

차세대 고속철도(동력분산식)에 적용할 스마트센서 사례 연구

Case Studies on Smart Sensor Application for the Next Generation High-Speed EMU

장덕진*
Chang, Duk-Jin

강송희**
Kang, Song-Hee

송달호***
Dahl-Ho, Song

ABSTRACT

Recently, the smart sensors and USN (Ubiquitous Sensor Network) technologies are emerging. Smart sensors add the capability of storing local temporary data, processing instant operations, transmitting information outward, to the simple sensing devices. The USN is a wireless network of sensor/smart sensors that can collect data anywhere anytime and exchange the data within the network.

In this research, case studies are performed on the smart sensors and USN applications. The cases were grouped in four categories, domestic private, domestic public, foreign private, and foreign public. Based on that survey, promising applications will be proposed and developed to be implemented to the next generation high-speed EMU.

1. 서 론

우리나라는 2000년대 이후에 스마트센서 분야에 대한 전문가들의 연구 노력이 시작되었으나, 축적된 기술력의 부족으로 인하여 주로 외국 기술과 기준을 모방하여 왔다.

최근 세계적으로 스마트센서와 USN기술이 점점 중요하게 부각되고 있는 추세이지만, 스마트센서와 USN 등에 대한 국내 표준 활동이 미비하여 외국 기준 및 기술에 의존하고 있는 실정이다.

스마트센서 개발에 필요한 MEMS 기술과 Embedded기술 등의 유비쿼터스 컴퓨팅 하드웨어 전반에 꼭 필요한 핵심 기술로서 시급한 기준마련과 연구 개발 수행을 통한 전문인력 양성, 기술 노하우의 축적이 필요하다. 이에 본 과제에서는 스마트센서, USN을 적용한 사례를 조사하고 분석하여 시속 400km/h 차세대 고속철도에서의 승객의 안전과 편의성을 고려한 서비스 제공을 위해 적용 범위를 정하고 계획에 따라 스마트센서, USN모듈 등을 개발하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

* 우송대학교 컴퓨터정보학과, 정회원

E-mail : djchang@wsu.ac.kr, Tel : (042)630-9711, Fax : (042)630-9719

** 우송대학교 철도기술연구소, 정회원

*** 우송대학교 철도건설환경공학과, 정회원

E-mail : dhsong@wsu.ac.kr, Tel : (042)629-6712, Fax : (042)629-6709

고속철도에 적용할 스마트센서는 철도 내외부에 승무원과 승객의 안전과 편의가 보장되는 서비스 제공을 위해 스마트센서에 대한 시장조사와 선진 벤치마킹을 통해 적용 서비스에 대한 정의와 적용범위를 정하고 이를 제공하는데 필요한 하드웨어와 응용소프트웨어를 개발하여 차량에 직접 적용하여 서비스를 제공한다. 특히 하드웨어 부문에서는 스마트센서의 개발에 있어서 필요 센서의 기술, MEMS 기술, Embedded Software 기술, USN 통신 기술 등이 집약된 첨단 스마트센서를 개발, 시제품을 완성하여 실용화 단계에 이르도록 한다.

3. 스마트센서와 센서네트워크

3.1 스마트센서

3.1.1 스마트센서(Smart Sensor)의 정의

'Sensor'는 측정 대상의 물리량이나 화학량을 선택적으로 포착하여 유용한 신호로 변환□출력하는 장치이다,

'SMART'는 주로 지능화된 장비 또는 로봇 등에 사용되어 왔으나 최근 반도체 IC기술이 보편화되고 마이크로 센서기술이 발전되면서 센서에도 'SMART'이 사용되고 있다.

물리적 또는 화학적 현상을 전기신호로 변환하는 센서의 단순 기능이외에도 논리제어기능, 통신기능, 판단기능을 가져야 한다. 여기서 논리제어기능은 센서신호의 디지털화 및 보정/보상을 하고 동작제어를 말하며, 통신기능은 주로 표준화된 디지털통신 프로토콜을 이용하여 센서신호를 외부에 전달하고 제어신호를 받는 것이다. 판단기능은 제어기능과 더불어 센서의 최적화 및 자기진단, 전원관리 등을 일컬으며 더 나아가 센서에서 얻은 데이터의 의미까지 파악할 수 있는 수준까지 나아간다.

이와 같이 스마트 센서를 실현하기 위해서는 수준 높은 신호처리회로가 센서에 지원되어야 한다. 집적도에 따라 구성과 기능이 가감되지만 스마트 센서의 일반적인 구조는 센서소자, 아날로그 증폭회로, 디지털제어회로, ADC/DAC, MCU, 비휘발성 메모리, 통신 인터페이스 등으로 구성된다. 다중 센서의 경우는 멀티플렉서(MUX)를 사용하여 나머지 기능을 공유한다.

3.1.2 스마트센서(Smart Sensor)의 구조

스마트센서는 집적도에 따라 구성과 기능이 가감되지만, 일반적인 구조는 센서소자, 아날로그 증폭회로, 디지털제어회로, ADC/DAC, MCU, 비휘발성 메모리, 통신 인터페이스 등으로 구성된다. 다중 센서의 경우는 멀티플렉서(MUX)를 사용하여 나머지 기능을 공유한다.

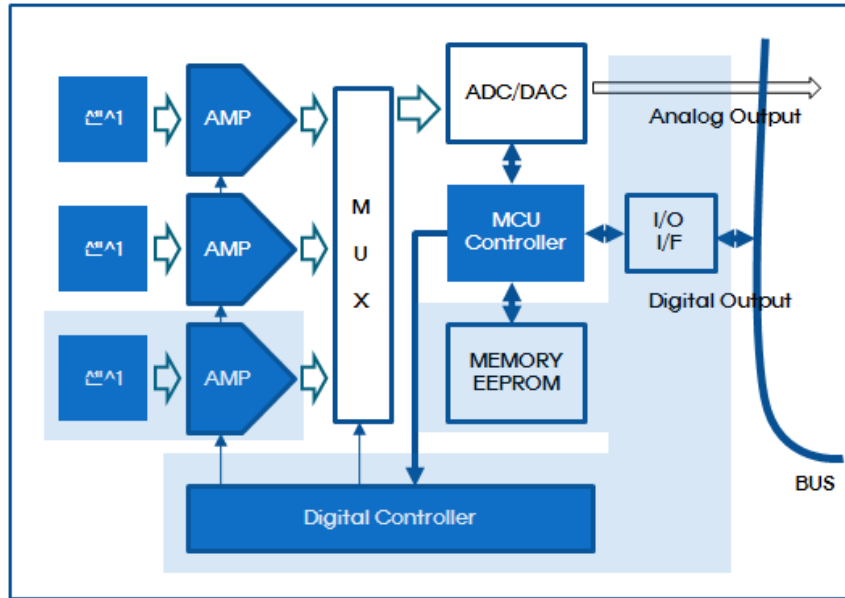


그림 1 스마트센서의 구조

3.1.3 센서의 종류

분류	소분류	측정원리	응용분야
역학 센서	압력센서	기계식, 전기식, 반도체식	용기나 관의 압력 측정
	변위센서	전위차계, 차동 변압기 등	자동 설비
	응력센서	금속, 반도체 응력센서	전자저울, 건축물의 안전 진단
	유속센서	피토관, 초음파, 열식센서	생산공정, 주유소 등의 유량계
	가속도센서	관성식, 자이로, 반도체식	운송 수단, 자동화 및 로봇제어 시스템
자기 센서	전자유도센서	전자유도 작용	자기헤드, 자기포화소자, 서치코일 등
	전류자기센서	홀소자, 자기저항소자	홀 소자, 근접 스위치 등
	철심형자력계	유도전류	자기장 측정, GPS의 방위각 측정 등
	자기다이오드	자기 응축 효과	자기 센서
	SQUID	Josephson, 자기 양자 효과	미약한 자계나 뇌파 측정용
광센서	광전자방출형	광전자 방출 효과	광전관, 광전자증배관 등
	광도전형	광도전 효과	카메라 노출계, 방사온도계, 광도계 등
	접합형	광기전력 효과	광통신 수광소자, 리모콘 등
	복합광소자	수광소자와 발광소자 결합	포토 인터럽트 등
방사선센서		기체 전리형, 액체 전리형, 반도체식, 섬광형	공업계측, 비파괴 검사, 유전자 연구, 방사선 치료 등
음향 센서	음파센서	정전형, 압전형	마이크로폰, 소음계
	초음파센서	압전 진동자	초음파 제어, 통신소자, 가스센서 등
온도 센서	측온저항소자	금속저항의 온도 의존성	온도 계측 및 물리량 계측
	써미스터	금속산화물의 온도 의존성	
	p-n접합센서	다이오드의 온도 의존성	
	열전대	seebeck효과	
	초전형센서	자발분극의 온도 의존성	
화학	가스센서	반도체식, 전기화학식,	가스센서

센서		고체 전해질, 접촉 연소식	
	이온센서	전기화학적 전위차	의료계측, 생산공정, 환경계측 등
	습도센서	세라믹, 고분자, 전해질, 초음파, 열전도식	습도센서
	바이오센서	효소, 미생물, 조직 센서	혈액형, 유기물 측정

3.2 센서네트워크

3.2.1 센서네트워크의 정의

센서 노드와 계산, Sensing, 무선통신을 하는 네트워크이다. 특정 지역에 센서 노드를 설치하여 주변 정보 또는 특정 목적의 정보를 획득하고 베이스 스테이션이 수집하여 이를 활용하기 위한 서비스 환경이다.

3.2.2 USN(Ubiquitous Sensor Network)의 정의

어느 곳이나 부착된 태그 및 센서 노드로부터 사물 및 환경정보를 감지/저장/가동/통합하여 언제/어디서나/누구나 맞춤형 지식 서비스를 자유로이 이용할 수 있는 첨단 지능형 사회의 기반 인프라이다.

3.2.3 센서 네트워크의 구조

- 1) 센서노드
 - Computation: Data processing
 - Sensing : 자연의 음성, 빛, 온도, 바람, 습도 등을 감지
 - Communication : RF Transceiver, Laser Module 등
- 2) 싱크(Sink)노드
 - 인터넷이나 인공위성을 통하여 사용자와 통신

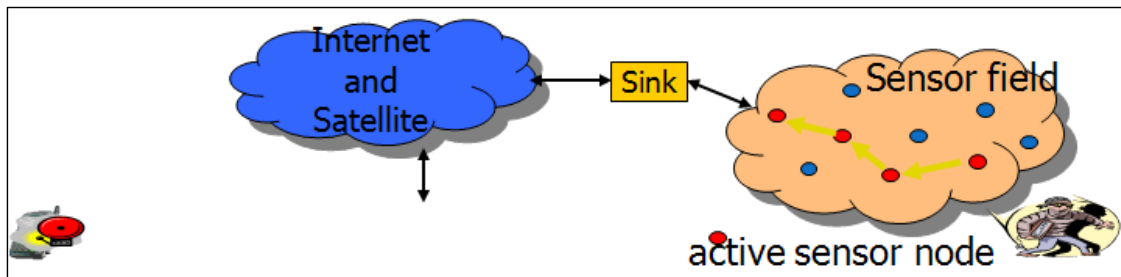


그림 2 센서네트워크의 구조

3.2.4 센서네트워크 운영체제

운영체제	개발그룹	세부내용
TinyOS	버클리 대학 (미국)	<ul style="list-style-type: none"> - 이벤트 발생에 의한 상태처리 방식을 채택한 state machine기반 - Virtual Machine 인 Bombillia, TinyDB엔진, TOSSIM시뮬레이터, TinySec과 같은 보안 모듈들을 모두 지원
MANTIS	콜로라도 대학 (미국)	<ul style="list-style-type: none"> - 초소형 Thread에 기반한 Multi-threaded 구조를 채택 - TinyOS와 달리 일반 프로그래머들이 익숙하게 사용할 수 있어 프로그래밍이 용이
T-Engine Micro Kernel	T-Engine (일본)	<ul style="list-style-type: none"> - TRON의 센서네트워크용 표준 마이클 커널 - 동경대학/YRP 유비쿼터스 네트워크 연구소의 센서 네트워크용 OS
PEEROS	유럽연합(EU)	<ul style="list-style-type: none"> - Preemptive EYES Real-Time OS - 센서 노드 간 협력 작업을 위해 메시지 통신을 강조한 EYES 프로젝트 관련 OS
Nano Qplus	ETRI (한국)	<ul style="list-style-type: none"> - 센서 및 구동기의 종류에 따라 OS커널을 최적화하여 재구성 가능한 Scalable OS 제공 - 멀티스케줄러를 지원하여 다양한 무선 통신 방식을 지원 - 표준형 및 마이크로 임베디드 OS와 동일한 API set을 지원
ANTS	ICU (한국)	<ul style="list-style-type: none"> - 유연한 멀티 스레딩 엔진을 탑재 - 충분한 API를 통한 손쉬운 프로그래밍 가능
SOS	UCLA (미국)	<ul style="list-style-type: none"> - 메시지 패싱, 동적 메모리 할당, 모듈을 자율적인 적재와 제거를 지원하는 공통 커널 지원 - 동적 재구성을 지원 - 유연한 센서 네트워크 시스템 구축을 지원하게 해줌 - 응용 애플리케이션은 하나 이상의 모듈로 구성, 비동기 메시지 및 함수 호출을 통하여 서로 동작

4. USN(Ubiquitous Sensor Network) 적용 사례

1) 산업기기 제어 및 모니터링

- 산업 설비시설의 상태나 제어실의 기기 등을 감지하는 센서
- 데이터 전송 용량은 상대적으로 적으나 매우 높은 네트워크의 신뢰도가 요구되는 일반적인 공정에 WSN 적용 가능
- WSN의 산업시설 적용가능 사례

- * 상업조명 컨트롤
- * 독성물질 유출 사전감지와, 설비들의 상태 감지 등 산업안전용으로 이용
- * 회전하거나 움직이는 기계의 온도, 진동 등의 모니터링
- * 항공기 부품의 이상 예측
- * HVAC (Heating, Ventilating, Air Conditioning 냉온방 및 환기) 시스템에 필요한 건물 내 온도, 습도 등의 환경조건에 관한 정보수집에 적용

2) 홈 오토메이션 및 가전기기 제어

- WSN의 자동화 주택 적용가능 사례
 - * 집안의 온도, 습도 등의 조절을 위한 Home HVAC
 - * PDA형태의 'universal' 리모컨 - TV, DVD 플레이어, 오디오 등의 가전제품과 조명, 커튼, 문잠금 장치 등을 하나로 컨트롤
 - * 무선 키보드, 마우스 등의 PC 주변기기
 - * 장난감, 완구 - 무선조종 자동차, 보트, 무선 조이스틱, 주변의 장난감을 PC로 조종 가능한 PC게임 등
 - * RKE(Remote Keyless Entry)기능의 확대 문/창문 잠금, 집 내부/외부 조명 등을 컨트롤
 - * 위치 파악 여행이나 쇼핑 시 현재 여행지의 정보나 세일 상품 등에 관한 정보 수집 가능

3) 보안 및 군사용

- 열선 감지, 자기 문 개폐, 연기나 유리 파손 감지, 비상 벨 센서 등 산업 보안 시스템에 이용
- 군사용 WSN 적용가능 사례
 - * 위험지역의 보초병, 감시인원 대체
 - * 배치된 WSN 이용, 공격 목표물 식별 및 위치 파악
 - * 음향 마이크로폰, 지각진동 센서, 자기센서, 초광역주파수(UWB···ultrawideband) 레이더 등을 장착한 아군부대와 무인 전차 등을 이용한 공격 지원

4) 자산 추적 및 공급망

- WSN의 자산추적 적용가능 사례(active RFID)
 - * 항구에서 선적 컨테이너 추적
 - * 제조 후 판매점으로 운송될 때까지 넓은 주차장이나 창고에서 보관되어야 할 자동차, 트럭과 같은 내구성 제품
- WSN의 SCM 적용가능 사례
 - * 대규모 창고에서 위치를 알 수 없는 물품이 분실로 간주되어 재고 감소로 나타나 비용이 증가하는 결과를 방지
 - * 소비자에게 주문한 제품의 현재 위치를 알려주어 정확한 배달시간을 알려주어 소비자 만족도 향상
 - * 핵물질을 적재한 컨테이너 개방여부 파악, 적외선/연기/방사선 감지, 온도 측정 등에 이용
 - 센서 event는 센서에서 GPS 수신기와 INMARSAT(International Maritime Satellite) transceiver에 연결된 mobile processor로 전달되어 전 세계 어디에서든 위치와 상태가 모니터링 가능

5) Intelligent Agriculture and Environmental Sensing

- WSN의 농업 적용가능 사례
 - * 대규모 농장이나 방목장의 강우량 측정
 - * 화학 생물학적 센서들을 이용하여 토양의 습도, 온도를 파악하여, 농약, 제초제, 비료 등의 살포 필요 여부, 일조량 등의 정보 수집 가능
 - * 방목장의 동물들의 위치를 파악
 - * 기생충 감염 방지를 위한 처치가 필요한 동물, 소의 발정 여부 등도 감지 가능
 - * 온도변화에 민감한 닭이나 돼지우리의 온도변화 모니터링
- WSN을 이용하여 낮은 전력으로 수은 등의 환경 오염물질 감지 가능
- MEMS(microelectromechanical sensor)와 같은 정밀센서는 특정 오염물질을 1조 분의 1단위(ppt)로 측정 가능

6) Health Monitoring

- WSN은 원격 진료와 함께 건강 모니터링에도 이용 가능
- WSN의 건강 모니터링 적용가능 사례
 - * 몸에 부착 가능한 센서로 심장박동이나 호흡 측정
 - * 가정에서 환자의 몸무게나 당뇨병환자의 혈당 체크
 - * 효소, 핵산 등 생물학적 주요 물질들의 추적
 - * 심장박동 모니터링, 약물전달시스템에 이용 가능
- WSN의 재난 시 이용가능 사례
 - * 지진 등으로 인해 붕괴된 건물에서 HVAC 시스템의 무선센서를 이용한 음향센서를 작동시켜 매몰된 사람의 위치파악
 - * 물과 가스 센서로 잔해터미 밑의 조건을 파악하여 생존가능 지역 파악
 - * 눈사태 시 조난자 구조용
 - * 산소 농도계나 체온계 등 건강상태 센서를 부착하여 사망자와 생존자를 구분, 구조 순서를 결정하는 데 이용 가능

4.1 국내 USN(Ubiquitous Sensor Network) 적용 사례

분류	사례명	적용센서	시사점
공공 분야	실시간 위치 추적 시스템	위치기반	승객, 승무원, 또는 장비, 화물, 귀중품 등에 적용
	터널 계측 시스템	진동, 가속도계, 변형률, 온도, 변위	차량의 진동상태의 정보를 전송하여 승객의 안전을 보호터널 유지 보수에 적용
	사면거동 모니터링 시스템	균열측정기, 경사계, 신축계, 지중경사계, 지중침하계, 공극수압계, 수위계, 우량계	센서정보를 근처 고속철도 기관실 및 중앙통제실에 전송하여 문제점을 미연에 방지
	재난 방지 서비스 모델	위치기반, CO, 온도	위치기반 센서와 화재센서를 접목시켜 화재 발생 시 구급차 및 소방차의 출동
	보안/방범 서비스 모델	인체감지, 적외선, 진동, 위치기반	스마트 뱃지 내부의 보안정보를 인식하여 보안구역의 침입을 차단
	문화재 관리 시스템	온도, 습도, 기압, 불꽃, CO, 조도	온도 및 습도가 객실내의 쾌적함을 유지

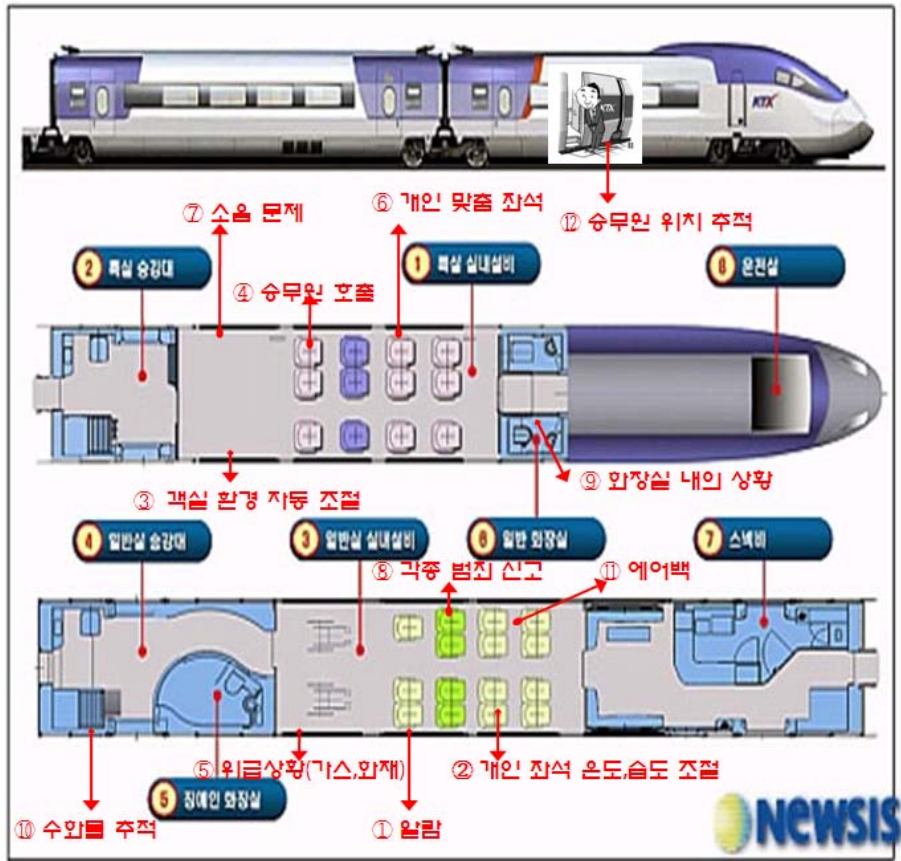
	수질모니터링 시스템	온도, PH, DO, 탁도, 전도도, 암모늄	차량에 급수되는 수질 관리
민간 분야	가스안전 모니터링 시스템	CO2, 온도, 습도, 가스센서	객실 내에서 가스사고 피해를 최소화
	홈 네트워크용 헬스케어	BIO	환자 탑승 시 원격으로 관련 병원에서 환자의 상태를 체크
	장치제어 서비스 모델	습도, 온도, 조도	기존 유·무선망 리소스를 적극 활용한 서비스 안전성 및 확장성 요구

4.2 국외 USN(Ubiquitous Sensor Network)의 적용 사례

분류	사례명	적용센서	시사점
공공 분야	군대 차량 운영 및 유지	진동, 위치기반	장비 및 직원에 위치센서를 부착하여 위치를 파악
	센서넷 프로그램	고분자계, 유기고분자계, 세라믹, 마이크로파 수분, 방사선, 습도	테러 및 위험 사항을 미연에 방지
	NASA의 남극지역 원격탐사 및 데이터수집시스템	온도, 습도, 빛, 진동	객실 내에 온도와 습도 센서를 부착하여 쾌적성을 유지
민간 분야	트럭타이어 모니터링 시스템	온도, 습도, 진동, 압력, 가속도	고속철도 바퀴의 떨림 및 온도가 상승 감지로 대형사고 방지
	빌딩, 공장시설 감시 시스템	온도, 습도, 진동, 빛	역사의 안전관리에 적용
	식품, 산업 관리 시스템	온도, 습도, 위치	이송 중인 음식물의 경로추적 및 변질에 대한 사고를 방지

5. 결 과

최근 세계적으로 스마트센서와 USN기술이 점점 중요하게 부각되고 있는 추세이지만, 아직은 스마트센서 기술이 초보 수준이고, 국내는 그보다 못한 수준이지만 현재 정부부처를 주축으로 재정적인 지원과 함께 스마트센서와 USN 등에 대한 국내 표준 활동이 미비하여 외국 기준 및 기술에 의존하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 스마트센서와 USN의 적용사례를 조사하고 분석을 통해 고속철도에 적용할 수 있는 적용 범위를 도출하고 고속철도 차량의 주요부분을 차지하는 응용 서비스 부분에 대한 국내 표준 모델 제시가 가능하고 기술의 성숙도가 높아져 국내 기술 향상 및 국제 기술경쟁력 향상에 크게 기여할 것으로 예상된다. 이에 스마트센서와 USN의 적용을 통한 고속철도에서의 활용방안은 아래와 같다.



HEMU-400X 설계 도면

- ① **알람** : 승객 의자 특정한 부분에 진동센서를 설치하여 승객의 요청한 특정시간이나 하차 할 곳에 이르면 진동 좌석에 진동을 발생시켜 알람 역할을 해줌
- ② **개인 좌석 온도,습도 조절** : 장마철이나 한여름에 장시간 자리에 앉아 있다 보면 의자나 옷에 땀이나 습기에 의해 축축해져 불쾌감을 느끼게 되며, 다음 좌석 이용자에게도 불쾌감을 줄 수 있다. 이에 자동으로 개개인의 좌석에 온도,습도 센서를 부착하여 좌석자체에서 온,습도를 조절하여 승객이 쾌적함을 느낄 수 있도록 해줌
- ③ **객실 환경 자동 조절** : 객실 내에 환경을 처리 온도, 습도, 조도, 가스 등의 센서를 장착하여 , 실시간 감지를 통해 기관실이나 승무원에게 객실내의 정보를 실시간으로 전송하여 승무원의 단말기나 기관실에서의 원격제어 시스템을 이용하여 객실 내의 환경을 제어 할 수 있도록 하거나 자동조절 시스템을 설치하여 각종 센서가 이를 자동으로 조절
- ④ **승무원 호출** : 현재의 KTX내에서 승무원과의 의사소통을 위해서는 승무원이 객차 이동 시나 열차 사이의 승무원 호출 전화기를 통하여 호출 하였으나,개개인의 좌석에 승무원 호출 버튼을 장착하여 필요 시 버튼을 누르면 승무원의개인 단말기로 위치센서 등을 통해 승객의 위치를 파악하여 승객에게 신속하게 서비스를 제공
- ⑤ **위급상황(가스,화재)** : 객실 내에 가스, 온도, 불꽃,기압 센서 등을 설치하여 화재나 가스레리 발생 시 신속하게 승무원과 중앙관제센터, 유관기관 등에 자동 호출하고 승객에게 위급상황을 알려 열차 내에 서 일어 날 수 있는 대형 사고에 대해 신속히 대처하여 사고 피해를 줄임

- ⑥ **개인 맞춤 좌석** : 개개인의 좌석에 승객의 신장, 체중 등을 감지 할 수 있는 센서등을 장착하여 승객이 좌석에 앉으면 자동으로 의자의 높낮이나 발판의 높낮이를 조절하여 승객이 보다 편안하게 앉아서 여행을 할 수 있도록 해줌
- ⑦ **소음 문제** : 객실 내에 **음파센서**를 부착하여 기준치를 벗어나는 소음이 발생 할 경우 소음의 근원지에 경보음을 울리게 하거나 승무원의 단말기에 이를 표시하여 승객이 불편함을 느끼기 전에 조치를 취할 수 있도록 해줌
- ⑧ **화장실 내의 상황** : **위치기반센서**나 **인체감지** 센서를 설치하여 화장실내에서 일어날 수 있는 응급상황에 대해 센서가 장시간 동안 화장실 이용자의 움직임이 없을 경우 이용자에게 일정 값을 요청하여 반응이 없을 시에는 승무원이나 기관실, 관제센터, 유관기관(119, 경찰서, 병원 등)에 연락하여 빠른 조치를 취할 수 있도록 해줌
- ⑨ **수화물 추적** : 승객의 짐이나 수화물 등에 **위치기반센서**, **진동센서** 등을 부착하여 승객이 하차 전에 진동이나 승객의 개인 휴대폰의 안내 메시지를 통해 승객에게 짐을 객차나 객실에 두고 내리거나 분실 또는 도난에 대해 감지 할 수 있도록 해주거나, 도난 시 위치센서를 통해 위치를 추적할 수 있도록 해 줌
- ⑩ **에어백** : 열차 사고 시에 **진동**, **가속도**, **압력 센서** 등의 감지를 통해 승객에게 충격이 가해 질 위험이 있을 경우를 대비해 앞 좌석 등받이 부분에 에어백을 설치하여 승객의 안전을 지킴
- ⑪ **승무원 위치 추적** : 기관실이나 관제센터, 객실 등 승무원 호출이 발생 할 경우 **위치기반 센서**를 승무원의 단말기나 명찰 등에 부착하여 승무원의 위치를 파악한 후 필요로 하는 곳으로 이동할 수 있도록 해 줌
- ⑫ **장비추적** : 차량내외에 있는 **장비에 RFID태그와 위치기반센서**를 부착하여, 필요 시 장비의 위치 및 사용여부를 바로 파악하여 시간을 줄이고 장비 도난을 방지할 수 있어 분실에 따른 재 구매 비용을 줄일 수 있음

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07 차세대고속철도 A01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 아주대학교 (2005). USN기술동향분석연구.pdf. 한국전산원
2. 김균태 (2006). 플랜트 시설물 활용을 위한 USN 기술 및 적용방안.pdf . 한국건설기술연구원
3. 한국 RFID/USN협회, USN응용사례집
4. 한국정보사회진흥원 (2006), 2006년도 국내외 USN 산업동향 분석 연구(단행본)
5. 한국정보사회진흥원 (2007), 2006년도 USN현장시험 결과보고서(단행본)

6. 전자부품연구원 나노메카트로닉스 연구센터, 스마트센서의 기술 동향, 2004.
7. 박석지, 유종현, U-센서 네트워크산업의 개념과 발전 동향', 주간기술동향1135호, 2004.
8. 이재현 "USN 기술동향", IITA 주간 기술동향, 통권 1165호, 2005
9. 강정훈 외, 센서 네트워크 및 애플리케이션 기술 동향, "전자공학회지, 제32권 7호, 2005.