

진동과 촉감간의 관계 Relation between Vibration and Touch

박연규* · 강대임* · 양희선*

Yon-Kyu Park, Dae-Im Kang and Hi-Sun Yang

요 약 본 논문에서는 촉각의 효과적인 제시를 위한 하나의 보조수단으로 진동의 제시를 상정하고, 이를 위한 사전작업으로 진동에 따른 촉감의 변화를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 진동 제시 장치를 제작하였고, 진동에 의한 촉감의 효율적인 평가를 위하여 손가락을 제외한 다른 경로로의 진동 전달 및 소음 전달을 차단하고자 하였다. 또한, 진동과 관련된 물리량으로 주파수와 진폭을 결정하였으며 이를 정량화 하였다. 본 연구의 목적이 진동에 의한 촉감의 미세조정과 관련된 것임을 고려하여 주관 평가 시 진동의 제시는 각 주파수별로 진동에 의한 촉감의 변화가 발생하는 기준 진폭으로 하였다. 이 외에 보다 객관적인 제시를 위하여, 2가지의 변위 진폭을 설정하여 진동 제시를 하였다. 주관 평가 결과, 주파수가 증가할수록 더 매끄럽게 느끼며 그 감각이 분명해 짐을 확인할 수 있었다.

기호설명

t : 시간
 ω : 주파수
a : 가속도
v : 속도
x : 변위
 A_a : 가속도 진폭

촉각의 제시와 관련하여, 본 연구팀에서는 철심다발을 이용한 표면제시장치를 개발하였다(2). 이는 직경 0.2 mm의 철심 다발에서 각 철심의 깊이를 PZT 액츄에이터로 밀어 조절함으로써 원하는 표면을 제시하는 장치로서, 촉각측정장치(3)를 이용해 측정된 표면 정보를 바탕으로 원하는 표면을 제시하게 된다. 그러나, 이 장치의 경우 철심 직경의 한계로 인해 제시 분해능이 제한되며, 따라서 세밀한 표면의 제시에 한계를 갖는다.

1. 서 론

현재 활발한 연구가 이루어지고 있는 가상현실의 분야에서, 시각 및 청각의 가상 제시는 괄목할 만한 성과를 거두고 있지만 촉각 제시의 경우 아직 그 수준이 미비한 실정이다. 촉각의 제시와 관련된 기존의 연구를 살펴보면 시각정보를 제공하여 이용하는 방법, 공압 자극을 제공하는 방법, 진동자극을 이용하는 방법, 전기 자극을 이용하는 방법, 신경에 전기자극을 가하는 방법 등이 있다(1).

촉각의 효과적인 제시를 위한 하나의 보조수단으로 진동의 제시를 고려할 수 있다(4, 5). 즉, 제시된 표면을 인위적으로 떨어줌으로써 인간이 느끼는 촉감을 미세하게 변화시키고자 하는 것이다. 본 논문에서는 이를 위한 사전작업으로 진동에 따른 촉감의 변화를 파악하고자 하였다. 먼저, 진동과 관련된 물리량으로 주파수와 진폭을 결정하였으며 이를 정량화 하였고, 진동 제시 장치를 제작하였다. 또한 개발된 장치를 사용하여 사람에 대한 주관평가를 통하여 진동과 촉감간의 관계를 파악하고자 하였다.

* 한국표준과학연구원 역학 표준부 팀그룹
Tel : (042) 868-5240
E-mail : ykpark@kriss.re.kr

2. 진동 제시 장치

진동과 촉감간의 상관관계를 파악하기 위해서는 정량적인 진동을 제시하고, 이에 대해 사람이 느끼는 주관적 촉감을 평가한 후, 이에 대한 관계분석을 수행하여야 한다. 본 절에서는 이중 정량적 진동의 제시에 대하여 기술하고자 한다.

진동제시를 위한 기본 시스템은 전기적 진동 신호를 발생시킬 수 있는 신호 발생기, 전기 신호의 증폭과 가진기의 구동을 담당하는 전력 증폭기, 마지막으로 전기 신호를 기계적 진동으로 변환하는 가진기로 구성된다.

입의 진동은 그 진폭과 주파수로 기술될 수 있다. 진폭은 진동의 크기를 나타내고 있으며, 주파수는 진동의 빠르기, 즉 1초당 진동의 횟수를 나타낸다. 입의 진동은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V(t) = A \cos(\omega t) \quad (1)$$

여기서, $V(t)$ 는 진동 신호를 나타내며, t 는 시간을 나타낸다. A 와 ω 는 각각 진폭과 주파수를 나타낸다. 진동 물리량으로는 변위, 속도, 가속도 등을 들 수 있다. 이들 사이에는 시간에 따른 미분, 적분의 관계가 있으며, 따라서 이중 하나의 물리량을 측정할 수 있다면 다른 물리량들은 이로부터 쉽게 예측할 수 있다. 같은 수준의 가속도에 대하여 주파수가 증가할수록 그 변위는 주파수의 자승에 반비례하여 감소하며, 속도는 주파수에 반비례하여 감소하게 된다. 즉, 가속도가

$$a(t) = A_a \cos(\omega t) \quad (2)$$

로 표현된다면, 속도와 변위는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$v(t) = \frac{A_a}{\omega} \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$x(t) = -\frac{A_a}{\omega^2} \cos(\omega t) \quad (4)$$

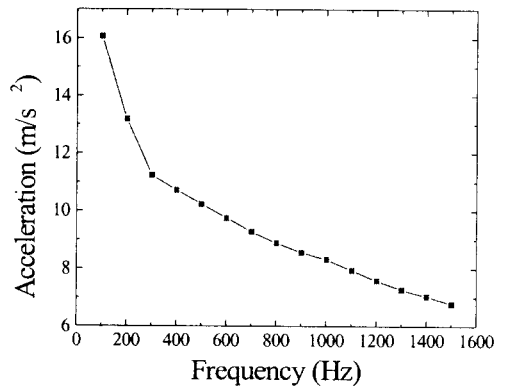
여기서, $a(t)$, $v(t)$, $x(t)$ 는 각각 가속도, 속도, 변위를 나타내며, A_a 는 가속도의 진폭을 나타낸다.

정량적인 진동의 제시를 위하여 진동제시시스템의 특성을 파악할 필요가 있으며, 이를 위하여 관심 주파수에 대한 가진 시스템의 응답 특성을 파악하였다. 각 주파수별로, 신호 발생기의 신호 크기를 1 V로 일정하게 한 후 가진기의 진동 정도를 가속도계로 직접 측정하였고, 이를 표 1과 그림 1에 나타내었다. 같은 입력 신호에도 불구하고 주파수가 증가함에 따라 발생 가속도의 크기는 줄어들음을 알 수 있다. 이는 가진기 고유의 특성에 따른 것이다. 일정 주파수에 대하여는 입력 신호와 출력 가속도 사이에 선형적인 관계가 존재한다. 따라서, 표 1에 표현된 가진 시스템 특성 분

석을 이용하여 각 주파수별로 정량적인 진동의 제시가 가능하다.

(표 1) 가진 시스템의 주파수 응답 특성

주파수(Hz)	100	200	300	400	500
가속도(m/s ²)	16.06	13.19	11.24	10.71	10.23
주파수(Hz)	600	700	800	900	1000
가속도(m/s ²)	9.75	9.28	8.89	8.56	8.32
주파수(Hz)	1100	1200	1300	1400	1500
가속도(m/s ²)	7.95	7.60	7.28	7.05	6.79

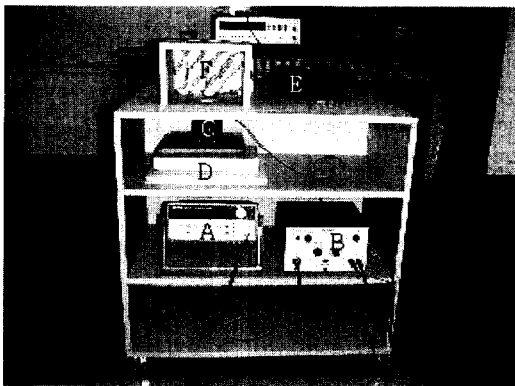


(그림 1) 진동제시 시스템의 주파수 특성

본 연구에서는 가진기에 사포를 부착하여 이를 진동시키고, 진동하는 사포 표면을 사람의 손가락으로 만지게 함으로써 진동과 촉감 사이의 관계를 파악하고자 하였다. 이 때, 진동체와 접촉하는 손가락 이외의 다른 부분으로 진동이 전파된다면, 이에 노출된 피험자는 진동에 의한 촉감 판단에 혼란을 느끼게 될 것이다. 따라서, 손가락을 제외한 다른 경로로의 진동 전파를 차단할 필요가 있으며, 이를 위하여 본 연구에서는 가진기 밑에 실리콘 등의 방진재를 설치하여 가진기에서 진동 제시기 본체로의 진동 전파를 차단하고자 하였다.

진동은 필연적으로 관련 소음을 유발한다. 진동하는 면이 공기를 떨게 함으로써 소음을 발생시키는 것이다. 진동에 의해 발생하는 소음의 주파수는 진동의 주파수와 동일하며, 따라서 피험자가 소음을 듣게 됨으로써 진동의 정보를 파악할 수 있는 문제점을 갖는다. 이의 해결을 위해 본 연구에서는 주관 평가시 피험자로 하여금 헤드폰을 착용하고 제공되는 음악을 듣게 함으로써 진동에 의해 발생하는 소음을 차폐하고자 하였다.

피험자가 제시되는 촉감에 대한 시각적 정보를 갖게 된다면 이 또한 주관평가에 있어 교란 요소가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 커튼으로 진동 표면을 가려 피험자가 진동 시스템을 보지 못하는 상태에서 순간 커튼 안으로 집어넣어 진동 표면을 만질 수 있도록 하였다.



(그림 2) 진동 제시 시스템: A. 신호 발생기; B. 전력 증폭기; C. 가진기; D. 진동 차폐물; E. 헤드폰; F. 커튼

그림 2는 제작된 진동제시장치를 나타낸다. 실험 조작자는 정면에서 진동 조작을 하며, 피험자는 제시장치의 뒷면에서 손만을 커튼 안으로 집어넣어 촉감 평가를 실시한다. 그림에서 신호 발생기, 전력 증폭기, 가진기 외에, 진동 차폐물, 헤드폰, 커튼 등을 확인할 수 있다.

3. 주관 평가 방법 및 결과

진동과 촉감간의 관계파악을 위해서는 진동을 기술하는 요소들, 즉 진폭과 주파수를 변화시키면서 이에 따른 촉감의 주관 평가를 수행하여야 한다. 두 변수 중 진폭의 경우, 그 값이 지나치게 작을 경우 촉감에

영향을 미치지 않고, 반대로 그 값이 지나치게 클 경우 사람이 강한 진동을 느끼기 때문에 진동에 의한 촉감의 미세조절이라는 본 연구의 취지에 부합하지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 사전 실험을 통하여 사람이 진동에 따른 촉감변화를 느끼기 시작하는 기준 진폭을 각 주파수별로 구하였고, 이를 실제 주관 평가시에 제시하였다. 주관 평가 시 제시하는 주파수 조건은 200, 300, 400, 500, 700, 1000, 1200, 1500 Hz로 하였고, 이에 대한 진폭 제시값을 표 2에 나타내었다. 표 2는 각 주파수별 진폭 기준값을 가속도, 속도, 변위에 대하여 나타내고 있다. 가속도, 속도에 비하여 변위의 경우 가장 작은 주파수별 진폭의 변화를 보이고 있다.

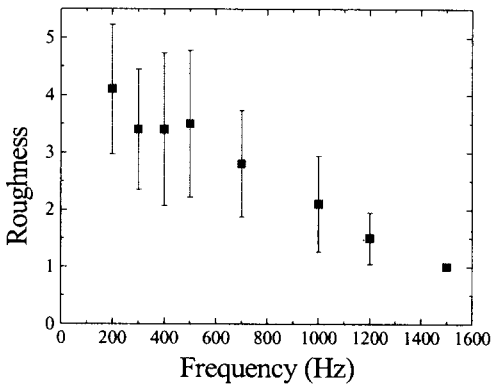
<표 2> 주파수별 기준 진폭

주파수(Hz)	200	300	400	500
가속도(m/s ²)	1.3	3.4	6.4	14.3
속도(mm/s)	1.1	1.8	2.6	4.6
변위(μ m)	0.8	0.9	1.0	1.5
주파수(Hz)	700	1000	1200	1500
가속도(m/s ²)	24.1	74.9	129.2	135.8
속도(mm/s)	5.5	11.9	17.1	14.4
변위(μ m)	1.2	1.9	2.3	1.5

주관 평가 시 대상체의 거칠기 정도를 5점 척도로 평가하도록 하였다. 거칠게 느낄수록 5점, 매끄럽게 느낄수록 1점에 가깝게 평가하도록 하였다. 본 실험 전에 5점과 1점에 해당하는 진동 정도를 미리 제시하였는데, 5점의 경우 진동이 가해지지 않은 상태를 제시하였으며 1점의 경우 주파수 1500 Hz, 변위 진폭 1.5 μ m의 진동을 제시하였다. 이는 사전 실험 시의 결과를 토대로 한 것이다. 피험자에게 본 실험 시 기준값 제시 시와 같은 정도의 압력으로 대상 표면을 두르면서 촉감을 감지하라는 주지를 시킨 후, 표 2에 나타난 실험 조건들을 무작위로 제시하면서 주관 평가를 수행하였다.

〈표 3〉 진동에 따른 촉감의 변화
(기준진폭제시)

주파수(Hz)	200	300	400	500
평가치	4.10	3.40	3.40	3.50
표준편차	1.13	1.05	1.33	1.28
주파수(Hz)	700	1000	1200	1500
평가치	2.80	2.10	1.50	1.00
표준편차	0.93	0.84	0.45	0.00



(그림 3) 주파수에 따른 촉감 변화 - 기준진폭제시

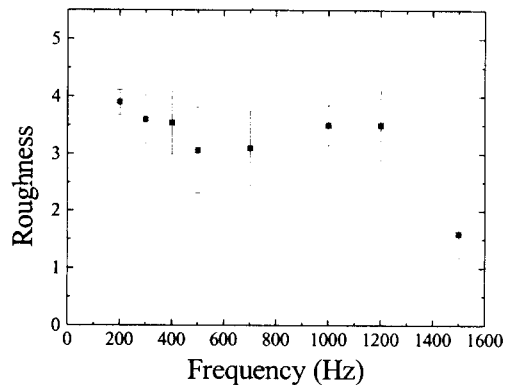
주관 평가를 수행한 인원은 총 6명이고, 이 결과를 표 3과 그림 3에 나타내었다. 그림에서 평가의 평균치를 사각형 마크로 나타내었으며, 표준편차의 크기를 막대 형태로 표현하였다. 주파수가 증가할수록 더 매끄럽게 느끼는 것을 알 수 있는데, 주파수와 거칠기의 상관계수는 -0.9871 로 매우 높게 나타났다. 음의 상관계수는 주파수가 증가할수록 거칠기가 감소함에 기인한다. 또한, 주파수가 증가할수록 평가의 표준편차가 감소하고 있음을 보여준다. 이는 고주파로 갈수록 촉감의 변화가 보다 분명하게 나타나 평가자들이 보다 일치된 감각을 느끼고 있음을 나타낸다.

각 주파수별로 진동에 의한 차이가 발생하기 시작하는 기준 진폭은 이 역시 인간에 의한 주관평가라는 한

계를 갖는다. 따라서, 보다 객관적인 평가를 위하여 각 주파수별로 일정한 물리량을 제시하고자 하였다. 각 주파수별로 기준 진폭을 나타낸 표 2를 볼 때, 가속도나 속도의 진폭에 비하여 주파수별 변위 진폭의 변화가 작음을 확인할 수 있다. 따라서, 주파수별 변위 진폭을 일정하게 제시하고자 하였으며, 제시 진폭으로 $1.0 \mu\text{m}$ 와 $1.5 \mu\text{m}$ 의 진폭을 설정하였다. 주관평가 방법은 대상 인원이 5명인 것을 제외하고는 기준 진폭값 제시의 경우와 동일하였다.

〈표 4〉 진동에 따른 촉감의 변화
(진폭 : $1.0 \mu\text{m}$)

주파수(Hz)	200	300	400	500
평가치	3.90	3.30	3.54	3.06
표준편차	0.22	0.42	0.55	0.75
주파수(Hz)	700	1000	1200	1500
평가치	3.10	3.50	3.50	1.60
표준편차	0.65	0.35	0.61	0.42



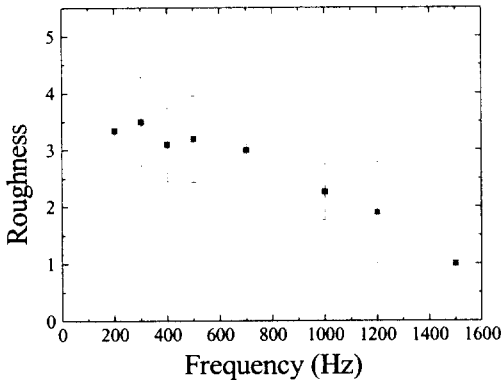
(그림 4) 주파수에 따른 촉감 변화 - 진폭: $1.0 \mu\text{m}$

변위 진폭 $1.0 \mu\text{m}$ 를 제시하였을 경우의 주관평가 결과를 표 4와 그림 4에 나타내었다. 500 Hz ~ 1200 Hz 사이의 경우 기준 진폭보다 작은 진폭으로

인해 진동에 의한 촉감 변화가 작게 발생하고 있음을 알 수 있다. 본 평가의 경우 주파수와 거칠기의 상관계수는 -0.7044로 나타나, 기준 진폭을 제시했을 때 보다 상관 정도가 떨어짐을 보여준다.

〈표 5〉 진동에 따른 촉감의 변화
(진폭 : 1.5 μm)

주파수(Hz)	200	300	400	500
평가치	3.34	3.50	3.10	3.20
표준편차	0.65	0.79	0.65	0.76
주파수(Hz)	700	1000	1200	1500
평가치	3.00	2.26	1.90	1.00
표준편차	0.71	0.49	0.89	0.00



(그림 5) 주파수에 따른 촉감 변화 - 진폭: 1.5 μm

변위 진폭 1.5 μm 를 제시하였을 경우의 주관평가 결과를 표 5와 그림 5에 나타내었다. 제시 진폭이 1.0 μm 일 때에 비하여 진동에 의한 촉감의 변화가 확실하게 나타남을 알 수 있다. 즉, 제시 진동의 주파수가 증가할수록 더 매끄럽게 느낌을 보여준다. 본 평가의 경우 주파수와 거칠기 간의 상관계수는 -0.9720으로 1.0 μm 의 진폭을 제시할 때에 비하여 현저히 높게 나타났다.

이상의 평가를 통해 진동의 진폭이 클 때 진동에 의한 촉감의 변화가 분명하게 발생함을 알 수 있다. 그

러나, 진폭이 지나치게 클 경우 진동의 미세 변화보다는 강한 진동을 느끼게 된다는 점을 고려할 때, 기준 진폭의 효과적 제시가 필요함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 질감제시의 미세조정 기법 확보의 일환으로 진동에 의한 질감 미세 조정을 가정하고, 이의 선행 연구로 진동과 촉감간의 관계를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 진동 제시 장치를 제작하고, 이의 특성 파악을 수행하였다. 또한, 손끝이 아닌 다른 경로의 진동 전달 및 소음 전파를 차단하고자 하였다.

진동의 제시는 각 주파수별로 진동에 따른 촉감의 차이가 발생하는 기준 진폭을 선정하여 이를 제시하였으며, 거칠기의 평가는 5점 척도로 하도록 하였다. 주관 평가 결과, 주파수가 증가할수록 더 매끄럽게 느끼며 그 감각이 분명하다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한, 진폭이 클 때 진동에 의한 촉감의 변화가 분명하게 발생하였다.

앞으로의 연구과제로는 보다 많은 측정자를 대상으로 한 평가를 통하여 측정의 신뢰도를 높이는 것을 들 수 있다. 또한, 각 주파수별로 기준 진폭을 보다 신뢰롭게 설정하는 일도 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 G7 감성공학과제의 연구비 지원을 받아 수행되었음. (과제번호: 17-02-A-02)

참 고 문 헌

- [1] K.B. Shinoga, "Finger force and touch feed-back issues in dextrous telemanipulation," CIRSSSE, pp.159-178, 1999.
- [2] 김희국, 김해수, 김민진, 박연규, 강대임, "철선다발을 이용한 표면 제시 시스템의 구현," '98 한국감성과학회 추계학술대회, pp.207-212, 1998.
- [3] 박연규, 강대임, 송후근, "촉감의 물리량 측정 시스템 개발 및 응용에 관한 연구," 대한기계학회 논문집, 23(3), pp.357-366, 1999.
- [4] 강대임, 박연규 등, "촉각측정 및 질감제시기술 개발," 과학기술부 연구보고서, 1998.
- [5] 박연규, 강대임, 양희선, "미세 진동에 따른 촉감의 변화," '99 한국감성과학회 추계학술대회, pp.379-382, 1999.

Relation between Vibration and Touch

Yon-Kyu Park*, Dae-Im Kang*, Hi-Sun Yang*

Abstract As an assistant method of touch generation, vibration can be employed. To apply the vibration to the elaborate generation of touch, the relation between vibration and touch must be pre-known. This paper deals such a precedent research. We developed a vibration generating system, in which the transmission of vibration to the subject except the finger and the transmission of noise caused by the vibration to the subject were prohibited appropriately. Frequency and amplitude were chosen as variables of vibration and quantified. Threshold amplitude for each frequency at which the touch started to be varied, was determined and presented at the subject test. In addition to that, uniform displacement amplitude for each frequency was presented for more objective test. From the test, we can find that touch becomes smoother and clearer as the frequency increases and that touch varies more obviously as the amplitude increases.

Key Words: Surface Generating system, Vibration, Frequency, Amplitude, Displacement, Velocity, Acceleration