

한국의 1982-2020년 플라스틱 동적물질흐름분석 (서울대)

내연기관 연소효율 향상을 위한 완전연소 유도장치:
탄소발자국 및 미세먼지발자국 저감산정
(프랑스 트루아공대)

학습 기반 최적화 방법론을
이용한 서울시 도로변대기측정망 확장 (서울시립대)

재생 전기 100% 사용을 위한 RE100:
현황 및 전망 (전남대)



◀ 박주영(왼쪽), 손민희(오른쪽)

건설의 한계를 넘어선

Life Value Creator

경계없는 생각이 한계없는 미래를 만듭니다.

TAEYOUNG

태영건설



편집인의 말

JKSEE는 “J-K-SEE (제이-케이-씨)”로 불러주십시오.

JKSEE는 지금도 발전하고 있고 앞으로도 발전합니다.

1978년 『대한환경공학회』 창립으로 환경공학 교육과 연구 기틀을 잡아나가기 시작한 이후 44년째 되는 2023년 4월 현재 대한환경공학회 회원은 회원 수 10,648명에 이르렀습니다.

우리나라 환경공학이란 학문의 집을 만들기 위해 벽돌 한 장 한 장 쌓으며 우리나라 최고 최대 『대한환경공학회』를 만들어 오신 많은 분의 수고와 노력에 경의를 표합니다.

이 시대 최고의 환경학술지 『대한환경공학회지 JKSEE』는 그동안 환경공학 발전에 평생을 바치신 이분들의 기록을 담아가고 있습니다.

이번 2월에 대학에서 정년 퇴임하신 대한환경공학회 회원은 50분이셨습니다. 앞으로 대한 환경공학회 회원만 아니라 각 학교에서 환경공학을 교육하셨던 다른 분들도 함께 기록으로 남기겠습니다.

이번 달도 4 편의 소중한 논문을 투고해 주신 연구자와 귀중한 시간을 할애하여 논문심사를 해 주신 12 분의 심사자에게 다시 감사드립니다. **여러분들이 있기에 JKSEE가 우리 곁에 있습니다.**

2023년 4월

편집위원장 정승우(군산대)



부 편집위원장



이원태(금오공대)



주진철(한밭대)



정석희(전남대)



김상현(연세대)



최성득(울산과기원)

이달의 연구자

2023년 3월호 『이달의 연구』 논문은 ‘한국의 1982-2020년 플라스틱 동적물질흐름분석(박주영 · 장용철 · 손민희)’입니다.

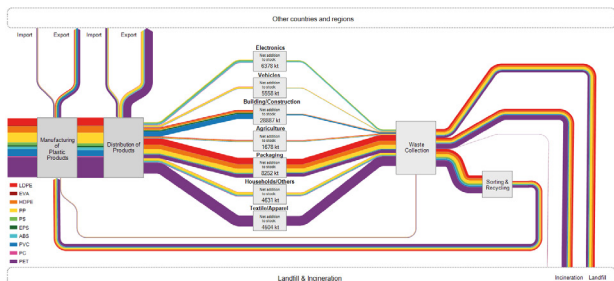


그림 1. 한국의 1982-2020년 플라스틱 10대 수지별 (LDPE, EVA, HDPE, PP, PS, EPS, ABS, PVC, PC, PET) 누적 흐름 (단위: 천톤)

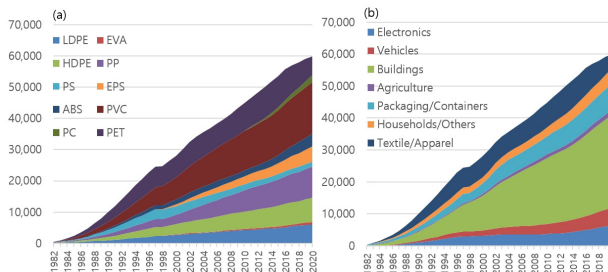


그림 2. 한국 내 사용 중 플라스틱 축적량의 1982-2020년 사이 변화 (단위: 천톤)

기준에 알 수 없었던 국내 플라스틱의 40여년 축적량과 폐플라스틱의 수지 및 제품별 조성 추정

전 세계적으로 플라스틱의 환경 축적 및 미세화로 인한 문제를 해결하기 위해 플라스틱 순환경제를 추진하고 있다. 플라스틱 순환경제를 효과적으로 추진하기 위해서는 플라스틱이 어떠한 형태로 어느 부문에서 얼마나 소비되고 폐기되는지, 전 과정의 물질흐름을 정량적으로 보여주는 물질계정이 필요하다.

최근 5년 동안 플라스틱 물질흐름 연구논문이 220건 이상 출판되는 등 관련 연구가 전 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다. 국내에서도 물질흐름분석 필요성에 대한 인식이 높아지며 “플라스틱 전주기 발생 저감 및 재활용 대책”에서 플라스틱 전과정 물질흐름 데이터베이스를 구축하고 정보 관리 전담기구를 설치하겠다고 발표하기도 하였으며, “전주기 탈플라스틱 대책”에서는 플라스틱 실질 재활용 산정을 위한 통계 고도화 필요성을 제시하였다. 본 연구에서는 1982년부터 2020년까지 약 40여 년 간에 대한 한국의 플라스틱 동적물질흐름분석(dynamic material flow analysis)을 수행함으로써, 플라스틱의 효율적인 관리와 순환경제를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 이를 통해 **한국의 전 주기 플라스틱 흐름을 정량화할뿐 아니라 국내 기존 플라스틱 물질흐름분석 연구에서 추정할 수 없었던 폐기물의 플라스틱 수지 및 제품 조성, 그리고 사용 중 플라스틱의 축적량(in-use stock)을 추정**하였다는데 의의가 있다.

동적물질흐름분석은 범용적으로 사용되는 플라

스틱 수지 10종(LDPE, EVA, HDPE, PP, PS EPS, ABS, PVC, PC, PET), 7가지 소비 부문 및 최종 제품(전자제품, 자동차, 건물, 농업, 포장 및 용기, 섬유 및 의류, 생활용품 및 기타)을 대상으로 하였다. 생산 및 수출입 흐름은 주로 통계 및 문헌수치를 활용하여 추정하고, 부문별 소비 및 처리방법별 폐기물 흐름은 가용한 통계에서 분배 비율을 도출하여 추정하였다. 정적물질흐름분석과 달리, 폐기물 발생흐름은 제품별 수명주기분포함수를 이용하여 추정하고, 플라스틱 제품 소비량과 폐기물 발생량의 연도별 차이를 통해 시스템 내 사용 중인 축적량의 변화를 추정하였다.

분석 결과, 한국에서는 1982년부터 2020년까지 39년간 총 237백만톤의 수지가 생산되었고, 수출입 후 242백만톤의 플라스틱 일차제품이 공급되었다. 최종적으로는 207백만톤의 제품이 소비되었고, 이 중 71%에 해당하는 147백만톤이 소비 후 폐기물로 발생하였는데, 이 외에도 3.8백만톤의 폐기물이 플라스틱 제조 단계에서 발생하였다. 아직 국내에 사용 중인 플라스틱 축적량은 60백만톤으로 추정된다. 플라스틱 폐기물 중 약 24%가 매립, 29%가 소각되었으며, 47%는 선별 및 재활용 시설로 반입되어 처리되고, 이 중 27백만톤이 산업에서 재활용된 것으로 추정된다. 재활용 흐름은 선별 및 재활용 과정의 잔재물 배출계수에 기반하여 추정하였는데, 이렇게 추정된 재활용량은 총 폐기물 발생의 18% 수준이다. 플라스틱 일인당 소비량은 1982년 15 kg에서 2020년 150 kg으로 증가하였고, 일인당

폐기물 발생량은 동일기간 2 kg에서 139 kg으로 증가하였다. 제품 중에서는 포장재 및 용기 제품, 수지별로는 PP, PE 계열의 소비 및 폐기물 발생이 두드러졌다. **사용 중 플라스틱의 거의 절반은 건물용으로, 이 중 절반이상이 PVC로 나타났다.**

플라스틱 동적물질흐름분석을 통해 정적물질흐름 분석으로는 파악할 수 없었던 사용 중 축적량 규모와 폐기물 흐름의 제품별, 혹은 수지별 조성을 파악할 수 있다. 이러한 정보는 미래의 폐기물 발생 패턴을 예측하고, 재활용 시스템을 설계, 개선해 나가는 데 유용한 기초 자료로 활용할 수 있다. 예를 들어, 포장재 및 용기로 사용되는 PET 생활계폐기물이 2007년 이후 연간 약 45-65만톤 규모로 배출되고 있는 것으로 추정되었는데, 이를 통해 포장재 PET

재활용을 위한 적정 시설 규모를 대략적으로 파악할 수 있다. 다만 본 연구의 물질흐름분석결과는 활용 데이터의 한계와 가정 하에 해석될 필요가 있다. 향후 연구에서는 제품별 플라스틱 함량, 제품별 폐기물 처리 방법별 비율, 선별 및 재활용 잔재물 배출 계수, 산업으로 투입되는 재활용 흐름 등에 대한 데이터 개선이 필요하고, 플라스틱 첨가제와 폐섬유 및 폐의류 처분에 대한 정보를 추가적으로 고려할 필요가 있다.

본 편집위원회는 이 연구가 기존 플라스틱 물질흐름분석 연구에서 추정할 수 없었던 폐기물의 플라스틱 수지 및 제품 조성, 그리고 사용 중 플라스틱의 축적량(in-use stock)을 추정하였다는 데 의의가 있어 이달의 연구로 선정하였다.

이달의 연구자



박주영

서울대학교 건설환경공학부 부교수로, 지속가능공학 및 산업생태학 접근법을 통해 물질자원을 효율적으로 이용하는 순환경제 전략을 탐색하고 탄소중립 효과를 평가하는 연구를 수행하고 있다.

장용철

고려대학교 에너지환경대학원 박사과정 재학 중이며, 플라스틱 물질흐름 및 플라스틱 순환경제의 탄소저감 효과 연구를 수행하고 있다.



손민희

고려대학교 에너지환경대학원 박사과정 재학 중이며, 싱가포르 국립대학교 에너지연구소에서 근무 중이다. 싱가포르 주변 국가의 탄소중립 정책연구와 재생에너지 시스템의 전과정평가 연구를 수행하고 있다.

**"물, 환경 에너지
미래 유망 산업 전문기업으로 발전하는"**

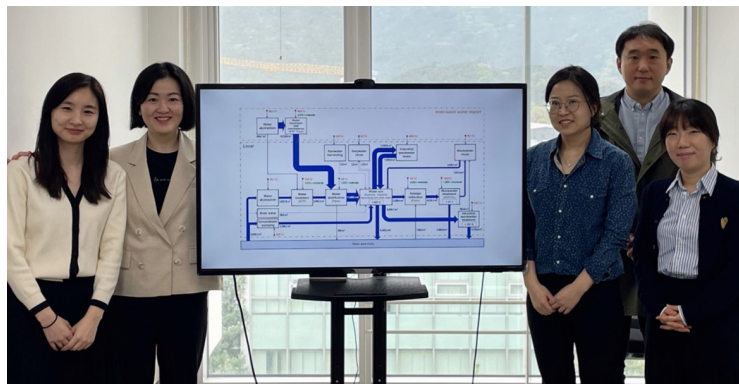
CJK

씨제이케이얼라이언스



이 달의 탐방 ...

서울대학교 물질흐름 및 탄소 모델링 연구실

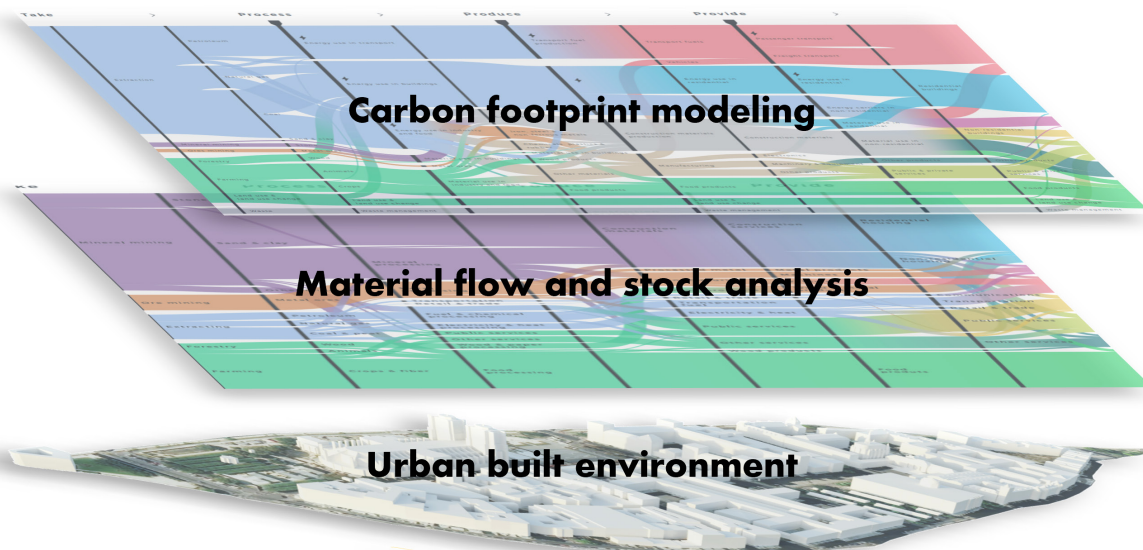


탄소중립을 위한 순환경제, 자원의 효율적 이용을 위한 물질흐름 및 전과정평가 연구

우리가 살아가는데 화석연료 및 에너지, 금속·비금속 광물, 수자원, 바이오매스와 같은 다양한 자원이 필요한 반면, 과도한 자원의 소비는 온실가스 배출, 자원고갈 등 부정적 환경 변화를 야기한다. 서울대학교 건설환경공학부 물질흐름 및 탄소 모델링 연구실(metabolism and carbon modeling group)에서는 이러한 자원을 효율적으로 사용하는 순환경제(circular economy) 전략을 탐색하고, 그 지속가능성 및 탄소중립 기여 효과를 평가하는데 초점을 두고 있다. 이를 위해 도시, 국가 등 거시적인 시스템에서 자원 소비를 모델링하는 물질흐름분석(material flow analysis), 자원 소비의 결과로 나타나는 환경영향을 정량화하고, 대안 전략의 효과를 평가하는

전과정평가(life cycle assessment) 및 환경산업연관분석(environmentally-extended input-output analysis)을 주요 분석 도구로 활용하고 있다.

본 연구실에서는 특히 건물 및 인프라의 탄소중립에 기여하기 위한 자원효율 및 순환경제 연구를 수행하고 있다. 건축물의 건설과 운영은 전 세계 이산화탄소 배출의 37%를 차지하며, 유럽의 경우 건물 부문의 자원 채굴량의 50%, 폐기물 발생의 35%, 온실가스 배출의 5-12%를 차지하는 것으로 알려져 있다. 건물 부문에서의 온실가스 배출 저감 논의는 주로 건물 사용 중 에너지 관리와 사용 단계의 온실가스 배출, 즉 운영탄소(operational carbon) 저감에 초점을 두고 있고, 건축물 자재 생산, 시공, 유지



연구 개요도. 본 연구실에서는 도시 건설환경시스템의 물질흐름 및 축적량과 이에 따른 탄소발자국을 추정함으로써, 온실가스 배출 저감을 위한 물질자원의 효율적 사용, 다양한 순환경제 전략을 탐색하고 탄소중립 효과를 평가하는 연구를 수행하고 있다.

보수, 해체 및 폐기물 관리에서 배출되는 내재 탄소 (embodied carbon)의 배출과 저감 전략은 충분히 고려되고 있지 않다. 본 연구실에서는 에너지 효율뿐 아니라 자원효율을 높이는 순환경제 전략을 탐색하고, 이의 온실가스 배출 저감 잠재량을 추정하기 위해 건물 및 인프라의 자원 소비 원단위를 유형화 하는 연구, 그리고 도시의 건물 및 인프라의 자원 축적량(in-use stock)을 공간적으로 추정하는 물질흐름 분석을 수행하고 있다. 특히 가용 데이터의 한계를 극복하기 위해 원격탐사 및 공간정보 데이터, 기계학습 등의 다양한 방법을 활용하고자 한다.

이 외에도 도시 인프라 전반(취수, 도수, 정수, 온수

사용, 하폐수 처리 및 빗물, 중수, 하수처리수 재활용)에서 전력 사용뿐 아니라 관거 설치 및 유지보수, 화학물질 사용에 따른 간접적인 에너지 소비, 탄소 배출을 평가하는 연구, 그리고 국내 플라스틱 물질흐름 데이터베이스를 기반으로 플라스틱 순환경제 이행 전략 연구를 수행하고 있다. 또한 **지속가능공학 및 산업생태학 분야의 효과적인 연구 수행과 방법론 교육**을 위해 국제공동연구, 해외 전문가 세미나, 비교과 교육 프로그램을 기획하고 추진함으로써 연구실 구성원들에게 연구 역량 강화를 위한 다양한 기회를 제공하고자 한다.



앞선 기술로 세상의 기준이 되다

건설 Convergence 4.0

내일을 이끌어 갈 첨단 산업과 세계 일류를 선도하는 GS건설의 완벽한 융합! 미래를 향한 GS건설만의 앞선 기술이 인류의 위대한 역사를 창조하고 있습니다



Infra



Eco



Plant



Architecture



Leisure



이달의 대담

환경공학 교육과 연구에 일생을 바치신 교수님께 감사드립니다. (2023.2. 정년퇴임)

(※ 자료를 보내주신 분만 소개하고 있습니다.) 가나다 순



김기은

서경대학교 화학생명공학과 교수로 재직하였으며, 환경생물공학, 생물화학공학, 발효공학 과목을 강의하였다.



김승현

경남대학교 건설시스템공학과 교수로 재직하였으며, 상수도공학, 하수도공학, 상하수도공학설계, 환경공학기초 과목을 강의하였다.



노희명

서울대학교 농업생명과학대학 농생명공학부 응용생명화학과 교수로 재직하였으며, 토양학, 토양물리학, 토양환경화학, 분석화학 과목을 강의하였다.



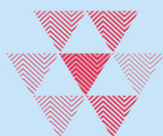
이승목

가톨릭관동대 바이오융합공학과 교수로 재직하였으며, 환경화학, 폐수처리공학, 환경공학설계 과목을 강의하였다.



이영옥

대구대학교 화학생명과학부 교수로 재직하였으며, 환경미생물학, 육수학(담수생태학), 기후변화생태학 과목을 강의하였다.



KOLON GLOBAL

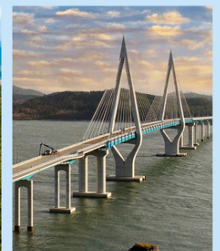


KOLON SPOREX

Housing



Construction



Environment



Trading



Sports Complex

이달의 대담

[후학들에게 남기고 싶은 글]

“깨끗한 지구를 만드는 주인공이 바로 우리들입니다”

교직 생활을 마치고 정년퇴임을 하면서 몇 번의 모임을 통해 지나온 정들을 나눌 수 있는 시간은 가졌지만 정작 연구하고 학생들을 가르쳤던 32년 6개월의 시간들을 되돌아보는 시간은 없었는데 학회 연락을 받고 정리할 수 있는 기회를 주신 것에 감사 드린다. 후배들에게 무언가 남길 만큼 훌륭한 업적은 없지만 지나온 날들을 회고하는 과정들이 혹시 누군가에게 도움이 되었으면 한다.

환경공학이라는 단어가 생소하던 시절 석사과정 수업을 들으면서 처음 환경공학을 소개받아 관심을 가지면서 환경공학 전공자의 길로 들어서게 되었다. 활성탄을 이용한 수용액 중의 VOC 흡착으로 학위를 받고 1990년 관동대학교 환경공학과에서 강의를 시작하였다. 당시 많은 대학에서 앞을 다투어 환경공학과를 신설하였고 우리 대학의 경우 수석합격자가 환경공학 입학생이었을 정도로 인기 학과였다. 임용 당시 교수 5명 입학정원 80명 얼마 지나지 않아 교수 8명 입학정원 120명이라는 지금은 상상할 수 없는 초호황을 이루었다. 임용 후 다행히 몇 개의 제안서가 선정되어 연구 과제를 수행할 수는 있었지만 대학원이 개설되지 않아 본격적인 연구는 첫 번째 안식년을 다녀온 후 중금속 흡착에 관한 주제로 본격적인 연구를 시작할 수 있었다. 이후 정년 시까지 꾸준히 연구재단 과제를 수행하며 대학원 진학자가 많지 않은 지방대학 현실을 극복하기 위해 외국인 포닥과 주변 공동 연구자들의 도움을 받아 SCI 190여편 학진등재논문 110여편 등 과분한 연구업적을 이룬 것에 이 자리를 빌어 지금까지 수

고한 모든 연구원들에게 감사한다. 연구 분야도 원래 전공을 벗어나지 않고 중금속 흡착연구를 기초로 다양한 중금속 흡착제 개발과 이를 기반으로 한 센서 개발 더 나아가서 중금속 측정기 및 흡착장치를 개발하기에 이르렀다.

지역경제 활성화를 위해 6년간의 산업자원부 RIS 사업단 운영 및 3년간의 환경융합신기술개발과제를 수행하면서 온전한 상품화에 성공하지 못한 것이 다소 아쉽지만 경쟁력 있는 기술력을 보유한 기업체의 제품개발과 매출 그리고 그를 통한 고용 및 인력양성이 국가 경제발전에 기여하는 바가 크다는 것을 절실히 깨달았다. 많은 인재들이 보장된 미래를 위해 특정 학과에 편중되는 안타까운 현실에 우리 환경공학자들은 기후기술을 통해 보다 나은 지구를 후손에게 물려주는 일을 담당한다는 데 보람을 느꼈으면 좋겠다.

65세가 과거와 달리 아직은 무언가 할 수 있는 나이로 정년 후 그간의 쌓아온 업적을 가지고 실용화 등에 열정적인 분들도 적지 않지만, 필자는 지역업체의 고문직이라는 최소한의 역할과 함께 건강하게 활동할 수 있는 인생의 황금기 향후 10년을 하루하루 스트레스 없이 즐겁고 자유롭게 살기를 소망한다. 학회회원으로 활동하는 동안 늘 든든한 버팀목이 되어 주었던 학회와 학회를 통해 맺었던 소중한 인연 선배 동료 후배님들 일일이 인사드리지 못하는 죄송함을 뒤로하고 본 지면을 통해 그간의 감사한 마음을 전한다.



이승목 (가톨릭관동대 바이오융합공학과 교수)

한양대학교 화학공학과에서 학사, 연세대학교 화학공학과에서 석사, 캔ساس주립대 토목공학과에서 박사를 취득하였고 대한환경공학회 논문상, 한국물환경단체연합회 학술상, 국무총리 표창을 수상하였고 대한환경공학회 강원지부장과 감사를 역임하였다.

편집위원회가 알리는 말

- SCIE 내 JKSEE 인용 건수

• 2020년(19건), 2021년(48건), 2022년(160건), 2023년(83건) (파란색: 이번 달 신규인용)

No.	교신저자	소속	건수	SCIE
1	강문성	서울대	1	Agricul Water Manag
2	길상인	지자연	1	J. Eviron Chem Eng
3	김백호	한양대	1	Int. J Environ Res Pub Health
4	김상현	연세대	2	Bioresour Tech 2
5	김수한	부경대	1	Desalination
6	김영도	명지대	1	Applied Sci.
7	김종훈	한국섬유기계융합연구원	1	Fibers and Polymers
8	박성직, 이창구	한경대, 아주대	1	water
9	박종배	건국대	1	J Electrical Eng&Tech
10	배재근	서울과기대	1	water
11	선도원	한국에너지연구원	1	Energies
12	신현상	서울과기대	3	J Water Process Eng J Indust and Eng Chemistry Sci Total Environ
13	안윤주	건국대	1	Compar Biochem and Physiology
14	안현근	건국대	1	IEEE Access
15	오현석	서울과기대	2	Chemosphere 2
16	유창규	경희대	1	Toxics
17	이민희	부경대	1	Minerals
18	이윤석	한국해양대	1	J Marine Sci and Eng
19	이윤호 손희종	GIST, 부산시	1	Sci Total Environ.
20	장갑수	영남대	1	Ecological Indicators
21	정석희	전남대학교	9	J. Cleaner Prod 5 EER 4
22	조경화	울산과기원	2	Chemical Eng J 2
23	조은혜(이창구)	전남대,아주대	1	Korean J Chem Eng
24	조창대	국립환경과학원	1	Environ Tech & Innov.
25	조현서	전남대	1	Water
26	조훈	조선대	1	Biotech and Biopro. Eng
27	채규정	한국해양대	2	Sci. of Total Environment 2
28	최창용	서울대	1	Bird Conser Int.

국내 연구자 42건, 외국인 연구자는 41건입니다.

연말에 『우수 심사자상』과 『국제 논문 인용상』을 드립니다.

대한환경공학회지는 수많은 익명의 심사자에 의해 논문이 더욱 다듬어 집니다. 심사를 빨리, 많이 그리고 성심 성의껏 해주시는 우수 심사자를 발굴하여 시상합니다.

대한환경공학회지는 국제 DB 색인 등록을 목표로 긴 여정을 시작하였습니다. 그러기 위해 많은 분들이 JKSEE 논문을 인용해 주셔야 합니다. 우리 한글로 쓰는 국제 등재지가 될 수 있도록 여러분이 만들어 주십시오. 많이 인용해 주시는 분 시상하겠습니다.

JKSEE 월간 웹북 누구에게나 보내드립니다.

대한환경공학회 회원 이외 JKSEE 월간 웹북을 받아보고 싶으신 분은 편집위원회로 이메일 주소를 알려주시기 바랍니다.

독자공간



이달의 질문

추첨하여 아메리카노 이용권을 보내드립니다.

월간지 내용 중 틀린 것을 고르시오

- 1) 이번 2월 대학에서 정년퇴임하신 교수님은 50분이셨다.
- 2) 이달의 연구자 박주영 교수님은 산업생태학을 연구한다.
- 3) 동적 물질흐름분석 결과, 사용 중 플라스틱의 절반은 건물용이었다.
- 4) 외국연구자의 JKSEE인용이 국내연구자를 앞서기 시작했다.

정답을 5월 15일까지 ksee@kosenv.or.kr로 성함, 소속, 휴대전화번호와 함께 보내주시면 추첨하여 아메리카노 1잔 이용권을 보내드립니다.



학회 소식

대한환경공학회 23대 임원진이 한국환경공단을 예방하였습니다.

- 일시: 2023년 4월 7일(화) 13:30
- 장소: 한국환경공단 이사장실
- 참석자:
 - (대한환경공학회) 장암 회장, 김정환 학술위원장, 정승우 국문편집위원장, 김현우 총무이사, 배성준 총무 간사
 - (한국환경공단) 안병옥 이사장 외 1명
- 내용
 - 한국환경공단 업무 및 대한환경공학회 소개
 - JKSEE 기술자료 등의 게재 활성화 방안 논의
 - 대한환경공학회 전문가그룹 학술대회 및 국내학술대회 협력 방안 논의
 - K-Eco 이사장의 축사 및 기조강연 기획, 특별세션 진행
 - KSEE와 K-Eco간의 정례 협력 행사 주요간부회의에서 고민
 - 디지털혁신처를 통해 디지털과 환경접목 관련 협력 방안 고민



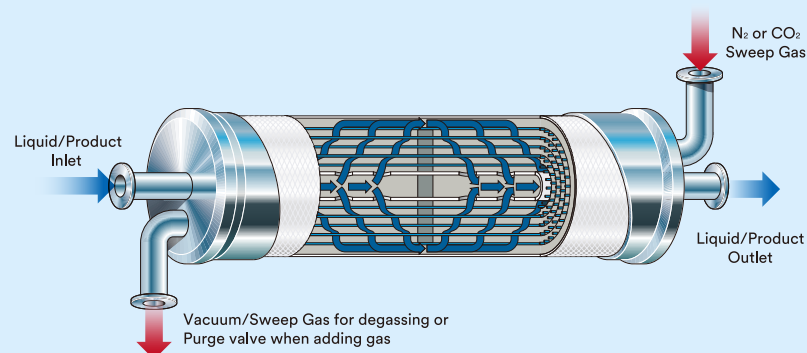
Liqui-Cel™
Membrane Contactors

**3M 멤브레인 탈기 기술은
경제적이고 효과적인 방법으로
액체 내 용존 가스를 제어 합니다.**

한국쓰리엠주식회사

필터제품 사업팀
서울시 영등포구 의사당대로 82 해나금융투자빌딩 19층
TEL : 080-033-4114
http://3m.co.kr

QR코드를 스캔 하셔서
문의해 주세요.



멤브레인 탈기 기술 적용 분야

	발전소/보일러	전기전자	식음료	제약	산업용 잉크/코팅액
용존 O ₂ 제거	✓	✓	✓	✓	
용존 CO ₂ 제거	✓	✓	✓	✓	
CO ₂ / N ₂ 주입		✓	✓		
미세 버블 제거		✓			✓
용존 NH ₃ 제거	✓	✓	✓		
VOC 제거		✓	✓		