

신진 연구자 소개

Introduction of Young Researchers

이번 호의 이슈레터에서는 한국물환경학회-대한상하수도학회 통합 미래위원회의 신규 위원 또는 위원으로부터 추천을 받은 신진 연구자를 소개하고자 한다.

이번 호의 이슈레터 소개 대상자는 아래와 같다.

(이름순으로 가나다순 정렬)

구본영 박사 후 연구원 / 전남대학교 환경에너지공학과

김대현 박사 후 연구원 / University of California, Berkeley

배연욱 박사 후 연구원 / 노스웨스턴대학교

신중현 Research Director / Codiga Resource Recovery Center, Stanford University

표종철 조교수 / 부산대학교 환경공학과

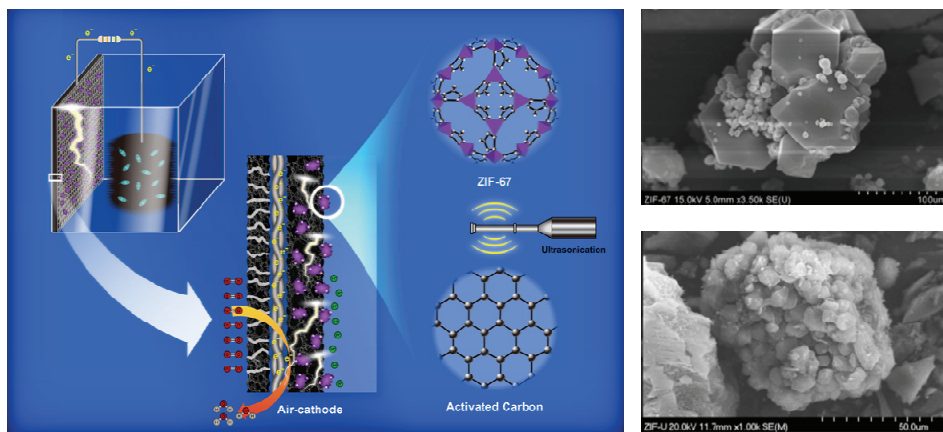
구본영(박사 후 연구원 / 전남대학교 환경에너지공학과 환경에너지융합연구실)

구본영 박사는 2022년 전남대학교에서 박사학위를 취득한 후 현재는 전남대학교 환경에너지공학과에서 박사 후 연구원으로 재직하며 연구를 수행 중이다. 구본영 박사는 학위 과정 중 (2015-2022), 미생물 전기화학 시스템의 산화전극 및 환원전극 촉매 개발, 기본적인 미생물 전기화학 시스템 전용 전기화학 분석기술 개발에 관한 연구를 수행하였으며, 특히 EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) 분석을 통한 고도한 전기화학 분석 및 적합한 등가회로를 개발했다. 학위기간동안 14편의 논문을 국내외 저널에 게재 및 투고 준비중이며, 4건의 특허를 등록 및 출원하였다.

주요 연구 내용

MOF-활성탄 cathode를 이용한 MFC 세계 최대 전력 생산

- 하폐수를 처리함과 동시에 전기를 생산하는 미생물 연료전지(MFC)에서, cathode의 성능을 향상시켜 전력 생산을 증가시키기 위한 촉매와 전극 구조에 대한 연구를 수행했다.
- 활성탄에 금속-유기구조체(MOF)를 초음파 주사를 통해 결합시킨 cathode를 개발해 촉매 성능을 획기적으로 개선하면서 미생물 연료전지에서 4,203 mW m⁻²의 전력밀도를 생산했다.
- 이 결과는 미생물 연료전지 표준 조건 (일실형, 50 mM 인산염 완충용액)에서 나온 세계 최대 전력을 달성했다.



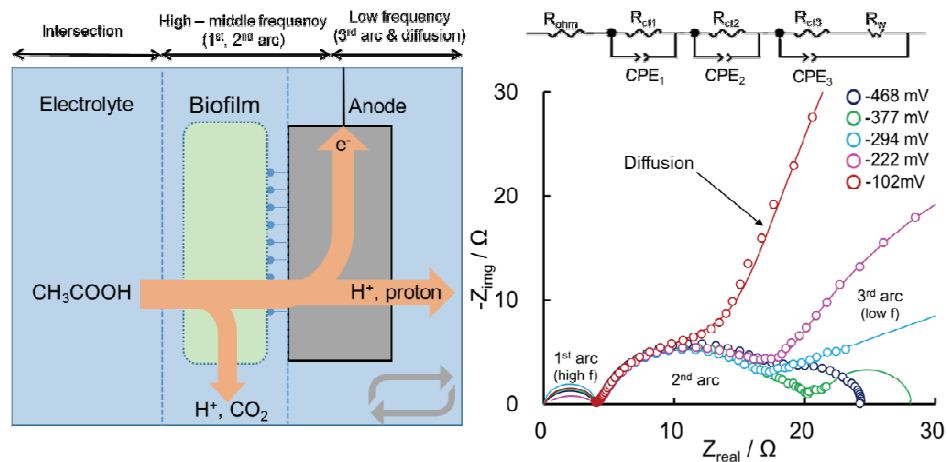
〈활성탄에 ZIF-67을 초음파 주사시켜 개발한 촉매를 통한 MFC cathode 성능 향상 (Koo B, Jung SP., Chem Eng J 424 (2021) 130388)〉

정상상태를 유지한 연속식 운전 MFC의 미생물전극 최적전위 연구 및 임피던스 분석

- 미생물 전극에 우점종된 전자방출균(Exoelectrogen)의 최적 배양 조건과 시스템의 효율을 극대화할 수 있는 anode 최적 전위에 대해 연구했다.
- 보다 정밀한 분석을 위해 연속식 운전을 통해 시스템 제한 요소를 모두 제거한 완벽한 정상상태 (steady-state)를 유지했다.
- 기존에 알려진 전자방출균의 최적전위 (-400 mV vs Ag/AgCl)과는 달리 본 연구에서는 anode 전위가 증가할수록

anode impedance가 감소하였으며, 가장 높은 anode 전위에서 가장 낮은 impedance 값을 보였다.

- anode 전위가 증가하여 전류생산량이 증가할수록 전극 반응으로 인한 반응물의 감소와 생성물의 형성으로 인한 확산 현상(diffusion)의 제한을 임피던스 등가회로를 통해 정확하게 최초로 분석에 성공했다.



〈연속식 운전에서 전자방출균 최적전위 연구를 위한 EIS 등가회로 및 분석 결과(Koo B, Jung SP., Manuscript in preparation)〉

새로운 생물전기화학적 폐수 처리 공정 개발 (AEO)

- 박사학위 취득 후, 최근에는 생물전기화학적 폐수 처리 공정에 대해 개발중이다. 궁극적으로 유기물 제거와 동시에 질소와 인까지 one-step으로 제거하는 에너지 자립형 차세대 폐수처리 모델인 AEO 시스템을 개발 중이다.

대표 연구 성과

1. Koo B, Jung SP*. Improvement of air cathode performance in microbial fuel cells by using catalysts made by binding metal-organic framework and activated carbon through ultrasonication and solution precipitation, Chem Eng J (2021).
2. Koo B., et al, Addition of reduced graphene oxide to an activated-carbon cathode increases electrical power generation of a microbial fuel cell by enhancing cathodic performance, Electrochim Acta(2019).
3. Koo B, Jung SP*. Trends and perspectives of microbial electrolysis cell technology for ultimate green hydrogen production, J Korean Soc Environ Eng 2022.
4. Koo B, Jung SP*. Recent Trends of Oxygen Reduction Catalysts in Microbial Fuel Cells: A Review, J Korean Soc Environ Eng 2019.
5. Jung, S, Koo B. Manufacturing method of active carbon-metal organic composite, active carbon-metal organic composite made by the same, and fuel cell comprising the same, (2020) (patent).



전남대학교 환경에너지공학과
박사 후 연구원 구분영

김대현(박사 후 연구원 / University of California, Berkeley)

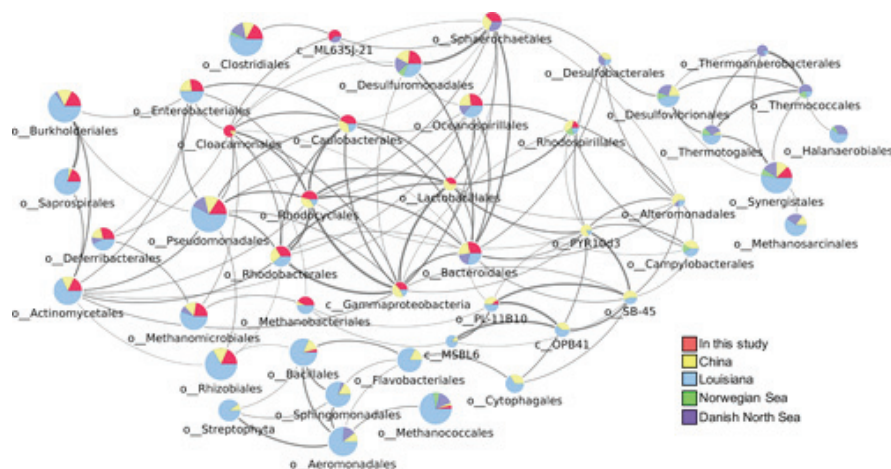
김대현 박사는 한국과학기술원 (KAIST)에서 박사학위를 취득한 후 현재는 University of California, Berkeley에서 박사 후 연구원 (Postdoc)로 재직하며 연구를 수행 중이다. 본 연구자는 학위 과정 중 (2016 - 2022), 실험적 배양법과 생물정보학 분석 기법을 활용하여 3대 온실가스 중 하나인 아산화질소 저감과 관련한 미생물 질소 순환 연구를 수행하였으며 하수처리장 내 생물학적 질소 제거 과정 중 발생하는 저농도의 아산화질소를 질소로 환원 가능한 고친화성 아산화질소 환원 균주를 규명하였다. 이는 공학적 방법을 통한 아산화질소 제거 기술의 효율 증진 도모를 위한 단초가 될 것으로 생각된다. 이외에도 석유 저류층 및 해양 등 다양한 환경에서의 미생물 군집과 특성을 환경적 맥락에서 조사하는 연구를 수행한 바가 있다.

현재는 (2022.8 - 현재) University of California, Berkeley에서 박사 후 연구원 (Postdoc)로서 환경 공학 분야와 공중 보건 분야를 접목하여 병원성 미생물과 미생물의 항생제 내성성이 사람과 동물 또한 식수원 등 사이에서 어떠한 경로와 메커니즘으로 전파가 일어나는 지 조사하는 연구를 수행 중이다.

주요 연구 내용

MEOR 적용을 위한 고온의 석유 저류층 내 미생물 군집 조사 (2016 - 2018)

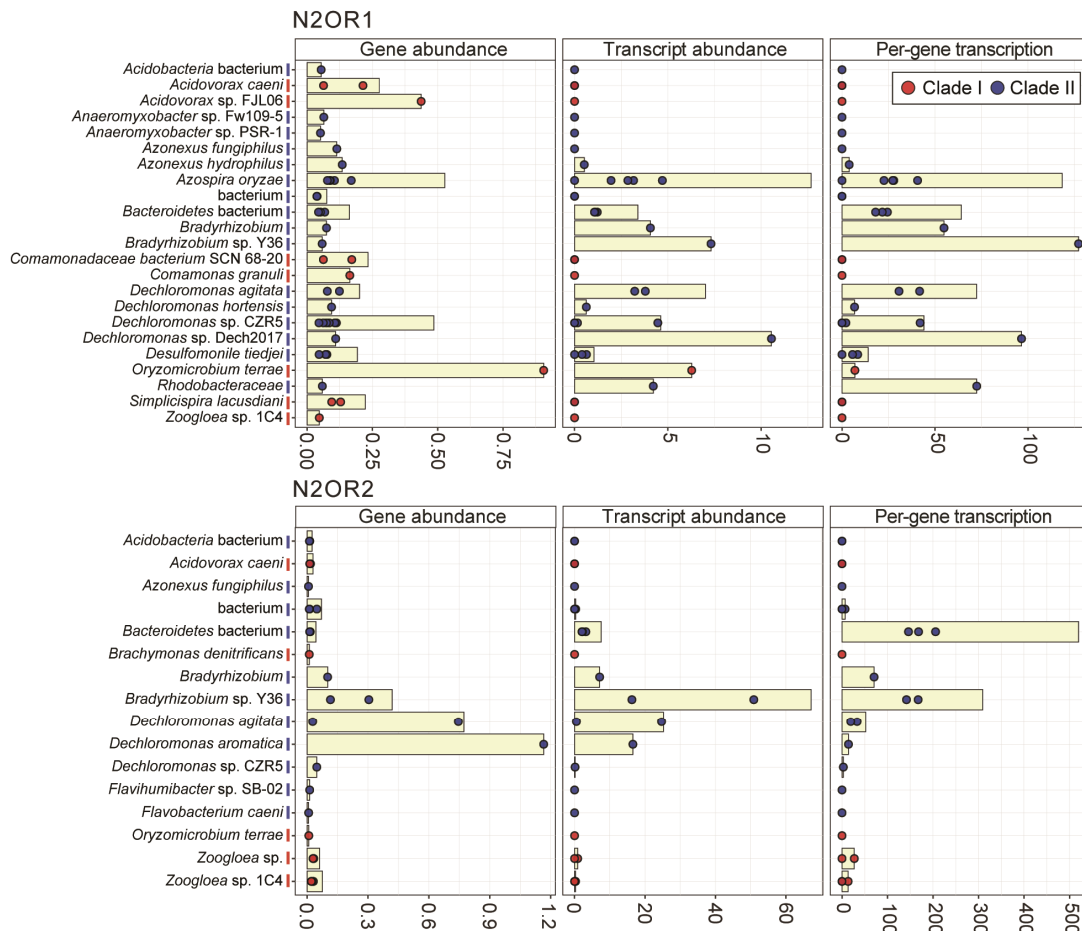
- 석유 생산량을 늘리기 위한 친환경적 기법인 Microbially Enhanced Oil Recovery (MEOR)을 고온의 석유 저류층에 적용하기 위하여 석유 저류층의 미생물 군집 조사를 선행 연구로서 수행.
- 석유미생물학 권위자 중 한명인 University of Calgary의 Lisa Gieg교수와의 공동 연구를 통하여 전세계 석유 저류층의 미생물 군집을 비교하였으며 본 연구의 대상인 캐나다와 미국의 유전이 높은 지정학적 위치 차이 (~ 2880 km) 에도 불구하고 이례적인 유사성을 가짐을 입증.



〈전세계의 다양한 석유 저류층 내 미생물 군주의 co-occurrence 네트워크 (Kim et al., Microbial biotechnology (2018))〉

하수처리장 내 고친화성 아산화질소 환원 균주 조사 및 배양 연구 (2018 - 2022)

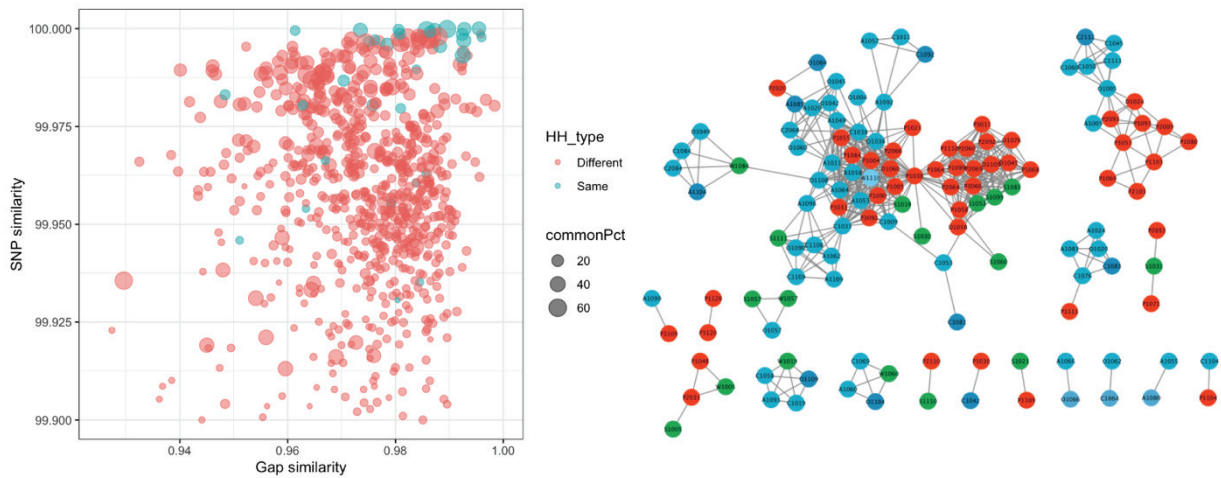
- 환경 샘플 내 주요한 아산화질소 환원 유전자 (*nosZ*)를 그룹 특이적으로 정량화 할 수 있는 프라이머 및 프로브 개발과 메타지놈 분석을 통한 성능 검증.
- 저농도의 아산화질소를 단일전자수용체로 제공한 활성슬러지 연속배양을 통하여 고친화성 아산화질소 환원 미생물 진소시엄 배양. 메타지노믹스 (Metagenomics) 및 메타트랜스크립토믹스 (Metatranscriptomic) 분석을 통하여 실질적 아산화질소 환원에 관여하는 특정 아산화질소 환원 균주 그룹 규명.



〈저농도 아산화질소 조건의 미생물 배양물 내 아산화질소 환원 유전자 및 전사량 풍부도 (Kim et al., ISME J (2022))〉

사람, 가축 및 식수원 등 사이의 병원균 및 항생제 내성 유전자의 전파 경로 조사 연구 (2022.8 - 현재)

- 다양한 숙주 내 공생하는 대장균의 유전체 조사 및 비교를 통하여 숙주 간 병원성 균주의 전파경로를 조사하고 추후 적절한 조치를 통하여 이를 억제하는 것을 목표로 함.



〈사람, 동물 및 환경원에서 발견된 다양한 대장균의 유전적 유사성과 숙주 간 균주 공유 네트워크〉

대표 연구 성과

1. Kim, Daehyun D., et al. Identification of *nosZ*-expressing microorganisms consuming trace N_2O in microaerobic chemostat consortia dominated by an uncultured *Burkholderiales*. *The ISME Journal* (2022)
2. Kim, Daehyun D., et al. Metagenomic insights into co-proliferation of *Vibrio* spp. and dinoflagellates *Prorocentrum* during a spring algal bloom in the coastal East China Sea. *Water Research* (2021)
3. Kim, Daehyun D., et al. Quantification of *nosZ* genes and transcripts in activated sludge microbiomes with novel group-specific qPCR methods validated with metagenomic analyses. *Water Research* (2020)
4. Kim, Daehyun D., et al. Microbial community analyses of produced waters from high-temperature oil reservoirs reveal unexpected similarity between geographically distant oil reservoirs. *Microbial biotechnology* (2018)

약력

2022 – 현재 Postdoctoral research associate Civil and Environmental Engineering,
University of California, Berkeley, CA, USA

학위 과정

2018 – 2022 Ph.D. Civil and Environmental Engineering, KAIST, Daejeon, Korea
2016 – 2018 M.S. Civil and Environmental Engineering, KAIST, Daejeon, Korea
2012 – 2016 B.S. Architectural and Civil Engineering, Korea University, Seoul, Korea



University of California, Berkeley
박사 후 연구원 김대현

배연욱(박사 후 연구원 / 노스웨스턴대학교)

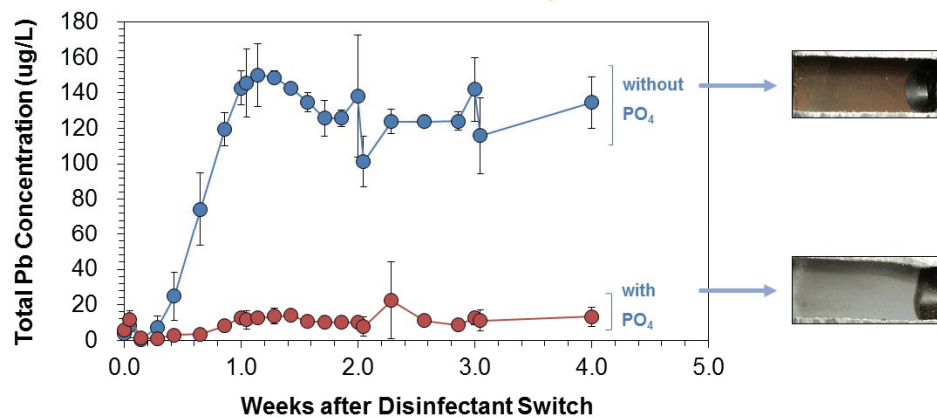
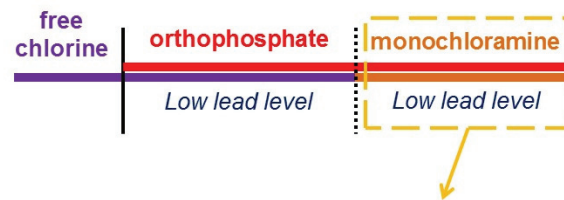
배연욱 박사는 한양대학교 토목공학과에서 학사(2007년) 및 석사(2009년, 환경공학 전공) 학위를 취득하였고 약 4년간의 실무 경험(대일개발주식회사: 토양정화 관련 연구)을 쌓은 후 미국으로 건너와 존스홉킨스대학교(Johns Hopkins University) 환경공학과와 워싱턴대학교(Washington University in St. Louis) 화학공학과에서 각각 환경공학 석사(2014년)와 박사학위(2019년)를 취득하였다. 박사과정 중에는 Daniel E. Giammar 교수님 지도하에서 수처리 및 관리에 관한 다양한 연구를 수행 하였다. 특히, ‘납관으로부터의 납 유출 방지’ 및 ‘전기 응집을 이용한 용존 셀레늄 처리’ 등의 연구들을 통해 상수관리 및 폐수처리에 대한 전문성을 높여 왔다. 현재는 노스웨스턴대(Northwestern University) 의과대학에서 환경공학적 지식을 인간 건강 문제와 융합하는 연구를 수행하고 있다.

주요연구과제 (박사과정)

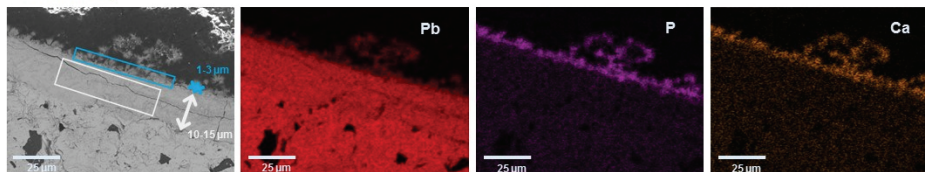
- 인산에 의한 납관으로부터의 납 유출 방지.
 - 납 유출은 수돗물의 화학적인 조성 및 상수도관의 수리화학적 조건에 의해 다양한 방식으로 나타날 수 있다. 배연욱 박사는 수돗물과 납관의 화학적, 물리적 상태에 대한 올바른 이해를 바탕으로 납 유출을 최소화할 수 있는 이론적인 조건들을 도출하고, 인산 및 첨가제들을 적용해 납 유출이 방지되는 것을 실험으로 증명했다.
 - 산화환원전위가 낮은 클로라민(Monochloramine) 사용시에도 납 유출을 방지할 수 있는 인산 적용 방법 및 납관의 피막 형성 기작 발견 (Bae et al., 2020 at *Environmental Science and Technology*).
 - 일반적으로 납 용출을 저지하는 산화납 피막 형성 및 유지를 위해서는 높은 산화환원전위가 필요하다. 전통적인 염소 소독제는 산화력이 높은 까닭에 산화납 피막 형성 및 유지가 가능한 반면 신종소독제인 클로라민은 산화력이 낮아 피막형성이 어렵다.
 - 배연욱 박사는 낮은 산화환원전위에서도 형성이 가능한 인산납 및 인산칼슘 등으로 구성된 피막 형성을 유도하여 납 용출을 ‘EPA 먹는물 기준치’ 이하로 낮출 수 있음을 증명했다.



〈납관 반응기〉

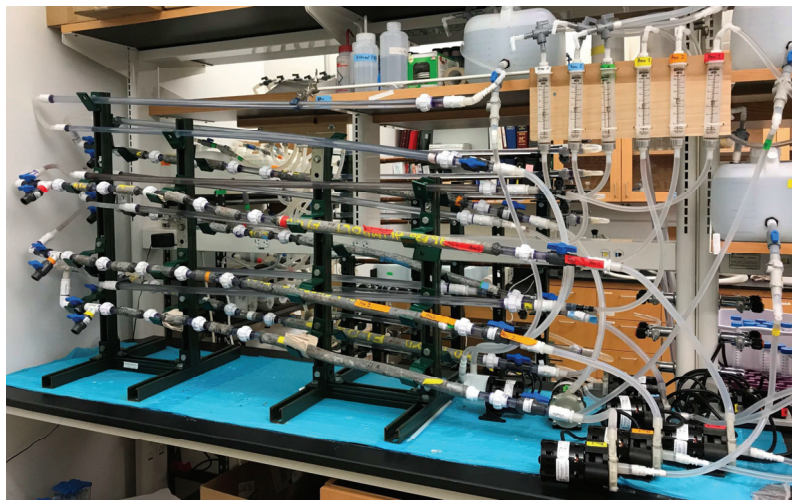


With PO₄

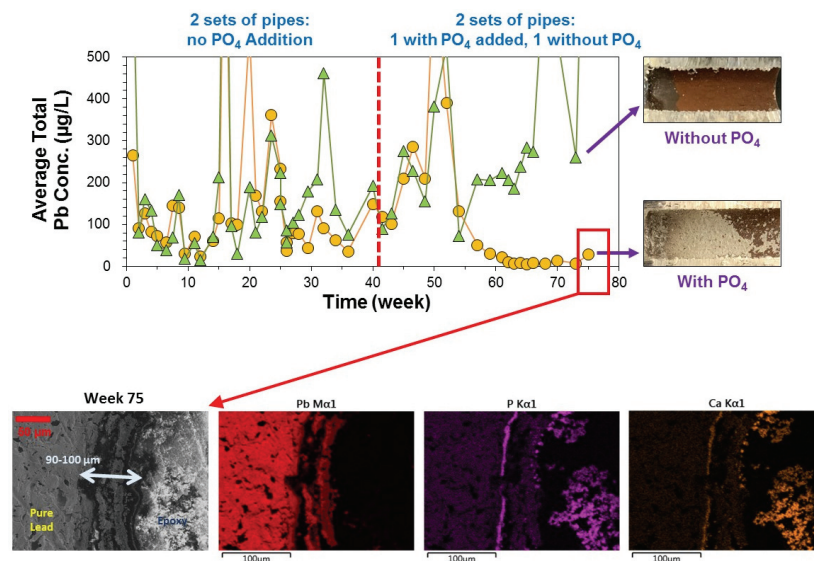


〈인산에 의한 클로라민 함유 수돗물에서의 납 유출 농도 및 부식물 피막 특성 분석: 클로라민으로 교체하기 전부터 1.0 mg-P/L 인산을 일정기간 이상 공급한 납관 표면에서는 칼슘, 인, 납으로 구성된 ‘phosphohedyphane’ 화합물을 피막으로 형성하여 산화환원전위가 낮은 클로라민 교체 후에도 납 유출농도를 EPA 기준치 (15 $\mu\text{g/L}$) 이하로 유지한다.〉

- 고평/저알칼리(high-pH, low-alkalinity) 수돗물에서의 납관 부식물 형성 기작 및 유지 방법 발견 (Bae et al., 2020 at *Water Research*).
- 미국 북동부에는 high-pH, low-alkalinity 수돗물을 사용하는 지역들이 많다.
 - 이와 같은 조건의 수돗물을 사용하는 급수관에서는 인산납 부식물 형성이 쉽지 않다.
 - 따라서, high-pH, low-alkalinity 조건에서도 잘 일어나는 칼슘과 인 첨가제의 반응을 유도하여—인회석 ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$) 피막이 납관 표면에 형성되도록 했다.
 - 이 인회석 부식물은 납의 용해 및 납 침전물의 탈리(detachment)를 동시에 방지해주는 효과를 보여주었다.

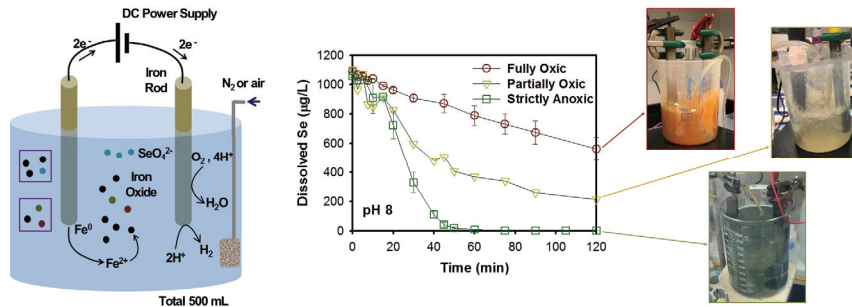


〈납관 반응기: 높은 pH 수돗물〉



〈인산에 의한 높은 pH 수돗물에서의 납 유출농도 및 부식물 특성 분석: 1.0 mg-P/L 인산을 적용한 결과 납 농도가 EPA 기준치 (15 µg/L) 이하로 유지되었다. 인산을 적용한 납관 표면에서는 칼슘과 인으로 구성된 인회석이 피막으로 형성됨을 확인할 수 있었다.〉

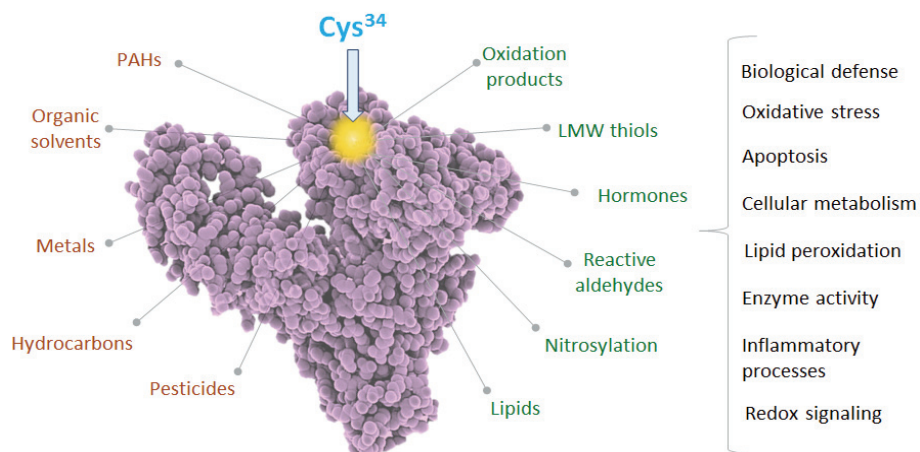
- 철매질 전기 응집을 이용한 용존 셀레늄 처리(Bae et al., 2022 at *Water Research*).
- 다양한 조건의 pH 및 용존산소에서 철매질 전기 응집을 이용한 용존 셀레늄 저감 효과 및 원인을 규명했다.



〈pH 및 용존산소에 따른 철매질 전기 응집에 의한 용존 셀레늄 저감: 혐기성에서 용존 셀레늄 농도가 1시간 이내에 1 µg/L 이하로 줄었다. 혐기성 환경은 강한 환원제 역할을 하는 그린러스트(greenrust), 수산화이철 매질 (iron(II) hydroxide) 등의 형성에 기여하여, 궁극적으로 최적의 셀레늄 저감 조건을 만들어준다.〉

주요연구과제 (현재)

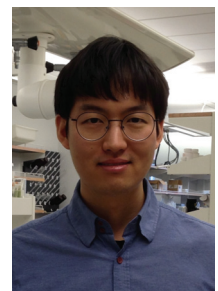
- 혈액 내 단백질을 이용한 환경 역학 연구
 - 현재 배연욱 박사는 환경오염물질들에 의한 인체 혈액 내 알부민의 변형 형태를 통해 수돗물에 의한 중금속 및 미량유기오염물 등에의 다양한 환경오염노출 정도를 평가하고 예상 유해 건강 결과(adverse health outcomes)를 연구하고 있다.
 - 알부민에는 친핵성(nucleophilic)의 아미노산 작용기들이 있는데, 이는 환경오염물질에의 노출 정도를 측정 평가할 수 있는 생체표지자(biomarkers)로 활용될 수 있다.
 - 배연욱 박사는 생체표지자를 발견 및 분석 최적화 하고, 발병(adverse health outcomes) 과정과 연관성이 있는지 밝혀내고자 한다.



〈환경오염노출 정도 예측에 이용되는 인체 혈액 내 알부민, 알부민에 포함된 아미노산 중 하나인 시스테인34(Cys³⁴)은 친핵성 물질로서, 다양한 오염물 및 체내 유해물질들과 반응을 통해 결합할 수 있다. 이러한 특성은 외부로부터 유입된 난분해성유기물, 중금속 등의 노출 정도를 모니터링하는 것을 가능하게 하고, 체내에서 생성된 염증, 활성산화물질, 과산화지방질 등의 상태를 관찰하여, 궁극적으로는 건강상태 및 발병과정 등을 밝히는 것을 가능하게 한다.〉

대표 연구 성과

1. Gargus, E.S.[†]; **Bae, Y.**[†]; Chen, J.; Moss, K.J.; Ingram, A.N.; Zhang, J.; Montgomery, N.T.; Boots, C., Funk, W.E.; Woodruff, T.K. An ovarian steroid metabolomic pathway analysis in basal and polycystic ovary syndrome (PCOS)-like gonadotropin conditions reveals a hyperandrogenic phenotype measured by mass spectrometry. *Biomedicines*, 2022, 10(7), 1646. (†:Gargus, E.S and **Bae, Y.** contributed equally.), doi: 10.3390/biomedicines10071646.
2. **Bae, Y.**; Crompton, N.M.; Sharma, N.; Yuan, Y.; Catalano, J.G.; and Giammar, D.E. Impact of Dissolved Oxygen and pH on the Removal of Selenium from Water by Iron Electrocoagulation. *Water Research*, 2022, 213, 118159.
3. **Bae, Y.**; Pasteris, J.D.; and Giammar, D.E. The Ability of Phosphate to Prevent Lead Release from Pipe Scale when Switching from Free Chlorine to Monochloramine. *Environmental Science and Technology*, 2020, 54 (2), 879–888.
4. **Bae, Y.**; Pasteris, J.D.; and Giammar, D.E. Impact of Orthophosphate on Lead Release from Pipe Scale in High-pH, Low-Alkalinity Water. *Water Research*, 2020, 117, 115764.
5. **Bae, Y.**; Pasteris, J.D.; and Giammar, D.E. Impact of Iron-Rich Scale in Lead Service Line on Elevated Rates of Lead Release to Water. *AWWA Water Science*, 2020, 2 (4), e1188.
6. **Bae, Y.**; Kim, D.; Cho, H.-H.; Singhal, N.; and Park, J.-W. Transformation Impacts of Dissolved and Solid Phase Fe(II) on Trichloroethylene (TCE) Reduction in an Iron-Reducing Bacteria (IRB) Mixed Column. *Water Research*, 2012, 46, 6391–6398.



노스웨스턴대학교
박사 후 연구원 배연옥

신중헌(Research Director / Codiga Resource Recovery Center (CR2C), Stanford University)

Codiga Resource Recovery Center (CR2C)는 Stanford 대학 캠퍼스내에 위치한 연구센터이다. 해당 연구센터에서는 하수에 대한 기존 관점인 ‘단순 처리해야 하는 오염된 물’에서 벗어나 ‘하수 내 자원들을 효율적으로 분리 및 회수’하는 연구를 중점적으로 진행 중이다.

신중헌 박사는 인하대학교에서 배재호 교수, 김정환 교수, 그리고 Stanford 대학의 Perry McCarty 교수와 함께 에너지 회수형 혐기성 하수처리 공정인 Staged Anaerobic Fluidized Membrane Bioreactor (SAF-MBR)를 개발하였다. 박사과정 동안 첫번째 파일럿 규모 테스트를 부천시 굴포



<Stanford대학 CR2C에 위치한 파일럿 규모 SAF-MBR 공정>

하수종말처리장에서 진행하였고, 박사후 연구원으로 Stanford 대학의 Craig Criddle 교수와 Sebastien Tilmans 박사와 함께 두 번째 파일럿 규모 테스트를 CR2C에서 진행하였다. 에너지 회수형 공정의 장점을 부각시키기 위하여, Stanford 대학의 다른 연구팀들과 공동연구를 통해 용존메탄 회수 (Richard Luthy교수), 물 회수 (William Mitch 교수), 영양염류 회수 (William Tarpeh 교수) 부분에 대해서 추가연구를 진행하고 있다.

현재는 Research Director로서 CR2C의 전반적인 연구를 총괄하고 있으며, 그 외 대외적으로 캘리포니아 Redwood City에 위치한 Silicon Valley Clean Water 및 Veolia 와 함께 실증화 규모의 SAF-MBR (~100톤/일)의 연구를 총괄하고 있다. 실증화 규모 분석 및 운영 최적화에서 더 나아가 Systems-level 탄소배출분석, 공정의 안정화를 위한 Machine Learning Algorithm 기반 운전 소프트웨어 개발, Bioelectrochemical System을 이용한 직접적인 에너지 회수 방안 모색에 대한 연구를 추가적으로 수행 중이다. 최근에는 Stanford Medicine School의 Stephen Luby교수와 함께, 방글라데시의 메탄 온실가스 배출 저감 및 지속 가능한 발전을 위하여 매립지의 메탄으로부터 Single Cell Protein 회수 공정 개발에 대한 연구를 진행하고 있다.

〈주요연구과제〉

실증화 규모 SAF-MBR 연구 (2021년 04월~현재)

실증화 규모의 SAF-MBR 시스템 설치 및 운전 중에 있으며, 이를 통해 에너지 회수형 하수처리공정의 가능성을 평가하고 있다. 현재 처리량은 약 100톤/일이며, 이는 현재까지 혐기성 Membrane Bioreactor (MBR)을 통한 하수처리 유량 중 가장 큰 규모이다. 수리학적 체류시간은 다섯시간 정도이며, 에너지생산량은 에너지 요구량 대비 약 두 배 높다.

에너지 효율적인 물 재이용 공정개발 (2022년 03월~현재)

에너지 회수형 공정인 SAF-MBR의 유출수로부터 농업용수 및 음용수 회수를 위한 공정이 파일럿 규모로 연구 중이다. 혐기성 공정 유출수 내 잔류하는 영양염류 등을 효율적으로 제어하기 위한 공정들이 비교 운전되고 있으며, UV disinfection을 통한 농

업용수 재이용 그리고 RO 공정을 통한 음용수 회수방안들이 연구되고 있다.

Machine Learning Algorithm을 이용한 멤브레인 파울링 예측 소프트웨어 개발 (2022 년 04월~현재)

MBR운전에서 가장 많은 에너지 및 비용을 차지하는 부분은 파울링 컨트롤이다. 해당 인자를 최적화시키기 위해서 파울링을 예측할 수 있는 시스템이 필요하지만, 변수와 불확실성이 너무 많아 기존의 수리학적 모델로는 예측이 불가능하다. 이와 같은 한계점을 극복하고자, machine learning을 이용한 프로그램을 개발 중에 있다.

Microbial Battery and Mixing Entropy Battery 개발 (2021 년 12월~현재)

혐기성 폐수처리공정에서 메탄 바이오가스를 통해 에너지는 회수한다면, bioelectrochemical 연구는 공정으로부터 직접 전기 에너지를 회수하는 방안을 연구 중이다. 기존의 Microbial Fuel Cell (MFC) 공법들은 scale-up과정에서 diffusion limitation과 관련하여 많은 한계가 있었지만, Microbial Battery와 같이 전자가 cathode에 저장될 수 있는 공정을 이용한다면 기존의 한계점들을 극복할 수 있다.

메탄가스를 통한 Single Cell Protein회수 공정 개발 (2022 년 08월~현재)

메탄은 이산화탄소에 비해 약 38배의 온실 효과를 가지는 강력한 온실가스이자 재이용 에너지원으로 사용 가능한 자원이다. 그러나 현재 방글라데시의 매립지들을 메탄가스를 회수 및 재이용하지 않고 방출하고 있다. 양식업은 방글라데시의 주요 사업이지만, 현재 사업 운영을 위한 물고기 사료는 타국에서 조달 받고 있어, 환율 및 수요 공급에 큰 영향을 받는다. 이러한 문제들을 해결하고자 매립지에서 발생하는 메탄가스를 통하여 single cell protein을 회수하는 공정을 개발 하고자 한다.



〈캘리포니아 Silicon Valley Clean Water에
설치된 실증화 규모 SAF-MBR 시스템〉



Codiga Resource Recovery Center
Stanford University
Research Director 신중헌

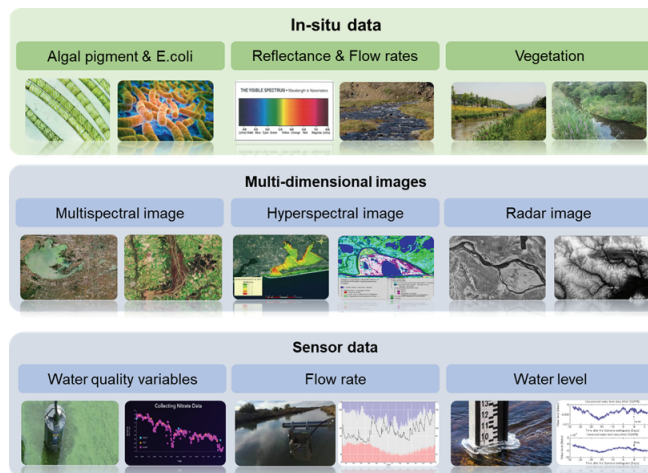
표종철(조교수 / 부산대학교환경공학과)

표종철 박사는 울산과학기술원 도시환경공학부에서 박사학위를 취득하였으며, 동일학부에서 Post-doc으로 재직 후, 한국환경연구원 환경데이터전략센터에서 부연구위원으로 재직이후 부산대학교 환경공학과에 조교수로 재직 중이다. 주요 연구분야는 원격탐사자료, GIS 데이터, 시계열 데이터, 모델링 데이터와 같은 빅데이터와 딥러닝 통합 모델 개발을 통해 담수 수질 및 유량 예측과 수변 식생 분류를 수행하여 수생태계 건강성을 종합적으로 평가하는 연구를 수행하고 있다. 최근에는 디지털트윈 기술을 활용하여 실제 환경 도메인을 가상(Virtual) 도메인으로 구현하고 딥러닝 모델과의 융합을 통해 실시간 수질 변화 및 홍수 예측 연구를 진행하고 기후변화에 따른 수환경 및 재난 시나리오 분석을 수행하여 미래 상황을 선제적으로 대비할 수 있는 실증화 기술 개발 연구를 수행하고 있다. 또한, 수환경 뿐만아니라 다매체(대기, 토양, 지하수) 환경에서 생산되는 빅데이터 처리 자동화와 설명가능한인공지능(XAI)기술 활용을 통한 딥러닝 모델 고도화 연구를 수행하여 대기오염, 토양오염, 지하수위 예측 성능 제고 연구를 진행하고 있다.

주요 연구 과제

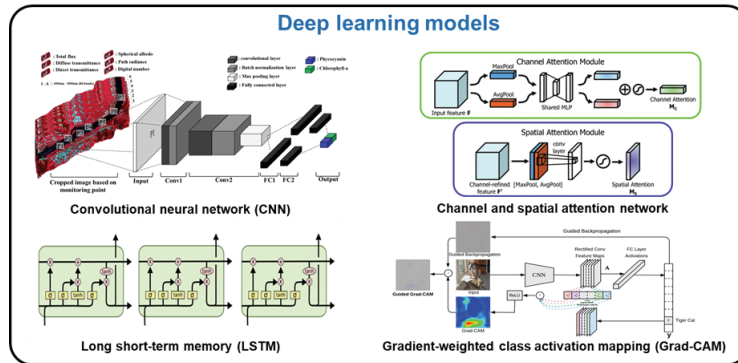
원격탐사와 인공지능을 활용한 수환경통합관리기술 개발(2021-2026)

- 본 연구의 최종 연구 목표는 원격탐사 이미지군과 딥러닝을 이용한 수계의 유량, 유해 조류, 그리고 병원성 박테리아 산정 및 수변 환경 탐지 통합 기술 개발임
- 유해 조류 및 박테리아 파악을 통해 수질관리를 수행하고 유량변화에 따른 수위와 수변 환경 변화 탐지를 통해 수생태계 건강성 평가를 수행함으로써 통합적인 수자원 관리를 도모하고자 함.



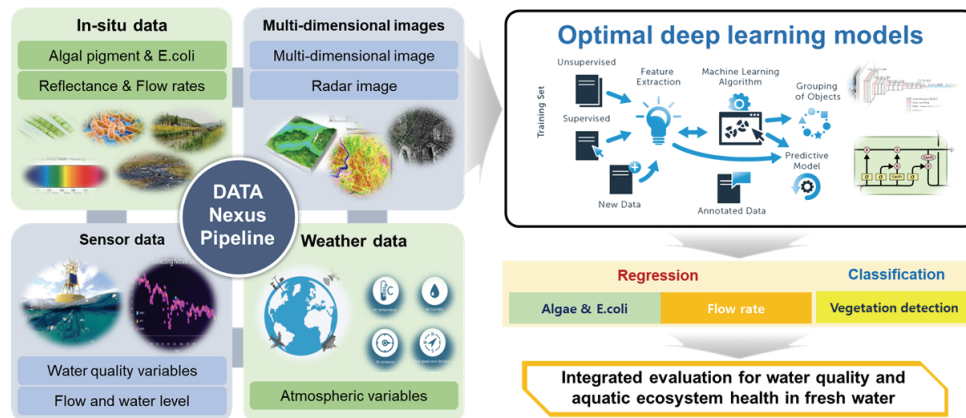
〈수환경 통합 데이터 구축〉

- 수질, 유량, 다분광 이미지를 확보 및 딥러닝 입력자료 구축을 위한 환경빅데이터 전처리 자동화 진행함.



〈딥러닝 모델 구조〉

- 딥러닝 모델은 Convolutional neural network(CNN)기반 모델을 구축하여 유해조류, 병원성 대장균, 그리고 유량을 모의하며 수변 식생을 분류함.
- 이미지 기반의 복잡한 데이터 자체를 처리할 수 있는 구조와 입력자료 차원축소 및 특징 추출을 강조할 수 있는 autoencoder 구조를 함께 넣은 모델의 성능을 비교함.
- 단일 픽셀 기반으로 입력자료를 준비하고 Long short-term memory (LSTM) 아키텍처를 활용해서 시계열적 변화의 특징을 효율적으로 추출한 후 다시 CNN 구조를 결합한 모델을 구축하여 성능을 확인함.
- 딥러닝 모델 구조에 설명 가능한 딥러닝 모듈을 추가하여 영향 인자를 파악하고, 실측 수질 인자 데이터들을 구조가 이어지는 과정에서 함께 입력하여 성능 향상을 도모 함.



〈수환경통합관리 딥러닝 모델 개발 체계〉

- 개발된 딥러닝 모델들의 수질 및 유량 산정 그리고 수변 식생 탐지에 대한 테스트 성능을 확인하고, 이 모델을 다양한 반사도 이미지에 적용하여 공간 분포 지도를 제작하여 시공간적 예측 정확성을 실측사진과 비교하여 확인함.
- 이를 바탕으로 수질 및 수생태계 건강성 평가를 수행할 수 있는 가장 안정적이고 정확한 수환경통합관리 모델을 선정함.

대표 연구 성과

1. J.C. Pyo, K.H. Cho, K.H. Kim, S.-S. Baek, G. Nam, S. Park Cyanobacteria cell prediction using interpretable deep learning model with observed, synthetic, and sensing data assemblage, Water Research, 203, 117483.
2. J.C. Pyo, L.J. Park, Y. Pachepsky, S.-S. Beak, K. Kim*, K.H. Cho* (2020) Using convolutional neural network for predicting cyanobacteria in river water, Water Research, 186(1), 116349.
3. J.C. Pyo, H. Duan, S.-S. Baek, M.S. Kim, T. Jeon, Y.S. Kwon, H. Lee*, K.H. Cho* (2019) A convolutional neural network regression for quantifying cyanobacteria using hyperspectral imagery, Remote Sensing of Environment, 233, 111350.
4. J.C. Pyo, S.M. Hong, Y.S. Kwon, M.S. Kim, K.H. Cho* (2020) Estimation of heavy metals using deep neural network with visible and infrared spectroscopy of soil, Science of the Total environment, 741, 140162.
5. J.C. Pyo, S.M. Hong, J. Jang, S. Park, J. Park, J.H. Noh, K.H. Cho*, Drone-borne sensing of major and accessory pigments in algae using deep learning modeling, GIScience and Remote Sensing, 59(1), 310-332.
6. J.C. Pyo, J. Min, G. Nam, Y.-S. Song, J. M. Ahn, S. Park, J. Lee, K.H. Cho, Y. Park*, (2021) Effect of hyperspectral image-based initial condition on improving algal simulation of hydrodynamic and water quality model, Journal of Environmental Management, 294, 112988.



부산대학교 환경공학과
조교수 표종철

한국물환경학회-대한상하수도학회 통합 미래위원회

위원장 | 이재우, 최용주

위 원 | 김상현, 김영진, 김이중, 김형일, 명재욱, 박새롬, 박성직, 박제량, 박주영, 배성준, 배효관, 부찬희,
손아정, 윤석환, 이태권, 정석희, 정성필, 조강우, 조경화, 최정권

Water4FutureCity 2022년 8호

한국물환경학회 서울특별시 종로구 삼봉로 81 두산위브 파빌리온 1137호

Tel. 02-389-4250 | Fax. 02-385-3702 | E-mail. ksw@kswe.org

대한상하수도학회 서울특별시 강남구 광평로 280 로즈데일빌딩 1323호

Tel. 02-507-1170 | Fax. 02-502-1170 | E-mail. ksw@ksww.or.kr

※ 본 이슈레터는 2019년 1호부터 한국물환경학회와 대한상하수도학회가 공동으로 운영하는 통합 미래위원회에서 발간합니다.