예를 들어, 성악에서는 수심가에서 떠는목, 즉 비브라토에 대해 intonation과 vibrato extent를 분석하거나,[8] vibrato extent 위주로 분석한 연구가 있다.[9] 또한, 상령산 연주곡에서 대금과 피리의 농음, 즉 비브라토에서 여러 연주자에 대해 vibrato rate와 vibrato extent를 분석한 연구가 있다.[10] 이상의 연구들에서는 비브라토음별로 평균값이나 최대값 등 대푯값 위주로 분석이 이루어졌다.

본 논문에서는 국악의 대표적인 관악기 중 하나인 단소에 대해 비브라토의 특성을 분석하고자 한다. 본 논문의 목표는 다음과 같다. 첫째로, 단소의 비브라토에 대한 객관적인 분석 자료를 산출하고자 한다. 특히, intonation, vibrato rate, vibrato extent 등 3가지 파라미터에 대해, 시간에 따른 값의 변화 및 비브라토음별 평균값을 각각 산출하고자 한다. 둘째로, 위 특성들 중 서양 음악의 결과와 차이를 보이는 것들에 대해 논의하고자 한다. 셋째로, 단음과 연주곡의 결과들 중 차이를 보이는 부분을 살펴보고자 한다.

II. 분석 방법

2.1 분석 음원

분석 음원은 국립국악원 홈페이지[11]에서 제공하는 단소의 단음 및 연주곡들을 이용였으며, 이 중 연주곡들은 청성곡, 관산융마, 세령산 등 3가지이다. 단음과 청성곡은 전문연주자 A, 관산융마와 세령산은 전문연주자 B의 연주를 녹음한 것으로 wav 파일로 되어 있으며, 단음은 48 kHz, 연주곡들은 44.1 kHz의 샘플링 주파수를 가진다. 단음과 청성곡은 스테레오이지만, 좌우 채널의 기본주파수 분석 결과가 거의 동일하여서 오른쪽 채널의 신호만을 이용하였다. 관산융마와 세령산은 모노이다.

각 음원의 파형을 Fig. 1에서 보이고 있다. 이 중 단음은 Fig. 1(a)와 같이 10개의 비브라토 단음으로 구성되어 있으며, 각각 중려-임종-무역-황종-태주 음들과 이의 한 옥타브 위 음들에 해당된다.

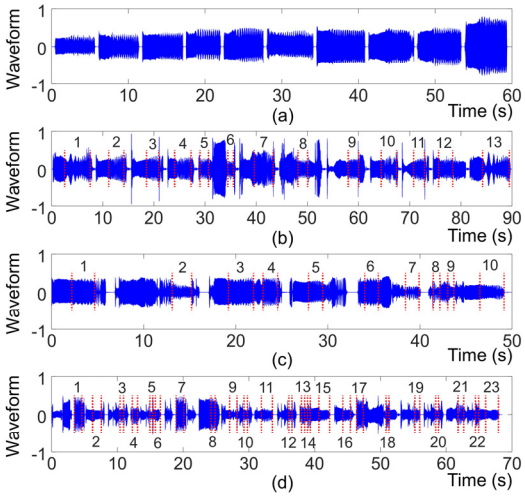

Fig. 1. (Color available online) Normalized waveform of each sound source. (a) Monotones. (b) Cheong-seonggok. (c) Gwansanyungma. (d) Seryeongsan.

2.2 기본주파수 분석 및 비브라토 구간 결정

우선 Fig. 1의 음원들에 대해 Phase Difference Estimation(PDE)[12]을 이용하여 기본주파수 분석을 시행하였다. PDE는 phase vocoder에 기반한 주파수 추정 방법이며, 비브라토 연구에서 기본주파수 측정을 위해 사용되는 방법들 중 하나이다.[13-15] PDE에서는 신호 $x[n]$에 대해 Discrete Fourier Transform(DFT)을 계산하고, 이의 크기 중 기본주파수 성분에 해당되는 피크에서 최대점의 인덱스 k_p를 찾는다. 기본주파수는 $f_0 = \frac{f_s}{2\pi}\{\angle(X[k_p,1]) - \angle(X[k_p,0])\}$로 계산되며, 이때 f_s는 샘플링 주파수, $\angle(y)$는 y의 위상, $X[k,h]$는 $x[n+h]$의 DFT 중 k번째 값을 의미한다. PDE에서 DFT 계산 시 2048-point Hanning 윈도우를 사용하였고, 기본주파수는 1/300 s마다 산출하여 1 s당 300개의 기본주파수 추정값을 얻도록 하였다.

PDE를 이용하여 시간에 따른 기본주파수 궤적을 산출한 후, 비브라토로 판단되는 구간을 수기로 결정하였다. 단음의 경우 각 음들은 비브라토가 없이 시작되어 짧게 지속되다가 비브라토가 시작된 후로는 끝까지 지속되며, 비브라토 구간이 비교적 명확히 관찰된다. 연주곡들의 경우 기본주파수 궤적과 청음에 기반하여 구간을 결정하였는데, 비브라토의 전형적인 형태에 해당하는지 및 기본주파수 진동이 3주기 이상이 지속되는지를 근거로 판단하

였다. 후자의 경우 기본주파수 진동이 너무 짧은 경우 시간에 따른 비브라토 파라미터의 변화를 파악하기 어렵고, 평균값 결과의 안정성도 떨어지기 때문이다. 최종적으로 청성곡은 13개, 관산융마는 10개, 세령산은 23개의 비브라토 구간이 결정되었고, 해당 구간들의 시작점과 끝점을 Fig. 1의 (b), (c), (d)에서 각각 점선으로 표시하고 음의 번호를 표시하였다.

2.3 비브라토 특성 분석

56개의 비브라토 구간에 대해 Fig. 2와 같이 intonation, vibrato rate, vibrato extent 등 3가지 파라미터[1,2]를 산출하였다. 시간이 t_{k-1}, t_k, t_{k+1}일 때 기본주파수에서 연속하는 최대값 혹은 최소값 f_{k-1},f_k,f_{k+1}를 가진다고 하자. Intonation은 비브라토를 제외한 기본주파수 값을 의미하며, f_{k-1}와 f_k의 평균을 구하고 f_k와 f_{k+1}의 평균을 구한 후 다시 이들의 평균을 구하여 계산한다. 즉, $f_i = \frac{f_{k-1}+2\times f_k+f_{k+1}}{4}$ 이 된다. Vibrato rate는 기본주파수의 진동이 1 s당 몇 회인지를 의미하며, $f_{vr} = \frac{1}{t_{k+1}-t_{k-1}}$로 계산한다. Vibrato extent는 intonation으로부터 주파수 진동의 최대값 혹은 최소값까지의 거리를 의미한다. 이는 f_{k-1}와 f_k의 거리의 반을 구하고, f_k와 f_{k+1}의 거리의 반을 구한 후 이들을 평균하여 구한다. 즉, $f_{ve} = \frac{|f_{k-1}-2\times f_k+f_{k+1}|}{4}$ 이다. 단, 이 값은 intonation에 비례하는 경향이 있으므로, $\hat{f}_{ve} = 1200\times\log_2(1+\frac{f_{ve}}{f_i})$와 같이 센트(cent) 단위로 표시하는 것이 일반적이다.

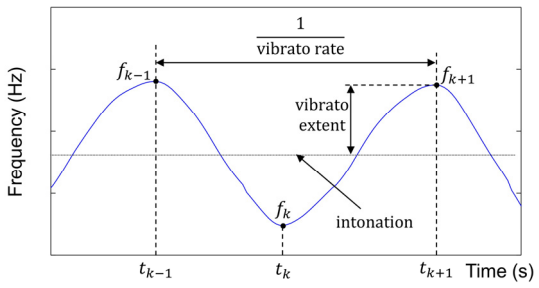

Fig. 2. (Color available online) Intonation, vibrato rate, and vibrato extent in the fundamental frequency trajectory.

이상의 과정은 시간을 이동하면서 해당 과정을 반복하여 시간에 따른 각 파라미터의 값을 산출할 수 있다. 본 논문에서는 각 파라미터의 시간에 따른 값의 변화 및 이들의 평균값을 각각 산출한다.

III. 분석 결과

3.1 기본주파수 궤적

Fig. 3에서 음원별 비브라토 구간에 대한 기본주파수 궤적을 보이고 있다. 이후로부터 각 비브라토 구간은 출현 순서에 따른 음의 번호로 기재한다. 즉, 단음의 경우 1번음부터 10번음까지로 기재하며, 연주곡들에서도 동일한 방법으로 기재한다.

3.2 Intonation 결과

Fig. 3의 결과를 이용해 시간에 따른 intonation의 결과를 산출한 것을 Fig. 4에서 보이고 있다. 그림에서 각각의 선들은 각 음의 번호에 해당되는 음들의 결과이며, 각 음들의 시작점을 모두 0 s로 하고 결과를 중첩하여 그린 것이다. 이와 같은 방법은 추후의 Figs. 6과 8에서도 동일하게 적용하였다. Fig. 5에서는 각 비브라토음별 intonation 평균값을 보인다.

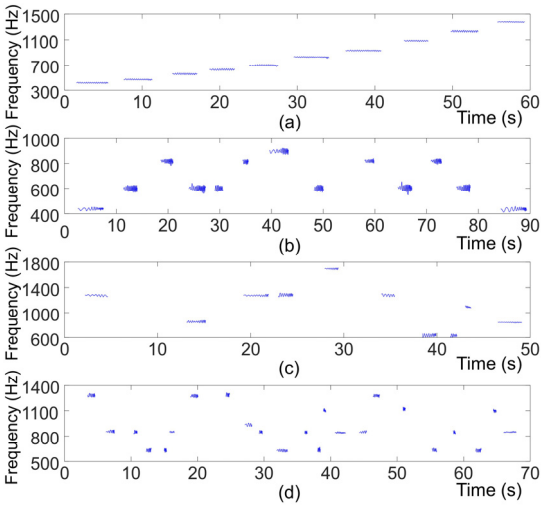

Fig. 3. (Color available online) Fundamental frequency trajectories of vibrato tones. (a) Monotones. (b) Cheongseonggok. (c) Gwansanyungma. (d) Seryeongsan.

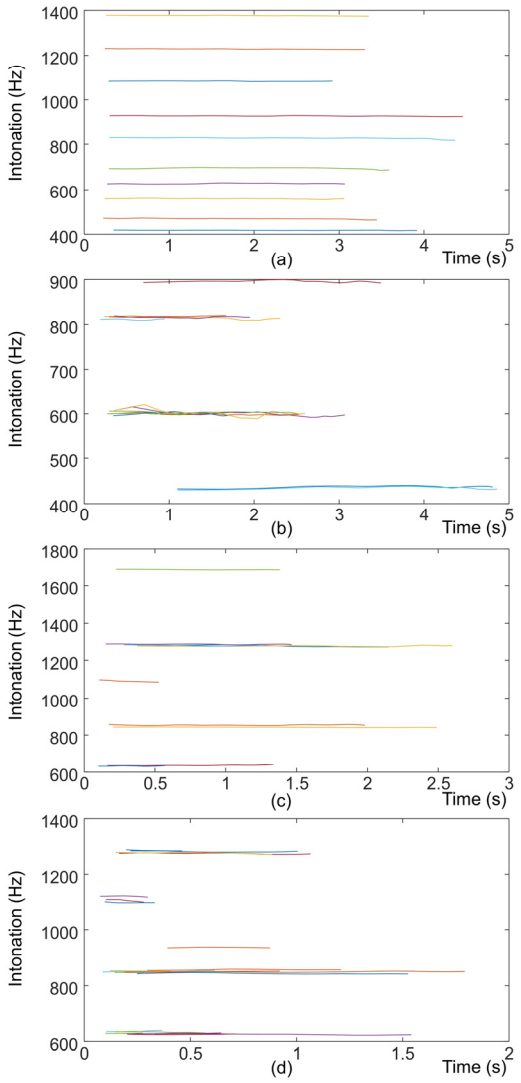

Fig. 4. (Color available online) Results for intonation as a function of time. (a) Monotones. (b) Cheong-seonggok. (c) Gwansanyungma. (d) Seryeongsan.

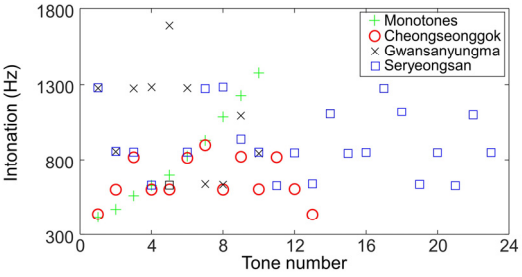

Fig. 5. (Color available online) Averaged values of intonation for each tone.

3.3 Vibrato rate 결과

Fig. 6에서는 시간에 따른 vibrato rate의 결과를 비

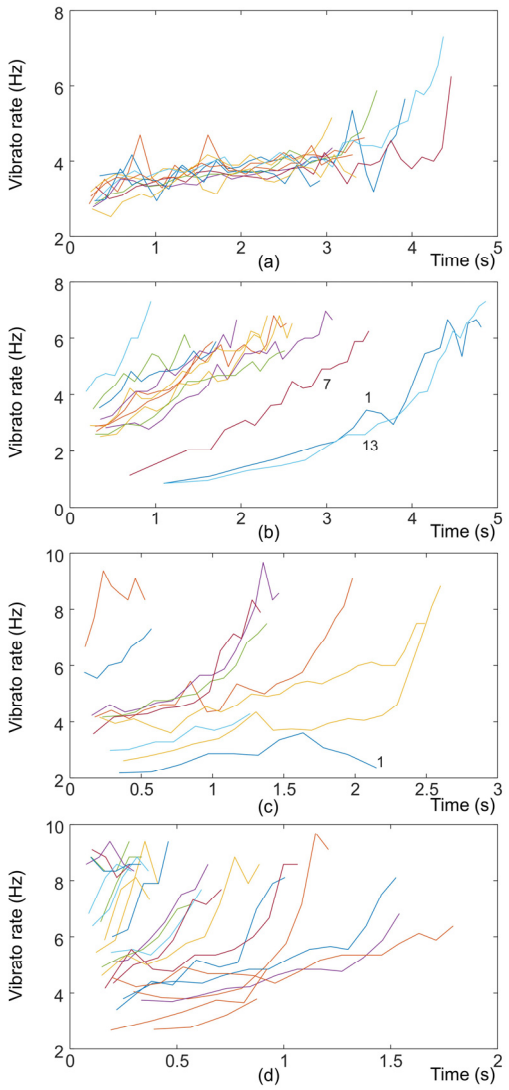

Fig. 6. (Color available online) Results for vibrato rate as a function of time. (a) Monotones. (b) Cheong-seonggok. (c) Gwansanyungma. (d) Seryeongsan.

브라토 음들에 대해 중첩하여 보이고 있다. 우선 Fig. 6(a)에서 단음의 경우 vibrato rate가 1 s당 3 s 내외로 시작하여 시간이 지남에 따라서 증가하는 경향을 보인다. Fig. 6(b) ~ (d)의 연주곡 결과에서는 단음에 비해 vibrato rate가 더 넓은 범위에 존재하며 시간에 따른 변동 또한 더 크다는 것을 관측할 수 있다. 특히, Fig. 6(b)의 청성곡의 결과에서 1번, 7번, 13번 비브라토음은 비브라토의 횟수가 1 s당 1회 정도로 시작한 후 1 s당 6회 ~ 7회 정도까지 상승하는데, 이는 Fig. 3(b)의 기본주파수 궤적에서도 경향이 관측된다. 이는 국악에서 비브라토를 느리게 시작하여 점점 빠르게 연주

하는 것에 해당되며, 그 결과를 수치적으로 확인하였다는 의미가 있다. Fig. 6(c)의 관산융마와 Fig. 6(d)의 세령산에서는 vibrato rate가 1 s당 9회 내외까지 관측되어 청성곡에 비해 더 높은 값까지 존재하며, 시간에 따라 대체로 값이 증가하는 경향 또한 관찰된다. 단, 길이가 짧은 음들 중에서 vibrato rate의 시작점이 높은 몇몇 음들에 대해서는 이 경향이 관측되지 않는데, 이는 시작 혹은 중간에 vibrato rate가 이미 충분히 커졌기 때문에 더 이상 증가가 어려웠을 것으로 추정된다. 예외적으로 관산융마에서 1번음은 길이가 길고 시작점이 낮지만 해당 경향이 나타나지 않으며, vibrato rate도 전반적으로 낮은 값을 보인다.

시간에 따라 vibrato rate가 다소 증가하는 경향은 서양 음악에서도 존재한다.[1] 그러나, 서양 음악에 비해 단소의 vibrato rate의 시간에 따른 증가는 상대적으로 매우 큰 편이며, Fig. 6(b)의 1번, 7번, 13번음과 같이 1 Hz 내외에서 6 Hz ~ 7 Hz까지 증가하는 것은 서양 음악과 대비되는 특성 중의 하나라고 할 수 있다.

Fig. 7에서는 각 비브라토음에 대한 vibrato rate의 평균치를 보이고 있다. 서양 음악의 경우 평균값이 대체로 1 s당 5회 ~ 7회 사이이고,[1,2,6,14-16] 1 s당 5회 미만이나 7회 초과인 경우도 개별적으로 존재한다. 단소의 경우 평균치로써 1 s당 2.8회에서 8.73회의 값을 가지므로, 이는 서양 음악보다 더 큰 범위로 사료된다. 단음의 경우 연주곡보다 vibrato rate가 더 일정한 경향이 있었다. 연주곡 중에서는 청성곡의 결과가 관산융마나 세령산보다 더 일정한 경향을 보이는데, 이는 전자가 곡이 상대적으로 느리고 비브라토음이 긴 경우가 많았고, 후자들은 곡이 상대적으로 더 빠르고 비브라토음이 짧은 경우가 많았던 것과 연관이 있을 것으로 추정된다.

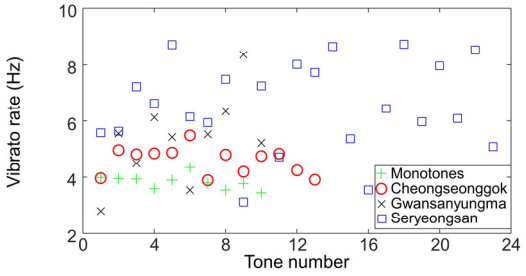

Fig. 7. (Color available online) Averaged values of vibrato rate for each tone.

3.4 Vibrato extent 결과

Fig. 8에서는 시간에 따른 vibrato extent의 결과를 중첩하여 보이고 있다. Fig. 9에서는 각 비브라토음에 대한 vibrato extent의 평균치를 보이고 있다. 단음의 경우 8.06 cent에서 36.88 cent까지 비교적 작은 값들을 보이고 있다. 연주곡은 각 경우 조금씩 다른 경향을 보이는데, 청성곡의 경우는 26.79 cent에서 79.27 cent까지로 상대적으로 값들이 크고, 관산융마

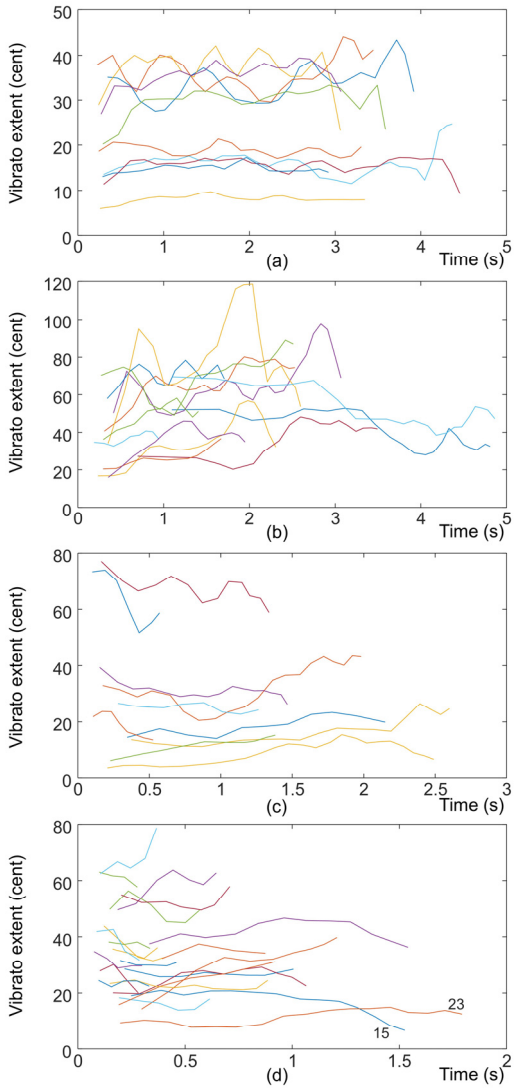

Fig. 8. (Color available online) Results for vibrato extent as a function of time. (a) Monotones. (b) Cheongseonggok. (c) Gwansanyungma. (d) Seryeongsan.

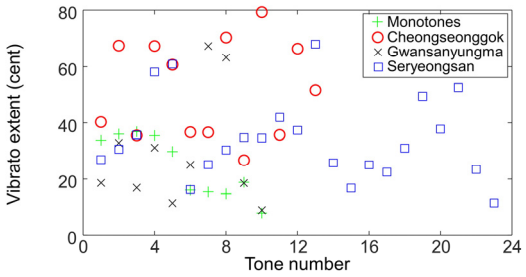

Fig. 9. (Color available online) Averaged values of vibrato extent for each tone.

의 경우는 9.08 cent에서 67.26 cent까지로 대체로 값들이 작지만 2개의 음들이 큰 값을 보이고 있다. 세령산의 경우는 11.62 cent에서 68.02 cent까지 값들이 넓은 범위로 분포하였다.

IV. 결론 및 제언

본 논문에서는 지금까지 많이 연구되지 않았던 단소의 비브라토 특성을 측정하고 그 결과를 제시하였다. 이를 위해 intonation, vibrato rate, vibrato extent에 대해 시간에 따른 변화 및 비브라토음별 평균치를 산출하였다. Vibrato rate와 관련하여 비브라토가 느리게 시작되어 점점 빨라지는 경향을 보였으며, 그 변화가 서양 음악에서의 변화보다 더 큰 경우가 다수 발견되었다. 또한, vibrato rate는 음별 평균치 기준으로도 서양 음악보다 더 넓은 범위를 가지는 것으로 분석되었다. 마지막으로 단음과 연주곡은 vibrato rate와 vibrato extent 기준으로 차이를 보였는데, 전자의 결과가 후자의 결과보다 더 일정하여 값들이 좁은 범위 내에 분포하는 경향이 있었다.

국악기에서 비브라토의 intonation, vibrato rate, vibrato extent를 모두 수치화하여 제시한 연구는 많지 않았으며, 단소의 경우는 더욱 그러하다. 본 결과에서 제시한 결과는 단소 비브라토에 대한 기초 자료로써 활용될 수 있을 것이다. 예를 들어, 단소의 요성, 즉 비브라토와 관련된 교육에 있어서 참고 자료로 활용이 가능할 것이다.[17] 또한, 단소 가상 악기나 단소 어플리케이션에서 비브라토를 연주하기 위한 참고 자료로 활용이 가능할 것이다.[18]

본 연구의 결과는 분석 음원의 수가 충분히 많지 않다는 한계가 존재한다. 추후 다양한 연주곡의 비브라토음을 분석해서 자료를 추가하고, 단소 비브라토의 특성을 종합적으로 분석하는 연구가 필요하다.

References

1. E. Prame, “Measurements of the vibrato rate of ten singers,” J. Acoust. Soc. Am. **96**, 1979-1984 (1994).
2. E. Prame, “Vibrato extent and intonation in professional Western lyric singing,” J. Acoust. Soc. Am. **102**, 616-621 (1997).
3. T. Nose, M. Kanemoto, T. Koriyama, and T. Kobayashi, “HMM-based expressive singing voice synthesis with singing style control and robust pitch modeling,” Comput. Speech Lang. **34**, 308-322 (2015).
4. S. Kim, M. Kim, and S. Yeo, “Digital waveguide synthesis of the geomungo with a time-varying loss filter,” J. Audio Eng. Soc. **61**, 50-61 (2013).
5. C. Dromey, S. O. Holmes, J. A. Hopkin, and K. Tanner, “The effects of emotional expression on vibrato,” J. Voice, **29**, 170-181 (2015).
6. J. M. Geringer and M. L. Allen, “An analysis of vibrato among high school and university violin and cello students,” J. Res. Music Educ. **52**, 167-178 (2004).
7. T. K. L. Ho, H. S. Lin, C. K. Chen, and J. L. Tsai, “Development of a computer-based visualised quantitative learning system for playing violin vibrato,” Br. J. Educ. Technol. **46**, 71-81 (2015).
8. Y. N. Oh, “Vibrato in the northwest folksong ‘Sushimga’” (in Korean), Dongyangeumak, **31**, 210-229 (2009).
9. M. S. Lim, “The types and characteristics of ‘vibrating neck’ of Susim-ga” (in Korean), Studies in Korean Music, **64**, 131-160 (2018).
10. S. Y. Ko, “A Comparative study on the vibratos of solo-Sangryeongsan” (in Korean), J. Nat. Gugak Center, **39**, 11-47 (2019).
11. *Gugak Digital Sound Sources*, http://gugak.go.kr/digitaleum/front/main.do, (Last viewed May 29, 2023).
12. J. C. Brown and M. S. Puckette, “A high resolution fundamental frequency determination based on phase changes of the Fourier transform,” J. Acoust. Soc. Am. **94**, 662-667 (1993).
13. J. C. Brown, “Frequency ratios of spectral components of musical sounds,” J. Acoust. Soc. Am. **99**, 1210-1218 (1996).
14. H. S. Pang and D. H. Yoon, “Automatic detection of vibrato in monophonic music,” Pattern Recognit. **38**, 1135-1138 (2005).
15. H. S. Pang, J. S. Lim, and S. Lee, “Discrete Fourier transform-based method for analysis of a vibrato

tone," J. New Music Res. **49**, 307-319 (2020).
16. I. Arroabarren, M. Zivanovic, J. Bretos, A. Ezcurra, and A. Carlosena, "Measurement of vibrato in lyric singers," IEEE Trans. Instrum. Meas. **51**, 660-665 (2002).
17. Y. W. Keum, "Analysis on the contents of instruction manuals for danso as a teaching aid and measures for improvement" (in Korean), Study for Korean Music Education, **15**, 33-79 (2021).
18. S. K. Lee and M. S. Lee, "An analysis of educational applications in the field of Korean traditional instrumental music" (in Korean), J. Wellness **12**, 173-183 (2017).

저자 약력

▸ 방 희 석(Hee-Suk Pang)

1994년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
1996년 2월 : 서울대학교 전자공학과 석사
2001년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학과 박사
2001년 3월 ~ 2008년 2월 : LG전자 책임연구원
2008년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 전자정보통신공학과 교수