

# End-effector의 위치정보를 이용한 중간관절의 실시간 위치 생성

이란희\*, 김성은, 박창준, 이인호  
ETRI, 가상현실연구부, 모션정보연구팀

## Real-time Position Generation of Intermediate Joints Using Position Information of End-effector

Ran-Hee Lee, Sung-Eun Kim, Chang-Joon Park, and In-Ho Lee  
Motion Information Research Team, VR center, ETRI  
E-mail : [lrh62918@etri.re.kr](mailto:lrh62918@etri.re.kr)

### 요 약

본 논문에서는 실시간으로 사람의 움직임을 캡처한 영상으로부터 추출된 end-effector의 3차원 위치정보를 이용하여 중간관절의 위치를 생성하는 방법에 대해 기술한다. 이 시스템은 동작자의 좌, 우 전방에 위치한 동기화된 2대의 컬러 CCD 카메라로부터 입력된 스테레오 영상을 분석하여 신체의 중심이 되는 루트와 머리, 손, 발과 같은 end-effector의 특징점을 추출하여 3차원 위치정보를 생성한다. 생성된 루트와 end-effector의 위치정보를 역운동학 알고리즘에 적용하고, 인체 관절의 해부학적인 제약조건을 고려하여 중간관절의 위치를 정밀하게 계산한다. 중간관절의 위치를 생성하므로써 동작자의 모든 관절의 움직임 정보를 실시간으로 획득이 가능하며, 모션데이터로 생성할 수 있으므로 게임이나 애니메이션등 다양한 멀티미디어 분야에서 이용할 수 있다.

### 1. 서론

캐릭터 애니메이션 분야에서는 인체의 관절이 가지는 많은 자유도(degree of freedom)에 따른 행동을 자연스럽게 표현하기 위한 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 최근 들어, 사람의 몸에 직접 마커나 센서를 부착하고 동작하므로써, 사람의 움직임을 시간에 따른 공간상의 주요 위치 데이터로 기록하는 기술인 모션캡처(Motion Capture)가 등장하였다.

이 기술에는 크게 적외선 마커를 사람의 몸에 부

착하고서 여러 대의 카메라를 이용해 움직임을 캡처하는 적외선 모션캡처 방법과 마그네틱 센서를 인체에 부착하여 센서로부터 움직임 정보를 입력받는 마그네틱 모션캡처 방법으로 구분할 수 있다.

이러한 모션캡처 방법은 인체 또는 동물체의 몸에 마커나 센서를 직접 부착하여 움직임 정보를 취득하기 때문에 사람의 수작업으로 이루어지던 키프레임 작업 보다 사실적인 움직임을 재현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 이 방식은 인체에 부착되어지는 센서나 마커로 인해 동작자의 행동에 많은

제약이 따르게 된다. 또한 캡처된 데이터를 캐릭터에 적용하기 위해서는 유실된 마커 정보나 노이즈에 대한 편집 과정이 필요하며, 캡처 장비가 매우 고가여서 특정한 움직임에 대한 데이터를 개별적으로 얻기에는 경제적인 부담이 따른다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점의 해소 방안으로 동작자가 센서나 마커로 부터 자유로워 지면서 동작자의 동작에 대한 모션 데이터를 생성할 수 있는 방법으로 비전 시스템을 이용해 동작자의 특정 부분의 동작을 추출해 내는 마커프리(Marker-free) 모션캡처 분야는 상대적으로 정밀도가 떨어짐에도 불구하고, 동작자에게 장비 부착의 불편함과 행동에 제약을 주지 않는다는 이유에서 꾸준히 연구되고 있다.[4,5]

그러나 이러한 비전 시스템은 인체의 모든 관절에 대한 정보를 추출해 내는 데 한계를 가지고 있다. 그러므로 영상에서 추출된 정보를 이용하여 추출되지 않는 관절의 정보를 생성해 내기 위한 연구가 병행되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 연구의 일환으로 마커프리 모션캡처 시스템인 “MIMIC(Motion Interface & Motion Information Capture System)”과 본 시스템에서 사용된 영상에서 추출되지 않는 관절의 위치 추정을 위한 알고리즘을 소개한다. 본 논문의 주요 내용은 중간관절의 위치 추정에 대한 알고리즘이므로, “MIMIC”에 대한 소개는 2 절에 간단히 기술한다. 3 절에서는 루트와 end-effector 의 3 차원 위치 데이터를 역운동학 이론에 적용하여 영상에서 추출되지 않는 관절의 위치를 추정하는 알고리즘에 대해 소개한다. 그리고 4 절에서는 생성된 루트와 end-effector 의 위치 정보와 역운동학 이론에 의해 추정된 다른 관절의 위치정보를 가상 캐릭터에 적용하므로써 생성되는 움직임 결과를 보이고, 마지막으로 5 절에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

## 2. MIMIC

MIMIC 은 그림 1(a)에 보이는 바와 같이 동작자의 전방 좌,우에 위치한 2 대의 컬러 CCD 카메라와 각 카메라와 연결되어 있는 2 대의 클라이언트 PC, 그리

고 그림 1(c)처럼 위치정보를 캐릭터에 적용한 결과를 보여주기 위한 1 대의 서버 PC로 구성되어 있다.

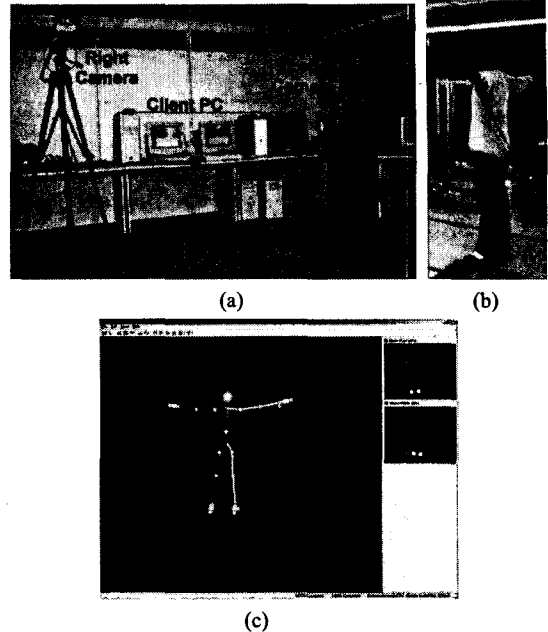


Figure 1 The System “MIMIC”  
(a) 클라이언트 부분, (b) 동작자,  
(c) 서버 부분

영상을 취득하기 위해 동작자는 그림 1(b)에 보이는 것처럼 양팔을 옆으로 벌린 자세를 초기 자세로 취한다.

클라이언트에서는 입력된 영상을 분석하여 서버에 신체의 중심이 되는 중심점(root)과 머리, 손, 발(end-effector)과 같은 신체의 특징점을 추출하여 서버로 전송한다. 서버에서는 클라이언트로부터 전송되어진 2 차원 특징 정보를 이용하여 3 차원 정합하므로써 루트와 end-effector 의 3 차원 위치정보를 생성하고, 생성된 루트와 end-effector 의 위치정보와 각 관절과 관절을 잇는 세그먼트의 길이 정보를 이용하여 취득 되지 않은 다른 관절의 위치정보를 생성하여 가상 캐릭터에 적용시키므로써 동작자의 동작과 유사한 동작을 생성한다.

“MIMIC” 은 일반 모션 캡처 방법의 단점을 해소 하면서 동작자의 움직임 데이터를 쉽게 생성 할 수 있는 기술 개발을 목표로 한다. [1,2,3]

### 3. 중간관절의 3차원 위치

영상으로부터 추출되지 않는 팔꿈치, 무릎, 목과 같은 중간관절의 3 차원 위치를 추정하기 위해서 역 운동학(Inverse Kinematics)이론을 기반으로 삼는다. 역운동학은 공학적으로 잘 정의되어진 매니플레이터의 기준 좌표계에 대한 end-effector의 위치와 자세가 주어진 경우 중간 관절의 회전각을 구하는데 주로 사용되었다.

본 논문에서는 영상으로부터 추출된 end-effector의 3 차원 위치정보와 세그먼트 길이를 입력하고, 이 end-effector의 축과 활동반경을 따라 중간 관절의 위치를 계산한다. 실시간 구현을 위하여 다소 복잡한 동역학적 방법 대신 수학적 해를 통하여 쉽고 빠른 방법으로 구현한다.[6,7,8,9,10]

사람의 신체구조는 그림 2에 정의된 것처럼 관절과 관절은 세그먼트들로 서로 연결되어 있다. 그리고 각 관절은 계층적 트리 구조를 이루는 상대 좌표계로 표현하는데, 이는 각 관절의 자세를 상위 부모 관절의 좌표계에 대한 상대적인 값으로 표시하는 것이다. 이와 같이 인체 구조가 계층적 트리 구조로 되어 있을 경우, 상위 관절의 회전 각도와 세그먼트의 길이를 안다면 하위 관절의 위치를 추정할 수 있다.

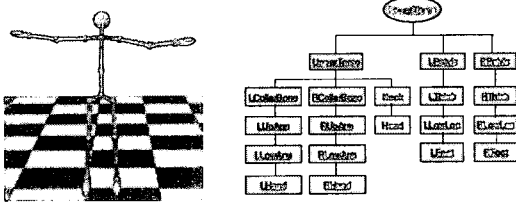


Figure 2 Hierarchical tree structure of human body

그림 3에 보이는 것처럼, 어떤 object가 상위 세그먼트와 하위 세그먼트로 이루어져있고 두 관절  $J_0$ 과  $J_2$ 는 중간 관절  $J_1$ 에 의해 연결되어 있을 경우,  $L_1$ 은 상위 세그먼트의 길이를,  $L_2$ 는 하위 세그먼트의 길이를,  $L_3$ 은 상위관절의 기준점에서 하위관절의 끝점(end-effector)까지의 거리를 정의한다.

만약, 거리  $L_3$ 이 상위 관절과 하위 관절의 세그먼트

트 길이를 합한  $L_1 + L_2$ 보다 크다면 중간 관절은 가능한 범위 내에서 반듯이 펴고 있는 상태가 된다. 이와 반대로  $L_3$ 이 너무 작다면 중간 관절은 허용되는 범위 내에서 최대한 구부리고 있는 상태가 된다.

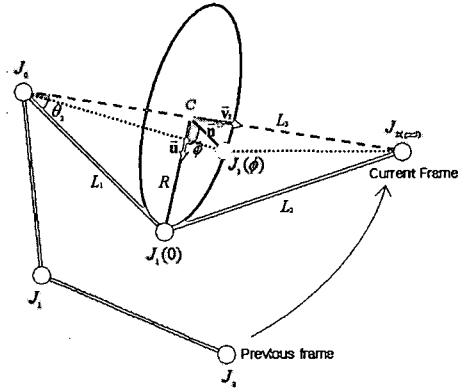


Figure 3 2-link Inverse Kinematics

중간관절의 3차원 위치를 추정하기 위해서는 4단계 과정을 거치게 된다.

첫번째로, 원점(0,0,0)을  $J_1$ 의 위치와 일치시키고, 중간 관절의 위치 데이터를 생성하기 위해 Y축과 벡터  $\vec{v}_2$ 가 이루는 회전각  $\theta_1$ 와 관절  $J_0, J_1, J_2$ 가 이루는 삼각형에서 관절  $\overline{J_0 J_1}$ 과  $\overline{J_0 J_2}$ 가 이루는 회전각  $\theta_2$ 를 계산한다.

회전각  $\theta_1$ 은 벡터의 내적을 이용하여 계산할 수 있으며, 회전각  $\theta_2$ 는 세그먼트 길이와 영상으로부터 계산된 end-effector  $J_2$ 의 위치정보를 제2코사인 법칙에 적용하므로 식(1)과 같이 구해진다.

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left( \frac{L_1^2 + L_3^2 - L_2^2}{2 * L_1 * L_3} \right) \quad (1)$$

두번째로, 계산된 회전각도와 평면의 법선벡터를 이용하여 중간관절의 3 차원 위치를 추정한다.

만약, 손목(wrist)이 고정되어 있다고 가정하면, 팔꿈치(elbow)는 그림 3에 보여지는 것처럼 원형의 호 위에 위치 가능한 경우의 수가 무수히 많이 존재한다. 그러므로 가장 적합한 팔꿈치의 위치를 결정하기 위한 작업을 수행해야 한다.

Tolani는 Korein에 의해 체계화 된 관절 한계와 정확한 팔꿈치 움직임 호(arc)의 모든 집합의 교차점을 가지고 관절의 한계로서 야기된 팔꿈치 움직임의

제한을 유도하므로써 체계화된 방법을 바탕으로 보다 순수하게 대수학적인 방법으로 관절의 회전각도를 생성했다.[6,7]

본 논문에서 제안하는 방법도 Tolani 에 의해 제안된 방식에 기반을 두고 수행된다.

그림 3 에서 각도  $\phi$  는 팔꿈치의 평면상에 놓여진 원형의 호를 따라 움직인다.

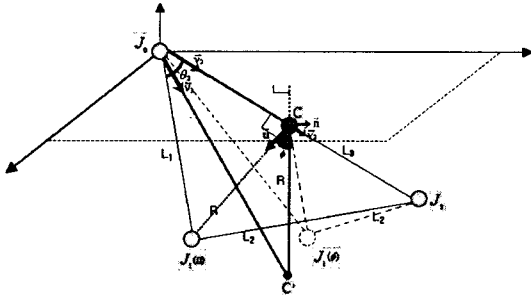


Figure 4 3D position generations of intermediate joints

먼저, 어깨 ( $J_0$ )에서 손목 ( $J_2$ )까지의 축에 평행한 원의 법선벡터(normal vector)  $\vec{v}_2$ 를 식(2)와 같이 정의한다.

$$\vec{v}_2 = \frac{J_2 - J_0}{\|J_2 - J_0\|} \quad (2)$$

원의 중심 C와 이것의 반지름 R은 단순한 삼각법에 의해서 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} C &= L_1 \cos(\theta_2) \vec{v}_2 \\ \text{Radius} &= L_1 \sin(\theta_2) \end{aligned} \quad (3)$$

더하여, 우리는 두개의 단위벡터  $\vec{n}$  과  $\vec{u}$  가 필요하다.  $\vec{n}$  과  $\vec{u}$  는 원을 포함하는 평면을 위한 지역 좌표계(local coordinate system)의 형태이다.  $\vec{n}$  과  $\vec{u}$  를 구하기 위해 원의 평면상에서 사용자에게 의해 선택된 임의의 축의 사영으로  $C^*$  을 생성하고, 원점 ( $J_0$ )에서  $C^*$  까지의 축에 평행한 법선벡터  $\vec{v}_3$  을 정의한다.

벡터의 외적을 이용하여 벡터  $\vec{v}_2$  와  $\vec{v}_3$  에 수직인 벡터  $\vec{n}$  과, 벡터  $\vec{n}$  과  $\vec{v}_2$  에 수직이며  $\phi=0$ 인 방향과 일치하는 벡터  $\vec{u}$  를 계산한다. 생성된 단위벡터들을 이용하여 팔꿈치 위치는 아래 식(4)에 의해 계산되어진다. 팔꿈치 관절의 한계가 되는  $\phi$  의 값을 변화시킴으로써 팔꿈치가 위치 가능한 경우의 수를 한정시킬 수 있다.

$$J_1(\phi) = J_0 + C + \text{Radius} \times (\cos(\phi)\vec{u} + \sin(\phi)\vec{n}) \quad (4)$$

마지막으로 각 관절의 이전 프레임과의 상관관계를 고려하여 중간관절의 위치를 결정한다.

결과적으로, 영상으로부터 획득된 기준정보를 이용하여 구하여진 회전각도를 연속적인 매트릭스 연산을 하므로써 중간관절  $J_1$  의 위치를 추정할 수 있으며, 추정된 위치정보를 이용하여 관절의 움직임을 표현할 수 있다. 또한 모든 관절의 움직임은 해부학적으로 허용이 가능한 범위 내에서 그 크기가 결정되어진다. 이때 end-effector 가 되는 관절  $J_2$  는 동작자의 동작에 의해 그 위치가 시시각각 변하게 되므로 관절의 제약조건을 고려하면서 각 시간에 따른 관절의 회전각을 구하면 동작자의 움직임과 유사한 가상 캐릭터의 움직임을 표현할 수 있을 뿐만 아니라 동작자의 움직임에 대한 모션 데이터 생성이 가능하게 된다.

#### 4. 실험 결과

본 시스템은 Pentium IV-2GHz 성능을 가지는 하나의 서버와 두개의 클라이언트 부분으로 구성되어 있으며, operating system은 Microsoft사의 Windows2000을, language tool은 MS Visual C++ 6.0과 OpenGL을 사용하였다. 영상처리를 위해 사용된 2대의 CCD카메라는 Jai사의 CV-M70이고, 영상의 처리는 Matrox사의 Meteor II/Multi-Channel 프레임 그래버를 이용하였다. 서버와 클라이언트는 네트워크로 서로 연결되어 있으며, 시스템은 초당 평균 15프레임의 처리 시간을 가진다.

동작자의 움직임을 캡처하기 위해서는 먼저 각 관절의 길이를 측정하고, 동작자가 동작을 하는 동안 배경은 변화하지 않으며, 동작자는 자신의 피부색과 구별되는 옷을 입어야 한다. 이러한 조건 하에 우리는 복잡한 배경 하에서 신체 조건이 다른 여러 동작자에 대해 실험한 결과, 실시간으로 동작자의 신체 특징을 검출할 수 있으며, 또한 신체 특징점에 대한 3차원 위치정보를 생성하므로써 동작자의 동작과 유사한 가상 캐릭터의 동작을 생성할 수 있었다.

그림 5는 생성된 모션 데이터를 가상 캐릭터에 적용시켜 움직임을 생성한 결과로서 그림5(a)는 좌측 카메라로부터 입력된 영상이며, 그림 5(b)는 우측 카메라로부터 입력된 영상이다. 그리고 그림5(c)는 가상 캐릭터의 동작 결과로서 생성된 위치정보를 적용하여 실행한 팔의 움직임이다. 그림 6(c)는 전체 관절의 위치 정보를 가상 캐릭터에 적용하여 생성한 동작 결과를 보이고 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 실시간 마커프리 모션캡처 시스템 "MIMIC"과, 이 시스템에서 사용된 중간관절의 위치를 생성하기 위한 알고리즘을 보여주었다.

실험결과에서 보여주듯이 본 논문에서는 신체 조건이 다른 여러 동작자에 대해 다양한 움직임에 대해 실험해 본 결과 배경의 복잡함에 관계없이 실시간으로 동작자의 루트와 end-effector 를 검출하여 3 차원 위치 정보를 추출할 수 있으며, 역운동학 이론을 기반으로 한 중간 관절의 위치 추정이 가능하였다. 생성된 관절의 위치정보를 캐릭터에 적용하여 동작자의 동작을 표현할 수 있으며, 또한 모션 데이터를 생성할 수 있었다.

이 방법은 일반 모션 캡처 방법의 단점을 해소하고, 최소한의 경비로서 사람의 움직임을 캡처 할 수 있으며, 가상캐릭터에 적용하여 움직임을 쉽게 생성 할 수 있는 모션 캡처 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

현재는 동작자의 정확한 동작 데이터 생성에 있어서 약간의 개선할 점이 있으나, 실시간으로 애니메이션을 생성하기에는 효율적임을 확인하였다.

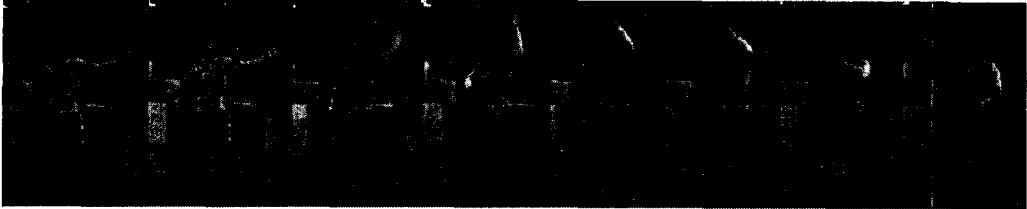
앞으로 이 알고리즘을 더욱 발전시켜 단순한 환경에서도 사람의 움직임을 보다 정밀하게 추정할 수 있는 시스템으로 발전 시켜 나갈 예정이다. 또한 이 기술은 기존 접촉식 모션캡처 인터페이스 장치의 단점을 해소 할 수 있으며, 휴먼 인터페이스를 위한 새로운 동작 인식기기도 사용가능하며, 또한 게임, 애니메이션등 다양한 멀티미디어 분야에서도 이용 가능할 것으로 예상된다.

## [참고문헌]

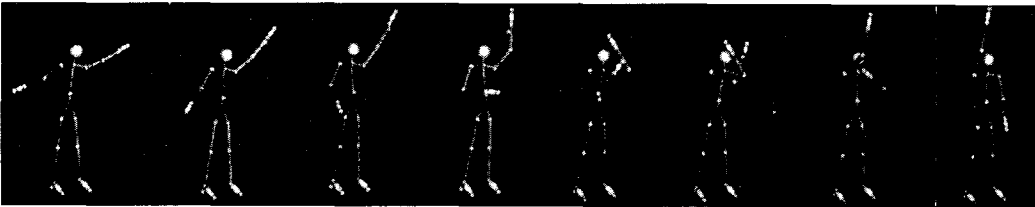
- [1] 이란희, 김성은, 박창준, 이인호, "영상 특징점을 이용한 IK 기반의 관절체 움직임 생성", 제14회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, pp.255-258, 2002.1월
- [2] 이란희, 김성은, 박창준, 이인호, "IK 기반 실시간 마커프리 모션캡처 시스템", 제11회 HCI2002 학술대회, 2002.2월
- [3] 김성은, 이란희, 박창준, 이인호, "마커프리 모션캡처 시스템에 관한 연구 동향 및 미믹(MIMIC)구현", Graphics Live 4월호, pp.216-220
- [4] Pattie Maes, Bruce Blumberg, Trevor Darrell, and Alex Pentland, "The Alive System: Wireless, Full-body Interaction with Autonomous Agents", *ACM Multimedia Systems*, 5:105-112, 1997
- [5] Christopher Wren, Ali Azarbayejani, Trevor Darrell, Alex Pentland, "Pfinder: Real-Time Tracking of the Human Body", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 7, pp. 780-785, July 1997
- [6] N.Badler, M.Hollick and J.Granieri, "Real-time control of a virtual human using minimal sensors.", Presence, 2(1):82-86, 1993
- [7] D.Tolani and N.I.Badler, "Real-time inverse kinematics of the human arm", Presence, 5(4): 393-401, 1996
- [8] D.Tolani, Ambarish Goswami and N.I.Badler, "Real-time Kinematics techniques for anthropomorphic limbs", Graphical Models, 62(5):353-388,2000
- [9] J. Zhao and N. Badler, "Inverse Kinematics positioning using nonlinear programming for highly articulated figures", *ACM Transactions on Graphics*, 13(4),313-316,1994
- [10] Jchee Lee and Sung Yong Shin, "A Hierarchical Approach to Interactive Motion Editing for Human-like Figures", *Proceedings of SIGGRAPH '99*
- [11] Vladimir M.Zatsiorsky, "Kinematics of Human Motion", 1998



(a) 좌측 카메라로부터 입력된 영상



(b) 우측 카메라로부터 입력된 영상



(c) 관절의 위치 정보를 캐릭터에 적용한 결과

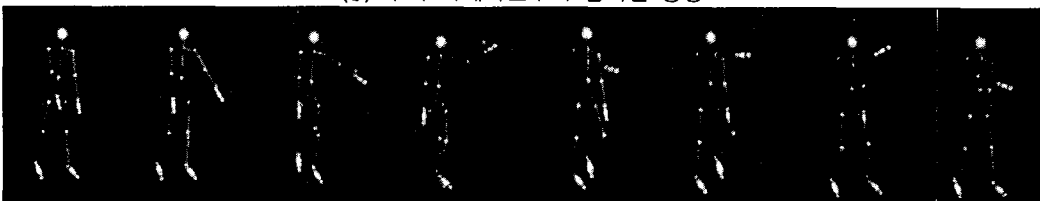
Figure 5 팔의 움직임 정보를 적용한 결과



(a) 좌측 카메라로부터 입력된 영상



(b) 우측 카메라로부터 입력된 영상



(c) 관절의 위치 정보를 캐릭터에 적용한 결과

Figure 6 전체 관절의 움직임 정보를 적용한 결과