

# A Study on Inverse Kinematics Based Posture and Motion Generation System for Sports Climbing

Kyucheol Shin<sup>†</sup> · JongHee Son<sup>†</sup> · Dongho Kim<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

Recently, public interest in virtual reality (VR) and augmented reality (AR) has increased. Therefore, computer graphics-related research has been actively conducted. This has included research on virtual space related to human posture implementation. However, such research has focused on general posture in humans. This paper presents a system with reference to the basic posture in sports climbing and the inverse kinematics method for generating the positions and behavior of virtual characteristics in a three-dimensional virtual space. The simulation based on the inverse kinematics method, produced with an inverse kinematics solver and initial pose animation from motion capture, provides realistic and natural movement. We designed a simulation system to generate correct posture and motions similar to those in sports climbing by applying the basic procedure of sports climbing. The simulation system provides help for producing content about sports climbing, such as learning programs for novice climbers and sports climbing games.

**Keywords :** Virtual Reality, Animation, Motion Control, Inverse Kinematics, Sports Climbing

## 역운동학 기반 스포츠클라이밍 자세 및 동작 생성 시스템에 관한 연구

신규철<sup>†</sup> · 손종희<sup>†</sup> · 김동호<sup>\*\*</sup>

## 요 약

최근 가상현실(VR, virtual reality)이나 증강현실(AR, augmented reality)이 주목받으면서 이에 관한 컴퓨터 그래픽스(computer graphics) 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히, 인간의 동작을 가상의 공간에서 구현하는 방법에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 하지만 많은 연구가 인간의 일반적인 동작에 한정되어 있다. 본 연구에서는 역운동학(IK, inverse kinematics)을 이용한 스포츠클라이밍 자세생성과 동작제어를 통해 인간의 일반적인 동작 이외에 스포츠클라이밍과 같은 특수 목적의 다양한 동작들을 삼차원의 가상공간에서 가상 인물(virtual character)의 자세 및 동작을 생성하는 시스템을 제안한다. 역운동학(IK, inverse kinematics) 기법을 통한 자세 생성은 역운동학 함수(IK function)와 실제 데이터를 통한 기본자세 애니메이션을 제작, 이를 활용하여 사실성을 더하고 자연스러운 자세 및 동작을 생성한다. 본 논문에서는 스포츠 클라이밍의 기본동작을 이용하여 올바른 자세와 함께 실제와 유사한 동작을 생성하는 시스템을 설계하였다. 이를 통해 클라이머를 위한 학습 프로그램이나 클라이밍 게임 같은 다양한 형태의 스포츠 클라이밍 콘텐츠를 제작하는데 도움이 되고자 한다.

**키워드 :** 가상현실, 애니메이션, 동작제어, 역운동학, 스포츠클라이밍

## 1. 서 론

컴퓨터 그래픽스(computer graphics)에서 삼차원 공간상에서 가상 인물(virtual character)의 사실적인 움직임은 몰입도와 집중도를 향상하는 대표적인 요소로써 많은 연구가 진행되었다. 삼차원 공간에서 가상인물의 자세와 동작에 관한 연구는 보편적으로 걷기, 뛰기, 달리기 등의 인간의 일상적인 동작으로 한정되어 있다[1]. 특히, 스포츠클라이밍 같은 특수 목적의 자세 및 동작 생성에 관한 연구는 활발히 이루어

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012M3C4A7032182).

※ 이 논문은 2015년도 한국정보처리학회 추계학술발표대회에서 '스포츠클라이밍을 위한 역운동학 기반자세 및 동작 생성 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 준 회원 : 송실대학교 미디어학과 석사과정

\*\* 종신회원 : 송실대학교 미디어학부 부교수

Manuscript Received : December 22, 2015

First Revision : March 31, 2016

Second Revision : April 12, 2016

Accepted : April 18, 2016

\* Corresponding Author : Dongho Kim(cg@su.ac.kr)

어지고 있지 않다. 우리는 이 연구를 통해 가상의 삼차원 공간상에서 역운동학(inverse kinematics)을 이용한 스포츠 클라이밍 자세 및 동작을 생성하고 인간의 일반적인 동작 이외에 스포츠클라이밍과 같은 특수한 상황에서의 인체의 동작들을 연구하였다. 이를 통해 클라이머를 위한 학습 프로그램이나 클라이밍 게임 같은 다양한 형태의 스포츠클라이밍 콘텐츠를 제작에 도움이 되고자 한다.

## 2. 관련 연구

컴퓨터 기술의 발달로 컴퓨터 그래픽스(computer graphics)의 연구 또한 활발히 이루어졌고 최근 들어서는 가상의 삼차원 공간을 실시간으로 애니메이션화 할 수 있게 되어 이에 관한 연구들이 다시 주목받고 있다. 이에 따라 삼차원 공간에서 가상의 인물을 사실적으로 표현하거나 사실적으로 자세나 동작을 생성하는 연구들 또한 많이 진행되고 있다[2-4].

가상의 인물의 움직임에 대한 특정한 동작을 생성하거나 지정해 주는 것을 통칭하여 동작 제어 기술이라 한다. 동작 제어 기술은 가상인물이 살아있다는 생동감이나 실제 존재한다는 사실감을 주는 매우 중요한 역할을 한다[5]. 가상의 삼차원 공간에서 가상인체의 동작 제어기술은 실제로 로봇틱스에서 연구되어 온 관절체의 동작 제어 기술을 응용한 것으로부터 시작되었으나 그 후 인간의 자연스러운 동작을 제어하기 위해 다양한 기술들이 개발되면서 컴퓨터그래픽스에서 가상의 인체 동작 제어에 적용되기 시작했다.

삼차원 공간(3D)상에서 가상 인물의 동작 제어 기법에 관한 연구는 다양하다[6]. 동작 생성 혹은 제어 기술은 그 기술에 따라 크게 동작 포착(motion capture) 기법과 동역학 기반 기법으로 나누어 볼 수 있다. 동역학 기반 기법은 다시 정운동학(FK, forward kinematics) 기반 기법과 역운동학 기반 기법으로 나뉜다[7].

동작 포착 기법은 트래커(tracker)라고 불리는 공간의 위치(x, y, z) 자세 센서를 인간의 몸에 부착하여 인간의 자세 및 동작 변화에 대한 정보를 디지털로 변환하여 애니메이션을 제작하는 데 이용하는 기법이다. 동작 포착 기법은 동작을 생성하기 위한 각 관절의 값이 센서로부터 실시간으로 제공되어 복잡한 자세나 빠른 동작도 실시간 애니메이션으로 구현 가능한 장점이 있으나 시스템구현 자체가 까다롭고 직접적인 조작이 불가능해 다양한 동작을 구현하기 어렵다.

본 논문에서는 역운동학을 기반으로 하는 동작 제어를 이용하여 자세 및 동작을 생성한다. 역운동학 기반 기법은 정운동학(FK, forward kinematics)의 반대 개념으로 목표점을 기준으로 관절의 상태를 재계산하는 기법이다. 다양한 제약 조건에 맞춰 자세 및 동작에 대한 관절 값을 재계산하는 것이 용이 하기 때문에 다양한 변형 동작이 가능하고 단일 애

니메이션 소스로 다양한 체형에 대응이 가능하다[8].

스포츠클라이밍(sports climbing)은 인공 및 자연암벽의 벽면을 오르는 운동으로 인체의 신체적인 면뿐만 아니라 정신적으로도 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고되었다[9]. 더욱이, 실내 스포츠 클라이밍은 실외 스포츠 클라이밍에 비해 안전하고 날씨와 계절에 상관없이 즐길 수 있으며, 다른 스포츠 종목보다 공간의 활용도가 높아 참여 인구가 급증하고 있는 추세이다.

국내에서 스포츠 클라이밍에 관한 연구는 많지 않으며 그 대부분은 운동학적인 연구에 집중되어 있다. 시뮬레이션이라는 점에서 본 연구와 유사한 스포츠클라이밍에 관한 연구는 루트 파인딩(route-finding)에 관련한 연구이다. 루트 파인딩은 루트의 경로를 최적화하여 경로를 생성하는 것으로서 우리가 목표로 하는 가상의 인체의 자세 및 동작 생성에 관한 연구와는 차이가 있다[10].

본 연구에서는 디지털 삼차원 공간에서 역운동학을 이용하여 가상의 인물을 통해 스포츠클라이밍 자세를 생성하고 스포츠 동작 절차를 이용하여 동작을 생성한다. 등반 역량에 관한 변수를 해소하기 위해 위치할 수 있는 손이나 발의 거리를 전문가의 조언과 실제 측량 데이터를 사용, 최댓값, 최솟값 범위로 한정한다.

## 3. 자세 생성

실제 자세 및 동작을 생성하기 위한 전제조건으로 초심자나 일반인들이 실제로 취하기 힘든 고난도 동작 등에 대한 변수는 배제하며 개개인의 차이에서 오는 등반 역량에 따른 차이 또한 전문가의 조언과 실제 측량 데이터 그리고 통계적 데이터[11]를 이용하여 가상인물의 등반 가능한 최소, 최대 거리를 구해 편차를 최소화한다.

### 3.1 기본자세 생성

스포츠클라이밍에서 기본자세는 일반적인 상태(서 있는 자세)와 다르게 반쯤 앉아 있는 자세로 무게 중심 또한 일반적인 상태와 매우 다르다. 본 연구에서는 다관절체나 인체 변형을 위한 역운동학을 기반으로 하는 역운동학 함수(IK function)를 이용한다. 역운동학은 정운동학의 반대되는 개념으로 관절체 끝점(end point)의 위치나 동작으로부터 각 관절의 위치나 동작을 구하는 방법이다. 자세의 생성은 양손과 양발을 지정한 위치에 생성한 후 몸체의 위치를 손과 발의 위치값에 따라 계산된 몸체의 위치 값을 실측 데이터를 이용한 기본적인 몸체의 위치 값으로 보정하여 기본자세를 생성한다.

### 3.2 몸체의 위치 생성

자세 생성을 하는 데 있어서 중요한 부분이 몸체의 위치

생성이다. 몸체의 생성 위치에 따라 불가능한 자세나 홀드(hold)를 잡지 못하는 등의 많은 문제를 일으키기 때문이다(Fig. 1A). 몸체 위치는 한 손의 위치와 대각선의 한발의 위치를 이은 한선과 마찬가지로 나머지 한손과 대각하는 한발의 위치를 이은 두 선분의 교차점을 통해 몸체 위치를 계산하고 이를 전문가의 조언과 실제 데이터를 비유화하여 계산된 몸체의 위치 값을 오프셋 값(offset value)으로 설정하여 몸체의 위치를 생성한다.

### 3.3 자세 보정

역운동학을 이용한 자세생성의 가장 큰 문제점은 끝점에 대한 각 관절의 값이 하나 이상을 가질 수 있어 원하는 값이 아닌 다른 값을 가질 수 있다는 것이다. 즉 가상인물의 손이나 발의 관절이 잘못된 값으로 인해 뒤틀림(twist) 등 잘못된 동작을 생성하게 된다(Fig. 1B).

이를 해결하기 위해 실측 데이터와 통계적 데이터를 이용하여 기본자세의 무게중심을 얻어내고 관절 값을 최댓값과 최솟값으로 제한하여 각 관절 값이 오차 범위를 넘을 경우, 재계산하여 올바른 자세를 생성한다.

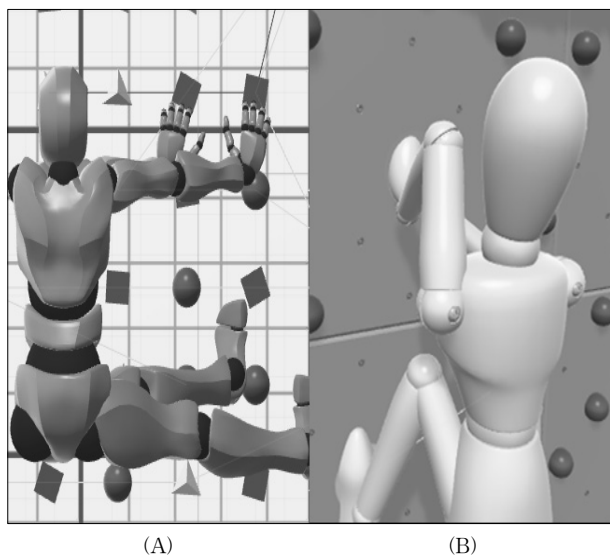


Fig. 1. The generation of incorrect body location(A) and he twist caused by incorrect joint values(B)

## 4. 동작 생성

기본적으로 가상인물의 동작을 생성하기 위한 다양한 방법들이 존재한다. 이 연구에서는 다관절체나 인체 변형을 위한 보간법(interpolation) 중 역운동학기반 보간법을 사용한다. 또한, 스포츠클라이밍에서 움직임은 기본 동작 절차가 확립되어 있다. 따라서 기본적인 동작의 절차를 이해하고, 이를 삼차원

공간상에서 가상인물을 이용해 순차적으로 연속된 동작을 생성하여 실제 스포츠클라이밍과 같은 동작을 생성한다.

### 4.1 동작보간

동작 생성은 보간법 중 하나인 구선형보간(spherical linear interpolation)법을 이용한다. 보간이란 알려진 지점의 값 사이에 위치한 값을 알려진 값으로부터 추정하는 것을 말한다. 지점 사이의 값을 선 형태로 보간하는 것을 선형보간(linear interpolation), 원호를 따라 보간하는 것을 구선형보간이라 한다. 본 연구에서는 자세생성(3장)에서 생성된 자세와 다음 위치의 자세의 동작을 구선형보간을 통해 생성한다. 일반적으로 사용되는 선형보간을 이용하여 동작 생성을 할 경우, 삼차원 공간에서 이동하는 거리 사이의 객체(object) 간섭, 예를 들어 손이나 발이 홀드와 홀드 사이에 큰 볼륨 홀드에 걸리거나 홀드와 홀드 사이에 다른 홀드가 있어 손이나 발이 홀드를 통과하는 문제가 발생한다(Fig. 2A). 구선형보간과 함께 보간의 회전(rotation) 값을 특정 상황에 따라 달리함으로써 위의 문제를 해결함과 동시에 더욱 자연스러운 동작을 생성한다.

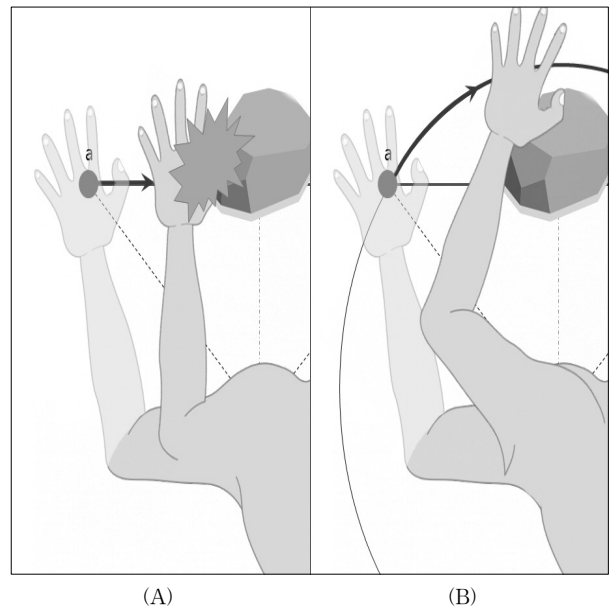


Fig. 2. Linear interpolation(A) and Spherical linear interpolation(B)

### 4.2 몸체의 위치 설정

동작 생성을 하는 데 있어서 중요한 부분 또한 이 몸체의 위치(body location) 설정이다. 단순히 손과 발의 위치로 계산한 몸체 자세 간의 위치만을 보간할 경우, 이에 따른 몸체의 위치 변화에 손과 발의 동작보간 위치를 반영치 못하여 이와 관계없이 일정하게 보간된 몸체의 위치로 인한 인위적인 동작을 생성하게 되므로 실제 사람의 동작과는 큰

차이가 생긴다. 우리는 움직이는 손과 발에 따라 몸체의 위치 생성(3.2)에서 언급한 두 선분의 교차점을 실시간으로 재계산하여 몸체 위치를 보간하는데 이용한다. 또한, 손이나 발의 이동 위치에 따라 두 선분이 교차하지 않는 경우, 이동하는 손과 발을 이은 선분 위로 다른 한쪽 선분을 사영(projection)하여 재계산한 후, 이를 몸체 위치에 반영하여 동작을 생성한다.

### 4.3 몸체 기울기 설정

몸체 기울기(body rotation)의 설정은 몸체 위치 설정과 함께 매우 중요한 요소로서 홀드 간 이동에 따라 생성되는 동작과 동작 사이를 채워 주는 연결체(link) 역할을 수행할 수 있다. 몸체 기울기 값은 현재 몸체의 위치와 진행되는 방향에 따라 몸체와 이동하려는 홀드 사이의 각도 값을 계산하여 몸체 기울기의 허용치에 맞게 상댓값으로 변환, 적용하여 몸체의 기울임에 변화를 주게 되면서 실제와 흡사한 동작을 얻게 된다(Fig. 3B).

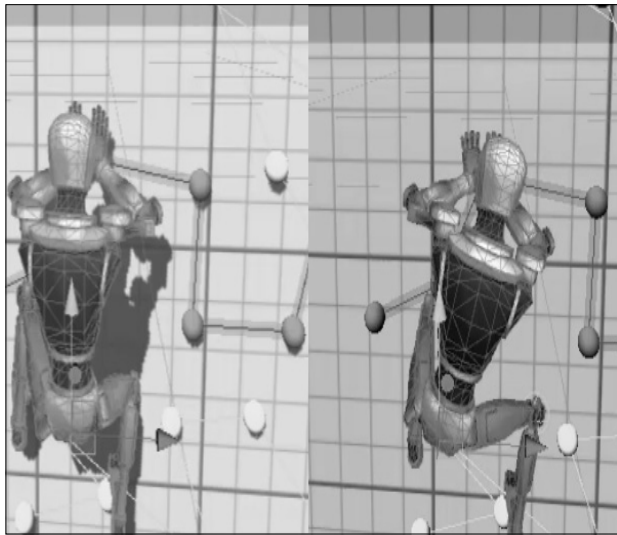


Fig. 3. Before applying body rotation(A) and after applying body rotation(B)

### 4.4 머리의 움직임

스포츠에서 모든 신체 동작의 유발행위는 시각에 80%를 의존하여 정보를 획득한다[12]. 이로 인해 시선 혹은 머리의 방향과 위치는 그 동작의 자연스러움에 매우 큰 영향을 미친다. 우리는 스포츠클라이밍의 기본동작 개념 대한 머리 움직임(시선이)이 미치는 영향을 연구하여 순서와 방향성에 관한 결과를 얻었다. 이를 IK 제어부의 Lookup 함수를 이용, 머리를 포함한 어깨까지 가상인물의 상부를 제어하여 동작을 생성하여 절차적 동작을 수행 시 동작의 완성도를 높인다(Fig. 4B).

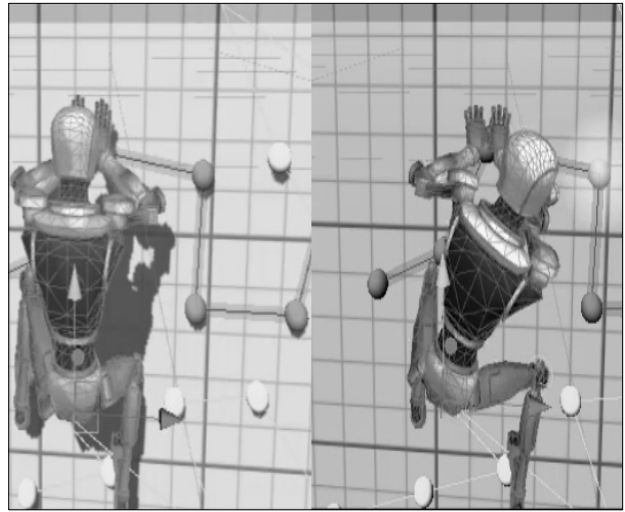


Fig. 4. Before applying head control(A) and after applying head control(B)

### 4.5 스포츠클라이밍의 기본 동작 절차

실제 스포츠클라이밍의 기본적인 동작의 절차는 양발을 벌린 후 반쯤 서 있는 상태에 양손을 한 홀드에 모아 이동 변 삼각형을 만드는 기본자세에서 시작하여 아래 1-4단계를 반복한다.

- 1) 기본자세에서 다음 홀드의 방향의 손을 다음 홀드로 이동한다.
- 2) 이동한 손의 반대되는 발을 반대 발 위치의 홀드로 이동, 두 발을 모아 역삼각형 자세를 취한다.
- 3) 기존의 움직이지 않는 발을 1)에서 이동한 손의 홀드 위치에 맞추어 이동 변 삼각형이 이뤄질 수 있도록 적당한 홀드로 이동한다.
- 4) 이동하지 않았던 손을 기존에 이동한 손의 홀드 위치로 이동, 양손을 모아 기본자세를 취한다.

### 4.6 절차에 따른 동작 생성

위의 실제 스포츠클라이밍의 기본동작 절차에 따라 동작을 생성할 경우, 부자연스럽고 인위적인 동작이 생성된다. 이는 실제 인체와 달리 가상인물 각각의 신체 부위가 각각의 움직임에 따라 연관적 제어가 되지 않기 때문이다. 우리는 가상인물의 이동 방향이나 위치에 따라 부위별 연관 제어를 실시하고 실제 클라이밍 기본 동작 절차에는 없는 몸체 위치 설정(4.2장)과 기울기 설정(4.3장) 그리고 머리의 움직임(4.4장) 등을 추가하여 삼차원 공간상의 기본동작 절차를 새롭게 구성하였다. 구성된 절차는 아래 단계와 같으며 몸체의 위치는 각 단계와 함께 재설정되어 보간된다. 각 단계는 1-6단계를 반복적으로 수행한다.

- 1) 이동하려는 홀드와 몸체의 위치 사이의 이루는 각도를 적용하여 머리부를 보간한다.

- 2) 가상 인체의 몸을 중심으로 이동하려는 방향에 따라 해당하는 팔 부위를 생성된 다음 자세로 보간한다.
- 3) 팔의 이동과 동시에 몸체의 기울기를 이동하는 홀드의 위치에 따라 변화시켜 보간한다.
- 4) 이동하는 손의 반대되는 발을 생성된 다음 자세의 발의 위치로 보간한다.
- 5) 기존의 보간되어 이동하지 않았던 발을 생성된 다음 자세의 발의 위치로 보간한다.
- 6) 마지막으로 움직이지 않았던 팔을 생성된 다음 자세로 보간한다. 이와 함께 최종적인 몸체의 위치를 생성된 다음 자세로 보간한다.

## 5. 결 과

본 연구는 유니티 4(Unity 4) 엔진을 기반으로 PC로 개발하였으며 실제 스포츠클라이밍 전문가의 등반 자세와 비교 평가와 사용자평가로 나누어 실시하였다. PC의 개발 환경은 3.7GHz Intel Core i7 CPU와 NVIDIA GeForce GTX 680, 16GB RAM, 1920X1080 해상도이며 운영체제는 Windows7 Pro 64bit이다. 비교 테스트의 환경은 태블릿이며 1.46GHz Intel Atom Z3774 Intel Graphic HD(내장) 2GB RAM, 1366X768 해상도이며 운영체제는 Windows 10 Home Edition 32bit이다.

### 5.1 전문가 평가

전문가 평가는, 전문가와 가상의 인물이 각각 1번에서 20번 홀드까지의 동일한 등반 루트를 같은 홀드를 이용하여 등반한다. 그 후 전문가가 등반 시 취하는 동작과 가상공간에서 가상인물에 생성된 동작을 각 구간별로 비교했다. 결과는 1-20 사이의 거의 모든 구간의 자세에서 유사한 동작을 실시간으로 생성하였으며 전 구간에서 적합하다는 평가를 받았다(Fig. 5).

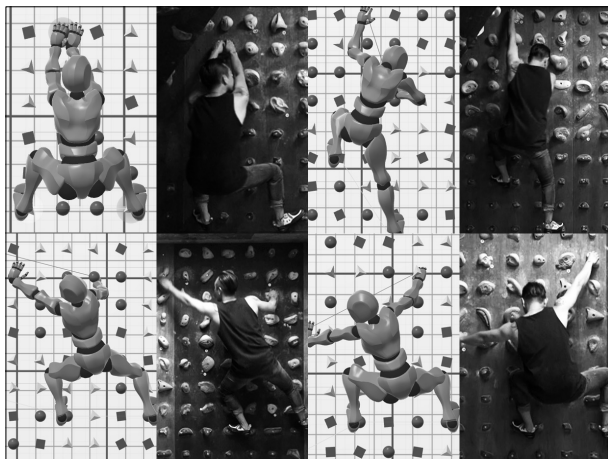


Fig. 5. Comparative evaluation with expert

### 5.2 사용자 평가

사용자 평가는 비교 평가와 사용 평가로 나누어 진행했다. 비교 평가는 실제 인공 암벽장에서 사용되는 등반 루트를 삼차원 공간에 구현한 후, 실제 등반 루트를 사용한 경험자를 대상으로 개발된 동작 생성 시스템의 적용 전(동작 보간, 몸체 기울기, 머리의 움직임 미적용)과 시스템 적용 후 동작 영상을 보고 설문지를 작성했다. 참가자는 총 11명(남자 7명 여자 4명)으로 20대-30대-10대 순으로 많았다. 설문지는 사용자의 집중도를 볼 수 있는 감각적 몰입 3문항, 생성된 가상인물의 사실감을 나타내는 객체 현존감 3문항, 나이 및 성별 2문항 총 8문항을 구성되어 있다. 각 문항은 ‘전혀 그렇지 않다-그렇지 않다-보통이다-그렇다-매우 그렇다’의 응답범주를 갖는 5점 리커트 척도로 시스템 적용 전(a)과 적용 후(b) 각각 동일한 내용의 설문지를 작성하여 평가하였다. 또한 영상의 잔상으로 인한 감상자의 선호도에 대한 혼동을 최소화하고자 적용전과 후의 관람 순서는 무작위로 진행하였다.

비교 평가 분석 결과 감정적 몰입도의 평균 수치는 적용 전 2.118에서 적용 후 2.926으로 0.808의 차이가 있었고 성별의 평균 수치는 남성의 경우, 적용 전 2.155에서 적용 후 2.742로 0.587의 차이를 보였으며 여성의 경우, 2.053에서 2.411로 0.358의 차이를 보여 여성보다는 남성에게서 더 큰 차이가 보임을 알 수 있었다. 연령대별 평균 수치는 10대의 경우, 적용 전 1.994에서 적용 후 2.480으로 0.486의 차이를 나타내었고 20대의 경우, 2.136에서 2.673으로 0.537의 차이를 나타냈으며 30대의 경우, 2.165에서 2.644로 0.479의 차이를 나타내었다.

객체 현존감의 평균 수치는 적용 전(a) 2.622에서 적용 후(b) 3.482로 0.86의 차이를 기록했다(Fig. 6). 성별의 평균 수치는 남성의 경우, 적용 전 2.950에서 적용 후 3.595로 0.645의 차이를 보였으며 여성의 경우, 2.883에서 3.285로 0.402의 차이를 보였다. 연령별 평균 수치는 10대의 경우, 적용 전

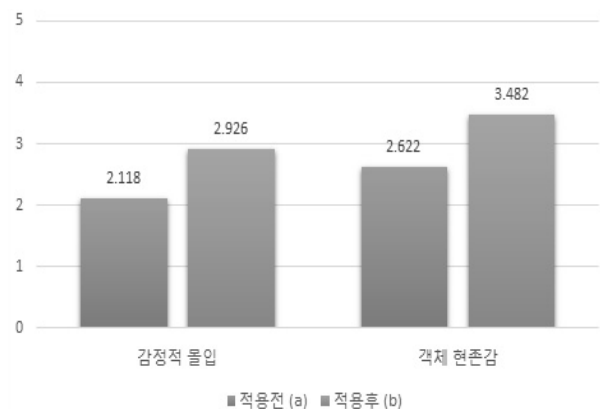


Fig. 6. Comparison rating result

2.958에서 적용 후 3.660으로 0.702의 차이를 나타내었고 20대의 경우, 2.852에서 3.473으로 0.621의 차이를 나타내었으며 30대의 경우, 3.053에서 3.427로 0.374의 차이를 나타내었다. 감정적 몰입도와 객체 현존감 둘 다 유의미한 차이가 있었으며 가상인물의 사실감을 나타내는 객체 현존감에서 두드러진 차이를 볼 수 있었다. 또한 연령대별 차이는 감각적 몰입도의 경우, 20대(0.537)-10대(0.486)-30대(0.479) 순으로 높았으며 객체 현존감의 경우, 10대(0.702)-20대(0.621)-30대(0.374) 순으로 높았고 여성보다는 남성에게 더 큰 차이가 있었다.

사용평가는 가상인물을 프로젝터를 이용하여 실제 인공암벽에 1:1 규모로 투영하여 가상의 인물에 생성된 동작 애니메이션을 사용자가 따라 등반한다. 총 55명(남자 23명, 여자 32명)이 참가하였으며, 10대 - 30대 - 20대-50대 순으로 많았다. 사용자는 감각적 몰입, 객체 현존감, 만족도로 구성된 설문지를 작성한다. 설문지는 사용자의 집중도를 볼 수 있는 감각적 몰입 3문항, 생성된 가상인물의 사실감을 나타내는 객체 현존감 3문항, 사용자의 만족수준을 측정하는 만족도 4문항과 나이, 성별을 더해 총 12문항으로 구성되며, 각 문항은 '전혀 그렇지 않다-그렇지 않다-보통이다-그렇다-매우 그렇다'의 응답범주를 갖는 5점 리커트 척도로 평가하였다.



Fig. 7. Use rating demonstration

수집된 사용 평가 데이터 분석 결과 감각적 몰입의 평균 수치는 3.636, 객체 현존감의 평균 수치는 3.545, 만족도의 평균 수치는 3.936으로 모든 항목에서 3.5 이상의 높은 수치를 기록했으며(Fig. 8) 성별에 따른 평균 수치는 남성의 경우, 감각적 몰입의 평균 수치는 3.668, 객체 현존감의 평균 수치는 3.585, 만족감의 평균 수치는 3.883을 나타내었고 여

성의 경우, 감각적 몰입 3.612, 객체 현존감 3.465, 만족감에 선 3.974로 남성보다 높은 만족감을 보였다. 연령대별 평균 수치는 감각적 몰입의 경우, 30대(3.730)-20대(3.651)-10대(3.570)-50대(3.490) 순으로 높았고 객체 현존감의 경우, 10대(3.633)-30대(4.502)-20대(3.424)-50대(2.852) 순으로 높았으며 만족감의 경우, 30대(4.049)-10대(3.920)-20대(3.853)-50대(3.715) 순으로 높았다. 또한 감정적 몰입도의 경우 비교 평가의 평균수치보다 사용평가 시의 평균수치가 월등히 높았다. 이는 출력하는 디스플레이나 출력규모의 차이도 있지만 사용자가 실제 등반 시에 사용 효과가 더 높다는 것을 방증한다고 볼 수 있다.

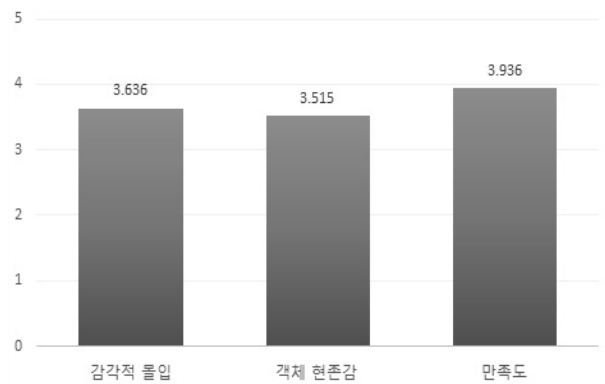


Fig. 8. Use rating result

## 6. 한계점

본 연구에서는 역운동학 기반 스포츠클라이밍 자세 및 동작 생성에 관한 연구를 통해 다양한 자세 및 동작을 구현하였으나 개인의 역량을 통한 특수한 동작이나 고난도 동작들은 배제했다는 점, 그리고 기본적인 자세에 따른 동작에 한정했다는 점은 실제 스포츠클라이밍의 다양한 동작을 생성하는 데 있어 한계점으로 작용한다. 또한, 전문가 평가의 전문자가 수가 적어 주관적일 수 있는 점과 사용자 평가의 설문자의 수 또한 적고 일회성 평가에 그쳤다는 점에서 결과 자체를 일반화하기엔 무리가 있다.

## 7. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 역운동학을 이용하여 스포츠클라이밍 자세와 동작을 연구하고 이를 스포츠클라이밍 동작 절차에 따라 가상의 삼차원 공간에서 가상의 인물을 통해 자세와 동작을 생성하였다. 이 과정에서 자세 생성의 문제를 실측 데이터와 통계청 데이터 이용해 각 관절 값을 제한하여 해결하고 객체 간섭현상 등의 문제와 몸체 위치로 인한 잘못된 동작 생성 등의 문제는 구선형보간과 교차점 계산으로 극복하여

실제와 유사한 동작 생성을 제안하였다. 연구 결과, 본 연구에서 제안한 역운동학 기반 스포츠클라이밍 자세 및 동작 생성에 관한 연구는 전문가의 경우, 동작의 유사성과 사용자의 경우, 몰입도와 사실감, 만족도 등 양쪽의 모든 측면에서 긍정적인 평가를 받았다. 또한 ‘안양 사이버 과학축제’에 참여하여 클라이밍 자세 및 동작 생성시스템을 이용한 유아용 e 트레이닝(e-training) 프로그램을 시연해 큰 호응을 얻었다(Fig. 9).

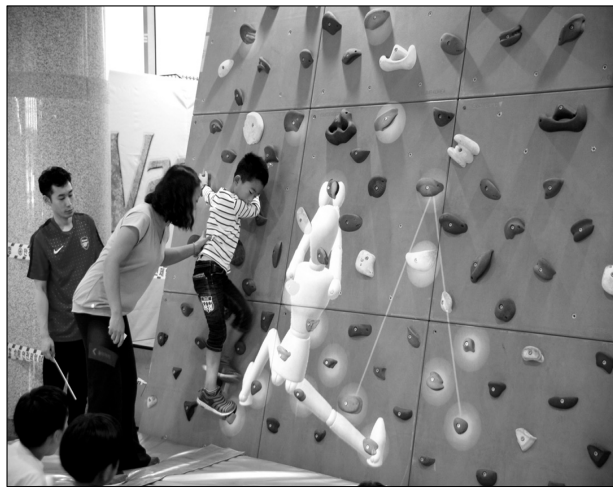


Fig. 9. Anyang Cyber Science Festival

향후 계획은 좀 더 다양한 동작연구와 함께 Fig. 9에서 보는 것처럼 가상현실이나 증강현실과 같은 다양한 환경에서 역운동학 기반 스포츠클라이밍 자세 및 동작 생성 시스템을 적용하여 사용자의 피드백을 통해 보완해 나갈 예정이다.

본 연구에서는 실제 스포츠클라이밍의 기본 동작 절차에서 볼 수 없는 머리의 움직임이나 몸체 기울임을 가상의 삼차원 공간상의 가상인체를 이용하여 동작을 생성하고 스포츠클라이밍의 기본 동작을 가상의 환경에 맞게 새롭게 구성하였다. 이에 따라 가상의 삼차원 공간에서도 실제 스포츠클라이밍의 기본 동작을 그대로 재현할 수 있었다는 점, 그리고 실제 스포츠클라이밍의 자세와 동작을 실시간으로 가상의 삼차원 공간에서 생성하였다는 점은 본 논문의 성과라 할 수 있다. 마지막으로 본연구가 스포츠클라이밍에 관련된 다양한 콘텐츠 제작과 일반적인 자세 및 동작이 아닌 특수 상황하의 다양한 자세나 동작을 연구하는 데 도움이 되길 기대한다.

### References

[1] KumHee Lee, "Generation of Humanoid Walking Motion Adapted to the Ground's Sliding Properties," *The KIPS Transactions*, Vol.12, No.2, pp.157-166, 2005.

[2] Soo-Yol Ok, "Character Motion Generation and Control with Hierarchical Parametric Functions," *The Journal of the Korea Institute of Information & Communication Engineering*, Vol.12, No.7, pp.1193-1201, 2008.

[3] Yung-Ho Seo, "Motion Capture using both Human Structural Characteristic and inverse kinematics," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol.47, No.2, pp.20-32, 2010.

[4] Chul Young Choi, "Study of CG Character Animating Pipeline for Human IK and Kinect," *The Korean Journal of Animation*, Vol.9, No.4, pp.180-199, 2013.

[5] Woong-Soon Kim, "Trends in 3D Character Animation Technology," *The Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol.17, No.2, pp.48-59, 1999.

[6] Hyun-joon Shin, "Posture Control of Virtual Actor," *Broadcasting and Media Magazine*, Vol.3, No.2, pp.31-43, 1998.

[7] Chang-Hee Kim, "Human motion control using Dynamic Model," *Journal of Ergonomics Society of Korea*, Vol.18, No.3, pp.141-152, 1999.

[8] Chul-Young Choi, "A study of converting FK animation data to IK animation data for efficient animation editing," *The Korean Journal of Animation*, Vol.3, No.1, pp.109-126, 2007.

[9] A. W. Sheel, "Physiology of sport rock climbing," *British Journal of Sports Medicine*, Vol.38, No.3, pp.355-359, 2004.

[10] Ha Kyeong Kim, "Route-finding simulator for Sports Climbing Education," *The Journal of Korean Association of Computer Education*, Vol.17, No.2, pp.273-277, 2013.

[11] Korean human body dimension survey : Statistics of 120 parts(1997-2010), *Ministry of Trade, Industry and Energy*, Korea.

[12] Yoonji Song, "Mingle: Wearable Devices for Enhancing Communications and Activities between the Blind and Ordinary People through a Waltz," *The ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.367-370, 2015.



### 신 규 철

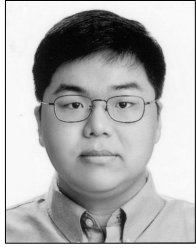
e-mail : smksky@gsclab.kr

2014년 부천대학교 컴퓨터제어학과(학사)

2015년~현 재 숭실대학교 미디어학과

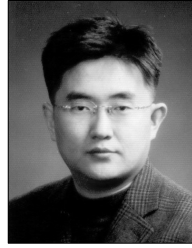
석사과정

관심분야 : IoT, Web, Mobile



**손 종 희**

e-mail : jhson@gsclab.kr  
2014년 숭실대학교 글로벌미디어학부  
(학사)  
2015년~현 재 숭실대학교 미디어학과  
석사과정  
관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 게임



**김 동 호**

e-mail : cg@su.ac.kr  
1990년 서울대학교 전자공학과(학사)  
1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
(석사)  
2002년 George Washington University  
(박사)  
1995년~1997년 (주)삼성전자 연구원  
2009년~2010년 문화체육관광부 문화기술 PD  
2003년~현 재 숭실대학교 미디어학부 부교수  
관심분야: 컴퓨터그래픽스, 스포츠IT융합, 디지털콘텐츠, HCI