

# PFAS in Air Quality Issues

อ.ดร.วิน ไตรวิทย์ยานุรักษ์

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์



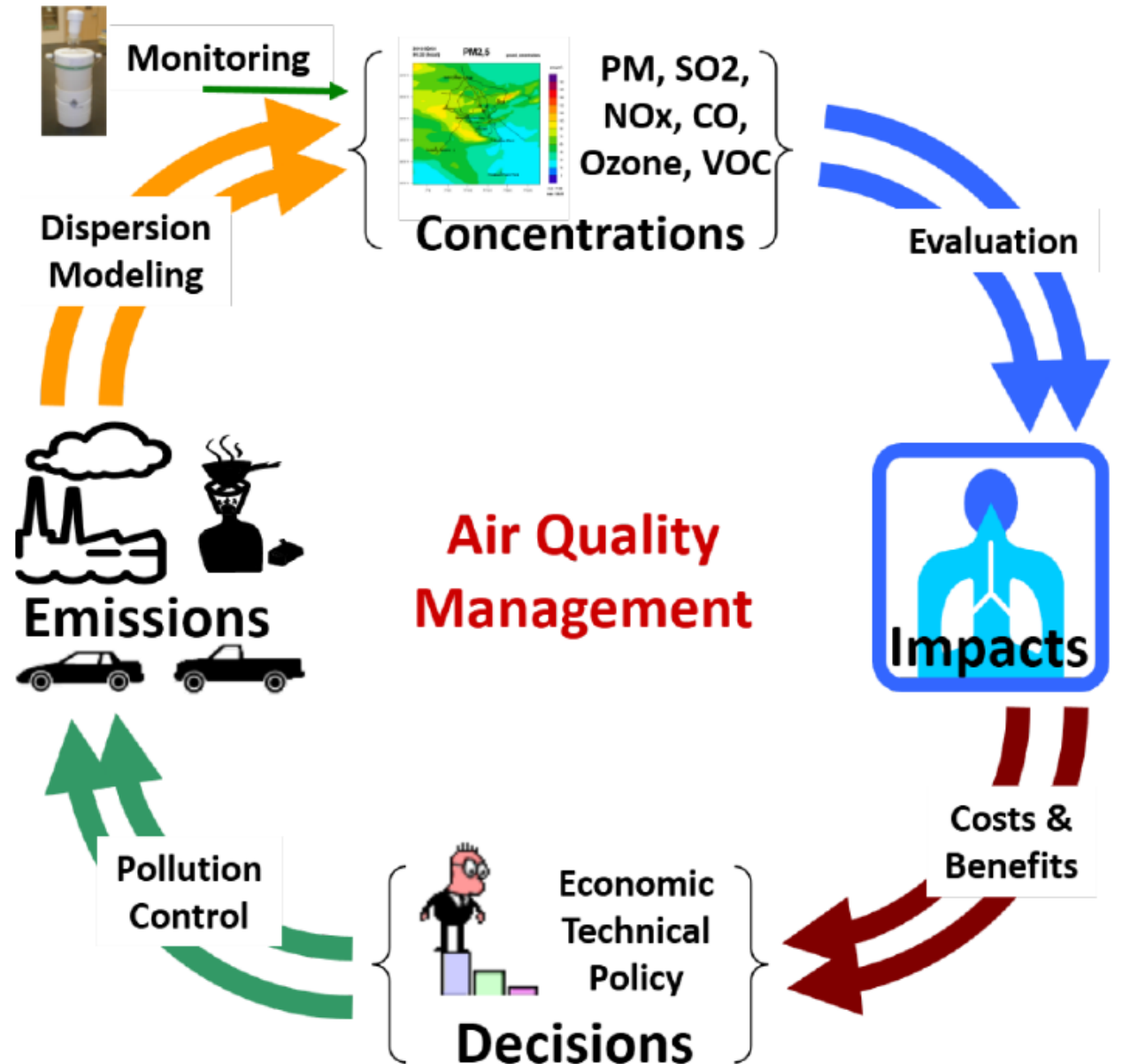
ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ศาสตราจารย์ อรุณ สรเทศน์  
Professor Aroon Sorathesn  
Center of Excellence in Environmental Engineering



# Outline

- กระบวนการเกิดมลพิษอากาศ
- ข้อมูลการปลดปล่อย
- การตรวจวัด PFAS ในอากาศ
- แบบจำลอง PFAS ในอากาศ
- แนวทางต่อไป

# การจัดการคุณภาพอากาศ



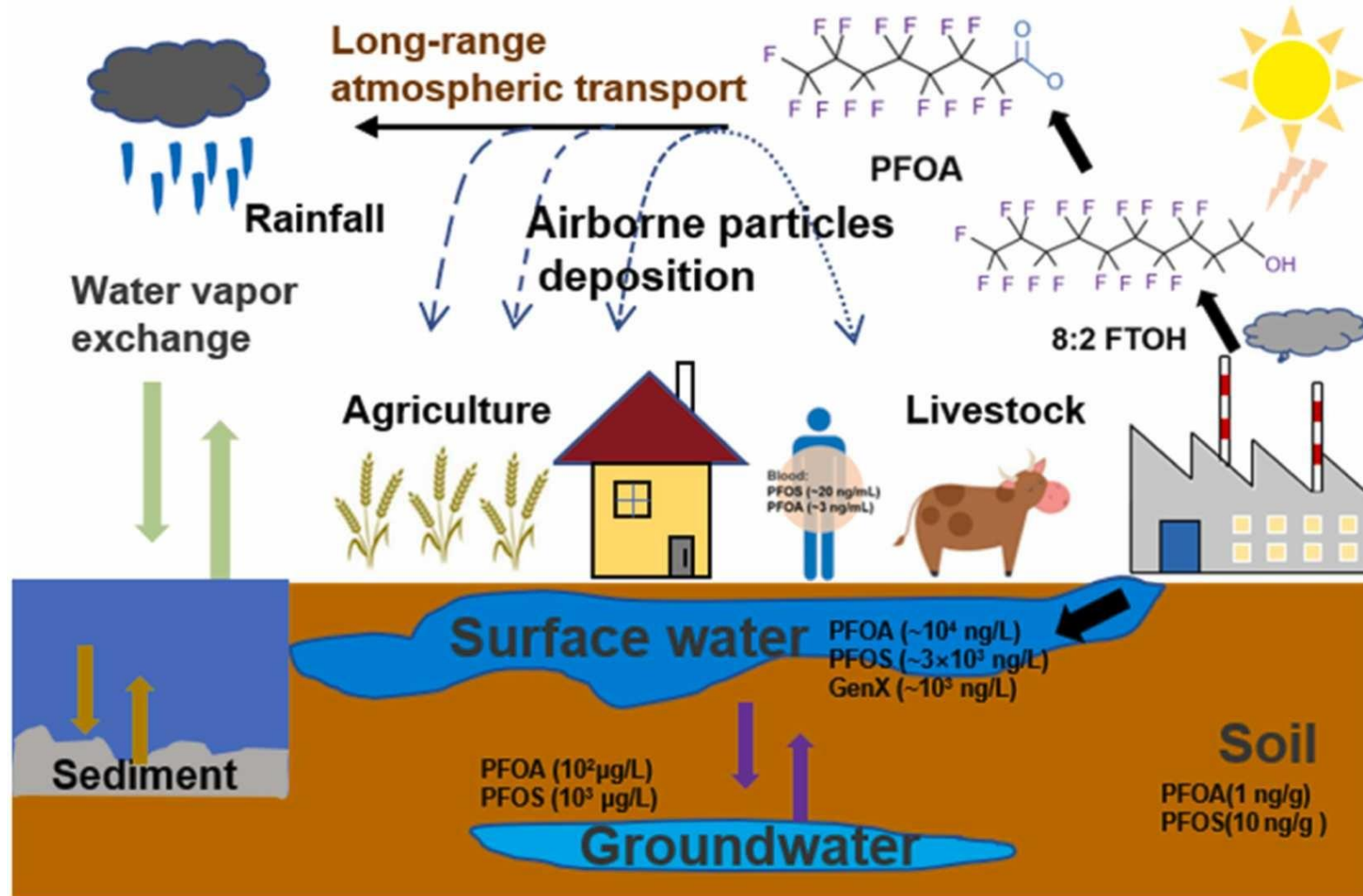
# วัตถุประสงค์

- เข้าใจเกี่ยวกับการเกิดมลพิษอากาศของสาร PFAS
- ตระหนักถึงประเด็น PFAS ในการจัดการคุณภาพอากาศ
- ร่วมมือกันพัฒนาองค์ความรู้ต่อไป

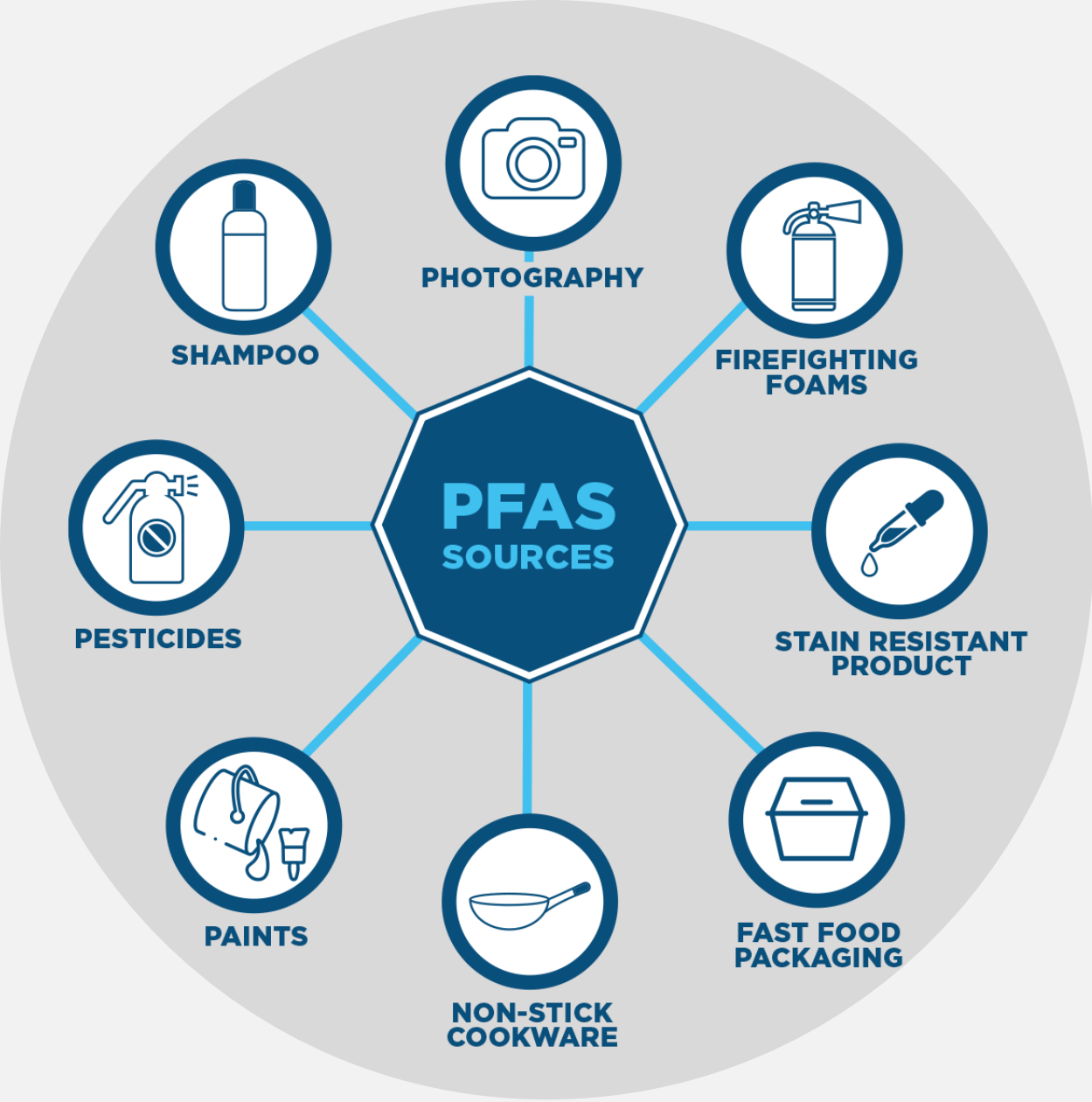
# กลไกการเกิดมลสาร PFAS ในอากาศ

- Direct emission : ปลดปล่อยโดยตรงจากแหล่งกำเนิด ในรูปก๊าซ และ อนุภาค
  - อุตสาหกรรม
  - การเผาไหม้
  - การใช้ผลิตภัณฑ์
- Resuspension : การรบกวน/พัดพาพื้นผิวที่มี PFAS ตกสะสมอยู่
- Ocean emissions : การปลดปล่อยหลายรูปแบบจากผิวน้ำสู่อากาศ
- Chemical reactions <<-- precursor emissions
- Intermedia partitioning

# กลไกการเกิดมลสาร PFAS ในอากาศ



Fang et al., 2024



# PFAS Emission data

# ข้อมูลการปลดปล่อย PFAS ในอากาศ

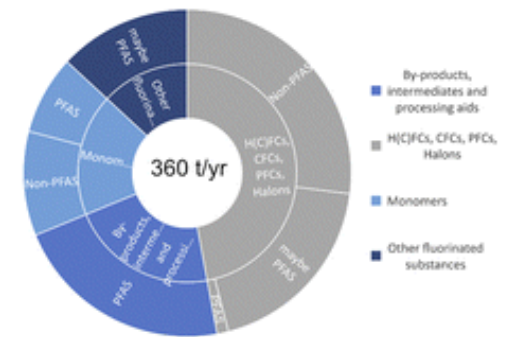
- OECD (2015) inventory of perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCAs)
- POPE: global gridded emission inventory for PFAS 1950-2020 (Simon, et al., 2024)

11 PFCAs, 4 PFSAAs, 5 FTOHs, FOSA, and 2 replacement compounds

- European PFAS EI for fluoropolymer production industry (Dalmijn, et al., 2024)



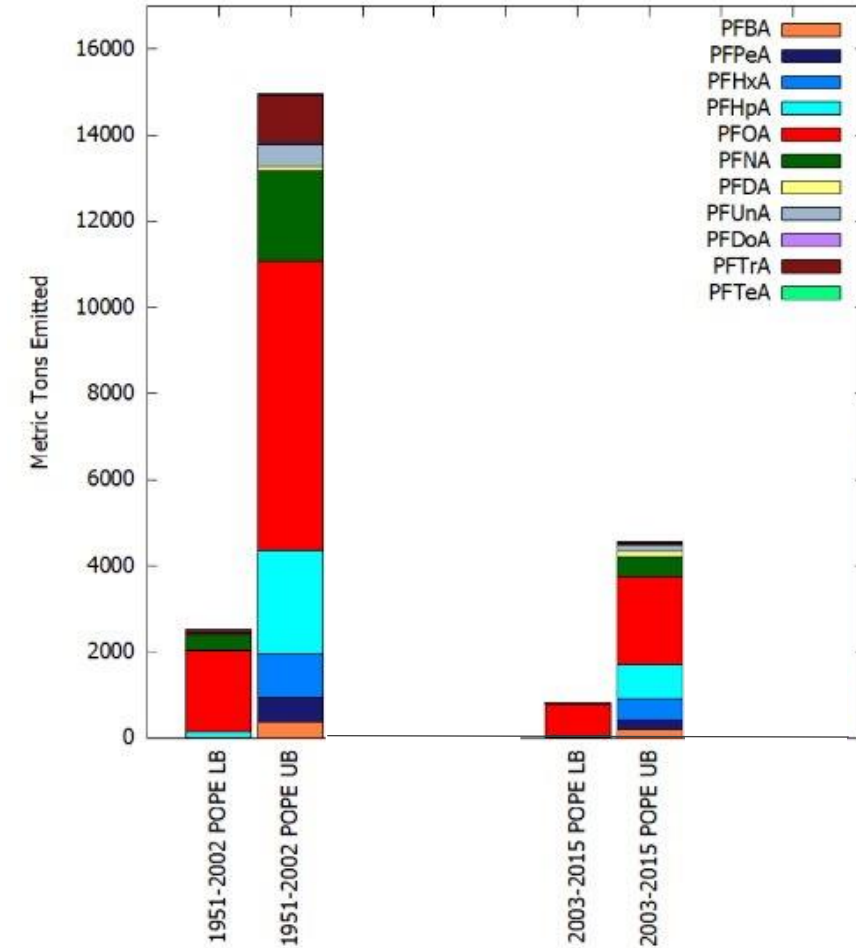
Emissions from production of fluoropolymers in Europe were in 2021 at least 360 tonnes/year



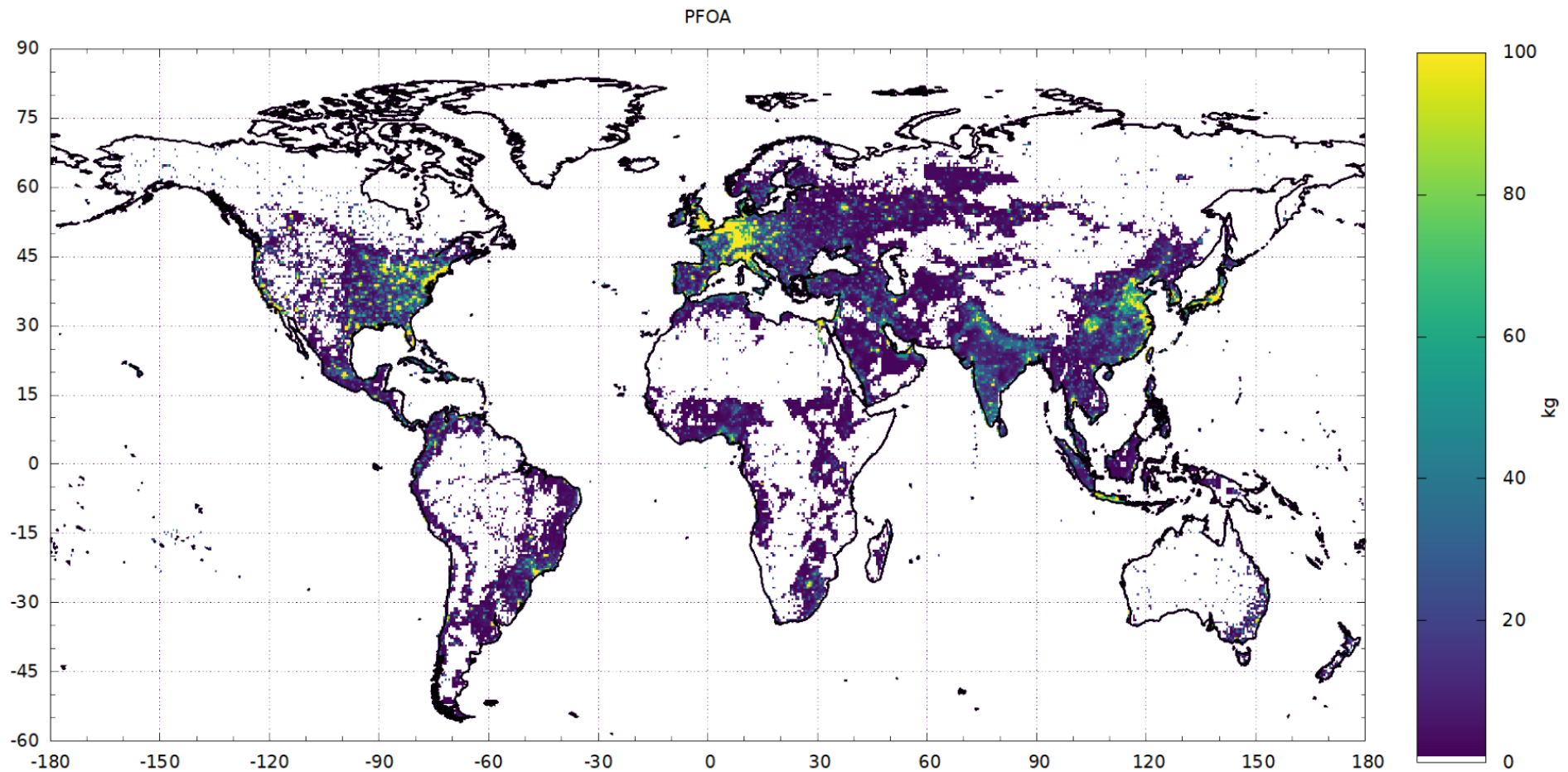


# PFAS included in the POPE emission inventory

Group	Carbon-Moieties	Short Name	Long Name	
PFCAs	4	PFBA	Perfluorobutanoic Acid	
	5	PFPeA	Perfluoropentanoic Acid	
	6	PFHxA	Perfluorohexanoic Acid	
	7	PFHpA	Perfluoroheptanoic Acid	
	8	PFOA	Perfluorooctanoic Acid	
	9	PFNA	Perfluorononanoic Acid	
	10	PFDA	Perfluorodecanoic Acid	
	11	PFUnA	Perfluoroundecanoic Acid	
	12	PFDoA	Perfluorododecanoic Acid	
	13	PFTTrA	Perfluorotridecanoic Acid	
	14	PFTeA	Perfluorotetradecanoic Acid	
	PFSAs	4	PFBA	Perfluorobutanesulfonic Acid
		6	PFHxS	Perfluorohexanesulfonic Acid
		8	PFOS	Perfluorooctanesulfonic Acid
10		PFDS	Perfluorodecanesulfonic Acid	
FTOHs	4 + 2	4:2 FTOH	4:2 Fluorotelomer Alcohol	
	6 + 2	6:2 FTOH	6:2 Fluorotelomer Alcohol	
	8 + 2	8:2 FTOH	8:2 Fluorotelomer Alcohol	
	10 + 2	10:2 FTOH	10:2 Fluorotelomer Alcohol	
PFECAs	6	HFPO-DA	Hexafluoropropylene Oxide Dimer Acid	
	7	Adona	Ammonium 4,8-Dioxa-3H-Perfluorononanoate	
	8	FOSA	Perfluorooctanesulfonamide	

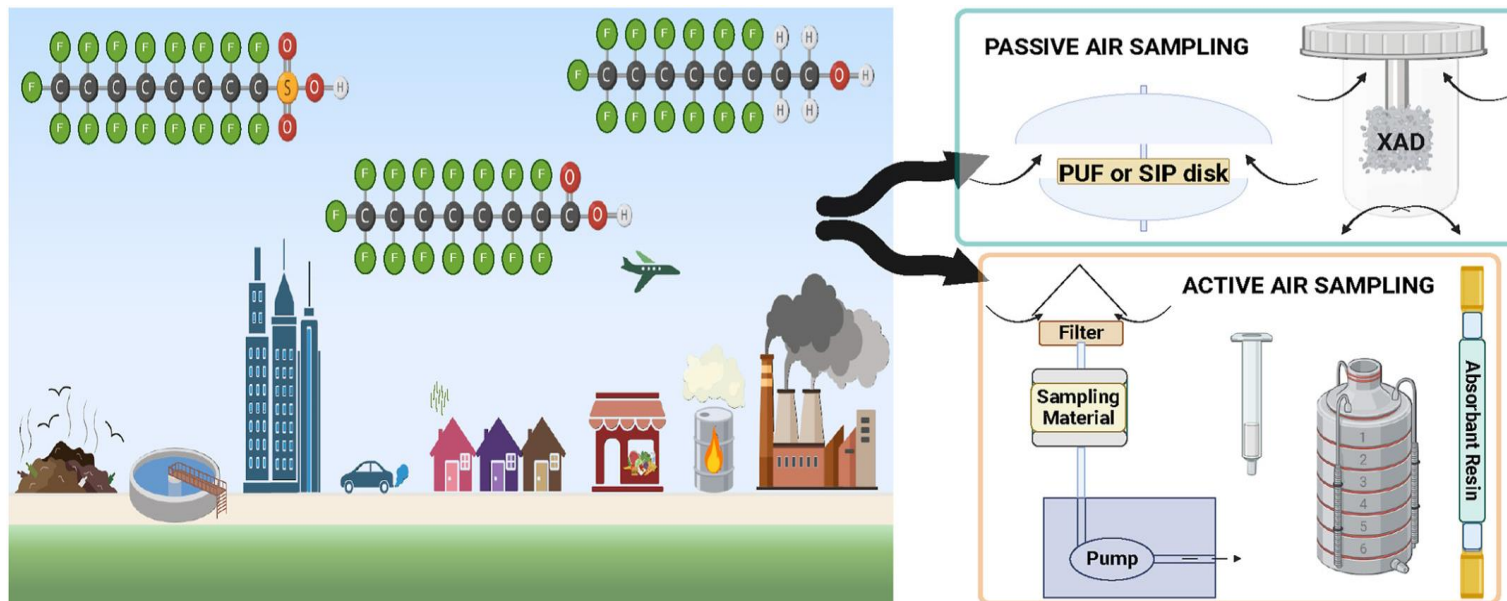
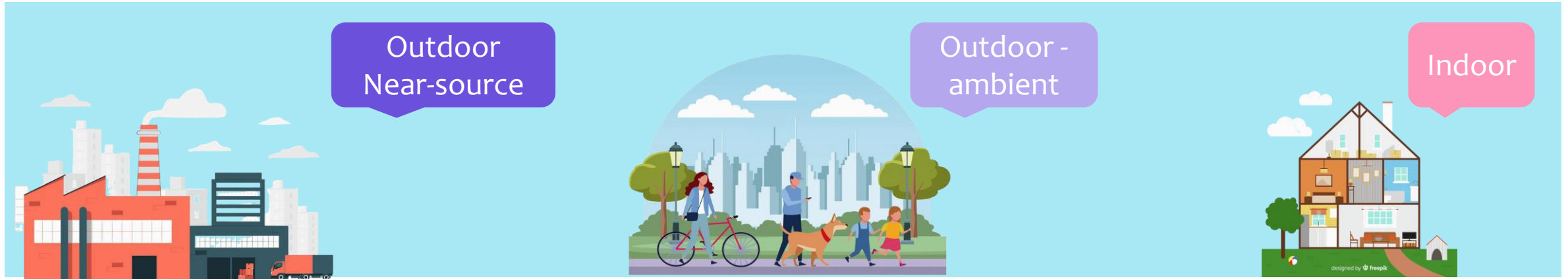


# ข้อมูลการปลดปล่อย PFAS ในอากาศ



# Measurements of PFAS in the air

# การตรวจวัด PFAS ในอากาศ



Wallace et al., 2024

# การตรวจวัด PFAS ในอากาศ : สิ่งที่ต้องคำนึงถึง...

Considering a target's gas-particle distribution is key to selection of a sampling strategy and interpretation of results, as not all methods sample both gas and particulates efficiently. Thus, the most suitable method to estimate the total air concentration will vary depending on the physical-chemical properties of the targeted PFAS. A few techniques can be applied to estimate the gas-particle partitioning of PFAS, as discussed in section 4.2.1. Partitioning influences how efficiently compounds are removed from the atmosphere through wet and dry deposition and thus their long-range atmospheric transport potential.

Wallace et al., 2024

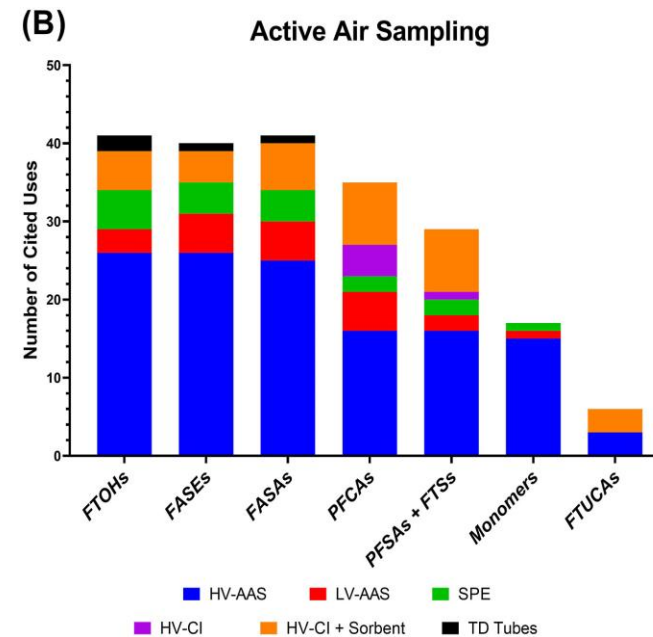
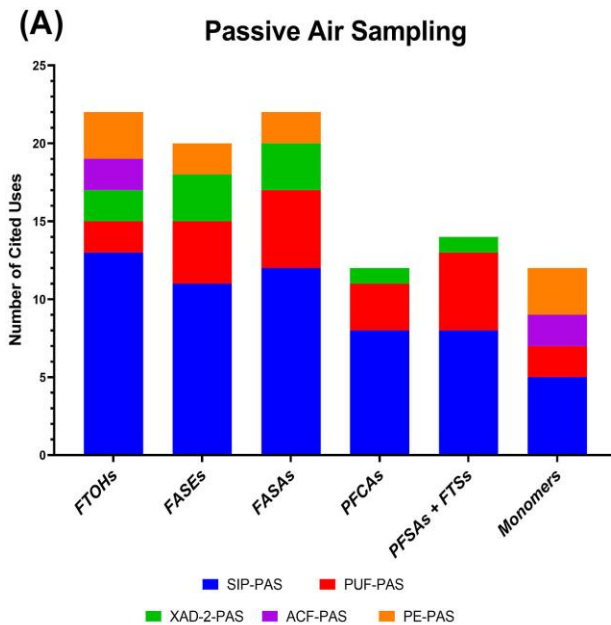
# PFAS sampling: Passive vs Active

## Passive air sampling methods

- Polyurethane foam-passive air sampling
- Sorbent-impregnated polyurethane foam-passive air sampling
- XAD-2-passive air sampling
- Activated carbon fiber-passive air sampling
- Polyethylene sheets

## Active air sampling methods

- Low volume and high volume-active air sampling
- Solid phase extraction
- Thermal desorption tubes
- Cascade impactors
  - High volume-cascade impactors without sorbents
  - High volume-cascade impactors combined with sorbents



Wallace et al., 2024

# การตรวจวัด PFAS ในอากาศ : วิธีการวิเคราะห์

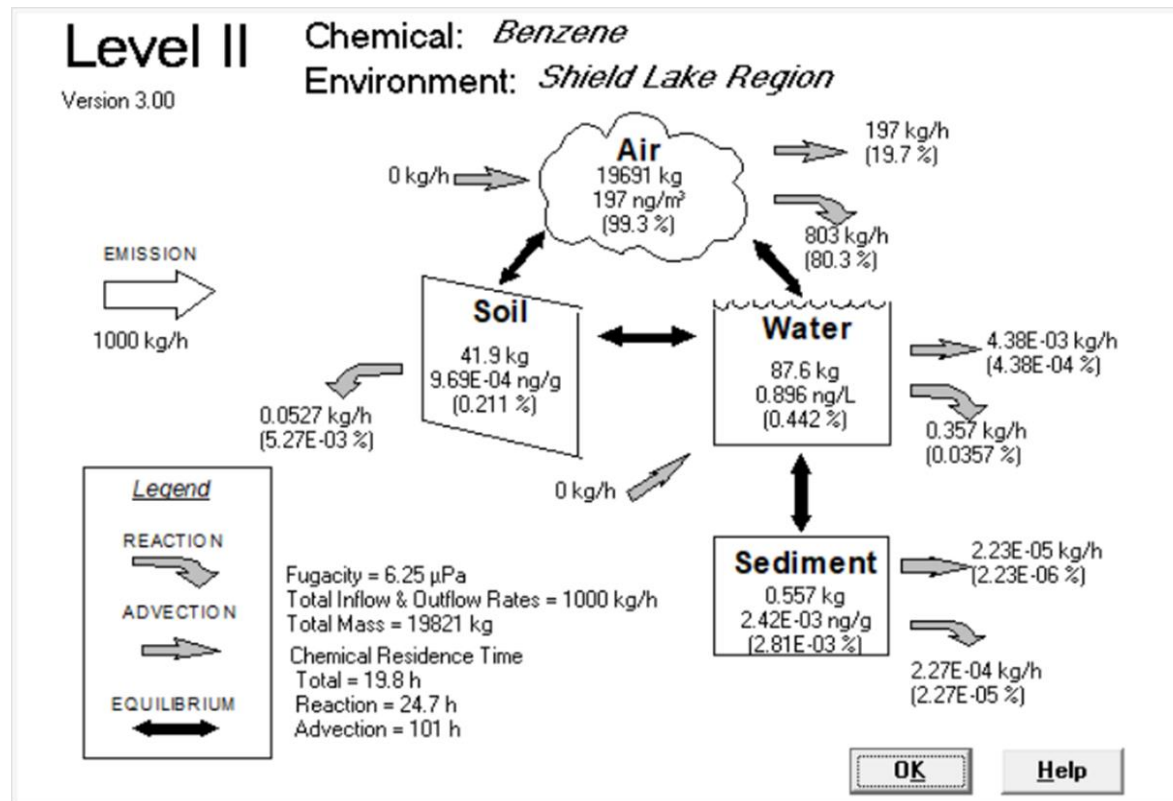
- GC-MS
- LC-MS
- Suspect-screening and non-targeted analysis
- Chemical ionization mass spectrometry
- Total organic fluorine
- Total oxidizable precursor assay

# Modeling of PFAS in the air



# การคำนวณการเคลื่อนย้ายระหว่างตัวกลางสิ่งแวดล้อม

- Phase distribution : gas – particle – water
- Example:

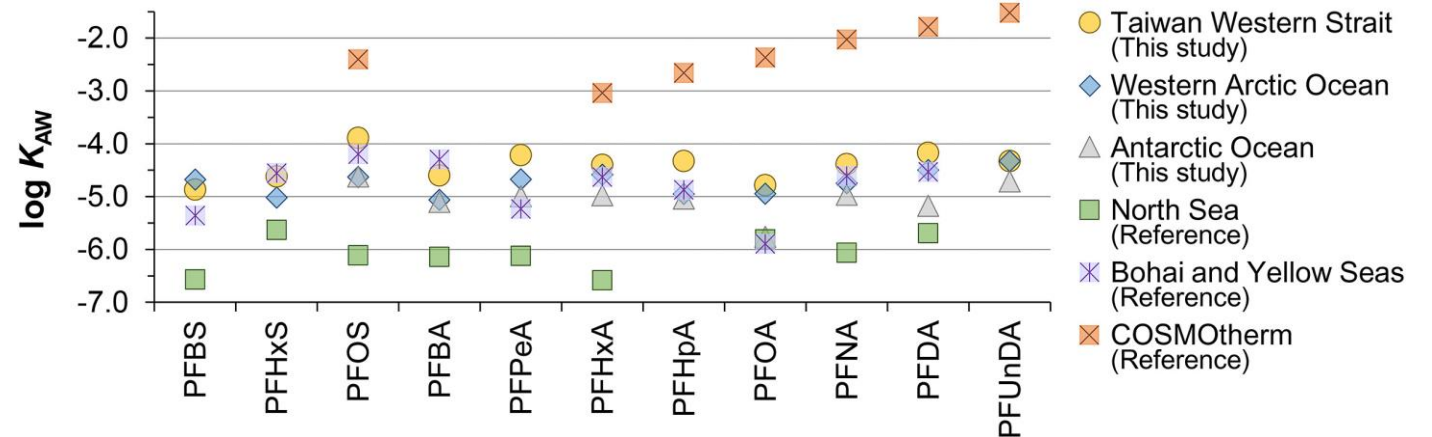
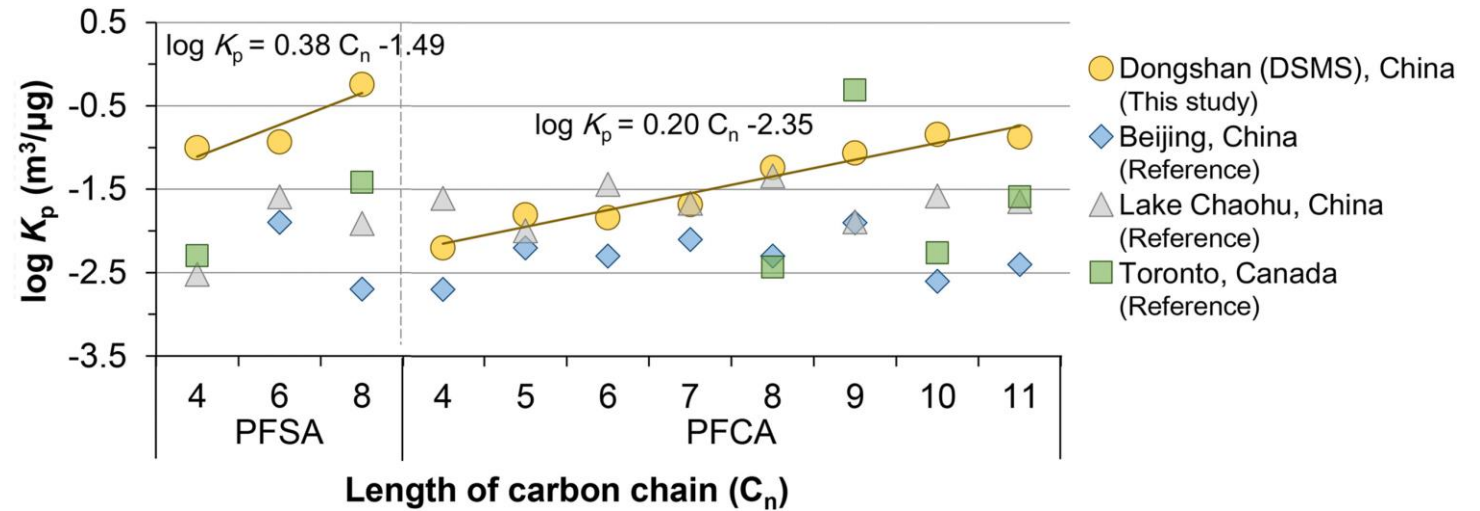


Simultaneous multimedia model: Level II

Download at : <https://www.trentu.ca/cemc/resources-and-models/level-ii-model>

# การคำนวณการเคลื่อนย้ายระหว่างตัวกลางสิ่งแวดล้อม

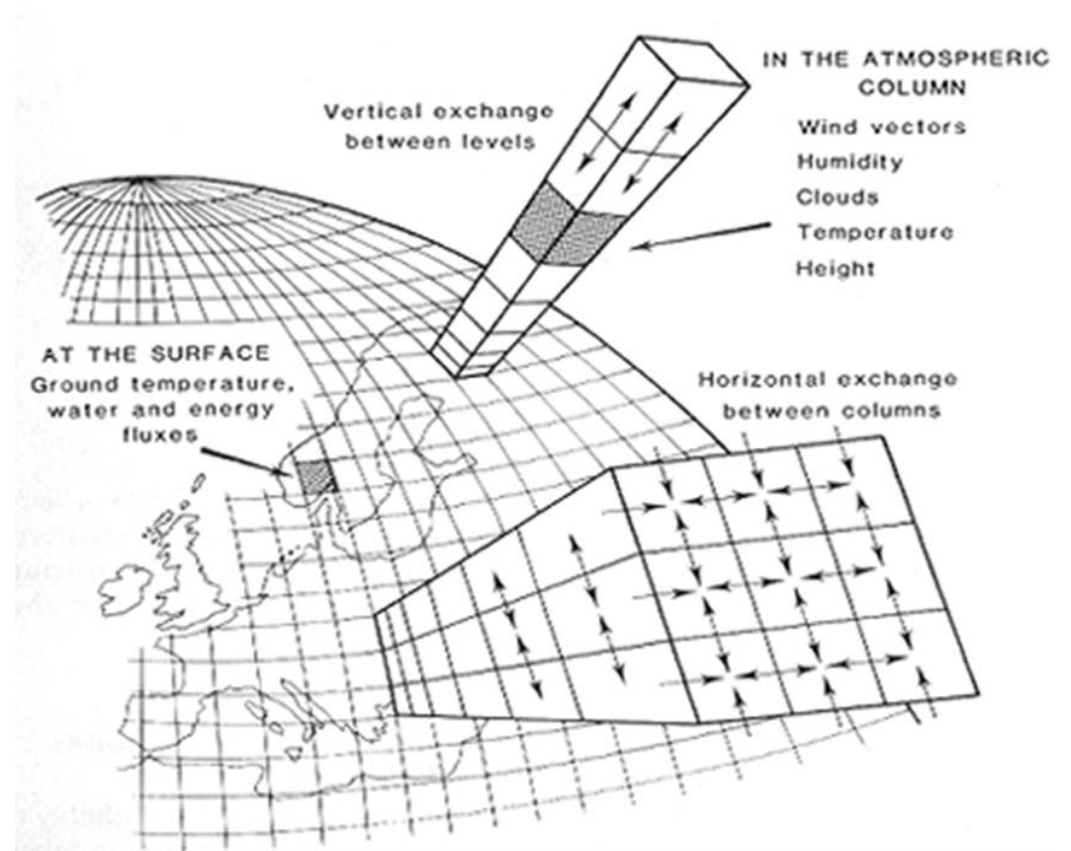
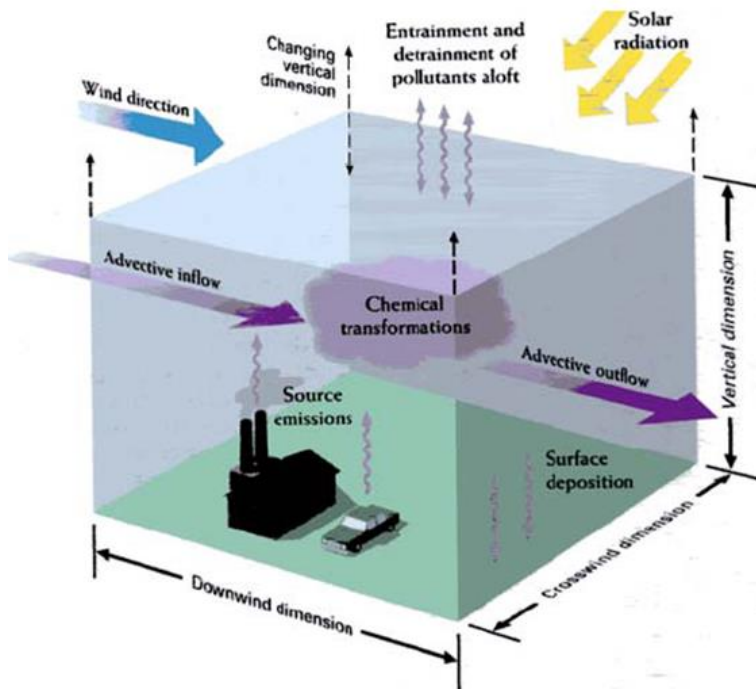
- Partitioning coefficient:
  - gas-particle partitioning ( $K_p$ )
  - Air/water partitioning ( $K_{aw}$ )



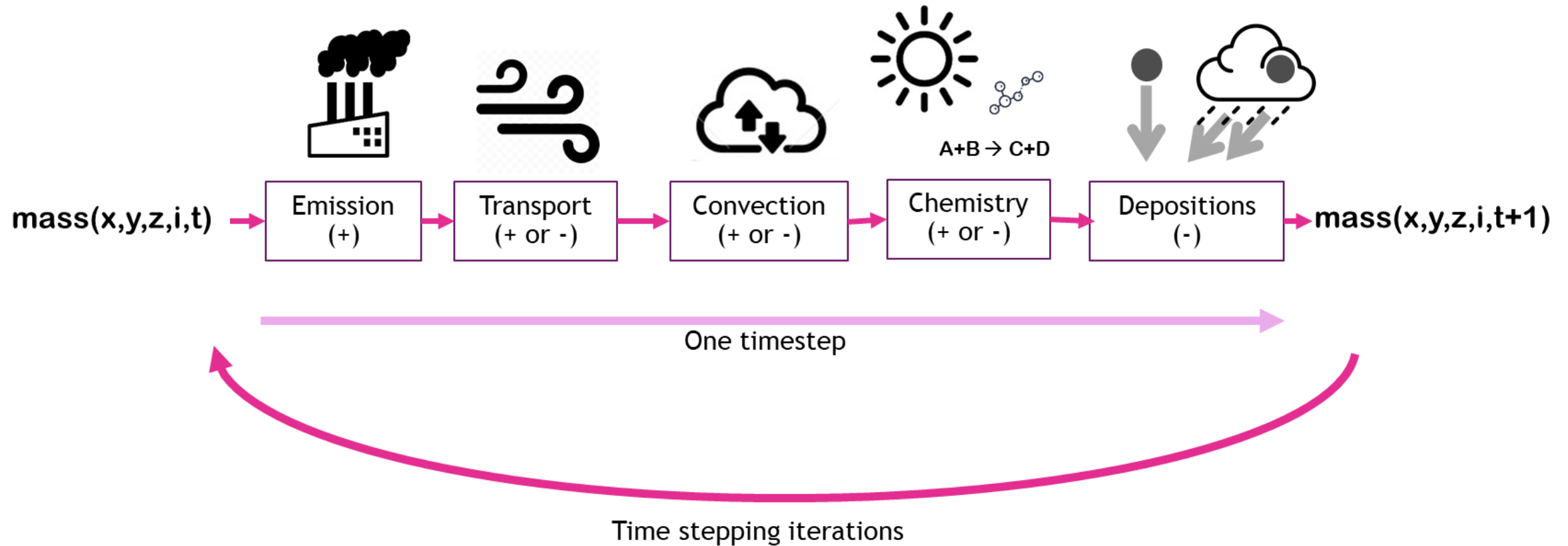
Yamazaki et al., 2021

# แบบจำลองการเคลื่อนย้ายและเคมี (CTM)

- 3-dimensional chemistry-transport model



# แบบจำลองการเคลื่อนย้ายและเคมี (CTM) : How it works



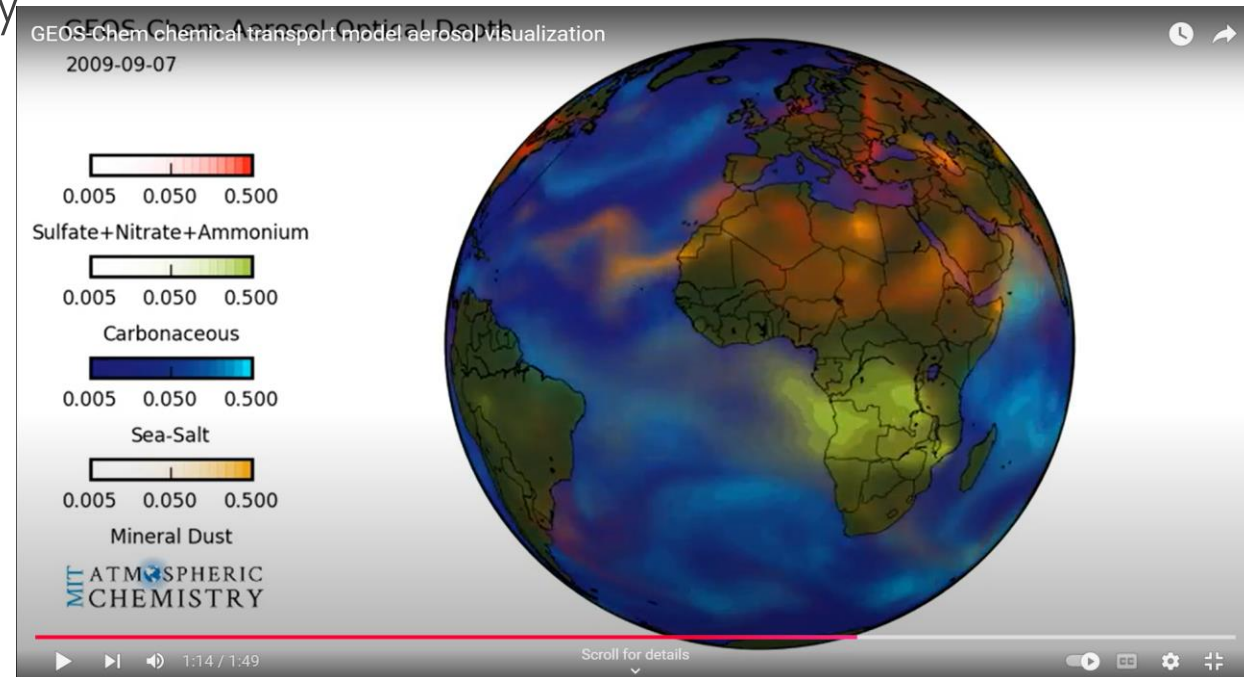
# แบบจำลองการเคลื่อนย้ายและเคมี (CTM) : GEOS-Chem

- Global 3-D tropospheric chemistry model
- Assimilated meteorology from NASA Global Modeling and Assimilation Office
  - “real world” (not purely predicted) meteorology
- Horizontal grid resolution:
  - 4° latitude x 5° longitude
  - 2° x 2.5°
  - Nested grid: down to 0.25°x 0.3125°

**GEOS-Chem**

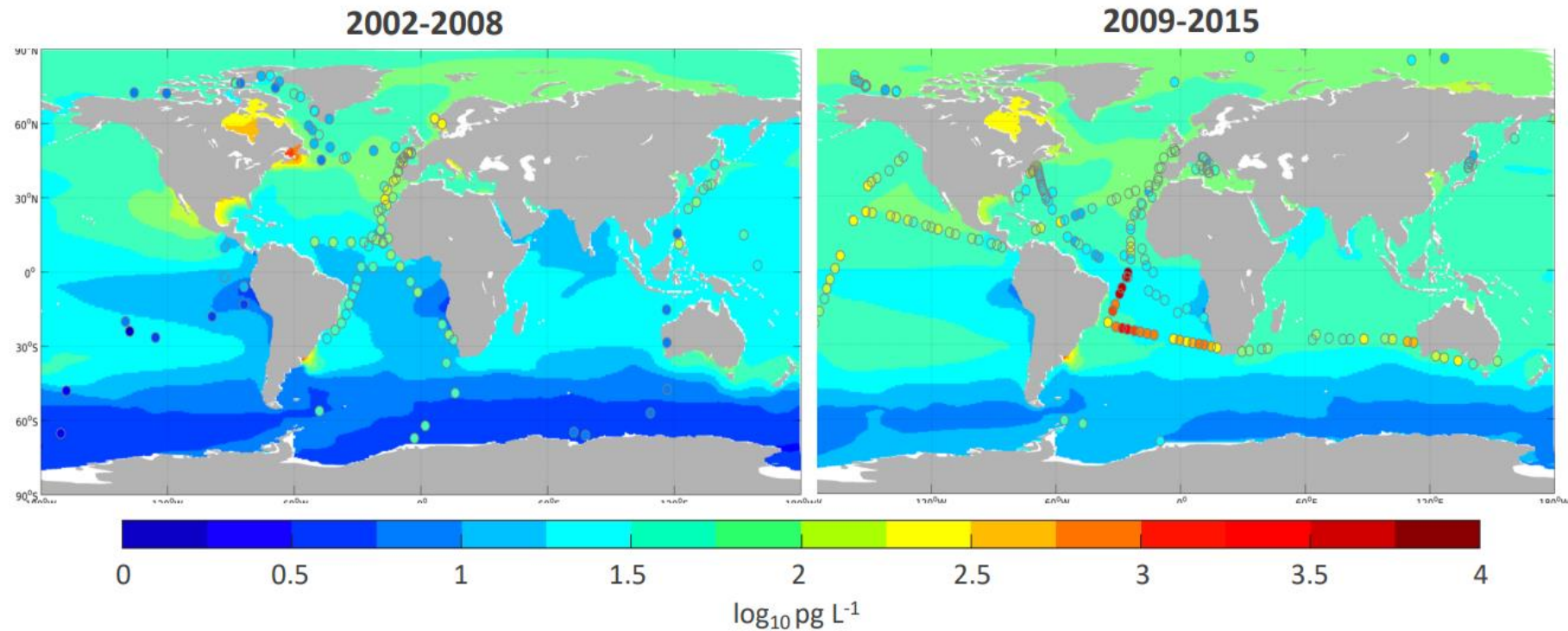
<https://geoschem.github.io/index.html>

[https://youtu.be/Gs\\_dy75bZXY](https://youtu.be/Gs_dy75bZXY)



# ตัวอย่างการศึกษา PFAS ในแบบจำลอง CTM

Global modeling underestimates Southern Ocean concentrations – likely due to missing atmospheric sources



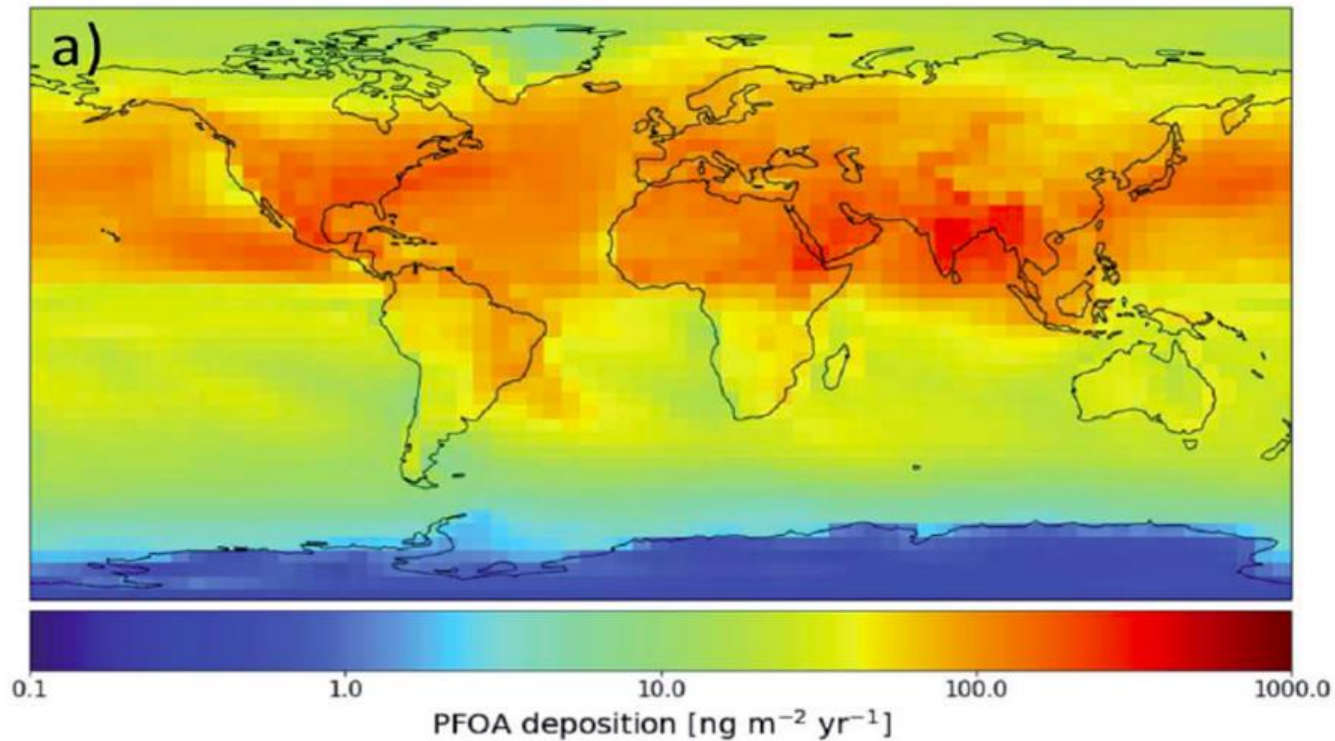
Wagner et al., in prep

9

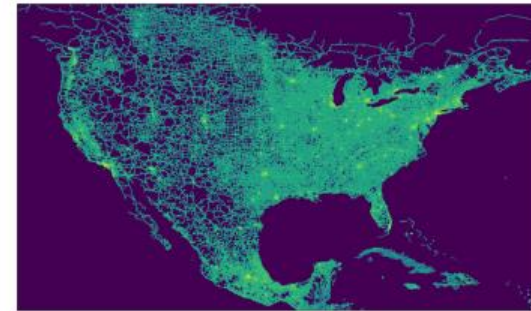
[https://sunderlandlab.org/assets/sunderland\\_noaa\\_090920.pdf](https://sunderlandlab.org/assets/sunderland_noaa_090920.pdf)

# ตัวอย่างการศึกษา PFAS ในแบบจำลอง CTM

GEOS-Chem 2015 annual average PFOA deposition using a high emissions scenario. (Thackray et al, 2020)



- Global emissions of precursor compounds based on Wang et al. (2014) production/composition estimates
- Spatial distribution of emissions was previously assumed to follow the same pattern as NO<sub>x</sub> (originally used a 4x5 degree grid)



[https://sunderlandlab.org/assets/sunderland\\_noaa\\_090920.pdf](https://sunderlandlab.org/assets/sunderland_noaa_090920.pdf)

- Improve emission data
- Make more measurement
- Advance understanding with the aid of modeling
- Risk assessment study
- Support decision making on PFAS control

# แนวทางการต่อไป



# Wrapping up

Today we've learnt ...

- That we need to do more work ahead!
- Together we can :-)

# References

- Junhua Fang, Shaolin Li, Tianhang Gu, Airong Liu, Rongliang Qiu, Wei-xian Zhang, **Treatment of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A review of transformation technologies and mechanisms**, Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 12, Issue 1, 2024
- OECD (2015), *Working Towards A Global Emission Inventory of PFASs: Focus on PFCAs – Status Quo and the Way Forward*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/f97f34b1-en>.
- Simon, P., Ramacher, M. O. P., Hagemann, S., Matthias, V., Joerss, H., and Bieser, J.: POPE: a Global Gridded Emission Inventory for PFAS 1950–2020, Earth Syst. Sci. Data Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2024-236>, in review, 2024.
- Dalmijn, J., J. Glüge, M. Scheringer, and I. T. Cousins (2024), Emission inventory of PFASs and other fluorinated organic substances for the fluoropolymer production industry in Europe, *Environmental Science: Processes & Impacts*, 26(2), 269-287, doi: 10.1039/D3EM00426K.
- Wallace, M. A. G., M. G. Smeltz, J. M. Mattila, H. K. Liberatore, S. R. Jackson, E. P. Shields, X. Xhani, E. Y. Li, and J. H. Johansson (2024), A review of sample collection and analytical methods for detecting per- and polyfluoroalkyl substances in indoor and outdoor air, *Chemosphere*, 358, 142129, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142129>.
- Eriko Yamazaki, Sachi Taniyasu, Xinhong Wang, Nobuyoshi Yamashita, Per- and polyfluoroalkyl substances in surface water, gas and particle in open ocean and coastal environment, *Chemosphere*, Volume 272, 2021