

무선통신 및 위치인식 통합기술을 활용한 지하구조물 현장지원시스템 최적 요소기술 연구

장용구^{1*} · 정재형² · 이준우³ · 김현수⁴

A Study on Optimal Technical Factors of USFSS Based on Integrated Technique of Wireless Communication and Location Awareness

Yong-Gu JANG^{1*} · Jae-Hyung JEONG² · Jun-Woo LEE³ · Hyun-Soo KIM⁴

요 약

최근 들어, 건설시공에 있어서 현장 내 작업자의 안전관리는 중요하게 인식되고 있다. 특히, 터널, 공동구 등 지하구조물에서는 건설 중 붕괴사고가 빈번하게 발생하고 있어 그 중요성이 더욱 강조되고 있다. 하지만, 지하구조물의 특성상 유·무선 통신환경의 구현이 매우 어렵기 때문에 위험사고 발생 시 구조를 위한 현장투입요원과 구조자의 위치추적 및 음성통신이 어려워 구조작업에 많은 어려움이 발생하고 있다.

본 연구에서는 지하구조물 시공시 건설시공의 열악한 환경에 적합하고 작업자의 3차원 위치추적 및 통신 연락이 가능한 무선통신 및 위치인식 통합기술 기반의 지하구조물 현장지원시스템에 대한 최적의 요소기술을 도출하였다.

주요어 : 지하구조물, 지하구조물 현장지원시스템, 무선통신, 위치인식

ABSTRACT

In recent years, construction worker safety in construction site is important. Especially, the frequent collapse accidents have happened in tunnels, utility tunnel and underground structure, so that the importance of worker safety is greatly emphasized.

It is difficult to communicate with other workers in underground space, using the current

2009년 10월 26일 접수 Received on October 26, 2009 / 2009년 12월 1일 수정 Revised on December 1, 2009 / 2009년 12월 10일 심사완료 Accepted on December 10, 2009

1 한국건설기술연구원 U-국토연구실 선임연구원 Senior Researcher, Ubiquitous Land Implementation Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원 Senior Researcher, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology

3 한국건설기술연구원 U-국토연구실 연구원 Researcher, Ubiquitous Land Implementation Research Division, Korea Institute of Construction Technology

4 인성인터네셔널(주) 연구소장 Head of Research institute, INSUNG International

* 연락처 E-mail : wkddydm@kict.re.kr

cable or wireless communicator. When the accident is occurred, it can't rescue workers. This is the reason that it has a deficiency to find a location of survivor and communicate rescue crew and field workers.

In this paper we extract the optimal technical factors of USFSS(Underground Structure Field Support System) based on integrated technique of wireless communication and location awareness. And USFSS developed in this study is suited for bad environment of underground structure construction and able to track 3D position of laborer and communicate mutually.

KEYWORDS: Underground Structure, USFSS, Wireless Communication, Location Awareness

서론

건설 시공현장에서의 안전사고는 구조물의 대형화 및 장대화로 과거에 비해 많이 발생하고 있으며, 그 규모도 대형화되고 인명피해의 수도 증가되고 있는 추세이다. 따라서, 최근 들어 건설시공에 있어서 건설사에게 현장 내 작업자의 안전관리는 중요하게 인식되고 있다. 특히, 터널, 공동구 등과 같은 지하공간에서는 건설 중 붕괴사고가 빈번하게 발생하고 있어 지하구조물 건설을 수행하는 건설사의 경우 작업자의 안전관리에 대한 중요성은 더욱 강조되고 있다. 하지만, 지하구조물 특성상 유·무선 통신환경의 구현 한계로 인하여 현장 내 작업자의 안전관리가 어려울 뿐만 아니라 위험사고 발생 시 구조를 위한 현장투입요원과 구조자의 위치추적 및 음성통신이 어려워 구조작업에 많은 어려움이 발생하고 있다.

1. 연구동향

본 연구를 수행하기 위하여 주요 위치인식 및 무선통신기술과 건설분야 IT적용에 관한 국내외 연구동향을 살펴보았다. 먼저, GNSS 기술관련 연구를 살펴보면, 단일주파수 GNSS의 부족한 측위 정밀도를 향상시키기 위하여 기존의 주파수 밴드 이외의 제2의 밴드를 사용한 측위의 정확도 향상에 관한 연구(정보통신부, 2007), GPS 현대화 계획 및 Galileo 구축과 맞물려 최근에 관심이 증대되고 있는 소프트웨어 기반의 GPS 수신기술의 분석에 대한 연구

(김병두 등, 2008), 위성항법시스템 다원화에 따라 위성항법 수신기 기술의 이중주파수처리 및 타 시스템과의 호환성을 위한 위성항법 수신기 기술 동향에 대한 분석 연구(신천식 등, 2008) 등이 있었다. 또한, 무선측위기술 분야에서는 다양한 위치정보 제공시스템으로부터 일관된 방법으로 개인, 차량 등의 위치를 제공 받고, 위치정보를 저장, 가공, 분석할 수 있는 소프트웨어 및 실용화 시스템을 개발하기 위한 연구(한국전자통신연구원, 2006), LBS/GIS 통합과 유비쿼터스 LBS/GIS로의 전환, 센서 네트워크 등 통신기술의 발달, 엔터프라이즈 시장으로 진입 등에 따른 이동통신 및 무선망 위치인식 기술, LBS/GIS 서버 및 플랫폼 기술, LBS/GIS 단말 및 서비스 기술, u-LBS/GIS 기반 기술 등의 표준화연구(한국정보통신기술협회, 2007) 등의 국가차원의 국책연구가 있었다. 그리고, 관성센서에 대한 연구의 경우 3축의 자이로(각속도) 및 가속도를 측정할 수 있는 센서 모듈과 측정된 데이터를 이용해서 동작 패턴을 분류해 주는 알고리즘 개발에 관한 연구(임성빈 등, 2006), 기존 관성센서를 사용한 위치추정 시스템에 RFID를 사용한 근접위치 측정법을 결합한 사용자 위치 추정시스템 설계에 관한 연구(심재호 등, 2007) 등이 있다. 마지막으로 USN 시스템에 대한 연구에서는 USN 기술을 효과적으로 적용할 수 있도록 국내 시장에 적합한 USN 응용서비스 시장 기회 분석 및 주요 USN 응용서비스 도출에 관한 연구(김선진 등, 2007), USN 환경에서의 체계

적이고 효과적인 분산형 인증 기술 확보를 통한 디지털방송 콘텐츠의 보호 기술 분야의 활용에 관한 연구(한국정보보호진흥원, 2006) 등이 이루어지고 있다.

국내외의 건설분야에서의 IT적용 연구사례를 살펴보면, 국내에서는 강릉시에 위치한 포남대교 건설현장 안전관리시스템으로 무선기상센서노드, 무선이미지센서노드를 USN기반기술을 이용하여 데이터를 수집하고 이를 통해 건설현장의 안전 환경을 확보하는데 객관적인 데이터를 제공하는 사업(강원임베디드소프트웨어 연구센터, 2008)을 추진한 바 있다. 또한 노후화된 부산 제2만덕터널을 대상으로 구조물, 노면, 화재 등을 실시간 모니터링하고 교통사고 발생 시 유관기관과 연계지원할 수 있는 시스템(부산광역시 시설관리공단, 2007)을 구축한 사례가 있다. 국외사례로는 우리나라의 환경과 가장 유사한 일본의 경우 일본 본토와 규슈를 연결하는 장대터널에서의 휴대폰기반의 무선통신기술의 적용연구(横田 依早彌, 2000), 건설현장의 지능화를 위한 건설관리분야에서의 지능형 안전모 개발에 관한 연구(TANIZAWA, 2009) 등이 있었으며, 유럽에서는 터널·지하공간 분야에 있어서 지하구조물의 생애주기를 관리할 수 있는 IT기술 기반의 최대 연구사업인 Tunconstruct 프로젝트(Tunconstruct, 2009) 수행, 미래 도로 건설을 위한 NR2C Vosion 2040 프로젝트(FEURL, 2009)(13) 등의 대형 연구사업으로 진행되고 있다.

위의 국내외 연구동향을 살펴본 결과 국내에서는 대형 국책과제 기반의 건설IT분야의 사업보다는 아직까지 사용자 요구에 의한 요소기술별 개별사업을 통한 건설분야의 적용이 주를 이루고 있으며, 전반적인 건설분야로 확산을 위한 연구는 초기단계에 있음을 알 수 있었다. 또한, 국외에서는 국가차원의 대응을 통한 건설IT 관련 국책과제 수행을 위한 많은 노력이 이루어지고 있지만 연구성과는 아직 실용성을 확보하기 위한 단계임을 알 수 있었다. 따

라서, 본 연구에서의 IT 분야 요소기술들을 건설분야에 통합 활용하기 위한 연구는 매우 필요한 것으로 판단되었다.

2. 연구목적

본 연구에서는 지하구조물 중 국내 최장터널인 경부고속철도 금정터널을 대상으로 지하구조물 내 위치인식 및 무선통신의 최적요소기술을 도출하기 위한 현장실험을 실시하였다. 또한, 실험을 통하여 도출된 요소기술을 기반으로 소음, 진동, 분진 등 건설시공의 열악한 지하구조물 시공 환경에 적합하고 현장 작업자의 실시간 위치추적 및 통신이 가능한 무선통신 및 위치인식 통합기술 기반의 지하구조물 현장지원시스템의 구축방안을 제시하였다.

지하구조물 현장지원시스템

1. 지하구조물 건설현장 여건 분석

1900년대 초 열차와 자동차의 도입으로 한국의 철도 및 도로 건설이 시작되었다. 1950년대까지 철도는 주된 교통수단이었으며, 한국전쟁 이후 경제 재건을 위한 사회적 필요에 따라 다량의 철도 및 도로건설 물량이 비약적으로 증가하였다. 이에 따라 1960년대 초 부터 도로 및 철도 건설의 일환으로 터널공사가 시작되었다. 1980년대 후반에는 서울 근교 부도심의 개발로 인해 수도권의 급속한 인구증가가 발생하여 민간 및 공공 수송을 위해 신설 도로 및 지하철이 건설되었으며, 국토전역에 대한 고속육상 교통시스템의 필요성이 높아졌다.

한국의 터널 산업은 근래 이후 계속 발전해왔다. 현재 한국의 터널 기술은 포괄적이고 조직화된 최고 기술수준을 보여주고 있으나, 아직 붕괴사고 발생등 안전성 및 경제성 측면에서 많은 도전이 남아있다.

현재 한국의 완공 및 시공 중인 터널의 총 연장은 그림 1에 정리한 바와 같이 전력구 및

통신구를 제외하고 약 1,843km에 이른다. 대부분의 터널은 경안반에서 천공 및 발파 공법으로 건설되었으나, 최근에는 TBM과 같은 기계화 시공도 광범위하게 도입되고 있다(국토해양부, 2007).

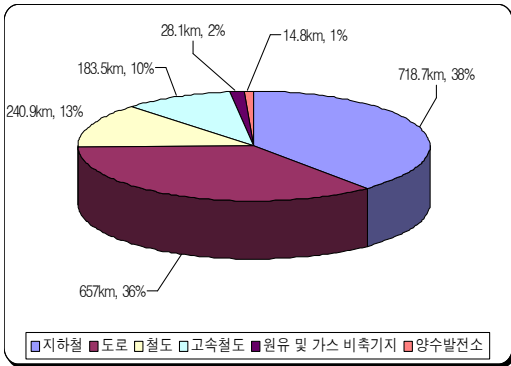


FIGURE 1. 국내 터널 현황

대표적인 기계화 시공 공법인 Shield TBM 형태를 살펴보면, 1987년 부산지역에서 처음으로 도입되어 초기에는 대부분 토압식 쉴드가 도입되었으며, 국내에 도입된 쉴드 TBM 장비의 대부분이 직경 3m~4m 정도의 크기에 집중적이었으나, 최근에는 직경 7m급 이상의 대

형장비가 도입되어 서울지하철 9호선 일부 구간에 적용되는 등 초장대 터널을 건설할 수 있는 기술적 기반이 완성되어 왔다.

인구의 급증 및 경제력 향상에 따라 급속히 지하공간 개발이 늘어나고 있으며, 대부분 장대화 및 대심도화를 계획하고 있어서, 터널 건설에 따른 붕락사고의 발생 위험이 증가하고 있다. 인명피해를 동반한 경우는 언론의 본도를 통하여 많이 알려지고 있으나, 그렇지 아니한 부분을 감안한다면 적지 않은 수의 지하구조물 건설에 따른 붕괴 및 붕락사고가 발생할 수 있다.

각종 사고는 터널의 건설방식과 매우 밀접한 관련을 가지고 있다. 표 1은 굴착방식에 따른 작업환경을 분석하였다. 장대화되는 최근의 지하구조물 개발은 대부분 비개착식으로 이루어지며 이에 따라서 작업공간이 매우 협소하고 작업에 따른 작업자간의 커뮤니케이션에 매우 어려움을 겪을 수 밖에 없다(지오프론테연구회, 1992).

표 2는 개착식 굴착 공법이 적용되는 경우의 작업자 작업환경을 분석하였다. 개착식이므로 통신허상은 양호한 것으로 판단되나, 소음 및 분진

TABLE 1. 굴착방법에 따른 작업환경

굴착방법	통신환경	작업공간	대심도 / 장대화	작업시 원활한 의사소통	재난시 작업자 위치파악
개착식	O	협소	중간	잘안됨	어려움
비개착식 Tunnel Boring Machine (TBM & Shield Type)	X	협소	장대화	전혀안됨	매우 어려움
비개착식 NATM 형식 (Drill & Blast 공법)	X	중간	장대화	전혀안됨	매우 어려움

TABLE 2. 개착식 굴착 작업장의 작업환경

작업장 종류	특징	재난발생에 따른 인적손실 위험	발파진동 작업	분진	습기
건물 기초 및 지하층	대심도화 및 작업공간 협소	큼	가능성있음	중간	중간
지하철 역사	작업공간 협소	큼	가능성있음	중간	중간
개착 터널	상대적으로 양호한 작업환경	적음	가능성있음	적음	적음

TABLE 3. 비개착식 굴착 작업장의 작업환경

굴착방법	특징	재난발생 가능성	발파진동	분진	습기	전파방해 가능성
TBM (Shield Type 포함)	작업공간 협소	적음	없음	적음	고온 다습	많음
NATM	작업공간 중간	큼	항상존재	매우많음	고온 다습	많음

이 외부로 환기되지 않는 점이 있으며, 각종 지 보공이 밀실하게 설치되는 상황으로 대부분 작업공간이 매우 협소하다. 특히 통신시스템을 설치할 경우 습도 및 발파작업에 의한 영향을 받을 수 있는 상황이었다(지오프론테연구회, 1992).

표 3은 비개착식 굴착 작업장의 경우 작업 환경 및 통신환경을 분석하였다. 대부분의 비개착식 터널 건설을 장대화되어 있어서, 현장에서 통신시스템을 별도로 설치하여도 그 효과를 실감하기 어려운 실정이다. 특히 기계화된 TBM 장비에서도 막장면과 현장 사무소간의

유선통화를 기본으로 하고 있어서, 작업자와 관리자의 원활한 의사소통이 쉽지 않다. 종래의 발파공법에 의한 터널 건설은 재난 발생에 매우 취약한 구조를 가지고 있다. 특히 분진 등이 터널 내부에 항상 존재하고 있기 때문에, 작업자에게 작업지시 및 재난 시 작업자의 위치 파악이 쉽지 않은 상황으로 판단되었다(지오프론테연구회, 1992).

2. 지하구조물 현장지원 요소기술

본 연구에서 구축하고자 하는 무선통신 및

TABLE 4. 요소기술별 특징

요소기술명	특징
GNSS	<ul style="list-style-type: none"> - 정확도는 10~30cm 정도 확보 가능 - 도심지역에서는 고층빌딩, 산악지역에서는 나무, 전송탑 등에 의해 GPS 정밀도 현저히 떨어짐
관성센서기술	<ul style="list-style-type: none"> - 차량 항법 보완장치로 개발되어 차량 항법 중 터널, 산악지역, 지하주차장 등 GNSS 시스템의 정보를 수신할 수 없는 지역에서 보조적으로 DR (Dead Reckoning) 시스템에 주로 활용 - 장점 : 짧은 시간동안의 안정성이 유지되고 연속적으로 위치정보를 제공 - 단점 : 시간이 지남에 따라 센서의 오차가 누적됨으로 인해 항법오차가 계속적으로 증가함
무선측위기술	<ul style="list-style-type: none"> - 핸드폰 기지국을 이용한 무선측위기술(AOA, TOA, TDOA)이 주로 활용되고 있으며, 정확도는 50m~150m 정도 유지 가능 - LOS의 영향 등으로 칼만필터링 기법 등의 정확도 향상 알고리즘을 사용하고 있지만 정확도의 한계로 보조 위치측위기술로 활용 가능
USN기술	<ul style="list-style-type: none"> - USN기술은 사물속에 센서, 안테나, IC, 컴퓨터 등을 삽입하여 하나의 칩으로 만들고 이들을 무선네트워크로 연결하는 기술로 물류분야에서 많이 활용되고 있음 - 위치추적기반의 USN기술로는 전파기반의 실내위치인식기술과 UWB기술이 많이 활용되고 있으며, 위치추적외 센서네트워크기반의 근거리 및 장거리 통신기술로 UWB, 무선네트워크기술 등이 활용되고 있음

TABLE 5. 요소기술별 비교표

요소기술	위치정확도	위치정보 인식범위	주위환경 (실외/실내)	통신거리	정보 전송율
GNSS	1mm~20m	전세계	실외	무관	무관
관성센서	20m이내	지역 (상대적)	실외/실내	무관	무관
무선측위	50m~150m	전국	실외/실내	기지국기반 약 4km	95%이상
USN	10cm이내	지역 (상대적)	실외/실내	10m~1km	95%이상

위치인식 통합기술 기반의 지하구조물 건설현장지원시스템의 요소기술은 GNSS기술, 관성센서기술, 무선측위기술, USN기술로 구상하고 있다. 각 요소기술에 대한 선정은 건설현장에서의 작업자의 끊임없는 위치추적을 위해 세계측지계 기반의 국내 실좌표의 GNSS 기술을 중심으로 지하공간에서도 지속적인 위치추적을 위해 자이로센서와 가속도센서로 구성된 관성센서기술, 그리고 지속적인 정밀 위치추적을 위한 무선측위기술과 USN기술의 활용이 필요하다. 각각의 요소기술들은 표 4와 같은 특징을 가지고 있다.

표 5는 본 연구에서 활용 가능한 요소기술에 대한 위치정확도, 위치정보 인식범위, 주위환경, 통신거리, 정보 전송율에 대한 상호 비교표를 보여준다.

적용 예

본 연구에서는 경남 양산시 동면을 통과하는 20.3km의 국내 최장 터널인 경부고속철도 금정터널 중 두산건설에서 시공 중인 입구 4km 터널구간을 대상으로 지하구조물 건설 현장지원시스템을 구성하는 요소기술 성능실험을 수행하였다. 그림 2는 지하구조물 현장지원시스템의 요소기술별 성능실험을 위하여 적용 대상지역으로 선정한 경부고속철도 금정터널 위치도와 실험을 수행한 현장 모습을 보여준다.

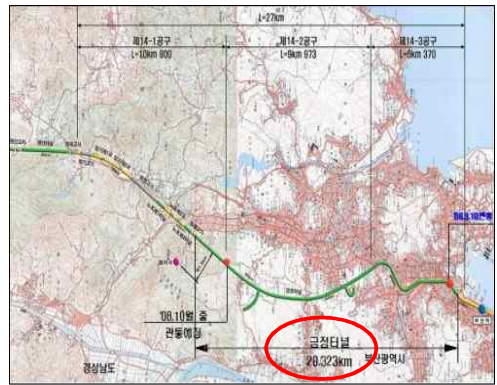


FIGURE 2. 적용 대상지역

지하구조물 건설현장지원시스템의 요소기술에 대한 성능실험은 GNSS, 관성센서의 위치추적 인식률 실험, USN 노드 통신 및 무선측위시스템을 이용한 장거리 멀티미디어 통신 성능실험을 수행하였으며, 실험에 사용된 장비의 정보는 표 6과 같다.

표 6의 성능실험에 사용된 장비 정보 중 GNSS장비는 절대측위방식의 정확도 향상을 위하여 GNSS 리피터기반의 상대측위장비를 도입하고, 터널 내 상대측위정보의 한계 인식거리 및 정확도 분석실험을 수행하기 위하여 준비한 장비이다.

터널 시공현장의 요구사항을 반영한 최적 요소기술 선정을 위한 비교실험은 세계측지계 좌표의 연속성을 유지하기 위하여 필요한 GNSS기술과 터널 내 위치추적을 위한 자이로

TABLE 6. 요소기술 성능 실험 장비

요소기술	사용장비	특성
GNSS	NovAtel GNSS Set	- GNSS Antenas : GPS-533/GPS-600-LB/GPS702GG
	GNSS Repeater	- Reference GNSS : PROPAK-V3 - Roger GPS unit : GPS Repeater GPSR-1
관성센서	SurStar DR	- GNSS+GYRO
	HGA500	- GYRO+ACCELEROMETER
USN	IF100USB (Gateway용 Chip)	- 2 LED display for running status monitoring
	SeNet12224D (Sensor Node용)	- 무선 Ad-hoc, Multi-hop 네트워크 구성
무선측위 시스템	MOS-5404 (본체)	- 메시 네트워킹/Ad-hoc P-P 멀티 호핑 가능
	ET-5PP24 (5.8G)	
	ET-OM11 (2.4G)	- Micro-Strip기술로 설계된 평면 사각 안테나 (안테나)

센서와 가속도계센서로 구성된 관성센서에 대한 위치인식을 실험과 터널 내 끊임없는 통신과 장거리 통신 가능성 확인을 위한 USN과 무선측위시스템에 대한 통신성능의 2가지 실험으로 진행하였다. 그림 3은 본 연구의 수행흐름도를 보여준다.

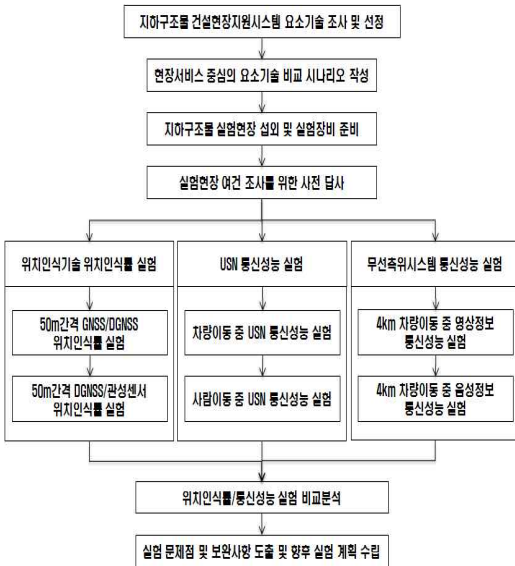


FIGURE 3. 연구 수행 흐름도

1. 요소기술 성능 실험

시공현장에서의 요소기술 성능 실험은 위치인식기술 성능실험 USN 통신 성능실험, 무선측위 시스템기반 멀티미디어 통신 성능실험의 세 부분으로 나누어 수행하였다. 먼저, 위치인식기술 성능실험은 GNSS를 활용한 터널 내 절대측위 방법과 상대측위방법의 정확도 비교 및 한계 인식거리실험과 GNSS 측위방식과 자이로센서와 가속도계센서로 구성된 관성센서와의 정확도 비교실험으로 진행하였다. GNSS의 절대측위방법과 상대측위방법의 비교실험을 위하여 터널 입구에 GNSS 기준국과 GNSS 리피터를 설치하고, 이동차량에 절대측위용 GNSS 센서와 상대측위용 GNSS 센서를 설치하여 실험을 실시하였다. 그림 4는 터널입구에 설치한 GNSS 기준국과 차량에 설치한 GNSS 모습을 보여준다.



FIGURE 4. GNSS 장비 설치모습

실험은 전체 3회에 걸쳐 수행하였으며, 터널 입구에서 내부로 약 400m 지점까지 이동하면서 1초 간격으로 GNSS 위치정보를 저장하고, 50m 간격마다 GNSS 위치정보 수신 상태를 체크하였다.

그리고, 터널 내부에서의 위치추적을 위한 자이로센서와 가속도계센서로 조합된 관성센서의 위치추적 정확도를 분석하기 위하여 GNSS 측위방법의 비교실험 시 병행하여 실험을 실시하였다. 그림 5는 GNSS와 관성센서의 위치인식기술 정확도 비교실험을 수행하고 있는 모습을 보여준다.

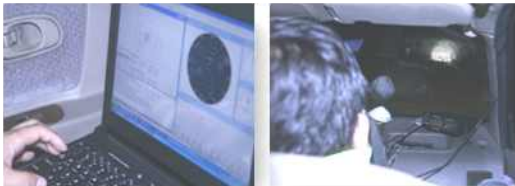


FIGURE 5. 위치인식기술 비교실험 모습

두 번째 실험으로 수행한 USN 통신 성능실험은 지하공간 안에서 끊임없는 통신 및 장거리 통신이 가능하도록 USN 노드를 활용하기 위하여 수행한 실험으로 지하공간 안에서의 장애물의 영향 및 한계 통신거리 파악 실험으로 진행하였다. 실험과정은 차량이동 중 통신 성능실험과 터널 내 사람이동에 따른 통신 성능실험으로 진행되었다. 그림 6은 터널 내에서 게이트웨이용 컴퓨터에서 USN 노드의 통신 연결 상태를 체크하고 있는 모습과 12m 일정 간격으로 USN 통신성능을 실험하는 모습을 보여준다.



FIGURE 6. USN 통신성능 실험 모습

세 번째 실험을 수행한 무선측위시스템 통신 성능실험은 5.8GHz대의 무선측위시스템을

활용하였다. 실험은 터널 입구에 설치한 무선기지국에서의 터널 내부에서 이동 중인 차량 내부에 대한 영상화면 전송을 실험과 쌍방향 음성통신 성능실험으로 진행되었으며, 장대터널의 일반적인 기준으로 보고 있는 4km 범위까지 2회의 반복실험으로 실시되었다. 그림 7은 터널 내 4km 지점까지 차량 이동 중 무선측위시스템을 통하여 영상정보와 음성통신 성능을 실험하고 있는 모습을 보여준다.



FIGURE 7. 무선측위시스템 성능 실험 모습

2. 비교 및 평가

요소기술별 현장실험으로 획득한 자료를 기반으로 비교분석을 수행하여 최적 요소기술을 도출하였다. 먼저, 터널 내 GNSS 절대측위방법과 상대측위방법의 인식거리실험에서는 절대측위방법의 경우 터널 내 진입 약 100m 이후 거리에서는 위치추적이 불가능하였으나, GNSS 리피터 기반의 상대측위방법의 경우 약 200m까지 끊임없는 위치추적이 가능하였다. 또한, 정확도 비교분석에서는 상대측위방법 중 RTK-GNSS 측량결과가 0.01m~0.1m의 정확도로 가장 정확도가 높게 나왔으며, 코드해석방식의 DGNSS 측량의 경우 0.4m~3m, 절대측위방법의 경우 약 20m의 정확도가 산출되었다. 지하구조물 현장지원시스템의 경우 다수의 작업자가 활용하고 파손, 분실 등의 문제가 자주 발생할 수 있어 시스템 비용이 저가여야 하며, 지하구조물 현장에서의 작업자 위치정보 오차범위가 약 20m 이내로 요청하고 있어 코드해석방식의 DGNSS 기술의 활용이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 그림 8은 GNSS 측위정확도를 분석한 결과 그래프를 보여준다.

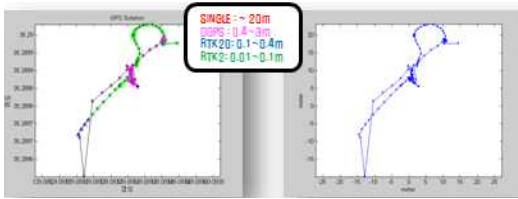


FIGURE 8. GNSS 측위정확도 분석 그래프

그리고, 관성센서의 정확도 비교분석에서는 10m 이내의 오차를 확보할 수 있었다. 그림 9는 이동차량의 관성센서정보 기반의 이동차량의 선형과 위치오차 분석 결과 그래프를 보여준다.

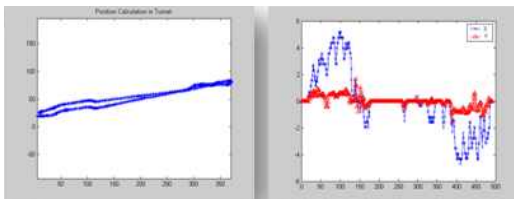


FIGURE 9. 관성센서 오차 분석 그래프

따라서, 국내 실좌표계 기반의 지상과 지하의 끊임없는 작업자의 위치추적을 위해서는 코드해석방식의 DGNSS시스템과 관성센서의 통합 활용이 가장 최적의 지하구조물 현장작업자의 위치추적기술로 분석되었다.

USN 통신성능 비교분석 중 차량이동에 따른 USN 통신 성능 분석에서는 차량간 이동거리가 20m 이상 차이가 발생하는 경우 차량 내 USN 노드 상호간의 통신은 문제 없었으나 차량간 USN 통신이 자주 끊김이 발생하였다. 또한, 사람이동의 경우 무작위 사람이동의 경우 초기 이동시에는 USN ad-hoc기능에 의해 노드 변화를 통해 상호 통신이 이루어졌으나, 간격의 멀어질수록 통신이 자주 불통되는 문제점이 발생되었다. 그림 10은 차량이동 중 USN 모니터링 결과화면을 보여준다.

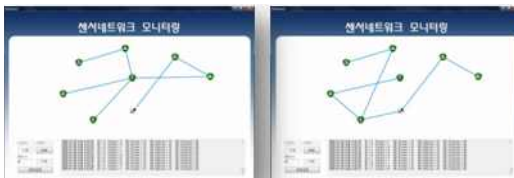


FIGURE 10. USN 모니터링 결과(차량이동)

또한, 12m 일정간격별 USN 통신실험에서는 장애물의 영향을 받지 않도록 USN 노드를 손끝으로 잡고 사람 몸 앞쪽으로 고정하여 실험하였으며, 실험결과는 12m 간격으로 이동한 총 7명의 84m 거리에 대한 통신이 원활히 이루어졌다. 그림 11은 12m 간격별 사람이동에 따른 USN 모니터링 결과화면을 보여준다.



FIGURE 11. USN 모니터링 결과(사람이동)

본 연구실험에 사용한 USN 노드의 경우 내부 안테나를 활용한 센서로 사람의 몸이나 장애물에 의한 영향을 많이 받았다. 특히 통신거리가 20m 밖에 확보하지 못하여 장대화된 지하구조물 현장에서의 활용성이 어려운 것으로 판단되었다. 따라서, 장대화 및 대심화되고 있는 지하구조물 현장에서는 장거리 통신이 가능한 외부안테나 기반의 USN 노드 활용이 필요한 것으로 판단되며, 외부안테나 기반의 추가적인 USN 활용성 검토를 위한 건설현장 검증이 필요하다.

영상정보와 음성통신으로 나누어 실험한 무선측위시스템 통신성능 비교분석에서는 영상정보와 음성통신 모두 중간에 중계기의 설치 없이 4km 이상 거리까지 선명하고 고음질의 통신이 가능하였다. 따라서, 분진, 소음, 전파간섭 등 지하구조물 건설 시공현장의 열악한 환경을 고려하더라도 2km 이상의 통신이 가능할 것으로 판단된다. 그림 12는 무선측위시스템을 통하여 획득된 영상정보와 음성정보를 모니터링 하고 있는 컴퓨터 화면을 보여준다.



FIGURE 12. 무선측위시스템 통신 모니터링

그러나, 경부고속철도 금정터널의 경우 준공의 완료되고 있는 현장이어서 지하구조물 건설 시공현장의 열악한 환경이 충분히 반영되지 못한 것으로 판단되며, 열악한 환경의 지하구조물 건설현장에서의 지속적인 성능실험이 필요한 것으로 생각된다.

3. 검토 및 구축 방안

지하구조물 건설 시공현장은 터널 굴착, 갱폭파, 관련 기계 및 차량의 이동 등으로 분진, 소음, 진동, 전파간섭 등이 커 통신 및 전자시스템의 활용이 매우 열악한 환경을 가지고 있다. 따라서, 지하구조물 건설 시공현장은 건설 IT 기술 개발 및 접근이 어려운 환경을 가지고 있지만, 건설IT 기술을 매우 필요로 하는 공간이기도 하다. 또한, 지하구조물 건설 시공현장의 열악한 환경으로 인하여 작업자들은 안전모, 무전기 등 착용장비를 최소화하여 작업하고 있다.

무선통신 및 위치인식 통합기술기반의 지하구조물 현장지원시스템은 건설 시공현장의 열악한 환경 및 작업자 착용을 고려하여 개발되어야 한다. 또한, 작업자의 효율적인 관리가 가능하도록 현장사무실에서 현장작업자 실시간 위치추적과 감독자와 작업자 및 현장작업자들 상호간의 장거리 음성통신이 원활히 이루어져야 하며, 지하구조물 건설 현장 사고발생시 신속한 구조가 가능하도록 사고발생시 119구조대로 사고발생 자동 호출과 사고가 발생한 현장의 작업자 위치정보가 제공될 수 있어야 한다. 따라서, 지하구조물 현장지원시스템은 위치인식기술과 장거리 음성통신 및 데이터 쌍방향 전송이 가능한 무선통신기술을 주요 요소기술로 하여 현장 작업자의 착용 및 이용이 편리하도록 소형화 및 경량화된 시스템으로 개발되어야 한다. 그림 13은 무선통신 및 위치인식 통합기술기반의 지하구조물 현장지원시스템의 개념도를 보여준다.

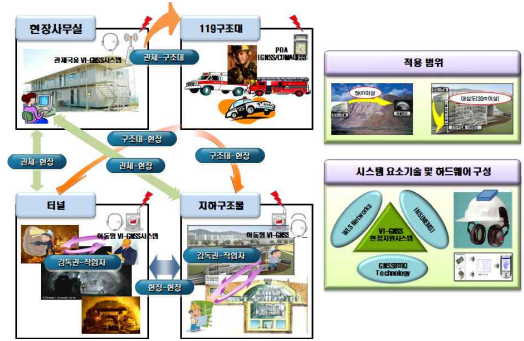


FIGURE 13. 지하구조물 현장지원시스템 개념도

지하구조물 현장지원시스템의 주요 요소기술들은 다음과 같은 특성을 가져야 한다. 먼저, 위치인식기술은 지상과 지하의 위치추적이 끊임없이 이루어져야 하며, 위치좌표는 세계측지계 좌표인 GRS80 경위도 좌표 및 TM 평면직교좌표와 표고로 이루어진 3차원 좌표로 표현되어야 한다. 또한, 지하공간 내에서 20m 내의 위치정밀도가 항상 유지되어야 한다. 따라서, 시스템 개발을 위하여 GNSS, 관성센서, 무선측위기술, USN 등의 위치인식기술들에 대한 고려가 필요하며, 안정성과 신뢰성을 확보하기 위하여 개별 위치인식기술들의 통합 활용이 이루어져야 한다.

그리고, 무선통신기술은 소음, 진동, 분진 등 열악한 지하공간에서의 원활한 통신이 가능해야 하며, 특히, 4km 이상의 장거리 지하공간에서의 음성통신 및 쌍방향 데이터 전송이 가능해야 한다. 또한, 지하공간 내 주변 장비로부터 발생하는 전파간섭에 강해야 한다.

마지막으로 지하구조물 현장지원시스템은 고온·다습한 지하구조물 현장환경을 충분히 고려하여 작업자의 편의성을 반영한 소형화·경량화된 시스템을 개발되어야 한다.

결 론

무선통신 및 위치인식 통합기술을 활용한 지하구조물 현장지원시스템에 대한 최적 요소기술을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 지하구조물 현장지원시스템은 지상과

지하에서 끊임없이 세계측지계기반의 국내 실좌표로 고정밀 위치추적이 가능하도록 개발되기 위해서는 GNSS 측위기술을 활용이 필요하다. GNSS 측위방법별 정확도 비교실험을 통하여 코드해석방식 DGNSS기술이 최적기술로 분석되었다. 또한, 관성센서의 정확도 분석에서는 10m 이내의 정확도를 확보할 수 있는 것으로 분석되어, 시스템 비용을 고려한 지하구조물 현장 내에서의 작업자 위치추적에 대한 최적 위치인식기술로 코드해석방식의 DGNSS와 관성센서의 통합 활용방식을 결정할 수 있었다.

둘째, 내부안테나 기반의 USN 통신성능실험수행 결과, 터널 내 차량 이동 중 실험에서는 차량간 거리가 20m 이상 떨어지는 경우 통신 단절이 발생하였고, 무작위 사람이동 및 12m 일정간격 사람이동에 따른 통신성능실험에서는 Ad-hoc기능을 통하여 양호한 통신결과를 얻을 수 있었으나 장애물가 지향성을 가지고 있어 장거리 및 대심화 지하구조물 현장에서의 작업자간 USN 통신으로는 부적합한 것으로 판단되었다.

셋째, 무선측위시스템을 활용한 영상정보 및 음성정보 장거리 통신성능실험에서는 5.8GHz대의 무선측위시스템을 기반으로 실험이 수행되었으며, 4km 이상의 구간까지 선명한 영상과 고품질의 음성통신이 가능하여 지하구조물 건설현장에서의 통신기술로의 활용성을 확인할 수 있었다.

넷째, 본 연구에서 도출된 최적 요소기술과 지하구조물 건설현장의 환경을 기반으로 지하구조물 현장지원시스템은 소음, 진동, 분진 등에 강하고, 고온·다습한 지하구조물 건설 현장작업자의 착용과 편의성을 충분히 고려하여 개발되어야 할 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

강원임베디드소프트웨어연구센터. 2008. 센터 및 USN 보유기술 소개자료. 1-2쪽.

국토해양부. 2007. <http://www.mltm.go.kr>.

김병두, 조성윤, 윤현정, 최완식. 2008. 소프트웨어 기반 GPS 수신기 개발 동향. 정보통신연구진흥원. IT 원천기술개발사업. 1-13쪽.

김신진, 정우석, 박가람, 최연경, 김선중. 2007. USN 응용서비스 동향. 전자통신동향분석. 22(3):58-66.

부산광역시 시설관리공단. 2007. U-IT 터널 안전관리 모니터링시스템 구축. 102-155쪽.

신천식, 이상욱, 김재훈. 2008. 위성항법수신기 기술개발 동향. 전자통신동향분석. 23(4):137-146.

심재호, 김중훈, 김태간, 한승진, 임기욱, 이정현. 2007. 스마트 홈 환경을 위한 관성 센서기반의 사용자 위치 추정 방법. 한국정보과학회 07 추계 학술발표논문집 34(2):575-579.

임성빈, 최우경, 서재용, 김용민, 전홍태. 2006. 관성센서를 이용한 동작 인식 시스템의 개발. 한국퍼지및지능시스템학회. 춘계학술대회 학술발표 논문집 16(1):112-120.

지오프론테어연구회. 1992. 터널 건설에 따른 환경영향 및 대책 조사 보고서. 일본 지오프론테어연구회.

정보통신부. 2007. 고정밀 포지셔닝 부품 개발. 최종연구개발결과보고서. 79-189쪽.

한국전자통신연구원. 2006. 개방형 LBS 핵심기술 개발에 관한 연구. 최종연구개발결과보고서. 48-85쪽.

한국정보보호진흥원. 2006. USN 환경에서의 분산형 인증체계 연구. 최종연구개발 결과보고서. 50-78쪽.

한국정보통신기술협회. 정보통신표준화 계획 수립 및 대응전략 연구. IT839 전략 표준화로드맵 Ver:2007 종합보고서3. 61-147쪽.

横田 依早彌. 2000. 건설공사현장에서 활용되는 모바일 시스템. KAJIMA건설. 59-63쪽.

FEHRL. NR2C Vision 2040. <http://nr2c.fehrl.org>.

TANIZAWA. <http://www.tanizawa.co.jp>.

Tunconstruct. TUNCONSTRUCT Project. <http://tunconstruct.org>. **KAGIS**