


At The Moment


연세대학교 대기과학과

뉴스레터

2025학년도 1학기 제8호

 <https://atmos.yonsei.ac.kr/>

 03722
서울특별시 서대문구 연세로 50
연세대학교 이과대학(과학관) 528A

 +82-2-2123-8150

발행일 2024.03.04

발행인 박상훈

발행처 연세대학교 대기과학과

편집자 신지은(21) 조장희(20) 이주은(21)
김건하(22) 이준경(22) 현소은(24)

기사 제보 newjieun@yonsei.ac.kr
및 문의 010-7670-4609

Contents

01

당선사례	· 제28대 대기과학과 학생회 <풍선> 당선사례	3
------	----------------------------	---

02

대기과학과 사람들을 만나다	· See You Again: 졸업생과의 인터뷰 미국 콜로라도 대학교 볼더 이채형 연구원님 · 교수님과의 티타임: 송하준 교수님과 인터뷰	5 12
-------------------	--	---------

03

함께하는 대기과학과	· 제27대 대기과학과 학생회 <산들> 퇴임사 · 대기과학과 토크콘서트 v1.0: 선배님들과의 만남 스케치 · 대기과학과 인공지능(AI)의 만남: AI융합심화전공 소개 및 설명	14 17 23
---------------	--	----------------

04

대기과학과 연구실 소개	· ‘수리대기물리 연구실(송인선 교수님)’ 소개 - 어희진 연구원님과 인터뷰	26
-----------------	--	----

05

알쏭달쏭 대기과학	· 바람, 해양의 표층순환을 일으키다 · 기후 현상을 알아보는 또 다른 방법: Simple Model	33 39
--------------	---	----------

06

연구 소식	· 이예슬·조윤재 연구원, 2024년 한국기상학회 가을학술대회 '우수논문발표상' 수상 · 여민주·이지우·강 옥 연구원, 2024년 한국대기환경학회 정기학술대회에서 수상 · 안순일 교수팀, 북극해에 지구온난화가 불러올 새로운 이상기후 현상 발견 · 안순일 교수팀-홍콩성시대, 온실가스 감축 후에도 지속되는 산불 위험 밝혀 · 송하준 교수팀, “뜨거워진 바다가 식는 데 걸리는 시간이 두 배 늘어났다” · 김 준 교수, Alumni Merit Award 수상 · 안순일 교수, ‘2024년 국가연구개발 우수성과 100선’ 선정 · 홍진규 교수와 이주엽 연구원, 『기후 적응』 공동 집필	47 48 49 50 51
-------	--	----------------------------

07

학과 소식	· 졸업을 축하합니다! · 연세대학교 대기과학과 특임교수에 유희동 교수 부임 · 2024 연세대-서울대 공동 기기 활용 및 대기 분석 기술 공유 워크샵 · 대기과학과 토크 콘서트 v1.0: 선배님들과의 만남 · 대기과학과 밴드 동아리 <247> 2024-2 정기공연 · 대기과학과 학술 동아리 <기상천외> 활동 살펴보기	52 53
-------	---	----------

제28대 대기과학과 학생회 <풍선> 당선사례

안녕하십니까 대기과학과 학우 여러분. 제28대 대기과학과 학생회 <풍선;風線>입니다.

여러분의 소중한 한 표와 믿음 덕분에 이렇게 감사한 자리에서 인사드리게 되었습니다. 맡겨주신 기대와 응원을 가슴에 새기고, 여러분의 바람과 믿음을 모아 새로운 하늘을 그려 나가겠습니다.

지난 한 해 우리 대기과학과는 선대 학생회 <산들>의 따뜻한 바람을 타고 의미 있는 순간들을 함께해왔습니다. <산들>의 세심한 노력과 풍성한 변화 덕분에 우리 과의 흐름은 한층 활기를 되찾았고, 그 바람은 이제 <풍선;風線>이라는 이름으로 더 높이, 더 멀리 날아오를 준비를 마쳤습니다.

<풍선;風線>은 ‘시원한 바람을 타고 높이 날아오르자’는 의미를 담고 있습니다. ‘바람’은 우리 대기과학과의 상징이자 과의 정체성을 나타내며, 동시에 학우 여러분의 바람(願)이 담긴 따뜻한 응원의 흐름을 의미하기도 합니다. 그 바람은 학우 여러분의 소중한 의견과 기대를 이어주는 흐름이자, 우리가 함께 나아갈 원동력입니다. 작은 바람 하나 하나가 모여 더 큰 흐름을 만들고, 그 흐름이 학우 여러분 모두를 감싸며 대기과학과라는 하늘을 더 맑고 높게 만들어 줄 것이라 믿습니다.

다가올 2025년, <풍선;風線>은 단순히 학생회라는 울타리에 머물지 않고, 학우 여러분의 일상과 행사, 그리고 작은 불편함까지 모두 보듬을 수 있는 든든한 바람이 되겠습니다. 언제나 여러분의 곁에서 귀 기울이고, 함께 웃으며 걸어하겠습니다. 소소하지만 따뜻한 순간부터, 모두가 하나 되어 즐기는 뜻깊은 행사까지 학우 여러분이 자유롭게 숨 쉬고 서로 연결되는 공간을 만들기 위해 최선을 다하겠습니다.



다시 한번, 저희에게 보내주신 소중한 믿음에 감사드립니다. 선대 학생회 <산들>의 바람을 이어받아, <풍선;風線>은 시원한 바람을 타고, 하늘 높이 날아오르는 2025년을 여러분과 함께 만들어 나가겠습니다.

감사합니다.

연세대학교 제28대 대기과학과 학생회

시원한 바람을 타고, 하늘 높이, <풍선;風線>

학생회장 손정민, 부학생회장 백승훈, 홍령기 올림



대기과학과 사람들을 만나다

See You Again: 졸업생과의 인터뷰

미국 콜로라도 대학교 볼더 이채형 연구원님



사진 1 미국 콜로라도 대학교 볼더(University of Colorado Boulder)의 풍경

〈대기과학과 사람들을 만나다〉에서는 미국 콜로라도 대학교 볼더(University of Colorado Boulder)에서 박사과정을 밟고 계신 이채형 선배님과의 인터뷰를 진행하였다. 익숙한 환경에서 벗어나 새로운 환경에서 다양한 사람들과 함께 학문을 탐구하기를 바라는 학생이라면, 해외 대학원 진학을 고민할 것이다. 이번 인터뷰에서는 해외로 대학원에 가기 위한 과정, 해외 대학원의 장단점 등 해외 대학원과 관련된 다양한 주제를 살펴보았다. 해외 대학원에 관심이 있으나 정보가 적어 고민했던 학생들은 이번 인터뷰에 주목하길 바란다.

1. 간단한 자기소개 부탁드립니다.

안녕하세요, 저는 연세대학교 대기과학과 16학번 이채형이라고 합니다. 23년 8월에 연세대학교 송하준 교수님의 대기해양 모델링 연구실에서 석사를 졸업하고 24년 8월부터 콜로라도 대학교 대기해양학과(Department of Atmospheric and Oceanic Sciences)에서 박사과정 중에 있습니다. 저는 현재 제 지도 교수인 Dr. Donata Giglio, Dr. Aneesh Subramanian과 함께 RA(Research Assistant)로서 두 가지 프로젝트에 참여하고 있습니다.

2. 현재 진행 중인 연구를 간단하게 소개해 주세요.

첫 번째는 미국 항공 우주국 NASA(National Aeronautics and Space Administration) 프로젝트로, 해수면 염분 관측값을 NASA GEOS2 S2S 예측 모델¹⁾에 자료 동화했을 때 상층 해양에서 열 수송과 열용량의 예측성이 얼마나 좋아질 수 있는지를 정량적으로 파악하는 것입니다. 저는 연세대학교에서 석사과정 동안 송하준 교수님과 해수면 온도의 통계, 물리적 특성에 대해 많이 공부했는데요. 그 지식을 바탕으로 다른 물리량을 평가하는 데 집중하고 있습니다.

두 번째는 아직 준비 단계입니다. 제가 주도하여 진행하는 연구에 대한 욕심이 생겨서 NASA research fellowship을 위한 연구 제안서를 작성하고 있습니다. 제 연구 제안서가 선정된다면 재분석과 관측 자료뿐 아니라 해양 모델을 활용하여 상층해양에서 연직 및 수평 혼합이 외부 강제에 따라 어떻게 변화하는지 살펴보는 연구를 할 것입니다. 또한 많은 해양 모델이 상부 해양의 특정 물리량을 잘 모의하지 못하는데, 그 원인이 무엇인지 밝혀내고자 하는 목표도 가지고 있습니다.

3. 해당 주제에 관해 연구하시게 된 계기가 있으신가요?

저는 고등학생 시절부터 역학을 좋아했어요. 역학에는 여러 가지 종류가 있는데, 저는 그중에서도 유체역학을 좋아했어요. 유체 규모에서 에너지가 어떻게 전달되는지 살펴보는 것에 흥미가 있었습니니다. 해수면 온도는 다양한 물리적 과정에 의해서 결정되잖아요. 그런 과정에서 역학 개념이 많이 쓰이는 것을 보고 ‘이걸 더 연구해 보면 재미있겠다!’라는 생각이 들어 연구를 진행하게 되었습니다.

4. 해외에서 대학원을 다녀야겠다고 선택하게 된 이유는 무엇인가요? 국내가 아닌 해외 대학원을 선택하게 된 이유가 있으신가요?

엄청 특별한 계기가 있었던 건 아니었어요. 제가 고등학생일 때 해외 이공계 체험을 하러 갔어요. 그때 저희 고등학교 선배가 대학원생 생활을 하고 있던 대학교를 구경하러 갔었어요. 선배가 나와서 이것저것 설명해 주셨는데, 그때 해외에서 대학원을 다니는 생활이 재미있어 보였고, 해보고 싶다고 생각했었어요. 그게 첫 번째 계기였고, 제가 학사랑 석사 모두 연세대학교에서 졸업했어요. 그렇다보니 새로운 환경에서 연구를 진행해 보고싶은 마음이 생겨서 해외 대학원생 생활을 선택했습니다.

1) NASA GEOS2 S2S 예측 모델은 NASA의 지구 관측 시스템(Goddard Earth Observing System, GEOS)을 기반으로 한 대기·해양 결합 모델로, 수 주에서 수개월 단위까지의(Subseasonal-to-Seasonal) 예측을 생산한다. 이 모델은 대기, 해양, 육지, 해빙 등의 다양한 지구 시스템 구성 요소를 통합하여 기후 변동성을 분석하고 예측 가능성을 향상하는 데 사용된다.

5. 대기과학과를 나와서 갈 수 있는 해외 대학원의 전공 또는 분야에는 무엇이 있나요?

대기과학과를 졸업하고 갈 수 있는 전공이나 분야는 되게 선택지가 많아요. 대기과학과를 전공하면서 컴퓨터나 수학, 물리 등 많은 학문을 배우게 되잖아요. 그래서 대기과학과를 전공했다고 해서 꼭 대기과학과로 대학원에 간다기보다는, 각자 학부생 시절 흥미를 느끼고, 더 공부해보고 싶은 분야로 나아가시면 됩니다. 대기과학과를 졸업하고 컴퓨터 과학을 전공하시는 분도 계셨어요. 학업계획서를 어떻게 작성하느냐에 따라서 달라지는 것 같아요.



사진 2 이채형 선배님(연세대학교 대기과학과 학부 16, 대학원 22학번)

6. 학업계획서란 대학원에 가기 위해 작성하는 계획서를 의미하나요?

네. SOP(Statement of Purpose)라고도 하는데, 고등학생이 대학에 가기 위해 작성하는 자기소개서 같은 거예요. 박사과정을 밟기 위해 작성하는 자기소개서라고 할 수 있죠. 고등학생들이 쓰는 자기소개서와 차이가 있다면 SOP는 공부에 더욱 초점이 맞춰진 자기소개서예요. 지금껏 해온 공부들, 앞으로 하고 싶은 연구들에 대하여 작성합니다. 대기과학과가 코딩도 배우고 수학도 배우잖아요. 수학과 관련한 수업을 들으면서 수학과 관련한 연구를 진행하고 싶다고 SOP를 작성하면 수학과를 지원할 수도 있어요.



사진 3 콜로라도 대학의 대기·해양과학연구소 풍경

7. 콜로라도 대학을 선택하게 된 이유가 있으신가요?

콜로라도 대학은 미국 볼더(Boulder)라는 도시에 있어요. 볼더에는 대기과학이랑 해양과학 연구소가 되게 많아요. 미국 해양대기청 연구소 'NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)', 미국 국립 대기과학 연구소 'NCAR(National Center for Atmospheric Research)', 미국 국립 눈 연구소 'NSIDC(National Snow and Ice Data Center)', 환경과학 협력연구소 'CIRES(Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences)' 등이 있어요. 볼더가 지구과학을 공부하기 좋은 지역이라고 생각되어 콜로라도 대학을 선택했습니다.

8. 해외 대학원의 장단점에는 무엇이 있을까요?

새로운 분위기에서 새로운 사람들과 함께 연구할 수 있다는 점이 장점인 것 같아요. 또 한국의 경우에 은연중에 ‘석사는 2년 안에, 혹은 박사는 4-5년 안에 졸업해야 한다.’ 같은 압박감이 있었지만, 여기서는 ‘졸업이 늦어져도 괜찮으니 내가 하고 싶은 연구를 해야겠다.’ 하는 분위기에요. 실제로 제 동기 7명 중 3명은 기혼자로 모두 석사 졸업 후 다른 일을 몇 년씩 하다가 온 친구들이에요. 학부를 경제학과로 졸업하고 월가에서 일하다가 갑자기 기후에 관심이 생겨서 박사를 하러 온 친구도 있고요. ‘하고 싶은 연구가 있으면 느려도 좋으니 해봐라!’ 하는 분위기가 해외 대학원의 장점인 것 같아요.

해외 대학원 생활의 현실적인 단점은, 외로움인 것 같아요. 대학원이 대도시에 위치하지 않은 이상 한국인을 찾기가 힘들어요. 그리고 문화적인 차이 때문에 피곤한 일도 있어요. 해외에서는 아주 친하지 않은 사람끼리도 스몰토크를 많이 하잖아요. 아침에 만나면 기본적으로 30분 정도는 스몰토크를 나누거든요. 그런 점이 조금 피곤하게 느껴지기도 했어요.

9. 해외 대학원을 다닐 때, 유리한 성격이나 성향이 있나요?

외향적인 성향의 사람이거나 주체적인 성향의 사람이면 해외에서 대학원을 다녀도 어려움이 크게 없을 것 같아요. 위에서 말했듯 스몰토크 같은 문화적인 차이도 존재하고, 해외 대학원 수업의 경우는 학생이 참여하는 활동도 많고, 수업 도중에 자신의 의견을 발표하는 활동도 많아요. 그래서 외향적인 사람이면 해외 대학원생 생활에 잘 적응할 수 있을 것 같아요. 교수님 마다 다르기는 하지만, 한국의 대학원보다 연구실의 분위기가 자유로운 편이에요. 각자 하고 싶은 연구를 알아서 계획하고 수행하면서, 도움이 필요한 경우에 교수님을 찾아가는, 비교적 자율적인 분위기에요. 물론 이러한 분위기가 장점이기도 하지만 주체적으로 공부를 하지 않으면 한없이 공부를 안 할 수도 있어요. 제 지인의 경우, 한 학기 내내 집에서 원격으로 연구를 진행하기도 하더라고요. 그 정도로 자율적인 분위기이기 때문에 해외에서 대학원생 생활을 하려면 주도적인 성향이 필요할 것 같아요.

10. 해외 대학원을 언제부터 준비하셨나요?

제 경우 해외 대학원을 다니고 싶다는 생각은 고등학생 때부터 있었지만, 실제로 준비하기 시작한 때는 학부 4학년 2학기쯤부터였어요. 그러나 제 경우는 조금 늦게 준비를 시작한 경우이고요. 최소 석사과정 시작하기 전, 1년 정도 잡고 준비하시는 걸 추천드립니다.

11. 해외 대학원을 지원하는 구체적인 과정이 궁금합니다!

우선 저는 미국에 있는 학교에만 지원했기 때문에 유럽이나 일본 등 다른 지역에서 진행되는 박사과정 지원절차에 대해서는 전혀 알지 못하는 점 양해 부탁드립니다.

미국에 있는 대학원은 보통 8월 중순에 시작하는 가을학기에 입학하게 됩니다. 따라서 미국에 있는 대학원에 진학하고자 하는 경우, 가을학기 입학을 목표로 하게 됩니다. 가을학기 입학을 위한 원서 접수 과정은 한 해 전 연말부터 그 해 초까지 이루어집니다. 예를 들어 제가 지원했던 2024년 가을학기 입시는 2023년 9월에 시작되어 2024년 1월에 끝났습니다. 보통 9월 초에 원서 접수를 시작할 수 있도록 홈페이지가 생성되고, 마감 기한이 빠른 학교의 경우 12월 1일, 마감 기한이 늦은 학교의 경우 1월 중순쯤 홈페이지가 닫히게 됩니다.

미국 대학원에 지원하는 경우 필수적으로 제출해야 하는 서류가 몇 가지 있습니다. 공인 영어성적(토플 또는 아이엘츠), GRE, 학부 또는 대학원 성적표, CV(Curriculum Vitae)나 Resume, SOP, 추천서는 모든 학교에서 필수로 요구합니다. 그리고 프로그램별로 writing sample, personal statement, self video, research readiness 등의 자료를 요구하는 경우도 있습니다. 이 모든 자료를 학부 4학년이나 석사 세 번째 혹은 네 번째 학기에 준비하기는 매우 버겁습니다. 그러므로 유효 기간이 5년인 GRE나 2년인 토플과 같이 미리 준비할 수 있는 것들은 일찍이 마쳐두면 큰 도움이 될 것입니다.

박사과정 지원을 계획한 해가 되면 영어성적 외에도 준비해야 할 것들이 있습니다. 내가 어떤 연구와 공부를 하고 싶은지, 그리고 그것을 어떤 학교의 어떤 프로그램, 어떤 지도교수님께 배우고 싶은지 정하는 것입니다. 제 경우에는 연세대학교에서 석사과정을 진행했기 때문에 꽤 오랜 시간 동안 박사과정 동안 어떤 공부를 하면 좋을지 고민할 수 있었던 것 같아요. 만약 석사과정 없이 유학을 계획하고 계신 분이 있다면 학부 인턴 등을 통해 연구 경험을 조금이라도 쌓는 것을 추천해 드립니다.

이런저런 준비가 마무리되면 여름방학이 시작되면서 어느 학교에 지원할지 확정하고 그에 맞게 학업계획서를 씁니다. 글을 쓰는 데 걸리는 시간과 글을 쓰는 방법은 개인마다 다르므로 각자 자신에게 맞는 방법으로 쓰시면 될 것 같아요. 그럼에도 불구하고 지원 마감 시간보다 훨씬 먼저 쓰기 시작하는 것이 중요하다고 생각해요. 천천히 많이 고민하면서 쓰고, 오랜 시간 동안 여러 번 읽어보며 수정하는 것이 좋은 결과물을 만든다고 생각합니다. 그러니 이 또한 최대한 일찍 시작하세요!

이제 8~10월이 되었습니다. 진학하고 싶은 학교와 연구실을 정했다면 미래의 지도교수님께 본인의 학문적 배경과 흥미 등의 내용을 첨부하여 다가오는 가을학기에 신입생을 뽑을 계획이 있는지 문의해 봅니다. 긍정적인 답변을 받았다면 마지막으로 학업계획서를 조금 더 손본 후 각 학교의 일정에 맞게 지원을 완료하시면 됩니다.

1) GRE(Graduate Record Examination): 미국 ETS(Educational Testing Service)에서 주관하는 대학원 및 경영대학원(MBA) 입학시험으로, 석사 및 박사과정 지원을 위해 필수적이거나 권장되는 시험이다.



12. 해외 대학원에 가기 위해서는 토익·토플, 학점관리가 중요할까요?

토익은 필요 없고, 토플은 커트라인만 넘을 정도면 되는 것 같아요. 영어 실력보다는 연구 실적과 학점이 더 중요하게 작용하는 것 같습니다. 제 개인적인 느낌으로는 연구 실적이 그중에서도 가장 중요하게 작용한 것 같아요. 순위를 매기자면 연구 실적, 학점, 영어 순으로 중요한 것 같습니다.

13. 영어 공부 관련 꿀팁이 있다면 알려주시겠어요?

현실적인 조언으로는 학원에 다니시는 걸 추천합니다. 저는 영어 시험공부를 학원의 도움 없이 혼자 했었는데, 영어 학원에 다닌 친구들의 경우에 저랑 영어 실력이 비슷한 친구들이 저보다 훨씬 빠르게 시험을 통과하더라고요. 방학을 이용해 학원에서 짧고 굵게 시험을 끝내시는 걸 추천해 드립니다. 일상을 위한 영어의 경우, 저는 미국에 와서 친구를 사귀며 영어가 많이 편해진 경우인데요. 한국에 있을 때는 미국 드라마를 많이 봤던 것 같습니다.

14. 해외 대학원과 관련된 정보는 어디서 얻을 수 있나요?

네, 저 또한 이 부분에 대해서 매우 궁금했고 불안했습니다. 국내뿐 아니라 해외 유학 커뮤니티에서 쏟아지는 자료들을 보며 과연 저것들이 모두 내게 필요한 정보인가에 대한 의구심이 항상 들었습니다. 박사 유학 준비 과정은 고등학교 혹은 대학교 입시와 다르게 정석이라 일컬어지는 경로가 없는 것 같습니다. 각자의 출신 학부에 의해 각자의 학문적 배경이 다를 것인데, 심지어 학부 규모를 아득히 넘어서 전 세계에서 지원하는 것이니까요. 그래서 저는 누군가의 경험담에 의존하기보다는 최대한 정확한 정보를 얻고, 그것을 바탕으로 제 나름대로 전략을 짜기 위해 노력했습니다.

믿을 만한 정보를 얻기 위해 학교별 홈페이지와 교수님들께서 운영하시는 연구실 웹페이지 등을 주로 참고했습니다. 대부분은 현재 진행 중인 프로젝트와 모집중인 자리에 대한 정보, 그리고 교수님들이 현재 관심사가 어떤 것인지 살펴볼 수 있었습니다. 어떤 분야에서 아주 유명하신 교수님들도 현재는 관심사가 바뀌셔서 다른 연구를 하고 계신 경우가 많으므로 이 과정은 매우 중요하다고 생각합니다. 공부하고 싶은 분야가 정해졌다면 그 분야에서 활발한 연구를 진행 중인 학교나 교수님들을 찾는 것은 크게 어렵지 않습니다. 그러므로 어떤 연구를 하고 싶은지 고민하는데 많은 시간과 노력을 들이는 것을 추천해 드립니다. 그 이후 공개된 정보만으로는 학업계획서를 비롯한 기타 지원 준비가 어렵다고 생각되는 경우 원하는 연구실에 있는 대학원생이나 교수님께 망설이지 말고 메일을 보내 보세요. 생각보다 답장이 아주 잘 옵니다!

15. 마지막으로 해외 대학원생을 꿈꾸는 후배들에게 한 마디 부탁드립니다.

저는 우연한 계기로 대학교에 입학하기 전부터 대학원은 꼭 해외로 가야겠다고 생각했습니다. 그러나 오랜 시간이 지나며 ‘유학을 나가는 것’ 자체가 목적이 되어 ‘나는 특정 연구 환경이 꼭 필요한 사람이다!’ 혹은 ‘특별히 어떤 것을 배우기 위해서는 유학을 떠나야만 한다.’같은 뚜렷한 이유를 잃었습니다. 그랬기 때문에 준비하는 동안 여러 어려움이 있었고, 실제로 미국에 온 이후에도 초반 한두 달 동안은 ‘이게 정말 내가 바라던 생활인가? 굳이 유학을 나왔어야 했나?’ 하는 생각에 힘들었습니다. 사실 이곳에서 배울 수 있는 것들은 연세대학교에 계시는 교수님들께도 다 배울 수 있거든요. 물론 지금은 이곳 생활에 잘 적응했고, 연구나 공부뿐 아니라 그 외적으로도 제가 지내는 환경에 매우 만족하고 있지만, 처음부터 뚜렷한 목적이나 의지가 있다면 적응하는데 훨씬 수월했을 것 같습니다. 그러니 유학을 생각하고 있는 분이 계신다면, 내가 왜 유학을 떠나야만 하는가에 대한 고민을 진지하게 해보셨으면 좋겠습니다. 만약 저처럼 뚜렷한 이유 없이 해외 대학원을 경험해 보고 싶다고 생각하시는 분들은 무엇이 되었든 나름대로 목적과 이유를 만드신 후 그 생각에만 집중하세요! 혹시 저와 이야기를 나누고 싶은 분이 계신다면 제 이메일 (Chaehyeong.Lee@colorado.edu)로 연락 주세요. 언제나 환영입니다!

이채형 선배님과의 인터뷰를 통해 해외 대학원에 대한 많은 이야기들을 들을 수 있었다. 해외 대학원과 관련된 정보가 흔치 않은 만큼 귀중한 조언들을 들은 시간이었다. 인터뷰에 응해주신 이채형 선배님께 감사드리며, 이 기사가 해외에서의 대학원 생활을 꿈꾸는 많은 학생에게 도움이 되기를 바란다.

현소은 기자(24, gyul0519@naver.com)

대기과학과 사람들을 만나다

교수님의 티타임: 송하준 교수님과 인터뷰

수업에서 보는 교수님과 연구실 밖에서의 교수님은 얼마나 다를까? 교수님의 인간적인 면을 알아보고자 교수님과 티타임을 마련했다. 지난 박상훈 교수님과의 인터뷰에 이어서 이번에는 송하준 교수님을 모셨다. 이번 인터뷰에서는 강의실에서와는 또 다른 더 친근한 교수님을 만날 수 있었다. 흔쾌히 소중한 시간을 내어주시고 즐겁게 인터뷰에 응해주신 송하준 교수님께 감사드린다.

송하준 교수는 연세대학교 대기과학과를 졸업하고 미국 캘리포니아대학교 샌디에이고(University of California, San Diego)에서 박사 학위를 받았다. 이후 매사추세츠공과대학교(Massachusetts Institute of Technology, MIT)에서 연구하시다가 2018년에 연세대학교 교수로 부임하셨다. 현재는 대기해양모델링 연구실을 운영하며 대기해양 상호작용과 탄소순환을 연구하고 계신다.

1. 교수님의 MBTI는 무엇인가요?

제가 MBTI를 잘 모르고 있어서 얼마 전에 다시 해보았는데, INTJ가 나왔어요. 예전에는 INTP였던 것 같아요.

2. 작년에 안식년을 보내셨잖아요! 안식년은 어떻게 보내셨나요?

작년에는 주로 대학원생들과 미팅하고 연구 과제를 하면서 보냈고요. 논문 작성에 시간을 많이 쓴 것 같아요. 극지연구소 객원 연구원으로 등록이 되어있어서 한 달에 한 번 정도는 극지연구소에 방문했어요.

휴가를 따로 간 적은 없는데, 9월 한 달 정도 MIT에 방문해서 예전에 제 지도교수님이셨던 교수님과 같이 연구를 했어요. 그 장소로 가니까 지도교수가 있고 연구원

으로 생활하던 그때 그 시절 같아서 신기하더라고요.

3. 교수께서는 평소에 어떤 취미가 있으신가요?

옛날에는 제가 운동이 취미였는데요. 지금은 취미가 딱히 없는 것 같아요. 20대까지만 해도 주말마다 야구도 하고 사회인 야구팀으로도 활동했었어요. 농구도 좋아했고요. 지금은 운동을 한 번 안 하기 시작하니까 잘 안 하게 되는 것 같아요.

요새는 뭘 하면 좋을까 생각해 봤는데 라이브 음악 듣는 취미가 있으면 좋겠더라고요. 예전에 제가 중앙동아리 '유포니아'라고 오케스트라 동아리를 했었거든요. 그때 트럼펫으로 들어가서 방학 동안 연습하고 학기 초에 콘서트도 하고 그랬는데요. 그래서 그런지 클래식 같은 라이브 음악 듣는 게 좋아요.

4. 교수님께서서는 수업을 모두 영어강의로 개설하고 계시는데 그 이유가 있으신가요?

처음 학교에 왔을 때는 몇 년까지는 영어로 수업을 해야 하는 의무가 있었는데요. 그 이후엔 절대평가를 할 수 있다는 장점이 있어서 영어로 수업했어요. 우리 과는 4천 단위랑 영어강의가 절대평가였는데 최근에 평가 방식이 교수님들 재량으로 바뀌었거든요. 그래서 앞으로는 영어강의를 계속할지 고민하고 있어요.

5. 교수님은 학창 시절에 어떤 학생이셨나요?

대학 다닐 때는 두 가지 모습으로 살았던 것 같아요. 저희는 학부로 입학해서 이과대학 안에 6개 정도의 반으로 운영되고 3학년 때 전공을 선택했었는데요. 제가 반에서는 조용한 성격이었어요. 기본만 하고 조용히 지냈던 것 같아요. 그런데 제가 원래 장난치는 걸 좋아하거든요. 1학년 때 오케스트라 동아리 ‘유포니아’에 가입했는데요. 동아리에서는 맨날 장난치고 놀러 다니고 그랬어요. 그래서 완전히 다른 두 명의 인간으로 살았던 것 같아요.

6. 교수님께서서는 학창 시절에 꿈이 무엇이셨나요?

학창 시절에는 교수를 꿈으로 생각하진 않았어요. 대기과학을 진지하게 생각하기 시작한 건 고등학교 3학년 때였는데요. 학과 소개서를 보다가 대기과학과를 처음 보고 재미있을 것 같아서 선택했어요. 그때는 막연하게 ‘열심히 학교생활하고 박사를 하면 기상청에서 일할 기회가 있겠지’하고 생각해서 대학원에 진학했어요. 그러다가 대학원 생활을 하면서 연구소나 대학 같이 연구를 계속할 수 있는 자리면 좋겠다고 생각했던 것 같아요.

7. 교수님의 좌우명이 있다면 무엇인가요?

사실 좌우명을 생각하고 살지는 않는데요. 좌우명이라기 보단 좋아하는 말은 있어요. 히로나카 헤이스케가 쓴 ‘학문의 즐거움’이라는 책에서 가장 중요한 말이 ‘소심심고(素心深考)’인데, 소박한 마음으로 돌아가서 다시 깊이 생각하라는 뜻이에요. 이 말이 굉장히 좋더라고요. 작가가 수학자인데 수학을 하다가 잘 안되면 처음부터 생각한다는 의미 같아요. 지금 생각하면 학문뿐만 아니라 다른 상황에도 적용되는 것 같아요. 어떤 때는 한 가지에 꽂혀서 시야가 좁아지는 느낌이 들거든요. 답이 안 나오면 그 안에서 계속 도는 경우가 많은데, ‘소심심고’에 따라서 소박한 마음으로 돌아가 뒤로 물러서서, 내가 알고 있던 걸 내려놓고 다시 생각하면 또 다른 방향이 보인다고 생각해요.

8. 교수님께서 학부생과 대학원생들에게 해주고 싶은 조언이 있을까요?

제가 감히 조언을 해도 되는지 모르겠는데 두 가지 정도가 떠오르더라고요. 하나는 성실하게 사는 거예요. 지금까지 생각해 보면 똑똑한지보다 성실하게 하느냐가 더 큰 차이를 만드는 것처럼 보였어요. 물론 성실하면서 똑똑하면 좋은데 똑똑하지만 성실하지 않으면 결과가 없는 걸 자주 봤거든요.

두 번째는 주변 사람들과 관계를 잘 맺는 거예요. 우리나라뿐만 아니라 다른 나라도 결국 네트워킹을 통해 이루어지는 것이 많더라고요. 이 네트워킹이라는 게 다른 사람에게 좋은 사람으로 인식이 되는 게 중요한 것 같아요. 내가 실력이 좋아서 다른 사람이 찾는 방법도 있지만 다른 사람들이 나랑 뭔갈 할 때 편안함을 느끼는 것도 중요하더라고요. 그래서 성실하게 하면서 주변 사람들과 조화롭게 해나가는 것이 중요하다고 생각해요.

신지은 기자(21, newjjeun@yonsei.ac.kr)

함께하는 대기과학과

제27대 대기과학과 학생회 <산들> 퇴임사

안녕하십니까, 제27대 대기과학과 학생회장 권민재입니다.

다사다난했던 1년이 지나, 퇴임사를 통해 학우 여러분께 마지막 인사를 드립니다. 몇 년 남지 않은 대학 생활을 의미 있게 보내고자 학생회장에 도전했는데, 제가 그 책임을 충분히 다했는지는 잘 모르겠습니다. 연세대학교 대기과학과라는 이름에 걸맞은 높은 기준과 많은 과제를 안고 있던 자리였기에 부담도 적지 않았습니다. 하지만 대기과학과 학우 여러분의 지지와 응원 덕분에 무사히 이 임기를 마칩니다.

선배님들을 비롯하여 도움이 필요할 때마다 군말 없이 손을 내밀어준 21학번 동기들, 군대에서도 학과를 잊지 않고 늘 힘이 되어준 22학번 후배들, 2년간 함께하며 소중한 추억을 만들어준 23학번 가족들, 그리고 새내기 배움터부터 모든 행사에 함께해준 24학번 친구들까지. 어려운 코로나 시기를 지나 하나의 학과로 다시 뭉칠 수 있도록 도와주신 모든 분께 진심으로 감사드립니다.

2024년, 당선 인사에서 약속드렸던 ‘나이와 학번의 차이를 넘어 모두가 행복한 학교 생활을 만들어가겠다’는 목표를 위해 최선을 다했습니다. 한해를 돌아보니 그 목표를 달성한 것 같아 정말 행복합니다. 이제 더 이상 우리 학과의 대표는 아니겠지만 학우 여러분들이 지금처럼 대기과학을 사랑하고, 열심히 공부해서 큰 인물이 되시기를 언제나 응원하겠습니다.

그동안 제27대 대기과학과 학생회 <산들>에 보내주신 따뜻한 관심과 응원에 깊이 감사드립니다. 이제는 제28대 학생회 <풍선>이 이끄는 새로운 도약을 기대하며, 힘찬 응원을 보냅니다. 후배들에게 이 자리를 기쁘게 물려드리며 물러나겠습니다.

잊지 못할 추억을 함께해 주셔서 고맙습니다. 소중히 간직하겠습니다.

제27대 대기과학과 학생회장 권민재 올림



안녕하십니까, 제27대 대기과학과 학생회 <산들>의 부학생회장 김성준입니다. 당선이 되어 학우분들께 인사말을 올릴 때가 엇그제 같은데, 어느새 2024년도 끝을 향해 달려가고 있고, 저의 임기 또한 마무리 할 시간이 되어 이렇게 학우분들께 마지막 인사를 전하게 되었습니다 .

한 해를 떠나 보낼 때, 저는 지나온 시간들을 되돌아보곤 합니다. 학우분들께 2024년은 어떤 시간들이었나요. 저에게 2024년은 참으로 특별하고 감사한 해였습니다. 부학생회장이라는 중책을 맡을 수 있었던 것은, 모두 저를 신뢰하고 응원해주신 학우분들 덕분이었습니다. 학우분들의 믿음 덕분에 한 해의 많은 행사들을 성공적으로 이끌어 나갈 수 있었으며, 포기하지 않고 끝까지 달려올 수 있었습니다 .

이 자리를 빌어 감사의 인사를 드리고 싶은 분들이 있습니다. 저와 함께 1년간 대기과학과를 이끌어 나갔던 학생회장 권민재 학우, 부학생회장 박연진 학우를 비롯해, 27대 학생회 <산들>의 모든 부원들, 그리고 저에게 조언과 격려를 아끼지 않으신 선대 학생회 <기상>과 선배님들께 깊이 감사드립니다. 또한, 언제나 저의 든든한 버팀이 되어주었던 23학번 동기들과 열정적으로 참여하며 저의 힘이 되어준 24학번 후배들 모두에게도 깊은 감사를 표합니다.

부학생회장이라는 자리는, 책임감과 희생이 필요한 자리였습니다. 부족한 점도 많았던 저였지만, 학우분들 덕분에 한 걸음 더 발전할 수 있었고, 의미 있는 한 해를 보낼 수 있었으며 그 무엇보다도 반짝이는 추억을 얻을 수 있었습니다. 이 모든 것은 대기과학과 학우분들의 응원과 믿음이 있었기에 이뤄낼 수 있었습니다.

이제 부학생회장으로서의 임기를 마무리하며, 앞으로 대기과학과를 이끌어 나갈 제28대 대기과학과 학생회 <풍선;風線>이 높이 날아오르기를 기대하며 아낌없는 응원과 지지, 격려를 부탁드립니다. 제가 가장 사랑하는 대기과학과 학우 여러분의 2025년과 미래에 행복만이 가득하기를 기원하며 이만 물러나겠습니다.

감사합니다.

제27대 대기과학과 부학생회장 김성준 올림



안녕하십니까, 대기과학과 학우 여러분. 연세대학교 제27대 대기과학과 학생회 <산들>의 부학생회장 박연진입니다. 끝나지 않을 것 같던 영겁의 시간도 어느덧 흐르고 흘러, 이제 2024년의 끝자락에 서게 되었습니다. 이와 함께 저희 <산들>도 그 여정을 마무리하며, 퇴임사를 올리고자 합니다. 2024년은 학우 여러분께 어떤 한 해로 기억되실까요? 그 한 해의 찬란한 추억 속에 <산들>이 작은 조각으로서 따뜻하게 물들어있기를 진심으로 소망합니다.

처음 여러분 앞에 <산들>로서 모습을 드러낸 1학년 학부생의 기억이 떠오릅니다. 신입생에게 학생회의 모습은 굉장히 멀고도 성숙한 어른처럼 다가왔습니다. 학생회라는 직책이 가져야 하는 책임감, 한 집단의 대표로서 가져야 하는 압박감은 저에게 큰 도전이었습니다. 그러나 새내기새로배움터, 합동응원전, 아카라카, 연고전, 체육대회, 선배님들과의 만남 등 다양한 행사를 기획하고, 부학생회장으로서 맡은 책무를 다해 나가며 한 걸음씩 성장해나갈 수 있었습니다. 그 과정에서 무거운 책임감을 이겨낼 수 있었던 힘은 결코 혼자만의 것이 아니었습니다.

이 모든 고민과 기쁨을 함께 나누는 동기들, 아낌없는 조언과 따뜻한 격려로 품어주신 선배님들, 열정적으로 참여하며 긍정의 에너지를 전해준 후배님들, 그리고 함께 길을 걸으며 힘이 되어준 <산들>의 동지들과 집행부원들 덕분입니다. 모든 분들께 진심 어린 감사의 말씀을 전합니다. 또한, 수많은 도움과 인수인계를 해주신 선대 학생회 <기상>에도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

많이 부족한 모습에도 제27대 대기과학과 학생회 <산들>을 항상 응원해주신 학우 여러분께 감사 인사를 드리며, 제28대 대기과학과 학생회 <풍선>에게 소임을 넘기고자 합니다. 우리 <산들>은 대기에서 시원하고 가볍게 부는 바람이 되었습니다. 이제 <풍선>이 그 바람을 타고 하늘 높이 멋진 모습으로 비상하기를 진심으로 응원합니다.

제게 2024년은 <산들>이라는 잊을 수 없는 눈부신 추억으로 남을 것입니다. 무사히 임기를 마칠 수 있었던 것은 학우 여러분의 응원과 격려 덕분입니다. 다시 한번, 학우 여러분께 깊은 감사의 마음을 전하며 퇴임사를 마치겠습니다.

지금까지 연세대학교 제27대 대기과학과 학생회 <산들>의 부학생회장 박연진이었습니다. 감사합니다.

제27대 대기과학과 부학생회장 박연진 올림



함께하는 대기과학과

대기과학과 토크콘서트 v1.0: 선배님들과의 만남 스케치

지난 2024년 11월 28일 목요일 저녁 6시, 연세대학교 과학관 ARC 복합연구공간에서 ‘대기과학과 토크콘서트 v1.0’ 행사가 성황리에 개최되었다. 이번 행사는 박상훈 학과장님의 주최로 진행되었으며, 대기과학과 학생들과 졸업생들이 함께 모여 다양한 분야에 대한 경험을 공유하는 뜻깊은 시간이었다.



사진 1 행사 시작 전 참석자들 간 대화를 나누는 모습

행사가 시작하기 전인 오후 5시부터 참석자들은 제공된 피자와 음료와 함께 가볍게 대화를 나누며 네트워킹 시간을 가졌다. 이후 저녁 6시가 되자 박상훈 학과장님께서 사회자로서 행사의 막을 열었다. 간단한 인사말과 함께 연사 소개가 이어졌다. 사전에 계획된 연사는 대한항공 안전 운항 통제 전략 황윤찬 팀장님, 기상청 예보정책과 한대석 사무관님, KBS 기상전문 신방실 기자님, 한국과학기술연구원(Korea Institute of Science and Technology, KIST) 기후환경연구소 연구담당 소장을 맡고 계신 연세대학교 대기과학과 염성수 교수님, 연세대학교 특임교수이자 前 기상청장님이신 유희동 교수님이 예정되어 있었다.

그러나 행사 시작 전날 예상치 못한 폭설이 내려 일부 연사들의 참여가 변경되는 상황이 발생했다. 황윤찬 팀장님은 공항 마비로 부득이 참석하지 못했고, 한대석 사무관님은 온라인으로 연결되어 강연을 진행하였다. 현장 강연에서는 신방실 기자님, 염성수 교수님, 유희동 교수님께서 풍성한 이야기를 들려주셨다.

첫 번째 연사: 기상청 예보정책과 한대석 사무관님

한대석 사무관님은 연세대학교 대기과학과 11학번으로, 현재 기상청 예보정책과에서 근무하며 위험기상 발생 시 비상근무 및 중앙 부처와의 소통을 담당하고 계신다. 특히 폭설과 같은 상황에서의 긴급 대응 과정과 이를 지원하는 실무적인 역할에 대해 생생하게 이야기해 주셨다. 기술고시를 염두하고 있는 학생들을 위한 조언도 아끼지 않았다.

학부에서 배운 내용을 체계적으로 정리하고 특이 사례를 미리 공부해 두는 것이 시험 준비에 큰 도움이 된다고 전했다. 후배들과 직접 소통할 자리를 만들어 보다 구체적인 정보를 나누고 싶다는 의지를 밝히셨으며, 대학 생활 동안 공부뿐만 아니라 다양한 경험을 통해 의미 있는 시간을 보내라는 따뜻한 격려의 메시지도 남겨주셨다. 후배들과 더 많은 이야기를 나눌 기회를 기대한다는 인사로 행사의 첫 강연이 마무리되었다.



사진 2 한대석 사무관님과 온라인으로 강연을 진행한 사진(좌), 신방실 기자님의 강연 사진(우)

두 번째 연사: KBS 기상전문기자 신방실 기자님

KBS 기상전문기자로 활동하고 계신 신방실 기자님은 기상 보도의 최전선에서 오랜 경험을 쌓으며 언론이 기후 문제를 어떻게 다루어야 하는지에 대한 깊은 고민을 해왔다. 폭설 상황에 진행된 강연인 만큼 다양한 기상 현상을 다루는 언론의 역할에 대한 이야기로 이어졌다. 신방실 기자님은 폭설이 내리던 날에도 특보를 진행하며 바쁜 하루를 보냈으나, 다행히 이날은 휴가 중이어서 행사에 참석할 수 있었다며, 기상전문기자는 하늘의 변덕에 따라 삶이 좌우된다는 점을 유쾌하게 풀어내셨다.

20년 전 연세대학교 졸업 후 지금까지 기자로 활동하면서 경험한 다양한 취재 사례도 공유해 주셨다. 2010년 서울에 25cm 이상의 폭설이 내렸을 당시 현장에서 직접 보도했던 경험을 회상하며, 언론의 혼란을 해결하기 위한 빠른 대응의 필요성을 느끼셨다고 한다. 기후 변화로 날씨가 점점 더 극단적인 양상을 보이는 가운데, 기상 보도의 역할이 단순한 정보 전달을 넘어 대중에게 실질적인 대응 방안을 제공해야한다고 강조하셨다.

북극 취재 경험도 강연의 주요 내용 중 하나였다. 신방실 기자님은 북극 빙하가 무너지는 현장을 직접 취재하며, 기후 변화가 가져올 지구적 영향에 대해 고민하는 시간을 가졌다고 하셨다. 서울대 교수진 및 극지연구소 연구진과 함께 진행한 기획 취재에서는 북극과 한반도의 기후 변화가 밀접하게 연결되어 있다는 점을 다큐멘터리에 담으셨다. 북극의 변화가 우리 사회를 어떻게 바꾸는지에 관한 이야기를 기자님의 시각으로 풀어내면서, 기상전문기자의 역할이 단순한 날씨 전달자가 아니라 과학적 사실을 기반으로 한 분석가라는 점을 알려주셨다.

기상전문기자라는 직업의 특성에 대한 설명도 이어졌다. 기상전문기자는 일반적인 언론사 기자와 다르게 과학적 배경지식이 필수적이며, 연세대학교를 비롯한 몇몇 대학의 대기과학 전공자들이 이 분야를 주도하고 있다. 앞으로는 기상 보도와 기후 변화 관련 뉴스가 시민들에게 실질적인 경각심을 불러일으키는 방향으로 나아가야 함을 강조하셨다. 언론 보도를 통해 기후 변화가 현실적인 문제임을 인식시키고, 정책 결정 과정에서 기상 정보가 어떻게 활용될 수 있는지에 대한 고민도 필요하다는 점을 덧붙이셨다.

강연을 마치며 신방실 기자님은 기자로서의 도전적인 경험과 개인적인 성장을 이야기해 주셨다. 다양한 분야의 전문가와 협력하는 경험을 통해 넓은 시야를 가질 수 있었으며, 기후 변화 문제를 심층적으로 보도하는 과정에서 더욱 의미 있는 기자 생활을 하셨다. 기상전문기자는 단순한 보도자가 아니라, 대중과 소통하며 사회에 기여하는 중요한 역할을 수행하는 직업이라며, 학생들에게 적극적인 도전을 당부하셨다. 마지막으로, 신방실 기자님은 미래의 기상전문기자가 될 후배들에게 도전과 배움을 멈추지 말 것을 당부하며 강연을 마무리하셨다.

세 번째 연사: KIST 기후환경연구소 연구담당 소장, 연세대학교 대기과학과 교수 염성수 교수님

염성수 교수님은 현재 KIST 기후환경연구소에서 연구담당 소장을 맡고 계신다. 이 날은 연구소의 설립 배경과 연구 방향, 그리고 연구소에서 진행 중인 주요 프로젝트를 소개해주셨다. 기후환경연구소는 2021년 7월에 발족하여 9월부터 본격적인 연구를 시작했으며, 기후 변화가 인류에게 가장 중요한 문제 중 하나라는 공감대 속에서 설립되었다. 기후환경연구소는 국가 차원에서 기후변화 대응 연구를 수행하는 곳으로, 탄소 순환 연구 및 기후 재해 대응 기술 개발을 주요 목표로 하고 있다. 기후환경연구소는 뇌과학, AI 로봇, 차세대 반도체 연구소와 함께 KIST에서 가장 중요한 네 개의 연구소 중 하나로 선정되어, 국가 연구기관으로서 기후 변화에 대한 선도적인 연구를 수행하고 있다고 한다.

현재 기후환경연구소에서는 기후 위기 대응을 위한 능동적인 기술 개발에 집중하고 있다. 연구소는 인공 강수 연구와 같은 기상조절 기술에도 관심을 가지고 있으며, 기상청과 협력하여 인공 강수 시스템을 개발하는 등의 연구를 진행하고 있다. 이러한 연구들은 탄소 배출을 줄이고, 이미 배출된 탄소를 흡수하는 기술을 개발하는 데 초점을 맞추고 있다. 또한 현재 연구소에서는 다기능 구름 챔버를 개발 중이라고 말씀해 주셨다. 구름 챔버란, 내부에 구름이 발생하는 환경을 조성하여 실험적으로 구름을 형성하는 장치를 말한다. 국립기상과학원이 보유한 기존 구름 챔버와는 다르게 기후환경연구소의 챔버는 표면이 젖어있는 'WETTABLE SURFACE'를 활용하여 구름이 생성되는 환경을 더욱 정밀하게 조성할 수 있도록 설계하고 있다. 이 챔버는 온도 차이에 의해 구름이 생성되는 방식을 구현하며, 전 세계적으로도 유례없는 연구 장비로 주목받고 있다. 향후 국립기상과학원과 MOU(Memorandum of Understanding), 즉 업무협약을 체결하여 상호 보완적인 연구를 진행할 계획이라고 한다.

연구소에서는 드론을 활용한 기상 연구에도 주력하고 있다. 기존에는 비행기를 이용해 구름을 연구했지만, 앞으로는 드론을 활용하여 보다 정밀한 데이터를 수집할 계획이라고 말씀하셨다. 드론을 활용하면 구름 속에서 장시간 머

무르면서 입자의 성장 과정과 강수 생장 메커니즘을 연구할 수 있어 기존의 연구 방식과는 다른 새로운 접근이 가능할 것으로 기대해 볼 수 있다. 하지만, 현재 드론의 크기가 작고, 구름 내부의 강한 난류로 인해 연구가 쉽지 않은 상황이다. 이는 향후 기술 발전과 함께 드론의 안정성도 개선될 것으로 전망하고 계셨다.

염성수 교수님은 연구소의 인력 구성과 연구원 채용 과정도 소개해 주셨다. 현재 연구소에는 총 33명의 연구원이 근무 중이며, 그중 7명이 대기과학 전공자로 연구소에 합류하였다. 박사학위를 받은 후 연구 경력이 2년 이상이면 선임연구원으로 채용될 수 있으며, 2년 미만이면 연구원으로 입사할 수 있다. 연구소 채용에서는 지원자의 연구 실적이 가장 중요한 평가 요소로, 국제 학술지에 논문을 게재한 경험이 중요한 기준이 된다고 덧붙이셨다. 게다가 연구소가 서울에 위치한 점은 연구자들에게 큰 장점이 될 수 있으며, 대기과학을 전공한 학생들에게 좋은 기회가 될 것이라고 전하셨다.

염성수 교수님은 연구소가 기후 변화 대응을 위한 연구를 지속적으로 확대해 나갈 것이라며, 연구에 대한 관심과 열정이 있는 학생들에게 도전해 볼 것을 권유하셨다. 특히, 대기과학을 전공한 인재들이 연구소에 합류하여 기후 변화 문제 해결에 기여할 수 있기를 기대하신다고 말씀하셨다.



사진 3 염성수 교수님의 강연 사진(좌), 유희동 교수님의 강연 사진(우)

네번째 연사: 前 기상청장, 現 연세대학교 특임교수 유희동 교수님

유희동 교수님은 기상청에서 33년 8개월 동안 근무하며 다양한 역할을 수행하였으며, 전국의 기상 관련 기관을 직접 방문하며 폭넓은 경험을 쌓으셨다. 22년 6월부터 24년 6월까지 기상청장에 재임하시다가, 퇴임한 뒤에는 연세대학교에서 후학 양성을 위해 특임교수로 임용되셨다. 강연에서는 대기과학이 다양한 학문과 융합될 필요성을 강조하며, 기후 재난과 기후 위기에 대한 이해를 심화할 수 있는 강의를 준비 중이라고 소개하셨다. 학부생들을 대상으로 더 실질적인 기후 위기 대응 방안을 고민할 기회를 제공하고자 하며, 단순히 기상 현상을 분석하는 것을 넘어 실제 기후 위기가 사회와 경제, 재난 관리에 어떻게 영향을 미치는지를 탐구하는 것이 목표라고 설명하셨다. 이를 위해 '기상천외' 동아리와 같은 학부생 중심의 연구 그룹을 활성화하고, 스터디를 통해 시야를 확장하는 기회를 마련할 계획이라고 하셨다.

유희동 교수님은 기상청의 역할 변화와 미래 기상 예보의 발전 방향에 대해서도 상세히 설명해 주셨다. 기상청은 변화하는 기후변화 속도에 맞추어 체계를 바꾸었고, 양자컴퓨팅의 도입을 통해 수치 예보 모델의 성능을 획기적으로 향상했다. 이에 따라 관측 시스템도 점차 정밀해질 것으로 전망한다. 기존에는 기상청이 모든 기상 관측을 주도했으나, 앞으로는 지역적 특성과 세밀한 데이터를 확보하기 위해 대학 및 민간 기관과 협력하는 방향으로 전환될 것이라고 한다. 이어서 기상 예보 방식이 변화할 필요가 있다고 강조하셨다. 현재 기상청에서는 강수 확률 예보를 적극적으로 활용하지 않지만, 기상 예측의 불확실성을 줄이고 개인 맞춤형 예보 서비스를 강화하기 위해 확률 기반 예보 시스템을 도입해야 한다고 주장하셨다. 이 과정에서 정부 기관의 역할과 민간의 역할이 조화를 이루어야 하며, 기존의 결정론적 예보 방식에서 확률 예보 방식으로 점진적인 전환이 필요하다고 덧붙이셨다.

연구와 현업의 차이점에 대해서도 깊이 있는 설명이 이어졌다. 학교에서 진행하는 연구는 최적의 결과를 도출하는 데 초점이 맞춰져 있지만, 기상청에서는 실시간으로 예보관에게 결과를 제공해야 하므로 예측의 신속성과 효율성이 최우선 과제가 된다. 단순한 요소만을 기반으로 예보를 해석하는 것이 아니라, 다각적으로 접근해야 한다는 것이다. 그리고 과학적 분석과 정책적 대응의 균형이 필요함도 강조하셨다. 기상 데이터는 매일 검증되지만, 장기 기후 예측은 그렇지 않으므로 불확실성에 대한 검증이 필수적이다. 즉, 단기 예측과 장기 예측 간의 신뢰도를 높이기 위한 검증 체계가 필요하다고 말씀하셨다.

또한 기상청의 조직 운영과 관련하여, 기상청에 진출하는 가장 확실한 방법은 5급 공채라고 설명하셨다. 기상청에서는 9급부터 5급까지 다양한 채용 경로를 운영하고 있지만, 5급 공채를 통해 입사하면 보다 빠른 승진과 체계적인 경력을 쌓을 수 있다고 조언하셨다. 경력직 채용은 경쟁이 치열하고, 내부 직원과의 경쟁까지 필요하기 때문에 철저한 준비가 필요하다고 강조하셨다. 이에 덧붙여 국제 기상 연구 및 협력에 대한 이야기도 전해졌다. 기상청이 독자적인 수치 예보 모델을 개발한 덕분에 캐나다를 비롯한 여러 국가에서 협력 요청을 받고 있으며, 국제 관측 프로젝트를 통해 한국이 기상 연구 분야에서 선도적인 역할을 수행할 기회가 늘어나고 있다고 한다. 특히 2026년까지 북태평양 고기압 연구를 진행하여 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO) 공식 프로그램에 등록하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 통해 한국이 아시아 기상 연구의 중심이 될 수 있도록 노력하고 있다고 밝혔다.

유희동 교수님은 학생들에게 기상 과학의 미래에 대한 도전 정신을 가질 것을 당부하셨다. 단순히 기상청이나 연구소에 취업하는 것을 넘어, 기상 데이터를 활용하여 새로운 연구와 기술 개발에 기여할 수 있는 인재로 성장하길 바란다라고 조언하셨다. 방학 중에 진행될 예정인 연구 프로그램과 스터디 그룹을 통해 함께 학문적 탐구를 이어 나가길 바라며, 기상 분야에서 새로운 가능성을 개척할 후배들을 기다리고 있음을 전하셨다.

이번 ‘대기과학과 토크콘서트 v1.0’은 다양한 분야에서 활약하고 계신 연사분들의 소중한 경험과 지식을 직접 듣고 나눌 수 있는 뜻깊은 자리가 되었다. 이번 행사를 통해 대기과학이 단순한 학문을 넘어 사회와 산업 전반에 걸쳐 중요한 역할을 하고 있다는 사실을 다시금 깨달을 수 있었다. 이러한 뜻깊은 행사가 열릴 수 있도록 힘써주신 박상훈 학과장님과, 바쁘신 가운데에도 행사에 참석해 주신 연사분들께도 큰 감사의 인사를 전한다. ‘대기과학과 토크콘

서트 v1.0' 행사가 대기과학을 공부하는 모든 학생들에게 유익한 시간을 보냈길 바라며, 앞으로도 대기과학과 산업과의 연결을 강화하고, 학부생들이 넓은 시야를 가질 수 있게끔 도와주는 소통의 자리가 지속적으로 마련되기를 기대해 본다.

이준경 기자(22, june030602@yonsei.ac.kr)

함께하는 대기과학과

대기과학과 인공지능(AI)의 만남: AI융합심화전공 소개 및 설명

연세대학교에 최근 신설된 ‘AI융합심화전공’이란 다양한 전공에 따른 AI 코어과목 및 제1전공 AI융합전공과목을 제공하는 전공 맞춤형 인공지능(Artificial Intelligence, 이하 AI) 및 소프트웨어 교육 프로그램을 의미한다. 이 심화전공은 광범위한 AI 지식과 기술을 각 전공 분야에 적용할 수 있도록 기초적인 AI 기술교육을 제공한다. 교내에서는 2022년에 처음으로 시행된 이후 2023년 기준으로 인문, 사회, 이공계 및 의학계열을 포함하여 11개 단과대학의 20개 전공으로 융합·협업의 범위가 확대되었으며, 미래에는 모든 전공을 대상으로 AI융합교육을 실시하는 것을 목표로 두고 있다.

AI융합심화전공의 지원 자격은 해당 전공이 개설된 학과에서 2학기를 이수한 후 전공이 배정된 학생으로, 학과별 AI융합심화전공 이수 요건을 충족할 수 있는 자격을 갖춘 자이다. 모집학과와 앞서 언급한 이수 요건은 각 학과 사무실에 문의하거나 인공지능융합대학 홈페이지¹⁾를 참고하면 된다. 아래 사진을 참고하면, 대기과학과 학생의 경우 제1전공 54학점을 포함하여 AI 코어과목 9학점과 제1전공의 AI융합심화전공 3학점을 수강하면 이수 요건을 충족할 수 있게 된다. 복수전공과 중복하여 신청할 수 있으며, 일반적인 졸업 요건과 이 이수 요건을 모두 수료한 학생에게는 전공명과 AI융합심화전공이 표기된 학위기가 부여된다.

이과대학 AI융합심화전공 프로그램

* 필수 이수요건은 각 학과 행정실에 연락하여 확인하여 주시기 바랍니다.

전공이수요건(학점)

학과	심화전공명	AI 코어과목	1전공 AI융합심화전공	1전공	A대학 전공과목	총 이수학점
수학과	수학 AI융합심화	3	3	57	6	69
화학과	화학 AI융합심화		12	57	-	69
대기과학과	대기과학 AI융합심화	9	3	54	-	66

전공이수요건(대기과학과 교과목)

학과	심화전공명	내용				그룹이수		소계	비고
		학점번호	과목명	최초개설학기	학점	그룹	세부그룹		
대기과학과	대기과학 AI융합심화	AIC2100	인공지능프로그래밍	2023-1	3	-	AI 코어과목	9	택 3개
		AIC2130	인공지능알고리즘	2023-2	3	-			
		AIC2120	인공지능계량및응용	2023-2	3	-			
		AIC3100	딥러닝계량및응용	2023-1	3	-			
		AIC2110	데이터사이언스개론	2023-1	3	-			
		AIC3110	자연어처리및챗지피티	2023-2	3	-			
		ATM3121	대기과학빅데이터개론	2023-2	3	-			
-	-	-	-	-	1전공 학점	54	-		

그림 1 이과대학 및 대기과학과의 AI융합심화전공 이수 요건

1) 연세대학교 인공지능융합대학 홈페이지: https://computing.yonsei.ac.kr:52141/sub3_1.php

AI 코어과목의 경우, 대학교양 ‘정보와 기술’ 영역으로 교차인정이 가능하며 2025-1학기에 개설되는 과목은 총 세 과목으로 ‘인공지능프로그래밍(AIC2100)’, ‘데이터사이언스개론(AIC2110)’, ‘딥러닝개론및응용(AIC3100)’이 있다. 각 과목에 대한 설명은 수강편람을 참고하길 바란다. 2025-1학기부터는 AI융합심화전공 학생들을 대상으로 이 과목들에 대한 우선수강신청을 실시한다. 이후 정규수강신청 기간에는 우선수강신청 완료 후 남은 잔여석만이 열린다. 우선수강신청 시 신청한 과목들은 자동으로 수강이 확정되며, 정규수강신청 기간 때 수강신청이 완료된 과목당 12 마일리지가 일괄 차감된다.

현재 대기과학과에 개설된 AI융합심화전공과목은 ‘대기과학빅데이터개론(ATM3121)’이다. 이수 요건상 한 과목을 반드시 이수해야 하므로 결국 이 과목이 필수과목인 셈이다. 해당 과목에서는 선형 회귀(Linear Regression), 랜덤 포레스트(Random Forest) 등의 머신러닝 모델과 DNN(Deep Neural Network) 등의 딥러닝 모델을 활용해 온도, 태양 일사량 등의 기상 인자들과 태양광 발전량 간의 상관관계를 분석한다. 이를 토대로 태양광 발전량을 예측하여, 모델의 예측값과 실제값이 얼마나 다른지 비교한다. 또한, 딥러닝 모델인 RNN(Recurrent Neural Network), LSTM(Long Short Term Memory) 등을 활용해 미세먼지 농도에 대한 시계열 데이터를 분석한다. 주어진 데이터의 각 시점으로부터 1시간 뒤의 값이 어떻게 달라질지 예측하기도 한다. 앞서 언급한 예시들 말고도 다양한 내용을 배우며, 원하는 주제를 선택하여 분석할 수도 있다.

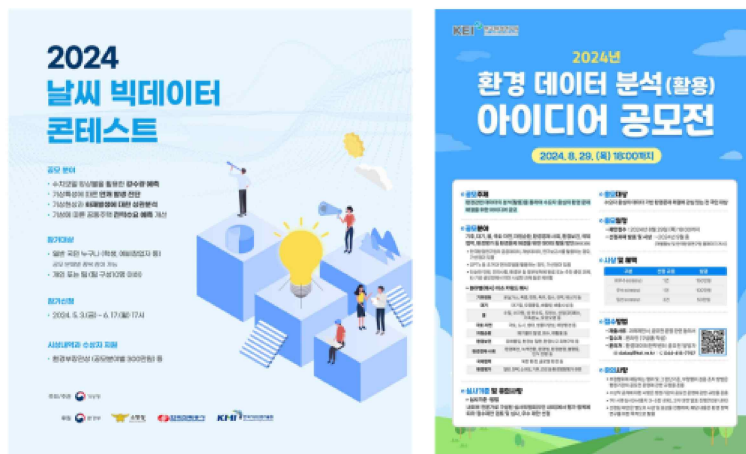


그림 2 날씨 빅데이터 콘테스트(좌), 환경 데이터 분석 아이디어 공모전(우)

AI 코어과목에서 배운 내용과, AI와 본인의 전공을 접목시켜 학습한 경험을 통해 얻는 이점은 무엇이 있을까? 산업 전반에 걸쳐 어느 분야에서나 AI의 활용도가 커지는 요즘, AI융합심화전공 수업의 중요성은 점점 증가하고 있다. 이 전공을 통해 학생들은 AI 기술을 제1전공 수업 내용에 활용하여 더욱 심층적으로 전공을 탐구하며, 인공지능 전반에 대한 기초 지식을 쌓을 수 있다. 이는 직간접적으로, 장단기적으로 공모전 참여 및 AI 분야 진출과 같은 진로 관련 선택에도 긍정적인 영향을 가져다줄 것이다. 대기과학과 AI 기술을 융합하여 활용할 수 있는 대표적인 공모전은 다음과 같다. 환경부에서 주최한 ‘환경 데이터 분석(활용) 아이디어 공모전’, 기상청에서 주최한 ‘날씨 빅데이터 콘테스트’, ‘모햇’ 운영사·포항공대 오픈이노베이션 빅데이터 센터에서 주최한 ‘POSTECH OIBC CHALLENGE 태양광 발전량 예측 경진대회’, 해양학회에서 주최한 ‘해양과학 빅데이터 경진대회’ 등이다. 필자

의 경우, 앞서 언급한 ‘대기과학빅데이터개론’ 수업 때 배운 모델을 활용하여 ‘환경 데이터 분석(활용) 아이디어 공모전’에 도전해 본 경험이 있다. 이를 통해 딥러닝에 대한 이해도가 한층 깊어졌고, 모델을 활용한 많은 시도 속에서 재미를 느끼기도 했다. 이외에도 다양한 공모전들이 있으니 학과 친구들을 모아, 혹은 혼자서라도 기회를 찾아 마음껏 도전해 보길 바란다.

이제 기상 데이터 및 AI를 활용하여 사업을 진행하는 다양한 기업들을 살펴보고자 한다. 그전에 한 가지 염두 해야 할 점은 이 기업들을 뒷받침하는 정부의 지원이 점점 늘어나고 있다는 점이다. 지난 1월 과학기술정보통신부에서는 올해 수소, 이산화탄소 포집·활용, 인공지능 기반 기후예측기술 등 기후변화대응 기술개발에 862억 원을 투자한다고 밝혔다.²⁾ 이러한 기후변화대응과 관련된 다음 기업들의 사례를 통해 대기과학 및 환경 분야에서 AI의 활용도가 풍부함을 엿볼 수 있다.

‘에스아이에이(SI Analytics, 이하 SIA)’는 인공위성이 촬영한 영상을 AI로 분석해 결과를 도출하는 기업이다. 위성영상 AI 분석으로 다양한 산업 분야에 지구관측 데이터를 제공하며, 주요 서비스로는 기상기후 변화 예측 솔루션, 웨더오(WeatherO)를 포함하고 있다. ‘바르카(BARCA)’는 위상 분석 기술과 AI 기반 농산물 생산 예측 기술을 가지고 있으며, 선도거래 기반 농산물 공급 서비스를 제공한다. 이와 비슷하게 ‘CJ제일제당’에는 현지 기후, 생육 현황 등의 빅데이터를 AI 분석 과정을 거쳐 곡물 작황과 재배량 변동을 예측하는 국제 시장 분석실이 있다. ‘에이치에너지(HENERGY)’의 주요 사업은 태양광 에너지 발전소 투자·건설·발전·전력 판매이다. 이중 발전소 관리 서비스인 슬라운케어의 핵심 기술은 AI를 활용해 분산된 태양광 발전 자원 데이터를 수집·분석하여, 원격 조치를 가능하게 하는 것이다. ‘식스티헤르츠(60 Hertz)’는 재생에너지 발전소, 전기차 등의 다양한 분산 자원을 IT기술로 연결하여 발전량 예측 및 통합 관제를 실행한다. 또한, 햇빛바람지도를 통해 약 8만여 개의 태양광, 풍력 발전소를 한눈에 확인한다. 재생에너지 통합관제시스템을 시행하는 등 재생에너지를 효율적으로 확산시키기 위한 노력을 하고 있다.

지금까지 AI융합심화전공을 전반적으로 설명하고 AI 지식 및 기술을 활용한 공모전들과 다양한 기업들에 대해 소개했다. 물론 AI융합심화전공 수업에서는 인공지능의 기초적인 부분을 다루기 때문에 앞서 설명한 공모전 참여나 기업 취업을 위해서는 해당 수업 외에도 더욱 많은 공부가 뒷받침되어야 할 것이다. 인공지능에 조금이라도 흥미가 있다면 이 전공을 통해 AI의 기초적인 부분을 두루 살필 수 있고, 이 분야에 흥미가 있음을 학위기를 통해 증명해 보일 수 있으므로 해당 전공을 신청해 보길 추천한다. 그러나 AI융합심화전공을 신청하지 않더라도 교내 다양한 AI 수업들을 수강해 보면서 본인의 전문 분야와 AI의 접점을 발견할 수 있다. 어떠한 경로로든 AI를 활용하여 자신의 전문지식을 발전시킬 수 있는 기회는 충분히 많을 것이다. 시대의 흐름에 맞게, 각자의 분야에서 인공지능과의 협업을 통해 각자의 길을 더욱 탄탄하고 다채롭게 만들어 갔으면 좋겠다.

이주은 기자(21, happygrace@yonsei.ac.kr)

2) 김유리. (2025년1월9일). 무탄소 에너지·AI 활용...기후변화 대응 862억 투자. KTV 국민방송.

https://www.ktv.go.kr/news/sphere/T000024/view?content_id=718678

3) 박효주. (2021년12월14일). CJ제일제당, AI로 국제 곡물시세 예측. 전자신문.

<https://www.etnews.com/20211214000173>

대기과학과 연구실 소개

‘수리대기물리 연구실(송인선 교수님)’ 소개 - 어회진 연구원님과 인터뷰

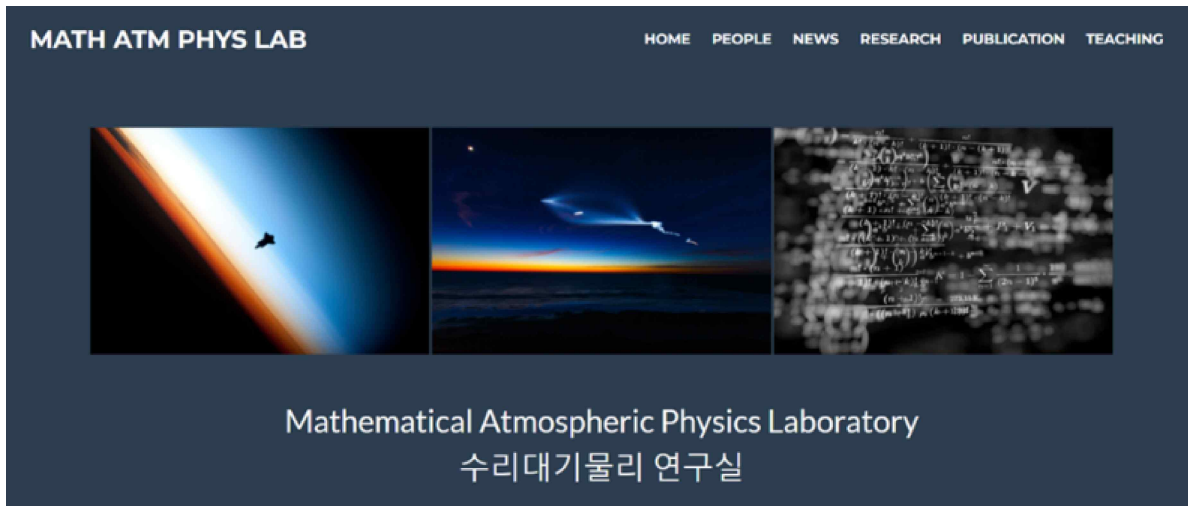


그림 1 수리대기물리 연구실 홈페이지(<https://mapl.yonsei.ac.kr/>)

연세대학교 대기과학과의 다양한 연구실에 대해 알아보는 <대기과학과 연구실 소개> 코너에서는 연구원님과의 인터뷰를 통해 각 연구실을 소개한다. 지금까지 여러 연구실을 소개한 가운데, 2025년의 첫 뉴스레터에서는 송인선 교수님의 수리대기물리 연구실을 소개하고자 한다. 이를 위해 이전 뉴스레터 부원이자 수리대기물리 연구실에서 활발한 연구를 하고 계신 어회진 선배님께서 인터뷰에 응해주셨다. 수리대기물리 연구실을 소개해 주신 것은 물론, 대학원에 입학하기 전 도움이 되는 것들 그리고 대학원생이 가질 법한 고민을 이야기하며 여러 조언을 해 주셨다. 이번 인터뷰가 대학원에 관심 있는 학부생들에게 많은 도움이 되기를 바란다.

1. 안녕하세요. 먼저 자기소개를 부탁드립니다.

안녕하세요. 송인선 교수님의 수리대기물리 연구실에서 석사 과정 3학기에 재학 중인 어회진이라고 합니다.

2. 수리대기물리 연구실은 주로 어떤 분야의 연구를 하나요?

교수님께서 연구하시는 분야가 대기 파동이랑 관련이 많다 보니, 대부분 대기 파동과 관련된 것들을 연구하고 있어요. 대기 파동은 로스비파, 중력파 등을 말하는데 ‘대기역학’ 교재 4판 기준으로 7단원, 5판 기준으로는 5단원에서 배울 수 있는 내용이에요. 고도로 범위를 나누자면 중간권, 열권, 전리권 같은 고층 대기를 연구하시는 분들이 제일 많고 제가 성층권 쪽을 보고 있어요. 지표에 의해 형성되는 지형성 중력파가 대기에 어떤 영향을 미치는지 보시는 분도 있습니다.



사진 1 어희진 선배님

3. 수리대기물리 연구실에 들어가시게 된 계기가 있을까요?

저는 대기역학을 좋아해서 관련된 연구를 해보고 싶었어요. 제가 고등학교 때 물리를 안 배워서 역학적인 내용을 접할 일이 없었는데, 대학교에서 대기역학을 배우며 재미를 느꼈어요. 대기역학에서는 기상 현상을 수식으로 풀어내려고 하잖아요. 이것 또 열심히 풀어서 모델링(modeling)에 대입하면 완벽하지는 않더라도 적당히 큰 규모에서는 잘 맞게 근사가 돼요. 이런 과정이 신기하고 재밌더라고요. 알아보니 수리대기물리 연구실에서 대기역학 분야의 연구를 한다고 들어서, 2022년 여름부터 연구실에서 인턴을 시작하고 대학원에 입학했어요.

4. 선배님께서 어떤 주제로 연구하시나요?

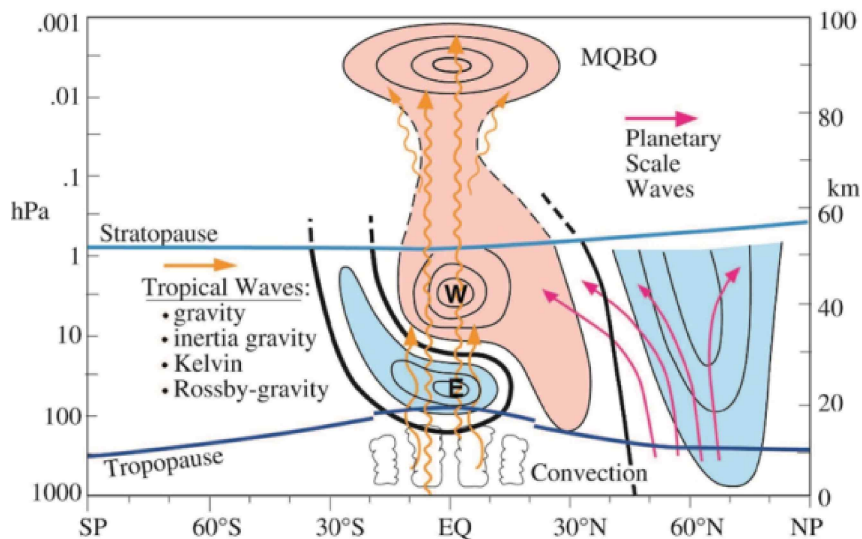


그림 2 북반구 겨울 동안 QBO의 역학적 개요. 다양한 열대 파동의 전파는 주황색 화살표로 나타나며, QBO는 상향 전파하는 중력파, 관성-중력파, 켈빈파, 로스비-중력파에 의해 구동된다. (Baldwin et al., 2001)

QBO(Quasi-Biennial Oscillation)라고 열대 지역 성층권에서 동서 바람이 28개월 정도의 주기를 갖고 바람 방향이 바뀌는 현상이 있어요. 이게 전형적인 대기 파동에 의한 역학적 현상이에요. 저는 동서 바람이 왜 이런 28개월의 주기를 갖고 진동하는지에 대해 관심이 있어요. 많은 전지구 대기순환 모델(General Circulation Model, GCM)들에서는 아직 QBO를 잘 구현하지 못하고 있어서, 저는 ERA5¹⁾나 MERRA-2²⁾같은 재분석 자료들을 이용해서 QBO가 어떻게 발생하는지를 연구하고 있습니다. 어떤 파동이 동서 바람 혹은 평균 바람에 얼마만큼의 영향을 주고 있는지 알아보고 있어요.

5. 연구실의 출근 및 퇴근 시간은 어떻게 정해져 있나요?

저희 연구실은 정해진 출퇴근 시간이 없어요. 자율적으로 출근해서 본인에게 주어진 일을 열심히 하면 돼요. 저는 제일 빨리 출근해서 제일 빨리 퇴근하는 편이에요. 사람 성향에 따라서는 단점이 될 수도 있겠지만, 현재의 구성원들에게는 장점이 많은 방식인 듯해요. 다들 성실하시고 교수님께서 찾으실 때 자리에 항상 계세요.

6. 미팅은 어떤 방식으로 진행되나요?

매주 금요일 오전 11시부터 오후 2시까지 전체 미팅을 한 번 해요. 저희 연구실에 계시던 박사후연구원 한 분이 미국항공우주국의 고다드 우주항공센터(NASA Goddard Space Flight Center)에 취직하셔서 미팅 참여 시간을 맞추기 위해 오전부터 시작해요. 그 분께서는 오전에 계시다가 중간에 나가세요. 아무래도 미국에 계시니까요. 이후로는 각자 한 주 동안 무엇을 했는지 교수님께 말씀드리고 토의도 해요. 그리고 연구실 기타 현안들에 대해서도 이야기하고, 일주일에 한 명씩 돌아가면서 논문 리뷰를 하는 시간도 있어요. 본인이 선정한 연구와 관련된 논문들을 리뷰하는 시간이지요.

7. 수리대기물리 연구실만의 특징, 매력이 있나요?

연구를 할 때 저희 출퇴근 방식과 비슷하게 ‘스스로 해야 한다’는 느낌을 받아요. 원한다면 개인 미팅도 여러 번 잡을 수 있고 교수님이랑 연구에 대한 이야기도 많이 나눌 수 있어요. 다만 미팅을 잡거나 연구를 활발히 하는 등의 것들을 본인이 주도적으로 해야 하는 거죠.

1) ECMWF Reanalysis v5(ERA5): 유럽 중기예보센터(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)에서 제공하는 재분석 기후 데이터

2) Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2(MERRA-2): 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)에서 제공하는 재분석 기후 데이터

연구실은 조용한 편이에요. 저는 이 점이 좋아요. 그리고 지금까지 들어온 분들을 보면 다들 성향이 교수님이랑 비슷한 것 같아요. 회식은 한 학기에 한 번, 많으면 두 번 있어요. 나이가 거의 다 비슷하고, 다들 좋은 분이어서 잘 어울려 생활해요. 그리고 교수님께서 학생들을 잘 챙겨주시고 신경도 많이 써주세요.

저희 연구실은 서로 다른 고도를 연구하다 보니 각자 가는 학회도 조금씩 달라요. 어떤 분은 우주과학회에 가시고, 어떤 분은 기상학회에 가세요. 작년 12월에는 교수님과 저를 포함한 네 명이 미국에서 열리는 AGU 24(American Geophysical Union 24)라는 학회를 갔다 왔어요. 다 같이 가면 좋은데, 연구 분야가 달라서 같이 못 갔죠. 이렇게 분야에 따라서 국내 학회뿐만 아니라 해외 학회에 갈 기회도 있어요.



사진 2 AGU 24에 참여한 연구실 인원들의 단체사진

8. 수리대기물리 연구실을 추천하는 인재상이 있나요?

일단 대기역학을 좋아하시는 분이면 추천해 드리고 싶어요. 잘하진 않더라도 관심이 있고 재미를 느끼는 분이면 좋아요. 그리고 다른 연구실도 마찬가지로 포트란이나 리눅스, 셸 스크립트(shell script), 파이썬 이런 것들을 능숙하게는 못하더라도 방법을 찾는 요령이 있으면 괜찮아요. 구글에 검색하거나, 챗지피티를 활용해서 필요한 정보를 찾아가며 다룰 수 있으면 좋겠어요.

9. 해당 연구 분야만의 장점, 매력이 있나요? 혹은 어려운 점, 힘든 점도 있나요?

각자 연구하는 고도가 다르긴 하지만 공통적으로 어려운 점이 있어요. 대기 파동이나 중층, 고층대기 분야를 연구하는 분들이 한국에 그렇게 많지 않아요. 장점일 수도 있고 단점일 수도 있어요. 저는 사람이 많은 걸 선호하지 않아서 학회에 가면 사람이 적어서 좋긴 하지만, 포스터 발표 후에 질문과 토의를 같이 할 사람이 적어서 아쉬워요. 특히 국내 학회에 사람이 더 적고요. 학회에 가면 보통 사람끼리 교류를 하며 연구에 대해 조언을 주고받는데 그 기회가 조금 적은 것 같아요.

10. 논문도 대부분 영어로 쓰여 있고, 종종 영어로 발표도 하는 것 같아요. 대학원 진학 전에 영어로 읽기, 말하기 공부를 미리 해놓는 게 좋나요? 영어를 사용할 일은 얼마나 많나요?

영어를 사용할 일은 너무 많아서, 미리 공부해 놓으면 당연히 좋죠. 대학원에 가서 할 시간이 생각보다 많지 않아요. 그래도 요즘은 챗지피티라든지 구글 번역기라든지, 이런 것들이 워낙 번역을 잘해주니까 논문을 읽는 것에는 큰 문제가 있을 것 같지는 않아요. 그리고 수능 영어에서 시간을 재지 않고 천천히 읽어서 이해되는 정도면 괜찮을 것 같아요.

영어로 말하는 것도 필요하지만 이건 연습하면 돼요. 제가 작년 12월에 처음으로 해외 학회를 다녀왔는데 포스터 발표 시간이 4시간이었어요. 그런데 첫 번째 사람과 이야기할 때랑 마지막 사람과 이야기할 때랑 영어 실력이 달랐어요. 마지막 분께 훨씬 유창하게 설명했어요. 이 정도로 말하는 건 금방 느는 것 같아요. 본인이 영어를 어느 정도 알아듣고 논문을 읽어서 무슨 말인지 아는 정도의 수준이면 영어로 말하는 게 그렇게 어렵진 않을 거예요.

대학원 수업 때 용어가 영어로 나올 때가 많아서 용어들에 익숙해지는 게 필요할 것 같아요. 예를 들어 교수님들께서 보통 ‘경압 불안정’보다는 ‘baroclinic instability’라고 하셔서, 이런 표현에 익숙해지는 게 좋아요. 따로 공부하기보다는 자주 듣다 보면 귀에 익을 거예요.

11. 대학원 생활이 힘들다고 느낀 적이 있나요? 이때 본인만의 해소 방법이 있나요?

저희 연구실은 교수님께서 워낙 잘해주시고 분위기가 자유로워서 연구 자체에서 오는 스트레스가 크진 않아요. 다만, 공통적인 이야기일 텐데 대학원 생활을 하다 보면 나이가 많아지잖아요. 제 나이쯤 되면 취직을 하거나 결혼을 하는 사람들이 주변에 생겨요. 나는 계속 대학생인 것 같고 정체되어 있는 것 같은데, 주변 친구들을 보면 자연스럽게 나 자신과 비교를 하게 되거든요. 그러면 저도 사람이다 보니 어쩔 수 없이 스트레스를 받는 경향이 있어요. 이런 것들을 잘 이겨낼 수 있어야 될 것 같아요. 그러기 위해 취미를 가지면 좋아요. 예를 들어 영화를 보거나 운동을 열심히 할 수 있죠. 저는 피아노를 치거나, 뜨개질을 하거나, 등산을 가요. 최대한 심리적 스트레스를 안 받기 위해 뭔가를 많이 하려고 하죠.

12. 수리대기물리 연구실에 들어오기 전에 수강했으면 하는 과목이 있나요?

일단 ‘대기역학(1)’, ‘대기역학(2)’는 듣는 게 좋아요. 그리고 송인선 교수님께서 현재 ‘태양과기후’, ‘대기대순환 개론’ 두 과목을 수업하시는데 교수님의 수업을 다 듣고 오면 좋아요. ‘태양과기후’ 수업에선 논문 리뷰를 해보는데

나중에 연구를 하는 데 많은 도움이 돼요. ‘대기대순환개론’ 수업은 학부생을 대상으로 하는 수업치고는 어려운 편이에요. 그런데 최대한 듣고 이해를 하려고 노력하면 대학원 와서 듣는 수업들이 연결되면서 재밌을 거예요.

‘기상프로그래밍’이나 ‘전산유체역학’도 추천해요. 특히 ‘전산유체역학’이 수식과 대기과학을 프로그래밍이라는 도구를 통해 연결하는 데 도움이 많이 돼요. 저희 연구실 말고 미기상 등의 다양한 분야에서 기본이 되는 지배 방정식들이 있어요. 지배 방정식을 해석적으로 풀 수 없으니까 컴퓨터를 이용해 수치적으로 푸는데, ‘전산유체역학’ 과목에서 이런 방정식들을 수치적으로 푸는 법을 배워요. 저희 연구실 같은 경우는 방정식을 푸는 일이 많고 수치적으로 풀어야 해요. 이때 코드를 짜기 위해 필요한 내용을 배울 수 있어요. 그리고 연구를 하다 보면 어쩔 수 없이 포트란을 써야 될 때가 많아요. 파이썬은 너무 느리거든요. 제가 수업을 들을 때는 포트란을 써야 했어서, 포트란과 셸 스크립트에 익숙해질 수 있었어요.

13. 연구실 졸업생분들의 진로가 어떻게 되나요? 선배님은 졸업 후에 어떤 일을 하시고 싶나요?

교수님께서 부임하신 지 오래되지 않으셔서 아직 졸업을 한 사람이 없어요. 제가 수리대기물리 연구실의 첫 대학원 입학생이에요. 다만 저희 연구실에 계시던 박사후연구원 한 분이 미국항공우주국의 고다드 우주항공센터에 연구원으로 가셨고, 얼마 전에 새로 오신 박사님도 거기서 오셨어요. 그래서 미국항공우주국과 교류가 있는 것 같고 관련 분야를 연구하시는 분들 중에 미국국립대기연구센터(National Center for Atmospheric Research, NCAR)로 가는 경우도 있는 것 같아요.

저는 연구를 계속하고 싶어서 대학원에 왔어요. 석사 과정과 박사 과정을 마치면 해외로 가서 박사후연구원을 하고 싶다는 생각이 있어요. 해외로 가고 싶다는 생각은 있는데, 아직 너무 먼 일이라서 막연하네요.

14. 학부 때를 돌이켜봤을 때 아쉬움이 남는 점이 있나요? 혹은 학부로 돌아갈 수 있다면 하고 싶은 게 있나요?

‘여행을 많이 다녀볼걸’ 생각했었죠. 지금은 길게 여행을 갈 시간이 없거든요. 유럽을 간다든지, 그런 거는 시간 내기가 쉽지 않죠. 제가 인턴을 할 때 교수님께 ‘다른 학과 수업을 들으면 도움이 될까요?’라고 여쭙본 적이 있어요. 그 때 물리학과 ‘수리물리학’을 들으면 도움이 될 것 같다고 말씀하셨는데 다른 수업이랑 시간표가 겹쳐 못 들었거든요. 들어봤으면 좋았을 것 같아요. 그리고 수학과 수업 중에 ‘수치해석’이랑 ‘과학계산’이라는 수업이 있어요. ‘수치해석’은 선형 시스템에 대한 수치적인 해석을 배우는 과목이고, ‘과학계산’은 비선형 시스템에 대한 수치적 해석을 배우는 과목이라고 들었어요. 이 중에 ‘수치해석’ 수업은 들었는데 ‘과학계산’은 제가 졸업을 하면서 못 듣게 되어 아쉬워요. 그리고 저희 학과 수업 중에 ‘기상통계분석’이라는 과목이 있는데 담당 교수님께서 안식년이어서 수업을 못 들었어요. 그 수업이 도움이 많이 된다고 하던데, 들었으면 좋았을 거라는 생각이 들어요.

15. 마지막으로 후배들에게 해주고 싶은 말, 추가로 남기고 싶은 말이 있나요?

방학에는 학부생 때만 할 수 있는 것들을 해보고 왔으면 좋겠어요. 나중에는 시간이 없어서 뭘 못하거든요. 영어 공부도 많이 해 놓으면 좋아요. 귀를 트이는 게 좀 오래 걸리니까 영어를 많이 들어보는 게 좋을 것 같아요. 대화를 많이 들어보는 게 좋아서 노래보다는 미국 드라마를 많이 보는 걸 추천해요.

인터뷰에 응해주신 어회진 선배님께 다시 한번 감사하다는 말씀을 드린다. 연구실 소개와 더불어 여러 조언을 얻을 수 있던 시간이었다. 수리대기물리 연구실에 대해 더 궁금한 점이 있거나 도움이 필요하다면 어회진 선배님 (uhhoi@yonsei.ac.kr)께 연락 바란다. 앞으로 인터뷰할 연구실이 얼마 남지 않은 가운데 다음 학기에 소개할 연구실에도 많은 관심 부탁드립니다.

김건하 기자(22, tskibae1713@yonsei.ac.kr)

알쏭달쏭 대기과학

바람, 해양의 표층순환을 일으키다

해양은 지구 표면의 71%를 차지하며 끊임없이 움직인다. 해류는 열과 영양소, 이산화탄소 및 산소, 오염물질 등을 운반하며 전 지구를 연결하는 역할을 한다. 해류의 역할이 눈에 띄게 보이는 곳은 영국이다. 영국은 같은 위도 대의 캐나다보다 겨울에도 따뜻하다. 그 이유는 해양에 있다. 영국 바로 옆에 따뜻한 멕시코 만류가 지나가기 때문이다. 이렇듯 해양의 표층순환은 지구의 기후와 환경에 지대한 영향을 끼친다.



그림 1 멕시코 만류 (출처: Severe Weather Europe)

해양의 표층순환은 주로 바람에 의해 일어나며 코리올리 효과와 대륙의 분포에 영향을 받는다. 해수가 어떤 방향으로 얼마나 빠르게 움직일지는 다양한 힘의 균형에 의해 결정된다. 유체의 운동을 결정하는 방정식, 나비에-스토크스 방정식을 통해 해양의 표층순환을 설명할 수 있다. 수식을 함께 살펴보면서 나비에-스토크스 방정식을 해양에 적용하고자 노력한 여러 과학자의 이론을 따라가 보자.

나비에-스토크스 방정식, 그리고 해양

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p - \vec{g} + \nu\nabla^2\vec{u} \quad (1)$$

먼저 나비에-스토크스 방정식이 무엇인지 알아보자. 나비에-스토크스 방정식은 유체의 운동을 기술하는 미분 방정식이다. 1822년에 Claude-Louis Navier가 처음 이 방정식을 제안하고, George Gabriel Stokes가 이를 일반적인 형태로 확장하여 체계화하였다. 위의 식 (1)¹⁾은 비압축성 유체에서의 나비에-스토크스 방정식을 나타낸다. 각 항은 유체 속도의 시공간적 변화와 기압경도력, 중력, 점성력을 나타내며, 시간과 공간에 따른 유체의 운동을 설명한다. 나비에-스토크스 방정식은 대표적인 비선형 편미분 방정식으로 해석해²⁾가 밝혀지지 않았다. 그러나 전산

1) u 는 속도 벡터, ρ 는 밀도, p 는 압력, g 는 중력가속도 벡터, ν 는 동점성계수를 의미한다.

2) 해석해: 방정식을 수학적으로 정확하게 풀어서 구한 해를 의미하며, 미적분 등의 수학적 기법으로 닫힌 형태의 해를 구한다.

유체역학을 이용하여 수치해³⁾를 구함으로써 기상예보에 활용되고 있으며, 여러 가정으로 식을 단순화하여 해양의 운동을 이론적으로 설명하는 데도 사용되고 있다.

식 (1)의 나비에-스토크스 방정식을 바로 해양에 적용하기에는 무리가 있다. 수평 규모가 충분히 커지면 지구의 자전이 중요한 역할을 하므로 대기나 해양의 운동에서는 전향력을 고려해야 한다. 또한 해양처럼 규모가 크다면 마찰력은 분자 간의 점성력⁴⁾보다 난류에 의한 운동량 교환으로 발생한다. 따라서 분자 동점성계수(molecular viscosity) ν 대신 에디 동점성계수(eddy viscosity)를 고려한다. 해양은 연직적으로 안정하게 성층화되어 있으므로 연직혼합이 일어나려면 더 많은 에너지가 필요하다. 연직혼합이 수평혼합보다 약하므로 수평 에디 동점성계수 A_h 와 연직 에디 동점성계수 A_v 로 나누어 마찰력을 설명해야 한다. 이때 $A_v \ll A_h$ 를 가정한다. 이를 해양에 적용한 나비에-스토크스 방정식은 아래와 같다. 이제 해양에서 유체의 운동을 살펴볼 준비가 되었다.

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p - \vec{g} + A_h\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + A_v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) - f\hat{k} \times \vec{u}, \quad f = 2\Omega \sin\phi \quad (2)$$

바람이 불면 해수는 어디로 갈까: Ekman Transport

해양의 표층순환은 ‘Wind-driven circulation’으로도 불린다. 그만큼 바람이 중요하다는 이야기다. 이러한 표층해류의 움직임을 설명하는 이론이 ‘에크만 수송(Ekman Transport)’이다. 에크만 수송은 1902년 Vagn Walfrid Ekman이 제안한 이론으로, 바람에 의한 마찰력으로 해수가 이동하며, 전향력으로 해류의 방향이 변화함을 설명한다. 나비에-스토크스 방정식에서 흐름이 시간에 따라 변화하지 않고, 수평적으로 균일하며, 기압경도력을 무시할 수 있다고 가정하면 식 (3)처럼 전향력과 마찰력이 균형을 이룬다. 표면에서 바람 응력(wind stress)가 마찰력으로 가해지며 해저에서는 바람 응력과 난류의 영향이 없는 상황을 설정하자. 이러한 경계조건에서 식 (3)을 해저부터 표면까지 적분하면 식 (4)를 얻는데, 이를 통해 표층 해수가 어디로 이동할지를 알 수 있다.

$$-fv = A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \quad fu = A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (3)$$

$$U_e = \int_{-\infty}^0 u dz = \frac{\tau_y}{\rho f}, \quad V_e = \int_{-\infty}^0 v dz = -\frac{\tau_x}{\rho f} \quad (4)$$

3) 수치해: 컴퓨터를 사용하여 연산을 이산화하여 구한 근사적인 해를 의미하며, 복잡한 비선형 방정식에서도 적용할 수 있다.

4) 점성력: 유체 내부에서 발생하는 마찰력과 같은 효과로, 유체가 서로 다른 속도로 흐를 때 유체 내에서 속도 차이를 줄이려는 방향으로 작용하는 힘을 의미한다.

U_e 와 V_e 는 에크만 층⁵⁾에서 연직 적분된 수평 해류 속도이며, 북반구에서 바람 응력의 정확히 90도 오른쪽을 향한다. 바람이 남쪽에서 북쪽으로 불면 해류는 서쪽에서 동쪽으로 흐른다. 이러한 수평 해류가 있을 때 연직 해류가 어떻게 형성되는지도 파악할 수 있다. 식 (4)와 연속방정식을 연립하면 에크만 층 깊이에서의 연직 해류 속도, 식 (5)를 구할 수 있다. 즉, 바람 응력의 회전이 해수의 융승과 침강을 결정한다. 북반구에서 반시계방향의 바람은 상승하는 해류를, 시계방향의 바람은 하강하는 해류를 만든다.

$$w_e = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_y}{\rho f} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_x}{\rho f} \right) = \hat{k} \cdot \nabla \times \frac{\vec{\tau}}{\rho f} \quad (5)$$

환류에서 해수의 남북 수송: Sverdrup Balance

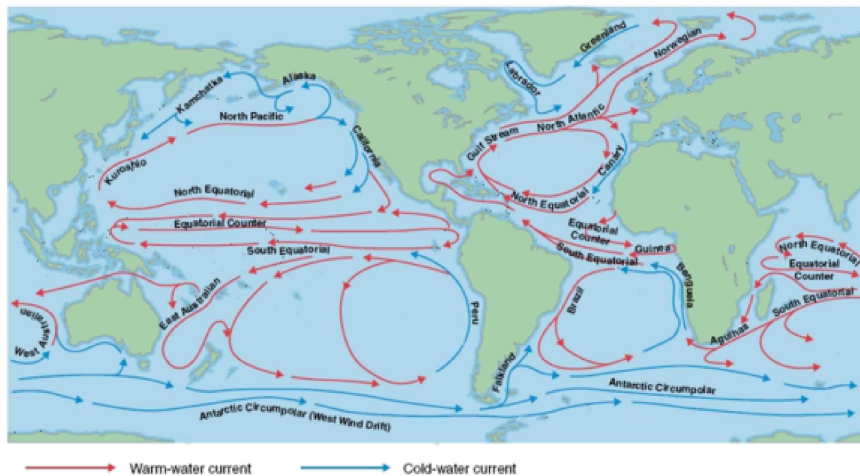


그림 2 해양의 표층순환 (출처: Understanding Global Change)

지구의 표층해류는 인도양과 태평양, 대서양에서 커다란 환류(Gyre)를 따라 흐른다. 북반구에서는 무역풍과 편서풍으로 시계방향의 아열대 환류가, 편서풍과 극동풍으로 반시계방향의 아한대 환류가 형성된다. 이러한 환류의 회전 방향은 해수의 남북 방향 수송을 만들어 낸다. 이를 설명하는 이론이 1947년 Harald Sverdrup이 제안한 ‘스베르드럽 균형(Sverdrup Balance)’이다. 이 이론은 바람 응력으로 만들어지는 해양의 연직 운동과 연직 적분한 해수의 남북 수송 간의 관계를 나타내며, 서안 강화 현상을 설명하는 핵심적인 이론적 토대이다.

에크만 수송에서는 전향력과 마찰력의 균형을 보았다면, 이번에는 전향력과 기압경도력의 균형을 살펴보아야 한다. 나비에-스토크스 방정식에서 마찰력을 무시할 수 있다고 가정하고 수평 해류만을 고려하면 식 (6), (7)과 같다.

5) 에크만 층: 전향력과 점성력이 균형을 이루는 유체 층으로, 바람에 의해 형성되며 해양에서 표층 해류의 흐름을 조절하는 층을 의미한다.

각 항의 규모를 분석하면 해류의 시간 변화 및 이류 항은 10^{-8} , 기압경도력과 전향력 항은 10^{-5} 으로 해류의 시공간적 변화는 무시할 수 있다. 이렇게 해양에서 시간 규모가 수일보다 길고 공간적 규모가 수 킬로미터보다 크면 전향력과 기압경도력이 균형을 이룬다. 이 상태를 지균 균형이라고 하며, 식 (8)로 표현된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + fv \quad (6)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - fu \quad (7)$$

$$fv_g = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, fu_g = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (8)$$

코리올리 매개변수 $f = 2\Omega \sin(\phi)$ 는 위도에 따라 변한다. 코리올리 매개변수가 y 에 선형적으로 의존한다고 하면, 테일러급수를 이용하여 $f = f_0 + df/dy \times \Delta y = f_0 + \beta \Delta y$ 로 표현할 수 있다. 이렇게 위도에 따라 코리올리 매개변수가 변화하는 것을 베타 효과라고 한다. 스베르드럽 균형은 지균 균형에서 베타 효과를 고려하여 얻을 수 있다. 코리올리 매개변수를 수평 운동량 방정식 (8)에 대입하고 연속방정식을 고려하면 식 (9)를 얻는다. 여기서 에크만 층 깊이에서의 연직 속도를 생각한다면 $w = w_e$ 이다. 앞서 구한 식 (5)를 대입하고 에크만 층 깊이부터 해양 표면까지 적분하여 식 (10)도 얻을 수 있다.

$$f\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + \beta v = 0, \beta v = f \frac{\partial w}{\partial z} \quad (9)$$

$$\beta V = \hat{k} \frac{1}{\rho} \nabla \times \vec{\tau}, V = \int_{-D_e}^0 v dz \quad (10)$$

스베르드럽 균형은 지균 균형이 성립하는 해양 순환에서 바람 응력의 회전으로 해수의 남북 수송을 결정하는 원리를 설명한다. 북반구에서 시계방향의 순환이 존재할 때 에크만 수송으로 침강이 일어나며, 스베르드럽 균형에 따라 적도 쪽으로 해수의 수송이 일어난다. 따라서 북반구에서 시계방향의 아열대 환류는 적도로, 반시계 방향의 아한대 환류는 극으로 수송이 발생한다.

$$Q = \frac{f + \zeta}{H} \quad (11)$$

스베르드럽 균형은 잠재와도 보존법칙으로도 설명할 수 있는데, 유체의 회전을 나타내는 개념인 와도를 적용했을 뿐 본질적으로 같은 내용이다. 잠재와도는 행성와도와 상대와도의 합을 해양 기둥의 두께로 나눈 값으로, 유체가 이동하는 동안 외부에서 힘이 작용하지 않으면 잠재와도가 보존된다. 상대와도는 유체 자체의 회전을, 행성와도는 지구 자전에 따른 코리올리 효과를 의미한다. 예를 들어 아열대 환류에는 침강이 발생하므로, 해양 기둥이 압축되어 두께가 감소한다. 잠재와도를 보존하기 위해 행성와도가 작아져야 하고, 해류는 코리올리 매개변수가 작아지는 적도 방향으로 이동한다. 이처럼 와도를 고려하면 같은 내용을 더 쉽게 파악할 수 있다.

서안에서 해류가 더 빠르던데: Westward Intensification

오른쪽 그림에서 에크만 수송과 스베르드럽 균형을 고려한 해류의 모습을 볼 수 있다. 이를 통해 바람 응력에 의한 표층해류의 운동을 이해할 수 있다. 그런데 스베르드럽 균형에 의해 남쪽 또는 북쪽으로 수송된 해류는 어디선가 다시 돌아와야 한다. 어디서, 어떻게 해류가 돌아오는지는 대양의 서안에 흐르는 좁고 빠른 해류와 관련이 있다. Henry Stommel과 Walter Munk는 스베르드럽 균형에서는 무시했던 마찰 항을 고려함으로써 ‘서안 강화 현상(Westward Intensification)’에 관한 이론을 발전시켰다.

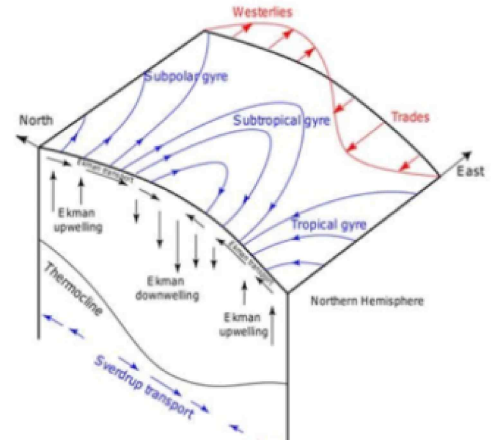


그림 3 에크만 수송과 스베르드럽 균형 (출처: Talley, 2011)

1948년 Stommel은 스베르드럽 균형에 해양 바닥에 의한 선형 감쇠 항을 마찰로 추가한 모형을 제안했다. 해류의 운동방정식에 바닥 마찰과 베타 효과를 고려하여 식을 유도할 수 있으며, 해류의 동서방향 흐름 U 를 고려하지 않으면 문제는 더 단순해진다. Stommel 모델은 $\beta V = -b \partial V / \partial x$ 로 표현된다. Stommel의 이론은 서안 강화 현상을 최초로 설명한 모델이지만 실제로는 해류가 해저까지 도달하지 않으며, 난류 등 복잡한 마찰 효과도 고려해야 하는 한계가 있다.

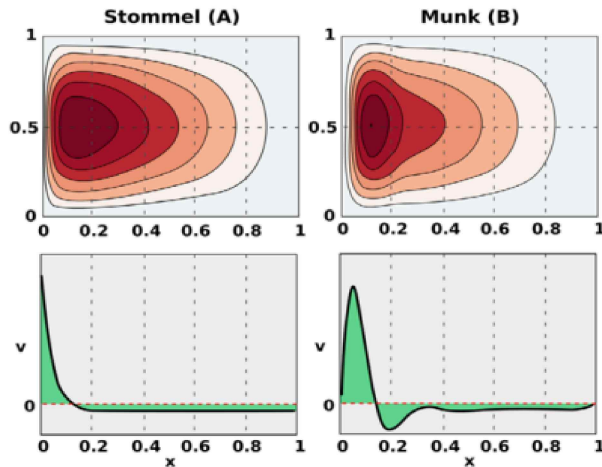


그림 4 Stommel과 Munk의 모델 (출처: Polito, 2021)

1950년 Munk는 더 현실적인 마찰 항을 적용하기 위해 바닥 마찰 대신 난류와 점성을 포함하는 수평 마찰을 사용하였다. 이는 해저보다 양쪽 경계와의 마찰을 중요하게 본 것이다. 이러한 Munk 모델에서는 $\beta V = \nu_h \partial^3 V / \partial x^3$ 로 방정식을 표현할 수 있다. 왼쪽의 그림 3은 Stommel과 Munk의 모델을 푼 결과이다. 두 모델 모두 마찰로 인해 에너지를 잃는 과정을 추가함으로써 서안에서 좁고 빠르게 북상하는 해류가 현실적으로 구현하였다. Munk의 모델은 쿠로시오 해류 등의 실제 해류와 더 유사한 형태를 만들어냈다.

이러한 서안 강화 현상도 잠재와도 보존법칙을 통해 더 명확히 이해할 수 있다. Munk의 모델은 잠재와도에 마찰이 외부 강제력으로 작용한다. 북반구 아열대 환류의 예시를 생각할 때, 시계방향 바람에 의한 에크만 수송은 음의 와도를 만들어 냈다. 마찰은 이렇게 가해진 음의 와도를 제거하는 역할을 담당한다. 서안에 북상하는 경계류가 위치하면 마찰로 인해 반시계방향의 양의 상대와도가 생기므로 음의 와도를 상쇄한다. 만약 동쪽에 경계류가 존재하면 음의 상대와도가 생겨 불균형을 키우게 된다. 따라서 와도 균형을 이루려면 서안에 경계류가 있어야만 한다. 남반구 나 아한대 환류에서도 부호만 달라질 뿐 동일한 원리로 서안 강화 현상이 발생한다. 멕시코 만류, 쿠로시오 해류, 래브라도 해류 등 서안 경계류는 스베르드럽 수송을 다시 원래 위도로 돌려놓는 역할을 한다. 이러한 해류는 관성 등의 영향으로 원래 이론적인 균형보다 더 오버슈트(Overshoot)하곤 한다. 서론에서 이야기했던 멕시코 만류는 그렇게 더 고위도까지 이동하여 열을 전달함으로써 영국의 온난한 기후를 만들었다.

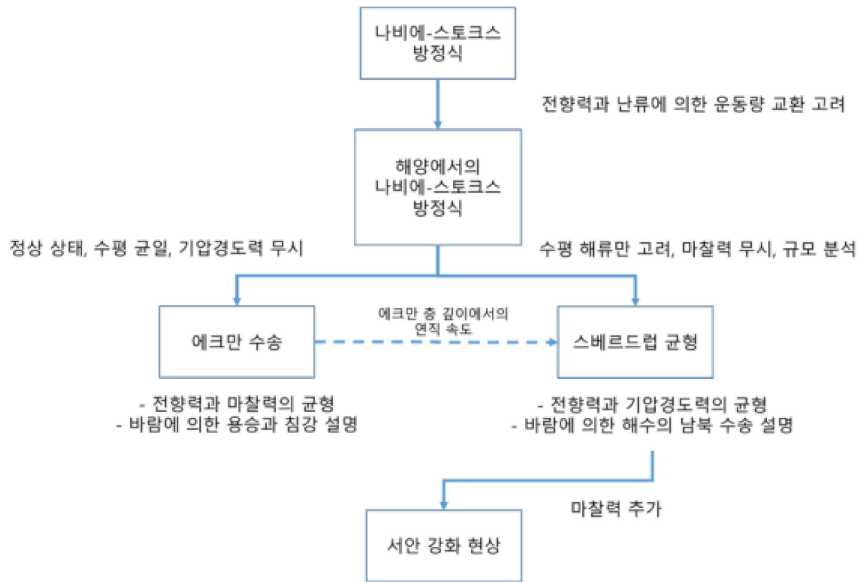


그림 5 해양의 표층순환 관련 이론의 개념도

Ekman부터 Munk까지 여러 과학자의 연구들이 해양의 운동을 이해하는 기초를 세웠다. 바람에 의한 해수의 운동을 현실적으로 모사하기 위한 노력이 쌓여 해양 순환의 구조에 관한 이론이 발전해 왔다. 이는 현재 복잡한 해양 모델의 기반을 이루고 있는 이론들이다. 이렇듯 유체의 운동방정식 나비에-스토크스 방정식을 해양에 적용하였을 때, 바람에 의한 해양의 순환은 과학적으로 설명된다. 또한 잠재와도를 도입함으로써 물리적 현상에 대한 이해를 도울 수 있었다. 앞으로도 더 정확하고 현실과 닮은 모델을 만들기 위한 이론적인 연구들이 해양에 대한 이해와 기상 및 기후 예측을 도울 것이다.

참고문헌

- Talley, L. D., Pickard, G. L., Emery, W. J., & Swift, J. H. (2011). *Descriptive physical oceanography: An introduction (6th ed.)*. Elsevier.
- Polito, P. S., Sato, O. T., Napolitano, D. C., Simoes-Sousa, I. T., Almeida, H., & Lapolli, F. R. (2021). Insights on the non-linear solution of Munk’s ocean circulation theory from a rotating tank experiment. *Ocean and Coastal Research*, 69.
- Flis, A. (2024, August 27). Why the Gulf Stream matters: Understanding its influence on U.S. and European weather and how it works. *Severe Weather Europe*. <https://www.severe-weather.eu/learnweather/global-weather-drivers/what-is-the-gulf-stream-weather-winter-importance-united-states-canada-europe-fa/>
- Marshall, C., Bean, J., & University of California Museum of Paleontology. (n.d.). Ocean circulation. *Understanding Global Change*. Retrieved February 17, 2025, from <https://ugc.berkeley.edu/background-content/ocean-circulation/>

신지은 기자(21, newjieun@yonsei.ac.kr)

알쏭달쏭 대기과학

기후 현상을 알아보는 또 다른 방법: Simple Model

지구는 넓고, 날씨는 복잡하다. 예를 들어, 산맥이 존재하면 고기압과 저기압이 생기며 맑은 날씨와 흐린 날씨가 반복된다. 한반도에서는 1년을 주기로 여름엔 남풍, 겨울엔 북풍이 부는 현상이 반복된다. 이처럼 대기가 변화하는 현상을 '진동'하는 것으로 생각할 수 있다. 대기의 진동은 주기가 하루부터 몇십 년까지 다양하다. 이 진동이 왜 일어나는지 알려면 작은 규모의 변화부터 큰 변화까지 전부 알아야 한다. 진동이 일어나는 이유를 단순하고 명확하게 알기 위해, 과학자들은 Simple Model이라는 방법을 개발하였다. 이 글에서는 먼저 실생활에서의 예시를 통해 Simple Model이 어떤 것인지 알아보고, 이 방법을 적용해 대기 중에 존재하는 진동의 특성을 알아보려 한다. 나아가 이 방법을 통해 이러한 진동이 어떻게 변하게 될지 예측하는 것까지 알아보고자 한다.

I. Simple Model의 이해: 미분방정식으로 알아보는 Simple model

Simple Model이 무엇인지 알아보기 위해, 친숙한 예시를 들어 설명해 보려 한다. 내 기분은 현재 처한 상황 혹은 다른 사람의 영향을 받아 변할 수 있다. 먼저 현재 상황에 의한 경우를 자세히 살펴보자. 첫째로 학업 스트레스는 내 기분을 좋지 않게 한다. 이것 수치화하기 위해서, 기분 변화량을 '학업 스트레스'라는 기여도와 '현재 기분'의 곱으로 표현하려 한다. 덧셈이 아닌 곱셈으로 표현한다면, '학업 스트레스'에 의해 변한 '현재 기분'의 양을 직접 알지 않고도 기분 변화량을 나타낼 수 있다. 둘째로 여행을 가고 싶다는 생각은 우리의 기분을 좋게 한다. 그러나 때로는 우리의 기분을 좋지 않게 할 수도 있다. 여행을 갈 수 없는 상황이라면 여행을 생각하는 게 우리에게 희망 고문에 그칠 수 있기 때문이다. 그러면 첫 번째 예시와 같이, 기분 변화량은 '여행 가고 싶다는 생각'이라는 기여도와 '현재 기분'의 곱으로 표현할 수 있지만, 그것이 현재 기분과 어떤 관계가 있는 것인지는 모른다.

이번엔 다른 사람의 기분이 내 기분에도 영향을 미치는 경우를 생각해 보자. 다른 사람의 기분이 좋으면 내 기분도 좋아질 수도 있고, 다른 사람의 기분이 안 좋으면 내 기분도 좋지 않을 수 있다. 혹은 다른 사람의 기분이 좋지 않을 때 내 기분은 좋아지기도 한다. 그렇다면, 기분 변화량은 '그 사람의 관계성'이라는 기여도와 '다른 사람의 기분'이라는 새로운 변수의 곱으로 표현할 수 있게 된다. 정리하자면 우리의 기분 변화는 여러 요인의 영향을 받으며, 각각의 기여도와 상호작용에 따라 복잡하게 변화한다.

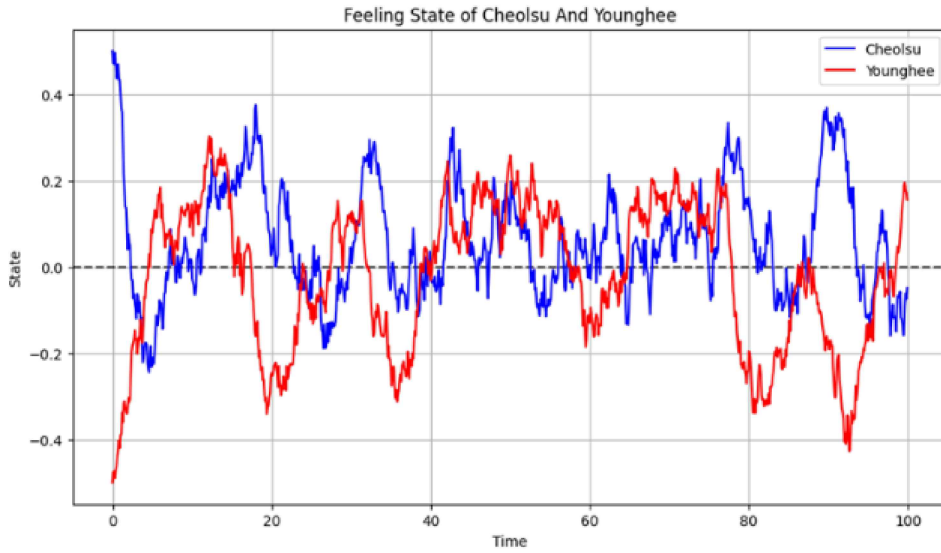


그림 1 철수와 영희의 기분 상태를 나타낸 그래프

그림 1에서 두 그래프는 각각 철수와 영희의 기분 상태를 나타낸다. (+)라면 기분이 좋은 것이고, (-)라면 기분이 좋지 않은 것으로 생각하자. 위 그림만을 보고 어떤 요인에 의해 기분이 바뀌었는지 말할 수 없다. 앞서 기분과 관련한 다양한 요인을 살펴보았지만, 그래프의 변화만으로는 원인을 알아낼 수 없다. 그렇다면 철수와 영희의 기분 변화를 알기 위해서는 어떻게 해야 할까?

과학자들은 한 현상이 다른 현상에 미치는 영향을 분석하기 위해 현상 간의 관계들을 수식으로 표현한다. 먼저, 현상의 변화가 그 자체의 요인에 의해 변화하는지를 파악한다. 앞서 ‘학업 스트레스’, ‘여행 가고 싶다는 생각’과 같은 생각 변화가 기분을 바꾸는 것과 같은 맥락이다. 둘째로, 현상의 변화가 다른 현상에 의해 변화하는지를 파악한다. 앞서 ‘다른 사람의 기분’에 의해 내 기분이 변화하는 것과 같은 맥락이다. 이런 변화를 파악했다면, 그 변화가 선형적인지 비선형적인지 확인한다. 앞선 사례에서는 자기 자신에 의해 변화하는 것들은 비선형적으로, 다른 사람에 의해 변화하는 것들은 선형적으로 변화한다고 가정하자. 이런 가정을 바탕으로, 우리는 기분 변화를 설명하는 방정식을 세워볼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dT_1}{dt} &= \underbrace{a_1 T_1 + b_1 T_1^2 + c_1 T_1^3}_{\text{자기 자신에 의해 변화}} + \underbrace{d_1 T_2}_{\text{다른 사람에 의한 변화}} + \underbrace{e_1 \xi}_{\text{자연 변동}} \\ \frac{dT_2}{dt} &= \underbrace{a_2 T_2 + b_2 T_2^2 + c_2 T_2^3}_{\text{자기 자신에 의해 변화}} + \underbrace{d_2 T_1}_{\text{다른 사람에 의한 변화}} + \underbrace{e_2 \xi}_{\text{자연 변동}} \end{aligned}$$

T1은 철수의 기분, T2는 영희의 기분이다. 자기 자신에 의해 변화하는 건 비선형적으로 변화한다고 가정했으므로, 제일 단순한 비선형 항인 2차 항과 3차 항을 사용했다.¹⁾ 그리고 다른 사람의 기분에 의해 변화할 때는 선형 항을 사용하였다. 마지막으로 미처 고려하지 못한 요인들을 반영하기 위해 자연 변동 항²⁾을 고려하였다. 이 항에 있는 ξ 는 평균이 0, 표준편차가 1인 정규분포를 따르는 난수로, 우리가 생각하지 않은 외부 요인들을 고려하게 된다. 이렇게 가설을 세웠다면, 위 그림에 나온 데이터를 활용하여 a1부터 e2까지 10개 숫자를 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} a_1 &= -0.2, b_1 = 0.5, c_1 = -0.9, d_1 = 0.1, e_1 = 0.3 \\ a_2 &= -0.1, b_2 = 0.3, c_2 = -0.7, d_2 = 0.08, e_2 = -0.4 \end{aligned}$$

이처럼 시간에 따른 어떤 현상의 변화를 추정할 때, 해당 현상 그 자체의 변화와 다른 요인 간의 상관관계를 분석하여 기여도를 추정하는 방법을 ‘Simple Model Method’라고 한다. 그리고 이때 사용되는 방정식은 ‘Simple Model’이라고 한다. Simple Model의 장점은 복잡한 시스템에서도 상관성이 높은 요인을 추출하여 간단한 수식으로 표현할 수 있다는 점이다. 지구 대기는 매우 복잡해서 한 지역의 변화를 알기 위해서는 전 지구 대기를 계산해야 한다. Simple Model을 이용하면 훨씬 적은 계산으로도 현상 간 상호작용과 그 중요한 요인을 알아낼 수 있다.

II. Simple Model의 적용 : ENSO와 IOD 사이에는 어떤 관계가 있을까?

인도양의 평년 대비 수온은 대략 2~7년 정도를 주기로 (+)와 (-)로 바뀌기를 반복한다. 이 현상은 서인도양과 동인도양에서 반대로 나타나며, 과학자들은 이 현상을 인도양 쌍극자(Indian Ocean Dipole, 이하 IOD)라고 부른다. 열대 동태평양 수온이 올라가고 낮아지는 현상인 엘니뇨 남방진동(El nino-Southern Oscillation, 이하 ENSO)의 위상(phase) 변화는 인도양의 수온 패턴을 바꾼다. 이전 겨울에 진행되던 ENSO의 영향을 받아 북반구의 여름이 시작될 시기에 IOD 패턴이 나타나며, 가을에 제일 뚜렷했다가 겨울에 쇠퇴한다. 그리고 가을의 뚜렷한 IOD 패턴은 그해 겨울의 ENSO에 영향을 준다.

IOD는 내부 피드백과 외부 요인의 영향을 모두 받는다. 외부 요인 중 제일 영향이 큰 것이 바로 ENSO이다. 예를 들면, 엘니뇨가 발달할 때 동태평양이 따뜻해지고 상승기류가 생기면서 워커 순환(Walker Circulation)³⁾이 변화하게 된다. 이것이 동인도양의 바람 방향을 변화시키고 IOD 패턴을 만들어낸다. 이를 비롯해 ENSO가 IOD를 만들어내고, 그 IOD가 다시 ENSO를 만들어낸다는 사실은 여러 연구를 통해 입증되었다. 인도양 내부의 변화에 의해서

1) 사실 3차 항을 넣지 않아도 괜찮다. 실제 연구에서는 2차 항까지만 다루기도 하고, 4차 항 이상을 넣기도 한다. 이 예시에서는 임의로 3차 항까지 적용하였다.

2) 난수적 강제력(Stochastic Forcing)과 같은 의미로 쓰였다. Simple model은 현상을 단순화하여 생각하므로 난수적 강제력에 의해 자연 변동이 일어난다고 생각한다. 그러나 Simple model이 아닌 경우 모든 자연 변동성이 난수적 강제력으로부터 오는 것은 아니라고 여긴다.

3) 워커순환은 적도 태평양 대기에서 동-서로 나타나는 연직 순환이다. 보통 인도네시아와 서태평양에서 상승기류, 페루 앞바다에서 하강기류가 나타나며, 중앙 태평양에서는 동풍이 분다. 워커 순환이 약화하면 이 동풍이 약해진다.

도 IOD가 만들어진다. 내부 피드백 과정이나 날씨 변화 같은 작은 섭동들이 이러한 변화에 해당한다. 내부 변화는 IOD의 위상을 직접 결정하지는 않지만, IOD의 장기적인 비대칭성을 분석하는 데는 꼭 필요한 요인이다. 많은 연구가 IOD의 비대칭성(skewness)을 이해하기 위한 여러 메커니즘을 제시하였으나, 그것들이 정량화되지는 못하였다. 그래서 연세대 안순일 교수팀의 박효진 연구원은 위에서 말한 Simple Model을 이용하여 IOD의 두드러지는 점 중 하나인 양의 비대칭성⁴⁾이 일어나는 이유를 연구하였다.

이제부터 위에서 이용한 기본 변화 모델과 비교하며 이 연구가 어떻게 Simple Model을 이용하는지 살펴보겠다. 박효진 연구원은 IOD의 비대칭성을 분석하기 위해 1982년부터 2015년까지의 6개의 해양 재분석장을 이용하여 IOD 지수(index)와 ENSO 지수를 추출하였다. 이는 1에서 그림 1의 그래프와 같은 역할을 한다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_m T + \beta_{1,m} E(t) + \beta_{2,m} E(t)^2 + \gamma_m T^2 + \sigma_m (1 + B_m T) \xi_t$$

위 식에서 T는 IOD 지수, E(t)는 시간의 함수인 ENSO 지수를 나타낸다. 맨 마지막 항의 ξ 는 이전 예시에서처럼 정규분포에서 랜덤하게 추출한 어떤 수이며, 나머지 6가지 변수 $\lambda, \beta, \gamma, \sigma, B$ 는 이전 예시의 10개 상수와 같이 각 현상들의 기여도를 나타내는 상수이다. 이 연구에서는 6개의 상수들이 월별로 어떻게 나타나는지를 확인하고, IOD의 비대칭성이 어느 과정으로부터 기인하는지를 알아보려 하는 것이다. 각각의 상수들은 순서대로 IOD 자체의 선형 변화, ENSO에 의한 IOD의 선형 및 비선형 변화, IOD 자체의 비선형 변화, 자연 변동성의 강도, IOD의 현재 크기에 따른 노이즈(noise)를 나타낸다.

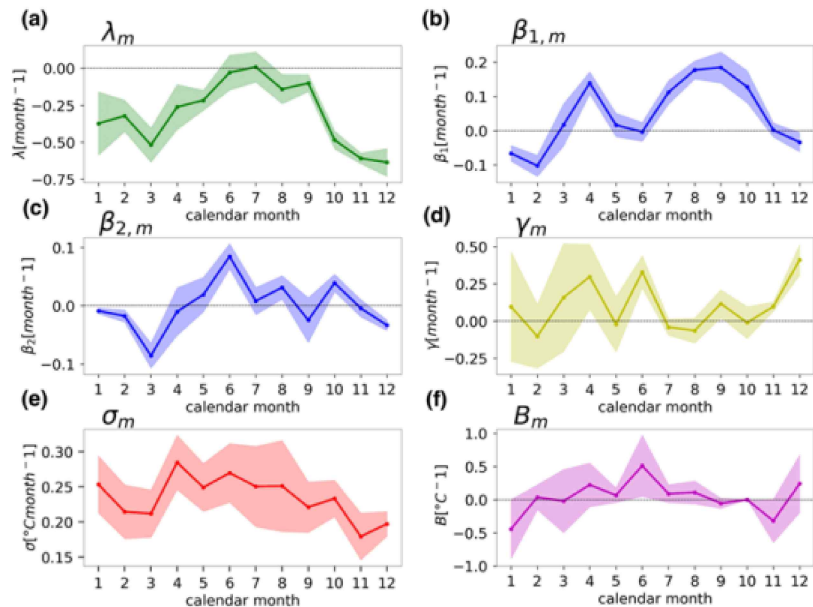


그림 2 비선형 IOD 모델에서 상수의 연중 변화.

4) 데이터의 분포가 정규 분포에서 한쪽 방향으로 치우쳐 있으면 비대칭도가 있다고 말한다. 양의 비대칭성은 IOD가 (+) 위상일 때 서인도양의 뜨거운 정도가 (-) 위상일 때 서인도양의 차가운 정도보다 더 강하고 빈번하게 나타난다는 것을 의미한다.

해당 모델을 가지고 재분석장 자료를 이용해 월별로 상수들을 구하면 그림 2와 같다. 어떤 현상들은 IOD를 약화하기도, 어떤 현상들은 IOD를 강화하기도 한다. 해당 그림에서 상수들이 양수면 IOD 지수를 증가시키고, 음수면 IOD 지수를 감소시킨다. 이제 우리는 IOD 지수의 변화를 그럴듯하게 설명할 수 있는 수식 모델을 얻었다. 이것을 이용하면 재분석장에서 데이터를 직접 구할 필요 없이, 미분방정식 한 개를 풀기만 해도 IOD 지수를 추정할 수 있다. 그렇다면 특정 항을 뺀 상태에서 IOD 지수를 계산하면, 재분석장에서 구한 IOD 지수와 어떤 차이가 나타날까? 이렇게 구한 IOD 지수에서는 실제 재분석장에서 나타나는 것과 다른 특징이 나타날 수도 있다.

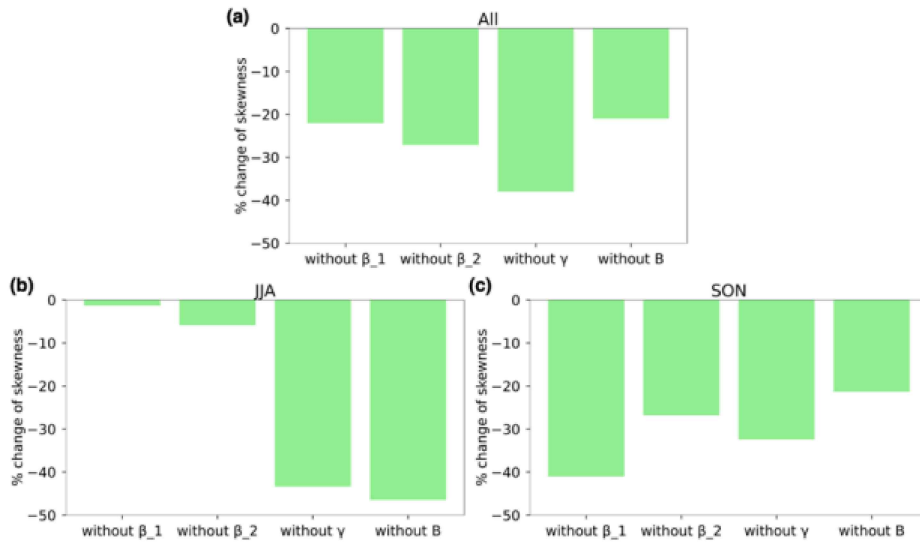


그림 3 비선형 IOD 모델에서 항 한 개를 제외했을 때 계산되는 IOD 지수 비대칭도의 변화율(%)

재분석장에서의 IOD 지수는 그 자체로 비대칭성을 가지고 있다. 방정식에서 특정 항을 제거하고 IOD 지수를 구하면, 해당 요인을 배제한 상태의 IOD 지수를 구할 수 있다. 이렇게 얻어진 지수의 비대칭도를 재분석장에서의 비대칭도와 비교하면, 어떤 요인이 비대칭도를 만드는지 확인할 수 있다. 위의 그림을 분석하면 비대칭도를 가장 크게 변화시키는 요인은 1년 전체를 기준으로 볼 때 감마, 즉 IOD 자체의 변화에 의한 선형적 변화였다. 6~8월로 기간을 한정해서 보았을 때, IOD의 현재 크기에 따른 노이즈와 IOD 자체의 변화에 의한 선형적 영향이 비대칭도를 많이 감소시켰다. 반면, 9~11월에서는 ENSO의 선형적 및 비선형적 변화가 비대칭도를 많이 감소시켰다. 이러한 변화 패턴은 IOD의 특징과 유사하다. 여름에는 인도양 지역의 대기해양 상호작용이 강해지므로, IOD 자체와 그 지역의 변화에 의한 영향이 상대적으로 더 커진다. 반면 가을에는 ENSO가 발달하여 영향력이 커지면서, IOD에 미치는 ENSO의 효과가 더 커지게 된다.

이 연구에서는 Simple Model에서 단순한 선형적인 변화만을 고려하는 것이 아닌, 비선형적 효과까지 모두 고려하여 IOD의 비대칭도에 영향을 미치는 요인을 알아보았다. 이처럼 특정 현상의 변화를 유발하는 요인을 분석할 때, Simple Model을 사용하면 변수 간의 복잡한 연관성이나 특징을 전부 알아보지 않고도 주요 상호작용을 쉽게 파악할 수 있다.

III. Simple Model의 활용 : ENSO를 예측할 수는 없을까?

앞서 살펴본 것처럼 Simple Model은 다양한 기후 현상 간의 상호작용을 쉽게 파악하는 데 유용하다. 그뿐만 아니라, Simple Model에서 쓰이는 방정식은 미분방정식 형태로 미래를 예측하는 데 쓰일 수도 있다.

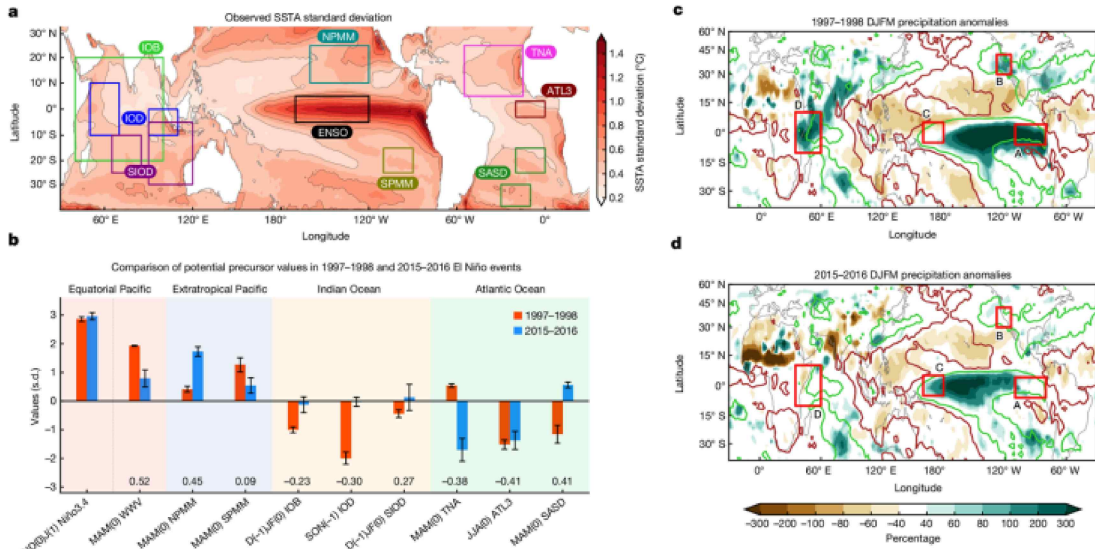


그림 4 a는 재분석장에서 계산된 표층수온의 표준편차, b는 97-98, 15-16년도에 관측된 Nino3.4 지수와 그것을 미리 예측할 수 있게 해주는 여러 현상들의 강도, c와 d는 기후값과 관측된 강수량 편차(%)이다. c는 1997-98, d는 2015-16년 엘니뇨 사례이다.

엘니뇨와 라니냐 현상은 오랜 기간 기후과학자들에 의해 연구 되어왔다. 특히 앞서 언급한 IOD뿐만 아니라 바다에 존재하는 수많은 진동과 상호작용하며, 이 진동들의 변화를 이용해 ENSO를 설명할 수 있다. 그림 4b에서 가장 강한 엘니뇨 두 사례를 비교했을 때, 엘니뇨의 강도는 비슷했지만 예측할 수 있게 해준 변수들(precursor indices)은 서로 다른 패턴을 보였다. 그동안 예측 모델을 이용한 ENSO 예측은 12개월 정도의 예측만 신뢰할 수 있었다. 이후 AI 기반 모델이 발달하면서 앞으로 18~24개월까지의 ENSO 예측을 가능하게 만들었지만, AI 모델은 ENSO의 변화를 유발하는 물리적인 과정을 알 수 없었다. Fei-Fei Jin 교수⁵⁾ 연구팀에서는 ENSO와 상호작용하는 기후 현상을 그림 4a에서처럼 8가지 현상으로 정의하고, 이들의 변화를 통해 ENSO를 설명하고 예측하고자 하였다.

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} X_{ENSO} \\ X_M \end{pmatrix} = L \cdot \begin{pmatrix} X_{ENSO} \\ X_M \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} N_{ENSO} \\ N_M \end{pmatrix} + \sigma_{\xi} \xi$$

5) 미국 하와이 대학교 교수로 재직중이며, ENSO에 대해 오랜 기간 연구한 과학자이다. 대표적인 연구로는 기후변화 시나리오에서의 ENSO 변화, 태평양 내부에서 ENSO가 만들어지는 원인 등이 있다.

Fei-Fei Jin 교수 연구팀이 사용한 Simple Model은 위의 식과 같다. 연구에서는 이 식을 XRO(eXtended non-linear Recharge Oscillator)라고 이름 붙였다. 우리가 위에서 봤던 식과 같은 형태이지만, 식에 들어가는 변수가 9개이기 때문에 행렬 형태로 표현되었다. X_{ENSO} 는 ENSO 지수를, X_M 은 위에서 말한 8가지 현상들의 지수들을 나타낸다. 이들 간의 상호작용을 나타내는 상수들은 L이라는 9×9 크기의 행렬로 표현되었다. N_{ENSO} 와 N_M 은 위에서 생각했던 비선형 과정을 나타낸 것이며, 맨 마지막 항은 자연 변동성을 나타낸다. 해당 모델의 상수(L)들을 알아내기 위해서 9개의 표층 해양 수온 재분석장을 이용하였다. 각 재분석장마다 사용할 수 있는 가장 긴 기간을 사용하였고, 이를 통해 상수 값을 알아냈다.

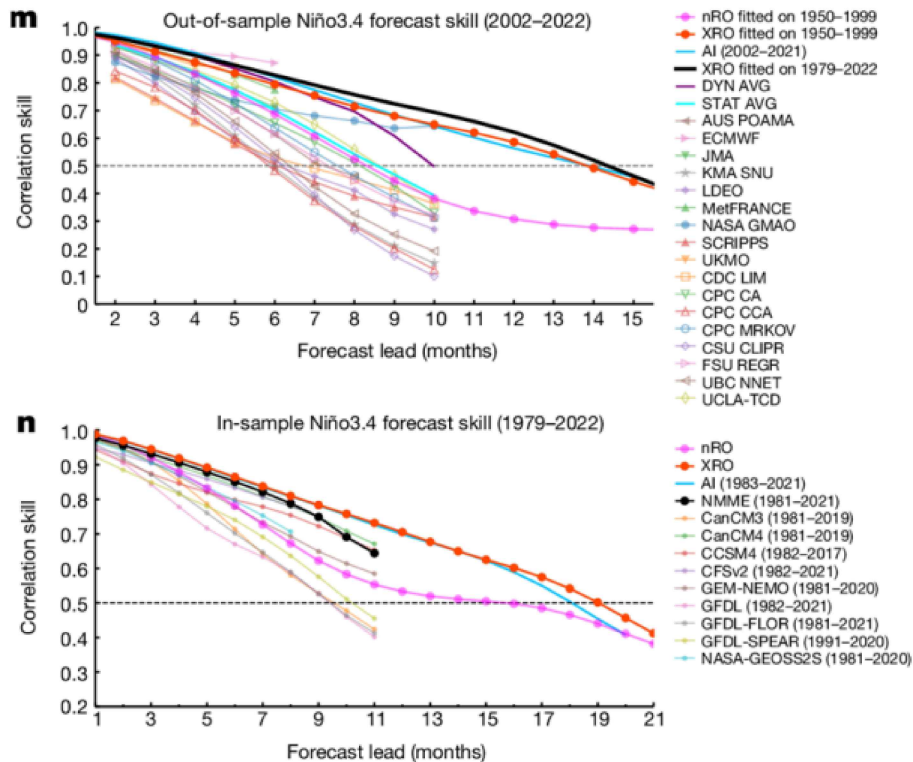


그림 5 3개월 이동평균한 Nino 3.4 지수의 예측 값과 실제 값 간의 상관계수를 나타낸 그림. 다양한 방법으로 구한 Nino 3.4 지수의 예측 값을 비교하고 있다. m은 1950-1999년의 재분석장을 이용하여 구한 상수들로 해당 기간 Nino 3.4 값을 예측한 결과, n은 각 재분석장이 존재하는 기간의 값을 이용하여 구한 상수들을 통해 1979-2022년 Nino 3.4 값을 예측한 결과이다.

그림 5는 XRO를 이용해 예측한 결과를 다른 모델과 비교하여 나타낸 그림이다. 그림 5m은 1950년부터 1999년까지의 데이터로 모델을 만든 뒤 2002년부터 2022년까지의 ENSO를 예측한 결과이며, 그림 5n은 각 재분석장의 전체 데이터로 모델을 만든 뒤 1979년부터 2022년까지를 예측한 결과이다. 모든 예측법은 더 먼 미래를 예측할수록 그 정확도가 낮아진다. 기존 대기 모델을 이용한 예측은 12개월이 지나기도 전에 정확도가 낮아진다. 그러나, AI 모델은 15개월 이후까지 정확성 있는 예측을 가능하게 해주었다. XRO는 여러 현상 간 상호작용을 알 수 없다는 AI 모델의 단점을 극복하면서도, 16~18개월까지의 AI 모델과 비슷한 수준의 정확도를 보였다. 비교적 단순한 방정식이어서도, 기후 현상 간의 상호작용을 설명하는데 Simple Model이 매우 중요한 도구로 이용될 수 있다는 점을 알 수 있다.

이 글에서는 Simple Model의 기본적인 개념과 원리를 알아보았으며, 이를 통해 실제 연구에 적용한 사례를 다루었다. Simple Model을 이용하면 복잡한 대기 진동의 변화를 단순한 몇 개의 요인만 고려하여 간명하게 이해할 수 있다. Simple Model은 IOD의 양의 비대칭성을 이해하는 데 사용할 수 있었으며, 이외에도 수많은 진동 현상에 적용할 수 있다. 나아가 현상들의 상호작용을 이해하는 방향으로 진행되었던 기존 연구와는 달리, 현상의 변화를 예측하는 방향으로도 Simple Model이 사용될 수 있음을 XRO를 통해 알아보았다. 무엇보다도 복잡한 현상을 식 1개로 이해할 수 있다는 점은 매우 흥미로운 내용이다. 앞으로 급격히 변화하는 지구에 Simple Model을 적용하면 대기를 더 빠르고 간단하게 이해할 수 있을 것이다.

참고문헌

- An, S.I. et al. (2023). Main drivers of Indian Ocean Dipole asymmetry revealed by a simple IOD model, *npj Climate and Atmosphere Science* 6(93). <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00422-2>
- Zhao, S. et al. (2024). Explainable El Nino predictability from climate mode interactions, *Nature*, 630. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07534-6>

조장희 기자(20, 2020136032@yonsei.ac.kr)

연구 소식

연세대학교 대기과학과 이예슬·조윤재 연구원, 2024년 한국기상학회 가을학 술대회 '우수논문발표상' 수상

연세대학교 대기과학과 소속의 이예슬, 조윤재 연구원이 '2024년 한국기상학회 가을학술대회'에서 '우수논문발표상'을 수상하였다.

이예슬 연구원은 'Application of Random Forest to a Global Low-level Aviation Turbulence Forecasting System' 연구를 통해 관측 및 예보 분야에서 우수함을 인정받아 수상하였다.

조윤재 연구원은 '대기질-기상 동시 자료동화에 따른 대기질 예보 모델의 한반도 지역 대기질 및 기상 예측 성능 분석' 연구를 통해 환경 및 응용기상 분야에서 우수함을 인정받아 수상하였다.

출처: 한국기상학회

연세대학교 대기과학과 여민주·이지우·강 옥 연구원,

2024년 한국대기환경학회 정기학술대회에서 수상

연세대학교 대기과학과 소속의 여민주, 이지우, 강 옥 연구원이 '2024년 한국대기환경학회 정기학술대회'에서 수상하였다.

여민주 연구원은 '석탄화력발전소가 북한 대기질에 미치는 영향' 연구로, 이지우 연구원은 '정지궤도 해양위성 에어로졸 광학 특성의 오차 보정 및 장기 변동성 분석' 연구로 우수발표논문상을 수상하였다.

강 옥 연구원은 '위성자료를 활용한 대한민국 NO2 배출량의 하향식 추정' 연구로 우수포스터상을 수상하였다.

출처: 한국대기환경학회

안순일 교수팀, 북극해에 지구온난화가 불러올 새로운 이상기후 현상 발견

안순일 교수 연구팀이 지구온난화로 인하여 새로운 이상 기후 현상이 북극해에 출현함을 발견했다. 이는 지구온난화가 기후와 날씨 시스템에 예기치 못한 변화를 가져올수 있음을 시사한다.

연구팀은 지구온난화로 인한 북극해 해빙 감소가 기 후에 어떤 영향을 미치는지 파악하기 위해 134개의 지구온난화 시뮬레이션을 분석했다. 그 결과, 해빙이 임계점을 넘어서 충분히 감소하면, 그동안 존재하지 않았던 새로운 형태의 이상 기후 현상이 북극해에서 나타난다는 사실을 발견했다.

새롭게 나타난 이상 기후 현상은 해수면 온도와 지표면의 기온이 주기적으로 상승과 하강을 반복하는 패턴을 보인다. 이는 ENSO와 유사하지만, 진동의 주기가 10~50년으로, ENSO의 3~7년 주기보다 훨씬 길다는 차이점이 있다.

연구팀은 북극 해빙이 감소하면서 이상 고온과 저온을 증폭시키는 피드백이 작동한 것이 진동 출현의 원인을 밝혔다. 해빙이 임계점 아래로 감소하면 대기와 해양 사이의 상호작용이 강화돼 피드백이 작동하게 된다. 북극해의 상층부는 수심이 깊어질수록 수온이 증가하는 독특한 특성을 보이며, 이로 인해 대기-해양 피드백 과정과 기후 진동을 가능케 한다.

안순일 교수는 “지구온난화는 단순히 지구 평균 기온의 증가를 넘어 새로운 기후 변동 모드의 출현을 초래할 수 있기 때문에, 미래 기후 변동의 이해 및 예측을 위해서는 이에 대한 연구가 요구된다.”고 말했다.

이번 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행됐으며, 연구 결과는 다학제 분야의 국제 권위 학술지 ‘네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)’에 11월 19일(현지 시각) 자로 게재됐다.

논문정보

- 논문 제목: Emergence of a climate oscillation in the Arctic Ocean due to global warming

- 논문 주소:

<https://www.nature.com/articles/s41558-024-02171-3>

출처: 연세소식 vol. 636

안순일 교수팀-홍콩성시대, 온실가스 감축 후에도 지속되는 산불 위험 밝혀

안순일 교수와 홍콩성시대학교 김진수 교수 연구팀이 지구온난화로 인해 증가한 산불 위험이 온실가스 감축 노력만으로는 완전히 해결되지 않을 수 있다는 점을 밝혀냈다.

연구팀은 온실가스 농도가 매년 1%씩 증가했다가 점진적으로 원래 수준으로 낮아지는 가상 시나리오를 설정하고, 이를 바탕으로 기후 모형 시뮬레이션을 진행했다. 분석 결과, 온실가스 농도가 줄어들더라도 산불 위험은 상당 기간 높은 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

이 같은 결과는 기후 시스템의 ‘관성’에서 비롯된다. 지면과 해양이 가진 높은 열용량 때문에 온실가스 농도가 원래 수준으로 돌아오더라도, 지구 평균 기온은 이전보다 높은 상태를 유지한다. 온도가 상승하면 공기가 머금을 수 있는 수증기의 양이 증가하지만, 수증기 공급이 충분하지 않을 경우 공기는 더욱 건조해진다. 이러한 고온·건조 환경은 산불 위험을 계속 높이는 주요 원인으로 작용한다.

산불 위험의 지속은 단순히 산림 파괴와 경제적 피해에 그치지 않는다. 산불 연소 과정에서 대량의 이산화탄소가 대기로 방출되며, 이는 다시 온실가스 농도를 높여 기후 변화 문제를 악화시킬 수 있다.

이번 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행됐으며, 연구 결과는 다학제 분야의 국제 권위 학술지 ‘네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)’에 11월 19일(현지 시각) 자로 게재됐다.

논문정보

- 논문 제목: Pervasive fire danger continued under a negative emission scenario
- 논문 주소:
<https://www.nature.com/articles/s41558-024-02171-3>

출처: 연세소식 vol.636

송하준 교수팀, “뜨거워진 바다가 식는 데 걸리는 시간이 두 배 늘어났다”

송하준 교수 연구팀이 인공위성 관측자료를 이용해 지난 40여 년 동안 해양이 열적 스트레스에서 회복되는 속도가 점차 느려지고 있음을 밝혀냈다. 이번 연구는 송하준 교수팀이 주도하고, 미국 매사추세츠 공과대학교(MIT) 존 마셜(John Marshall) 교수와의 협업으로 진행됐다.

지난 40여 년간 지구 온난화로 인해 해수면 온도가 꾸준히 상승하면서, ‘해양열파’로 알려진 이상 고수온 현상이 점점 더 빈번하게 발생하고 있다. 일반적으로 해양은 온도가 일시적으로 상승하더라도 일정 시간이 지나면 원래 상태로 회복되는 경향이 있다.

연구팀은 위성 관측 데이터를 이용해 지난 40년 동안 해양의 회복력 변화를 분석한 결과, 1980년대에는 이상 해수면 온도가 원래 상태로 회복되는 데 평균 10일 내외가 걸렸지만, 2020년대에는 이 기간이 20일 이상으로 증가한 것으로 나타났다. 특히, 원래 회복력이 상대적으로 약했던 해역에서 이러한 둔화 현상이 더욱 두드러지게 나타났다.

연구팀은 해양이 온도 변화에서 회복되는 속도가 둔화하는 이유를 2021년 노벨물리학상 수상자인 클라우스 하셀만이 기후 연구에 도입한 방법을 활용해 세 가지 주요 요인, 즉 ▲혼합층 깊이 ▲감쇠 효율 ▲외부 강제력 변화에 의한 복합적인 결과임을 밝혔다.

먼저, 상층 해양의 온도 상승은 해양의 성층화를 강화해, 표층의 열이 해양 내부로 효과적으로 전달되는 것을 어렵게 만들었다. 이는 해양이 온도 변화를 조절하는 능력을 저하시켜 회복 속도를 둔화시키는 요인으로 작용했다.

또한, 바람 세기의 증가는 혼합층을 깊어지게 하면서 해수면 온도의 회복을 더욱 어렵게 만들었다. 이는 해양 표면에서 발생한 열적 이상 상태가 더 오랜 시간 지속되도록 하는 원인이 됐다.

그러나, 이 두 가지 요인만으로는 관측된 표층해양 회복력 둔화를 충분히 설명하기 어려웠다. 연구팀은 추가 분석을 통해 외부 강제력, 특히 해류 및 해양 내부 순환과 같은 외부 요인의 약화가 회복력 둔화에 큰 영향을 미쳤음을 추론했다.

위성 관측을 통해 확인된 표층해양 회복력 둔화는 상층 해양에서 해양 내부로의 열 확산 효율이 감소하고 있음을 의미한다. 그 결과, 상층 해양의 과도한 열을 해소하는 과정에서 대기-해양 상호작용의 역할이 더욱 커졌으며, 이는 해양이 인간 활동으로 인해 발생한 초과 열을 흡수하는 능력이 감소하고 있음을 시사한다. 또한, 이상 해수면 온도의 지속 시간이 길어지는 현상은 해양 열파의 지속 시간이 증가하는 추세와 일치한다.

송하준 교수는 “표층 해양의 회복력 둔화는 해양 생태계에 더 큰 열적 스트레스를 가할 가능성이 있으며, 해양열파 등으로 인해 생태계가 극단적인 온도에 노출될 위험을 증가시킬 수 있다.”라고 말했다.

한편, 이번 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행됐으며, 연구 결과는 기상·기후 분야 최고 권위 학술지 ‘네이처 클라이밋 체인지(Nature Climate Change, IF 30.3)’에 2월 6일(현지시간) 게재됐다.

논문정보

- 논문 제목: Observed multi-decadal increase in the surface ocean's thermal inertia
- 논문 주소:
<https://www.nature.com/articles/s41558-025-02245-w>

출처: 연세대학교 뉴스룸 보도자료

김 준 교수, Alumni Merit Award 수상

김 준 교수는 2024년 9월 13일 미시간 대학 (University of Michigan) 공과대학(College of Engineering)의 Alumni Merit Award 를 수상했다.

이 상은 미시간 대학교 공과대학에서 각 분야별 졸업생중 과학기술 발전에 탁월하게 기여한 사람들의 공적을 기리기위해 제정한 상으로, 수상자를 초청하여 강연과 함께, 학생, 졸업생 및 교수들과의 만남 등 다양한 행사를 개최한다.

출처: 연세대학교 대기복사연구소

안순일 교수, ‘2024년 국가연구개발 우수성과 100선’ 선정

올해로 19년째를 맞이한 ‘국가연구개발 우수성과 100선’은 과학기술의 국가적 기여도를 국민에게 알리고, 과학기술인의 자긍심을 고취하기 위해 마련된 제도로, 각 부처가 선별 추천한 수백 건의 연구를 대상으로 산학연 전문가 평가와 대국민 공개 검증을 통해 최종 100건을 선정한다.

대기과학과 안순일 교수의 ‘탄소 중립에 따른 엘니뇨의 이력성 및 기작 제시’가 순수기초·인프라 분야에서 사회문제 해결에 기여하는 성과로 주목받았다. 특히 안순일 교수의 연구는 기후 위기에 대응하는 구체적인 방안을 제시해 국민 체감형 연구로 인정받았다.

출처: 연세소식 vol. 636

홍진규 교수와 이주엽 연구원, 『기후 적응』 공동 집필

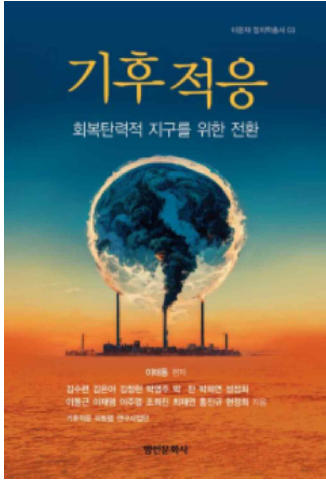


그림 1 『기후 적응』 책 표지

홍진규 교수와 이주엽 연구원은 한국에서 주요 과학자들과 함께 『기후 적응』(2024.10)을 집필하였다. 이 책은 정치학자, 조경 건축가, 그리고 사회 과학자들이 공동 집필한 저서이다.

출처: 연세대학교 미기상 연구실

편집: 신지은 기자(21, newjieun@yonsei.ac.kr)

학과 소식

졸업을 축하합니다!

학부

김동욱(14) 한동민(16) 서원범(18) 이동기(18)
 최현구(18) 권경란(19) 김경수(19) 김민석(19)
 김상준(19) 오승욱(19) 이해수(19) 정주은(19)
 강현주(20) 오승주(20) 이효영(20) 최운형(20)
 김수연(21) 박서연(21) 신지은(21) 이해원(21)
 조한슬(21)

석사

구본훈(23) 김지훈(23) 민형준(23) 박 찬(23)
 신수현(23) 전영후(23) 지승배(23)

통합

고한창(17) 김경민(17)

연세대학교 대기과학과 특임교수에 유희동 교수 부임

2024년 11월 부로, 유희동 전(前) 기상청장이 연세대학교 대기과학과 특임교수로 부임하였다.



사진 1 유희동 연세대학교 대기과학과 특임교수

유희동 교수는 연세대학교 천문기상학과에서 학사 및 석사학위를 취득하고, 1990년 기상연구소로 기상청에 입직하였다. 이후 예보상황과장, 수치모델개발과장, 예보정책과장, 기후과학국장, 기상서비스진흥국장, 관측기반국장, 예보국장, 부산지방기상청장, 기획조정관, 기상청 차장 등을 역임했다.

2022년 6월부터 2024년 6월까지 제15대 기상청장으로 재임하였으며, 연세대학교에서 특임교수로 부임하여 후학 양성을 위해 힘쓸 예정이다.

2024 연세대-서울대 공동 기기 활용 및 대기 분석 기술 공유 워크숍

지난 2024년 11월 1일, 2024 연세대-서울대 공동 기기 활용 및 대기 분석 기술 공유 워크샵이 서울대학교에서 개최되었다.

이번 워크샵은 연세대학교 대기과학과 주관으로 열렸으며, 서울대학교 지구환경과학부 대기과학분야 연구인들과 학술적으로 교류하고 친목을 다지는 자리가 되었다.

대기과학과 토크 콘서트 v1.0 : 선배님들과의 만남

2024년 11월 28일, 연세대학교 과학관 ARC 북합연구공간에서 연세대학교 대기과학과가 주최하는 '대기과학과 토크콘서트 v1.0: 선배님들과의 만남' 행사가 열렸다.

초청 연사로는 유희동 전 기상청장, 염성수 KIST 기후환경연구소 연구담당 소장, 신방실 KBS 과학부 기자, 한대석 기상청 예보정책과 사무관께서 자리를 빛내주셨다.

다양한 분야에 진출한 선배님들의 강연이 함께하며, 대기과학과 학생들의 진로 고민에 도움을 주는 자리였다.

대기과학과 밴드 동아리 〈247〉 2024-2 정기공연



사진 2 〈247〉 정기 공연 포스터

2024년 11월 24일, 홍대 Bender 공연장에서 대기과학과 유일무이 밴드 동아리 〈247〉의 정기 공연이 열렸다.

〈247〉은 매 학기 한 번의 정기 공연을 열고 있으며, 새내기부터 대학원생까지 대기과학과 선후배가 어우러지는 동아리이다.

지난 2024년 2학기에는 대학원생으로 구성된 '알은물' 팀과 신촌 팀인 '대기참사' 팀과 '제과제 빵점' 팀, 앵콜 공연을 맡은 '개인주의' 팀이 공연을 꾸렸다.

다양한 곡과 멋진 무대를 보여준 〈247〉은 이번 2025년 1학기에도 신입 부원을 모집하며 관객들을 위한 정기 공연을 준비하고 있다.

대기과학과 학술 동아리 〈기상천외〉 활동 살펴보기

2021년도부터 대기과학과 학생들의 학술 및 교류의 장이 되었던 <기상천외>는 매 학기 대기과학과 관련된 다양한 활동을 통해 부원들에게 많은 경험을 제공하고 있다. 2024년 2학기에는 겨울방학 동안 유희동 교수님과 함께하는 스터디가 진행되었다.

유희동 교수님이 기상청에 계셨을 때의 경험과 대기과학에 관한 여러 이야기를 듣는 '이야기 class'와 대기과학 에센스 50 책 집필을 목표로 대기과학 필수 지식을 정리하는 '집필 class'가 열렸다.

<기상천외>는 이번 2025년 1학기에도 신입 부원을 모집하며 대기과학과 구성원들이 유익하게 즐길 수 있는 활동을 이어갈 계획이다.

편집: 신지은 기자(21, newjieun@yonsei.ac.kr)

2025학년도 1학기

02 FEB	12(수)~18(화) 21(금)~27(목) 23(일) 24(월)	2025-1학기 수강신청 2025-1학기 등록 졸업예배 복학 접수 마감, 학위수여식
03 MAR	1(금) 3(월) 4(화) 6(목) 6(목)~10(월) 12(수)~14(금) 17(월) 17(월)~21(금)	삼일절 대체휴일 개강 교무위원회 수강신청 확인 및 변경 2025-1학기 추가등록 미등록자 일반휴학 접수 마감 조기졸업 신청
04 APR	3(목) 9(수) 14(월)~19(토) 15(화)~17(목) 20(일) 22(화) ~ 28(월) 28(월)~5.2(금) 29(화)~5.1(목)	교무위원회 학기 1/3선 고난주간 수강철회 부활절 중간시험 2025-2학기 캠퍼스내 소속변경 신청 S/U평가 신청
05 MAY	1(목) 5(월) 6(화) 7(수) 10(토) 16(금) 19(월)	근로자의 날, 교무위원회 부처님 오신 날, 어린이날 대체휴일 은퇴교수의 날 창립기념일 학기 2/3선, 일반휴학 접수 마감 질병휴학 접수시작
06 JUN	3(화) 5(목) 6(금) 8(일) 10(화)~16(월) 17(화)~23(월) 24(화) 24(화)~30(월) 30(월) 7.21(월)	질병휴학 접수마감 교무위원회 현충일 성령강림절 자율학습 및 보충수업 기간 학기말시험 여름방학 시작 2025-2학기 캠퍼스내 복수전공·연계전공·융화심 화전공 신청 2025-1학기 성적제출 마감, 여름계절제 수업 시작 여름계절제 수업종료