

IoT 기반 생태환경 감시 및 예측 기술 동향

김관중

ETRI 융합기술미래연구팀 책임연구원
gkim@etri.re.kr

허재두

ETRI 융합기술미래연구팀 팀장

1. 개요
2. 국내외 연구개발 동향
3. 국내외 시장 동향 및 전망
4. 주요 요소기술의 적용 방향
5. 맺음말

1. 개요

OECD 2050 환경 전망에 따르면, 세계 인구 및 경제규모 증가로 인해 에너지 및 자원 수요가 급증하고, 세계 인구의 70%가 도시 거주로 인한 대기오염, 교통 혼잡 및 폐기물 관리가 도전적 이슈로 등장한다. 또한 온실가스 배출량 50% 증가로 지구 평균기온의 3~6°C 상승하고, 세계적으로 물 수요가 55% 늘어남에 따라 세계 인구의 40%가 심각한 물 부족에 직면하는 문제점을 지적하고 있다[1].

우리나라의 연평균 강수량은 1,245mm 로 세계 평균의 1.4 배나 되지만 인구 밀도가 높아 1인당 연간 강수량은 세계 평균치의 겨우 13%에 불과하고, 더욱이 계절적 편중 현상이 매우 높기 때문에 수자원의 보전 및 효율적인 사용은 우리가 해결해야 할 현실적 과제로 등장하고 있다.

본 고에서는 환경 IT 융합기술 중에서 생태환경 융합기술 중심으로 각종 생태환경 정보를 실시간으로 감지할 수 있는 직독식 환경 센서 기술, 효율적인 센싱 정보전달 네트워크 기술 및 빅데이터 기반 생태환경 정보의 분석·예측 기술에 대한 최근 기술 동향 및 이슈 사항, 관련 기술/제품의 시장 수요 전망 및 생태환경 융합 기술의 향후 발전 방향에 대해 기술한다.

* 본 내용과 관련된 사항은 ETRI 융합기술미래연구팀 김관중 책임연구원(☎ 042-860-5322)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

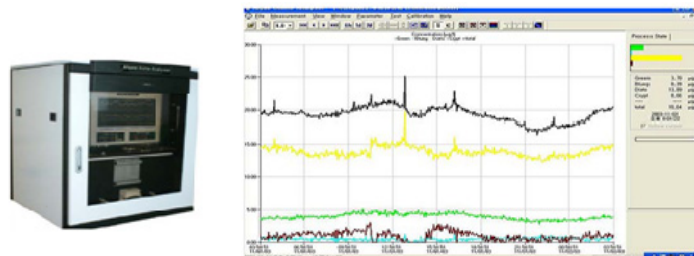
2. 국내외 연구개발 동향

가. 국내 연구개발 동향

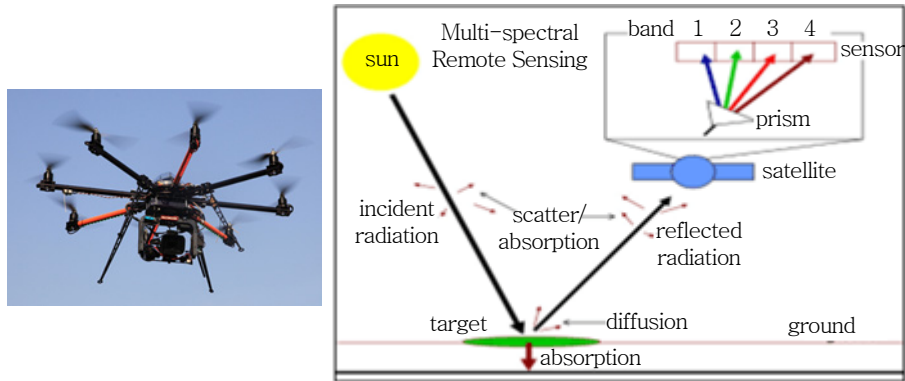
현재 환경부, 국토부, 농식품부 등에서 국가대기오염측정망, 국가수질자동측정망, 국가지하수측정망, 토양관리측정망 등이 환경오염관리, 중점관리 지점 위주로 소수개 구축·운영 중에 있으나, 약 1,500 개 소의 공공수역에 대해서는 수동 측정 방식을 적용하고 있으므로 실시간 오염 감시 용도로는 미흡하고 오히려 환경변화 추이 분석에 적합한 형태로 볼 수 있다. 일례로 그 동안 전국 하천에서 물고기 떼 죽음 등 수많은 수질 오염 사고가 보도되고 있으나, 국가수질자동측정망을 통해 오염을 감지하여 조기경보를 발령한 건수가 9년(2002.7.1.~2011.8.31.) 동안 총 20 건에 지나지 않는 것으로 알려져 있다.

녹조 모니터링 기술은 수질오염공정시험방법으로 현미경을 이용한 계수하는 방법이 있고, 최근에는 남조류가 생산하는 유독화합물인 마이크로시스틴을 검출하기 위해 PCR (Polymerase Chain Reaction), ELISA(Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay), HPLC (High-Pressure Liquid Chromatography) 등을 이용한 방법이 사용되며, 조류의 대사과정에서 방출하는 형광물질의 형광을 실시간으로 측정하는 기술이 등장하여 서울시 등에서 활용하고 있다[2]. 환경부 고시 수질오염공정시험방법에는 녹조를 모니터링하기 위한 방법으로 현장 채수 시료의 현미경을 이용한 계수 방법으로 한정하고 있어, 녹조 발생에 적시 대응이 어렵고 개개인의 역량에 따른 오차 발생 가능성을 내포하고 있다.

최근 환경부는 녹조현상의 발생 원리를 규명하기 위해 초분광 센서를 장착한 무인헬기로 주요 호소(의암호)에 대한 원격 수면감시도 실시할 계획을 발표하였다. 무인헬기는 항공좌표 인식시스템이 갖추어진 것으로 동일 고도 및 지점에서 면단위 원격영상 촬영이 가능한 기종으로 380nm 부터 1,000nm 영역을 촬영하는 초분광 센서가 장착되었다. 2014년에



(그림 1) 다파장 조류 모니터링 장치 및 조류의 종류별 파장



(그림 2) 조류 탐지 무인헬기 및 원격탐사 원리

는 영상을 통해 분석할 항목은 Chl-a, SS(Suspended Solid, 부유물질)이고, 앞으로 조류의 종별 분류까지 가능할 수 있도록 지속적인 연구를 추진해 나갈 계획을 밝히고 있다[3].

생태환경 관리에 있어 수계의 수질에 크게 영향을 주는 것은 오염 농도 이외에 유량이 중요한 요소로 작용한다. 따라서 수질과 유량의 동시 측정 및 실시간 모니터링은 매우 중요하다. 하천에서 상시 유량 측정을 위한 기술은 초음파 방식의 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler), UVM(Ultrasonic Velocity Meter), ADV(Acoustic Doppler Velocity Meter), 전파를 이용하는 레이더 표면유속계 등 다양한 기술이 있고, 국내에서도 주로 국토부 국책 R&D 과제 중심으로 연구 개발이 꾸준히 진행되고 있으나, 현재까지 국내 하천에 적합한 유속 센서 개발의 상용화는 이루어지지 않는 실정이다.

IoT 환경에서 유무선 통신기술로는 기본적으로 기존의 WPAN, WiFi, 3G/4G/LTE, Bluetooth, Ethernet, BcN, 위성통신, PLC 등을 망라할 수 있으나, 향후 수많은 사물과의 통신 네트워크 구축에 있어 구축·운영비는 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 기존 WPAN 기술의 통신거리, 신뢰성 등을 개선할 수 있는 기술이 지속적으로 연구 개발되고 있다. ETRI에서는 기존 WPAN 규격의 신뢰성 향상을 위한 IEEE 802.15.4g 규격을 개발하여 국제 표준화가 완료되었고(2012년 4월), 900MHz 대역의 IEEE 802.15.4g 지원 RF Transceiver(CC1201)가 Texas Instrument 사에 의해 출시되었다. 또한 TV 유휴 주파수 대역에서 WPAN 용 무선통신기술에 대한 국제표준을 승인 받았고, 이는 기존 IEEE 802.15.4 대비 통신 서비스 환경이 넓고, 주파수 간섭이 적어 중거리 무선 데이터 통신(1km 이상)이 가능하다[4]. 아울러 ETRI에서는 저전력, 소형 노드에 사용될 수 있는 웹

전송 프로토콜인 CoAP(Constrained Application Protocol) 프로토콜의 최신 버전을 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼에 적용할 수 있는 기술을 경량화하여 개발하였다. 이는 기존 타기관 오픈소스의 경우 약 65KB 인 코드의 크기를 약 24KB 로 최소화하여 시계, 화분, 온도계 등 다양한 소형 노드들에서도 프로토콜을 지원, 사물인터넷 서비스에 연결될 수 있도록 하였다[5].

국내 생태환경 모델링 기술은 하천과 호소의 모의로 대별되며, 주로 환경영향 평가사업의 일부로서 수행되어 온 것이 대부분이다. 하천의 수질모의를 위해서는 대표적인 시기에 대해 시간을 고정하여 위치별로 수질을 예측할 수 있는 QUAL2E(Enhanced Stream Water Quality Model)가 주로 사용되어 왔으며 국내에서도 다수의 사용 예가 있다. 최근 EFDC 와¹⁾ WASP 에²⁾ 의한 수질예측 모델이 정확도와 사용측면 및 반응기작에서 뛰어난 성능을 보여 주요한 사용 모델로 각광받고 있다. WASP 과 EFDC 를 활용한 수질/수리 유역모델은 팔당호, 시화호, 용담호, 대청호 등의 호소에서 모의하였으며, 하천에 대해서는 금강 및 경안천에 적용한 경우 외에 연구사례가 적은 편이다. 2011년 4대강 살리기 사업의 일환으로 낙동강의 수질변화 모델링 연구에 따르면 수중보 건설에 따른 체류시간의 증가로 조류농도 변화 특성을 EFDC 와 WASP 을 연계하여 분석하였고, 그 결과 보에 의한 체류시간보다는 수심 및 광량의 변화에 의한 클로로필-a 의 농도가 결정되는 것으로 나타났다[6]-[8].

나. 국외 연구개발 동향

미국, 네덜란드 등 물 선진국에서는 “물관리=안보문제”로 인식, 미국 안전보장국은 물 부족 등 자연자원의 부족이 무력 충돌을 야기할 수 있다고 경고한다. 육지의 4분의 1이 바다 아래에 있어 상시적으로 홍수 위협을 받는 네덜란드는 2200년까지 주변 해수면의 상승을 예측하는 등 2200년까지의 물관리 계획을 수립하였다.

워터노믹스,³⁾ 블루골드(Blue Gold) 시대에 접어들면서 경제력의 차이로 선진국과 개도국 간의 물공급 불균형 심화현상은 시급히 해결되어야 할 과제로 대두되고 있다.

1) Environmental Fluid Dynamics Code: 미국 EPA 에서 개발한 수리역학 모델로서 수생태계의 3차원 거동을 모의할 수 있는 모델
 2) Water Quality Analysis Simulation Program: 개방형 수질예측 모형들을 종합 및 보완하여 시간에 따른 입력치의 변화를 고려할 수 있는 수질성분변화 분석 및 예측 모델
 3) Waternomics 는 'Water'(물)과 'Economics'(경제)의 합성어로, 생존과 생활에 필요한 물을 공급하는 필수역량(Life Enabler)과 물을 통해 국가의 부를 축적하는 가치창출역량(Value Enabler)을 모두 확보한 단계를 뜻한다.

기후변화에 따른 재난의 대형화·복합화에 전방위적 대응을 위해 미국 USGS(United States Geological Survey)는 센서 기반의 위험요소 관리, 기후 변화, 지진 발생률 및 지진 위협 감지 모델 개선 등 지구시스템 과학 분야에 빅데이터 활용 중에 있고, 싱가포르의 RAHS(Risk Assessment Horizontal Scanning)는 미래 위험에 대한 평가와 기회요인을 선제적으로 파악함으로써 싱가포르 정부의 장기 정책과 미래이슈를 파악하고 있다. 더욱이 미국은 과학기술 예산 편성 시 재난·재해 기술예산 우선 배정하고, 그랜드챌린지(2014년)를 통해 글로벌 기후변화로 인한 인간·생물과의 관계분석 및 타부처 연계사업을 통한 균형있는 기술혁신을 추진하고 있다[9]-[11].

조류 조성을 측정하는 측정기술은 독일 bbe사에서 생산되고 있는 조류측정기가 대표적이나 센서 타입이 아닌 시료를 유입하여 분석하는 측정기기 형태로 생산되고 있고, 최근에는 현장에서 측정 가능한 자료를 빅데이터 개념으로 접근하여 다양한 형태의 자료로 변환하여 서비스하므로, 현장 설치가 용이하고 많은 자료를 생산할 수 있도록 다과장 형태의 센서 개발이 진행 중이다.



(그림 3) 클로로필 센서(SCUFA/WETLabs/YSI) 및 조류측정기(bbe)

현재 전 세계적으로 유량을 정확히 측정하고자 하는 노력이 미국, 일본, 유럽 등의 선진국을 중심으로 활발히 추진되고, 초음파, 영상, Radar, Lidar 등에 의한 다양한 방식의 기술이 개발되고 있다. 미국의 경우, ADCP(Acoustic Doppler Current Profilers)의 연구 개발에 많은 노력을 기울이고, 개발된 기술은 현장 적용을 통해 현재는 실용화 단계에 접어들었다. 일본은 영상을 이용하여 표면유속을 측정하는 방법을 비롯하여 비접촉식으로 유량을 측정하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행중이고, 그 외에 전파유속계, 수압식 수심 유속계, ADCP 등의 첨단장비 개발이 활발하다. 독일은 초음파 방식의 유량측정장비가 일반화되고 있으며, 통상적인 유량 측정 업무에서 많이 사용되고 있다. 영국은 Electro-magnetic에 의한 자동유량측정 기술, 구조물을 이용한 자동유량측정 기술이 개발되어 실용화되고 있는 상황이다. 현재 미국의 SonTek사와 RDInstrument사, 노르웨이의 Nortek



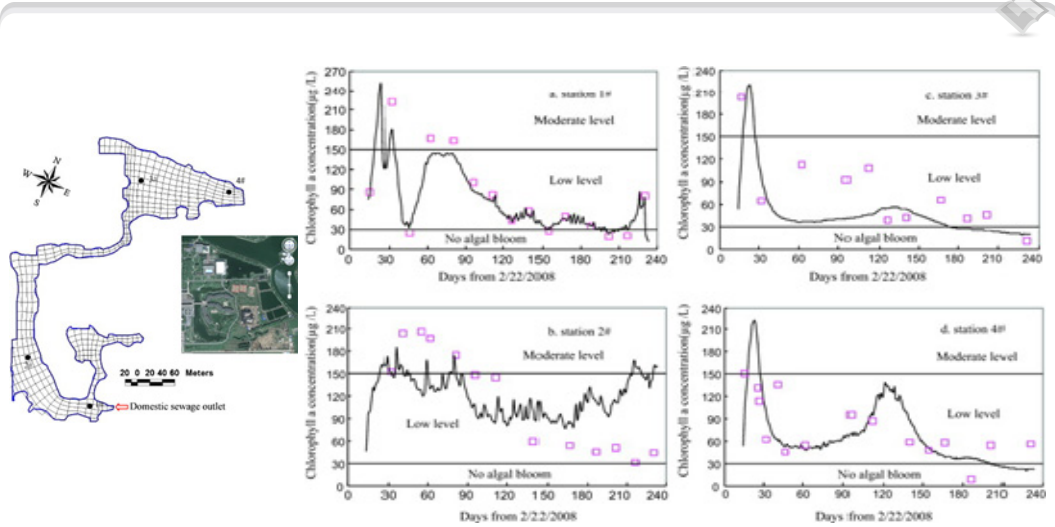
(그림 4) MCU 제품 출시 사례

사, 독일의 Nivus사와 OTT Hydromet사 등이 초음파 유속계 시장을 선도하고 있다.

모든 것을 인터넷에 연결하는 IoT 환경에서 MCU, 통신칩, 전송 프로토콜 등에서 저전력화, 소형화는 중요한 이슈로 등장한다. ARM(Acorn RISC Machine)은⁴⁾ Cortex-M 시리즈를 통해 저전력 지향에 적합한 시리즈를 제공하고 있다. Cortex-M 계열은 타 제품의 대기전력 수준이 ARM의 동작전력 수준이고(범용 CPU의 대표격인 x86의 전력소모: 20~100W), 고성능 위주의 Cortex-A 계열의 경우도 코어당 수백 mW 정도이다[12]. Embedded OS 기술로는 2002년부터 Thingsquares에서 주도하는 Contiki OS가 있고, 이는 6LoWPAN, CoAP 지원, ARM cortex-M 시리즈에 포팅되어 있어 저전력이면서 효율적인 운영 가능성이 가능하며, 여기에는 시스코, TI 등 기존 업체들이 참여하고 있다.

IoT 전송 프로토콜의 경량화를 위한 연구로 IETF의 CoRE(Constrained RESTful Environments) WG의 CoAP 프로토콜과 IBM에 의해 개발되어 OASIS(Organization for the Advancement of Structured Information Standards)에 의해 IoT 표준 프로토콜로서 선정된 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 등이 있다. CoAP는 IoT 요구사항을 만족시키는 REST 기반의 저성능 노드용 응용계층 프로토콜이고, MQTT는 제한

4) ARM사에서는 Cortex-A 제품군의 전력소모 영역을 Entry/ Midrange /Premium 별로 코어당 각각 150mW/450mW/750mW 정도를 목표로 설정, 프리미엄급의 경우 보통 4 코어급 제품으로 출시되는 경우가 많으므로 ARM 코어 자체의 최대 전력소모량은 3W 정도이다.



(그림 5) Daoxing 호 내 EFDC 를 이용한 격자 구성 및 Chl-a 모의결과

된 컴퓨팅 성능과 빈약한 네트워크 연결 환경에서의 동작을 고려하여 설계된 대용량 메시지 전달 프로토콜이다.

생태환경 모델링 기술은 중국에서 베이징의 Daoxiang 호에 대해 algal bloom에 대한 연구결과 63.4%의 예측정확도를 보이는 클로로필-a 및 algal bloom 예측모델을 개발하였다[13]. 미국에서는 USGS, USDA, USBR 및 USEPA 등에서 유역, 하천, 호소 및 해양에 적용할 수 있는 다양한 모델이 개발된 바 있고, 비정상 상태의 모델링에 대표적으로 사용되는 모델은 미국 환경부의 WASP 모델과 미국공병단에서 개발된 CE-QUAL-W2 모델이다. WASP 모델은 하천, 호수, 하천의 하구 및 해안에서 광범위하게 사용되는 수질모델로 최근 DOS 환경 기반의 프로그램을 윈도우 기반의 프로그램으로 변환하였고, 3차원 수리동역학 모델인 EFDC-Hydro와 연동하여 사용되고 있다[14].

녹조 전조 감지 기술을 살펴보면, 1974년 캐나다 앨버타대 데이비드신들러 교수에 따르면 226개 호수를 조사한 결과 인이 녹조 발생의 제1원인 인자로 나타나 이를 사이언스저널에 보고하였고, 이를 기반으로 최근 개발된 녹조 제거 기술들은 인을 제어하는 방향으로 진행되고 있다[15]. 독일 베를린 공대의 경우 독일, 과테말라, 브라질 등에서 하천 주변에서 자생하는 식물을 이용하여 녹조를 효과적으로 줄일 수 있는 친환경 녹조 저감기술(그린 리버 시스템)을 시범·적용하였다. 유럽연합의 경우 수자원 개발이 아닌 관리정책을 수립하여 수질항목 46개에 대해 수질기준을 설정·관리하고 있다. 특히, 수질기준마다 권고 및 강제농도를 두어 수질을 관리하고 있다. 해외에서는 조류 온라인 분석 형광기

(AOA fluorometer)가 4 가지 식물플랑크톤 그룹의 다른 특정 형광 스펙트럼을 통해 구분이 가능한 것을 기반으로, 남조류의 클로로필-a 분석과 일반적인 남조류 측정방법 간의 유효한 상관관계가 있는 것으로 밝혀져 경보단계 설정을 적용한다. 정지궤도 해색위성인 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager)를 이용하여 녹조를 찾고 구별할 수 있는 알고리즘과 모니터링 기법이 2012년 개발되었다. 이를 통해 녹조의 광학적 특성은 555, 745, 865nm 에서 반사되고 660, 680nm 에서 흡수하는 특징을 갖는 것으로 나타났다[16].

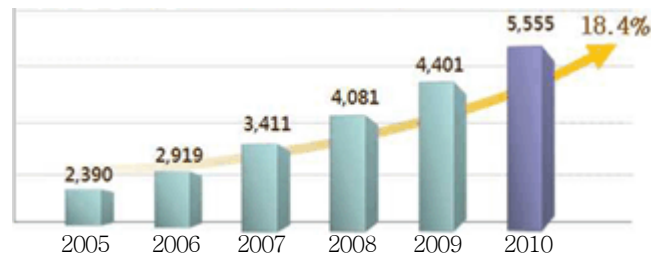
3. 국내외 시장 동향 및 전망

가. 국내 시장 동향 및 전망

전반적인 국내 환경시장 규모는 2010년 기준 55조 5,522억 원 규모이고, GDP의 4.7%를 차지하고 있다. 세계 환경시장의 6.3%를 점유하고 있으며, 국가별 규모로는 13위권이다. 분야별로는 폐기물 시장이 30조 1,691억 원으로 전체의 54.3% 차지하고, 3대 주력 산업인 폐기물, 물, 대기 산업이 전체 매출의 92.2%를 점유한다(폐기물: 54.3%, 물 산업: 31.4%, 대기 산업: 6.5%). 국내 환경산업의 수출 규모는 2010년 3조 2,912억 원, 2005~2010년 간 27.1%의 성장률을 기록하고 있고, 분야별 수출규모는 물 산업(1조 8,365억 원, 55.8%), 대기(8,973억 원, 27.3%), 폐기물(3,737억 원, 11.4%)의 순이다.

환경부, 국토부, 농림수산식품부 등 관련 부처의 수질/수량 측정 자동화 추진 방향의 실행을 가정하여 IoT 기반 생태환경 융합 기술의 국내 총 수요를 예측하면 다음과 같다.

첫째, 현재 수동측정방식의 공공수역에 대한 자동화 전환에 따른 수요가 전망된다. 인력에 의한 직접 수거 방식으로 운영 중인 공공수역 수질조사지점 1,482개에 대한 자동화



* 환경부문 매출액 기준(단위: 백억)

<자료>: 제3차 환경기술 및 환경산업 육성 계획안(2013~2017), 2012.12.

(그림 6) 국내 환경시장 규모 전망 및 성장률

<표 1> 기관별 공공수역 수질조사 지점

측정망기관	총계	하천수(지점수)				호소수 (지점수/ 호소)	농업용수 (지점수)	기타		
		소계	일반	일반+ 총량	총량			소계	도시 관류	공단 배수
유역환경청	384	300	300	-	-	80/35	-	4	4	-
물환경연구소	155	148	6	89	53	7/1(2)	-	-	-	-
시·도	359	220	220	-	-	23/10	-	116	46	70
한국수자원공사	109	31	31	-	-	78/33	-	-	-	-
한국농어촌공사	475	-	-	-	-	1/1	474	-	-	-
총계	1,482	699	557	89	53	189/80	474	120	50	70

<자료>: 환경부고시 제 2010-28 호, p.10.

전환 수요가 예상된다.

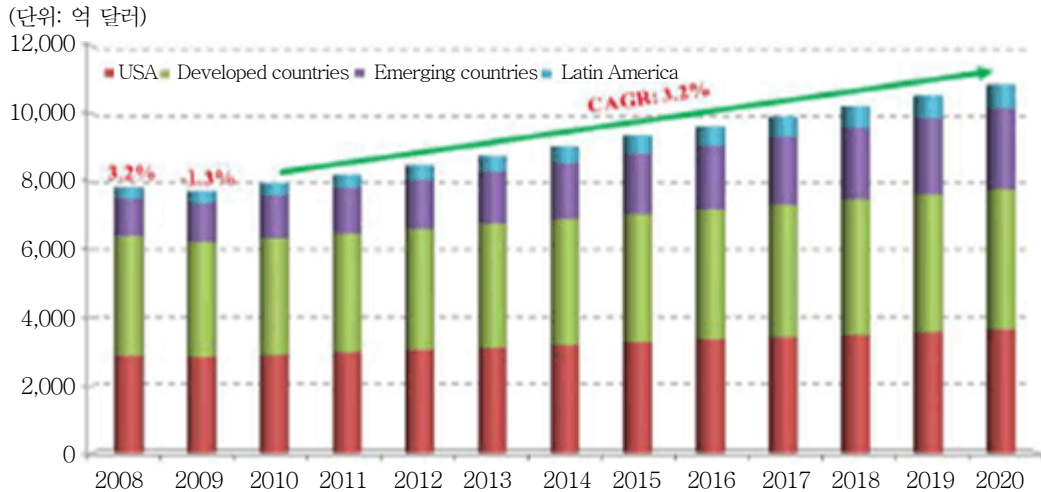
둘째, 전국 저수지 수질/수량 측정의 자동화 추진 수요를 가정한다. 농수산식품부는 현재 수동방식으로 운용중인 전국 1,500 개 저수지의 자동화를 추진할 계획이고(800 개소는 수질/수량 동시 측정, 700 개소는 수량만 측정), 중기적으로는 유효저수량 10 만m³ 이상 저수지 2,507 개소(전국 총 저수량의 90%)에 대해 모두 수질/수량 측정 자동화 추진 방향을 반영한다(자료: 저수지 자동수위측정기 설치 및 운영지침, 농식품부).

셋째, 국토부의 하천 측정소의 시설 개선 및 확장 추진 수요를 가정한다. 현재 국토부에서 운영중인 수위(153 개소), 유량(194 개소), 우량(597 개소) 관측소의 노후화된 시설에 대한 전환 계획과 국토부의 수문조사 기본계획(2008)에 기반한 관측망 확장 수요(우량 729 개소, 수위 180 개소, 유량 334 개소)를 반영한다.

따라서, IoT 기반 생태환경 융합 기술이 적용될 수 있는 국내 수요는 4,000~6,000 개소 정도로 전망된다. 이를 기반으로 국내 시장 규모를 추정하면(생태환경관리시스템의 개소 당 100,000 천원, 국내 시장점유율 20~30%로 가정), 800 억 원(비관적)~1,800 억 원(낙관적) 정도로 예상된다.

나. 국외 시장 동향 및 전망

세계 환경시장은 2010 년 약 7,967 억 달러 규모로 연평균 약 3.2%의 성장률을 보이고 있으며, 2017 년에는 9,992 억 달러 규모로 전망한다. 권역별로는 미국, 일본, 독일, 중국, 캐나다 등 상위 5 개국이 전체 시장의 대부분을 차지하고 있으나, 선진국 시장 성장률



<자료>: 제3차 환경기술 및 환경산업 육성 계획안(2013~2017), 2012. 12.

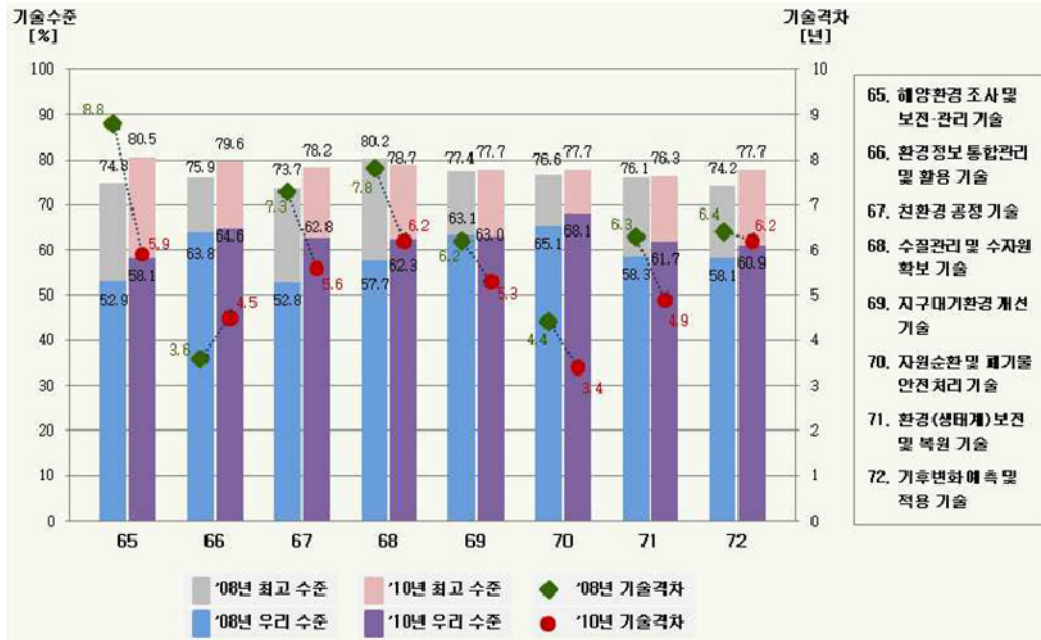
(그림 7) 세계 환경시장 규모 전망 및 성장률

은 정체 상태이고 아시아·중남미·중동·아프리카·동유럽 등 신흥 국가가 높은 성장세를 유지하고 있다. 분야별로는 폐기물 자원순환(1,407 억 달러, 25.8%), 물(1,320 억 달러, 24.2%), 지속 가능한 환경자원(1,269 억 달러, 23.3%) 등 3 개 산업이 전체 시장의 73% 차지하고 있다.

4. 주요 요소기술의 적용 방향

가. 우리나라 환경기술의 기술 경쟁력 평가

환경 R&D 투자 확대로 우리나라 환경기술 수준은 상당히 향상되었으나 아직은 미흡하여 공극 기술 수준의 평균 62.2% 선이고(2008년 58.6% 대비 3.6%p 상승), 세계 최고 기술 보유국인 미국(77.9%)에 비해 15.7%p 낮은 수준이다. 환경기술 분야 중에서 기술수준이 높은 분야는 ‘자원순환 및 폐기물 안전처리 기술(68.1%)’과 ‘환경정보 통합 관리 및 활용 기술(64.6%)’이며, ‘기후변화 예측 및 적응기술(60.9%)’은 기술수준이 낮고, 글로벌 환경규제 대응에 필요한 ‘친환경 공정기술’ 수준이 크게 향상되었다(10%p 상승). 최고 기술 보유국(미국)과의 기술 격차는 평균 5.5 년이나 중국과의 기술격차가 3.3 년에 불과하여 지속적인 기술개발 노력이 필요한 상황이다.



<자료>: 제 3 차 환경기술 및 환경산업 육성 계획안(2013~2017), 2012.12.

(그림 8) 환경 분야 기술수준 및 對 최고기술국과의 기술격차 변화

나. IoT 기반 생태환경 융합 기술의 요소기술

OECD 2050 환경전망 보고서에서 언급한 바와 같이 기후변화, 도시화, 산업화 등에 따라 환경 재해는 급증하고 건당 피해규모가 커짐에 따라 환경 모니터링 시스템의 중요성은 날로 증대하고 있다. 따라서, 환경 순환계에서 발생하는 주요 현상 변화를 실시간으로 감지하고 상호간의 관계를 분석하여 이를 기반으로 종합적이고 체계적인 환경 재해 대응 체계 구축이 요구된다. 예를 들어 기상-지하수-지표수 융합을 통한 수자원의 안정적 공급 체계 구축(청정 지하수 개발 및 기상 정보와 연계 운영 등), 하천/호소-취정수장-공급관망-물 저장 탱크(아파트, 일반 주택)까지의 일련의 물 공급망의 수량 및 수질을 통합적으로 관리하는 물 공급 체계의 효율성 제고(유수률 향상), 대기-수질-토양 사이의 중금속/유기물 등 각종 오염물질의 이동경로 분석 등은 환경 관련 도메인/서비스 간의 융합을 통해 이용자에게 유용한 서비스를 제공할 수 있다. <표 2>에서는 IoT 기반의 실시간 환경관리 기술의 주요 기능 및 핵심 요소를 나타내고, <표 3>에서는 주요 요소 기술의 현재 기술개발 수준을 나타낸다.

<표 2> 생태환경 융합기술의 요소기술

개발 기술		주요 기능	요소 기술	
IoT 기반 센싱 네트워크 구축 기술	생태감시 센서 기술	다조류 측정 센서 기술	- 6~7 개 과장의 형광측정 - 조류조성에 따른 클로로필-a 산정기법 개발	
		중소하천용 유속/유량 센서 기술	- 유속분포 측정기술 - 중소하천 유량산정기술 - 유량조사기술 - 중소하천 설치 및 운용기술	
	저전력/ 고신뢰성 IoT 센서노드 /게이트웨이 기술	IoT 센서 노드/ 게이트웨이 기술	- ETSI M2M 규격 지원 - 센서 및 센서 정보의 인터넷 자원화 - 다중 플랫폼 지원 - IPv6 기반의 센서노드/게이 트웨이	- 국제표준 기술 지원 - 물리적 센서의 웹 자원화 기 술 - 센싱 정보의 인터넷 자원화 기술 - IPv4/IPv6 연동 기술 - 센싱 정보 식별 기술
		저전력/ 신뢰성 확보 기술	- 무선구간의 오류정정부호 - 센서 에너지 관리	- 소형/경량화 오류정정부호화 기술 - 센서의 동작 관리 기술 - 센싱 데이터 검정 기술
빅데이터 기반 센싱 데이터 분석/예측 시스템 기술	생태환경 모델링 기술	- 실측 수집/기상/유량 데이터 기반 수리동역학 모델링 - 수질예측을 위한 데이터 연 동 인터페이스 - 오염물질 유입에 따른 실시 간 확산 예측 - 오염 수원/오염 발생위치/오 염물질에 따른 오염원 추적	- 실측 데이터 기반 수리동역 학 모델링 - 실시간 오염확산 예측	
	녹조 전조 감지 기술	- 수계 지리적 특성을 고려한 경험적 다중 센싱과 데이터 분석 - 유효 상관분석을 통한 수집 데이터별 가중치 산정 - 녹조 발생 가능성 단계별 누 적과 영향 분석 - 녹조 발생 전조 예측과 의사 결정	- 수계 특성을 고려한 경험적 다중 센싱과 분석 - 녹조 발생 가중치 및 단계별 누적과 전조 예측	
	생태감시 센서 및 네트워크 장애 감시/ 복구 및 성능관리 기술	- 사전 성능장애 예측 (proactive fault Management) 기능 - 수질복합센서의 Probe 별 장 에 검출 기능	- 장애 사전 검출 및 예방적 성능관리 수행 - 장애 발생 범위 및 시간 최 소화	

<표 3> 생태환경 융합기술의 기술수준 및 향후 연구개발 방향

성능지표		현재 기술수준		향후 연구개발 방향	
		국내수준	세계수준 (기관명/국가)	달성수준	요소 기술
IoT 기반 센싱 네트워크 구축 기술	다조류측정 센서 (과장대역)	2 과장	4 과장 (bbe/독일)	4 과장 이상	- 다과장 형광측정센서 - 클로로필-a 측정기술 - 조류조성 구분기술
	중소하천용 유속/유량 센서의 유속 측정범위 (초음파 도플러 유속 센서)	상용제품 없음	±5m/s (SonTek/미국)	±3m/s	- 초음파 도플러 유속 분포 측정기술
	저전력/고신뢰성 IoT 센서노드/게이트웨이 의 플랫폼	상용제품 없음	ETSI M2M 규격지원 (Actility Cocoon/ 프랑스)	ETSI M2M 표준 지원	- IoT 관련 기반 기술 - 센서 및 센싱 데이터 인터넷 자원화 기술
빅데이터 기반센싱 데이터 분석/예측 시스템 기술	생태환경 모델링 정확도	40%	70% 내외 (EPA/미국)	70% 내외 (EPA/미국)	- 실측 데이터 기반 수 리동역학 모델링 기술
	녹조 전조 감지 예측 정확도	50%	-	70% 이상	- 보 및 지류를 고려한 경험적 다중센싱 기 반 녹조 거동 및 전 조 예측 기술

5. 맺음말

본 고에서는 환경재해를 조기 감지하고 예측하기 위한 시스템 구축에 필요한 기술에 대해 분야별(환경센서, 센싱정보 전달 네트워크, 빅데이터 기반 센싱 정보 분석 및 예측 시스템)로 최근 연구개발 현황과 향후 적용 방향에 대해 기술하였다.

기후변화, 산업재해 증가에 의한 미래 위험사회의 도래가 예고되고, 이에 따른 사회적 비용이 급증 추세에 있으므로 기존 개별 시스템에 의존하여 센싱 정보를 표출해 주는 수준에서 벗어나 관련 도메인/시스템간 융합 및 주요 요소기술의 연구 개발을 통한 체계적이고 종합적인 환경재해시스템의 구축이 필요하다.

즉, 수환경 재해의 사전 예방 및 피해 최소화를 위해 조류 감지 센서, 유속 센서 등 수환경 재해 관리에 필수적인 환경 센서, 실시간 구동 생태관리 모델, 수자원 재해에 영향을 주는 다수·다량의 빅데이터(실시간 기상정보, 하천, 호소의 오염 발생원 정보, 댐 운영 정보, 지하수 정보 등) 분석 기술 등에 대한 지속적인 연구 개발이 요구된다.

<참 고 문 헌>

- [1] “제 3 차 환경기술 및 환경산업 육성 계획안(2013~2017), 국과위, 2012. 12, pp.10-11.
- [2] “녹조 발생 수환경 관리 및 대응 기술”, 환경기술동향 2012-89, 환경산업기술원, 2012. 12, pp.24-29.
- [3] “환경부, 녹조대응 위한 과학적 모니터링 대폭 강화!”, 환경부 보도자료, 2014. 2. 17.
- [4] “ETRI, 사물인터넷용 무선통신기술 국제표준 선정 및 칩 개발”, ETRI 보도자료 2014-25 호, 2014. 4. 24.
- [5] “ETRI-TTA 사물인터넷 프로토콜 상호운용성 시험개최”, ETRI 보도자료 2014-28 호, 2014. 5. 15.
- [6] “3 차원 EFDC-WASP 연계모델을 이용한 경인아라뱃길 수질 예측”, J. Kor. Soc. Environ. Eng. 35(2), 2013. 2, pp.101-108.
- [7] 최익성, 서동일, “EFDC-WASP 을 이용한 남강호의 3 차원 수리·수질 모의 연구”, 한국수자원학회 학술발표회, 2011. 5, pp.1079-1083.
- [8] 김민애, 서동일, 배순임, “낙동강 살리기 사업에 따른 수질 변화 예측”, 한국수자원학회 학술발표회, 2011. 5, pp.218-221.
- [9] PWC, Technology forecast, Making sense of Big Data, A quarterly journal 2010, Issue 3.
- [10] Marketing Week, O2 signs Starbucks & L’Oréal to debut location-based mobile offers, 2010. 10. 15.
- [11] Executive Office of the President, Office of Science and Technology Policy, OBAMA ADMINISTRATION UNVEILS “BIG DATA” INITIATIVE, Mar. 29, 2012.
- [12] 유명환, “임베디드시스템 플랫폼”, 제 33 회 SW 공학 Technical 세미나 발표자료, 2013. 5. 30.
- [13] Guozheng Wu and Zongxue Xu, 2011. “Prediction of algal blooming using EFDC model: Case study in the Daoxiang Lake,” Ecological Modelling, 222:1245-1252.
- [14] 서동일, “URM 자료를 이용한 3 차원 지표수 수리-수질 연계 모델링 기법의 연구 -EFDC 를 이용한 오염물질 이동 분석”, 한국수자원학회 학술발표회, 충남대학교, 2012, pp.971-974.
- [15] Schindler, David W. 1974. “Eutrophication and recovery in experimental lakes: Implications for lake management”, Science, 184: pp.897-899.
- [16] “녹조 발생 수환경 관리 및 대응 기술”, 환경기술동향 2012-89, 환경산업기술원, 2012. 12, pp.24-29.