

국외출장 결과보고서

소 속	담당부서	성 명
경기연구원	기후환경연구실	조영무
		한송희
		김수빈
용인특례시청	환경정책과	신정은
	수도시설과	고성옥
	생태하천과	박완진
충남연구원	물환경연구센터	김영일

목 차

I 목 적	1
II 출장 개요	1
III 주요 활동내용	3
1. Lake Erie Center	3
2. Collins Park Water Treatment Plant 정수장	6
3. University of Toledo 세미나	9
4. Lake Erie 수변구역	13
5. White River State Park	14
6. University of Illinois at Urbana-Champaign 세미나	16
7. Illinois Environmental Protection Agency 방문	18
8. Lake Michigan 수변구역	21
IV 시 사 점	23

I 목 적

- 정부의 『물관리 기본법』 시행에 따라 국가물관리기본계획 및 한강유역 물관리종합계획이 수립·시행되고 경기도 또한 상위계획에 맞춰 수자원의 안정적 확보 및 건강한 물생태 유지, 풍수해·가뭄에 효율적으로 대처하기 위한 물관리 기본계획이 수립 중 있음
- 이에 용인시는 상위계획에 부합되며 지역특성을 고려하고 실효성 있는 물관리 기본계획 수립이 필요하여 「용인시 통합 물관리 기본 조례」에 의거 기본계획을 수립하게 되었음
- 용인시는 팔당상수원과 같이 수자원 관리의 중요성을 지니고 유역을 비롯하여 도심화된 하천유역과 도농복합지역의 하천유역 등 각기 다른 특성을 지닌 세 개의 유역을 포함하고 있어, 각 유역특성을 반영한 실효성 높은 계획 수립이 필요
- 따라서 본 계획수립을 위해 해외 선진국에서 추진하고 있는 유역관리 정책을 살펴보고 용인시 유역 특성에 적합한 정책을 발굴하고자 미국 중부의 주요 수자원으로 활용되고 있는 미시건호와 이리호 유역의 수자원 관리정책을 살펴보기 위해 국외출장을 기획하였음

II 출장 개요

□ 기 간 : 2023. 09. 06(수) ~ 2023. 09. 15.(금)

□ 국 가 : 미국(미시건호 및 이리호 유역)

일 자	장 소	시 간	주요일정
9.6(수)	인천 시카고 털리도	10:40 09:25 12:00	○ 인천 국제공항 출발 ○ 미국 시카고 오헤어공항 도착 ○ 도시이동 : 시카고 출발, 털리도 도착
9.7(목)	털리도	09:00	○ Lake Erie Center 방문
9.8(금)	털리도	10:00 14:00	○ Collins Park Water Treatment Plant 방문 ○ 세미나 : University of Toledo
9.9(토)	털리도 인디애나폴리스	09:00 11:00	○ Lake Erie 수변구역 답사 ○ 도시이동 : 털리도 출발, 인디애나폴리스 도착
9.10(일)	인디애나폴리스 어반삼페인	10:00 14:00	○ 화이트리버 주립공원 ○ 도시이동 : 인디애나폴리스 출발, 어반삼페인 도착
9.11(월)	어반삼페인	14:00	○ 세미나 : University of Illinois Urbana-Champaign
9.12(화)	어반삼페인 시카고	10:00 14:00	○ Illinois Environmental Protection Agency 방문 ○ 도시이동 : 어반삼페인 출발, 시카고 도착
9.13(수)	시카고	10:00	○ Lake Michigan 수변구역 답사
9.14(목)	시카고	08:00	○ 시카고 오헤어공항 출발
9.15(금)	인천	14:30	○ 인천 국제공항 도착

□ 출장국가 개요

■ United States of America

- 인구 : 339,996,563명(2023년 기준)
- 위치 및 면적 : 수리적 위치는 북위 24도에서 48도, 서경 67도에서 125도선 안에 들어있으며 총면적은 9,831,510km²로 세계 3위에 해당함
- 행정구역 : 크게 연방, 주, 지방자치단체로 행정구역이 분할되어 있으며 연방 수준에서 50개의 주로 나누어져 각각의 주는 고유한 정부와 행정구역체계를 갖고 있음
 - 주요 도시로는 New York, Boston, Philadelphia, Miami, Chicago, Seattle, San Francisco, Los Angeles, San Diego 등이 있음
- 기후 : 지역에 따라 다양함. 미시시피강 서쪽은 대륙성 기후, 남부 태평양연안의 캘리포니아는 지중해성 기후, 북부 태평양연안의 오리건과 워싱턴주는 해양성기후, 로키산맥의 산악지대는 고산기후를 보임. 플로리다와 하와이는 열대기후, 남서부의 애리조나와 뉴멕시코는 사막 등 건조기후, 알래스카는 지리적으로 북극 기후를 갖고 있음
- 수자원 정책 : 미국의 수자원관리는 크게 연방정부, 주정부, 전문기관으로 분할되어 있음. 연방정부는 최상위계획을 수립 및 배분, 주정부는 정책 적용, 재난에 대비한 수자원정책수립, 전문기관(공병단)은 댐 개발, 하천관리, 수로 개선, 홍수피해규모예측, 기술적 지원, 전문기관(개척국)은 수자원 및 자연자원의 관리 및 개발, 전문기관(지질조사국)은 물이용 자료, 유역조사 및 유역정보제공, 기술개발, 전문기관(환경청)은 미국 내 수자원 관리를 환경 측면에서 규제, 운영 및 연구, 전문기관(테네시유역관리청)은 홍수피해 예방을 위한 개발 계획수립, 통합적 유역 개발업무, 전문기관(자연자원보호국)은 기상청과 함께 홍수예비경보시스템 운영을 맡고 있음

< 미국 출장지 현황 >



III 주요 활동내용

1. Lake Erie Center

- 일 시 : 2023. 09. 07(목)
- 장 소 : Lake Erie Center
- 주요내용 : 수질관리 정책
- 담당자 : Dr. Thomas Bridgeman

Thomas Bridgeman, PhD

LEC Director & Professor of Ecology
Thomas.Bridgeman@utoledo.edu
419-530-8373



**The University of Toledo
Lake Erie Center**

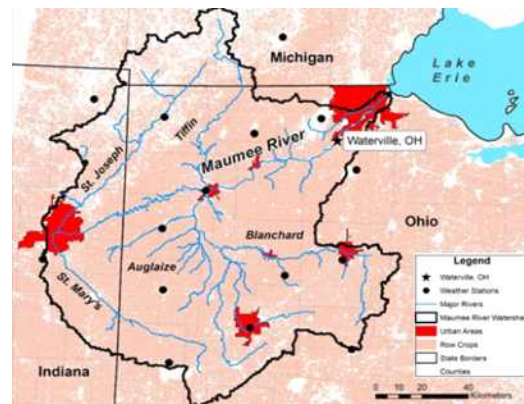
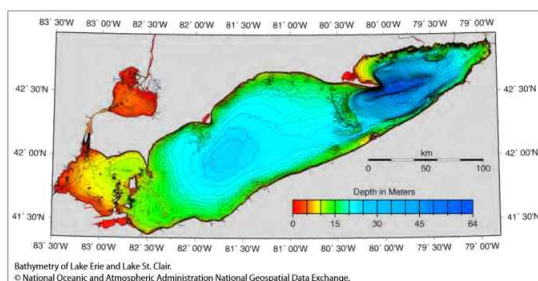
6200 Bayshore Road
Oregon, OH USA 43616

www.utoledo.edu/nsm/lec

○ 이리호 센터 개요

- 이리호는 5대호 중 가장 작은 호소임에도 불구하고 미국과 캐나다의 중소도시가 17개나 위치하여 약 1,200만 명의 시민들에게 음용수를 공급하는 취수원으로 이용되고 있으며, 관광과 어업 분야에서 1.5조 원의 부가가치와 12만 명의 일자리를 창출하는 중요한 수자원임
- 이리호 유역은 토양이 비옥하여 농경이 발달된 지역으로 유역의 토지이용 현황을 살펴보면 농경지가 67%, 도심지역이 10%, 산림 21%, 기타 1%로¹⁾ 대부분이 경작지가 차지하고 있어, 호소로 유입되는 오염부하량의 대부분이 비점오염원에서 기여
- 이리호는 크게 동서·중앙부로 구분되며, 호소의 동쪽지역은 수심이 10m 미만으로 매우 낮고, 중앙지역은 15 ~ 23m, 서쪽은 호소 가장자리를 제외하고 45m 이상의 깊은 수심을 확보하고 있으며, 호소로 유입되는 유량의 대부분은 상류의 Huron 호에서 유입되고 일부는 Maumee강에서 유입됨
- 이리호로 유입되는 오염부하량은 이리호 동부에 위치한 Maumee강 유역에서 유입되는 비점오염 물질들로 이로 인해 매년 녹조는 수심이 낮은 이리호 동부에서부터 발생되기 시작해 중앙부까지 확산되는 현상을 보이고 있음

< Erie Lake 수심분포 및 Maumee강 유역 현황 >



1) EPA(1995). "The Great Lake", An Environmental Atlas and Resource Book.

- 톨리도 대학교(Toledo University)는 이리호 인근에 위치하고 있어 지역경제에 중요한 위치를 차지하고 있는 이리호 연관된 다양한 분야의 연구를 지속적으로 진행하고 있으며, 1988년 10월 유해 녹조(harmful algal toxins, HABs), 외래종 및 수질관리 등 이리호가 직면한 수질 문제를 해결하고자 Lake Erie Center를 설립하였음
- Lake Erie Center의 주요 연구는 HABs의 거동분석을 비롯하여 2014년 발생한 ‘음용수 내 조류 독성물질(microcystins) 사건’으로 HASs에 대한 다양한 연구를 진행하고 있으며, 식생 및 토종 어류 보호를 위한 연구, 이리호 수질관리 방안 등 이리호의 수자원 가치를 보전하기 위한 연구를 진행하고 있음
- 특히 호소학 연구실에서는 오염물질이 유입되는 Maumee강 유역과 이리호 동쪽 지역에 대해 2002년부터 주기적인 수질 모니터링을 통하여 호소 수질관리를 위한 정책방안 등 가이드라인을 수립해오고 있으며, 수생태학 연구실에서는 어류 및 무척추 생물, 수생 생물의 서식지, 외래종 등에 초점을 맞추어 수생생물과 서식지의 보존·관리를 목표로 연구를 진행하고 있음
- 이리호 센터는 2014년 발생한 급수대란 이후 Buoy를 이용한 자동측정장치와 시료채취를 통해 이리호 모니터링을 진행하고 있음. Buoy를 이용한 수질측정장치는 전기전도도, 탁도, 클로로필-a 등을 분석하고, 시료채취를 통한 모니터링은 각 연구기관에서 수행하고 있고 TSS, 질소, 총인, 조류 등의 분석을 통해 취수원의 수질 현황을 분석하고 있음

< Erie Lake의 수질모니터링 장치인 Buoy와 측정 위치 >



- 이리호 센터에서 분석한 모니터링 정보는 아래의 홈페이지 등에 공개되고 있음
 - <https://limno.io> : 이리호와 미시건호의 날씨, 수질, 해류를 확인할 수 있고, 호소, 매개변수, 취수원을 선택하여 실시간 호소 수질의 정보를 확인할 수 있음
 - <https://ncwqr.org> : HTLP 데이터 포털을 통해 모니터링 및 데이터 분석을 진행
 - <https://coastalscience.noaa.gov> : 미국 해안 및 호소지역의 조류 번식, 모니터링, 정량화에 시스템을 사용하며 HABs가 퍼지는 형태를 모니터링 할 수 있음
 - <https://www.glerl.noaa.gov> : 물이 흐르는 흐름을 고려하여 모니터링을 진행할 수 있음

○ 질의응답

Q. 이리호는 유역 대부분이 농경지대로 비점오염원에 의한 오염물질이 다량 유입되고 있고, 매년 장시간 녹조가 대량증식·사멸이 반복되며, 호소의 체류시간이 약 2년 이상으로 매우 길어 호소 내 퇴적물이 많이 발생되는데 이에 대한 관리는 어떻게 하는지 ?

A. 호소 유입부, 즉 Maumee강이 유입되는 지역이나, 이리호 동쪽은 수심이 낮아 입자상물질이 침강·퇴적하는 지역임. 이리호는 중·대규모의 화물선이 운행하므로 퇴적물로 인해 화물선 운항이 어려워 매년 정기적인 준설을 통해 수로를 확보하고 있으며, 수심이 깊은 중앙부나 서쪽은 퇴적물 준설을 하지 않고 있음. 또한 준설된 퇴적물은 오염된 경우 매립을 통해 처리하고 있음

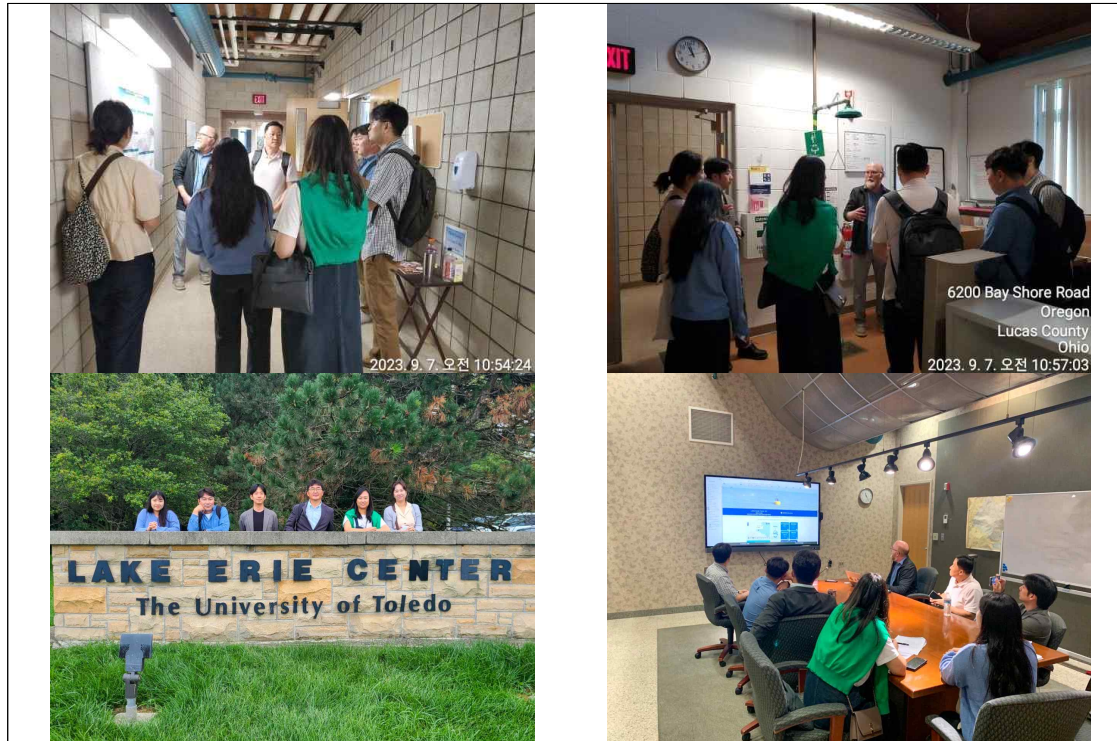
Q. Lake Erie Center는 다양한 분야의 연구를 진행하고 있으며, 연구진이 인원이 많아 센터 운영에 많은 예산이 소요되고 있는데, 센터 운영에 필요한 예산은 어디에서 지원되고 있는지 ?

A. 센터 소속원은 톨레도 대학 소속 교수와 학생, 지원인원으로 각 연구의 책임자로 있는 교수들은 학교에서 지급되는 급여로 인건비를 지급하고 있으며, 각 연구에 소요되는 경비(연구비), 즉 인건비(참여 인력) 및 연구지원비는 오하이오 EPA에서 주로 펀드를 제공하며 각 사안에 따라 톨리도시에서도 지원하고 있음

Q. 2014년 발생한 음용수 내 조류 독성물질(Microcystins)로 호소 수질모니터링에 대한 많은 변화가 있었을 것 같은데, 현재는 HABs에 대한 모니터링은 어떻게 하고 있는지 ?

A. 이리호는 수질관리 목적으로 2000년대 초반부터 호소가 결빙되지 않는 시기(4월 ~ 10월)에 주기적으로 수질 모니터링을 실시하였으나, 2014년 음용수 독성물질 사건 이후 자동측정망을 설치하여 실시간으로 수질을 모니터링하고 있으며, 이들 자료는 톨리도시 홈페이지에 게시하여 시민 모두가 확인할 수 있도록 하였으며, 또한 수돗물을 생산하는 정수장에도 실시간 자료를 제공함으로써 정수장에서 안전한 수돗물을 생산할 수 있도록 체계를 갖추었음

< Lake Erie Center 방문 사진 >



2. Collins Park Water Treatment Plant 정수장

- 일 시 : 2023. 09. 08(금)
- 장 소 : Collins Park Water Treatment Plant
- 주요내용 : Toledo 시 정수처리기술
- 담당자 : Jeff Martin

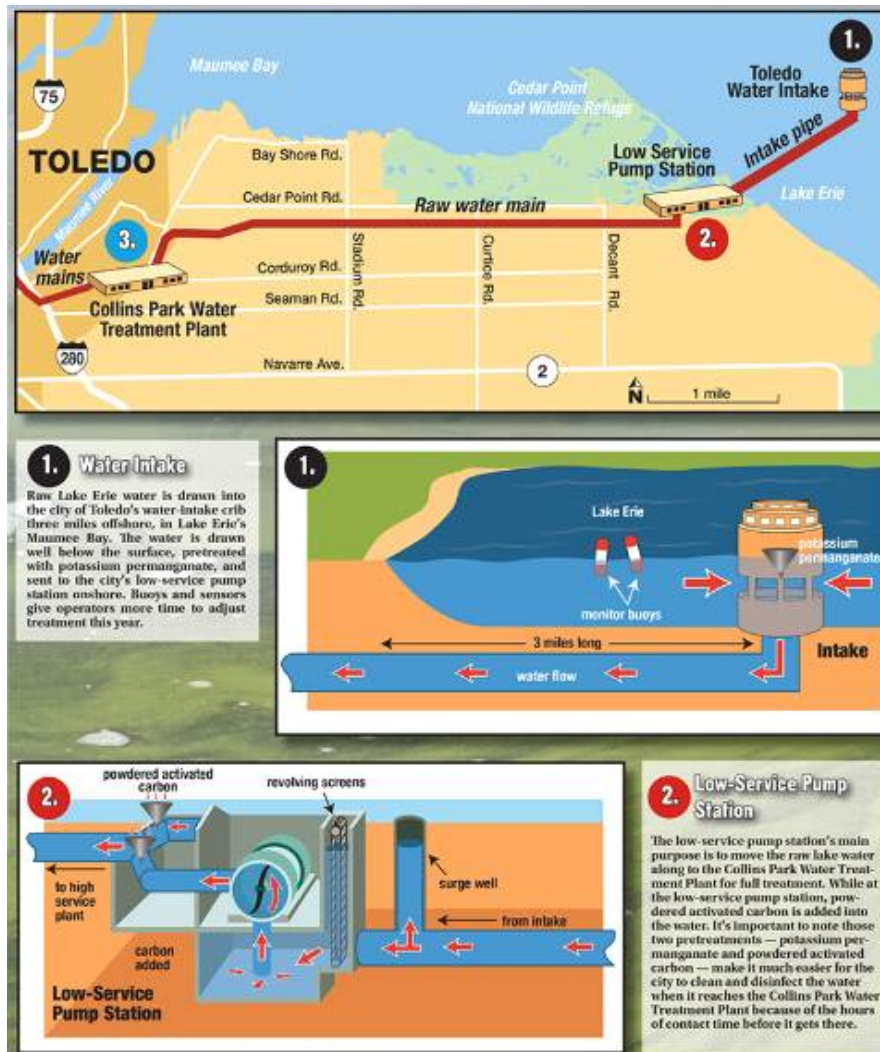


Jeff Martin
Chief Chemist
Water Treatment
jeff.martin@toledo.oh.gov
office 419-245-1717
cell 419-392-5708
fax 419-245-1738
3040 York Street
Toledo, Ohio 43605
toledo.oh.gov

○ Collins Park Water Treatment Plant 개요 및 처리과정

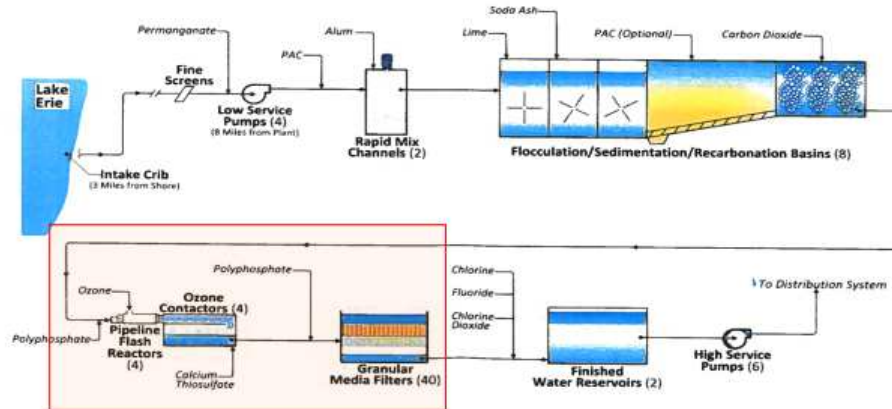
- Toledo 시 주 정수처리시설인 Collins Park 정수장은 톨리도 시민뿐만 아니라 주변지역에 안전한 용수공급을 위해 주정부로부터 지원금을 받아 1941년에 80 MGD의 시설용량으로 건설되었음
- 디트로이트주와 인접한 톨레도시 특성상 제조시설들이 유입되고 점차 도시가 확장함에 따라 용수 수요량이 증가하게 되어 1956년 정수장의 시설용량을 120 MGD로 증설하게 되어 1단계로 건설된 정수처리시설은 80 MGD ~ 100 MGD까지 용수생산이 가능하며, 2단계로 건설된 40 MGD 시설은 최대 50 MGD까지 용수생산이 가능하여 일일 최대 용수생산량은 150 MG까지 가능
- Collins Park WTP의 취수구는 Reno 해변에서 북동쪽으로 3 mile 이격된 곳에 위치하며, 취수구에서 관로를 통하여 자연유하로 지상의 가압펌프장으로 이송하며, 이때 과망간산칼륨(KMnO₄)을 함께 주입하여 조개류·어패류를 제거하고 있음

< 원수 이송 현황 >



- 2014년 음용수 대란이 발생되기 이전까지 정수처리공정은 국내에서와 같이 일반적인 정수처리공정으로 운영되었으나, 음용수 사건으로 도수관로를 비롯하여 정수처리시설 고도화(오존산화 + 생물활성탄)에 5억\$ 정도의 예산을 투입하여 현재의 시설을 운영 중에 있음
- 아래 그림에서와 같이 정수처리시설의 공정은 원수가 처리시설로 이송되어진 후 화학응집 및 연수화침전공정을 거치고, 오존산화, 활성탄 흡착탑 거쳐 염소소독 공정으로 구성됨
- 정수처리과정에서 국내와 차이점은 녹조발생으로 pH 저하에 대하여 pH 조정제로 Soda Ash를 주입하고 있으며, 활성탄 흡착탑에서 국내는 단순히 흡착기능을 수행하는 반면 Collins Park 정수장에서 BAC(biological activated carbon)을 적용하여 오염물질 제어 및 운영의 효율성을 높이고 있음
- 또한 음용수 대란을 거치면서 미량유해물질에 대한 분석 및 정수처리공정의 실시간 제어를 위한 기반시설이 갖춰져 있고, 이를 통해 정수장 수질관리가 톨리도시정부에서 운영하는 웹사이트에 게시되어 시민들이 안전하게 음용할 수 있도록 하고 있음

< Collins Park 정수장 처리 공정도 >



○ 질의응답

Q. 최근 도입한 고도정수처리시설(오존산화 + BAC공정)의 운영에 있어 녹조가 과잉번식하는 시기에는 고도정수처리시설을 운영하여야 하나 동절기의 경우에 시설 운영은 어떻게 하는지 ?

A. 녹조발생이 우려되는 시기에는 고도처리시설 전체를 운영하고 있으나, 호소가 결빙되는 동절기에는 Flocculation/sedimentation/recarbonation 공정에서 처리된 물을 by-pass 관로를 통해 오존산화공정을 거치지 않고 활성탄 흡착공정으로 유입하여 운영의 효율성을 가져가고 있음. 또한 시설 운영의 효율성을 높이기 위하여 폐수처리시설에서 발생한 상등수는 다시 재이용할 수 있도록 유입부로 반송하여 용수를 생산하고 있음.

< Collins Park Water Treatment Plant 정수장 방문 사진 >



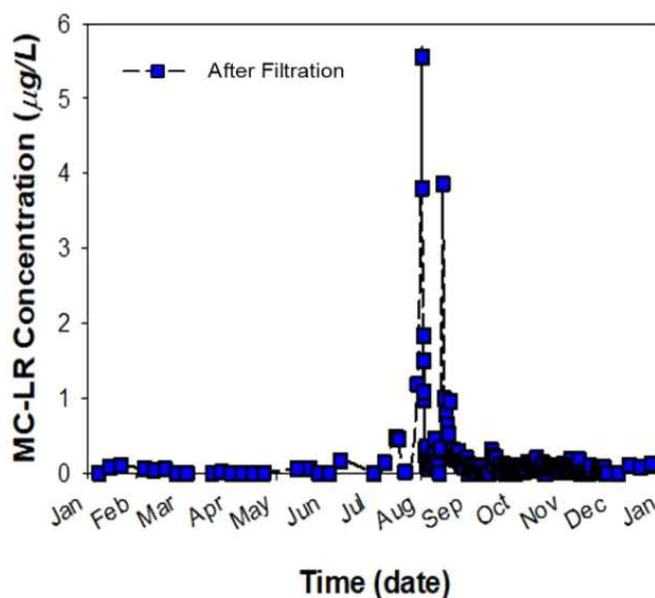
3. University of Toledo 세미나

- 일 시 : 2023. 09. 08(금) 14:00
- 장 소 : University of Toledo
- 발표주제 : 미국 오하이오주의 녹조관리 및 연구동향
- 발 제 자 : YoungWoo Seo 교수
- 주요내용

○ 오하이오주 이리호(Lake Erie)의 음용수 대란(water crisis)

- 이리호는 오하이오주를 포함하여 북미 대륙의 12백만 인구에게 음용수를 제공하는 5대호 중 하나이나, 남조류 중 하나에 속하는 Microcystis의 대량 번식으로 부영양화 문제가 지속해서 발생하고 있으며, 이로 인해 2014년에는 음용수 대란이 일어난 사례가 있음
- 당시(2014.08.02.) Toledo 시 정수장 처리수 내 Microcystis 독성물질인 Microcystin-LR의 농도가 약 $3\sim 5\mu\text{g/L}$ 를 초과하였는데 이는 WHO 권고 기준인 $1\mu\text{g/L}$ 를 크게 초과하는 수준이며, 그 결과 500,000명 주민들에 대한 수돗물 공급이 중단됨
- 수돗물 공급 중단으로 많은 상점들의 영업활동이 중단되었고, 특히 의료산업이 특화된 Toledo 시의 병원 운영이 어려워지면서 1년간 총 \$4,000,000의 막대한 경제적 손실이 발생함

< 2014년 음용수 대란 시 Toledo 정수장의 여과처리시설 유출수 내 - Microcystin-LR 농도 >



○ 오하이오주 환경보호국(Ohio EPA)의 녹조 대응 방안

- 음용수 대란 이전까지 조류 독성물질에 대한 규제농도가 설정되어있지 않았고, 현재까지도 미연

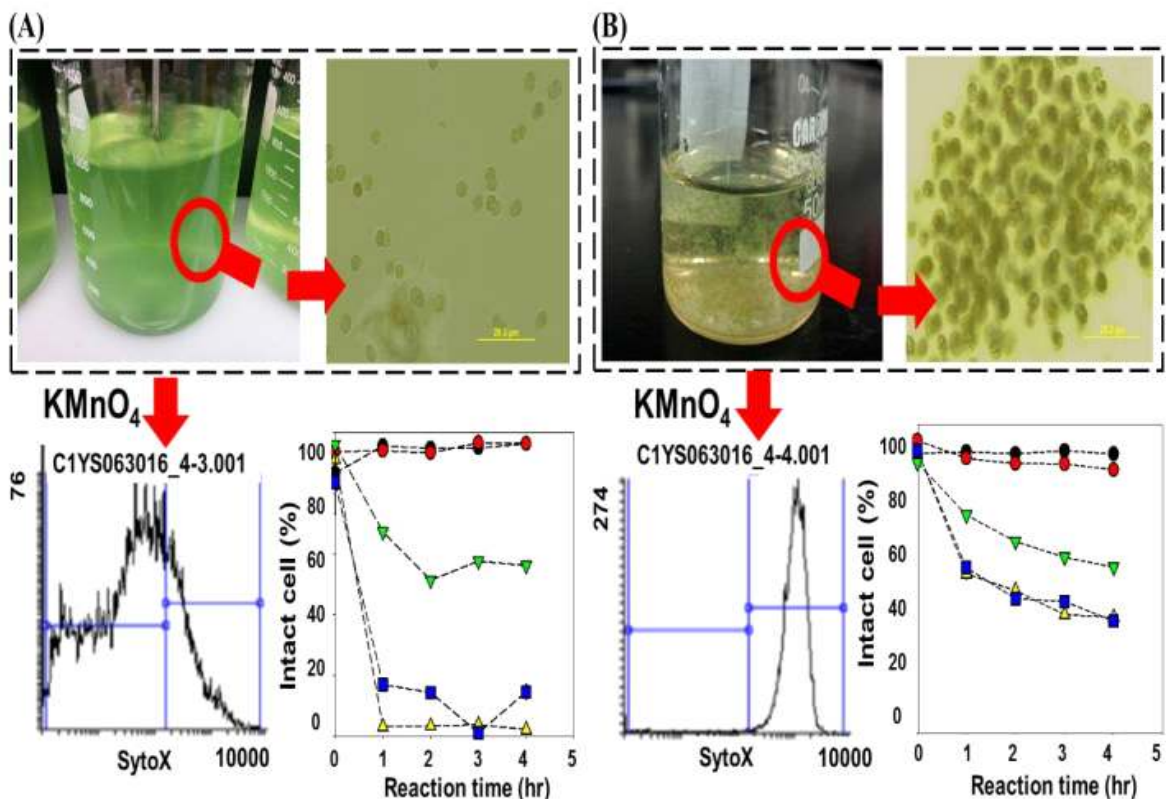
방환경국(USEPA)에서는 권고 농도 외에 법률적 규제농도를 규정하지 않은 상황이나, 2020년 오하오이오주 환경보호국이 조류 독성물질에 대한 농도기준을 자체적으로 설정하였음

- 또한 qPCR(quantitative polymerase chain reation) 기법을 활용하여 정기적으로 조류 독성물질을 스크리닝함으로써 위해성이 감지되는 경우, 조기경보를 발령하는 녹조 대응 방안을 마련함
- 오하오이오주 환경보호국은 관련 웹사이트를 통해 지표수와 정수장의 조류 독성물질 및 수돗물의 품질에 대한 정보를 주민들과 상시 공유함으로써 지역 수돗물에 대한 신뢰도를 높이하고자 함

○ 녹조 및 독성물질 제거를 위한 정수장 개선 노력

- 음용 대란 이후 Toledo 시 Collins Park 정수장의 처리수 내 독성물질 제거를 위한 단기 대책으로서 정수처리 시 과망간산염과 분말활성탄(PAC)의 주입량을 증가시켰을 뿐 아니라, 취수탑 주변에 부위를 설치하여 녹조 거동을 모니터링함으로써 실시간 정수장의 대처가 가능하도록 매뉴얼을 마련하였음
- 장기 대책으로는 정수장의 전면 개량 사업을 추진하였으며, 이를 통해 기존 화학응집침전시설에 오존산화처리시설을 도입함으로써 녹조에서 발생하는 AOM(algal organic matter)을 제어하고자 하였고, 또한 오존산화처리시설에서 산화된 부산물을 제거하기 위한 목적으로 후단 공정에 입상활성탄(GAC)을 적용함

< 과망간산칼륨을 적용한 AOM 제거 결과 >

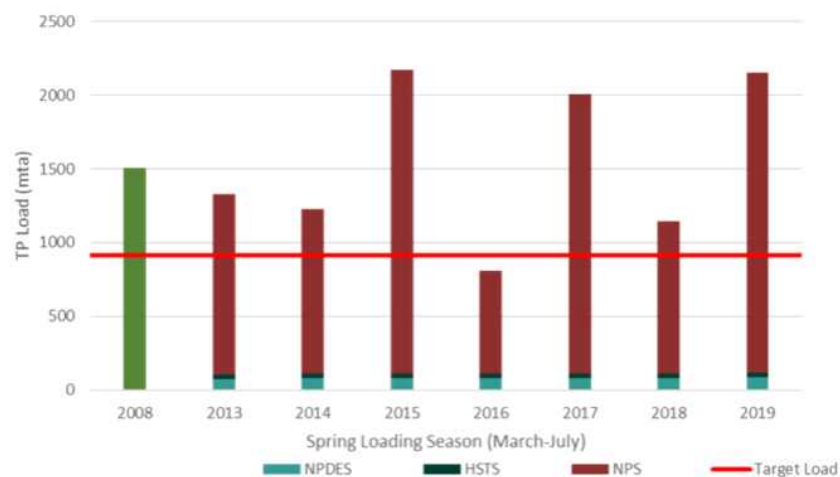


- 일 시 : 2023. 09. 08(금) 15:00
- 장 소 : University of Toledo
- 발표주제 : Nutrient control in the Western Lake Erie Basin
- 발 제 자 : DaeWook Kang 교수
- 주요내용

○ 이리호 수질관리를 위해 오하이오주 영양염류 배출 현황

- Maumee 강이 흐르는 이리호의 Western basin은 농경이 발달되어 있어 Maumee 유역의 집수구역 내 경작지 비율이 67%를 차지함. 그 결과 많은 부유물질과 영양염류가 Maumee 강을 통해 이리호로 유입되며, 특히 이리호 서쪽은 수심이 낮아 조류 대량 번식에 유리한 조건을 갖추고 있음
- 영양염류의 배출원은 NPDES(Point Source : 하수처리시설), NPS(비점 유출), HSTS(개인하수처리 시설) 3가지로 구분되며, 이 중 NPS가 대부분을 차지하고 있어 NPS 규제방안에 마련이 필요한 상황임

< Maumee 강의 배출원별 인 부하량 변화 >



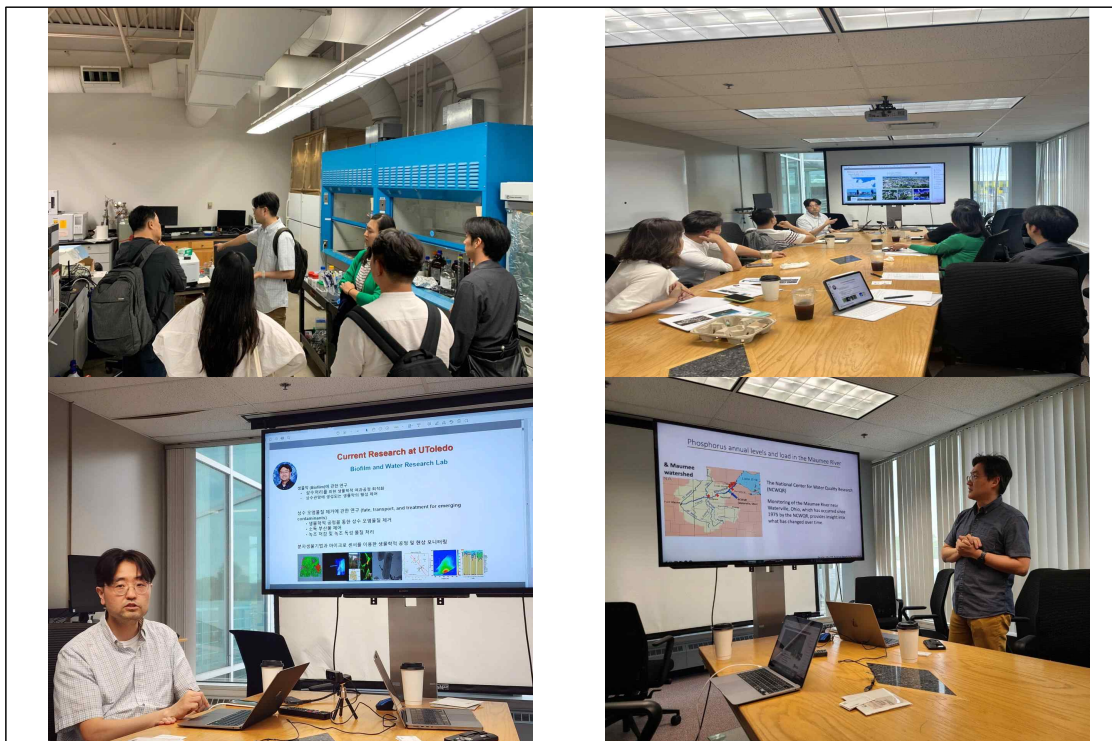
- 영양염류 중 질소보다는 인이 녹조 발생에 더 크게 기여하고 있는데, 특히 오하이오주의 경우 화학비료보다 유기농 비료의 사용이 더 많아 강우 시 Maumee 유역의 인 배출량이 증가하였을 뿐 아니라, 강우량 또한 점차 증가하여 인 부하 증가에 영향을 미침
- 오하이오 환경보호국은 NPS에 대한 연간 수계 배출 부하량을 11,208톤에서 442톤으로 저감하는 것을 목표로 설정하고 이를 달성하기 위해 다양한 규제를 시행하고 있으며, 특히 TMDL(Total Maximum Daily Loads) 제도 추진을 통해 인을 관리하고 있음

- 대표적인 점 오염원에는 하수처리시설이 해당하나 인 부하 관리가 적절히 이루어지고 있어 하수처리시설에 대한 추가적인 규제가 요구되지는 않는 상황임. 또한 질소의 경우 인에 비해 상대적으로 그 영향이 크지 않으나, 질산화로 발생하는 질소 제거를 위해서는 하수처리장에 BNR(Biological Nutrient Removal) 공법 도입이 필요함

○ 질의응답

- Q. 발생하는 하수 성상 중 질소성분의 함량이 우리나라에 비하여 낮은 수준인데, 하수처리시설에서 질소제거가 이뤄지지 않을 경우 방류수역인 이리호의 녹조발생에 크게 기여하므로 하수처리시설에서 BNR 공정의 도입이 필요할 것 같은데 어떻게 생각하는지 ?
- A. 방류수역인 이리호의 부영양화에 질소부하량은 큰 영향을 미치는 것이 사실이나 동절기 수온(기온 영하 30℃)저하에 따른 영향으로 질소제거에 어려움이 발생됨. 생물학적 질소제거를 위해서는 반응조 수온을 10℃이상으로 유지시켜야 하는데, 이를 해결하기 위해서는 상상치 못할 정도의 에너지가 필요하여 재정부담으로 작용하여, 녹조발생에 주 인자인 인에 대하여 보다 철저히 관리하고 있음
- Q. 한국은 비점오염원에서 유출되는 오염부하량 저감을 위하여 ‘양분관리제’ 도입을 검토하는데, 경작지가 많은 오하이오의 경우 토양 양분관리에 어떻게 하고 있는지 ?
- A. 톨레도시의 경우 Fertilizer/Crop removal P_2O_5 비율이 1보다 낮으며 점차 감소하는 추세를 보임. 이는 주정부에서 지속적인 홍보를 통해 농가에서 적정 시비량을 투입하고 있으며, 이를 통해 토양양분도는 그리 높지 않은 수준

< University of Toledo 방문 사진 >



4. Lake Erie 수변구역

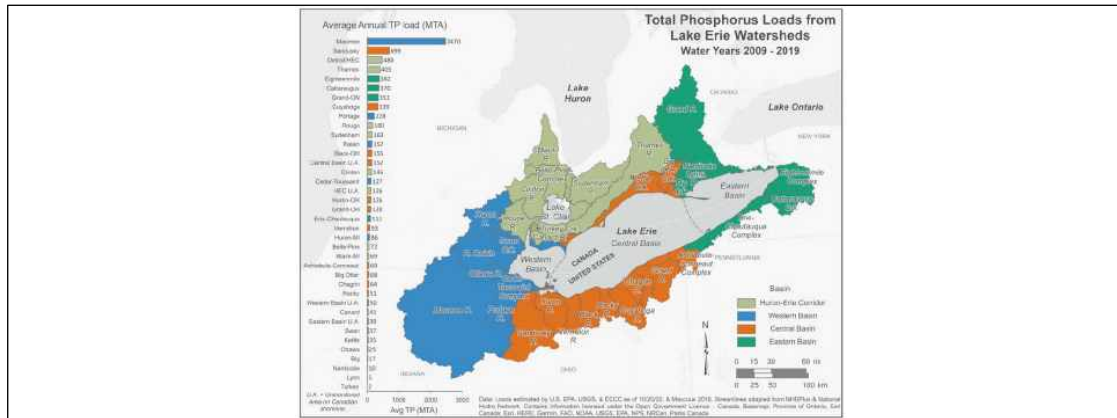
- 일 시 : 2023. 09. 09(토)
- 장 소 : Lake Erie 수변구역
- 주요내용 : 수변구역 답사

■ 호수표면적 : 25,744km ²	■ 수량 : 480km ³	■ 집수면적 : 78,769km ²
■ 호수너비 : 92km	■ 호수둘레 : 388km	■ 최대수심 : 64m

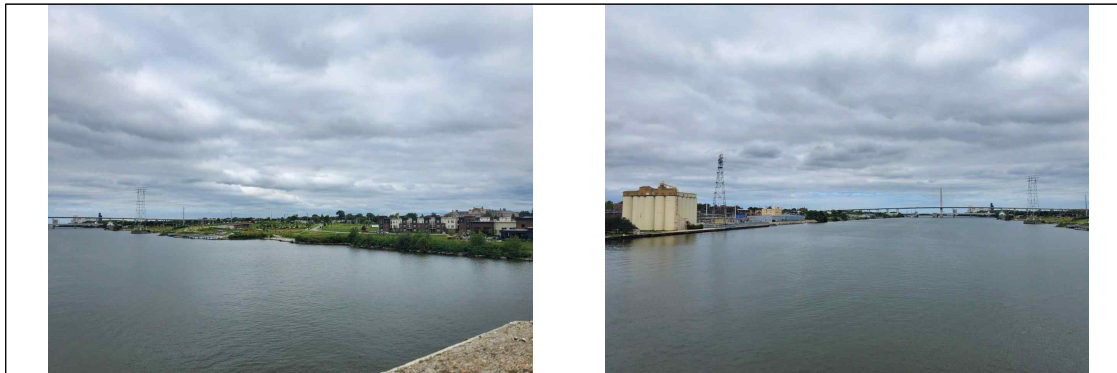
○ Lake Erie 개요

- 이리호는 5대호 중 하나로 미국과 캐나다의 상수원으로 이용될 뿐만 아니라 중요한 산업자원에 해당함. 자연적·경제적·휴양적 가치를 제공하고 1,100만 명의 시민들에게 음용수를 공급함
- 표면적은 25,744km²로 북미 6대 호수 중 표면적으로는 10번째로 큰 호수이며, 호수 너비는 92km, 둘레는 388km, 최대수심은 64m임
- 이리호는 많은 종의 물고기와 야생동물에게 먹이 및 안전한 피난처 제공을 통한 생물다양성 및 레저, 낚시 등 관광을 즐길 수 있는 관광명소 등 중요한 역할을 함
- 이리호 주변인 Maumee 강 유역의 토지 면적 대부분은 농경지이며 비점오염원(도시 및 농업)에서 유출되는 다량의 영양염류로 매년 녹조가 발생. 특히 2014년 이리호 녹조가 대량 증식에 의해 독성물질로 인한 물 문제가 발생하여 음용수 공급 중단이라는 물 문제 발생
- 미국과 캐나다는 이리호의 수질개선 및 보전을 위하여 GLWQA(Great Lakes Water Quality Agreement) 협약을 체결하고 사업 우선순위를 선정한 후 많은 예산을 투입하여 수질개선 사업을 추진 중
- 또한 이리호는 Ohio EPA에서 관리하고 있으며 Ohio EPA를 비롯한 톨레도시에서는 이리호의 대표적인 유입 오염원인 Maumee 강의 수질개선을 위해 45개의 하수관거 분류식 사업 추진, 2020년까지 매년 650,000,000갤런의 미처리된 하수를 80%로 줄이기 위해 노력하고 있음
- 이리호 수질관리의 주된 목표는 녹조발생을 제어하는 것으로 주요 오염물질인 인관리를 위해 수질오염총량관리제(TMDL, total maximum daily load)를 도입시행하고 있음
- 또한 이리호 호소 주변으로 수변공원과 같은 친수공간을 확보하여 시민들에게 쾌적한 공간을 제공하고 있으며 비점오염물질들을 일차적으로 차단할 수 있는 저류지 및 비오톱을 설치하여 호소로 유입되는 오염물질들을 적극적으로 제어하고 있어 수질개선에 기여하고 있음
- 또한, 수변공간을 생태적으로 조성함으로써 수많은 생물종에게 생태계 먹이사슬 유지, 서식처 제공 등 다양한 기능을 수행하고 있음

< Lake Erie Watershed >



< Lake Erie 수변구역 방문 사진 >



5. White River State Park

- ☐ 일 시 : 2023. 09. 10(일)
- ☐ 장 소 : White River State Park 수변구역 답사
- ☐ 주요내용 : 수변구역 답사

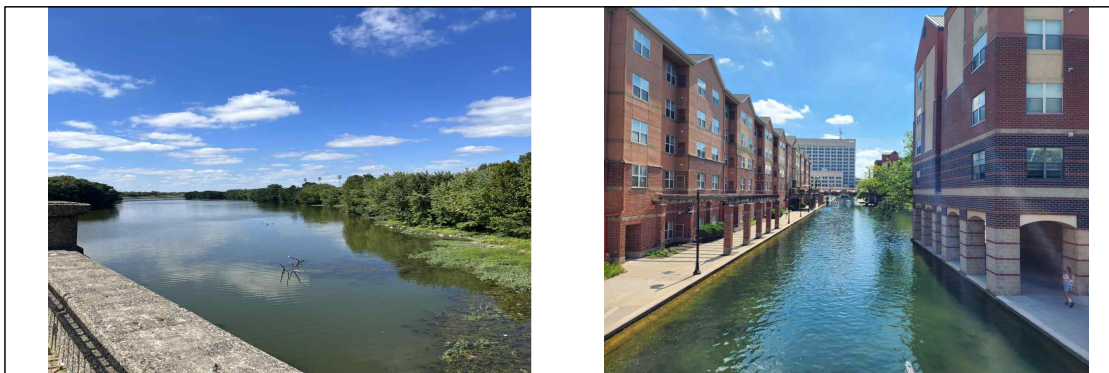
○ White River State Park 개요

- 화이트 리버 주립공원은 인디애나주 인디애나폴리스 시내에 있는 미국 유일의 도시공원으로 267 에이커에 달하는 부지에 공공장소와 세계적 수준의 명소로 가득한 공원임
- 이 지역은 1980년대 후반 인디애나 중앙 운하에 관심이 생기며 복원이 시작되었음. 복원 이후 도시 내 문화 중심지로의 기능을 하게 됨
- 화이트 리버 주립공원은 10명의 위원으로 구성된 준정부 위원회인 화이트 리버 주립공원 개발 위원회의 후원하에 인디애나 주가 소유하고 있음
- 화이트 리버 주립공원에 있는 pumping station은 1870년에서 1969년 사이에 인디애나폴리스 워

터 컴퍼니의 물 펌프장으로 사용되어 인디애나폴리스의 많은 지역에 최초의 가압수와 식수를 제공하였으나 현재는 운하가 폐지됨에 따라 화이트 리버 주립공원 방문자 센터 등 다양한 목적으로 사용됨

- 공원 중간에 위치한 캐널워크(Canal Walk)는 화이트 리버 주립공원에서 인디애나주 인디애나폴리스의 3번까지 이어지며 11마일 길이의 루프임
- 캐널워크를 중심으로 상점, 주거단지, 공원 등 복합주거공간을 조성하여 휴식과 안정에 도움을 주며 휴식 공간으로 활용하기에 적합한 곳으로 친수활용에 적합하여 도시환경을 개선하고 삶의 질을 증진시키는 역할을 함
- 수변공간에 대한 새로운 인식이 형성되고 있으며 수변이라는 자연적인 가치를 활용하여 기존 도심과 차별되는 거주, 상업, 레저, 문화공간 등을 제공하여 지역경제 활성화에 기여할 수 있음
- 캐널시티는 오수와 우수가 분리된 분류식 하수도로 오수관리 시스템이 구축되어 있어 수질관리가 되고 있고 빗물 관리 등 도시 침수 피해를 줄여줌.
- 또한 도심에 위치하여 도심의 열섬 현상을 해소하여 탄소 에너지 배출을 줄여주는 역할을 함
- 저영향개발(LID) 개념을 도입하여 지표수, 지하수 재이용하여 건전한 물순환 및 고효율 에너지 체계를 가진 환경친화적인 수변도시로 개발하여 주변 수변공간을 레저, 휴식, 여가활동 등 다양한 친수활동을 위한 공간으로 활용할 필요가 있음

< White River State Park 방문 사진 >



6. University of Illinois at Urbana-Champaign 세미나

- ☐ 일 시 : 2023. 09. 11(월) 14:00
- ☐ 장 소 : Champaign Public Library
- ☐ 발표주제 : 물순환과 관련한 각국 LID 정책 및 사례 비교
- ☐ 발 제 자 : SoonHo Hwang 박사
- ☐ 주요내용

○ 도시 물순환 관리 배경 및 필요성

- 물순환 왜곡을 정의하면 표면유출량 증가, 기저유출량 감소, 강우유출량 증가, 유속 증가로 표현이 가능하며 결국 유출성분의 비율이 변화하는 것을 물순환이라고 표현
- 소규모 특정지역을 한정하는 경우에는 지역의 물순환이 변하여 물순환 왜곡이 발생
- 물순환 관리의 목표는 빗물 관리를 통해 유출량 저감뿐만 아니라 CSOs를 줄이는 것임. 표면유출량 증가 시 하수처리장의 유입량도 증가하고 월류 시 하천의 오염을 야기하여 수질관리 측면에서 CSO를 감소시키는 것도 고민할 필요가 있음. 또한 도시 침수 피해를 줄이는 것도 하나의 목표임

○ 국외 물순환 관리 사례

(1) 독일

- 빗물을 핵심적으로 관리하기 위해 녹색지붕을 사용함. 연방정부와 주정부의 역할을 구분하며 연방정부는 전체적인 컨트롤 역할, 주정부는 인센티브 제공 등의 역할을 함
- 물관리 정책목표는 분산형 빗물 관리이며 인센티브 제도로 잘 구축됨. 인센티브로 LID 녹색지붕 설치 시 우수세 감면 또는 빗물 유출 방지 기여도에 따라 일부 감면받는 제도를 도입
- 물관리 정책의 장애요인으로 인센티브의 행동변화 효과가 미비, 수자원 관리를 위한 전문 인력이 부족, 불투수면적 관리의 평가 방법이 어렵다는 문제가 있음

(2) 싱가포르

- 국토 규모가 작아서 수변구역에 설치하거나 새롭게 건설되는 건물의 경우 표면유출률을 0.55까지 규제하고 있어 소규모 지역을 녹지공간으로 활용하고자 함
- 싱가포르는 강우량이 많아 홍수에 취약하여 빗물 관리에 대한 관심이 많음. 물관리는 ABC(Active, Beautiful, Clean Waters) 정책으로 배수구·운하·저수지를 주변환경과 연계하고 지속가능한 빗물 관리로 아름답고 깨끗한 하천·강·호수를 조성하고자 했고 이를 대비한 공간 인프라 계획이 필요함
- ABC 수자원 인증제도를 통해 전문가 양성 과정 등의 인센티브를 제공받음

(3) 미국

- 우수 관리의 목표는 수질관리이며 NPDES 프로그램을 통해 수질관리를 진행함. 하지만 개인의 권리를 규제하기 어려워 소규모 지역에서는 LID 시설 설치에 한계 발생
 - 강우유출수 관리의 장애요인으로서는 상충되는 법률, 개인 권리 규제화의 어려움, 인센티브 및 규제 부재 등의 이유가 있음
- 물만 이용하고 우수를 배제하기만 하던 도시공간에서 물환경 개선에 기여하는 도시공간으로 변화할 필요가 있으며 물환경 문제 해결을 위해 불투수면의 관리(우수관리)가 필요함
- 저영향개발(LID) 또는 그린인프라 기반 분산형 빗물관리 시스템을 도입할 필요가 있음
- 도시 하천, 강, 호수 등 수질관리를 위한 방법으로 적용하며 불투수면을 따라 유입되는 비점오염물질을 저감하고자 함
 - 또한, 친수공간 또는 녹색공간을 복원하여 물수지를 고려할 때 싱가포르, 독일 등의 사례를 참고하여 물부족 도시 및 신도시에 빗물 저장 시스템을 개선하고 빗물 등을 재이용하여 물부족 도시에 한해 수량 확보의 대안을 마련할 수 있음
- 질의응답
- Q. 농업지역의 경우 저수지를 통해 물을 가두어 농업용수로 이용하는 것이 맞는지?
- A. 미국에서의 농업은 빗물로 충분히 농사가 가능해 저수지로 관개를 하지 않음. 주변 저수지의 용도는 비점오염원을 친환경적으로 관리하는 방법 중 BMPs(최적관리기술)를 통해 체류시간을 확보할 수 있는 버퍼존의 기능을 함. 또한 침수피해를 방지하기 위한 목적도 있음
- Q. 우리나라도 물관리 다양한 계획들이 있지만 각종 물관리 계획의 통합이 필요할 듯 하다
- A. 물관리 계획의 통합 및 조정 방안을 수립하여 비효율성을 최소화 해야 하며, 다양한 물관리 계획들 간의 연계성과 실효성 확보를 통해 효율적인 행정체계로의 전환과 일관성 있는 정책들을 수립해야 함. 이를 위해서는 통합물관리를 위한 법령 정비 및 유역기반의 통합물관리 법정계획 조정이 필요함. 수자원 및 물환경은 환경부, 하천관리는 국토교통부, 농업용수는 농림축산식품부, 치수 등 방재업무는 행정안전부 중심으로 부처 간 다원적 구조가 지속되고 있어 이러한 점에서 기존 물관리 계획들과 정합성을 조정할 수 있는 물관리위원회의 권한과 체계구축이 중요함

< Champaign Public Library 방문 사진 >



7. Illinois Environmental Protection Agency 방문

- ☐ 일 시 : 2023. 09. 12(화)
- ☐ 장 소 : Wastewater Treatment Facility(WTF)
- ☐ 주요내용 : 하수처리 운영 등
- ☐ 담당자 : Rick Manner / Daniel Chulgi Ki



○ 하수처리장 개요

- UCSD(Urbana & Champaign Sanitary District)는 일리노이 주 어바나, 샴페인 등 주변 인접 개발지역의 하수처리를 진행하며 남서부, 동북부 2개의 처리시설을 보유함
- 남서부 처리시설(SW WWTP)은 1968년에 완공되어 2005년 7.98 MGD(설계 평균 유량) 및 17.25 MGD(설계최대유량)의 현재 용량으로 추가 증설되어 운영되고 있음

- 동북 처리시설(NEP)의 평균 일일 유량은 13-14 MGD로 가정 및 상업시설에 발생하는 오수와 도시 매립지에 발생하는 침출수 등을 처리
- 본 시설로 유입되는 오폐수의 차집방식은 분류식이며, 강우 시 발생된 우수는 별도 처리시설을 거치지 않고 직접 하천으로 배출됨
- 하수처리시설은 수처리공정과 슬러지처리시설로 구분되며, 수처리공정은 wastewater screening → 1st clarifier → activated sludge → 2st clarifier → trickling filter → disinfection으로 구성되고, 슬러지 처리시설은 sludge thickener → anaerobic digestion → filter press(dewatering system)으로 구성

< 남서부 처리시설(SWP) >



- 국내의 하수처리시설은 대부분 BNR(biological nutrient removal)공정이 적용되어 운영되는 반면, 방문한 처리시설의 경우 인제거 중심의 AO(anoxic-oxic)공정을 적용하고 있으며, 후속공정으로 질산화 공정(trickling filter, 살수여과상)을 설치하여 방류수역으로 배출되는 총인 및 암모니아성 질소를 제어하고 있음
- 또한 국내의 하수처리시설에 비해 소규모 처리시설임에도 불구하고 혐기성소화공정을 설치하여 바이오가스를 생산하여 슬러지 발생량을 줄이고 잉여가스는 인근 지역에 공급하며, 여유부지에는 태양광 패널을 설치하여 에너지 저감 및 탄소중립을 실천하고 있음
- 발생된 하수슬러지는 국내의 경우 대부분 매립이나 소각으로 처리하는 반면 주변이 대부분 농경지로 이를 농경지에 살포하여 활용되고 있음

○ 질의응답

Q. 국내의 경우 하수처리시설에 대한 방류수 수질기준을 BOD₅, 총인(T-P)으로 규정하여 관리하고 있는데 반면, 미국은 CBOD와 암모니아성질소(NH₄-N)로 규정하는 것으로 알고 있음. 방류수 수질기준을 맞추기 위해 하수처리시설에 사용되는 주요한 공정이 있는지?

A. 방류수는 유역마다 같은 기준으로 적용되어 상·하류의 수질은 동일하며 생물학적처리로는 질소·인을 제어하는 생물학적처리 공정이 있음. 특히 Trickling filter를 통해 암모니아성 질소에 중점을 두어 관리하고 있음

Q. UCSD의 경우 생물반응조 시설이 외부에 노출되어 동절기의 경우 저수온으로 인한 미생물 활동이 하수처리에 크게 영향을 미치는데, 동절기에는 어떤 방식으로 생물반응조를 운영하는지?

A. 미생물의 성장속도에 수온이 미치는 영향이 크게 작용하며, 성장속도가 빠른 여름철의 경우 SRT를 짧게 운영하여 생물반응조의 MLSS농도를 낮게 운영하며, 동절기의 경우 10℃ 이하가 되면 성장 속도가 크게 감소하므로 반응조 내 용존산소 공급량을 높이고, MLSS 농도를 정상조건에서보다 2배 이상 높게 유지시켜 운영

< Illinois Environmental Protection Agency 방문 사진 >



8. Lake Michigan 수변구역

- 일 시 : 2023. 09. 13(수)
- 장 소 : Lake Michigan 수변구역
- 주요내용 : 수변구역 답사

■ 호수표면적 : 58,030km ²	■ 수량 : 4,918km ³	■ 집수면적 : 118,000km ²
■ 호수너비 : 190km	■ 호수둘레 : 2,683km	■ 최대수심 : 281m

○ Lake Michigan 개요

- Michigan Lake는 Superior Lake 다음으로 큰 호소로 저수량은 4,918km³이며 집수면적은 11만 8,000km²(수면면적 제외)으로 호소 전체가 유일하게 미국 영토에 포함됨
- 미시간 호소의 호안선 내 토지이용을 살펴보면 39%의 주거시설과 24%의 상업시설이 이루어고 있으며 일리노이주에 취수원이 위치하여 일리노이주 북동부의 식수원으로 이용될 뿐만 아니라, 휴양복합문화공간으로 Cruise, 놀이시설, 식물원과 각종 공연시설 등이 위치하고 있음
- 미시간 호소의 수변구역은 취수원이 있음에도 사전예방 차원에서 수질오염을 유발시키는 개발행위를 제한하는 입지규제는 없으며 오염원에 대한 철저한 관리를 통해 취수원 수질을 관리하고 있음
- 시카고는 미시간호의 식수 오염 이후로 하수관리를 위해 광역하수관리청(Metropolitan Sanitary District of Greater Chicago)을 신설하여 하수처리방안을 마련하기 시작하였지만, 폭우 시 합류식 하수관거를 통하여 하수 및 오수가 하천으로 유입되어 홍수에 취약한 문제가 있음
- 이에 홍수를 조절할 수 있는 배수시설을 확보하고자 1972년 Metro Water Reclamation District of Greater Chicago로 변경 후 땅속 암석 터널, 표면에는 저수지로 되어있는 다목적 터널 저수지를 만들어 폭우 시 하수를 저장하고 처리시설의 처리용량을 고려하여 처리할 수 있는 체계로 개선함
- 또한 시카고 강의 흐름을 역류시키기 위해 3개의 운하를 건설하여 미시간 호소로 유입되는 하수를 상수원으로부터 분리하고자 함
- 미시간 호수는 규제를 통해 수질관리를 진행하기 보다는 철저한 오염원 관리를 통해 호소의 수질을 관리하여 호소 주변지역을 체계적이고 계획적으로 조성·이용하여 하천 정비와 관리의 활용, 강 중심의 지역경제 발전을 도모함
- 수많은 시민 및 관광객들에게는 수변의 경관·미관을 살린 도시 조성, 관광·레저·업무·주

거 등 다양한 용도로 개발하여 쾌적한 환경 제공. 이는 호소 주변지역의 향상된 어메니티 가치를 활용한 복합주거공간 조성으로 지역주민의 삶의 질 향상과 지역경제 활성화에 크게 기여할 수 있음

< Lake Michigan 수변구역 방문 사진 >

	
<p>메트로폴리탄 물매립구역(MWRD)</p>	<p>Lake Michigan 취수탑</p>
	
<p>Lake Michigan 모습</p>	<p>Lake Michigan 모습</p>

IV 시 사 점

- 용인시는 각기 다른 특성의 세 개의 유역을 지니고 있으며, 이들 유역 특성에 따라 물 환경 관리 방안 마련이 필요함
- 이리호 및 미시건호의 유역은 토지이용의 대부분이 농경지로 국내와 마찬가지로 점오염원 관리에서 비점오염원 관리 체계로 전환하여 유출오염부하량을 관리하고 있으며, 비점오염원에서 발생하는 오염부하량의 대부분이 농경지에서 사용되는 비료로 인해 발생되므로 비료사용량에 대해 중점적으로 관리되고 있음
- 국내의 경우 토양양분도가 OECD 국가들 중 최고임에도 불구하고 농민들의 인식부족으로 농경지에 다량의 퇴비 및 비료 사용으로 방류수역 수질관리에 악영향을 미치고 있어 정부는 농경지에서 발생하는 오염부하량을 저감시키기 위해 「토양양분제」 시행을 검토하고는 있으나 부처간의 이견차로 시행되지 못하고 있는 실정. 비점오염원에서 발생하는 오염부하량 저감을 위해서는 미국과 마찬가지로 비료사용에 대한 충분한 주민홍보와 체계적인 관리규제가 필요
- 유역의 수질관리에서 중점 관리 대상물질은 영양염류(질소, 인)로 국내와 마찬가지로 하나는 국내는 질소와 인성분을 같이 관리하는 반면, 미국의 경우 인성분에 중점을 두되 질소성분은 암모니아성 질소에 중점을 두고 있음
- Illinois Champaign 하수처리장 방문에서와 같이 하수처리시설의 주처리 공정이 생물학적처리로 인제거 중심으로 이뤄져 있으며, 질소는 주로 질산화를 유도하는 시설로 수계에서 용존산소 소모와 수생태계에 독성을 줄일 수 있는 방식으로 운영의 최적화를 이룬 반면, 국내의 경우 수온이 저하되는 동절기에도 방류수의 총질소 농도를 20mg/L 이하로 운영하기 위해 많은 에너지를 소모하고 있어 이에 대한 대안 마련이 필요
- 용인시에 생활·공업용수를 공급하는 팔당호는 상수원보호구역을 비롯하여 자연보전권역, 특별대책지역 등 다양한 입지규제를 통해 개발행위를 제한하는 반면 금번 방문한 이리호 및 미시건호에는 인근 도시에 용수를 공급하기 위한 취수원이 위치하고 있음에도 사전예방 차원의 입지규제는 없으며, 단지 오염원에 대한 철저한 관리를 통해 취수원 수질을 관리하고 있어 사후관리에 대한 정책변화도 필요하다고 판단됨
- 또한 호소 주변으로 수변공원을 비롯한 유원지 등의 많은 친수공간을 확보하여 수많은 시민 및 관광객들에게 쾌적한 공간을 제공하고 있음에도 오염물질을 일차적으로 차단할 수 있는 버퍼존(Biotop, 저류지)을 설치하여 호소로 유입되는 오염물질을 적극적으로 제어하고 있어 용인시의 주요 수변공간에 대하여 오염물질을 차단하기 위한 버퍼존 검토

토가 필요할 것으로 사료됨

- 용인시는 물수지(water balance)를 고려할 때 물부족 도시로 주민의 삶의 질을 제고시키기 위한 수변공간을 창출하기에 한계가 있음. 흐르는 강물을 도심으로 끌어들이어 도심 수로를 조성한 인디애나폴리스의 White River Park 사례에서와 같이 용인시의 도심 품격을 높이기 위해 하수처리수나 지하유출수 등을 적극 활용하여 도심 내 수변공간을 창출할 수 있는 대안 마련이 필요할 것으로 사료됨
- 용인시 또한 시민들에게 양질의 수돗물을 제공하기 위하여 고도정수처리시설을 도입 운영하고 있으며, 수돗물 내 오염물질 분석을 위한 다양한 분석장비를 도입하여 운영하고 있어, 시민에게 안전한 수돗물 공급을 위한 시스템은 갖춰졌다고 판단됨. 다만 취수구의 모니터링은 실시간으로 이뤄지지 않아 정수처리시설을 효율적으로 운영하는데 한계가 있으므로 Collins Park 정수장 사례에서와 같이 취수구에서 원수에 대한 실시간 모니터링 시스템을 갖춰 안전한 수돗물 생산 및 처리시설의 운영 효율성을 제고할 필요가 있다고 판단됨
- 마지막으로 용인시는 다수의 중대규모 하수처리시설이 운영되고 있으나 시설운영의 최적화 등 탄소중립을 위한 노력이 미흡하다고 판단됨. 특히 Illinois Champaign 하수처리장에서와 같이 중규모의 하수처리시설임에도 불구하고 하수처리시설에서 발생하는 슬러지를 비롯하여 유기성 폐자원을 Bio-gas로 전환하여 사용하고, 유희부지에 태양광을 설치하여 에너지를 생산하고 있는 상황으로 이를 통해 탄소중립을 실천하고 있어 용인시에서도 적극적인 도입이 필요하다고 판단됨