

DOI <https://doi.org/10.9725/kstle.2017.33.4.148>

필기구 마찰의 주파수 특성 분석

신재운¹ · 박진확¹ · 이영제^{2,*}

¹성균관대학교 대학원 기계공학과, ²성균관대학교 기계공학과

Analysis of Frequency Characteristics of Writing Instruments Due to Friction

JaeUn Shin¹, JinHwak Park¹ and YoungZe Lee^{2,*}

¹Graduate School, Dept. of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University

²Dept. of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University

(Received June 12, 2017; Revised August 2, 2017; Accepted August 4, 2017)

Abstract – The feel of writing is important to customers when they buy smart devices with stylus such as smartphones and tablet computers. With an aim to reproduce the tactile sensibility of writing instruments when people write on the glass display using a stylus, this study focuses on the frequency characteristics of writing instruments that can describe the vibrations of writing instruments sliding over counter surfaces. In addition, this study includes the effect of various factors influencing the friction of writing instruments such as lubricant, nib material, and contact type. We perform sliding experiments with six types of writing instruments and a sheet of paper to understand the relation between the friction conditions of the nib and the frequency characteristics. As this research focuses on the tactile perception of human skin when people use a writing instrument, the analysis of frequency characteristics is performed in the perceptible frequency range of mechanoreceptors in the human skin. As a result, three types of frequency characteristics are identified. Low frequency peaks are observed for a metal nib with ink; high frequency peaks are observed for a nib without ink; and, middle frequency peaks with a wide range of distribution occurs for fabric nibs with ink. Therefore, to implement the proper feel of writing, at least three types of vibrations have to be made.

Keywords – feel of writing, tactile sensibility, sliding friction, friction-induced vibration, frequency characteristics

1. 서 론

스마트폰과 태블릿 등 스마트 기기의 발달로 입력장치인 스타일러스펜의 중요성이 부각되고 있다. 특히 아날로그적 감성을 요구하는 사용자의 증가로 실제 필기구를 사용할 때의 필기 감성을 구현하기 위한 기술이 개발되고 있다[1]. 하지만 스타일러스펜의 필기 감성을 구현하는 기술은 소프트웨어를 활용한 시각적인 피드백에 집중되어 있다. 디스플레이로부터 스타일러스 펜을 경유하여 손끝으로 전달되는 촉감에 관한 연구는 부족

한 실정이다.

촉각적인 피드백에 관련된 기술로는 디스플레이에 나타나는 이미지의 질감을 표현하기 위해 진동 피에조 액츄에이터를 이용한 스타일러스펜이 있다. 이미지의 실제 표면거칠기에 따라 서로 다른 진폭과 파장의 진동을 발생시켜 이미지에 따른 질감 차이를 구현하였다[2].

필기구를 사용할 때 손끝으로 전달되는 촉감에 관련된 기존 연구로는 필기 감성에 관련된 마찰 메커니즘에 관한 연구가 있다. 글씨를 쓸 때 필기구와 종이 사이의 마찰계수보다는 스틱-슬립 거동이 손끝으로 느껴지는 필기 감성과 연관이 있었다[3]. 또한 손끝의 촉감 인지에 관련된 연구가 있다. 손끝과 상대재 사이의 마찰 기인 진동이 촉감을 구분하는 주요 인자로 지목되

*Corresponding author : yzlee@skku.edu
Tel: +82-31-290-7444, Fax: +82-31-290-5276

있고, 표면거칠기, 상대속도, 접촉압력에 따라 주파수 특성에 차이가 있었다[4].

본 연구에서는 종이를 상대재로 하여 다양한 필기구를 슬라이딩 하는 실험을 진행하였고, 마찰에 의해 발생하는 가속도를 측정하여 주파수 특성을 분석하였다.

2. 연구방법 및 내용

2-1. 실험장치 및 시편

실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험장치는 밑에서부터 우레탄 패드, 평판 글라스, 하부시편, 가속도계의 순서로 구성되어 있다.

우레탄 패드는 가속도를 측정할 때의 외부진동을 방지하기 위해 사용하였는데, 패드에는 요철이 있기 때문에 평판 글라스를 사용하여 요철의 영향을 없앴다. 우레탄 패드에 고정된 평판 글라스 윗면에 하부시편을 부착한 후 가속도계를 설치하였다.

하부시편은 사람이 필기할 때 주로 사용하는 A4 용지를 사용하였다. 하부시편은 양면테이프에 의한 진동 감쇠의 영향을 줄이기 위해, 테두리 부분에만 양면테이프를 붙여 사용하였다. 이때 용지 구부러짐에 의한 진동이 발생할 수 있기 때문에, 팽팽하게 부착할 수 있으면서도, 2초 이상의 충분한 데이터를 얻을 수 있는 최

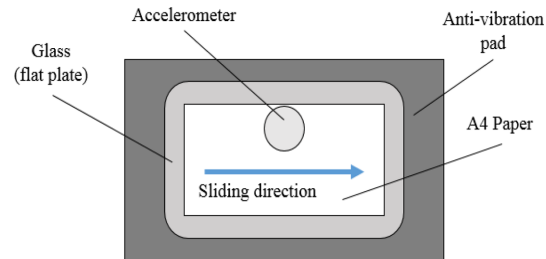


Fig.1. Schematic of experimental setup.

소의 크기인 60 mm × 120 mm로 잘라 사용하였다.

상부시편은 스마트폰 어플리케이션에 구현되어 있고, 일상생활에서 많이 사용되는 필기구 중에서 선정하였다. 필기구를 선정하기에 앞서 예비실험을 진행하였는데, 펜대의 소재, 디자인 등 펜촉 이외의 요소는 주파수 특성에 큰 영향을 미치지 않았다. 이에 따라 펜촉의 차이가 있는 만년필, 볼펜, 색연필, 연필, 유성매직, 형광펜의 6가지 필기구를 선정하였다. 선정된 필기구는 잉크, 펜촉의 소재, 접촉 조건(미끄럼, 구름)에 따라 특징을 구분할 수 있다. 상부시편의 주요 특징은 Table 1에 정리하였다.

2-2. 실험방법

실험은 필기구를 사용하여 100 mm의 직선을 직접 그리는 방식으로 진행하였다.

실험 조건은 사람이 필기할 때의 하중과 속도를 고려하여 각각 0.2N과 40 mm/s로 설정하였다.

사람의 손끝은 기계적 감각수용체(mechano-receptor)에 의해 진동을 느낄 수 있으며, 이를 통해 인지할 수 있는 주파수의 범위는 2-500 Hz이다[5-6]. 본 연구는 손끝으로 인지할 수 있는 500 Hz 이하의 주파수를 초점으로 하고 있기 때문에, 안정적인 주파수 분석을 위해 1초당 1200개의 데이터를 수집하였다. 실험조건은

Table 2. Condition for sliding test

Upper specimen	6 types of writing instruments
Lower specimen	A4 paper (Ra : 0.74 μm)
Normal load (N)	0.2
Sliding velocity (mm/s)	40
Sampling frequency (Hz)	1200

Table 1. Upper specimens

Type	Lubricant	Nib material	Contact
Fountain pen	Water-based ink	Metal	Sliding
Ball point pen	Oil-based ink	Metal	Rolling
Colored pencil	-	Paraffin-based wax	Sliding
Pencil	-	Graphite	Sliding
Oil magic ink pen	Oil-based ink	Fabric	Sliding
Highlighter	Water-based ink	Fabric	Sliding

Table 2에 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 만년필로 실험하였을 때의 가속도 데이터이다. 종이에 펜촉을 접촉하는 순간에 비정상적으로 큰 가속도 신호가 발생하였다. 또한 이를 고려하여 슬라이딩을 시작점 이후의 균일한 가속도 데이터를 사용하여 주파수 분석을 진행하였다.

Fig. 3은 6가지 필기구의 주파수 분석 결과이다. 주파수 특성은 3가지로 구분할 수 있다. 먼저 만년필과 볼펜은 낮은 주파수(100-200 Hz)에서 피크(peak)가 나타났다. 다음으로 색연필과 연필은 높은 주파수(400-500 Hz)에서 피크가 나타났다. 마지막으로 유성매직과 형광펜은 상대적으로 넓은 주파수 범위(200-500 Hz)에서 많은 수의 피크가 나타났다.

앞서 펜촉의 주요 특징을 잉크, 펜촉의 소재, 접촉 조건의 3가지로 구분하였는데, 이 중 잉크와 펜촉의 소재에 따른 주파수 특성에는 차이가 나타났다. 하지만 접촉 조건의 차이가 있는 만년필과 볼펜을 비교할 때, 미끄럼과 구름 마찰에 의한 주파수 특성의 차이는 거의 나타나지 않았다.

3-1. 윤활에 따른 주파수 특성

윤활유(잉크)가 존재하는 경우(만년필, 볼펜, 유성매직, 형광펜)와 윤활유가 존재하지 않는 경우(색연필, 연필)를 비교할 때, 윤활유가 존재하는 경우에는 400 Hz 이하의 낮은 주파수 범위에서도 피크가 나타났다.

마찰 기인 진동에 관련된 기존 연구에서는 마찰 기인

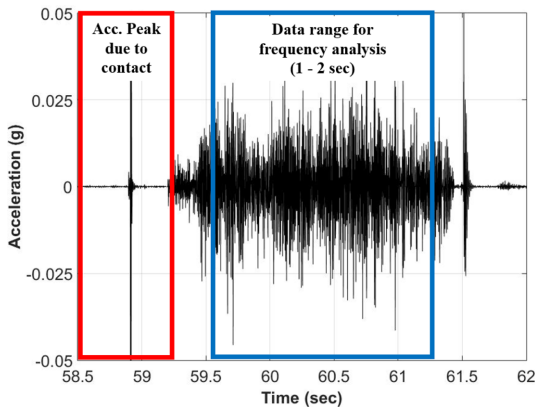


Fig. 2. Typical time-acceleration graph.

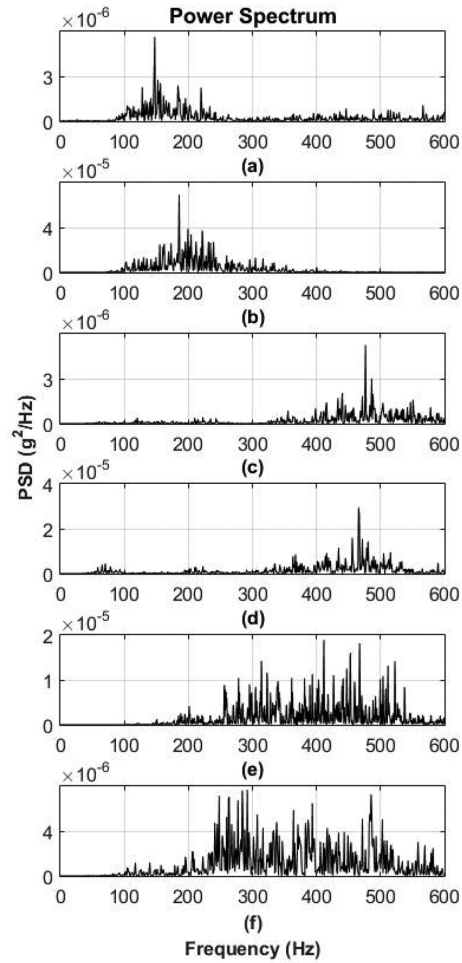


Fig. 3. Power spectrum of (a) fountain pen (b) ball point pen (c) colored pencil (d) pencil (e) oil magic ink pen (f) highlighter.

진동과 소음의 주파수가 일치하는 결과가 나타났다[7]. 또한 마찰 기인 소음과 관련된 기존 연구에서는 윤활유를 사용할 경우 소음이 감소하는 결과가 나타났다. 따라서 잉크를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 주파수 특성 차이는 잉크의 사용, 즉 윤활 유무에 의한 결과이다.

윤활에 따른 차이는 필기구의 특성으로부터 나타난다. 색연필과 연필의 경우는 펜촉의 소재가 마모되면서 종이에 글씨가 새겨지는 반면, 잉크를 사용하는 경우에는 잉크가 종이에 흡착되면서 종이에 글씨가 새겨지기 때문에 펜촉의 마모가 거의 발생되지 않는 특성이 있다.

이러한 결과는 기존 연구에서도 유사하게 나타났다. 마찰 기인 소음 및 진동의 메커니즘을 마모에 의한 표면 변화로 설명하였고, 마모량이 증가할수록 마찰 기인 소음의 음압이 크게 발생하는 경향이 나타났다[7]. 따라서 글씨가 새겨지기 위해 상당한 양의 마모가 수반되는 색연필과 연필의 특성상 높은 주파수에서 피크가 발생하고, 잉크에 의해 펜촉이 보호되는 만년필, 볼펜, 유성매직, 형광펜의 경우 상대적으로 낮은 주파수에서 피크가 발생한다.

3-2. 펜촉의 소재에 따른 주파수 특성

펜촉의 소재는 금속(만년필, 볼펜), 왁스(색연필), 흑연(연필), 페브릭(유성매직, 형광펜)의 4가지로 구분할 수 있다. 펜촉이 금속, 왁스, 흑연 소재인 경우는 주파수 피크가 뚜렷하게 나타났다. 반면에 페브릭 소재인 경우는 넓은 주파수 범위에서 많은 수의 피크가 나타났다.

이러한 결과는 소재의 미세구조를 통해 알 수 있다. Fig. 4는 6가지 펜촉의 광학현미경 사진이다. 흑연(연필)과 왁스(색연필)의 경우는 대각선 방향으로 일정한 결이 있고, 금속의 경우에는 상대적으로 매끈한 표면 구조를 가지고 있다. 반면에 페브릭의 경우는 소재를 이루고 있는 모(hair) 성분에 불규칙한 굴곡에 의해 일정한 결이 없다. 따라서 일정한 방향으로 마찰할 때 금속, 왁스, 흑연은 상대적으로 균일한 접촉부가 형성되지만, 페브릭 소재는 상대적으로 다양한 방향으로 접촉부가 형성되기 때문에, 상대적으로 넓은 주파수 범위에서 많은 수의 피크가 발생한다.

이러한 페브릭 소재의 주파수 특성은 손끝과 페브릭 소재의 주파수 특성에 관련된 기존 연구에서의 결과와 유사하다. 페브릭 소재의 일정한 결이 존재할수록 주파수 분포가 좁아지는 결과가 나타났다[8].

앞서 살펴본 바와 같이 금속과 페브릭 소재의 펜촉을 갖는 필기구는 모두 잉크를 사용하여 마모가 거의 발생되지 않는 특성이 있다. 하지만 금속 소재인 만년필과 볼펜에 비해 페브릭 소재인 유성매직과 형광펜에서 상대적으로 높은 주파수 영역까지 피크를 나타내는 이유는 모 성분이 작은 하중에도 변형되는 특성에 있다. 유성매직과 형광펜은 슬라이딩 할 때, 종이와 모 성분의 미세한 마모뿐 아니라 모 성분의 탄성 변형과 회복이 반복되는 과정에 의해서도 진동이 발생된다. 이에 반해 볼펜과 만년필은 작은 하중에는 크게 변형되지 않기 때문에 주파수 특성에 차이가 나타난다.

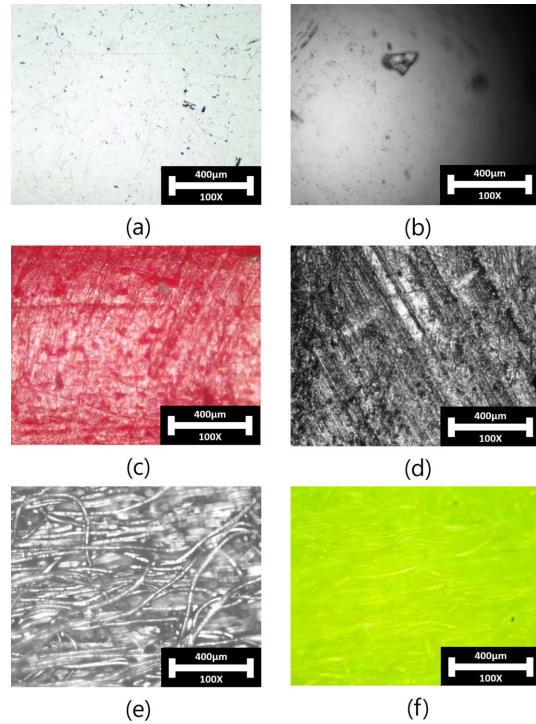


Fig. 4. Photomicrograph of (a) fountain pen (b) ball point pen (c) colored pencil (d) pencil (e) oil magic ink pen (f) highlighter (100x).

4. 결 론

본 논문에서는 필기구를 종이 위에 슬라이딩 할 때 발생하는 기속도의 주파수 특성을 분석하고, 펜촉의 주요 특징과의 관계를 파악하였다.

먼저 펜촉의 미끄럼 마찰과 구름 마찰에 따른 주파수 특성의 차이는 거의 나타나지 않았다.

하지만 윤활유에 따라 주파수 특성의 차이가 나타났다. 윤활유가 존재하는 경우, 즉 잉크를 사용하는 필기구에서는 상대적으로 낮은 주파수인 100-200 Hz 영역에서 뚜렷한 피크가 발생되거나, 200Hz-500 Hz 영역에서 피크 분포가 발생되었다. 하지만 펜촉이 마모되어 글씨가 새겨지는 필기구에서는 상대적으로 높은 주파수인 400-500 Hz 영역에서 뚜렷한 피크가 발생되었다.

또한 펜촉의 소재에 따라 주파수 분포가 다르게 나타났다. 금속, 왁스, 흑연과 같이 일정한 결이 있는 미세구조를 갖는 소재와 달리, 페브릭 소재에서는 넓은 주파수 범위에서 많은 수의 피크가 발생되었다.

이러한 연구결과로부터 스타일러스펜의 촉각적인 피

드백에 있어 필기할 때 발생하는 주파수가 영향을 끼친다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 필기구를 사용할 때의 진동을 모사하기 위해서는 펜촉의 특성에 따라 최소 3가지의 주파수 특성을 갖는 진동을 발생시키는 것이 필요하다.

차후 더 나은 연구를 위해서는 잉크의 점도, 사용자의 필기 습관에 따라 변화하는 하중과 속도 등 여러 가지 변수를 고려한 세부적인 주파수 특성 분석이 필요하다.

Acknowledgements

본 연구는 2015년도 정부 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 ‘디스플레이 표면의 촉각감성 해석 및 입력 필기감 모사를 위한 정량적인 평가모델 개발’ 과제로 수행된 연구입니다(NRF-2015R1D1A1A01061105).

References

- [1] Kim, S. Y., Lee, S. H., Hwang, H. S. “A study of factors affecting adoption of a smartphone”, *Enture Journal of Information Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 29-39, 2011.
- [2] Deng, P., Wu, Juan, Zhong, Xingjian, “The roughness display with pen-like tactile device for touch-screen device”, *Haptics: Perception, Devices, Control, and Applications*, doi:10.1007/978-3-319-42324-1_17, 2016.
- [3] Park, J. H., Kim, M. S., Lee, Y. Z., “Analysis of friction mechanisms associated with write feeling”, *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 32, No. 6, pp. 207-211, 2016.
- [4] Fagiani, R., Massi, F., Chatelet, E., Berthier, Y., Akay, A., “Tactile perception by friction induced vibrations”, *Tribology International*, Vol. 44, No. 10, pp. 1100-1110, 2011.
- [5] Lundström, R., Ströberg, T., Lundborg, “Vibrotactile perception threshold measurements for diagnosis of sensory”, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 64, No. 3, pp. 201-207, 1992.
- [6] Kim, D. Y., “A study on the generation of sound and vibration in pencil writing on the paper”, *ME-Theses Master, Dept. of Mechanical Engineering, Kaist, South Korea*, 2015.
- [7] Ibrahim, R. A., “Friction-Induced vibration, chatter, squeal, and Chaos, Part I: Mechanics of contact and friction”, *Appl. Mech. Rev.*, Vol. 47, No. 7, pp. 209-226, 1994.
- [8] Zuleeg, J., “How to measure, prevent, and eliminate Stick-Slip and noise generation with lubricants”, *SAE Technical Paper*, doi: 10.4271/2015-01-2259, 2015.
- [9] Jibiki, T., Shima, M., Akita, H., Tamura, M., “A Basic study of friction noise caused by fretting”, *Wear*, Vol. 251, No. 12, pp. 1492-1503, 2001.
- [10] Fagiani, R., Massi, F., Chatelet, E., Berthier, Y., “Contact of a finger on rigid surfaces and textiles: Friction coefficient and induced vibrations”, *Tribology Letters*, Vol. 48, No. 2, pp. 145-158, 2012.