무선 RF모뎀과 GPS를 통합한 타워크레인의 철골부재의 실시간 양중위치 추적시스템 개발

Development of a Real-time Lifting-path Tracking System of a Tower-crane for Steel Members based on an Integrated Wireless RF Modem and GPS System

윤 석 헌* **이 강****
Yun, Seok-Heon Lee, Ghang

Abstract

Steel frame construction in high places entails many risk factors. In order to improve the safety and productivity of steel frame construction, a project to develop a robotic tower-crane has been undertaken. As the first step, a real-time lifting-path tracking system is being developed. In a previous study, a laser-based tracking system was proposed. While a laser-based tracking system requires at least three laser sensors to detect the x, y, z coordinates of a lifted steel member, a GPS-based system has an advantage over the laser-based system, in that the x, y, z coordinates of a lifted steel member can be detected by a single GPS sensor. To improve the accuracy, arelative positioning method using two GPS sensors was proposed in a previous study. This paper reports an improved GPS-based lifting-path tracking system of a tower crane based on an integrated RF modem and GPS system. The results showedthat the RF modem could successfully send the identifier information to a server a maximum distance of 1 km away from the lifted steel beam, and the lifting path information of each beam captured by the GPS-based tracking system was successfully saved together. Also, byusing an improved algorithm for the GPS relative positioning method, the deviation was reduced to 0.61 m on average.

Keywords : tower-crane, GPS relative positioning, automation

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 들어 초고층 건축물 건설사업과 복합화 건축물 건설 사업이 증가하고 있으며, 이와 함께 공정관리, 자재관리 등의 최적화를 위해 첨단 정보화 기술들이 지속적으로 개발되고 있다. 특히, 철골공사의 경우 숙련된 노무자들의 수급이 어렵고, 안전사고의 위험성이 높아, 첨단 정보화 기술의 적용에 대한 필요성이 증가하고 있다.

타워크레인 양중과정의 자동화를 위해서는 타워크레인에서 양중하고 있는 물체의 파악과 타워크레인의 양중 위치를 정확히 파악하는 것이 가장 우선시되어야 하며, 이를 위한 다양한 방법들이 개발되고 있다.

우선, 양중하고 있는 대상의 자동인식을 위해서는 바코드와 RFID(Radio Frequency Identification) 등의 기술을 이용할 수 있다. 그러나 현재까지 개발되어 사용되고 있는 방식은 추가적인 프로세스가 필요하거나, 인식거리 등의 문제로 인식율이 높지 않은 등의 문제점이 발생하고 있다.

또한, 양중 위치의 자동 파악을 위해서는 레이저 측정기, GPS(Global Positioning System) 등을 사용할 수 있다. 레이저의 경우, 정확도가 높은 반면, 양중위치의 x, y, z 좌표를 얻기 위해서는 적어도 3대의 센서가 필요하며, 장거리에 있는 양중물체를 추적할 경우 신호를 놓칠 가능성이 높다. 이에 비해 GPS는 한 대만으로도 x, y, z 좌표를 모두 얻을 수 있고, 넓은 외부 작업 환경에서 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있으나, 레이저에 비하여 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 정확도가 높은 측량용 GPS도 있으나, 그 비용이 고가이고, 설치와 측정, 데이터 수집 및 처리 등에 복잡한 과정과 처리가 필요하여 실용성이 떨어진다. 이를 개선하기 위하여 본 저자들은 이전 연구에서 두 대의 보급형 GPS를 이용한 상대측위 방법을 제안하였다. 본 연구에서는 이전 연구에서 제안한 GPS기반 상대측위 방법을 개선하고, 본 연구를 통하여 개발한 무선인식 태그를 활용하여 양중 철골부재의 자동인식 프로세스를 개선하고자 한다. 그리고 이렇게 개발된 두 가지 장치를 이용하여, 양중 부재를 자동으로 인식하고, 타워크레인의 양중 경

* 경상대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, 공학연구원
** 연세대학교 건축공학과 조교수, 교신저자(glee@yousei.ac.kr)

로를 실시간으로 추적하기 위한 통합 시스템을 개발하고자 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구의 연구절차는 다음과 같다.

우선, 기존의 연구 및 기술현황을 분석하고, 기존의 RFID 기반의 자재 인식 기술을 분석하였다. 다음으로, 기존 RFID 기술의 한계를 보완하기 위하여, 본 연구에서는 무선인식태그를 이용한 자재 무선인식기술과 GPS 기술을 통합하여 실시간으로 자재를 인식하고 양중위치를 추적할 수 있는 통합 시스템을 개발하였다.

마지막으로, 개발된 시스템을 이용한 데이터 수집 결과를 분석하고, 이를 개선하기 위한 방안을 도출하고자 하였다. 이러한 연구과정을 도식화하면 그림1과 같다.

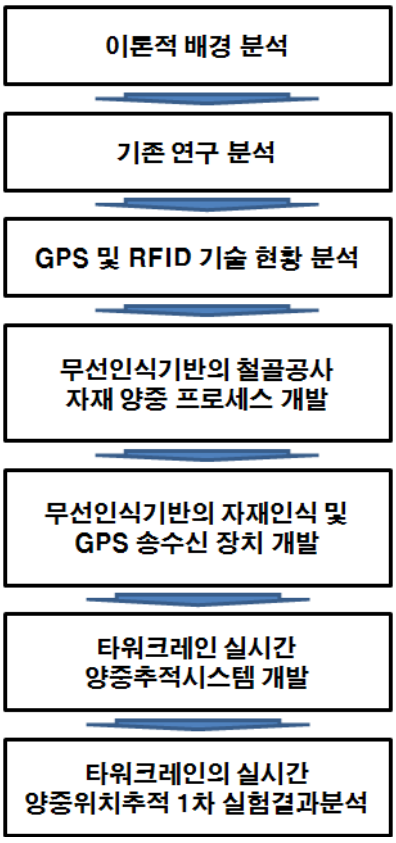

그림 1. 연구 방법

2. 이론적 배경

2.1 위치 추적 기술

건설 현장은 다양한 위치에서 작업이 이루어지므로 건설현장에 자동화 기술을 도입하기 위해서는 우선적으로 작업 위치 추적을 위한 기술이 필요하다. 기존에는 GPS뿐만 아니라 다양한 위치파악을 위한 기술들이 개발되고 있으며, 이러한 기술들은 표 1과 같다.

표 1. 위치추적 기술[1)]

구분	기술	기술의 특성
위치 인식 시스템	GPS	삼각측량의 원리를 사용하여 위성에서 발생시키는 부호 신호의 시간차를 측정하여 위치 계산
	이동 통신망	이동 단말기 신호의 세기, 신호의 도달시간, 신호의 도달시간차, 신호의 입사각 등과 같은 파라미터를 이용하여 위치 계산
	Active Badge	적외선 센서를 설치하고, 적외선 발신기에서 발신하는 적외선을 감지하여 위치계산
	Active Bat	사람 또는 사물에 초음파 발생기를 부착하고 수신기를 통해 위치를 계산하는 시스템
	RADAR	무선 LAN의 AP기기들에서 수신되는 RF신호의 세기를 이용하거나 RF신호의 전달지연을 이용하여 위치파악
	Machine Vision	2차원 카메라를 이용하여 영상인식을 통한 위치 파악

본 연구에서는 타워크레인의 양중위치 추적을 위하여 GPS와 함께 레이저 센서와 엔코더 센서를 이용한 위치추적기술 등을 고려하였다. 이들은 전술한 바와 같이 모두 장단점을 갖고 있어 상호 보완적인 관계를 가질 수 있으며, 본 연구에서는 이들 중 GPS를 이용한 양중 위치추적 시스템을 개발하고자 하였다. GPS의 경우 실외에서 쉽게 장비를 설치하고 데이터를 수집할 수 있다는 장점이 있으나, 타 기술에 비해 정확도가 다소 떨어지는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위한 기술을 함께 적용하여 시스템을 개발하고자 하였다.

2.2 자재 인식 기술

건설현장에서의 자재 인식 기술로는 바코드 방식과 RFID 방식을 이용한 기술들이 개발되어 활용되고 있다. 최근에는 카드 손상으로 인한 인식율 저하로 인해 바코드 방식 대신 RFID 방식을 주로 사용하고 있으나, 현재 개발되어 있는 RFID 방식의 경우 인식거리가 최소 10 cm 내외, 최대 10 m 이내이며, 태그의 인식 방향과 장애물에 많은 영향을 받는 등 여러 가지 한계점들을 갖고 있다.

국내 건설현장에서는 PDA(Personal Digital Assistance) 등의 단말기를 이용하여 태그에 리더기를 직접 갖다대는 방식으로 철골 부재를 인식하는 방식을 사용하고 있으나, 이러한 과정의 번거로움으로 인해 활용성이 다소 떨어지고 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 기존의 RFID 기술 대신 RF모뎀(Radio Frequency MODEM)을 이용하여 별도의 리더기를 사용하지 않으며, 장거리까지 신호를 송신할 수 있는 무선인식 태그를 개발하여 적용하고자 한다.

1) 이남수 외 5인, RFID와 무선 네트워크 기술을 이용한 자재위치 파악 방안, 건설관리학회 학술발표 논문집, 2006.11

2,3 기존 연구와의 관계

건설현장에서 RFID를 이용한 자재 인식기술과 자재 위치추적 기술에 관한 최근 연구현황을 조사한 결과는 표2와 같다.

김영석(2002)과 조훈희(2004)는 GPS, 머신비전(machine vision), RFID 등 첨단 정보화 기술을 이용한 타워크레인 자동화 및 작업효율성 향상을 위한 기술개발 방향을 제시하였으며, 장문석(2004)과 한재구(2006)는 고층 빌딩공사에서 커튼월, 마감자재의 자재관리를 위하여 RFID 기술의 적용방안을 제시하였다.

표 2. 자재인식 및 자재위치추적관련 연구 현황

	연구 내용
김영석 외 3인 (2002)	GPS와 머신 비젼 기술을 통한 작업시간과 사각지대 최소화, 타워크레인 작업효율성 향상 방안 제시
조훈희 (2004)	멀티미디어와 RFID 등 IT를 활용하여 지능형 타워크레인 개발 프레임워크를 제시
장문석 (2004)	커튼월공사를 대상으로 RFID 적용 방안 및 시나리오 제시
한재구 외 2인 (2006)	초고층 빌딩공사의 마감공종에서 자재 조달프로세스에 RFID기술을 이용하여 효율적으로 추적/관리할 수 있는 시범시스템을 구축하고 현장적용실험 실시
윤석헌 외 3인 (2008)	BIM환경에서 GPS를 활용하여 타워크레인의 철골부재 양중경로를 추적하기 위한 방안 제시
Lee et al. (2009)	로보틱 타워크레인 개발을 위하여 레이저 거리측정 기술을 이용한 양중 경로 추적 시스템 개발

이강(2009)은 본 연구와 유사한 환경에서 GPS 대신 레이저 거리측정 장치를 사용하여 수직방향의 양중위치를 추적하고자 하였으며, 윤석헌(2008)은 레이저 대신 2대의 GPS를 이용하여 철골부재의 양중경로를 추적하기 위한 기본 방향과 예비실험을 하였다. 기존 연구에서는 일반 GPS를 2대의 노트북 컴퓨터에 연결하여 위치신호를 수신하고, 이들을 후처리하여 데이터를 분석하였으나, 본 연구에서는 RF모뎀을 이용한 자재 양중 프로세스를 반영하고, 실시간으로 GPS 신호를 처리할 수 있는 통합시스템을 개발하고자 하였다.

3. GPS기반의 타워크레인 양중추적시스템

3.1 철골부재 인식 프로세스의 개선

일반적인 철골 공장가공 후 현장입고, 양중 및 설치하는 과정은 아래 그림과 같다. 철골 부재 가공 후 공장 반출시에 부재에 태그가 부착되며 부재를 현장에 반입할 때 작업의 효율성을 위하여 송장을 통해 부재를 일괄적으로 인식하게 된다. 그리고, 자재 적재장소에서 설치 부재를 인식하기 위해 관리자는 PDA 리더(reader)장치를 이용하여 자재를 인식하여 자재 설치 여부를 시스템으로 전송하고, 설치 완료된 부재에서 태그를 탈착하면서 PDA 리더장치를 이용하여 철골부재의 설치 완료여부를 시스템으로 전송하게 된다. 이러한 프로세스는 그림 2와 같다.

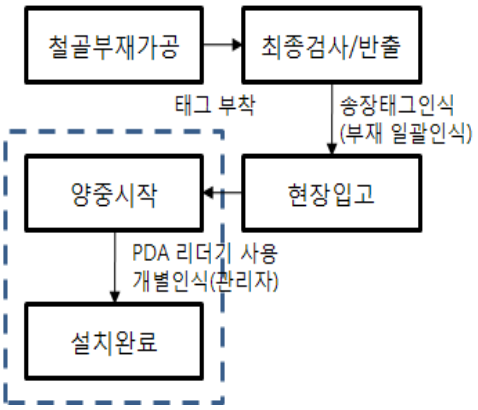

그림 2. RFID를 이용한 철골부재 인식 프로세스

현장 입고 후 양중시작 시점에서 현장관리자는 작업자가 철골부재의 양중 준비가 끝나고 나면 PDA 태그 리더(tag reader)를 통해 양중시작 여부를 확인하게 되는데, 이러한 과정의 번거로움으로 인해 실제 현장에서는 설치시점과 설치 완료 시점에서의 데이터 수집율이 다소 낮게 나타나고 있다. 실제 2개 현장에서의 양중 시작과 설치 완료시점에서의 철골부재 인식율은 각각 67%와 85% 등으로 나타났다.

본 연구에서는 이를 개선하기 위해 별도의 리더기를 사용하지 않고, 지그비(Zigbee)를 이용한 무선인식 태그 장치를 개발하여 활용하였다. 관리자가 PDA를 들고 다니는 대신 양중 작업자(예: 신호수)가 양중준비를 끝내고 나서 무선인식 태그의 버튼을 누르면 자동으로 해당 부재의 RFID정보가 장거리 떨어진 서버에 자동으로 신호를 전송하고 저장되도록 하였다. 또한, 기존의 연구(윤석헌 외 3인)에서는 GPS를 UMPC(Ultra Mobile Personal Computer)에 케이블을 통해 직접 연결하여 데이터를 저장하였지만 개선된 장치에서는 GPS에 무선정보 전송장치를 통합시켜 무선인식 태그의 첫 번째 신호가 전송되면 GPS값을 서버에 전송하기 시작하고 양중완료 후 철골 설치장소에 있는 작업자가 무선인식 태그의 버튼을 다시 누르면 GPS값의 전송이 종료되도록 하였다. 그림 3은 이러한 프로세스를 보여준다.

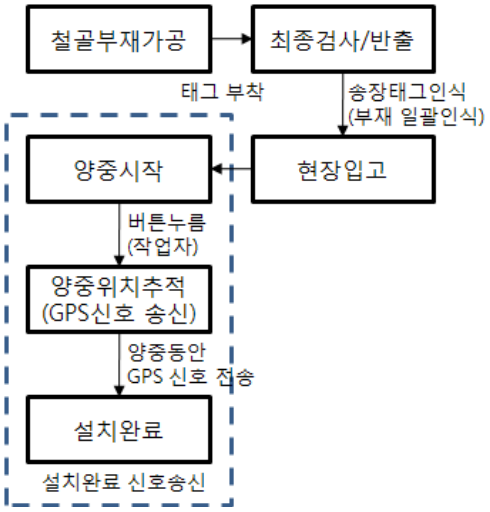

그림 3. 철골부재 인식 및 양중위치추적 프로세스

3.2 철골부재의 양중위치 추적 시스템 구성

1) 시스템 구성

철골부재의 양중절차는 철골부재를 양중하는 시점부터 시작한다. 우선 철골부재를 크레인에 연결시키고 나면 작업자는 철골부재에 부착된 무선인식 태그의 버튼을 누른다.

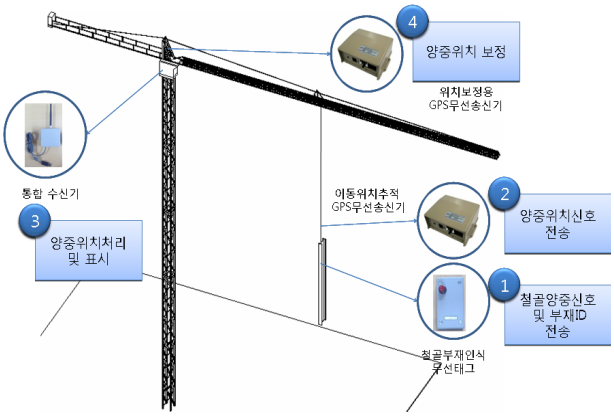

그림 4. 철골부재 무선자동인식 및 양중위치 추적시스템 구성

버튼을 누른 순간, 추적 시스템이 그 신호를 받게 되며 양중하게될 부재의 종류와 양중이 시작됨을 인식하게 된다. 이 순간부터 GPS로부터 위치 신호를 수신하게 되며, 설치 후 작업자가 무선인식 태그의 버튼을 다시 한번 누르면 위치 추적 및 설치 완료 신호가 시스템으로 전달된다.

이러한 시스템을 구성하기 위하여, 전체 시스템은 철골부재인식 무선인식 태그와 상대측위 기법을 통한 양중위치 추적을 위한 GPS 무선송신기 2대, 그리고, 무선태그와 GPS 무선송신기로부터 전송되는 신호를 수신하는 통합 수신기로 구성되며, 각 장치의 세부 내용은 그림 4와 같다.

2) 철골부재 무선인식 태그 장치

철골부재인식을 위한 무선인식 태그 장치는 철골부재의 ID와 양중 상태를 알려주며, 특별한 장애물이 없는 경우 1 km 내외의 거리를 송신할 수 있다. 기존의 RFID 기술의 경우 신호의 송신거리가 수 m 또는 수십 m로 한정되어 건설현장에서의 활용도가 떨어진다는 단점을 보완하기 위해 개발되었다. 그림 5는 본 연구에서 개발한 철골부재 무선인식 태그 장치이다.

그림 5. 철골부재 무선인식 태그

무선인식 태그 수신기는 헤더(Header), 송신기 ID, 배터리 상태 등의 정보의 송신할 수 있으며, 양방향 통신을 통해 발신 신호를 수신기에서 정확히 수신하였는지의 여부도 확인할 수 있도록 하였다.

3) GPS 무선 송신기

GPS 무선 송신기는 상대측위를 위하여 크레인의 회전중심의 기준점과 철골부재가 이동하는 위치의 이동점에 각각 1대씩 설치토록 하였다. 그림 6은 본 연구에서 개발한 GPS 무선송신기이다.

그림 6. GPS 무선 송신기

GPS는 다양한 데이터셋을 지원하고 있으나, 본 연구에서는 위도, 경도 등의 위치정보와 데이터의 정확도를 나타내는 HDOP 등의 값을 제공하는 GGA 데이터셋을 사용하도록 하였으며, 이들 중 Header, 송신기ID, 배터리 상태, 위도, 경도, 고도, 각도, HDOP 등의 값을 송신토록 하였다.

4) 철골부재 양중위치추적 시스템

본 연구에서는 철골부재 무선인식 태그와 GPS 송신기에서 전송되는 신호를 이용해 철골부재의 양중위치를 추적하기 위한 시스템을 개발하였으며, 그림 7은 무선 태그와 2대의 GPS 송신기에서 발신하는 신호를 수신하는 결과를 보여주고 있다.

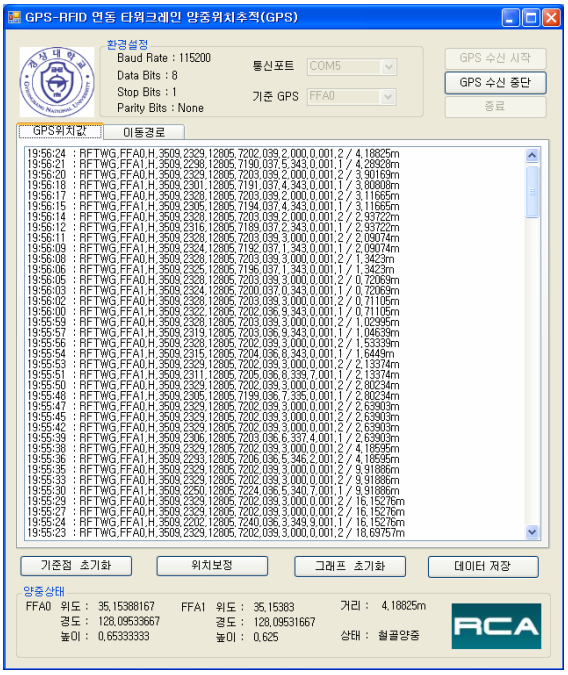

그림 7. 타워크레인 양중위치추적 시스템의 GPS 위치값

GPS에서 수신된 원시 데이터는 위도, 경도 등으로 이를 타워크레인 기준점과 양중 이동위치로 변환시켜야 한다. 그림 8은 GPS에서 수신되는 데이터를 상대 위치 데이터로 변환하여 이동경로를 표시한 결과이다.

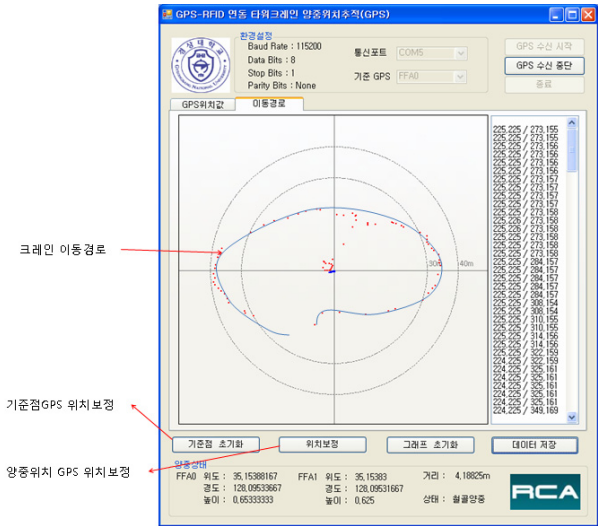

그림 8. 타워크레인 이동경로 표시 및 위치 보정기능

실제 타워크레인의 경우 3차원 좌표로 움직이며, 이를 정확히 인지하기 위해서는 수치 데이터 뿐만 아니라 좌표계에서의 실제 위치 등을 파악할 수 있어야 하므로, 2차원 좌표계로 각 위치를 환산하여 표시토록 하였다.

3.2 양중 위치 추적 실험

본 연구에서 개발한 실시간 타워크레인 양중위치 추적시스템의 정확성을 판단하기 위하여 30 m 원을 중심으로 간단한 예비 실험을 하였다. 대략적인 위치 추적여부를 확인하기 위해 기준점 수신기를 중심으로 이동점 수신기를 약 30 m 반경에서 회전하여 이동하면서 위치정보를 수집하였다. 그 결과는 그림 9, 그림 10과 같다.

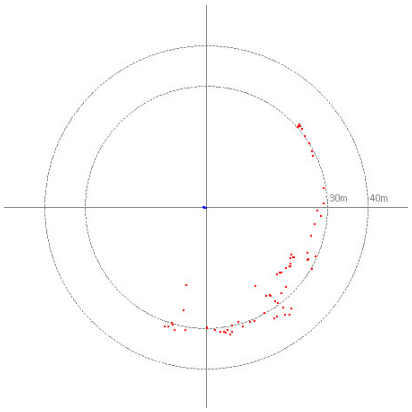

그림 9. 타워크레인 양중위치추적 결과

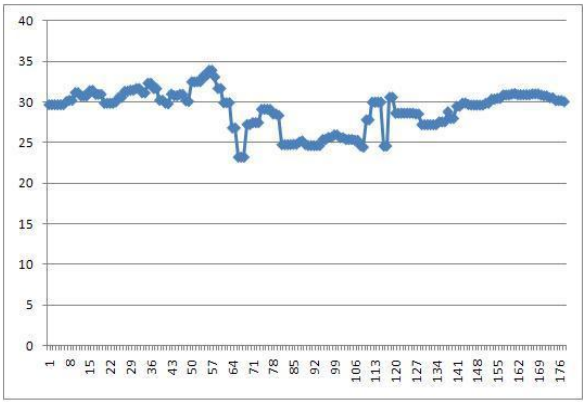

그림 10. 타워크레인 양중 위치추적 결과

타워크레인의 철골부재의 양중에 필요한 목표 정확도는 ±1 m 정도로 설정하였으며, 150번의 위치추적 위치를 중심으로 오차율을 산정해보니 평균 0.61 m 정도의 오차를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 최대 오차가 2 m까지 나타나는 경우가 발생하였으므로, 이러한 오차를 필터링하는 방법을 개발할 필요가 있다. 참고로 실험에서 추출된 위치추적 결과는 그림 10과 같다.

3.3 양중 위치 보정 방안

현재 연구 결과에서는 GPS에서 수신된 위도와 경도 정보를 x, y 좌표축으로 변환하여 기준점에 대한 상대 위치로써 위치를 추적하고 있다. 그러나, 타워크레인의 경우, 장비의 특성상 트롤리의 직선운동과 붐(boom)의 회전운동으로 구성되므로, 이러한 특성을 타워크레인 양중위치 추적에 반영한다면 오차율을 다소 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 타워크레인의 특성을 고려하여 그림 11과 같이 회전각과 트롤리의 이동위치를 도출할 수 있다.

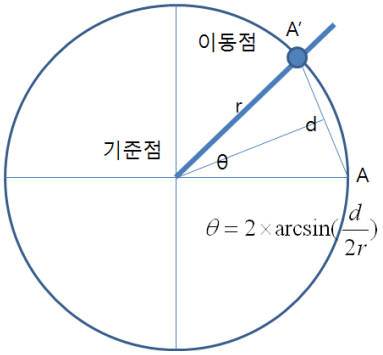

그림 11. 타워크레인의 회전각과 트롤리 이동위치 분석

또한, 타워크레인의 이동 특성을 고려하여, 초당 1 m(최대 60 m/min)이상의 오차가 발생하는 데이터의 필터링 기법을 통해 오차율을 최소화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

기존의 크레인 양중장치들이 양중위치의 파악에 초점이 맞추어져 있었다면 본 연구는 GPS의 상대측위를 이용한 통합된 실시간 철골부재 양중추적 시스템을 개발하여 실질적으로 양중프로세스 맥락에서 양중자재 정보, 양중위치 정보를 전송하고 저장하는 시스템을 개발하고자 하였다. 특히 기존 RFID 태그를 이용한 양중자재 정보시스템의 경우, 별도의 관리자가 현장에서 상주하며 PDA를 사용하여 RFID정보를 수집해야 했으나, 본 연구를 통하여 개선된 시스템에서는 양중작업자가 철골부재에 부착된 무선인식 태그의 버튼을 누름으로써 RFID정보가 자동으로 시스템에 전송되도록 하였다. 또한 본 연구에서는 보급형 GPS의 상대측위기법 알고리즘을 개선하여 그 정확성을 평균 0.61 m, 최대 2 m까지 줄일 수 있었다. 보다 높은 정확도 및 실용성을 위해서는 GPS의 경우 다양하게 발생하는 오차율을 최소화하기 위한 방안의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 2006년 첨단융합건설기술개발사업 "로보틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발(06첨단융합 C02)"의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 윤석헌, 박창욱, 이강, 김봉근, BIM 환경에서 GPS를 활용한 타워크레인의 철골부재 양중경로 추적 방안 연구, 대한건축학회논문집, 2008.6
2. 이남수, 송제홍, 윤수원, 진상윤, 권순욱, 김예상, RFID와 무선 네트워크 기술을 이용한 자재위치 파악 방안, 건설관리학회 학술발표논문집, 2006.11
3. 이정호, 박성진, 오세욱, 김영석, GPS 및 머신비전을 활용한 타워크레인 양중작업 효율화 방안, 대한건축학회논문집, 2002.11
4. 장문석, 윤수원, 진상윤, 김예상, RFID를 이용한 커튼월 프로세스 관리방안, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 2004.4
5. 한재구, 권순욱, 조문영, RFID 기술을 활용한 자재관리 시범시스템 구축 및 현장실험, 대한건축학회 논문집, 2006.10
6. Ghang Lee, Hong-Hyun Kim, Chi-Joo Lee, Sung-il Ham, Seok-Heon Yun, Hunhee Cho, Bong Keun Kim, Gu Taek Kim, Kyunghwan Kim, A laser technology-based lifting-path tracking system for a robotic tower crane, Automation in Construction, 2009.4

(접수 2010.3.5, 심사 2010.3.25, 게재확정 2010.5.10)

요 약

철골공사는 고소에서 작업을 하며 많은 위험요소가 따르며, 안전성과 생산성을 향상시키기 위해 로보틱 크레인개발을 위한 프로젝트가 진행되었다. 그 첫 번째 단계로서 실시간 양중위치를 추적하는 시스템을 개발하였는데, 본 연구에서는 이를 위하여 x, y, z 좌표를 쉽게 얻을 수 있는 GPS 센서를 사용하였다. 또한, 본 연구에서는 데이터의 정확도를 향상시키기 위해 2대의 GPS센서를 사용하였으며, RF모뎀을 이용한 무선인식 태그와 함께 통합된 양중경로 추적 시스템을 개발하였다. 개발된 무선인식 태그와 RF모뎀 기반의 GPS 센서는 함께 최대 1 km까지 안정적으로 신호를 전송할 수 있으며, GPS의 상대측위기법을 사용하여 그 오차를 평균 0.61 m까지 줄일 수 있다.

키워드 : 타워크레인, GPS 상대측위, 자동화