

# 가상현실 콘텐츠 기반의 농작업 동작 분석을 통한 근골격계 건강상태 측정방법

윤재홍<sup>†</sup>, 이민태<sup>\*\*</sup>, 김은석<sup>\*\*\*</sup>

## Measurement Method of Musculoskeletal Health Status by the Motion Analysis on VR Contents based Agricultural Work

Jae-Hong Youn<sup>†</sup>, Min-Tae Lee<sup>\*\*</sup>, Eun-Seok Kim<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Musculoskeletal disorders show symptoms of pain and dysfunction caused by accumulation of minute damage on nerves and blood vessels which are related to specific body parts. This is more likely to occur in the elderly. In Korea, 40.3% of the agricultural population is over 65 years old. In these cases, the portion of musculoskeletal disorders is more than 80% in acute/chronic diseases related to agricultural work. Therefore, measures for physical health care and safety prevention of elderly farmers are needed. In this study, we intend to propose a method to measure musculoskeletal health condition through the motion recognition device and VR contents. For this, we analyze the agricultural work causing musculoskeletal disorders of farmers, and suggest a motion analysis algorithm that can measure the health condition of the musculoskeletal system. In addition, we are going to propose a training method customized for farmers on the basis of VR contents in order to prevent musculoskeletal disorders.

**Key words:** Musculoskeletal Disorders, Agricultural Work, Motion Recognition, Virtual Reality, Health Care

### 1. 서 론

근골격계 질환(Musculoskeletal Disorders; MSDs)은 특정한 신체부위의 근육, 인대, 힘줄, 추간판, 연골, 뼈 또는 그와 관련된 신경 및 혈관에 미세한 손상이 누적되어 통증이나 기능 저하 증상이 나타나는 급성 또는 만성 질환으로서, 특정 신체부위에 부담을 주는 단순반복 작업, 무거운 물건 들기, 부적절한 자세 취하기 등의 직접적인 원인과 생활습관, 스트레

스, 운동부족 등이 간접적인 원인에 의해 발병하는 것으로 보고 있다[1]. 근골격계 질환은 신체에 반복적으로 부담을 주는 작업에 종사하는 작업자들에게 주로 장기간에 걸쳐 발생하는 건강장애로 젊은 연령층의 근로자에 비하여 고령근로자에게 발생 가능성이 크며, 힘의 저하와 움직임의 제한을 동반하기 때문에 작업과 일상생활에 많은 활동 제약을 가져다준다[2].

특히, 농업인의 근골격계 질환율은 비농업인의 2.4

※ Corresponding Author : Eun-Seok Kim, Address: (58245) Geonjae-ro 185, Naju, Jeonnam, Korea, TEL : +82-61-330-3456, FAX : +82-61-338-8299, E-mail : es-kim@dsu.ac.kr

Receipt date : Oct. 17, 2018, Revision date : Dec. 11, 2018  
Approval date : Dec. 13, 2018

<sup>†</sup> DCRC, DongShin University  
(E-mail : jhyoun@dsu.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> DCRC, DongShin University  
(E-mail : mtlee@dsu.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> Dept. of Digital Contents, DongShin University

※ This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry(IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA)(318011-3)

배에 이르고 있고 작목별 증상 유병율에서 차이가 있다고 보고되고 있다. 농업인의 근골격계 질환 유병율은 상지, 허리, 하지 모두 시설재배 농업인에서 벼 재배 농업인보다 높게 나타난다고 하였고, 근골격계 질환의 발병은 농업인들의 건강관련 삶의 질 감소와 관련이 있다고 보고 있다[3]. 농업인의 근력강화운동이 정신사회 및 신체적 건강수준에 미치는 영향에 대한 연구에서도 농업인에게 근력강화운동의 적용은 심리적인 안정을 주고 신체능력을 향상시켜 근골격계 질환을 예방하고 관리하는데 적합한 치료프로그램으로 사용될 수 있으며, 유통 수준을 감소시키는데 유용하다고 보고 있다[4]. 따라서 근골격계 부담 작업으로 인한 질병 및 사고의 발생은 농업인의 안전보전에서 중요한 요소이며, 고령 농업인의 사회참여 부족, 무료한 생활에서 오는 사회적 고립과 정서적 고독 및 우울감을 해결하고 심신 기능의 저하도 해결을 위한 방안에 대한 연구가 필요하다. 또한 고령 농업인의 경우 업무가 생활과 연결되어 빚어지는 비정상적으로 긴 근로시간과 불편한 자세에서 근골격계 질환이 유발되어 근무 후 휴식이 가능한 일반 고령인에 비해 발병이 깊어 보다 반복적이며 농촌에서 멀리 떨어진 병원을 찾는 일 보다 쉽게 접할 수 있는 생활에 밀접한 치료가 요구된다.

본 연구에서는 고령농업인의 신체 건강관리 및 안전 예방관리 대책으로 농작업의 근골격계 질환 위험요인에 대해 동작인식 장치와 가상현실(VR) 콘텐츠를 통해 근골격 건강 상태 측정 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해, 농업인의 근골격계 질환 발생 요인이 되는 농작업에 대한 분석과 근골격 건강상태 측정을 위한 동작 분석 알고리즘을 제시하고, 근골격계 질환 예방을 위한 가상현실 콘텐츠 기반의 농업인 맞춤형 훈련 방법을 제시하고자 한다. 제시하는 알고리즘은 영역지정기반 동작분석방법으로서 가상공간에서의 관찰이 요구되는 각 관절을 깊이카메라 동작인식을 통해 식별하고, 관절의 위치정보를 추적 후 데이터화하여 지정한 영역내의 움직임 여부를 판단해 건강상태를 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 농업인의 근골격계 질환에 대한 진단 및 치료 방법에 대한 연구와 재할 예방 훈련에 대한 관련 연구들을 살펴본 후, 3장에서 제안하는 동작인식 기반의 근골격 건강 상태 측정 방법에 대해 서술한다. 그리고 4장에서는 제안한 알고리즘을 통한 근

골격 건강 상태 측정 및 예방 훈련용 가상현실 콘텐츠의 구현 결과를 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

### 2.1 농업인의 근골격계 질환

근골격계 질환이라 함은 반복적인 동작, 부적절한 작업 자세, 무리한 힘의 사용, 날카로운 면과의 신체 접촉, 진동 및 온도 등의 요인에 의하여 발생하는 건강장애로서 목, 어깨, 허리, 상·하지의 신경·근육 및 그 주변 신체조직 등에 나타나는 질환을 의미한다[2]. 또한, 산업안전보건법은 오랜 시간 동안 반복되거나 지속되는 동작 또는 자세를 근골격계 질환과 관련이 있는 작업형태로 규정하고 있다. 이러한 단순 반복 작업으로 인하여 기계적 스트레스가 신체에 누적되어 목, 어깨, 팔, 팔꿈치, 손목, 손 등에 증상이 나타나는 경우를 근골격계 질환으로 정의한다. 그리고 반복적인 동작, 부적절한 작업 자세, 무리한 힘의 사용, 날카로운 면과의 신체접촉, 진동, 온도 등을 작업관련성 근골격계 질환의 위험 요인으로 규정하고 있다[5].

농업인의 근골격계 질환에 대한 발병률은 비농업인의 2.4배에 이르고 작목별 증상 유병율에서 차이가 있다고 보고되고 있다. 농작업 종류별 근골격계 위험요인에 대한 노출수준은 논, 밭, 시설재배, 축산의 경우 허리와 손목 부담 작업이 많았으며, 다음으로 목과 무릎 순이었고, 과수원의 경우, 어깨, 목, 손목에 대한 부담 작업이 가장 많은 것으로 조사되었다[3]. 과·채류 재배 농업인의 근골격계 질환 실태를 조사한 통한 근골격계 질환 예방에 대한 연구에 따르면 우리나라 농작업 부하 경감을 통한 근골격계 질환 예방 대책 마련이 시급하며[6], 발작물인 마늘재배 농업인의 건강관리 행태 및 근골격계 질환에 대한 연구에서도 농작업 부담 경감을 위한 방안 모색이 필요하다고 보고 있다[7]. 채소 중 가장 재배면적이 넓고 생산량이 많은 노지고추 농업인을 대상으로 근골격계질환 발생시킬 수 있는 작업부담 요인에 대한 조사·분석한 연구에서도 노동부담 경감 및 농작업 개선을 위한 실용적인 연구가 필요하다고 보고 있다[8]. 농업인의 근골격계 질환 예방을 위한 인간 공학적으로 설계된 농작업 편이장비에 대한 연구에서는 농작업의 개선된 작업 자세 평가를 위한 기법으로

심박수와 작업 자세 평가 기법, 시간 및 동작분석, 주관적 평가기법들을 사용하였다[9]. 또한 농작업에서 흔히 관찰되는 하지 자세들을 대상으로 하는 하지 부담 작업 평가를 위한 인간공학적 평가 도구 개발에 대한 연구가 진행되기도 하였다[10].

2.2 근골격계 질환에 대한 진단 및 치료

근골격계 질환에 대한 의학적 진단 방법으로는 때로는 크게 주소(chief complaint), 현재 병력 및 과거 병력의 파악, 가족력, 임상적 검사, 사지의 계측과 같은 이학적 검사와 추가적으로 실시되는 방사선적 검사 및 기타 검사실 검사 등 있으며, 증상, 병력과 객관적인 검사를 모두 고려한 의사의 판단을 중요시하고 있다. 근골격계 질환의 의학적 치료는 약물치료, 물리치료, 중재 시술치료 및 수술을 시행할 수 있으며 질환의 적절한 처치 후 가급적 조기 작업 복귀를 실시할 경우 예후가 더 좋은 것으로 알려져 있어 초기 치료가 중요하다. 해부학적 손상이 확인되고 비수술적 치료에 반응하지 않는 경우 수술을 고려할 수 있겠으나, 일반적으로 환자가 호소하는 증상과 여러 검사를 통한 해부학적 이상 소견에 따라 약물치료, 물리치료 등의 일차적 보존요법을 실시하고 이와 같은 치료로 적절한 효과가 없을 때 중재적 시술과 수술을 고려하는 것이 일반적이다[5].

2.3 가상현실 및 동작인식 기술을 이용한 재활 예방 훈련

현재 영상 촬영 및 동작 측정 방법으로 다양한 산업 직종의 근골격계 질환 예방을 위해 인간공학적인 측면의 작업 자세 평가 및 분석을 위해 키넥트(Kinect)와 증강현실 기술을 활용한 연구들[11]과 뇌활동관련 기능성 콘텐츠 개발에 대한 연구들도 이루어지고 있다[20]. 관성센서를 이용해 인체모션 데이터를 취득하고 분석하여 잘못된 동작 수행 시 발생 가능한 근골격계 질환 예방을 위한 인체모션 분석 시스템에 대한 연구[12]와 실시간 제스처 인식을 통한 재활 치료용 가상현실 게임 콘텐츠 기술[13], 인체에 마커를 부착하지 않고 사람의 자세를 판별하기 위한 연구들도 이루어지고 있다[14]. 그 외에도 가상현실이나 동작인식 기술을 이용해 신체 건강과 관련된 재활 훈련이나 치매 예방 훈련, 인지 기능 향상 및 주의 집중력 등과 관련된 연구들도 진행되고 있다[15,16]. 또한,

국내 의료용 소프트웨어 및 제조 전문 기업에서는 근골격계 진단에 인공지능(AI)기술을 접목한 근골격계 측정기기 ‘POM-Checker’를 개발했다. POM-Checker는 3D카메라를 사용해 환자의 몸에 별도로 마커를 부착하지 않고 깊이 값(Depth)과 광원분석(RGB)를 이용한 3D카메라를 통해 각 관절에 대한 좌표를 추출하여 자동으로 체형을 인식하는 방식을 사용하였다[17].

3. 동작 인식 기반의 근골격 건강 상태 측정 방법

기존 근골격계 질환에 대한 연구들에서는 인간공학적 방법을 이용한 평가도구에 대한 연구와 동작인식 카메라를 이용한 근골격 질환에 대한 진단 위주의 연구들이 이루어졌다. 본 연구에서는 고령 농업인들을 위한 동작인식 기반의 근골격 건강 상태 측정 방법과 근골격계 질환 예방 훈련을 동시에 수행 가능한 농작업 기반의 농업인 맞춤형 가상현실 콘텐츠 시스템을 제안하고자 한다.

3.1 농작물에 따른 농작업 분류

농작업 관련 근골격계 질환은 과수 작물의 경우 허리, 어깨, 팔꿈치 등의 관절 부위의 삼각근, 승모근, 상완삼두근 등의 근육 계통, 논작물은 손목, 어깨, 허리, 무릎 등의 관절 부위의 척추수근, 외경사근, 대퇴이두근 등의 근육계통, 밭작물은 목, 허리, 무릎, 발목 등의 관절 부위의 빗목근, 넓은등근, 햄스트링근, 발꿈치힘줄 등의 근육계통에서 주로 발생하는 것으로 조사되었다[18]. 본 연구에서는 농업인들이 친숙한 소재와 환경을 고려하여 농작업 기반의 가상현실콘텐츠를 개발하기 위해 “농업인건강안전정보센터”의 근골격계 질환 위험관리를 위한 농작업별 운동처방 서비스[19]를 바탕으로 논, 밭, 과수 작물 중 일반 농가에서 일반적으로 재배중인 고추, 배, 벼, 상추, 오이 등 7가지 농작물을 연구 대상물 선정하였다. 선정된 7가지 작물에 각각 대해 근골격계 질환과 관련된 주요 농작업을 분류하고, 각 농작업별 공통 작업과 각 농작물별 세부 농작업을 Table 1과 같이 분류하였다.

3.2 근골격계 동작 데이터 취득 및 분석을 위한 시스템 구성

농작업 신체활동을 분석하기 위해서는 해석된 동

Table 1. Classification of crops and agriculture for analysis of musculoskeletal behavior

Crops	Farming Work	Crops	Farming Work	Crops	Farming Work
Papper	vinyl mulching	cucumber	Formal planting	rice plant	raising of seedling
	Formal planting		Pesticide spraying		scatter fertilizer
	Establish a holding		Establish a holding		seedbed Transfer
	Line tying		Line tying		rice-planting machine
	harvesting		shoot cut		Herbicide application
	washing		harvesting		pruning
	Dry upside down		Select Packaging		vinyl mulching
	Collecting		grafting		shoot cut
Pear	Prop Binding	melon	Formal planting	grape	wrap bag
	fertilization		control of temperature		choose size
	thinning fruit		fertilization		harvesting
	Bagging		green shoot cut		Select Packaging
	harvesting		harvesting		compost
Lettuce	Seed preparation		Common Work	Select Packaging	make a ridge plow
	seedling			Pesticide spraying	listing plow
	harvesting				Flattng work
	Preparation of the tunnel				
	manual control of temperature				

작데이터에 근거해서 농작업으로 발생하는 신체 위험요인 노출비중 판정기준[14]을 바탕으로 신체 각 부위별로 동작분석 기준을 수립하고 근골격 동작에 대한 일치율을 판별해야 한다. 특정부위 근육과 관절의 부하를 많이 일으키고 반복적인 육체노동이 기본인 농작업을 수행하는 신체활동을 분석하기 위해서는 특정 신체 부위에 대한 공간상의 위치와 이동 속도에 대한 데이터가 있어야 해당 신체부위의 건강상

태를 판단할 수 있다. 본 연구에서는 스켈레톤의 동작범위 스캐닝을 통한 영역지정기반 동작분석 방법을 사용하였다.

깊이 카메라를 통한 동작분석은 Fig. 1과 같이 이미지정보를 스켈레톤 분석 모듈을 통해 각 관절(Joint)의 위치정보로 변환하고, 동작분석 모듈을 통해 분석된 결과데이터를 근골격 정보데이터베이스에 저장하는 구조를 갖는다. 수집된 데이터는 가상현

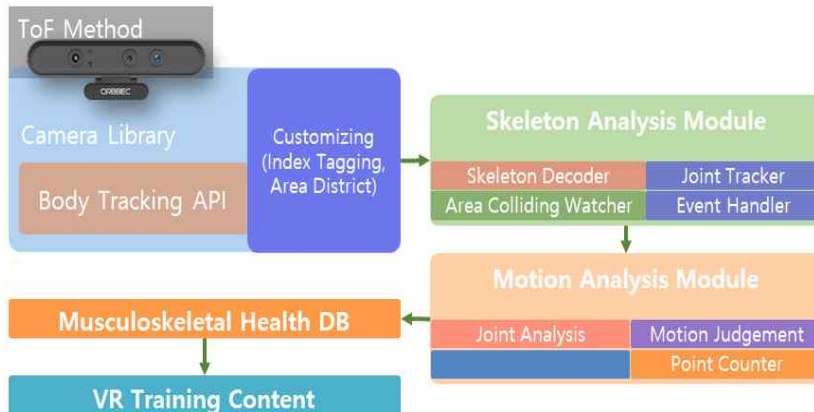


Fig. 1. Diagram of motion analysis system for MSDs measurement.

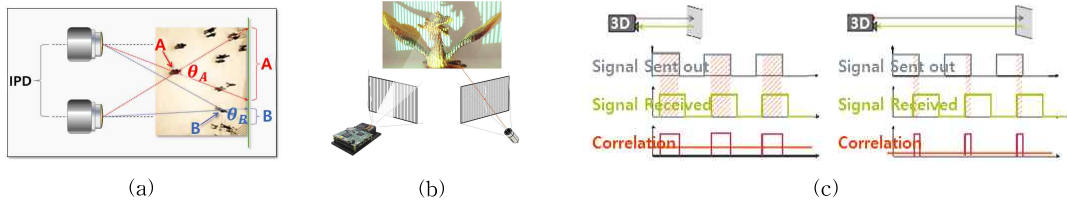


Fig. 2. Kind of Depth Camera.

실기반 훈련 콘텐츠 리소스테이터로 활용될 수 있다.

깊이 카메라는 크게 3가지 방식으로 나누어지는데 스테레오 비전(Stereo Vision) 방식은 Fig. 2(a)와 같이 두 개의 2D 이미지 센서를 결합해서 카메라 사이의 시점 불일치를 이용해 깊이정보를 얻는다. 구조화된 패턴(Structured Pattern) 방식은 Fig. 2(b)와 같이 광학 3D 스캐닝 방법이며 삼각 측량 알고리즘을 이용하여 표면 거칠기로 인한 투영된 패턴의 왜곡을 3D 정보로 변환하며 이를 통해 깊이 정보를 검출한다. 시분할(ToF : Time of Flight) 방식은 Fig. 2(c)와 같이 광 스펙트럼의 근적외선 부분에 위치한 광원을 이용하며 광신호가 켜져 있을 때는 동 위상 수용기(in phase receptor), 꺼져있을 때는 부동 위상 수용기(out phase receptor)가 동작하여 광신호의 발생과 주기, 광신호가 사물에 부딪혀서 돌아오는 시간 간격을 통해 깊이 정보를 검출한다. 시분할방식의 경우 고속 실시간 영상처리가 가능하고, 스테레오 비전이나 구조화 패턴 방식보다 조명변화에 의한 잡음이 적고 텍스처부족(Textureless)이나 폐색(Occlusion) 같은 영상처리기반 깊이정보의 오류가 없기 때문에 근골격 동작 데이터의 실시간 취득과 분석에 적합하다.

본 연구에서는 근골격 동작 데이터 취득을 위해 시분할방식 센서를 사용하는 Orbbec사의 깊이 카메라를 사용하였다. 이미지를 기반으로 사람의 신체 관절부위를 관절로 마킹하여 각 관절의 X축과 Y축에

해당하는 좌표를 분석하고 깊이 정보를 통해 관절의 Z축에 해당하는 좌표를 분석하여 최종적으로는 월드 좌표계에서 관절의 위치 정보를 도출해낸다. 한 프레임의 동작 데이터를 얻기 위해서는 다수의 관절 정보를 수집하여 스켈레톤을 구성하게 된다.

모든 분석에는 동일한 카메라를 사람으로부터 정면 수직으로 거리 2미터, 높이 180 cm, 촬영각 하향 20°의 지정된 위치에 배치하여 진행하고 해상도는 기본 값인 640×480, 30프레임으로 고정하며 카메라 라이브러리수준에서 예외(outlier)데이터는 인체비례에 기초한 내부필터를 통해 정제된다. 이미지분석을 통해 이뤄지는 스켈레톤의 특성상 정밀도와 정확도는 다소 흔들릴 수 있으나 관절 위치정보의 각축으로 ±10 cm 이내의 오차로 근골격 분석에 심각한 영향을 주지 않는 범위이다. 또한 순간의 정보만 사용하지 않고 전체 수행상황을 누적하여 평가하기 때문에 초당 누적데이터 큐(Queue)의 최대최소를 버리고 평균값을 취하며 콘텐츠 수행을 통한 데이터 통계를 기반으로 오류범위의 한계점을 산출해 관절의 이동영역범위를 조정하면서 극복할 수 있다.

3.3 동작분석 알고리즘

동작 분석 대상인 사용자의 체형이 동일하지 않기 때문에 사용자의 체형을 기반으로 생성된 스켈레톤은 비율이 다를 수 있고 영역 지정 기반 동작분석에 영향을 미치게 된다. 따라서 스켈레톤의 중심 관절을

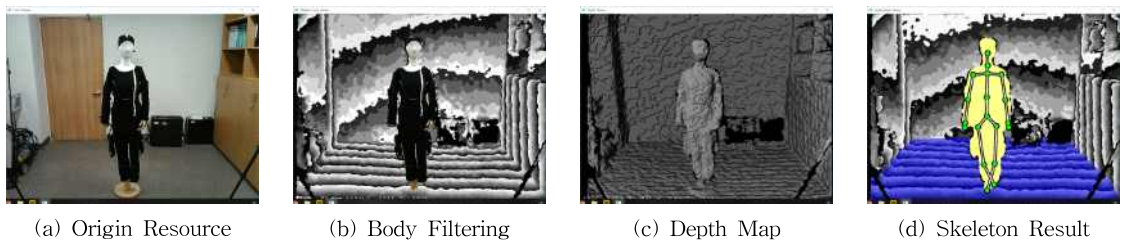


Fig. 3. Step-by-step Skeleton Data Generation.

선정하고 중심 관절로부터 가장 위쪽과 가장 아래쪽의 관절을 선택해 관절 사이의 비율을 도출하고 스켈레톤에 직접 반영하거나 가상공간의 대상 공간좌표에 반영될 수 있도록 하였다.

$$\begin{aligned} U: 1 &= U' : x \\ L: 1 &= L' : y \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)에서 U는 신장 170 cm 기준으로 공간상에 머리관절의 좌표로부터 중심관절까지의 거리이고 L은 중심관절에서 오른쪽 발목관절까지의 거리를 나타내며 공간좌표 거리 계산법에 의해 식(2)와 같이 계산된다. U'와 L'는 실제 사용자의 스켈레톤 좌표 중심관절과 머리관절의 위치좌표를 통해 계산된 값이며, 이를 통해 사용자의 상체와 하체의 배율 값 x와 y를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} &Root.Joint(x_1, y_1, z_1), Head.Joint(x_2, y_2, z_2), \\ &Right.Ankle.Joint(x_3, y_3, z_3) \end{aligned} \quad (2)$$

$$U = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

$$L = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2}$$

척추관절(Spine Base)를 중심으로 상반신의 관절 집합요소의 위치좌표에 계산된 배율 x를 적용하고, 하반신 관절 집합요소에 배율 y를 적용하여 스켈레톤을 정규화 시킨다. 신체 영역을 구분하기 위해 각 신체 부분을 나누는 관절에 대해 Table 2와 같이 식별번호를 부여하였다. 동작분석 대상이 될 신체영역 선정은 농작업 관련성 판정기준[18]에 따라 해당 항목에 대한 관련성을 가진 관절을 Table 3과 같이 정리하였다.

근골격 상태의 정확한 평가를 위해 근골격 상태 확인에 가장 중요한 핵심 관절(Keypoint Joint)과 근골격 상태분석목표 이지만 반드시 동작의 주된 요소

는 아닐 수 있는 목표 관절(Target Joint), 수행 성공과 실패의 경중을 판단할 연계 관절(Relation Joint), 동작 수행을 뒷받침하며 동작과 목표달성에 영향을 미칠 수 있는 관련 관절(Concern Joint)로 분류하였다. 어깨확인 동작의 경우 팔꿈치는 오차를 포함해 수평 ±90°, 수직 ±180°의 가동 범위를 가지고 있다. 따라서 팔꿈치 관절은 공간상에서 구체의 1/4이 이동영역이며, 구분을 위해 45° 이하는 ‘낮음’, 45° 이상 120° 이하는 ‘보통’, 120° 이상은 ‘높음’으로 상태가 판별되도록 하였다.

각 관절의 움직임과 달성율 등을 종합하여 최종평가점수를 100점이라고 놓았을 때, 핵심 관절에 40점, 연계 관절에 20점, 관련 관절에 10점을 배분하고 목표달성 점수는 연계 관절이 콘텐츠 목표 도달 시 함께 처리된다. 핵심 관절의 경우 3단계로 구분되어 ‘낮음’은 10점, ‘보통’은 10점, ‘높음’은 20점을 각각 합산한 점수로 계산된다. 연계 관절은 제한시간 동안 일정횟수를 성공해야할 경우 목표달성 외에 동작의 신속함을 판별할 수 있는 척도가 되기 때문에 수행평가가 함께 반영된다. 제한시간, 달성횟수, 동작의 난이도를 고려해서 각각 10점씩 배분된 취득점수의 합이 부분점수가 된다.

관련 관절은 목표 관절과 상관없이 목표달성에 영향을 줬는지를 판단하기 위한 항목으로 Fig. 4(c)와 같이 허리와 무릎에 해당하는 관련 관절이 지정 영역에서 벗어난 정도를 판단하여 점수를 합산한다. 관련 관절이 지정 영역에서 벗어난다면 자세의 불균형 혹은 신체부위의 질환을 추정할 수 있다. 전체 동작분석에 대한 일반화는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{k_j1}^{k_jn} k_j + (r_j + ((t^*10) + (c^*10) + (l^*10))) + \sum_{c_j1}^{c_jn} c_j * ratio \quad (5)$$

- k<sub>j</sub> : Pt assigned to the Keypoint Joint area

Table 2. Joint Numbering

Joint name	number	Joint name	number	Joint name	number
Head	0	L Hand	7	L Knee	14
BaseSpine	1	Spine 1	8	L Foot	15
R Shoulder	2	Root Spine	9	R Wrist	16
R Elbow	3	R Hip	10	L Wrist	17
R Hand	4	R Knee	11	Neck	18
L Shoulder	5	R Foot	12	R Hand Grip	19
L Elbow	6	L Hip	13	L Hand Grip	20

Table 3. Body part joint association

Part	Risk Factor	Associated Joint Num.	Remarks
Shoulder	1. The upper arm is $\geq 45$ degrees to $< 90$ degrees away from the body working posture 2. Work to repeat the upper arm more than 2.5 times per minute 3. $\geq 45$ Inadequate attitude to stretch your arms and objects (4.5 kg or more) to lift work more than once a minute to repeat 4. Work position in which the upper arm is $\geq 90$ from the body 5. Repeating tasks with work cycles at intervals of several seconds	2, 3, 4, 16, 5, 6, 7, 17	fruit, paddy
Neck	1. Work with $\geq 20$ bending or $\geq 5$ backing neck 2. Work with $\geq 45$ bending or $\geq 20$ backing neck	0, 18	fruit, field
Waist	1. $\geq 20 \sim < 45$ working at bowing waist or unfolding, twisting 2. $\geq 45$ working at bowing waist or unfolding, twisting 3. More than 25 kg Work more than 10 times a day 4. Work to lift weight more than 4.5 kg at least twice per minute 5. Work to lift weight more than 10kg to shoulder height or below the knee or arm and 25 times a day. 6. Work with whole body vibration ( $> 1.15\text{m/s}^2$ )	0, 1, 2, 5, 8, 9, 18,	fruit, paddy, field
Knee	1. Work to use your knee more than 10 times per hour like a hammer, or to jump from a high place. 2. Selective (or intermittent) kneeling, knee flexion work. 3. Ladder work or sloping work 4. Work to use your knee more than once per minute like a hammer 5. Continuously kneeling, knee flexion work.	10, 11, 13, 14	paddy, field
Hand/ Wrist	1. Work that require more than 1 kg of pinching or gripping more than 4.5 kg 2. Work using the wrist at least 10 times per minute. 3. Wrist $\geq 30$ (flex,dev) or $\geq 45$ (exten) unusual work posture 4. Working posture using your hands more than 10 times per hour like a hammer. 5. Work posture with 'local vibration' problem 6. Pinching more than 1 kg or gripping more than 4.5 kg is necessary and working in an inappropriate posture of $\geq 30$ (flex, deiv) or $\geq 45$ (exten) 7. Pinching more than 1kg / gripping more than 4.5kg and working more than several seconds	3, 4, 6, 7, 19, 20	paddy
Arm/ Elbow	1. Work to keep your arms straight or work your elbows bent and stretched 2. Work to repeatedly beat the lower arm with force 3. Strengthening (or holding the tool in your hand) Repeating the work of stretching your elbows	3, 4, 6, 7, 16, 17	fruit

- rj : Pt assigned to the Relation Joint area(can be fixed)
- t : Complete Time / Time Limit ( case over 1/2, 1pt)
- c : Achievement Count / Total Count
- l : Movement Difficulty (0.1 to 1)

- cj : Pt divided by Concern Joint count
- ratio : Out of area Concern Joint ratio

예를 들어, 콘텐츠를 통해 팔꿈치를 보통 수준으로 움직여 1분 제한 시간 내에 40초 동안 10번을 모두 성공시킨 보통 난이도의 경우 20점 + (20점+(10점

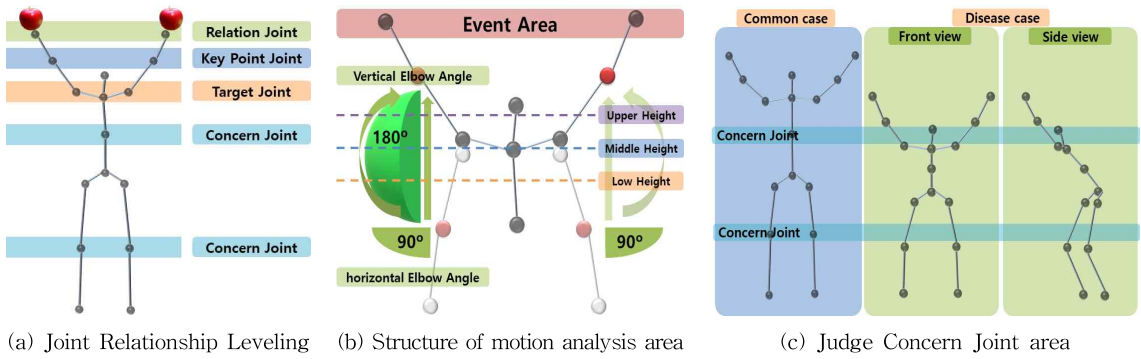


Fig. 4. Motion Analysis Algorithm for MSDs measurement.

+10점+7점)) + (5점+5점) = 77점으로 계산할 수 있다.

#### 4. 근골격 동작 분석 및 근골격계 질환 예방을 위한 가상현실 콘텐츠

##### 4.1 표준 동작 기반 가상현실 콘텐츠 설계 및 구성

제안한 동작분석 식 (5)를 적용하여 가상현실 콘텐츠를 설계하기 위해서는 부위별 근골격계 검진에 근거한 콘텐츠 시나리오를 구축해야 한다. 표준 동작은 Table 3과 같이 6개 대분류 항목으로 좌우 구분을 통해 세부 14개로 나누어진 신체 각 부위를 파악할 수 있도록 설계되어야 하며, 동작 일치율을 판단할 수 있도록 관절의 회전, 지정한 각도의 굽힘과 펴짐, 반복적 행동과 순간적 행동, 근육의 수축과 이완을 확인할 수 있도록 한다. 각 동작은 난이도별로 구성되고 난이도 단계는 근골격 상태를 식별할 수 있도록 전문가의 조언을 근거로 요구동작의 신속성, 정확성, 복잡성을 기준으로 설정한다.

농작업 기반의 가상현실콘텐츠 시나리오 설계를

위해 Table 3에서 분류한 부위별 연관 농작업을 토대로 Table 1에 분류된 세부 농작업 중에서 콘텐츠 주제를 선정한다. 논, 밭, 과수 등 콘텐츠 주제에 맞도록 실제 농작업의 활동상황을 반영하고 허리와 어깨 등의 신체 활동을 분석할 수 있도록 가상의 작물과 농기구 등 콘텐츠 목표를 수행할 수 있는 오브젝트들을 배치한다. 높은 곳에 있는 과실을 수확하거나 상자에 담고 허리를 숙여 작물을 베거나 쪼그려 앉아서 밭을 매는 등의 움직임을 수행하도록 하고 동작인식 카메라를 통해 인식이 용이하도록 정면을 보고 진행하거나 필요한 신체부위가 가려지지 않도록 하는 콘텐츠 시나리오의 체계적인 구성이 요구된다. 사용자가 카메라 앞에서 손을 쥐거나 팔로 쓸거나 하는 등의 행동을 통해 별도의 장치 없이 가상현실 콘텐츠를 수행할 수 있도록 인터페이스를 구성한다.

##### 4.2 농작업 가상현실콘텐츠 기반의 근골격 동작 분석 및 상태 측정 결과

근골격 분석을 위해 허리 어깨 무릎을 대상으로



Fig. 5. VR Contents Design.



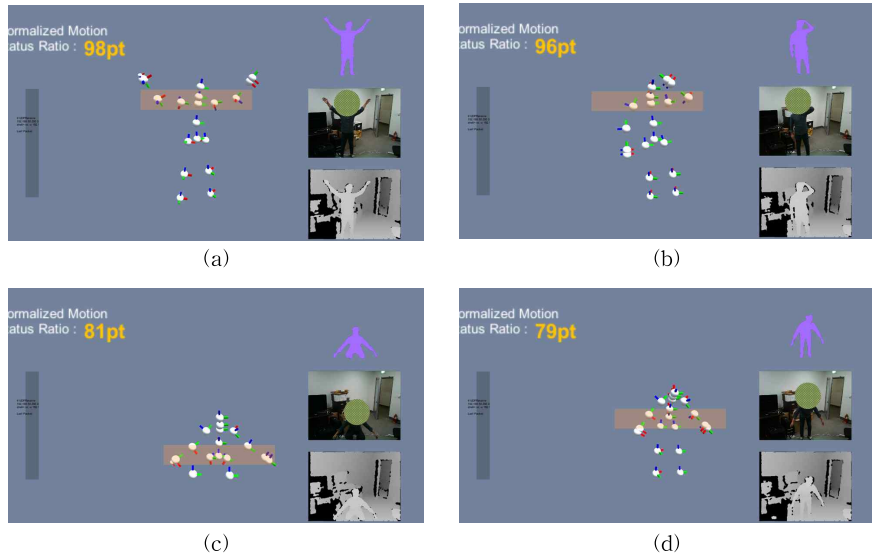


Fig. 6. Motion recognition result.

하는 4가지 표준 동작을 구성하고 측정을 진행하였다. 콘텐츠는 1분 제한시간을 가지고 제시된 목표를 지정 횟수만큼 수행하는 방식으로 이루어졌으며 대상자의 영상을 눈으로 확인하고 그에 따른 스켈레톤의 동작 상태, 동작의 결과를 스스로 확인할 수 있는 구조를 취한다. 테스트를 위해 실험군과 대조군을 선정하였으며 실험군은 의도적인 동작 불이행, 목표 미달성 등을 수행하고 대조군은 정상적으로 콘텐츠를

수행하였으며 각 25회를 실시하였다.

Table 4와 같이 일반 성인 남성을 대상으로 콘텐츠 수행 시 근골격 분석 결과는 매우 우수(95점 이상)한 수준으로 평가되었으며 의도적인 동작이행 미달 및 수행시간 초과, 목표달성 실패 시에는 보통(70점 이상) 혹은 미흡(60점 이하)으로 측정되었고 일부 동작의 경우 인식이 부정확해 평가결과가 하락할 수 있음도 확인하였다.

Table 4. Motion recognition record

No.	Group	Intend	Target	Keypoint/ Concern	Relation	Point/Result
1	Experimental	move less	Shoulder	20/10	20+(5+7+7)	69/MSDs suspect
2	Control	normal	Shoulder	40/10	20+(10+10+7)	97/N/A
3	Experimental	move slow, fail	Shoulder	10/10	10+(5+4+3)	42/MSDs suspect
4	Control	move slow	Shoulder	40/10	20+(5+10+7)	92/N/A
...	<omitted>					
16	Experimental	move slow, fail	Spine	40/5	20+(5+5+7)	82/Inspection Required
17	Control	normal	Spine	40/10	20+(10+10+7)	97/N/A
...	<omitted>					
38	Experimental	move abnormal, fail	Elbow	20/10	10+(5+9+5)	59/MSDs suspect
39	Control	normal	Elbow	40/0	10+(10+10+7)	77/Abnormal
40	Experimental	slow, low level, fail	Elbow	20/10	20+(1+2+7)	60/MSDs suspect
41	Control	normal	Elbow	40/10	20+(10+10+10)	100/N/A
...	<the rest omitted>					



Fig. 7. VR Contents for MSDs Training.

#### 4.3 농작업 가상현실콘텐츠 기반의 맞춤형 근골격계 질환 예방 훈련

가상현실 콘텐츠를 통한 근골격계 질환 예방 훈련을 위해 부위별 훈련 방법과 흥미유도를 위한 목표를 선정하고 실제 예방훈련 효과 확인을 위한 콘텐츠를 구현하였다. 훈련 콘텐츠 주제는 과수 수확 등 실제 농작업을 기반으로 부위별 훈련이 가능하도록 자유로운 선택이 가능하게 하고 제한시간, 동작의 어려움과 목표달성 횟수 등의 난이도를 제공하여 수준별 훈련이 가능하도록 코스를 제공했다. 보통의 훈련 코스는 각 관절부위의 3단계 구분을 통한 수준판단, 1분 이내의 제한시간 및 20회 반복하는 형태가 되며 난이도가 올라갈수록 단계와 제한시간, 횟수가 증가한다. 각 콘텐츠의 수행 후 결과는 데이터베이스에 반영되어 피드백이 이뤄지며 반복적인 콘텐츠 수행을 통해 건강관리와 예방 훈련 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 고령농업인의 신체 건강관리 및 부위별 질환 예방을 위한 근골격계 위험요인에 대해 동작인식 장치와 연계한 농작업 종류별 가상현실콘텐츠를 통해 근골격계 건강 상태 측정 방법과 예방 훈련이 가능한 시스템을 제안하고자 하였다. 이를 위해, 고령 농업인의 근골격계 질환 예방을 위한 농작업 기반의 농업인 맞춤형 근골격계 건강상태 측정의 동작분석 알고리즘을 제안하고, 이를 통해 근골격계 질환 예방을 위한 가상현실콘텐츠 기반의 훈련 방법을 제안하였다. 농작업을 신체 부위별 근골격계 질환 발생 가능성에 따라 분류하고 분류된 농작업을 소재로 관련 가상현실 콘텐츠를 구성하였다. 농작업 가상현실 콘텐츠를 수행하며 발생하는 동작들을 동작인

식 카메라를 이용해 분석하여 평가하는 방법으로 근골격계 건강상태와 질환유무를 추정할 수 있도록 하였다. 동작 분석은 영역지정 기반 동작분석 방법을 이용하였으며 이는 분석대상이 되는 관절의 이동반경, 가상현실 콘텐츠 상의 목표를 수행하는 시간과 달성율, 난이도 등을 토대로 점수를 산출하여 평가하는 방법이다. 이를 통해 농작업 시나리오 기반 가상현실 콘텐츠를 수행하면서 사용자의 동작분석을 진행하여 근골격계 건강 상태를 진단하고 수준별 예방 훈련을 진행 할 수 있었다. 기존 근골격계질환 분석은 진단을 위한 동작분석 방법과 치료에 한정되어 있지만 제안한 방법은 농작업으로 인한 근골격계 질환에 대해 근골격계의 상태분석을 바탕으로 고령농업인들에게 친숙한 농작업 가상현실 콘텐츠를 통해 근골격계 질환 예방 훈련까지 동시에 수행 가능한 방법을 제시하였다. 향후에는 농작업 콘텐츠의 다양화를 통해 동작 분석을 세분화하고 동작인식 시에 발생하는 인식을 저하에 대한 보상방법을 구상하며 대상자에게 동작분석을 통한 근골격계 위험요인에 대한 피드백을 제공함과 더불어 치매 예방에 효과적인 동작분석 기반 콘텐츠에 대한 연구를 진행할 예정이다.

### REFERENCE

- [ 1 ] H. Yoon, D. Kim, and M. Park, "Relationship between Knowledge of and Attitude towards Musculoskeletal Disorder and Bad Postural Habits in Nursing Students," *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 14, No. 2, pp. 430-441, 2014.
- [ 2 ] Y. Yang, "The Responding Strategies of Musculoskeletal Disease in Aging Society," *Journal of the Ergonomics Society of Korea*,

- Vol. 29, No. 4, pp. 505-511, 2010.
- [3] H. Chae, K. Yoon, K. Min, K. Lee, and H. Kim, "Exposure Levels of Risk Factors Related to Musculoskeletal Disorders for Farmers," *Proceedings of Ergonomics Society of Korea, Autumn Conference*, pp. 253-257, 2012.
- [4] M. Jung, N. Yang, I. Yoo, S. Koh, K. Lee, K. Kim et al., "Effect of Muscle Strengthening Exercise on Psychosocial and Physical Status in Farmers," *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 20, No. 4, pp. 343-350, 2008.
- [5] J. Hong and J. Koo, "Medical Approach of Work Related Musculoskeletal Diseases," *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 29, No. 4, pp. 473-478, 2010.
- [6] J. Kim, I. Lee, N. Lee, and S. Jo, "Survey of the Musculoskeletal Disorders of Fruits and Vegetables Farmers," *Proceeding of the Spring Conference of The Ergonomics Society of Korea*, pp. 521-525, 2011.
- [7] K. Kim, K. Lee, H. Kim, and J. Choi, "Health Status and Musculoskeletal Disorders in Garlic Farmers," *Proceeding of the Fall Conference of The Ergonomics Society of Korea*, pp. 540-542, 2009.
- [8] K. Kim, K. Lee, H. Kim, and E. Song, "Health Status and Musculoskeletal Workload of Red Pepper Farmers," *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 28, No. 3, pp. 7-15, 2009.
- [9] K. Lee, K. Kim, H. Choi, C. Kim, S. Nam, K. Lee, et al., "Evaluation of Convenience Equipment for Improve Work Efficiency and Preventing of Farm Work Related Musculoskeletal Disorders," *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 29, No. 4, pp. 495-503, 2010.
- [10] Y. Kong, J. Han, and D. Kim, "Development of an Ergonomic Checklist for the Investigation of Work-related Lower Limb Disorders in Farming-ALLA: Agricultural Lower-Limb Assessment," *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 29, No. 6, pp. 933-941, 2010.
- [11] J. Kim and H. Park, "Working Posture Analysis for Preventing Musculoskeletal Disorders using Kinect and AR Markers," *Autumn Conference Proceedings of Korean Institute of Industrial Engineer*, pp. 2615-2619, 2016.
- [12] K. Ko and S. Pan, "Human Motion Analysis System Based on Inertial Sensors for Preventing Musculoskeletal Disorders," *Proceedings of Kalinga Institute of Industrial Technology Summer Conference*, pp. 67-69, 2017.
- [13] J. Lim, J. Chae, H. Kim, H. Park, and J. Lee, "Study on VR Game for Rehabilitation Using Realtime Gesture Recognition," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 534-535, 2017.
- [14] J. Lee and J. Yang, "Markerless Camera-based Posture Discrimination for Human Simulation," *Autumn Conference Proceedings of Korean Institute of Industrial Engineer*, pp. 621-626, 2013.
- [15] H. Lee, S. Yoo, J. Kim, H. Kim, and H. Kweon, "Development of VR-based Rehabilitation Training Assistance System for the Children with Cerebral Palsy," *Proceeding of Conference Proceedings of Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of Korea*, pp. 75-76, 2017.
- [16] S. Cho, J. Ku, K. Han, H. Lee, J. Park, W. Lee, et al., "Development Of Virtual Reality System for The Training and Assessment of Proprioception during Upper-limb Reaching Task: A Pilot Study," *Conference Proceedings of Human Computer Interaction Korea*, pp. 749-753, 2008.
- [17] POM CHECKER, <http://www.pomchecker.com/medical.html>(accessed Sep., 28, 2018).
- [18] National Institute of Agricultural Sciences., *Development of Standardization Method for*

*Diagnosis of Musculoskeletal Diseases in Farmers and Evaluation of Work Relevance*, Publication Registration Number 11-1390802-000009-01, 2009.

- [19] National Institute of Agricultural Sciences, <http://farmer.rda.go.kr/> (accessed Sept., 28, 2018).
- [20] E. Ahn, "Development of a Functional Game Device and Contents for Improving of Brain Activity through Finger Exercise," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 11, pp. 1384-1390, 2012.



윤재홍

1998년 2월 동신대학교 컴퓨터학과 학사  
 2001년 2월 동신대학교 컴퓨터학과 석사  
 2005년 8월 동신대학교 컴퓨터학과 박사

2006년 3월 ~ 2009년 8월 동신대학교 디지털콘텐츠학과 전임강사  
 2009년 9월 ~ 현재 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터 부장  
 관심분야 : UI/UX, 인공지능, 실감미디어



이민태

2007년 2월 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사  
 2009년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사  
 2010년 3월 ~ 2011년 5월 (주)셀런 광주연구소 주임연구원

2013년 3월 ~ 현재 동신대학교 디지털콘텐츠협동연구센터 선임연구원  
 관심분야 : 모바일, IoT, 인공지능



김은석

1995년 2월 전남대학교 전산학과 (이학사)  
 1997년 2월 전남대학교 전산통계학과(이학석사)  
 2001년 2월 전남대학교 전산통계학과(이학박사)

2001년 3월 ~ 2002년 2월 서울대학교 정보기술사업단 박사후과정  
 2002년 3월 ~ 현재 동신대학교 디지털콘텐츠학과 부교수  
 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, VR 콘텐츠, 실감미디어 콘텐츠