Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 18, No. 3 1999. 12

진동식 촉각 자극에 대한 손의 상대적 민감도 반응*

Human Sensitivity Responses to Vibrotactile Stimulation on the Hand : Measurement of Differential Thresholds

이 성 일**

Abstract

This study investigated human operator's perceptual and psychophysical responses to vibrotactile stimulation on various parts of the hand. Using a small vibrotactile display, the effects of three mechanical parameters consisting vibrotactile stimulations, i.e., vibration frequency, pulse-width modulation duty cycle, and number of contactors, on differential thresholds were examined at five different loci of the hand. It was observed that differential threshold varies with vibration frequency and number of active contactors. Differential sensitivity was the greatest at the vibration frequency of 120 Hz. The differential sensitivity was not found to be affected by loci on the hand. The area of stimulation on the hand was also found to be significant in that the sensitivity increased with the number of active contactors. It should be noted that the conclusions from this study generally correspond to those from the previous study on the absolute sensitivity, which means that tactile sensitivity to vibrotactile stimulations can be controlled with a systematic and consistent passion for emulating normal everyday contact on human hands in teleoperation and virtual reality applications.

Keywords : psychophysics, touch, differential sensitivity, just-noticeable-differences

* 본 연구는 전남대학교 국책사업단의 1997년도 신진교수 지원 연구비로 수행되었습니다.
** 성균관대학교 시스템경영공학부

1. 서 론

촉각은 인간의 감각 중에서 시각, 청각과 함께 일상생활에 있어서 없으면 불편할 매우 주요한 감각기관이다. 이렇게 촉각에 의해 전달되는 정보로는 물체의 모양과 재질, 탄성, 점성, 온도 등이 있다. 순수하게 피부와의 정적인 접촉만에 의하여 전달되는 정보의 경우, 이를 좁은 의미에서 촉각(cutaneous perception)이라 하고, 손이나 손가락의 움직임과 같이 자율적인 의지에 의해 움직이면서 관절과 근육의 움직임에 의한 정보를 함께 얻는 경우, 예컨대 물체의 재질이나 모양 같은 정보를 얻게 되는 넓은 의미의 촉각을 haptics라는 용어로 표시한다. 이러한 인간의 중요한 감성체계의 하나인 촉각에 대한 기초적인 이해는 감지(sensation)나 인식(perception)의 모든 부분에서 다른 감각기관에 비해 상대적으로 뒤져있기에 체계적인 연구의 중요성이 각별한 것으로 사료된다.

정신물리학(psychophysics) 방법을 이용한 인간의 감각에 대한 연구는 감각에 관한 반응을 물리적인 양으로 정량화 시키는 방법이므로 비교적 객관적인 자료로 받아들일 수 있다. 특히 역치 이상의 비교적 강한 자극에서는 진동촉각계(vibrotactile displays)의 효과적인 사용을 위하여 감각의 세기를 조정해주는 것이 반드시 필요하므로, 이에 따른 정신물리학적 정량화가 필수적이다. 이러한 연구에는 jnd(just-noticeable-differences)와 주관적 감각동일점(PSE, point of subjective equality) 등의 측정이 반드시 선행되어야 한다. 이러한 연구가 선행되어야만 진동촉각계가 실제로 응용될 때에 자극의 적절한 제시가 이루어질 수 있기 때문이다.

촉각 자극에 대한 민감도의 측정 중에서 이점분별 역치(two-point discrimination threshold)에 대한 조사는 이미 광범위하게 이루어져있다. 그리고 이러한 절대적인 민감도는 피부의 감각수용체 중에서 Pacinian Corpuscle의 분포와 깊은 관계가 있다는 것도 밝혀졌다 (Vallbo and Johansson, 1978). 진동식 자극에서는 신체의 부위에 따라 절대적 민감도가 다르며 특히 손가락 끝부분이 가장 민감한 것으로 나타나 있다 (Wilska, 1954; 이 성일, 1998). 또한 시간적 요소인 진동의 주파수와 공간적 요소인 진동 접촉의 면적에 따라 절대적 민감도가 변하는 것으로 밝혀졌다. 역치, 즉 절대민감도(absolute sensitivity)에 대한 연구에서, 진동촉각계와 피부의 접촉면적이 일정한 크기 이상일 경우 손에서의 민감도는 230 Hz 부근에서 최고에 도달하며, 주파수의 변화에 따라서 U자 형태의 곡선을 그리며 변한다는 것이 밝혀져있다 (Verrillo, 1963, 1968; 이 성일, 1998). 그러나 피부와의 접촉면적이 0.02 cm^2 보다 작으면 진동주파수의 영향은 없어진다 (Verrillo, 1963, 1968). 이 밖에도 진동식 촉각 자극에 대한 역치 반응은 자극 시간 (Cholewiak and Collins, 1991), 진동 자극을 둘러싼 보호막의 존재 여부 (Gescheider et al., 1978), 그리고 피실험자의 나이 (Verrillo, 1982) 등에 따라 달라지는 것으로 보고되었다. 이러한 절대민감도에 관한 많은 연구 자료와는 달리, 진동 자극에 있어서의 촉각

반응에 대한 상대적인 민감도, 즉 역치 이상의 강한 자극에 대한 연구는 별로 이루어진 바가 없다. 실제로 인간의 촉각을 활용한 정보의 전달이나 동작의 조절을 위해서는 역치보다는 더 강한 자극에 대한 인간의 감각적 반응 특성과 정보처리 능력에 대한 연구가 반드시 필요한데, 이 분야의 연구는 상당히 뒤떨어져 있는 실정이다.

본 연구에서는 진동식 촉각계의 효과적인 사용을 위하여 역치 이상의 강한 자극에서 자극의 세기가 어떻게 인간의 감각기관에 전달되는지를 조사하였다. 본 연구는 촉각적 민감도를 결정짓는 많은 요인들 중에서 진동파장을 구성하고 있는 기계적 요인, 특히 (1) 진동주파수와 (2) 진동을 구성하는 시간적 변화, 그리고 (3) 진동하는 contactor의 숫자가 (4)손의 여러 부위에서 피부의 상대적인 민감도(differential thresholds)에 어떠한 영향을 미치는지를 정신물리학(psychophysics) 방법을 사용하여 조사한 연구이다. 손의 상대적 민감도는 정신물리학 방법에서 가장 대표적인 jnd(just-noticeable difference)와 CE (Critical Error)로 측정하였다. 사실 진동에 의한 촉각자극을 이용하여 teleoperation이나 가상현실 분야에 응용하기 위해서는 역치 같은 절대적 민감도보다는 촉각의 세기를 scaling하는 데에 적용되어야 할 상대적 민감도의 파악이 보다 중요하다고 할 수 있다. 본 연구는 앞서 발표된 절대적 민감도에 대한 연구(이성일, 1998)와 함께 손에서의 촉각을 지배하는 기계적 요인의 영향을 체계적으로 밝히고자 수행되었으며, 이를 통해서 진동에 의한 촉각 자극을 피부에 전달할 수 있는 가장 효과적이고 신뢰성 있는 방법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 방 법

2.1. 피실험자

본 연구에는 손에 부상을 입거나 손의 감각에 문제가 있던 경험이 없는 남녀 대학생 및 대학원생 7명이 피실험자로 참가하였다. 피실험자의 성별 분포는 남자 4명, 여자 3명이었다. 피실험자들의 평균 연령은 26.5 세였으며, 자발적인 지원에 의하여 실험에 참가하였고, 참여시간에 따른 보상이 주어졌다.

2.2. 실험장비

본 연구에 사용된 진동촉각계는 미국 ORBITEC Inc.가 제작한 실험용 모델이다. 이 진동촉각계는 다섯 개의 작은 진동 contactor로 이루어져 있으며, 크기는 가로 7 mm, 세로 1 cm인 직사각형이고, 각 진동 contactor의 지름은 1 mm이다. 다섯 개의 진동 contactor는 그림 1과 같이 X자 형태로 배열되었으며, 각 contactor를 따로 조정할 수 있도록 설계되었다. 각각의 contactor가 최대로 진동할 경우 8 μm의 진동폭이 측정되었다. 진동촉각계는 12 volt의 전원으로 작동되었으며, 자극의 출력과 응답의 입력이 모두 PC 에 의해 통제되었다.

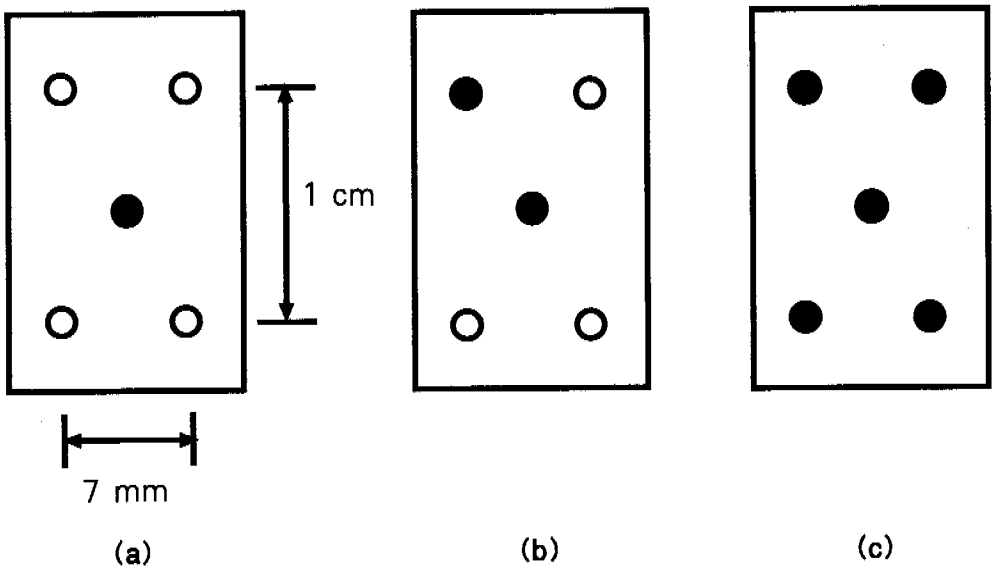

그림 1. 실험에 사용된 진동 촉각계의 평면도 : (a) contactor 1개가 진동하는 경우, (b) 2개가 진동하는 경우, (c) 5개가 모두 진동하는 경우에 해당되는 진동 contactor가 검은 색으로 나타나있음.

2.3. 실험변수

본 실험의 실험구성은 4 x 2 x 3 x 5 factorial design으로 이루어져 있으며, 피실험자가 모든 실험조건을 경험하게 되는 repeated measures 의 방법을 사용하였다.

본 실험에 독립변수로서 사용된 실험요인은 진동주파수 (vibration frequency), 진동변환주기(pulse-width-modulation duty cycle, 이하 PWM으로 표기), 진동 contactor의 수 (number of active contactor), 그리고 손에서의 자극 부위 (hand locus)의 네 가지이다. 진동주파수는 24, 120, 240, 그리고 400 Hz의 4수준이 사용되었다. 피부 자극의 총 시간(duration)을 결정짓는 진동변환주기(PWM)는 100%와 50%의 두 수준이 사용되었다. 주어진 총 자극시간에서 50%의 진동변환주기는 100%일 때보다 절반의 시간만큼만 피부를 자극하게 된다. 자극 면적을 결정짓는 요인인 진동 contactor의 숫자는 1개, 2개, 5개의 세 수준이 사용되었다.

손에서의 자극 부위로는 그림 2에 나타나 있듯이, 검지의 손가락 끝 (palmar side of 2nd distal phalanx, 이하 Dp로 표기), 검지의 셋째 마디 (palmar side of 2nd proximal phalanx, 이하 Pp로 표기), 검지 바로 아래의 손바닥 끝부분 (palmar side of head of 2nd metacarpal, 이하 Hm으

로 표기), 그리고 손바닥의 엄지측 근육 부분 (thenar eminence, 이하 Te로 표기), 손바닥의 소지측 근육 부분 (hypothenar eminence, 이하 He로 표기) 등, 5 개의 손 부위가 검사 대상이 되었다. 검지손가락을 선택한 이유는 검지손가락이 다른 손가락에 비해 가장 민감할 뿐만 아니라, 손가락에서의 감각수용체의 분포가 모든 손가락에서 비슷하게 나타나고 있으며, 물건을 집어드는 동작에 있어서 엄지와 함께 가장 자주, 중요하게 사용되기 때문이다. 또한 이미 진행, 발표되었던 손에서의 절대민감도에 관한 연구(이성일, 1998)와의 일관성을 유지하기 위하여 같은 자극부위가 선정되었다. 이 세 가지 독립변수에 의하여 모두 120개의 실험조건이 성립되었다. 반응변수는 contactor가 진동할 때 피부를 누르는 진동의 최대진폭(peak-to-peak displacement)으로 하였으며, 이의 단위는 μm (10^{-6} m)이다.

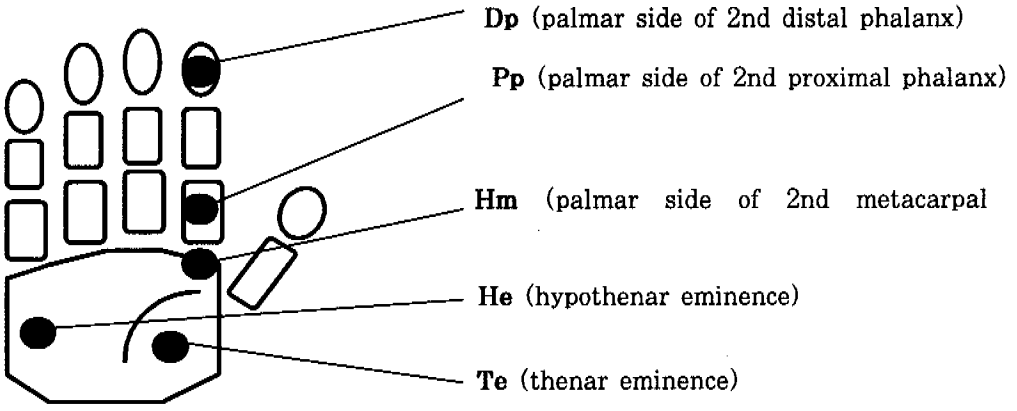

그림 2. 실험에 사용된 손의 자극 부위

2.4. 실험절차

정신물리함수(psychometric function)의 도출을 위하여 강제선택이 수반된 고정자극 방법(method of constant stimuli with forced-choice)이 사용되었으며, 각 실험조건마다 14 μm으로 주어진 기준자극(reference)으로부터 최대 +10 μm, 최소 -10 μm의 진동폭 사이에서 일정한 간격으로 떨어진 6 수준의 진동폭이 비교자극으로 설정되었다. 기준자극은 준비실험을 통해 모든 피실험자들이 100%의 감지가 가능한 것으로 확인된 세기의 진동 중에서 가장 작은 진동으로 정하였다. 각 수준의 비교자극에 대해서 임의의 순서로 10 번의 측정이 이루어졌으며, 피실험자가 비교자극이 기준자극(reference)보다 강하다고 느낀 것으로 반응한 횟수의 비율이 정신물리함수의 계산에 사용되었다. 따라서 피실험자는 한번의 실험조

건에서 정신물리함수의 계산을 위하여 모두 60회의 측정이 필요하게 된다.

피실험자는 실험이 진행되는 동안 컴퓨터 마우스에 부착된 진동촉각계를 약 1.5 Newton의 힘(1.38 N~1.84 N)으로 약하게 누르고 있는 상태를 유지하였으며, 이 힘은 실험자에 의해 계속 확인되었다. 이 힘은 마우스를 클릭하지 않을 만큼의 측정된 힘으로서, 피실험자의 접촉부위가 진동촉각계에 작용하는 힘을 일정하게 유지하기 위해서 설정되었다. 일정한 힘을 유지하지 않을 경우에는 진동촉각계가 힘에 의해 눌림으로써 떠는 진폭이 영향을 받을 수 있기 때문이다.

피실험가 머리에 쓴 헤드폰을 통해서 신호음이 먼저 울리고, 그로부터 1 초 후에 기준자극이 주어졌으며, 기준자극이 끝난 1초 후에 비교자극이 주어졌다. 두 자극은 모두 1초 동안의 진동으로 이루어졌으며, 피실험자는 오른손의 해당 신체부위로 진동촉각계를 누른 채로 두 자극을 차례로 느낀 후에, 비교자극이 기준자극보다 강한 지의 여부를 대답하였다. 피실험자의 반응이 끝나고 5초 후에 다음 자극을 알리는 신호음이 발생하였다. 피실험자 한사람 당 필요한 60 회의 측정(trial) 중에서 30 번의 측정 이후에 자극부위의 감각회복을 위하여 1 분간의 휴식이 주어졌고, 다시 30 번의 측정을 마치게 되면 종료된다. 피실험자들에게 실험조건에 대한 사전 정보는 일체 주어지지 않았으며, 각 피실험자마다 총 120개의 실험조건이 임의의 순서대로 주어졌다.

3. 결 과

각 실험조건에서 측정된 피실험자 각각의 자료를 사용하여 정신물리함수(psychometric function)를 구하였다. 상대적 민감도를 계산하기 위하여 각 정신물리함수에서 upper limen과 lower limen의 중간값((UL-LL)/2)의 진동폭으로 개인의 jnd를 계산하였고, CE는 정신물리함수의 값이 50%인 진동폭, 즉 동일감각점(PSE)에서 기준자극의 진동폭을 감한 값으로 계산하였다(Gescheider, 1985). 각 실험조건에서 측정되고 계산된 jnd 및 CE의 평균값은 표1과 그림 3에 자세히 나타나 있다. 실험변수들이 이러한 상대적 민감도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 통계적 검정을 위한 분산분석이 수행되었으며 그 결과는 표 2에 나타나있다. 기본적으로 jnd와 CE에 대한 분산분석의 결과가 일치하므로 표에서는 jnd 측정치에 대한 분산분석만을 보여주기로 한다.

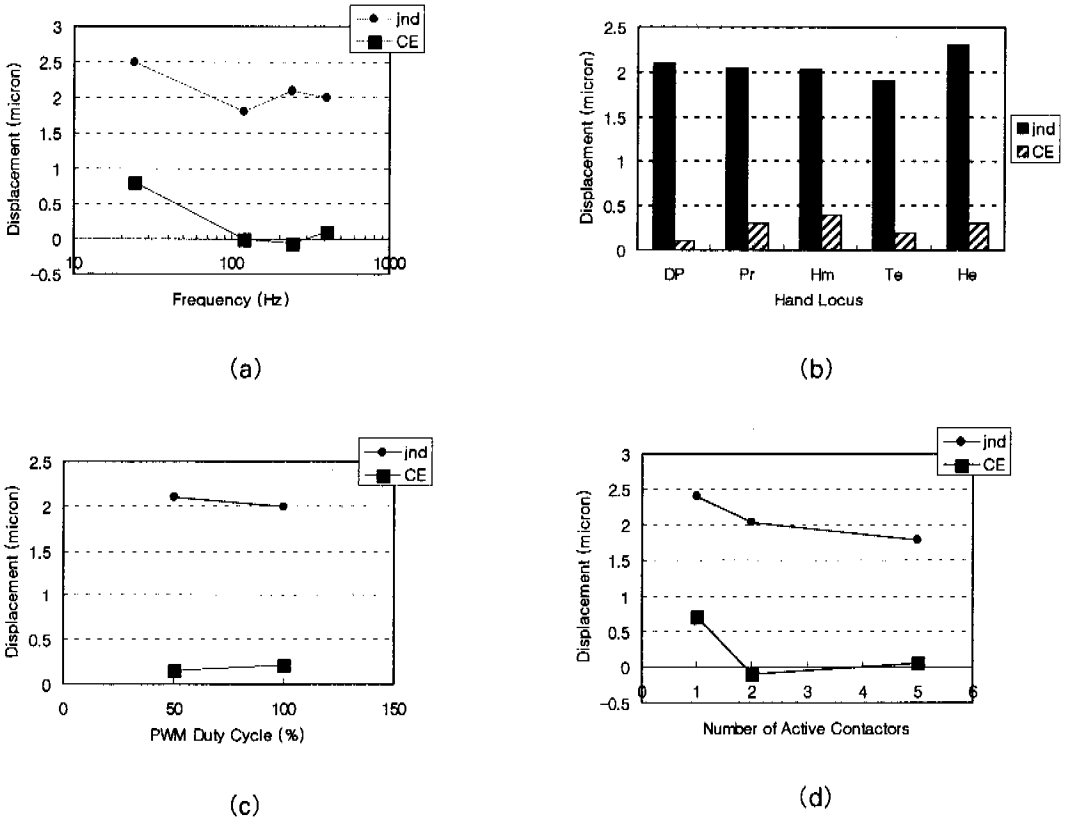

그림 3. 각 실험조건에서 측정된 jnd와 CE의 평균값

표 1. 각 실험조건에서 측정된 jnd와 CE의 평균값(μm)

실험조건	jnd	CE
(a) 진동주파수		
24 Hz	2.5	0.8
120 Hz	1.8	0.0
240 Hz	2.1	-0.05
400 Hz	2.0	0.1
(b) 손에서의 자극 부위		
Dp	2.1	0.1
Pr	2.0	0.3
Hm	2.0	0.4
Te	1.9	0.2
He	2.3	0.3

표 1. 각 실험조건에서 측정된 jnd와 CE의 평균값(μm)

실험조건	jnd	CE
(c) 진동변환주기		
50 %	2.1	0.15
100 %	2.0	0.21
(d) 진동 contactor 의 수		
1 개	2.4	0.7
2 개	2.1	-0.1
5 개	1.8	0.05

표 2. jnd 측정치의 분산분석표 (ANOVA)

Source	SS	df	MS	F	p<
Subjects	0.06	6	0.01	0.02	.968
진동주파수 (F)	61.68	3	20.56	13.18	.001**
자극 부위 (L)	8.68	4	2.17	1.39	.166
진동contactor수(C)	51.55	2	25.77	16.52	.001**
진동변환주기 (P)	0.52	1	0.52	0.33	.920
F × L	9.63	12	0.80	0.51	.819
F × P	6.17	3	2.06	1.32	.145
F × C	14.56	6	2.43	1.56	.194
L × P	10.82	4	2.70	1.73	.152
L × C	8.51	8	1.06	0.68	.872
P × C	.11	2	0.06	0.04	.966
F × L × P	8.90	12	0.74	0.47	.885
F × L × C	22.19	24	0.92	0.59	.754
F × P × C	7.72	6	1.29	0.83	.577
L × P × C	11.37	8	1.42	0.91	.538
F × L × P × C	37.63	24	1.57	1.00	.194
Error	1124.68	720	1.56		
Total	1384.78	839			

3.1. 진동주파수 (Vibration Frequency)

진동주파수가 상대적 민감도에 미치는 영향은 유효한 것으로 나타났다. 24 Hz의 진동이 가장 높은 jnd 값을 나타냈으며, 120Hz에서 가장 낮은 jnd 값이 측정되었다. 24 Hz와 120 Hz의 두 주파수에서 측정된 jnd 값들은 서로 유의한 차가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.01$).

CE에 대한 진동주파수의 영향도 유의한 것으로 나타났다. CE에서도 24 Hz의 진동에서

가장 큰 오차가 측정되었으며, 이러한 저주파의 진동에서 피실험자들은 기준자극보다 강한 자극에서 기준자극과 동일한 세기의 진동을 느낀 것으로 나타났다. 나머지 세 수준의 진동에서는 기준자극과 거의 유사한 자극에서 기준자극과 동일한 세기의 진동을 느낀 것으로 관측되었다. 다시 말해서 24 Hz를 제외한 나머지 주파수에서는 CE 값들이 모두 0에 근사한 값으로 측정되었다. 실험조건으로 사용된 주파수에서의 jnd 와 CE 값들이 그림 3(a)에 나타나 있다.

3.2. 진동 contactor의 수 (Number of Active Contactor)

진동 contactor의 수가 jnd와 CE에 미치는 영향은 유의한 것으로 밝혀졌다. 진동 contactor가 1개일 때보다는 여러 개일 때에 낮은 jnd와 CE가 측정되었다. Contactor 5개가 모두 진동할 때에 가장 낮은 jnd 값이 측정되었지만, 진동 contactor의 수가 2개와 5개일 때의 jnd와 CE 값들의 차이는 통계적으로 유의하지는 않았다. CE의 경우, 1개의 contactor가 진동할 때, 즉 자극면적이 작았을 경우에 기준자극보다 강한 비교자극에서 기준자극과 동일한 세기의 진동을 느낀 것으로 나타났다. 다시 말해서 자극이 전달되는 피부의 접촉면이 작을수록, 동일감각점(PSE)을 찾기 위해서는 보다 강한 자극이 필요한 것으로 해석할 수 있다. 이는 또한 자극의 차이를 느끼게 위한 다음 수준의 자극값인 jnd 값이 피부 접촉면이 작은 경우가 피부 접촉면이 큰 경우보다 더 크다는 것이다. 진동 contactor의 수에 따른 jnd 와 CE 값들이 그림 3(d)에 나타나 있다.

3.3. 진동변환주기 (Pulse-Width-Modulaton Duty Cycle)

상대적 민감도에 대한 진동변환주기의 영향은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 진동변환주기에 의하여 결과적으로 나타나는 총 자극시간, 즉 0.5 초와 1 초의 자극시간의 차이는 손에서의 상대적 민감도에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 진동변환주기에 따른 jnd 와 CE 값들이 그림 3(c)에 있다.

3.4. 손에서의 자극 부위 (Hand Locus)

손의 부위가 jnd와 CE에 미치는 유의한 영향은 발견할 수 없었다. 엄지손가락 근처의 손바닥(Te)에서 가장 작은 jnd 값이, 검지손가락의 끝부분(Dp)에서 가장 작은 CE 값이 각각 측정되었으나, 모두 다른 손 부위에서의 값들과 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 즉, 손의 각 부위는 역치 이상의 세기를 가진 자극에 대한 상대적 민감도에서는 모두 비슷한 반응을 보인다는 것을 알 수 있다. 손의 부위별 jnd 와 CE 값들은 그림 3(b)에 나타나 있다.

4. 토의 및 결론

인간의 손에서 피부가 느끼는 상대적 민감

도는 절대 민감도와는 상당히 다른 반응을 보임을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과를 요약하자면, 피부의 상대적 민감도, 즉 역치보다 강한 자극에서의 자극의 세기의 변화에 대한 민감도는 손에서의 부위에 관계없이 진동주파수와 자극면적에 의해서만 영향을 받는다는 것이다.

절대민감도에 관한 여러 연구에서 피부는 손가락 끝 부분에서 진동에 가장 민감한 것으로 보고되었으나 (Verrillo, 1963; 이성일, 1998), 상대적 민감도의 변화는 절대민감도의 변화와는 다른 결과를 보였다. 이는 흔히 신체의 가장 민감한 부분이 자극의 변화에도 민감할 것이라는 추측과는 거리가 있는 결과였다.

저주파수의 진동은 손에서 아주 둔감한 것으로 이전의 절대민감도 연구에서뿐만 아니라 본 연구에서도 재확인되었다. 절대민감도에 관한 과거의 연구에서와 같이 이러한 저주파수의 진동으로는 효과적이고 세밀한 촉각정보의 전달이 적절치 않음을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서 나타난 진동주파수의 효과는 그 주파수가 120 Hz 이상에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 즉, 촉각이라는 감각기관을 통하여 사람의 손에 정보를 전달하고자 할 경우에 사용하여야 할 진동은 그 주파수가 120 또는 240 Hz가 가장 효과적이라는 결론을 재확인시켜주고 있는 것이다.

Contactor의 숫자로 나타난 자극 면적의 효과는 자극 면적이 넓을수록 민감하게 나타났다. 이는 진동 에너지가 contactor의 수만큼 강하게 전달된다면 상대적 민감도 또한 확실히 높아진다고 해석할 수 있다. 이는 자극이 피부에 전달하는 에너지가 비교적 약할 경우, 보다 강한 자극에서 동일감각점(PSE)을 찾는 것으로 해석할 수 있으며, 자극의 차이를 처음으로 느끼기 위하여 필요한 jnd 값이 에너지 전달이 비교적 큰 여러 개의 contactor의 경우보다 크다는 것이 이를 뒷받침해주는 것으로 해석할 수 있다.

저주파수의 진동과 접촉면적이 작은 경우의 피부의 반응이 동일하다는 것에 주의할 필요가 있다. 저주파수의 진동은 진동에 의한 피부와의 접촉회수가 고주파수에 비해 적게 되므로, 피부에 전달하는 진동에너지가 상대적으로 적다. 이는 접촉면적에 의한 진동에너지가 적은 경우와 유사하다고 볼 수 있다. 따라서 역치를 넘어선 상대적 민감도의 측정에서는 서로 유사한 정신물리적인 반응을 나타낼 수도 있는 것으로 여겨진다. 그러나 진동변환주기에 의한 효과가 거의 무시할 만한 것이었다는 점을 고려하면, 접촉 시간이나 면적에 의한 에너지 전달이라는 설명에는 한계가 생긴다. 따라서 절대적 민감도에서의 duplex theory (Verrillo, 1968)와 유사한 시간적, 그리고 접촉 면적에 의한 불연속적인 효과의 일종이라고 보는 것이 타당할 듯하다.

본 연구에서는 역치 반응곡선의 변화율이 자극의 면적뿐만 아니라, 피부 부위에 따라서도 달라짐이 확인되었다. 즉, 자극의 면적이 작아지면서 약하게 촉각을 자극하는 효과는 상대적으로 둔감한 곳을 자극하는 효과와 비슷하다는 것을 알 수 있다. 이렇게 피부 부위의 민감도가 다르다는 사실은 같은 강도의 자극을 손 전체에 일정하게 전달하기 위해서는 각 부위에 따라 전달함수가 각기 다르게 계산

되어야 한다는 사실을 나타낸다. 이를 위하여 각 부위별로 자극이 동일하게 느껴지는 진동에 대한 연구가 역치 뿐만 아니라 그 이상의 세기에 대해서도 보강되어야 할 필요가 있다. 손가락에서는 fingertip이라 불리는 끝 부분이 가장 민감하였는데, 이는 Pacinian corpuscle들이 손가락의 끝 부분에 상대적으로 많이 분포되어 있음을 고려할 때에 다른 손가락에서도 비슷한 반응을 보일 것으로 추측된다 (Bolanowski et al., 1988).

새롭게 개발되는 많은 telerobotic system에서의 exoskeleton 형태의 master controller나 가상현실 시스템에서의 control glove를 촉각으로 제어할 필요가 급속히 대두되고 있음은 인간의 작업특성상 촉각이 제공하는 정보의 피드백이 이러한 시스템의 성공적인 설계에 반드시 필요하기 때문이다. 예를 들어, robotic gripper로 물건을 집어드는 경우에, 이를 조종하는 controller의 엄지와 검지손가락에 물건과의 접촉정보가 전달되지 않고 시각에 의한 정보만이 전달된다면, 물건을 놓치거나 지나치게 큰 힘을 주게 되어 물건의 형태를 파손시키게 된다. 물건과의 접촉에 대한 정보는 역치와 유사한 수준의 촉각적 자극을 손에 가함으로써 충분히 전달할 수 있다. 이럴 경우에 가장 적절하고 자연스러운 촉각 정보는 물론 힘의 형태로 나타난 정보, 즉 force feedback이 되겠지만, 이를 실현시키기 위한 방법은 부피가 크고 무거우므로 이의 대체정보로서 진동의 세기를 힘으로 나타내는 방법이 사용될 수 있다. 본 연구에서 사용된 것과 같은 행렬 형태의 촉각계는 단순히 힘에 대한 정보만이 아니라 더 나아가서 피부에 접촉하는 자극의 모양이나 재질의 형태에 관한 정보를 전달할 수 있다는 장점이 있다. 진동의 형태로 촉각적인 정보를 손의 각 부위에 정교하고 자연스럽게 전달하는 방법은 아직은 매우 복잡하고 어렵지만, 이러한 어려움을 극복하고 정확한 방법으로 촉각 정보를 손에 전달할 수만 있다면, 힘에 관한 정보의 전달과 더불어 보다 현실감 있고 효율적인 촉각계(tactile displays)의 응용이 가능할 것으로 사료된다. 또한, 정상적으로 오감을 사용하여 정보를 전달받을 수 없는 장애인들을 위한 통신체계와 도구의 설계에 있어서도 촉각은 매우 유용하고 귀중한 감각기관이다. 촉각을 활용할 수 있는 신체의 부위도 다른 감각기관과는 달리 매우 넓다는 것 또한 촉각의 상대적인 장점이 될 수 있으므로, 다양한 형태의 활용이 가능하다고 할 수 있다.

본 연구를 통하여 손에서의 진동에 대한 상대적 민감도가 어떠한 변수에 의해 영향을 받는지를 구체적으로 파악할 수 있었다. 특히 본 연구에서는 과거의 연구들이 다루지 않았던 손의 세부적인 부분에서의 상대적 민감도가 진동을 구성하는 변수에 대하여 어떻게 변하는지를 측정하였다. 또한 실제로 손이 물건과의 접촉에서 받게 되는 역치 이상의 큰 힘의 변화에 대해서 피부가 어떻게 반응하는가는 실제상황에서의 응용에서 보다 유용한 자료로 쓰일 수 있다. 이는 절대민감도와 함께 진동식 촉각계를 어떻게 조절해야 정확하고 효과적인 정보의 전달이 가능한가에 대한 중요한 정보를 제공해 줄 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 이 성일, "진동식 촉각 자극에 대한 손의 절대 민감도 반응", 대한인간공학회지, 17(2), 1-10, 1998.

[2] Bolanowski, S. J. Jr., Gescheider, G. A., Verrillo, R. T., and Checkosky, C. M., "Four channels mediated the mechanical aspects of touch." Journal of Acoustical Society of America, 84(5), 1680- 1694, 1988.

[3] Cholewiak, R. W. and Collins, A., "Sensory and physiological bases of touch," In M. Heller and W. Schiff (Eds.), The psychology of touch, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 1991.

[4] Gescheider G. A., Capraro, A. J., Frisina, R. D., Hammer, R. D., and Verrillo, R. T., "The effects of a surround on vibrotactile thresholds." Sensory Processes, 2(2), 99-115, 1978.

[5] Gescheider G. A., Psychophysics:: method, theory, and application, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale. 1985.

[6] Sherrick, C. E. and Cholewiak, R. W., "Cutaneous sensitivity," In K. Boff, L. Kaufman, and J. L. Thomas (Eds.), Handbook of perception and human performance, John Wiley & Sons, New York, 1986.

[7] Vallbo, A. B. and Johansson, R. S., "The tactile sensory innervation of the glaborous skin of the human hand." In G. Gordon (Ed.), Active Touch, Oxford University Press, New York, 1978.

[8] Verrillo, R. T., "Effect of contractor area on the vibrotactile threshold." Journal of the Acoustical Society of America, 35, 1962-1966, 1963.

[9] Verrillo, R. T.,"A duplex mechanism of mechanoreception." In D. R. Kenshalo (Ed.), The skin senses, Thomas, Springfield, IL, 1968.

[10] Verrillo, R. T., "Effects of aging on the sprathreshold responses to vibration." Perception & Psychophysics, 32, 61-68, 1982.

[11] Wilska, A., "On the vibrational sensitivity in different regions of the body surface." Acta Physiologica Scandinavica, 31, 285-289, 1954.