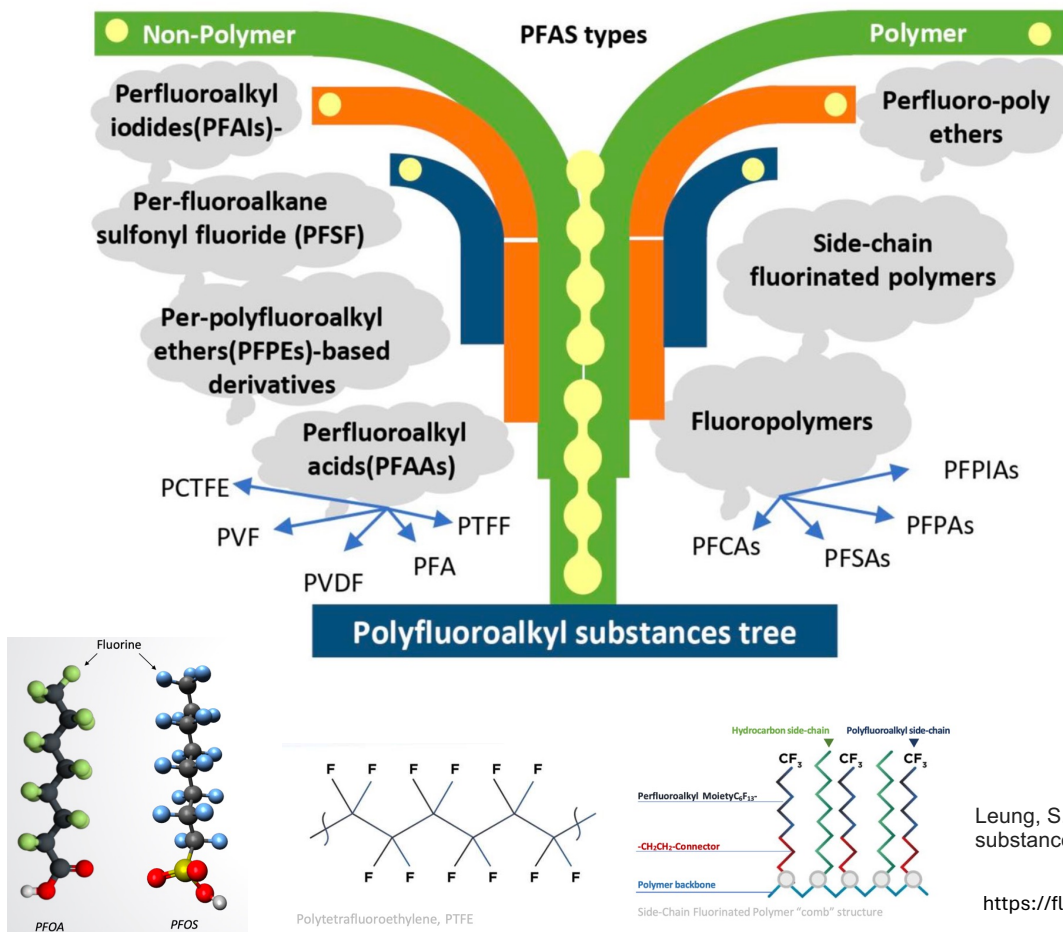


Get to Know PFAS

Ong-art Thanetnit, Ph.D.
Center for Safety, Health and Environment
of Chulalongkorn University
30 November 2024

1. Getting to Know Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS)

1.1 What are PFAS?

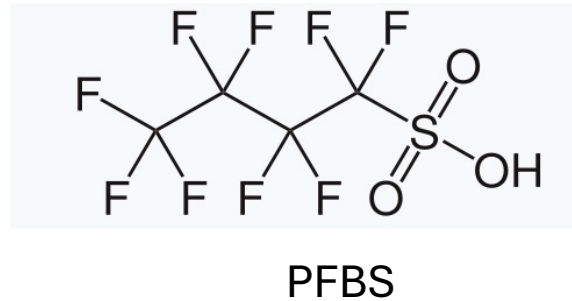
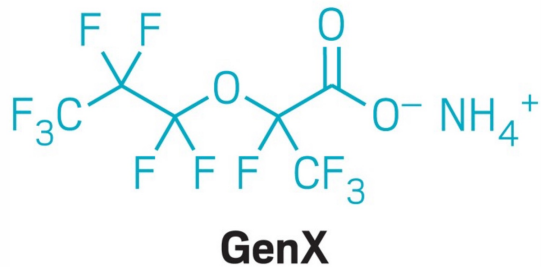
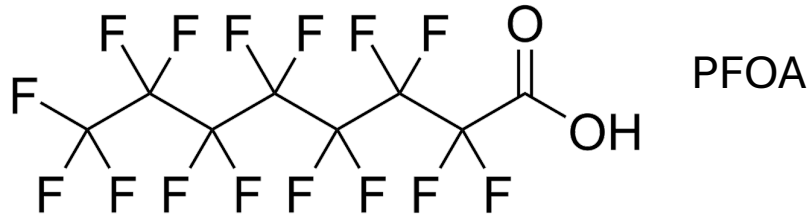
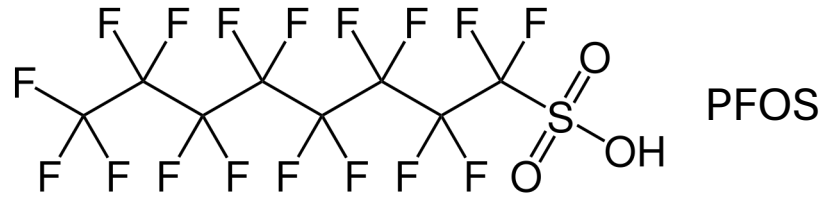


- PFAS is an acronym for per- and polyfluoroalkyl substances.
- A group of synthetic organofluorine chemical compound.
- PFAS are defined as fluorinated substances that contain at least one fully fluorinated methyl or methylene carbon atom.
- PFAS are referred to as “forever chemicals” because of their persistence in the environment.
- There are thousands of different PFAS, some of which have been more widely used and studied than others

Leung, S.C.E., Wanninayake, D., Chen, D., Nguyen, N.T. and Li, Q., 2023. Physicochemical properties and interactions of perfluoroalkyl substances (PFAS)-Challenges and opportunities in sensing and remediation. *Science of The Total Environment*, p.166764.

<https://fluoropolymers.eu/wp-content/uploads/2023/12/Fluoropolymers-versus-Side-Chain-Fluorinated-Polymers.pdf>

1.1 What are PFAS?



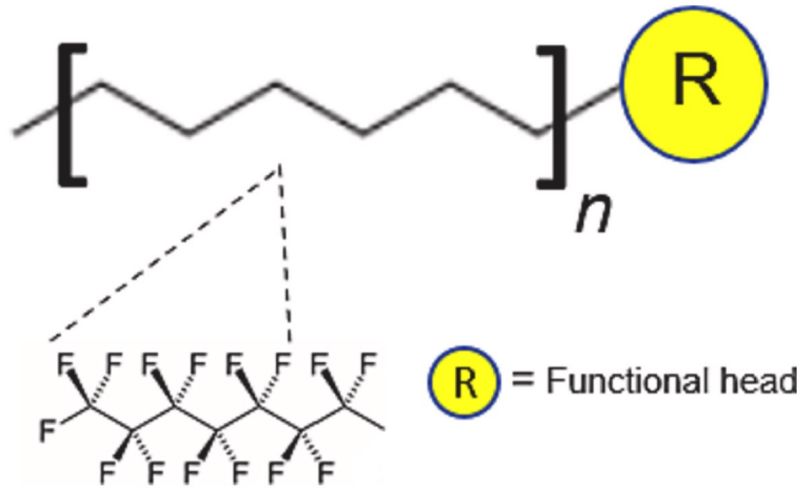
1. Getting to Know Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS):

- Industrial uses of PFAS have extended to > 200 diverse applications of > 1400 individual PFAS
- Some example of PFAS,
 - PFOS: Perfluorooctane sulfonic acid
 - PFOA: Perfluorooctanoic acid
 - GenX
 - PFBS
 - perfluorohexane sulfonate (PFHxS)
- POPs (Stockholm Convention for the protection of human health and the environment from persistent organic pollutants):
 - PFOS (2009) and
 - PFOA (2019)

Leung, S.C.E., Wanninayake, D., Chen, D., Nguyen, N.T. and Li, Q., 2023. Physicochemical properties and interactions of perfluoroalkyl substances (PFAS)-Challenges and opportunities in sensing and remediation. *Science of The Total Environment*, p.166764.

<https://cen.acs.org/environment/persistent-pollutants/US-EPA-deems-two-GenX-PFAS-chemicals-more-toxic-than-PFOA/99/i40>

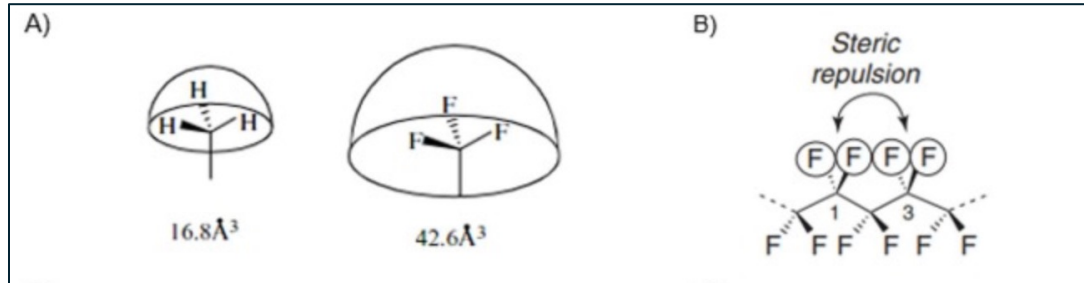
1.2 Properties of PFAS



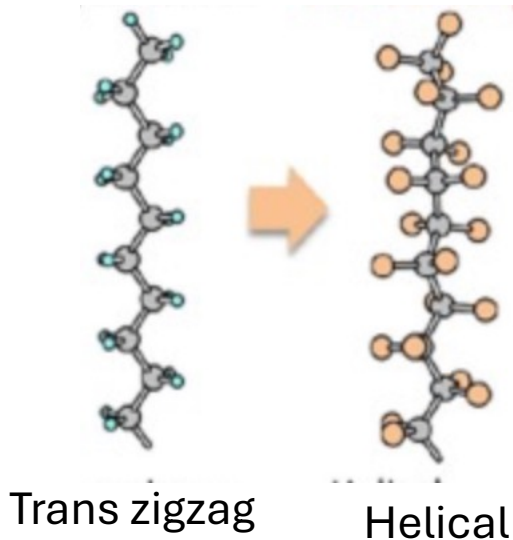
Structure of PFAS molecule

1. Getting to Know Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS):
- A perfluorinated chain (R_f) is essentially an alkyl chain with all the hydrogen atom replaced by fluorine atoms and the head can be a sulfonate or carboxylate.
 - Fluorine is the most electronegative element, and when bonded to carbon, forms one of the strongest and the most inert single bonds found in organic compounds .
 - The three lone pairs of fluorine atoms and the negative partial charge create a steric shield and an electrostatic shield. Kinetic stability is achieved through the shielding of the central carbon atom by the fluorine which safeguards PFAS against nucleophilic attack of the central carbon atom

1.2 Properties of PFAS



Hydrocarbon Perfluoroalkyl



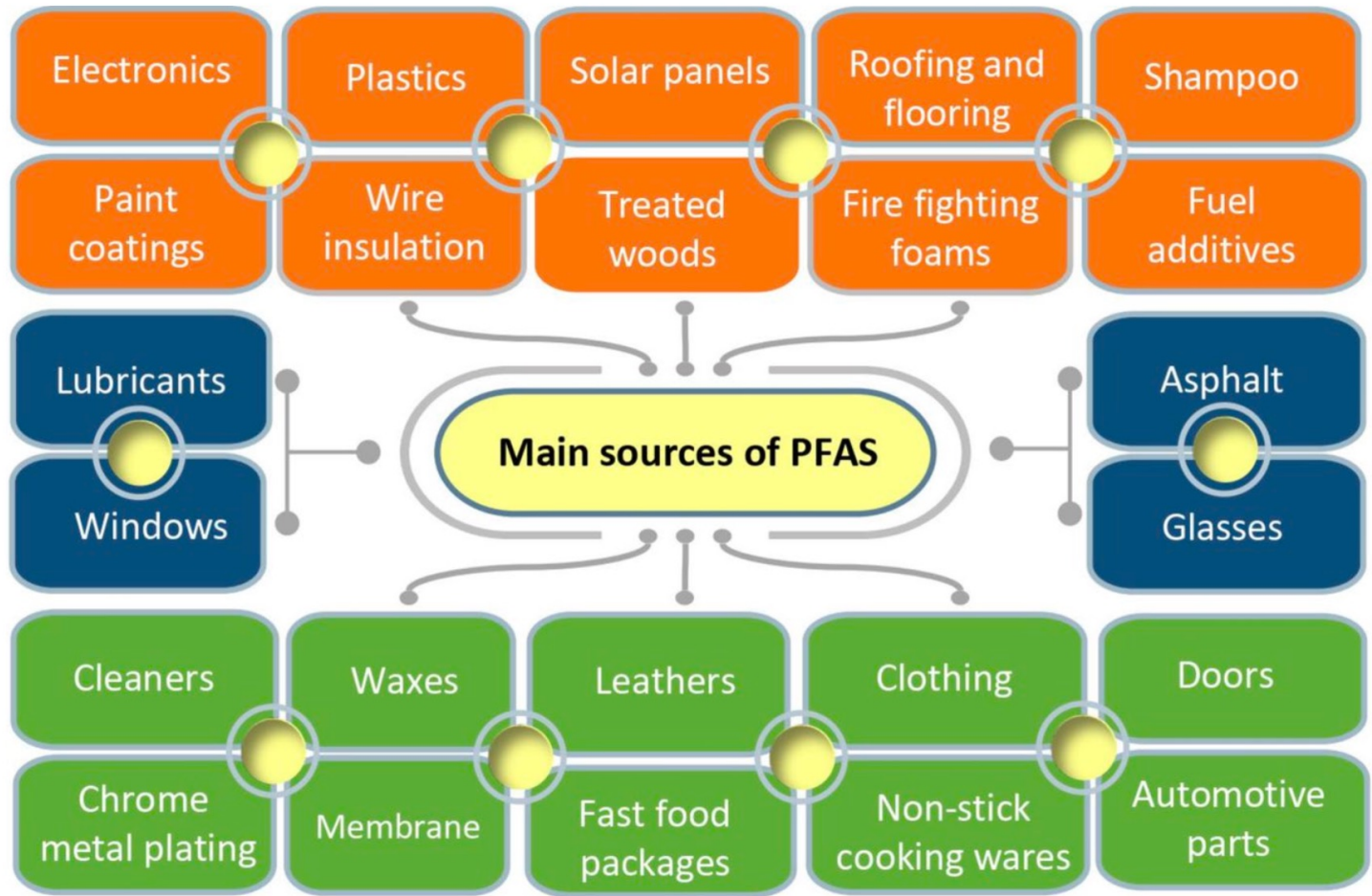
1. Getting to Know Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS):
- Due to the larger radius of fluorine (1.47 Å) when compared to hydrogen (1.20 Å), steric congestion happens when all of hydrogen atoms in the R_f are replaced by fluorine atoms, leading to a dramatic change in the conformation of the molecule.
 - PFAS show very weak intramolecular and intermolecular interactions due to the low polarizability of fluorine,



Fluorine-containing durable water repellent makes a fabric water-resistant.

Leung, S.C.E., Wanninayake, D., Chen, D., Nguyen, N.T. and Li, Q., 2023. Physicochemical properties and interactions of perfluoroalkyl substances (PFAS)-Challenges and opportunities in sensing and remediation. *Science of The Total Environment*, p.166764.

1.3 PFAS Can Be Found in Many Places



TESTS BY GREENPEACE FOUND PFAS CHEMICALS IN:

Jackets made by:

- NORTH FACE
- PATAGONIA
- ADIDAS
- COLUMBIA
- JACK WOLFSKIN

Shoes from:

- NIKE
- PUMA
- ADIDAS

Swimwear from:

- DISNEY
- BURBERRY

THE WRISTBAND OF THE NEW APPLE WATCH SPORT MODEL IS ALSO MADE WITH PFAS CHEMICALS, according to promotional information from the company. →

Do your research, especially when buying outdoor gear, and choose clothing that doesn't carry Gore-Tex or Teflon tags.

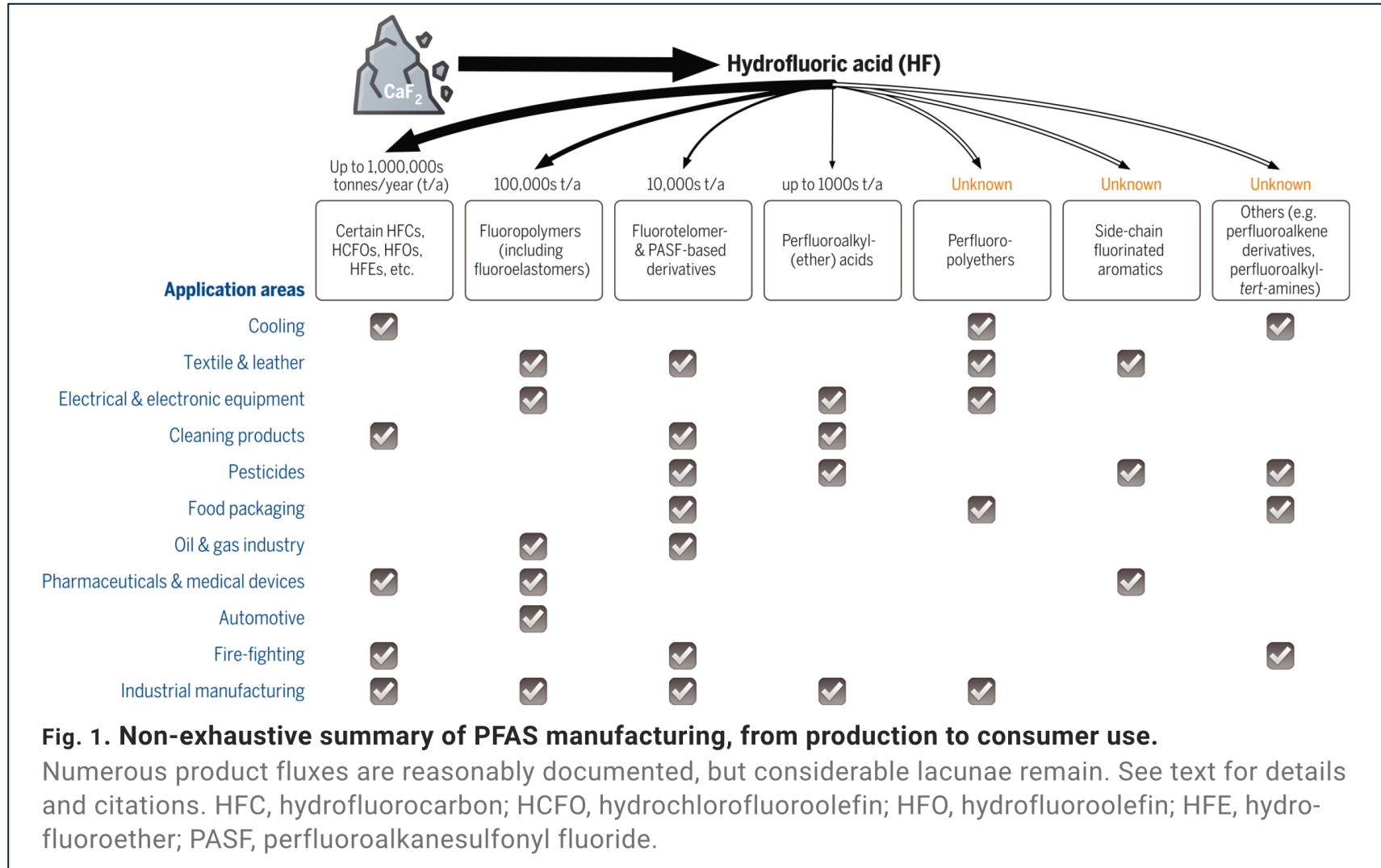
BE WARY OF ALL FABRICS LABELED STAIN- OR WATER-REPELLENT, even when they don't carry a recognizable brand tag.

AVOID PTFE-BASED NONSTICK PANS AND KITCHEN UTENSILS.

Opt for stainless steel or cast iron instead.

https://static.ewg.org/ewg-tip-sheets/EWG-AvoidingPFCs.pdf?_gl=1*3mu2k6*_gcL_au*MjA3Mzg3NDAzMy4xNzMyNjYzMzc5*_ga*MTc3MjM5OTgwOS4xNzMyNjYzMzgw*_ga_CS21G C49KT*MTczMjc4MzAzNS43LjEuMTczMjc4MzAzNy41OC4wLjU1MDM0MjI2MA..

1. Getting to Know Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS):



2. The Dangers of PFAS Chemicals

2.1 Are PFAS Safe?

- Ongoing research aims to understand how exposure to various PFAS contributes to different health effects. Studies indicate that certain levels of PFAS exposure could result in



Cancer Effects

Increased risk of some cancers, including prostate, kidney, and testicular cancers.



Weight Effects

Increased cholesterol levels and/or risk of obesity.



Immune Effects

Reduced ability of the body's immune system to fight infections.



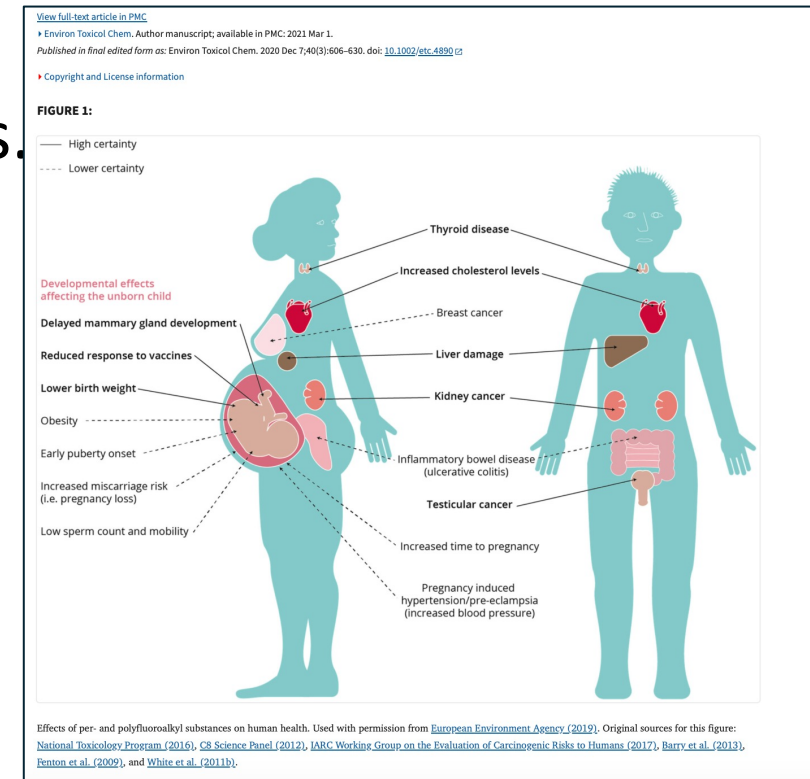
Developmental Effects

Low birth weight, accelerated puberty, bone variations, or behavioral changes.



Reproductive Effects

Decreased fertility or increased high blood pressure in pregnant women.



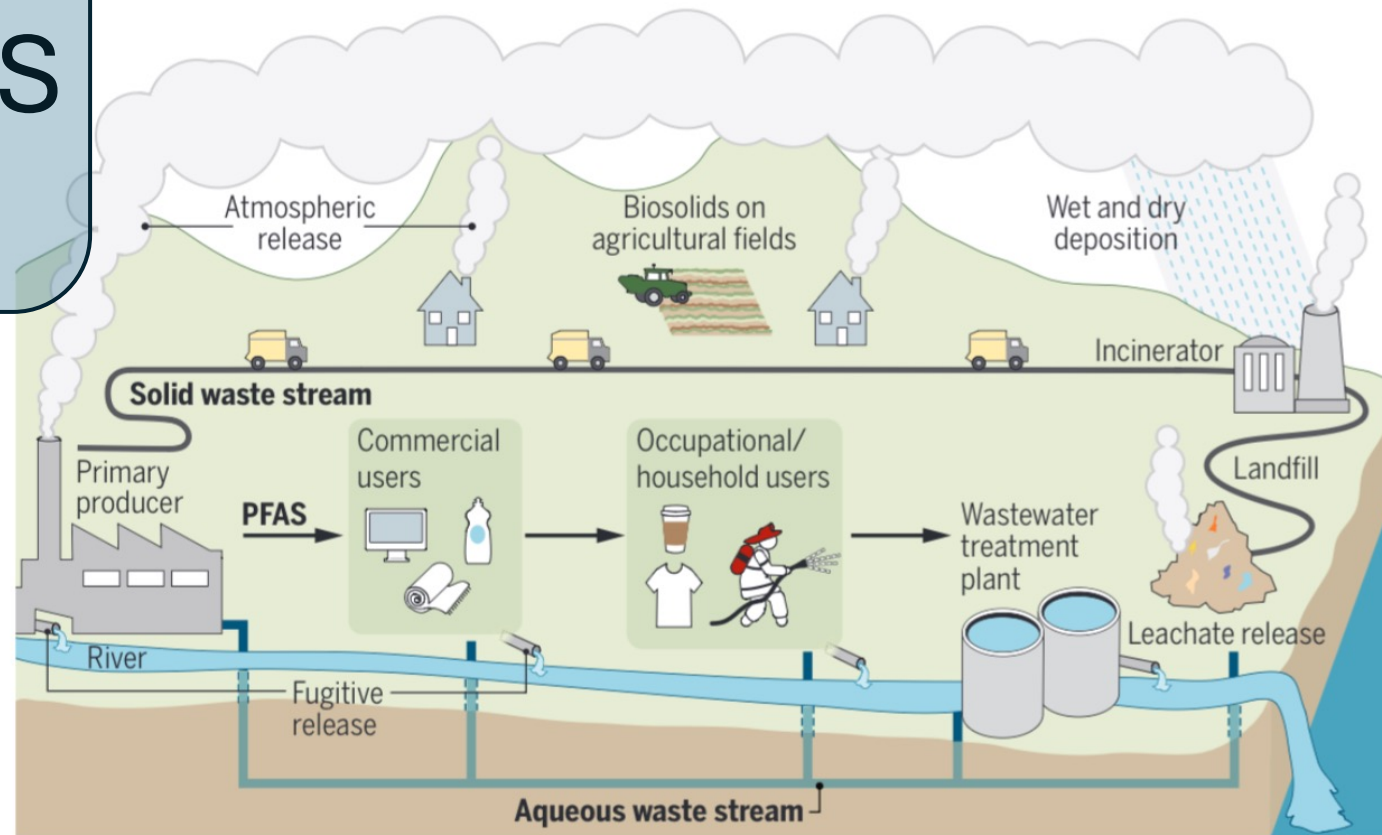
2.2 People Can Be Exposed to PFAS

- Working in occupations such as firefighting or chemicals manufacturing and processing.
- Using products made with PFAS or that are packaged in materials containing PFAS.
- Drinking water contaminated with PFAS.
- Eating certain foods that may contain PFAS
- Swallowing contaminated soil or dust.
- Breathing air containing PFAS.

2.3 Certain People May Have Higher Exposure to PFAS

- **Adults:** Some people have higher exposures to PFAS than others because of their jobs or where they live. For example:
 - Industrial workers who are involved in making or processing PFAS or people who live or recreate near PFAS-producing facilities.
 - Pregnant and lactating women tend to drink more water per pound of body weight.
- **Children:** Because children are still developing, they may be highly sensitive to the harmful effects of chemicals such as PFAS.
 - Drinking more water, eat more food, and breathe more air per pound of body weight
 - Crawling on floors and putting things in their mouths.

3. The Current Severity of PFAS Contamination



The PFAS life cycle. PFAS product flows from primary producer to commercial user to consumers to disposal. Each step is attended by atmospheric and aqueous fugitive releases. Soils constitute a long-term environmental sink, slowly releasing PFAS to the hydrosphere and allowing uptake in biota, but the ultimate reservoir is deep marine sediment.

3. The Current Severity of PFAS Contamination

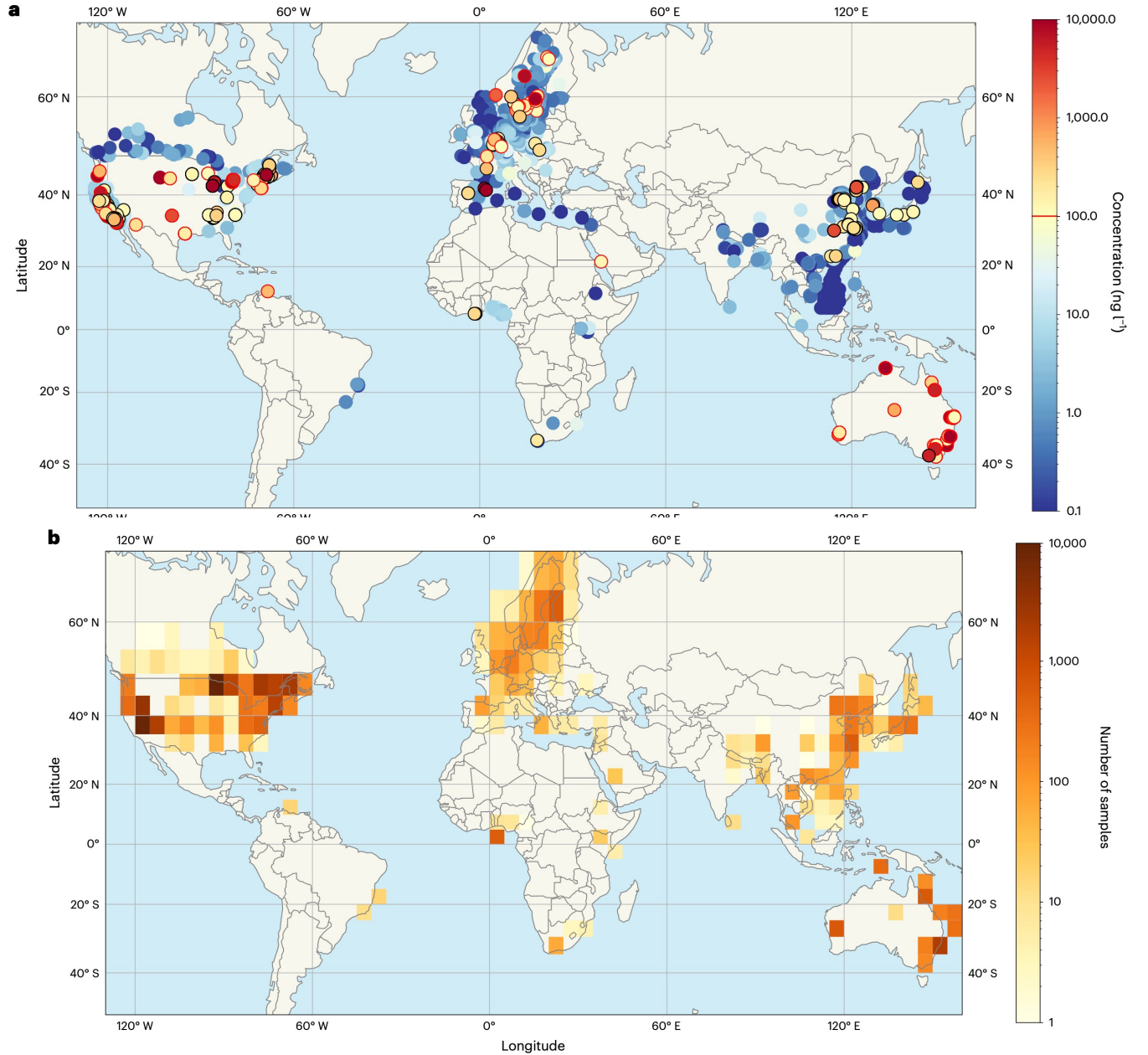
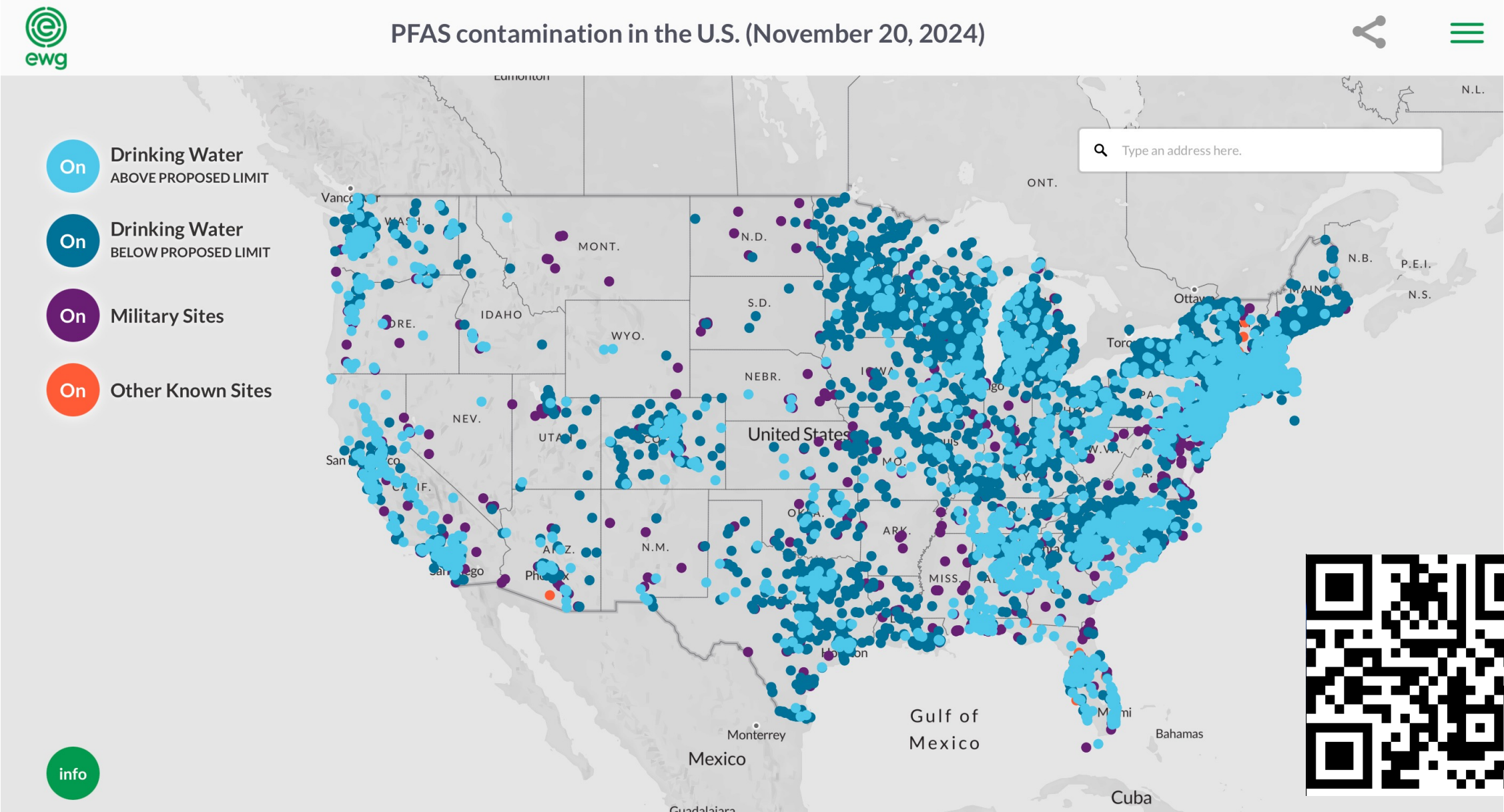


Fig. 1 | Global map of PFAS concentration in water. **a**, Sum of concentration of 20 PFAS subject to EU guidance in surface water, groundwater and drinking water samples. Those above the EU drinking water limit of 100 ng l^{-1} (marked red on scale bar) are circled in red (for known contamination sources (for example, AFFF or non-AFFF)) or black (unknown sources). **b**, Number of PFAS samples available on a 5° longitude/latitude grid worldwide.

3. The Current Severity of PFAS Contamination



<https://tinyurl.com/2mvwnjf6>

บัญชีรายชื่อวัตถุอันตรายแบบท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ ๗) พ.ศ. ๒๕๖๕

บัญชี ๕ ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบ

บัญชี ๕.๑ รายชื่อสารควบคุม

ลำดับที่	ชื่อวัตถุอันตราย	เลขทะเบียน ซีไอเอส (CAS No.)	ชนิดของ วัตถุอันตราย	เงื่อนไข
202	ไตรเอทานอลามีน (triethanolamine)	102-71-6	3	วัตถุอันตรายควบคุมตามบัญชี 3B (precursors) ในภาคผนวกแบบท้ายอนุสัญญาห้ามอาวุธเคมี เฉพาะที่มีความเข้มข้น มากกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (> 30% w/w)
247	เบนซิลไซยาไนด์ (benzyl cyanide)	140-29-4	3	
526	กรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก (perfluorooctanoic acid)	335-67-1	3	<p>เฉพาะที่นำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อย่างหนึ่งอย่างใดดังต่อไปนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> ใช้ในการเคลือบป้องกันการสะท้อนแสงในกระบวนการ photolithography และกระบวนการเอชซิง (etch processes) ในการผลิตเซมิคอนดักเตอร์ ใช้ในการเคลือบภาพถ่ายที่ใช้กับฟิล์ม ใช้ในสิ่งทอสำหรับป้องกันการเปื่อยและซึมของน้ำและน้ำมัน เพื่อป้องกันอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานจากของเหลวที่เป็นอันตรายและมีความเสี่ยงต่อสุขภาพ เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ใช้ในโฟมดับเพลิงสำหรับดับไอน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวและเพลิงไหม้เชื้อเพลิงเหลว (Class B fires) ที่มีระบบที่ติดตั้งอยู่แล้ว รวมทั้งแบบเคลื่อนที่และแบบติดตั้ง ใช้ในการผลิต polytetrafluoroethylene (PTFE) และ polyvinylidene fluoride (PVDF) สำหรับการผลิตอุปกรณ์ที่นำความร้อนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ หรือน้ำยาเคลือบสำหรับป้องกันการรั่วไหลของสารอินทรีย์ระเหยและฝุ่นละออง PM2.5
527	กรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก แอมโมเนียมเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (ammonium perfluorooctanoate)	3825-26-1		
528	กรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก โซเดียมเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (sodium perfluorooctanoate)	335-95-5		
529	กรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก โพแทสเซียมเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (potassium perfluorooctanoate)	2395-00-8		
530	กรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก ซิลเวอร์เปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (silver perfluorooctanoate)	335-93-3		

บัญชีรายชื่อวัตถุอันตรายแนบท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ ๗) พ.ศ. ๒๕๖๕
บัญชี ๕ ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบ

ลำดับที่	ชื่อวัตถุอันตราย	เลขทะเบียน ซีเอส (CAS No.)	ชนิดของ วัตถุอันตราย	เงื่อนไข
531	เปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิลฟลูออไรด์ (perfluorooctanoyl fluoride)	335-66-0		6. ใช้ในการผลิต polyfluoroethylene propylene (FEP) สำหรับการผลิตสายไฟฟ้าแรงสูง และสายเคเบิลสำหรับส่งกระแสไฟฟ้า 7. ใช้ในการผลิต fluoroelastomers สำหรับการผลิตโอริง (O-rings), สายพานวี (v-belts) และชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับติดตั้งภายในรถยนต์
532	เมทิลเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (methyl perfluorooctanoate)	376-27-2		
533	เอทิลเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (ethyl perfluorooctanoate)	3108-24-5		
534	กรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก และเกลือของกรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก (perfluorooctanoic acid (PFOA) and its salts) ได้แก่ กรดเปอร์ฟลูออโรออกตะโนอิก (perfluorooctanoic acid)	335-67-1	4	เฉพาะที่ไม่เข้าเงื่อนไขการเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ลำดับที่ 526-530 โดยให้ได้รับการยกเว้นสำหรับที่เป็นสารปนเปื้อน (Impurity) ดังนี้ 1. ความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 0.0000025 โดยน้ำหนัก ($\leq 0.0000025\%$ w/w) หรือ 2. มีอยู่ในผงไมโครพอลิเตตราฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) ที่ผลิตขึ้นโดยการฉายรังสีไอออนไนซ์หรือโดยการย่อยสลายด้วยความร้อน ความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 0.0001 โดยน้ำหนัก ($\leq 0.0001\%$ w/w)
535	แอมโมเนียมเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (ammonium perfluorooctanoate)	3825-26-1		
536	โซเดียมเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (sodium perfluorooctanoate)	335-95-5		
537	โพแทสเซียมเปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (potassium perfluorooctanoate)	2395-00-8		
538	ซิลเวอร์เปอร์ฟลูออโรออกตะโนเอต (silver perfluorooctanoate)	335-93-3		

	References	Sampling sites	Samples (n)	PFOS (median)	PFOA (median)	
Water (ng/L)	Kunacheva et al. 2010	WTPs in Bangkok, Thailand	Raw water (2)	4.10 & 4.48	14.44 & 18.64	
		Gas stations across Bangkok, Thailand	Tap water (28)	<0.03–0.45	<0.03–7.75	
		Convenient stores in Bangkok, Thailand	Bottled water (20)	<0.03–0.59	0.97–20.13	
	Boontanon et al. 2012	Chao Phraya river, Bangkok, Thailand	Bangkok, Thailand	Raw water (96)	<0.04–20.05	0.68–20.41
			Bangkok, Thailand	Tap water (14)	<0.04–1.10	–
			Bangkok, Thailand	Bottled water (14)	0.10–1.20	–
	Domingo et al. 2012	Municipal water supply of Girona, Spain	Municipal water supply of Barcelona, Spain	Raw water (4)	<0.05–2.30	<0.40–32.8
				Raw water (10)	0.18–20.20 (2.65)	<0.72–9.50 (4.40)
				Drinking fountain (5)	<0.50–6.20 (5.10)	1.00–9.60 (5.80)
	Zafeiraki et al. 2015	Water supply in cities across Greece		Tap water (43)	<0.60	<0.60–3.63 (0.90)
				Bottled water (5)	<0.60	<0.60
		Water supply in cities across Netherlands		Tap water (37)	<0.60–5.00 (4.00)	<0.60–11.10 (4.30)
				Bottled water (5)	<0.60	<0.60
	Li et al. 2019	Municipality/town in Shanghai, China	Cities/town in Hunan, China	Tap water (2)	0.21 & 0.32	0.76 & 0.79
			Cities/town in Sichuan, China	Tap water (3)	0.22–0.41 (0.29)	0.15–0.51 (0.50)
				Tap water (3)	0.30–0.34 (0.33)	0.76–0.77 (0.76)
Boone et al. 2019	Drinking water treatment plants across 24 states of the United States.		Raw water (29)	<0.13–48.30 (2.28)	<0.56–112 (6.32)	
			Tap water (29)	<0.13–36.90 (1.62)	<0.56–104 (4.15)	
This Study	Map Ta Phut Industrial Estate area, Rayong, Thailand		River water (16)	4.48–465.65 (17.94)	1.27–59.29 (8.97)	
			Tap water (4)	7.10–54.16 (14.47)	0.89–3.26 (1.39)	
			Bottled water (5)	<0.125–0.45	<0.25–0.62	

ที่มา: Lertassavakorn, T.; Pholphana, N.; Rangkadilok, N.; Suriyo, T.; Satayavivaad, J. Determination of perfluorooctane sulphonate and perfluorooctanoic acid in seafood and water from Map Ta Phut industrial estate area, Thailand. *Food Additives & Contaminants: Part A* 2021, 2; 1-16.

3. The Current Severity of PFAS Contamination

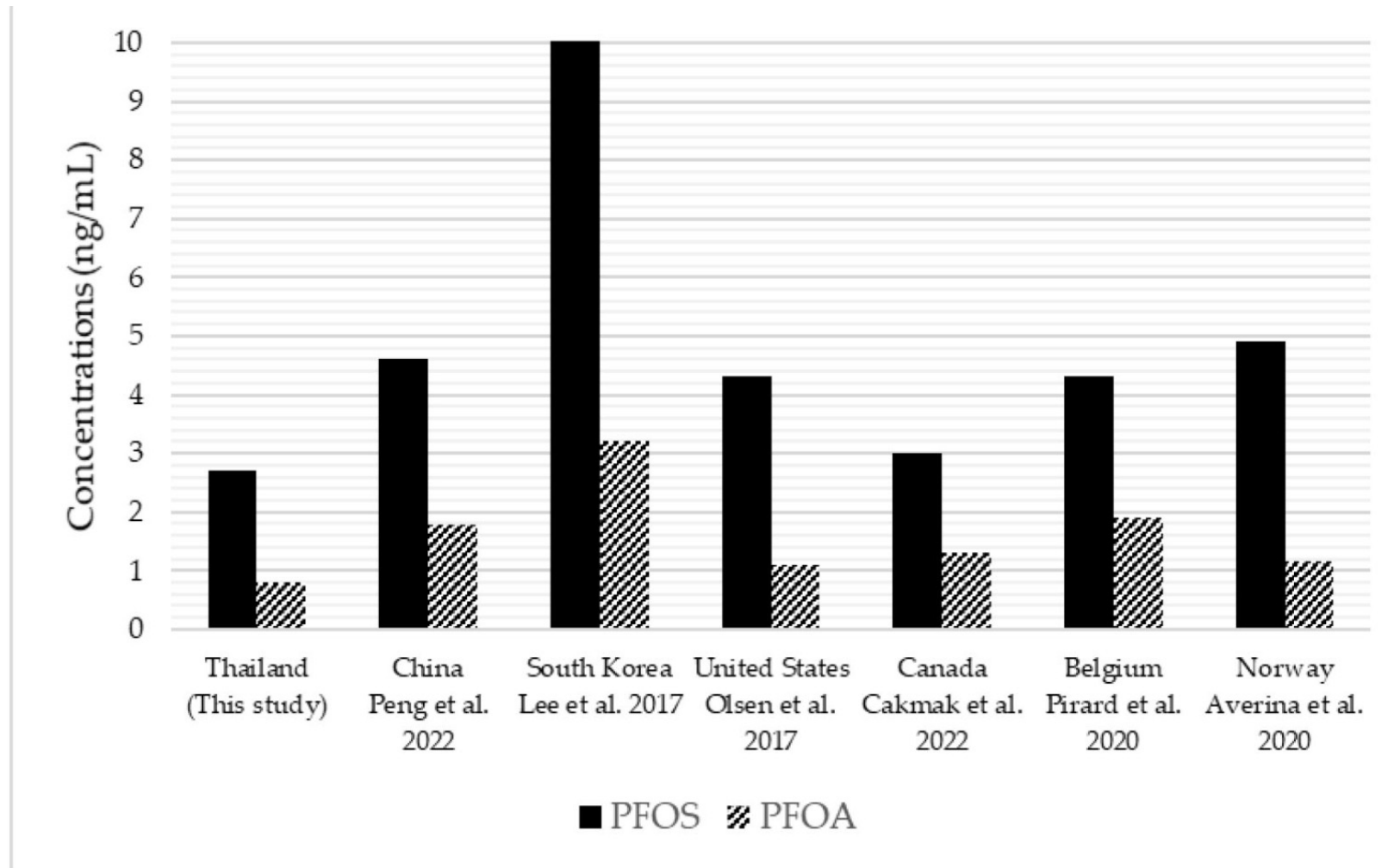
	References	Sampling sites	Samples (n)	PFOS (median)	PFOA (median)
Seafood (ng/kg ww)	Domingo et al. 2012	Coastal areas of Catalonia (Barcelona, Girona, and Tarragona), Spain	Mussel (3)	<45 ^a	<68 ^a
			Prawn (3)	480	98
			Sardine (3)	8320	<76*
	Vassiliadou et al. 2015	Local fish markets in Athens (Kallithea), Greece	Finfish (7)	<490 ^a –20370	<600 ^a
			Shellfish (3)	<490 ^a –5150	<600 ^a
	Habibullah-Al-Mamun et al. 2017	Four major coastal areas (Cox's Bazar, Chittagong, Bhola and Sundarbans of Bangladesh)	Finfish (32)	100–3860 (625)	<10 ^a –400 (90)
			Shrimp (8)	100–750 (360)	70–1250 (260)
			Crab (8)	160–1990 (590)	230–2390 (875)
			Oyster (10)	(380)	(5710)
			Shrimp (10)	(120)	(8230)
			Squid (10)	1060 ^b	(6400)
	Guo et al. 2019	Along Bohai sea coast, China	Oyster (47)	4–920 ^c	30–1600
			Mussel (9)	4–2060 ^c	10–330
	Catherine et al. 2019	French coast (English Channel)	Mussel/Oyster (84)	8–218 (10)	<LOQ
		French coast (Atlantic Ocean)	Mussel/Oyster (84)	15–181 (84)	<LOQ
		French coast (Mediterranean Sea)	Mussel (42)	7–162 (35)	<LOQ
	This Study	Local markets in Map Ta Phut Industrial Estate area, Rayong, Thailand	Mussel (8)	29–606 (87)	<48
			Spotted Babylon (5)	1085–3287 (1786)	<48
			Squid (4)	2815–6724 (3886)	<48
Pacific white shrimp (4)			46–92 (60)	<48	

^aLOD levels.

^bPFOS was found in only one sample.

^cThe sum of PFOS and its precursors.

ที่มา: Lertassavakorn, T.; Pholphana, N.; Rangkadilok, N.; Suriyo, T.; Satayavivaad, J. Determination of perfluorooctane sulphonate and perfluorooctanoic acid in seafood and water from Map Ta Phut industrial estate area, Thailand. *Food Additives & Contaminants: Part A* 2021, 2; 1-16.



แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณเฉลี่ยของสาร PFOS และ PFOA ในตัวอย่างพลาสมาของประชากรทั่วไปของแต่ละประเทศ

ที่มา : Lertassavakorn, T.; Pholphana, N.; Rangkadilok, N.; Suriyo, T.; Teeyapant, P.; Satayavivad, J. Method validation for quantification of PFOS and PFOA in human plasma and a pilot study in blood donors from Thai Red Cross Society. *Toxics* 2023, 11, 1015.

Administrative Recommendation Setting of Several Nations for Controlling PFAS Level in the Water

Table 1 The PFOS/PFOA concentration limits in the USA as well as in other countries

State/country	PFOS (ng/L)	PFOA (ng/L)	Other PFAS	Year	Source
Alabama	200	400		2009	USEPA
USEPA	70	70		2016	USEPA
Australia	70	560		2017	ADEH
Canada	600	200		2018	CAN HC
Denmark	100	100	PFNA, PFBA/S, PFHxS/A, PFPeA, PFHpA, PFOSA, PFDA, 6:2 FTS	2015	EPA
Germany	300	300		2006	GMOH
Italy	30	500	PFBA, PFBS, PFHxA, PFPeA	2017	
Netherlands	200	390	Gen-X	2020	EPA
Sweden	90	90	PFBS, PFHxS, PFHxA, PFPeA, PFHpA	2014	NFA
United Kingdom	10	10		2021	UKDWI



Compound	Final MCLG	Final MCL (enforceable levels)
PFOA	Zero	4.0 parts per trillion (ppt) (also expressed as ng/L)
PFOS	Zero	4.0 ppt
PFHxS	10 ppt	10 ppt
PFNA	10 ppt	10 ppt
HFPO-DA (commonly known as GenX Chemicals)	10 ppt	10 ppt
Mixtures containing two or more of PFHxS, PFNA, HFPO-DA, and PFBS	1 (unitless) Hazard Index	1 (unitless) Hazard Index

On April 10, 2024, EPA announced the final National Primary Drinking Water Regulation (NPDWR) for six PFAS.

- In August 2022, the EPA proposed to add PFOA and PFOS to its list of hazardous substances under the Superfund law. EPA issued a final rule in April 2024, which requires that polluters pay for investigations and cleanup of these substances
- In April 2024, the EPA issued a final drinking water rule for PFOA, PFOS, Gen X, PFBS, PFNA, and PFHxS. Within three years, public water system must remove these six PFAS to near-zero levels.