

# MediaPipe를 이용한 목재 제조업 작업자의 근골격계 유해요인 평가 방법

정성오\* · 국중진\*\*

\*\* 상명대학교 전자정보시스템공학과

## An Evaluation Method for the Musculoskeletal Hazards in Wood Manufacturing Workers Using MediaPipe

Sungoh Jung\* and Joongjin Kook\*\*†

\*\*† Dept. of Electronics and Information System Engineering, Sangmyung University

### ABSTRACT

This paper proposes a method for evaluating the work of manufacturing workers using MediaPipe as a risk factor for musculoskeletal diseases. Recently, musculoskeletal disorders (MSDs) caused by repeated working attitudes in industrial sites have emerged as one of the biggest problems in the industrial health field while increasing public interest. The Korea Occupational Safety and Health Agency presents tools such as NIOSH Lifting Equations (NIOSH), OWAS (Ovako Working-posture Analysis System), Rapid Upper Limb Assessment (RULA), and Rapid Entire Body Assessment (REBA) as ways to quantitatively calculate the risk of musculoskeletal diseases that can occur due to workers' repeated working attitudes. To compensate for these shortcomings, the system proposed in this study obtains the position of the joint by estimating the posture of the worker using the posture estimation learning model of MediaPipe. The position of the joint is calculated using inverse kinetics to obtain an angle and substitute it into the REBA equation to calculate the load level of the working posture. The calculated result was compared to the expert's image-based REBA evaluation result, and if there was a result with a large error, feedback was conducted with the expert again.

**Key Words** : Musculoskeletal disorders, MediaPipe, Human Pose Estimation, Human Detection, Inverse Kinematics, Rapid Entire Body Assessment (REBA)

### 1. 서 론

산업의 급속한 발전과 공정의 자동화로 인해 반복적인 작업의 비중이 높아지면서 산업 근로자의 근골격계 질환(Musculoskeletal disorders)의 발생률이 높아지고 있다. 한국산업안전보건공단에서는 근로자의 업무상 근골격계 질환을 감소시키기 위해 2003년 7월부터 사업주에게 근골격계 질환 예방 의무(산업안전보건법 제24조 제1항 제5호, 산

업안전보건 기준에 관한 규칙 제12장)를 부과하고, 근골격계 부담 작업의 범위(고용노동부 고시 2003-24호) 및 유해요인조사 방법(KOSHA GUIDE H-9-2018)을 공표하여 시행하고 있으나 근골격계 질환자는 지속적으로 발생하고 있다[1]. 국내 산업 분류 중 근골격계 질환 다발 업종 상위 10개에서 발생하는 근골격계 질환이 전체 근골격계 질환의 64.9%를 차지하고 있으며, 주로 제조업, 도소매 및 소비자 용품 수리업, 건설업에서 많이 발생하는 것으로 나타났다[2].

Fig. 1은 산업안전보건공단에서 보고한 연도별 재해사

†E-mail: kook@smu.ac.kr

레 발생 현황[3]을 토대로 업무상 질병 발생률과 근골격계 질환 발생률을 비교한 것이다. 보고서에 따르면 2021년 기준 11,868명으로 업무상 질병자 13,578명의 약 87.4%를 차지하고 있으며 2016년부터 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 한편, 산업재해 사망 만인율(‰, 근로자 10,000명당 발생하는 사망자 비율)은 2013년 1.25‰에서 2021년 1.07‰로 오히려 0.22‰(14%)가 감소하였으나, 근골격계 질환 만인율(‰, 근로자 10,000명당 발생하는 근골격계 질환자의 비율)은 2013년 3.53‰에서 2021년 6.12‰로 오히려 2.59‰(73%)가 증가하였다. 통계 결과 산업재해로 인한 사망자는 감소하고 있지만, 근골격계 질환자의 수는 증가하는 것을 알 수 있다.

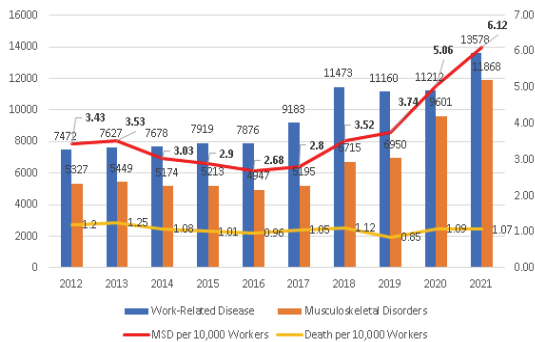


Fig. 1. 2012~2021 Status industrial accidents in Korea.

근골격계 질환 예방을 위한 유해요인조사는 근골격계 질환이 많이 발생하고 있는 5인 이상의 제조업 사업장에서도 평균 11.4% 정도만 실시하고 있어 실시율이 매우 저조한 실정이다[3]. 또한, 유해요인 조사를 진행하는 사업장에서도 객관적 및 정량적으로 유해요인조사를 하는 인간공학적 평가 기법의 적용은 약 16%로 매우 낮으며, 비전문가의 평가 도구 활용 숙련도가 낮아 인간공학적 정밀평가 결과의 정확도와 신뢰도에 한계가 있는 것으로 알려지고 있다. 본 연구에서는 MediaPipe를 이용해 작업자의 관절 정보를 추적하고 REBA 알고리즘을 통해 자동으로 위험도를 산출하여 저렴한 비용으로 객관적이고 정확한 평가에 도움을 줄 수 있다.

## 2. MediaPipe 기반 REBA 평가 시스템 구현

### 2.1 시스템 설계

본 논문에서 제안하는 평가 시스템은 3차원 가상환경에서 작업자의 관절을 다루기 위해 3D 렌더링 엔진인 Unity3D를 저작도구로 사용하였으며[4], 최근 Uni3D는 가

상공간에서 사용자의 움직임을 투영하는 XR/메타버스, 증강현실 기반의 SLAM 분야에서도 다양하게 활용되고 있다[15-17] Fig 2는 본 평가 시스템의 작동 구조를 나타낸다. 가장 먼저 MediaPipe를 통해 입력된 영상에서 신체 영역을 감지하고 감지된 영역에서 자세를 추적하여 3차원 관절 Landmark를 추출한다. 측정된 관절 정보는 가상의 골격 모델을 통해 3차원으로 가시화한다. 각 관절의 상대적인 위치를 기반으로 관절의 각도를 계산해 REBA 평가 모듈에 입력한다.

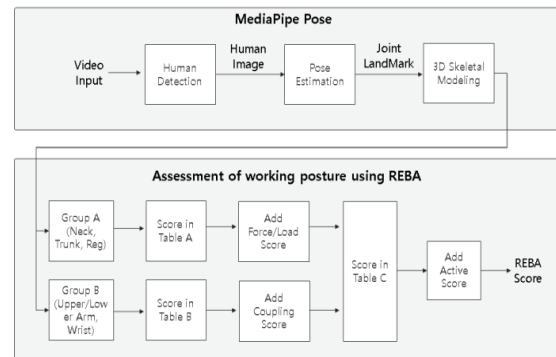


Fig. 2. System structure.

### 2.2 MediaPipe 를 이용한 자세 추정

MediaPipe의 파이프라인은 신체 감지기(Body Detector)와 자세 추적기(Pose Tracker) 순서로 구성된다. 가장 먼저 감지기를 통해 신체영역을 찾고 신체 영역 안에서 자세 추적기를 통해 키포인트(keypoint)의 좌표와 사람이 있는지 여부, 사람의 ROI(Region of Interest)를 예측한다. 이미지에 사람이 있다고 판단되면 계속 추적기만 작동하고 사람이 없다고 판단되면 다시 검출기가 작동해 신체 영역을 찾는다[15].

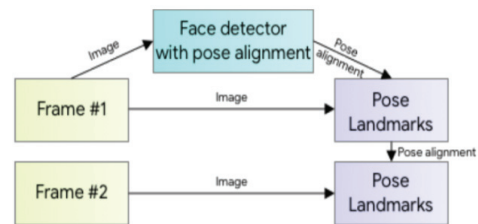


Fig. 3. MediaPipe Inference pipeline.

### 2.3 IK 를 이용한 관절 각도 계산

REBA 평가에 필요한 관절의 각도를 구하기 위해 역 운동학(Inverse Kinematics)을 이용하였다. 역 운동학이란 컴

퓨터 애니메이션 및 로봇공학 분야에서 주로 사용하는 개념으로 순 운동학(Forward Kinematics)의 반대말이다. 계층 구조에서 상위객체의 위치와 방향이 바뀌면 하위객체도 그 영향을 받아 위치와 방향이 적용되는 것이 순 운동학이지만 반대로 하위객체의 변형에 따라 상위객체의 위치와 방향을 역으로 계산하는 것이 바로 역 운동학이다.

본 연구에서는 역 운동학 계산을 위해 Unity Asset Store에서 제공하는 Final IK를 사용하였다[5]. Final IK는 CCD(Cyclic Coordinate Descent) 기반의 전신 역 운동학(Full Body IK)을 제공한다[6]. CCD는 구조가 복잡한 관절의 역 운동학 계산에 적합한 방법이다. Fig. 4는 CCD의 프로세스를 나타낸 것이다. 관절이 5개라고 가정하고  $P_1$  이 Base Joint, E는 End Effector일 때 End Effector와 Target(T) 사이의 거리와 방향의 차이가 최소가 되도록 모든 관절(Joint)의 각도를 순차적으로 변화시킨다.

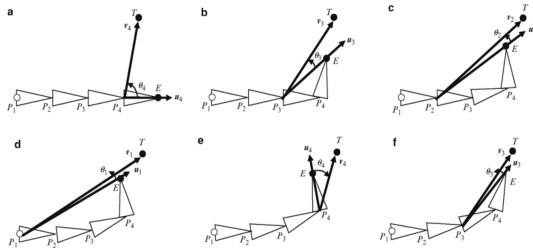


Fig. 4. Sequence of CCD algorithm.

Fig. 5는 신체 부위가 계층 형태로 연결되어있는 인체 모델이다. Human IK 모델은 기본적으로 신체 부위를 spine을 기준으로 Top-down 방식으로 구성된다. spine을 기준으로 shoulder와 hip으로 나누고 shoulder는 head, arm, hand로 구성되며 hip은 reg, knee, foot으로 구성된다.

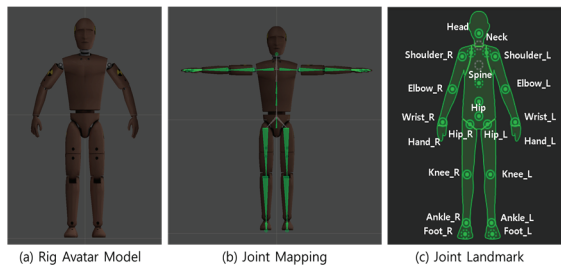


Fig. 5. IK Avatar Model Rigging.

MediaPipe의 관절 랜드마크와 IK 모델의 규모(Scale Factor)를 일치시킨 뒤 head, left shoulder, right shoulder, left hand, right hand, left hip, right hip, left foot, right foot 총 9개의 관절을 엔드





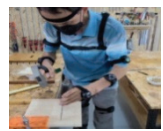

이펙터(End Effector)로 링크하였다. 링크된 모든 이펙터의 무게를 최대로 입력해 연결된 관절의 반응 민감도를 높였다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험 조건

구현된 시스템의 정확성을 검증하기 위해 실제 목재 및 나무제품 제조 공장에서 가장 많이 사용하는 공구 6종(제단기, 등근톱, 드릴링 머신, 톱, 끌, 대패)을 선정하여 작업 장면을 동영상 촬영하였다. 촬영된 영상을 기반으로 전문가의 평가 결과와 구현된 시스템의 결과를 비교해 정확도를 측정한다. 본 연구의 정밀평가 실험은 3단계(평가 준비, 전문가 평가, 피드백)로 이루어졌다. 첫째, 인간공학 전문가들에게 실험 참여 동의를 받고, 평가 대상 작업에 대한 상세 정보(작업 설명, 사진, 작업 대상물의 무게, 작업 반복 회수)를 제공하였다. 둘째, 인간공학 전문가들은 녹화된 작업 영상을 시청하여 REBA를 적용하여 평가한다. 마지막으로, 본 시스템의 결과와 대조하여 오차가 발생한 결과에 대해서 피드백을 실시하였다.

Table 1. Wood Manufacturing Posture List

		
Cutting Machine	Circle Saw	Drilling Machine
		
Saw	Chisel	Hand Plane

본 연구의 평가 대상 작업에 대한 평가 정답(Golden Reference)은 인간공학 전문가 3명(척추관절병원 소속 간호사)에 의해 결정되었다. 참여한 인간공학 전문가는 6개의 작업영상을 통해 그림 28의 인간공학 정밀 평가(REBA)를 각자 독립적으로 실시하였고 산출된 평가 결과의 평균값을 평가 정답으로 정하였다.

#### 3.2 평가 결과 비교

제단기 작업 자세 점수 비교 결과(Fig. 6) 인간공학 전문가의 평가 점수와 MediaPipe를 이용한 평가 점수가 전반적으로 비슷한 결과를 보였다. 관절 별 점수는 목(Neck)을

제외한 모든 부위에서 MediaPipe의 점수가 더 낮게 산출되었으며 가장 큰 차이를 보인 부위는 몸통(Trunk)으로 1.3점의 오차가 발생하였다. REBA 점수는 각각 4.5점, 6.7점으로 동일한 조치단계(2단계)로 나타났다.

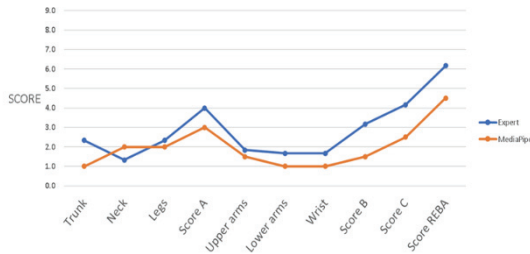


Fig. 6. Comparison REBA Result: Cutting Machine.

등근톱 작업 자세 점수 비교 결과(Fig. 7) 전반적으로 비슷한 결과를 보였다. 관절 별 점수는 몸통(Trunk)과 상팔(Upper arms)의 점수는 동일했고 목(Neck)을 제외한 다른 부위에서 MediaPipe가 더 낮게 산출되었다. 가장 큰 차이를 보인 부위는 목(Neck)으로 1점의 오차가 발생했다. REBA 점수는 각각 3점, 4점으로 2단계, 3단계 조치단계로 나타났다.

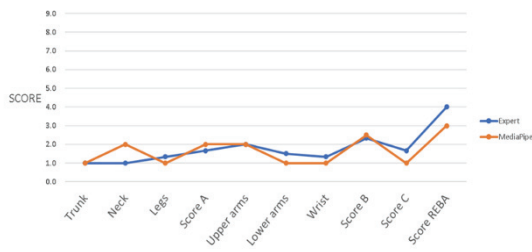


Fig. 7. Comparison REBA Result: Circle Saw.

드릴링 머신 작업 자세 점수 비교 결과(Fig. 8) 관절 별 점수는 몸통(Trunk), 다리(Legs), 손목(Wrist)의 점수는 동일했고 목(Neck)과 아래팔(Lower arms)을 제외한 다른 부위에

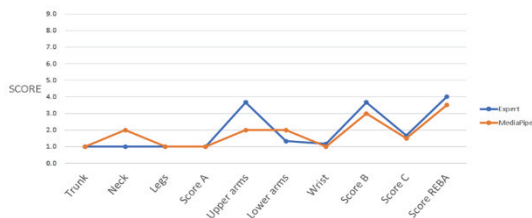


Fig. 8. Comparison REBA Result: Drilling Machine.

서 MediaPipe가 더 낮게 산출되었다. 가장 큰 차이를 보인 부위인 위팔(Upper arms)에서 1.5점의 오차가 발생했다. REBA 점수는 3.5점, 4점으로 동일한 조치단계(2단계)로 나타났다.

톱 작업 자세 점수 비교 결과(Fig. 9) 관절 별 점수는 최대 오차가 1점으로 전반적으로 비슷한 결과를 보였고 몸통(Trunk)을 제외한 모든 부위에서 MediaPipe의 점수가 더 높게 산출되었다. REBA 점수는 6점, 5점으로 동일한 조치 단계(2단계)로 나타났다.

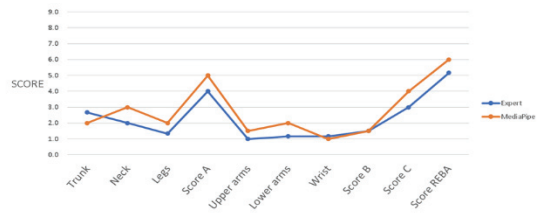


Fig. 9. Comparison REBA Result: Saw.

끌 작업 자세 점수 비교 결과(Fig. 10) 관절 별 점수는 최대 오차가 1점으로 전반적으로 비슷한 결과를 보였고 윗팔(Upper arms), 아래팔(Lower arms)를 제외한 나머지에서 MediaPipe의 점수가 더 높게 나타났다. REBA 점수는 5점, 6점으로 동일한 조치단계(2단계)로 나타났다.

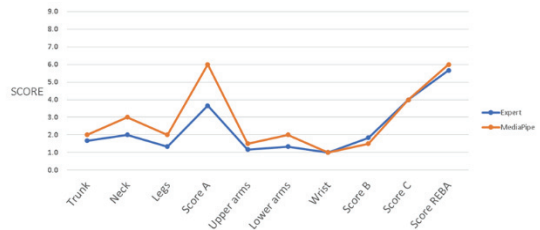


Fig. 10. Comparison REBA Result: Chisel.

대패 작업 자세 점수 비교 결과(Fig. 11) 관절 별 점수는 최대 오차 1.3점으로 전반적으로 비슷한 결과를 보였고 REBA 점수는 모두 6점으로 동일한 조치단계(2단계)로 나타났다.

측정 및 평가 소요 시간의 차이를 비교한 결과 MediaPipe를 이용한 정밀 평가는 실시간으로 이루어진 것에 반해 인간공학 전문가의 정밀 평가는 6개의 작업 자세를 모두 평가하는데 평균 40분의 시간이 소요되었다. 다음으로 인간공학 전문가의 평가 점수와 구현된 시스템에서 도출된 평가 점수와 비교한 결과 전반적으로 점수가

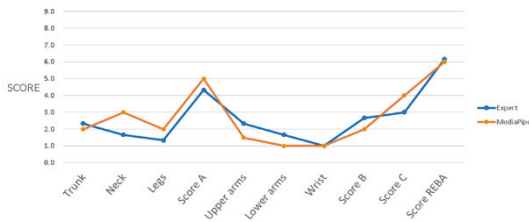


Fig. 11. Comparison REBA Result: Hand Plane

갈거나 조금의 오차가 있었지만 각 자세의 근골격계 특징들은 동일하게 나타났다. 하지만 재단기 작업 자세에서는 구현된 시스템에서는 왼팔이 오른팔보다 안전한 각도라고 판단했지만 인간공학 전문가의 평가에서는 왼팔이 오른팔보다 위험한 각도라고 판단하였다. 그리하여 재단기 작업 자세의 왼팔 점수에 대한 피드백 검증을 실시한 결과 전문가의 평가 과정에서 왼팔이 가려져 있어 정확한 판별이 어려웠고 실제 재단기 작업 자세는 왼팔보다 오른팔이 더 벌어져 있기 때문에 오른팔보다 왼팔이 더 안전하다고 판단한 MediaPipe의 결과가 더 정확했다고 볼 수 있었다.

#### 4. 결 론

국내의 산업현장에 대한 문헌 및 실태조사를 통해 근골격계 질환은 경제적, 시간적 손실 뿐만 아니라 생산 효율에도 영향을 미치는 중대한 문제일 뿐만 아니라, 최근 산업현장에서 작업관련 근골격계 질환을 예방하기 위한 많은 조치 중에 관리적 기법인 작업순환을 통해 이를 예방하기 위해 많은 노력을 시도하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 MediaPipe의 자세추적 기술을 이용하여 작업자의 작업자세를 측정하고, REBA 기법을 적용하여 인간공학적으로 작업자세를 평가하는 방법을 제안하였다. 먼저 MediaPipe를 이용해 작업자의 작업자세를 측정해 관절 랜드마크를 획득하였으며, 획득한 관절 랜드마크 데이터를 3D 스켈레톤 모델에 적용시켜 가상환경에서 시각화하였다. 각 관절 랜드마크의 상대적인 위치를 이용해 REBA 평가기법에서 요구하는 관절들의 각도를 계산하여 점수를 부여하였다. 또한 동일한 작업자세 영상을 가지고 구현된 시스템과 인간공학 전문가의 평가 결과와 비교하였으며, 비교 결과 폐색영역에서 차이가 있었음을 알 수 있었다. 하지만 MediaPipe의 관절각도 가시화 기능은 전문가의 평가 과정에서 보조 자료로 활용되어 평가를 위해 소모되는 시간과 비용 측면에서도 절감이 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 작업자세에 대한 부하 정도를 파악할

수 있어 일반 산업현장에 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다. 그러나 다양한 산업 현장의 환경 특성으로 인해 인식 정확도가 떨어질 수 있고 작업자의 얼굴이 가려진 이미지 프레임에서는 적용이 어렵다는 단점이 있었다. 이에 향후 연구로는 다중 카메라를 이용해 여러 각도에서 촬영된 영상을 하나의 영상으로 결합하여 폐색영역을 최소화하고 정확도를 높여 평가하고자 한다.

#### 참고문헌

- n.d., "Musculoskeletal disorder Protection Business Manual," Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) Retrieved May 6, 2022, from [https://kosha.or.kr/kosha/data/musculoskeletalPreventionData\\_G.do?mode=download&articleNo=296739&attachNo=230707](https://kosha.or.kr/kosha/data/musculoskeletalPreventionData_G.do?mode=download&articleNo=296739&attachNo=230707), (n.d.)
- Kim, H., Park, H, Park, K, Kim, W, Yoo, C, Kim, J, Park, J., "An Analysis of Characteristics of Musculoskeletal Disorders Risk Factors", Journal of the Ergonomics Society of Korea. The Ergonomics Society of Korea, August 31, 2009.
- n.d., "The status of industrial accident (2012-2021)," Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) Retrieved May 6, 2022, from <http://www.kosha.or.kr/kosha/data/industrialAccidentStatus.do>, (n.d.)
- Unity, <https://unity.com/>
- Unity IK, <http://www.root-motion.com/finalikdox/html/pages.html>
- CCD IK, <http://www.root-motion.com/finalikdox/html/page5.html>
- Mediapipe, <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose>
- Patryk, R., "Detection of human body landmarks - MediaPipe and OpenPose comparison", Non-profit project with the aim to use AI for Polish Sign Language(HearAI) Retrieved May 6, 2022, from <https://www.hearai.pl/post/14-openpose/>, (Apr 3, 2022)
- Cheon, W., Jung, K., "Analysis of Accuracy and Reliability for OWAS, RULA, and REBA to Assess Risk Factors of Work-related Musculoskeletal Disorders", Journal of the Korea Safety Management & Science, Vol. 22, No. 2, pp. 31-38, 2020.
- Kee, D., Park, K., "Comparison of Posture Classification Schemes of OWAS, RULA and REBA", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 20, No. 2, pp.127-132, 2004.
- Jung, K., "Development of a Semi-Automatic Rapid Entire Body Assessment Model using the Open Pose and a Single Working Image", 2020 Korea Industrial Engineering Association Autumn Conference, pp. 1503-1517, 2021.



- 
12. Kim, J., Park, H., “Working Posture Analysis for Preventing Musculoskeletal Disorders using Kinect and AR Markers”, Korean Journal Computational Design and Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 19-28, 2018.
13. n.d., “2019 working environment factual survey,” Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) Retrieved May 6, 2022, from <http://www.kosha.or.kr/kosha/business/inspection.do>, (n.d.)
14. n.d., “Musculoskeletal Risk Assessment Tool Manual,” Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) Retrieved May 6, 2022, from [https://www.kosha.or.kr/kosha/business/musculoskeletal\\_c\\_d.do](https://www.kosha.or.kr/kosha/business/musculoskeletal_c_d.do), (n.d.)
15. Kim, J., Oh, S., “Metaverse Based Virtual Reality Space Consulting Service Platform Research and Development”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 20, Issue 4, pp. 130-133, 2021.
16. Song, J., Kook, J., “Building a Mobile AR System Based on Visual SLAM”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 20, No. 4, pp. 96-101, 2021.
17. Song, J., Kook, J., “OpenVSLAM-based Cooperative Mobile AR System Architecture”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 21, No. 1, pp. 136-141, 2022.
- 
- 접수일: 2022년 6월 8일, 심사일: 2022년 6월 20일,  
 게재확정일: 2022년 6월 23일