

지능형 상하수도 센서설치를 위한 연구방법론 수립에 관한 연구

A study on the Research Methodology for the Installment of Ubiquitous Censors for Water and Sewer Management

김정훈¹, 조춘만², 한재일³, 이미숙⁴, 오효경⁵

Jung Hoon Kim¹, Chun Man Cho², Jay Il Han³, Mi Sook Yi⁴, Hyo Kyung Oh⁵

1. 국토연구원 국토정보연구센터 연구위원 Geospatial Information Research Center, Korea Research Institute for Human Settlements
- 2.4 국토연구원 국토정보연구센터 책임연구원 Geospatial Information Research Center, Korea Research Institute for Human Settlements
- 3.5 국토연구원 국토정보연구센터 연구원 Geospatial Information Research Center, Korea Research Institute for Human Settlements

요약

최근 정보통신의 발달로 도시 지하시설물 지능화를 위한 다양한 기술들이 제공되어 '유비쿼터스 국토' 실현에 대한 요구가 지속적으로 높아질 전망이다. 다양한 기관에서 지능화된 시설물 관리에 대한 요구가 발생하고 있으며 각 지방자치단체들은 U-City 사업을 통하여 센서를 활용한 시설물 관리를 시도하고 있다. 하지만 사업의 대부분이 지상 시설에 대한 분야로 한정되어, 지상시설의 센서네트워크 기술은 다양한 응용분야로 발전하고 있으나 지하 환경의 시설물 관리를 위한 센서네트워크 기술은 아직 활용이 미흡하다.

본 연구는 지능형 상하수도 관리를 위한 유비쿼터스센서 설치방안 마련을 위한 연구방법론 수립을 제안한다. 이를 위해 첫째, 지능화(또는 유비쿼터스화)의 개념, 둘째, 상하수도 시설물 지능화의 필요성, 셋째, 시설물 지능화를 위한 센서설치의 역할 및 중요성, 넷째, u-City 구현을 위한 3대 영역(즉, 물리영역, 비물리영역, 정보통신영역)의 융합개념을 적용한 지능형 상하수도의 개념정립, 다섯째, 이상의 기반을 바탕으로 상하수도 지능화를 위한 센서설치 연구방법론을 제안한다. 이를 통해 물리영역(즉, 물리적 제한요소들), 비물리영역(실수요기반 시설물 지능화의 필요성) 그리고 정보통신영역(즉, 정보통신 관련 핵심기술 및 보조기술)의 상호융합에 의한 지능형 상하수도 관리를 위한 센서설치방안 마련이 가능할 것으로 판단된다.

1. 서론

도시에 관한 해석은 다양하게 있어왔지만 공공부문의 측면에서 볼 때 도시민의 다양한 활동수요를 충족시킬 수 있는 도시서비스 제공을 위한 물리적 배경이라고 해석할 수도 있다. 도시서비스 제공을 위해서는 그 기반이 되는 도시의 물리적 시설물, 즉 도시기반시설의 뒷받침이 선결되어야 가능

하다. 도시기반시설은 대표적으로 국토의계획및이용에관한법률 등에 의한 기반시설과 공공시설이 있을 수 있고, 기타 도시서비스 제공과 관련된 분야설정에 따라 다양한 기반시설의 정의가 있을 수 있다. 도시의 기반시설은 인체의 뼈대에 비유될 정도로 일개 도시의 골격을 형성하는 중요한 역할을 수행하며, 특히 상하수도 등 도시지하시설물은 도시의 기능수행, 도시안전, 도시쾌적

성 확보 등의 측면에서 체계적이고 과학적인 지하시설물 관리가 필요한 대상이다. 이는 도시를 구성하는 기본요소들이 과거 도시의 물리적 구성요소인 토지, 시설에서 더 세분화되어 첨단정보통신시설 등의 광범위한 활용에 의해 도시민의 도시의 물리적 환경에 대한 요구의 종류 다양화 및 고차원화되어 가고 있다. 따라서 기존 도시의 물리적 시설물의 기능과 가치는 이전보다 한층 높은 기술적 복잡성과 효율성을 지니게 되었다.

한편, 최근 정보통신의 발달로 도시 지하시설물 지능화를 위한 다양한 기술들이 제공되어 '유비쿼터스 국토' 실현에 대한 요구가 지속적으로 높아질 전망이다. 다양한 기관에서 지능화된 시설물 관리에 대한 요구가 발생하고 있으며 각 지방자치단체들은 U-City 사업을 통하여 센서를 활용한 시설물 관리를 시도하고 있다. 하지만 사업의 대부분이 지상 시설에 대한 분야로 한정되어, 지상시설의 센서네트워크 기술은 다양한 응용분야로 발전하고 있으나 지하 환경의 시설물 관리를 위한 센서네트워크 기술은 아직 활용이 미흡하다.

본 연구는 지능형 상하수도 관리를 위한 유비쿼터스센서 설치방안 마련을 위한 연구방법론 수립을 제안한다. 이를 위해 첫째, 지능화(또는 유비쿼터스화)의 개념, 둘째, 상하수도 시설물 지능화의 필요성, 셋째, 시설물 지능화를 위한 센서설치의 역할 및 중요성, 넷째, u-City 구현을 위한 3대 영역(즉, 물리영역, 비물리영역, 정보통신영역)의 융합개념을 적용한 지능형 상하수도의 개념정립, 다섯째, 이상의 기반을 바탕으로 상하수도 지능화를 위한 센서설치 연구방법론을 제안한다.

2. 지능화(또는 유비쿼터스화)의 개념

유비쿼터스(ubiquitous)란 "언제 어디서나 존재함"을 의미하는 라틴어에서 유래한 것

으로, "유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)", 즉 언제 어디서나 손쉽게 컴퓨터에 접속하여 원하는 정보와 서비스를 제공받을 수 있는 환경을 의미한다¹⁾. 이 개념은 1998년 미국 제록스 팔로알토 연구소의 마크 와이저(Mark Weiser)가 처음 명명해 사용한 개념으로서 기존 컴퓨터 환경 즉 메인 프레임, PC에 이은 제3의 정보혁명으로의 "유비쿼터스 사회"가 예언된 바가 있다²⁾.

따라서, 유비쿼터스 환경이란 고도의 정보통신기술(Information & Communication Technology, ICT) 기반 하에 언제, 어디서나, 어떤 기기로든 상관없이 커뮤니케이션이 가능한 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)이 일반화된 환경을 말한다. 또한 이를 위해서는 기존 도시의 물리적 환경을 구성하는 요소들에 대한 '유비쿼터스화'의 과정이 필요하다. 이러한 유비쿼터스 시대가 도래하게 된 원인으로는 다음과 같은 여건변화들로 설명이 가능하다.

첫째, 현대 정보통신기술의 전방위적 발달로 기존과는 매우 차별화된 차세대 첨단 정보통신기술이 뒷받침되고 있다는 것이다.

둘째, 다양해지고 복잡해지는 현대도시의 문제를 해결하기 위한 방안으로서 현재보다 더 진보된 정보통신기술의 필요성에 점점 더 의존해가고 있다는 것이다.

셋째, 과거 선택과 집중에 의한 대도시 위주의 산업집적 및 경제개발에 의한 지역발전 불균형 심화가 촉진되었고, 이에 대한 대응책으로서 지역경제활성화 및 인구유입을 위한 돌파구로서 지역특화산업과 첨단정보통신기술 연계를 유도하는 경향을 보이고 있다.

이와 같은 유비쿼터스 시대의 특징³⁾은 ·

- 1) 김정훈 외. 2005. "유비쿼터스와 도시계획". 대한 국토·도시계획학회 도시정보 No.277. p4.
- 2) 김영표 외 2인. 2004. 「時空自在의 세상을 향한 사이버국토 창조방안(II)」. 경기 : 국토연구원. p44.
- 3) 최남화. 2004. "유비쿼터스 컴퓨팅의 공간적 특성과 U-도시의 구현". 「도시문제」 6월호, p64.

공간·사람·사물간 빈틈없는 연결성(Connected & Seamless), 모든 정보의 최신성(Fresh), 정보통신기기의 비인지성(Calm and Invisible) 그리고 실용성(Real) 등으로 정리될 수 있다.

본 연구에서 상하수도에 관한 지능화 또는 유비쿼터스화의 운영적 정의(operational definition)가 필요하다. 관련 법제도에 의한 지능화의 정의 및 현실적 정보통신분야의 기술수준 그리고 실제 융복합 응용사례 등을 종합 판단하여 실제 상하수도 지능화의 개념이 정의되어야 한다. 지능화 정의의 관건은 지능(intelligence)을 개별 시설 객체에 부여할 것인가 또는 시설관리시스템에 의한 일괄적 판단의 수준으로 정의하느냐에 따라 매우 다른 개념정의가 가능하다.

일반적으로 객체에 대한 지능(intelligence)의 부여는 요소능력의 수준을 상황판단(context awareness), 감지(sense), 의사전달(communication), 상황제어(control) 등 가운데 어떤 조합에 의해 객체지능화의 개념을 정의하느냐에 따라 매우 다양한 개념이 가능하다. 본 연구는 지능화의 개념을 운영적으로 정의함에 있어 현재 가장 기술개발 활동이 활발하고 다양하게 검증된 유비쿼터스기술의 적용이 매우 용이한 '객체의 감지(sense)기능'을 지능화 또는 유비쿼터스화의 1차적 핵심요소능력으로 보고, 상하수도 지하시설물에 감지능력을 부여하는 것을 지능화(또는 유비쿼터스화)한다라고 정의하였다. 한편, 기타 요소능력 즉 상황판단 및 상황제어 능력은 시설물 관리시스템에 의한 종합판단이 가능하며, 의사전달 능

력은 정보통신 네트워크에 의한 USN 노드 또는 도시통합운영센터로의 연결로 구현이 가능하다. 따라서 본 연구에 있어 상하수도 시설물 지능화의 개념을 지하시설물 객체에 대한 감지(sense) 능력 부여로 한정하여 연구를 수행하였음.

3. 상하수도 시설물 지능화의 필요성

상하수도 시설물 지능화를 위해서는 이를 실현하기 위한 관련된 물리적 제약요소, 즉 지하시설물 설치환경, 시설물과 매체(상수, 하수 등)와의 조화, 지하시설물 상 센서 설치환경 등에 관한 제반 고려가 필요하다. 또한 실제 업무관련 실수요를 기반으로 기존 물리적 지하시설물에 대한 지능화의 필요성과 연계된 시설물 지능화가 필요하다. 마지막으로 시설물 지능화를 위한 정보통신 기술 및 장비의 세심한 적용 역시 매우 중요하다. 이상의 관점들을 모두 복합적으로 고려한 상하수도 시설물 지능화가 요구되며, 기존의 경우 이와 같은 물리적 여건, 기술발전 여건 및 실수요가 모두 고려된 시설물관리의 표준모델이 제시된 바는 없었다. 결국 상하수도 시설물 지능화의 필요성은 다음과 같이 정리될 수 있다.

첫째, 지하시설물을 구성하는 객체에 대한 지능화를 통해 기존 대장자료 전산화에 의한 상하수도 시설물 정보화의 한계를 타파하는 가능성을 모색할 수 있다. 기존 시설물 정보화의 한계로는 비용대비 저조한 정보이용율, 비효율적이고 경직된 데이터 업데이트로 인한 분석결과와 신빙성 부족, 그리고 개별 시설별 정보화시스템 구축으로 통합적 도시시설물 관리의 어려움 등을 들 수 있다.

둘째, 지하시설물의 경우 매설이라고 하는 특수성으로 인한 시설물 관리의 물리적 한계를 극복할 수 있다. 기존 지하시설물의 경우 문제 발생시 위치나 파손의 종류

상태, 정도 등을 실제 굴착이전에 파악이 불가능한 한계가 있다. 실제 시설물에 대한 지능형 센서 등의 부착에 의해 실시간 모니터링 체계 구축이 매우 간단한 지능화 필요성의 논리를 바탕으로 효율적 지하시설물 관리의 새로운 장을 열어갈 수 있다.

셋째, u-City의 구성요소로서 유비쿼터스기반시설 구현을 위한 실용화 모색의 장으로서 지하시설물은 매우 적합한 지능화 대상으로 판단된다. 도시의 지상시설물의 경우 상호작용하는 관련 시설 등과의 관계가 매우 복잡하다. 반면, 지하시설물의 경우 해당 지하시설물 및 제어장치, 매체 그리고 지하 매설환경 등이 대부분의 고려사항에 해당이므로 유비쿼터스기반시설 구현에 매우 적합한 실험환경이라고 할 수 있다. USN 등 첨단 유비쿼터스 기술 및 응용장비의 활용에 의한 실용화 가능성 등을 파악해 볼 수 있는 중요한 실험의 장으로서 지하환경은 매우 흥미로운 실용화 실험환경이다.

넷째, 화재, 천재지변, 재난 등의 유사시 다양한 위험물 전달매체로서의 지하시설물에 대한 조기상황대처의 필요성이 점점 가중되고 있다. 가스, 하수, 전기 등 위험물 노출에 의한 대민피해를 최소화함과 동시에, 정보통신망 등 현대생활에 필수불가결한 기반시설의 조기 피해복구의 현실적인 대책마련의 일환으로 최첨단 정보통신기술 및 장비에 의한 관리방안 모색이 매우 시기적절하다고 본다.

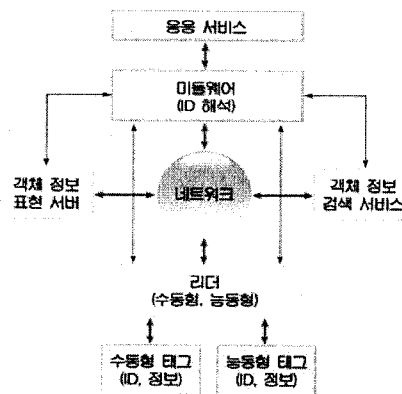
다섯째, 상하수도의 경우 기존의 물리적 도시기반시설 가운데 가장 기초적이고 광범위하게 전체 도시공간을 서비스하는 기반시설에 해당하여, 지능화의 모범사례를 표준과정 설정에 의해 실현할 경우 향후 기타 지하시설물 또는 지상시설물에 대한 지능화의 파급효과가 매우 클 것으로 판단된다. 상수도 누수감지를 통한 유수율 제고 실현의 경우 타 시설물 지능화에 비해 비용대비 파급효과가 무엇보다 클 것으로 판단된다.

기타, 하수도 유입수 감지를 통한 역류 및 침수 예방, 가정내 지능형 통합계량기 설치를 통한 상하수도 관련 행정비용 대폭감소 등도 시설물 지능화를 통해 우선 비용대비 큰 효과를 볼 수 있는 지능화 항목으로 고려해볼 수 있다.

4. 시설물 지능화를 위한 센서설치의 역할 및 중요성

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 도시의 각종 물리적 시설물에 감지(sensing)를 목적으로 특수하게 설치된 센서에서 감지한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 센서들의 연결망이라고 할 수 있다. WPAN(wireless personal area network), ad-hoc network 등의 기술이 발전함에 따라 u센서 네트워크 기술이 매우 활성화되고 있다. 센서의 종류로는 온도, 가속도, 위치 정보, 압력, 지문, 가스 등 다양하게 존재한다.

USN은 아래 개념도에서 제시된 바와 같이, 크게 미들웨어, 네트워크, 리더 등으로 이루어져 있다.⁴⁾



<그림 1> USN 개념도

유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 기술은 새로운 컴퓨팅 패러다임으로서 유비쿼터스 컴퓨팅 분야의 핵심분야로서, 무선네트워크

4) 출처 : 네이버 전문용어사전

를 활용한 상황정보 모니터링 시스템에 매우 적합한 기술이다. 이 기술을 모니터링 시스템에 적용하면 지하환경 등 열악한 물리적 환경에서도 간편하고 저렴한 비용으로 실시간 상황데이터를 수집 및 분석하여 즉각적인 상황대처와 사용자가 원하는 환경의 활동을 효율적으로 수행할 수 있다⁵⁾.

최근 들어 무선통신과 하드웨어 소형화 기술의 발전으로 저전력 저가격의 무선 센서개발이 가능해졌고, 무선통신이 가능한 센서노드들을 도시의 물리적 시설물들에 배치시켜 실시간 정보를 얻을 수 있는 USN에 관한 연구진행이 활발하다⁶⁾. 기존 센서는 단순히 센싱결과를 센서 출력신호로 바꾸는데 반해, USN기반의 센서는 지능형 센서(Smart Sensor)로서 기술력으로 가능한 최소규모의 객체 내장형 하드웨어 안에 CPU, 통신장치 및 센싱모듈이 모두 탑재된 경우를 말한다. 이러한 센서들은 제한된 데이터 처리기능, 통신기능 및 센싱기능을 갖춘 자율적 컴퓨팅 단말기로서의 기능을 갖게 됨을 말한다. 요즘은 센서개발의 단계에서 탈피하여 유비쿼터스 센서노드들에 매개에 의한 네트워크를 구성하고 센서와 전자태그(RFID) 등을 결합하여 센서정보를 활용한 스마트홈, 생태, 교통, 환경, 재난 등 광범위한 영역에 활용되고 있으며, 나날이 그 적용영역이 확대되고 있다.

5. u-City 구현을 위한 3대 영역 융합 개념 적용에 의한 상하수도 시설물 지능화의 개념정립

아직까지는 지상환경에 비해 매우 물리적으로 제한적이고 특수한 환경에 해당하는 지하시설물에 대한 지능형 센서 개발 및 설치 등 추이에 관한 기존 연구가 부재한 상

황에 있다. 그 이유는 실제 지하시설물에 적합한 지능형 센서의 개발 및 지하환경하에 놓인 지하시설물에 대한 실제 설치에 다양한 물리적 제약요소, 실제 업무관련 수요 및 이를 위한 유비쿼터스 기술개발에 의한 매칭 등 다양한 요소들의 결합에 의해서만 가능한 복합적 연구주제에 해당하기 때문이다.

이러한 지능형 지하시설물 관리를 위한 센서설치를 위한 복합적 고려요소들은 u-City 구현을 위한 3대 요소영역 융합개념을 바탕으로 체계적이고 순차적으로 문제를 바라보고 해결해가는 방법론의 제시가 필요하다. 즉, 물리적 영역, 수요를 유발하는 비물리적 활동영역 그리고 유비쿼터스기술 개발과 관련된 정보통신 영역의 유기적인 연계통합의 개념으로 지능형 상·하수도를 구현해가야 한다(<그림 2> 참조).

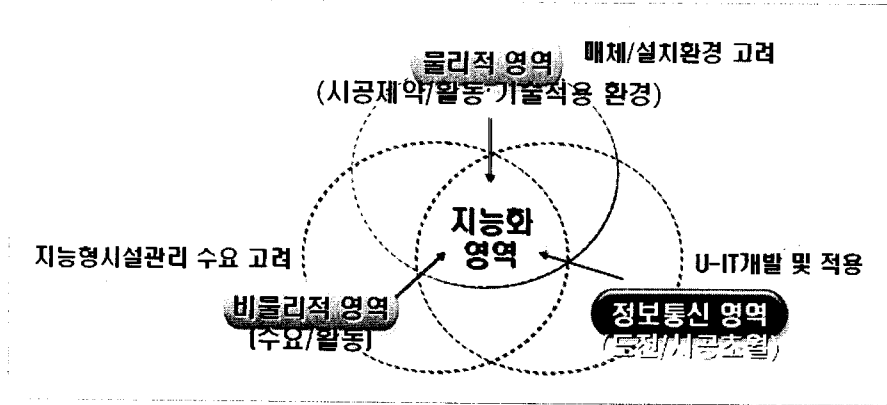
첫째, 물리적 영역은 지능형 관리기술 수요자의 활동영역이면서 동시에 정보통신 관련 장비들의 설치를 위한 다양한 제약요소들이 내재되어 있다. 시공의 제약이 있으며 기술장비 적용을 위한 매체 및 설치환경에 대한 특성 고려 등이 반드시 요구된다.

둘째, 비물리적 영역은 지능형 지하시설물 관리의 수요를 유발시키는 (상·하수도 관리 관련) 다양한 관련 활동들을 말한다. 기존 물리적 영역에서의 다양한 제약요소 및 불편함을 정보통신과의 접목에 의해 해결코자 하는 수요양상을 보이는 영역으로 업무 관련 기초수요 분석이 매우 큰 의미를 지닌다.

셋째, 정보통신 영역은 다양한 물리환경적 한계 속에 놓인 지하시설물 관리 관련 활동들의 불편함이나 추가 자동화의 요구들을 수용하여 시공간을 초월한 지능화 수요를 만족시키는 기능들을 개발코자 하는 영

5) 이기욱 외, 2006. '유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 상황정보 모니터링시스템 구현', 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제 11권 5호, p259

6) 박승창 등, 2005. '유비쿼터스 센서 네트워크 기술', 진한.



<그림 2> 지능형 지하시설물 관리를 위한 3대 요소영역

역을 말한다.

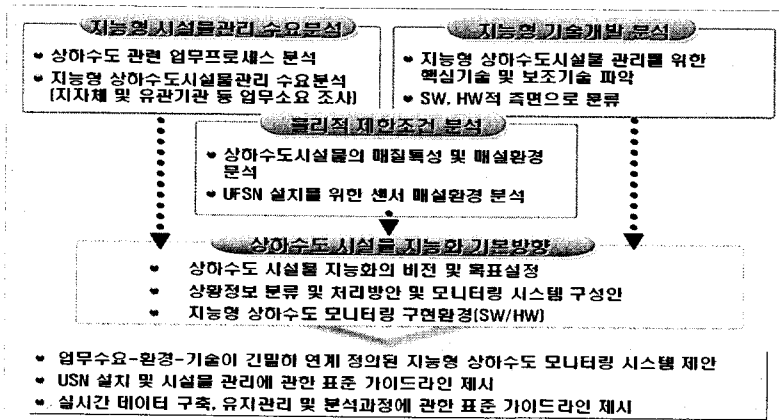
유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing) 기술을 기반으로 실제 물리적 시설물에 일단의 센서 및 컴퓨터 칩 등을 내장하여 실제 관리수행자들의 지능화 요구수요들을 충족시켜 나가는 것이다. 결국 위 도표의 가장 중심영역에 해당하는 3대 요소영역들의 중첩이 진척될수록 실제 지능형 지하시설물 관리관련 업무수행자들의 현업에 있어서의 지능화 수요를 최대한 만족시켜 나가게 되는 개념으로 정리될 수 있다.

6. 상하수도 지능화를 위한 센서설치 방법론 제안

먼저는 지능형 상하수도 시설물 관리에 관한 업무관련 지능화 수요를 분석한다. 즉, 상·하수도 관련 업무분석, 지능형 상·하수도관리 수요 등 실무진으로부터의 지능형 상·하수도관리에 관한 수요 분석자료를 정리하여 활용한다.

둘째, 지능형 기술개발 현황을 분석한다. 상·하수도 시설물 관리를 위한 핵심기술 및 보조기술을 분류하여 파악하고, SW 및 HW적 측면으로 분류하여 향후 지능형 시설물관리 기본구상 시 정보통신 기술부문 활용 근거자료로 활용한다.

셋째, 상·하수도 시설물의 지능화를 위한 지하시설물의 물리적 제한조건을 분석한다.



<그림 3> 지능형 상·하수도 시설물관리를 위한 센서설치 방안 마련 프로세스

시설물의 매질(상수, 하수 등) 특성, 매설환경 분석 및 UFSN 설치를 위한 지하매설환경 분석 등을 통해 지능형 센서 설치를 위한 물리적 제약요소들을 분석 정리한다.

넷째, 상·하수도 시설물 지능화를 위한 비전, 실시간 정보 처리방안 및 모니터링 시스템 구성안, 및 SW/HW 측면의 시스템 구현환경 등 기본방향을 구상한다.

마지막으로, 업무수요, 환경 및 기술수준이 긴밀히 조화되고 연계되어 정의된 지능형 지하시설물 관리체계를 제시한다. 또한 USN의 설치 및 관리에 관한 표준 가이드라인 및 관련 데이터의 구축/분석/유지관리에 관한 표준 가이드라인을 제시한다.

이상과 같이, 상하수도 시설물 지능화 방법의 기본틀로서 u-City 구현을 위한 3대 요소영역 융합개념을 바탕으로 지능형 센서 설치 방법론의 전개과정을 각 부분별로 정리하면 아래 그림과 같다.

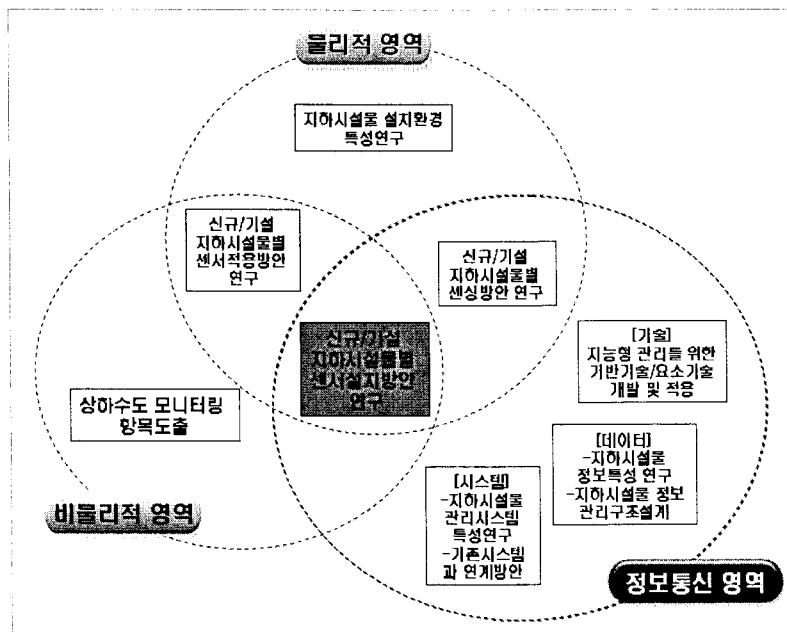
7. 맺음말

이상에 제시된 기본 운용적 개념정의 및 지능형 센서설치 방안마련에 있어 기대되는 효과는 다음과 같다.

첫째, 도시의 물리적 제약조건을 충분히 고려하고 실무수요를 기반으로 한, 지능형 도시지하시설물 관리를 위한 특화된 USN, 즉 UFSN(Underground Facility Sensor Network) 설치방안을 제시할 수 있다.

둘째, 도시의 물리적 제약환경에 대한 충분하고 체계적 고려를 통해 실제 센서의 설치이후 지하환경에 의한 센서기능 최적화, 매질에 따른 센서의 감지능력 최적화 등을 기대할 수 있다.

셋째, 업무프로세스 분석 및 지능형 지하시설물 관리에 관한 현장의 세밀한 요구 분석을 반영하여 향후 높은 지능형 관리기능 및 기술활용 결과를 얻을 수 있다.



< 그림 33 > 3대 요소영역 융합개념에 의한 센서설치 과정 개념도

넷째, 정보통신 영역에 있어서 유비쿼터스 기술 및 장비의 개발을 대상영역 및 관련 제약요소의 명확화, 현장 수요에 대한 면밀한 계량분석 과정을 통해 적정 투자비용에 의한 최적 기술개발 성과를 얻어낼 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김영표 외 2인. 2004. 「時空自在의 세상을 향한 사이버국토 창조방안(I)」. 경기 : 국토연구원. p44.
- 김정훈 외. 2005. “유비쿼터스와 도시계획”. 대한국토·도시계획학회 도시정보 No.277. p4.
- 박승창 등, 2005. ‘유비쿼터스 센서 네트워크 기술’, 진한.
- 이기욱 외, 2006. ‘유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 상황정보 모니터링시스템 구현’, 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제 11권 5호, p259
- 최남희. 2004. “유비쿼터스 컴퓨팅의 공간적 특성과 U-도시의 구현”. 「도시문제」 6월호, p64.