

# 레이저 스캐너과 홀로렌즈를 이용한 철근 배근 검사 애플리케이션 개발

## Development Of A Rebar Spacing Inspection Application Using Laser Scanning And HoloLens

이영주<sup>1)</sup>

Lee, Yeongjoo,

김예슬<sup>2)</sup>

Kim, Yeseul,

김민구<sup>3)</sup>

Kim, Minkoo

### 요약

건설 현장에서 철근 공사는 비용적인 측면과 건물의 안정성 및 내구성 측면에서 큰 비중을 차지한다. 하지만 철근공사는 숙련공의 경험에 의해 수행되고 있으며 그로 인해 시간적인 측면과 결과적인 측면에서 효율성이 떨어진다. 따라서 이러한 문제를 보완하기 위해 본 연구는 레이저 스캐너와 AR 기기(Hololens), 두 가지 기술을 결합하여 작업시간 단축 및 체계화 방법론을 개발하고, 이 방법론을 따르는 AR 애플리케이션을 개발하였다. 24명의 사용자를 대상으로 오류식별률, 신속성, 인지 부하 및 주변 상황인식 정도를 측정하여 도면 검사법과 비교 분석하였다. 실험 결과, 신속성은 홀로렌즈 검사가 우수한 것으로 나타났으나 오류식별률, 인지 부하 및 주변 상황인식 정도는 두 그룹 간에 큰 차이가 발생하지 않았다. 따라서 건설현장에 AR기반검사 활용도를 높이기 위해 인지부하 및 주변상황인식 정도를 향상시키는 기술 개발이 필요하다.

키워드: 레이저 스캐너, 홀로렌즈, 철근 배근 검사, AR

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 중요성

건축 분야에서 3D 모델을 표현하기 위해 BIM 기법에 가상현실 기술이 도입되고 있다. 하지만 가상현실 기술은 건설 현장의 현장감을 저하시킨다는 문제점이 있어 최근에는 증강현실 기술이 도입되고 있다. 증강현실 기술은 현장감을 고려한 시공성 검증에서 활용성이 기대되고 있는 기술이다. 이는 건물 정보 데이터베이스 시각화 및 철근 물량산출에 대한 연구에 적용되었고, 최근에는 철근 배근검사에 적용하기 위한 연구가 진행 중이다. (김선영, 2013).

철근 공사는 철근콘크리트 구조물의 안전성과 내구성 측면에서 중요하다. 또한 철근콘크리트 공사비의 약 30%를 차지할 정도로 원가 측면에서도 매우 중요하다고 할 수 있다 (조훈희, 1996). 그럼에도 불구하고 철근공사는 철근 작업공의 경험에 의해 수행되고 있으며 이는 배근 오류 및 철근 누락을 초래하기도 한다. 또한 철근 공사에 대한 설문조사에 따르면 배근도가 복잡하여 철근 작업공이 이해하기 어렵다는 의견이 많았으며, 철근 배근 검사단계에 소요되는 시간이 90분을 초과한다는 의견이 90%를 차지하였다 (박우열, 2018). 실제 건설 현장에서 철근 배근 검사는 철근 작업공의 경험과 배근도에 대한 이해도에 따라 검사 소요시간에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

따라서 철근 공사는 비용적인 측면과 안전적인 측면에서 매우 중요하다. 하지만 이는 철근 작업공의 경험과 이해도에 따라 시간 및 질이 달라질 수 있으며 철근 배근도의 복잡성으로 인해 철근 배근 검사 단계에서의 시간 소요가 크다는 문제점이 있다. 이는 긴 검사 소요시간과 경험 및 이해도에 따라 달라지는 검사의 질을 보완한다면 철근 배근 검사의 체계적인 진행이 가능하게 될 것이라고 사료된다.

### 1.2 연구의 목적 및 범위

철근공사는 숙련공의 경험에 의해 수행되고 있으며 그로 인해 시간적인 측면과 결과적인 측면에서 효율성이 떨어진다. 따라서 이러한 문제를 보완하기 위해 본 연구는 레이저 스캐너와 AR 기기(홀로렌즈), 두 가지 기술을 결합하여 작업시간 단축 및 체계화 방법론을 개발하고, 방법론을 따르는 AR 애플리케이션을 개발한다. 또한 AR 애플리케이션의 건설 현장 적용 가능성을 확인하기 위해 실험을 진행한다.

본 연구에 대한 실험은 전공을 통해 철근 배근 관련 지식을 습득한 건축공학과 학부생을 대상으로 진행한다. 철근 시험체는 가로 1200mm, 세로 600mm 크기이며 연구동 실내 검측으로 진행한다. 검측 후 인지부하와 상황인식 정도에 대해 알아보기 위하여 NASA-TLX와 SART 설문지를 사용한다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1 AR 건설 산업 적용사례

AR은 가상의 정보를 현실 세계에 덧입혀 현실감을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점으로 AR은 교육, 게임, 건축, 관광, 제조 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

4차 산업이 건설 분야에 적용되기 시작한지는 오래되지 않았다. 현재 건설업계에서 AR 및 다양한 스마트 기기를 활용하는 방안을 적용 중이다. 스마트폰을 활용하여 AR 현장 시뮬레이터라는 시공환경의 사전 점검과 작업계획 수립 및 지시를 위한 시뮬레이션 Tool을 개발 중이다(김성민, 2019). 일본에서는 AR 기술을 활용하여 교량의 하부 판 콘크리트의 표면을 빼르고 쉽게 처리하는 기술을 발표하였고 AR 기술을 활용한 터널 유지 관리 시스템을 개발하였다(조재용, 2018). 중국에서는 BIM과 결합하여 공사 부지의 대지를 드론과 같은 장비로 촬영 후 3D화 시켜 건축물의 부조합적인 부분 혹은 잘못 계획된 부분을 확인하는 용도로 사용되고 있다 (이주남, 2019).

1) 학생회원, 충북대학교 건축공학과 학사과정, magalet35@gmail.com

2) 비회원, 충북대학교 건축공학과 학사과정, tmf0516@naver.com

3) 정회원, 충북대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), jeokim@chungbuk.ac.kr

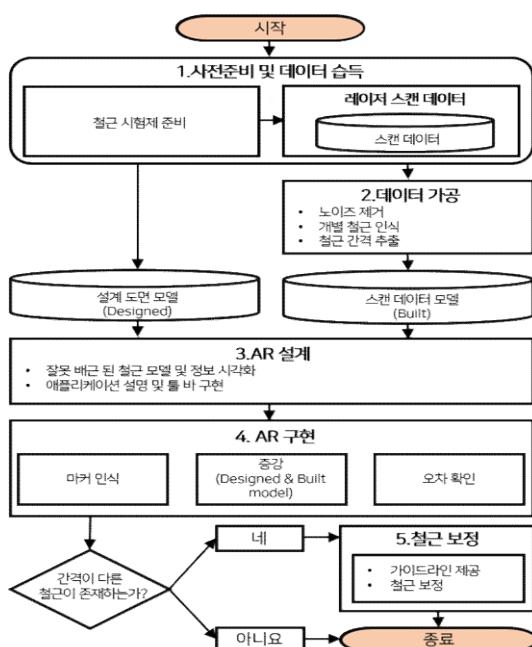
## 2.2 철근 배근 검사 및 AR 선행연구 사례

Lamsal(2019)는 생산성을 높이기 위해 Vuforia 및 AR 마커를 사용하여 태블릿으로 MAR에 적용할 수 있는 AR 시스템을 개발하였다. Min-Koo Kim(2020)은 체크리스트를 자동으로 평가하고, DQA의 정확도와 DQA 결과에 영향을 미치는 요인에 대한 분석을 수행하는 TLS 기반 기술을 개발하였다. H.-L. Chi(2022)은 AR기기(태블릿)와 레이저 스캐닝 기술을 융합한 철근 검사 방법론을 개발하였다. Alsafouri(2019)는 설계 및 시공성 검토에서 웨어러블 및 핸드기기 MAR 시스템의 타당성을 조사하여 둘 다 사용자가 의사 결정, 문제 해결을 용이하게 한다는 것을 발견하였다. Abbas(2020) 철근 검사 작업 중 모바일 증강 현실 시스템이 인지 행동 및 성능에 미치는 영향에 대해 조사하였으며 정보 표시가 건설 실무자의 인지 작업량과 성능에 영향을 미칠 수 있다는 것을 발견하였다.

선행연구에서는 AR 중 핸드기기에 대한 연구가 진행되었으며 검증단계까지의 방법론이 개발되었다. 따라서 본 연구에서는 AR 중 두 손이 자유로운 헤드기기(Hololens)를 사용하여 연구를 진행하며, 더 나아가 보정단계까지의 방법론을 개발하는 것을 목표로 한다.

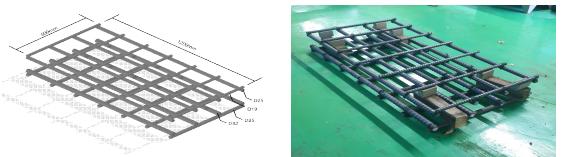
## 3. 연구 절차

### 3.1 연구 전반적 흐름



## 3.2 연구 절차 상세

### 3.2.1 사전 준비 및 데이터 습득



(가) Designed 모델

(나) 철근 시험체

그림 2. 철근 모델

〈그림 2〉는 Designed 모델 및 철근 시험체이다. 가로 1200mm, 세로 600mm인 철근 시험체를 준비한다. 모든 철근의 간격은 200mm이며 상부 세로철근 D19, 가로철근 D25이며 하부 세로철근 D25, 가로철근 D32이다. 철근 데이터는 레이저 스캐너로 철근 시험체를 스캔하여 습득한다.

### 3.2.2 데이터 가공

Min-Koo Kim(2020)은 거푸집 및 철근 DQA기법의 작업 흐름을 제안하였다. 이에 따라 본 연구에서도 위 논문의 방법론을 참고하여 진행하였다. 먼저, 레이저 스캐너를 통해 획득한 원시 스캔 데이터의 배경데이터 및 노이즈를 제거한다. 배경데이터 및 노이즈를 제거한 데이터에서 개별철근을 추출한다. 마지막으로 개별철근 데이터에서 철근 간격을 추출한다.

각 단계에 대한 자세한 내용은 다음과 같다. 1) 노이즈 제거 단계는 원시 데이터에서 배경데이터와 노이즈를 제거하는 것을 목표로 한다. 배경데이터를 제거하기 위해 Otsu의 임계값 정리를 사용하여 Z축을 기준으로 클래스 내 분산의 최대값 또는 최대 피크를 구한다 (N. Otsu, 1979). 분산을 이용해 임계값을 구한 후, 배경 스캔 데이터는 Z좌표에서 아래 부분에 위치한다는 사실에 기반하여 임계값을 기준으로 배경 데이터를 분할 및 제거한다. 노이즈를 제거하기 위해 DBSCAN, 밀도기반 함수를 사용하여 스캔 데이터를 주기적으로 정리한다 (Li Ma, 2015). 2) 개별 철근 인식단계는 전 처리된 데이터를 이용하여 개별 철근 데이터를 추출하는 것을 목표로 한다. 상부 하부 철근은 모두 평행하다는 가정에 따라 스캔 데이터를 XY평면에 투영시킨다. 철근은 직선이라는 가정에 따라 철근의 길이와 지름을 반영하여 Inpolygon이라는 함수를 사용해 영역을 만든다. 모든 스캔 데이터에 Inpolygon함수를 반복 실행한 후 철근의 위치에 가장 정확한 영역을 찾아 데이터를 추출하여 따로 저장한다. 모든 개별 철근 데이터를 찾을 때까지 이 함수를 반복 실행한다. 3) 철근 간격 추출단계는 Built 모델을 생성하기 위한 철근 간격 추출을 목표로 한다. 철근 간격 추출을 위해 중심선을 먼저 추출한 후 중심선을 기준으로 인접한 두 철근 사이의 거리를 계산한다.

### 3.2.3 AR 설계

AR 설계 단계에서는 잘못 배근 된 철근 모델과 정보를 시각화하고 애플리케이션 설명 및 툴 바를 구현한다. AR(홀로렌즈) 애플리케이션 개발을 위해 Unity게임 엔진의 MRTK-Tool을 활용하였다.

잘못 배근 된 철근 모델 및 정보 시각화 단계의 세부사항은 다음과 같다. 1) 도면으로 Designed 3D 모델을 생성하고 가공된 스캔 데이터를 받아와 Built 3D모델을 생성한다. 가공된 스캔 데이터값은 EXCEL로, 두 개의 3D 모델은 FBX파일로 변환하여 UNITY에 적용

한다. 2) 두 개의 3D 모델 철근에다가 스캔데이터의 철근 정보를 1 대 1로 매칭한다. 3) 데이터 가공을 통해 추출한 철근 간격을 도면과 비교하여, 도면과 다른 간격인 철근을 찾는 스크립트를 작성한다. 도면과 다른 간격인 철근은 3D 모델에 매칭되어 Built 모델에서 잘못 배근 된 철근의 위치가 되고 Designed 모델에서는 잘못 배근 된 철근의 도면상의 위치가 된다. 4) Built와 Designed 모델에서 잘못 배근 된 철근의 색상 변경 및 정보를 플롯한다. Built 모델에서는 붉은색으로, Desinged 모델에서는 초록색으로 변경해 철근을 구분한다. 색상이 변한 철근의 정보를 스캔 데이터값을 활용하여 잘못 배근 된 철근의 이름, 옮겨야 하는 간격을 UI에 시각화한다. 애플리케이션 설명 및 툴 바 구현단계는 사용자의 이해를 돋는 것을 목표로 한다. 이 단계에서는 사용방법, 검사진행 순서, 다음단계 버튼, 종료버튼 등을 구현하였다.

### 3.2.4 AR 디스플레이 구현



그림 3. 마커

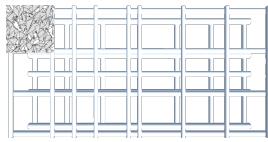


그림 4. 마커 위치

AR 디스플레이 증강 단계에서는 헤드마운트 디스플레이의 카메라가〈그림 3〉의 마커를 인식하고 3D모델을 증강한다. 철근의 특성상 특징점 추출이 어려워 마커 기반을 사용하게 되었다. 마커 기반 증강을 하기 위해 Vuforia SDK를 활용하였다. 〈그림 4〉은 철근 위의 마커가 설정된 위치를 보여준다. 정확한 증강을 위해서는 설정한 마커의 위치와 같아야 한다. 마커의 크기는 220mm x 220mm로 설정하였다. 오류를 식별하기 위해 Designed 모델과 Built 모델을 겹쳐 증강 시킨다.

### 3.2.5 철근 보정

잘못 배근 된 철근을 보정하기 위해 간격 정보와 오류 철근 정보를 UI를 통해 보여주며 Designed 모델과 Built 모델을 실제 철근 위에 겹쳐 증강 시킨다. 보정이 필요한 철근의 색상은 붉은색으로 그 철근의 도면상의 위치는 초록색으로 표시해 보정 가이드라인을 제시한다.

## 4. 검증 및 결과

### 4.1 실험 방법

본 연구의 목적을 검증하기 위해 도면검사와 헤드마운트 디스플레이 검사 두 그룹으로 나눠 실험을 진행하였으며 그룹 당 12명의 건축공학과 학부생들로 구성하였다. 실험은 연구동에서 진행하였으며 실험에 앞서 실험 절차 및 방법 그리고 설문에 대해 간략한 교육을 진행하고 실험자들에게는 잘못 배근 된 철근을 찾고 철근 보정을 요청하였다. 실험 시작과 동시에 시간을 측정하였으며 오류식별률을 측정하기 위해 도면그룹은 잘못 배근 된 철근을 도면에 표시하도록 하고 AR 그룹은 잘못 배근 된 철근의 번호를 언급하도록 하였다. 실험이 끝난 후 인지 부하와 상황인식 정도를 판단하기 위해 NASA-TLX 설문지(5항목, 100점 척도)와 SART설문지(10항목, 7점 척도)를 배부하여 설문을 요청하였다.

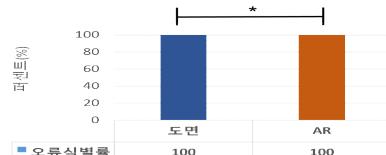
## 4.2 실험 결과

데이터 분석 전, 표본값이 30을 넘지 않아 Shapiro-Wilks test로 데이터 정규성 검사를 진행하였으며 그 결과 정규성을 보였다. 다음으로 T검정을 진행하여 두 그룹 간 결과값에 유의한 차이가 있는지 평가하였다. T검정에 의해 생성된  $p$ 값이 유의수준(0.05)보다 작으면 두 데이터 값 사이에는 유의하다고 보았다.

### 4.2.1 실험 시간 및 오류식별률



\* = 유의하지 않다. ( $p > 0.05$ ), \*\* = 유의하다. ( $p < 0.05$ )  
그림 5. 실험 시간



\* = 유의하지 않다. ( $p > 0.05$ ), \*\* = 유의하다. ( $p < 0.05$ )  
그림 6. 오류식별률

〈그림 5〉는 실험 시간을 비교한 것이다. 도면검사 그룹의 검사 완료 평균 시간은 216.03초이며 헤드마운트 디스플레이 검사 그룹의 검사 완료 평균 시간은 152.08초로 이 값은 유의하다 ( $p < 0.05$ ). 시험체가 실제 건설 현장의 규모와 다르기 때문에 더 큰 규모의 철근으로 실험할 경우, 시간은 시험체의 규모에 따라 증가할 것이라고 판단된다. 〈그림 6〉은 오류식별률을 비교한 것이다. 오류식별률은 두 그룹 모두 100%이며 유의하지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 이는 시험체 규모가 작고 잘못 배근 된 철근의 개수가 적기 때문이라고 판단된다.

### 4.2.2 NASA-TLX 결과값

#### 표 1. NASA-TLX 결과값

목차	도면 평균(표준편차)	헤드마운트 평균(표준편차)	p
정신적 부하	27.08(6.9)	17.5(4.3)	0.25*
육체적 부하	37.5(7.47)	41.67(9.3)	0.73*
노력	46.25(8.7)	51.25(7)	0.66*
성취도	43.75(11.69)	20.42(5.34)	0.08*
좌절수준	30(8.165)	26.67(6.77)	0.75*
총 인지부하	184.58(27.25)	157.50(16.19)	0.25*

\* = 유의하지 않다. ( $p > 0.05$ ), \*\* = 유의하다 ( $p < 0.05$ )

〈표 1〉은 NASA-TLX 결과값이다. NASA-TLX는 AR기기(헤드마운트 디스플레이)가 실험 참가자에게 미치는 영향을 알아보기 위하여 진행하였다. 그 결과 도면 검사 그룹과 비교했을 때 모든 값에서 유의하지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 하지만 상대적으로 정신적 부하와 성취도 항목에서 도면검사보다 낮은 값을 가졌다(성취도가 낮을수록 사용자가 완벽하게 했음을 의미한다.). 이는 헤드마운트 디스플레이에 실험 순서에 대한 자세한 설명 때문이라고 판단된다. 또한 총 인지 부하의 평균값은 도면 검사 그룹의 평균값보다 낮다. 이는 헤드마운트 디스플레이 검사가 도면 검사보다 인지부하가 적은 것을 나타내지만, 이 차이는 유의하지 않다 ( $p > 0.05$ ).

#### 4.2.3 SART 결과값

표 2. SART 결과값

목차	도면 평균(표준편차)	홀로렌즈 평균(표준편차)	p
정보량(1)	4.58(0.417)	4.58(0.609)	1*
정보의 품질(2)	5.58(0.499)	5.58(0.358)	1*
친숙도(3)	2.08(0.336)	2.92(0.468)	0.162*
불안정한 상황(4)	2.25(0.411)	4.42(0.609)	0.007**
상황의 기변성(5)	2.42(0.398)	2.92(0.529)	0.458*
상황의 복잡성(6)	3.33(0.632)	2(0.326)	0.073*
준비정도(7)	5.25(0.538)	5.92(0.417)	0.338*
정신적여유(8)	4.33(0.512)	4.67(0.632)	0.685*
주의집중력(9)	6.17(0.241)	5.17(0.458)	0.066*
주의의분할(10)	4.75(0.538)	4.58(0.543)	0.829*
U(1+2+3)	12.25(0.653)	13.08(0.941)	0.491*
D(4+5+6)	8(0.985)	9.33(1.025)	0.358*
S(7+8+9+10)	20.5(1.617)	20.33(1.333)	0.937*
SA(U-(D-S))	24.75(2.078)	24.08(2.621)	0.843*

\* = 유의하지 않다. ( $p > 0.05$ ), \*\* = 유의하다 ( $p < 0.05$ )

<표 2>는 SART 결과값이다. SART는 주변에서 일어나고 있는 상황에 대해 파악하는 정도를 평가하는 방법이다. 불안정한 상황은 실험하는 동안 주변 상황으로 인해 현재 상황이 바뀔 수 있는 가능성에 대한 것이며 유의하였다 ( $p<0.05$ ). 하지만 이는 도면 검사 그룹보다 높은 값을 가지며 실험 환경이 공사 현장이 아닌 점을 고려한다면 이 값은 현장에 적용할 경우 더 증가할 것이라고 판단된다. 이 외의 모든 값은 유의하지 않았다 ( $p>0.05$ ). 하지만 상황의 복잡성과 주의집중력은 도면 검사보다 낮은 값이 나왔다.

U는 이해도로 정보량, 정보의 품질, 친숙도의 평균값을 합산한 값이다. D는 주의력 요구사항으로 불안정한 상황, 상황의 기변성, 상황의 복잡성의 평균값을 합산한 값이다. S는 주의력 공급사항으로 준비정도, 정신적 여유, 주의 집중력, 주의의 분할의 평균값을 합산한 값이다. 총 SA값은 U-(D-S)로 종이 기반 검사 그룹이 홀로렌즈 검사 그룹보다 높은 값을 보였지만 이는 유의한 결과값이라고 보기 힘들다 ( $p>0.05$ ). 홀로렌즈 착용 시, 현실과 증강된 물체간의 겹침 및 좁은 시야로 인해 홀로렌즈의 SA값이 낮을 것이라고 판단하였지만 홀로렌즈 검사와 도면 검사의 주변 상황인식 정도에 있어 큰 차이가 없다는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론 및 한계점

### 5.1 결론

건축 산업에서 IT 기술 및 건축 자동화 기술들이 도입되는 추세이며 철근 배근 검사 시 여러 문제점이 있어 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 AR을 활용하여 철근 배근 검사 애플리케이션을 개발하였다. 그러나 건설현장에서 AR을 사용하면 현장감이 저하로 인해 여러 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구는 철근 배근 검사 애플리케이션 개발과 사용자 상황인지 측정 및 인지 부하, 신속성 및 오류식별률에 대한 검증을 목표로 하였다.

실험 결과, 인지 부하와 주변 상황 인식에 있어 본 애플리케이션이 사용자에게 도면검사와 다른 것 없는 영향을 끼친다는 것을 확인하였다. 신속성 측면에서 홀로렌즈 검사가 도면검사 보다 약 1분 정도 빠른 검사 완료 시간을 보였다. 하지만 오류식별률에서는 별 차 이를 보이지 않았다. 따라서 건설 현장에서 AR 사용 시, 사용자의 인지 부하 및 상황인식 정도에 부정적인 영향이 없을 것이라고 판

단되고 시간적인 측면에서 긍정적인 효과를 가져 올 것이라고 판단된다. 이를 통해 건설 현장에서 AR기술의 적용과 더 나은 활용을 기대한다.

### 4.2 한계점 및 추후 연구방향

본 연구는 다음과 같은 한계점이 존재한다. 1) 실험은 실제 건설 현장이 아닌 연구동에서 진행되었기 때문에 인지 부하 및 상황 인식에 대한 결과값의 신뢰성이 떨어진다. 2) 오류식별률에서 그룹간의 차이가 발견되지 않았다. 이는 시험체의 규모가 실제 현장과 다르기 때문이라고 판단된다. 이와 같은 한계점을 보완하기 위해서 추후 건설 현장에서 직접 적용해보는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 김선영, 김현승, 문현석, 강인석 (2013). “마커방식 증강현실기법의 건설 현장 적용성 연구”, 대한토목학회논문집 22.6. : 2509-2518.
- 김성민 (2019). "대우건설 AR 활용 사례.", 한국BIM학회 학술대회 논문집 2019.- : 1-10.
- 박우열 (2018). “증강현실을 활용한 배근 이력 가시화 방안에 관한 기초적 연구”, 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 18.2. : 126-127.
- 이주남, 김인한, 최중식, JINJIN (2019). “중국 건설산업의 BIM 데이터 활용 및 시각화에 대한 사례 연구.”, 한국CDE학회 논문집 24(4),402-410.
- 조훈희, 강경인 (1996). “국내 철근가공 공사의 실태에 관한 연구”, 대한 건축학회 학술발표대회 논문집 16.2. : 771-773.
- Abbas Ali,Seo JoonOh,Kim MinKoo. "Impact of Mobile Augmented Reality System on Cognitive Behavior and Performance during Rebar Inspection Tasks" Journal of computing in civil engineering : 04020050-040200.
- Alsaifouri, S., and S. K. Ayer. 2019. "Mobile augmented reality to influencedesign and constructability review sessions." J. Archit. Eng. 25 (3):1- 11.
- H.-L. Chi, M.-K. Kim, K.-Z. Liu, J.P.P. Thedja, J. Seo, D.-E. Lee, Rebar inspection integrating augmented reality and laser scanning, Automation in Construction, Volume 136, (2022), 104183
- Jo Jae-Yong, Deng Nisi, and Wagawa Masaaki(2018). "일본 건설현장에 다가오는 VR·AR·MR기술.", 한국건설관리학회 논문집 19.2 : 49-55.
- K. Han, J. Gwak, M. Golparvar-Fard, K. Saidi, G. Cheok, M. Franaszek, R. Lipman, Vision-based field inspection of concrete reinforcing bars, 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, London, UK. Oct. 30-31, (2013), pp. 272 – 281.
- Kim Min-Koo, Thedja Julian Pratama Putra, Wang Qian. "Automated dimensional quality assessment for formwork and rebar of reinforced concrete components using 3D point cloud data" Automation in construction
- Lamsal, B., and K. Kunichika. 2019. "Development of an AR system for the advancement of the tasks in the construction sites." In Proc., Creative Construction Conf., 830 – 835. Budapest, Hungary: Diamond Congress
- Li Ma,Lei Gu,Bo Li,Shouyi Qiao, and Jin Wang. "MRG-DBSCAN: An Improved DBSCAN Clustering Method Based on Map Reduce and Grid." International Journal of Database Theory and Application 8.2 (2015): 119-128.
- N. Otsu, A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 9 (1) (1979) 62 – 66