

건설장비 AR 네비게이터 개발을 위한 작업-시각정보 맵 도출

송수진¹ · 강호준¹ · 김한빈¹ · 문태남¹ · 신도형*

¹인하대학교 토목공학과

Task-Visual Information Map to Develop AR Navigators of Construction Equipment

Song, Sujin¹, Kang, Hojun¹, Kim, Hanbeen¹, Moon, Taenam¹, Shin, Do Hyoung*

¹Department of Civil Engineering, Inha University

Abstract : Work efficiency of earth work which is one of the main works occurring in construction site mainly depends on the performance of individual operators of earth work equipment. Consequently, the skill of individual operators of earth work equipment can significantly affect overall construction schedules. Many invisible areas inevitably exist in construction site because of the nature of construction site where occlusions occur from structures being built, installed or moving equipment, moving workers, etc. The lack of visual information regarding tasks critically impedes the effective performance of operators of earth work equipment. AR (Augmented Reality) is a computer technology that superimposes virtual objects onto the real world scene. This characteristic of AR may address the lack of visual informations in earth work process, thus helping to improve the work efficiency of operators of earth work equipment. The purpose of this study is to present a task-visual information map that identifies visual informations required in tasks of earth work and which of the tasks are suitable for AR technology. This study focuses on visual informations in tasks of earth work with excavators. The map was created based on the investigations on the problems of each task of earth work with excavators and visual informations required to address the problems. Through the map, four visual informations were found to be suitable for AR technology to improve the work efficiency of excavator operators. Based on the findings of this study, AR systems for excavators can be developed more effectively.

Keywords : Augmented Reality, Visual information, Excavator, Earth work

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설산업은 일반산업의 제조공정이 공장에서 수행되는데 반하여 건설현장에서 작업이 수행된다는 특징을 갖는다. 일반산업에서는 공장 내부의 기계와 장비에 의해 자동화가 이뤄진 반면에 건설산업에서는 건설장비와 그것을 운용하는 개별 작업자에 의해서 건설공사가 수행된다(Lee et al. 2011). 토공 건설장비는 개별 작업자에 의해 운용됨에 따라 각 작업자의 경험과 직관적인 판단에 의해 작업 효율이 달라질 수 있다. 이렇듯 건설장비가 활용되는 작업에서는 장비운전의 숙련도가 작업 효율에 큰 영향을 미치는데 반하여, 숙련된 장비

운전자는 갈수록 부족해질 것으로 예상된다(Jin et al. 2009). 따라서 건설장비의 작업 효율을 높이기 위해서는 운전자의 숙련도에 보다 독립적일 수 있는 건설장비의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

건설장비의 효율적 운용을 저해하는 요인들 중 하나가 바로 작업 현장의 비가시성이다. 건설 작업 현장에는 작업의 특성상 작업 지형 및 지장물 등으로 인한 비가시 영역이 존재하며 특히 건설용 중장비를 조작할 시에는 크기 등 장비의 제원적 특성으로 인해 운전자의 시각적 인지영역이 크게 감소한다는 특징이 있다. 지금까지는 일반적으로 장비 운전자의 경험과 직관적 판단에 의존하여 이러한 시각적 인지의 제한을 극복하여 왔지만, 여전히 장비의 작업 효율에 장애가 되고 있다.

AR (Augmented Reality, 증강현실)은 이러한 비가시 영역에 시각적 정보를 실시간으로 중첩하여 보여줄 수 있는 기술로서 비가시 영역이 많은 건설현장에서의 잠재적인 효용성이 높은 것으로 판단된다. AR이 특히 상업적으로 성공한 분야는 방송중계 분야이며 미국의 Sportvision사가 대표적인 사례이다. 실제 경기가 펼쳐지고 있는 스포츠 영상 위에 필요한 정

* Corresponding author: Shin, Do Hyoung, Department of Civil Engineering, Inha University, 100, Inha-ro, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea
E-mail: dshin@inha.ac.kr
Received January 10, 2016; revised April 6, 2016
accepted April 21, 2016

보를 간단한 선과 면 등의 가상물체로 표현하여 실시간 중첩하는 기술은 MLB, NBA, PGA, LPGA 등 다양한 스포츠 분야에 이미 상용화되어 있다(Jung and Youn 2013). 최근에는 Google사가 Google Glass에 AR을 도입하는 등, IT 업계에서는 AR의 적용이 가속화 되고 있는 실정이다. 건설 분야에서도 AR의 적용에 관한 연구가 진행되어 왔으나 대부분 연구단계에 머물고 있으며, 아직 현장에 본격적으로 도입된 사례는 없다.

본 연구는 건설장비를 위한 AR 시스템 개발을 위해 AR 기술을 적용하기에 적합한 작업에 대하여 조사하고 파악하는 것을 목적으로 하며, 일반적으로 사용되는 토공장비인 굴삭기의 작업에 초점을 두었다. 한편 Goodhue and Thompson(1995)은 정보기술(Information Technology: IT)이 특정한 작업의 수행 능력에 긍정적인 영향을 미치는 과정을 설명한 Technology-to-Performance 모델을 Fig. 1과 같이 제시하였다. 이를 통하여 IT 기술이 실제로 활용되기 위해서는 해당 IT 기술과 그 기술을 적용하는 작업간의 적합성, 즉 Task-Technology Fit (TTF)이 높아야 함을 주장하였다. TTF에 기반을 두고 보았을 때 건설 작업에 효과적으로 활용할 수 있는 AR 시스템을 개발하기 위해서는 시스템이 적용되는 작업에 대한 AR의 기술적합성이 명확해야 할 것이다.

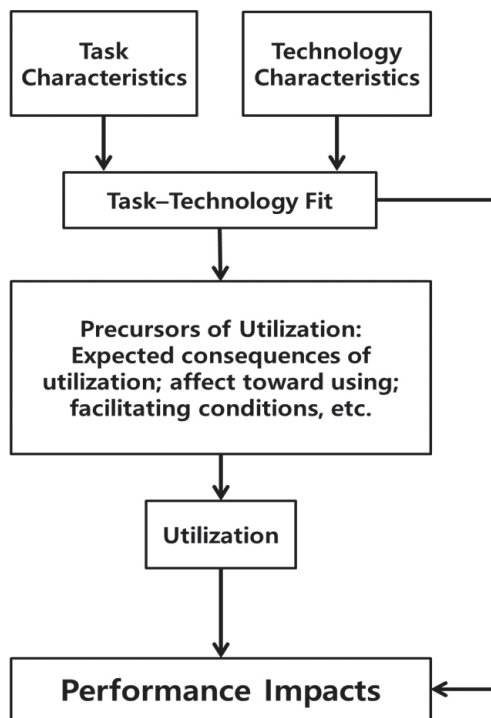


Fig. 1. Technology to Performance (Goodhue and Thompson 1995)

AR과 같이 시각정보에 관련된 IT 기술의 측면에서 보면 기술과 개별 작업의 적합성은 개별 작업이 필요로 하는 시각정보를 필요한 형태로 제공해줄 경우에 극대화된다. 이를 위해

서는 작업에 대한 정의와 작업별로 필요한 시각정보의 파악이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 건설장비의 작업분류와 함께 시각정보 측면에서 각 작업별 문제점을 파악하고 AR 기술의 적용이 필요한 부분을 도출하고자 한다. 결과적으로 건설장비의 작업에 대한 AR의 기술적합성은 작업-시각정보 맵의 형태로 제시되며, 이를 바탕으로 보다 실질적인 효과를 가진 AR 시스템의 개발이 가능해질 것으로 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 토공사 수행에 있어서 사용빈도가 가장 높은 토공 건설장비를 연구 대상으로 하여 추후 AR 기술의 활용성을 높이고자 한다. 토공사는 짧은 시간에 다종의 건설장비가 투입된다는 특징을 가지고 있다(Won et al. 2007). 대한건설기계협회의 국내 건설기계등록현황 자료를 살펴보면 건설기계등록대수는 2015년 3월 31일 기준으로 총 434,272대이다. 이 중 가장 많이 사용되는 대표적인 토공장비들을 비교해보면 총 등록대수는 굴삭기(30.96%), 덤프트럭(12.56%), 로더(4.8%), 불도저(0.9%) 순이다 (Fig. 2.). 즉, 굴삭기가 134,472대로 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다(대한건설기계협회 2015). 따라서 본 연구에서의 AR 적용 대상을 토공 건설장비 중 가장 많이 사용되는 장비인 굴삭기의 작업으로 한정한다.

연구방법으로는 문헌조사와 전문가 인터뷰가 수행되었다. 굴삭기는 토공사를 수행하는 건설장비이므로 문헌조사를 통하여 2절에서는 토공사의 일반적인 작업 분류를 살펴보고, 3절에서는 굴삭기의 특징을 반영한 굴삭기의 작업을 분류한 뒤 일반적인 토공사의 작업분류와 비교하였다. 4절에서는 이러한 굴삭기 작업 분류를 기반으로 총 8명의 전문가들을 대상으로 굴삭기 작업별 기존 방법의 문제점과 이를 위해 필요한 정보가 무엇인지, 이들을 고려했을 때 AR 기술적합성이 높은 작업이 무엇인지를 체계적이고 포괄적으로 제시하였다. 인터뷰 대상자는 토공 건설장비 운전자 4명(경력 3년 미만 1명, 10년 이상 3명), 공사관리자 1명(경력 15년 이상), 건설장비 전문 연구자 2명(경력 15년 이상), 차량용 AR 기술 전문 연구자 1명(경력 10년 이상)으로 구성되었다.

2. 토공사의 일반적인 작업 분류

토공사(Earthwork)란 건설공사의 기본이 되는 것으로 흙을 재료로 하여 구조물을 시공하거나 그 기반을 조성하는 작업이며 굴삭기, 도저, 로더 등 다양한 건설장비를 통해 수행된다(GB center 2010).

일반적인 토공사의 작업으로는 절토(흙 깎기, Cutting), 성토(흙 쌓기, Banking), 적재(흙 싣기, Loading), 정지(흙 다지기, Leveling), 운반(흙 나르기, Carrying)이 있다(Table

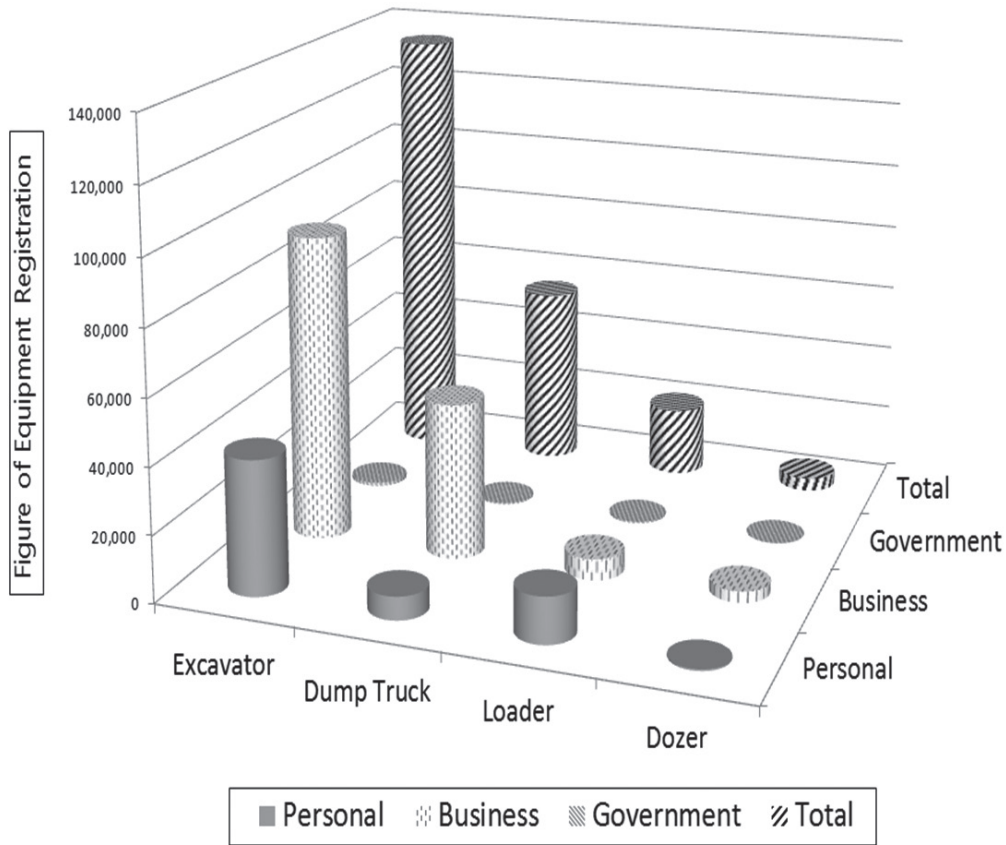


Fig. 2. Current registrations of main earth work equipment (Korea Construction Equipment Association 2015)

1). 이들 작업의 기준이 되는 토공의 끝손질 면을 시공기면 (Formation Level)이라 하고, 시공기면보다 높은 지반을 깎는 것을 절토작업, 낮은 지반을 메우는 것을 성토작업이라 한다. 절토작업과 성토작업 등의 수행은 상기 서술한 바와 같이 다양한 건설장비를 통해 수행되는데, 각각의 구조적 특징 및 운전의 특수성에 따라 그 방법이 상이하다는 특징이 있다. 예를 들어, 성토작업 수행을 위해 굴삭기는 버킷을 사용하고, 도저는 전면 블레이드를 사용한다. 이와 같이 건설현장의 상태에 따라 적절한 장비의 선택이 필요하다. 즉, 토공 건설장비는 각 건설장비의 구조적 특징에 기인하는 운전의 특수성에 따라 다양한 방법으로 작업을 수행한다. 따라서 특정 토공 건설장비의 작업 분류를 위해서는 각 건설장비의 구조적 특징 및 운전의 특수성에 대한 고려가 필요하다.

Table 1. Classification of general earthwork

Earthwork Type
Cutting Task
Banking Task
Loading Task
Leveling Task
Carrying Task

3. 굴삭기 작업 분류

토공 건설장비의 운전은 일반적인 운전장비와 달리 구조적 특징 및 운전의 특수성이 존재하며, 각 건설장비의 종류에 따라서 다양하고 특수한 형태의 작업이 존재한다. 본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 활용도를 고려하여 분석 작업의 대상 장비를 굴삭기로 제한하고 있다.

3.1 굴삭기의 구조적 특징 및 운전의 특수성

굴삭기 운전의 특수성은 굴삭기 구조에 기인한다. 굴삭기는 이동을 위한 하부 구동체와 굴삭 등의 시공 작업을 담당하는 상부 회전체로 구성된다. 이러한 구조적 특징으로 인해 하부 구동체를 중심으로 상부 회전체만 회전을 하는 굴삭기의 대표적인 특수 운전형태인 '선회'가 가능하다.

상부 회전체에는 운전석이 있으며 운전석에 가까운 순서로 굴삭기의 작업부인 붐(Boom), 암(Arm), 버킷(Bucket)이 존재한다. 붐은 운전석에서 가까운 팔 부분을 뜻하며, 운전석 기준으로 우측에 위치한다. 암은 붐과 버킷 사이의 부분을 의미하며, 암의 각도가 80~110°일 때 굴삭력이 제일 큰 것으로 알려져 있다. 버킷은 암과 연결되어 직접 작업을 하는 부분으로, 작업 특성에 따라 선택적인 교체가 용이한 구조로 되어

있다. 붐, 암, 버킷의 움직임과 선회를 통해서 하부 구동체의 움직임이 없는 경우에도 3차원 공간상 회전운동이 가능하게 된다. 또한 굴삭기는 조작 상태와 붐, 암, 버킷의 제원에 따른 다양한 작업반경이 존재하게 된다.

3.1.1 선회

굴삭기의 선회는 토공작업 과정에 수반되는 특수 운전형태로, 상부 회전체가 회전하는 것을 의미한다. 운전석 우측에는 붐이 존재하며 시야확보가 어렵기 때문에 좌측 선회가 원칙이며, 굴삭기 선회 시 상부 회전체 전면의 붐, 암, 버킷 등이 함께 선회하므로 주의가 필요하다. 특히 대형 굴삭기의 경우에는 상부 회전체 후면부가 하부 구동체 보다 넓은 면적을 차지하는 경우가 대다수이며 해당 부분으로 인해 사각지대가 형성되므로 선회 시에는 협착 등의 안전사고에 대비하기 위한 주의가 필요하다.

3.1.2 작업반경

굴삭기의 작업반경은 붐, 암, 버킷의 조작 상태에 따라 측정되는 제원으로서 작업자가 작업 가능 영역을 판단하는데 사용되는 정보이다. 작업반경 산출을 위해 필요한 주요 제원으로는 최대 굴삭반경, 최대 굴삭깊이, 최대 수직 굴삭깊이, 최대 굴삭높이, 최대 덤프높이, 최소 작업반경 등이 있다.

최대 굴삭반경은 암과 버킷을 최대로 펼쳤을 때의 반경으로 작업 중에는 이 반경 내로 작업원이 접근할 수 없도록 하는 것이 원칙이다. 최대 굴삭깊이는 암을 최대로 펼치고, 팔 길이가 가장 길게 되도록 버킷의 각도를 조정된 상태에서 붐을 최저점으로 내려 굴삭작업을 수행할 때 지면에서부터 도달 가능한 깊이를 뜻한다. 최대 수직 굴삭깊이는 암과 버킷을 최대로 펼친 상태에서 붐을 최저점으로 내려 굴삭작업을 수행할 때 지면에서부터 도달 가능한 깊이로서 최대 굴삭깊이 보다 팔길이는 짧으나 버킷을 최대로 펼친 상태라는 점에서 의미가 있다. 최대 굴삭높이는 암과 버킷을 최대로 펼친 상태에서 붐을 최고점으로 올려 굴삭작업을 수행할 때 지면으로부터의 높이이다. 최대 덤프높이는 붐과 암을 최대로 펼치고, 버킷을 최대한 오므렸을 때 지면으로부터의 높이로서 덤프트럭에 적재를 하기 위해서는 덤프의 높이가 굴삭기 최대 덤프높이 보다 낮은 상황이어야 한다. 최소 작업반경은 암과 버킷을 최대한 오므렸을 때의 반경을 의미한다.

상기 나열된 각각의 조작 상태에 따라 다양한 형태의 반경이 존재한다. 특히 최대 굴삭반경에서의 작업반경인 '최대 작업반경'은 굴삭기 운용 시 중요한 정보이다. 작업의 안전성과 효율성을 위해서는 최대 작업반경에 대한 운전자의 인식이 필요하지만 굴삭기 자체의 크기로 인한 사각지대, 작업환경에서의 소음 등으로 인해 정확한 작업반경의 인식이 쉽지 않은 실정이다. 이러한 최대 작업반경에 대한 인식의 부족은 안전사고 및 장비의 비효율적인 운용을 유발한다.

3.1.3 3차원 공간상 회전운동

3차원 공간에서의 모든 물체는 각 축을 중심으로 회전운동을 하며, 좌표계 (X, Y, Z)에 대해 X축 회전을 롤(Roll), Y축 회전을 피치(Pitch), Z축 회전을 요(Yaw)라고 한다. 굴삭기 또한 Fig. 3와 같은 3차원 회전운동이 발생한다. 굴삭기의 이동방향을 X축으로 놓았을 때, 그 축을 중심으로 회전하는 운동을 굴삭기의 롤링(Rolling)이라고 하며, 대표적으로 고지대에서 바람이 강하게 불 때 발생할 수 있다. 굴삭기의 이동방향을 X축으로 놓았을 때, Y축을 중심으로 회전하는 운동을 굴삭기의 피칭(Pitching)이라고 하며, 목표지점에 버킷을 깊이 박고 유압 기반의 강한 힘을 줄 때 반력에 의해 앞뒤로 흔들리며 발생한다. 굴삭기의 이동방향을 X축으로 놓았을 때, Z축을 중심으로 회전하는 운동을 굴삭기의 요잉(Yawing)이라고 하며, 굴삭기의 요잉은 일반적으로 잘 발생하지 않는다. 굴삭기는 건설용 중장비로서 그 크기가 매우 크고 붐, 암, 버킷의 특수 구조로 인해 롤링, 피칭으로 인한 전도의 위험성이 매우 높다. 굴삭기의 3가지 회전운동 중에서 특히 피칭은 굴삭기 운용 시 빈번하게 발생하며, 모든 작업을 수행함에 있어서 작업자는 굴삭기가 전도되지 않도록 특별히 주의할 필요가 있다.

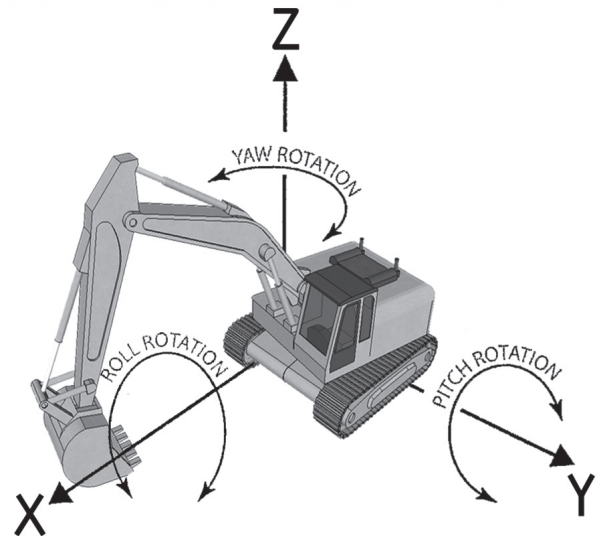


Fig. 3. 3-dimensional rotation exercise of excavator

위와 같이 굴삭기의 구조적 특징과 운전의 특수성을 검토한 결과, 굴삭기의 운용(Operation)형태를 하부 구동체 작동 위주의 이동(Relocation)과 상부 회전체 작동 위주의 시공(Work)으로 분류할 수 있다.

3.2 굴삭기의 작업

굴삭기의 운용 형태는 앞서 살펴본 바와 같이 크게 이동과 시공이라는 2가지 형태로 분류할 수 있으며, 굴삭기의 이동은 다시 주행작업(현장 간 이동작업, Driving Task)과 현장

내 이동작업(Moving Task)으로 나뉘고, 굴삭기의 시공은 굴삭작업(Excavating Task), 적재작업>Loading Task), 정지작업(Leveling Task)으로 나뉜다(Table 2).

Table 2. Operations and Tasks

Operations	Tasks
Relocation	Driving Task
	Moving Task
Work	Excavating Task
	Loading Task
	Leveling Task

3.2.1 굴삭기의 이동

굴삭기의 이동에 해당하는 주행작업과 현장 내 이동작업에 관한 내용은 다음과 같다.

1) 주행작업 : 굴삭기의 이동 중, 주행작업이란 일반적인 도로에서의 이동을 의미하며 전진과 코너링(Cornering)으로 구성된다. 일반도로에서의 후진은 도로법상 불법이므로 주행에 포함되지 않으며 도로에서 주행할 수 있는 굴삭기는 대체로 소형 굴삭기로 제한된다. 굴삭기의 주행은 현장 간 장거리 이동 시 발생하며 크롤러형(Crawler type)의 경우 주행속도 제한으로 인해 2km 이상 이동할 때에는 트레일러(Trailer)를 이용한다. 굴삭기가 전진할 때는 버킷과 암을 오므리고, 붐을 하강시킨 상태에서 주행하며 버킷을 지상으로부터 약 30~50cm 높이에 두고 주행한다. 이때 통상적으로 앞에 달린 작업판의 위치를 버킷 위치의 가이드로 삼는다. 굴삭기의 코너링은 기본적으로 일반 차량 운전과 같은 프로세스로 이루어진다.

2) 현장 내 이동작업 : 굴삭기의 이동 중, 현장 내 이동작업은 공사 현장 내에서의 이동을 의미하며 전진, 코너링, 후진으로 구성된다. 전진과 코너링의 경우 굴삭기 주행에서의 전진 및 코너링과 동일한 특징을 지닌다. 후진의 경우 안전을 위해 선회 후 전진으로 이동하는 것이 권장되지만 작업의 편의성 때문에 단순 후진이 빈번하게 수행된다.

3.2.2 굴삭기의 시공

굴삭기의 시공에 해당하는 굴삭작업, 적재작업, 정지작업에 관한 내용은 다음과 같다.

1) 굴삭작업 : 굴삭기는 버킷을 이용한 굴삭 행위를 통해 토공사의 절토작업 및 성토작업을 수행하며, 이를 굴삭기의 굴삭작업이라고 한다. 굴삭기가 굴삭을 하는 대상은 현장 지반 조건에 따라 암석지반이나 빙결된 지반 등 다양하게 존재하며 이를 버킷만으로 굴삭하는 것은 불가능하다. 따라서 굴삭작업을 위한 준비단계로서 버킷 대신 브레이커(Breaker)나 리퍼(Ripper) 등의 어태치먼트(Attachment)를 부착하여 파쇄(Breaking) 또는 리핑(Ripping)을 수행해야 하는 경우가 다

수 존재한다. 파쇄는 굴삭기에 버킷 대신 브레이커를 부착하여 암석이나, 콘크리트 및 기타 단단한 물질을 직접적으로 깨뜨리어 부수며 파괴하는 것을 의미한다. 리핑은 굴삭기에 버킷 대신 리퍼를 부착하여 단단한 토사, 빙결된 지반 등과 같은 작업장에서 토사, 쇳물 찌꺼기(Slug), 콘크리트 등의 단단한 표면을 긁어내며 파괴하는 것을 의미한다.

2) 적재작업 : 굴삭기는 버킷을 이용하고, 선회를 할 수 있다는 특징으로 인해 덤프트럭에 토사나 건설 자재를 싣는 적재작업이 가능하다. 작업 장소가 협소하거나 전도 위험이 큰 경우에는 굴삭기와 덤프트럭의 적절한 배치가 작업의 효율성 및 안전성과 직결된다.

3) 정지작업 : 정지작업은 기복이나 장애물이 있는 토지를 평탄하게 다듬는 것이다. 굴삭기 자체가 중장비이기 때문에 기본적으로 정지작업이 가능하지만 이것이 굴삭기의 주된 작업은 아니며, 굴삭기는 정지작업의 부차적인 수단으로 활용된다.

Table 1의 일반적인 토공사의 작업들에 굴삭기의 운용 형태인 이동과 시공에 속하는 작업들을 대응시켜보면, 굴삭기의 굴삭작업은 토공사의 절토작업과 성토작업에 해당함을 알 수 있다. 굴삭기의 적재작업과 정지작업은 토공사와 동일하게 존재하며, 정지작업의 경우에는 일반적인 토공사의 정지작업과 다르게 부차적인 수단으로 존재한다. 마지막으로 토공사의 운반작업에 해당되는 굴삭기 작업은 존재하지 않는다. 또한 굴삭기의 주행작업과 현장 간 이동작업은 일반적인 토공사에 대응되지 않는 작업들이다(Table 3).

본 연구에서는 실질적으로 일반적인 토공사의 작업에 대응되며, 주된 작업이 되는 굴삭기의 굴삭작업과 적재작업을 분석의 대상으로 한다. 굴삭기의 작업-시각정보 맵은 이러한 주요 작업의 기존 문제점과 이를 해결하기 위한 필요 시각정보를 파악함으로써 도출될 수 있다.

Table 3. Comparative table of tasks for general earthwork and excavator

Earthwork Type	Tasks of Excavator
Cutting Task	Excavating Task
Banking Task	
Loading Task	Loading Task
Leveling Task	Leveling Task (Negligible Task)
Carrying Task	None

4. 굴삭기의 작업별 문제점 및 필요 시각정보

앞 절에서 굴삭기의 주된 작업은 굴삭작업과 적재작업임이 확인되었으므로 본 연구에서의 분석 대상은 굴삭과 적재의 2 가지 작업으로 제한하였다. 본 절에서는 각 작업별 운용상의 문제점과 이를 해결하기 위해 필요한 정보들에 대해 기술하

였고, 기술된 필요 정보들 중 특히 시각적인 형태로 제시하는 것이 효과적인 '필요 시각정보'를 선별하였다. 이후 굴삭작업과 적재작업의 작업별 문제점과 문제점의 해결을 위해 선별된 필요 시각정보들을 연결함으로써 작업-시각정보 맵을 도출하였다.

4.1 굴삭작업

굴삭작업에서는 기본적으로 작업자가 굴삭면과 버킷을 동시에 바라보며 작업을 수행하게 된다. 그러나 작업자가 앉아 있는 상부 회전체로부터 아래쪽으로 10m가 넘는 지점에 굴삭면이 존재하기도 하며, 이렇게 깊은 구간을 굴삭 할 때에는 굴삭 구간이 좁거나 깊어질수록 굴삭이 수행되는 굴삭 바닥면에 대한 가시영역이 줄어들다가 완전한 비가시 영역으로 전환되어 실제로 운전석에서 굴삭 바닥면과 버킷이 보이지 않는다는 시각적인 문제가 있다. 이러한 비가시 영역은 굴삭작업의 효율성뿐만 아니라 안전성을 저해하는 요소로도 작용한다.

작업지역에서의 버킷의 실시간 위치와 굴삭 바닥면에 대한 시각정보가 부족하여 작업 도중 굴삭 바닥면에 버킷을 과도하게 깊이 유인하는 경우가 발생하곤 하는데 이때 강한 유압을 주게 되면 반력에 의해 굴삭기의 피칭이 발생한다. 또한 버킷의 잘못된 유인으로 인하여 다량의 토사를 과도하게 굴삭할 경우 무게중심의 불균형으로 인해 마찬가지로 피칭이 발생하게 되고 이는 굴삭기의 전도사고에 대한 위험성을 증가시킨다. 이러한 피칭의 위험을 방지하기 위하여 버킷을 굴삭 바닥면에 과도하지 않은 깊이로 유도하여야하나 일반적으로 굴삭 구간이 깊지 않은 경우에도 운전자의 시야로는 굴삭 시 굴삭 바닥면이 보이지 않는 경우가 자주 발생한다. 작업 환경의 비가시 영역을 이유로 굴삭작업 시 운전자가 운전석 밖으로 나와서 굴삭 바닥면을 직접 눈으로 확인하고 다시 굴삭기에 탑승하는 행동을 반복하는 경우도 다수 존재하므로 버킷의 이동과 굴삭 바닥면에 대한 변화를 실시간으로 보여주는 것이 필요하다.

굴삭을 위한 파쇄를 수행하는 경우에는 굴삭기의 제원과 브레이커의 작업중량에 따른 작동압력의 한계가 존재한다. 이와 같은 굴삭기 및 어태치먼트의 허용 능력을 벗어난 작업을 시도하면 반력에 의해 굴삭기가 전도될 위험이 있다. 또한 암석의 경우 파쇄가 용이한 결이 존재하나 비숙련공이 이를 인지하지 못할 경우에도 전도의 위험에 노출될 가능성이 높다. 즉, 작업 현장의 암반 및 토질 정보를 제공해주는 것이 작업자에게 큰 도움이 될 수 있다. 굴삭기로 리핑을 수행할 때에는 작업을 수행함에 있어서 큰 문제점이 드러나지 않았다.

파쇄와 리핑을 포함한 모든 굴삭작업 과정에서는 상부회전체의 선회가 필수적으로 수반되는데, 이 과정에서 주변 현황을 제대로 파악하지 못하면 지장물 또는 작업자와의 충돌

위험이 발생한다. 이러한 충돌은 굴삭기의 피칭으로 이어지므로, 작업자에게 굴삭기의 우측 및 후방 등의 사각지대를 포함한 주변 현황을 보여주는 것이 필요하다. 굴삭기의 주변 현황에 대한 실시간 시각정보는 작업반경 내에 부주의하게 진입한 작업자와의 협착사고를 방지하는 것에도 도움이 될 것이다.

효율적인 굴삭작업을 위해서는 목표로 하는 작업 지점이 굴삭기의 작업반경 내에 들어오도록 적절한 위치를 선정해야 한다. 굴삭기의 작업반경은 굴삭기 제원에 따라 결정되어 있으나 실질적으로 작업자가 굴삭기를 운용할 때 운전석에서 작업반경을 효율적으로 파악하는 것은 쉽지 않은 일이다. 이로 인해 작업 지점으로 봄과 암을 수차례 뺐어보며 확인하거나 경험에 의존하여 굴삭기의 위치를 선정하는 것이 일반적이다. 그러나 토공작업 현장은 굴삭기의 크기에 비해 협소하거나 운전하기에 위험한 경우가 대부분이므로 숙련도나 경험이 부족한 작업자의 경우 비효율적인 장비운용이 유발되고, 이는 전체적인 작업 효율성의 저하로 연결된다. 따라서 굴삭기의 현재 위치 또는 임의 위치에서 목표로 하는 작업지점이 굴삭기의 작업반경 내에 적절하게 들어오는지 미리 알 수 있도록 도와주는 시각적인 정보가 제시된다면 굴삭기의 효율적인 위치선정이 가능하게 되어 작업의 효율성이 향상될 것이라 판단된다.

4.2 적재작업

굴삭기의 적재작업은 주로 덤프트럭과의 조합을 통해 이루어지며, 굴삭기가 덤프트럭으로 흙을 적재하기 위한 반복적인 선회가 필수적으로 이루어진다. 이러한 반복 작업으로 인해 작업자의 집중력이 떨어진 상태에서 굴삭기의 우측이나 후방 등 작업반경 내의 비가시 영역에 다른 작업자가 부주의하게 진입하는 경우, 작업자의 협착사고 위험이 높아지며 실제로 다수의 사고가 발생하고 있다.

적재작업 시 덤프 높이에 대한 인식이 부족하면 적재 직전에 버킷과 덤프트럭이 충돌할 위험성이 존재하며, 굴삭기 제원상의 최대 덤프높이 및 현장 지형에 따른 장비 배치 현황에 따라 작업자의 숙련된 감각이 요구된다. 만약 작업자에게 필요한 덤프트럭의 높이를 시각적으로 보여줄 수 있다면, 비숙련공이 적재작업 시 덤프트럭과 충돌하는 문제를 해결하는데 도움이 될 것이다. 또한 적재작업을 수행할 때 강풍이 불어오면 굴삭기의 피칭 및 롤링이 발생할 수 있다. 이 또한 굴삭기의 전도사고로 이어질 위험성이 높으므로 운전자의 주의가 필요하다.

지금까지 굴삭기 운용 시 필요한 다양한 정보들에 대해 알아보았다. 이 중 '굴삭 바닥면에 대한 실시간 현황', '버킷의 이동에 대한 실시간 현황', '작업 현장의 암반 및 토질 정보', '우측, 후방의 사각지대를 포함한 굴삭기 주변 현황', '현재 또

는 임의의 위치에서의 굴삭기 제원에 따른 최대 작업반경, '덤프트럭의 높이'는 다양한 필요 정보들 중 시각화가 필요한 정보, 즉 필요 시각정보들이다. 굴삭기의 작업별 문제점과 상기 6가지 필요 시각정보들을 대응시켜 정리하면 Fig. 4와 같이 작업-시각정보 맵으로 나타낼 수 있다.

4.3 필요 시각정보 분석

서론에서 설명한 바와 같이 AR은 필요한 정보를 가상 이미지로 표현한 뒤 현실세계에 합성하여, 현실세계만으로는 얻기 어려웠던 사물이나 장소에 대한 정보들을 시각적으로 제공해 줄 수 있는 정보기술이다. AR을 적용하기 위해 앞 절에서는 굴삭기 운용 시 필요한 6가지의 시각정보들을 도출하였다. 그러나 필요 시각정보들에 대한 충분한 분석을 수행하지

않고 AR을 무분별하게 적용하면 오히려 과도한 정보량에 의해 작업에 방해가 되고 기술적용의 의미가 퇴색될 가능성이 농후하다. AR의 적합한 적용을 위해서는 제약된 화면 내에 얼마나 많은 정보를 일시적으로 보여줄 것인지에 대한 정보 밀도가 중요한 요소이므로 다양한 필요 시각정보들 중 AR 적용 시 그 의미와 가치가 창출될 수 있는 정보를 선별하는 과정이 필요하다. 이와 더불어 선별된 정보들에 대한 표현의 측면에서 정보를 어떻게 시각화 하는지에 대한 연구도 중요하다(Kim 2010). Fig. 4와 같이 작업-시각정보 맵을 통해 필요 시각정보를 도출하였으므로 본 절에서는 그 중 AR을 적용하기에 적합한 시각정보로는 어떤 것들이 있는지 알아보고, 해당 정보의 시각화 방안 등 필요 시각정보에 대한 분석을 수행하고자 한다.

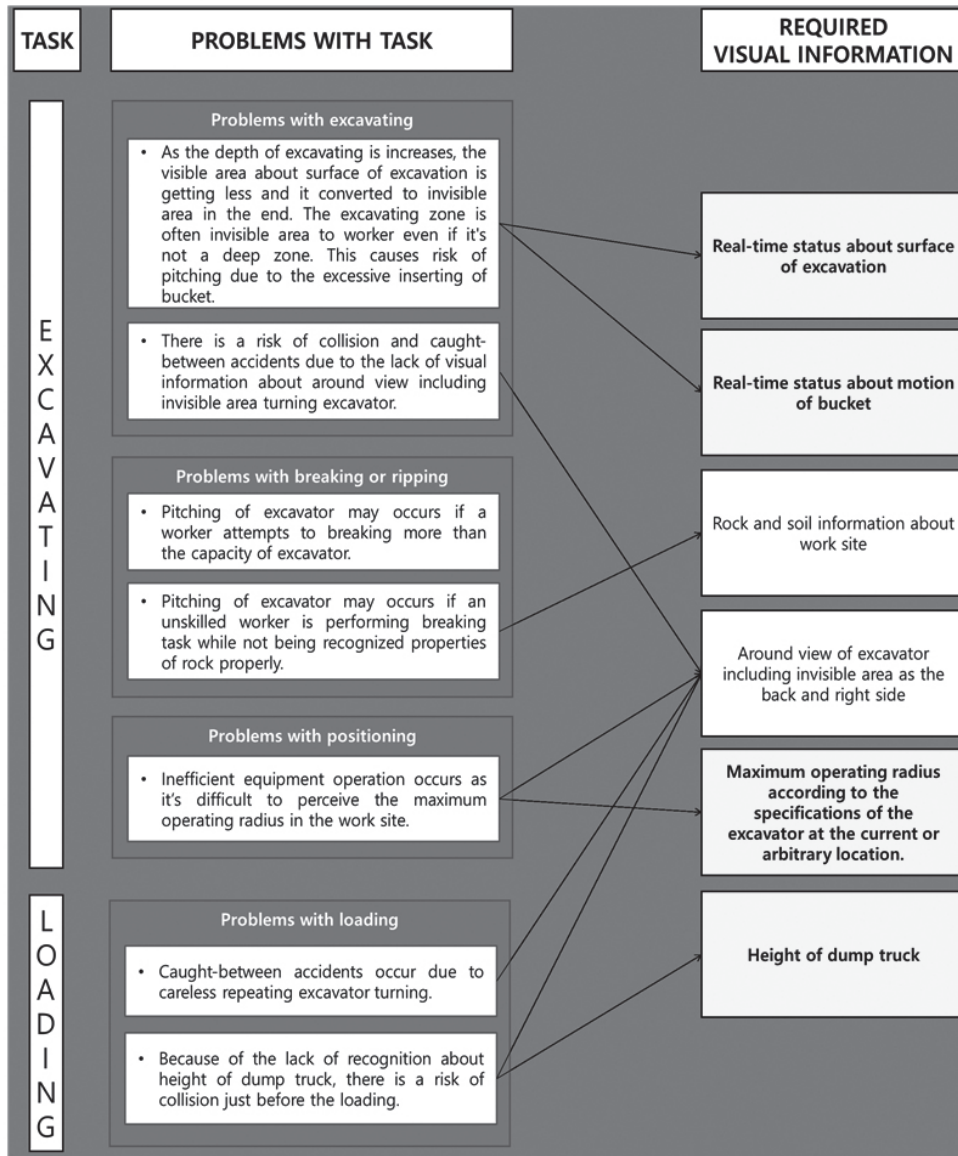


Fig. 4. Task - Visual Information Map for Excavator

AR은 현실의 영상과 가상의 이미지가 실시간으로 중첩된다는 큰 특징이 있다. 이러한 AR의 특징적인 측면에서 볼 때, 각각의 필요 시각정보들을 가상 이미지의 형태로 현실의 영상과 중첩시키는 것이 가장 효율적인 방안인지에 대한 고려가 AR 적용을 위한 기술적합성의 첫 번째 판단 기준이 된다.

AR을 네비게이터 시스템에 적용할 경우에는 정보의 명확하고 직관적인 묘사 및 인식이 중요하다(Narzt et al, 2006). AR에서 표현되는 정보의 복잡성이 줄어들수록 시각화된 정보를 인지하는 과정에 필요한 부하가 감소하게 되어 직관적인 인지가 수월하게 된다. 이것은 정보의 시각화가 이루어졌을 때 중첩된 가상의 이미지를 인지하는 것이 용이한지에 대한 검토가 필요함을 의미한다. 따라서 AR의 실질적인 효율성 측면에서 볼 때, 필요 시각정보를 단순한 형태로 충분히 표현할 수 있는지에 대한 고려가 AR 적용을 위한 기술적합성의 두 번째 판단 기준이 된다.

작업-시각정보 맵을 살펴보면 ‘굴삭기 바닥면에 대한 실시간 현황’, ‘버킷의 이동에 대한 실시간 현황’, ‘작업 현장의 암반 및 토질 정보’, ‘우측, 후방의 사각지대를 포함한 굴삭기 주변 현황’, ‘현재 또는 임의의 위치에서의 굴삭기 제원에 따른 최대 작업반경’, ‘덤프트럭의 높이’가 필요 시각정보로 도출되었다. 총 6가지의 필요 시각정보들 중에서 ‘작업 현장의 암반 및 토질 정보’는 실제 작업 현장과 중첩하여 보여주는 것이 필요하고 정보의 시각화가 충분히 가능하다. 그러나 시각화에 사용되는 정보량이 매우 방대하여, 가상 이미지를 인지하는 과정이 오히려 작업에 방해가 될 위험성이 존재한다. 또한 ‘우측, 후방의 사각지대를 포함한 굴삭기 주변 현황’은 가상 정보로 중첩시키는 것보다 현실세계를 그대로 보여주는 것이 더욱 합리적이다.

한편 ‘굴삭기 바닥면에 대한 실시간 현황’과 ‘버킷의 이동에 대한 실시간 현황’은 작업을 수행함과 동시에 실시간으로 변화하는 정보이다. 굴삭을 수행하는 과정에서 작업자가 주시하는 실제 버킷 근처에 버킷과 실제 지면간의 차이를 간단한 선의 형태로 중첩한다면 눈에 보이지 않는 버킷의 지면 접근 현황을 직관적으로 인식할 수 있도록 시각화하는 것이 가능하다. 작업 중 굴삭면이 깊어지며 버킷이 비가시 영역으로 진입하더라도 GPS 등의 센서로 버킷과 실제 지면의 좌표를 계속해서 측정하여 눈에 보이지 않는 버킷의 지면 접근 현황을 가상 이미지로 인지할 수 있기 때문이다. 즉, ‘굴삭기 바닥면에 대한 실시간 현황’과 ‘버킷의 이동에 대한 실시간 현황’이라는 두 가지 필요 시각정보를 AR로 가시화한다면, 굴삭작업을 수행함에 있어서 버킷이 지면에 얼마나 다가갔는지를 파악할 수 있게 된다.

‘현재 또는 임의의 위치에서의 굴삭기 제원에 따른 최대 작업반경’은 현실 영상과의 중첩이 필수적인 정보이다. 최대 작업반경의 크기는 굴삭기의 제원에 따라 그 크기가 정해져있

으므로 굴삭기 바닥면의 기울기 등 자세에 대한 실시간 정보를 센싱하면, 굴삭기의 현재 위치를 기준으로 선이나 반원 등의 간단한 가상 이미지로 충분한 표현이 가능하다. 이러한 작업반경은 복잡한 조작 중에 인식하는 것이 아니라 작업을 잠깐 멈춘 상태에서 인식을 하는 것이므로 시각화된 정보를 인지하는 것이 용이하다. 이러한 용이성은 굴삭기를 임의의 지점으로 이동시키는 기능을 구현하는 경우에도 동일하게 적용된다. 결과적으로 AR로 중첩된 가상의 최대 작업반경 이미지를 통해 굴삭기의 작업 위치 선정 시 작업자의 효율적인 장비운용이 가능할 것이다.

마지막으로 적재작업에서의 필요 시각정보인 ‘덤프트럭의 높이’는 간단한 선의 형태로 시각화하는 것이 가능하며, 이를 통해 작업자는 적재하기 전에 적재위치를 파악함으로써 충돌 등의 안전사고를 미연에 방지하고 보다 효율적으로 작업할 수 있을 것이다.

상기 연구 내용을 토대로 하면 AR 적용에 가장 적합하고, 기술 적용 시 가치가 창출되는 시각정보를 선별할 수 있다. Fig. 4의 필요 시각정보들 중 강조되어있는 4가지 시각정보인 ‘굴삭기 바닥면에 대한 실시간 현황’, ‘버킷의 이동에 대한 실시간 현황’, ‘현재 또는 임의의 위치에서의 굴삭기 제원에 따른 최대 작업반경’, 그리고 ‘덤프트럭의 높이’가 최종적으로 선별된 AR 적용이 적합한 필요 시각정보이다.

그러나 이러한 기술적합성이 높은 정보들도 인터페이스와 조작방법이 복잡하다면 기술의 사용이 무의미하므로, AR 시스템은 작업자가 조작을 편리하게 할 수 있도록 설계되어야 한다. 즉, 작업자가 원하는 시점에 모니터를 터치하는 방식과 같은 간단한 조작으로 기술구현이 가능하도록 시스템 시나리오를 설계하는 것이 합당할 것이다. 또한 실시간으로 변화하는 정보를 제시하기 위해서는 적당한 오차범위 및 충분한 시스템 사양의 설정을 통해 합리적인 시스템 환경이 구현되어야 한다.

5. 결론

토공사는 건설현장의 기본이 되는 작업이며, 개별 작업자가 운용하는 토공 건설장비를 통해 작업이 수행되므로 운전자의 경험과 숙련도에 따라 전체적인 토공사의 작업 효율이 결정된다. 그러므로 숙련된 장비 운전자가 감소하고 있는 현 상황에서는 운전자의 숙련도에 의존하지 않는, 효율적인 건설장비의 운용을 가능하게 하는 시스템의 개발이 필요하다.

토공사는 그 작업의 특성상 시각적으로 인지하기 어려운 정보들이 다수 존재하며, 그중 대부분이 작업 효율성에 영향을 미친다는 특징이 있다. AR은 이러한 비가시적인 정보들을 시각화하여 현실세계로의 실시간 중첩이 가능하도록 하는 정보기술이며 건설현장에 본격적으로 도입된 사례는 없지만 잠재적인 효율성이 매우 큰 기술이다.

따라서 본 연구에서는 건설장비를 위한 AR 시스템 개발을 위하여 AR 기술을 적용하기에 적합한 작업을 조사하여 파악하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 토공사 중 가장 많이 쓰이는 장비인 굴삭기로 연구 범위를 제한하였고, 문헌조사를 통해 굴삭기의 작업을 분류하였다. 또한 전문가 인터뷰를 통해 각 작업에서의 문제점 및 필요 시각정보를 파악하여 굴삭기의 작업-시각정보 맵을 도출하였다. 그리고 이 맵을 바탕으로 각각의 필요 시각정보들에 AR 기술을 적용하는 것이 가장 효율적이고 유용한 방법인지, 그리고 필요 시각정보를 단순한 형태로 충분히 표현할 수 있는지에 대한 2가지 판단 기준을 근거로 하여 앞서 도출된 6가지 필요 시각정보들 각각에 대한 AR 기술적합성을 분석하였다. 분석 결과, '굴삭기 바닥면에 대한 실시간 현황', '버킷의 이동에 대한 실시간 현황', '현재 또는 임의의 위치에서의 굴삭기 제원에 따른 최대 작업 반경', '덤프트럭의 높이'라는 4가지 필요 시각정보가 AR을 적용하기에 가장 적합한 시각정보라는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구결과를 기반으로 구체적인 기술 환경을 구현하고 직관적인 인터페이스와 조작방법에 대한 추가적인 연구를 수행하면 AR 기술과 굴삭기 개별 작업의 기술적합성을 극대화하는 AR 네비게이터 시스템 개발이 가능할 것이다. 그리고 이에 따라 실제 토공현장에서 사용할 수 있는 유용한 건설장비 AR 네비게이터 시스템이 갖춰지게 되리라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술 연구사업의 연구비지원(14SCIP-B079344-01)에 의해 수행되었습니다.

References

GB center (2010). Heavy Equipment Engineering,

Golden Bell, Korea

Goodhue, D. L. and Thompson, R. L. (1995). "Task-Technology Fit and Individual Performance", *ABI/INFORM Global, MIS Quarterly*, 19(2), pp. 213-236.

Jung, W., and Youn, J. (2013). "3D Geospatial Information and Augmented Reality", *Journal of Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, 61(5), pp. 64-68.

Jin, I., Shin, Y., Cho, H., and Kang, K. (2009). "Development of Component Design Process for Automated Construction System", *Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 11(4), pp. 76-86.

Kim, G. (2010). "A study on the efficient ways of representing information design using augmented reality", *Research on Basic Design & Art, Korean Society of Basic Design & Art*, 11(6), pp. 27-36.

Korea Construction Equipment Association (2015). "Construction Machinery Status", <http://www.kcea.or.kr/statistics/Yongdo_list.asp> (Dec. 28, 2015)

Lee, S., Kang, M., Gil, M., and Han, C. (2011). "Recent Developments and Prospect of Automation and Robotics Technology in Construction", *Journal of Drive and Control*, 8(2), pp. 57-63.

Narzt, W., Pomberger, G., Ferscha, A., Kolb, D., Müller, R., Wieghardt, J., Hortner, H. and Lindinger, C. (2006). "Augmented reality navigation systems", *Universal Access in the Information Society*, 4(3), pp. 177-187.

Won, S., Kim, S., and Han, C. (2007). "A Combination Model of Earthwork equipment using System Dynamics", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 8(4), pp. 194-202.

요약 : 건설현장의 주요 작업인 토공사의 경우, 토공 건설장비를 운용하는 개별 작업자에 의해서 작업의 효율성이 좌우되기 때문에 개별 작업자의 숙련도가 전체적인 공사일정에 큰 영향을 미칠 수 있다. 건설현장에는 그 특성상 현장 내 설치된 구조물이나 장비 혹은 움직이는 작업자나 장비 등으로 인해 시야가 가려져서 발생하게 되는 비가시 영역이 필연적으로 존재한다. 이와 같은 작업 관련 시각정보의 부재는 작업자가 건설장비를 효율적으로 운용하는데 있어서 결정적인 저해요소가 된다. 증강현실(AR, Augmented Reality)은 현실세계에 가상물체를 중첩시켜 보여주는 컴퓨터 기술이다. 이 기술의 특성을 이용하면 토공사를 수행하는 과정에서의 시각정보 부재 문제를 해결할 수 있고 이를 통한 건설장비의 작업 효율성 향상이 가능하다. 본 연구의 목적은 이러한 토공사에서의 필요 시각정보를 도출하기 위한 작업-시각정보 맵을 제시하고 굴삭기의 작업들 중 AR기술을 적용하기에 적합한 것을 찾아내는 것이다. 연구의 대상이 되는 건설장비는 굴삭기로 한정하였다. 작업-시각정보 맵은 굴삭기 토공작업의 문제점과 그 문제점을 해결하는데 필요한 시각정보를 기반으로 하여 작성되었다. 이 맵으로부터 굴삭기의 작업 효율성을 향상시킬 수 있고, AR기술을 적용하기에 적합한 4가지 필요 시각정보가 도출되었다. 연구결과를 바탕으로 하여 추후 건설장비 AR 네비게이터 시스템을 더욱 효과적으로 개발할 수 있을 것이라 기대한다.

키워드 : 증강현실, 시각정보, 굴삭기, 토공사