

지능형 지하시설물관리를 위한 상수도 모니터링 기술개발의 우선순위 평가에 관한 연구

김 정 훈* · 이 미 숙** · 한 재 일***

A Study on the Priority Order Evaluation of the Water Supply Monitoring Technology Development for the Intelligent Underground Facility Management

Jung Hoon Kim* · Mi Sook Yi** · Jay Il Han***

요 약

최근 지방자치단체들은 u-City 사업구상을 통해 지능형 지하시설물 관리를 계획하고 있지만, 지하시설물의 지능화를 위해서는 막대한 재원이 소요되므로 단계적 접근이 필요하다. 따라서 본 연구의 목표는 센싱기술 개발의 우선순위가 높은 상수도 모니터링 항목을 도출하여 기술적 실현가능성과 경제적 파급효과가 높은 킬러어플리케이션을 발굴하는데 있다. 이를 위해 상수도 업무분석, 심층면담조사, 지자체 설문조사, 전문가의 견조사 등을 통해 최종 모니터링 항목을 도출하였다. 분석 결과 유량계 유량, 상수관로 누수·균열, 상수관로 압력, 정수장 유량에 대한 모니터링 기술개발의 우선순위가 높게 나타났다. 이러한 연구결과는 상수도 시설물 관리의 실제적인 수요와 우선순위를 도출하고 평가하였다는데 의의가 있으며, 향후 지하시설물 지능화 관련 기술개발의 방향성 제시에 기여할 것이라 기대된다.

주요어 : 지능형 시설물 관리, 지하시설물센서네트워크(UFSN), 상수도시설물, 모니터링

ABSTRACT : Nowadays, local governments have planned to manage intelligent underground facilities through the u-City project. But, the intelligent underground facilities are in need of the progressive approach because of the required huge financial resources.

Therefore, the objectives of this research are (1) to prioritize the monitoring items of sensing

*국토연구원 국토정보연구센터 연구위원(junghkim@krihs.re.kr)

**국토연구원 국토정보연구센터 책임연구원(mslee@krihs.re.kr)

***국토연구원 국토정보연구센터 연구원(jihan@krihs.re.kr)

technology developments, (2) to study technological feasibilities, and (3) to discover the killer application which expands ripple effects on economy.

To achieve these objectives, final monitoring items were derived from the business analysis of the water supply, the local government survey, the hearing expert opinions and so on.

The priority order of final monitoring items were technology developments of (1) the flowmeter flux, (2) the water leakage/crack, (3) the pressure of water supply pipes, and (4) the flux of filtration plants.

The research significance is obtained from the derivation and the evaluation of the priority order and the actual demand for the water supply facility management. And, the research results will contribute to the strategic planning for the underground facility intelligence.

Keywords : UFSN (Underground Facility Sensor Network), Intelligent underground facility management

1. 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

최근 지방자치단체들은 u-City 사업을 통하여 다양한 유비쿼터스기술(Ubiquitous Computing Technology) 기반의 센서네트워크(USN)를 활용한 시설물 관리를 시도하고 있다. 지상시설의 센서네트워크 기술은 다양한 응용분야로 확대 발전하고 있으나, 지하 시설물 관리를 위한 센서네트워크 기술의 적용은 다양한 지하환경의 특수성으로 인해 아직은 실제 활용의 측면에서 많은 제약이 따르고 있다. 또한 유비쿼터스 기술 기반의 지하시설물 관리를 위한 모니터링 항목 등도 지자체의 실무기반 수요보다는 일부 센서네트워크 기술의 실용화 가능여부에 따른 제한적 모니터링 항목에 대해서만 지능화의 모색이 이루어지고 있다(김정훈 외, 2008).

현재 기술수준에 맞추어 진행되고 있는 지능화 사업들도 각 기관별로 별도로 추진되고 있으며, 시설물 관리를 위한 모니터링 항목도 센서 기술 위주의 모니터링 항목만을 도출·관리하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 지능형 상수도시설물 관리를 위해 우선적으로 지능화하여야 할 상수도 모니터링 항목을 도출하여 제시함으로써 궁극적으로 지능형 지하시설물 관리를 위한 투자 대비 효과를 극대화하는데 기여하고자 한다.

1.2 연구범위와 방법

1.2.1 연구범위

본 연구의 공간적 범위는 국토해양부 고시 ‘지하시설물관리 범용프로그램 개발지침 연구’를 통하여 상하수도범용프로그램을 도입한 지자체를 대상으로 한다. 특히 지자체 면담에서는 도입한 상하수도 범용프로그램을 기반으로 다양한 활용 및 지

능형 시설물 관리를 위한 u-City 사업을 추진하고 있으며, 정보화율이 높은 지자체를 주요 대상으로 하였다. 지자체 설문조사에서는 지자체의 정보화수준, 인구규모, 도시특성과 지역적 특성을 고려하여 27개의 지자체¹⁾를 대상으로 연구를 수행하였다.

내용적 범위 측면에서 본 연구는 심층적인 분석을 위해 7대 지하시설물²⁾ 중 상수도시설물로 연구범위를 한정하였다.

1.2.2 연구방법

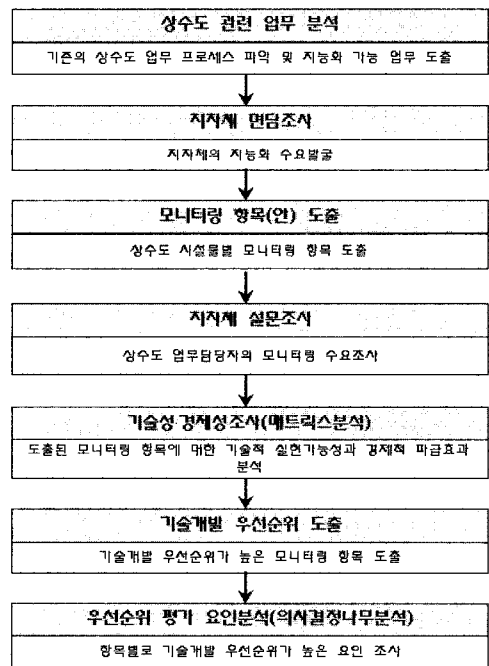
지능형 상수도 시설물 관리를 위해서는 최종적으로 모든 관리항목이 지능화되어야 하겠지만, 지자체의 예산 제약을 감안하면 비용 대비 효과를 고려한 단계적인 접근이 이루어져야 한다. 따라서 본 연구는 우선순위가 높은 모니터링 항목을 추출하여 지능화기술을 개발하기 위하여 [그림 1]과 같은 절차를 거쳐서 최종 항목을 도출하였다.

먼저, 지자체의 상수도 관련 업무프로세스 분석과 지자체 면담조사를 통하여 상수도 시설물 관리 지능화를 위한 모니터링 항목(안)을 작성하고 지자체 설문조사를 통해서 상수도 업무담당자들의 실제 지능형 모니터링 수요를 파악하였다.

다음으로 지자체 설문조사를 통해서 도출된 모니터링 항목의 기술개발이 기술적으로 실현가능성이 높은지와 경제적 파급효과가 큰지를 매트릭스분석(matrix analysis)

하였다. 매트릭스분석은 2×2, 3×3의 매트릭스(행, 열) 형태로 특정 대상을 분석하는 것을 말한다. BCG 매트릭스³⁾, GE 매트릭스, IPA 기법(Importance-Performance Analysis)⁴⁾ 등도 모두 매트릭스 분석에 해당된다. 즉 2가지 속성을 x축과 y축에 위치시키고 분석하고자 하는 대상을 2가지 속성에 따라 위치시킴으로써 현 상황 또는 대상에 의미를 부여하는 것을 말한다.

매트릭스 분석을 위해서는 분석하고자 하는 대상이 정해져야 하고, 의사결정에 영향



[그림 1] 분석방법 및 절차

1) 광주광역시, 대구광역시, 인천광역시, 울산광역시, 과천시, 수원시, 군포시, 광명시, 시흥시, 부천시, 계룡시, 태백시, 삼척시, 속초시, 강릉시, 춘천시, 원주시, 사천시, 안동시, 거제시, 진주시, 김해시, 남원시, 나주시, 김제시, 정읍시, 익산시
 2) 상수, 하수, 가스, 전기, 통신, 송유, 지역난방
 3) 1960년대 Boston Consulting Group(BCG)이 개발한 BCG 모델은 상대적 시장점유율과 시장의 성장률이라는 두변수를 이용하여 기업의 경쟁 포지션을 설명하고, 시장진입과 철수, 투자전략의 방향을 제시하는 대표적인 매트릭스 분석기법이다(박찬욱, 2001).
 4) IPA 기법은 중요도-실행도의 사분위면에 만족도에 영향을 주는 속성을 표현하는 것이다. 즉, 중요도의 중앙값이나 평균값을 이용하여 중요도를 X축, 실행도를 Y축으로 하는 2차원의 좌표상에서 각 변수의 계산된 값을 좌표 상에 표시한다(윤혜려, 2008).

을 미치는 가장 중요한 속성 2가지를 축으로 결정해야 하며, 마지막으로 각 축의 차원을 결정하는 기준점(NORM)이 필요하다. 본 연구에서는 경제적 파급효과와 기술적 실현가능성을 x축과 y축에 위치시키고, 상수도 모니터링 항목을 분석대상으로 하였다.

최종적으로 기술적 실현가능성과 경제적 파급효과가 모두 높은 모니터링 항목을 중심으로 전문가조사를 실시하여 모니터링기술개발의 우선순위를 도출하였다. 또한, 모니터링 항목별로 기술개발의 우선순위에 영향을 미치는 변수를 분석하기 위해서 의사결정나무분석(Decision Tree)을 실시하였다.

의사결정나무는 의사결정규칙(decision rule)을 나무구조로 도표화하여 분류(classification)와 예측(prediction)을 수행하는 방법이다(최종후, 2002). 나무구조에 의하여 모형이 표현되기 때문에 해석이 용이하고 나무구조로부터 어떤 입력변수가 목표변수를 설명하기 위하여 더 중요한지를 쉽게 파악할 수 있다. 즉 유용한 입력변수를 찾아내고 입력변수간의 다양한 교호작용 즉, 두 개 이상의 변수가 결합하여 목표변수에 어떻게 영향을 주는지를 찾아내는 알고리즘이다(김구, 2005).

이러한 의사결정나무분석을 위해서는 CHAID(Kass, 1980), CART(Breiman, et al., 1984),

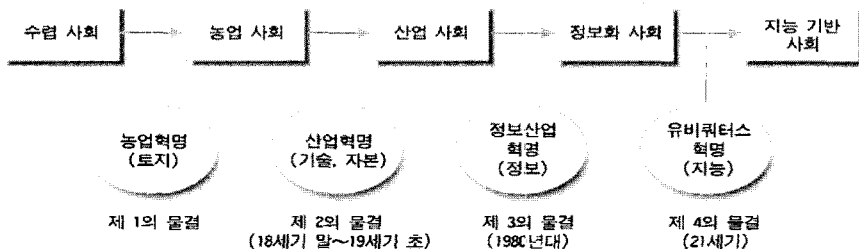
C4.5(Quinlan, 1993) 등과 같은 다양한 알고리즘이 있으며, 본 분석에서는 SPSS Answer Tree 프로그램의 CHAID 알고리즘을 이용하여 분석을 수행하였다.

2. 지능형 상수도 시설물관리 개요

2.1 지능형 상수도 시설물관리의 개념

1980년대에는 제3의 물결인 정보산업혁명으로 인해 산업사회에서 정보사회로의 대전환기를 맞았다면, 21세기에는 [그림 2]에서 보는 바와 같이 제4의 물결인 유비쿼터스 혁명으로 인해 지능기반사회(Intelligence-oriented Society)가 도래하였다. 지능기반 사회는 흔히 u-Society라고 부르는 고도로 지능화된 사회 개념이다. 지능화가 공공 인프라에서부터 개인 생활에 이르기까지 사회 전반에 다양하게 실현되어 누구나도 단순하고 간단한 방법으로 정보와 콘텐츠를 이용하고 업무를 수행하며 삶의 질을 향상시킬 수 있는 사회라고 할 수 있다(조위덕, 2008. 3).

그러나, 2006년을 기점으로 정보통신부가 u-IT839전략을 원동력 삼아 2010년경에



[그림 2] 인류 사회의 변천 과정과 정보통신

자료: 김택환, 정보통신개론과 데이터통신, 문운당, 2006. 2.

세계 최초로 ‘지능기반 사회’를 건설한다는 ‘다이내믹 u-코리아(Dynamic u-Korea)’ 정책을 표방(하원규, 2006)함에 따라 ‘지능형’, ‘지능기반’이라는 용어가 명확한 개념정의도 없이 유행처럼 번지고 있는 것도 사실이다.

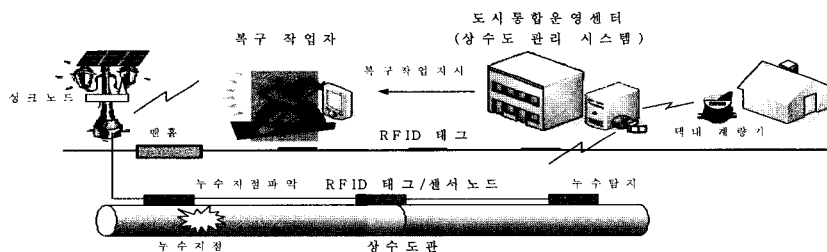
지능(intelligence)의 사전적 의미는 ‘새로운 대상이나 상황에 부딪혀 그 의미를 이해하고 합리적인 적응 방법을 알아내는 지적 활동의 능력’을 말한다. 이러한 지능은 생명체에만 존재하는 고유의 능력이라고 보았으나, 무생물인 주변의 사물(object)에도 지능을 부여할 수 있다는데 착안한 다양한 프로젝트가 수행중에 있다. 기술을 매개로 일상생활 공간을 보다 쾌적하고 안전한 인간중심 공간으로 재창조하려는 ‘엠비언트 인텔리전스(ambient Intelligence) 프로젝트’와 인간을 주인으로 섬기는 지능화된 사물 및 컴퓨터에 대한 연구를 수행중인 MIT미디어랩의 ‘생각하는 사물(Things That think) 프로젝트’가 대표적이다.

EU가 추진하고 있는 ‘엠비언트 인텔리전스 프로젝트’에서는 지능화(intelligence)를 주위 상황을 분석하고 이용자가 처한 환경과 행위를 학습하고 이에 스스로 적응하는 것으로 정의하고 있다⁵⁾. MIT 미디어랩이 수행

하는 ‘생각하는 사물(things that think)’ 프로젝트는 모든 기계와 사물들이 사용자의 언어·행동·생활습관 등을 스스로 이해하고 서로가 정보를 주고받으며 스스로 생각해 사람이 의식하지 않아도 사용자를 위해 일하도록 하는데 목적이 있다(전자신문, 2003. 12. 8). 즉, 이를 사물의 지능화라고 할 수 있다.

본 연구에서는 ‘지능형’이란 지하시설물을 포함하는 모든 사물에 센서를 부착하여 지능을 부여한다는 의미로 사용하고자 한다. 일반적으로 사물에 대한 지능의 부여는 요소능력의 수준을 상황판단(context awareness), 감지(sense), 의사전달(communication), 상황제어(control) 가운데 어떤 조합에 의해 지능화하느냐에 따라 다양한 개념정의가 가능하다(김정훈외, 2008).

본 연구는 현재의 기술개발 수준을 감안하여 지능화의 초기단계라고 할 수 있는 감지(sense)기능에 초점을 맞추어서 상수도 시설물에 감지능력을 부여해서 지하시설물의 관리업무를 효율화하는 것을 ‘지능형 상수도 시설물 관리’라고 정의하고자 한다. 구체적으로 [그림 3]과 같이 지하에 매설되어 있는 상수도관망에 RFID 및 센



[그림 3] 지능형 상수도 관리(예시)

자료: 건설교통부, 2007. p. 285

5) <http://www.itworld.com/Tech/2987/040903digitalhome/index.html>

서 노드를 부착하여 실시간으로 상수도관망을 모니터링하며, 상수도관망의 위치 파악, 누수 탐지, 댁내 계량기/수질 관리 등의 서비스를 제공하는 것이 지능형 상수도 시설물관리의 대표적인 사례라고 할 수 있다.

2.2 지능형 상수도 시설물관리의 기본 방향

본 연구에서는 상하수도범용프로그램 기본설계에서 제시된 범용업무분석서, 업무흐름도 등 업무분석자료와 지자체 시스템 개발 보고서 및 홈페이지의 분장 사무를 토대로 상수도 관련 전체업무를 도출하였다. 그 외에도 수도법, 상수도시설 유지관리매뉴얼 등을 기반으로 시설물별 세부 업무 및 지침의 분석을 통해서 관리대상별로 관련 상수도 업무의 수행방식을 파악하였다. 이를 바탕으로 기존의 업무수행방식을 UFSN(Underground Facility Sensor Network)을 기반으로 지능화하면 업무처리방식이 어떻게 변화할지에 대해서도 <표 1>과 같이 제시하였다.

이와 같은 지능형 상수도 시설물 관리가 이루어지기 위해서는 압력센서, 유량센서, 수질센서 등과 같은 다양한 센서기술의 개발이 요구된다. 그러나, 지하시설물 모니터링을 위한 센서의 개발과 설치를 위해서는 막대한 비용, 시간, 인력이 소요되기 때문에, 기술적 실현가능성과 경제적 파급효과를 고려한 우선순위 도출과 킬러 어플리케이션 발굴이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 지능형 상수도시설물관리를 위한 모니터링 항목의 우선순위를 도출하고 평가하여 지하시설물의 지능화를 위한 길

러 어플리케이션 발굴에 시사점을 제공하고자 한다.

3. 상수도 모니터링 우선순위 평가

3.1 조사의 개요

본 연구는 상수도 업무분석과 면담조사를 통해서 지능형 지하시설물 관리를 위한 상수도 모니터링 항목(안)을 도출하고, 실제적인 수요를 파악하기 위해서 지자체 설문조사를 실시하였다. 이를 통해 도출된 모니터링 항목의 기술적 실현가능성과 경제적 파급효과를 분석하고 기술개발 우선순위가 높게 나타난 요인을 평가하기 위해 전문가조사를 병행하였다.

먼저, 상수도 업무분석은 신도시 및 구도시 등 지자체의 특성, 인구수, 그리고 GIS도입 현황에 따른 정보화 수준을 고려하여 광주광역시, 익산시, 구리시, 과천시, 김해시 등 5개 지자체를 대상으로 하여 분석을 실시하였다.

다음으로, 상수도 업무분석을 통해 파악한 모니터링 항목에 대한 검증 및 추가 수요의 발굴을 위하여 지자체 면담조사를 3차에 나누어 수행하였다. 면담 대상기관은 업무분석을 수행하였던 익산시, 광주광역시 포함하여 정보화 수준이 높은 파주시, 대전광역시, 대구광역시 등 지자체와 상하수도 업무를 대행하고 있는 한국수자원공사를 추가하였다. <표 2>에서 보는 바와 같이, 조사기간은 2007년 12월부터 2008년 2월까지 약 2개월에 걸쳐서 이루어졌다.

상수도 업무분석과 지자체 면담조사를

<표 1> 상수도 업무 수행방식

관리대상		관련 업무	수행방식	지능형 업무지표(방안대시)
시설물	상수 관로	상수관망 갱생/교체공사	상수도정비기본계획자료 및 기타 노후관 기준을 통하여 상수관망 교체 및 갱생 실시	교체 대상관을 UFSN기반으로 확인 (상수관에 대한 균열, 연결부 이상, 오접합, 부식 등 모니터링)
		상수관망 신설공사	내규모 택지개발지구 및 민원에 의한 요청이 있을 경우 관망도를 확인하여 신설공사 실시	블록별 유수율을 지속적으로 모니터 링하여 신설 상수관망에 대한 정확 한 예측 및 유수율 향상
	유량계	유량계 유지관리	현장에서 시설에 대한 유지관리를 수행 후 유량계 대장에 관련사항 기록	자가검진 시스템을 활용하여 유량계 시설물에 대한 유지관리 실시
	급수전 계량기	계량기 교체, 상수도 사용료 관리	계량기 이상신고 민원 및 검침업 무를 통하여 계량기 교체작업 및 사용료 관리	센서를 활용한 전자식 급수전계량기 를 설치하여 급수 사용량을 원격에 서 확인 및 급수전 계량기의 유지관 리를 위한 다양한 항목을 지속적으 로 모니터링
	가압 펌프	가압펌프장 유지관리	정기적인 점검활동을 통해 가압장 시설장비를 점검하고 보수사항이 발생했을 경우 유지보수공사를 실 시하고 시스템을 이용하여 관련대 장을 정리	센서를 활용하여 가압펌프에 대한 압력 및 유량을 센터에서 확인, 가압 펌프에 대한 압력 변동이 실시간으 로 가능하도록 지원
	수원지/ 취수장	수원지/취수장 유지관리	일상점검활동을 통하여 수원지 및 취수장 시설물을 점검하고 이 상상황이 발생하였을 경우 현장 확인작업을 통하여 보수여부를 결정하고, 자체보수 및 용역발주 를 통한 보수작업을 수행한 후 시행결과를 대장에 기록	초음파 기반의 유량센서 활용하여 수원지 및 취수장 유지관리
정수장	정수장 생산관리	일일 원수량, 정수량 및 각 배수 지에서 사용되는 사용량 및 잔량을 점검	정수장으로 들어오는 수압을 센서를 이용하여 점검, 물의 흐름이 용이하 도록 실시간으로 확인 유량센서를 곳곳에 설치하여 실시간 으로 정수량을 확인, 사용량 및 잔량 을 점검	
상수	상수	수질검사	분기별로 특정 지역에서 시료를 채취하여 주기적으로 상수관 및 급수관의 수질검사를 대행함	특정 지역 및 위치(MEMS 기반)수 질센서를 설치하고 지속적으로 수질 을 확인하여 수질검사 및 관리 실태 를 모니터링 함
	급수			
	저수조	저수조관리	저수조 청소 및 관리 실태를 주 기적으로 보고 받음	저수조에 센서를 설치하여 관리 실태 를 점검

<표 2> 면담조사 기간 및 방문기관

	조사기간	방문기관	정보화수준	기타
1차	2007.12.15	파주시	고	u-City 상세설계 수행 중(현재)
2차	2008.01.28 ~ 2008.01.30	한국 수자원공사	고	광역상수도시설관리 및 수질, 수량 모니터링 시스템 구축, 활용 중
		광주광역시	고	RFID를 활용한 상수도 시설관리 수행 중
		익산시	초	상하수도 범용프로그램 도입 중
3차	2008.02.18 ~ 2008.02.20	대전광역시	중	범용프로그램 도입 후 지하시설물 통합관리시스템 등 활용시스템 구축, 활용 중
		대구광역시	중	공간정보통합활용시스템 구축 후 활용 중

통해 도출된 상수도 모니터링 항목(안)의 실제적인 수요를 파악하기 위해서 지자체 상수도 업무 담당자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. <표 3>에서 보듯이 2008년 4월 14일부터 4월 30일까지 27개의 지자체를 대상으로 방문조사를 하였으며, 53부의 설문지를 배포하고 총 46부를 회수하여 87%의 응답율을 보였다.

마지막으로 매트릭스분석과 의사결정나무분석을 위한 전문가조사는 상수도에 전

문적 식견을 갖춘 전문가를 대상으로 2008년 6월 5일부터 6월 30일까지 약 1개월 동안 이메일조사 및 방문조사를 실시하였다. 상수도시설물 관리와 관련된 관·산·연 전문가 68인을 조사대상으로 선정하여 설문지를 배포하고 총 60부를 회수하여 88%의 응답율을 보였다. 이 중 불충분한 응답을 한 설문지 7부를 제외시킨 후 유효표본 53부를 중심으로 분석을 실시하였다.

<표 3> 지자체 설문조사 기간 및 대상

	조사기간	조사대상
본조사	2008. 04. 14 ~ 2008. 04. 21	○ 광역시 : 광주광역시, 대구광역시, 인천광역시, 울산광역시 ○ 경기도 : 과천시, 수원시, 군포시, 광명시, 시흥시, 부천시 ○ 충청도 : 계룡시
	2008. 04. 24 ~ 2008. 04. 30	○ 강원도 : 태백시, 삼척시, 속초시, 강릉시, 춘천시, 원주시 ○ 경상도 : 사천시, 안동시, 거제시, 진주시, 김해시 ○ 전라도 : 남원시, 나주시, 김제시, 정읍시, 익산시

<표 4> 전문가 조사 기간 및 대상

	조사기간	조사대상
1차	2008. 06. 05 ~ 2008. 06. 16	○ 전문가 68인을 대상으로 조사를 수행 ○ 소속기관별 분포 - 공공기관 소속 41인 - 업체 소속 12인 - 연구기관 소속 15인
	2008. 06. 19 ~ 2008. 06. 30	

3.2 분석결과

3.2.1 모니터링 항목(안) 도출 결과

지능형 시설물 관리를 위한 상수도 모니터링 항목은 상수도 업무분석과 면담조사를 기반으로 상수도 관리업무 수행을 위해 필요한 항목을 시설물과 전달매체로 구분하여 도출하였다. 구체적으로 상수관로, 유량계, 급수전계량기(수도계량기), 수원지 및 취수장, 정수장으로 구분하여 시설물 관련 모니터링 항목(안)을 도출하였고, 전달매체인 상수는 상수관로 내부, 저수조 내부로 구분하여 모니터링 항목(안)을 도출하였다. 시설물 중 상수관로의 경우 누수, 부식정도, 압력, 균열, 연결부 이상, 오접합 여부를 모니터링 해야 하고, 유량계의 경우 유량, 파손, 누수 및 부식을 모니터링 해야 한다. 전달매체의 경우 급수관로 내 상수의 경우 탁도, 수소이온농도, 색도, 철, 납, 구리, 아연 등을 모니터링 해야

하는 것으로 나타났다. 상세 시설물 모니터링 항목(안)은 <표 5>에서 보는 바와 같다.

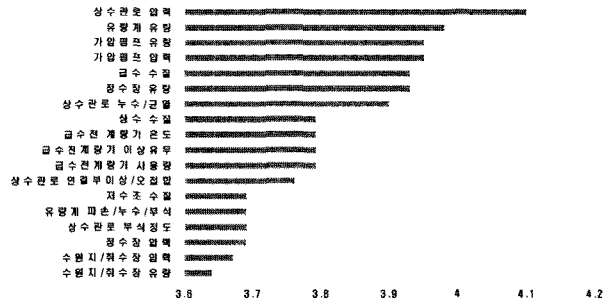
3.2.2 지자체 설문조사 결과

본 연구는 상수도 업무프로세스 분석과 3차에 걸친 면담조사 결과를 통해 도출한 상수도 모니터링 항목(안)의 실제적인 수요를 파악하기 위해서 지자체 상수도 업무 담당자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 지자체의 GIS 도입을 통한 정보화 수준, 인구규모, 도시 특성, 지역적 특성을 고려하여 27개 지자체를 추출하여 본 조사는 2008년 4월 14일부터 4월 21일까지, 추가조사는 4월 24일부터 4월 30일에 걸쳐서 수행하였다. 그 결과 [그림 4]에서 보는 바와 같이 상수를 가정까지 공급하기 위하여 지속적으로 관리해야하는 상수관로 압력, 유량계 유량, 가압펌프장 유량 및 압력에 대한 모니터링 수요가 높은 것으로 나타났다.

<표 5> 지능형 상수도 관리를 위한 모니터링 항목(안)

구분		모니터링 항목	관련업무
시설물	상수관로	누수, 부식정도, 압력, 균열, 연결부 이상, 오접합 등	수도정비기본계획 수립, 상수관망 신설공사, 상수관망 갱생/교체공사
	유량계	유량	상수관망 갱생/교체공사
		파손, 누수 및 부식	유량계 유지관리
	급수전계량기	사용량, 이상 유무(미동, 난행, 불진행, 역회전, 공전, 과회전, 유리파손 등), 온도	계량기 교체, 상수도 사용료 관리
	가압펌프	압력, 유량	가압펌프장 유지관리
	수원지/취수장	압력, 유량	수원지/취수장 유지관리
	정수장 및 정수장 시설	유량, 압력 등	정수장생산관리
상수	상수관로 내부	수온, 잔류염소, 탁도, pH	수질검사
	급수관로 내부	탁도, 수소이온농도, 색도, 철, 납, 구리, 아연 등	수질검사
	저수조 내부	탁도, 수소이온농도, 잔류염소, 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군 또는 대장균	저수조관리

상수도 모니터링 항목	
1.	상수관로 압력
2.	유량계 유량
3.	가압펌프 유량
3.	가압펌프 압력
5.	급수수질
5.	정수장 유량
7.	상수관로 누수·균열
8.	상수수질
8.	급수전 계량기 온도
8.	급수전 계량기 이상유무
8.	급수전 계량기 사용량

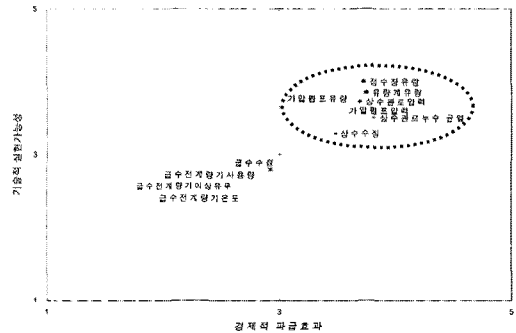


[그림 4] 지능형 시설물 관리를 위한 상수도 모니터링 항목의 설문조사 결과

3.2.3 매트릭스 분석 결과

지자체 설문조사를 통해서 도출된 상수도 모니터링 항목의 기술개발이 기술적으로 실현가능한지와 경제적으로 파급효과가 큰지를 분석하고 도식화하기 위해서 매트릭스 분석을 실시하였다. 경제적 파급효과를 X축으로, 기술적 실현가능성을 Y축으로 배치하고 기준점은 3으로 정하였다.

[그림 5]에서 보는 바와 같이, 정수장 유량 모니터링 기술, 유량계 유량 모니터링 기술, 상수관로 압력 모니터링 기술, 가압펌프 압력과 유량 모니터링 기술, 상수관로 누수·균열 모니터링 기술, 상수수질 모니터링 기술이 경제적 파급효과가 크고, 기술적 실현가능성이 높은 그룹으로 분류되었다. 한편 급수수질, 급수전 계량기 사용량, 급수전 계량기 이상유무와 온도의 모니터링 기술개발은 기술적 실현가능성도 낮고 경제적 파급효과도 미미한 것으로 나타났다.



[그림 5] 매트릭스 분석 결과

출된 7개의 모니터링 항목 중에서 전문가 조사를 통해 기술개발 우선순위⁶⁾가 높게 나타난 4개의 항목인 유량계 유량, 상수관로 누수·균열, 상수관로 압력, 정수장 유량 모니터링 기술개발을 대상으로 의사결정 나무분석을 실시하였다. 즉, 상수도 모니터링 기술개발의 우선순위 판단에 영향을 미치는 요인을 식별하기 위해서 전문가들을 대상으로 기술개발 우선순위가 높은 항목을 중심으로 평가하도록 하였다⁷⁾. 모니터링 항목별로 기술개발 우선순위에 대한 응답결과는 <표 6>에 제시되어 있다.

3.2.4 의사결정나무분석 결과

본 연구는 매트릭스 분석을 통해서 도

6) 기술개발 우선순위는 모니터링 항목별로 5점 리커트(Likert) 척도로 평가하였다.
 7) 평가기준은 기술적 실현가능성, 경제적 파급효과, 기술자체의 중요성, 국내의 현행기술격차 축소가능성, 기술선택(기술우위)가능성, 기술개발의 시급성, 수출증대효과, 수입대체효과, 타분야 적용(응용)가능성, 시장점유율 증가가능성, 국내 시장규모, 해외 시장규모 등이다.

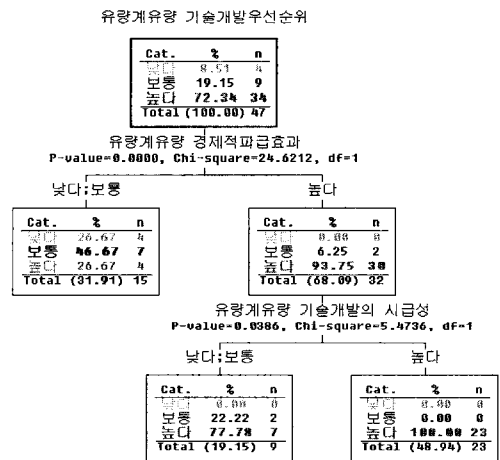
<표 6> 모니터링 항목의 기술개발 우선순위 통계치

기술개발우선순위	N	최소값	최대값	평균	표준편차
유량계 유량	52	1	5	3.92	0.967
상수관로누수·균열	53	1	5	3.83	1.087
상수관로 압력	53	2	5	3.72	1.045
정수장 유량	53	2	5	3.70	0.972
가압펌프 압력	53	1	5	3.68	0.976
가압펌프 유량	53	1	5	3.66	1.073
상수 수질	53	1	5	3.49	1.031

이를 위하여 Answer Tree에 의한 의사결정나무분석을 실시하였고, 정지규칙은 전체적 분리정지(Maximum tree depth)는 3, 부모마디의 관측수 제한(Minimum Number of Case for parent)은 10, 자식마디의 관측수 제한(Minimum Number of Case for child)은 5로 지정하였으며, 분리기준의 유의수준(Significant level for splitting)은 0.05로 설정하였다.

<표 7>은 정지규칙에 의해 자동으로 형성된 의사결정나무를 평가하기 위한 위험도표를 요약한 것이다. 위험도표(Risk Chart)는 통계학의 판별분석 등에서 알려진 분류행렬(Classification matrix)을 말하며, 위험추정치(risk estimate)의 값이 작을수록 모형구축이 성공적이라고 할 수 있다(최종후, 2002). 기술개발 우선순위의 위험도표를 보면, 오분류 확률(risk estimate)이 0.208333에서 0.291667사이의 값으로 나타남에 따라 분류 정확도는 약 75% 내외로 판명된다.

우선순위가 가장 높게 나타난 유량계 유량의 기술개발 우선순위를 목표변수로 하고 기술개발의 기술성과 경제성관련 항목을 예측변수로 하여 의사결정나무를 분리한 결과는 [그림 6]과 같이 제시되어 있다. 유량계 유량의 나무구조 분석결과 뿌리마



[그림 6] 유량계 유량 모니터링 기술개발

<표 7> 위험도표 요약

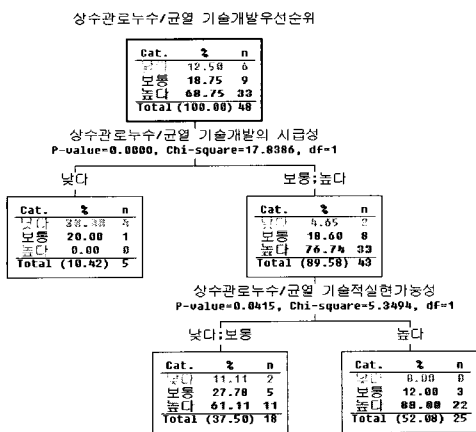
기술개발 우선순위	위험추정치 통계량(Risk Estimate)	위험추정치 표준오차(SE)
1. 유량계 유량	0.212766	0.0596972
2. 상수관로 누수·균열	0.229167	0.0606646
3. 상수관로 압력	0.208333	0.0586179
4. 정수장 유량	0.291667	0.0656057

디(root node)에서 전체 47명의 응답자 중에서 기술개발의 우선순위가 ‘낮다’가 8.51% (4명), ‘보통이다’가 19.15%(9명), ‘높다’가 72.34%(34명)의 비율을 보이고 있다. 또한 유량계 유량의 기술개발 우선순위에 대한 첫 번째 분리변수가 경제적 파급효과임을 알 수 있으며, 상수도 관련 전문가 68.09%(32명)가 유량계 유량 모니터링 기술개발이 갖는 경제적 파급효과가 높다고 판단한 것을 알 수 있다. 여기 분류시점에서 카이제곱 통계량은 24.62이고 이에 대응하는 유의확률 p값은 0.0000으로 나타났다. 그리고 두 번째 마디에서는 “유량계 유량 모니터링 기술개발의 시급성”에서 분리가 일어났으며 48.94%(23명)가 유량계 유량 모니터링 기술개발이 시급하게 이루어져야 한다고 응답하였다. 결국 유량계 유량 모니터링 기술개발의 우선순위에 영향을 미치는 변수들을 나열하면, 첫 번째 분리변수는 경제적 파급효과이고 두 번째가 기술개발의 시급성이라는 것을 알 수 있다.

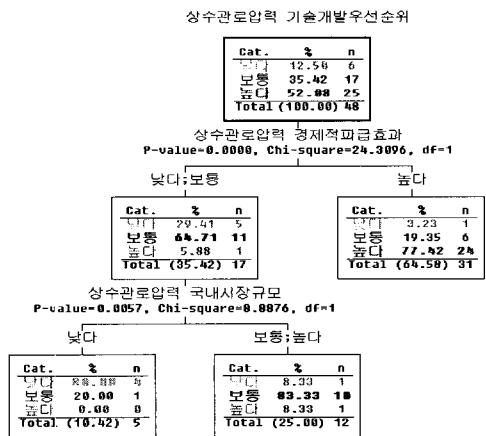
기술개발 우선순위가 두 번째로 높게 나타난 상수관로 누수·균열 모니터링 기

술개발을 목표변수로 하여 의사결정나무 분석한 결과는 [그림 7]에 제시되어 있다. 상수관로 누수·균열 모니터링 기술개발의 우선순위가 높다고 응답한 전문가는 33명으로 전체의 68.75%에 해당된다. 첫 번째 분리변수인 ‘기술개발의 시급성’이 보통이상이라고 응답한 응답자는 89.58%(43명)이며, 분류시점에서 카이제곱 통계량 값은 17.8389이고 유의확률p값은 0.0000임을 알 수 있다. 두 번째 분리변수는 ‘기술적 실현가능성’으로 상수관로 누수·균열 모니터링 기술개발의 우선순위가 높고 기술개발의 시급성이 보통이상으로 높으며 센싱 기술의 구현가능성도 높다고 응답한 전문가는 52.08%(25명)인 것으로 나타났다. 상수관로 누수·균열 모니터링 기술개발의 우선순위에 유의미한 영향을 미치는 변수들을 살펴보면, 첫 번째 분리변수는 ‘기술개발의 시급성’이고 두 번째 분리변수는 ‘기술적 실현가능성’임을 알 수 있다.

세 번째로 기술개발 우선순위가 높게 나타난 상수관로 압력 모니터링 기술의 의사결정나무분석 결과는 [그림 8]에 제시되어



[그림 7] 상수관로누수·균열 모니터링 기술개발



[그림 8] 상수관로압력 모니터링 기술개발

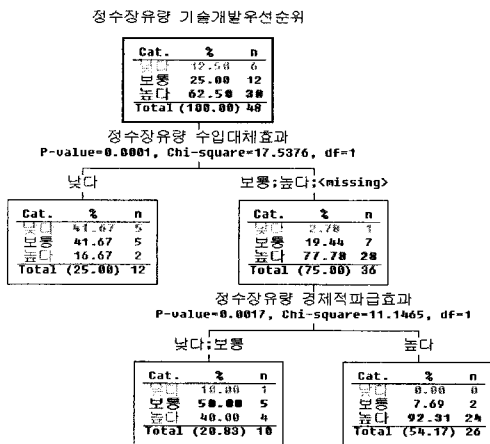
있다. 맨 위의 뿌리마디(root node)를 보면 전체 응답자 48명 중 상수관로 압력 모니터링 기술개발의 우선순위가 ‘높다’는 52.08% (25명), ‘보통’이 35.42%(17명), ‘낮다’가 12.50% (6명)의 비율을 보이고 있다. 첫 번째 분리 변수는 상수관로 압력 모니터링 기술개발의 경제적 파급효과임을 알 수 있다. 상수관로 압력 모니터링 기술개발의 우선순위가 높다고 응답한 응답자들은 해당 기술개발이 가져올 경제적 파급효과가 타 기술개발에 따른 파급효과보다 크다고 인식하고 있는 것으로 나타났다. 이는 상수관로 압력 모니터링 기술개발에 따른 경제적 파급효과가 크기 때문에 기술개발의 우선순위를 높게 평가한 것으로 판단된다.

[그림 9]에서 보는 바와 같이 정수장유량 모니터링 기술개발 우선순위의 나무구조 분석결과에 의하면, 뿌리마디의 전체 48명의 전문가 중에서 우선순위가 ‘높다’는 62.50%(30명), ‘보통’이 25%(12명), ‘낮다’가 12.50%(6명)의 비율을 보이고 있다. 기술개발의 우선순위에 대한 첫 번째 분리변수

는 ‘수입대체효과’로 정수장 유량의 모니터링 기술개발 우선순위가 높다고 응답한 전문가의 93%(28명/30명)가 기술개발에 따른 수입대체효과가 보통이상이라고 응답하였음을 알 수 있다. 이때 분리시점에서 카이제곱값은 17.5376이고, 이에 대응하는 유의확률 p값은 0.0001으로 나타났다. 두 번째 분리변수는 정수장 유량 모니터링 기술개발의 ‘경제적 파급효과’임을 알 수 있다. 전체 응답자의 54.17%(26명)이 정수장 유량 모니터링 기술개발이 가져올 경제적 파급효과가 크다고 응답하였다. 결국, 정수장 유량 모니터링 기술개발의 우선순위에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 변수는 ‘수입대체효과’와 ‘경제적 파급효과’라고 판단된다.

3.3 분석결과의 요약 및 제언

본 연구의 목표는 지능형 상수도 시설물관리를 위하여 우선적으로 지능화기술을 개발해야할 상수도 모니터링 항목을 도출하는데 있다. 따라서 상수도 업무분석과 심층면담조사를 통해서 지능형 상수도 시설물 관리를 위한 18개의 상수도 모니터링 항목(안)을 도출하였다. 이러한 모니터링 항목(안)을 상수도 업무담당자들을 대상으로 설문조사를 실시해서 모니터링 수요가 높은 항목 11개로 압축하였다. 다음으로, 상수도 및 센서관련 전문가를 대상으로 기술성 및 경제성을 분석하여 7개의 항목을 도출하고, 최종적으로 기술개발 우선순위가 높은 4개의 상수도 시설물 모니터링 항목을 추출하였다. 또한, 이러한 절차를 통해 도출된 모니터링 항목의 기술개발 우선순위가 높은 이유도 전문가조



[그림 9] 정수장유량 모니터링 기술개발

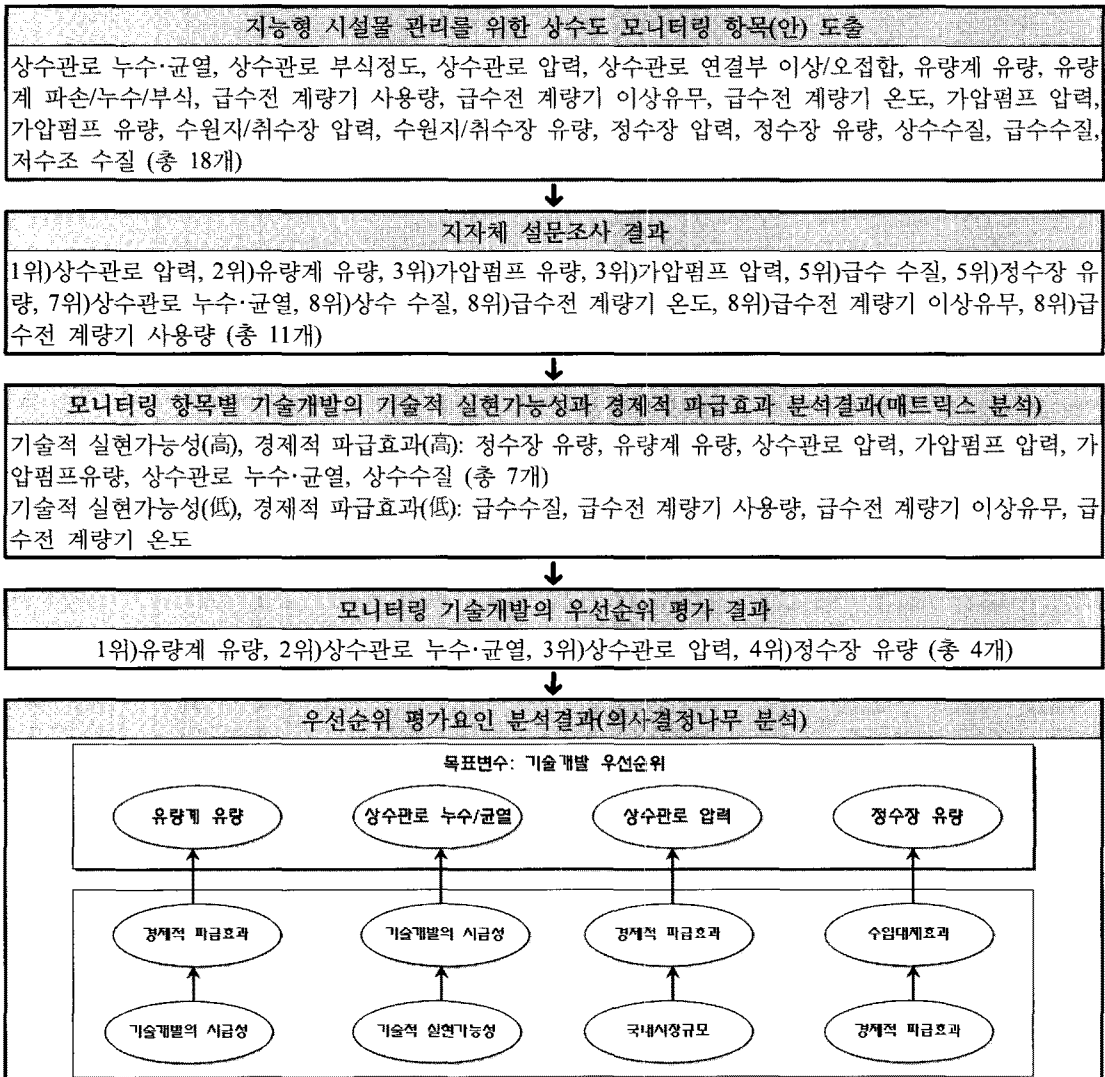
사를 바탕으로 항목별로 분석하여 제시하였다. 이와 같은 절차에 따른 분석결과는 <표 8>에 요약되어 있다.

4. 결 론

최근 지방자치단체들은 u-City 사업구상

을 통해 지능형 지하시설물 관리를 계획하고 있지만, 지하시설물의 지능화를 위해서는 막대한 재원이 소요되므로 단계적 접근이 필요하다. 따라서 본 연구를 통해 센싱기술 개발의 우선순위가 높은 상수도 모니터링 항목을 도출하여 기술적 실현가능성과 경제적 파급효과가 높은 킬러애플리케이션을 발굴하는데 기여하고자 한다.

<표 8> 분석결과의 요약



이를 위해 상수도 업무분석, 심층면담조사, 지자체 설문조사, 전문가의견조사 등을 통해 최종 모니터링 항목을 도출하였다. 분석결과에 의하면, 모니터링 기술개발의 우선순위가 높은 항목은 유량계 유량, 상수관로 누수·균열, 상수관로 압력, 정수장 유량 모니터링 기술로 나타났다. 그러므로 이와 관련된 센서기술 개발과 설계부착방안 연구가 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 상수도 시설물 관리의 실제적인 수요와 우선순위를 도출하고 평가하였다는데 의의가 있다. 즉, 최종적으로 지자체의 수요가 높고 동시에 기술적 실현가능성이 높고 경제적 파급효과가 높은 모니터링 항목을 도출하였다는데 의의가 있다. 현재의 지하시설물 모니터링 기술개발이 지자체의 실무기반 수요보다는 일부 기술의 실용화 가능여부에 초점을 맞추고 있는 점을 감안하면, 지자체의 실제 수요를 파악하고 평가했다는 점에서 본 연구결과가 관련 기술개발의 방향성을 결정하는데 참고자료로 활용될 수 있을 것이다. 그러나 향후 지하시설물을 지능화하기 위한 전략 수립을 위해서는 도출된 항목에 대한 심층면접과 같은 검증과정이 추가로 요구된다.

또한, 본 연구결과가 보다 실효성을 갖기 위해서는 지능형 상수도 시설물 관리를 위한 센서의 설치방안, 센서의 강도, 센서 개수, 센서 설치 기준, 네트워크 설치방법, 상하수도 범용 시스템과의 연계 방법에 대한 후속연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개

발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강민구, 김태진, 2007, 유비쿼터스 공공서비스 도입 우선순위에 대한 실증분석- 공무원의 인식조사를 중심으로, 한국GIS학회지 제15권 제3호, pp. 219-236
- 강준목, 강영미, 이강원, 2005, 웹기반 GIS를 이용한 지하시설물 통합시스템 구축, 대한토목학회논문집, 제25권 제2D호.
- 건설교통부, 2004, 시설물관리 범용시스템을 활용한 도시정보체계 구축 방안 연구
- 국토해양부, 2007, 유시티(u-City) 건설지원을 위한 제도개선 연구, p.431
- 김구, 2005, 지식행정 활동의 요구수준 진단을 통한 수요예측에 관한 연구: 의사결정나무분석을 이용하여, 한국행정학보, 제39권 제4호, pp. 299-322.
- 김덕환, 2006.2, 정보통신개론과 데이터통신, 문운당.
- 김은형, 2007, 지자체 GIS 통합·연계 고도화 모델 연구, 한국GIS학회지 제15권 제3호, pp. 189-202.
- 김정훈, 조춘만, 한재일, 이미숙, 오효경, 2008, 지능형 상하수도 센서설치를 위한 연구방법론 수립에 관한 연구, GIS공동추계학술대회, pp. 209-216.
- 박찬욱, 2001, 전략경영에 관한 전통적 방법론들의 철강산업 적용 타당성과 대안논리, POSRI경영연구 제1권 제1호.
- 신동빈, 박경호, 김지홍, 2002, 지하시설물(상·하수도)도 데이터베이스의 품질향상에 관한 연구, 국토연구 제34권.
- 오마이뉴스, 2005. 10. 16.
- 윤혜려, 대형 푸드코트 이용 고객들의 서비스

- 인카운터 중요도-실행도(IPA) 분석 평가 연구, 한국식품영양학회지, 제21권 제1호, pp. 97-105.
- 이근호, 2005.7, 유비쿼터스 정보기술과 비즈니스 전망, cad@graphics.
- 조위덕, 2008.3, u-지능공간 시스템 기술, 전자부품.
- 최종후, 2002, (Answer Tree를 이용한)데이터마 이닝 의사결정나무분석, 고려정보산업.
- 하원규, 2006, 처음읽는 미래과학 교과서, 김영사.
- Breiman, L., Fridman, J. H., Olshen, R. A., and Stone, C. J., 1984, Classification and regression trees, Wadsworth, Belmont.
- Kass, G. 1980, An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data, Applied Statistics, Vol. 29, No. 2, pp. 119-127.
- Quinlan, J. R., 1993. C4.5: programs for machine learning, Morgan Kaufmann.
- <http://www.itworld.com/Tech/2987/040903digitalhome/index.html>.
-
- 접수일 (2008년 6월 18일)
수정일 (2008년 7월 25일)
게재확정일 (2008년 7월 25일)