

파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션

Water Leakage Detection Monitoring Simulation using Power Spectrum Analysis

정경용
상지대학교 컴퓨터정보공학부

Kyung-Yong Chung(dragonhci@hanmail.net)

요약

IT융합기술의 발전에 따라 누수탐지를 위한 인프라스트럭처가 구축되면서, 과소된 관로의 위치 및 규모의 파악 기술이 부각되고 있다. 또한 상수도 시설의 누수로 인한 수자원의 고갈 때문에 효율적으로 누수를 탐지할 수 있는 방법이 시급하다. 본 논문에서는 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션을 제안하였다. 제안한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션에서 반사파 파형을 측정한다. 수집된 반사파 파형으로부터 변화율을 계산한다. 그리고 고속 푸리에 변환을 이용한 파워 스펙트럼 분석은 누수의 크기와 반사파 파형의 상관관계를 평가한다. 이를 시뮬레이션의 논리적 타당성과 유효성을 검증하기 위해 실험적인 적용을 시도하고자 한다. 따라서 실시간 누수탐지를 제공하여 효율적인 관리에 대한 만족도와 서비스의 질을 향상시켰다.

■ 중심어 : | 누수 | 모니터링 시스템 | 탐지 | 관로 | 파워스펙트럼 분석 |

Abstract

With the development of IT convergence technology and the construction of infrastructure for water leakage detection, the detection technology of damaged pipeline's location and size is being spotlighted. The exhaustion of water resource due to the leakage of water supply facilities renders it urgent to detect water leakage effectively. In this paper, we proposed the water leakage detection monitoring simulation using the power spectrum analysis. We measured the reflected wave signal by the proposed water leakage detection monitoring simulation. The rate variability is calculated from the acquired reflected wave signal. And the power spectrum analysis using the Fast Fourier Transform is evaluated the correlation between the water leakage's size and the reflected wave. Ultimately, this paper suggests empirical simulation to verify the adequacy and the validity. Accordingly, the satisfaction and the quality of services will be improved the efficient management by supporting the real-time water leakage detection.

■ keyword : | Water Leakage | Monitoring System | Detection | Pipeline | Power Spectrum Analysis |

I. 서론

상·하수도의 누수 현상은 수자원의 손실일 뿐만 아니라,

라, 압력 손실로 인한 추가적인 가압 설비의 필요하다. 또한 누수가 발생한 관로 주변의 토질 약화를 초래한다. 따라서 상·하수도관의 유지 관리를 어렵게 하고, 이로 인

* "본 논문은 2012년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것입니다."

접수번호 : #110713-001

접수일자 : 2011년 07월 13일

심사완료일 : 2012년 09월 03일

교신저자 : 정경용, e-mail : dragonhci@hanmail.net

한 수자원의 손실뿐만 아니라 심각한 경제적 손실 및 환경오염을 야기한다. 대부분의 정수장에서 생산된 수돗물 중 요금에 징수된 유수량은 유수율 80%로 상수도의 선진국과 비하여 매우 낮은 수준을 나타내고 있는 것을 알 수 있다[1][2]. 누수의 원인은 여러가지가 있으나 주원인으로는 교통하중, 토지의 움직임, 수압, 관의 노후화, 지반공사에 따른 손상, 관의 부실 등이 있다. 융합기술이 발전하면서 정수장의 누수탐지는 필요성은 부각되고 있다. 이로 인해 누수를 탐지하여 정수장의 유수율을 줄일 수 있는 방안 및 기술 마련이 절대적으로 필요한 시점에 있다. 생활용수의 관리가 중앙집중식인 경우에는 청정수에 요구와 용수에 대한 불신이 확산되어 보다 철저한 누수 관리와 효율적인 방법이 요구되고 있다[3]. UN은 연간 강수량이 세계 평균보다 많으나 국토면적 비례, 높은 인구밀도로 인해 국제적으로 물 부족국가로 분류하였으며 심각한 수준에 이를 것이라는 경고를 한 바 있다. 또한 누수에 의해 막대한 재정적 손실이 초래되고 있다. 이러한 현실을 감안한다면 이에 대한 적극적인 대책이 필요하다. 따라서 설치된 배관의 안정성 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 이를 위해 유수가 발생하기 전에 파손 부분을 탐지하여 예방하거나 파손 부분을 신속하게 수리할 수 있는 방법이 필요하다. 그리고 관로에서 실시간 감지가 가능한 능동적인 시스템이 필요하다[4].

본 논문에서는 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션 시스템을 제안한다. 반사파 파형을 이용하여 누수감지 파이프에 반사파 자동 분석을 프로세스의 시발점으로 하고 개발의 궁극지점으로 하는 모니터링 시뮬레이션을 개발하고자 한다. 관로 파손 지점의 위치를 실시간으로 모니터링하여 파손 지점의 보수 공사를 빠른 시간 내에 하고자 한다. 또한 이러한 차세대 융합기술을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션 시스템은 산업간·서비스간 융합을 유발하여 경제·산업 전 분야에 걸쳐 막대한 변화를 초래할 것으로 전망되며 산업시장 수요를 창출하고 글로벌리더 역할이 가능하다.

논문의 구성은 2장에서는 관련기술에 대해서 기술하고, 3장에서는 제안하는 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션의 구축 방법론에 대해서 기술한다. 4장에서는 성능 평가를 기술하고 5장에서는 결

론과 향후 연구에 대해서 기술한다.

II. 관련 기술

1. 기존의 누수탐지를 위한 배관 관리

현재 누수 탐지를 위해 배관 관리는 청음형 탐지 기술, 압력형 탐지 기술, 상관식 탐지 기술, 지하탐사 레이더 기술, TDR, OTDR으로 분류한다.

청음형 탐지 기술은 휴대용 청음 장치를 소지하고 지하 관로를 일일이 순회하며 탐지해야 하며, 청음을 사용하기 때문에 고도의 주의를 기울여 누수를 판별해야 하는 기술이 필요하다. 장비의 가격이 저렴하고 다루기가 쉬우며 휴대하기가 간편하다는 장점이 있다. 반면에 경험과 감각이 필요하고, 도심지역의 외부소음 간섭으로 인해 활용처가 옥내 배관 등으로 제한되는 단점이 있다 [6]. 상수도 관리가 유사한 일본에서 개발되어 사용해 왔으나 현재는 사용하지 않고 있다. 압력형 탐지 기술은 관내 압력을 측정, 누수 시 발생하는 압력 변이를 감지하여 누수를 탐지하는 방법인데 누수 이외에 압력 변이가 발생하는 요소가 많을뿐더러 누수 지점에 대한 정확한 탐지가 어려워 활용되지 않고 있다[2][5].

상관식 탐지 기술은 배관의 두 지점에 센서를 장착한 후 누수 지점에서 발생한 진동음을 검출하여 각 검출기에 도달한 누수음의 시간차를 상관 방식에 의해 누수 지점을 파악하는 방법이다. 이는 주변 소음이나 배관의 깊이에 민감하여 누수 탐지가 쉽다는 장점이 있다. 반면에 미세한 누수를 찾을 수 없을 뿐만 아니라 장비의 가격이 고가라는 단점이 있다. 지하탐사 레이더 기술은 안테나를 이용하여 지표면에서 지하로 신호를 보내고 돌아오는 신호를 분석하여 지하 구조와 표적에 대한 데이터를 분석하는 방법이다. 이는 표적의 재질에 관계없이 측정이 가능하고 빠른 누수탐사를 할 수 있는 장점이 있다. 반면에 장비의 크기가 크고 가격이 고가라는 단점이 있다. 비파괴 검사, 지하구조의 사전조사와 누수탐지, 지뢰 탐지, 행성 탐사에 광범위하게 응용되고 있다[9].

TDR 기술은 현재 배관 외벽에 코일을 감는 방식이 제안되어 있으나, 배관 전체에 대한 감지가 불가능하고 기

중에 매설된 배관에는 시공이 불가능하여 시장성이 떨어진다. TDR은 주파수 신호를 사용하는 반사 측정기로서 임피던스의 불균등, 단선, 단락, 고장, 고장 지점의 거리 등을 측정하는 장비이다. 신호를 송출하고 고장지점으로부터 반사 신호를 수신하여 그 시간으로 고장위치를 측정한다. 반사 신호의 파형에 따라 파이프의 파손원인 파악이 가능하다[1][6]. 일정지점마다 TDR을 설치하고 일정시간마다 검사용 신호를 송출하여 관망의 누수 및 파손 여부를 실시간으로 탐지하게 된다. 이는 배관 외벽에 코일을 감는 방식으로 사용되고 있으나 배관 전체에 대한 감지가 불가능하고 기존에 매설된 배관에는 시공이 불가능하다는 단점이 있다. OTDR의 경우 관내부에 시공하는 형태로 시도되고 있으나 음용수 적합성 확보 문제 및 내구성 등의 문제로 인해 활용 가능성이 떨어진다. 또한 유도초음파인 T-파형을 이용한 탐지는 지중 매설 배관을 대상으로 함으로 파형이 산란되어 활용이 불가능하다.

2. 간이상수도 통합관제 운영 시스템

기존 연구로는 간이상수도 통합관제 운영 시스템이 있다[7][15]. 이는 상수도의 마이컴 독립제어반, 사용자 기반의 통합관제 서버장치 및 관리자 기반의 모니터링 장치를 인터넷 통신망으로 결합되어 구성된다. 산각벽지 및 도시의 간이상수도에 관한 수질 평가항목 데이터를 실시간으로 종합 수집 및 분석함으로써 간이상수도 수질 및 수량을 효율적으로 관리할 수 있는 시스템이다. 이는 네트워크 통신망에 연결된 관리자의 통합관제 서버장치로부터 전달되는 데이터를 표시하는 모니터링 장치 및 개별 식별자를 이용하여 상기 통합관제 서버장치에 의해 식별되어 TCP/IP 통신을 수행하게 구성되어 있다. 계측 센서로부터 측정된 데이터 및 독립제어반 자가진단 데이터를 유무선 RS232C 인터페이스 통신 형태로 통합관제 서버 장치로 전송한다. 서버로부터 원격제어를 할 수 있는 저수조용 제어보드로 구성되어 있다[1][8].

III. 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지

1. 시뮬레이션 구성

제안하는 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션은 탐지 신호 출력 부분, 반사파 입력 부분, 관로 파손 검출 부분으로 구성한다. 탐지 신호 출력 부분은 신호 입출력 센서를 통해 전도성 물질이 도장된 배관으로 탐지 신호를 출력한다. 탐지 신호의 출력 및 파손된 관 부위에서 발생하는 탐지 신호 반사파를 입력받는다[1][6].

반사파 입력 부분은 배관의 파손 부위에서 발생하는 탐지 신호의 반사파를 입력받아 처리한다. 관로 파손 검출 부분은 반사파 데이터를 정상 상태 패턴과 비교하여 관로 파손 여부를 검출한다. 배관 파손이 검출된 경우, 반사파가 입력되는데 걸리는 시간으로 배관 파손 위치를 파악할 수 있고, 반사파의 크기로 배관 파손 정도를 파악할 수 있다. 신호 입출력 센서는 바, 접점 또는 링 형태와 같이 전도성 물질에 부착이 용이한 형태로 구성되어 있다. 여기서 전도성 물질은 배관의 내부, 외부에 도장되며 전도성 도료 또는 전도 필름을 이용하여 절연 처리가 되어 있다. 전도성 도료는 탄소 나노입자나 기타 전도성 물질을 기존의 도료와 혼합하여 만들거나 고분자 물질을 특성 설계하여 활용할 수 있다. 본 논문에서는 상·하수도 관에 사용할 수 있도록 음용수에 적합한 물질을 사용한다. 전도성 물질의 외·내부에 절연처리를 하여 관을 구성하는 시멘트, 철, 토양에 의한 노이즈와 내부로 흐르는 유체의 흐름에 의한 노이즈를 막기 위함이다. 따라서 내부 배관 전체에 전도성 도료를 도포, 센서를 통해 관리하므로 모든 형태의 누수를 감지할 수 있으며 응력 변이까지 감지 가능하므로 효율적인 누수감지 및 관리가 가능하다.

2. 고속 푸리에 변환을 이용한 파워스펙트럼 분석

신호처리 기법에서 가장 잘 알려진 HRV를 이용한 분석에는 시간영역 분석과 주파수영역 분석이 있다[10]. 시간영역 분석은 RMSSD, Entropy, Mean HR, SDNN, NN50을 이용하여 상태의 변화에 따른 활성화 정도를 측정하는 방법이다. 주파수영역 분석은 고속 푸리에 변환을 이용하여 파워스펙트럼 밀도를 분석함으로써 활성화 정도를 분석하는 방법이다. 이를 이용하여 반사파 파형의

다. 실제로 홈네트워크에서 부터 기상환경 모니터링, 농축산물 관리, 환경 감시에 이르기까지 다양한 어플리케이션에 사용되고 있다. CC2420 칩은 RF 송수신 칩으로서 저 전력으로 통신을 할 수 있고 IEEE 802.15.4의 3개의 주파수 대역(800MHz, 900MHz, 2.4GHz) 중에서 2.4GHz 대역을 사용하며 250kbps까지 지원이 가능하다. 이는 ZigbeX 모트(ATmega128L, 7.3728MHz, 128Kb Memory)와 UART 포트를 통해 실시간으로 무선 통신을 한다. 누수를 측정할 수 있는 센서 SHT11은 ZigbeX의 CPU인 ATmega128과 직접적으로 연결되어 있다. 자체적으로 측정된 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 주는 ADC 기능이 있어, 센싱한 데이터를 바로 전송할 수 있다. 운영체제인 TinyOS 2.X 환경에서 개발자의 편의를 위해 윈도우상에서 리눅스 플랫폼을 에뮬레이션할 수 있는 Cygwin 프로그램(Ver. 3.2340.2.5)을 통해 동작하도록 제작한다. ATmega128L MCU는 센서의 데이터를 수신받아 EasyTinyOS와 Java 1.4 JDK, Java COMN 2.0으로 제안하는 시뮬레이션을 구현한다[10][12].

수집한 반사파 파형의 정보를 저장하기 위한 DBMS는 Microsoft SQL Server 2008을 활용한다. 무선 통신은 불필요한 와이어의 사용을 최소화하여 기존의 누수탐지 시스템의 복잡한 구조적 문제를 해결하여 일반적인 배관과 같은 형태로 개발하기 위함이다. 반사파의 활동 정도를 분석하기 위해 LF/HF 비율을 정의하여 신호등의 형태로 상태를 표시한다. [그림 3]은 정상적인 반사파 모니터링을 보인다. [그림 4]는 배관이 파손되어 누수가 발생할 때의 비정상적인 반사파 모니터링을 나타낸다. 이는 10m의 배관에서 2m 지점과 8m 지점에 센서를 부착하여 실험한 결과이다.

각각의 처리 과정을 통해 입력 반사파로부터 누수 상태의 전반을 모니터링하게 되며 그 결과는 상·하수도의 적용에 활용할 수 있도록 개발한다. 누수탐지 모니터링 시뮬레이션의 관리자는 파형 모니터링 데이터베이스에서 일별/월별/분기별/년도별로 관측된 정보를 확인할 수 있다. 시뮬레이션의 효율적인 관리를 위해 정보의 수정, 삭제가 가능하며 위치에 따른 누수감지 모니터링도 가능하다. 따라서 누수탐지 모니터링 시뮬레이션을 데이터베이스화하여 관리하면 시간을 단축하고 경비를 절감시킬

수 있을 뿐만 아니라 누수탐지의 효율성을 향상시킬 수 있다.

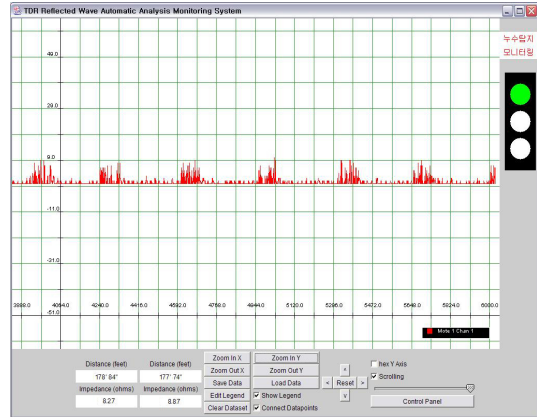


그림 3. 정상적인 반사파 모니터링

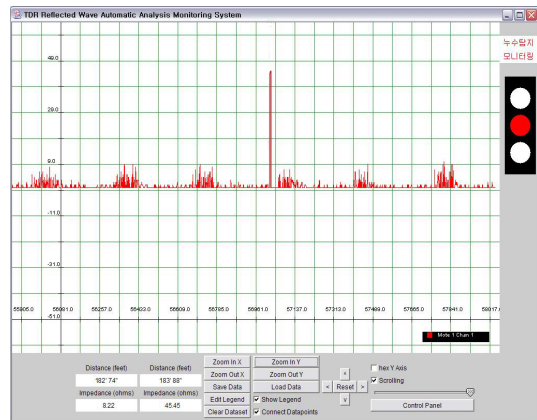


그림 4. 파손에 의한 비정상적인 반사파 모니터링

IV. 성능 평가

본 논문에서는 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션을 구축하는 방안을 제시한다. 누수탐지를 하기 위한 시뮬레이션 구축은 상지대학교 컴퓨터정보공학부 지능시스템연구실의 학우의 도움으로 2개월간 진행되었다. 관의 구경이 커짐에 따라 누수 발생의 수가 감소하는 특성으로 인하여 성능 평가는 누수가 가장 많이 일어나는 40mm 구경을 선택하고 배관 길이는 10m

로 축소하여 진행한다[13]. 관의 재질은 철판과 더불어 수도관으로 많이 쓰이고 있는 스테인리스로 구성한다 [14]. 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션의 성능 평가를 하기 위해서 30일 동안 시제품 보드를 설치하고, 반사파 파형을 수집하여 데이터베이스에 저장한다. 수집된 반사파 파형의 성능 평가를 위한 과일서버의 사양은 Sun Blade 2000, 2.8GHz이고, 수집 모듈은 Microsoft Visual Studio C++ 2008을 사용하여 개발한 시뮬레이션과 간이상수도 통합관계 운영시스템의 성능평가 모듈 부분을 구현한다. 간이상수도 통합관계 운영시스템은 기존의 선행 연구[6][7][15]에서 구현을 했던 모듈을 활용한다. 본 논문에서는 성능 평가를 위해 제안한 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션(LDMS-PSA)과 기존 방법인 간이상수도 통합관계 운영시스템(WTOS)과 누수 지점의 수를 증가시키면서 평균 절대 오차와 반응시간을 사용하여 성능을 비교한다.

표 1. 누수 지점의 수에 따른 정확도와 반응시간

누수 지점의 수	평균 절대오차	
	LDMS-PSA	WTOS
1	1.0	1.0
5	0.9941	0.9958
10	0.9813	0.9528
15	0.9749	0.9398
20	0.9712	0.8818

누수 지점의 수	반응시간(Sec)	
	LDMS-PSA	WTOS
1	1	1
5	2	3
10	4	11
15	5	14
20	6	24

평균 절대오차는 일반적으로 시스템의 예측 알고리즘의 정확도를 평가하는 데 많이 사용되는 방법이다. 제안한 시뮬레이션에서 누수 탐지의 정확도를 측정하기 위해 통계학적인 정확도를 측정하는 방법을 적용한다. 이는 실제 항목에 대한 수치화된 값을 비교하기 위해서 가장 적합한 방법이다[7]. 실험 데이터 집합의 누수 지점의 수를 증가하면서 성능 평가를 하게 된다. 여기서 평균 절대 오차는 최소화되어야 누수 탐지의 정확도가 높다고 할

수 있다.

시뮬레이션의 반응시간을 비교하기 위하여 초를 사용한다. 반응 시간은 누수 지점의 정보가 서버로 전달되고 각 시간 단위로 로그를 저장한 후 관리자 화면에 보이는데 걸리는 시간이다. [표 1]은 누수 지점의 수에 따른 정확도와 반응시간에 대한 실험 결과를 보여준다.

[표 1]에서 누수 지점의 수에 따른 평균 절대오차의 실험 결과를 보면 LDMS-PSA 방법이 WTOS 방법보다 누수 지점의 수에 관계없이 정확도가 높음을 보여주고 있다. 반응시간의 실험 결과를 보면 누수 지점의 수가 많아질수록 반응시간이 느려지는 점을 볼 수 있다. 이는 시뮬레이션을 실시간 처리가 가능하도록 데이터가 발생할 때마다 즉시 처리되어야 하는 형태의 대화식 처리방식으로 구현하여 데이터가 생성된 시간과 실제 처리되는 시간 사이의 지연이 발생하여 반응시간이 느려졌다. 향후 시뮬레이션에 우선순위를 부여하여 일정 시간 동안 서버를 공유하게 함으로서 작업을 효율적으로 처리할 수 있는 시분할 처리 시스템으로 만들어야 한다. 따라서 중앙 처리 장치가 사용 가능함에도 불구하고 사용되지 않고 있는 시간인 유휴시간을 줄일 수 있다.

V. 결론

지구 온난화에 따른 취수량 감소, 인구 증가, 도시화 및 산업화에 따른 각종 산업 용수 수요 증가로 인해 수자원 관리의 중요성이 증대되고 있다. 상·하수도는 역사가 오래됨에 따라 배관의 노후가 빠르게 진행되고 있고, 다양한 원인에 의하여 발생하는 배관의 파손은 누수 현상을 발생시킨다. 본 논문에서는 파워스펙트럼 분석을 이용한 누수탐지 모니터링 시뮬레이션의 구축 방법론을 제안한다. 제안하는 누수탐지 모니터링 시뮬레이션은 신호처리 기법에서 잘 알려진 고속 푸리에 변환을 이용한 파워 스펙트럼 분석을 이용하여 실시간으로 관리한다. 관로 파손 지점의 위치 및 파손 정도 또한 실시간으로 파악할 수 있다. 분석된 결과는 신호등 형태로 표시하여 누수 탐지를 모니터링하게 된다. 제안하는 시뮬레이션을 이용하여 파손 지점의 보수 공사를 빠른 시간 내에 할 수 있

다. 그리고 누수의 크기와 반사파 파형의 연관성 실험을 통해 양의 상관관계의 결과를 도출하였다.

향후 본 연구의 결과를 토대로 송유관, 가스관, 지역난방관, 발전소의 냉각수관 등 각종 관망에 적용하는 연구가 필요하다. 그리고 반사파 파형을 분석하기 위해 사용한 주파수 분석 이외의 신호 분석에 대해서 구체적인 연구가 필요하다. 기업과 구체적인 제품 출시를 통하여 시장성 증대와 고부가가치를 창출할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] 정대원, 정경용, "TDR 반사파 자동 분석 모니터링 시스템 개발", 대한전자공학회 학술대회, 충남대학교, pp.65-66, 2009.

[2] 윤동진, 정중채, 이영섭, "음향방출 및 상관법을 이용한 상수도배관 누수탐지 연구", 대한기계학회 2003년 춘계학술대회 논문집, pp.84-89, 2003.

[3] 정대원, 홍인식, "PDA환경에서의 누수탐지시스템에 관한 연구", 한국멀티미디어학회 추계학술발표대회, pp.1014-1017, 2003.

[4] 정경용, 전인자, "저수조 자동 분류를 이용한 효과적인 수질 오염 관리", 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제8호, pp.1-8, 2009.

[5] 윤동진, 정중채, 이영섭, "음향방출 및 상관법을 이용한 상수도배관 누수탐지 연구", 대한기계학회, 춘계학술대회 논문집, pp.84-89, 2003.

[6] 정대원, "관로 감시 시스템 및 방법", 출원번호 2008-97504, 특허청.

[7] 정경용, 조선문, "수질향상을 위해 예측을 이용한 환경 친화적인 저수조 관리", 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제6호, pp.9-16, 2009.

[8] C. Njiru and M. Albu, "Improving Access to Water Through Support to Small Water Providing Enterprises," J. of Small Enterprise Development, pp.30-36, 2004.

[9] 오현철, 조유선, 현승엽, 김세윤, "지하 탐사 레이

더를 이용한 누수탐지 가능성 연구", 한국전자과학기술학회논문지, 제14권, 제6호, pp.616-624, 2003.

[10] 정경용, "웨어러블 기반의 심전도 측정 의복을 이용한 시각감성과 생체신호간의 상관관계", 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제12호, pp.496-503, 2009.

[11] G. B. Moody, "ECG-based Indices of Physical Activity," Computers in Cardiology, Vol.19, pp.403-406, 1992.

[12] 한백전자, <http://www.hanback.co.kr/>.

[13] 물 수요관리 종합대책 수립 연구, 환경부, 2002.

[14] 문광순, 환경친화적인 위생저수조 및 옥내배관 시스템의 유지관리기술 개발, 한국계면공학연구소 보고서, 환경부, 2004.

[15] 정경용, "저수조 무선 통합 관리 시스템 개발", 한국콘텐츠학회논문지, 제6권, 제6호, pp.16-25, 2006.

저 자 소 개

정 경 용(Kyung-Yong Chung)

정희원



- 2000년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과(공학박사)

- 2005년 9월 ~ 2006년 2월 : 한세대학교 IT학부 교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수

<관심분야> : 데이터마ining, 상황인식, HCI, 융합기술