

# 환경모니터링 기술

안대명\* · 이창한\*\*

\*(사)한국재난안전협회, \*\*부산가톨릭대학교 환경행정학과

## 목 차

I. 서론	IV. 환경모니터링시스템
II. 환경모니터링	V. 결론
III. 환경센서 및 관련기술	

### I. 서론

21세기 경제적·사회적 최고의 이슈는 ‘지속가능(sustainable)’일 것이다. 지속가능 경제의 핵심내용은 에너지 및 자원의 효율적 이용으로 귀결되며, 경제활동과 직결된 환경문제가 중요 해결 과제로 부상하게 된다.

과거의 환경문제가 공해물질의 지역적(local) 배출과 이의 처리에 한정되었다면, 지금은 지구온난화 등의 범지구적(global) 문제뿐 만 아니라 경제적, 사회적 영향을 함께 고려하는 지속가능발전(sustainable development)을 핵심으로 하고 있다. 지속가능발전은 경제적 부의 창출과 함께 생태적 환경 안정성을 중요시하며, 이 때의 환경기술은 재화 및 부가가치 창출의 주요 수단일 수 있다. 따라서 환경을 개선하기 위한 효율적 자원 이용과 환경적으로 유해하고 건강에 해로운 물질의 배출량 저감도 그 중요성이 커지고 있다.

오늘날 환경산업은 환경오염의 정화, 수처리 산업, 대기오염제어 및 소음감소 등의 전통적 공해방지(clean technology; 청정기술) 산업 분야를 넘어 공해방지산업과 함께 환경자원 이용산업, 에너지 등 자원의 효율적 소비와 오염물질배출을 최소화 하는 녹색기술(green technology) 분야도 포함하고 있다.

즉, 환경산업의 특성상 이질적인 산업 요소간 여러 기술이 종합되어 광범위한 영역을 차지하고 있어 다양하고 복잡한 접근방법을 필요로 하고 있다. 따라서 각 산업의 특성과 정책의 방향에 따라 청정기술(clean

technology), 지속가능발전(sustainable development), 녹색기술(green technology), 그린 IT(green IT) 및 e-환경(e-environment) 등의 여러 용어로 환경산업이 표현되고 있다.

세계 환경시장은 2016년 현재 약 1.05조USD이며, 아시아, 중남미와 중국을 중심으로 년 7%의 고속성장을 하고 있다[1](그림 1).

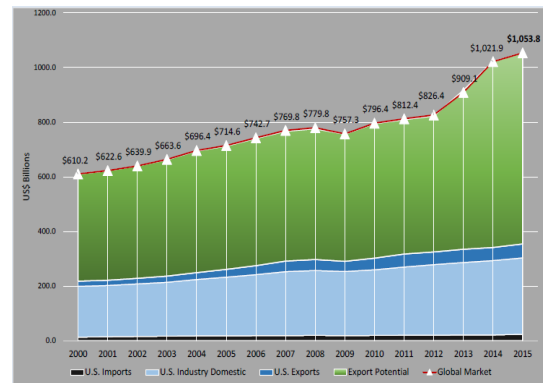


그림 1. 세계 환경기술 시장  
 \*2016 Top Market Report - Environmental technologies, ITA(USA)

우리나라는 제3차 환경기술 및 환경산업 육성계획(2013~2017)에 유용자원 회수 및 폐기물 재활용, 수자원 재이용, 재생에너지, 온실가스 발생 저감 시설 유지 관리 등 16개 분야를 지정하여 중점 지원하고 있다[2](표 1).

표 1. 환경기술개발 5대목표와 16대 중점기술

5대목표	16개 중점기술
자원순환형 사회를 위한 재활용 및 에너지화 기술개발	유용자원 회수 및 폐기물 재활용 기술
	수자원 재이용 기술
	재생에너지 기술
온실가스 감축 및 기후변화대응·적응 능력강화기술	온실가스 발생 저감 시설 유지 관리 기술
	처리 및 모니터링 기술
	기후변화 평가 및 적응 관리 기술
환경질 개선 및 생태계 건강성 회복 기술	대기질 저감 기술
	수생태계 건강성 회복 수처리 기술
	폐기물 저감 및 감량 기술
	토양 및 생태계 복원 관리 기술
국민 건강과 행복을 위한 생활환경 조성기술	깨끗하고 안전한 상수 공급 관리 기술
	생활환경 노출 유해인자 관리기술
	환경성 질환 대응 관리 기술
	친환경 라이프스타일 구축 기술
환경재난·재해대응 및 생물자원탐색·보존·관리·활용기술	환경분야 재난 재해 등 위기대응 기술
	생물자원 이용 관리 기술

환경의 질에 대한 효과적인 측정/감시/관리를 위한 환경모니터링 시스템의 운영은 매우 중요하다.

기후변화 등의 범지구적 환경이슈와 새로운 화학물질의 개발, 국제 환경규제 강화 등 급격히 변하는 환경현황과 정책수요에 대응하기 위해서는 이를 측정·감시하고 관리할 수 있는 기술이 반드시 수반되어야 한다.

본고에서는 환경ICT융합기술 중에서 생태환경정보를 실시간으로 감시할 수 있는 환경관리 기술인 환경모니터링 시스템의 개발과정과 범위 및 국내외 기술개발현황에 대하여 살펴보고자 한다.

## II. 환경모니터링

기후변화, 도시화, 산업화 등에 따라 환경재해 발생빈도가 급증하고 그 피해규모가 커짐에 따라 환경모니터링의 중요성은 점차 증가하고 있다.

또 삶의 질에 대한 요구가 높아지고, 환경에 대한 인

식변화와 ICT(Information and Communication Technology)의 발달로 생활환경정보에 대한 접근이 쉬워져 이러한 환경정보의 수요가 크게 증가하고 있다. 특히 구미 불산 유출사고 등 중대규모 환경사고가 잦아짐에 따라 기존 관리수준에서의 모니터링을 넘어 오염물질의 확산거동을 미리 예측하고 대형 환경오염 피해를 최소화 할 수 있는 조기경보 수준의 모니터링기술의 중요성이 증대되고 있다.

따라서 생태환경에서의 변화를 실시간으로 감지하고 분석하여 이를 기반으로 종합적이고 체계적인 환경재해 대응을 위한 시스템이 요구되고 있다.

이러한 환경모니터링 시스템을 구성하고 운영하기 위해서는 생태환경정보를 실시간으로 감지할 수 있는 환경센서 기술, 효율적 센싱을 위한 정보전달 네트워크, 입수된 생태환경 정보를 분석하고 예측할 수 있는 기술들을 필요로 한다.

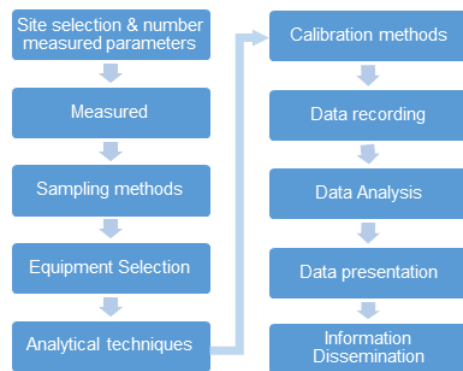


그림 2. Steps in the design of a monitoring system

환경모니터링 시스템은 측정-전송/평가-원인분석-개선 단계의 서브시스템으로 구성되어 운영된다.

측정단계에서는 필요한 환경정보를 측정하여 실시간으로 전송하며 환경센서의 고신뢰도와 안정성을 요구한다. 전송/평가 단계는 실시간으로 측정된 자료분석을 위해 Host로 데이터를 전송하고, 주요 측정지점의 현재/과거 이력과 비교 평가하여 이상발생여부를 판단하게 된다. 데이터의 전송, 저장 등 DB관리와 통신네트워크기술이 핵심이 된다. 원인규명 단계는 이상발생에 대한 원인을 신속하게 분석하고, 이의 확산과정

을 모델링하고, 신속한 조치를 취할 수 있도록 의사결정을 지원하는 부분이다. 개선단계는 사고발생 후 신속한 복구를 위한 원인제거와 적절한 복구조치를 제시하도록 한다.

### III. 환경센서 및 관련기술

환경 모니터링에 많이 사용되는 센서의 형태로는 전기화학식, 반도체식, 광학식 및 바이오센서 등이며, 최근 이들 다양한 센서 기술과 나노소재를 결합한 나노 센서의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

환경센서는 측정 매체를 기준으로 수질센서와 대기센서로 나뉘며 대기센서는 가스상 및 입자상 측정용으로 구분할 수 있다.

#### 3.1 대기용 가스센서

가스상 물질에 대하여 독일, 일본, 미국 등에서 금속산화물 반도체형 가스센서에 대한 연구가 폭 넓게 진행되어 왔으며, 금속산화물 외에도 전기화학식, 접촉연소식, 광학식 가스센서 등 다양한 연구가 진행되고 있다.

미국은 '국가나노기술전략 (National Nanotechnology Initiative; NNI)'을 통하여 나노 소자 및 응용 기술 전반에 지속적인 투자로 나노 기술의 경쟁력을 유지하고 있다. 최근에는 금속입자와 나노튜브 등의 결합을 통해 H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, NO 등의 가스를 탐지하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 저온에서 동작하는 초고감도 가스센서에 대한 연구도 진행 중이다. NASA AMES 연구소에서는 MEMS (Micro electromechanical systems) 기술 및 탄소나노튜브를 결합한 센서어레이의 개발과 통신네트워크와의 결합 기술을 개발하였다.

일본은 후쿠시마 원전사고로 인해 방사능을 포함한 유해물질에 대한 불안과 경각심이 심화되어, 환경오염 가스를 감지할 수 있는 센서에 대한 수요가 급증하고 있다. 일본 오사카 대학은 고체 전해질을 이용하여 신뢰성이 높고 저가로 환경오염가스(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> 등)를 감지할 수 있는 센서를 개발하였으며, 일본산업기술종합연구소(AIST)는 고감도, 실시간 고속 응답이 가

능한 자동차 배기가스용 NO<sub>x</sub> 감지센서를 개발하여 디젤자동차의 NO<sub>x</sub>제어에 직접 응용하고 있다.

유럽은 ECA(유럽공동연구조직)을 통하여 실내공기 오염 문제 해결에 나서고 있으며, 영국은 차량과 거리 조형물 등에 무선센서를 장착하여 도시의 대기오염에 대한 데이터를 무선센서 네트워크로 수집·감시하는 모바일 환경센서 그리드(PMESG, Pervasive Mobile Environmental Sensor Grids) 프로젝트를 수행하였다. 스웨덴 OPSIS는 광투과 방식을 활용한 DOAS (Dedicated Outdoor Air System)을 상용화하여 유럽 내 350개 측정소에 보급하고 있으며, 영국 맨체스터 대학은 가스센서 어레이를 활용한 전자코 기술 연구를 진행하고 있다.

우리나라는 2015년 '화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률' 시행 및 '유해화학물질관리법'과 관련하여 화학업체들 사이에서 환경센서 수요가 증가하면서 더욱 주목받고 있는 상황이며, 정부의 '첨단 스마트 센서 육성사업'이 2015년부터 진행 중이다.

최근 국내에서는 초고감도 가스센서와 다양한 가스를 동시에 분석 가능한 가스센서 어레이 개발에 관한 연구가 활발하여, 전자부품연구원은 SnO<sub>2</sub> 나노선을 이용하여 공기 중의 유해물질 및 오염물질의 실시간 검출이 가능한 마이크로 가스센서 제조 기술을 개발하였다. 한국기계연구원은 대기오염 검출용 고감도 나노센서 원천기술을 개발 중이며, 한국과학기술연구원은 WO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> 등 다양한 금속산화물을 이용하여 초고감도의 가스센서 기술을 개발하였다.

#### 3.2 수질센서

수질 센서는 하천, 강, 호수, 해수 등 매우 다양한 측정대상 지역의 오염원을 감지하기 위한 것으로 센서의 형태로 나누어 probe형과 lab-on-a-chip(LoC)형으로 나뉜다.

최근에는 저농도의 중금속 측정용 센서에 대한 연구가 매우 활발히 되고 있다. 전기화학 센서를 이용하여 물속에 존재하는 Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> 등을 하나의 센서를 이용하여 순차적으로 측정하는 Anodic Stripping Voltammetry(ASV)형 센서가 보고되고 있으며, probe형태의 센서는 나노소재기술과 융합되어 고감도의 특성을 갖는 센서 개발이 진행되고 있다.

수중 총질소(TN)와 총인(TP)을 측정하기 위하여 LoC형 센서가 이용되며, 유체 칩(Fluid Chip) 내 샘플 시료와 시약들을 순차적으로 주입하고, 반응시켜 특정 파장의 빛을 흡수하는 물질을 각각 합성하여 TN과 TP를 정량적으로 측정한다. LoC형 센서는 물의 오염도를 현장에서(In-Situ) 연속적으로 시료와 촉매를 주입하여 측정이 진행되므로, Flow Injection Analysis (FIA)의 한 형태라고 할 수 있다.

Probe형과 LoC형이 결합된 형태라고 할 수 있는 수질 센서들도 연구되고 있다. 물속에 존재하는  $Pb^{2+}$ 를 색 센서 방식(Colorimetric Type)으로 감지하는 연구가 진행되고 있다.

국외의 경우 비접촉방식의 모니터링 센서, 나노소재 응용센서 개발이 활발하며, 국내의 경우 미생물연료전지 기반의 BOD 바이오센서와 독성물질의 선택적 분석이 가능한 항체 및 효소를 이용한 바이오센서 등 주로 바이오센서 연구개발이 활발하며, 환경 관련 바이오센서 분야는 한국생명공학연구원, 농업생명공학연구소, 서강대 등에서 진행 중이다.



그림 3. 외국의 다항목 계측기[6]

### 3.3 센서 네트워크 기술

기존의 환경모니터링은 대부분 제한된 공간 및 단순 데이터 수집에 의거하여 실시간적인 오염감시와 추적이 불가능하였다. 따라서 오염물질의 이동을 정확한 예측하고 신속한 대응을 위하여 다양한 감시대상과 전파환경을 가지는 센서네트워크를 필요로 한다.

정보통신기술(ICT)의 이용으로 환경정보의 수집영역을 수 십배 확장하고, NBIT융합기반의 새로운 개념의 센서네트워크 기술개발이 점진적으로 진행되고 있다.

미국 Georgia Tech의 BWN Lab., 스페인 N3Cat (Nano-networking Center in Catalunya) 등에서 나노

센서 네트워크의 개념 및 아키텍처 등을 제시하고 일부 개념설계를 진행하였다[7](그림 4).

유럽은 'FP 7: 미래 네트워크 (Future Networks)' 프로그램의 SENDORA (Sensor Network for Dynamic and cOgnitive Radio Access) 프로젝트를 통해 유휴 주파수를 활용하여 주파수 자원을 극대화하기 위한 인지무선(Cognitive Radio) 기술을 센서네트워크에 적용하기 위한 연구가 진행 중이다[8].

일본과 중국도 환경모니터링, 기상관측, 가스·수도·전기사용 모니터링, 공공보안, 플랜트시설 원격 제어 및 감시, 재난방재 및 측정, 지능형 교통 및 트래픽 관리 등 다양한 응용 서비스를 커버할 수 있는 센서네트워크 기반 이동 무선 액세스 시스템 (Mobile wireless access system)을 ITU-R에 제안, WP 5A에서 표준화를 진행 중이다.

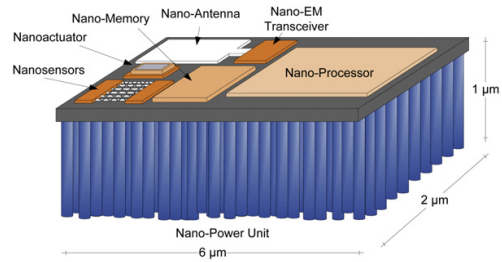


그림 4. 나노 센서 네트워크[7]

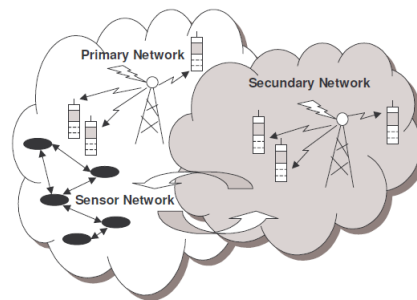


그림 5. Sensor Network for Dynamic and Cognitive Radio Access [8]

국내의 경우 USN 관련 SoC 및 네트워크 프로토콜 개발은 레이디오피스에서 2.4GHz 주파수 대역의 무선 통신 단일칩을 개발 양산, 세계적인 경쟁력을 가지고 있다. 삼성전기는 지그비(Zigbee) 단일칩을 개발 성공

하여 가격 표시기(Smart label) 및 가전 제어 시장에서 시장 진출을 하였으며, 해외 유수의 유통 업체와 결합하여 시범 사업을 추진하였다.

USN 솔루션 디바이스 개발 업체들은 무선 통신 기반 LBS(Location based System) 시장 진입에 성공하였으며, 이동 통신망을 근간으로 하는 이동통신 사업자는 스마트 그리드 제주도 실증사업에서 지그비 무선 통신 기술을 활용하여, 제주도의 2,000 가구를 대상으로 기술 실증 사업을 추진하여 스마트 그리드의 기술적 발전 방향에 대한 연구를 진행하였다.

ETRI는 센서 네트워크 OS인 nanoQplus[9]를 개발 완료하여, 일반 연구소 및 학교에 센서 네트워크 솔루션을 제공하였다.

#### IV. 환경모니터링시스템

선진국을 포함하여 각 나라는 생태환경 정보에 대한 효율적인 측정, 감시 및 관리를 위해 환경모니터링 시스템을 운영하고 있으며, 국내에서도 대기 및 수질 등의 환경관리를 위해 환경모니터링 시스템인 국가환경원격감시체계(TMS)를 운영하고 있다[10](그림 6).



그림 6. 국가환경원격감시체계(TMS)[10]

#### 4.1 수질관리 모니터링 시스템

미국의 NWIS(National Water Information System)는 미지질조사국(USGS)에서 운영 중인 물 관련 자료의 저장 및 검색을 위한 통합 시스템으로 분산 DB 구조를 토대로 측정지점, 시계열적인 계측데이터, 유량,

지하수, 수질, 수자원 이용 등에 관한 데이터를 실시간으로 수집·저장 및 관리하고 있으며, 누구나 손쉽게 Web상에서 다양한 파일형식의 데이터를 제공받을 수 있다. 지하수정보시스템, 수질정보시스템, 데이터처리시스템, 수자원이용정보시스템의 네 가지 하위시스템으로 구성되어 있으며, 약 150만 지점에서 수집한 수량, pH, 염도, 탁도, 수온, DO, 암모니아, 질산염, 염화물, 염록소, 홍조류, 남조류 등의 측정 정보를 제공하고 있다.

캔자스 주는 USGS의 실시간 모니터링 시스템[4]으로 캔자스 주 내 모든 연속 측정소는 자동자료수집시스템(DCPs)을 갖추고 있으며, DCPs는 인공위성 기술을 이용해서 자료를 Lawrence에 위치한 미 지질조사국 사무실로 24시간마다 전송한다. 캔자스주와 지방물관리 용수관련 기관, 미 기상청 하천예보센터(River Forecast Centers) 등이 주 및 지방 물관리 전략 계획·모니터링·조정, 홍수 범람 예보 등에 이용하고 있다.

REON (River & Estuary Observatory Network) 프로젝트[4]는 2008년부터 Beacon 연구소, IBM社, Clarkson University가 공동으로 추진 중인 최초의 USN기반 수중환경 실시간 모니터링 서비스로 315마일 길이의 허드슨 강 전 구간에 5,000개가량의 센서, 로봇틱스, 컴퓨터 생명공학 부품 및 장치로 이뤄진 네트워크를 구축할 예정이며, 태양광발전 패널과 배터리를 이용해 플랫폼의 센서와 무선통신 시스템의 전원을 공급하는 에너지 자립형 시스템이다.

그 외 캘리포니아 주 식물원 실내의 환경모니터링 시스템(Back To The Garden [5]), Purdue대학의 ACRE(Agronomy Center for Research & Education)이 무선랜을 기반으로 한 메시 네트워크(mesh network)를 통한 음성통신 시스템을 Field Day 농장에 적용한 예 등 다수의 시스템이 운영되고 있다.

유럽 집행위원회(EC)의 수자원 관련 위험관리를 위한 Project Warmer[4]는 실시간 수질관리시스템을 유럽 전역에 구축하려 화학, 전자, 통신, 네트워크 등 여러 영역의 R&D기관이 연합하여 유럽 전역의 수질을 모니터링 하려는 목적으로 추진하는 학제간 연구 프로그램으로 다수의 국가와 다양한 연구기관이 Project Warmer의 파트너로 참가하였다. 통합된 모니터링 플랫폼으로 유럽 전역에서 다수의 센서 및 탐사체로 수집된 정보를 관리하며 웹 기반 관리 시스템에 각종 수

질 관련 측정 데이터를 원격으로 결합하는 형태이다.

일본은 FRICS(하천유역종합정보시스템)이 운영중이며, NARC(National Agricultural Research Center)와 홋카이도 대학의 farm and pasture WLAN system은 센서와 무선통신에 기반을 둔 시스템을 도입하여 농부들의 노동생산성과 품질을 높이고 있다[4].

#### 4.2 대기환경 원격 모니터링

다수의 선진국을 중심으로 대기오염 상태를 위성을 이용한 시스템을 운영 중이다.

미국은 위성을 이용한 대기오염 자료를 공개 운영 중이다. NOAA 위성의 AVHRR 자료를 계속적으로 수신, 분석하여 전 세계의 식생 환경변화 자료를 만들어 배포하고 있으며, 최근 개발한 UARS 위성 자료로 상층 대기오염 현황 분석에 큰 진척을 이룩하였다. 향후에는 EOS(Earth Observation System) 계획의 일환으로 고해상도, 미세분광 센서들을 탑재한 AM/PM 위성을 계속적으로 궤도에 올려 전 지구의 오전과 오후 환경 관측 자료를 계속적으로 수집, 분석함으로써 새로운 발전을 모색하고 있다[11].

유럽연합기구(ESA), Canada, 일본, 중국 등도 최근 환경위성 개발에 노력하고 있어, 향후 많은 환경 위성 탐사 자료들을 수집, 분석함으로써 자국의 환경문제 해법과 대기오염 재해문제 해결 등을 세계 각국과 공동으로 추진하고자 노력하고 있다.

또한, 대기오염 모니터링에 대한 지상관측 시스템도 운영중인데, 미국 SAFER사에서는 화학물질 누출사고에 대한 실시간 응급대응 시스템으로 센서를 이용한 화학물질 누출 감지와 부지 기상관측 자료를 수신하여 대기확산 모델링 등의 관리모형을 이용하여 그 피해범위 예측과 응급조치를 취할 수 있는 시스템을 개발하여 여러 화학 공장에서 사용하고 있다.

EU의 INFISO DG에서는 WINSOC(Wireless Sensor Networks with Self- Organization Capabilities for Critical and Emergency Applications) 프로젝트 진행으로 소규모 산사태, 가스 누출 및 대규모 온난화 모니터링이 가능한 시스템을 구축 운영 중이다. 또한, EU ICT에서는 대기오염, 수질, 산불 등의 위험상황에서 위기대처 및 관리감독을 위한 센서네트워크 기반의 OSIRIS(OSIRIS : Open architecture for Smart and

Interoperable networks in Risk management based on In-situ Sensors) 프로젝트 진행 중에 있다.

우리나라는 환경부, 국토부 등에서 국가 대기오염 측정망, 국가 수질 자동측정망, 국가 지하수 측정망, 토양관리 측정망 등이 환경오염을 중심으로 운영되고 있으나 중점관리 지점 위주로 운영되고 있다.

#### V. 결 론

이상에서 생태환경변화를 조기감지하고 예측하여 환경관리에 적용할 수 있는 환경모니터링 시스템에 대하여 그 구성 요소기술인 환경센서, 센싱정보 전달 네트워크 및 기존 운영되어진 환경모니터링 시스템에 대한 기술 동향을 살펴보았다.

기후변화에 따른 자연환경적 재해와 산업사고 재해 발생 빈도가 높아지고 그 피해 규모가 급증하는 등 불안정한 상황속에서 기존 개별 시스템에 의존하는 센싱 방식에서 벗어나 관련 시스템간 융합 및 주요 요소기술의 연구개발을 통해 종합적인 환경모니터링 시스템의 구축이 필요하다. 정보통신기술과 IoT 등 관련 기술들의 도입과 연구개발과정을 통해 환경모니터링의 새로운 진화를 기대한다.

#### 참고문헌

- [1] 2016 Top Market Report - Environmental Technologies, ITA(USA), 2016
- [2] 환경백서, 환경부, 2016
- [3] 가스센서 시장동향, 연구성과실용화진흥원, 2016
- [4] "자립형 센서기반 지능형 환경관리시스템, 구축 전략 기획", 환경부, 2010
- [5] NASA Jet Propulsion Laboratory(<http://www.jpl.nasa.gov>), 한국농어촌공사(2010)
- [6] 수질 자동측정기기 운영관리 업무지침(안), 환경부, 2012
- [7] "수질센서/환경칩 기술동향", 환경기술 기술동향보고서, 환경부, 2011
- [8] I.F. Akyildiz, J.M. Jornet, Nano Communication Networks, vol.1, issue 1, p3-19, 2010
- [9] <https://www.researchgate.net/publication/>

228617413\_Sensor\_networks\_for\_cognitive\_radio\_Theory\_and\_system\_design  
[10] [https://www.etri.re.kr/kor/bbs/view.etri?board\\_id=ETRI06&b\\_idx=14987](https://www.etri.re.kr/kor/bbs/view.etri?board_id=ETRI06&b_idx=14987)

[11] “수질 자동측정기기 운영관리 업무지침(안)”, 환경부, 2012  
[12] “U-녹색환경 통합관리를 위한 그린패트론 기술동향”, 한국환경산업기술원, 2014



**안대명(Dae Myung An)**

부산대학교 화학공학과 공학박사  
부산가톨릭대학교 겸임교수  
現, (사)한국재난안전협회 이사  
※관심분야 : 공정모델링 및 설계, 자동제어, 재난방재 및 안전시스템, 인공지능



**이창한(Chang Han Lee)**

부산대학교 화학공학과 공학박사  
부산가톨릭대학교 환경행정학과  
부교수  
※관심분야 : 폐기물관리, 유용자원회수 및 재이용, 수처리기술