อนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน กับสาร HBCD ในโฟม EPS เกรดไม่ลามไฟ

โดย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

สาร HBCD เป็นสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน สารนี้เป็นสารอันตราย อาจทำให้เกิดภาวะบกพร่องทางสมอง ระบบสืบพันธุ์และระบบ ภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นอันตรายต่อผู้ได้รับโดยตรงแต่ยังส่งต่อถึงลูกหลานได้

> สาร HBCD ส่วนใหญ่อยู่ในโฟมโพลิสไตรีนเกรดไม่ลามไฟที่ใช้เป็นฉนวนอาคาร ที่ส่วนใหญ่ยังอยู่ระหว่างการใช้งาน ซึ่งหากไม่ระวังให้ดี สาร HBCD จะเล็ดลอดออกมาได้เมื่อมีการซ่อมแซมหรือรื้อถอนอาคาร

> > อนุสัญญาสตอกโฮล์มกำหนดให้ประเทศภาคีสมาชิก ต้องจัดการสารนี้อย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้สารนี้เล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อมและก่อผลเสียต่อสุขภาพอนามัยในระยะยาว

สาร POPs - ภัยเงียบใกล้ตัว

สารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน หรือ Persistent Organic Pollutants หรือเรียกสั้นๆ ว่า "สาร POPs" เป็นกลุ่ม สารเคมีที่มีลักษณะสำคัญ ๔ ด้านประกอบกันได้แก่

- ๑) **เป็นสารพิษ** ที่สามารถเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งมีชีวิต สาร POPs บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง ทำลายระบบประสาท ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ รวมถึงการก่อกวนการทำงานของ ฮอร์โมน การทำให้ระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอหรือบกพร่อง ฯลฯ
- (๒) **สลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้ยาก** สาร POPs จึงเป็นสารพิษที่สามารถตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็น เวลานาน ซึ่งเปิดโอกาสให้สารเหล่านี้ สามารถวนกลับมาทำร้ายมนุษย์ สัตว์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ใน ธรรมชาติได้มากขึ้น
- ๓) **สามารถแพร่กระจายได้ไกล**ทั้งในอากาศและในน้ำ หรือแม้กระทั่งการแพร่กระจายผ่านสัตว์ที่มีการอพยพ ย้ายถิ่นตามฤดูกาล ทำให้มีสาร POPs แพร่กระจายและหมุนวนอยู่ทั่วทุกหนทุกแห่งในโลก และ
- ๔) **สามารถสะสม**ในร่างกายและในเนื้อเยื่อของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต และสามารถเพิ่มพูนปริมาณการสะสม ผ่านการกินต่อกันเป็นทอดในโซ่อาหาร โดยสัตว์ผู้ล่าที่อยู่ระดับบนของโซ่อาหาร (เช่นมนุษย์) มักมีสาร POPs สะสมในร่างกายสูงกว่าสัตว์ที่เป็นผู้ถูกล่าและพืช

สาร POPs หลายชนิดยังสามารถถ่ายทอดจากแม่สู่ลูกหลานในรุ่นถัดๆ ไปได้ สาร POPs ที่ได้รั่วไหล ปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม จึงสามารถบั่นทอนสุขภาพอนามัยมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทั้งต่อชน รุ่นนี้และรุ่นต่อไปที่ไม่เคยได้รับสารเหล่านี้โดยตรง

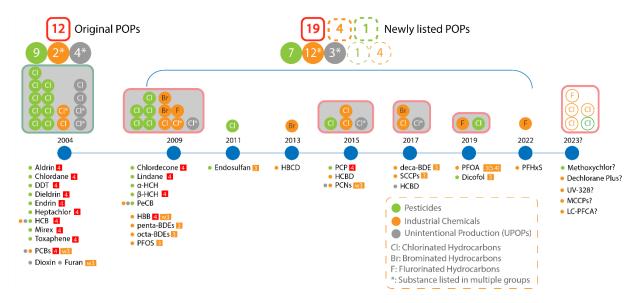
สาร POPs ทุกชนิดเป็นสารเคมีที่มนุษย์ผลิตขึ้น ทั้งด้วยความตั้งใจและไม่ได้ตั้งใจ สารเหล่านี้ อาจพบเห็น ได้ในรูปสารเคมี (เช่น ยาฆ่าแมลง ทั้งที่ยังไม่ถูกนำมาใช้งาน และที่เป็นสารตกค้างใน ดิน แหล่งน้ำ หรือในอาหาร หรือสารเติมแต่งในน้ำยาดับเพลิง หรือน้ำยาชุบเคลือบผิวบางชนิด ๆลๆ) ในรูปสารที่ใช้เติมในเนื้อวัสดุ (เช่น สาร หน่วงการติดไฟ ที่อยู่ในเนื้อพลาสติกที่ถูกนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่นเครื่องรับโทรทัศน์ รถยนต์ เฟอร์นิเจอร์และเครื่องใช้ในบ้าน ๆลๆ) หรือสารเคมีที่ผลิตขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ เช่น ไอเสียจากการเผาไหม้ที่ไม่ สมบูรณ์ หรือควันพิษจากการเผาไหม้ขยะที่มีสารก่อไดออกซิน เป็นต้น แต่ด้วยเหตุที่สาร POPs สามารถ แพร่กระจายอย่างได้อย่างไร้พรมแดน การผลิตและ/หรือการปลดปล่อยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนานในประเทศใด ประเทศหนึ่ง สามารถแพร่กระจายไปก่อผลกระทบกับประชาชนในประเทศอื่นได้ อีกทั้งประชาชนในประเทศที่มี

ความพร้อมน้อยกว่าหรือประชาชนกลุ่มเด็กหรือผู้ด้อยโอกาส ก็มักเป็นผู้ได้รับผลกระทบที่รุนแรงกว่า จึงเป็นที่มา ของการออกอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนานขึ้น เมื่อปี ค.ศ. 2004 เพื่อให้ประเทศภาคี สมาชิกร่วมกันกำจัดสาร POPs ให้หมดไป รวมทั้งให้ความช่วยเหลือประเทศสมาชิก ให้สามารถจัดการสาร POPs ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกหลักวิชาการ

อนุสัญญาสตอกโฮล์ม

อนุสัญญาสตอกโฮล์ม ว่าด้วยมลพิษที่ตกค้างยาวนาน เป็นข้อตกลงระดับนานาชาติ เพื่อร่วมกันปกป้อง สุขอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากสาร POPs ซึ่งเป็นกลุ่มสารเคมีที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่ทำให้แต่ละประเทศ ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้โดยลำพังได้แก่ มีความเป็นพิษสูง สลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้ยาก เคลื่อนที่ข้ามพรมแดนได้ ไกล และสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิต ในห่วงโซ่อาหารและในสิ่งแวดล้อมได้มาก

อนุสัญญาสตอกโฮล์ม มีกลไกทางกฎหมาย เพื่อให้มีการกำจัดหรือลดการปลดปล่อยสาร POPs ทั้งแบบจงใจ และไม่จงใจในประเทศภาคีสมาชิก โดยมาตรการภายใต้อนุสัญญาสตอกโฮล์มครอบคลุม การลดหรือเลิกการผลิต และการใช้สาร POPs การหยุดการนำเข้าและการส่งออก การควบคุมไม่ให้เกิดการก่อโดยไม่จงใจ การจัดการกับ พื้นที่ปนเปื้อนและการกำจัดสาร POPs ที่ยังคงค้างในสตอก การส่งเสริมและการสนับสนุนการใช้สารทดแทนและ การใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุด (Best Available Technique: BAT) ในการจัดการปัญหา รวมถึงการตรวจติดตาม ประเมินผลและการทบทวนมาตรการจัดการระดับชาติเป็นระยะๆ ตามความเหมาะสม อนุสัญญาสตอกโฮล์ม ยังมี กลไกการให้ความช่วยเหลือ ทั้งในด้านเทคนิคและด้านเงินทุน เพื่อช่วยสมาชิกในประเทศกำลังพัฒนาให้สามารถ จัดการกับสาร POPs ในประเทศของตนให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย



รูปที่ ๑: สารที่เข้าข่ายสาร POPs ภายใต้อนุสัญญาสตอกโฮล์ม มีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

อนุสัญญาสตอกโฮล์มมีกลไกให้ภาคีสมาชิกเสนอสารเคมีที่มีสมบัติเป็น "สาร POPs" ที่จำเป็นต้องมี มาตรการควบคุมในระดับนานาชาติ เข้าในบัญชีรายชื่อสาร POPs ภายใต้อนุสัญญาฯ โดยมีคณะกรรมการ กลั่นกรอง (POPs Reviewing Committee: POPRC) เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของสารเคมีที่ภาคีสมาชิกเสนอ เทียบกับเกณฑ์การพิจารณาที่ได้ตกลงร่วมกัน ประเมินความเสี่ยง (Risk profile) และมาตรการจัดการความเสี่ยง (Risk management evaluation) และจัดทำข้อเสนอแนะต่อที่ประชุมรัฐภาคี (Conference of the Parties: COP) ซึ่งจะจัดเป็นประจำทุก 2 ปี โดยในช่วงเริ่มต้น อนุสัญญาสตอกโฮล์มได้ขึ้นบัญชีสาร POPs 12 รายการ รู้จักกันในนาม "Dirty Dozen" จนปัจจุบันมีสารเคมีที่เข้าข่ายเป็นสาร POPs ภายใต้อนุสัญญาสตอกโฮล์มแล้ว 31 รายการ ทั้งยังมีสารที่เข้าข่ายที่อยู่ระหว่างการพิจารณาอีกเป็นจำนวนมาก โดยสารเคมีที่ถูกขึ้นบัญชีเป็นสาร POPs

ภายใต้อนุสัญญาสตอกโฮล์มในช่วง 10 ปีหลังส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่ใช้ภาคอุตสาหกรรม (POPs industrial chemicals) (ดูรูปที่ ๑)

ประเทศไทยได้ลงนามและให้สัตยาบันใน อนุสัญญาสตอกโฮล์ม มาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2548 (ค.ศ. 2005) และได้ จัดทำแผนการจัดการระดับชาติ (National Implementation Plan: NIP) สำหรับสาร POPs ในบัญชีแรกทั้ง 12 รายการ ส่งไปยังสำนักเลขาธิการอนุสัญญาสตอกโฮล์มครบถ้วนตามพันธกรณี ทั้งยังได้จัดตั้งคณะอนุกรรมการ อนุสัญญาสตอกโฮล์มา เพื่อทำหน้าที่พิจารณารายละเอียดของอนุสัญญาา และกำหนดท่าทีของประเทศในการ ประชุม COP รวมถึงการสนับสนุนและให้ความเห็นเกี่ยวกับการดำเนินงานตามแผนจัดการระดับชาติ และได้ มอบหมายให้กรมควบคุมมลพิษ ทำหน้าที่เป็นศูนย์ประสานงานอนุสัญญาสตอกโฮล์มา (Stockholm Convention Focal Point)

ทุกครั้งที่มีการขึ้นบัญชีรายชื่อสาร POPs รายการใหม่ ภาคีสมาชิกมีพันธกรณีภายใต้ข้อบทที่ 7 ของ อนุสัญญาฯ ที่ต้องประเมินสถานการณ์ภายในประเทศ ทบทวนและปรับปรุงแผนการจัดการระดับชาติ ให้ ครอบคลุมการจัดการสาร POPs ชนิดใหม่ และจัดทำรายงานเสนอต่อสำนักเลขาธิการอนุสัญญาฯ ภายใน กำหนดเวลา 2 ปีหลังสารนั้นๆ มีผลบังคับใช้กับประเทศของตน ปัจจุบัน ไทยอยู่ระหว่างการพิจารณาอนุมัติ แผนการจัดการระดับชาติ ฉบับที่ 2 เพื่อจัดส่งให้กับสำนักเลขาธิการอนุสัญญาสตอกโฮล์ม ตามพันธกรณี

สาร HBCD

สารเฮกซะโบรโมไซโคลโดเดเคน (Hexabromocyclododecane) หรือสาร HBCD เป็นสารเคมีสังเคราะห์ ที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้เติมลงในวัสดุที่ลุกเป็นไฟได้ง่ายเพื่อลดความเสี่ยงจากก่ออัคคีภัย เช่น พลาสติกและสิ่งทอ สาร HBCD เป็นสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน ที่ได้ถูกขึ้นบัญชีเป็นสาร POPs ภายใต้อนุสัญญาสตอกโฮล์มมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2013

Br Br Br Br Br Br Br
$$\alpha$$
-HBCD β -HBCD γ -HBCD

รูปที่ ๒: โครงสร้างทั่วไปของ HBCD 3 ไอโซเมอร์สเตอริโอหลัก lpha-, eta- และ γ -HBCD (ประยุกต์จาก PubChem 1)

สาร HBCD (สูตรเคมี $C_{12}H_{18}Br_6$) มีลักษณะเป็นผงสีขาวไม่มีกลิ่น ในทางทฤษฎี HBCD สามารถมีรูปแบบ การเรียงตัวในโครงสร้างโมเลกุล (ไอโซเมอร์สเตอริโอ) ได้ 16 แบบ (6 คู่ และ 4 เดี่ยว) ซึ่งแต่ละแบบมีสมบัติทาง เคมีฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน แต่จากการสำรวจสาร HBCD ที่มีใช้จริงในภาคอุตสาหกรรม พบว่า Technical HBCD ที่ สังเคราะห์ขึ้นจะเป็น 1,2,5,6,9,10-HBCD เป็นหลัก ซึ่ง HBCD ชนิดนี้มี 3 คู่ไอโซเมอร์สเตอริโอหลัก ได้แก่ (+/-) α -, β -, γ - HBCD โดยมีสัดส่วน (+/-) α -HBCD ประมาณ 9–13% (+/-) β - HBCD ประมาณ 0.5–12% และ (+/-) γ -HBCD ประมาณ 72–90% โดย HBCD ที่ผลิตจากผู้ผลิตแต่ละรายอาจมีสัดส่วน α -, β -, γ - HBCD แตกต่างกัน เล็กน้อย (Schrenk et al. 2021) สาร HBCD ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมยังสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มจุด

_

¹ https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/

หลอมเหลวต่ำ (LM หรือ low-melting) สำหรับงานที่ใช้อุณหภูมิต่ำ (เช่น การผลิตโฟมและการทาทับหลังสิ่งทอ) และ กลุ่มจุดหลอมเหลวสูง (HM หรือ high-melting) สำหรับกระบวนการผลิตที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง (เช่น งานฉีด ขึ้นรูปพลาสติก) โดย HBCD กลุ่ม LM มี γ - HBCD อยู่ประมาณ 70-80% ในขณะที่กลุ่ม HM มี γ - HBCD อยู่ มากกว่า 90% (European Commission 2008) สาร HBCD มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ และละลายน้ำได้น้อย มาก โดย γ - HBCD ละลายน้ำได้น้อยกว่า α - และ β -HBCD มาก จึงคาดว่าสาร HBCD ที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะ แยกตัวออกจากน้ำและเกาะติดกับตะกอนดิน (ดู ตารางที่ ๑)

ตารางที่ ๑: สมบัติทางฟิสิกส์เคมีที่สำคัญของสาร HBCD (European Commission 2008)

คุณสมบัติ	α -HBCD	β-HBCD	γ- HBCD
ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	2.24-2.38		
การละลายน้ำ (ไมโครกรัม/ลิตร)	48.8±1.9	14.7±0.5	2.1±0.2
สัมประสิทธิ์กระจายสารในออกทานอลต่อน้ำ (Log K _{ow})	5.07	5.12	5.47
จุดเดือด (°C)	สลายตัวที่ > 190°C		
ความดันไอ (Pa ที่ 21°C)	6.3×10 ⁻⁵		

สาร HBCD ที่มีการผลิตขึ้นเกือบทั้งหมด (>95%) ใช้เป็นสารหน่วงการติดไฟสำหรับโฟม expanded polystyrene foams (EPS) และโฟม extruded polystyrene foams (XPS) สำหรับใช้เป็นฉนานในอาคารและ สิ่งก่อสร้าง (เช่นคลังสินค้า ห้องคลีนรูม และห้องเย็น ฯลฯ) สาร HBCD บางส่วนยังถูกนำไปใช้เป็นสารหน่วงการติด โฟใน high impact polystyrene (HIPS) สำหรับผลิตชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Rani et al. 2014; UNEP 2017) และทาทับหลังสิ่งทอ (US EPA 2010) และผ้าในงานยานยนต์ (Ministry of Environment and Food of Denmark 2018) นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่ามีการใช้ HBCD เป็นฟลักซสำหรับการบัดกรีโลหะ (US EPA 2020) สำหรับในประเทศไทย ในอดีตเคยมีการใช้ HBCD เป็นสารหน่วงการติดไฟในโฟม EPS เกรดไม่ลามไฟ (Self-Extinguishing EPS หรือ SE-EPS) (MTEC 2020)

สาร HBCD ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ มีชื่อทางการค้าแตกต่างกันตามผู้ผลิตและเกรดของสินค้า ตัวอย่างชื่อที่ ทางการค้าที่เคยมีการรายงานได้แก่ Bromkal 73-6CD; Nikkafainon CG 1; Pyroguard F 800; Pyroguard SR 103; Pyroguard SR 103A; Pyrovatex 3887; Great Lakes CD-75P™; Great Lakes CD-75; Great Lakes CD75XF; Great Lakes CD75PC (compacted); Dead Sea Bromine Group Ground FR 1206 I-LM; Dead Sea Bromine Group Standard FR 1206 I-LM; Dead Sea Bromine Group Compacted FR 1206 I-CM; FR-1206; HBCD ILM; HBCD IHM (UNEP 2021b)

สาร HBCD เป็นสารเคมีที่เป็นอันตราย สลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้ยาก สามารถสะสมและเพิ่มปริมาณสูงขึ้น ในสิ่งมีชีวิต ทำให้สาร HBCD ที่รั่วไหลลงสู่สิ่งแวดล้อมสามารถไหลผ่านห่วงโช่อาหารทั้งในน้ำและบนบก จาก ด้านล่างสู่ด้านบนของห่วงโช่อาหารได้ง่าย แม้จะเป็นการรั่วไหลเพียงระดับต่ำๆ (US EPA 2020) เมื่ออยู่ใน สิ่งแวดล้อม HBCD สลายตัวได้ช้ามาก โดยอัตราการสลายตัวจะเร็วกว่าเมื่ออยู่ในตะกอนดินเมื่อเทียบกับในดิน เร็ว กว่าเมื่ออยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนเมื่อเทียบสภาวะที่มีออกซิเจน เร็วกว่าเมื่อมีเชื้อจุลินทรีย์ช่วยย่อยเทียบกับไม่มี และสลายตัวในอัตราที่ไม่เท่ากัน (α -HBCD สลายตัวช้ากว่า γ - และ β -HBCD) (US EPA 2020) และเมื่อสาร HBCD เข้าไปสะสมในสิ่งมีชีวิตพบว่าส่วนใหญ่จะแปรสภาพไปเป็น α -HBCD ทั้งนี้เชื่อว่าอาจเป็นผลมาจากสมบัติ ทางฟิสิกส์เคมีที่แตกต่างกันของสาร HBCD แต่ละไอโซเมอร์สเตอริโอ และจากการแปรสภาพจาก γ - และ β - ไป เป็น α -HBCD เมื่อได้รับความร้อนและเมื่อถูกย่อยสลายในสิ่งมีชีวิต (NICNAS 2012; M. A. E. Abdallah et al. 2008)

ปัจจุบันได้มีการตรวจพบว่าสาร HBCD ได้แพร่กระจายไปทั่วโลก โดยพบการสะสมในปริมาณมากในสัตว์ผู้ ล่าที่อยู่ด้านบนของห่วงโช่อาหาร (Top predators) (UNEP 2015) ทั้งยังมีรายงานตรวจพบสาร HBCD ในมนุษย์ ซึ่งเป็นสัตว์ผู้ล่าที่อยู่ด้านบนสุดของห่วงโช่อาหาร ทั้งในเนื้อเยื่อไขมัน ในเลือด/น้ำเหลือง น้ำนมมารดา เส้นผม รก และเนื้อเยื่อทารกในครรภ์ (US EPA 2020; Brandon et al. 2019) โดยมนุษย์มีโอกาสได้รับสารนี้ ทั้งทางตรง (จากการทำงาน) และทางอ้อม (จากอาหารและสิ่งแวดล้อม รวมถึงฝุ่น ที่ปลดปล่อยออกจากสิ่งของเครื่องใช้ที่มีสาร HBCD ในตัว) โดยสาร HBCD สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ ได้ทั้งทางปากโดยการบริโภคอาหารและฝุ่นที่มีสาร HBCD ปนเปื้อน ทางจมูกโดยการหายใจนำอนุภาคฝุ่นที่มีสาร HBCD ปะปน/เกาะติดอยู่ และทางผิวหนังโดยการดูด ซึมสาร HBCD จากฝุ่น สำหรับเด็กและบุคคลทั่วไป เส้นทางหลักในการได้รับสัมผัสสารนี้ ส่วนใหญ่เป็นการได้รับ ทางอ้อมจากการบริโภคอาหารและฝุ่นที่ปนเปื้อน เด็กทารกยังมีโอกาสได้รับสาร HBCD ผ่านนมแม่ ทั้งยังมีโอกาส ได้รับสารนี้ผ่านสายรกตั้งแต่ในอยู่ในครรภ์มารดา (UNEP 2010) สำหรับการได้รับสัมผัสทางตรงจากการทำงานที่ เกี่ยวข้องกับ HBCD ส่วนใหญ่เกิดจากการได้รับฝุ่น ทั้งที่เป็นฝุ่น HBCD โดยตรงและฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการ ทำงาน (เช่น การตัด การบดย่อยขึ้นส่วนที่มี HBCD ในตัว) (European Commission 2008; NICNAS 2012; US EPA 2020)

สาร HBCD มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ แต่สำหรับในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สาร HBCD มีความเป็น พิษแบบเฉียบพลันในระดับต่ำ แต่เป็นพิษเรื้อรังต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในส่วนของระบบต่อมไร้ท่อ ตับ และ ระบบประสาทและสมอง สาร HBCD มีผลต่อระบบการสืบพันธุ์ ก่อภาวะบกพร่องทางสมอง ซึ่งส่งผลต่อ พัฒนาการและพฤติกรรม โดยผลบางอย่างสามารถสืบทอดสู่ลูกหลานในรุ่นถัดไปแม้ไม่เคยได้รับสัมผัสสารนี้ได้ (UNEP 2010) ในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป สาร HBCD ถูกจัดเป็นสารที่เป็นพิษต่อระบบการสืบพันธุ์ประเภท 2 (Reproductive toxicity, Category 2)

โฟม EPS และ XPS เกรดไม่ลามไฟ

สาร HBCD ที่ถูกผลิตขึ้นในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ (>95%) ถูกนำไปใช้เป็นสารหน่วงการติดไฟ สำหรับโฟม EPS และ XPS สำหรับใช้เป็นฉนวนอาคาร ซึ่งโดยทั่วไปอาคารเหล่านี้ จะมีอายุการใช้งานมากกว่า 50 ปี ในขณะที่ตัวแผ่นโฟม EPS/XPS สามารถมีอายุการใช้งานได้กว่า 100 ปี โดยในอดีตเม็ดโฟม EPS เกรดไม่ลามไฟ จะมีสาร HBCD ผสมอยู่ประมาณ 0.7-1% โดยน้ำหนัก ส่วน XPS มาสเตอร์แบซ จะมี HBCD ผสมประมาณ 40-70% ของน้ำหนักเม็ด pellet และโฟม XPS เกรดไม่ลามไฟ จะมีสาร HBCD ผสมอยู่ประมาณ 0.5-3% โดย น้ำหนัก (US EPA 2020) แต่ด้วยลักษณะเฉพาะตัวของสาร HBCD ที่ไม่ได้เป็นสารที่ระเหยง่าย (non-volatile solid) และแทบไม่ละลายน้ำ อีกทั้งลักษณะการใช้งานเป็นฉนวนอาคารที่มักไม่ถูกรบกวนจากแรงกระทำจาก ภายนอก โอกาสที่เกิดการรั่วไหลของสาร HBCD ออกจากแผ่นฉนวนอาคารในระหว่างการใช้งานจึงน้อย โดยผล การศึกษาของหลายประเทศ พบว่าความเสี่ยงจากการรั่วไหลและการได้รับสาร HBCD ที่ใช้ในงานฉนวนอาคารจะ อยู่ในช่วง การผลิตเม็ดโฟม การผลิตแผ่นโฟม การติดตั้งโฟมในอาคาร การบำรุงรักษา/ช่อมแชมอาคาร การรื้อถอน และการจัดการแผ่นโฟมหลังการใช้งาน (European Commission 2008; Environment Canada and Health Canada 2011; NICNAS 2012; US EPA 2020) ซึ่งมักมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่น HBCD และ ฝุ่นโฟมที่ปนเปื้อน HBCD ออกสู่สิ่งแวดล้อม

ในปีค.ศ. 2013 ที่ประชุม COP ของอนุสัญญาสตอกโฮล์มได้มีมติให้เพิ่มรายชื่อสาร HBCD ในบัญชีรายชื่อ สาร POPs ในภาคผนวก เอ (บัญชีรายชื่อสารที่ต้องกำจัด) มีผลทำให้ภาคีสมาชิก ต้องห้ามหรือดำเนินมาตรการ ภายในประเทศ เพื่อกำจัดการผลิต การใช้ การนำเข้า และการส่งออกสาร HBCD โดยมีข้อยกเว้นเฉพาะด้าน (specific exemptions) สำหรับการผลิตในประเทศภาคีสมาชิกที่มีรายชื่อในบัญชีรายชื่อประเทศที่ขอรับการ ยกเว้น (register of specific exemptions) และสำหรับการใช้งานในโฟม EPS และ XPS ในงานอาคาร

โดยภาคีสมาชิกจะต้อง ดำเนินมาตรการที่จำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าจะสามารถบ่งชี้ (identify) โฟม EPS และ XPS ที่มีสาร HBCD ในตัวได้โดยง่ายตลอดวงชีวิตของโฟม โดย "มาตรการที่จำเป็น" ครอบคลุมการปฏิบัติตาม คำแนะนำ เทคนิคที่ดีที่สุดและแนวการปฏิบัติด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด (Best available technique and best environmental practices: BAT & BEP) สำหรับการจัดการสาร HBCD (UNEP 2021a) และเนื่องจากขยะที่ ปนเปื้อนสาร POPs เกินค่าขีดจำกัดต่ำสุดของสารนั้นๆ (Low POPs contents) ถือเป็นขยะอันตรายภายใต้ อนุสัญญาบาเซล² ประเทศภาคีสมาชิกอนุสัญญาเบเซลทุกประเทศจึงมีพันธกรณีที่จะต้องลดการก่อขยะเหล่านี้ "พร้อมทั้งต้องมีการดำเนินการให้มั่นใจว่ามีสถานจัดการขยะที่เกี่ยวข้องอย่างเพียงพอ และทำให้มั่นใจว่าจะมีการ จัดการขยะเหล่านี้อย่างถูกหลักวิชาการ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าว ครอบคลุมการปฏิบัติตามคำแนะนำด้านเทคนิค ทั่วไปในการการจัดการขยะที่ปนเปื้อนสาร POPs (UNEP 2019) และคำแนะนำด้านเทคนิคในการจัดการขยะที่ ปนเปื้อน HBCD อย่างถูกวิธี (UNEP 2022)

แม้การขึ้นบัญชีสาร HBCD เป็นสาร POPs ที่ต้องกำจัดตามอนุสัญญาสตอกโฮล์ม จะนำไปสู่การเลิกผลิตสาร HBCD ในเชิงพาณิชย์แล้วในทั่วโลก หากแต่การรั่วไหลของสาร HBCD ลงสู่สิ่งแวดล้อมจะยังมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากยังมีสาร HBCD ที่ผลิตขึ้นมา ส่วนใหญ่ยังคงค้างอยู่ในโฟม SE-EPS ที่ยังใช้งานอยู่ในอาคารที่จะทะยอย หมดอายุและถูกรื้อถอนอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต กอรปกับแรงผลักดันการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อมุ่งสู่ระบบ เศรษฐกิจหมุนเวียน ซึ่งจะทำให้มีการนำชิ้นส่วน/วัสดุ ซึ่งรวมถึงแผ่นโฟมและโฟม EPS กลับมาใช้ซ้ำและรีไซเคิล มากขึ้น ความเสี่ยงจากสาร HBCD จึงยังจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ หากไม่มีการ บ่งชี้และแยกแยะแผ่นโฟมที่ปนเปื้อน สาร HBCD เพื่อสามารถควบคุมการรื้อถอน และการจัดการโฟมหลังการใช้งาน (End-of-life) อย่างถูกหลัก วิชาการ ทั้งนี้ พบว่าปัจจุบันเริ่มมีการรีไซเคิลโฟม EPS สำหรับบรรจุภัณฑ์ (European Commission 2019) มี การนำแผ่นโฟมฉนวนอาคารไปใช้ซ้ำในงานอื่น เช่น ทำเป็นทุ่นลอยน้ำ ทำเป็นกระถางต้นไม้ รวมถึงการตรวจพบ โฟมบรรจุภัณฑ์ที่มีสาร HBCD ปนเปื้อนแล้ว (Rani et al. 2014; M. A. Abdallah et al. 2018)

ประเทศไทย ไม่เคยมีการผลิตสาร HBCD ในเชิงพาณิชย์ แต่เคยมีการนำเข้ามาเพื่อใช้ ผสมในเม็ดโฟม EPS เพื่อผลิตเป็นโฟม EPS เกรดไม่ลามไฟ จากการสืบค้นข้อมูลจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าไม่มีรายงานการ นำเข้าสารนี้มาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2561 และเนื่องจากปัจจุบันผู้ผลิตทั่วโลกได้ยกเลิกการผลิตสาร HBCD แล้วจึงเชื่อว่าจะ ไม่มีการนำเข้าสาร HBCD เพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์แล้ว ความเสี่ยงในปลดปล่อยสาร HBCD ออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงอยู่ในขั้นตอนการซ่อมแซม/การรื้อถอนอาคาร การจัดการเศษวัสดุและป้องกันไม่ให้วัสดุที่ปนเปื้อนสาร HBCD กระจายไปปะปนกับวัสดุอื่นซึ่งจะทำให้เกิดการปนเปื้อนในวงกว้าง ซึ่งจะทำให้ระดับความเสี่ยงและภาระในการ บำบัดเพิ่มสูงขึ้นเป็นทวีคูณ และการกำจัดสาร HBCD ให้ได้อย่างสิ้นซาก (irreversible destruction) ซึ่งปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถกำจัด HBCD ได้อย่างสิ้นซาก โดยยังคงสามารถหมุนเวียนโพลิสไตรีนกลับมาใช้ ประโยชน์เพื่อทดแทนการใช้วัสดุจากแหล่งปฐมภูมิ (Virgin materials) ได้ หากแต่ยังไม่มีการพัฒนาและ/หรือการ นำเทคโนโลยีสาขานี้มาใช้ในประเทศ

ดังนั้น เพื่อลด/เลี่ยง การปลดปล่อยสาร HBCD ออกสู่สิ่งแวดล้อม และลดโอกาสการได้รับสัมผัสสาร HBCD จากการรื้อถอนหรือปรับปรุงอาคารที่มีสาร HBCD สิ่งสำคัญลำดับต้นๆ ที่ควรเร่งดำเนินการคือ**การเร่งสำรวจและ** เครื่องหมายเพื่อบ่งชี้โฟมที่มี HBCD ในตัวตามที่ระบุในเงื่อนไขการให้การยกเว้นของอนุสัญญาสตอกโฮล์ม รวมทั้งการพัฒนาและเผยแพร่แนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถป้องกันตัวและป้องกัน การปลดปล่อยได้อย่างถูกต้องเหมาะสม นอกจากนี้ ยังควรเตรียมความพร้อมในเชิงเทคโนโลยี เพื่อนำโฟมที่ถูกรื้อ

อนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนานกับสาร HBCD ในโฟม EPS เกรดไม่ลามไฟ

 $^{^{-2}}$ อนุสัญญาบาเซล ว่าด้วยการควบคุมการเคลื่อนย้ายข้ามแดนและการกำจัดของของเสียอันตราย

³ การลดการก่อขยะ ครอบคลุม การคัดแยกขยะที่มีสาร POPs ในตัวออกจากวัสดุอื่น ณ แหล่งกำเนิด เพื่อลดการก่อขยะที่มีสาร POPs ปนเปื้อนเกิน ขีดจำกัด (Low POPs contents)

ถอนไปกำจัดสาร HBCD ให้ได้อย่างปลอดภัย สอดคล้องกับแนวทางปฏิบัติของอนุสัญญาบาเซล และสอดรับกับ แผนการพัฒนาประเทศเพื่อมุ่งสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Abdallah, Mohamed Abou-elwafa, Martin Sharkey, Harald Berresheim, and Stuart Harrad. 2018. "Hexabromocyclododecane in Polystyrene Packaging: A Downside of Recycling?" Chemosphere 199: 612–16. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.084.
- Abdallah, Mohamed Abou Elwafa, Catalina Ibarra, Hugo Neels, Stuart Harrad, and Adrian Covaci. 2008. "Comparative Evaluation of Liquid Chromatography-Mass Spectrometry versus Gas Chromatography-Mass Spectrometry for the Determination of Hexabromocyclododecanes and Their Degradation Products in Indoor Dust." *Journal of Chromatography A* 1190 (1–2): 333–41. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.03.006.
- Brandon, Anja Malawi, Sahar H. El Abbadi, Uwakmfon A. Ibekwe, Yeo-Myoung Cho, Wei-Min Wu, and Craig S. Criddle. 2019. "Fate of Hexabromocyclododecane (HBCD), a Common Flame Retardant, in Polystyrene-Degrading Mealworms: Elevated HBCD Levels in Egested Polymer but No Bioaccumulation." *Environmental Science & Technology* 54 (1): 364–71.
- Environment Canada, and Health Canada. 2011. "Screening Assessment Report on Hexabromocyclododecane Chemical Abstracts Service Registry Number Environment Canada Health Canada November 2011."
- European Commission. 2008. "Risk Assessment: Hexabromocyclododecane CAS-No.: 25637- 99-4 EINECS No.: 247-148-4."
- ——. 2019. "Study to Support the Review of Waste Related Issues in Annexes IV and V of Regulation (EC) 850/2004." *European Commission*. https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/Study POPS Waste final.pdf.
- Ministry of Environment and Food of Denmark. 2018. "Updated National Implementation Plan for the Stockholm Convention 2018."
- MTEC. 2020. "Thailand's POPs Inventory Assessment Report Part 2 : Thailand's 2019 POPs Industrial Chemicals Inventory."
- NICNAS. 2012. "Hexabromocyclododecane." Priority Existing Chemical Assessment Report. Vol. 34. https://doi.org/10.1016/j.jana.2012.06.003.
- Rani, Manviri, Won Joon, Gi Myung, Mi Jang, Young Kyoung, and Sang Hee. 2014. "Hexabromocyclododecane in Polystyrene Based Consumer Products: An Evidence of Unregulated Use." Chemosphere 110 (2014): 111–19. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.022.
- Schrenk, Dieter, Margherita Bignami, Laurent Bodin, James Kevin Chipman, Jesús del Mazo, Bettina Grasl-Kraupp, Christer Hogstrand, et al. 2021. "Update of the Risk Assessment of Hexabromocyclododecanes (HBCDDs) in Food." *EFSA Journal* 19 (3). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6421.
- UNEP. 2010. "Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the Work of Its Sixth Meeting: Risk Profile on Hexabromocyclododecane."
- ——. 2015. "Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Contianing or Contaminated with Hexabromocyclododecane." *Basel Convention Technical Guidelines*. https://doi.org/10.4135/9781412953924.n64.
- ----. 2017. "Guidance for the Inventory of Hexabromocyclododecane (HBCD)."
- ——. 2019. Technical Guidelines: General Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants.
- ——. 2021a. "Guidance on Best Available Techniques and Best Environmental Practices for the Use of Hexabromocyclododecane Listed with Specific Exemptions under the Stockholm Convention." *Stockholm Convention*. https://doi.org/10.36548/jscp.2021.1.
- ——. 2021b. "Guidance on Preparing Inventories of HBCD." Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions, United Nations Environment Programme, Geneva. https://doi.org/10.4135/9781412971867.n117.
- ——. 2022. "General Technical Guidelines on the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants." *Basel Convention*.
- US EPA. 2010. "Hexabromocyclododecane (HBCD) Action Plan," 1–12.
- ——. 2020. "Risk Evaluation for Cyclic Aliphatic Bromide Cluster (HBCD)." https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1._risk_evaluation_for_cyclic_aliphatic_bromide_cluster_hbcd_casrn25637-99-4_casrn_3194-5_casrn_3194-57-8.pdf.