

# 미국의 물환경관리시스템 기본현황1)

## □ 미국의 수자원관리 체계

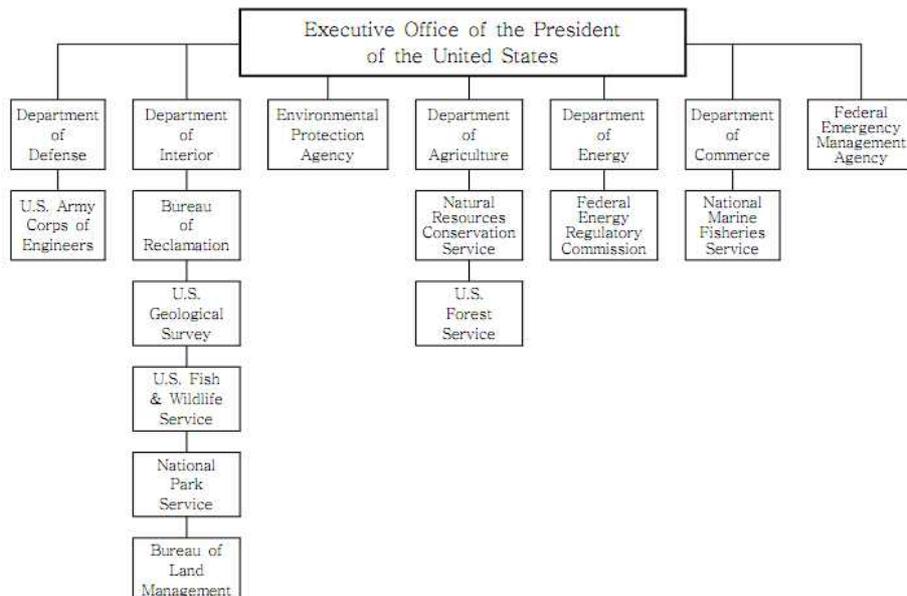
- 연방정부 기관인 백악관 환경질위원회(CEQ), 국무부 국제협력국(DOS-JJC), 미공병단(COE), 개척국(USBR), 지질조사국(USGS), 환경청(EPA), 농무부(USDA)와 주정부, 전문기관 등으로 역할이 분할되어 있음
  - 연방정부: 최상위계획 수립 및 물 배분
  - 주정부: 정책의 유연한 적용, 가뭄 및 홍수에 대비한 수자원정책 수립
  - 전문기관: 기술지원
- 공병단(COE): 댐 개발, 하천관리, 홍수피해규모예측, 기술적 지원
  - 미국에서 가장 오래된 수자원 관련 정부기관임
  - 치수를 위해 일반적으로 댐, 선착장, 둑, 방파제의 건설과 다른 수로의 강둑보호 프로젝트를 수행함
- 개척국(USBR): 수자원 및 자연자원의 관리 및 개발
  - 주된 업무는 불모의 서부지역에 정착하기 위한 관개 프로젝트 개발임
  - 하버댐(Hoover)과 그랜드 쿨리(Grand Coulee)댐과 같은 주요 구조물을 포함해 20세기동안 200개가 넘는 관개 프로젝트를 수행했음
    - 관개 프로젝트는 농업과 경제개발을 위한 전력과 지역 곳곳에 수도 공급을 위해 관개용수를 생산함
- 지질조사국(USGS): 물 이용 자료, 유역조사 및 유역정보제공, 기술개발
  - 51개 주에 수질자동측정소를 설치·운영 중이며, 각 주의 지방·주정부, 대학들과 협력하여 지하수와 지표수를 모니터링하고 측정함
  - 미국 전 지역의 종합 측정소의 약 85%를 대표하는 7,000여개의 유속 측정소를 운영 및 관리하고 있으며, 주와 지방 기관들이 시설들을 주로 운영
  - 국가수질평가(National Water-Quality Assessment, NAWQA) 프로그램은 하천, 강, 지하수의 상태를 조사하고 변화의 흐름을 파악하며, 인간 활동 및 자연변화로 인한 수질상태의 가장 현저한 원인이 무엇인지를 파악함
  - NAWQA 프로그램 이외에 수질이 아닌 수문학적 조사가 주된 조사항목임

1) 안재현, “외국의 물관리 현황검토 및 국내 적용방안 연구”

- 국가수자원정보시스템(NWIS)와 홍수예보시스템(AHPS)를 운영하고 있음
- 환경청(EPA): 수자원 관리를 환경측면에서 규제하고 운영 및 연구함. 실제적인 수자원 및 수질 관리의 방향 설정
- 테시유역관리청(TVA): 홍수피해 예방을 위한 개발 계획수립, 통합적 유역 개발업무를 수행함
- 기상청(NWS): 강우예측 및 분석

<표 2-1> 미국 물환경관리 주체별 역할

관리 주체	역할
연방정부	최상위계획 수립 및 물 배분
주정부	정책의 유연한 적용, 가뭄 및 홍수에 대비한 수자원정책 수립
전문기관	기술지원
공병단	댐 개발, 하천관리, 홍수피해 규모예측, 기술적 지원
개척국	수자원 및 자연자원의 관리 및 개발
지질조사국	물 이용 자료 제공, 유역조사 및 유역정보 제공, 기술 개발
환경청	실제적인 수자원 및 수질 관리의 방향 설정
기상청	강우 예측 및 분석



미국 수자원 관련 조직도

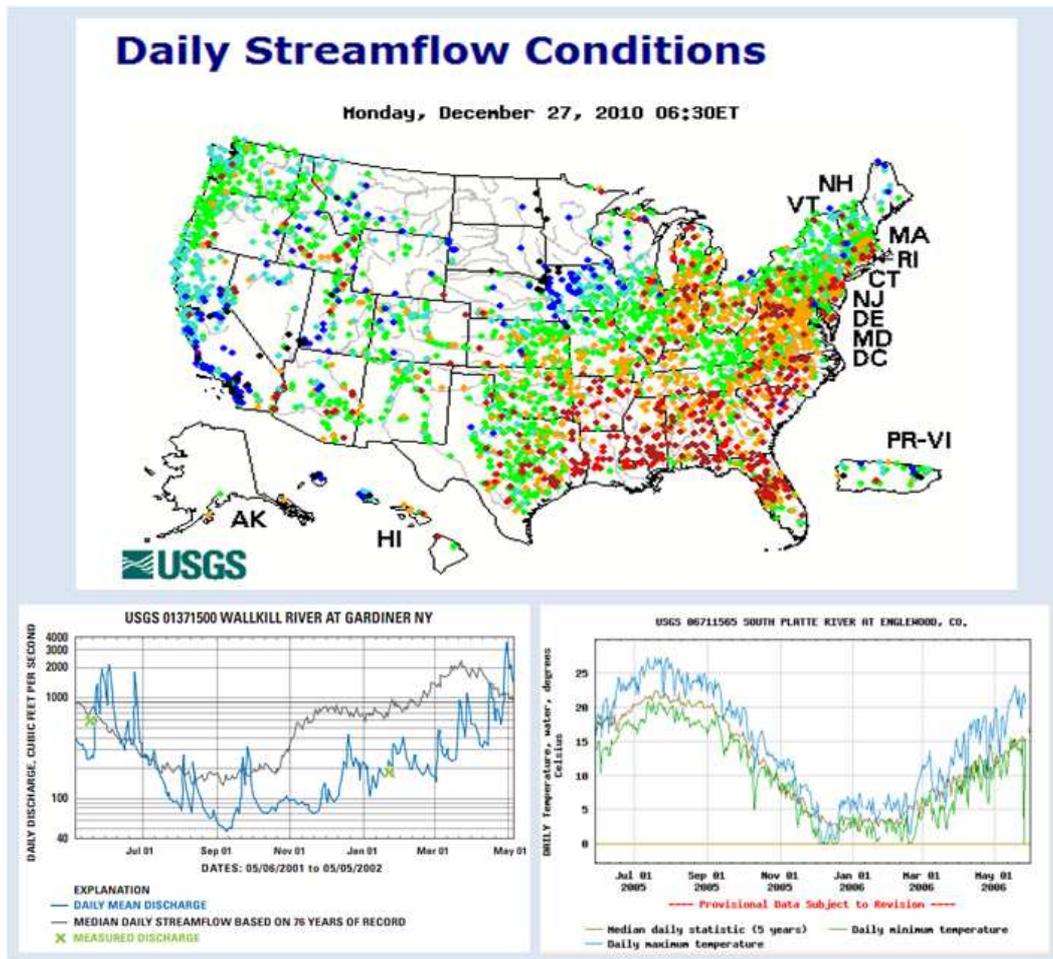
## 나) 물환경 측정항목 및 정보관리시스템

### □ 국가수자원정보시스템(NWIS; National Water Information System)

- 미내무부(USDOI)산하의 미지질조사국(USGS)에서 운영 중인 물 관련 자료의 저장 및 검색을 위한 통합 시스템
  - 분산데이터베이스 구조를 토대로 측정지점, 시계열적인 계측데이터, 침투 유량, 지하수, 수질, 수자원 이용 등에 관한 데이터를 실시간으로 수집·저장 및 관리함
  - 누구나 손쉽게 Web페이지 상에서 다양한 파일형식(Text, XML, 그래픽)의 데이터를 제공받을 수 있음
- (구성) 지하수정보시스템, 수질정보시스템, 데이터처리시스템, 수자원이용정보시스템의 네 가지 하위시스템으로 구성됨
  - <실시간 데이터>는 일반적으로 15분-60분 간격으로 기록되고 저장되며, 측정된 데이터는 1-4시간마다 모델이나 위성을 통해 미지질조사국으로 전송됨
  - <수문·관측소정보>는 미국 내 지점별 유량, 호수 및 저수지, 강우, 지하수, 수질 정보 등을 포함한 하천유역, 관정, 터널, 호수, 저수지, 수리시설물 등의 관련된 모든 데이터들과 연계하여 제공함
  - <지표수정보>는 하천과 호수 등의 유량과 수위, 지표수 수질, 강우 등의 자료를 제공하며, 데이터는 자동기록기와 필드 수동 측량장비에 의해 수집되어 전화 또는 인공위성을 통해 저장되고 미 지질조사국으로 전송됨
  - <지하수정보>는 지하수 위치기록, 지하수 수위데이터와 수질데이터를 제공함
  - <수질정보>는 하천, 호수, 지하수의 화학적 물리적 수질 자료를 제공함
- (미션) 현재의 물 공급 측정 및 미래 물 공급 계획 수립, 홍수 및 가뭄 예보, 수질 관리 등임
- 약 150만 지점에서 수집한 수량, pH, 염도, 탁도, 수온, DO, 암모니아, 질산염, 염화물, 엽록소, 홍조류, 남조류 등의 측정 정보를 제공함
  - 1,602개 지역의 온도, pH, 전기전도도(specific conductance), 용존산소량(DO)을 실시간으로 제공함
  - 33.8만 지표수 및 지하수 수질 관측 지점, 22,600개소의 과거 및 현재 유량 관측 지점, 8,830개소의 하천, 호수, 저수지, 지하수, 기상의 실시간 관측 지점, 140만 개소의 우물 관측 지점에서 측정된 자료를 제공함

○ (시사점)

- 하천뿐만 아니라 지류의 수질 관측 조밀도가 높음
- 실시간 관측 지점과 실시간 관측 항목에 관심을 갖고 늘리려 함
- 누구나 손쉽게 물 관련 자료를 이용할 수 있게 함



[그림 2-2] NWIS를 이용한 실시간 측정 정보

□ 캔자스 주 USGS의 실시간 모니터링 시스템<sup>2)</sup>

- 광범위하게 이용될 수 있는 실시간 물자원 자료를 측정하여 서비스
  - 캔자스 주 내 모든 연속 측정소는 자동자료수집시스템(automated data collection platforms, DCPs)을 갖추고 있으며, DCPs는 인공위성 기술을 이용해서 자료를 Lawrence에 위치한 미 지질조사국 사무실로 24시간마다 전송함
  - 캔사스주와 지방 물관리 용수관련 기관, 미 기상청 하천예보센터(River Forecast Centers) 등이 다양하게 이용함: 주 및 지방 물관리 전략 계획·모니터링·조정, 홍수 범람 예보 등
- 측정소는 하천, 호수, 지하수 등 광범위하게 위치하고 있으며 이를 바탕으로 저수지 혹은 댐 운영, 하천 예보, 홍수 경보 등의 정보를 제공함

<표 2-2> 캔사스 주 USGS 실시간 모니터링 시스템 측정항목 및 빈도

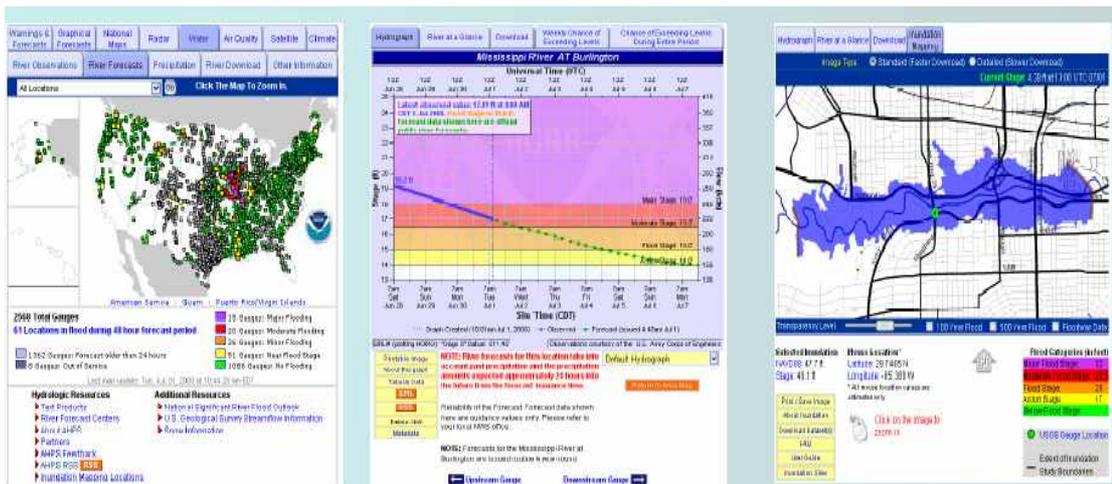
측정소	측정항목	측정빈도
지하수	- 지하수위, 수온, 기압, 비전도도	- 1시간
하천 (171개)	- 물리적 항목: 비전도도, pH, 수온, 탁도, 클로로필, DO 등 - 기상자료: 기온, 기압	- 실시간 - 15분~1시간간격
호수 (14개)		

- 실시간으로 기록된 수질정보와 기존 수질측정망에서 얻은 자료를 이용하여 통계적 연관성을 도출하기도 함
  - 실시간으로 측정하기 어려운 박테리아 농도, 아트라진(atrazine), 염화물, TN, TP 등의 통계적 상관관계를 얻음
- 실시간 수질 정보는 Total Maximum Daily Load(TMDL) 프로그램의 일부분으로써 다음과 같은 편익을 제공함
  - 상수원에서 높은 농도의 오염물질을 즉시 파악하고 수질측정 장소로 방문하는 것을 최적화하며 TMDL에 정확한 부하량을 산정하는데 도움을 줌
  - 용수수질에 영향을 미칠 수 있는 높은 농도의 오염물질이 발생 시 신속한 운영 전략을 세울 수 있도록 함
- (시사점)
  - 측정소가 하천, 호수, 지하수 등 광범위하게 위치하고 있음
  - 인공위성 통신을 통한 실시간 자료 전송과 DCPs를 통해 자립형 시스템 구축

2) KEI(2010), <http://waterdata.usgs.gov/ks/nwis/rt>

□ 하천예보센터(RFC; River Forecast Center)

- 미국 상무성(DOC) 및 미국해양대기관리처(NOAA) 산하 미국 기상청(NWS; National Weather Service)이 운영하며, 기상예보국과 협동하여 모든 하천에 모니터링 시스템을 구축, 실시간 수문예측자료 및 경보자료를 제공함
  - 1993년의 홍수를 계기로 디모인강(Des Moines river basin)을 테스트 사이트로 선정하여 시작함
  - 약 4,000여개 하천 지점별로 홍수예보와 시 관측 자료를 제공함
  - 다른 예보센터들과 서로 협력하여 수문예측 자료를 공유하고, 관계부서간의 협력하여 하천예보를 수행함
- 웹 기반의 하천 및 수문 예측 정보를 제공하는 홍수예보시스템(AHPS; Advanced Hydrologic Prediction Service)을 운영
  - 홍수 및 가뭄에 대비할 시간 확보 및 정확한 하천 예보 및 홍수 경보 등 정확한 정보를 제공하여 자연재해로 인한 인적·경제적 피해를 줄임
- (시사점)
  - 실시간 모니터링 시스템을 바탕으로 수문 예측 자료 및 홍수예보 시스템을 운영하여 자연재해로 인한 인적·경제적 피해를 줄임
  - 관계부서간 협력하여 하천예보를 수행함



[그림 2-3] 미국 홍수 예보 시스템

□ REON(River & Estuary Observatory Network) 프로젝트 (미국)<sup>3)</sup>

- 2008년부터 Beacon 연구소, IBM社, Clarkson University가 공동으로 추진 중인 최초의 USN기반 수중환경 실시간 모니터링 시범서비스
  - Beacon 연구소는 2009년 4월에 선진화된 모니터링 플랫폼 B1을 허드슨강 Denning's Point유역에 설치함
  - 2010년에는 GE社와의 협력을 통해 추가 기능을 갖춘 B2, B3 플랫폼을 Fort Edward, Schuylerville유역에 각각 설치하였음
  - 315마일 길이의 허드슨 강 전 구간에 5,000개가량의 센서, 로봇틱스, 컴퓨터생명공학 부품 및 장치로 이뤄진 네트워크를 구축할 예정
  - 강과 관련된 물리학적·화학적·생물학적 정보를 실시간으로 수집·분석하는 혁신적인 환경관리 시스템을 마련하여 환경을 보호하는 것이 목적임
  - 태양광발전 패널과 배터리를 이용해 플랫폼의 센서와 무선통신 시스템의 전원을 공급하는 에너지 자립형임
- 컴퓨터가 통제하는 자율 로봇틱 프로파일러(autonomous robotic profiler)에 의해 하천을 움직이며 분 단위로 수질정보를 획득하는 센서어레이를 구동시켜 각종 데이터를 수집
  - 플랫폼에 설치된 컴퓨터는 데이터를 수집하고 프로파일러에 적절한 명령을 내리며, 원격지에서 센서 어레이에 대한 프로그래밍이 가능함
- 데이터 수집 백본(backbone)은 다양한 유형의 센서로 구성된 분산 컴퓨팅 네트워크로 구현
  - 개별센서는 컴퓨터 칩을 내장하였으며 에너지 소비효율이 높은 통신 기능이 가능하도록 설계하였음
  - 약 100m 마다 센서를 배치하고 이들을 네트워크로 연결하여 온도, 수압, 염분, 탁도, 용존산소량 등 수질과 관련된 기본적 정보를 수집하여 실시간(분 단위)으로 전송함
- 시스템에 사용된 센서는 강의 정보를 종합적으로 탐지할 수 있도록 다양한 IT기술을 적용
  - 강바닥 형태와 침전물 형태를 알 수 있는 공명 이미지 기술, 엽록소 분포 등 생물학적 정보를 탐지할 수 있는 광학 기술 등이 사용됨

3) <http://www.bire.org/approach/reonoverview.php>, 방송통신위원회(2009)

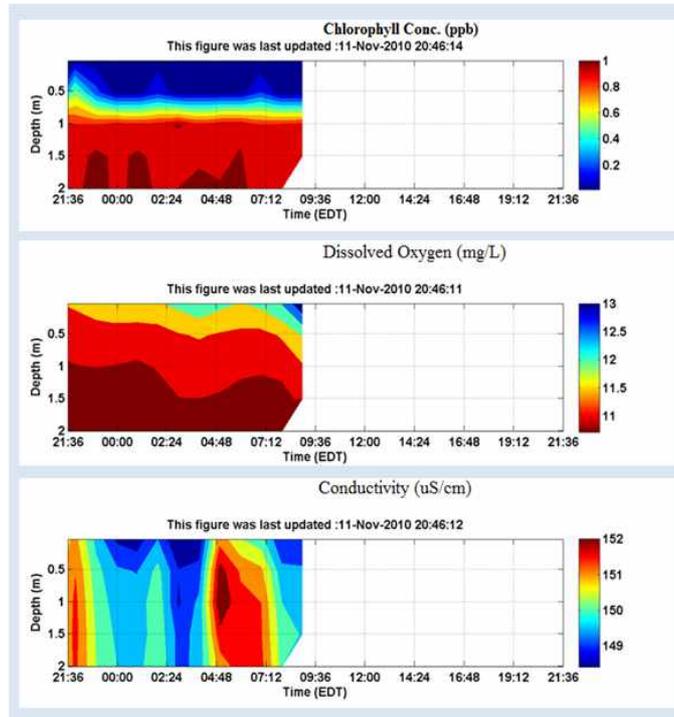
- IBM社는 본 프로젝트에서 고성능의 컴퓨터 시스템을 제공
  - 다수의 센서가 실시간으로 전달하는 데이터를 수집·처리하는 부분이 본 프로젝트 초기의 핵심 과제였음
  - IBM社는 다수의 정보원에서 수집되는 데이터를 분석·처리하는 속도를 높이고 의사결정의 정확도를 높이도록 설계된 ‘스트림 컴퓨팅(Stream Computing)’을 REON프로젝트에 최초로 적용함
- (시사점)
  - 태양광발전 장치와 너지 소비효율이 높은 통신기능을 도입하여 에너지 자립형 측정 장치를 구현함
  - 자율 로봇틱 프로파일러를 이용해 단일한 측정장치로 하천의 여러 영역을 측정할 수 있는 첨단기술 도입
  - 다수의 센서가 실시간으로 정보를 주고 받는 광역환경센서 네트워크 도입

<표 2-3> REON 프로젝트에 적용되는 주요 센서 기술 및 측정되는 정보

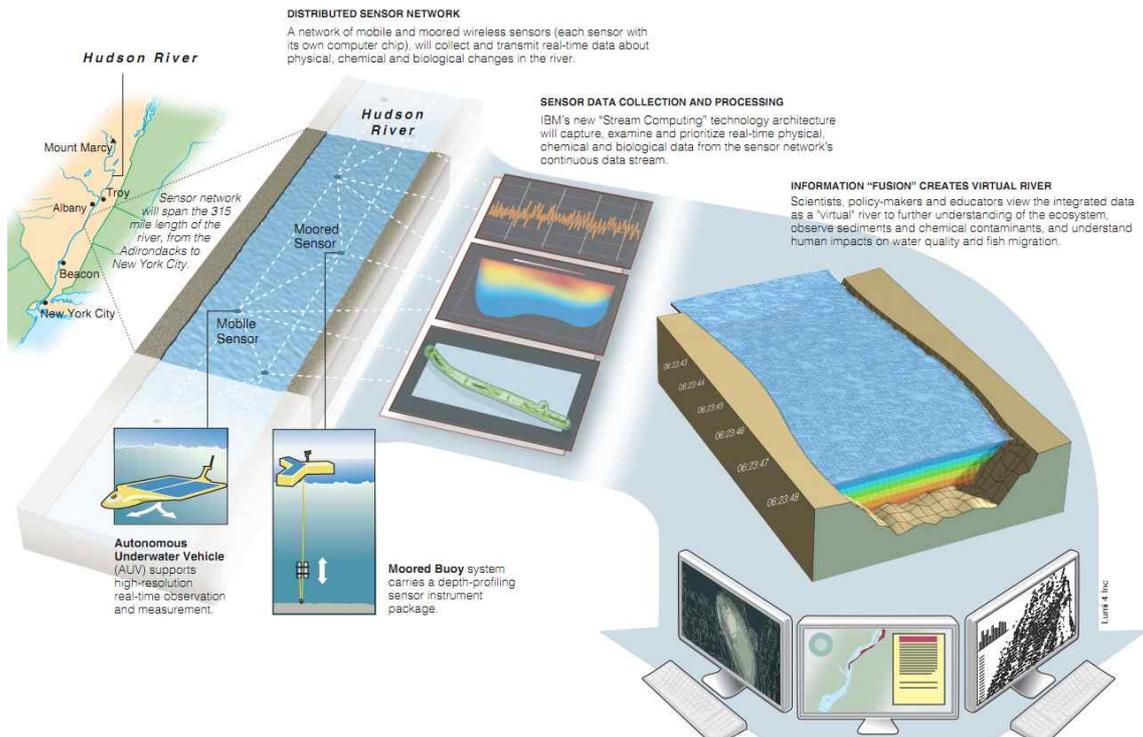
측정 장치 타입	상세 내용
Meterological sensors	- 강 유역의 풍향, 풍속, 기온, 기압을 측정
Acoustic Doppler Current Profiler(ADCP)	- 유량, 유속 등 물 관련 기본 정보 수집하는 고정형 센서 어레이
Computer controlled autonomous robotic profiler	- CTD: 염분 및 전기전도성, 온도, 수심 - LISST: 좁은 범위의 레이저를 쏘아 물에 있는 미세입자의 양과 퍼진 범위를 측정함 - FL3(Three-Channel Fluorimeter): 물속의 엽록소 농도를 측정하고 플루오레세인 등을 이용해 정확한 유속을 측정함



[그림 2-4] REON프로젝트 B2, B3 플랫폼



[그림 2-5] 클로로필, DO, 전도도의 수심별 측정 결과



[그림 2-6] REON 프로젝트의 개념도

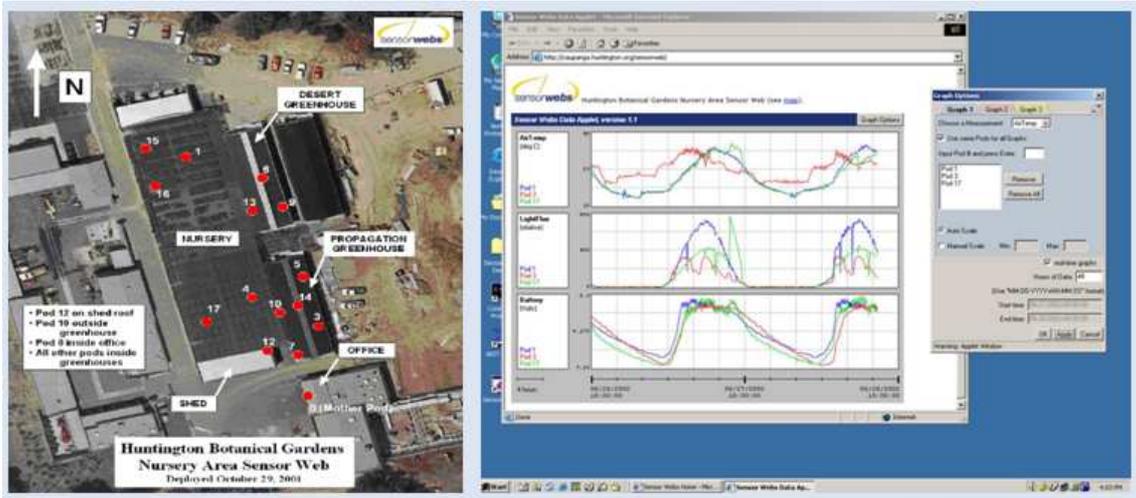
□ 캘리포니아 주 식물원 실내외 환경모니터링 시스템: BACK TO THE GARDEN<sup>4)</sup>

- NASA Jet Propulsion Lab(JPL)이 개발하여, 2002년 미국 캘리포니아 주 Huntington식물원에 적용한 인터넷을 통한 실시간 식물원 환경 모니터링 시스템
- 식물원의 온실 내부, 실외 종묘원, 수분 온실 4곳, 온실 지중에 태양열을 사용한 Sensor Web3을 설치함
  - 샌드위치 박스 크기의 소형의 센서를 이용해 네트워크를 구축하여 환경에 대한 정보를 공유(Sensor Web)함
  - Sensor Web3은 토양 온도 및 수분, 기온, 습도, 일사량, 산소량을 측정할 수 있는 센서들을 탑재하고 있음
  - 무선통신은 916MHz의 주파수를 사용하고 최대 150m의 통신 거리를 가지고 약 50x100m<sup>2</sup>의 지역을 관리하도록 배치함
  - 각 Sensor Web3의 센서 데이터들은 식물원 내 mother Sensor Web3으로 Ad-hoc을 통해 매 5분 간격으로 전송되고, mother Sensor Web3에 연결되어 있는 관리자의 PC에 센서 정보가 디스플레이 됨
- (시사점)
  - 태양열을 사용한 에너지 자립형 측정 장치 도입
  - 센서들간에 네트워크를 구축하여 환경에 대한 정보를 공유하여 실시간으로 온도, 수분, 산소량 등을 모니터링함



[그림 2-7] Sensor Web3

4) NASA Jet Propulsion Laboratory(<http://www.jpl.nasa.gov>), 한국농어촌공사(2010)



[그림 2-8] Sensor Web3 배치도와 디스플레이

#### □ On-farm Demonstration of a Wireless Mesh Network

- Purdue대학의 ACRE(Agronomy Center for Research and Education)이 무선랜을 기반으로 한 메쉬 네트워크(mesh network)를 통한 음성통신 시스템을 Field Day 농장에 적용함
  - 무선랜을 기반으로 하는 총 5개의 무선 노드로 구성되며, 최대 300m의 거리를 두고 농장에 설치함
  - Laptop1은 집에, Panel1을 유선 인터넷으로 인터넷 접속이 가능한 메인 오피스에, Panel2는 steel barn에, Relay1은 작은 창고 위의 난간에, Wagon1은 작은 트랙터에 설치함
  - 각 무선 노드들은 Mesh 네트워크를 적용함으로써 설치와 제거가 쉬워졌으며 WDS(Wireless Distribution System)을 통해 AP(Access Point)와 노드간의 전송거리가 증가됨
  - Laptop1에서 사용자의 음성 데이터가 발생하면 Panel1,2를 거쳐 Wagon1의 트랙터로 전달되고, Relay1을 통해 더욱 먼 거리로 음성 데이터가 전달되는 방식으로 음성 통신이 이루어짐
- (시사점) 무선 메쉬 네트워크를 도입하여 센서노드들이 그물처럼 이어져있으므로 한 연결이 끊어지더라도 다른 연결을 통해 통신할 수 있어 높은 네트워크 신뢰성을 가짐