

유비쿼터스 센서네트워크 기술과 RFID 기술의 건설산업 활용방안

Ubiquitous Sensor Networks and RFID Technology in Construction Industry



權 純 郁 / 정희원, 성균관대 건축공학과 조교수
Kwon, Soon-Wook / Assistant Professor, SungKyunKwan University
swkwon@skku.edu

국가 전산업에 걸쳐서 일고 있는 유비쿼터스(Ubiquitous) 바람은 건설산업계에도 건설경영과 현장관리 측면에서 기존 관리방식에 많은 변화를 가져오고 있다. 특히 최근 몇 년 동안 건설 프로젝트 관리 생애주기의 전영역에서 발생하는 프로젝트 정보의 효율적인 처리와 실시간으로 현장 정보를 얻을 수 있는 기술들이 개발되어 오고 있으며 이러한 기술의 발전은 종이와 펜을 이용하여 정보를 수집한 후 이를 컴퓨터에 입력하고 보고하던 방식에서, PDA(Personal Digital Assistant)나 Tablet PC 등 컴퓨터와 펜을 가지고 현장에서 정보를 수집하고 관리하는 방식으로 거기서 더욱 발전하여 현장 곳곳에 설치된 다양한 센서와 무선 네트워크를 통해 실시간으로 정보를 수집하며 관리하는 방식으로 현장관리 방식과 건설사업관리 환경을 변화시키고 있다. 백텔, 플로어 같은 선진 건설사들은 이러한 무선 네트워크 기술과 무선 센싱 기술, 그리고 데이터 커뮤니케이션 기술의 현장 적용성을 계속해서 검토해오고 있다. 이러한 첨단 센싱 기술의 도입 및 활용에 의해 건설 기술자들은 지식과 정보를 실시간으로 이용할 수 있게 되어 시공의 정확성과 공기향상을 가져올 계기를 마련하게 될 것이며 그러한 적용사례를 통하여 현장의 지능화(Intelligent Job Site)를 앞당길 것으로 본다.

유비쿼터스 컴퓨팅

최근 첨단 기술 분야인 IT분야에서는 산학연 구분할 것 없이 현재 “유비쿼터스 컴퓨팅”관련 연구 및 제품개발에 많은 비용과 시간을 투자하고 있다. 유비쿼터스 컴퓨팅은 센서, 프로세서, 컴퓨팅이 결합되어 컴퓨팅 기능의 내재성 강화와 컴퓨터의 이동성을 재고하여 필요한 곳에서 컴퓨팅을 구현할 수 있도록 하는 것이다. 광의의 의미로는 “다양한 종류의 컴퓨터가 사람, 사물, 환경속에 내재되어 있고, 이들이 서로 연결되어 필요한 곳에서 컴퓨팅을 구현할 수 있는 환경을 만드는 것”을 의미한다. 유비쿼터스 컴퓨팅이 지향하는 모습

은 기존의 방식인 인간이 컴퓨터를 위해 센싱 및 인터페이스 기능을 제공해 주는 방식에서 벗어나 컴퓨터가 필요한 정보를 센싱하고 사용자에게 맞게 인터페이스를 제공하는 것을 의미한다.

유비쿼터스 컴퓨팅은 1991년에 마크 와이저에 의해 최초로 제창되었으며, 다음과 같이 4 가지로 특징 지워졌다: 모든 디바이스는 네트워크에 연결 되어야 하며, 인간화된 인터페이스로서 눈에 띄지 않아야 하며, 가상공간이 아닌 현실세계의 어디서나 컴퓨터의 사용이 가능해야 하고, 사용자 상황 (장소, 장치, ID, 시간, 온도, 날씨 등)에 맞는 정보를 제공해야 한다. 아울러 그는 컴퓨터의 진화 과정도 컴퓨터 기술과 인간과의 관계 변화에 초점을 맞춰 다음과 같이 정의하였다. 제1세대는 1대의 고가 컴퓨터를 다수가 공유하는 메인 프레임의 시대로, 제2세대는 한 사람이 한대의 컴퓨터를 사용하는 퍼스널 컴퓨터의 시대로, 그리고 제3세대는 여러 사람들이 주변에 내장된 다양한 컴퓨터를 의식하지 않고 네트워크를 통해 사용할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅의 시대로 정의하면서 유비쿼터스 혁명은 예견되고 있다(그림 1).

유비쿼터스 컴퓨팅은 컴퓨터 기능의 내재성(Embedded) 또는 이동성(Mobility)으로 구현 가능하며 내재성은 초소형 컴퓨팅 디바이스를 사물이나 환경에 내재하여 정보를 획득 활용하는 것을 의미하



그림 1. 컴퓨팅(Computing)의 새로운 패러다임(Paradigm)

건설 정보기술의 현재와 미래

며 움직이는 곳마다 컴퓨팅이 존재하는 것을 의미한다. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅을 구현하기 위해서는 센서, 프로세서, 커뮤니케이션, 인터페이스, 그리고 보안의 5가지의 핵심기술이 필요하다. 그 중 주변 환경변화를 인지하기 위해서는 센서, 프로세서, 커뮤니케이션 등 세 가지 기술이 결합되어야 하며 사람과 자연스러운 커뮤니케이션을 위해서는 인터페이스 및 보안 기술이 필요하다. 센서, 프로세서 및 커뮤니케이션기술에 대해 간단히 설명하면, 센서는 외부의 환경 변화를 감지하는 유비쿼터스 컴퓨팅의 입력장치로써 시각, 청각, 빛, 온도, 냄새 등 물리적 화학적 에너지를 전기신호로 변환 수동형과 능동형으로 나눌 수 있으며 프로세서는 센서를 통해 얻은 데이터를 분석하고 판단하는 장치로 간단한 OS(operating System) 구조를 가지고 있어야 하고 실시간 처리가 가능하여야 한다. 또한 커뮤니케이션을 수행하기 위해서는 사물과 사물, 사물과 인간을 무선으로 연결하는 WPAN(Wireless Personnel Area Network)기술, 시시각각 위치가 변하는 사물들을 동적으로 연결하기 위한 에드혹(Ad-hoc) 네트워크 기술이 필요하다. 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 대표하는 기술은 USN(Ubiquitous Sensor Networks) 와 RFID 기술이며 그 내용은 다음과 같다.

유비쿼터스 센서 네트워크 (Ubiquitous Sensor Networks) 기술

유비쿼터스 센서 네트워크(USN : Ubiquitous Sensor Network) 는 주변의 물리적 현상을 감지하는 센서 장치에 네트워크 개념과 실시간 프로세싱 개념을 추가해 사물의 존재 여부 및 위치 등의 감지한 정보를 네트워크와 연동, 실시간으로 관리, 제어하는 개념이다.

이와 같은 유비쿼터스 센서 네트워크의 핵심 기술은 바로 무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Network) 기술이다. SoC(System on Chip), MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)기술, 나노 기술 등과 같은 초소형 센서의 하드웨어적인 기술이 발전함에 따라 다양한 기능의 센서를 이용한 무선 센서 네트워크의 구축이 가능하게 되었다. 다시 말해서 무선 센서 네트워크는 현실 세계에서 다양하게 발생하는 여러 상황을 센서를 통해 감지하

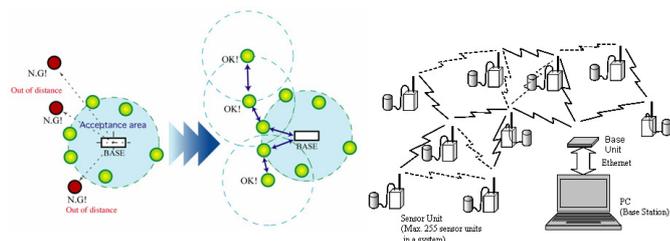


그림 2. USN(Ubiquitous Sensor Networks)의 네트워크 구성

여 이를 네트워크를 통해 수집, 이동시키며 내장된 프로세서에 의해 처리하는 방식에 기반하고 있다. 강수량과 같은 각종 자연재해의 확인, 접근이 어려운 전쟁터에서의 적진의 감시, 지반 및 지질 상태 등을 모니터링하는 시스템, 교통 감시와 제어를 위한 지능형 교통 통제 시스템, 장기간의 환경 관찰을 통해 생태를 감시하는 시스템 등 향후 여러분야에 폭넓게 사용될 것이다. 뿐만 아니라 무선 센서 네트워크는 감지된 정보에 기반하여 작동장치(Actuator)에게 특정 행위를 지시하는 무선센서/장치 네트워크(WSAN : Wireless Sensor and Actor Networks)의 형태로도 활용될 수 있다.

최근에는 시설물 모니터링 및 해양 생태계 분석과 모니터링을 위한 해양 센서 네트워크에 대한 연구도 진행되고 있다. 이러한 다양한 센서 네트워크의 발전은 미래의 유비쿼터스 환경을 보다 우리의 일상생활에 가깝게 만들어 줄 것이다. 하지만 무선 센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크와 판이하게 다른 특성을 가지고 있다. 즉 무선 센서 네트워크는 초소형의 센서 노드들로 구성이 되기 때문에 배터리를 활용하게 되어서 한정된 에너지를 가지게 된다. 또한 각 센서 노드들은 제한적이고 소규모의 연산 처리 능력만을 가지고 있다. 뿐만 아니라 무선 센서 네트워크는 기존의 셀룰라 통신망과는 달리 특정 인프라 구조가 없이 각 센서노드들이 에드혹(ad-hoc)의 형태로 구성되어 통신을 하게 된다. 이러한 에드혹 환경으로 인해 센서 노드 간에 전송되는 데이터가 외부에 쉽게 노출되거나 변조될 위험이 존재한다. 이와 같은 무선 센서 네트워크 고유의 특성으로 인해 전력 소모를 최소화하는 MAC 프로토콜, 기존의 주소 기반의 라우팅이 아닌 데이터 질의에 기반 한 라우팅 프로토콜 보안성을 강화하기 위한 키 분배 기법 등과 관련해서 폭넓은 연구가 활발히 진행되고 있다.

주목할 만한 사실은 최근에는 현재의 컴퓨터 시대를 이끌고 있는 인텔에서도 건설 분야의 USN기술과 관련된 여러 연구에 참여 하고 있다는 점이다. 세계 IT시장을 주도 하고 있는 인텔은 건설시장에

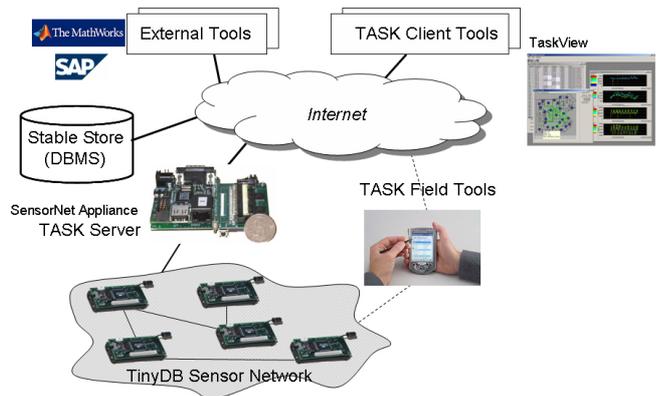


그림 3. USN의 OS 중 하나인 Tiny OS 및 Mote의 구성 체계 - Crossbow

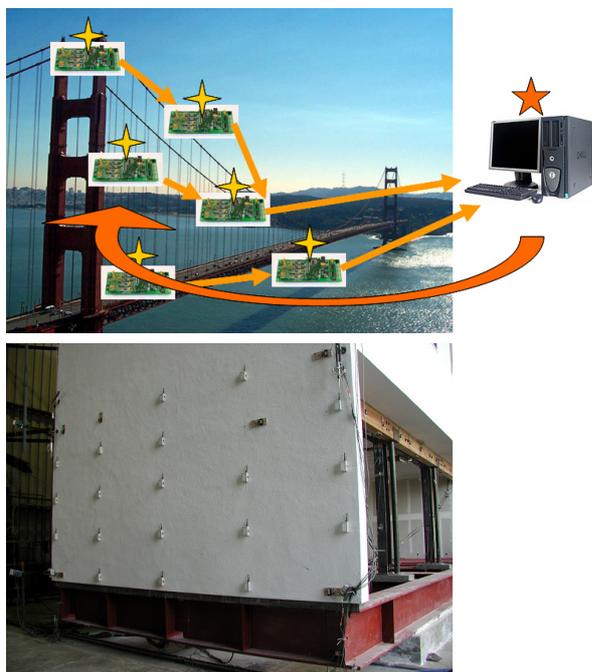


그림 4. 인텔과 버클리대학의 무선센서기술 실험장소인 금문교와 인텔의 실험용 건물

서의 Smart Chip 분야에 있어서의 활용성 및 시장성 분석을 통하여 그 가능성을 예측하고 그러한 시장가능성에 입각하여 현장적용성 테스트에 적극적으로 참여하고 있다. 특히 시설물의 안전 및 보안을 위하여 자체적으로 개발한 Mote라는 센서끼리 통신이 가능한 지능형 센서모듈을 이용하여 지진 다발생 가능지역에 위치한 금문교 및 산불과 같은 재해 가능 지역에 설치해 놓고 그 실제 재해예방 계획에 활용성을 테스트하고 있으며 상용화를 위하여 철저한 준비를 하고 있다.

그 밖에도 센서 기술의 발전에 힘입어 자동차의 에어백의 가동을 위해 주변상황을 감지할 수 있도록 활용하고 있는 소형 센서인 반도체 기반의 MEMS(micro Electro Mechanical System) 기술을 활용하여 콘크리트 및 철골구조물의 거동계측에 응용하고 있다. 초기 단계에서는 콘크리트의 양생온도 측정에 의한 강도분석의 용도로 사용되었으나 현재에는 철근, 콘크리트, 철골등의 변형률을 상시 계측할 수 있는 무선기반의 센서모듈들이 개발되어 지고 있다. 특히 이 분야는 미국 과학재단에서 가장 중요한 연구분야로 지정하여 2000년 초반부터 막대한 연구비를 투자하고 있으며 국가적인 차원에서 시설물 관리 및 안전예방 분야를 중점적으로 지원하고 있다. 미국 정부의 분석에 의하며 향후 건설산업의 성패는 생산성 향상과 프로젝트 비용의 절감에 있으며 그러한 목표를 이루기 위해서는 미국이 가지고 있는 첨단기술들 특히 센서 기술과 무선 통신 기술의 건설산업에의 확대 적용 없이는 불가능하다는 목표하여 첨단기술과 건설기술과의 융복합된 사례발굴을 위해 많은 투자와 노력을 기울이고 있

다고 할 수 있다.

RFID 기술

RFID란 마이크로칩을 내장하여 RF(Radio Frequency, 주파수 변조) 방식으로 안테나와 교신을 통하여 근거리, 원거리에서 읽고 쓰기가 가능한 무선인식기술을 적용한 인식표(memory label)를 일컫는다. RFID의 시스템은 다음(그림 5)과 같이 크게 안테나가 포함된 판독기, 무선자원을 송/수신할 수 있는 안테나(Antenna), 정보를 저장하고 프로토콜로 데이터를 교환하는 태그(Tag), 서버(Server) 및 네트워크(Network) 등으로 구성된다. 각 부분의 기능으로는 판독기는 RFID 태그에 읽기와 쓰기가 가능 하도록 하는 장치이고, 안테나는 정의된 주파수와 프로토콜로 태그에 저장된 데이터를 교환하도록 구성되는 장치이며, 태그는 데이터를 저장하는 RFID의 핵심 기능을 담당한다.

RFID 태그는 전원 공급의 유무에 따라 전원을 필요로 하는 능동형(Active)과 내부나 외부로부터 직접적인 전원의 공급 없이 판독기의 전자장비에 의해 작동되는 수동형(Passive)으로 구분된다. 전자는 판독기의 필요 전력을 줄이고 판독기와의 인식거리를 멀리 할 수 있는 장점이 있으나, 전원 공급 장치를 필요로 하기 때문에 작동 시간의 제한을 받으며 수동형 타입에 비해 고가인 단점이 있다. 반면, 후자는 능동형에 비해 매우 가볍고, 가격도 저렴하면서 반영구

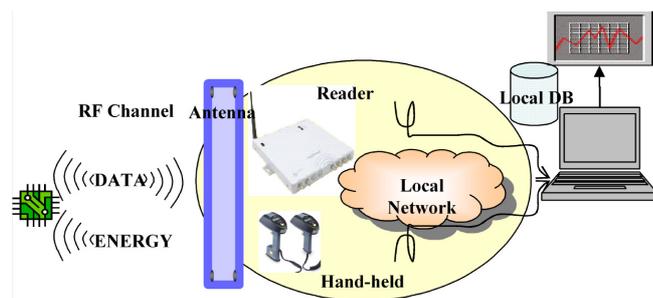


그림 5. RFID 시스템 구성도

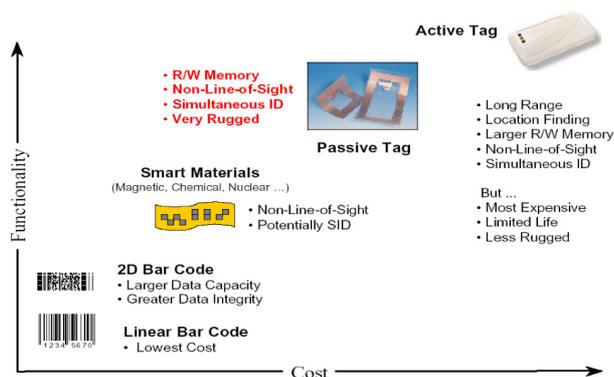


그림 6. 바코드 및 RFID 타입에 따른 특성

건설 정보기술의 현재와 미래

표 1. 외국의 RFID 기술 적용 사례

적용 분야	분야별 적용 기술
교통	<ul style="list-style-type: none"> 철도 차량 관리, 교통 관리 통행료 징수, 자동 지불 시스템(역손 모빌사)
제조	<ul style="list-style-type: none"> 자동차·컴퓨터 하드웨어 제작시 작업 흐름 추적 관리 제품 유지관리에 적용
농업	<ul style="list-style-type: none"> 농업·축산업 : 농산물 및 가축의 추적(CCIP; Canadian Cattle Identification Program, 2001)
공항 보안 및 수하물 취급	<ul style="list-style-type: none"> 여행용 가방의 분류 및 승객의 추적 공항과 항공사의 여행객에 대한 행정절차를 간소화 (IATA : International Air Transport Association) 여행자·여행용 가방의 이력의 상세 기록(잭슨빌 국제 공항, 2001)
교통 및 보안	<ul style="list-style-type: none"> TCG사(TransCore and Gatekeeper systems)·GTMS사(Ground Transportation Management System)가 함께 공항 주변 보안에 RFID 시스템 적용 (Parker, 2002). 군부대 출입 자동차 출입허가(조지아주 포트 맥퍼스 군부대, 2002)
공급망 관리	<ul style="list-style-type: none"> 질렛사의 재고 관리(Schwartz, 2003). IBM사의 재고 관리, 연간 5~25%로 재고량을 감소
의료	<ul style="list-style-type: none"> 환자 관리 및 면회 제한 신생아의 유괴 위험 방지 및 모자(母子) 확인
타이어	<ul style="list-style-type: none"> 미 의회 TREAD(Transportation, Recall, Enhancement, Accountability, and Documentation) 법령 통과 : 자동차 제조사가 2004년 모델부터 리콜에 대비하여 타이어 내부에 태그 장착 : 제조업체명, 공장위치, 제조년월일 파악 미쉐린(Michelin)사는 2005년 모델부터 승객 수송 차량 및 경량 트럭에 사용되는 타이어에 RFID 태그 부착 : 신속한 리콜(Frontline Solutions, 2003).
건설	<ul style="list-style-type: none"> 압축가스 실린더 추적, 작은 공구 관리, 장치 모니터링 (CII, 2001). 자재 조달 및 관리 추적 시스템 개발 유도장치 탑재 장비의 제어 콘크리트 및 철골 부재의 피로 또는 초과 응력 탐지

적으로 사용이 가능하지만, 인식거리가 짧고 관독기에서 더 많은 전력을 소모한다는 단점이 있다. 또한 사용 주파수에 따라 태그의 특성이 매우 상이하게 나타나기 때문에 주파수를 이용하여 태그를 구분하기도 한다. 주로 사용되는 주파수 대역은 125.134KHz, 13.56MHz, 433MHz, 860~960MHz, 2.45GHz대역이 있다 (그림 6).

최근 2000년에 접어들어서 RFID업, 건설 및 스포츠 등에 RFID 기술이 다양하게 활용되고 있으며, 그 응용분야로는 다음 표1과 같다.

건설산업에서의 RFID기술의 활용

국내의 경우 S건설사가 RFID 기술의 이전 단계인 바코드(Bar-code) 기술을 적용하여 노무 및 자재(레미콘)관리 시스템을 구축, 약 41억원의 직·간접 비용효과와 1개월 정도의 공기가 단축된 것으로 나타났다. 즉, 바코드 시스템보다 진보된 기술인 RFID



그림 7. 벡텔의 파이프 인식 테스트 - CII, FIATECH

시스템을 적용하여 관리할 경우 그 이상의 기대효과가 달성될 것으로 예견되는 바이다.

미국의 경우 카네기 멜론 대학(Carnegie Mellon University)에서 RFID를 이용한 프리캐스트 콘크리트(PC) 부재를 중심으로 자재관리시스템을 제시하였다. RFID의 총 투자비용은 \$178,000 (7,120의 작업시간과 상응)이지만, 자재를 파악하기 위해 소요되는 실제 작업시간을 절반으로 단축시킬 수 있었다. 또한, 연간 자재 조달의 지연으로 발생하는 부가비용은 1개 제작업체를 기준으로 연간 \$60,000에 달하는 것으로 나타나 자재의 적시 조달로 나타나는 부가적인 비용 절감은 상당할 것으로 추정되고 있다.

벡텔(Bechtel)사의 Red Hills 건설공사를 대상으로 실시한 미국 텍사스대학교내의 건설산업연구원(CII)이 실시한 현장 실험에서 파이프 스푼(Spool), 서포트(support) 및 행거(hanger) 같은 자재의 위치 파악 및 추적 관리에 30%(159분/100행거)의 작업시간의 단축 효과가 있다고 제시하였다(그림 6). 이외에 압축가스 실린더의 추적, 소규모의 작업 공구 위치 파악 및 관리, 건설장비의 모니터링에 시험적으로 적용한 사례가 있으며, 시설물 유지관리에서도 콘크리트 및 철골 부재의 피로 또는 초과 응력을 탐지하는데 적용가능성 검토를 추진 중에 있다. 국내에서는 성균관대학교, 한국건설기술연구원, 한국건설관리학회에서 RFID를 이용한 공급사슬 및 현장관리 관련 연구를 수행하고 있다.

결어

현재 건설산업에 미치고 있는 주5일제 근무의 여파, 안전에 대한 요구, 생산성 향상에 대한 요구 등은 경제여건과 더불어 건설현장의

혁신을 한층 더 필요로 하는 상황이 되어가고 있다. 무선센서 네트워크 기술은 현장의 자재관리와 인원관리, 안전관리에 효과적으로 활용될 수 있는 주요기술이며 향후에는 건물의 안전 및 유지보수를 위해 주요부분을 상시계측하기 위한 핵심 기술로써 중요한 역할을 하게 될 것이다.□

참고문헌

1. Bectel Corp, "Mobile Automated Data Capture (MADCAP)-Geotechnical and Environmental Mobile Field Solutions", FIATECH Fall Meeting, 2004.

2. 박진희, "Wireless Mesh Network연구 및 제품 동향", 한국전자부품연구원, 2004.
 3. W. Ye, H Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", In 21st conference of the IEEE computer and Communications Societies(INFOCOM), Volume 3, pages 1657-1576, June 2002.
 4. S. Glaser, "New Sensor Technologies for Monitoring the Civil Systems", FIATECH Fall Meeting, 2004.
 5. A. Stout, "The Smart Chips Project: Collaborating for the Future", FIATECH Smart Chips Workshop, 2004.
 6. J. Song, C. Haas, C. Caldas, E. Ergen, B. Akinci, C.R. Wood, J. Wadephul, "Field Trials of RFID Technology for Tracking Fabricated Pipe.Phase II", FIATECH Smart Chips Project Report, FIATECH, 2004

도서안내

■ 건축은 나무다

저 자 : 윤재은
 출판사 : 기문당
 정 가 : 9,800원
 발행일 : 2006년 9월 30일
 설 명 : 이 책은 저자가 44일간, 유럽의 근현대건축 답사를 통해 공간에 얽힌 사연의 이름들을 시로 엮어서 낸 것으로 근현대의 역사적 건축물들을 시를 통해 유럽의 정서를 만끽할 수 있도록 했다.

