

시-촉각 지연이 실감도에 미치는 영향

The delay effect on reality in visual and haptic presentation

김종화*† · 황민철** · 김영주**

Jonghwa Kim*† · Mincheol Whang** · Youngjoo Kim**

상명대학교 컴퓨터 과학과*†

Division of Computer Science, Sangmyung University, Seoul*†

상명대학교 디지털미디어학부**

Division of Digital Media Technology, Sangmyung University, Seoul**

Abstract : Graphic and sounds are mainly used for presenting digital content as general. It has been reported that the reality of digital contents was improved by adding haptic factor to the contents of graphic and sounds. Therefore, various haptic system have recently been developed for implementing haptic sensation into digital contents. However, the delay of haptic display sometimes happens due to low hardware performance and causes to deteriorate reality of digital contents. The delay effect on reality has been important to be determined for presenting digital contents with haptic system. Therefore, this study is to find the effect on user's cognition of digital contents evoking both visual and haptic sensation. Eight university students performed 4 repetitive tasks of pushing cube under the two conditions of visual and haptic delay. The delay time of each condition were set 0.5, 1.0, 2.0 and 4.0 second. As the result, both haptic and visual delay were negatively influenced user's recognition while visual delay showed more dominant effect on user's recognition than haptic delay.

Key words : Haptic System, Delay, Cognition

요약 : 시각과 청각으로 표현된 디지털 콘텐츠가 감각표현을 확장하려는 연구가 활발하다. 최근에는 촉각 표현이 가능한 다양한 촉각 표현 시스템이 개발하여 촉감을 표현하는 디지털 콘텐츠 개발하고 있다. 하드웨어에 의한 촉각각 표현시 다른 감각과의 동기화가 중요한 표현 요소로 대두되고 있다. 본 연구는 햅틱(haptic)표현이 다른 감각에 비해 표현 지연 발생할 경우 실감도에 미치는 영향에 관한 것이다. 시각 및 햅틱 지연 시간을 0.5, 1.0, 2.0, 4.0(초)로 설정하여 각 지연에 대한 실감도 평가를 실시하여 선형 회귀 분석하였다. 촉각 지연 보다 시각 지연에서 실감도와 상관성을 보였으며 지

† 교신저자 : 김종화(상명대학교 컴퓨터 과학과)

E-mail : rmx2003@naver.com

TEL : 02-2287-5473

FAX : 02-2287-5474

연 시간이 길어질수록 실감도가 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 그러므로 사용자는 촉감 표현에 대한 지연이 시각 지연 보다 관대한 것으로 사료된다.

1. 서론

디지털 콘텐츠의 표현기술은 시각과 청각위주로 발전하여 왔다. 특히 디지털 콘텐츠의 시각 표현기술은 가상현실의 발전으로 인해 실물과 거의 유사하게 표현이 가능한 정도로 발전하였다. 하지만 시각과 청각의 표현만으로는 사실감 있는 디지털 콘텐츠의 표현에 제약이 따른다. 이는 사람이 사실감은 단일 감각이 아닌 복합 감각이 작용하기 때문이다. 특히 촉감은 사실감에 있어서 매우 중요한 요소로 시각적으로 동일하더라도 촉감에 따라 물체에서 받는 느낌은 다르다. 따라서 디지털 콘텐츠의 사실감 있는 표현을 위해 촉각(Haptic)의 표현 기술은 매우 중요하다.

촉각의 표현은 크게 힘감(Force sense 또는 Kinetics sense)과 촉감(Tactile sense)의 두 가지 요소로 이루어진다. 힘감이란 주로 인체의 근육으로 느끼는 감각이며, 촉감이란 피부의 감각기관을 통해 느끼는 감각을 의미한다[2]. 촉각의 표현은 촉각의 느낌만을 제시하여 줄 때 보다 시각적 표현을 함께 제시하여 주는 것이 사실감을 높여 줄 수 있다. 가상현실에서 복합감각과 단일감각을 각각 제시하였을 때 사용자가 인식할 수 있는 Force Direction의 최소 변위각 복합감각일 때 가장 작은 것으로 알려졌다[5]. 따라서 더욱 자연스러운 가상의 물체의 표현이 가능해 진다. 이를 통해 촉각과 시각적 표현을 함께 제시하는 것이 사용자에게 자연스러운 느낌을 줄 수 있다. 그러므로 대부분의 촉각 표현에 관한 연구들은 시각 표

현과 함께 다루어지고 있다[4, 9]. 이러한 관점에서 Virtual Object의 촉각 제시를 위해 Object의 표면을 Rendering 하기 위한 9 가지 요소와 Rendering 방법이 제시되었다[10]. 또한 시-촉각 표현시의 주관적 촉감을 실험을 통해 분석한 결과, 주관적 촉각과 시-촉각 표현 간에 상관성이 있음이 증명되었다[1].

시-촉각표현의 연구는 디지털 콘텐츠 분야 외에도 다양하게 이루어지고 있다. 대표적인 분야로 의료분야를 들 수 있다. 의료분야에서는 차세대 의료 환경으로 원격 진료 환경에 대한 연구가 활발한데, 원격 진료 환경의 핵심은 환자와 떨어진 장소에 있는 의사가 눈 앞에 실제 환자를 진료하는 느낌을 받을 수 있도록 해 주는 것이다. 이를 위해 필수적인 것이 시-촉각 표현이다. 최근 시-촉각 표현이 적용된 원격 진료의 연구 사례로 의사에게 수술 전 시-촉각 재현시스템을 통하여 모의훈련이 가능한 시스템을 구축한 바 있다[7, 8].

현재 시-촉각 표현은 중요한 수술의 정확한 피드백이 가능한 정도로 발전하였다. 하지만 시-촉각의 표현은 복잡적이고 고난이도의 기술로 인해 고성능의 시스템을 요구한다. 따라서 일반적인 보급형 시스템에서는 시-촉각 표현시 지연 현상이 발생할 수 있다. 시각 표현시 지연현상이 발생할 경우와 시-촉각 표현시 시각 지연현상이 발생할 경우 작업수행에 부정적인 영향을 줄 수 있으며, 지나친 시각 표현지연 현상은 멀미를 유발할 수 있다[6, 4]. 따라서 시각 지연 현상이나 촉각 지연 현상의 발생은 실감도에 부

정적인 영향을 줄 수 있다. 하지만 시각 지연, 촉각 지연 현상이 발생할 경우 지연시간에 따른 사용자의 실감도에 관한 연구는 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 지연이 발생할 경우 지연 시간이 실감도에 미치는 영향에 대해 알아보려고 하였다. 또한 앞선 연구 결과에 따라 시-촉각 표현시 시각 지연현상이 발생할 경우 시각 지연과 촉각 지연 중 어느 것이 실감도에 더 부정적인 영향을 미치는지 실험을 통해 검증하였다.

2. 연구 방법

지연이 발생할 경우 지연 시간이 사용자의 인지(실감도)에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 실험을 수행하였다. 이를 위해 필요한 촉각 표현 장치를 제작하고, 이를 이용한 시-촉각 표현 시스템을 구축하였다.

2.1. 실험설계

이전 연구들에 따르면 시-촉각 표현시 감각 표현 지연이 발생할 경우 사용자의 실감도가 감소할 것으로 예상된다. 또한 감각표현 지연시간이 길어질수록 실감도는 낮아질 것으로 예상된다. 이를 검증하기 위해 표 1과 같이 실험을 설계 하였다. 표 1에서 제시된 바와 같이 실험조건은 감각표현의 지연현상이 없는 경우와 촉각 표현시 지연이 발생한 경우 그리고 시각 표현시 지연이 발생한 경우로 나누어진다. 이는 정상적인 표현 동기와 각각의 지연상황을 비교하기 위해서 이다. 시각 표현시 지연과 촉각 표현시 지연 조건에 대해 두 조건 모두 동일하게 0.5, 1.0, 2.0, 4.0(초)의 지연 상황으로 지연시간을 다르게 설정하였다.

표 1. 실험조건

지연 조건		지연 시간(초)
지연 없음		없음
촉각 지연	촉각지연 - 조건 1	0.5
	촉각지연 - 조건 2	1.0
	촉각지연 - 조건 3	2.0
	촉각지연 - 조건 4	4.0
시각 지연	시각지연 - 조건 1	0.5
	시각지연 - 조건 2	1.0
	시각지연 - 조건 3	2.0
	시각지연 - 조건 4	4.0

실험조건에 따른 실험방법은 다음과 같다. 피실험자는 시-촉각 표현 시스템을 통해서 콘텐츠를 체험하고 질문에 응답한다. 콘텐츠는 가상의 큐브를 직진 이동시키는 작업을 수행하도록 제작되었다. 시-촉각 표현 시스템에 대한 자세한 설명은 2.2에 기술하였다. 시-촉각 표현 시스템을 통해 피실험자는 실험에 들어가기 전 정상적인 표현 동기상황을 3~4회 경험한다. 피실험자는 촉각 표현장치를 사용하여 촉각 자극을 느끼고, 모니터의 화면을 주시하여 시각 변화를 느낀다. 피실험자는 시각 변화를 경험한 후 그림 1에서 제시된 실험용 콘텐츠 하단의 슬라이드 바를 움직여 실감도를 평가한다. 실감도가 가장 높은 것이 0점이며 실감도가 가장 높은 것을 10점으로 설정 하였다. 시각 변화는 화면 중앙의 물체가 앞으로 이동하는 것을 표현하였다. 시-촉각 표현 시스템의 배치는 그림 2와 같다. 그림 2에서 좌측에 보이는 LCD 모니터를 통해 시각 표현을 제시하고 우측에 보이는 촉각 표현장치를 통해 촉각 표현을 제시한다. 슬라이드바의 조작은 하단의 마우스

를 왼손으로 조작한다.

실험에 참여한 피실험자는 평균연령 26세의 남, 여 8명을 대상으로 하였으며, 각 피실험자는 9개의 실험조건을 체험하는 것을 1 세트로 하여 총 4 세트를 수행 하였다.

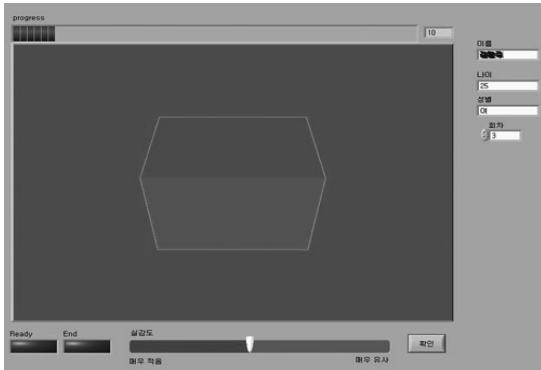


그림 1. 실험용 콘텐츠

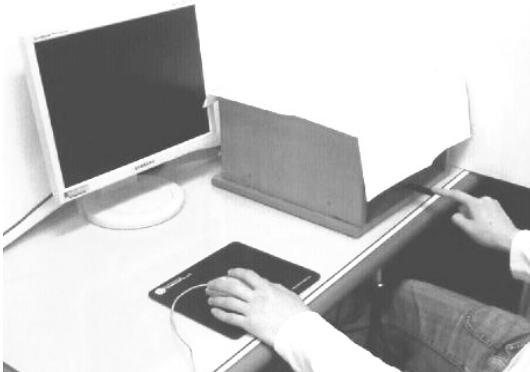


그림 2. 실험 장비의 배치

2.2. 시-촉각 표현 시스템의 제작

시-촉각 표현 시스템은 그림 3과 같다. 그림 3에서 보여지듯이 촉각 표현은 하드웨어를 통해 이루어 진다. 촉각 표현용 하드웨어의 구성은 Motor의 제어를 위해 National Instrument사의 Motion Control Board인

PCI-7390와 Mitsubishi사의 Servo Drive인 MR-J2 Super Series를 연결하여 사용하였다. Motion Control Board는 동작 신호를 분석하여 Servo Drive에 Digital I/O를 전달하는 역할을 한다. Servo Drive는 Digital신호를 Analog신호로 변환하여 촉각 표현용 모터에 전달한다. 촉각 표현용 모터는 사용자가 촉각 피드백을 받을 수 있도록 촉각 표현 장치로 재구성 하였다.

촉각 표현 장치의 구조를 도식화하면 그림 4와 같다. 촉각 표현을 위한 동력원으로는 Mitsubishi사의 Servo Motor인 HC-KFS Series를 사용하였다. 그림 4에서 중앙의 사각형 박스 부분이 Servo Motor이며, 우측 하단의 빗살 부분에서 사용자에게 힘감을 전달한다. 제작한 촉각 표현 장치는 촉각 중 힘감 제시만을 하도록 제작되었다. 촉각 표현의 경우 미세 바늘과 같은 추가적인 하드웨어가 필요하고 기술적으로 구현이 복잡하기 때문에 배제하였다. Motor에서 힘감을 느끼는 부분까지 동력전달을 위해서 래크 기어(Rack gear)를 사용하였다. 래크 기어와 표면 사이의 마찰력으로 인해 발생할 수 있는 힘 손실을 줄이기 위해 바퀴를 사용하였다. Haptic Device는 정격 토크(Torque)로 0.32(N/mm), 순간 최대 토크로 0.95(N/mm)의 출력이 가능하다.

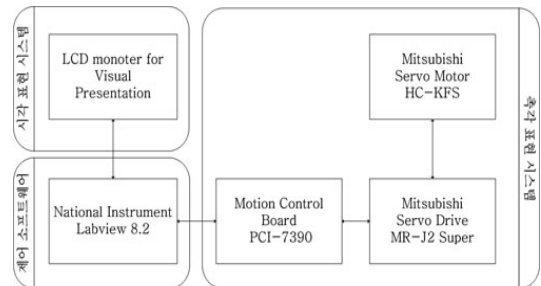


그림 3. 시-촉각 표현 시스템의 구조

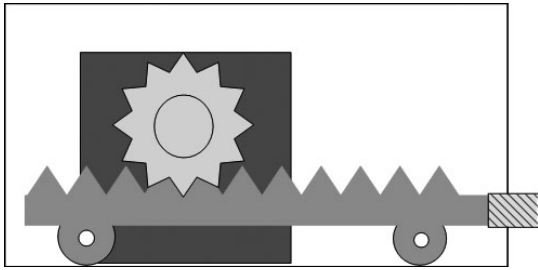


그림 4. 촉각 표현 장치의 구조

2.3. 실험용 프로그램

실험 시 지연조건을 순차적으로 제시할 경우 피실험자가 인지적으로 지연조건이 길어진 것을 감지할 수 있다. 이는 실감도의 응답에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 그러므로 프로그램을 사용하여 지연조건을 임의적으로 조절할 필요가 있다. 실험용 프로그램의 순서도는 그림 5와 같다. 실험용 프로그램은 Database의 실험조건 데이터베이스에서 임의적으로 실험조건을 가져와 시-촉각 표현시스템에 지연 조건을 전달한다. 시-촉각 표현시스템은 지연조건에 따라 시각과 촉각 표현시 잠시 멈추었다가 다시 표현하는 것을 반복한다. 표현 후에는 피실험자의 실감도에 대한 응답을 받는다. 9번의 반복이 종료되면 응답들을 모아 데이터베이스에 저장한다.

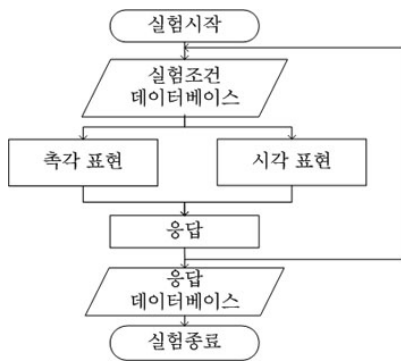


그림 5. 실험용 프로그램의 Flowchart

3. 연구 분석

SPSS를 사용하여 288개의 데이터(8명의 데이터 * 9개의 실험조건 * 4번의 반복실험)에 대해 분산분석과 회귀분석을 수행 하였다. 분석시 독립변수는 시각 지연과 촉각지연 시간이며 종속변수는 슬라이드바를 이용해 입력한 주관적 실감도 점수로 설정하였다.

3.1. 분석 결과

지연시간과 실감도 간의 분산분석 결과 값은 표 2와 같다. 표 2에서 실험조건 A는 촉각 지연 상황이며 실험조건 B는 시각 지연 상황이다. 표 2에서 보이듯이 촉각 지연 상황의 경우 R²값이 0.174로 낮은 결과를 보였다. 반면 시각 지연 상황에서는 R²값이 0.659로 높은 결과를 보였다.

지연시간과 실감도 간의 선형 회귀분석 결과는 표3과 같다. 표 3에서 실험조건 A는 촉각 지연 상황이며 실험조건 B는 시각 지연 상황이다. 표 3에서 보이듯이 지연시간과 실감도 사이에는 촉각 지연 상황과 시각 지연 상황 모두 -0.814와 -1.81로 반비례하는 결과를 보였다. 또한 두 상황모두 p값이 0.001 이하로 99%의 신뢰수준을 보였다.

표 2. 분산분석 결과

실험조건	R	R ²	수정된 R ²	추정값의 표준오차
촉각 지연	0.417	0.174	0.169	2,524
시각 지연	0.812	0.659	0.656	1,855

표 3. 선형 회귀분석 결과

실험 조건	B	SE B	BETA	t	p
촉각 지연 (상수)	-0.814	0.143	-0.417	-5.6	.000***
	6.262	0.296		21.1	.000***
시각 지연 (상수)	-1.81	0.105	-0.812	-17.1	.000***
	8.544	0.217		39.3	.000***

***: p < 0.001

3.2. 결과 해석

표 3에서 제시된 바와 같이 시각 지연 상황은 실감도에 부정적 영향을 미치는 것을 볼 수 있다(p<0.001, B=-1.81). 이를 상관식으로 표현하면 식 1과 같다. 그림 6은 식 1을 그래프로 표현한 결과이며, 그림 1의 작은 원들은 주관응답점수를 표시한 것이다. 분석결과 그림 7과 같이 시각지연시간이 길어질수록 실감도는 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 촉각 지연 상황의 경우 그림 6에 보이는 것과 같이 촉각 지연 시간의 증가와 실감도의 감소 사이에 연관이 없는 것으로 나타났다. 이는 분산분석을 통한 결과를 통해 입증할 수 있다. 분석 결과 촉각 지연 상황에서 실감도는 지연 시간에 유의하지 않는다(R²=0.174). 하지만 시각 지연 상황에서 실감도는 지연 시간에 유의하다(R²=0.656). 이는 독립적 지연 조건에서 촉각 지연 상황에서는 지연시간과 실감도는 유의하지 않고, 시각 지연 상황에서 지연시간과 실감도가 유의한 관계가 있음을 의미한다.

$$T = -1.810 * S + 8.54 \quad (1)$$

T: 주관적 실감도

S: Haptic System Delay

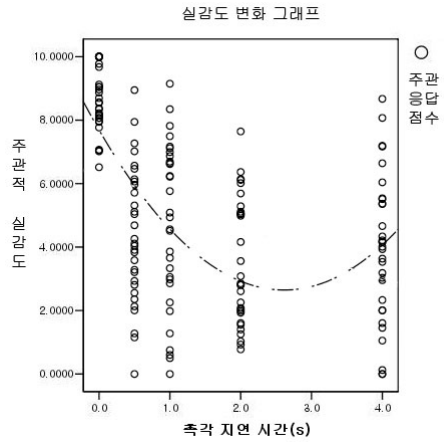


그림 6. 촉각 지연에 따른 실감도 변화

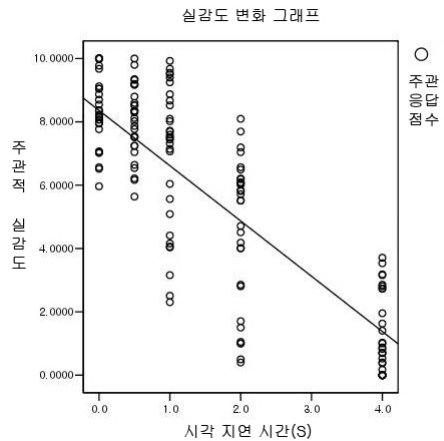


그림 7. 시각 지연에 따른 실감도 변화

4. 결론 및 논의

기존의 디지털 콘텐츠를 표현방법은 시각과 청각에 의존해왔다. 하지만 사물의 인지에는 시각과 청각 이외에 촉각이나 미각 그리고 후각과 같은 오감을 동시에 사용한다. 때문에 사실감 있는 사물 표현을 위해 촉각 표현 방법에 관한 연구가 활발하다. 하지만 촉각

과 시각표현을 제시하는 시-촉각 재현 시스템은 높은 하드웨어의 요구사항으로 인해 지연현상이 발생할 수 있다. 본 연구는 시-촉각 재현 시스템에서 지연현상으로 인해 발생할 수 있는 실감도의 차이를 평가하였다.

지연 현상은 시각과 촉각으로 나누어 실험을 진행하였다. 실험을 위해 촉각 표현 장치를 제작하였으며 촉각 표현 장치를 이용하여 시-촉각 재현 시스템을 구축하였다. 실험은 디지털 콘텐츠를 피실험자가 체험하고 주관적 실감도를 0점에서 10점의 척도의 슬라이드 바를 사용하여 응답하였다. 실험 결과 촉각 지연 상황과 시각 지연 상황 모두 실감도에 부정적 영향을 주었다. 하지만 독립적 지연 조건에서 촉각 지연 상황에서는 지연시간과 실감도는 유의하지 않았고 시각 지연 상황에서만 지연시간과 실감도가 유의하였다. 따라서 시각지연시간이 길어질수록 실감도는 저하되는 것으로 볼 수 있다. 그러므로 멀티미디어 콘텐츠 표현시 시각 표현과 촉각 표현시 지연 상황이 발생한다면 시각 지연 방지가 우선적으로 고려되어야 할 것이다. 사용자는 촉각 표현에 대한 가상적 체험이 익숙하지 않아서 지연에 대한 요구가 시각에 비해 기대치가 낮아서 실감도에 대한 영향을 시각 지연보다 덜 받는 것도 고려할만한 요소이다.

본 연구에서 제시된 디지털 콘텐츠는 연구 목적상 정육면체를 직진 이동시키는 단순한 작업을 수행하도록 제작하였다. 그러므로 본 연구 결과의 적용은 기본적 디지털 콘텐츠에 한정된다고 할 수 있다. 좀더 다양하고 역동적인 디지털 콘텐츠에 시-촉각 지연이 실감도에 미치는 영향은 차후 연구로 진행 될 것이며 그 결과는 흥미로울 것이라고 예상된다. 또한 햅틱 장치의 한계가 극복되어져서 시각표현과 같은 높은 해상도로 촉각이 표현

될 수 있다면 시-촉각 지연은 디지털 콘텐츠의 실감에 끼치는 영향이 섬세할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 이윤정, 황민철, 현혜정, 김영주, 김종화 & 박준석(2007), "주관적 촉감 재현을 위한 Haptic System의 Stiffness Model에 관한 연구.", HCI2007 학술대회.
- [2] 차종은, 김영미, 서용원 & 류제하(2006), "촉각방송", 방송공학회지 제11권 제4호, 118~131.
- [3] Caroline J. & Roger H.(2005), "Delayed Visual and Haptic Feedback in a Reciprocal Tapping Task", First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 655-656.
- [4] Diego R., Krasimir K., & Oussama K.(1997), "The haptic display of complex graphical environments", Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics & interactive techniques, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [5] Federico Barbagli, Kenneth Salisbury, Cristy Ho, Charles Spence & Hong Z. Tan(2006), "Haptic discrimination of force direction and the influence of visual information", ACM Transactions on Applied Perception, ACM Press,

- 125-135.
- [6] Jennings S., Craig G., Swail C. & Kruk R(1999), "Contrasting effects of control system delay and visual system delay on helicopter pilot performance - Preliminary findings", AHS International Annual Forum 55th, 2041-2048.
- [7] Marco A., Andrea G., Enrico G., Gianluigi Z., Antonio Z., Nigel W. J. & Robert J. S.(2002), "Mastoidectomy Simulation with Combined Visual and Haptic Feedback", In J. D. Westwood, H. M. Hoffmann, G. T. Mogel, & D. Stredney (Eds.), *Medicine meets virtual reality*, 17~23.
- [8] Marco A., Andrea G., Enrico G., Gianluigi Z. & Antonio Z.(2003), "Real-time haptic and visual simulation of bone dissection", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* Volume 12 Issue 1, 110~122.
- [9] Roberta, L. K. & J. L. Susan.(2006), "The perceived roughness of resistive virtual textures: I. rendering by a force-feedback mouse", *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, ACM Press. 3(pp1-14).
- [10] Salisbury K., Brock D., Massie T., Swarup N. & Zilles C.(1995), "Haptic rendering: programming touch interaction with virtual objects", *Proceedings of the 1995 symposium on Interactive 3D*

graphics. Monterey, California, United States, ACM Press.

원고접수 : 08/04/16
수정접수 : 08/04/22
게재확정 : 08/04/25