

논문 2010-2-10

B-TOX를 이용한 오염수 측정 및 통합관리시스템 구현에 관한 연구

Study on water pollution measurement and integration monitoring system with B-TOX

양재수*, 한용환**, 이영하***, 김윤현****, 김진영****

Jae Soo YANG*, Yong Hwan HAN**, Young Ha Lee*** and Yoon Hyun KIM****,
Jing Young KIM****

요 약 현재 운영 중인 주요하천과 강의 수질오염 측정시스템은 대부분이 단순한 원격 모니터링 시스템이거나 독립적인 모니터링 시스템으로서, 다양한 수집정보의 동시 분석능력이나 통합적인 관리·관제시스템이 극히 미흡하다. 정보를 발생시키는 각종 센서들도 정확하지를 않아 개선의 여지를 남겨놓고 있다. 또한 정·취수장 및 하·폐수처리장의 관련 정화시설이 있으나, 이를 통합하여 측정·관리·관제할 수 있는 체계가 부족한 상태에 있다. 본 논문의 결과로서 전국적인 수질오염 및 수변환경을 모니터링 할 수 있다. 또한 USN과 지그비 또는 RFID 등 다양한 센서들, 그리고 서비스들을 통합 수용할 수 있는 미들웨어와 서비스 플랫폼 구축으로 확장성이 뛰어난 서비스플랫폼의 표준화 방안을 제시하고자 한다.

Abstract In operating estimation system, the river and lake is almost simple monitoring system or independent monitoring system. But the present system has many weak points about the concurrent analysis ability of various information collection. Sensors generating the information is not accurate. Therefore, we have something that can be improved. Although we have the related facilities of the purification plant, forebays and sewage disposal plant, and suffer from the difficulty about lack of system of estimation, management and control. As a result of this paper, monitoring system can observe the water pollution and various water environment of whole country. Also, through the sensors of USN, Zigbee, RFID and middle ware, which can service and construct service platform, we present standard plan of remarkable scalability service platform.

Key Words : U-monitoring system, USN, B-TOX

I. 서 론

현재 운영 중인 주요하천과 강의 수질오염 측정시스템은 대부분이 단순한 원격모니터링시스템이거나 독립

적인 모니터링 시스템으로서, 다양한 수집정보의 동시 분석능력이나 통합적인 관리·관제시스템이 극히 미흡하고, 정보를 발생시키는 각종 센서들도 정확하지를 않아 개선의 여지를 남겨놓고 있다. 또한 정·취수장 및 하·폐수처리장의 관련 정화시설이 있으나, 이를 통합하여 측정·관리·관제할 수 있는 체계가 부족한 상태에 있다^{[1]-[4]}. 수질악화의 주된 요인으로는 먼저, 예산 및 지방비 부족으로 수질오염 정보시스템 설치, 하수처리장,

*경기도청-광운대학교

** (주) 워터바이오

***충남대학교 미생물학과

****광운대학교 전자융합공학과

접수일자 2010.3.13, 수정일자 2010.4.15

하수관거 등 시설 투자의 저조로 인한 수질오염, 수변환경 정보의 수집 및 분석이 원활히 이루어지지 않고 있으며, 조기경보시스템 설치와 하수처리장 등 환경기초시설이 부족하고 비점오염원 처리 대책이 미흡한 것이 주된 원인이라고 할 수 있다. 또한, 상수원 보호구역은 매우 제한적으로 지정되어 있고, 급속한 개발로 인구증가, 교통망의 발달, 산림훼손 등 오염요인이 크게 증가하고 있으며, 수자원지역 관리제도 미흡과 토지 이용정책의 혼선으로 오염예방 대책이 미흡한 실정이다. 마지막으로, 수질오염, 수변환경 정보에 대한 통합적으로 상시 감시하고, USN+3차원 정보 등의 첨단 자동화 기술을 이용하여 과학적으로 대응책을 마련하기 위한 관리체계가 부족한 실정이다^{[5]-[10]}. 이러한 미흡한 점들을 개선하여, 현재의 단순한 원격모니터링 시스템 TMS의 한계를 뛰어 넘어, 체계적이고, 보다 폭 넓게 통합적으로 실시간 분석이 가능하고, 재난지휘통제가 용이한 통합 관제시스템이 필요하다^{[11]-[15]}. 이를 위하여, 그림 1과 같은 전국적인 수질오염 및 수변환경을 모니터링 할 수 있고, USN과 지그비 또는 RFID 등 다양한 센서들, 그리고 다양한 목적의 서비스들을 통합 수용할 수 있는 미들웨어와 서비스통합 플랫폼 구축 등으로, 융합 신기술을 접목하여, 확장성이 뛰어난 서비스플랫폼의 표준화 방안을 제시하고자 한다. 따라서 지역적인 신속한 통합관리 프로그램과 전국적인 상황을 신속하고 정확하게 파악할 수 있는 전국 통합관리 시스템의 구현모델을 제시하고자 한다. 또한 본 논문에서는 중금속 유기인 등을 가상 유입하여 실험하였으며, U-모니터링 시스템을 통해 오염경보 진행이 어떻게 진행되는지 보여준다. 그리고 각 독극물 및 유기인들의 농도에 따른 경보 결과와 그에 따른 실험결과를 보여준다^[1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수질조기경보 시스템의 구성에 대해 설명하며, 3장은 해당 시스템을 이용한 실험 방법을 보여준다. 4장에서는 3장에서 실험한 실험의 결과를 보여주며, 5장에서 본 논문의 결론을 맺도록 하겠다.

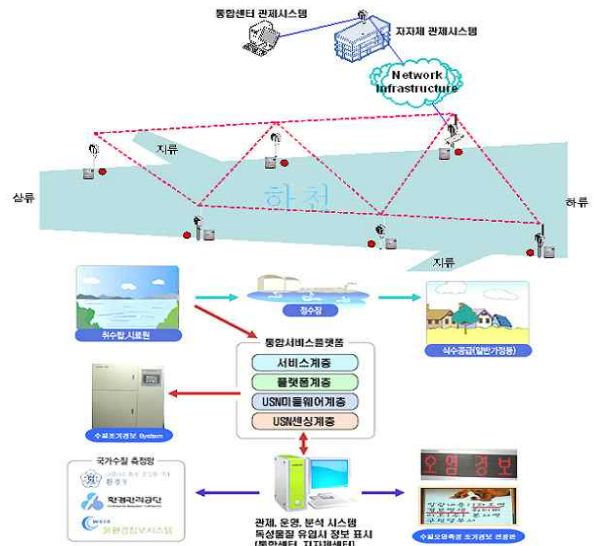


그림 1. 통합관리 시스템
Fig.1 Integration monitoring system

II. 시스템구성



그림 2. B-TOX의 전체 흐름도
Fig.2 Flow chart of the B-TOX

본 연구의 수질오염 감시 시스템에서는 Photobacterium phosphoreum 이라는 발광성 해양미생물을 이용한다. 본 시스템은 독성물질이 들어오면 미생물에서 발산되는 빛의 양이 현저하게 줄어들어 컴퓨터 모니터에 경보음을 울리도록 하는 원리를 이용하며, 이 미생물은 약 1000 여종 이상의 유해물질 감지능력을 보유하고 있는 것으로 알려져 있다. 기존의 생물조기경보시스템으로는 물고기, 물벼룩 등을 이용한 방법들이 활용되고 있으나, 2008년 3월 낙동강 폐놀유출 사고, 2006년 낙동강 유독물질 오염 사고 발생 시 그 기능을 전혀 나타내지 못한 것으로 알려져 있다.

위의 그림2는 발광 미생물을 이용한 수질오염 감시 시스템으로 명칭은 B-TOX으로, 정보기술(IT) + 생물 공학기술 (BT) + 환경공학기술(ET)의 융합체로서 최첨단 기계이며, 365일 동안 전 자동 무인운전으로 유해물질 감지능력을 보유하고 있다. 또한 이는 상류에서 하류로 이어지는 동선을 따라 하천의 지역 및 권역별 수질변화를 측정하고 분석하여 오염을 막을 수 있는 시스템이다. B-TOX 시스템은 수질에 오염원이 들어오면 즉시 인식하여 중앙 시스템에 통보한다. 예를 들어, 수돗물 원수 취수장에 중금속, 농약, 축산폐수, 기름류 등이 들어오면 1~5분안에 기계가 자동으로 경보음을 울리고, 담당 공무원의 PC, 핸드폰으로 즉시 알려, 취수중단을 시켜 큰 재앙을 사전에 막을 수 있는 최첨단 시스템이다. 또한 손쉽게 설치가 가능하여 대운하, 하천, 호수, 수돗물 취/정수장, 하/폐수처리장, 골프장, 방사능 유출지역, 화장품 독성 테스트, 음료수/식품성 특성 테스트 등의 오염원 발생이 가능한 모든 지역에 설치가 가능하다. 전체 시스템의 구성도 및 특징을 살펴보면 다음과 같다.

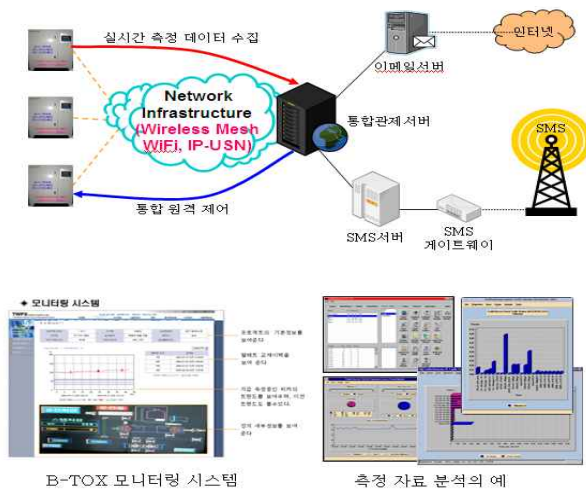


그림 3. 통합 관제 및 제어 시스템
Fig. 3. Integration management and control system

- 1) Ubiquitous 기반의 시스템으로 손쉬운 배포 및 설치를 통하여 광범위한 지역의 수변환경에 대한 다각적인 측정 및 감시 가능
- 2) 수변을 포함한 하천을 체계적으로 관리하기 위한 생물 오염경보, 수온, 유속, 탁도, BOD, COD, pH 등의 다양한 센서 데이터를 취득하고, 취득된 데이터에 대해 분석과 판단이 가능

- 3) IPv6 기반의 양방향 시스템으로 포괄적인 웹 기반 통합관제 및 통제 시스템
- 4) 생물학적 실시간 수질오염 측정 및 경보를 이메일, 휴대폰 SMS, 시스템 notification 등의 다양한 알림 시스템과 연동

또한 통합 관제 및 제어 구성은 Figure 3와 같으며 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 각 지역에 분산 설치된 측정 시스템을 헤드쿼터에서 통합 관제
- 2) 측정되는 오염경보, 수온, 유속, 탁도, BOD, COD 등 다수의 데이터들이 실시간으로 통합 관제서버에 저장 및 표출
- 3) 측정 데이터를 분석하여 오염에 대한 위험이 있다고 판단될 시 자동으로 휴대폰 SMS나 이메일, 시스템 notification 등으로 관리자에게 전달
- 4) 센서에서 통합관제서버까지 IPv6 프로토콜 기반으로 통신

III. 실험 과정 및 방법

본 논문에서는 발광 미생물을 이용한 유해물질 실험을 위해서 수질오염 조기 경보 시스템 (B-TOX 700)을 이용하였으며 2007년 8월부터 2008년 1월까지 실험하였다. 실험 과정은 먼저, 원수 (시료수)의 오염여부를 확인할 수 있는 발광미생물을 실험 12시간 전에 배양 한다. 배양된 발광 미생물은 일련의 측정 과정을 거치는데 그 과정은 다음과 같다. 깨끗이 세척되고 살균된 발광 미생물은 4°C 정도의 보관병의 하부에 위치하게 되며 장치는 일정량의 미생물을 비커에 투입하게 된다. 미생물이 투입된 비커가 측정위치인 PMT에 위치하게 되면, 미생물이 발산하는 빛을 PMT가 받아 수치 (광자계수)로 변환한다. 발광량 측정이 완료된 미생물은 깨끗한 물로 세척한 후 압축공기로 다시 한번 건조시킨다. 그렇게 물 세척 및 에어 세척이 끝난 미생물은 마지막으로 잔류 세균을 없애기 위해 강한 자외선으로 살균한다.

그 후 유해물질 가상유입실험에 필요한 실험 도구를 확인하고 고온에서 세척하여 세균을 제거한다. 이렇게 실험 도구가 준비가 되면 유해물질 (독극물이나 유기인)을 수질 원수 기준법 (환경정책기본법)에 의거하여 유해물질을 준비한다. 준비된 유해물질에 배양한 발광미생

물을 고정화하여 측정장비(W-TOX 700)에 미생물 보관병에 투여한다. 실험을 위한 모든 준비가 끝나면 발광 미생물을 이용한 수질오염조기장비를 가동한 후, 가동한 장비를 이용한 정확한 실험을 위해 측정 시간, 측정 온도 등을 세팅한다. 세팅이 완료된 시스템에 유해물질을 투입하면서 실험을 시작한다. 그림 4는 유해물질 유입시 그래프 보는 법을 나타낸다.

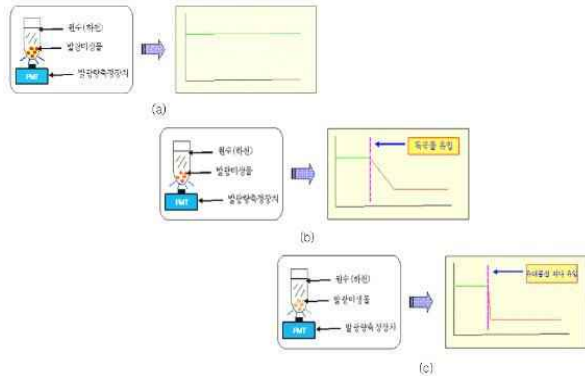


그림 4. 오염물질에 따른 그래프 변화
Fig.4 Change of graph for pollution material

그림 4의 (a)는 정상적(일반적) 원수 유입 시 그래프로 정상적인 원수 유입 시에는 발광량(녹색 그래프)이 일정하게 일직선으로 표시된다. 하지만 독극물(유해물질)을 함유한 폐수 유입시에는 그림 4의 (c)와 같이 발광량이 감소(빨강색 그래프의 하강)하게 되고, 이 때 오염 발생 경보가 이루어지게 된다. Figure 4의 (b)는 유해물질을 함유한 폐수가 과다 유입되었을 때의 그래프로, 유해물질을 함유한 원수가 과다 유입되었을 때에는 미생물 발광량이 보다 급격히 감소함으로써 오염발생 경보가 보다 신속하게 이루어 질 수 있다.

수질 조기경보 시스템의 메인 화면은 그림 5와 같다. 그림 5는 오염경보 발생 시 단계별로 팝업창을 통해 오염경보 메시지를 표시한다. 우선 시스템이 작동하게 되면 <도어 열림>이라는 팝업창으로 시스템이 동작함을 알려준다. 그 후 독극물을 함유한 폐수가 유입되면 총 5가지 방법으로 알려준다. HH, HI 는 유해물질을 함유한 폐수가 과다 유입되었을 경우 수질의 상태가 심각함을 알려주는 단계이며, EC50은 유해물질이 투입되어 발광 미생물에 의해 시스템이 오염경보를 전송하는 단계이다. 마지막으로 LL과 L은 그 오염의 정도가 경미함을 나타낸다.

그림 6은 경보 발생시 다양한 알림 방법을 나타낸다.

시스템이 동작하는 <도어 열림> 상태가 되면 휴대 문자 및 전광판 문자로 그 상태가 표시되며, 유해물질을 함유한 폐수가 유입되어 발광 미생물이 반응을 보이는 EC50 단계, 오염이 점점 심해지는 HH, HI 단계 또한 그림과 같이 문자로 그 상태를 표시 및 전송한다.



그림 5. B-TOX 시스템의 팝업 창
Fig.5 Pop-up window of B-TOX system

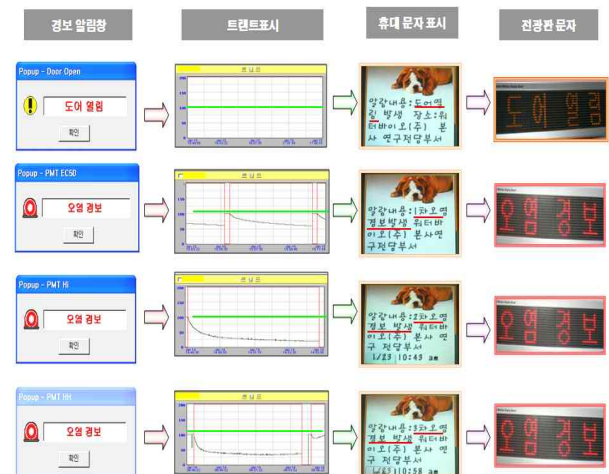


그림 6. B-TOX 시스템의 다양한 경보 메시지
Fig.6 Various alarm message of B-TOX system

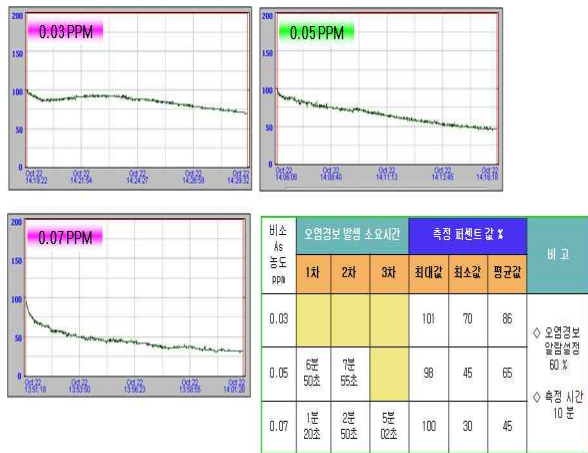
IV. 실험 결과

발광 미생물을 이용한 수질오염 조기 경보 시스템(W-TOX 700)을 측정 장비로 이용하였으며, 2007년 8월부터 2008년 1월 까지 총 6개월에 걸쳐 실험하였다. 유입한 측정 물질로는 중금속 3종류와 유기인 2종류를 유입하였으며, 중금속은 비소(0.03, 0.05, 0.07ppm), 카드뮴(0.01, 0.03, 0.05ppm), 납(0.04, 0.11, 0.16ppm)을, 유기인은 파라치온(0.06, 0.08, 0.1ppm), 다이아지온(0.02, 0.03, 0.05, 0.1ppm)을 유입하였다. 각각의 실험은 모두 10분의 측정

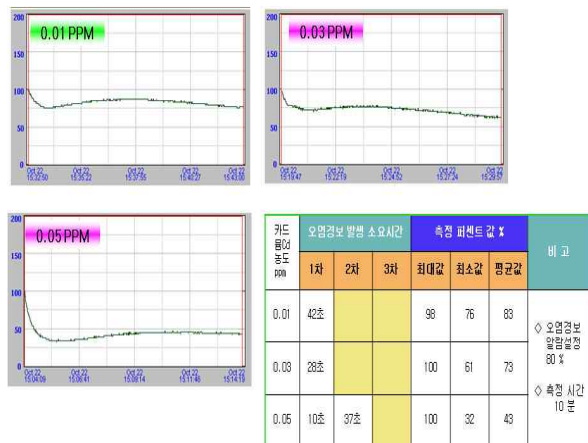
시간을 두고 측정하였다.

그림 7 (a)는 독극물로 비소를 유입하였을 때의 최종 실험결과로 각각 0.03, 0.05, 0.07ppm을 유입하였을 때 발광 미생물의 감소 정도와 오염경보 발생 소요시간 및 측정 퍼센트 값을 보여준다. 그림 7 (a)에서 보이듯이 비소 농도 0.03ppm의 경우는 그 양이 미비하여 검출되지 않았으며, 0.05ppm이 유입된지 6분 50초가 경과한 후 1차 경보가, 7분 55초 이후에는 2차 경보가 발생한 것을 알 수 있다. 또한 비소 농도가 짊어질수록 경보 시간이 단축됨을 보여준다.

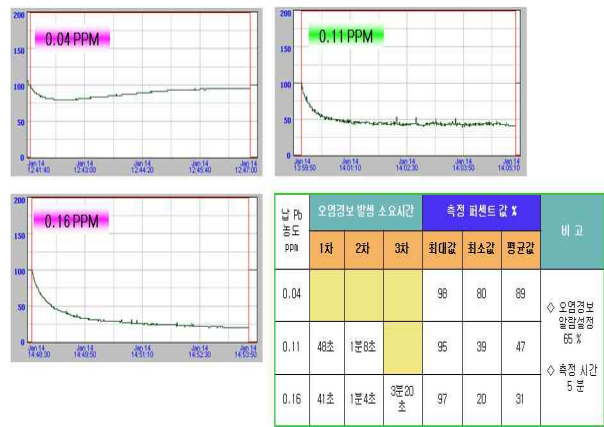
그림 7 (a) 마찬가지로 (b)와 (c), 그림 8의 (a), (b)는 카드뮴과 납 그리고, 파라치온 및 다이아지논의 각각 농도에 따른 오염 경보 발생 소요시간과 측정 퍼센트 값을 보여준다.



(a)



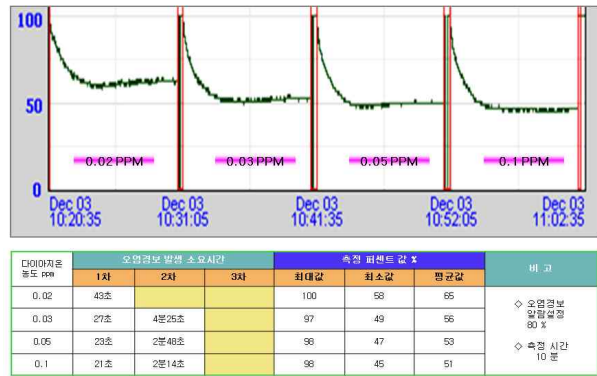
(b)



(c)

그림 7. 중금속의 종류와 농도에 따른 오염 경보

Fig.7 Pollution alarm for type and density of heavy metal



(a)



(b)

그림 8. 유기인의 종류와 농도에 따른 오염 경보

Fig.8 Pollution alarm for type and density of organic phosphorus

VI. 결 론

센서에서 통합 관제서버까지 융합 네트워크를 구성하는 ubiquitous 기반의 통합 시스템으로 광범위한 지역의 수변환경(수질, 환경, 예보 등)에 대한 다각적인 측정 및 감시, 대응 가능하다. 또한, 수변을 포함한 하천을 체계적으로 관리하기 위한 생물오염경보, 수온, 용존산소, 탁도, pH, 클로로필a, 전기전도도 등의 다양한 센싱 정보를 수집하고, 분석, 판단이 종합적으로 가능한 시스템으로서, 모든 데이터들은 분석엔진을 통해서 보통, 낮음, 중간, 높음, 위험 등의 다단계 오염수준으로 체계화 할 수 있다. 서비스 플랫폼 기반의 통합관제 및 통제 가능하여 실시간 수질오염 측정 및 경보를 이메일, 휴대폰 SMS 등으로 관리자, 유관기관에게 전파, 모니터링하고, 입체적인 대응과 대책 수립 지원 시스템이며, u-ECO 물 환경의 기술 실증, 실험 및 표준화 수립 할 수 있고, 현행 수작업에 의존하는 데이터 수집을 원거리에서 수집이 가능한 실시간 데이터 수집체제로 변경가능하다. 이러한 시스템을 바탕으로 경기도의 유비쿼터스 기술 경쟁력 강화 및 물 환경, 안전관리 행정에 대한 투명성 제고를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] WaterBio(Co. Ltd). (2008), Minor-enterprise office performance certification experiment results.
- [2] Ministry of Education, Science and Technology, (2008), "A classified by national centered period science technology outline of scheme and thesis, patent analysis results."
- [3] <http://www.mego.kr/> (2002)
- [4] Ministry of Construction and Transportation, (2006), "A public hearing manual for u-City construction support law arbitration."
- [5] Jae young Kim, (2007), "A policy issue for u-City construction revitalization", TTA Journal vol. 112, pp.55-59,
- [6] The Ministry of Environment, "Standardization of water pollution prevention facilities"
- [7] Min gon Kim, (2008.03), "Intelligent next generation wireless environment pollutant monitoring technique", 08's digital convergence strategy technique development enterprise research planning public hearing
- [8] Hoon song Baek, (2008.09), "A city facilities' real time monitoring using USN", KT
- [9] Min gon Kim, (2002), "Bio sensor technique trend", KRIBB
- [10] Hack sung Kim, Hyun chul Yoon, (2002), "Convergence technique of biotechnology and IT", KAIST, ETRL
- [11] Seung hyun Moon, Young jun Kim, (2001), "Environment monitoring technique", GIST.
- [12] Jung eun Kim, (2009), "Proposal an IT convergence future model with u-City construction examples."
- [13] Korea Water Works Association, (2005), "Waterworks supply-water system water quality monitoring manual"
- [14] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, (2008), "U-based Eco Space construction technology", u-Eco City development agency detailed planning research report
- [15] Ministry of Construction and Transportation, (2007), "A national policy issue of river restoration",

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"
(NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

저자 소개

양 재 수(정회원)



- 1981년 2월: 항공대학교 통신공학과 공학사
- 1985년 8월: 건국대학교 전자공학과 석사
- 1993년 1월: NJIT 전기 및 컴퓨터공학 공학박사
- 현재 : 경기도 정보화보좌관 및 광운대학교 교수

<주관심분야: u-ECO, 차세대 이동통신>

한 용 환(정회원)



- 1969년 2월: 충북대학교 축산과 졸업
 - 현재 : 위터바이오 주식회사 대표이사
- <주관심분야: 수질개선기법, 생물조기경보 시스템>

이 영 하(정회원)



- 1975년 서울대학교 미생물학과 학사
 - 1977년 서울대학교 미생물학과 석사
 - 1985년 서울대학교 미생물학과 공학박사
 - 현재 : 충남대학교 미생물학과 교수
- <주관심분야: 미생물 공학, 생물공학>

김 윤 현(정회원)



- 2006년 2월: 광운대학교 전파공학과 공학사
- 2006년~2008년: 광운대학교 전파공학과 석사
- 2008년~현재: 광운대학교 전자융합공학과 박사과정

<주관심분야: 디지털 통신, Cognitive Radio>

김 진 영(정회원)



- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년~현재 광운대학교 전자융합공학과 부교수

• 2009년 현재 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>