

영상분석기법을 활용한 토공 장비 및 작업자간 아차사고식별 방법론

임태경¹ · 최병윤² · 이동은*

¹경북대학교 지능형건설자동화 연구센터 · ²경북대학교 건설환경에너지공학부

Methodology for Near-miss Identification between Earthwork Equipment and Workers using Image Analysis

Lim, Tae-Kyung¹, Choi, Byoung-Yoon², Lee, Dong-Eun*

¹Intelligent Construction Automation Center, Kyungpook National University

²School of Architecture, Environmental, Energy and Civil Engineering, Kyungpook National University

Abstract : This paper presents a method that identifies the unsafe behaviors at the level of near-misses using image analysis. The method establishes potential collision hazardous area in earthmoving operation. It is implemented using a game engine to reproduce the dangerous events that have been accepted as major difficulty in utilizing computer vision technology to support construction safety management. The method keeps realistically track of the ever-changing hazardous area by reflecting the volatile field conditions. The method opens a way to distinguish unsafe conditions and unsafe behaviors that have been overlooked in previous studies, and reflects the causal relationship which causes an accident. The case study demonstrate how to identify the unsafe behavior of a worker exposed to an unsafe area created by dump trucks at the level of near-misses and to determine the hazardous areas.

Keywords : Earthmoving, Computer Vision, Near-miss, Unity Game Engine, Collision, Safety Management

1. 서론

1.1 연구의 목적

건설현장은 안전을 위협하는 일정 수준의 위험성이 항상 존재한다. 터파기 공사의 경우, 굴삭기와 덤프트럭이 현장에 반입되어 작업자와 충돌할 위험성이 높다. 굴삭기는 굴착토를 상차 혹은 이동하는 과정에서 인근 작업자와 충돌할 위험이 있고, 트럭은 굴착토를 반출하기 위해 현장 내에서 이동하는 과정 중 작업자와 충돌할 위험이 높다. 토공사는 생산성 및 경제성 측면에서 중장비 사용이 불가피하여 장비와 작업자 간 충돌위험이 상존한다. 충돌재해 예방을 위한 원인분석 및 대책 연구(KOSHA, 2008) 결과에 따르면, 차량과의 충돌로 인한 재해가 79.8%, 작동되는 기계에 부딪치거나 운반되는 운반물에 부딪쳐 발생한 재해는 16.2%로 집계된다.

이러한 충돌재해로 인한 중대재해는 대부분 차량으로 인한 사고임을 의미한다. 특징적인 것은 차량의 후진으로 인한 중대재해가 약 60%를 차지하는 점이다. 제조업에서 흔히 사용하는 지게차의 경우 후진에 의한 중대재해는 약 30%임에 반해, 건설현장에서 주로 사용하는 굴삭기의 경우에는 후진에 의한 중대재해가 약 83%로 이에 대한 대책이 시급함을 알 수 있다. 한편 지게차와 굴삭기를 제외한 차량의 경우는 후진에 의한 중대재해가 약 64%에 이르는 것으로 집계된다.

안전보건공단은 충돌사고예방 대책으로 현장 내 장비 반입 시, 장비의 이동경로에는 위험구역을 지정하고, 신호수를 배치하여 근로자의 접근 및 타 작업을 금지하고, 차량과 근로자의 통로를 구분하고 안전펜스 및 안전표지판을 설치할 것을 규정한다. 그러나 안전펜스나 표지판을 설치해 위험구역에 불특정 작업자들의 접근을 근본적으로 차단하는 것은 공용 공간을 특정 자원에 점유시키는 비효율성이 있다. 덤프트럭은 불특정한 시간간격을 두고 현장에 반입 및 반출되지만, 트럭이 이동하지 않는 비점유 시간에도 전체경로를 안전펜스로 차단하는 것은 다른 장비와 작업자들의 접근을 차단하여 동선이 길어지고 생산성을 저해한다. 또한,

* Corresponding author: Lee, Dong-Eun, Ph.D, Professor, Sch. of Arch & Civil Engrg, Kyungpook National University, 1370, Sangyegk-Dong, Buk-Gu, 702-701, KOREA

E-mail: dolee@knu.ac.kr

Received January 19, 2019; revised -

accepted February 7, 2019

트릭 이동경로는 시간에 따라 변할 수 있는 데, 그때마다 펜스를 옮기는 추가 작업이 필요하다. 따라서 본 연구는 영상 분석기술을 활용하여 건설현장에서 충돌사고를 유발하는 불안정한 환경과 불안정한 행동을 모니터링하는 방법론을 제시하여 실효성 있는 안전관리 대책을 마련하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 건축공사 현장 내 토사운반 작업 중 충돌사고 예방으로 한정한다. 제시하는 영상처리기반 충돌사고 모니터링 방법론은 충돌사고가 관심 이벤트이기 때문에 자발적인 움직임이 있는 트릭과 작업자를 영상분석의 주요 객체로 제한한다. 충돌위험구역 식별 및 사고예측을 위해 유니티 게임엔진(Unity game engine: 이하 UGE)을 사용하여 토공공정을 재현하고, 실행화면을 상용 유틸리티를 사용하여 녹화하였다. 매트랩(Matlab) 영상처리 라이브러리를 사용하여 작업영상을 분석한다. 영상분석에서 객체식별(object detection)은 차영상(difference image) 알고리즘을 사용하고, 위치추적(object tracking)은 블롭분석(blob analysis) 알고리즘을 사용한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 건설안전관리에 영상처리 기술을 활용한 선행연구를 고찰하고, 3장은 충돌사고 모니터링 방법론을 제시하며, 4장은 본 방법론을 사례연구에 적용하고, 5장은 연구결론 및 기대효과를 제시한다.

2. 선행연구 고찰

2.1 위험요소 식별의 중요성

가장 중요한 안전관리활동은 유해·위험요인 식별(hazard identification)이다(Carter & Smith, 2006). 시공 전에 규명하지 못한 위험요인은 공사 중 관리 사각지대에 남아 언제든지 조건이 되면 터지는 화약고와 같다(Li et al., 2012). 건설재해 주요원인을 분석한 선행연구들(Abdelhamid, Everett, 2000; Suraji et al., 2001)은 유해 위험요인이 불안정한 현장 조건(unsafe site conditions), 불안정한 작업자 행동(unsafe worker behaviour) 그 및 불안정한 공법(unsafe working methods)에서 비롯된다고 주장한 반면, 시공 전 단계에는 공사장 환경조건, 공사에 참여하는 작업자 및 적용될 공법에 대한 확정적 정보가 부족하여 위험요인을 사전에 모두 식별하는 것은 실효성이 낮다(Li et al., 2012). 이를 보완하기 위해서는 시공 단계에서 불안정한 상태와 행동을 지속적으로 모니터링하여 내재된 위험요인의 발현을 적시에 식별 및 조치하는 체계가 필수다(Seo et al., 2015). 반면 소인수 현장관리원으로 수백 명의 작업자들의 안전을 관리하는 것은 현실적 한계가 있다(Li et al.,

2012). 또한, 현행 현장 안전점검활동은 인력 중심으로 수행되고 있어 비용과 시간이 많이 소요되고 점검결과를 문서화하는 과정에서 정보의 왜곡과 손실문제가 있다(Taneja et al., 2010). 분명 컴퓨터 비전(computer vision) 기술을 응용하여 현장영상으로부터 위험상황 정보를 추출하는 것은 비효율적이고 신뢰도가 낮은 현행 인력 중심적 현장감독 관행을 혁신하는 대안이 된다(Seo et al., 2015).

2.2 컴퓨터비전기술을 활용한 위험식별 연구동향

컴퓨터 비전 기술을 활용하여 불안정한 조건 및 행동을 규명하는 연구들은 크게 장면 기반 위험분석(Scene-based risk identification), 위치기반 위험분석(Location based risk identification), 동작기반 위험분석(Action-based risk identification)으로 구분된다. 첫째, 장면 기반 위험분석은 한 프레임 단위(정지 영상)로 위험요인을 식별하는 기술이며, 안전모 착용여부(Du et al., 2011)와 건설자원의 종류식별(Chi et al., 2009) 등에 응용되었다. 둘째, 위치기반 위험분석은 시간경과를 고려한 다중 프레임을 활용하여 건설자원(장비, 작업자)의 위치와 움직임을 분석하며, 불안정한 행동을 감지하는 용도에 적용된다. 이는 건설 장비와 작업자의 위치 추적(Park et al., 2012), 토공장비의 상차, 운송, 하차작업 시 안전규정을 위반하는 차량식별(Chi & Caldas, 2011) 등에 응용되었다. 셋째, 동작기반 위험분석은 안전보건 규칙을 위반하는 동작을 식별하는 것을 목적으로 하며, 장비와 작업자의 동작 식별(Gong et al., 2011), 작업자의 부적절한 작업자세 모니터링(Ray & Teizer, 2012), 사다리 이용 시 작업자의 불안정한 행동식별(Han et al., 2012) 등에 응용된다.

상기한 선행연구들은 시공 중 위험상황을 실시간 식별하기 위해 영상분석기술을 활용하는 다양한 방법론들을 제시한다. 반면, 이들 기존 연구들은 위험구역을 연구자가 임의로 설정하고 있고, 사고발생의 전제조건인 불안정한 조건과 행동을 구분하는 방법이 명확하지 않다는 한계점이 있다. 또한, 안전연구의 특성상 영상분석을 위해 위험한 상황을 재현한 영상확보가 필요하나 연구자가 의도적으로 위험한 상황을 연출하는 것은 현실적 어려움이 있어 이 이슈를 근본적으로 해결하는 방법이 필요하다. 따라서 본 연구는 이를 해결하기 위해 경과시간에 수반하여 변화되는 건설현장의 위험구역을 지능적으로 식별하여 불안정한 현장 조건을 정의하며, 해당 위험구역에서 작업자의 불안정한 행동을 규명하는 방법론을 제시한다.

3. 충돌 아차사고 모니터링 방법론

3.1 영상분석 기반 접근방식

현장안전관리 계획수립은 시공 전에 위험성평가를 통해 잠재적 유해위험 작업들 및 요소들을 식별하고, 이 작업들을 허용가능수준(tolerable risk)으로 관리하는 대책을 마련하는 것을 목표로 한다. 각 작업의 위험성은 두 가지 변수, 즉 '사고발생확률'과 '재해심각성'을 정량화하여 평가한다. 여기서 '재해심각성'은 사고발생상황과 작업자에 따라 우연성이 크게 작용하여 인력으로 통제하기가 용이하지 않다. 반면, '사고발생확률'은 사고(accident)의 전제조건인 '불안정한 환경'과 '불안정한 행동'과 연관되고, 이들은 관리가 가능한 유형의 자원에서 비롯되기 때문에 안전관리자가 상대적으로 용이하게 개입할 수 있다. 따라서 이 두 가지 선행조건이 결합되지 않도록 안전대책을 수립하는 접근법이 일반적이다. 예컨대, 덤프트럭이 불안정한 환경을 제공하더라도 작업자가 TBM (Tool box meeting)시 당일 현장 내 불안정한 환경에 대한 정보를 듣고 인지한다면 트럭과 작업자간의 충돌사고 발생확률을 낮출 수 있다. 또한, 안전교육이 없더라도 위험구역에 안전펜스를 설치한다면, 작업자가 트럭의 이동경로에 접근하는 불안정한 행위를 차단할 수 있어 이 조치 또한 충돌사고발생확률을 급감시킬 수 있다. 그러나 시시각각 변하는 트럭 이동경로를 안전관리자가 확인하고 매 번 안전펜스를 옮기는 것은 비효율적이다. 따라서 본 연구는 이들 이슈해결을 목적으로 트럭의 이동경로를 규명하고, 작업자의 불안정한 행동을 식별하는 용도로 영상분석기법을 적용한다. 여기서 영상분석의 기초 데이터로 현장 작업영상의 확보가 필수적이나 실제 유해위험 이벤트가 발생하는 순간을 포착한 영상들을 확보하는 것은 어렵고, 데이터 확보를 위해 작업자를 위험한 상황에 의도적으로 노출시켜 사고를 재현하는 것은 연구윤리에 저촉된다.

상기한 문제들을 해결하기 위해 본 연구는 영상처리 및 분석기술을 활용하여 특정 시간대의 충돌위험 구역을 자동으로 식별하고, 해당 위험구역에서 작업자의 불안정한 행동을 아차사고 수준에서 식별하는 방법을 통해 중점관리 및 적극조치(펜스 설치)가 필요한 지역을 식별하여 안전관리자에게 제공함으로써 작업자들의 불안정한 행동특성을 반영한 최소한의 펜스 설치 지점 정보를 제공한다. 두 번째 이슈를 개선하기 위해, 본 연구는 UGE를 사용한다. 건설현장의 생산시스템(토사운반 시스템)을 UGE로 재현하면, 위험 상황을 연구목적에 적합한 시나리오에 맞게 재현하기 용이하고 실제 인간을 대상으로 한 실험이 아니기에 윤리적인 문제에서 자유로울 수 있다. 또한, UGE 사용은 이 후 영상처리과정에 있어서도 여러 편의를 제공한다. 실제 건설현장에

서 사고발생시점이 정해져 있지 않기 때문에 연구자가 요구하는 위험상황을 포착하여 녹화하는 것은 현실적 어려움이 있다. 또한 분석을 위해 적용하는 영상처리 알고리즘은 촬영된 영상의 품질과 카메라 앵글에 따라 달라진다. UGE를 응용하는 방법론은 상기 문제 해소에 효과적이다.

3.2 충돌사고 식별 방법론

3.2.1 공사현장 조사 및 작업분석

사고는 정상적 작업과정에서 발생되기 때문에 UGE를 사용하여 충돌사고를 재현하기 위해서는 토사운반공정이 진행되는 현장에 대한 조사가 선행되어야 한다. 현장조사 시 확인해야 할 사항은 다음과 같다. (Fig. 1)에 제시된 것처럼 현장영상을 촬영하여 장비종류 및 대수, 배차간격, 이동경로(반입반출 신고 대기장, 상차장, 계근대, 세륜장), 지형특성 및 자재야적상황, 작업자 직무 및 동선, 현장 내 타 직종 작업현황을 조사한다. 그와 동시에 토사운반 작업에 투입되는 장비로 인해 초래되는 불안정한 환경(unsafe conditions)과 작업자들의 불안정한 행동(unsafe behaviour)을 규명 및 정의한다.



Fig. 1. Construction Site Survey

3.2.2 토사운반작업 가상환경 개발

UGE는 외부 프로그램에서 개발된 다양한 객체정보를 호출해 사용하는 편리한 기능을 제공한다. 지형이나 건물 등 물리적인 환경은 레빗(Revit) 또는 스케치업(SketchUp)으로 설계하고, 생산활동을 담당하는 자원객체(예, 중장비, 작업자)는 에셋 스토어(Asset store)에서 호출하여 사용할 수 있다. UGE는 크게 두 가지 기능을 제공한다(Fig. 2). 현실 공간을 가상공간으로 재구성할 수 있도록 편집화면(Scene View)을 제공한다. 편집화면은 앞서 진행한 작업분석 결과를 토대로 지형(terrain)을 모델링하고, 토공 자원객체(굴삭기, 트럭, 작업자)를 배치한다. 개별 자원객체들의 고유한 동작(지정 경로이동)은 C#언어로 동작 스크립트(script)를 코딩하고 해당 객체에 연결하여 제어한다. UGE는 객체에 다양한 물리적 효과(Rigidbody, Collider 컴포넌트)를 적용할 수 있고, 개발용 라이브러리를 제공하고 있어 객체 간 충돌

돌이 발생되면 충돌이벤트를 콜백하는 다양한 기능함수를 제공한다. 게임실행환경에서 객체 간 충돌이 발생하면 충돌 이벤트를 관리하는 함수를 사용하여 충돌시점, 위치, 충돌 객체에 대한 정보를 호출하고, 이 정보는 영상분석 결과와 대조하여 정확도를 검증하는 데 활용된다.

3.2.3 영상녹화 및 영상처리

토사운반 작업에 내재된 불안전 요소를 컴퓨터 비전기술을 사용하여 분석하기 위해 UGE로 개발한 토사운반 작업 진행상황을 녹화한다. 작업영상은 UGE가 제공하는 카메라 객체의 위치, 각도, 화각을 조절하여 다양한 뷰로 촬영이 가능하다. 본 연구는 건설자원객체의 식별과 위치좌표 및 거리계산이 용이하도록 작업장의 하늘위에서 내려다보는 스카이뷰(Sky view)로 촬영한다. 이후 영상처리 및 분석과정은 3단계로 진행된다. (1) 자원객체 식별(Object detection), (2) 위치추적(Object tracking) 및 (3) 충돌사고 판단(Collision determination) 과정을 거친다. 영상분석은 매트랩(MATLAB)이 제공하는 Computer Vision 라이브러리를 사용하며, 구체적인 영상처리과정은 다음과 같다.

1) 자원객체 식별

사고유형 중 충돌은 건설자원들이 이동하는 것을 전제로 한다. 따라서 녹화된 영상 속에서 이동하는 물체를 식별하기 위해 Eq.(1)에 제시된 차영상(Difference image) 알고리즘을 사용한다. $f(x,y,t)$ 는 동영상에서 t 시점에 해당하는 프

레이스에서 (x, y) 에 위치한 화소(pixel)값이다. 프레임의 비교 대상은 직전 프레임($t-1$) 혹은 장비와 작업자가 존재하지 않는 현장 배경영상이 될 수도 있다. 출력변수 d 값이 '1'(흰색)이 반환되는 경우, 같은 위치의 화소에서 배경영상 화소값과의 차이가 문턱값(τ)보다 큰 경우로 변화가 감지된 전경(Foreground)이고, '0'(검정색)은 프레임 간 화소값의 차이가 없는 배경(Background)이다.

$$d_{tr}(y,x) = \begin{cases} 1, & |f(x,y,t) - f(x,y,r)| > \tau \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

차영상 알고리즘을 통해 변환된 이진영상(Binary image)에서 관심객체 영역만을 분리(Segmentation)하기 위해 매트랩이 제공하는 블럽분석(Blob analysis) 라이브러리(Vision, BlobAnalysis)를 활용한다. 블럽분석을 실행하면 이진영상에서 픽셀값이 1로 연결된 덩어리(blob, 같은 색상영역)를 구분하고, 해당 블럽의 특성치(area, centroid, bounding box)를 계산해서 반환한다.

하나의 프레임에 다수 물체가 감지된 경우, 블럽의 특성치 중 면적(area)을 비교하여 사람과 트럭을 구분한다. 본 연구는 트럭 블럽과 사람 블럽의 평균 면적(area)이 각각 353과 25로 분석되고, 프레임 마다 영상처리 과정의 잡음(Noise)을 고려하여 경계값(threshold)을 Eq.(2)에 제시된

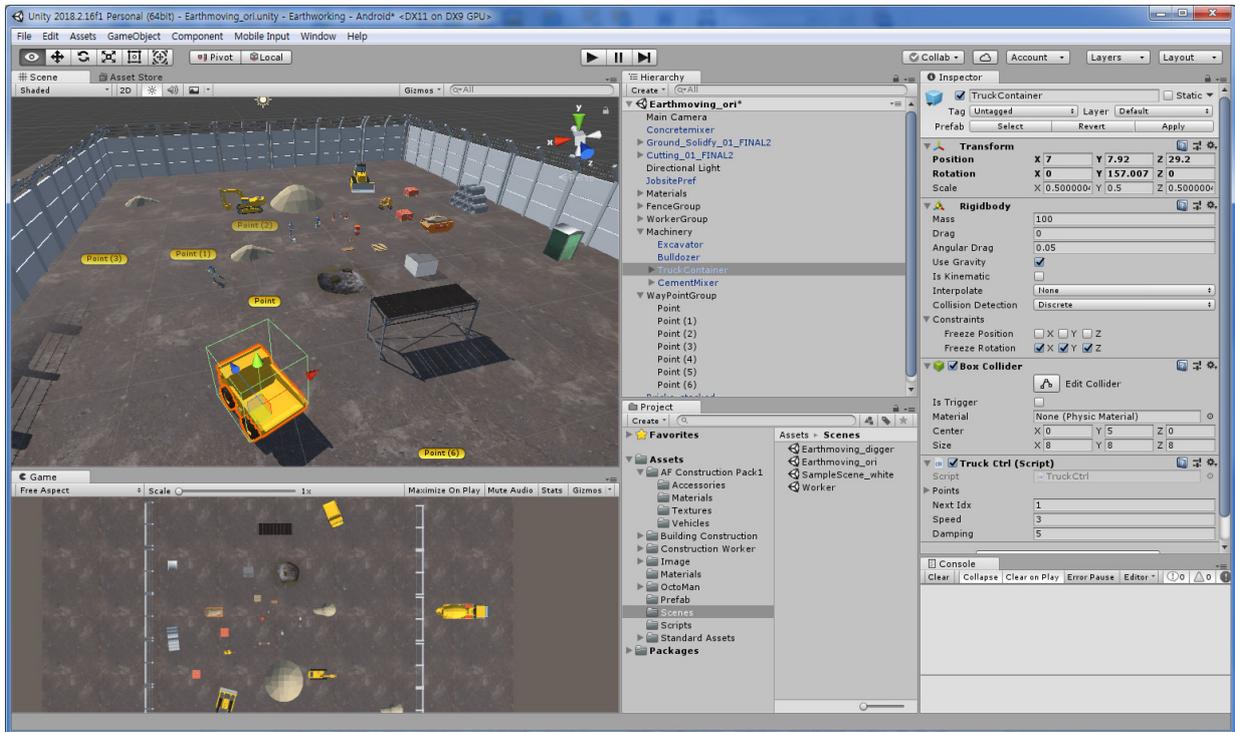


Fig. 2. A virtual model of earthmoving work using UGE

것처럼 각각 300과 50으로 설정한다. 분할된 세그먼트의 레이블(label)은 블럽면적이 300을 초과하면, '1'(트럭)이 할당되고, 50미만이면, '2'(작업자)가 할당된다.

$$label = \begin{cases} 1, area > 300 \\ 2, area < 50 \end{cases} \quad (2)$$

2) 위치추적 및 위험구역설정

본 연구는 트럭의 이동경로 및 작업자의 움직임은 각각 불안정한 환경 및 불안정한 행동으로 가정한다. 충돌사고 발생 메커니즘은 불안정한 환경이 선행되고, 그 곳에서 불안정한 행동이 발생하는 시점으로 정의한다. 따라서 유니티에서 트럭의 이동경로를 먼저 추적하여 위험구역(hazard area)을 규명한다. 트럭의 이동경로는 프레임마다 실행되는 차영상 알고리즘과 블럽분석 결과데이터를 이용하여 위치를 추적한다. 블럽분석이 처리되면 해당 블럽의 특성값으로 도심(centroid)과 경계박스(bounding box) 좌표가 반환된다. 하나의 프레임에는 다수 블럽이 감지될 수 있기 때문에, 프레임에 새로운 블럽이 감지되면 대상식별 및 블럽분석결과를 독립적으로 관리하도록 식별번호(ID)를 부여되고 고유한 트랙 변수(structure 자료형)를 할당한다. 트랙변수에 저장된 특성 정보 중 트럭 레이블을 추출하여 특정시간대에 도심좌표를 연결하면 트럭 이동경로가 된다. 또한, 충돌위험구역은 트럭의 각 프레임마다 추적된 블럽정보에서 도심좌표(x,y)를 기준으로 차량의 폭(50px, 2m로 가정)만큼 좌우로 오프셋한 좌표를 트럭과 작업자의 충돌경계구역으로 정의한다. 현장 내 트럭 이동경로는 진입구부터 출구까지 전 구간에 걸쳐 작업자와 충돌사고 위험이 존재한다. 따라서 1차적으로 트럭의 이동경로를 충돌위험 구간으로 정의한다.

3) 충돌사고 판단

이전 단계에서는 트럭을 중심으로 특정시간대에 충돌위험구역을 정의하였다. 이후 단계는 작업자의 불안정한 행동(충돌위험구역에 접근 또는 통과)으로 인한 사고여부를 판단하는 기준을 제시한다. 각 영상프레임에서 작업자와 위험구역간의 거리(D)는 2차원 유클리드 공간상에서 최소거리를 계산하는 Eq.(3)을 사용하여 유도한다. 이 때, f(x)는 위험구역을 나타내는 중심선으로 트럭이 현장 내에서 이동하는 도심좌표값들을 연결하는 추정 회귀식으로 비선형함수이다. a는 특정 프레임에서 감지된 작업자의 도심좌표(m,n)에서 가장 근접한 위험구역중심선 상의 x축 값으로, 수선기 울기와 접선기울기의 곱이 '-1'이라는 조건식을 이용해 유도한다.

$$D = \sqrt{(m-a)^2 + (n-f(a))^2} \quad (3)$$

$$s.t. f'(a) = \frac{m-a}{f(a)-n}$$

본 연구의 목적은 충돌이 실제로 발생하는 중대재해가 아니라 불안정한 환경이 제공될 때 작업자들의 불안정한 행동을 무상해 아차사고(near-misses)수준에서 관측하는 방법을 제시하는 것이라는 사실에 유의할 필요가 있다. 아차사고 발생 시점은 작업자가 트럭의 이동경로 상에 트럭이 보이지 않을 때, 충돌위험구역 안으로 접근하거나 통과하는 경우로 가정한다. 현장조사에 따르면, 작업자들은 편의를 위해 최단경로를 선호하고 있어 위험구역을 인지하고서도 접근하는 경우가 흔한 것으로 확인되었다. 다만, 트럭이 시야에 들어와 충돌위험이 감지될 만큼 근접한 경우는 트럭이 지나 갈 때 까지 위험경계 밖에서 멈추지만 트럭이 보이지 않거나 다소 멀리 떨어져 있다고 판단되면 트럭의 이동경로를 통과하는 위험행동을 하는 것으로 확인된다. 따라서 트럭과 작업자의 이동을 동시에 추적하지 않는 대신 이전 단계(2) 위치추적)에 제시한 트럭의 이동경로를 위험경로로 설정하고, 차량이 해당 경로를 점유하지 않는 시간에 작업자들의 접근 및 통과행위가 발생되면 아차사고가 발생한 것으로 간주한다.

사전에 설정된 전체위험구역에서 작업자가 접근하거나 통과하는 지점을 식별하기 위해 Eq.(4)처럼 아차사고(near miss) 발생여부를 판단하는 기준을 제시한다. 본 연구에서 충돌발생거리는 트럭의 이동중심선에서 양쪽경계 25px(1m) 이내지만, 트럭의 회전을 고려하여 20% 할증한 30px을 경계치로 설정한다. 작업자와 위험구역중심선간 최단거리(D)가 30px이하가 되면, 아차사고가 발생한 것으로 판단하고 '1'을 할당한다. 30px을 초과한 경우, 아차사고가 발생하지 않은 것으로 '0'을 할당한다.

$$A = \begin{cases} 1, D \leq 30 \\ 0, D > 30 \end{cases} \quad (4)$$

4. 사례연구

본 방법론을 토공현장에서 불안정한 환경과 불안정한 행동을 식별하는 사례에 적용한다. 사례현장은 토사운반 공정이 진행되는 작업이고, UGB를 사용하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 트럭객체는 현장 내에 지정된 경로를 따라 이동하도록 설계하고, 굴삭기가 있는 지점에서 후진으로 진입하고 일정시간 상차대기 후 출입구를 나가도록 구현했

다. 트럭이 현장에 들어오는 배차시간간격과 상차시간은 랜덤함수를 사용하여 임의의 시간을 부여하였다. 작업자는 한 사람을 배치하고 특정 시점에 트럭의 이동경로를 임의로 통과하도록 코딩했다.

4.1 자원객체 식별

우선 토사운반작업이 수행되는 공사현장을 재현한 UGE 가상 시뮬레이션 환경을 재생하고, 카메라를 스카이뷰로 설정하여 녹화했다. 녹화된 동영상파일(earthmoving.avi)을 Matlab에 호출하여 차영상 알고리즘 및 블럽분석을 사용하여 트럭객체를 식별하였다. <Fig. 3>은 RGB 원본 영상을 이진영상(binary image)으로 변환하고 트럭블럽을 해당 프레임에서 분할하여 제시한다. 582번째 한 프레임에는 기본 배경영상과 차이가 감지된 트럭블럽(blob, 흰색(pixel=1) 영역)이 3개가 감지된다.

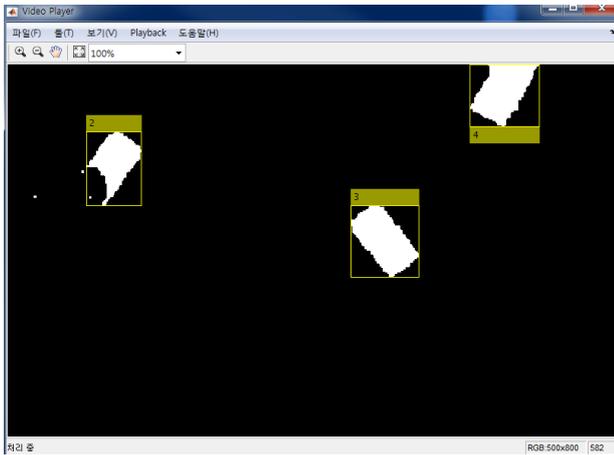


Fig. 3. The result of difference image and blob analysis

<Fig. 4>는 이진영상으로 식별한 트럭블럽 경계박스(bounding box)를 RGB 원본 영상에 표시한 결과이다.

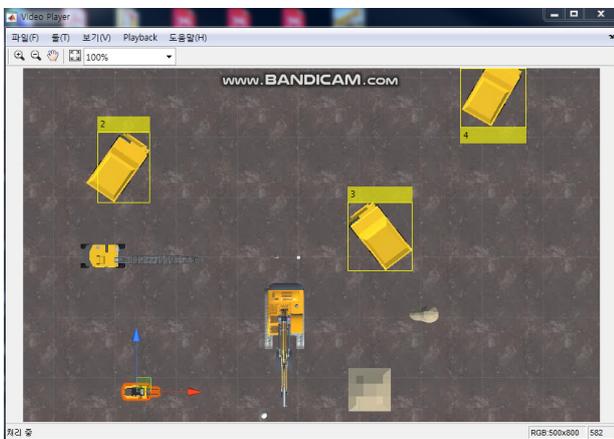


Fig. 4. Truck identification

4.2 트럭 경로추적 및 위험구역 설정

3장 방법론에서 제시한 객체식별 및 추적 알고리즘을 사용하여 트럭의 이동경로(trajec-tory)를 시각화한 결과는 <Fig. 5>에 제시된다.



Fig. 5. Truck route and hazardous boundary

실제 공사현장에서 트럭이 지나가면 경로정보도 함께 소멸되어 충돌사고로 인한 중대재해를 예방할 수 있는 전략수립 기회도 사라진다. 위치추적 결과는 현장사무소에 설치된 모니터에 제공되는 화면으로 특정 시간대에 현장에 반입되는 트럭의 이동경로를 추적하고 충돌위험구역을 자동으로 식별하여 안전관리에 활용할 수 있는 시각정보를 제공한다. 영상에서 ‘+’ 표시는 각 프레임 상에 식별된 트럭의 도심좌표로 트럭의 이동경로이자 충돌위험구역의 중심선이다. 노란색 영역은 프레임마다 추출된 트럭블럽을 중첩시킨 것으로 충돌외곽경계 지점이다. 차량의 경로분석과정에서 블럽 분석 결과데이터를 활용하면, 트럭의 형상변화를 추적할 수 있다. 트럭의 입체적인 궤적을 분석하면(optical flow 알고리즘을 사용하여 진행방향 추적가능) 트럭의 전진지점, 회전지점 및 후진지점을 식별할 수 있어 특정 지점별 안전대책을 정교하게 수립할 수 있다. 물론, 지정경로에서 이탈하는 트럭을 추적하는 것도 가능하다.

4.3 아차사고 판단

3장 방법론에서 제시한 객체식별 및 추적알고리즘을 사용하면 프레임 간에 움직임이 감지되는 모든 객체의 이동경로가 분석된다(Fig. 6). 영상분석결과 굴삭기 뒤편에 있던 작업자(‘+’표시)가 위쪽으로 이동하면서 트럭의 위험경계구역을 가로지르는 영상이 식별된다. 아차사고 판단 알고리즘을 적용한 결과, 작업자가 최초로 위험구역에 접촉한 시점(D=30px)은 1247프레임이고, 위험구간 중심선을 통과한 시점은 1253프레임(frame)이며, 해당 좌표는 x=394, y=97로 규명되었다. 현장에서 불안정한 환경을 불가피하게 제공할 수밖에 없다면, 그 대안으로 작업자들이 불안정한 환경에

어떻게 행동하는지 관찰 결과데이터를 기반으로 현실적인 안전대책을 수립할 수 있다. 본 사례의 경우, 작업자의 아차 사고 수준에서 불안정한 행동을 분석하면 굴삭기와 관련된 작업자가 위험구간을 통과한 것으로 예측되고 트럭의 통과 지점(394, 97)을 전체 위험구간 중 중점 관리해야 하는 지점으로 해석할 수 있다.

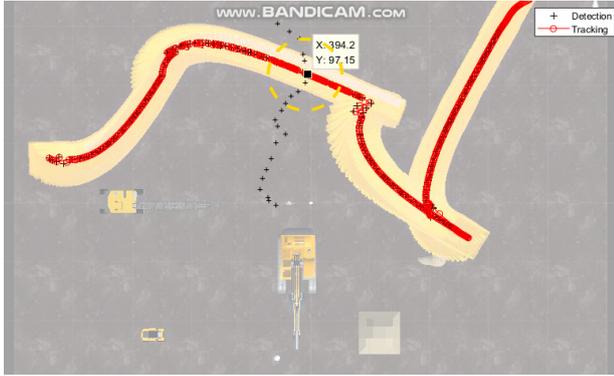


Fig. 6. Identification of worker's near-miss

5. 결론

본 연구는 토사운반작업에 영상분석 기법을 적용하여 불안정한 조건에 해당하는 충돌위험구역을 설정하고 해당 위험구역 내에서 작업자의 불안정한 행동을 아차사고수준에서 식별하는 방법론을 제시한다.

컴퓨터 비전기술을 건설안전관리에 활용하는 데 있어 큰 걸림돌이 되어 온 위험상황재현 문제를 해결하기 위해 연구자가 원하는 시나리오대로 재현이 가능한 게임엔진을 활용하는 방법을 제안하였다. 2장 문헌고찰에서 밝힌 바와 같이 기존 연구들이 불안정한 조건을 결론론적으로 가정했던 것과는 달리, 현장여건에 따라 변화되는 위험구역을 현실성 있게 규명하는 방법을 제시한다. 또한, 선행 연구들이 사고 발생의 직접원인이 되는 불안정한 조건과 행동에 대해 명확히 구분하는 방법을 제시하지 못한 부분을 보완하여 제시한다. 본 연구는 덤프트럭에 의해 제공된 불안정한 조건하에서 작업자의 불안정한 행동을 아차사고 수준에서 관측하는 방법과 중점관리 대상이 되는 최소한의 위험구역을 결정하는 방법의 유효성을 사례연구를 통해 제시하였다.

안전사고 연구는 다양한 위험상황을 재현한 영상을 확보하는 것을 전제하기 때문에 본 연구에서 제시한 게임엔진을 활용한 방법론은 관련 연구분야에 데이터 수집노력을 절감시켜 줄 것으로 기대된다. 또한, 공사 현장의 다양한 위험상황을 가상 환경에 재현하고 공사 전에 위험성을 객관적으로 평가하여 안전대책 수립 및 관련 작업자 교육에 유용할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 성과는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1A5A1025137: ERC 선도연구센터 지원사업).

References

- Abdelhamid, T.S., and Everett, J.G. (2000). "Identifying root causes of construction accidents." *Journal of construction engineering and management*, 126(1), pp. 52-60.
- Carter, G., and Smith, S.D. (2006). "Safety hazard identification on construction projects." *Journal of construction engineering and management*, 132(2), pp. 197-205.
- Chi, S., Caldas, C.H., and Kim, D.Y. (2009). "A methodology for object identification and tracking in construction based on spatial modeling and image matching techniques." *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24(3), pp. 199-211.
- Du, S., Shehata, M., and Badawy, W. (2011). "Hard hat detection in video sequences based on face features, motion and color information." *In Computer Research and Development (ICCRD)*, 2011 3rd International Conference, IEEE, 4, pp. 25-29.
- Gong, J., Caldas, C.H., and Gordon, C. (2011). "Learning and classifying actions of construction workers and equipment using Bag-of-Video-Feature-Words and Bayesian network models." *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), pp. 771-782.
- Han, S., Lee, S., and Peña-Mora, F. (2012). "Vision-based detection of unsafe actions of a construction worker: Case study of ladder climbing." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(6), pp. 635-644.
- Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). (2008). *Cause Analysis and Countermeasures for Prevention of Collision Disaster*.
- Li, H., Chan, G., and Skitmore, M. (2012). "Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology." *Automation in construction*, 22, pp. 498-505.

- Park, M.W., Koch, C., and Brilakis, I. (2011). "Three-dimensional tracking of construction resources using an on-site camera system." *Journal of computing in civil engineering*, 26(4), pp. 541-549.
- Ray, S.J., and Teizer, J. (2012). "Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training." *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), pp. 439-455.
- Seo, J., Han, S., Lee, S., and Kim, H. (2015). "Computer vision techniques for construction safety and health monitoring." *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), pp. 239-251.
- Suraji, A., Duff, A.R., and Peckitt, S.J. (2001). "Development of causal model of construction accident causation." *Journal of construction engineering and management*, 127(4), pp. 337-344.
- Taneja, S., Akinci, B., Garrett, J.H., Soibelman, L., Ergen, E., Pradhan, A., and Shahandashti, S.M. (2010). "Sensing and field data capture for construction and facility operations." *Journal of construction engineering and management*, 137(10), pp. 870-881.

요약 : 본 연구는 토사운반작업이 진행되는 현장에 충돌위험구역을 설정하고 작업자의 불안정한 행동을 아차사고수준에서 식별하는 영상분석 방법론을 제시한다. 컴퓨터 비전기술을 건설안전관리에 활용하는 데 있어 큰 걸림돌이 되어 온 위험발생 이벤트를 연구자가 원하는 시나리오대로 재현하기 용이하도록 게임엔진을 활용하는 방법을 제시한다. 본 연구는 기존 연구들이 불안정한 조건을 결정론적으로 가정하는 접근방식과 달리, 현장여건에 따라 위험구역이 변화되는 상황을 현실적으로 반영하는 방법을 제시한다. 본 방법론은 선행연구들이 간과한 불안정한 조건과 행동을 구분하는 방법을 제시하고 사고가 발생하는 인과관계를 반영하였다. 사례연구는 덤프트럭에 의해 제공된 불안정한 조건하에서 작업자의 불안정한 행동을 아차사고 수준에서 관측하는 방법과 중점관리 대상이 되는 위험구역을 결정하는 방법을 규명하였다.

키워드 : 토사운반, 컴퓨터 비전, 아차사고, 유니티 게임엔진, 충돌, 안전관리
