

## 지구 자기장 기반의 Fingerprint 실내 위치추정 방법 연구

허수정\*, 송준열\*, 박용완<sup>o</sup>

## Indoor Position Technology in Geo-Magnetic Field

Soojung Hur\*, Junyeol Song\*, Yongwan Park<sup>o</sup>

## 요약

기존의 전파에 의존한 실내 위치추위 시스템의 한계점 발생으로 실내환경에서 정확도 향상을 위한 새로운 방법의 도입이 필요한 시점이다. 최근 생태계 모방 기술이 미래의 핵심기술이 되었고, 이에 따라 귀소본능을 가진 동물들이 지구자기장을 탐색하여 생체자석으로 위치친지에 사용하는 점을 적용한 정확한 위치 추위 방법을 연구하였다. 실내 위치추위를 위한 새로운 자원인 지구자기장의 적용 가능성을 확인하기 위해 건물구조, 구성재료를 구분하고 실제 자기장센서를 탑재할 수 있는 구조물과 데이터수집 모듈을 설계한 뒤, Fingerprint 기법의 위치추위 시스템을 구성하여 위치추위 자원으로서의 지구자기장의 적용 가능성을 연구하였다. 위치추위 시스템 성능 평가에서 기존의 무선랜이 설치된 건물에서는 지구자기장 세기 기반의 위치추위 시스템이 무선랜 기반 위치추위 시스템과 유사하거나 약 20% 성능이 높게 나타났다. 이와같이 실내 위치추위를 위한 인프라 설치가 되어 있지 않는 환경에서는 지구자기장이라는 고유의 지구자원으로 실내 위치추위가 가능하다.

**Key Words** : LBS, Fingerprint, indoor positioning, geomagnetic

## ABSTRACT

Due to the limitations of the existing indoor positioning system depending on the radio wave, at present, it is required to introduce a new method in order to improve the accuracy in indoor environment. Recently, bio-inspired technology has become the future core technology. Thus, this study examined the accurate positioning method applying the abilities that animals with homing instinct measure their position by searching geomagnetic field with the use of their biomagnets. In order to confirm the applicability of geomagnetic field, a new source for indoor positioning, this study separated the constituent materials and building structure and designed the structures that can carry the actual magnetic field sensor and the data collection module. Subsequently, this study investigated the applicability of geomagnetic field as a positioning source by establishing the positioning system of Fingerprint method. In performance evaluation of the positioning system, the geomagnetic strength-based positioning system was similar to or approximately 20 percent higher than the wireless LAN-based positioning system in the buildings with the existing wireless LAN. Thus, in the environment without infrastructure for indoor positioning, the geomagnetic, an independent earth resource, can make it possible to realize the indoor positioning

## I. 서론

위치추위 요청 호의 70~80%가 건물 내부와

※ 본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임(No. 2012-015596)

※ 본 논문은 2011년 영남대학교 교비 지원을 받아 수행되었음(과제번호 : 211-A-251-094)

◆ 주저자 : 영남대학교 정보통신공학과, sjheo@ynu.ac.kr, 정희원

° 교신저자 : 영남대학교 정보통신공학과, ywpark@yu.ac.kr, 종신회원

\* 영남대학교 정보통신공학과, yeol2@ynu.ac.kr

논문번호 : KICS2012-03-156, 접수일자 : 2012년 3월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 24일

같은 GPS 신호가 도달하지 않는 음영지역이나 중계기 신호를 사용하는 실내에서 발생하여 기존의 기술은 상용 서비스망에서 사용하기에 부족함이 있다. 따라서 실내 위치측위에 대한 필요성이 증가하고 있으며 이에 대한 방안으로 다양한 기술들이 연구되고 있다. GPS 위성 기반의 위치측위 경우 실내 및 건물 밀집지역에서 수신율이 저하되며, 이동통신망 기반의 위치 측위 경우 실내에 설치된 중계기의 영향으로 수백m의 오차를 가지는 문제점이 있다. 근거리 통신기술을 이용한 측위 기술인 무선랜(WLAN), 적외선(IrDA), 초음파(Ultrasonic), UWB(Ultra WideBand) 등은 위의 GPS, 이동통신망 기술의 문제점을 극복하고 수m의 정확한 위치측위 결과 제공이 가능하다<sup>11-15</sup>.

현재 실내위치측위시스템으로 무선랜 기반의 측위 기술이 주목을 받는 이유는 먼저, GPS가 지원하지 못하는 건물 내부 및 음영지역에서 위치 확인이 가능하며, 기존에 설치된 하드웨어의 재사용이 용이하며 위치 측위 도입비용이 적으며 신규 설치 및 구조 변경이 용이하다는 장점이 있다. 무엇보다 최근에 보급된 스마트폰 및 스마트기기 내 무선랜을 사용하여 위치측위가 가능하다는 것이다. 이러한 장점들로 인하여 현재 실내위치측위 시스템으로 무선랜이 보편적으로 사용되고 있지만, 무선랜의 경우도 초기 인프라가 설치가 되어야 한다는 타 근거리 통신기술의 한계를 넘지 못하는 단점이 있다<sup>16,17</sup>.

기존의 전파에 의존한 실내 위치측위 한계점 발생으로 실내/외 환경에서 모두 위치측위가 가능한 새로운 자원이 필요하며, 지구자기장의 경우 자기장 인식율이 높은 센서의 개발로 인해 확률적 모델링 기반의 위치측위 알고리즘 적용이 가능함을 연구함으로써 향후 지구자기장의 실내위치측위 기법에 대한 새로운 방안을 제시할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 기존 실내위치측위 시스템들과는 다른 관점인 지구의 고유한 자원인 지구자기장을 기반으로 실내위치측위시스템의 적용 및 그 성능을 평가하고자 한다. 본 논문의 구성은 강자성체에 의한 지구자기장의 교란분석, Fingerprint 측위 기법에 적용하기 위한 지구자기장세기 획득 및 분석, 그리고 건물내에서의 무선랜측위시스템과 지구자기장세기 기반 측위시스템의 성능을 비교 분석 결과에 관하여 고찰 한 후 마지막으로 결론을 맺는다.

## II. 관련연구

### 2.1. 지구자기장

실내 위치측위 시스템은 정확도 향상을 위해 인프라를 설치해야 하거나, 기 설치된 인프라를 이용하여 위치측위가 가능한 시스템으로 나눌 수 있다.

이와 같은 방법 모두 인프라를 설치해야 한다는 비용에 대한 문제와 설치가 힘든 환경에서는 실내 위치측위를 할 수 없는 문제점이 있다. 이러한 기존 전파에 의존한 실내 위치측위 한계점 발생으로 실내 환경에서 정확도 향상을 위한 새로운 방법 도입이 필요한 시점이 있다. 이러한 관점에서 보면 최근 BT와 IT를 융합한 BIT 기술이 급부상하면서 생태계 모방 기술이 미래의 핵심 기술이 되었고 이에 따라 생태계 모방 기술을 적용한 정확한 위치인지 방법의 도입이 필요하다.

위치측위 관점에서 접근한다면 귀소본능을 가진 동물들은 대체로 지구자기장을 탐색하는 생체자석으로 자기위치인지에 사용한다는 점을 주목할 수 있다. 지구자기장을 이용한 위치측위는 오랜 연구가 이루어지고 있으나, 동물들의 귀소본능의 원인 및 원리를 이해하기 위한 방법이었으며, 위치측위에 적용하기 위한 연구는 실외의 광범위한 공간에서 진행되고 있었다. 그러나 실내 환경에서의 위치측위시스템으로의 자원에 대한 고려는 최근 실내자율주행 로봇의 위치측위 기법에서 연구되고 있다.

지구자기장은 지구 전체를 감싸는 자석의 힘을 말한다. 지구가 거대한 ‘막대자석’처럼 기능하기 때문에 이러한 힘이 발생하며, 대체로 남극 부근에는 N극, 북극 부근에는 S극이 위치하고 있다. 막대자석처럼 지구 자력선의 방향도 남쪽의 N극에서 시작되어 북쪽의 S극으로 이루어진다. 특히 자기의 방향은 위도에 따라 달라지며, 남극 부근에서는 위를 향하고 적도 부근에서는 수평을 유지하고 북극 부근에서는 아래를 향한다. 이러한 각도 차이를 북각(Magnetic Inclination)이라고 한다.

지구성의 위치에 따라 자기장 세기도 다른 것을 이용하여 동물들은 지구 자기장의 북극과 자기장세기를 감지해서 자신의 위치를 파악하고, 이를 바탕으로 방향을 잡는다. 특히 장거리를 이동하는 새들은 눈과 연결된 나침반과 부리와 이어진 지도를 뇌속에 가지고 있는 것으로 과학자들은 파악하고 있다<sup>18</sup>.

이러한 동물들의 생태계에서 지구자기장 기반의 위치측위 기법 연구가 시작되었으며, 기존 연구는

동물들의 귀소본능과 위치결정능력의 관점에서 연구가 진행되고 있으나, 지구자기장 세기를 측정할 수 있는 센서의 개발로 위치측위 시스템에서도 지구자기장을 이용하고 있다. 동물의 위치 인지 및 실내에서의 가용 자원 분석을 통하여 지구자기장크기의 변화는 실내 위치 추정의 유력한 방안이 될 수 있다.

그러나 지구자기장은 동물들의 위치 및 항법에도 사용 될 만큼 정확도가 높은 위치측위 기법이지만, 실내 위치측위에 적용되기 위해서는 지구자기장세기가 건물 내에서의 변화분포 및 강자성체에 대한 교란의 정의가 반드시 필요하다.

### 2.2. 지구자기장 센서

자기장센서는 일반적인 음향, 진동, 가속도 센서 등과 달리 에너지원으로부터 발생된 신호를 감지하는 것이 아닌 차량, 금속물질, 자석등에 의한 지구자기장의 변화를 감지한다.

자기센서의 출력은 최대 3차원으로 나타나며 x, y, z의 3축으로 나타낼 수 있다. 각 축은 물체의 진행방향, 센서의 방향에 따라 서로 직교하는 출력을 나타낸다. 자기센서의 출력을 사용하는 방법은 크게 2가지로 나뉜다. 각 축의 출력 패턴을 그대로 이용하여 사용하는 경우와 전체 크기(Magnitude)를 이용하는 방법으로 이때 전체 크기는 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 크기값은 반드시 순시치에 의하여 결정되어야 한다.

$$magnitude = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} \quad (1)$$

본 논문에서는 자기저항 효과를 이용한 비등방성 자기저항센서인 MicroMag3를 사용하여 지구 자기장 변화를 측정한다. 자기저항 효과는 일명 Thomson 효과로 말하며, 자성체의 전기적 저항이 자화방향과 전류의 방향에 따라서 변화하는 현상으로 자기저항효과를 이용한 센서는 센서의 소형화가 가능하고 IC화 할 수 있는 장점을 가지고 있어서 다양한 응용분야에 활용되고 있다. MicroMag3 센서는 3축 자기 센서를 내장하고 RS-232통신을 이용하여 컴퓨터로 직접 gauss단위의 데이터를 전송한다. 일반적인 자기장 측정 및 연구에 폭 넓게 사용되고 있는 장비로서 매우 안정된 출력을 제공하며, Resolution이 정교하여 비교적 신뢰성 높은 데이터를 획득할 수 있다. 자기장의 변화는 자성물체에서 멀어질수록 지수적으로 감소하며 이에 따라 자기센서의 자기장 변화 감지량도 물체와 멀수록 비례하여 큰 폭으로 감소한다. 실험을 통한 자성체의 변화

량은 다음 절에서 기술한다.

### 2.3. 확률적 모델링에 근거한 위치측위 기법

핑거프린팅(Fingerprint) 방식이라고도 불리는 확률적 모델링에 근거한 방식은 노이즈 및 주위 환경정보를 위치추적을 위한 정보로 활용하는 방식으로 현재 무선랜 기반의 측위 시스템에서 가장 많이 사용되는 위치측위 방식이다. 그림 1, 2는 확률적 모델링에 의한 위치 추정 단계를 도식화한 그림이다. 먼저 위치 측위 대상이 되는 공간을 일정한 범위로 나누고 각 측위 지점(P:Point)의 위치 값을 데이터베이스(DB:Database)에 저장한 후 위치 값과 함께 액세스포인트(AP:Access Point)로부터 단말기(MU:Mobile Unit)에 도달한 신호 세기를 측정하여 추출한 전파 특성값을 저장한다. 이 과정은 측위 대상이 되는 공간의 모든 측위 지점을 측정할 때까지 반복적으로 수행된다.

데이터베이스를 구축한 후 단말기를 가진 사용자가 위치를 요청하면 먼저 단말기는 위치를 요구하는 장소에서 신호 세기를 측정 후 데이터를 서버로 전송한다. 데이터를 전송 받은 위치 측위 서버는 측정된 신호와 저장된 데이터베이스의 신호를 비교하여 요구한 단말기의 위치와 가장 적합한 위치 데이터 정보를 결정한 후 위치 값을 단말기에게 제공한다.

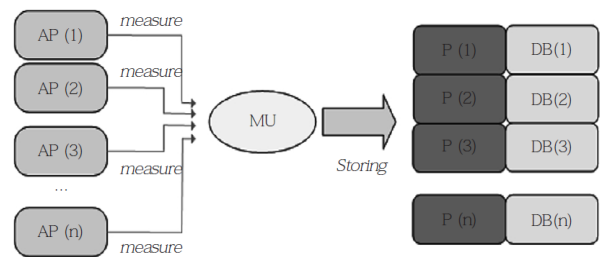


그림 1 데이터베이스 구축  
Fig. 1. Database construction

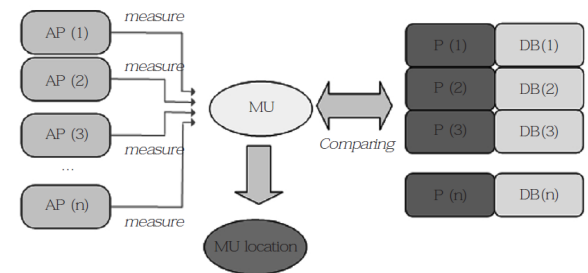


그림 2 단말기 위치 추정  
Fig. 2. Terminal location estimation

확률적 모델링에 근거한 방식은 수집된 전파 특성 값이 전파 환경까지 포함되어 있기 때문에 기존의 알고리즘에 비해 우수한 위치 정확도를 제공한다. 특히 지구자기장의 경우 획득된 신호원이 자기장세기 값이 외에는 없는 특징이 있기 때문에 삼각측량기법으로 위치를 추정할 수 없다. 하드웨어의 추가 없이 알고리즘 구성만으로 구현이 가능한 확률적 모델링 알고리즘을 사용할 수 있으나 실제 환경에서 적용 가능성에 대한 검증이 필요하다<sup>7,8)</sup>.

본 논문에서는 확률적 모델링에 근거한 Fingerprint 위치추위 기법을 이용하여 지구자기장센서로부터 획득된 지구자기장세기 값을 데이터베이스화 하여 실제 실내 환경에서 위치추위를 위한 시스템을 구축하여 그 성능을 확인하고자 한다.

### Ⅲ. 지구자기장세기 적용 위치추위 시스템

지금까지 위치추위 시스템은 실외 위주의 측위 기술이 대부분이었다면 스마트기기의 보급으로 인한 응용서비스들의 요구가 증가하면서 신뢰성 높은 실내 위치추위 기술에 대한 필요성과 중요성이 점점 커지고 있다<sup>8)</sup>.

최근 새로운 실내 위치추위 시스템으로 무선랜을 사용하는 방법이 대두되고 있으나, 전파의 특성상 간섭요인에 의한 빈번한 변화와 계속적인 데이터베이스의 구축에 대한 비용문제로 위치추위에 대한 문제점이 나타나고 있다. 무선랜의 경우 단말이 수신하는 RF 신호강도를 기반으로 하는 Fingerprint 기법을 사용하고 있으나, 기존 전파를 기반으로 실내 위치추위를 수행하는 기법들은 실내 환경에서 전파의 특성뿐만 아니라 전파 송수신기기의 변화 및 건물내부 구조의 변경 시 위치추위 데이터베이스를 재구성해야 한다는 문제를 해결하기 못하는 원천적인 문제점 때문에 위치추위의 항시성과 고유성을 확보할 수 있는 다른 자원에 대한 위치추위 기법이 반드시 필요하다. 아래 표는 실내 위치추위 시 지구환경 정보의 적용 가능성을 나타낸다.

표 1. 지구환경정보 별 위치추위 적용성  
Table 1. Applicability for location determination according to the global environment information

	Global environment information				
	Geomagnetic intensity	Gravity intensity	Difference of barometric	Temperature, humidity	Wind (air)
Accuracy	○	△	△	X	X
Always	○	○	○	X	X
Universality	○	○	○	○	△
Purpose	<10m	Separate layer	Separate layer	distinguish areas	distinguish areas

위 표에서 지구환경정보 중 지구자기장세기는 위치추위 적용에 필요한 정확성, 항시성, 보편성을 모두 만족하면서 10m이내의 오차범위를 가지는 우수한 위치추위 자원으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 특성을 실제 환경테스트를 통하여 검증하고 기존 Fingerprint 기법을 사용하는 위치추위 시스템 중 무선랜기반 실내위치추위와의 성능을 비교한다.

#### 3.1. 시스템 구성

전파의 경우 Fingerprint 방법으로 위치추위 시 오랜 연구의 결과로 상용화된 측위 시스템도 있으며, 위치 정확도 향상을 위한 다수의 알고리즘들이 있으나, 지구자기장의 경우 Fingerprint 기법을 사용하기 위해서는 공간 내에서의 지자기세기 분포에 대한 연구가 먼저 수행이 되어야 한다.

지구자기장의 경우 지각의 구조, 즉 지층이나 지하광물, 지하수 등에 의해 지자기장의 분포를 이루고 있지만, 특히 투자율(Magnetic Permeability)의 분포가 균일하지 못하면 자속밀도(Magnetic flux density)의 분포도 균일하지 못하게 되는 지자기 교란이 발생된다. 건물 내부 인 실내 환경의 경우 철근을 사용하여 건축된 건축물의 경우 강자성(Ferromagnetism)을 띠는 철근에 의해 공간적인 국소지자기 교란이 발생하며, 이러한 국소 지자기 교란은 태양풍에 의한 지자기 교란의 최소 수십 배부터 수천 배에 이르는 것으로 조사되었다.

지자기세기 기반에서는 위치추위 기법을 적용하기 위해서 시간에 대한 정보가 없으므로 신호세기 값으로 위치를 추정하는 확률적 모델링 중 Fingerprint방식으로 위치 추위가 이루어 져야 한다.

확률적 모델링을 이용한 실내 위치추위 방식은 위치추정을 수행하기 위하여 반드시 데이터베이스를 구축해야 한다. 아래 그림3은 지구자기장세기를 기반의 Fingerprint 측위 기법 적용 시 데이터베이스를 구축하는 단계를 보여준다.

데이터베이스 구축은 측위 대상이 되는 공간을 일정한 범위로 나눈 후, 신호 세기를 측정해야 하는 측위 지점을 설정한다. 사용자 설정에 의하여 고정된 측위 지점에서 단말기는 무선랜의 경우 각각의 AP로부터 수신되는 신호세기, 지구자기장의 경우 지구자기장세기를 측정하고 측위 지점의 위치 좌표와 함께 수신된 신호의 세기를 데이터베이스로 저장한다.

이와 같은 데이터베이스 수집을 위해 무선랜의



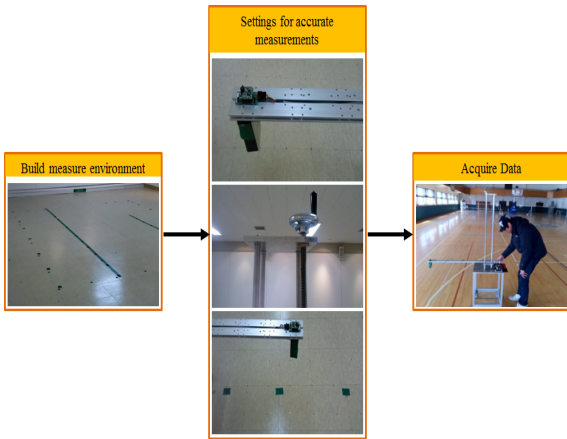


그림 3. 데이터 획득 실험 단계  
Fig. 3. The experimental phase data acquisition

경우 무선랜이 장착된 휴대기기 및 노트북으로 측위 공간에서 신호를 수집할 수 있지만 지구자기장의 경우 지자기센서 이외의 자성체에 대한 교란을 차단해야 함으로 측정 장치를 자체 제작하여 신호를 수집하였다. 측정 장치는 모두 알루미늄과 아크릴판으로 제작하여 자성체에 대한 지구자기장의 교란을 최소화 했으며, 측정 거리 및 데이터수집의 신뢰성을 높이기 위해 거리별 센서 거치대를 부착하여 오차를 줄이도록 하였다.

실험을 위한 공간의 도면을 확보하고 신호세기(지구자기장세기) 획득 지점을 결정한 뒤, 그 지점에서 신호를 획득하고, 획득된 신호를 분석하여, 측위 용 실내 Map을 구축하게 된다.



그림 4. 지구자기장세기 수집 장치  
Fig. 4. Device that collects the Earth's magnetic field strength values

### 3.2. 건물구조별 지자기 변화 요인 분석

지구자기장은 지구의 고유하고 항시적인 자원이지만 실내 환경의 경우 건물 및 공간을 구성하고 있는 건축 재료 중 강자성체에 영향으로 교란 및 왜곡, 그리고 감쇄현상이 나타나게 된다. 실내위치 측위를 위한 Fingerprint 기법을 적용할 경우 지구

자기장의 세기값을 데이터베이스화 한 후 사용자의 요청이 있을 때 사용자 단말기 및 센서에서 센싱된 지구자기장 세기값을 위치서버로 전송한 후 데이터베이스의 지구자기장 세기와 비교하여 가장 유사한 곳에 위치를 결정시킨다. 이와 같은 방법은 무선랜의 경우와 같다. 하지만 전파의 경우는 건물의 고유한 성질인 재료에 의한 변화가 아닌 실시간 전파 간섭요인에 의한 것이므로 예측하기 어려움이 있다. 지구자기장의 경우 건물 재료 및 구조에 따른 자기장세기의 특징을 분석한 후 데이터베이스를 효율적으로 구성하는 방법, 특정 공간의 지구자기장세기 예측 모델과 같은 방법을 통하여 그 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 측정을 위한 대표 건물 3곳을 결정하여 실제 제작된 지구자기장세기 획득 구조물에 센서를 장착하여 지구자기장세기 값의 분포를 확인하였다. 건물 구성 재료를 철근과 H빔을 사용한 건물로 분류하였다. 철근은 일반 건축물에서 가장 많이 사용되는 재료이며 강자성체 성질을 가지고 있기 때문에 벽 혹은 기둥에 설치된 철근이 실내 지자기세기를 왜곡시키는지에 대한 실험을 진행하였다. 그림5는 실험을 위한 지구자기장 세기를 측정할 건물의 분류를 보여준다.

교내 지역혁신센터 건물과 소재관은 철근구조, LED-IT융합센터 건물은 H빔 구조이다.

건물의 구조와 재료는 지구자기장 교란의 큰 영향을 미치는 조건임에는 분명하나 건물의 구조가 다양하고 재료의 성분이 모호함에 따라 특정 건물의 실험은 신뢰도가 낮을 수가 있다. 그러나 실제 건물에서 지구자기장의 세기값의 변화를 분석하여 건물구조와 재료에 관하여 해석함으로써 건물 내 지구자기장 교란에 대한 새로운 연구가 필요함은 알 수 있다.

실험군으로 선택한 세 건물에서의 측정은 다음과 같이 이루어졌다. 측정 면적은 각 공간의 제약으로 다르게 하였으며, 측정 시 시간은 모두 동일하게 이루어졌다. 측정 지점간의 거리는 기초조사 시 1000mm의 거리를 100mm간격으로 지구자기장세기를 측정한 결과 세기변화가 200mm부터 미세하게 변화량이 있었으므로 이를 근거로 모두 200mm로 결정하였다.

그림6은 지역혁신센터 측정도면을 나타내며 그림 10은 지구자기장세기 분포도이다. 등고선형태의 지자기세기 값은 주변 강자성체에 의해 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 오른쪽 하단부는 철제계단의


LED Research Center	Material building	Regional Innovation Center
		
Ground 5 floor	Second Basement Ground 5 floor	Ground 3 floor
<ul style="list-style-type: none"> <li>- I beam steel pillar</li> <li>- Curtain wall structure(glass)</li> <li>- Simple spatial structure</li> <li>- Many electronic equipment and large components</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Long corridor structure</li> <li>- Small room(3~15pyeong)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rectangular building structure</li> <li>- The inside of the building is connect</li> </ul>

그림 5. 지구자기장세기 측정 건물 분류  
Fig. 5. Measuring the intensity of the Earth's magnetic field to the classification of the building

영향으로 지자기세기가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

다른 철근구조 건물인 소재관에서의 실험에서 그림7은 소재관의 2층 건물 도면이며 복도 공간을 측정 한 이유는 강자성체인 각 연구실 출입문과 기둥에 의한 영향을 확인하기 위해서이다. 그림10에서 출입문과 벽쪽의 철의 영향으로 지자기세기가 크게 나타났다.

마지막으로 요즘 건물구조에 가장 많이 사용되고 있는 H빔은 철근보다 크기 및 무게가 월등히 많음으로 반드시 지자기세기 분포를 확인해야 하는 재료이다. 교내 LED-IT융합센터는 H빔 구조로 지어진 건물이다. 그림11에서 보듯이 하단 양쪽 부근에서 지자기세기가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이 두 부분은 H빔으로 설계된 기둥이며 명확하게 H빔에 의한 영향이 있다. 또한 철골 구조에 비해 지자기세기의 값의 변화가 크기 때문에 등고선의 폭이 좁아진다. 철근보다 H빔으로 건축된 건물에서는 지자기세기의 교란이 커짐을 알 수 있다.

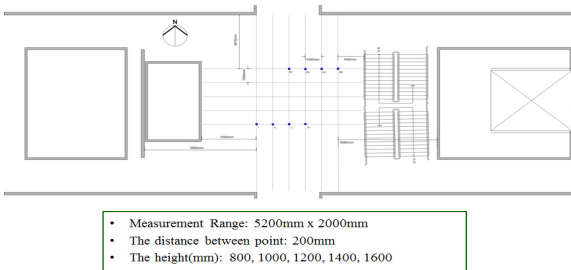


그림 6. 지역혁신센터 측정 도면  
Fig. 6. Measured drawings of the Regional Innovation Center

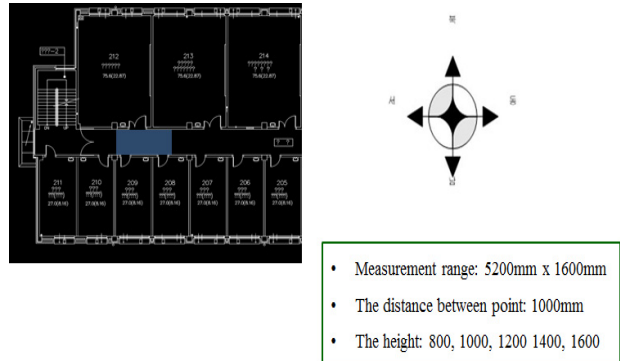


그림 7. 소재관 측정 도면  
Fig. 7. Measured drawings of the Material Building

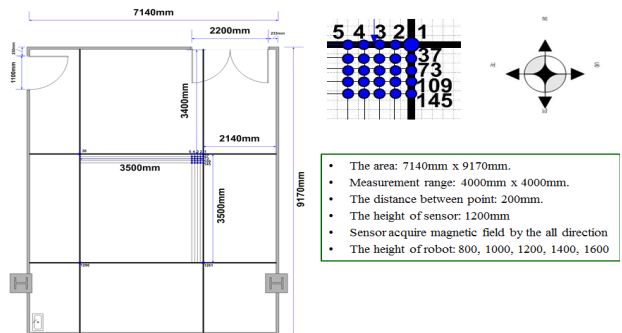


그림 8. LED 연구센터 측정 도면  
Fig. 8. Measured drawings of the LED IT Center

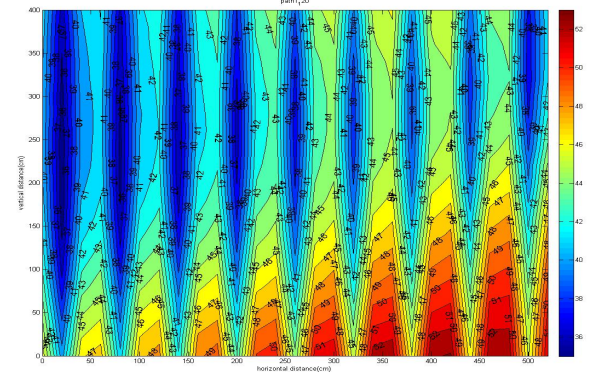


그림 9. 지역혁신센터 지구자기장세기 분포도  
Fig. 9. Regional Innovation Center of the Earth's magnetic field strength distribution

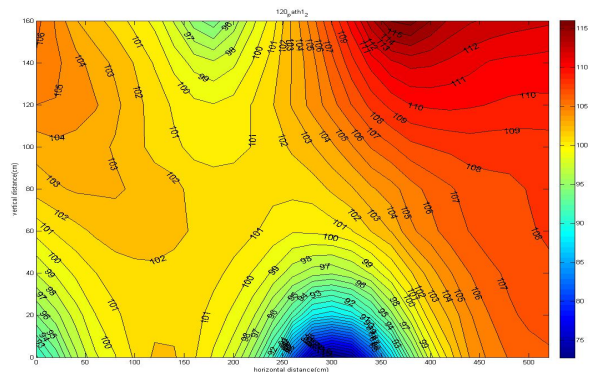


그림 10. 소재관 지구자기장세기 분포도  
Fig. 10. Material building of the Earth's magnetic field strength distribution

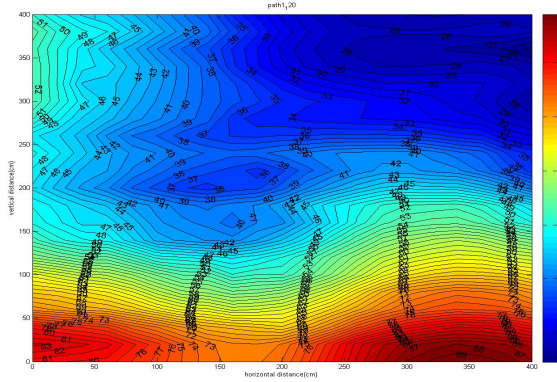


그림 11. LED 연구센터 지자기세기 분포  
Fig. 11. LED IT Center of the Earth's magnetic field strength distribution

지구자기장세기 획득 실험 결과, 가장 보편적인 건물 재료인 철근건물(지역혁신센터, 소재관)의 경우 지구자기장세기의 최대/최소의 값이 큰 차이가 없이 나타났으며, LED-IT연구센터의 경우 변화량이 큰 것으로 나타났다. 이는 아래 그림12에서 확인 할 수 있다. 지역혁신센터의 경우 1층부터 3층까지 기둥이 없이 중앙 공간이 연결된 구조이기 때문에 기둥이 많은 다른 건물들에 비해 세기값의 변화가 적은 것으로 판단된다.




LED Research Center	Material building	Regional Innovation Center
		
Ground 5 floor	Second Basement Ground 5 floor	Ground 3 floor
Measurement space: 400cm X 400cm	Measurement space: 520cm X 160cm	Measurement space: 520cm X 400cm
64.8μT (26.16μT ~ 90.96μT)	20.45μT (34.35μT ~ 54.80μT)	13.33μT (40.79μT ~ 54.12μT)
The change of 1m movement Max: 27.16μT Ave: 9.40μT	The change of 1m movement Max: 14.54μT Ave: 2.60μT	The change of 1m movement Max: 7.95μT Ave: 2.91μT
<ul style="list-style-type: none"> <li>- I beam structure</li> <li>- Not fixtures within the space</li> <li>- One side of wall is the glass</li> <li>- The air conditioner in ceiling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The rebar, concrete structure</li> <li>- The six iron door in measurement space(1m*2m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The rebar, concrete structure</li> <li>- The inside of the building is connect space</li> <li>- The elevator</li> </ul>

그림 12. 지구자기장세기 획득 실험 결과  
Fig. 12. Results of the experiment to acquire the Earth's magnetic field

#### IV. 시스템 성능 테스트 및 분석

본 논문에서는 실내 환경에서의 지구자기장 기반 측위 시스템과 무선랜 기반 측위시스템을 실제 환경에서 테스트 하여 위치추정 성능에 대한 비교 분

석을 한다. 먼저 실내위치추위를 위해 무선랜 수신 신호세기와 지구자기장 세기를 수집 후 데이터베이스를 구축하는 과정을 시행하였다. 건물은 앞 절에서 언급한 소재관, 지역혁신센터, LED-IT융합센터이며, LED 센터는 무선랜이 설치되지 않은 환경이어서 지구자기장세기 기반 위치추위만 테스트하였다. 이처럼 무선랜 AP가 장착되지 않은 공간에서는 실내 위치추위를 시행할 수 없으므로 다른 위치추위 인프라를 설치해야 하는 단점이 있으나, 지구자기장과 같이 지구 고유의 자원일 경우에는 인프라 설치 없이도 위치추위가 가능한 특징이 있다.

소재관과 지역혁신센터에서의 무선랜과 지구자기장 기반의 위치추위 성능 비교 실험을 위해 아래와 같은 과정으로 시스템을 구축하였다.

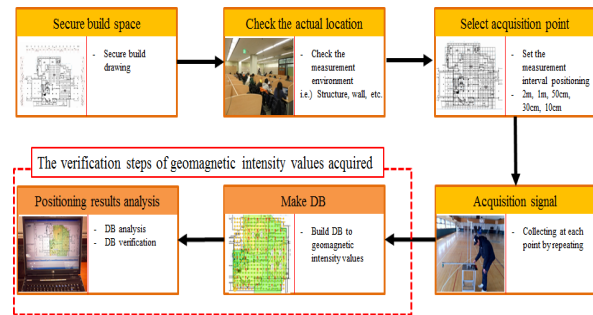


그림 13. 테스트 수행 과정  
Fig. 13. Test Process

무선랜 측위 시스템은 안드로이드 기반 스마트폰의 응용프로그램을 자체 개발하여 수신신호세기를 획득하였으며 위치결정방법은 Nearest-Neighbor 방식을 사용하였다. Nearest-Neighbor 방식은 단말기가  $i$ 번째 AP로부터 수신한 신호의 특징을  $Z = [z_1, z_2, z_3, \dots, z_i]$ 라고 하고 데이터베이스에 구성된 기준 특징을  $q_i = [q_{i,1}, q_{i,2}, q_{i,3}, \dots, q_{i,n}]$ ,  $q_i \in Q$ 라고 할 때, 유클리안 거리(Euclidean distance)를 이용하여 가장 가까운 거리인  $d^*$ 를 구한 후 사용자의 위치를 제공한다.

$$d^* = \operatorname{argmin}_{q \in Q} E(q, z)$$

where

$$E(q, z) = \sqrt{(z_1 - q_{i1})^2 + (z_2 - q_{i2})^2 + \dots + (z_n - q_{in})^2}$$

$$= \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_j - q_{ij})^2}$$

그리고 사용자의 위치 정확도를 표현하기 위하여 실제 위치 값과 Nearest-Neighbor 방식을 사용하여



결정된 위치 값의 차이를 평균값과 표준편차를 사용하여 표현하였다.

그림14는 지구자기장세기 기반의 위치측위 시스템으로 지역혁신센터(RIC)에서의 위치측위성능을 테스트한 결과이다. 지자기세기 획득 지점을 20cm부터 100cm로 확장시켜가면서 실험을 진행하였다. Fingerprint 기법에서 데이터베이스 구축 시 신호세기 획득 지점 간 거리가 조밀하면 할수록 위치성능이 높아지지만, 간격을 조밀하게 하려면 데이터베이스 구축에 시간과 비용이 많이 필요함으로 측위 공간의 특성과 위치오류의 한계범위를 결정하여야 한다. RIC 건물에서는 100cm의 간격에서 100cm의 위치오류가 발생하는 확률이 약 15%정도로 나타나기 때문에 상당히 높은 위치정확도를 가지는 것으로 판단할 수 있다.

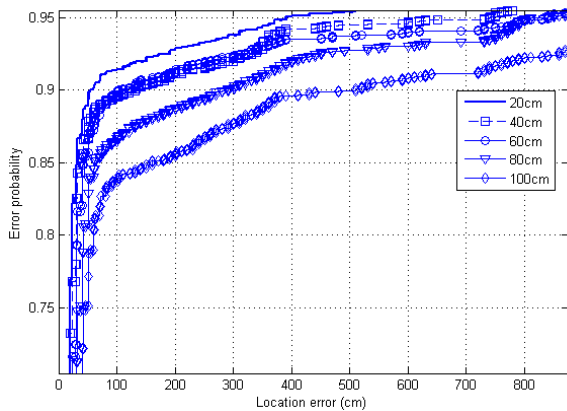


그림 14. RIC 지자기세기 기반 위치측위시스템 성능  
Fig. 14. Geomagnetic strength values based on the performance of the location system in the RIC

본 실험에서는 무선랜의 수신신호세기 획득 지점을 1m 간격으로 측정하였으며 지자기세기 획득 지점은 가변적으로 측정하였다. 이와 같이 한 이유는 무선랜의 경우 AP가 설치되어있는 지점간의 간격과 개수가 중요한 결정 요인이지만, 지자기세기는 아직 Fingerprint 기법에 적용 시 신호 획득에 관한 결정 요소가 정의되어 있지 않았기 때문에 가변적인 측정간격으로 선행 테스트가 필요하다고 판단되었다.

그림15는 RIC 건물에서 무선랜과 지자기세기 기반의 위치오차를 비교하였다. 무선랜의 경우 1m 간격으로 데이터베이스를 구축한 결과 약 2.6m의 위치오차가 발생하였다. 지구자기장세기의 경우 20cm 간격으로 데이터베이스를 구축한 결과 약 0.8m의 오차로 실내환경에서 높은 위치성능을 갖는 것으로 확인할 수 있었다. 그림16은 철근구로 된 지역혁신센터 건물 로비와 같은 철근 구조로 된 건물이지만

좁은 복도와 다수개의 철문으로 구성된 소재관(Material build)2층 공간을 테스트한 결과이다. 이 그림에서 보듯이 건물의 구조가 복잡하고 강자성체가 많은 소재관에서 낮은 위치정확도가 나타났으며 지자기세기 기반 위치측위시스템의 성능이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

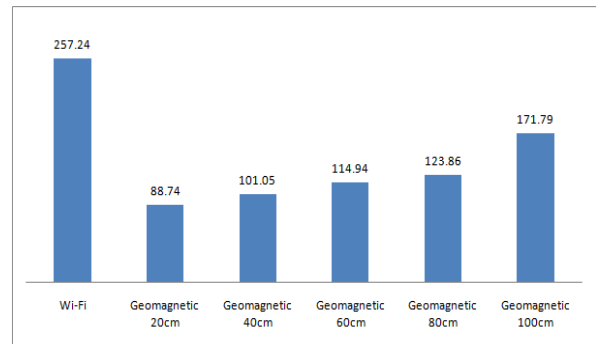


그림 15. RIC 무선랜과 지자기세기 거리오차  
Fig. 15. Distance error of the wireless LAN and geomagnetic strength values in the RIC

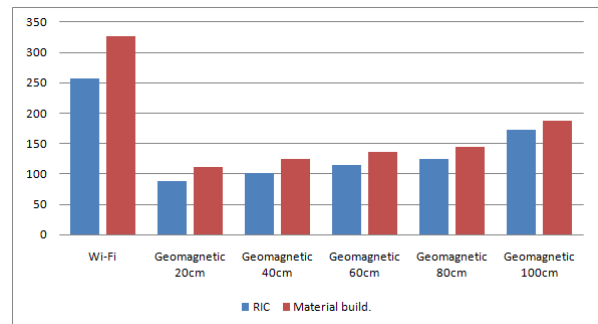


그림 16. 공간별 무선랜과 지자기세기 거리오차  
Fig. 16. Space in the wireless LAN and the geomagnetic strength values of the distance error

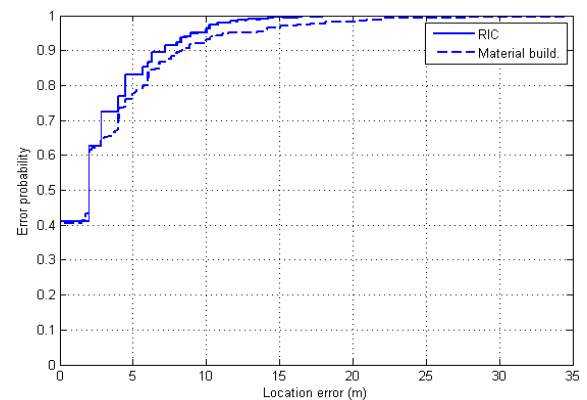


그림 17. 지구자기장세기 기반 위치측위 시스템 성능  
Fig. 17. Earth's magnetic field strength based location determination system performance

그림17은 RIC와 소재관(Material Build)에서 지



지구자기장세기의 오류확률에 대한 결과를 확인 할 수 있다.

### V. 결 론

지구자기장은 위치추위 요소기술인 정확성, 항시성, 안정성을 모두 갖춘 실내의 위치추위 핵심 자원이다. 귀소본능을 가진 동물들에 의해 위치추정에 대한 자원으로서는 검증은 되었으나, 실내환경에서의 위치추위 시 적합한 자원인것인가에 대한 검증이 필요함으로 본 논문에서는 실제 지구자기장세기 측정 센서와 측정 구조물 그리고 데이터수집장치를 이용하여 적합성과 효용성을 분석하였다.

실내환경의 경우 건축물의 재료 중 강자성체의 영향을 받아서 지구자기장의 투자율의 분포가 균일하지 못하기 때문에 자속밀도의 분포도 균일하지 못하게 되는 국소적 지자기 교란의 발생으로, 이러한 철근에 의한 국소 지자기 교란을 측정과 분석을 통한 지구자기장세기 모델링에 대한 선행 연구를 진행하였다.

실제 실내 건물내에서 지구자기장세기에 대한 위치추위 시스템을 구축하여 실험 한 결과 Fingerprint 데이터베이스 구축 시 신호세기 측정 간격이 위치 성능의 중요한 요인이며, 실내환경에서 약 1m이내의 위치성능을 갖는 실내 위치추위 시스템이라고 판단할 수 있다.

### References

[1] A. Narzullaev, M. Kang, S. Hur and Y. Park, "Received signal strength indication vs. Magnetic Fields for Indoor Real-time Location Systems," in *Proc. The 9<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Society Asia Pacific Wireless Communications Symp. 2012 (APWCS 2012)*, Kyoto, Japan, 2012.

[2] J. Song, S. Hur, Y. Kim, K. Yoo and Y. Park "Comparison of WLAN and Geomagnetic Fields for Indoor Positioning," in *Proc. IEEE Indoor Positioning and Indoor Navigation 2012 (IPIN2012)*, Sydney, Australia, Nov, 2012

[3] H. Jeon, N. Kim and H. Park, "A study on effective location determination system in indoor environment," *J. Commun. Networks*

(*JCN*), vol. 34, no. 2, pp. 119-129, Feb. 2009.

[4] H. Kim S. Kim, J. Choi and Y. Park, "A Study of repeater effect adjustment algorithm in CDMA indoor positioning system," *J. Commun. Networks (JCN)*, vol. 33, no. 8, pp. 605-612, Aug. 2008.

[5] A. LaMarca, Y. Chawathe, S. Consolvo, J. Hightower, I. Smith, T. Sohn, J. Howard, J. Hughes, F. Potter, J. Tabert, P. Powledge, G. Borriello and B. Schilit, *Place lab: Device positioning using radio beacons in the wild*, Pervasive Computing, 2005.

[6] P. Bahl, and V. N. Padmannabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," in *proc. IEEE Int. Conf. on Comput. Commun. (INFOCOM)*, vol.2, pp.775-784, Mar, 2000.

[7] Y. Cheng, Y. Chawathe, A. LaMarca and J. Krumm, "Accuracy characterization for metropolitan-scale Wi-Fi localization," in *Proc. ACM int. conf. Mobile systems, applications, and services*, pp. 233-245, Jun, 2005.

[8] A. W. Tsui, W. C. Lin, W. J. Chen, P. Huang, and H. H. Chu, "Accuracy performance analysis between war driving and war walking in metropolitan Wi-Fi localization," *Trans. Mob. Comput.*, vol. 9, no. 11, pp. 1551-1562, Nov, 2010.

[9] D. Cox, R. R. Murray, and A. W. Norris., "Measurements of 800MHz radio transmission into Buildings with metallic walls," *Bell Systems Tech. Journal*, vol. 62. no.9, pp. 2695-2717, Nov. 1983.

[10] E. J. Violette, R. H. Espeland, K. C. and Allen., "Millimeter-wave propagation characteristics and channel performance for urban-suburban environments," *National Telecommunications and Information Administration*, NTIA Report, pp. 88-239, Dec. 1988

[11] A. LaMarca, Y. Chawathe, S. Consolvo, J. Hightower, I. Smith, T. Sohn, J. Howard, J. Hughes, F. Potter, J. Tabert, P. Powledge,

G. Borriello and B. Schilit, "Place lab: device positioning using radio beacons in the wild," *To appear*, Pervasive 2005, Munich Germany.

[12] H. Liu, H. Darabi, Banerjee, and P. J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part C: App. and Rev.*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007

[13] K. Kaemarungsi, and P. Krishnamurthy., "Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting," in *proc. IEEE Int. Conf. on Comput. Commun. (INFOCOM)*, pp. 1012- 1022, Mar. 2004

[14] N. Karlsson, E. di Bernardo, J. Ostrowski, L. Goncalves, P. Pirjanian, and M.E. Munich, "The vSLAM algorithm for robust localization and mapping," in *proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 24-29, 18-22, Apr. 2005.

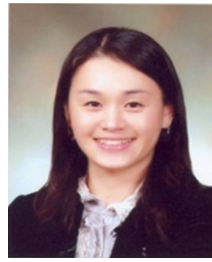
[15] S. Suksakulchai, S. Thongchai, D.M. Wilkes, and K. Kawamura, "Mobile robot localization using an electronic compass for corridor environment," in *Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 3354-3359, Oct, 2000.

[16] Isaac K Adusei, K. Kyamakya and K. Jobmann, "Mobile positioning technologies in cellular networks: an evaluation of their performance metrics," in *proc. MILCOM 2002*, pp. 1239-1244, Oct. 2002.

[17] J. Syrjärinne, "Studies of modern technologies for personal positioning," *Doctor of Technology Thesis Work, Tampere University of Technology*, Mar. 2001

[18] J. Khodjaev, S. Hur, and Y. Park, "Low complexity LTS-based NLOS error mitigation for localization," *Ann. Telecommun.*, vol. 67, no. 9/10, pp. 471-476, Oct. 2012.

허수정 (Soojung Hur)



2001년 대구대 정보통신공학과 학사 졸업  
 2005년 샌디에고주립대 전자공학과 석사 수료  
 2007년 영남대 정보통신공학과 석사 졸업  
 2012년 영남대 정보통신공학과 박사 졸업

2012년~현재 영남대 임베디드 멀티미디어 인력양성 모바일팀 박사후 연구과정  
 <관심분야> 이동통신, 위치기반서비스

송준열 (Junyeol Song)



2012년 영남대 정보통신공학과 학사 졸업  
 2012년~영남대 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> 이동통신, 위치기반서비스

박용완 (Yongwan Park)



1982년 경북대 전자공학과 학사 졸업  
 1984년 경북대 전자공학과 석사 졸업  
 1989년 뉴욕주립대 전기공학과 석사 졸업  
 1992년 뉴욕주립대 전기공학과 박사 졸업

1996년~영남대 정보통신공학과 교수  
 <관심분야> 이동통신, 무선멀티미디어 설계기술, 텔레매틱스, 차세대 위치기반 기술