

## 법영상 기반의 인물 동세 분석과 입체적 재현기법의 연구

김 병 철\*  
호서대학교 융합학부 교수

# Character Motion Analysis and 3D Representation Based on Forensic Videos

Byoung-Chul Kim\*

Assistant Professor, Department of AI Convergence, Hoseo University, Cheonan 31066, Korea

### [요 약]

본 연구는 인물 동세 기반의 성추행 행위 분석의 방법으로 인체 모델링과 계층구조 및 운동성을 연계하여 관련 행위 분석 및 재현 방법을 논의한다. 구현과정은 법영상에 대한 전처리, 대상 및 행위 특징, 인과요소 분석, 입체적 재현이며 인체 동세 재현을 위해 모델링 객체에 대한 IK, FK 운동구조가 적용된다. 기본 동세 분석 조건에 대해 복수 인물의 접촉 및 비접촉의 상황으로 구분한다. 구현 대상에 대해 인물 단독, 주변 환경 및 사물의 연계로 구분하여 객체들 사이의 상호성 및 인과요인에 대해 서술한다. 이와 연계하여 관련 사례들을 통해 분석과 재현의 과정과 결과를 논의한다. 여러 사건들에서 인물, 주변 환경, 문제요소, 피해 및 가해의 특성이 모두 다르므로 구현의 개별성이 확인된다. 인체의 운동구조와 물리적 특성, 접촉 여부에 의한 피해 및 가해의 형태는 크게 다르지 않으므로 그런 사례들을 기반으로 성추행 관련 영상 분석과 재현에 대해 방법적으로 논의한다.

### [Abstract]

This study discusses related behavior analysis and reproduction methods by linking human body modeling with hierarchical structure and mobility for analyzing sexual harassment behavior based on character movement. The implementation process includes pre-processing forensic images, specifying objects and actions, analyzing causal elements, and 3D reconstruction. Dynamic reproduction is applied based on IK and FK movement structures. The analysis conditions are categorized based on contact and non-contact situations, and the object of implementation is categorized based on whether it is a person or a link between the surrounding environment and objects to determine the mutuality and causal factors. the process of analysis and reproduction through several cases. In actual cases, many differences are found in terms of the character, surrounding environment, problem elements, and characteristics of damage and harm, but the physical characteristics of human body movement and the type of damage or harm in both contact and non-contact situations are not very different. Based on this, the method for the analysis and reproduction of sexual harassment-related videos is discussed.

**색인어** : 법영상, 성추행, 입체 동세 재현, 접촉 행위, 접근 행위

**Keyword** : Forensic video, Sexual harassment, 3D motion reconstruction, Physical contact, Motion of approach

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.3.563>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 25 January 2023; Revised 20 February 2023

Accepted 27 February 2023

\*Corresponding Author; Byoung-chul Kim

Tel: [REDACTED]

E-mail: gorybag@gmail.com

## I. 서론

다양한 사건, 사고에서 관련 정보가 저장된 디지털 매체는 중요한 증거자료로서 인식되고 있다. 원본 훼손과 위변조 가능성이도 디지털 포렌식(digital forensic) 기반의 대응 기술 발전과 함께 그 효용성이 확대되고 있다. 영상은 현장을 시각적으로 전달하는 보편적 매체로 인식되면서 다양한 사건, 사고에서 활용되고 있으며, 영상의 법적 의미[1]와 함께 정보의 보존과 운용에 대한 논의들[2]이 전개되고 있다.

영상을 통해 증거 요소가 관찰되더라도 다양한 변수들로 인해 사건, 사고에 관한 중요 정보를 도출하는 과정에는 여러 기술적 개입이 요구된다. 그 중 인물들 사이의 상호작용이 주요 원인으로 지목되는 경우 더욱 정밀한 관찰과 분석이 요구된다. 인물들의 상호작용은 직접 접촉하지 않는 경우에도 위계 또는 위력으로 다양한 사건, 사고의 동기가 될 수 있으므로 영상에서 관련 행위를 판별하기 위해 보다 적극적인 분석 방법이 적용되어야 한다.

본 연구는 복수 인물들의 상호작용에 의한 사건으로서 성추행 추정 영상을 대상으로 관련 정보의 분석 방법과 그 사례를 기술한다. 본 연구에서 제시되는 사례에서 성추행은 매우 다양한 상황에서 발생할 수 있으며 그에 따른 행위 또한 다양해진다. 특히 관찰이 어려운 영역에서 명확하지 않은 동세와 순간적인 접촉에서 비롯될 수 있고, 관련 행위에 대한 관찰이 불가능한 경우에도 피해자의 일관된 진술에 의해 피해와 가해가 판별되기도 한다. 따라서 본 연구에서는 그런 사례를 대상으로 입체적 영상 재현 기법을 활용하여 해당 행위를 보다 설명적으로 재현하고 인체 구조에 따른 동세 가능성을 제시하여 성추행에 대한 관점의 다양성을 논의하고자 한다.

## II. 연구 및 구현방법

### 2-1 연구 범위와 대상

#### 1) 선행 및 유사연구

본 연구 이전의 선행 연구에서 범영상(forensic video)의 입체적 재현에 대한 방법과 사례로서 여러 사건과 사고를 대상으로 범영상의 입체적 재현을 적용하여 영상에서 관찰이 어려운 정보를 포착시키고자 하였다. 선행 연구는 사건, 사고와 관계된 인물에 대해 공간에서의 크기, 위치, 이동 등을 통해 형상의 정체 및 변화 분석의 방법적 논의[3]와 지형지물 및 차량 등이 표출된 영상에 대해 충돌, 계측, 비교, 변화 정보에 대한 분석방법[4]을 논의하였다. 본 연구가 인물 동세를 기반으로 행위의 인과성과 그 정체 분석이 대상인 점에서 차이가 있다. 그런 과정의 기반 기술로서 2차원 이미지를 입체적 정보로 변환하는 방법들은 다양하게 발전해왔으며 딥러닝(deep learning) 적용에 의한 지능적인 구현사례들[6]과 함

께 관련 연구들[8],[9]을 확인할 수 있다. 범영상 영역에서도 사건, 사고 재구성 과 상황의 적극적인 이해와 판별을 위해 3차원 재현(3D reconstruction)과 관련한 다양한 기술들이 적용되어 왔다. 증언 및 기록에 따라 3D 편집 프로그램을 통한 전통적인 재현방식에서 3D 스캐닝(scanning), 광대역 지상 라이더(Lidar) 등을 이용한 현장 계측 및 재현[5] 방식이 적극적으로 활용되고 있다. 3D 애니메이션[7] 기반의 모델링 또한 현장 및 상황의 구체적이고 동적인 시각화 방법으로 적용되고 있으며 가상현실 등의 몰입형 환경과 연계하여 효과적인 포렌식 분석 기법으로 활용되고 있다.

관련 연구 사례들에서 영상의 다양한 입체적 재현과 분석 사례들을 확인할 수 있으나, 현장 및 상황의 재현이 주요 대상이 되고 있다. 인물에 대한 동세 추적과 인과 요소 추적을 위한 방법들에 대한 논의[7]도 확인되나 성추행 행위의 영상에 특정된 사례는 확인은 어렵다. 성추행 사건의 비가시적 특성, 피해 및 가해 요인의 다양성, 재현 결과에 대한 여러 해석 가능성에 기인한 것으로 판단된다. 성추행은 물리적 접촉이나 충돌 이외의 상황에서도 성립될 수 있으므로 개별 사례에 적합한 다양한 분석 방법의 논의가 필요할 것이다. 본 연구는 그런 다양한 논의 방법의 사례로서 구현의 과정과 그 의미를 논의하고자 한다.

#### 2) 연구의 범위

본 연구는 성추행 관련 범영상 분석의 방법으로서 관련 사례들을 기반으로 분석 요구 행위들에 대한 처리와 입체적 재현의 과정을 기반으로 한다. 화면에 관찰되는 인물 형상에 대해 성추행 관련 행위를 특정하고 동세에 따른 공간적 상호 관계를 토대로 주장의 타당성과 인과 요인의 적정성을 논의한다. 이를 위해 영상 내 대상 인물의 동세와 그 변화에 대한 관찰이 불가하거나 판별이 모호한 구역을 대상으로 관찰 형상들을 3D 모델링하고 화면 그대로의 3차원 공간에 정렬 및 재현하여 피해 및 가해 행위의 특성과 그 관계를 구현한다.

영상의 처리에 대한 세부적인 항목과 구현 절차들은 대상 및 사례에 따른 내용들을 간략히 서술하고자 한다. 취득 환경에 따라 화면의 해상도, 압축 품질, 화면 왜곡, 노이즈, 조명 등의 조건들이 다양하고 사례에 따라 각기 다른 과정의 방법들이 활용되기 때문이다. 따라서 연구 목적과 같이 인물의 동세를 대상으로 영상에서 특정된 화면과 처리 과정의 특성, 동세 요소 분석과 재현의 과정을 중심으로 서술하고자 한다.

#### 3) 연구 및 분석대상

본 연구는 성추행 행위 판별이 요구되는 영상에서 관련 행위들에 대해 적정 영상처리 적용 이후 3차원의 입체적 기법을 적용하고 해당 행위들을 다양한 시점의 공간으로 재현하여 분석하는 과정이다. 이를 위해 우선 영상에서 관련 행위가 특정되어야 하며 입체적 요소가 확보되어야 한다. 이후 성추행 형태 판별을 위한 인체 모델의 공간적 구성과 동세 재현이 수행된다.

입체적 재현을 위한 사전 분석은 화면의 평면적 형상에서

기하학적 도형 요소를 도출하는 과정이며 인물과 주변 사물의 형태에서 선형정보를 동시 추출하여 입체정보를 확보할 수 있다. 어깨, 다리, 발 등의 여러 신체 구조에서도 선형정보가 도출되며 인물들 사이의 거리와 상호성 관찰도 동시 기대할 수 있다.

동세에 대한 분석은 운동성에 대한 신체의 변화 가능성을 토대로 하며 관절구조의 특성과 연계된다. 머리, 허리, 팔, 다리 등 주요 동세를 결정하는 골격구조들은 관절부의 운동성에 따라 지정된 동세가 형성되며 운동 형상의 조건에 따라 대상 행위의 가능성과 주변과의 인과성을 찾을 수 있다. 이 과정에서 접촉 여부와 접촉 지점을 추정할 수 있으며 영상의 전개에 따라 동세 변화로 인한 접촉 행위의 정체를 판별하는 기준이 될 수 있다. 이 과정을 기반으로 해당 요소들을 입체적 공간에 구현함으로써 피해 및 가해 행위에 대한 정체를 논의할 수 있다.

입체적 재현은 인물의 행위 자체가 대상일 경우 해당 형상들에서 관절부 등의 동적 요소를 중심으로 3D 모델링(modeling)과 골격 계층구조(hierarchical structure of skeleton)를 구현하고 문제 상황을 재현한다. 이 과정에는 위 언급과 같이 화면 내 대상 인물들의 접촉 정보를 비롯해 다양한 연결 동세 및 인과요인들의 분석을 수행하게 된다. 인물들의 직접 접촉이 관찰되지 않더라도 화면의 공간에서 특정 대상 인물에 대한 접근을 지속하거나 일정 거리를 두고 따라다니는 행위[10] 또한 성추행 행위에 해당한다. 이 경우 화면에서 인물의 이동 경로와 상대와의 거리 변화 관찰이 주요 분석 항목이 될 수 있다. 이 과정에는 대상 인물이 일정 시간 화면에서 사라지거나 주변 사물에 은폐되는 경우도 다수이므로 공간 조건에 따라 분석 대상 및 범위가 확대 되고 재현 항목도 추가될 수 있다.

## 2-2 구현 내용

### 1) 영상 처리와 대상의 특징

영상에서의 대상 특징은 주변과의 색차 및 명도차를 조절하여 해당 형상을 보다 명확히 구분하는 과정이다. 이를 기반으로 대상 추적은 물론 각 관절부의 상태와 변화에 대한 동세를 구현할 수 있고 행위의 정체와 판별이 가능해진다. 형상 판별에 장애요인이 없는 영상은 그런 과정들이 배제될 수 있다. 그러나 대부분의 분석 요구 영상들은 취득 조건과 공간의 특성에 따라 형상의 관찰이 어렵거나 구분이 모호한 경우이므로 해당 조건들에 적합한 영상처리 과정이 선행되어야 한다.

형상의 명확화 과정은 화면 내 대상의 선예도를 확보하는 것이며 영상의 노이즈 제어, 명도, 휘도, 색차 조절 등의 처리 과정이 우선 수행된다. 이 과정에는 픽셀 단위 형상의 외곽 경계 및 색 균집의 형상이 실제와 다르게 변형될 수 있으므로 실사 정보를 기반으로 원본의 변형을 최소화시키는 범위에서 현장 증언 및 관련 정보를 토대로 단계적 수행과 검증이 요구된다. 이러한 과정은 영상의 형상을 기반으로 하는 지형지물 대상의 사건, 사고 재현[3]에도 동일하게 적용된다. 그림 1과

같이 유사 시간의 동일 공간에서도 촬영 시점과 환경에 따라 영상의 다양한 특성이 관찰되므로 이런 경우 색상 및 형상의 명확한 판별이 어렵다. 보다 객관적인 대상 특징과 추정을 위해 영상과 연계 가능한 자료의 확보는 매우 중요하다.



그림 1. 동일 장소에서 관찰되는 다양한 영상 특성  
Fig. 1. Various image characteristics by shooting conditions in the same place

위의 경우는 얼굴 형상의 특징, 머리 모양, 인체 비례, 의복, 장신구 유무와 위치 등의 복합적인 외형 요소를 대상으로 관찰과 분석을 수행할 수 있다. 그러나 영상처리 과정에서 형상의 변형으로 인한 원본 훼손의 가능성도 완전히 배제할 수는 없다.

### 2) 인물 행위에 대한 재현

영상에서 대상 인물들의 관계 추정을 위해 신체의 방향, 위치, 시선의 판별이 포함될 수 있다. 기본적으로 인물 형상의 머리, 어깨, 골반, 발의 위치를 기반으로 위치, 크기, 방향 판별이 가능하다. 주변 사물이나 공간의 재현을 통해 위치와 크기의 판별이 가능하며 영상의 제한적 조건으로 불가할 경우 주변 인물과 비교를 통해 상대적 정보를 확인할 수 있다. 신체의 방향은 행위의 정체, 다음 동작의 연관성, 인물의 시선 등을 확인하기 위한 중요한 요소이다. 인물의 시선은 성추행 행위의 인지여부와 그 인과성을 추측할 수 있는 요소이며, 머리 형상에서 얼굴 영역이 확인되면 눈, 코, 입의 형상과 위치를 기반으로 얼굴의 회전 정도를 추정할 수 있으며 이를 기반으로 시선 방향 추정과 그 대상의 특징으로 이어질 수 있다.

## 2-3 인물 행위의 구분

### 1) 영상에서 성추행 행위의 판별과 구분

성추행 상황 재현 이전 단계로서 피해 주장 및 증언에 따라 영상에서 관련 화면과 대상을 사전 판별하고 구현 대상을 특정하는 과정이 선행된다. 해당 동세를 특정하기 위해 성추행 행

위의 조건이 논의되어야 하며 조건 충족 여부에 따라 구현 대상이 선정될 수 있다. 성추행 사건은 접촉 여부와 무관하게 유사 행위, 표정, 시선, 언행 등에 따라 매우 다양하게 나타난다.

본 연구는 영상에서 가시적으로 관찰되는 행위를 대상으로 하며 문제 제기 화면에 대해 접촉 및 비접촉 여부 구분에 따라 구현 항목들이 특정된다. 영상에 나타나는 성추행 행위는 폭행 등과 같이 가시적 위력에 의한 인과 요소 발견이 어렵다. 따라서 행위의 정체를 판별하기 위해 인물들의 작은 동작과 형상 변화의 확인이 선행되어야 하며 이를 통한 접촉 및 비접촉 상황의 구분이 논의될 수 있다. 특히 비접촉 상황에서도 성추행 행위로 판별되는 사례가 빈번하므로 접촉 여부의 구분은 피해와 가해의 인과성과 그 특성을 관찰하는 중요한 과정으로 볼 수 있다.

**2) 접촉에 의한 행위**

폭행, 충돌 등에 의한 연계 동작들은 대부분 신체 형상의 변화가 크게 관찰되므로 피해와 가해 상황의 판별이 용이하다. 반면 성추행 추정 동세들은 고의성을 배제하더라도 불연속 동작, 급속한 전개, 은폐 요인 등으로 인해 접촉 여부는 물론 그 위치를 확인하는 과정에도 인과 요인 분석이 요구되므로 상황에 따라 적정 분석항목들이 논의되어야 한다. 주요 항목들은 사건 전 인물들의 상호 인식 여부, 최초 교차 시각, 사건 구역 확인, 주변 환경과의 관계, 동세 변화 및 전개의 개연성, 접촉에 대한 개별 또는 상호 인지 여부 등이며 해당 항목들을 토대로 분석이 수행될 수 있다.

접촉의 상황은 일반적으로 상호 근접 상황에서 발생하며 보행 중 접촉, 대화 중의 제스처, 물리적 충돌, 밀폐 공간의 강제 근접 상황 등 다양한 형태로 관찰된다. 대부분 일상적 공간에서 발생하고 예측이 불가하므로 관련 행위에 대한 구체적인 증거를 기대하기 어렵다. 주변 CCTV(폐쇄회로 텔레비전) 등에 의한 낮은 화질의 영상에서 관련 정보 분석이 요구되는 사유이다. 복수 인물의 접촉 상황은 대상 형상의 중첩이 관찰되면 선행 분석과정을 적용할 수 있다.

**3) 비접촉에 의한 행위**

비접촉의 상황은 언어, 반복적인 시선, 접근 상황의 지속, 미행 또는 추적을 인과 요인으로 구분할 수 있으며 동일 대상에 대한 특정 행위가 지속적으로 반복되는 경우가 특징이다. 언어에 의한 사례는 개별 장비로 촬영한 영상 외에는 내용 구분이 어려워 전후 상황으로 판단될 수 있으나 관련 행위가 관찰되지 않는다면 분석 대상이 될 수 없다. 미행 또는 추적의 상황은 스토킹(stalking) 관련 행위로 볼 수 있으며 특정 공간에서 영상으로 확인되는 경우로 제한되므로 오랜 기간으로 이어지는 사례는 관련 영상이 확보되지 않는다면 분석 대상이 되지 않는다.

비접촉에 의한 사례는 많은 경우 현장에서 피해자가 인식하지 못하고 이후에 발견되거나 주변의 제보를 통해 관련 영상이 제시되기도 한다. 대부분 직접 접촉에 의한 인식이 배제

된 상황이므로 관련 상황의 판별이 제한적일 수 있으나 영상의 증거채택 여부에 따라 분석의 역할이 확대될 수 있다. 물론 이 경우 영상이 취득된 시간에 해당 인물들의 위치가 구체적으로 명시되어야 한다.

**표 1. 성추행 관련 범영상의 행위 형태의 구분과 구현 항목**  
**Table 1. Classification and implementation of items of act types in the videos for sexual harassment**

Type	Physical Contact	Non-contact
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discontinuity of the act</li> <li>- Fast paced events</li> <li>- Concealment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sexual harassment remarks</li> <li>- Repetitive gaze</li> <li>- Keep close the distance</li> <li>- Stalking</li> </ul>
Classification	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recognition of the people before the incident</li> <li>- First intersection time and the area</li> <li>- Relationship with the surroundings</li> <li>- Probability of changes of the motion before and after</li> <li>- Awareness of contact</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observation of the process of the act and the face before and after</li> <li>- Track the change situation in the space within the video</li> <li>- Check the location of the person at the same time and place</li> </ul>
Implementation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Two or more people</li> <li>- Occlusion area</li> <li>- Surrounding objects</li> <li>- 3D modeling</li> <li>- Human bodies with skeleton structures</li> <li>- The related objects</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Character's point of view</li> <li>- Movement in space</li> <li>- Surrounding objects</li> <li>- 3D modeling</li> <li>- Human bodies with skeleton structures</li> <li>- The related objects,</li> <li>- The space, etc.</li> </ul>

**III. 행위의 분석과 입체적 구현**

**3-1 동세 구분을 위한 영상의 분석**

성추행 추정에 따른 분석 요구 영상들은 인물들의 행위가 명확히 관찰되지 않는 경우가 대부분이다. 대부분 영상 자체의 특성과 인물들의 위치 및 동세로 인한 폐색구간 발생이 주요 원인이다. 영상의 낮은 해상도와 대상들 사이의 명도 및 채도 차이가 모호할 경우 형상들의 경계 구분을 어렵게 한다. 인물들의 형상에서도 신체 특성 또는 주변 구조에 동세 요소가 가려지는 경우 행위의 정체를 판별하기 어렵다.

앞서 제한들로 인해 관찰이 가능한 신체 형상에서 동세 요소를 확보하여 영상과 유사한 상황을 재현하는 과정이 활용된다. 주요 관절부를 특정하여 신체의 계층구조에 따라 해당 관절 구간들을 연계하고 생성된 골격구조를 기반으로 인물 형상의 메쉬 모델링(mesh modeling)과 연계한다.

그림 2의 영상에서 위의 원인이 관찰되며 원본 영상 ①에서 특정 색상 구역에 대한 명도 및 채도 조절을 통해 형상이 특정



된다. 낮은 해상도로 인해 세부 동세의 분석은 어려우나 좌측 인물의 팔 동세에 따라 손의 위치가 달라지고 그에 따라 의도를 추정할 수 있다. ②의 A 형상과 같이 우측 인물이 가슴 부위 손의 접촉을 주장한 데 대해 좌측 인물 상의의 명도 차이에서 팔꿈치 형태와 B, C 구역의 손 위치를 추정할 수 있다.

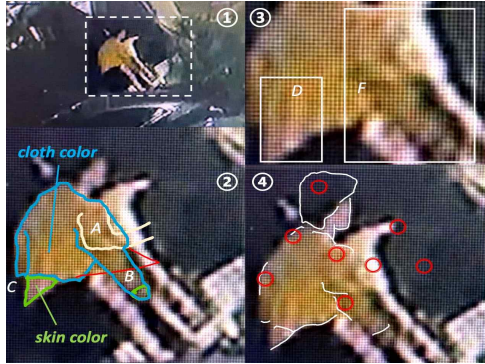


그림 2. 유사 색상 중첩 영역에서의 동세 요소 추출  
Fig. 2. Extraction of motion elements form the overlap region and the similar colors

③ 영상의 상의 하단 D구역에서 색차에 의해 상의와 구분되는 색 영역이 관찰되며 가려져 있으나 상의가 좌측 인물 방향으로 당겨져 허리 부분의 피부색이 드러난 상황으로 추정된다. ④ 영상의 적색 원형들은 신체 및 상의 변형 상황을 기반으로 동세에 대한 관절 구간들을 특정한 것으로 계층구조 생성 및 모델링의 기준점이 된다.

그림 3에서는 성희롱 발언에 대한 문제 제기 영상으로 영상 특성으로 인한 사례를 확인할 수 있으며 CCTV 내부의 처리 과정에서 ④ 화면과 같이 픽셀 교정 오류의 블록(block) 현상에 의한 이미지 손실이 확인된다, 약 1.5초 동안의 입 모양 변화가 주요 분석항목으로 입술이 벌어진 상태로 발음되는 형상의 확인이 요구되었다. 약 0.2초 동안 화면 내 영상 왜곡으로 입 모양 변화와 유사한 형상들이 발견되었으며 전후 프레임에서는 입 모양의 변화가 관찰되지 않는다. 이에 대해 해당 영역의 명도 및 색차 제어를 기반으로 오류 영역을 특정함으로써 해당 발음과 무관할 수 있음을 추정할 수 있다.

### 3-2 인물 동세 및 환경의 구현

#### 1) 인물 동세의 구현

대상 특정과 관찰된 상황을 기반으로 구현 대상 및 구현 항목이 지정되어야 한다. 인물 동세와 그 인과 요소를 기반으로 해당 상황을 재현하기 위한 것으로 앞서 내용과 같이 화면 내 인물 형상에 대한 골격(skeleton) 및 관절(joint) 영역을 지정하고 기본 인체 구조를 기반으로 모델링을 적용한다. 인물의 동세 재현을 위해 IK(inverse kinematics), FK(forward kinematics) 운동학 구조를 활용한다.

IK, FK 구조는 인체 모델과 함께 동세에 따라 세부적인 편

집을 통해 해당 형상을 재현하기 위해 활용된다. 일반적으로 동적 구조의 형상 표현을 위해 실제와 유사한 운동성을 적용하는 방법으로 여러 영역에 활용되는 보편적인 방법이다.

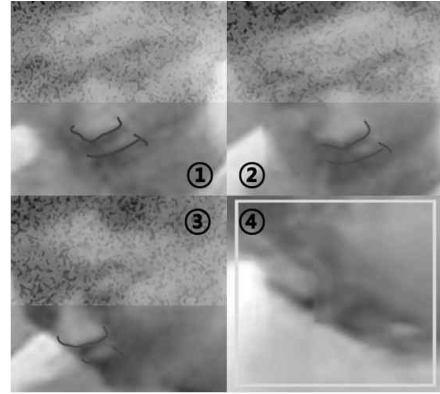
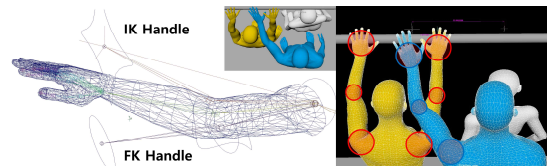


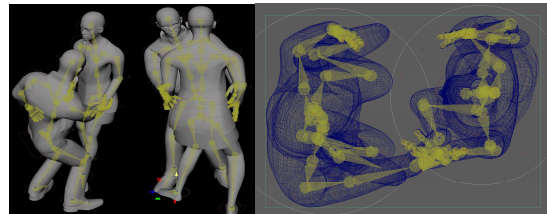
그림 3. 형상 왜곡 분석에 대한 영상처리 응용  
Fig. 3. Image processing for the distortion region

본 연구에서는 영상 내 인물의 형상 재현에 대해 동세 재현을 기반으로 특정 행위의 가능성과 그 인과 요인을 관찰하기 위한 것이 목적이다. 이를 위해 인물 3D 모델을 기반으로 계층 구조 및 IK, FK 구조를 선별 적용하고 영상의 특정 형상에서 추출된 관절 구역을 기준으로 해당 위치에 각 요소들을 정합 및 배열시키는 과정을 수행한다.

관절 운동은 이동 및 회전을 통해 운동성을 표현하는 제어 구조이므로 신체 형상의 크기가 보존된다. 이런 특성에서 동세에 대한 신체 부위의 위치가 제한되므로 특정 행위 및 복수 인물들의 물리적 상황의 추정이 가능해진다. 보행 중 운동성으로 인한 신체 주요 부위의 위치 변화 등을 기반으로 접촉의 인과 요인을 판별하거나 충돌 등의 상황에서 상대 동세의 당위성 분석에 활용될 수 있다.



① Apply IK and FK structures to the motions of the arms

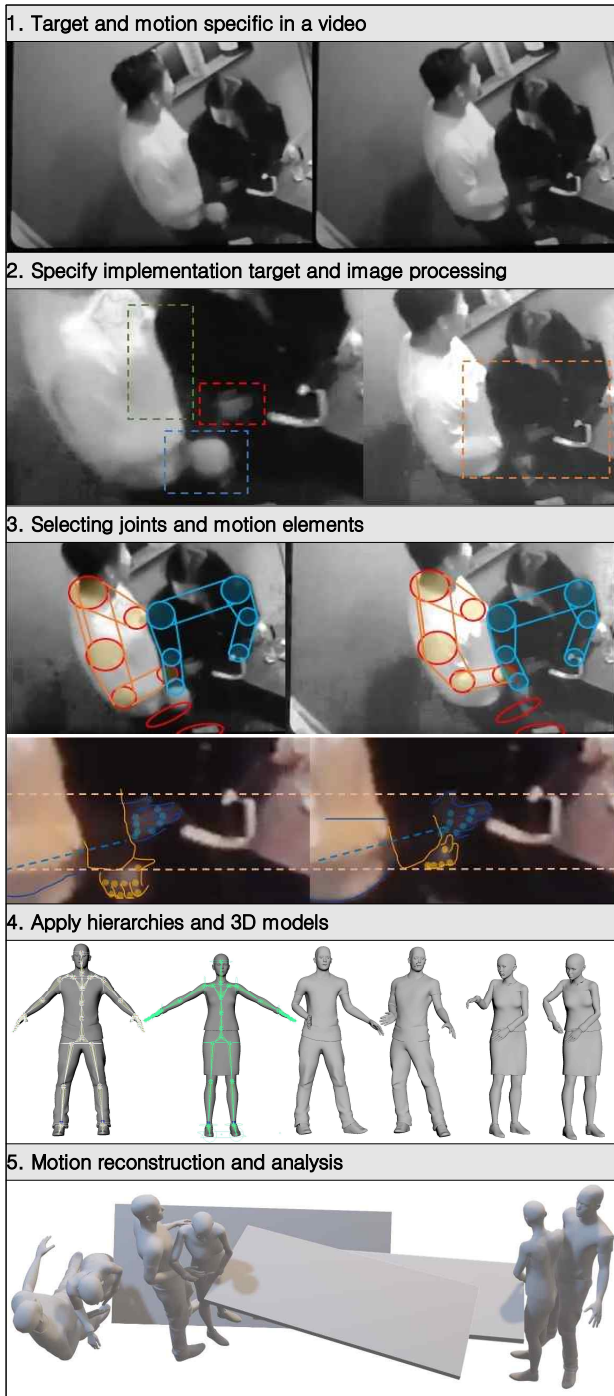


② Reconstruction of the hierarchical-based modeling

그림 4. IK, FK 구조를 적용한 동세 재현

Fig. 4. Application of IK and FK structures

**표 2.** 범영상 기반의 인물 동세 구현의 절차  
**Table 2.** Process for implementing character motion in forensic video



예컨대, 팔꿈치의 각도 변화는 손의 동세와 연계되므로 고의성 추정을 위한 요소가 될 수 있다. 걷거나 달리는 행위의 팔과 손의 동작은 관절의 계층구조가 자연스럽게 연결, 보존되어 반복 운동을 수행하는 반면 대상을 회피하거나 인위적으로 접촉하는 동작은 그 구조가 달라질 수 있기 때문이다.

팔과 손의 동세는 다양한 성추행 행위 관별의 중요한 요소이지만 다른 신체와 독립된 운동성을 가진다. 손은 다른 신체에 비해 상대적으로 작은 크기이며 손등과 손바닥의 구분, 손가락의 동세는 낮은 해상도나 주변 형상에 가려지는 경우 팔형상만으로 구체적인 행위 관별이 어려운 한계도 있다. 이상의 논의에 따른 인물 동세 재현의 절차는 표 2와 같다.

그림 4의 ①은 인물의 위치 변화에 따라 전방 인물 및 주변 구조에 근접 가능성을 판단하기 위한 것으로 손과 어깨의 위치에 IK, FK 계층구조(hierarchy)를 동시 적용하여 운동 위치에 따른 동세를 재현하는 사례이다. 부분적인 동세 확인이 요구되는 경우 해당 구역에 부분적인 골격구조가 적용될 수 있으며 어깨, 팔꿈치, 손목 등의 관절 영역을 특정하여 거리 및 접촉 지점의 추정이 가능하다. ②의 영상은 전체 계층구조에 앞서 운동학 구조를 선별 적용한 것으로 동세 재현 및 인과 요인 확인을 위한 기본 과정으로 볼 수 있다.

**2) 주변 환경의 재현**

성추행 관련 분석 영상에서 동세와 주변 사물과의 연계성 확인이 불가할 경우 대상 인체 모델만으로 관련 상황 재현이 가능하다. 인물을 지속적으로 추적하거나 관련 동작이 연속되는 과정에서 대상이 사라지거나 동세가 가려지는 상황에서 주변 환경의 영향이 발견되면 인과 요인에 대한 보조적 재현 대상이 될 수 있다.

앞서와 같이 인물 및 주변 환경의 재현은 상황에 따라 동세의 개연성과 연계될 수 있으므로 행위 관별에 중요한 의미로 논의될 수 있다. 구현 대상은 행위와 관련된 요소들로 구성될 수 있으며 주변 사물과의 연계 여부는 문제 동작에 대한 물리적 개연성과 인지 여부를 확인하며 영상에서 특정 사물이나 구조에 의해 동세가 가려지는 경우 입체화를 통해 공간적 운동범위를 추정하기 위해 활용될 수 있다.

동세 재현에 대한 인물 주변의 환경은 공간과 사물로 간략히 구분할 수 있으며 도형 구조를 토대로 모델링 후 인체 모델과 동시에 구성한다. 영상 그대로의 재현을 원칙으로 관찰 상황과 피해 주장에 따른 상황을 순차 재현하여 비교한다.

**IV. 성추행 관련 범영상의 분석의 사례**

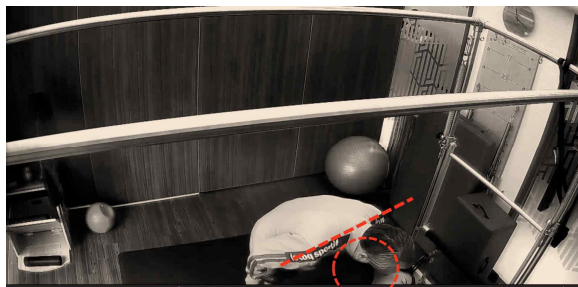
**4-1 접촉 여부 및 위치 판단을 위한 행위 분석**

**1) 접근 상황에 대한 재현**

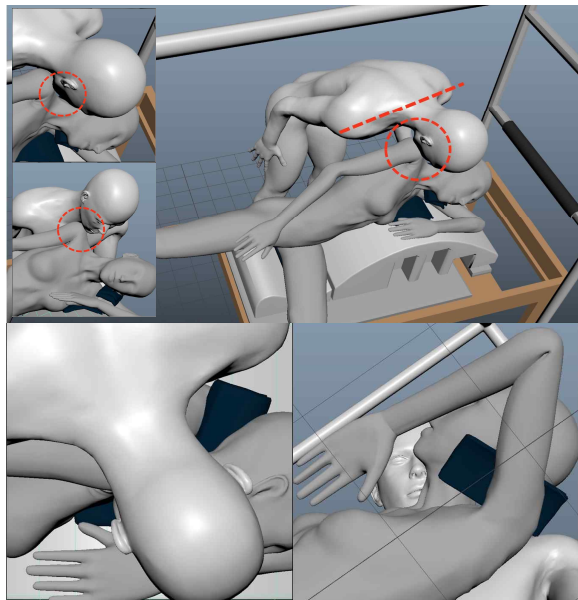
분석 사례의 구체적 논의를 위해 예시된 사건 영상의 전체가 연속 제시되어야겠으나 분쟁에 따른 제한들로 인해 원본 영상에서 특정된 문제 행위와 그 재현 대상이 관찰되는 화면을 토대로 서술하고자 한다. 본 연구는 특정된 대상의 선정, 입체화, 사건 재현이 주요 목적이며 사건의 전개와 특성은 법적 논의와 연관된 다른 영역이기 때문이다.

가벼운 접촉이나 상호 근접한 행위는 일상에서 흔한 상황일 수 있으나 폭력, 성추행 분쟁의 원인이 되기도 한다. 직접 접촉하지 않더라도 상대의 접근을 간접 인식하는 경우 관련 행위로 판별될 수 있다. 인물들의 근접 상황은 동세에 따라 다양하며 접촉 위치에 따라 다양한 분쟁을 초래한다. 그림 5의 사례는 두 인물의 근접 상황으로 옆으로 누운 자세와 상대 얼굴 위치로 상체를 숙인 동세에 대해 여러 해석이 가능하다. 피해 및 가해 의견을 토대로 현장 검증을 통한 계측과 영상의 상황을 비교하여 재현한 것이다. 이를 통해 두 인물이 가장 근접한 상황의 화면을 대상으로 접촉 여부와 시선 방향을 추정하는 것이 목적이며 상호 동세를 기반으로 관련 정보를 도출한다.

영상은 일정 시일 경과 후에 문제가 제기되었으므로 접촉과 같은 직접 인지 상황이 아닌 것으로 추정할 수 있다. 사후 문제 제기에 의한 분석 요구 사례도 적지 않다. 문제 동세는 약 1.5초 동안 진행되었으며 CCTV 영상에서 화면 외곽의 왜곡이 관찰되나 화면 중앙에 인물들이 위치하여 동세 판별이 가능하다.



① The original image



② 3D position reconstruction

그림 5. 접근 및 접촉의 조건 분석을 위한 3D 재현  
**Fig. 5.** 3D reconstruction for analysis of the proximity situations and the conditions of contact

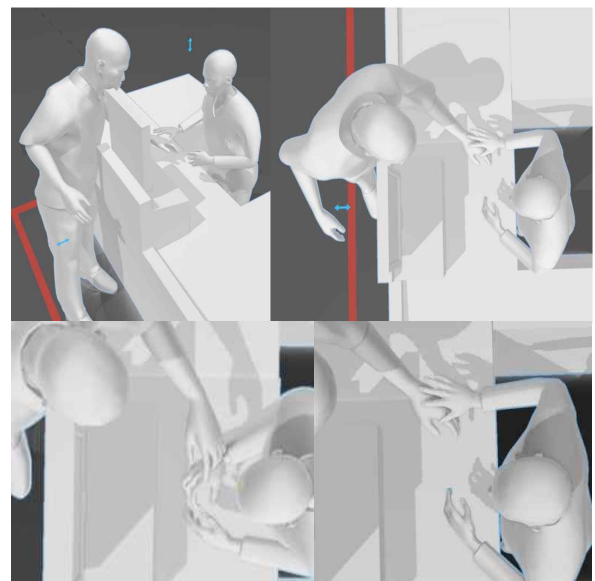
재현 항목은 사전 확보한 인물들의 신체 정보와 주변의 선형구조를 토대로 상반신 동세, 머리 기울기를 관찰하고 근접 영역 및 거리를 추정하는 것이다. 기울기는 어깨, 팔의 각도를 기반으로 골반과 허리 영역의 변형 정도이며 시선과 근접거리는 ①과 같이 머리의 회전과 기울어진 정도를 관찰한다.

입체적으로 구현된 상황을 통해 해당 동세에 대한 인물들의 근접거리 추정이 가능하며 ②와 같이 얼굴과 어깨 부위의 짚은 순간의 가능성을 확인할 수 있다. 머리의 회전과 어깨 위치에서 시선의 위치가 추정되며 시선에 의한 추행 가능성과 피해 주장의 당위성을 확인할 수 있으나 눈의 형상이 관찰되지 않으므로 시선의 구체적 방향과 의도 판별은 불가하다.

그림 6의 사례는 두 인물 손의 접촉 여부를 판별하기 위한 것으로 손의 위치와 동시에 손가락의 세부적 움직임이 접촉 가능성을 판별하는 요소이며 상대의 손을 쥐는 행위가 피해 주장 내용이다. CCTV 시점에서 관련 동세가 관찰되나 주변 사물에 의해 동세 변화 관찰이 어려우므로 다른 시점의 영상을 기반으로 인물들의 전신이 관찰되고 손과 연결된 관절부의 동세 재현에 따라 손들의 위치와 거리 추정이 가능하다.



① The original image



② 3D position reconstruction

그림 6. 접촉의 조건 분석을 위한 3D 재현  
**Fig. 6.** 3D reconstruction for analysis of the contact conditions of two people



손의 세부 동세 재현을 위해 원본 영상 ①에서 손 형상의 변화를 기반으로 손가락의 동세 추정과 상호 손의 위치가 판별된다. 동일 시각 A와 B 형상에 대한 색차와 형태 변화에서 두 손의 순서와 높이 차이가 관찰되고, 쥐고 펴는 손 형상의 변화에서 해당 동작의 용도를 추정할 수 있다. 이를 통해 접촉 여부와 해당 행위에 대한 판별이 가능하다.

**2) 접촉 행위에 의한 영향 분석**

접촉 행위의 운동성과 적극성에 따라 그 결과는 다양하게 나타날 수 있으며 위력의 정도에 따라 심각한 폭행 사건으로 논의될 수도 있다. 그림 8 사례와 같이 큰 운동성이 관찰되고 해당 행위의 인과성과 그 결과가 가시적으로 관찰되는 경우는 성추행 관련 사건에서 흔하지 않은 유형으로 볼 수 있다. 앞서 기술한 바와 같이 은밀한 동세를 비롯해 상호 또는 상대가 인식하지 못하고 전개되는 경우가 많기 때문이다.

그림 7에서는 어안렌즈 특성으로 인해 화면 외곽의 왜곡이 크게 관찰되나, 넓은 화각으로 인해 사건의 전후 상황 관찰이 용이하다. 세부 형상의 관찰이 제한적이나 화면 중앙의 대상 판별에 문제가 없으며 A~D 구간의 광각 시점에서 인물들의 위치 변화를 관찰할 수 있다. 또한 이동하는 시점을 통해 인물들의 거리 변화를 확인할 수 있으므로 상호의 인과 요인 관찰과 사건 전개 관찰에 도움이 된다.

그림 7의 D 화면에서 두 인물은 보행 중 간격이 좁혀지며 약 1초 사이에 그림 8의 상황으로 이어진다. 넘어지는 동세에서 후방 인물의 왼발 각도가 급격히 변화하며 방향 전환과 달리는 동세로 이어지는 것이 관찰된다. 왼쪽 무릎 각도와 보폭 변화에서 상대와 같은 방향으로 진행 중 충돌하는 상황으로 볼 수 있으나, 그림 8의 A 형상에서 오른팔로 상대의 등을 안고 같이 달려 나가는 동세와 상대 인물이 상체를 숙이고 저항하는 동세가 동시에 관찰된다. 넘어지는 요인은 상대의 저항으로 추정되며 지속적인 추적과 함께 추행 및 폭행과 관련된 행위로 볼 수 있다.



그림 7. 어안렌즈 카메라로 취득된 영상  
Fig. 7. The images taken a fisheye camera

**3) 가려진 동세의 추정**

앞서 서술과 같이 여러 성추행 관련 사례에서 은밀한 행위 또는 의도하지 않은 순간적인 동세 교차에 의한 경우는 관련 상황의 발견이 어렵다. 그림 9의 사례가 대표적이며 다수의 주변 인물과 복잡한 환경에서 보행하는 경우 접촉을 완전히 피하기 어렵다. 특히 보행 중 팔과 손의 동작은 신체 접촉에 따른 성추행 관련 분쟁의 주요 원인이며 짧은 시차의 접촉에서도 접촉 위치에 따라 매우 민감한 상황이 발생한다. 이런 동세 분석은 손목 관절부의 이동 및 회전에 의한 손의 움직임을 기반으로 한다. 그러나 일상적 상황이 대부분이고 예측이 불가하므로 해당 동세가 가려지거나 해상도가 낮은 영상으로 분석이 요구되는 사례가 빈번하다.

그림 9는 화면 내 전방 인물의 양손과 후방 인물의 위치를 기반으로 접촉 여부 판별이 요구되는 사례이다. 주요 신체 부위 접촉과 추행 주장에 대해 가려진 손의 위치가 중요 분석 항목이며 인물들 사이의 거리, 후방 인물의 어깨 및 팔의 동세를 토대로 해당 행위 가능성 판별이 요구된다. 화면에서 머리 형상들 사이의 거리, 어깨를 기준으로 상체의 동세, 전방 인물의 머리 위 왼손과 후방 인물 얼굴과의 거리가 우선 분석 요소이다.

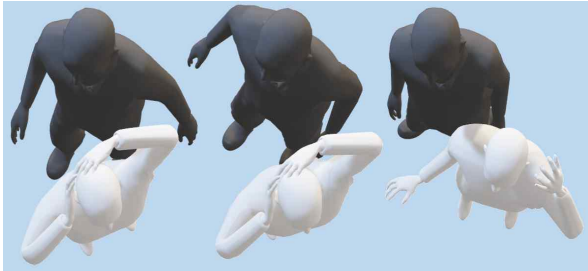


그림 8. 물리적 충돌에 대한 인과성 재현  
Fig. 8. Causality reconstruction of the physical collisions





① The original image



② 3D position reconstruction

그림 9. 가려진 영역의 동세에 대한 재현  
Fig. 9. Reconstruction of the hidden motions

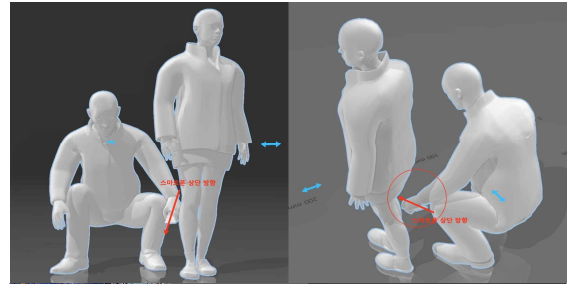
약 0.5초 동안 전개된 상호 근접한 상황을 토대로 분석이 요구된다. 문제 행위는 후방 인물의 이동에 의한 것으로 추정되며 보행에 의한 팔 각도 및 어깨 기울기 변화가 없다는 점에서 접촉 상황 예측으로 인한 회피 동세일 수 있고, 관찰구조 기준의 이동 거리와 형상 변화에서 오른손과 엉덩이의 접촉 여부 관별이 어렵다. 마스크와 손의 근접 상황이 특정되었으며 ②의 적색 선은 위치 및 팔 관절의 변화를 나타낸다.

#### 4) 사물 활용 동세의 목적 추정

그림 10의 사례는 스마트폰을 이용한 촬영 행위 및 대상성 관별이 요구되는 영상으로 상황 및 의도에 따라 다양한 해석이 가능하며 기기에서 관련 영상이 확인되지 않는 경우 다른 분쟁으로 전환될 수 있다. 주요 분석 요소는 행위의 고의성, 스마트폰의 방향과 각도에 대한 대상, 상호 인식 여부이다. 좁은 공간 구조로 인해 동선이 제한적이므로 교차 구역 발생이 자연스러울 수 있으나 상대 인물에 대한 지속적인 추적이 관찰되었고 정체 상황에서 대상 인물의 후방에 앉는 동세를 지속하고 있다. 특히 스마트폰이 대상 인물 방향으로 양손에서 이동하고 후면부 렌즈 형상이 관찰된다는 점에서 문제로 제기되었다. 스마트폰 위치 A의 적색 원형에서 손가락의 동세와 화면의 밝기가 관찰되며 카메라의 방향을 추정하기 위한 요소이다.



① The original image



② 3D position reconstruction

그림 10. 스마트폰 촬영 행위에 관한 재현  
Fig. 10. Reconstruction of smartphone shooting behavior

#### 4-2 분석 및 구현의 제한

영상에서 인체의 동세는 유동적 가변 형상이므로 평면적 화면의 물리적 한계로 인해 입체적 변환과 재현 이후에서 피해 및 가해 여부를 확정하는데 한계[4]가 상존한다. 또한 앞서 사례에서 대부분 분석 요구 영상들은 형상이 명확하게 드러나지 않는 경우이며 원본 화면을 편집하여 형상을 특정하고 물리적 정보 계측과 변화 구조 등을 분석하므로 현장의 명확한 정보로 의미를 부여하는 데 제한이 있다.

코로나 19 상황에서 마스크 착용으로 인한 인물 식별이 불가한 사례들도 적지 않으며 어두운 조명, 은폐 영역, 은밀한 전개 등과 함께 분석의 주요 제한요소이다. 그런 점들은 법영상 분석이 추정의 결과로서 다양한 해석의 일부로 논의되는 사유이다. 법적 논의에서 영상매체의 개입과 그 효력에 대한 논의는 지속적으로 증가하고 있으나 디지털 데이터가 지닌 다양한 확장성이 오히려 위변조 가능성과 연계되면서 증거로서의 한계로 작용할 수 있다. 영상의 원본 증명, 출처의 정당

성, 사건 시간 및 장소 정합도 등에 대한 증거가 까다로운 점도 본 연구와 같은 시도의 가치를 절하시키는 요인이 되기도 한다. 화려하고 정교한 영상 기술과 지능적인 입체정보 생성 기법이 고도화되면서 낮은 품질의 영상을 침해한 법적 논쟁에 적용한다는 점 또한 보편적 가치로 인정되기 어려운 요인이 될 수 있다.

## V. 결 론

본 연구는 인물 동세 기반의 성추행 행위 분석의 방법으로 인체 모델링과 골격 및 관절구조를 연계하여 관련 행위 분석 및 재현의 방법을 논의하고자 하였다. 구현과정은 영상에 대한 전처리, 대상 및 행위 특징, 인과 요소 분석, 입체적 재현이며 인체 동세 재현을 위해 모델링 객체에 대한 IK, FK 운동구조가 적용되었다. 동세 분석 요소로서 성추행 행위는 복수 인물의 접촉과 비접촉의 상황으로 구분하고 인물 단독 또는 주변 환경과의 상호성 및 인과 요인에 대해 논의하고자 하였다.

예시된 사례들은 분석 및 구현의 다양성을 논의하기 위한 것이며 사건들은 대상, 환경, 문체의 특성이 모두 다르고 구현 방법에서도 차이가 있다. 각기 다른 피해 및 가해 의견에 따라 영상에서 지목된 상황을 객관적으로 재현하고자 하였으나 범영상의 제한적 특성으로 세부적 내용은 배제되었다. 인체의 운동구조와 물리적 특성에 의한 피해와 가해의 형태를 기반으로 관련 사례에 대해 방법적 의미를 논의하고자 하였다.

## 감사의 글

본 연구는 2021년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(20210404).

## 참고문헌

[1] H. S. Shin, "Verwertbarkeit von Dashcam-Aufnahmen im Strafverfahren unter Berücksichtigung der Rechtsprechungen in Deutschland," *Korea Law Review*, No. 88, pp. 109-138, March 2018. <https://doi.org/10.36532/kulri.2018.88.109>

[2] W. K. Jeong and S. G. Lee, "Measures to maintain the admissibility of evidence for taking over digital evidence in accordance with the adjustment of the police-prosecution investigation authority," *Journal of Digital Forensics*, Vol. 16, No. 2, pp. 126-141, June 2022. <https://doi.org/10.22798/KDFS.2022.16.2.126>

[3] B. C. Kim and Y. I. Yoon, "Three-dimensional reconstruction of human shapes based on the forensic

videos," *The Journal of Digital Contents Society*, Vol. 21, No. 7, pp. 1201-1210, July 2020. <https://doi.org/10.9728/dcs.2020.21.7.1201>

[4] B. C. Kim, "A Study on the Cases of Applying 3D Modeling for Forensic Video," *The Journal of Digital Contents Society*, Vol. 21, No. 11, pp. 1947-1956, November 2020. <https://doi.org/10.9728/dcs.2020.21.11.1947>

[5] A. Maneli and O. E. Isafiade, "3D Forensic Crime Scene Reconstruction Involving Immersive Technology: A Systematic Literature Review," in *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 88821-88857, August 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3199437>

[6] X. F. Han, H. Laga, and M. Bennamoun, "Image-Based 3D Object Reconstruction: State-of-the-Art and Trends in the Deep Learning Era," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 43, No. 5, pp. 1578-1604, November 2019. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2954885>

[7] M. Ma, H. Zheng, and H. Lallie, "Virtual reality and 3D animation in forensic visualization," *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 55, No. 5, pp. 1227-1231, September 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01453.x>

[8] M. Aharchi and M. Ait Kbir, "A Review on 3D Reconstruction Techniques from 2D Images," in *Innovations in Smart Cities Applications Edition 3. SCA 2019. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*, pp. 510-522, February 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37629-1\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37629-1_37)

[9] J. Y. Zhang, S. Pepose, H. Joo, D. Ramanan, J. Malik, and A. Kanazawa, "Perceiving 3D Human-Object Spatial Arrangements from a Single Image in the Wild," in *Computer Vision-ECCV 2020*, pp. 34-51, August 2020.

[10] Easy to Find Practical Law. Stalking and stalking crime [Internet]. Available: <https://www.easylaw.go.kr/CSP/CnpClsMain.laf?popMenu=ov&csmSeq=1661&ccfNo=1&cciNo=1&cnpClsNo=1>



김병철 (Byoung-Chul Kim)

2002년 : 중앙대학교 조형예술학과 (예술학석사)

2010년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 (영상공학박사)

2015년~2018년: 호서대학교 나노바이오트로닉스학과 교수

2013년~2021년: 아이로피쉬 부소장

2021년~현 재: 호서대학교 융합학부 교수

※관심분야 : 컴퓨터비전, 그래픽스, 디지털 포렌식