creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265888

2017년 2월

석사학위 논문

Kinect와 AR 마커를 이용한 근골격계 질환 예방을 위한 작업자세 평가

조선대학교 대학원

산업공학과

김 준 성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Kinect와 AR 마커를 이용한 근골격계 질환 예방을 위한 작업자세 평가

Working Posture Analysis for Preventing Musculoskeletal Disorders using Kinect and AR Markers

2017년 2월 24일

조선대학교 대학원

산업공학과

김 준 성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Kinect와 AR 마커를 이용한 근골격계 질환 예방을 위한 작업자세 평가

지도교수 박 형 준

이 논문을 산업공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2016년 10월

조선대학교 대학원

산업공학과

김 준 성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

김준성의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교 수 신 종 호 (인)

위 원 조선대학교 교 수 백 정 우 (인)

위 원 조선대학교 교 수 박 형 준 (인)

2016년 11월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목차

목차 i
그림 목차 iii
표 목차 v
ABSTRACT vi
제 1 장 서론 1
1.1 연구 배경 1
1.2 연구 목적 2
1.3 논문 구성 3
제 2 장 기존연구 고찰 5
2.1 근골격계 작업자세 평가 5
2.1.1 작업자의 작업자세 측정 5
2.1.2 작업자세 평가 8
2.2 Kinect 를 이용한 골격 모델 생성 12
2.2.1 Kinect 작동 원리 및 응용 12
2.2.2 Kinect 를 이용한 골격 정보 추적 14
제 3 장 Kinect 를 이용한 작업자세 평가 방안 17
3.1 Kinect 를 활용한 인체 모델 측정 17
3.1.1 Kinect 골격 정보와 가상 인체 모델 간의 연동 17
3.1.2 AR 마커 추적 기술 접목 19

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 Kinect 골격 정보와 REBA 평가 기법의 연계 23
3.2.1 REBA 평가 기법 23
3.2.2 부위별 각도 산출 방법 29
제 4 장 구현 및 적용 36
4.1 Kinect 를 이용한 REBA 평가 시스템 구현 36
4.1.1 시스템 구성 36
4.1.2 REBA 평가 GUI 설계 37
4.2 적용 및 비교 38
4.2.1 적용 결과 39
4.2.2 영상 측정 기반과 비교 40
제 5 장 결론 및 토의 43
참고문헌 45
감사의 글 49

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 목차

그림 1. 영상 촬영 장비 기반 작업자세 측정 예 ····· 6

그림 2. 동작 측정 장비 기반 자세 측정 예 ····· 7

그림 3. 동작 측정 장비 기반 자세 측정 예 ····· 7

그림 4. NLE 기법 중 수평 거리와 수직 높이 ····· 8

그림 5. RULA 평가 체계 ····· 10

그림 6. REBA 평가 체계 ····· 11

그림 7. Kinect 모습과 장치 구성 ····· 12

그림 8. Kinect를 이용한 인간공학 자동화에 대한 구현 환경[9] ····· 13

그림 9. Kinect를 이용한 자세교정 시스템[24] ····· 14

그림 10. Kinect에서 조사된 레이져 빔 ····· 15

그림 11 Depth 영상 이미지 정보를 이용한 골격 정보 생성 과정[25] ····· 15

그림 12. Kinect 골격 정보 ····· 15

그림 13. 가상 인체 모델 골격 정보와 Kinect 골격 정보와 연동 ····· 18

그림 14. Kinect 골격 정보와 가상 인체 모델과의 연동 결과 ····· 19

그림 15. 실세계 영상과 AR 가상 객체 증강 ····· 20

그림 16. Kinect 장치를 이용한 실세계와 가상환경 간의 변환 ····· 21

그림 17. 구현 환경 사진 ····· 22

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 18. 여러 자세에 대한 작업자 제세 추적 결과 ····· 23

그림 19. 몸통 각도 산출 방법 ····· 32

그림 20. 목 각도 산출 방법 ····· 32

그림 21. 목 비틀림 각도 산출 방법 ····· 33

그림 22. 다리 점수 및 무릎 각도 산출 방법 ····· 33

그림 23. 윗팔 각도 산출 방법 ····· 34

그림 24. 아래팔 각도 산출 방법 ····· 34

그림 25. 손목 각도 산출 방법 ····· 35

그림 26. 시스템 구현 환경 사진 ····· 37

그림 27. 설계된 GUI ····· 38

그림 28. 선정된 작업자세 ····· 39

그림 29. 영상 장비 기반 작업자세 평가 ····· 41

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목차

표 1. OWAS 자세 분류 체계 ····· 9

표 2. 몸통 자세에 대한 분류체계 ····· 24

표 3. 몸통 자세에 대한 분류체계 ····· 25

표 4. 몸통 자세에 대한 분류체계 ····· 25

표 5. 그룹 A의 부하 수치 및 무게/힘 평가 ····· 26

표 6. 윗팔 자세에 대한 분류체계 ····· 27

표 7. 아래팔 자세에 대한 분류체계 ····· 27

표 8. 손목 자세에 대한 분류체계 ····· 28

표 9. 그룹 B의 부하 수치 및 손잡이 점수 ····· 28

표 10. 총괄적 작업 부하 수치 및 행동 점수 ····· 29

표 11. REBA 조치수준 ····· 29

표 12. 부위별 각도 산출을 위한 관절 정보 및 투영평면 ····· 31

표 13. 제안된 방안의 REBA 평가 결과 ····· 40

표 14. 영상 장비 기반 작업자세 평가 결과 ····· 41

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Working Posture Analysis for Preventing Musculoskeletal Disorders using Kinect and AR Markers

Jun-Sung Kim

Advisor: Prof. Hyungjun Park, Ph.D.

Department of Industrial Engineering

Graduate School of Chosun University

As there has been an increasing interest in work-related musculoskeletal disorders (MSDs) due to repetitive motion in various industries, many efforts have been made to prevent these MSDs in view of ergonomics. The first step toward the prevention of the MSDs is the accurate measurement of working postures which is followed by their analysis that can be done by one of methods such as NIOSH Lifting Equation (NLE), Ovako Working Posture Analysis System (OWAS), Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), etc.

There are largely two types of methods for measuring and analyzing working postures: image-based and motion-based. The image-based method using the captured images of working postures is relatively inexpensive. However, it is operated by the analyst with knowledge in ergonomics who usually needs much time and effort in image recording and analysis. Also,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

the analyst's subjective opinions or mistakes may be reflected in the results, which are relatively less reliable. The motion-based method can produce accurate and consistent results since it uses a motion capturing and analysis system, which precisely measures work postures and analyzes them based on mathematical computation. However, the system is not always affordable and available as it is very expensive and requires a large space for its use.

Since the recent introduction of Kinect, which is a low-cost device for detecting and measuring the user's motion, there have been various research works using this. In this thesis, as one of efforts to prevent MSDs, we propose a method for analyzing working postures using Kinect and Augmented Reality (AR) markers. Using the Kinect, we measure a worker's posture and obtain its corresponding skeleton model. We use the captured skeleton model not only to animate a 3D human model in Unity3D but also to compute a set of values required to apply the REBA that assesses the workload of a given working posture. Moreover, we properly combine an AR marker tracking technique with the use of the Kinect in order to determine which side of the worker's body the Kinect is facing and to measure the turning angle of the worker's neck, which are not detectable only by the use of the Kinect. To show the quality and usefulness of the proposed method, we have implemented it and conducted experiments including its comparison to the image-based method in actual cases. As a result, we have found that the proposed method is fairly cost-efficient, decently accurate, and able to run in real-time.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서론

1.1 연구 배경

다양한 산업에서 걸쳐서 사회적 이슈로 대두되고 있는 근골격계 질환(Musculoskeletal Disorders; MSDs)은 다양한 직종에서 발병되고 있으며, 이로 인하여 작업자의 작업능률 및 경제적 측면에서 큰 손실을 초래하고 있다. 실제로 고용노동부 산업재해분석 자료를 인용하면 전체 업무상 질병자수 중 근골격계 질환자 비중이 2004년 44.8%에서 2014년 67.4%로 23% 정도 증가하였으며, 근골격계 질환으로 인한 작업 손실 일이 10만명 당 153,266일, 손실 비용은 10만명 당 15,557,348,000원 정도로 나타났다[1]. 이러한 이유로 다양한 산업 분야에서 근골격계 질환을 예방하기 위해 작업환경 개선 및 작업 활동에 인간공학 기법을 이용하여 작업자세에 대한 분석 및 평가가 이루어 지고 있다. 작업자세를 분석 하기 위해서는 작업자 자세에 대한 정확한 측정과 작업자세 평가 기법들이 요구되는데 작업자세 평가 기법으로는 OWAS[2], NLE[3], RULA[4], REBA[5] 등이 이용된다.

작업자세 측정을 위한 기존의 방법으로 영상 촬영 장비 기반 또는 동작 측정 장비 기반 방법이 이용된다. 영상 촬영 장비 기반 방법은 작업자의 자세를 영상으로 촬영하여 측정하는 방법이며, 동작 측정 장비 기반 방법은 작업자의 자세를 측정 장비로 측정하는 방법이다. 영상 촬영 장비 기반은 캠코더와 같은 장비로 작업자의 자세를 촬영한 후 촬영된 영상을 토대로 해박한 인간공학적 지식을 가진 전문가가 평가 기법들을 이용하여 작업자세에 대한 분석 및 평가를 내리는 방법이다. 이러한 방법은 비교적 저렴한 가격으로 평가가 가능하지만 영상 촬영 및 작업 평가에 대한 시간이 많이 소요되며, 전문가의 개인적인 견해가 포함되기 쉬워 평가 결과에 대한

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

신뢰성이 낮다. 반면에 동작 측정 장비 기반 방법은 가속도계(Accelerator), 동작 분석 시스템(Motion Analysis System), 관절 각도 측정계(Goniometer) 등의 측정 장비를 이용하여 작업자세를 분석하고 평가한다[6]. 이 방법은 경우는 인간공학적 지식을 가진 전문가 없이 실시간으로 작업자세의 측정 및 분석/평가가 가능하지만 고가의 측정 장비와 측정 장비를 이용할 수 있는 공간이 필요하며, 측정 방식에 따라 작업자의 작업자세가 제한되는 단점이 있다.

최근 고가의 측정 장비를 대체할 수 있는 저렴한 보급형 측정 장비(Kinect[7], Leap Motion[8] 등)가 소개 되면서 이러한 측정 장비를 이용하여 작업자 자세를 측정하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. Joung 등[9]은 Kinect를 이용하여 작업자 자세를 측정하고, 측정된 자세에 인간공학적 작업자세 평가 기법 중 하나인 OWAS를 토대로 분석 및 평가를 하였지만, Kinect로 측정이 불가한 경우가 존재하며, OWAS 평가기법의 자세 분류가 단순하고 정확도가 떨어지는 단점이 있어 보다 정확한 작업자세 평가 방법 적용이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Kinect와 AR(augmented reality) 마커(marker)를 이용하여 작업자의 자세를 측정하고, 측정된 자세에 대해 정확한 작업자세 평가를 할 수 있게 REBA 평가 기법이 적용된 인간공학적 작업자세 평가 시스템 구현 방안을 제안하고자 한다.

1.2 연구 목적

본 연구는 근골격계 질환예방을 위해 실시하는 작업자의 작업자세 평가과정에서 저렴한 비용으로 정확한 작업자세를 측정하고, 인간공학적 지식이 없는 일반인들도 간편한 조작을 통해 평가결과의 산출이 가능한 시스템 구현을 목적으로 한다. 이를 위한 구체적인 기술로 작업자세에 대한 정확한 측정 방안, 측정 정보를 활용한 인체모델 생성 방안, REBA 평가 기법을 활용한 가상 인체 모델의 작업자세 평가 방안 등이 필요하다. 본 연구에서 수행되는 세부적인 사항은 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) Kinect 및 AR 마커 추적 기법을 활용한 작업자세 측정 방안

사용자 동작을 인식하고 골격 정보를 측정할 수 있는 Kinect로 작업자의 신체 부위들을 측정하고, Kinect로 측정이 어려운 부위들에 AR 마커 추적 기법을 접목하여 전체적인 작업자의 작업자세를 측정하는 방법을 소개한다.

(2) 측정된 골격 정보를 활용한 가상 인체 모델 연동

작업자의 작업자세를 가상환경에 시각화하기 위해 Kinect와 AR 마커로 측정된 작업자의 골격 정보를 가상환경에 생성된 가상인체 모델에 연동하는 방법을 소개한다.

(3) REBA 평가 기법을 활용한 가상 인체 모델의 작업자세 평가

가상인체 모델에 연동된 작업자의 작업자세를 분석 및 평가하기 위해 인간공학적 평가 기법인 REBA 평가 기법을 연계하여 활용하는 방법을 소개한다.

(4) 실제 사례연구를 통한 제안된 방안의 유용성 검증

실제 사용하는 영상촬영 장비 기반 방법과 제안된 방안으로 구현된 시스템을 같은 작업자세에 적용하여 도출된 결과를 비교/분석하고 측정 및 평가에 소요되는 시간을 비교함으로써, 제안된 방안의 유용성을 검증한다.

1.3 논문 구성

1장 이후 본 논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 근골격계 질환예방을 위한 작업자세 측정 및 평가 기법들에 대한 설명과 Kinect의 작동 원리 및 골격 정보 추적 기술을 설명하고 이와 관련된 기존 연구를 소개한다. 3장에서는 Kinect의 측정된 골격 정보에 AR 마커 추적 기술을 접목하여 정확한 작업자의 인체 모델측정 방안과 REBA 평가 기법을 활용한 작업자세 평가 방안을 설명한다. 4장에서는 3장에서 제안된 방안을 토대로 구현된 작업자의 작업자세 평가 시스템에 대한 설명과 실제 사례연구를 통해 기존 영상촬영 방식과의 비교/분석함으로써 제안된 방안의 유용성을

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

검증한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방안에 대해 기술한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 기존연구 고찰

2.1 근골격계 작업자세 평가

근골격계 작업자세 평가는 작업자의 작업자세를 분석하여 근골격계 질환을 일으키는 요인들을 평가하고, 작업환경 및 작업방식을 수정하여 근골격계 질환 발생을 최소화하는 것이 주요 목적이다. 이를 위해 작업자의 작업자세에 대한 측정/평가가 요구되며, 이와 관련된 여러 가지 기법들이 활발히 연구되고 있다. 본 절에서는 근골격계 작업자세 평가에 필요한 측정 및 평가 기법에 대한 간략한 설명과 기존 연구를 살펴본다.

2.1.1 작업자의 작업자세 측정

작업자의 작업자세를 평가하기 위해서는 먼저 작업자의 작업자세를 측정해야 하는데 작업자세를 측정하는 방법은 크게 두 가지로 나누어 진다. 먼저 전통적으로 사용되는 방법은 작업자가 한 작업을 시작하고 끝내는 한 주기의 작업자세를 캠코더 같은 영상 촬영 장비로 촬영하는 것이다.

영상 촬영 장비를 이용하는 방식은 쉽게 작업자의 작업 환경을 파악할 수 있으며, 비용적인 면에서 저렴하게 작업자세를 분석 및 평가할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 촬영된 영상을 통해 분석 및 평가를 하는 방법은 해박한 인간공학적 지식이 요구될 뿐만 아니라 분석/평가를 진행하는데 많은 시간과 노력이 소요되며, 작업자세를 촬영한 영상 촬영 장비의 위치에 따라 분석 및 평가 결과가 달라진다. 또한 분석 및 평가를 진행하는 전문가의 실수나 개인적 견해가 포함될 수 있어서 분석/평가 결과에 대한 신뢰성이 낮은 편이다. 그림 1은 영상 촬영 장비를 이용해서

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

작업자의 작업자세를 측정하고 있는 그림이다.

그림 1. 영상 촬영 장비 기반 작업자세 측정 예
[그림 출처: http://farmer.rda.go.kr/fhs/contents/con_view.do?p=1&g_cd=999001001002&m_id=9002_1554_ 1556_3915_4766, http://farmer.rda.go.kr/fhs/contents/con_view.do?p=1&g_cd=999001001002&m_id=9002_1554_1556_3915_4767.]

두 번째 방법은 동작 측정 장비를 이용하여 작업자의 작업자세를 분석 및 평가하는 방법이다. 일반적으로 동작 측정 장비를 통해 인체 형상, 크기, 동작, 힘 등을 측정할 수 있고 더 나아가서는 동작이나 작업 방법 등을 측정할 수 있다. 측정 장비의 종류로는 인체 형상을 측정할 수 있는 3D Scanner, 동작을 측정할 수 있는 가속도계(Accelerator), 관절 각도 측정계(Goniometer), 관절 각도 분석기(Joint Angle Analyzer), 동작 분석 시스템(Motion Analysis System), SPM(Spine Pelvis Monitor)같은 장비들이 있다[6]. 그림 2는 동작 측정 장비들을 나타내는 사진들이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 2. 동작 측정 장비 기반 자세 측정 예
[그림 출처: http://www.buzzle.com/articles/how-to-use-a-goniometer.html
http://www.gjsportscience.com/dierssa/]

동작 측정 장비들을 이용하는 방식의 장점은 실시간으로 작업자의 자세 측정이 가능하고, 측정 장비에서 자세에 대한 정보들이 도출되기 때문에 인간공학적 지식을 갖춘 전문가 없이도 분석 및 평가가 가능하다. 그러나 작업자의 자세 측정을 위해 고가의 측정 장비를 구입해야 하며 측정에 따라 작업자의 자세가 제한될 수도 있다. 또한 작업자의 자세를 측정하기 위한 공간을 따로 구현해야 하는 경우도 존재한다. 그림3은 사용자의 동작을 측정하기 위해 동작 측정 장비를 이용하는 모습이다.

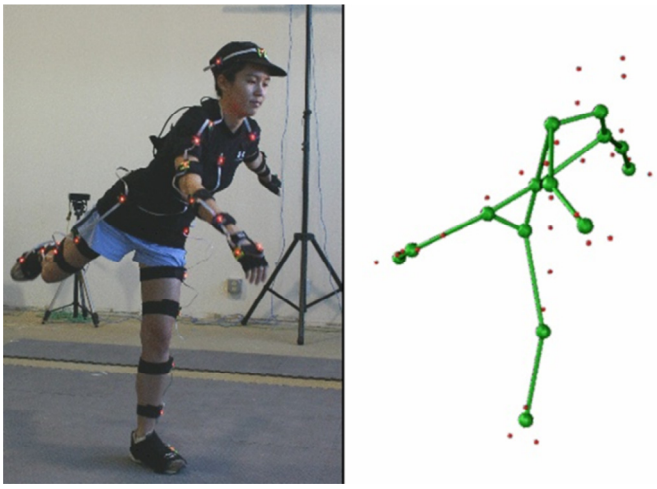


그림 3. 동작 측정 장비 기반 자세 측정 예
[그림 출처: https://lis3353.wikispaces.com/Motion+Capturing]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1.2 작업자세 평가

작업자세 평가란 측정된 작업자의 자세를 토대로 작업자세 평가 기법을 적용하여 자세에 대한 부하 정도를 판단하는 것이다. 작업자세 평가 기법 종류는 NLE, OWAS, RULA, REBA 등이 있으며, 작업자의 작업 환경이나 방식에 따라 적용되는 평가 기법이 달라진다.

먼저 NLE는 NIOSH Lifting Equation의 약어이며, 1981년 미국 국립 직업안전보건연구원에서 개발된 기법이다. 이 기법은 수평위치, 수직위치, 비대칭 각도, 들기 작업 빈도, 손잡이 상태 등의 요인들을 고려하여 작업물의 적정 하중과 들기 지수를 구하는 것이다. 그림 4는 NLE 기법에서 이용되는 수평 거리와 수직 높이를 나타낸다.

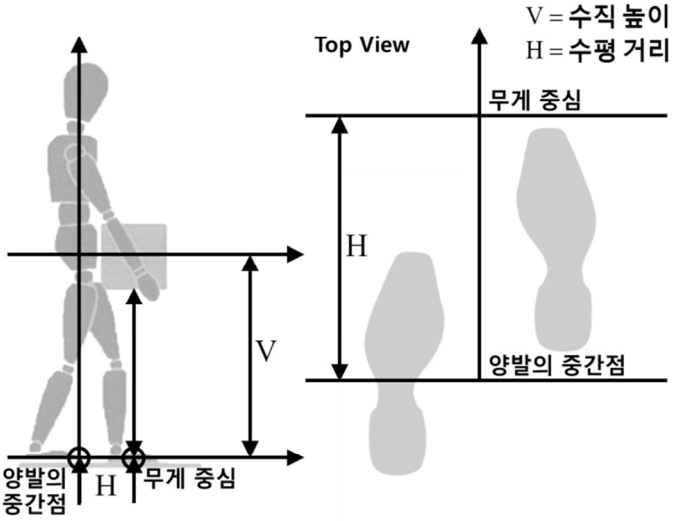


그림 4. NLE 기법 중 수평 거리와 수직 높이

Ciriello and Snook[10]은 미국에서 13년 동안의 수동 물자 취급 작업을 조사할 때, 들기 작업에 대해 NLE기법을 적용하여 위험도를 평가하였고, Kee[11]등은 NLE 적용 범위가 아닌 병원 환자 운반 작업에 적용하여 NLE 기법이 환자 운반 같은 들기 작업에도 유용하다는 것을 검증하였다. 그러나 NLE 기법은 들기 작업에서 적정

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

무게를 구해 작업 작업자의 안전도를 평가하는 기법이기 때문에 들기 작업에서는 적용하기에는 적합하지만 복잡한 작업이나 반복 작업에 적용하기에는 어려움이 있어 들기 작업 이외의 작업자세를 분석 및 평가하기에는 적합하지 않다.

다음은 OWAS 평가 기법이다. Ovako Working Posture Analysis system의 약어인 OWAS 평가 기법은 Karhu등이 필란드의 철강회사 Ovako사에서 개발한 평가기법으로써, 신체의 각 부위를 기준에 따라 작업자세를 코드화하는 기법이다. 작업물의 중량을 측정하여 측정된 작업자의 작업자세를 몸통, 상지, 하지 부위로 나누어 설정하고, 작업물의 중량을 포함하여 분석 및 평가를 진행한다. 분석된 작업자세를 토대로 네 가지 조치수준의 결과로 평가된다. 표 1은 OWAS의 자세 분류 체계이다.

표 1. OWAS 자세 분류 체계

신체부위	작업자세 형태			
몸통 (20도 이상)	(1) 바로 섬	(2) 굽힘	(3) 비틀	(4) 비틀어 굽힘
상지	(1) 양팔 아래 어깨	(2) 한팔 어깨 위	(3) 양팔 어깨 위	
하지	(1) 앉음	(2) 양발 똑바로	(3) 한발 똑바로	(4) 양 무릎 굽힘
	(5) 한 무릎 굽힘	(6) 무릎 바닥	(7) 걸음	
무게	(1) 10kg 미만	(2) 10 ~ 20 kg	(3) 20kg 초과	

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Scott and Lambe[12]는 양계업 분야에 OWAS기법을 적용하여 작업 자세를 분석하였으며, Chae[13]는 공사 현장 작업 중 하나인 경량 철골벽 설치 작업자의 작업자세를 영상 촬영 장비와 3D 모델을 이용하여 측정하고, 측정된 작업자세에 OWAS 기법을 적용하여 작업자의 작업부하를 분석하였다. 그러나 OWAS기법은 신체를 분류하여 평가하기 때문에 체계적이지만 분석체계가 복잡하다는 단점과 작업자세에 대해 부가되는 작업부하(예: 근육사용 정도)를 파악할 수 없는 단점이 있어 연속된 작업자세나 많은 작업자세에 수시로 적용하기에는 어렵다는 단점이 있다.

다음으로 소개할 평가 기법은 RULA 기법이다. Rapid Upper Limb Assessment의 약어로써, 1993년 McAtamney와 Corlett가 영국 노팅햄대학에서 개발한 작업자세와 부하수준을 함께 분석하는 평가 기법이다. RULA는 신체를 두 그룹으로 나누어 자세 점수와 신체의 부하 수준(근육 사용, 힘)정도를 평가하고 평가된 점수를 종합하여 최종 점수를 산출한다. 근육사용 점수는 고정된 자세를 유지하거나 분당 반복 작업의 횟수를 통해 산출되고, 힘 점수는 공구나 중량물의 무게에 따라 산출된다. 그림 5는 RULA 평가 체계를 나타내는 그림이다.

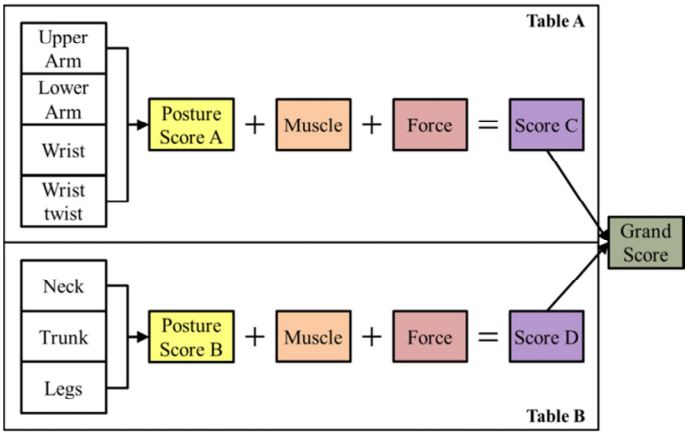


그림 5. RULA 평가 체계

Massaccesi et al.[14]은 트럭 운전사의 작업 자세 및 작업 부하 평가를 위해 RULA 기법을 이용하였으며, Park[15]등은 Delmia V5[16]에 아바타를 생성하고 용접

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

작업자의 작업자세를 적용하여 RULA 평가 기법을 기반으로 작업자세를 분석 및 평가하였다. RULA 기법은 작업자의 작업자세 평가에 부하 수준을 포함한 기법이라 분석 도구로 사용하기에 매우 유용하다는 장점이 있지만 평가가 상지 위주로 편중되어있어 전체 작업자세를 분석 및 평가하기에는 어려운 단점이 있다.

마지막으로 Rapid Entire Body Assessment 약어인 REBA 기법이다. REBA 기법은 Hignett 와 RULA를 개발한 McAtamney가 RULA 기법의 단점을 고치고 장점을 살린 평가 기법이다. 평가 방법으로는 RULA와 비슷하게 신체 부위를 두 그룹으로 나누고 그룹 A에는 무게와 힘 부하 정도를 그룹 B에는 손잡이 유무를 평가하여 합산한다. 최종적으로 합산된 점수에 행동점수를 추가하여 REBA 점수를 산출한다. 그림 6은 REBA 평가 체계를 나타내는 그림이다.

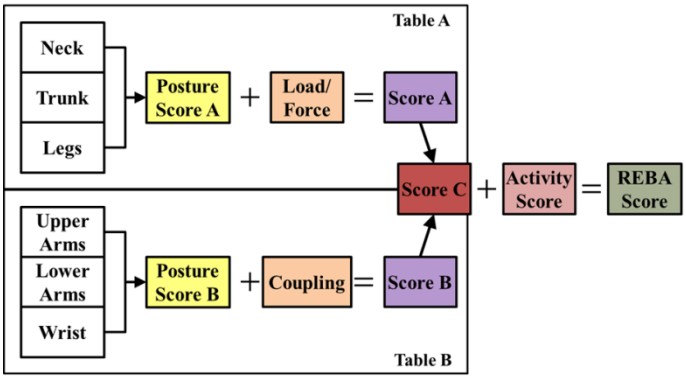


그림 6. REBA 평가 체계

Jones and Kumar[17]는 제재소 작업자의 작업자세에 REBA를 적용한 결과와 다른 평가 방법들의 결과를 비교하여 REBA평가의 유용성을 확인하였고, Kim[18]등은 영상 촬영 장비를 이용해 PET병 제조 공정의 작업자 작업자세를 촬영하고, REBA 평가 방법을 적용하여 작업자의 작업자세와 부하 수준을 함께 분석 및 평가 하였다. 또한 작업 방법을 개선하여 REBA 평가 결과가 감소하여 작업자세 위험 수준이 낮아진 것을 확인하였다. REBA 기법은 RULA 기법의 장점들을 모두 포용하고, 단점이었던 상지 위주로 편중되어 있는 평가 방법을 개선하여 작업자세 전체를 분석 및 평가할 수

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

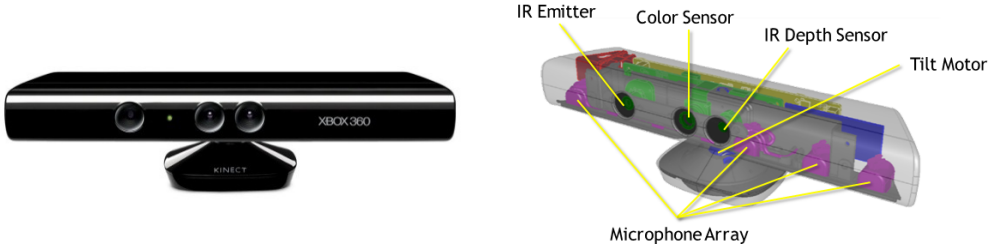
있다. 본 연구에서는 Kinect를 이용해 작업자의 작업자세 전체를 측정하기 때문에 지금까지 소개했던 기법들 중 REBA 평가 기법이 가장 적합하다고 할 수 있다.

2.2 Kinect를 이용한 골격 모델 생성

본 절에서는 최근 저가의 비용으로 사용자의 움직임을 추적할 수 있는 장비로 각광받고 있는 Kinect에 대한 작동원리와 측정정보를 활용한 사용자의 골격정보를 추적하는 기술에 대한 간략한 설명 및 Kinect를 활용한 인간-컴퓨터 상호작용 (Human-Computer Interaction; HCI) 관련 기존 연구를 살펴본다.

2.2.1 Kinect 작동 원리 및 응용

Kinect v1은 2010년에 마이크로소프트사에서 출시된 Xbox360 및 Windows 운영체제 기반의 사용자 동작 인식 입력장치로 사용자의 신체 측정 정보를 쉽게 측정·적용 할 수 있는 이점으로 게임 산업뿐만 아니라 다양한 연구분야에서 활용되고 있다[19]. 그림 7은 Kinect v1과 구성 요소를 나타낸다.



(a) Kinect v1 장치 (b) Kinect v1 장치의 구성

그림 7. Kinect 모습과 장치 구성

[그림 출처: http://www.xbox.com/en-US/xbox-360/accessories/kinect, https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx]

그림 7에서 보이는 것과 같이 RGB 카메라, 적외선(IR) 레이저 빔 프로젝터,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)센서가 내장된 Depth 카메라 및 4개의 마이크로폰 등의 장치로 구성되며, RGB 카메라는 640x480 해상도로 2차원 영상정보를 제공하며, Depth 카메라는 0.8~4.0m의 깊이 범위를 포함하여 320x240 해상도로 3차원 영상정보를 제공한다. 이들 카메라 영상들은 초당 30프레임으로 작동한다. Depth 카메라의 경우 측정 범위 안에서 사용자를 최대 6명까지 인식할 수 있고, 인식된 사용자중 최대 2명의 골격정보를 측정할 수 있다[20]. 이러한 기술을 활용하여 Kinect를 이용한 다양한 연구사례들이 나왔는데, Lee 와 Ho[21]는 Kinect 카메라를 이용하여 원격 영상회의에서의 시선 맞춤 시스템을 소개하였고, Byun과 Kwak[22]는 Kinect 마이크로 폰을 이용해 음원 위치 추적 방법을 소개하였다. 그리고 Xia et al.[23]은 Kinect로 신체의 2차원, 3차원 데이터를 수집하여 추적하는 방안에 대해 소개했다. 또한 자세를 측정하고 평가하는 연구들이 진행되고 있는데, Joung 등[9]은 Kinect를 이용하여 작업자 자세를 측정하고, 측정된 자세에 인간공학적 작업자세 평가 기법 중 하나인 OWAS를 토대로 분석 및 평가를 하였고, Lee 등[24] Kinect를 활용하여 실시간으로 자세 교정을 도와주는 시스템은 제안하였다. 그림 8은 Joung에 의해 구현된 환경을 나타내며, 그림 9는 Lee에 의해 구현된 환경을 나타낸다.

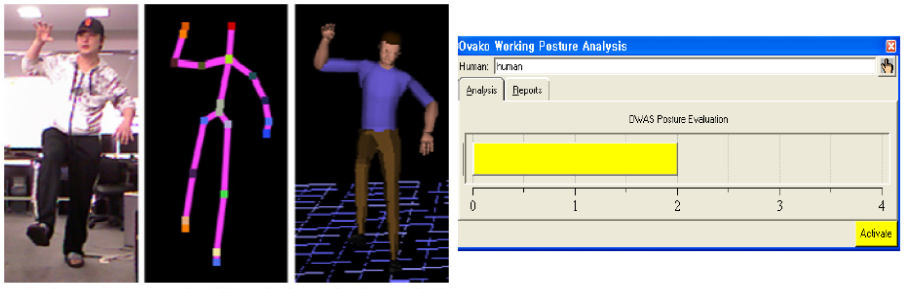


그림 8. Kinect를 이용한 인간공학 자동화에 대한 구현 환경[9]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

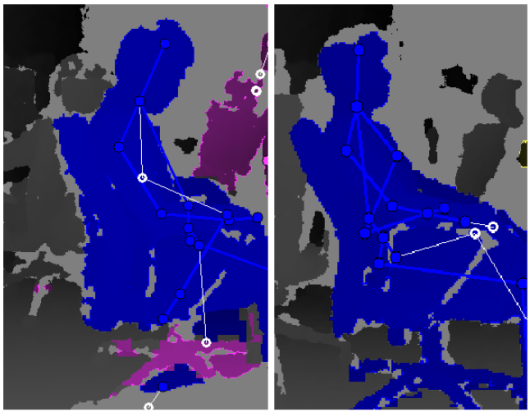


그림 9. Kinect를 이용한 자세교정 시스템[24]

Joung의 방법은 OWAS의 자세 분류가 단순하고 정확도가 떨어지는 단점이 있어 보다 정확한 작업자세 평가 방법을 적용하는 것이 요구되며, Lee의 방법은 신체의 측면에서 측정하기 때문에 자세 측정에 대한 정확성이 떨어지며, 올바른 자세에 대한 기준이 모호하다.

2.2.2 Kinect를 이용한 골격 정보 추적

사용자의 골격정보를 측정하는 방법은 IR 센서의 거리 측정 방법을 활용한 Depth 영상 이미지 획득과 Depth 영상 이미지에서 사용자의 신체 부위를 추론하여 골격정보를 완성하는 Kinect의 내부적인 2단계의 과정을 통해 얻는다. 첫 째, Depth 이미지 획득과정은 적외선 레이저 빔 프로젝터에서 조사(irradiate)된 IR 정보를 Depth 카메라의 CMOS센서에서 추적하여 Kinect와 물리적 대상과의 거리를 픽셀단위로 측정하여 Depth 영상 이미지를 생성한다. 둘 째, 골격정보 생성 과정은 앞서 얻어진 Depth 영상 이미지에서 사용자의 형상을 찾고, 신체의 각 부위를 분할 및 관절의 위치를 추론하는 과정을 통해 골격정보를 생성한다. 이러한 과정을 Kinect에서는 초당 30프레임(frames per second)으로 사용자에게 제공한다. 그림 10와 그림 11은 물리적 대상에 조사된 레이저 빔을 Depth 카메라로 촬영한 영상과 Depth 영상 이미지

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

정보를 이용하여 골격정보를 생성하는 과정을 보여준다.

그림 10. Kinect에서 조사된 레이져 빔
[그림 출처: http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=jay_korea&logNo=30135162627&beginTime=0&jumpingVid=&from=search&redirect=Log&widgetTypeCall=true]

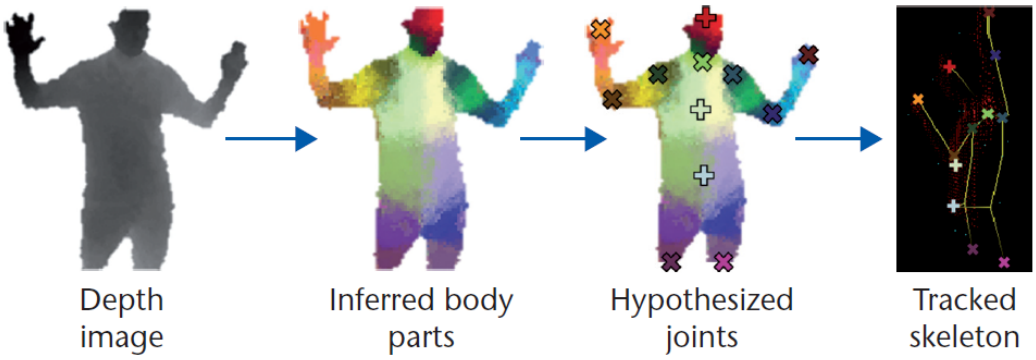


그림 11 Depth 영상 이미지 정보를 이용한 골격 정보 생성 과정[25]

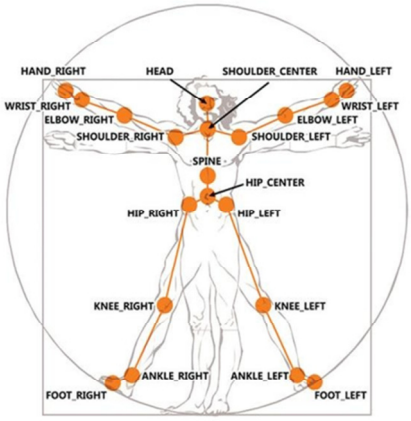


그림 12. Kinect 골격 정보
[그림 출처: https://msdn.microsoft.com/ko-kr/library/hh438998.aspx]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

골격 정보를 생성하는 과정에서 Kinect로부터 측정된 관절 정보는 그림 12와 같이 머리, 어깨 중심, 몸통, 엉덩이 중심, 양쪽의 어깨, 팔꿈치, 손목, 손, 엉덩이, 무릎, 발목, 발로 이루어져 있으며 개수는 총 20가지이다. 각 관절에 3차원 정보는 x,y,z로 구성되어 있으며, 측정 범위 내에서 Depth 카메라의 원점을 기준으로 사용자와의 거리 정보를 토대로 얻어진다. 이후 측정된 3차원 관절 정보는 사용자의 실제 관절과 연동되는데, 이는 Kinect SDK의 좌표계 변환 과정을 통해 이루어진다[26]. 하지만 Kinect는 사용자의 정면만 인식하도록 설계되어 있어 사용자 신체방향(정면, 후면) 구분이 안되고, 특정 관절(목, 손목 등)의 회전에 대한 측정이 불가능하다.

본 연구에서는 Kinect에서 측정이 어려운 사용자 신체방향과 특정 관절에 대한 회전 정도를 추정하기 위해 AR 마커 추적 기술을 접목하였다. 기본 아이디어는 Kinect RGB 카메라에서 AR 마커를 추적하고, 마커의 인식여부를 통해 사용자 신체방향을 결정하며 마커 간의 관계를 통해 특정 관절의 회전 정도를 추정한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 Kinect를 이용한 작업자세 평가 방안

본 장에서는 작업자의 작업자세를 측정/평가하기 위해 Kinect와 AR 마커 추적 기술을 활용한 작업자세 측정 방안과 측정된 골격 정보를 활용한 가상 인체 모델 간의 연동을 통한 시각화 방안 및 측정된 골격 정보의 기하정보(위치/방향)를 REBA 평가기법에 적용하는 방안에 대한 내용을 기술한다.

3.1 Kinect를 활용한 인체 모델 측정

본 절에서는 Kinect로 측정한 작업자의 골격 정보를 가상 인체 모델에 연동하기 위해 가상 인체 모델의 골격 정보 정의 및 생성에 대한 설명과 측정된 골격 정보를 가상 인체 모델에 연동하는 내용을 기술한다. 앞서 서술한 바와 같이 Kinect로 얻어진 골격 정보는 골격의 정확한 위치를 추적하지만 작업자의 작업 방향을 고려한 골격 정보를 제공하지 못한다는 것과 목의 회전 정도를 알 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 AR 마커 추적 기술을 활용하여 작업자의 작업 방향과 작업자의 머리 방향을 추정하는 방안에 대하여 추가적으로 기술한다.

3.1.1 Kinect 골격 정보와 가상 인체 모델 간의 연동

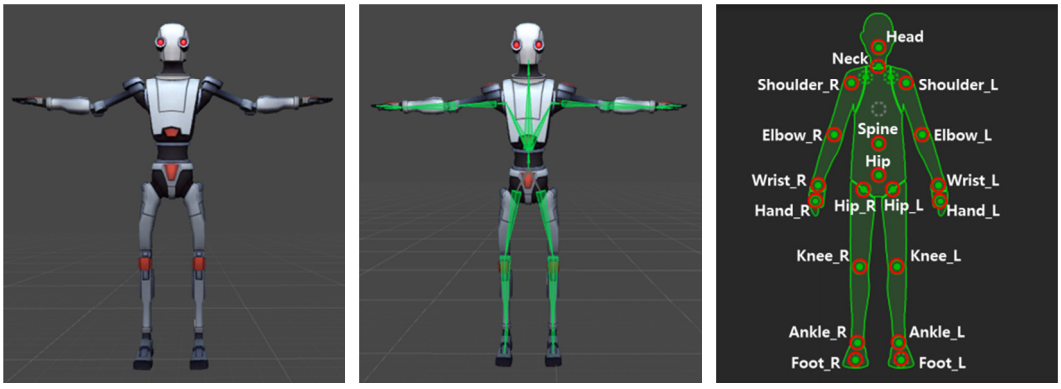
가상현실에서 가상 인체 모델의 자연스러운 동작 표현을 위해 골격 애니메이션(skeleton animation)을 이용한다. 골격 애니메이션의 개념은 운동학(kinematics)를 기초하여 관절을 계층구조(object hierarchy)으로 설계하고, 주어진 정보에 따라 관절의 회전 변화량을 통해 순운동학(forward kinematics) 또는 앤드 이펙터(end effector)에 대한 역운동학(inverse kinematics) 알고리즘으로 제어된다. 따라서

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

작업자의 동작을 정확히 표현하는 가상 인체 모델의 골격 정보를 정의하는 것이 필요하다. 골격 정보는 관절에 해당하는 조인트(Joint)와 조인트 간의 연결부인 링크(Link)로 구성되어 있다. 일반적인 인간형 로봇(humanoid)의 경우 사람의 관절과 유사한 구조로 이루어지고, 인간의 동작을 표현 가능한 최소한의 관절은 머리, 어깨, 몸통, 손목, 손, 엉덩이, 무릎, 발목 등의 총 20개 정도이다.

본 연구에서는 Unity 시스템을 이용하여 가상 환경을 구현하였다. Unity 시스템은 3D 모델의 저작기능을 제공하지는 않지만 다양한 3D 모델 포맷(3DS, DXF, OBJ, 3DM 등)을 지원하며, 인간형 로봇 모델의 골격 정보를 반자동으로 정의해 주는 기능을 제공한다. 이를 이용하여 가상 인체 모델의 관절 정보(Head, Neck, Hips, Spine, Chest, Shoulder, Upper Arm, Lower Arm, Hand, Upper Leg, Lower Leg, Foot, Toes)를 정의하고, 골격 모델을 제작하였다. 그림 13은 본 연구에 사용된 가상 인체 모델과 모델의 골격 정보 및 관절정보를 나타낸다.



(a) 가상 인체 모델 (b) 골격 모델 (c) 관절 정보

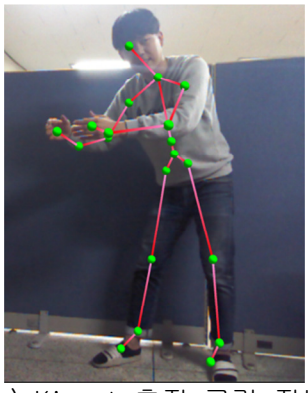
그림 13. 가상 인체 모델 골격 정보와 Kinect 골격 정보와 연동

Kinect Depth 카메라로 측정된 골격 정보를 가상 인체 모델에 연동하기 위해서 측정된 골격 정보들의 좌표 값을 RGB 카메라 좌표계로 변환하였다. 이를 위해 Kinect SDK 함수 중 하나인 GetColorMapPosForDepthPos함수를 이용하여 RGB 카메라로 변환된 x,y 좌표값을 획득하였고, 획득된 RGB 카메라의 2차원 정보를 이용해 다시 3차원 정보를 획득하였다. 이를 위해 2차원 정보를 변환해서 3차원 정보를 획득할 수 있는

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

역투영을 이용하였으며, 3차원 정보 중 z좌표값을 얻기 위해 정해진 한 방향으로 직진하는 빛인 Ray를 이용하였다. 여기서 Ray가 직진하는 방향은 카메라가 바라보는 방향이며, Ray에 크기를 Depth 카메라의 깊이값으로 설정하였고, 설정된 Ray와 RGB 카메라 좌표값과 함께 역투영 변환된 3차원 골격 정보를 획득하였다. 최종적으로 가상환경에 생성된 가상 인체 모델의 골격 모델 중에서 Head, Neck, Spine, Shoulder, Elbow, Wrist, Hand, Hip, Knee, Ankle, Foot 조인트에 획득한 Kinect 골격 정보들의 위치를 연동을 하여, 가상 인체 모델이 Kinect의 작업자 작업자세를 표현하게 하였다. 그림 14는 Kinect로 측정된 골격 정보, 측정된 골격 정보가 가상 인체 모델에 연동된 모습을 나타낸다.



(a) Kinect 측정 골격 정보

(b) 골격 정보와 연동된 결과

그림 14. Kinect 골격 정보와 가상 인체 모델과의 연동 결과

3.1.2 AR 마커 추적 기술 접목

Kinect 장치는 RGB 카메라와 Depth 카메라로 구성되어 있고, 두 카메라가 보정(calibration)되어 있기 때문에 두 영상 간의 좌표계 변환 관계를 알 수 있다. 따라서 RGB 영상 정보를 통해 작업자의 신체방향을 구분할 수 있다면 신체방향이 고려된 작업자세 골격 정보를 산출할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 증강현실 분야의 이미지 기반 추적 기술인 AR 마커 추적기술[27]을 활용하였다.

증강현실에 자주 사용되는 기술 중 하나인 이미지 기반 AR 마커 추적 기술은 그림

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

15와 같이 영상 이미지 내에서 가상 물체를 생성하기 위해서는 등록된 AR 마커를 광학 기반으로 추적을 한다. 광학 기반 추적은 보통 스퀘어 마커를 이용하는데 스퀘어 마커를 추적하는 과정은 마커의 오리지널 이미지를 이진화 및 라벨링 처리하여 윤곽선을 추출하고, 마커 테두리와 모서리를 추출하여 추적한다[28]. AR 마커 추적을 통해 얻어진 좌표계와 카메라 좌표계 간의 변환관계를 획득하고, 획득한 변환관계를 AR 마커 좌표계상 존재하는 가상 객체에 적용하여 카메라 좌표계로 변환된다. 변환된 가상객체가 이미지 영상 안에 표현되는 기술로써 실제 영상을 배경으로 제작된 가상 공간이라 할 수 있다.

(a) 실세계 영상 (b) AR 가상 객체 증강

그림 15. 실세계 영상과 AR 가상 객체 증강

본 연구에서는 Kinect RGB 카메라로 촬영된 영상에서 스퀘어 마커 추적 기법을 통해 AR 마커를 추적하고, 추적된 AR 마커와 RGB 카메라 간의 변환관계를 획득하여 AR 마커를 카메라 좌표계에 정립하였다. 또한 Depth 카메라와 RGB 카메라간의 변환관계를 이용하여 골격 정보 좌표계를 카메라 좌표계에 정립하였고, 최종적으로 RGB 카메라 좌표계와 Unity 좌표계 간의 변환관계를 통해 가상환경 공간 상에 골격 정보와 AR 마커의 위치를 정립하였다. 그림 16은 실세계 좌표계가 Kinect 장치를 통해 가상환경 좌표계로 변환되는 과정을 보여준다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

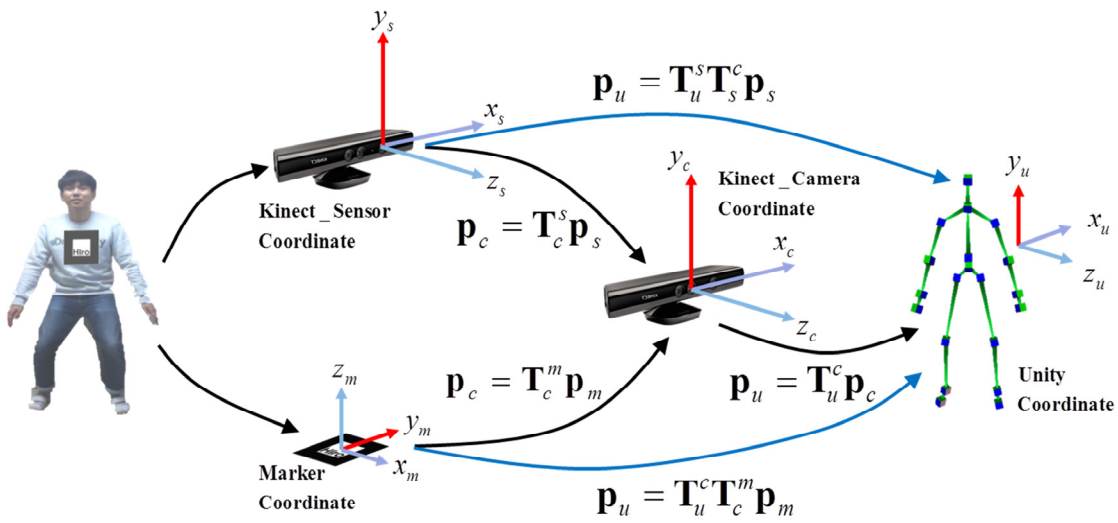


그림 16. Kinect 장치를 이용한 실세계와 가상환경 간의 변환

사용자 신체의 점(예: 골격 노드)은 다음과 같은 수식을 통해 가상환경으로 변환된다.

$$\mathbf{p}_{u(sensor)} = \mathbf{T}_u^c \mathbf{T}_c^s \mathbf{p}_s$$

$\mathbf{p}_s$는 Kinect Depth 카메라 좌표계의 점이며, $\mathbf{T}_c^s$는 Depth 카메라와 RGB 카메라 간의 변환관계, $\mathbf{T}_u^c$는 RGB 카메라와 Unity 가상 환경간의 변환관계를 나타낸다. 이를 통해 Kinect Depth 카메라 점 $\mathbf{p}_s$가 $\mathbf{T}_c^s$를 통해 카메라 좌표계 점 $\mathbf{p}_c$로 변환되고, 최종적으로 $\mathbf{p}_c$는 $\mathbf{T}_u^c$를 통해 Unity 가상 환경 좌표계 점 $\mathbf{p}_{u(sensor)}$로 변환된다.

다음은 사용자 신체에 부착된 AR 마커 위치 좌표는 다음과 같은 수식을 통해 가상환경으로 변환된다.

$$\mathbf{p}_{u(marker)} = \mathbf{T}_u^c \mathbf{T}_c^m \mathbf{p}_m$$

$\mathbf{p}_m$은 사용자 신체에 부착된 마커의 위치 좌표값이며, $\mathbf{T}_c^m$는 AR 마커와 RGB 카메라간의 변환관계, $\mathbf{T}_u^c$는 RGB 카메라와 Unity 가상 환경간의 변환관계를 나타낸다. 이를 통해 사용자 신체에 부착된 마커의 위치 좌표값인 $\mathbf{p}_m$이 $\mathbf{T}_c^m$를 통해 카메라

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

좌표계 점 $\mathbf{p}_c$ 로 변환되고, 최종적으로 $\mathbf{p}_c$ 는 $\mathbf{T}_u^c$ 를 통해 Unity 가상 환경 좌표계 점 $\mathbf{p}_{u(marker)}$ 로 변환된다.

본 연구에서는 위와 같은 변환관계를 통해 작업자의 작업자세를 Kinect Depth 카메라로 측정된 골격 정보 좌표값과 작업자 신체에 부착된 AR 마커 위치 좌표값을 가상환경 좌표값으로 변환하여 골격 정보 좌표계와 AR 마커 좌표계를 가상환경 좌표계로 정립하였다.

(a) 신체 정면

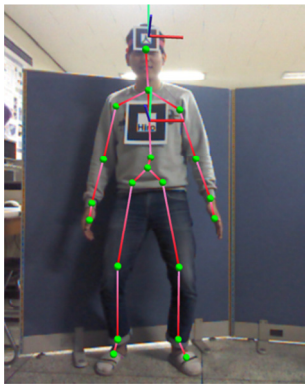
(b) 신체 후면

그림 17. 구현 환경 사진

구현된 환경에서 작업자는 그림 17과 같이 머리, 가슴, 등 부위에 총 3개의 AR 마커를 부착하여 작업자세를 측정한다. Kinect의 RGB 카메라는 영상에서 AR 마커 추적 기술을 이용하여 AR 마커 위치/자세 정보를 추적하고, Kinect의 Depth 카메라로 작업자의 골격 정보를 획득한다. 획득한 AR 마커 중 가슴과 등에 부착된 AR 마커 정보를 이용해 작업자의 신체방향을 찾고, 가슴과 머리에 부착된 AR 마커 정보를 이용해 작업자의 목 회전 정도를 산출한다. AR 마커 정보로 얻어진 작업자의 작업방향과 목 회전 정도를 Kinect 골격 정보에 적용하여 작업방향이 고려된 골격 정보를 생성하고, 가상 인체 모델에 적용한다. 그림 18은 AR 마커를 부착한 작업자의 자세를 추적한 결과로 각각의 작업자세에 대한 골격 정보와 AR 정보를 제공하는 것을 보여준다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY


(a) 신체 정면 자세

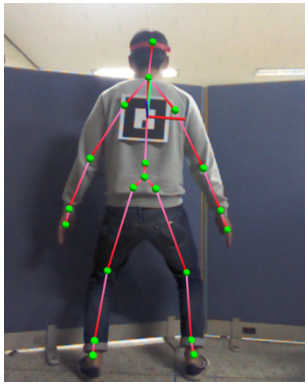

(b) 신체 후면 자세

그림 18. 여러 자세에 대한 작업자 제세 추적 결과

3.2 Kinect 골격 정보와 REBA 평가 기법의 연계

본 절에서는 REBA 평가 기법에서 각 부위별 점수를 부여하는 기준과 Kinect와 AR 마커를 통해 측정된 골격 정보들을 토대로 REBA 평가 기법에서 요구하는 부위들의 각도 정보를 산출하는 방법에 대해 기술한다.

3.2.1 REBA 평가 기법

REBA 평가 기법을 이용하여 작업자세를 평가하기 위해서는 먼저 작업자세에 대한 그룹 별 부하 수치를 산출해야 한다. 그룹 별 부하 수치를 산출하는 방법은 각 그룹에 속해있는 부위들의 각도에 따라 점수를 부여하고, 부여된 점수를 통해 부하 수치를 산출한다. 부하 수치를 산출해야 될 그룹은 그룹 A(GroupA)와 그룹 B(GroupB) 두 그룹이며, 그룹 A에는 몸통, 몸통, 다리가 그룹 B에는 윗팔, 아래팔, 어깨가 속해있다. 먼저 그룹 A에 속해있는 부위들의 점수를 부여하는 방법을 소개한다. 표 2는 몸통 굽힘 각도에 따라 부여된 점수를 나타낸다. 똑바로 서있을 때 1점, 굽힘 각도가 앞 또는 뒤로 0° ~ 20°일 경우 2점, 앞으로 20° ~ 60° 또는 뒤로 20° 이상 굽혀질 경우

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3점, 앞으로 60° 이상 굽혀질 경우 4점을 부여한다. 추가적으로 몸통이 비틀리거나 양옆으로 굽혀질 경우 몸통 자세 점수에 추가적으로 1점을 부가된다.

표 2. 몸통 자세에 대한 분류체계

똑바로 선 자세 (1점)	0° ~ 20° 굽힘 (2점)	0° ~ 20°뒤로 굽힘 (2점)	20° ~ 60° 굽힘 (3점)
20° 이상 뒤로 굽힘 (3점)	60° 이상 굽힘 (4점)	비틀리거나 옆으로 굽힘 (추가 점수 1점)	

목 부위 각도에 따른 점수 부여 방법은 표 3에 나타난다. 목의 경우도 몸통 굽힘과 비슷하게 목의 앞뒤 굽힘 점수에 목의 비틀림, 양옆 굽힘에 따라 추가 점수가 부여된다. 목 앞뒤 굽힘 각도가 0°~ 20° 사이일 경우 1점, 목을 뒤로 굽히거나 앞으로 20° 이상 굽혀질 경우 2점이 목 자세 점수가 부여되며, 부여된 목 자세 점수에 목이 비틀림 또는 양옆으로 굽혀질 경우 추가적으로 1점의 점수가 부가된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 3. 몸통 자세에 대한 분류체계

0° ~ 20° 굽힘 (1점)	20° 이상 굽힘 (2점)	뒤로 굽힘 (2점)	비틀리거나 옆으로 굽힘 (추가 점수 1점)

표4는 그룹 A의 마지막 부위인 다리 자세에 대한 점수 부여 방법을 나타낸다. 다리의 경우 다리 자세가 땅에 지탱되어 균형을 이룰 경우 1점, 다리 자세가 불균형을 이루고 있을 경우 2점의 다리 자세 점수가 부여되며, 부여된 다리 점수에 무릎 각도가 30° ~ 60° 굽혀 있을 경우 1점, 60° 이상 굽혀 있을 경우 2점의 추가 점수가 부가된다.

표 4. 몸통 자세에 대한 분류체계

두 다리가 균형적 (1점)	다리가 불균형 (2점)	무릎 30° ~ 60°굽힘 (추가 점수 1점)	무릎 60° 이상 굽힘 (추가 점수 2점)

그룹 A 부위들의 각도 및 추가 점수 여부에 따라 부여된 점수들은 그룹 A의 부하 수치가 도출하기 위한 요소이며, 도출된 부하 수치에 무게/힘 정도의 점수를 더하여 최종적으로 ScoreA의 점수가 산출된다. 표5 는 그룹 A의 부하 수치를 도출하기 위해 이용되는 Table과 무게/힘 정도에 따라 부여되는 점수를 나타낸다

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 5. 그룹 A의 부하 수치 및 무게/힘 평가

그룹 A	목											
몸통	1				2				3			
	다리				다리				다리			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

무게 / 힘 정도에 따른 부여 점수				
힘/정도	5Kg 미만	5 ~ 10Kg	10Kg 이상	충격 또는 갑작스러운 힘의 사용
점수	0점	1점	2점	추가 점수 1점

다음은 그룹 B에 속해있는 부위들의 점수를 부여하는 방법을 소개한다. 표 6은 윗팔 각도에 따른 점수 부여 방법이다. 윗팔의 경우 0° ~ 20° 정도 뒤로 젖혀있거나 앞으로 들릴 경우 1점, 20° 이상 뒤로 젖혀지거나 20° ~ 45° 정도 앞으로 들릴 경우 2점, 45° ~ 90° 정도 앞으로 들릴 경우 3점, 90° 이상 앞으로 들릴 경우 4점이 윗팔 자세 점수로 부여된다. 부여된 윗팔 자세 점수에 윗팔이 벌어지거나 회전하는 경우 또는 어깨가 들려 있을 경우 추가 점수 1점이 부가되고, 만약 팔이 구조물에 지탱되거나 기대어져 있을 경우에는 1점이 차감된다.

Collection @ chosun

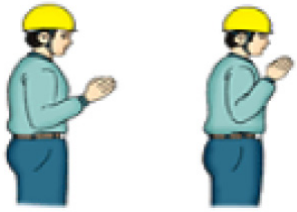
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 6. 윗팔 자세에 대한 분류체계

20° 이하 젖히거나 20° 이상 들림 (1점)	20° 이상 젖히거나 20° ~ 45° 들림 (2점)	
45° ~ 90° 들림 (3점)	90° 이상 들림 (4점)	윗팔 벌림 혹 회전 + 1 점 어깨 들림 + 1 점 팔이 지탱시 - 1 점

다음 표 7은 아래팔 들림 각도에 대한 점수 부여를 나타내며, 점수 부여의 각도 기준으로는 아래팔이 60° ~ 100° 사이로 들릴 경우 1점, 0° ~ 60° 들리거나 100° 이상 들릴 경우 2점이 아래팔 자세 점수가 부여된다.

표 7. 아래팔 자세에 대한 분류체계

		
60° ~ 100° 들림 (1점)	0° ~ 60° 들림 (2점)	100° 이상 들림 (2점)

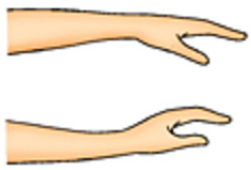
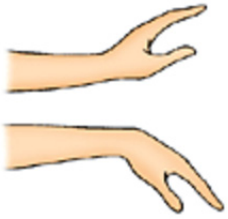
마지막으로 표 8은 손목 꺾임 및 들림 각도에 대한 점수 부여를 나타내며, 0° ~ 15°

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

사이로 꺾이거나 들릴 경우 1점, 15° 이상으로 꺾이거나 들리는 경우 2점의 손목 자세 점수를 부여하며, 부여된 점수에 손목이 비틀어 질 시 추가 점수 1점이 부가된다.

표 8. 손목 자세에 대한 분류체계

		
0° ~ 15° 꺾임 및 들림 (1점)	15° 이상으로 꺾임 및 들림 (2점)	손목 비틀림 (추가 점수 1점)

그룹 B에 속해있는 부위들의 각도 및 추가점수를 통해 부여된 점수들은 그룹 B의 부하수치를 도출하기 위한 요소이며, 도출된 부하수치에 손잡이 점수를 더하여 최종적으로 ScoreB가 산출된다. 표9는 그룹 B의 부하수치를 도출하는 Table과 손잡이 형태에 따라 부여되는 점수를 나타낸다.

표 9. 그룹 B의 부하 수치 및 손잡이 점수

그룹 B	아래팔					
윗팔	1			2		
	손목			손목		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	6	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

손잡이 점수				
손잡이 형태	잘 고정된 손잡이	적절한 손잡이	부적절한 손잡이	손잡이 없음
점수	0	1	2	3

위의 과정을 통해 산출된 ScoreA와 ScoreB를 ScoreC 산출표에 적용하여 ScoreC를 산출하고, 최종적으로 산출된 ScoreC에 행동점수를 부가하여 REBA점수를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

산출한다. 산출된 REBA점수는 작업자세에 대한 위험 단계와 조치 수준의 척도가 된다. 표 10은 ScoreC 산출표와 행동 점수의 목록, 마지막 표11은 REBA점수 별 위험단계와 조치수준을 표현한 것이다.

표 10. 총괄적 작업 부하 수치 및 행동 점수

		ScoreB											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ScoreA	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

행동 점수			
행동점수 목록 (중복 가능)	한군데 이상 신체 부위 고정	좁은 범위에서 반복적인 작업	급하게 넓은 범위에서 변화되는 행동 또는 불안정한 하체
점수	1점 추가	1점 추가	1점 추가

표 11. REBA 조치수준

조치 수준	REBA 점수	위험 수준	조치 내용
0	1	무시해도 좋음	필요 없음
1	2 ~ 3	낮음	필요할 수도 있음
2	4 ~ 7	보통	필요함
3	8 ~ 10	높음	곧 필요함
4	11 ~ 15	매우 높음	지금 즉시 필요함

3.2.2 부위별 각도 산출 방법

본 연구에서는 REBA 평가에 이용되는 부위별 각도를 구하기 위해 Kinect를 이용하여 골격 정보를 측정하고, 측정된 골격 정보들을 통해 각 부위들의 굽힘 각도를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

산출하였으며, Kinect로 측정하지 못하는 목의 회전 정도를 AR 마커 좌표계 정보를 통해 산출하였다.

Kinect로 측정된 골격 정보를 통해 굽힘 각도를 구하는 방법은 먼저 각도를 구할 부위의 관절 노드와 인접해 있는 관절 노드간의 벡터들을 다음과 같은 수식을 통해 산출된다.

$$\vec{\mathbf{v}} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1$$

여기서 $\mathbf{p}_1 = (x_1, y_1, z_1)$ 이고, $\mathbf{p}_2 = (x_2, y_2, z_2)$ 이다. 산출된 $\vec{\mathbf{v}}$ 들을 부위에 따라 다음과 같은 수식을 통해 xyz축중 한 축을 수직을 이루는 평면으로 투영하였다.

$$\vec{\mathbf{v}}' = \vec{\mathbf{v}} - (\vec{\mathbf{v}} \cdot \vec{\mathbf{v}}_n) \times \vec{\mathbf{v}}_n$$

$\vec{\mathbf{v}}'$ 은 평면에 투영된 $\vec{\mathbf{v}}$ 이며, $\vec{\mathbf{v}}_n$ 은 투영 평면의 노말 벡터이다. 투영된 $\vec{\mathbf{v}}'$ 들의 각도를 다음과 같은 수식에 적용하여 부위별 굽힘, 벌림, 들림 등 필요 각도들을 산출하였다.

$$\theta = \arccos\left(\frac{\vec{\mathbf{v}}_1' \cdot \vec{\mathbf{v}}_2'}{\left|\vec{\mathbf{v}}_1'\right|\left|\vec{\mathbf{v}}_2'\right|}\right)$$

산출된 각도를 REBA 부위별 자세 점수를 부여하는 각도의 기준과 비교하여 측정된 작업자세에 대해 점수를 부여하였으며 추가 점수 부여는 사용자가 시스템을 사용하면서 직접 부여할 수 있게 하였다. 표 12는 각 부위별 각도를 산출하기 위해 사용하는 관절 정보와 투영 평면을 나타낸다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

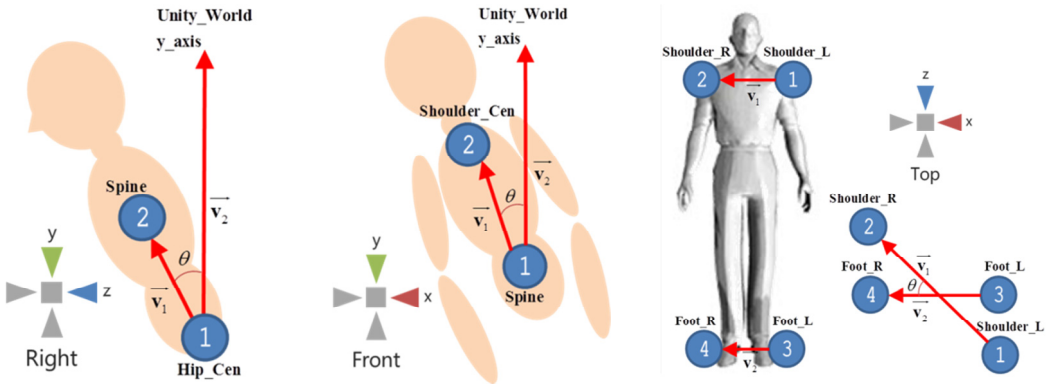
표 12. 부위별 각도 산출을 위한 관절 정보 및 투영평면

그룹	부위	산출	사용 관절 정보	투영 평면
그룹 A	몸통	앞뒤 굽힘	Hip_Cen(Center), Spine	YZ 평면
		양옆 굽힘	Spine, Shoulder_Cen	XY 평면
		비틀림	Shoulder_R(Right),L(Left), Foot_R,L	XZ 평면
	목	앞뒤 굽힘	Spine, Shoulder_Cen, Head	XY 평면
		양옆 굽힘	Spine, Shoulder_Cen, Head	YZ 평면
		비틀림	가슴과 머리에 부착된 AR 마커	XZ 평면
	다리	발의 떨어짐	Foot_R,L	투영 X
		무릎 굽힘	Hip_R,L, Knee_R,L, Ankle_R,L	YZ 평면
그룹 B	윗팔	앞뒤 들림	Shoulder_R,L,Cen, Spine, Elbow_R,L	YZ 평면
		양옆 벌림	Shoulder_R,L,Cen, Spine, Elbow_R,L	XY 평면
	아래팔	팔목 굽힘	Shoulder_R,L, Elbow_R,L, Wrist_R,L	YZ 평면
	손목	꺾임 및 들림	Elbow_R,L, Wrist_R,L, Hand_R,L	ZY 평면

그림 19는 그룹 A의 몸통 부위에서 앞뒤, 양옆, 비틀림 각도를 산출하기 위해 사용되는 벡터들을 나타낸다. 몸통 앞뒤 굽힘 각도를 산출하기 위해서 Hip_Cen 관절과 Spine 관절을 이용하여 벡터 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Spine-Hip)}$ 을 산출하였고, 산출된 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Spine-Hip)}$ 을 yz평면으로 투영한 후 Unity 좌표계의 y축을 $\vec{\mathbf{v}}_{2(Unity_yaxis)}$ 로 설정하여 굽힘 각도를 산출하였다. 양옆 굽힘의 각도는 Spine에서 Shoulder_Cen으로 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Shoulder-Spine)}$ 을 xy평면으로 투영한 후 앞뒤 굽힘 각도와 동일하게 Unity y축 $\vec{\mathbf{v}}_{2(Unity_yaxis)}$ 과 비교하여 굽힘 각도를 산출하였다. 추가 점수를 부여하는 몸통 비틀림 각도의 경우 Shoulder_L에서 Shoulder_R 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Shoulder)}$ 과 Foot_L에서 Foot_R로 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{2(Foot)}$ 를 xz평면으로 투영하고, 두 벡터를 비교하여 산출하였다.

Collection @ chosun

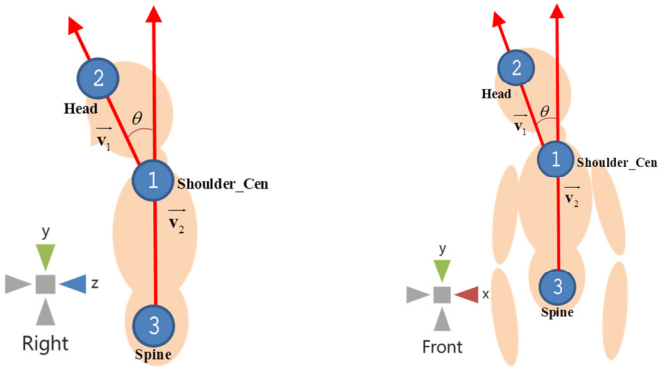
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 몸통 앞뒤 굽힘 (b) 몸통 양옆 굽힘 (c) 몸통 비틀림

그림 19. 몸통 각도 산출 방법

목 부위에서 앞뒤, 양옆 굽힘 각도를 산출하기 위해 사용되는 벡터들은 그림 20에 나타낸다. 목 앞뒤 굽힘의 경우 Spine에서 Shoulder_Cen으로 향하는 $\vec{v}_{1(Shoulder-Spine)}$ 과 Shoulde_Cen에서 Head로 향하는 $\vec{v}_{2(Head-Shoulder)}$ 를 xy평면으로 투영하여 굽힘 각도를 산출하였고, 양옆 굽힘 각도의 경우 앞뒤 굽힘 각도를 산출할 때 사용한 벡터들을 yz평면으로 투영하여 굽힘 각도를 산출하였다.



(a) 목 앞뒤 굽힘 (b) 목 양옆 굽힘

그림 20. 목 각도 산출 방법

또한 목 자세 점수에 추가 점수를 부여하는 목 비틀림의 경우 그림21에 나타내며, 목 비틀림의 경우 Kinect 장치로 측정하지 못하기 때문에, 가슴에 부착된 AR 마커 좌표계 중 z축을 $\vec{v}_{1(Head_Marker)}$ 로 머리에 부착된 AR 마커 좌표계 z축을 $\vec{v}_{2(Chest_Marker)}$ 를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

xz평면에 투영하여 비틀림 각도를 산출하였다.

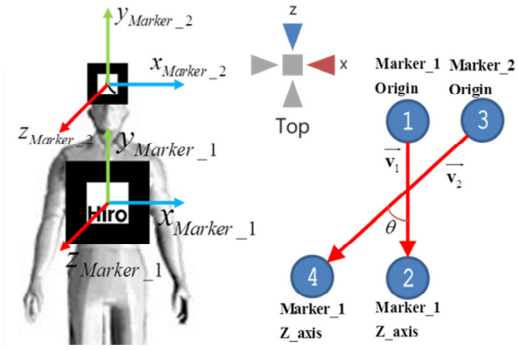
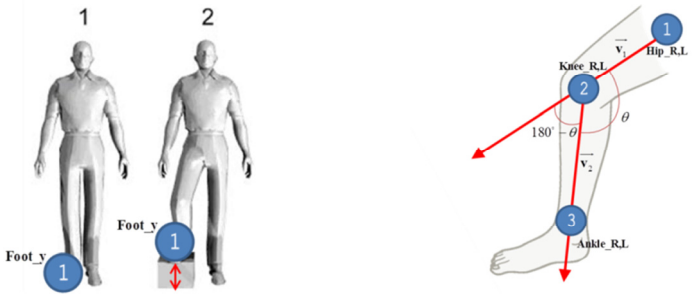


그림 21. 목 비틀림 각도 산출 방법

그림22는 다리 자세 점수를 산출하기 위해 발의 떨어짐을 구분하는 것과 추가 점수를 부여하는 굽힘 각도를 산출하기 위해 사용되는 벡터의 모습을 나타낸다. 다리의 자세 점수를 산출하기 위해서 Foot_R,L 좌표 중 y좌표의 증가량을 파악하여 다리가 균형한지 불균형한지를 선정하였고, 무릎 굽힘 각도를 산출하기 위해서 Hip_R,L 에서 Knee_R,L로 가는 $\vec{v}_{1(Knee-Hip)}$ 과 Knee_R,L에서 Ankle_R,L로 가는 $\vec{v}_{2(Ankle-Knee)}$ 를 yz평면에 투영하여 각도를 산출하였고, 산출된 각도를 180 ° 에서 차감하여 무릎 굽힘 각도를 산출하였다.



(a) 다리의 균형 선정 (b) 무릎 굽힘

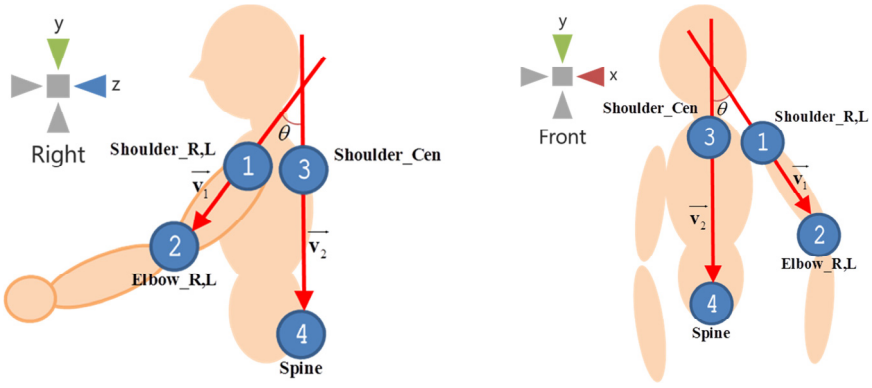
그림 22. 다리 점수 및 무릎 각도 산출 방법

다음은 그룹 B에 속해있는 윗팔 들림, 벌림 각도를 산출하기 위해 사용되는 벡터는 그림 23에 나타낸다. 들림 각도를 산출하기 위해서 Shoulder_R,L에서 Elbow_R,L로

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Elbow-Shoulder)}$ 과 Shoulder_Cen에서 Spine으로 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{2(Shoulder-Spine)}$ 를 yz평면으로 투영하여 들림 각도를 산출하였고, 벌림 각도의 경우 들림 각도에서 사용된 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Elbow-Shoulder)}$, $\vec{\mathbf{v}}_{2(Shoulder-Spine)}$ 을 xy평면으로 투영하여 산출하였다.



(a) 윗팔 들림 (b) 윗팔 벌림

그림 23. 윗팔 각도 산출 방법

아래팔 부위의 굽힘 각도를 산출하기 위해 사용되는 벡터들은 그림 24에 나타내며, 굽힘 각도는 Shoulder_R,L 에서 Elbow_R,L로 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Elbow-Shoulder)}$ 과 Elbow_R,L에서 Wrist_R,L에 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{2(Wrist-Elbow)}$ 를 yz평면으로 투영하여 산출하였다.

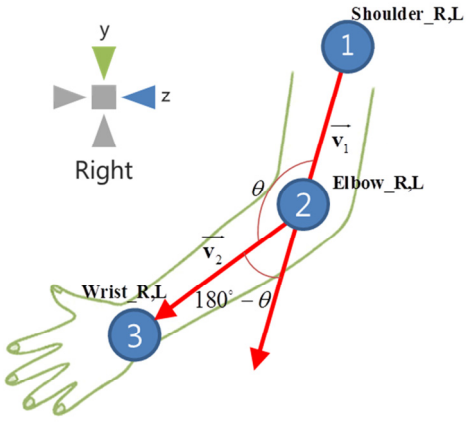


그림 24. 아래팔 각도 산출 방법

마지막으로 손목의 꺾임 및 들림 각도를 구하기 위해 사용되는 벡터를 그림 25에 나타낸다. 꺾임 및 들림 각도는 Elbow_R,L에서 Wrist_R,L로 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{1(Wrist-Elbow)}$ 과

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Wrist_R,L에서 Hand_R,L로 향하는 $\vec{\mathbf{v}}_{2(Hand-Wrist)}$를 zy평면에 투영하여 산출하였다.

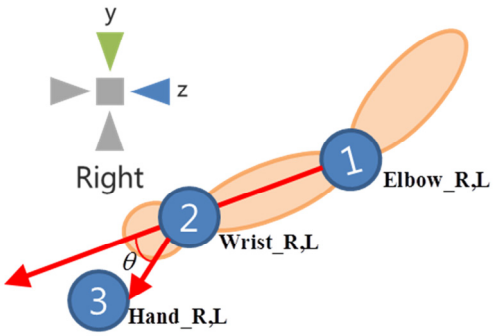


그림 25. 손목 각도 산출 방법

이외로 자세 점수에 추가 점수를 부가하는 윗팔의 회전, 어깨의 들림, 손목 비틀림이 발생하는 경우와 자세 점수를 차감하는 팔이 기대어져 있는 경우는 Kinect와 AR 마커를 이용하여 측정하기 어렵기 때문에 사용자가 작업자 작업자세를 보고 직접 입력할 수 있게 하였다. 또한 위와 같은 방법들로 산출된 부위별 각도 통해 부여된 점수와 부가된 추가 점수들을 이용하여 ATable, BTable 부하수치를 산출하였으며, ATable 부하수치에 부가되는 무게/힘 정도와 BTable에 부하수치에 부가되는 손잡이 점수도 사용자가 직접 입력할 수 있게 하여 AScore와 BScore를 산출한다. 최종적으로 AScore와 BScore로 CScore을 산출하고, 산출된 CScore에 사용자가 행동 점수를 부여하여 작업자세 평가 기준이 되는 REBA 점수를 산출한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 구현 및 적용

본 장에서는 제안된 방안을 토대로 구현된 인간공학적 작업 자세 분석 및 작업 부하 평가 시스템의 세부적인 구현 환경에 대하여 서술하고, 제안된 방안의 유용성을 검증하기 위해 몇 가지 작업 자세를 선정하였으며, 구현된 평가 시스템과 영상 장비 기반 자세 분석 방법을 적용하여 산출된 평가 결과를 비교/분석한 내용을 서술한다.

본 장에서는 제안된 방안을 토대로 구현한 인간공학적 자세 분석 및 작업부하 평가 시스템 구성과 GUI설계 부분을 설명하고, 제조 공정에서 실제로 사용되는 몇 가지 작업자세에 대해 실제 영상 장비 기반 방법을 이용한 결과와 구현된 시스템의 결과와 비교/분석하여 본 연구의 유용성을 검증하고자 한다.

4.1 Kinect를 이용한 REBA 평가 시스템 구현

4.1.1 시스템 구성

구현된 평가 시스템의 가상환경 구현을 위해 C# 기반의 Unity3D for Windows 개발환경을 활용하였고, 작업자의 자세를 측정할 수 있는 Kinect 입력 장치와 LED 모니터 출력장치를 활용하였다. Kinect 입력 장치의 제어 및 측정 결과 산출을 위해 제공되는 Kinect SDK[26]를 활용하였으며, 추가적으로 AR 마커 추적 기술을 구현하기 위해 C# 기반의 NyARtoolkit[29]을 활용하였고, Kinect 측정 정보와 AR 마커 추적 정보를 통합하기 위한 소스코드를 자체적으로 개발하였다. 측정 정보의 시각화를 위해 가상 인체 모델을 선정하여 모델의 골격 정보를 Unity3D[30]에서 모델 움직임을 제어하는 기능인 Humanodi Rig를 활용하여 생성하였고, 측정 정보를 골격 정보에 연동하여 작업자의 자연스러운 움직임을 표현하였다. 또한 REBA의 작업 자세 평가

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

기법에 입각한 작업 자세 평가 및 점수 산출 모듈을 자체 구현하였다. 그림 26은 앞서 기술한 내용을 토대로 구현된 작업 자세 평가 환경을 나타낸다.

그림 26. 시스템 구현 환경 사진

4.1.2 REBA 평가 GUI 설계

Unity에서는 화면에 글자나 표현하거나 메뉴를 선택할 수 있게 GUI(Graphical User Interface)생성 기능을 제공해준다. 제공되는 GUI 종류로는 박스, 버튼, 라벨, 텍스트, 토글 스위치, 툴바, 등이 있는데 본 연구에서는 이러한 GUI 기능들을 이용하여 사용자가 실시간으로 측정된 작업자세에 대한 각 부위별 각도와 REBA 평가 기법이 적용된 점수들을 확인할 수 있게 하였다. 산출된 부위별 각도와 점수의 구역을 나누기 위해 GUI 박스를 활용하였고, 표현을 해주기 위해 GUI 라벨 기능을 활용하였으며, 사용자가 측정 부위 중 부하가 가장 많은 부위를 바로 확인할 수 있게 높은 점수에는 GUI색상이 변하게 하였다. 또한 추가점수를 부여하는 부분 중 Kinect와 AR로 측정이 어려운 부분에는 사용자가 직접 작업자를 보고 입력할 수 있게

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

GUI 토글 스위치를 활용하였고, 기존 작업자세 점수에 GUI 토글 스위치로 추가 점수가 부가된 점수를 재 산출하기 위해 GUI 버튼을 활용하였다. 그림 27은 설계된 GUI의 모습을 나타낸다.

(a) 부위별 각도 GUI (b) 부위별 점수 및 추가점수 부여

그림 27. 설계된 GUI

4.2 적용 및 비교

본 절에서는 구현된 시스템의 유용성을 확인하기 위해 실제 제조 공정에서 사용되는 몇 가지 작업자세를 선정하여 구현된 시스템에 적용해 평가 결과를 확인하고자 한다. 또한 선정된 작업자세를 기존 영상 방법을 적용한 결과와 비교/분석하고, 평가에 소요되는 시간을 비교하고자 한다. 비교/분석의 방법으로는 실제 제조 공정에서 사용되는 자세 중 3가지 자세를 선정하여 동일한 방향에서 Kinect와 영상 촬영 장비로 작업자세를 측정하며, REBA 평가 기법을 적용해 구현된 시스템과 영상 촬영

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

장비 기반 방법의 평가 결과를 산출한다. 산출된 평가 결과에서 부위별 점수, 그룹 별 점수, REBA 점수별로 두 방법을 비교/분석하고, 각 방법의 작업자세 평가에 소요되는 시간을 비교한다. 비교/분석의 결과와 소요되는 시간의 차이를 통해 본 연구의 유용성을 검증한다.

4.2.1 적용 결과

본 연구에서는 실제 제조 공정에서 사용되는 몇 가지 작업자세를 선정하고, 선정된 작업자세를 구현된 시스템에 적용하여 평가하였다. 그림28은 선정된 작업자세고, 표13은 작업자세들에 대한 REBA 평가 점수이다.

(a) 작업자세 A

(b) 작업자세 B

(c) 작업자세 C

그림 28. 선정된 작업자세

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 13. 제안된 방안의 REBA 평가 결과

			작업자세 A	작업자세 B	작업자세 C
그룹 A 점수	몸통		2	4	2
	목		2	3	2
	다리		1	1	1
	ScoreA		3	6	3
그룹 B 점수	왼쪽	윗팔	4	1	1
		아래팔	1	2	2
		손목	1	2	1
	ScoreB[왼쪽]		4	2	1
	오른쪽	윗팔	5	1	4
		아래팔	2	2	2
		손목	1	1	2
	ScoreB[오른쪽]		7	1	6
REBA 점수	왼쪽		3	6	2
	오른쪽		6	6	5

그림 28은 실제 자동차 제조 라인에서 행하는 작업자세이다. 작업자세 A는 자동차 하단부를 조립하는 작업이고, 작업자세 B는 자동차 뒷 범퍼를 조립하는 작업이며, 작업자세 C는 행거박리 작업이다. 3가지 작업자세의 평가 결과 위험수치가 낮음에서 보통이 나왔으며, 자세 교정이 부분적으로 필요한 것으로 나타났다. 작업자세 A의 경우 다른 부위에 비해 오른쪽 윗팔에 높은 부하가 있으며, 이로 인해 왼쪽 REBA 점수에 비해 오른쪽 REBA점수가 더 높게 산출되었다. 작업자세 B는 그룹A의 부하로 인해 REBA 점수가 전반적으로 높게 나타났고, 작업자세 C의 경우 작업자세 A와 반대로 왼쪽 팔에 높은 부하가 있어 REBA 점수가 오른쪽 보다 왼쪽이 더 높게 산출되었다.

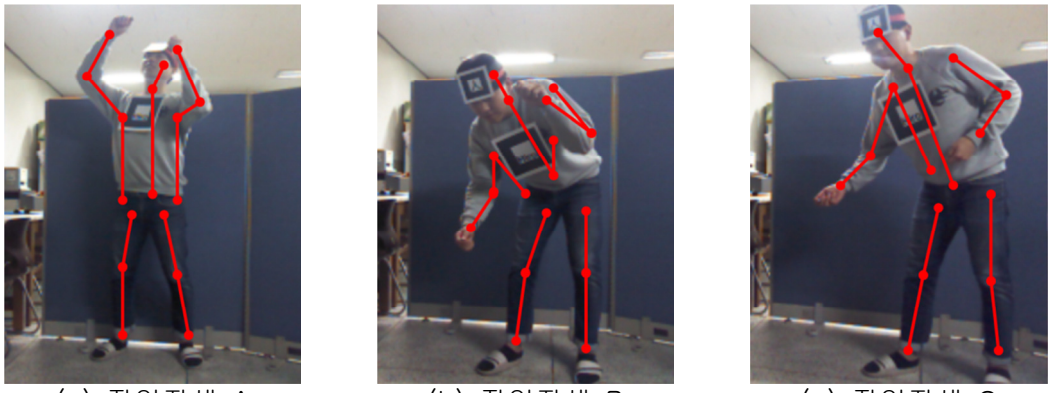
4.2.2 영상 측정 기반과 비교

본 연구에서 제안된 방안에 대한 유용성을 검증하기 위해 선정된 작업자세에 구현된 시스템과 영상 측정 장비 기반 방법을 적용하여 측정 및 평가가 이루어지는 소요

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

시간과 산출된 점수를 비교하였다. 그림29는 선정된 작업자세를 영상 장비 기반으로 평가한 모습이며, 표14는 영상 장비 기반 작업자세 평가 결과이다.



(a) 작업자세 A (b) 작업자세 B (c) 작업자세 C

그림 29. 영상 장비 기반 작업자세 평가

표 14. 영상 장비 기반 작업자세 평가 결과

			작업자세 A	작업자세 B	작업자세 C
그룹 A 점수	몸통		1	4	2
	목		2	3	2
	다리		1	1	1
	ScoreA		1	6	3
그룹 B 점수	왼쪽	윗팔	5	2	2
		아래팔	1	2	1
		손목	1	1	1
	ScoreB[왼쪽]		6	2	1
	오른쪽	윗팔	5	1	4
		아래팔	2	2	2
		손목	1	1	1
	ScoreB[오른쪽]		7	1	5
REBA 점수	왼쪽		3	6	2
	오른쪽		4	6	4

우선 측정 및 평가의 소요 시간의 차이를 비교한 결과 본 연구 방안은 실시간으로 측정 및 평가가 이루어졌으나 영상 측정 기반의 방법은 측정 및 평가 시간에 약 30분 가량 소모가 되었다. 다음으로 영상 장비 기반 평가 결과와 구현된 시스템에서 도출된

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

결과를 비교를 하였는데, 작업자세 A의 경우 몸통 부분에서 구현된 시스템에서는 뒤로 굽혀있어 2점이 나와 ScoreA가 3점이 산출되었고, 영상 장비 기반 방법으로는 뒤로 굽혀있는지 판별이 어려워 1점이 나와 ScoreA가 1점이 산출되었다. 그리고 그룹 B는 양 쪽 윗팔을 올린 상태이기 때문에 영상 장비 기반으로도 자세 측정이 수월해 측정 결과가 비슷하게 나왔다. 허나 왼쪽 팔은 오른팔에 비해 열려있지 않아 본 연구 방안과 비교할 때 ScoreB[왼쪽]에서 2점의 차이가 나왔다. 다음 작업자세 B에서 그룹 A와 그룹B[오른쪽]는 영상으로도 몸통이나 다리, 목 그리고 오른쪽 팔 부위들이 얼마나 굽혀있는지 판단이 수월하여 본 연구 방안과 결과가 동일하게 산출되었으나, 왼쪽 팔의 경우 영상 장치 각도 때문에 벌림, 굽힘 각도를 산정하기 어려워 다른 결과가 산출되었다. 마지막으로 작업자세 C의 그룹 A와 그룹 B[왼쪽] 경우 몸통, 다리, 목, 왼쪽 팔의 각도를 구하기가 수월하였으나, 신체가 영상 장치의 정면이 아닌 비틀려 있는 상태로 촬영되어 오른팔의 각도를 판별하기 어려워 본 연구 방안과 다른 결과가 산출되었다. 그러나 각 부위별 결과는 약간의 차이가 있지만 최종 점수인 REBA 점수를 비교하면 작업자세 A와 C 경우 왼쪽은 동일하게 오른쪽은 점수는 다르지만 위험 수준은 동일하게 나왔으며, 작업자세 B의 경우는 REBA 점수가 두 방법 동일하게 산출되었다. 이는 본 연구가 영상 촬영 장비 기반 방법에 비해 작업자세 측정 및 평가에 소요되는 시간을 절감할 수 있으며, 산출되는 평가 결과를 비교하였을 때는 유사한 결과를 산출할 수 있음을 확인해 주고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5 장 결론 및 토의

본 연구에서는 Kinect와 AR 마커 추적 기술을 이용하여 작업자의 작업자세를 측정하고, 측정된 작업자세를 가상환경의 가상 인체 모델에 연동하며, 연동된 가상 인체 모델에 REBA 기법을 적용하여 인간공학적 작업자세를 평가하는 방안을 제안하였다.

먼저, Kinect로 작업자의 작업자세를 측정해 골격 정보를 획득하였으며, Kinect로 측정하지 못하는 정보들을 대해서는 AR 마커 추적 기술을 접목하여 획득하였다. 획득된 정보들을 가상환경에 시각화하기 위해 가상 인체 모델의 골격 정보를 생성하여 획득된 정보들을 연동하였고, AR 마커 정보를 좌표계 변환을 통해 Kinect 정보와 함께 이용할 수 있게 하였다. 연동된 작업자세 골격 정보에 REBA 평가 기법을 연계하기 위해 REBA 평가 기법에서 요구하는 부위별 각도를 산출하여 점수를 부여하였고, Kinect와 AR 마커 추적 기술로 측정하지 못하는 부위의 추가 점수와 REBA 점수를 산출하기 위한 추가적으로 부가하는 점수들은 사용자가 직접 입력할 수 있게 하였다. 또한 동일한 작업자세에 구현된 시스템과 영상 촬영 장비 기반 방법을 적용하여 산출된 평가 결과를 비교하였으며, 비교 결과 영상 촬영 장비 기반의 평가 결과와 유사한 결과가 실시간으로 분석되었다.

이에 본 연구는 작업자세를 평가하기 위해 인간공학적 분석가 없이 누구나 손쉽게 정확한 평가가 가능하며, 평가를 위해 소모되는 시간과 비용 측면에서도 절감이 될 수 있으리라 기대된다. 또한 작업자세에 대한 부하 정도를 파악할 수 있어 일반 산업 현장에 유용하게 활용 될 수 있으리라 기대된다.

그러나 주변 환경 및 작업자세에 따라 AR 마커의 인식이 불가한 경우와 손목의 회전이나 어깨 들림 같은 경우에는 적용이 어렵다는 단점이 있었다. 이에 향후 연구로는 Kinect에 AR 마커 추적 기술 대신 자세 변환, 위치 이동, 변화 속도,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

변위량을 측정할 수 있는 관성측정장치인 IMU(Inertial Measurement Unit)센서를 이용한 센서 기반 추적 기술을 접목하여 작업자세를 측정하고 평가하고자 하며, 이를 AR 마커를 이용한 방안과 비교하여 유용성을 입증하고자 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

1. 고용노동부, http://www.moel.go.kr/.

2. Karhu, O., Kensi, P. and Kuorinka, I., 1977, Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, Vol. 8(4), pp. 199-201.

3. Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and Fine, L. J., 1993, Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, Vol. 36(7), pp. 749-776.

4. McAtamney, L. and Nigel Corlett, E., 1993, RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, Vol. 24(2), pp. 91-99.

5. Hignett, S. and McAtamney, L., 2000, Rapid entire body assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, Vol. 31(2), pp. 201-205.

6. 한형상, 유희천, 2015, 인간공학의 현황과 전망, *Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) PD Issue Report*, Vol. 15(3), pp. 39-71.

7. Kinect, https://dev.windows.com/en-us/kinect/.

8. Leap Motion, https://www.leapmotion.com/.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

9. Joung, Y. K., RI, L. Q. and Noh, S. D., 2012, A Study on the Automated Ergonomic Simulation using Kinect, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, pp.606-610.

10. Ciriello, V. M. and Snook, S. H., 1999, Survey of manual handling tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 23, pp.149-156.

11. Kee, D., 2006, Applicability of NIOSH Lifting Equation to analysis of Workload for Patients Transferring, *Journal of the Ergonomics Society of Korea,* Vol. 25(2) pp.43-50.

12. Scott, G. B. and Lambe N. R., 1996, Working practices in a perchery system, using the OVAKO working posture analysing system(OWAS), *Applied Ergonomics*, Vol. 27(4), pp.281-284.

13. Chae, S. H., 2006, Analysis of Workload in Steel Partition Work Using OWAS Method, *Journal of the Architectural Institute of Korea: Structure & Construction*, Vol. 22(2), pp.155-162.

14. Massaccesi, M., Pagonotta, A., Soccetti, A., Masali, M. and Masiero, C., Greco, F., 2003, Investigation of work-related disorders in truck drivers using RULA method, *Applied Ergonomics*, Vol. 34(4), pp.303-307.

15. Park, J. Y., Kim, D. J., Chang S. R. and Song, C. S., 2007, Analysis of Welding Positions for Reduction of Musculoskeletal Disorders Based on Simulation Technique, *Journal of Korean Welding and Joining Society (KWJS)*, Vol. 25(4), pp.79-85.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

16. Delmia V5, http://www.3ds.com/ko/products-services/delmia/products/v5/.

17. Jones, T. and Kumar, S., 2007, Comparison of ergonomic risk assessments in a repetitive high-risk sawmill occupation: Saw-filer, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 37, pp.744-753.

18. Kim, H. S., Gong, B. C., Cheong, S. H. and Choi, S. D., 2009, Ergonomic Analysis of Manufacturing Process for PET Bottle by REBA Technique, *Journal of The Korean Society of Industrial Application*, Vol. 12(4), pp.203-208.

19.Kinect Wiki, https://ko.wikipedia.org/wiki/키넥트.

20. Kinect API, https://msdn.microsoft.com/en-us/library.

21. Lee, S. B. and Ho, Y., S., 2012, Real-time eye contact system using a kinect depth camera for realistic telepresence, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 37(4C), pp.277-282

22. Byun, T. H. and Kwak, K. C., 2011, Sound Source Localization by Multichannel Microphones of Kinect Sensor, *In Proceedings of Korean Institute of Intelligent Systems (KIIS) Fall Conference*, Vol. 21(2), pp.233-235.

23. Xia, L., Chen, C. C. and Aggarwal, J. K., 2011, Human detection using depth information by Kinect, *In Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2011 WORKSHOPS*, pp.15-22.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

24. Lee, J. and Hong, M., 2014, Posture Correction Monitoring System using Kinect, *Journal of Korean Society for Internet Information*, Vol. 15(2), pp.167-168.

25. Zhang, Z., 2012, Microsoft Kinect Sensor and Its Effect, *IEEE multimedia*, Vol. 19(2), pp.4-10.

26. Kinect SDK, https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect.

27. ARToolkit, https://artoolkit.org/.

28. 박홍석, 최흥원, 2008, 증강현실의 기술원리 및 프레임워크, *모아진 CAD & Graphics*, pp.156-160.

29. NyARToolkit, http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/.

30. Unity, http://www.unity3d.com/.

31. UnityAPI, https://docs.unity3d.com/ScriptReference/.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

먼저 석사 과정 동안 연구에 매진할 수 있도록 아낌없는 격려와 지도를 해주신 박형준 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 그리고 저의 논문 심사를 맡아주시고, 충고와 조언을 해주셨던 신종호 교수님, 백정우 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 애정과 조언을 아끼지 않으셨던 김종래 교수님, 김규태 교수님, 강장하 교수님께도 진심으로 감사 드립니다.

대학원 생활동안 함께 했던 CAD/CAM 실험실의 제일 큰 형님으로 지금도 후배를 챙겨주시는 박상진 선배, 문제가 생겼을 때 해결방향을 알려주시던 정호균 선배, 박득영 선배, 김승길 선배, 그리고 막내 손은진에게도 정말 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 또한, 대학원 생활을 하며 많은 조언을 해주시던 이안섭 박사님, 조상훈 박사님, 이경훈 박사님에게도 깊은 감사 드립니다.

이 외 대학원 생활동안 힘들고 괴로운 일이 있을때마다 즐거움을 주던 친구 보배, 승수, 규동, 영현에게도 고맙다는 말 전하고 싶습니다. 또한 늘 제 곁에서 믿어주시고 응원해주신 부모님, 형님, 형수님에게 깊은 애정과 고마움을 전합니다. 이러한 가족들의 은혜에 조금이나 보답할 수 있도록 노력하겠습니다.

마지막으로 지면으로 통해서 언급하지 못했지만 그 동안 저를 아끼고 응원해주신 모든 분들께 다시 한번 진심으로 감사 드립니다.

Collection @ chosun