

# 재설정 가능한 모션 캡처를 위한 편집 가능한 부분 동작

## 저작

### (An Editable Partial Movement Authoring for a Reconfigurable Motion Capture)

**요약** 인간의 동작 인식과 그 정보의 가공과 관련된 연구는 기술의 발전과 함께 다양한 분야에서 광범위하게 진행되고 있으며 그 수요가 날로 증가하고 있는 추세이다. 하지만 동작 인식의 정확도는 센서의 출력 값이나 의미 없이 단순 연결된 특징 점의 위치상으로는 유사할 수 있으나, 의미 있는 동작의 추출과 재현의 관점에서는 아직까지 단순한 동작의 인식 및 재현의 범위를 벗어나지 못하고 있다. 이는 무엇보다도 인식이 필요한 동작의 범위가 너무나 다양하고 아직 체계적인 방법으로 정의되어 있지 않기 때문이다.

본 논문에서는 헬스 트레이닝 동작 중 하나인 덤벨로우 동작을 사용자가 의도한 대로 키프레임 애니메이션과 모션캡처로 얼마나 정확하게 재현할 수 있는가를 측정한다. 특히, 미세한 동작의 변형이 필요할 때 어떻게 수정할 수 있는지를 고찰한다. 모델의 리깅에서 정의된 부위의 변환을 용의하게 구현할 수 있어야만 사용자가 요구하는 미묘하고 완전한 덤벨로우 동작을 실현할 수 있는 것을 알 수 있다.

**키워드:** 키 프레임 애니메이션, 모션캡처, 인간 동작 저작, 제스처 재구성

Abstract Research on human motion perception and processing of information is progressing widely in various fields along with the development of technology, and the demand is increasing day by day. However, the accuracy of the motion recognition may be similar to that of the sensor output value or the location of the simple connected feature point without meaning, but in terms of extraction and reproduction of meaningful motion, the range of recognition and reproduction of simple motion has not yet been achieved. This is because the range of motion that needs to be recognized is, above all, too diverse and not yet defined in a systematic way.

In this paper, we measure how accurately dumbbell row motion, which is one of the health training operations, can be reproduced with key frame animation and motion capture as intended by the user. In particular, consider how you can modify minor variations in motion when needed. It can be seen that the subtle and complete dumbbell low motion required by the user can be realized only if the model's rigging can be implemented to be able to convert the defined region.

**Keywords:** Keyframe animation, Motion capture, Human motion authoring, Gesture reconstruction

## 1. 서론

인간의 동작 인식과 관련된 연구는 기술의 발전과 함께 널리 진행되고 있다. 특히 컴퓨터의 발전으로 인해 동작인식을 기반으로 하는 입력장치에 대한 사용자 요구가 증가되고 있다. 또한 입력된 정보를 저장하고 다시 재구성하는 과정 또한 중요한 연구 주제로 다루어지고 있다.

인간의 동작을 전달하는 방법은 여러 가지이다. 첫 번째는 직접 사람 대 사람으로 동작을 구현하고 보는 것이다. 주관적 이기는 하지만, 대부분의 사람들은 본능적으로 동작에 대한 기본적인 이해와 판단능력이 있다. 두 번째는 키프레임 애니메이션 방식을 이용한 방식이 있다. 주요 동작을 키프레임으로 잡

고 그 중간 과정을 컴퓨터의 자동계산으로 쉽게 해결하는 방법이다. 이는 3D애니메이션에서 많이 사용되는 방법으로 비교적 자연스럽게 동작을 구현해 내는 역할을 한다. 세 번째는 모션 캡처 장비를 사용한 동작의 전달이다. 모션캡처 장비에서 측정 한 3차원 데이터를 컴퓨터상의 모델에게 적용시켜 동작을 재현시키는 방법이다. 마지막으로 본 연구에서 가능성을 탐구하고자 실험을 진행한 회전 방법이 있다. 각 부위의 구체적인 회전절차를 입력할 수 있는 방법으로 동작을 구현해 내는 방식이다.

본 논문에서는 동작인식과 관련된 기존의 연구들을 살펴보고 각각의 연구들이 목표로 하는 바를 알아보려고 한다. 그 후 운동의 기본동작 중 하나인 덤벨로우(Dumbbell Row) 동작을 기존에 많이 사용되고 있는 구현 방식을 이용해 구현해 보고 각

각의 특징을 살펴본다.

## 2. 관련연구

동작을 측정하고 해석하려는 연구는 지속적으로 이루어져 왔었다. 1970년대부터 시작되었던 사람의 직접적인 접촉을 통한 동작인식 방법은 많은 한계를 가지고 있음에도 현재까지 널리 쓰이고 있다. 이것을 시작으로 Data Glove, IMU 센서 등 착용식 센서와 레이더, 와이파이, 키넥트, 림모션과 같은 비착용식 센서 등 다양한 방식의 동작 센서를 사용한 연구들이 등장하고 있다. 특히 각 센서들을 사용하여 다양한 동작들을 인식시키고, 그 정확도를 향상시키기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다..

1977년 개발되어 2000년대 초까지 사용된 Data Glove (혹은 Wired Glove)는 Optical Flex Sensor(굴곡 센서)를 사용하여 손가락의 움직임을 인식시키는 도구이다. 1990년대 이후 accelerometer, gyroscope, ultra-sonic 등의 센서가 추가되면서 그 인식율은 높아졌다. 1996년에 연구된 Y. Nam과 K. Wohn의 연구에서는 가상현실 환경을 구성하고, Data Glove를 사용하여 10가지 수화 동작 인식을 시도하였다. box, vase, chair, lamp, put-down, bring, zigzag, jump, delete 등의 단어들을 대표하는 손동작을 실험하였고, 그 인식율은 80%로 측정이 되었다.

1773년 최초로 발명된 EMG(근전도 검사 센서)를 사용한 동작인식 연구도 꾸준히 1980년대부터 진행이 되고 있다. J. Kim, S. Mastnik, 그리고 E. André의 연구는 좌우 손을 이용한 RC 자동차의 총 4개의 동작으로 6개의 조합을 만들어 낸다. 연구 결과 동작 정확도는 94%로 단순한 동작을 측정해 내는데 좋은 결과를 보여주고 있으나, 세밀한 측정은 불가능하다.

2009년 마이크로소프트에서 발표한 키넥트는 콘솔 게임기 xbox의 컨트롤러로 제작이 되었다. 이를 통해 다양한 동작인식 연구가 활발히 진행되었는데, 그동안 신체 일부를 기준으로 측정하던 동작 인식분야가 간단하게 전신을 인식시킬 수 있게 된다. 대표적인 연구로 M. Maisto, M. Panella, L. Liparulo, A. Proietti 가 진행한 키넥트를 이용한 간단한 손의 동작을 인식에서는 주먹을 쥐고 있는지 펴고 있는지, 그리고 방향이 어떻게 되고 있는지에 대한 연구로 98%의 인식율을 보인다.

2013년 키넥트 v2의 출시로 인식 방법과 알고리즘의 개선이 있는 뒤 많은 연구들이 지속적으로 진행되었다. 대표적으로 C. Keskin, F. Kırac, YE Kara, L. Akarun이 진행한 연구는 키넥트 2를 이용하여 손가락의 관절을 분리 측정하고 그 관절의 움직임을 실시간으로 확인하여 40개 손가락 관절의 움직임을 82.1%의 정확도를 얻어냈다.

2015년, HS Yeo, B. Lee, H. Lim의 연구에서 조금 더 구체적인 동작인식을 측정하기 시작하는데, 수화의 기본동작인 Close Palm, Claw, OK 싸인, O 싸인, 권총, Pinch, Flat Palm, Pointing 등 9가지를 키넥트를 이용하여 86.66%의 정확도로 측정해 낸다.

같은 해에 P. Molchanov, S. Gupta, K. Kim, J. Kautz 의 연구

에서는 19가지의 기본동작을 측정하지만, 그 정확도는 77.6%다. 기존의 측정방식과 비교할 경우 그 정확도는 떨어지지만 인식하는 동작이 구체적이고, 그 숫자도 많이 증가하였다.

키넥트를 사용하는 측정 방식의 경우는 그 정확도에 있어서 의문을 가지게 된다. 카메라가 비추지 못하는 곳의 동작은 인식이 불가능하다는 단점이 존재하고, 그 범위가 10m 안쪽이라는 제한점이 존재한다.

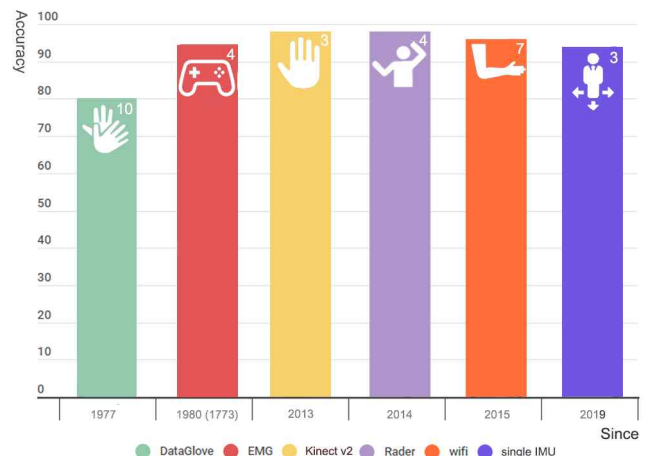
레이터를 이용한 측정 방식은 Q. Wan, Y. Li, C. Li, R. Pal의 연구가 대표적이다. 2014년에 발표된 연구에서 정확도 98%의 머리의 움직임과 팔의 움직임 4종을 측정해 내었으며, 구글등에 의해 그 연구 속도가 활발하게 증가하고 있다. 하지만 아직은 초기단계의 연구로서 다양하고 복잡한 동작을 측정해 내기에는 많은 연구가 필요하다.

wifi 신호의 특성을 사용한 공간 인식 연구는 실시간 동작 측정 방법으로 활용이 되기도 한다. 2015년에 시작된 동작인식 연구에서 다양한 방향으로 팔을 움직이는 7개의 동작을 H. Abdelnasser, M. Youssef, K. Harras가 측정하였고, 그 정확도는 96%까지 올라가게 되었다. wifi 신호를 활용한 측정의 경우 팔, 다리, 몸통과 같은 큰 동작은 무리 없게 측정이 가능하지만, 손과 같은 작은 부위의 경우 측정에 대한 연구가 많이 필요한 상태이다.

다양한 측정 방식의 문제점과 센서의 불편함을 극복하고자 최근에는 IMU(Inertial Measurement Units)와 같은 센서의 장착을 최소화 하여 동작을 측정해 내는 연구를 진행하고 있다.

일반적으로 IMU 센서들을 사용한 M. Georgi, C. Amma, T. Schultz는 EMG센서 측정을 같이 사용하여 좌, 우, 상, 하 방향의 손가락 튕기기, 좌우 회전, 손바닥 밀기 끌기, 손바닥 끌기, 클릭, 더블클릭, 주먹 등 12가지 동작을 센서별로 비교한다. IMU의 경우 70.2% EMG의 경우 33.2%의 정확도를 나타낸다.

특히 가장 최근 연구로는 2019년에 발표된 하나의 IMU센서만을 가지고 동작을 측정하는 H. Wang, M. Irfan M. Refai, B. van Beijnum 가 발표한 것이 있다. 위-아래, 좌-우, 앞-뒤의 팔 동작을 IMU센서로 실시간 측정하여 94%의 정확도를 얻는다.



현재 동작인식과 관련된 연구에서 그 정확도와 동작의 가지는 반배례하는 것으로 나타나고 있다 위에서 언급된 대표적인 동작인식 연구들 중에 그 정확도가 높은 연구들을 센서별로 모아 <그림1>의 그래프로 그려보았다. Data Glove를 제외한 대부분의 센서 인식률이 90% 이상의 양호한 수치를 보여주고 있지만, 그 인식 동작이 10개 이하 심지어 5개 이하로 제한되는 것을 확인해 볼 수 있다.

### 3. 동작 재현 방식에 따른 분류

#### 3.1 키프레임 애니메이션(Keyframe Animation)을 이용한 동작 재현

사람의 동작을 녹화한 동영상은 인터넷 등을 통해 다수의 사람들에게 전달이 가능하다는 장점이 있다. 또 다른 동영상을 통한 동작의 재현 방법은 3D 툴을 활용하여 프레임 애니메이션으로 제작하는 것이다. 프레임 애니메이션은 시작하는 동작과 목표 동작 각각의 프레임을 설정해주고 사이의 프레임은 보간법을 통해 자동으로 동작을 생성하는 방법으로 제작된다. 프레임 애니메이션은 반복된 동작을 완벽하게 똑같이 한다는 것이 특징이다.

실제 동작 동영상]과 프레임 애니메이션을 통한 동작의 차이점을 표 1 을 통해 분석하였다.[6] 동일한 프레임으로 영상을 변환하였으며 덤벨의 위치와 신체의 회전 각을 분석하였다. 표 1 은 현대 논문에서 표현할 수 있는 덤벨의 위치를 영상 속 픽셀 값으로 추적하여 분류한 것이다. 초당 30프레임을 기본속도로 지정하여, 0프레임은 동작의 시작, 30프레임은 목표자세, 60프레임은 되돌아온 자세가 되도록 수정하였다. 덤벨을 아래에서 위로 올리는 것을 각각 시작자세와 목표자세로 분할하여 이동한 프레임 값을 퍼센트로 비교분석하였다.

표 1 의 0, 15, 30 , 45, 60 프레임 애니메이션은 순서대로 균일한 속도로 움직이는 것을 볼 수 있다. 이는 프레임애니메이션은 시작동작과 목표동작을 원하는 프레임에 설정하면 그 사이 프레임과 동작을 보간하여 자동으로 생성해주기 때문이다. 그러나 실제 동작 동영상의 0, 15, 30, 45, 60 프레임을 순서대로 보면 프레임 애니메이션과 동영상 프레임별 측정 기준선과 일치하지 않는 덤벨의 위치를 볼 수 있다. 덤벨을 올리는 동작에서는 키프레임 애니메이션과 동일하게 0, 15, 30 프레임의 순서대로 동작의 이동 범위, 속도는 균일했다. 그러나 35, 45, 51, 60 프레임의 덤벨을 내리는 동작에서 프레임 애니메이션은 일정한 속도로 내려가는 반면에 동영상 속 실제 사람의 속도는 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. 표의 프레임 애니메이션 30~60프레임과 실제 동작 동영상의 30~60프레임을 보면 각 시작과 종료의 시간은 같으나 내려오는 동작의 속도가 다르다. 30~35 프레임까지는 빠른 속도로 덤벨을 50%까지 내리는 것으로 볼 수 있다. 프레임 애니메이션에서는 덤벨의 위치가 동작의 50%에 해당하는 것은 45프레임에 위치한다. 이를 통해 프레임 애니메이션과 달리 빠른 진행 이후 천천히 속도를 조정한다. 그리고 45프레임부터 60프레임까지 천천히 덤벨을 정지

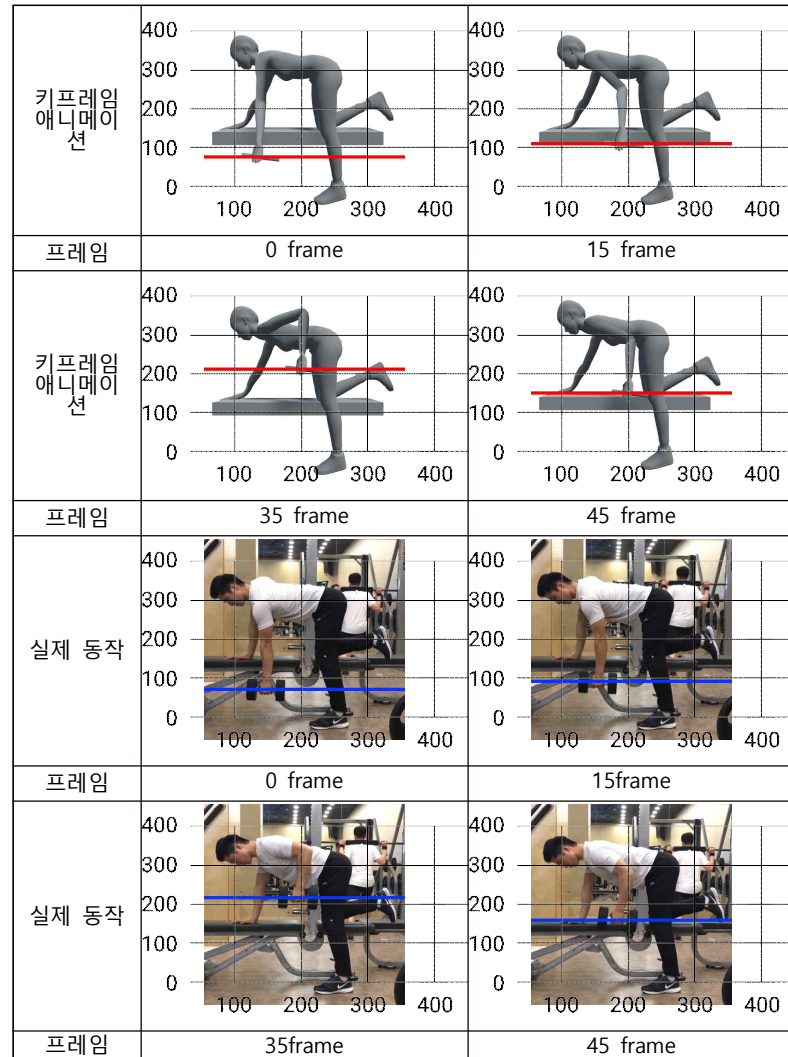


표 1 키프레임 애니메이션 기법을 이용한 동작인식 단계와 실제 동작  
(Table 1 Tracking the position of the dumbbell by dividing the motion rec  
the keyframe animation techn

속도로 낮추는 과정이 된다. 이와 같은 이유는 운동의 효과를 극대화하기 위한과 중력, 근육의 활용 등을 통해 나타나는 미세한 차이 때문이다. 또한 구분동작에서 나타나는 속도의 변화는 빈번하게 나타나는데, 덤벨의 무게가 무거울수록 변화의 주기가 짧아진다. 또한 세부적으로 실제 동작 동영상을 확인한 결과 덤벨을 올리기 직전과 올리고 유지를 하다가 덤벨을 내리는 순간 나타나는 속도의 변화가 있다.

키프레임 애니메이션을 이용한 덤벨로우 동작의 재현은 실제 동작과 유사해 보이지만, 프레임 단위로 나눈 본 연구의 분류 방법을 통해 비교해본 결과는 많이 다르다는 것을 보여준다. 그 이유는 일정한 동작과 속도를 자동 생성해 주는 키프레임 애니메이션과 다르게 인간은 반복되는 동작을 매번 정확하게 똑같이 수행하지 못한다. 즉, 프레임과 프레임 사이에 발생하는 움직임까지 제작자의 의도대로 제작하기가 어려우므로 결국 실제 동작과는 차이가 생길 수 있다. 이를 보완하기 위해 애니메이션 프레임을 늘려 모션의 세밀도를 조절하는 방법을 추가 할

수는 있으나 이 또한 프레임과 프레임 사이의 동작을 완벽하게 구현하기 보다는 자동 생성되는 임의의 값으로 동작하기 때문에 결국 기준이 되는 사람의 동작을 똑같이 구현할 수는 없다.

### 3.2. 모션 캡처 장비(Motion Capturing System)를 이용한 동작 재현

모션 캡처 장비를 사용한 동작인식 구현은 현재 가장 많이 쓰이고 있는 방식이다. 특히 비용이 기존의 마커 기반 모션 캡처 기기보다 저렴한 IMU 장비의 등장으로 많은 사람들이 동작을 저장하고 구현하는 용도로 사용 중이다. 특히 본 연구에서는 IMU의 종류중 하나인 퍼셉션 뉴런(Perception Neuron)을 이용하여 덤벨로우 동작을 측정하였다. 퍼셉션 뉴런은 각 관절

작을 구현하려는 사람이 기준이 되는 영상속의 덤벨로우자를 취하는 사람이 아니라 다른 사람이 덤벨로우 제세를 취하여 측정된 결과인 것이다.

센서의 값으로 구현한 동작과 실제 기준이 되는 동작은 동작을 하는 사람의 신체조건이 다르고, 운동의 숙련도에서도 차이가 있어 똑같은 동작을 재현하는 데에는 제약이 있다는 결과가 도출 된다. 즉, 특정인의 특정 동작을 구현할 경우 한 사람만이 동작을 할 수 있다는 제한이 생긴다. 혹여 아주 유사하게 동작을 구현할 수 있다고 하더라도 정확한 재현을 하기 위해서 센서를 착용한 사람이 여러 번의 동작을 시도하여야 유사성이 높아진다.

결론적으로 본 연구의 실험결과인 표 2 도 센서를 착용한 사람이 수십 번의 시도 끝에 가장 유사하다고 보이는 것의 영상을 추출하여 실제영상과 비교한 것을 나열 한 것이다. 그러나 앞서 밝힌바와 같이 일부 구간에서 머리, 팔, 다리의 위치가 중심이

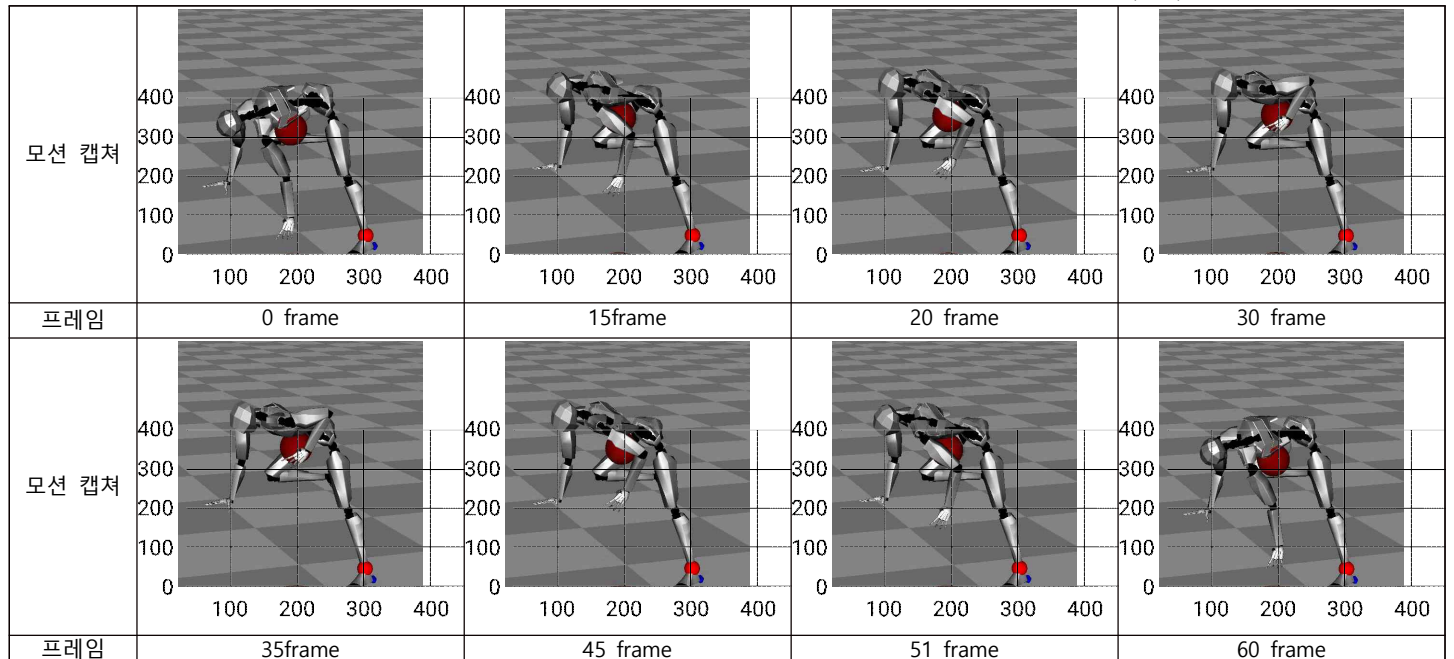


표 2 모션 캡처 장비를 이용한 동작인식 단계를 시간으로 나누어 덤벨의 위치를 추적 (단위: 픽셀)

(Table 2 Tracking the position of the dumbbell by dividing the motion recognition step using the motion capture device into time Unit:

pixels)

의 위치에 자이로스코프(Gyroscope)와 가속센서(Accelerometer)가 혼합된 모듈형 센서를 이용해 동작을 측정하고 데이터를 저장하는 역할을 한다. 데이터의 저장과 동시에 기본으로 제공하는 사람형태의 3차원 더미 영상은 실시간으로 사람의 동작을 보여준다.

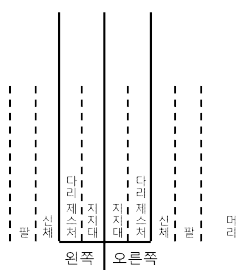
퍼셉션 뉴런을 사용한 덤벨로우 동작은 키프레임 애니메이션과 다르게 프레임간의 간격이 짧아서 사람의 동작을 거의 시각적으로 비슷하게 구현하는 것으로 이미 알려져 있다. 그러나 표 2 를 통해 구현된 동작을 비교해 보면 실제 동작과 모션 캡처와의 결과가 완벽하게 일치하지 않음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 기준 영상으로 설정한 덤벨로우 동작을 그대로 재현하는 것을 목표로 하고 있기 때문이다. 즉, 센서를 착용하고 동

되는 실제 동작과는 일치하지 않는 부분이 있다는 사실을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 특정인의 덤벨로우 동작을 그대로 재현해 내려는 목표를 달성하기 위해서 영상 사이사이에 보이는 유사도가 떨어지는 구간에 대한 수정이 가능한 방식이 요구된다.

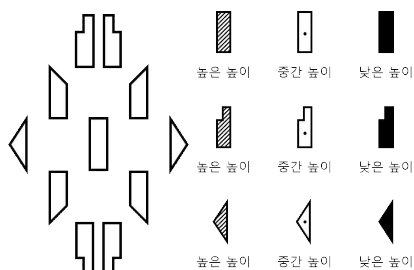
### 3.2. 라바노테이션(Labanotation)을 통한 동작재현

라바노테이션은 1928년에 무용가이자 무용이론가인 루돌프 폰 라반(Rudolf von Laban)에 의해 만들어진 양식이다. 루돌프 폰 라반은 '무용가의 세계(1920)' 와 '체조와 무용(1925)' '안무(1925)' 등 다양한 이론저서를 통해 현대무용에 큰 영향을 주었다. 루돌프 폰 라반은 다양한 이론 저서를 작성하며 기존의 무

용 강습방식을 체계적으로 강의하기 위해 연구했다. 기존 무용은 숙련자가 1대 1 혹은 1대 소수의 형태로 초심자에게 무용을 강의했다. 즉, 숙련자가 먼저 춤을 추고 초심자가 따라 추면 숙련자가 자세를 고쳐주는 형태로 진행되었다. 이러한 형태를 벗어나 음악의 악보와 같이 선과, 기호를 통해 안무를 표현하는 무보(舞譜)를 통해 무용을 전달하고자 했다. 이를 통해 5개의 선을 기준으로 신체를 반으로 분할하여 각각의 운동을 기록했다. 라바노테이션은 단순 동작만을 기록한 것이 아니라 무용의 특징 중 하나인 시간과 공간을 기록할 수 있도록 제작되었다. 그래서 현대까지 정확하고 상세하게 무용을 기록할 수 있는 것이 특징이며, 수 많은 무용가가 활용하고 있다. 또한 “라반움직임이론 교육 현황 분석 : 한국과 미국의 대학무용교육을 중심으로”를 통해 수많은 무용 전공을 보유한 대학에서 하나의 커리큘럼으로 라바노테이션의 강의현황을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 다양한 동작표현을 위한 사례연구로 라바노테이션을 통해 헬스 동작의 하나인 비셉컬(Bicep curl)과 응용 동작인 와이드, 크로스를 라바표기법으로 작성해보았다. 무보를 작성하며 나타나는 라바노테이션의 장점과 단점을 분석해보았다.

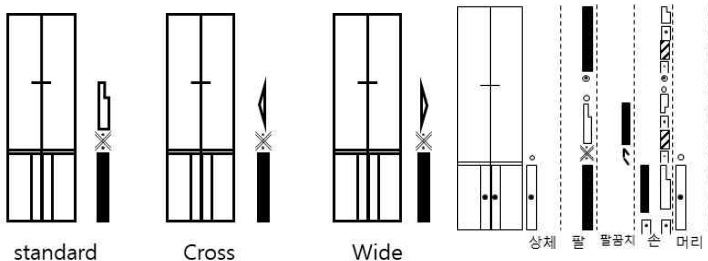


[그림 1]  
라바노테이션의  
기본선



[그림 2] 방향기호와 높낮이 표기

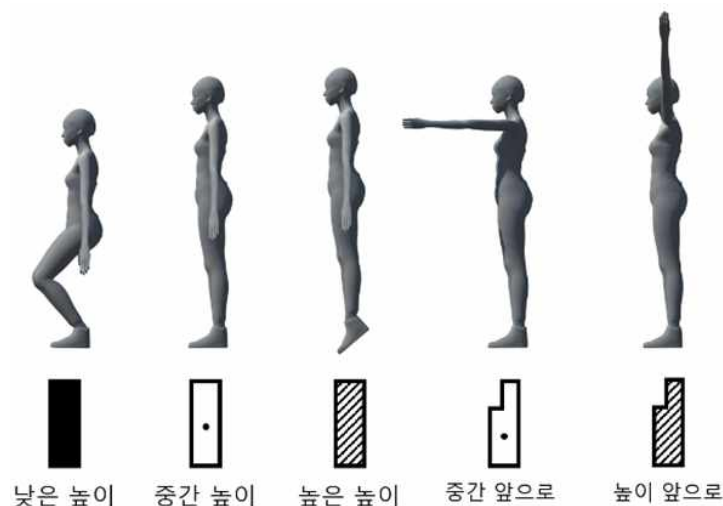
[그림 1]과 같이 라바노테이션은 중앙의 굵은 선을 준으로 신체의 오른쪽과 왼쪽을 분할하여 기록한다. 이를 통해 굵은 선 사이에 각각 2개의 기호가 놓일 수 있는데 이는 지지대와 제스처 즉, 신체의 무게중심과 동작의 움직임을 표기한다. 중심에 가까운 기호는 신체의 무게중심과 다리의 제스처를 의미하고, 굵은 선 밖의 기호들은 신체 상반신의 무게중심과 팔의 제스처를 의미한다. 그리고 머리는 보편적으로 우측에 독립적으로 배치한다.



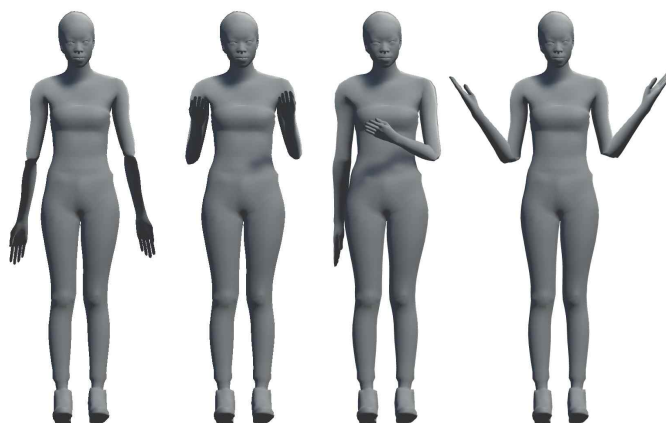
[그림 3] 각 동작을 작성한 무보

[그림 4] 비셉컬의  
스탠다드 세부표기

[그림 2]와 같이 라바노테이션은 기준선에 각각의 기호를 배치하여 동작을 지시한다. 해당 동작들은 신체의 방향성을 표시한다. 방향기호와 높낮이 표기는 동시에 표기되는 것으로 특정 신체부위를 이동 혹은, 제자리 그리고 높낮이를 표현하여 안무를 표기한다. [그림 5]와 같이 안무의 동작은 각각 방향을 나타낸다.



[그림 5] 기호별 동작의 모습

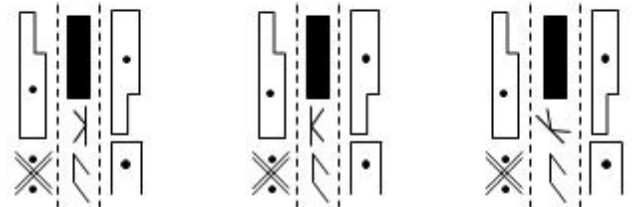


[그림6] 비셉컬의 준비자세와 목표동작(좌측부터 스탠다드, 크로스, 와이드)

라바노테이션은 무용의 다양한 동작을 음악의 오선지와 같이 하나의 도표로 정리한 것이 특징이다. 비셉컬을 무보로 작성하는 과정에서 라바노테이션은 다양한 동작을 간결하게 작성할 수 있었다. 간단한 동작은 [그림 3]과 같이 팔을 접는 행동과 같은 것을 간결하게 작성할 수 있다. [그림 4]의 비셉컬 스탠다드는 기본 자세로 팔을 내린 상태를 시작으로 팔의 기호를 접힘 6도로 표기했다. 그 외에 다양한 동작들은 접힘은 동일하나 팔의 움직이는 방향의 차이를 표기했다. 이러한 간단한 표기를 통해 비셉컬의 동작과 다른 동작을 쉽게 전달할 수 있었다. 그러나 비셉컬은 복잡한 형태의 동작은 아니지만, 자세한 움직

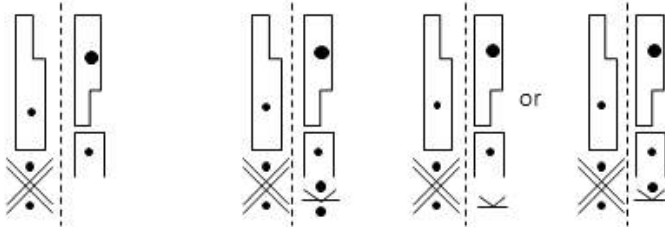


임을 무보로 서술을 시도한 결과 복잡한 형태의 도표가 나타났다. 이러한 이유는 [그림 3]과 같이 간단한 라바노테이션을 기록자가 아닌 다른 사람이 무보를 보고 따라하는 과정에서 해석상의 자유를 통해 다른 동작으로 표현할 가능성 때문이다. 이러한 해석상의 자유를 최대한 보조하기 위해 [그림 4]와 같이 기본자세를 표현했다. [그림 4]는 각각의 부위별로 상세한 동작을 기록했다. 상체, 팔, 팔꿈치, 손, 머리 이렇게 상반신 전체와 하체 지지대 또한 표기하여 보았다.

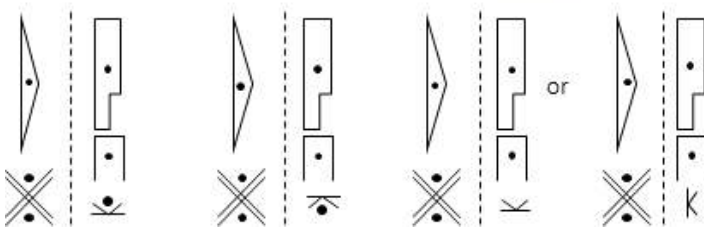


[그림 8] 비숍컬의 세부동작가이드-팔

일반적으로 무용과 같이 안무가의 부분적인 해석과 다른 표현은 예술의 범주에 있어서 문제가 되지 않는다. 그러나 비숍컬은 헬스동작으로 정확한 행동을 통해 효과적인 운동을 전달할 수 있어야 한다. 이를 위해 세부동작 가이드를 구성하는 과정에서 라바노테이션의 한계점을 발견할 수 있었다. [그림 6], [그림 7]과 [그림 8]과 같이 자세한 각도의 가이드가 표현이 어려운 것을 볼 수 있다. 라바노테이션이 표현할 수 있는 각도는 총 6도형식으로 각 30도씩 표현이 가능하다. 그러나 30도 이내의 세세한 회전, 접힘과 같은 표현은 작성하는 것이 불가능했다. 또한 라바노테이션을 통해 헬스동작을 습득하기 위해서는 먼저 라바노테이션을 습득해야 한다. 세세한 형태의 무보를 읽는 것은 사전과정이 필요한 것이 명확한 단점으로 볼 수 있다. 이와 같이 라바노테이션은 무용이 아닌 다른 분야에서 활용되는데 한계점이 있는 것을 발견했다.



[그림 6] 비숍컬의 세부동작가이드-손목-1



[그림 7] 비숍컬의 세부동작가이드-손목-2

#### 4. 재설정 가능한 모션 캡처를 위한 부분 동작 분류

3차원 공간상에서 오일러 각(Euler Angles)과 회전을 사용하면 물체의 회전을 구현할 수 있다. 오일러 각이란 각 X, Y, Z 축의 회전량을 지정된 순서대로 곱하였을 때 물체의 모든 방향을 표현하는 방법이다.[8] 오일러 각에 의한 회전은 서로 밀접한 관계가 있으며 본 논문에서는 각 자세의 단계에 따라 회전을 도출한 후 오일러 각으로 변환하여 회전 값을 적용한다. 이를 우리는 재설정 가능한 모션캡처라 명명하고 편집 가능한 지점을 위해 부분 동작을 구분한다. 그 후에 게임 엔진인 유니티(Unity)에서 해당 부위의 오일러 각을 적용한 영상을 제작하였고, 회전 순서는 Z, X, Y 이다.

회전을 적용한 영상을 제작하기 위하여 몸 전체에서 각 부위별로 회전축을 찾아 총 16개로 분류하였다.

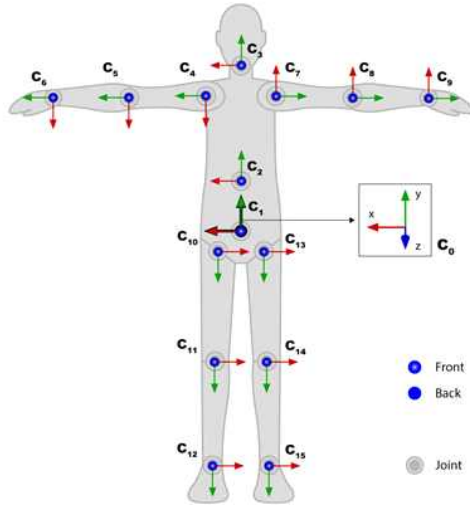


그림 1 신체 각 부위의 회전축  
(Fig. 1 The rotation axis of each body part)

그림 1 은 신체 각 부위마다 적용될 회전축을 표현한 것이다. 각 부위의 회전축은 왼손좌표계가 기반인 로컬 좌표계(Local Coordinate System)를 사용 하였다. 기본 축은 y 축이 머리, 팔, 다리로 향하게 설정하였다. 이 규칙은 동작의 단계가 진행될 때도 동일하게 적용 된다.

회전축	부위	회전축	부위
$c_0$	World	$c_8$	Left Lower Arm
$c_1$	Hips	$c_9$	Left Hand
$c_2$	Spine	$c_{10}$	Right Upper Leg
$c_3$	Head	$c_{11}$	Right Lower Leg
$c_4$	Right Upper Arm	$c_{12}$	Right Foot
$c_5$	Right Lower Arm	$c_{13}$	Left Upper Leg
$c_6$	Right Hand	$c_{14}$	Left Upper Leg
$c_7$	Left Upper Arm	$c_{15}$	Left Foot

표 3 회전축과 신체부위 분류

(Table 3 Rotational axis and body part classification)

표 3 는 16개의 회전축이 어떤 부위에 해당하는지를 보여준다. 회전축  $c_0$ 은 전체의 기준이 되는 월드 좌표계(World Coordinate System)를 나타낸다.

본 연구에서 사용 될 덤벨로우 자세를 준비 자세와 실행 자세로 구분한다. 이때 회전에서 얻어진 오일러 각은 E로 표현하였다.

#### 4.1 덤벨로우 시작 자세

표 4 은 모든 부위의 월드좌표계 회전 값이  $< 0,0,0 >$ 인 상태에서 준비 자세까지의 회전에 총 6단계로 구성되었다.

순서	회전축	부위	오일러 각
0	$c_0$	World	-
1	$c_1$	Hips	$E_{HI} = < \frac{\pi}{2}, -\pi, -\pi >$
2	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{\pi}{6}, -\frac{2\pi}{3}, 0 >$
3	$c_4$	Right Upper Arm	$E_{RUA} = < -\frac{\pi}{6}, \frac{2\pi}{3}, 0 >$
4	$c_{13}$	Left Upper Leg	$E_{LUL} = < -\frac{\pi}{6}, 0, 0 >$
5	$c_{10}$	Right Upper Leg	$E_{RUL} = < -\frac{\pi}{6}, 0, 0 >$
6	$c_{11}$	Right Lower Leg	$E_{RLL} = < -\frac{\pi}{6}, 0, 0 >$

표 4 회전을 이용한 덤벨로우 준비자세  
(Table 4 Dumbbell Row Readiness with Rotation Matrix)

1단계에서 Hips( $c_1$ )을 회전축으로  $< \frac{\pi}{2}, -\pi, -\pi >$  회전시킨 후 2단계에서 Left Upper Arm( $c_7$ )을 회전축으로  $< -\frac{\pi}{6}, -\frac{2\pi}{3}, 0 >$  회전하였다. 이 단계에서 roll회전과 pitch회전이 순서대로 진행되어 두 회전을 만들어 주었다. 3단계에서 반대쪽인 Right Upper Arm( $c_4$ )을 회전축으로  $< -\frac{\pi}{6}, \frac{2\pi}{3}, 0 >$  회전시켰으며 전 단계와 마찬가지로 두 회전을 만들어 주었지만 pitch회전은 -값으로 적용하였다. 4,5단계에서 양쪽 다리가 바닥에 닿아 있도록 Left Upper Leg ( $c_{13}$ ) 와 Right Upper Leg ( $c_{10}$ )을 회전축으로  $< -\frac{\pi}{6}, 0, 0 >$  회전 하였다. 6단계에서 엎드린 자세에서 하는 동작인 덤벨로우의 특성상 한쪽 다리를 굽히기 위해 Right Lower Leg ( $c_{11}$ )을 회전축으로  $< -\frac{\pi}{6}, 0, 0 >$  회전하였다.



그림 2 회전을 적용한 덤벨로우 준비자세 이미지  
(Figure. 2 Dumbbell low readiness image with rotation matrix)

그림 2 는 모든 단계의 회전 값을 3D 모델링에 적용한 덤벨로우 시작 자세 이미지이다. 덤벨로우 동작을 실행할 준비 자세는 완성되었다.

#### 4.2 덤벨로우 실행 동작

회전에서는 오일러 각을 이용하여 동작의 단계를 다양하게 설정할 수 있고 수정이 가능하다. 또한 동작의 단계를 추가하여 더 정확한 동작을 제작할 수 있다. 본 연구에서는 세 가지 방식을 사용하여 덤벨로우 실행 동작을 제작하였다. 덤벨로우 실행 동작은 덤벨을 들고 왼쪽 팔만 움직이는 동작이다. 실행 동작을 만드는 모든 방식은 순서를 나누어 진행하였고 각각의 해당 부위에 임의로 지정한 오일러 각을 적용하였다. 첫 번째는 회전하는 부위를 기준으로 각 단계를 설정하여 동작을 제작하였고 두 번째는 시간에 따른 자세 변화를 기준으로 각 단계를 설정하였다. 세 번째는 두 번째 방식에서 더 세부적인 단계를 추가하여 인간의 실제동작과 더 유사한 동작을 구현해보고자 하였다. 실행 자세는 전체적인 덤벨로우 동작의 한 부분이다. 시작 자세와 여러 번 반복되는 실행 자세로 하나의 덤벨로우 동작이 완성된다. 방식을 변경하고 추가하며 회전을 사용한 부분 동작을 제작하였다.

표 5 는 회전 부위를 이용한 덤벨로우 실행 자세를 총 4단계로 나누어 나타낸 것이다. 1,2 단계는 덤벨을 들어 올렸을 때 자세이고 3,4단계는 덤벨을 바닥을 향해 내렸을 때 자세이다. Left Upper Arm( $c_7$ )의 회전 이후에 Left Lower Arm( $c_8$ )의 회전의 순서로 진행하였다.

순서	회전 축	부위	오일러 각
0	$c_0$	World	-
1	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{46\pi}{45}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3} >$
2	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < \frac{\pi}{6}, -\frac{5\pi}{12}, -\frac{\pi}{3} >$
3	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{97\pi}{180}, \frac{19\pi}{60}, \frac{133\pi}{180} >$
4	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < -\frac{10\pi}{9}, -\frac{29\pi}{45}, 0 >$

표 5 회전 부위를 이용한 덤벨로우 실행 자세  
(Table 5 Dumbbell low execution position)





순서	회전 축	부위	오일러 각을 적용한 이미지
0	$c_0$	World	-
1	$c_7$	Left Upper Arm	
2	$c_8$	Left Lower Arm	
3	$c_7$	Left Upper Arm	
4	$c_8$	Left Lower Arm	

표 6 회전 부위를 이용한 덤벨로우 실행 자세 이미지  
(Table 6 Image of dumbbell low posture using rotating part)

표 6 은 회전으로 구한 오일러 각을 3D모델링에 적용한 이미지를 단계별로 나타낸 것이다. 먼저 Left Upper Arm( $c_7$ )을 회전시킨 후 Left Lower Arm( $c_8$ )의 회전하는 순서로 진행하였다. 덤벨을 들어 올렸을 때의 자세는 2단계의 이미지와 같다. 1단계의 이미지에서는 덤벨로우 동작에서 볼 수 없는 자세로 하늘을 향해 왼쪽 팔을 뻗고 있는 것을 확인 할 수 있다. 3단계에서 Left Upper Arm( $c_7$ )을 회전축으로 회전하여 시작 자세의 Left Upper Arm( $c_7$ )와 비슷한 각도인 것을 볼 수 있다. 하지만 1단계와 마찬가지로 덤벨로우 동작이 아닌 자세를 볼 수 있다. 4 단계에서 Left Lower Arm( $c_8$ )을 회전축으로 회전하고 난 후에야 덤벨을 바닥을 향해 내리며 시작 자세와 비슷해지는 것을 볼 수 있다. 보통 덤벨로우는 Left Upper Arm( $c_7$ )과 Left Lower Arm( $c_8$ )을 동시에 회전하며 동작을 실행된다. 하지만 회전축을 기준으로 단계를 설정하여 Left Upper Arm( $c_7$ )의 회전 이후에 Left Lower Arm( $c_8$ )의 회전이 진행되는 방식은 1, 3단계에서 부자연스러운 자세가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

표 7 은 자세의 변화를 이용한 덤벨로우 실행 자세를 총 2단계로 나누어 나타낸 것이다. 1단계는 덤벨을 들어 올렸을 때 자세이고 2단계는 시작자세와 비슷한 덤벨을 바닥 쪽으로 내렸을 때 자세이다. 각 단계에서 Left Upper Arm( $c_7$ )과 Left Lower Arm( $c_8$ )의 회전을 동시에 적용 하여 앞서 적용한 방식보다 덤벨로우 동작과 비슷하게 만들 수 있었다.



순서	회전축	부위	오일러 각
0	$c_0$	World	-
1	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{46\pi}{45}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < \frac{\pi}{6}, -\frac{5\pi}{12}, -\frac{\pi}{3} >$
2	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{97\pi}{180}, \frac{19\pi}{60}, \frac{133\pi}{180} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < -\frac{10\pi}{9}, -\frac{29\pi}{45}, 0 >$

표 7 자세의 변화를 이용한 덤벨로우 실행 자세  
(Table 7 Dumbbell low execution position using change of posture)



순서	회전축	부위	오일러 각을 적용한 이미지
0	$c_0$	World	-
1	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	
2	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	

표 8 자세의 변화를 이용한 덤벨로우 실행 자세 이미지  
(Table 8 Dumbbell low execution posture image using change of posture)

이러한 방식의 제작은 각 단계별로 자세의 유사도를 높였지만 만드는 방식에서 어려움이 발생하였다. 각 단계의 자세는 덤벨로우 실행 자세와 비슷하지만 1단계에서 2단계로 진행되면서 적절하지 않은 회전이 발생하는 경우가 생긴다. 그림 3 은 1단계에서 2단계로 진행되는 과정에서 잘못된 회전이 발생하는 경우의 캡처 된 이미지이다.

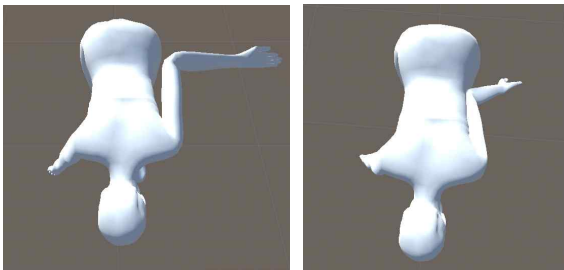


그림 3 잘못된 회전이 발생하는 동작의 예시  
(Fig. 3 Example of motion with incorrect rotation)

이러한 경우에는 각 회전축의 오일러 각을 변경하여 동작을 수정할 수 있다. 덤벨로우 동작의 경우에는 Left Upper Arm( $c_7$ )과 Left Lower Arm( $c_8$ )을 회전축으로 하는 회전각을 수정하면 정확한 구현이 가능하다. Left Upper Arm( $c_7$ )이 회전축일 때는 yaw값에 변화를 주거나 Left Lower Arm( $c_8$ )이 회전축일 때는 roll과 yaw 값을 적절하게 수정할 수 있다. 이와 같은 과정을 거치면 눈으로 보기에 실제 사람의 덤벨로우 동작과 비슷해 보인다.

#### 4.3 자세의 세부적인 변화를 이용한 실행 자세

순서	회전축	부위	오일러 각
0	$c_0$	World	-
1	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{97\pi}{90}, -\frac{107\pi}{180}, \frac{2\pi}{45} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < \frac{23\pi}{60}, -\frac{3\pi}{20}, \frac{37\pi}{180} >$
2	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{21\pi}{20}, -\frac{11\pi}{20}, \frac{77\pi}{180} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < \frac{17\pi}{60}, -\frac{49\pi}{180}, -\frac{7\pi}{180} >$
3	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{46\pi}{45}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < \frac{\pi}{6}, -\frac{5\pi}{12}, -\frac{\pi}{3} >$
4	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{21\pi}{20}, -\frac{11\pi}{20}, \frac{77\pi}{180} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < \frac{3\pi}{10}, -\frac{7\pi}{45}, \frac{2\pi}{45} >$
5	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{97\pi}{90}, -\frac{107\pi}{180}, \frac{7\pi}{30} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < \frac{73\pi}{180}, \frac{11\pi}{180}, \frac{13\pi}{36} >$
6	$c_7$	Left Upper Arm	$E_{LUA} = < -\frac{97\pi}{180}, \frac{19\pi}{60}, \frac{133\pi}{180} >$
	$c_8$	Left Lower Arm	$E_{LLA} = < -\frac{10\pi}{9}, -\frac{29\pi}{45}, 0 >$

표 9 자세의 세부적인 변화를 이용한 덤벨로우 실행 자세  
(Table 9 Using detailed changes of posture  
Dumbbell low execution posture)

표 9 와 표 10 는 자세의 변화를 이용한 덤벨로우 실행 자세에 과정을 추가하여 나타낸 것이다. 덤벨을 들어 올렸을 때 자세를 1~3단계로 덤벨을 바닥 쪽으로 내렸을 때 자세를 4~6단계로 세분화하였다. 이미지에서도 확인할 수 있듯이 앞서 진행한 방식보다 명확한 동작을 제작할 수 있었다. 이는 부분 동작에서 세부적인 단계를 추가하면 보다 정확한 동작을 구현할 수 있다는 것을 의미한다.







순 서	회전 축	부위	오일러 각을 적용한 이미지
0	$c_0$	World	-
1	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	
2	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	
3	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	
4	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	
5	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	
6	$c_7$	Left Upper Arm	
	$c_8$	Left Lower Arm	

표 10 자세의 세부적인 변화를 이용한 덤벨로우 실행 자세 이미지  
(Table 10 Using detailed changes of posture Dumbbell low execution posture image)

최종적으로 제작된 덤벨로우 영상을 서로 비교하여 유사도를 확인해 보았다. 동작의 유사도는 덤벨의 움직임을 영상의 위치로 측정하여 표 11로 제작하였다. 표 11 상단 수정 전에서 보이는 바와 같이 기준선을 중심으로 회전의 덤벨 위치는 예상과 다르게 차이가 많이 나고 있음을 알 수 있다. 게다가 계산을 통한 동작이 일부 구간에서 실제 동작과는 전혀 다른 움직임을 보이는 것을 알 수 있었다. 예를 들어 표 11의 제작된 수정 전 영상은 실제 동작과는 절차와 형태가 다른 과정을 보여주고 있

고, 팔꿈치를 펴고 구부리는 동작의 각도가 잘 못 계산되는 등의 결과를 통해 전반적 유사도를 떨어뜨리는 형태를 보여준다. 우리는 재설정 가능한 모션 캡처를 위해 동작 단계를 추가하고 일부 구간에서 발생한 팔꿈치의 움직임의 각도 값을 수정하여 표 11 수정 후 부분과 같은 실제 동작과 비교하여 유사도 높아진 영상을 제작하게 되었다.

오일러 각과 회전의 원리만 아는 사람이라면 누구든지 편집 가능한 부분 동작을 통해 덤벨로우 동작을 재설정하여 좀더 근접하고 유사하게 제작하고 만들 수 있다는 실험 결과를 얻었다.

## 5. 결 론

기존의 동작인식 방법에서 쓰는 대부분의 방식은 프레임 애니메이션과 같이 각 신체 부위의 위치와 시간을 비교 계산하여 움직임을 측정해 내는 것이다. 즉, 특정 정지동작과 정지동작을 연결하는 방식으로 진행이 된다고 볼 수 있다. 이 경우 동작과 동작 사이의 미세한 부분의 움직임은 컴퓨터가 대략적으로 계산하여 처리하게 때문에 그 정확성은 매우 떨어지며, 실험을 통해 이를 증명하였다. 또한 운동 중 필요로 하는 호흡 조절, 힘의 조절과 같은 부분에 대한 정보는 프레임 애니메이션에서는 장면과 장면의 움직임만으로 표현해야 한다. 이러한 문제는 IMU센서를 사용한 동작 구현 방식에서도 발생한다. 단순히 입력되는 위치와 속도의 값으로 개개인이 가진 상이한 힘의 세기와 정확도, 그리고 뇌와 관련되는 집중력 등을 측정하고 다시 재구성하는 것은 불가능한 일이다. 또한 회전에서도 마찬가지로 대략의 단순 회전 값과 동작의 절차만으로는 동작을 재현해 낼 수 없다. 특히, 미세한 동작의 변형이 필요할 때 그 수정 방법에 대한 개념과 정의에 대해 자세히 알아야만, 사용자가 요구하는 미묘한 차이의 덤벨로우 동작을 재현해 낼 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

하지만 편집 가능한 부분 동작을 통해 재설정하는 방식은 특정 동작의 절차를 증감시키고 입력 값을 수정하는 등의 절차를 통해 실제 사람과 유사한 동작을 구현해 낼 수 있는 가능성을 보여 주었다. 이는 본 연구에서 기준으로 지정했던 덤벨로우 동영상과는 완벽하게 그 동작의 유사도가 일치하지는 않으나 다른 방식에 비해 높은 것을 실험을 통해 확인하였다. 그리고 회전 값을 전달한다고 하더라도 관절의 위치, 속도 등만 확인이 가능할 뿐 신체 크기의 변화에 따른 측정값의 오차는 여전히 발생할 위험을 갖고 있어 매번 다양하고 세밀한 수정이 요구된다. 또한 덤벨의 크기와 무게에 따라 발생하는 속도와 움직임의 변화는 측정이 어렵다.

인간의 동작 인식과 관련된 연구들은 동시 다발적으로 많이 진행되고 있지만, 그 정확성의 향상은 한계에 부딪히고 있다. 특히 그 측정방식과 통일되지 않은 각 연구자 간의 검증 시스템 등 많은 문제점이 생기고 있다. 수많은 동작 데이터들 중에 특정한 사람의 데이터를 어떻게 가공하여 사용하느냐 부터 시작하여 어떻게 담아 정확하게 전달하느냐에 대한 논의는 끝없

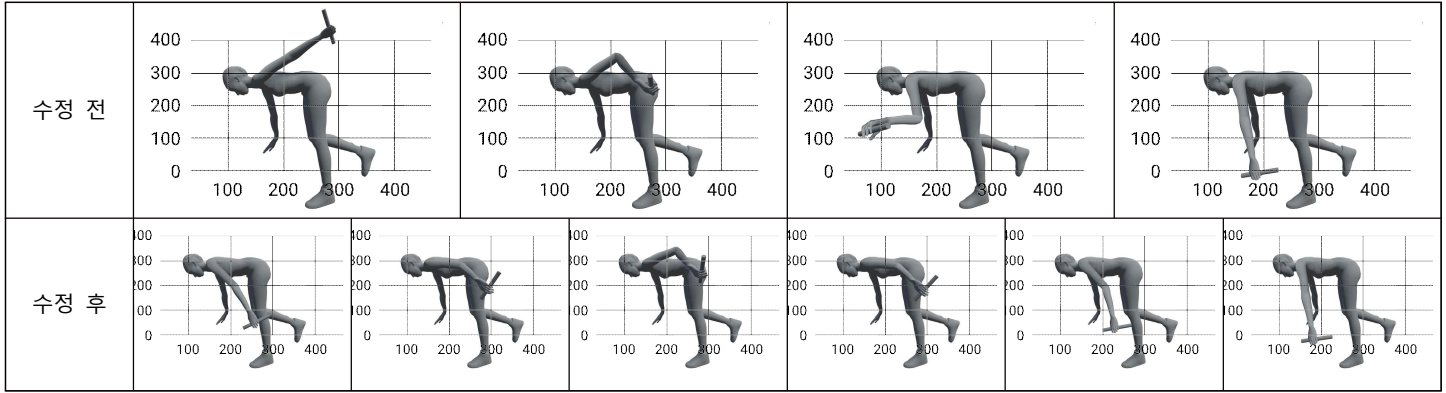


표 11 재설정 가능한 모션 캡처를 위해 편집 가능하도록 구분한 부분 동작의 제작된 전과 후의 비교 (단위: 픽셀)  
(Table 11 Comparisons of pre-production and post-production activities of editable segmented actions for reconfigurable model captures. Unit: pixels)

이 계속되어 오고 있다.

이번 연구에서 우리가 실험한 키프레임 애니메이션 방식과 IMU센서를 통한 방식, 재설정 가능한 모션 캡처 방식의 동작 구현은 그 결과가 다른 연구들에 비해 인간의 동작과 비교적 유사하게 도출 되었다. 하지만, 특정인의 동작과의 유사도는 아직까지 그리 높지가 않은데, 그 이유는 사람이 특정 동작을 함에 있어서 생기는 변수에 대한 고려를 전혀 하지 않은 상태로 진행이 되었다는 것이다. 미세한 시간 속에서 수시로 변화되는 힘의 강도 정보는 저장하여 표현하거나 제공할 수 가 없다.

부분동작을 분류하여 재설정 가능한 모션 캡처 방식과 같은 절차의 증감, 과정의 수정 등이 가능하면서도 그 방법이 조금 더 쉽고 표준화 되어 있는 방식의 개발이 중요하다고 생각된다. 현재 우리가 실험한 방식은 오일러 각과 회전만을 사용하였기 때문에 기준이 다른 형태와 규격의 경우 적용할 시에 생기는 변환 및 계산의 복잡성이 많으리라 예상할 수 있다. 이는 동작인식과 관련하여 표준화된 방식만 정해진다면 그 데이터를 관리하고 연결하는 것만으로도 다양한 동작을 구현하고 만들어 낼 수 있는 틀이나 규격이 완성될 수 있다는 편리성이 있다. 즉, 다양한 센서 및 데이터를 하나로 합쳐 해석하고 구현하는 표준 규격 즉, 하나의 프로토콜을 이용한다면, 현재 우리가 본 연구에서 적용한 재설정 가능한 모션 캡처를 언제 어디서든 사용이 가능한 규격으로 만들 수 있다. 향후 동작인식 데이터의 저장과 구현에 있어 수정을 통해 유사한 동작을 구현해 내는 결과를 표준화하여 보다 현실감 넘치는 동작 재현이 가능할 것으로 기대된다.

2202-2209.

- [3] B. Brügge, C. Teschner, P. Lachenmaier, E. Fenzl, D. Schmidt, and S. Bierbaum. Pinocchio: Conducting a virtual symphony orchestra. In Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '07) (Salzburg, Austria, June 15-17, 2007), 294-295.
- [4] T.M. Nakra, Y. Ivanov, P. Smaragdis, and C. Ault. The USB Virtual Maestro: An Interactive Conducting System. In Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '09) (Pittsburgh, PA, June 4-6, 2009).
- [5] C. Chan, S. Ginosi, T. Zhou and, A. A. Efros. Everybody Dance Now. Graphics, Computer Vision and Pattern Recognition, arXiv.org. 22. Aug. 2018.
- [6] FITNESS FM, Exercise Gift Set (trapezius muscle+latissimus dorsi+rhomboideus) One Arm Dumbbell Low!, [https://youtu.be/PD3KocuR\\_es](https://youtu.be/PD3KocuR_es)

# References

[1] Taylor PE, Almeida GJM, Kanade T, Hodgins JK. Classifying human motion quality for knee osteoarthritis using accelerometers. In: 2010 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2010. p. 339-43.

[2] B. F. Mentiplay, K. Hasanki, L.G. Perraton, Y. H. Pua, P. C. Charlton & R. A. Clark. Three-dimensional assessment of squats and drop jumps using the Microsoft Xbox One Kinect: Reliability and validity. Journal of Sports Sciences. Vol 36, 2018 Issue 19. p.