

## 다중 DC모터를 이용한 역감처리

강원찬\*, 김동옥\*, 김원배\*\*, 신석두\*\*\*, 김영동\*

\*조선대학교 제어계측공학과

\*\*송원대학 전기과

\*\*\*조선이공대학 전기과

### Force Display Processing using Multiple DC motors

Won-Chan Kang, Dong-Ok Kim, Won-Bae Kim, Suck-Doo Shin, Young-Dong Kim

\*Dept. of Control & Instrumentation Eng., Chosun University

\*\*Dept. of Electrical Eng., Songwon College

\*\*\*Dept. of Electrical Eng., Chosun College of Science & Technology

#### ABSTRACT

In this paper, we have developed a new Force-Display system using tendon-driven method based multiple DC motors. The proposed system is based on the HIR Lab Haptic library, which calculates the real position and renders the reflecting force data to device rapidly. The system is composed of device based tendon-driving method, high-speed controller and Haptic rendering library. The developed system will be used on constructing the dynamical virtual environment. To show the efficiency of our system, we designed simulation program, which can display the moving force (attaching, grabbing, rotating) on two virtual points. As the result of the experiment, our proposed system shows much higher resolution than any others.

#### 1. 서 론

가상현실(Virtual Reality)이란 컴퓨터 그래픽으로 구현된 가상환경과 인간이 서로 정보를 주고 받을 수 있도록 하는 기술로, 요즘 급진적으로 발달하는 컴퓨터의 성능 향상으로 실제와 흡사한 가상세계를 구축하고 있다. 현재 가상현실 분야에서 실제 환경과 비슷하게 그래픽 처리하는 시각적 요소가 가장 중요하게 취급되어 HMD(Head Mounted Display)의 이용과 CAVE와 같은 3차원 영상 투사 방법으로 사실과 거의 흡사하게 영상표현이 가능해졌다. 최근 들어 가상현실분야의 연구가 많이 진척되어 인간에게 역감 혹은 촉감을 전달하는 장치들

이 속속 개발되고 있다. 기 개발된 장치들을 살펴보면 힘을 전달해주는 장치로 착용형과 비착용형 장치들이 있는데 비착용형의 경우 팬텀(PHANTOM)과 햅틱 마스터(Haptic Master)등의 장치가 상용화의 길로 들어섰고 많은 연구 기관에서도 이와 같은 형태의 역감장치가 개발되고 있다<sup>[1]</sup>. 본 연구에서는 이들 장치의 단점인 디바이스 하나가 한 개의 가상점을 사용해 조작성을 해야하므로 밀거나 당기거나 누르거나 하는 한정된 작업밖에 이뤄지지 못했기 때문에 회전이나 병진운동 등 도구의 조작성을 자유롭게 하기 위해서는 2개의 가상점을 얻어서 작업이 가능한 형태의 디바이스를 설계하였다. 물론 기존 디바이스들도 2개의 디바이스를 이용하면 가능하지만 장비의 단가가 상승하여 효율적이지 못하다. 그러므로 본 연구에서는 동시에 2개의 포인터를 획득하여 보다 자유로운 도구조작성을 위하여 동경공업대의 SPIDAR형<sup>[2]</sup>의 장력형 역감장치를 개발하여 단일 PC에서 그래픽과 힘처리를 수행하고자 한다.

실험방법은 PC에서 가상물체를 생성하고 여기에 여러 가지 재질정보 즉, 점성, 탄성, 마찰력, 질량 등을 부여해 렌더링이 가능한 HIR 라이브러리를 사용하여 데스크탑 가상현실 장치를 구성하고 가상물체를 잡고 움직이는 병진 작업 및 회전작업을 구현하는데 목적이 있다. 따라서 이를 구현할 수 있는 이론적인 시스템 해석과 응용시스템을 구축하여 다양한 응용이 가능하도록 실험을 하였다.

#### 2. 시스템의 해석

##### 2.1 모터의 배치와 위치해석

본 연구에서는 실제 공간에 놓인 손가락 끝의 정보를 입력하고, 가상공간의 역감정보를 제시하는

본 연구에서는 실제 공간에 놓인 손가락 끝의 정보를 입력하고, 가상공간의 역감정보를 제시하는 장치로서 장력형의 역감제시 시스템을 제작하였다. 이 장치는 입방체형의 상자를 만들고 그 각 끝점에 모터, 풀리, 엔코더 세트를 배치한다. 각 풀리에서 실을 뽑아내 4개의 끝점으로부터 나온 실을 그림 1 곳에 연결한다. 실에는 일정한 장력이 모터에 의해 걸려있고 평상시에는 잡아당기는 형태를 취하고 있다. 작업자는 이 그림을 잡고, 3차원 공간 내에서 자유롭게 이동시킬 수 있다. 각 실의 길이를 엔코더에 의해 회전각으로 획득하고 4개의 실 길이로부터 사용자 손가락의 위치를 계산한다. 손가락의 위치정보를 이용해 적절한 힘을 계산하고 모터에 의해 실에 장력을 발생시켜 힘을 사용자에게 제공하는 시스템이다<sup>[3]</sup>. 이 시스템의 특징은 실을 이용하여 3차원 공간 중의 위치를 획득하고 그것을 역감으로 피드백하는데 있다. 실 자체의 질량은 아주 작기 때문에 사용자는 손가락이 가상물체에 접촉하지 않는 상태에서도 장치에 의한 관성력을 느끼지 않고 손가락을 자유롭게 움직일 수 있다. 또한 시각적으로도 비교적 장치가 사용자의 시선을 막지 않는 구조로 되어 있어 높은 몰입감을 배가시키고, 2개의 포인트로 회전 및 병진력을 실현할 수 있다.

끝점의 위치 계측은 손가락 그림에 연결된 실의 길이를 측정하는 것으로 한다. 실은 풀리 축에 결합된 모터에 의해 끌어당기게 되므로 항상 직선적으로 당긴다. 풀리 축에는 회전량을 검출하는 로터리 엔코더가 부착되어있다. 그 회전량과 풀리 직경의 관계에서 실 길이 변화량을 구할 수 있다. 실 길이 초기치에서의 변화량을 카운트하여 실의 길이가 구해진다. 실의 길이를 계측할 때 이용하는 엔코더는 1회전당 500펄스를 출력한다. 그 정보를 4채배해서 1회전당 2000펄스의 정보가 얻어진다. 또 풀리의 직경이 16[mm]이기 때문에 분해능은

$$\frac{360}{2000} [\text{deg}] = \frac{16\pi}{2000} [\text{mm}] = 2.51 \times 10^{-2} [\text{mm}] \quad (1)$$

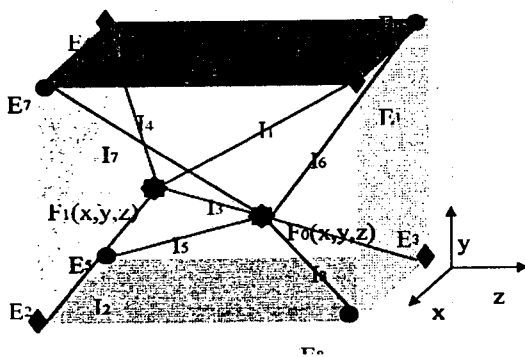


그림 1 손의 위치를 검출할 때의 좌표  
Fig. 1 Coordinate when detect the finger's position

실 4개의 길이를 이용해 손의 위치 좌표  $F(x, y, z)$ 를 계산한다. 그림 1에서 4개의 지점 좌표를  $E_i(a_i, b_i, c_i)$  ( $i=0\sim3$ ), 실의 길이를  $l_i$  ( $i=0\sim3$ )라 한다면 식 (2)가 성립하므로  $F_0(x, y, z)$ 의 좌표를 구하기 위해서 연립 방정식을 세우면

$$\begin{aligned} (x-a)^2 + (y-a)^2 + (z-a)^2 &= l_1^2 \\ (x+a)^2 + (y+a)^2 + (z-a)^2 &= l_2^2 \\ (x+a)^2 + (y-a)^2 + (z+a)^2 &= l_3^2 \\ (x-a)^2 + (y+a)^2 + (z+a)^2 &= l_4^2 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 가감법을 이용해 다음과 같이 한쪽 손의 좌표  $x, y, z$ 에 대한 3개의 1차식 식(3)을 얻는다.

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{1}{8a} (-l_1 + l_2 + l_3 - l_4) \\ y_0 &= \frac{-1}{8a} (l_1 - l_2 + l_3 - l_4) \\ z_0 &= \frac{-1}{8a} (l_1 + l_2 - l_3 - l_4) \end{aligned} \quad (3)$$

이와 같이 첫 번째 엔드 포인트 좌표를 구할 수 있으며,  $F_1(x, y, z)$ 를 구하면

$$\begin{aligned} (x+a)^2 + (y+a)^2 + (z+a)^2 &= l_5^2 \\ (x+a)^2 + (y-a)^2 + (z-a)^2 &= l_6^2 \\ (x-a)^2 + (y-a)^2 + (z+a)^2 &= l_7^2 \\ (x-a)^2 + (y+a)^2 + (z-a)^2 &= l_8^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{1}{8a} (l_5 + l_6 - l_7 - l_8) \\ y_1 &= \frac{1}{8a} (l_5 - l_6 - l_7 + l_8) \\ z_1 &= \frac{1}{8a} (l_5 - l_6 + l_7 - l_8) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (4) (5)와 같이 두 번째 엔드 포인트 좌표를 구한다.

## 2.2 회전 및 병진에 대한 해석

자유도를 주기 위해 실의 끝에 그림을 부착하고 이 위치와 자세를 8개의 실 길이로부터 구할 때 다음과 같은 알고리즘을 이용한다. 실 길이의 측정은 아주 짧은 시간에 행하는 것이고, 실 길이의 미소변화를 계측하면 그림의 위치와 자세의 미소변화를 구하는 것이 가능하다. 다시 말해 첫 번째 샘플링 시간  $t$  일 때 8개 실의 길이와, 미소 시간 후인 두 번째 샘플링 시간  $t + \Delta t$  일 때의 8개 실 길이의 변화량으로 그림의 위치와 자세의 미소변화를 도출하게 된다. 이 방법은 미소변위(微少變位)전에 그림의 위치를 기준점으로 미소변위 회전행렬을 이용해 미소변위 후의 위치로 이동시키는 방법이다. 그림은

실제 프레임의 8개 끝에 위치한 각각의 모터 풀리(pulley)에 연결된 실에 의해 고정되어 있고, 우리는 단지 실 길의 변화량만을 얻어 위치를 측정할 수 있다.  $i$ 번째의 프레임의 정점에서  $j$ 번째의 그림의 정점까지 실의 길이에 관계식에서

$$\begin{aligned} \|l_i\|^2 &= \|F_i - G_j\|^2 \\ &= \|F_i - R(\theta_x, \theta_y, \theta_z)p_j - r\|^2 \\ &= \|F_i - p_j - r\|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

가 성립되고, 단,  $F_i$ 는 프레임의 실 번호,  $G_j$ 는 그림의 실번호,  $R$ 은 회전행렬,  $r$ 은 그림의 반지름,  $i=1\sim 8$ ,  $j=a_i(i=1\sim 8)$ 이고,  $a_1, a_2, \dots, a_8$ 은 1, 2,  $\dots$ , 8의 치환을 할 수 있게 된다. 그림의 위치와 자세가 변했을 때, 엔드 포인트인 그림의 위치가 변하고, 자세도 변화하므로 이를 식으로 표현하면 식 (7)과 같이된다.

$$\|l_i + \Delta L_i\|^2 = \|F_i - R(\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z)p_j - (r - \Delta r)\|^2 \quad (7)$$

단,  $\Delta r = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)^T$ 이다.

$$R(\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z) = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\theta_z & -\Delta\theta_y \\ -\Delta\theta_z & 1 & \Delta\theta_x \\ \Delta\theta_y & -\Delta\theta_x & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

단,  $\Delta l_i = (\Delta l_{ix}, \Delta l_{iy}, \Delta l_{iz})^T$ 로 된다. 식 (7)의 좌변은

$$\begin{aligned} \|l_i + \Delta L_i\|^2 &= \|l_i\|^2 + 2l_i \cdot \Delta l_i + \|\Delta l_i\|^2 \\ &\approx \|l_i\|^2 + 2l_i \cdot \Delta l_i \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} R(\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z)p_j &= \begin{pmatrix} p_{jx} & +\Delta\theta_z \cdot p_{jy} & -\Delta\theta_y \cdot p_{jz} \\ -\Delta\theta_z \cdot p_{jx} & +p_{jy} & +\Delta\theta_x \cdot p_{jz} \\ \Delta\theta_y \cdot p_{jx} & -\Delta\theta_x \cdot p_{jy} & +p_{jz} \end{pmatrix} \\ &= p_j + p_j \times \Delta\theta \end{aligned} \quad (10)$$

단,  $\Delta\theta = (\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z)^T$  이고, 식 (7)의 우변은

$$\begin{aligned} \|F_i - R(\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z)p_j - (r - \Delta r)\|^2 &= \|F_i - (p_j + p_j \times \Delta\theta) - r + \Delta r\|^2 \\ &= \|F_i - p_j - r - p_j \times \Delta\theta + \Delta r\|^2 \\ &= \|l_i - p_j \times \Delta\theta + \Delta r\|^2 \\ &\approx \|l_i\|^2 + 2l_i \cdot \Delta r - 2l_i \cdot (p_j \times \Delta\theta) \\ &= \|l_i\|^2 + 2l_i \cdot \Delta r - 2(l_i \times p_j) \cdot \Delta\theta \end{aligned} \quad (11)$$

로 된다. 위에서

$$\|l_i\|^2 + 2l_i \cdot \Delta l_i = \|l_i\|^2 + 2l_i \cdot \Delta r - 2(l_i \times p_j) \cdot \Delta\theta \quad (12)$$

$$l_i \cdot \Delta r + (p_j \times l_i) \cdot \Delta\theta = l_i \cdot \Delta l_i \quad (13)$$

로 된다. 최소자승법에 의해 미소변위를 도출하면

$$\Delta x = (A^T A)^{-1} A^T \cdot \Delta l \quad (14)$$

단,  $w_i = (l_i^T, (p_j \times l_i)^T)^T (\in R^6)$ ,  $A = (w_1, w_2, \dots, w_8)^T (\in R^{8 \times 6})$ ,  $\Delta l = (L_1 \cdot \Delta l_1, L_2 \cdot \Delta l_2, \dots, L_8 \cdot \Delta l_8)^T (\in R^8)$  식 (14)로 그림의 위치와 자세의 미소변위를 구할 수 있다.

### 2.3 역감제시

그림에 대해 임의의 방향과 크기의 합력을 발생 하는 방법과 4개 실에 장력을 분배하는 알고리즘을 살펴보면

- (1) 손끝의 위치를 F로 하고, F에서 각 실 방향의 단위 벡터를  $a_i$  ( $i=0\sim 3$ ), 생성된 힘 벡터를  $f$ 로 한다. (그림 2 참조)
- (2) F 주변의 공간은 4개의 실 위의 3개를 선택하고 F를 정점으로 하는 삼각뿔영역 4개로 나뉜다.  $f$ 와 각  $a_i$ 와의 내적을 구하고, 부(負) 계수를 가진 단위 벡터 방향을 제거하고,  $f$ 의 포함된 1개의 삼각뿔영역을 선택한다. (그림 2에서는  $a_1, a_2, a_3$ 로 이루어진 삼각뿔 영역),  $f$ 는 이 삼각뿔을 이루는 3개  $a_i$ 의 정계수의 1차 결합으로 표시한다.

$$f = k_1 a_1 + k_2 a_2 + k_3 a_3 \quad (15)$$

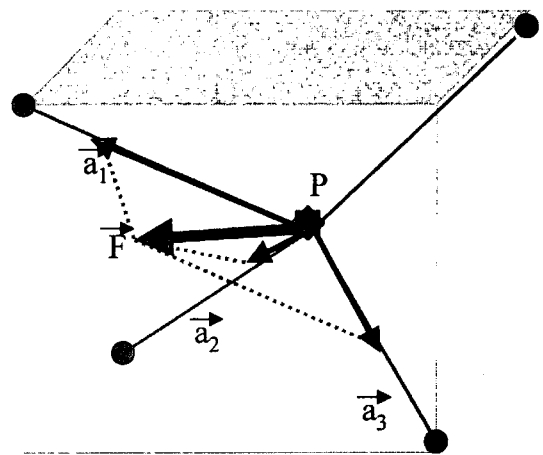


그림 2 실 장력 합성에 의한 역감정보의 생성  
Fig. 2 Force processing of composition in wire tension

단,  $(k_i > 0, i \in [0, 1, 2, 3], i=1 \sim 3)$  실수  $k_i$ 을 구하려면 각 실에 할당된 거듭제곱장력의 크기를 결정하면 된다. 단, 실의 장력만큼 발생하지 않을 때는 임의의 방향에 합력을 발생하는 역감정보 생성가능영역은 4개의 지점으로 되는 4면체의 내부만이다. 그러므로 모터로 힘을 출력하기 위해서는 식 (15)을 이용해 출력하면 된다. 모터의 토크와 전류의 크기는 비례관계가 있으므로 실험에서는 모터에 흐르는 전류를 제어하는 것으로 모터의 출력 다시 말해 실의 장력을 제어하는 것이 가능하다. 본 시스템은 OP앰프를 이용한 정전류 회로를 사용하여 모터의 토크를 제어한다. 가상평면에서 제시할 힘(식 (15))이 결정되면 8개의 모터로 그 힘을 분배하여 사용자가 화면에서 보는 방향으로 힘을 느껴야 한다. 따라서 회전과 병진력까지 고려했을 때 그룹에 대한 역감제시를 하는 역감 벡터(병진력, 회전력)  $q (\in R^6)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$q = (f^T, m^T)^T \quad (16)$$

$e_i (i=1 \sim 8) (\in R^6)$ 을 각각의 실이 제시 가능한 단위 역감벡터라 하고

$$e_i = (f_{ix}, f_{iy}, f_{iz}, m_{ix}, m_{iy}, m_{iz})^T = (u_i^T, (p_i \times u_i)^T)^T \quad (17)$$

로 된다. 여기서 행렬 B를

$$q = B = (e_1, e_2, \dots, e_8) (\in R^{6 \times 8}) \quad (18)$$

이므로 모터에 출력할 토크는 식 (19)로 계산할 수 있다.

$$\tau = C^{-1}A(A^T A)^{-1}q \quad (19)$$

$$\text{단, } C^{-1} = \begin{pmatrix} \|l_1\| & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \|l_2\| & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \|l_8\| \end{pmatrix}$$

### 3. 시스템구성 및 실험

#### 3.1 시스템의 전체 구성

시스템은 그림 3과 같다. 본 시스템에서는 펜티엄 II 450 CPU를 탑재한 PC 1대를 이용하였다. 이 PC로 화상정보의 제시와 역감정보의 제시를 수행한다. 화상정보는 기존연구에서와 같이 PC로 3차원 컴퓨터 그래픽을 구축하고 컴퓨터 모니터에 표시한다<sup>[4]</sup>. 위치정보의 계측과 역감정보의 제시는 자작한 디바이스를 이용한다. 위치정보는 디바이스에 부착된 모터에 로터리 엔코더의 출력치를 카운터

보드에서 카운트하여 그 값을 PC에 제공한다. 역감정보는 계산된 출력값을 12비트 D/A 컨버터에 보내고 1~10[V] 내의 제어 값으로 변환한 후 정전류 회로를 이용하여 모터를 구동하는 방식을 취하고 있다. 이 경우 화상 및 역감 정보 갱신의 조합 상호처리를 이용하고 있어서 자연스러운 역감 제시에 필요한 갱신 주파수 1[kHz]를 만족하는 것이 불가능하다. 또한 분산처리를 이용하면 그 가격이나 크기 면에서 개인용으로 사용하는 시스템으로는 부적당하다. 본 시스템에서는 그래픽 렌더링과 햅틱 렌더링을 분산 처리하는 구조를 채용하였다.

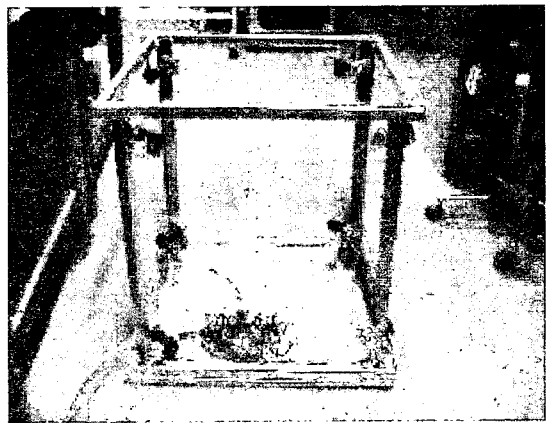


그림 3 시스템의 구성  
Fig. 3 Composition of system.

#### 3.2 하드웨어 구성

그림 4에 시스템의 하드웨어 구성을 보였다. PC 1대에 카운터 보드는 ISA 방식의 CONTEC사의 CNT24-4(PC) 2개, D/A 보드는 CONTEC사 DA12-8L(PC) 1개를 설치하였다.

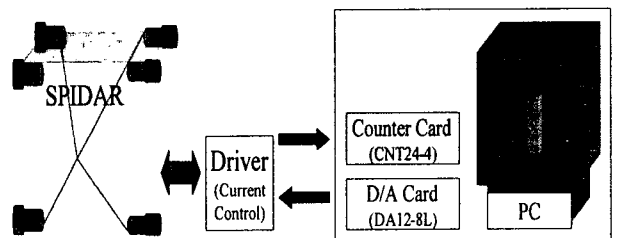


그림 4 하드웨어 구성  
Fig. 4 Composition of hardware

위치정보는 디바이스에 부착된 모터의 로터리 엔코더의 출력값을 카운터보드에서 카운트하고, PC에서 그 값을 읽어 들여 그 정보를 실의 길이로 변환하는 것을 수행한다. 8개의 로터리 엔코더의 출력값은 로터리 엔코더와 카운터 사이의 드라이버에

서 담당한다. 이 부분에서 로터리 엔코더를 구동하기 위한 전력이 공급된다. 모아진 출력 값은 모터 번호 0~3, 모터번호 4~7의 2개에 모아지고, 2장의 카운트 보드에 보내진다.

DA 보드는 12비트의 8채널의 입력 데이터를 전압출력으로 변환하는 기능을 갖고 있다. 출력 범위는 0~10[V]를 사용하여 전류변환치를 제어하고, 출력은 변환을 시작했을 때부터 10[ $\mu$ s]에서 이미 정해진 값에 도달한다. 본 시스템에서는 출력 값을 전체의 채널로 출력후 동시에 드라이버가 전압출력을 행하는 방법을 이용하였다. 모터는 MAXON사의 DC 모터로 모터 지지대에 의해 프레임에 고정되어 있다. 모터에는 풀리가 부착되어 여기에 실이 감겨져 있다. 모터 지지대는 두랄미늄을 이용하였고 풀리에서 실이 외부로 나오지 못하게 하는 구조로 되어 있다. 풀리는 직경 16[mm]의 두랄미늄이다. 실은 시판하는 실 중에서 힘을 주었을 때 거의 늘어나지 않는 것을 선택했다. 또한 전체를 고정하는 프레임은 길이 50[cm]의 입방체형의 철재 프레임으로 구성하였다.

### 3.3 소프트웨어의 구성

소프트웨어 구축에 사용된 프로그램은 HIR 라이브러리를 사용하여 Direct X 기반의 3D 그래픽처리를 수행하는 그래픽 프로세스와 위치를 얻고 힘을 출력하는 역감처리 프로세스로 구성되어 있다<sup>[4]</sup>. 이 두 개의 프로세스를 관리하는 월드매니저인 관리 프로세스가 인터럽트 주기에 따라 각 프로세스를 호출하여 힘 처리를 수행하고 있다. 모든 알고리즘들이 라이브러리로 구축되어 있으므로 사용자는 단순히 프로그램시 컨스트럭터 부분에 장치선언만 하면 라이브러리에서 자동으로 장치를 인식하고 가상장치드라이버인 VxD를 호출하여 제어할 수 있도록 구성하였다. 물론 그래픽 표현은 사용자 편의를 위해 처음 초기위치와 재질정보들만 정의하면 관리 프로세스가 프로그램 수행중에 기 정의된 가상환경 변수들에 의해서 최적의 환경을 구축하고, 사용자에게 의한 작업을 하도록 지원된다. 특히 기존에 비해 마찰력과 중력, 원심력, 질량 등을 정의할 수 있어 천천히 움직일 때와 빠르게 움직였을 때, 가상객체끼리의 충돌 등도 구현이 가능하다. 이는 라이브러리에 포함된 알고리즘에 의해 처리되는데 중요한 알고리즘을 살펴보면 힘 처리는 프락시 가상점을 통해 God-Object방법<sup>[5]</sup>에 의해 힘을 처리하고, 그래픽 처리에서 안정성을 높이고 정확한 위치 데이터로 갱신시키기 위해 역적 알고리즘이 적용되었다<sup>[6]</sup>. 최신의 충돌 검출 기법인 PQP방법이 추가되어 사용자가 충돌검출 기법을 선택할 수 있도록 구축되어있다<sup>[7]</sup>.

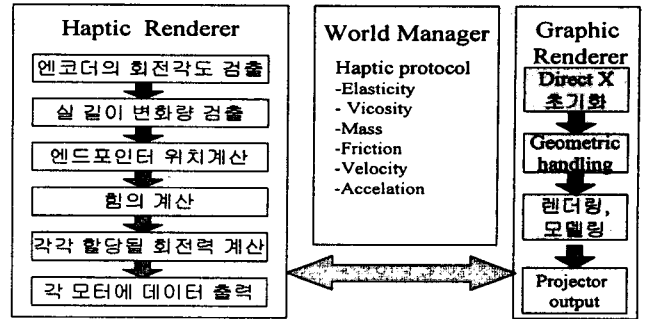


그림 5 소프트웨어의 구성  
Fig. 5 Composition of Software

그림 5에 이 라이브러리를 이용해 작성된 응용프로그램의 수행과정을 표시하였다. 특히 역감처리와 그래픽 처리의 인터럽트 주기를 앞서의 연구에서처럼 1[kHz]의 역감처리와, 30[Hz]의 그래픽 처리를 하도록 실현했다<sup>[8]</sup>. 따라서 본 시스템은 이 인터럽트 주기의 조건에서 5000개의 폴리곤으로 구성된 모델까지 처리할 수 있었다.

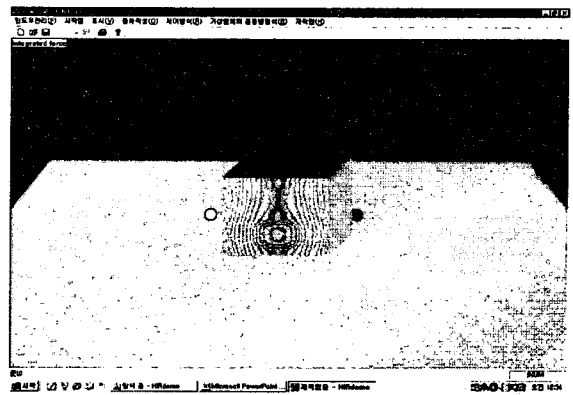


그림 6 시뮬레이션 프로그램  
Fig. 6 Program of simulation.

그림 6에 시스템을 구축하고 실험하는 프로그램을 보인다. 시뮬레이션 프로그램에서는 일반적인 역감장치를 인터페이스 할 수도 있지만 장력을 이용한 역감 제시시스템의 특징인 회전 및 병진운동 실험을 수행할 수 있도록 하였다. 화면에 보이는 작은 점은 디바이스의 끝점 즉, 사용자의 엄지와 검지손가락의 끝점을 의미한다. 두 손가락을 이용하여 물체를 잡고 움직이고, 회전시키고, 던지고 잡아당기는 등의 실험을 할 수 있으며 정확한 힘 처리를 할 수 있음을 알 수 있다. 그림 7에는 강성이 큰 가상물체를 설정하고, 출력을 잡은 결과이다. 각 과형에서처럼 어느 정도의 천이시간동안 알고리즘에 의해 처리된 출력이 목표치에 도달하는 것을 제한하는 것을 볼수 있는데 이 출력의 결과는 약간의 구속력을 지닌 나무느낌을 가공했을 때의 출력 결과이다.

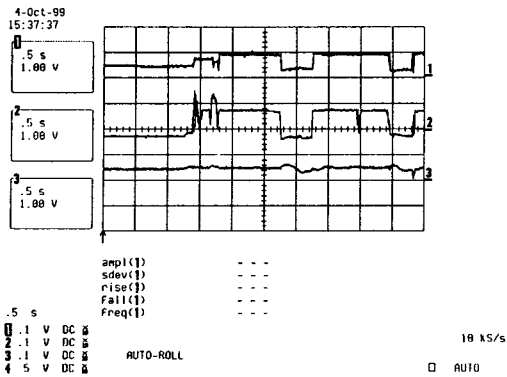


그림 7 모터출력  
Fig. 7 Output of motor

그림 6의 프로그램을 이용하여 화면 중앙에 보이는 가상객체에 탄성, 점성, 무게를 크게 변화시켜가며 피험자 100명에게 제시한후 가상객체를 만진 다음 그 인지결과를 조사한 결과를 표 1에 보인다. 표 1에서 탄성력을 변화시켜 튕겨내는 스프링 느낌을 주어 실험하였고, 그 결과 인지도는 95%정도를 보였으나 점성력 실험에서는 89%로 점성은 탄성력보다 적게 인지하는 결과를 보였다. 그러나 무게감 실험 즉, 가상물체에 무게를 주고 들어보게 하는 실험에서는 대다수의 사람이 무게를 느끼는 결과를 보였다. 그러므로 90%이상이 가상객체의 느낌을 전달받고 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

표 1 실험결과  
Table 1 Results of experiment

실험 \ 검출	인지	약간인지	미인지
탄성력실험	85%	10%	10%
점성력실험	74%	15%	11%
무게감 실험	93%	7%	0%

#### 4. 결 론

일반적인 역감장치에 있어서는 1개의 엔드포인트를 얻어 단순히 밀거나 만지는 등의 작업만을 수행할 수 있었다. 보다 진보된 장치의 경우는 도구를 부착하여 자르는 작업등을 구현하기는 하나 물건을 집어서 옮기거나 자유로운 회전 및 병진운동 등을 구현하기는 힘들다<sup>[8]</sup>. 따라서 본 연구에서 개발된 다중 DC 모터를 이용한 실의 장력제어방식을 이용한 역감장치는 위에서 제시된 문제점을 해결하여 자유로운 회전 및 병진작업을 수행할 수 있어 가상

도구의 조작성을 높이고 운동 범위도 매우 넓어 기존 장치들이 응용부분에서 좁은 운동범위에서의 응용이 가능한 수술 시뮬레이터 등에 이용되는데 반하여 본 시스템은 모터의 부착위치의 조절만으로 자유롭게 운동 범위도 확장시킬 수 있어 운동 시뮬레이터나 재활기구 등에 쉽게 응용할 수 있다.

앞으로의 연구에서는 PC급의 실시간 처리에서 계산속도의 한계로 인해 처리 가능한 가상객체의 폴리곤수가 5000개 이내에서만 가능하던 한계를 탈피하여 1[kHz]의 인터럽트 주기에 수만개의 폴리곤으로 구성된 가상환경을 처리하도록 구축해야한다. 이 개선을 위해선 고속제어기에 의한 입출력 속도의 개선과 빠른 충돌 검출 및 힘 처리 알고리즘이 최적화 되어야하며, 고성능의 PC에서 프로세스의 분산처리 기법이 보완되어야한다. 따라서 보다 자연스러운 가상 환경을 구축하고 인간에게 거부감을 주지 않는 완벽한 가상세계와의 인터페이스를 제공할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Thomas Massie and J. Kenneth Salisbury, "The PHANToM haptic interface A device for probing virtual objects. In Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Tele operator Systems," Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting. IL, 1994, November.
- [2] S. Kim, W. Somsak, M. Ishii, M. Sato, "Personal VR system for rehabilitation to hand movement." IACT 98, pp. 102~108, Tokyo, 1998.
- [3] R. E. Ellis, O. M. Ismaeil, and M. G. Lipsett, "Design and Evaluation of a High Performance Haptic Interface," Robotica. Vol. 4, pp. 321~327, 1996.
- [4] 강원찬, 김동욱, 신석두, 김영동. "3자유도 힘반향 역감장치" 전력전자학회 논문지 Vol. 4 No. 5, pp. 455~461, 1999.
- [5] Zilles C., Salisbury J. K., "A constraint based god-object method for haptic display," Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and System, 1995.
- [6] S. Hasegawa, M. Ishii, M. Sato, Y. Koike, "Haptic Interface protocol for complex dynamic virtual world", ICAT98, pp. 83~89, 1998.
- [7] Craig Zille, "Haptic Rendering with the Toolhandle Haptic Interface," Master's thesis. Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Mechanical Eng., 1995, May.
- [8] Thomas H. Massie, "Virtual Touch Through Point Interaction," The 6th Int. Conf. on Artificial Reality and Tele-Existence. JAPAN, pp. 19~38, 1996, November.