

센서 기술(Sensing technology)과 비전 기술(Vision Technology)을 이용한 건설작업자 안전관리 관련 연구 동향



안창범 Assistant Professor,
The Durham School of Architectural Engineering and Construction
University of Nebraska-Lincoln

1. 서론

미국의 National Safety Council의 Injury Facts(2012)에 따르면, 미국 전체 산업 고용인의 6% (640만명)만이 건설산업 종사자임에도 불구하고 미국 전체 산업 사망사고의 23%, 부상사고의 10.3%가 건설 산업에서 일어나고 있다고 한다. 건설산업의 이러한 높은 사고 위험을 줄이기 위해 미국의 Occupational Safety and Health Association (OSHA)에서는 1972년부터 다양한 건설작업에 대한 안전 기준을 만들고 보완하면서 노력해 왔지만, 여전히 건설산업의 사고 위험은 타산업 대비 높은 사고율을 보여 주고 있다. 이러한 건설 현장내의 사고 위험을 감소시키기 위하여 다양한 시각의 연구들이 수행되어 왔으며, 특히 건설 현장에 투입된 자원 및 주체들의 정보를 토대로 안전 사고 위험율을 측정 및 분석하여 발생가능한 사고를 미연에 방지하려는 목적의 연구들이 활발히 진행되고 있다. 본 고에서는 이러한 연구들 중 최근 활발히 수행되고 있는 센서 기술(Sensing Technology)과 비전 기술(Vision Technology)을 이용한 연구들의 동향에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

2. 미국 내 건설 안전사고 주요 원인 및 안전관리 연구 주요 동향

미국 내에서 발생한 건설 작업자 사고 원인(그림 1)을 보면 사망사고의 경우 추락(33%)이 가장 큰 원인으로 나타났고 물체와의 충돌(17.6%) 또한 주요원인 중 하나로 나타났다. 물체와의 충돌의 경우 건설장비 및 운반중인 자재와의 충돌이 주요한 사례로 꼽힌다. 부상사고의 경우도 이와 비슷하게 물체와의 충돌(33%)과 추락(24.2%)이 주된 원인인 것을 알 수 있다 (CPWR 2013). 건설현장에서의 사고는 작업자가 단순 상해를 입는 것으로 끝나지 않고 고소작업과 거대한 장비가 사용되는 산업의 특성상 그 피해 규모가 타산업과 비교할 때 월등히 높다. 따라서 이러한 사고 발생 가능성 및 위험성을 미리 측정하여 사고를 미연에 방지하기 위한 연구가 안전관리 연구의 주를 이루고 있다. 하지만 기존의 연구들의 경우 주로 전문가의 판단이나 과거 사고들의 발생 원인을 바탕으로 해당 작업의 위험성을 평가함으로써 정성적 분석 혹은 과거 데이터에만 의존한 분석에 그치는 한계점이 있어 왔다. 하지만 최근 센서기술과 비전기술의 발전과 더불어 실제 현

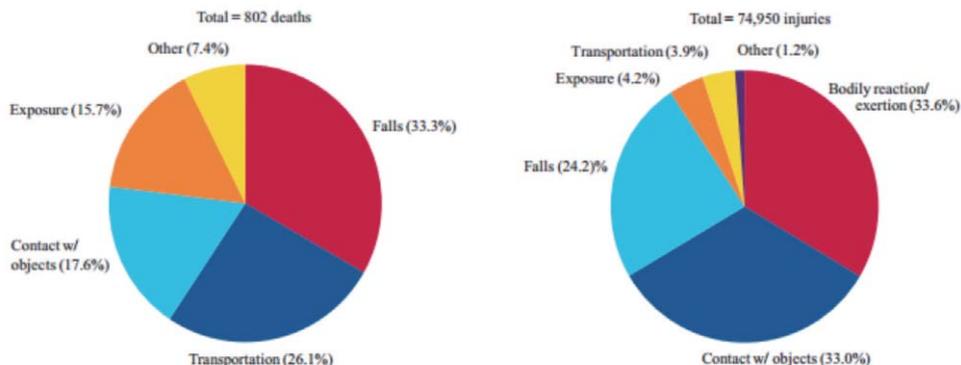


그림1. 2010년 미국 건설작업 도중 발생한 사망사고 원인(좌)과 부상사고 원인(우) (CPWR 2013)

장에 투입된 건설 작업자 및 장비의 위치 및 움직임 등의 정보를 토대로 정량적이며 객관적으로 사고가능성을 측정하려는 연구가 시도되었으며, 현재는 이런 데이터를 실시간으로 추출해 건설현장의 안전관리에 사용하려는 목적의 연구 또한 활발히 수행되고 있다.

3. 센서 기술(Sensing Technology)을 이용한 건설 작업자 안전관리 연구 동향

최근 다양한 센서와 무선 통신(Wireless Communication) 관련 기술의 발달로 인해 센서 사용에 있어서 가격 및 거리적 제한이 줄어들면서 이러한 기술을 건설 작업자의 안전관리에 활용하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이들 연구는 크게 작업자 및 건설장비의 위치를 추적하는 연구(Location Tracking)와 작업자의 신체 움직임(Activity Monitoring)이나 신체 신호(Physiological status monitoring)를 모니터링하는 연구로 크게 나뉘 볼 수 있다.

3.1 위치추적 기술관련 연구 동향

건설현장에서 발생할 수 있는 사고들 중 건설 작업자와 건설장비와의 충돌이나 추락 혹은 사고의 위험이 있는 장소로의 부주의한 접근으로 발생하는 사고의 경우 이들 간의 위치 정보를 파악함으로써 사고발생을 방지할 수 있는데 이를 위해 다양한 실시간 위치추적 기술들(Real-Time Locating system)이 활용되어 왔다. 이러한 위치추적기술을 이용하는 경우, 건설 작업자의 신체에 부착한 센서를 통해 획득한 위치정보를 토대로 작업자가 건설 장비와의 충돌이 예상되거나 추락사고 위험이 높은 지역으로 접근시 이에 대한 경고를 작업자 및 관리자에게 전달하는 것을 주요 골자로 하고 있다. 주로 사용되는 기술은 GPS(Global Positioning System), RFID (Radio Frequency Identification), UWB (Ultra Wideband) 등이 있으며, 최근에 WLAN(Wireless local area network)과 IMU(Inertial Measurement Units) 센서를 이용하여 실내 작업자의 위치 추적 혹은 기존 위치추적 기술의 정확성을 높이려는 연구 또한 진행되고 있다. 또한 센서를 통해 얻은 위치정보와 건설현장의 정보를 시각화하여 안전관리 지침이나 교육시 정보전달의 효과성을 높이려는 연구도 진행되고 있다. 다음의 표 1은 작업자나 장비, 자재의 위치를 측정해 안전관리에 이용한 연구들의 내용과 기술을 보여주고 있다.

표 1. 센서를 활용한 작업자 및 자재의 위치 추적에 관한 연구

연구자 (연도)	연구내용	사용기술
Torrent and Caldas (2009)	건설현장 안 자재의 자동화 인식 및 위치 추적 기술 제안	Global Positioning System, Radio Frequency Identification
Razavi and Haas (2010)	추적 기술을 포함한 건설현장 안 위 자재위치 추적방법의 제안 및 성능 분석	Global Positioning System, Radio Frequency Identification
Wu et al (2010)	건설현장 작업원의 실시간 위치 추적 및 야차사고 (Near-miss accident)추적 시스템 제안	Global Positioning System, Ultra Wideband
Taneja et al (2012)	유지보수 및 지원작업 작업자의 위치추적을 통한 다양한 위치추적 기술의 성능 비교	Wireless Local Area Network, Radio Frequency Identification, Inertial Measurement Units
Pradhananga and Teizer (2013)	건설현장 안에서의 건설장비 위치 추적 성능 분석	Global Positioning System
Marks and Teizer(2013)	건설 작업자 안전 장비로서의 위치 추적기술의 성능 분석	Radio Frequency Identification

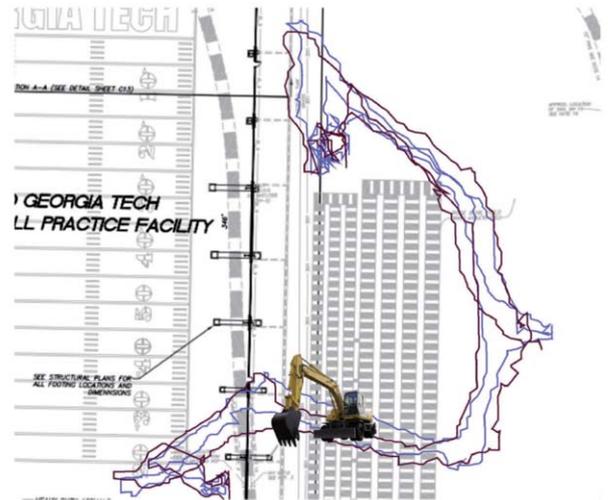


그림2. 건설프로젝트 평면과 1일 작업동안의 굴삭기 이동경로와 방향 (Pradhananga and Teizer 2013)

3.2 작업자 모니터링 관련 연구 동향

앞서 기술한 위치 추적 기술의 경우 작업자 안전한 작업 위치나 장비와의 거리를 분석해 충돌사고 및 위험상황을 방지할 수 있지만 작업자 단독으로 발생시키는 사고나 부상을 분석하거나 대응하지는 못한다는 단점이 있다. 이러한 한계에 대응할 수 있는 방법으로 작업자의 신체에 작업자 신체 움직임을 측정할 수 있는 센서를 부착하여 작업자의 신체 움직임을 모니터링하는 방법(Activity Monitoring)과 작업자

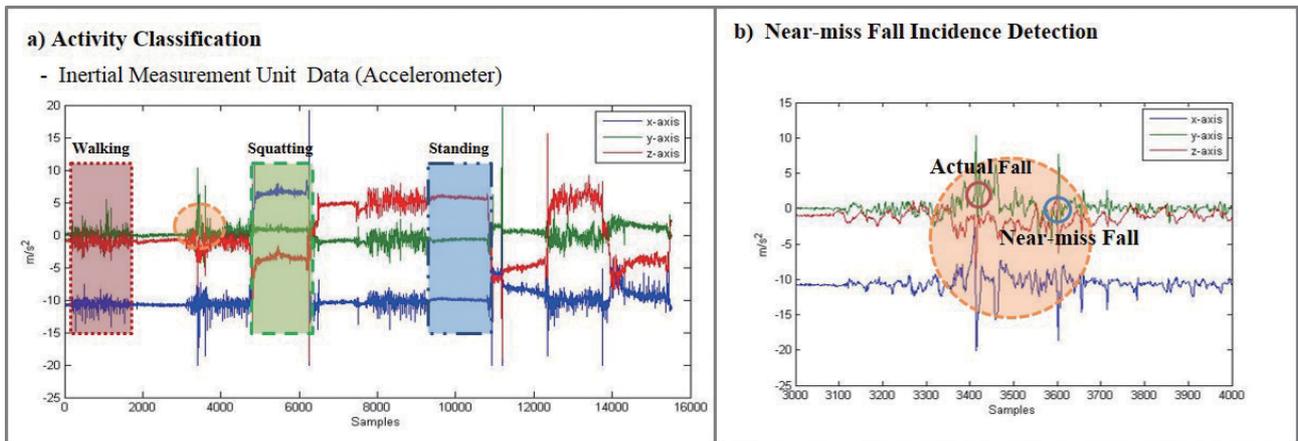


그림3. IMU 센서를 통한 작업자의 자세 인식과 아차사고(추락) 발견 (Yang et al 2014)

의 심박 수 같은 작업자 신체신호를 모니터링하는 방법 (Physiological Status Monitoring)이 있다. 움직임 모니터링의 경우 작업자 신체 각부위의 가속도와 기울기 변화를 측정하여 작업의 수행여부를 분류하거나 작업자의 위험 움직임과 같은 급격한 변화를 인식하여 발생할 수 있는 사고 및 근골격계 부상을 발견하고 이를 미연에 방지하는 목적으로 적용되고 있으며 주로 IMU (Inertial Measurement Units)를 사용하고 있다. 신체신호 모니터링의 경우 작업자의 생체 정보(심박박동 등)를 측정할 수 있는 BH(Bio-Harness)를 바탕으로 작업자의 작업 강도와 피로도를 측정 및 예상하여 발생할수 있는 부상이나 질병을 예방하는 목적으로 사용되고 있다. 또한 앞서 언급된 작업자의 위치추적 기술과 복합하여 작업자의 안전관리에 활용하는 연구 또한 수행되고 있다. 본 필자 역시 건설산업에서 가장 빈번하게 일어나는 추락사고를 방지하기 위해 IMU를 철골 작업자의 신체에 부착하고 움직임 데이터를 무선으로 획득해 아차사고(추락)를 발견하는 연구(Yang et al 2014)와 작업자의 동적움직임 시 안정성(Dynamic Stability)을 IMU를 통해 측정하는 연구(Houtan et al 2014)를 현재 수행하고 있다. 다음의 표 2는 IMU 센서를 활용한 필자의 연구들과 모니터링 기술을 사용한 연구들의 내용과 사용기술을 나타내고 있다

표 2. 센서를 이용한 작업자의 움직임 및 생체신호 모니터링에 관한 연구

연구자 (연도)	연구내용	사용기술
Gatti et al (2011)	작업자의 다양한 자세 및 자재 운반시 PSM을 통한 작업자의 상태 모니터링	BioHarness, Vicon MS
Cheng et al (2013)	자재 운반 및 적재시의 작업자 위치정보와 PSM 정보를 통한 작업자의 위험행동 발견	Ultra Wideband, Physiological Status Monitoring
Yang et al (2014)	철골 작업자의 철골 위 움직임 모니터링 및 분석을 통한 작업자의 다양한 자세 인식과 아차사고 (추락)의 발견	Inertial Measurement Units, Support Vector Machine, One-class Support Vector Machine
Houtan et al (2014)	철골 작업자의 철골 위 움직임을 모니터링하여 작업자의 Dynamic Stability를 분석	Inertial Measurement Units, Maximum Lyapunov Exponent

4. 비전 기술(Vision Technology)을 이용한 안전관리 연구 동향

현재 센서 기술과 마찬가지로 2D 혹은 3D 카메라 등을 활용한 비전 기술(Vision Technology)을 작업자의 안전관리에 활용하는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 앞서 기술

한 센서를 이용한 기술의 경우 안전관리 대상으로 하는 작업자들마다 센서를 부착해야 하고 이 정보를 획득하는 장치를 현장 곳곳에 설치해야 한다는 단점이 있지만 본 단락에서 기술할 비전 기술의 경우 센서 기술에 비해 하나의 장비로 많은 대상과 면적을 관리할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 비전 기술의 경우 장애물에 의한 시야 차단시 적용할 수 없으며 거리적 제한이 있어 먼 거리에서 세밀한 분석을 하기는 어렵다는 단점이 있다. 비전기술을 활용한 연구의 경우 카메라나 Microsoft Kinect를 이용하여 얻은 화상 정보를 분석해 작업자나 건설현장의 안전관리에 사용하는 목적으로 활용하고 있다. 이러한 연구들은 대부분 이미지 프로세싱을 바탕으로 작업자의 위험한 행동이나 자세, 수행 작업을 인식하여 작업자의 안전관리에 사용하는 목적으로 수행되었으며, 특히, 비전 기기 중 하나인 MS Kinect를 사용한 연구의 경

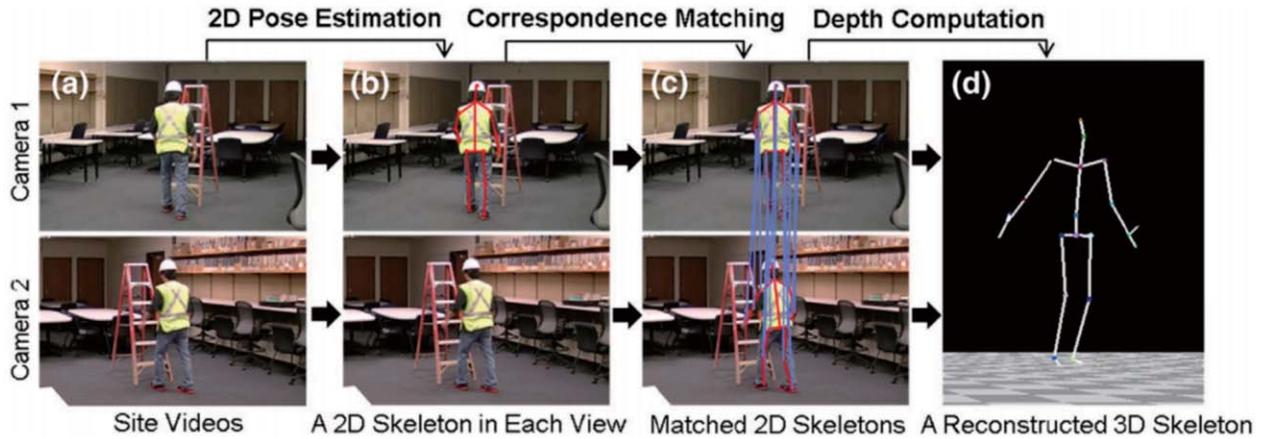


그림4.VICON을 활용한 모션 캡처 프로세스 (Han and Lee 2013)

우 작업자의 body skeleton을 생성하고 이를 통해 작업자의 움직임 또는 자세를 분석해 이를 작업자의 부상이나 사고 예방에 활용하는 것을 목적으로 하고 있다. 다음의 표3 는 비전 기술을 건설현장 및 작업자의 안전관리에 활용한 연구들의 내용과 기술을 보여주고 있다.

표 3. 비전기술을 활용한 안전관리 관련 연구

연구자 (연도)	연구내용	사용기술
Chi and Caldas (2011)	건설현장에서 작업자 및 장비의 자동 인식 방법	Optical Video Camera, Naï Bayes, Neural Network
Ray and Teizer (2012)	인간공학 측면에서의 작업자 교육을 위한 작업자의 다양한 자세와 자재적재 관련 움직임 분석	Kinect, Linear Discriminant Analysis
Escorcía et al (2012)	건설업체 작업자의 실시간 추적와 수행 작업 인식 방법의 제안	Kinect, Support Vector Machine
Han et al (2013)	다양한 타입의 모션데이터를 통한 모델링 및 작업자의 위험행동 인식 비교	Kinect, ipi Motion Capture™, Principal Component Analysis, Gaussian Process Dynamic Models, One-Class Support Vector Machine
Han and Lee (2013)	사다리 위에서서의 작업자 움직임 모니터링시 위험행동 인식을 위한 프레임워크 개발	VICON, Principal Component Analysis, Dynamic Time Warping

5. 결론

미국 건설산업에서 작업자 사고 발생시 발생하는 평균 피해 비용(경미한 부상사고 포함, 2002년 기준)은 건당

\$27,000달러에 달하고, 이는 전체 산업 평균인 \$15,000보다 거의 2배에 달할 정도로 많은 비용이 발생하고 있다 (Waehrer 2007). 따라서 건설 현장에서의 안전 사고는 인적 피해뿐만 아니라 프로젝트 전체 비용 관리에도 큰 영향을 미치는 요인이다. 이로 인해 과거부터 안전관리 향상을 위해서 많은 연구가 지속적으로 수행되어 왔으며, 최근에는 새로운 기술인 센서와 비전을 이용한 연구가 활발히 수행되고 있다. 본 고에서는 현재 미국에서 안전관리 향상을 위해 사용되고 있는 센서 기술과 비전기술에 관한 연구 동향을 알아보고 각 연구에 사용된 기술과 특징들을 알아보았다. 이러한 기술은 기존의 정성적인 정보를 바탕으로 이뤄지던 안전관리에서 나아가 건설 현장에 속해있는 자재와 장비, 작업원의 위치, 수행 작업의 종류, 신체신호까지 다양한 정량적인 정보를 측정 및 획득할 수 있도록 하였고 이를 통해 충돌 방지, 자세 위치 추적, 위험행동 감지와 같은 건설현장의 실시간 안전관리를 가능하게 하였다. 필자 역시 IMU 센서를 통한 철골 작업자의 추락 관련 연구를 수행하면서 기존에 정성적으로만 측정되었던 작업자 개인들 간의 신체적 차이와 특징을 센서를 통해 측정하여 이를 안전관리에 활용할 수 있다는 가능성을 발견할 수 있었다. 본 고에서 소개한 기술과 방법들은 기존의 건설 프로젝트의 안전관리체계를 사고위험 정보의 실시간 측정을 통해 보완함으로써 건설 현장의 안전사고를 줄이는데 공헌할수 있을 것으로 사료된다.

(본고의 작성에 도움을 준 양강혁 박사과정 연구원 (University of Nebraska-Lincoln)에게 감사의 말을 전합니다.)

6. 참고문헌

- Amir H. Behzadan, Zeeshan Aziz, Chimay J. Anumba, Vineet R. Kamat, Ubiquitous location tracking for context-specific information delivery on construction sites, *Automation in Construction* 17 (6) (2008) 737-748.
- Cheng, T., Migliaccio, G., Teizer, J., and Gatti, U. (2013). Data Fusion of Real-Time Location Sensing and Physiological Status Monitoring for Ergonomics Analysis of Construction Workers. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(3), 320-335.
- Chi, S., and Caldas, C. H. (2011). Automated Object Identification Using Optical Video Cameras on Construction Sites. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26(5), 368-380.
- CPWR. (2013). *The Construction Chart Book*. The Center for Construction Research and Training.
- Escorcía, V., Dávila, M., Golparvar-Fard, M., and Niebles, J. (2012). Automated Vision-Based Recognition of Construction Worker Actions for Building Interior Construction Operations Using RGBD Cameras. *Construction Research Congress 2012*, American Society of Civil Engineers, 879-888.
- Gatti, U., Migliaccio, G., and Schneider, S. (n.d.). Wearable Physiological Status Monitors for Measuring and Evaluating Workers Physical Strain: Preliminary Validation. *Computing in Civil Engineering* (2011), American Society of Civil Engineers, 194-201.
- Han, S., Lee, S., and Peña-Mora, F. (2013). Comparative Study of Motion Features for Similarity-Based Modeling and Classification of Unsafe Actions in Construction. *Journal of Computing in Civil Engineering*, Accepted
- Han, S., and Lee, S. (2013). A vision-based motion capture and recognition framework for behavior-based safety management. *Automation in Construction*, 35, 131-141.
- Houtan, J., Ahn, C. R., and Stentz, T. (2014). The Validation of Gait-Stability Metrics to Assess Construction Workers Fall Risk. *Proceedings of International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCBE 2014)*, Orlando, FL, 23 -25 June 2014. University of Florida.
- Joshua, L., and Varghese, K. (2011). Accelerometer-Based Activity Recognition in Construction. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(5), 370-379.
- Marks, E., and Teizer, J. (2013). Evaluation of the Position and Orientation of (Semi-) Passive RFID Tags for the Potential Application in Ground Worker Proximity Detection and Alert Devices in Safer Construction Equipment Operation. *Computing in Civil Engineering* (2013), American Society of Civil Engineers, 645-652.
- NSC. (2012). *Injury Facts*. National Safety Council.
- Pradhananga, N., and Teizer, J. (2013). Automatic spatio-temporal analysis of construction site equipment operations using GPS data. *Automation in Construction*, 29, 107-122.
- Razavi, S. N., and Haas, C. T. (2010). Multisensor data fusion for on-site materials tracking in construction. *Automation in Construction*, 19(8), 1037 -1046.
- Ray, S. J., and Teizer, J. (2012). Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), 439 -455.
- Taneja, S., Akcamete, A., Akinci, B., Garrett, J. H., East, E. W., and Soibelman, L. (2010). Analysis of three indoor localization technologies to support facility management field activities. In *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Nottingham, UK.
- Torrent, D., and Caldas, C. (2009). Methodology for Automating the Identification and Localization of Construction Components on Industrial Projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(1), 3 -13.
- Waehrer, G. M., Dong, X. S., Miller, T., Haile, E., and Men, Y. (2007). Costs of occupational injuries in construction in the United States. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1258 -1266.
- Wu, W., Yang, H., Chew, D. A. S., Yang, S., Gibb, A. G. F., and Li, Q. (2010). Towards an autonomous real-time tracking system of near-miss accidents on construction sites. *Automation in Construction*, 19(2), 134 -141.
- Yang, K., Aria, S., Ahn, C. R., and Stentz, T. (2014). Automated detection of near-miss fall incidents in iron workers using inertial measurement units. *Construction Research Congress*.