

มลพิษพลาสติก

ในสถานที่ทำงาน

การสัมผัสสารเคมีในผู้ทำงานคัดแยก
และรีไซเคิลพลาสติก

พฤศจิกายน 2567

มูลนิธิบูรณะนิเวศ

มลพิษพลาสติก ในสถานที่ทำงาน

การสัมผัสสารเคมี ในผู้ทำงานคัดแยก และ รีไซเคิลพลาสติก

Plastics Poison the Workplace:
Chemical Exposures to Plastic Waste and Recycling Workers

พฤศจิกายน 2567

ARNIKA IPEN for a toxics-free future สสส

มลพิษพลาสติกในสถานที่ทำงาน:
การสัมผัสสารเคมีในผู้ทำงานคัดแยกและรีไซเคิลพลาสติก

พฤศจิกายน 2567



ผู้วิจัย:

Sara Brosché[1], Jitka Straková[1,2], Nikola Jelínek[2], เพ็ญโฉม แซ่ตั้ง[3], ฐิติกร บุญทองใหม่[3], นิชชาวัลย์ บุบผาชาติ[3], ชุติมณฑน์ โถวสกุล[3], พิสิทธิ์ ศรีพุ่มไข่[3]

1. เครือข่ายการกำจัดมลพิษระหว่างประเทศ (IPEN), โกเธนเบิร์ก, ประเทศสวีเดน
2. สมาคมอาร์นิกา (Arnika) – โครงการสารพิษและของเสีย, ปราก, สาธารณรัฐเช็ก
3. มูลนิธิบูรณะนิเวศ, นนทบุรี, ประเทศไทย

เครือข่ายการกำจัดมลพิษระหว่างประเทศ (IPEN)
เป็นเครือข่ายของภาคประชาสังคมที่มีองค์กรสมาชิกทำงานในกว่า 100 ประเทศ เพื่อลดและกำจัดอันตรายของสารเคมีอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
www.ipen.org

สมาคมอาร์นิกา
เป็นองค์กรภาคประชาสังคมในสาธารณรัฐเช็ก ตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2544 มีเป้าหมายเพื่อปกป้องธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ดี เพื่อคนรุ่นต่อไป ทั้งในประเทศและต่างประเทศ
www.arnika.org

มูลนิธิบูรณะนิเวศ
เป็นองค์กรภาคประชาสังคม เพื่อความยั่งยืนทางสังคม สิ่งแวดล้อม และความยุติธรรมในสังคมไทย รวมทั้งส่งเสริมความเป็นธรรมจากภาวะโลกร้อน ธรรมาภิบาลที่ดี และความรับผิดชอบของหน่วยงานของภาครัฐและภาคเอกชน มูลนิธิบูรณะนิเวศเน้นติดตามผลกระทบของสารอันตรายต่อระบบนิเวศ ชุมชนท้องถิ่น และสุขภาพของคนงาน
www.earththailand.org





ออกแบบรูปเล่ม: *ชนากานต์ เหล่าสารคาม*



© 2567. เครือข่ายการกำจัดมลพิษระหว่างประเทศ (IPEN). ห้ามนำส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมด ไปใช้ ทำซ้ำ ดัดแปลง แก้ไข ก่อนได้รับอนุญาต

การอ้างอิงข้อมูลจากรายงานนี้: Brosché, s., *et al. 2024. Plastics Poison the Workplace: Chemical Exposures to Plastic Waste and Recycling Workers.* IPEN, Arnika, and EARTH.





สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร 6

ที่มาและความสำคัญ 9

เป้าหมายของการศึกษา 15

ขั้นตอนและวิธีการศึกษา 16

ขยะพลาสติกและการรีไซเคิลในประเทศไทย 19

ขยะพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์เป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพของคนทำงานรีไซเคิลในประเทศไทย 20

สารเคมีที่พบในการศึกษา 22

ผลการศึกษาที่มีนัยสำคัญมากที่สุด 31

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 52

เอกสารอ้างอิง 55

ภาคผนวก ก 59
ผลการวิเคราะห์สารเคมีในตัวอย่าง

ภาคผนวก ข 62
รายละเอียดการเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างสายรัดข้อมือ

บทสรุปผู้บริหาร

พลาสติกผลิตขึ้นมาจากสารเคมีหลายพันชนิด สารเคมีส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มปิโตรเคมีที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยสารเคมีหลายชนิดเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ และมีหลายชนิดยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นอันตราย

สารเคมีอันตรายเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาตลอดวงจรชีวิตของพลาสติก รวมถึงในกระบวนการจัดการขยะพลาสติกหรือการรีไซเคิลพลาสติก

มูลนิธิบูรณะนิเวศเป็นสมาชิกของเครือข่ายการกำจัดมลพิษระหว่างประเทศ (IPEN) ที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย ได้รับความร่วมมือจากกลุ่มคนทำงานในกิจการรีไซเคิลพลาสติก คนทำงานจัดการขยะพลาสติก และคนทำงานอาชีพอื่นในสภาพแวดล้อมที่ต่างออกไป เช่น สำนักงาน หรือที่ทำงานที่ไม่สัมผัสกับขยะพลาสติก เพื่อประเมินการสัมผัสสารเคมีในพลาสติก



ผู้เข้าร่วมการศึกษาจากทั้งสามกลุ่มได้สวมใส่สายรัดข้อมือที่ใช้ดูดซับสารเคมีจากการสัมผัสสารเคมีในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลาต่อเนื่อง 5 วัน (120 ชั่วโมง) สายรัดข้อมือดังกล่าวได้รับการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการอิสระเพื่อหาสารเคมีรวม 73 ชนิด จากสารเคมี 6 กลุ่ม ได้แก่ PAHs, พทาเลต (phthalates), สารทดแทนพทาเลต (phthalate alternatives), OPFRs, สารกันแสงยูวีเบนโซไตรอะโซล และฟีนอล (phenols) กับบิสฟีนอล (bisphenols) (เช่น BPA)





การศึกษานี้พบว่า

1. คนงานทั้งหมดสัมผัสกับสารเคมีทั้ง 6 กลุ่ม โดยคนงานแต่ละคนสัมผัสสารเคมีอย่างน้อย 21 ชนิด และสายรัดข้อมือทุกตัวอย่างพบสารเคมีอย่างน้อย 14 ชนิด โดยรวมแล้วผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการวิจัยที่เคยมีมาก่อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทุกคนมีความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีอันตรายในพลาสติก แม้ไม่ได้ทำงานเกี่ยวข้องกับพลาสติก



2. คนงานคัดแยกขยะพลาสติกและรีไซเคิลพลาสติกมีการสัมผัสสารเคมีมากกว่ากลุ่มอื่น โดยคนงานรีไซเคิลพลาสติกมีการสัมผัสจำนวนชนิดของสารเคมีสูงที่สุด และในบางกรณีพบว่ามีระดับการรับสัมผัสสูงสุดด้วย

3. สารพทาเลต (Phthalates) รวมถึงสารบางชนิดที่จัดเป็นสารรบกวนการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ (EDCs) ตรวจพบในความเข้มข้นสูงสุดในบรรดาสารเคมีทั้งหมด คนงานทั้งสามกลุ่มสัมผัสกับสารพทาเลตชนิด DEHP โดยคนงานคัดแยกขยะพลาสติกมีการสัมผัสในระดับที่สูงมาก ทั้งนี้สาร DEHP เป็นสารกลุ่ม EDCs ที่ห้ามใช้ในสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และจีน แต่ไม่มีการควบคุมในหลายประเทศทั่วทั้งแอฟริกา เอเชีย และละตินอเมริกา รวมถึงไทย

4. คนงานทั้งหมดในทั้งสามกลุ่มต่างสัมผัสกับสารทดแทนพทาเลต (Phthalate alternatives) ซึ่งเป็นสารที่นำมาใช้แทนสารพทาเลตที่ถูกควบคุม แต่ก็มีแนวโน้มที่จะมีอันตรายในลักษณะเดียวกัน การศึกษานี้จึงพบอันตรายของสารที่นำมาใช้ทดแทนสารที่มีอันตราย

5. สาร Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) เป็นกลุ่มสารก่อมะเร็งที่พบในพลาสติก และเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาพลาสติกหรือวัสดุชนิดอื่น ทั้งคนทำงานรีไซเคิลพลาสติกและคนงานคัดแยกขยะพลาสติกต่างก็สัมผัสกับสาร PAHs ในระดับความเข้มข้นสูงกว่าและจำนวนชนิดของ PAHs มากกว่าคนทำงานสำนักงาน

6. การสัมผัสสารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์ (OPFRs) ซึ่งเป็นสารที่มีผลต่อการพัฒนาระบบประสาทและการรบกวนการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ พบในคนงานรีไซเคิลพลาสติกสูงกว่าคนงานคัดแยกขยะพลาสติกและคนทำงานสำนักงาน



สารเคมีในพลาสติกส่วนใหญ่ไม่ได้รับการควบคุมโดยข้อตกลงระหว่างประเทศ และยังไม่อยู่ในข้อกำหนดของอนุสัญญาระดับโลกอื่นๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

เนื่องจากสารเคมีจากพลาสติกและขยะพลาสติกข้ามพรมแดนระหว่างประเทศได้ กฎระเบียบระดับประเทศเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถปกป้องสุขภาพมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมจากอันตรายของสารพิษเหล่านี้ได้ ดังนั้น การควบคุมสารเคมีอันตรายจึงควรเป็นองค์ประกอบสำคัญของสนธิสัญญาว่าด้วยพลาสติก (Plastics Treaty)

ที่มาและความสำคัญ

พลาสติกเป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายประเภท ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สารเคมีในพลาสติกคือ สารมอนอเมอร์ โพลิเมอร์ สารเติมแต่ง และสารที่ไม่ได้ตั้งใจให้มีอยู่ (non-intentionally added substances หรือ NIAS)



สารเคมีในพลาสติกส่วนใหญ่ยังไม่มีกฎหมายควบคุม และยังมีข้อมูลน้อยเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมจากสารเคมีส่วนใหญ่เหล่านี้ รายงานและการศึกษาจำนวนมากให้หลักฐานเกี่ยวกับสารเคมีในพลาสติกหลายพันชนิด รวมถึงการชี้ให้เห็นถึงสารเคมีหลายพันชนิดในพลาสติกเป็นสิ่งที่น่ากังวล ตัวอย่างเช่น รายงานการศึกษาล่าสุดระบุว่า มีสารเคมีมากกว่า 16,000 ชนิดที่ใช้หรือพบในวัสดุและผลิตภัณฑ์พวกพลาสติก ทั้งนี้สารเคมีในพลาสติกกว่า 10,000 ชนิดที่ยังมีข้อมูลน้อยมากหรือไม่มีเลยเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม ขณะที่มีสารเคมีในพลาสติกมากกว่า 4,200 ชนิดที่ถูกจัดว่าเป็นสารเคมีที่น่าห่วงกังวล รายงานฉบับเดียวกันนี้ยังสรุปด้วยว่า สารเคมีที่น่าห่วงกังวลกว่า 400 ชนิดสามารถพบได้ในพลาสติกชนิดหลักๆ เช่น พีวีซี (PVC) โพลียูรีเทน (Polyurethanes) พีอีที (PET) โพลีเอทิลีน (Polyethylene) และอื่นๆ (Wagner et al., 2024) และที่สำคัญ สารเคมีในพลาสติกสามารถปลดปล่อยออกมาในระหว่างกระบวนการผลิต การใช้งาน การรีไซเคิล และการกำจัดพลาสติก (Hahladakis et al., 2018)

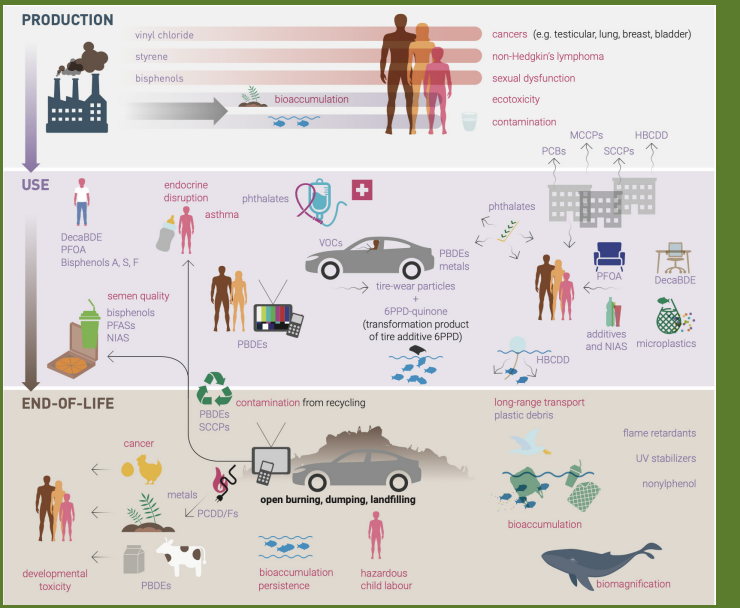
เมื่อนำพลาสติกไปรีไซเคิล สารเคมีอันตรายหลายชนิดจะถูกส่งต่อไปยังวัสดุพลาสติกรีไซเคิลอย่างควบคุมไม่ได้ และยังสามารถเกิดเป็นสารเคมีชนิดใหม่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการรีไซเคิลด้วย รวมไปถึงการปนเปื้อนอยู่ในผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคต่าง ๆ ที่ทำจากพลาสติกรีไซเคิล นี่เป็นสาเหตุว่าทำไมจึงพบสารกลุ่มไดออกซินปริมาณสูงในของเล่นเด็กและผลิตภัณฑ์เครื่องครัวที่ทำจากพลาสติกรีไซเคิล (Petrlik, 2021) วัสดุพวกพลาสติกยังสามารถปนเปื้อนสารเคมีชนิดอื่นได้ในระหว่างการใช้งานและการเอาสารเคมีปนเปื้อนในวัสดุเหล่านั้นไปเข้ากระบวนการรีไซเคิลด้วย ดังการศึกษาสารเคมีในเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่สามารถพบร่องรอยของสารเคมีหลายร้อยชนิด รวมถึงสารกำจัดศัตรูพืช ยา สารเคมีอุตสาหกรรม และสารเติมแต่งพลาสติก (Carmona et al., 2023)

ผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากสารเคมีในพลาสติก ได้แก่ โรคมะเร็ง ความเป็นพิษต่อระบบประสาท ความเป็นพิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน ความเป็นพิษต่อผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ และปัญหาอื่น ๆ อีกมากมาย (Azoulay et al., 2019) สารเคมีในพลาสติกจำนวนมากเป็นสารรบกวนการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ (EDCs) ซึ่งสารเหล่านี้สามารถแทรกแซงการทำงานตามธรรมชาติของฮอร์โมนในร่างกาย อาจนำไปสู่การเป็นโรค ความผิดปกติทางพันธุกรรม และส่งผลให้เกิดการเสียชีวิต (Gore et al., 2024)



การสัมผัสกับสารเคมีในพลาสติกเกิดขึ้นได้ทั่วไป กว้างขวาง และได้รับโดยตรงจากหลายช่องทาง ซึ่งรวมถึงจากการสกัดเชื้อเพลิงฟอสซิล การผลิต การใช้งาน การรีไซเคิล และการกำจัดพลาสติก กล่าวคือ เกิดขึ้นได้ “ตลอดวงจรชีวิตของพลาสติก” นอกจากนี้ยังมีการสัมผัสที่เกิดจากการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น เมื่อสารเคมีในพลาสติกก่อมลพิษในดิน น้ำ และอากาศ มนุษย์สามารถสัมผัสสารเคมีในพลาสติกได้ทั้งจากการสัมผัสโดยตรงและจากสิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ อาหาร น้ำ ฝุ่น และสื่ออื่นๆ ที่เคยสัมผัสกับพลาสติก (Gore et al., 2024) แม้ว่าสารเคมีบางชนิดจะถูกขับออกจากร่างกายภายในระยะเวลาไม่นานหลังการสัมผัส แต่บางชนิดสามารถสะสมอยู่ในไขมัน กระดูก หรือจับตัวกับโปรตีน และอยู่ในร่างกายได้นานหลายเดือน หลายปี หรือแม้กระทั่งหลายสิบปี (Wagner et al., 2024) อย่างไรก็ตาม **ควรตระหนักว่าสารเคมีที่ถูกขับออกได้เร็วไม่ได้หมายความว่าจะปลอดภัยเสมอไป**





ที่มา: United Nations Environment Programme and Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions (2023). Chemicals in plastics: a technical report. Geneva



ในบางประเทศเริ่มมีการจัดการกับสารเคมีในพลาสติกบางชนิด แต่ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีในพลาสติกไม่ได้เป็นเพียงปัญหาระดับประเทศ แต่จัดเป็นปัญหาระดับโลก เนื่องจากวัสดุ ผลิตภัณฑ์ และขยะพลาสติกที่เข้าสู่ประเทศมักถูกค้าขายและขนส่งระหว่างประเทศผ่านเส้นทางการค้าที่ซับซ้อน ปราศจากความโปร่งใส หรือไม่สามารถติดตามได้ ทำให้ผู้บริโภคหรือผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับขยะพลาสติกไม่สามารถทราบได้ว่ามีสารเคมีในพลาสติกอะไรบ้าง ดังนั้น จำเป็นต้องมีการควบคุมระดับโลก เพื่อปกป้องสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากสารเคมีในพลาสติก ทั้งนี้ในปัจจุบันมีสารเคมีในพลาสติกน้อยกว่า 1% ที่อยู่ภายใต้การควบคุมตามข้อตกลงด้านสิ่งแวดล้อมพหุภาคีระหว่างประเทศ

คนบางกลุ่มได้รับผลกระทบจากสารเคมีในพลาสติกมากกว่ากลุ่มอื่น เช่น ชุมชนที่อาศัยใกล้กับแหล่งอุตสาหกรรมฟอสซิล หรือบริเวณที่มีการผลิต การรีไซเคิล และการกำจัดพลาสติก นอกจากชุมชนที่อาศัยอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมลพิษเหล่านี้ ยังมีผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมเหล่านี้ที่เผชิญความเสี่ยงสูงเช่นกัน

องค์การแรงงานระหว่างประเทศ (ILO) ได้ระบุผลกระทบด้านสุขภาพจากสารเคมีในพลาสติกต่อผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด ปัญหาระบบทางเดินหายใจ และเน้นย้ำว่าจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับการสัมผัสและผลกระทบของพลาสติกต่อผู้ปฏิบัติงาน (ILO, 2023)



ขั้นตอนและวิธีการศึกษา



สายรัดข้อมือซิลิโคนที่ผ่านการทำความสะอาดและจัดเตรียมตามรายละเอียดในภาคผนวก ข จากห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐานของมหาวิทยาลัยเคมีและเทคโนโลยี (University of Chemistry and Technology) กรุงปราก สาธารณรัฐเช็ก จากนั้นส่งไปยังมูลนิธิบูรณะนิเวศ (EARTH) สายรัดข้อมือเหล่านี้ถูกเก็บอย่างดีในกระป๋องโลหะ และใส่ถุงที่ปิดผนึกอย่างแน่นหนาอีกชั้นหนึ่ง จนกว่าจะเอาออกมาใช้งาน

ในการเตรียมการศึกษา มูลนิธิบูรณะนิเวศได้จัดประชุมกับกลุ่มอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการศึกษา เพื่ออธิบายวัตถุประสงค์และกระบวนการศึกษาด้วยสายรัดข้อมือ จุดประสงค์ของการใช้ข้อมูล และความสมัครใจของผู้เข้าร่วมกับการศึกษา อาสาสมัครที่เข้าร่วมการศึกษายินดีลงนามในแบบฟอร์มการยินยอมให้ข้อมูล ซึ่งรับรองว่าการศึกษานี้จะไม่เปิดเผยตัวบุคคลที่เข้าร่วมการศึกษา และผู้เข้าร่วมทุกคนมีสิทธิถอนตัวจากการศึกษาได้ทุกเมื่อ วิธีการวิจัยในงานวิจัยครั้งนี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมของมหาวิทยาลัยเคมีและเทคโนโลยี (University of Chemistry and Technology) กรุงปราก สาธารณรัฐเช็ก

อาสาสมัครผู้เข้าร่วมการศึกษานี้แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะการประกอบอาชีพ ประกอบด้วย

- **กลุ่มคนทำงานคัดแยกพลาสติก** 10 คน (ผู้หญิง 6 คน ผู้ชาย 4 คน)
- **กลุ่มคนทำงานในกิจการรีไซเคิลพลาสติก** 10 คน (ผู้หญิง 7 คน ผู้ชาย 3 คน)
- **กลุ่มควบคุม ที่เป็นผู้มีอาชีพไม่เกี่ยวข้องกับพลาสติก** 10 คน (ผู้หญิง 6 คน ผู้ชาย 4 คน)



เริ่มต้นการศึกษาด้วยการมอบสายรัดข้อมือที่บรรจุในกระป๋องโลหะ พร้อมรหัสตัวอย่างที่กำหนดไว้แก่อาสาสมัครแต่ละคน โดยใช้รหัสตัวอย่างแทนการระบุชื่ออาสาสมัคร อาสาสมัครทุกคนสวมสายรัดข้อมือพร้อมบันทึกวันและเวลาที่เริ่มใส่สายรัดข้อมือ และให้สวมใส่สายรัดข้อมือไว้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 วัน (120 ชั่วโมง)

อาสาสมัครแต่ละคนจะต้องกรอกแบบสอบถามก่อนเริ่มการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับวิถีชีวิต สภาพแวดล้อมและสภาพการทำงาน เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งที่มาของการสัมผัสสารที่เป็นไปได้ ในวันแรกอาสาสมัครทุกคนต้องกรอกแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้ชีวิต สภาพแวดล้อมในการทำงาน สภาพการทำงาน เพื่อเป็นข้อมูลแหล่งที่มาของการสัมผัสสารที่อาจมีผลต่อผลลัพธ์ของการศึกษา ในตอนท้ายของแต่ละวันของการศึกษา อาสาสมัครแต่ละคนจะต้องกรอกบันทึกประจำวันเกี่ยวกับกิจกรรมของพวกเขาในระหว่างวัน เพื่อให้สามารถระบุแหล่งที่มาของการสัมผัสที่อาจส่งผลต่อผลการศึกษาได้ หลังจากผ่านไป 5 วัน อาสาสมัครจึงถอดสายรัดข้อมือออก ใส่กลับเข้าไปในกระป๋องและใส่กระป๋องกลับเข้าไปในถุงเดิมและปิดผนึก จากนั้นถุงทั้งหมดจะส่งกลับไปยังสมาคมอาร์นิกา (Arnika Association) ในสาธารณรัฐเช็ก เพื่อส่งสายรัดข้อมือทั้งหมดไปวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการโดยไม่เปิดถุง

การศึกษานี้ยังได้ใช้ “ตัวอย่างเปล่า” หรือ “Field Blank” เพื่อจับการปนเปื้อนใด ๆ ก็ตามที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการจัดการสายรัดข้อมือก่อนหรือหลังเริ่มการศึกษา ตัวอย่างเปล่านี้ถูกเปิดเป็นเวลาสั้นๆ ประมาณ 1-3 นาที ในช่วงเริ่มต้นของการศึกษาเมื่อมีการแจกสายรัดข้อมือ จากนั้น

นอกจากนี้ บางพื้นที่ยังดำเนินธุรกิจขนาดเล็กที่บดพลาสติกเพื่อแปรรูปหรือขายต่อ การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานต่ำและไม่ปลอดภัย รวมถึงอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่ไม่เพียงพอ ประกอบกับความตระหนักรู้เกี่ยวกับอันตรายที่มีอย่างจำกัด ทำให้ผู้ปฏิบัติงานและครอบครัวของพวกเขาต้องสัมผัสกับสารพิษ อีกทั้งในหลายกรณีมีการจัดการขยะด้วยมือเปล่า โดยไม่มีการป้องกันตนเองเพื่อลดการสัมผัสกับสารอันตราย เช่น สารมลพิษตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม (POPs) และโลหะหนัก ซึ่งสามารถสะสมในสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยเฉพาะปัญหาระบบทางเดินหายใจและระบบต่อมไร้ท่อ

สถานการณ์นี้สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการปรับปรุงแนวปฏิบัติในการจัดการขยะให้ปลอดภัยยิ่งขึ้น และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องมีการกำกับดูแล เพื่อลดการสัมผัสสารเคมีที่เป็นอันตรายในสถานประกอบการการจัดการขยะพลาสติกของประเทศไทย



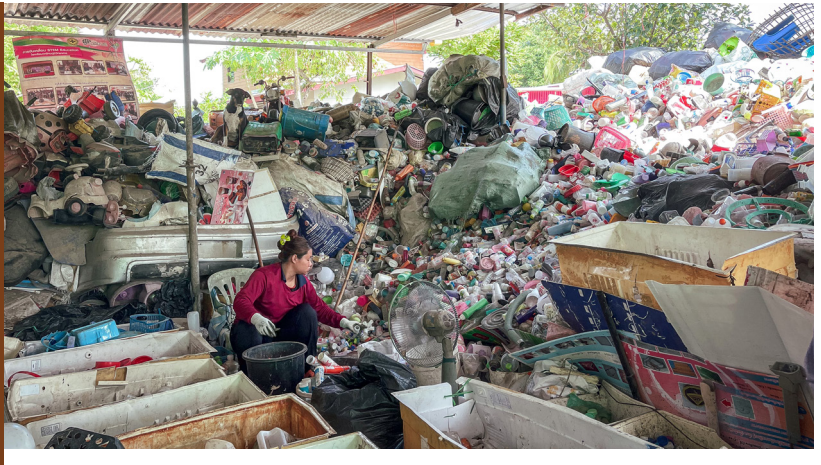
ขยะพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์เป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพของคนทำงานรีไซเคิลในประเทศไทย

สารดีคลอเรนพลัส (Dechlorane Plus) หรือ DP เป็นหนึ่งในสารหน่วงการติดไฟที่มีความเป็นพิษสูง ซึ่งใช้ในพลาสติก จากการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2564-2565 โดยมูลนิธิบูรณะนิเวศและ IPEN พบว่า คนงานรีไซเคิลในประเทศไทยมีสารพิษชนิดนี้สะสมอยู่ในร่างกายและปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารและสิ่งแวดล้อมรอบตัวในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบกับ



ระดับค่าเฉลี่ยของสารชนิดนี้ที่พบในตัวอย่างจากกลุ่มเกษตรอินทรีย์ จะพบว่าคนงานรีไซเคิลของไทยโดยเฉลี่ยแล้วมีระดับสาร DP ในเลือดสูงกว่าระดับปกติไปเกือบ 40 เท่า โดยพบค่าสูงสุดในคนงานรายหนึ่งซึ่งมีค่าสูงเกือบ 280 เท่าของระดับปกติที่พบในคนงานกลุ่มเกษตรอินทรีย์

การศึกษายังพบว่า การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและอาหารสามารถเป็นแหล่งที่มาของสาร DP ในมนุษย์ ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมและอาหารที่เก็บจากชุมชนรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ของไทยพบสาร DP ถึง 78% ของตัวอย่างทั้งหมด ขณะที่ตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่เกษตรอินทรีย์ของไทยที่ใช้เป็นพื้นที่อ้างอิงพบสารชนิดนี้เพียง 20% ของตัวอย่าง ผลการสุ่มตัวอย่างรอบสถานที่ประกอบการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ของไทยชี้ให้เห็นว่า การขนส่ง การจัดเก็บขยะอิเล็กทรอนิกส์ และการบดย่อยขยะพลาสติก เป็นแหล่งที่มาของการปนเปื้อนสาร DP ในสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลต่อคนงานกำจัดขยะตลอดห่วงโซ่การรีไซเคิลพลาสติก



สารเคมีที่พบในการศึกษา

การศึกษานี้ครอบคลุมสารเคมีรวม 6 กลุ่ม การเลือกสารเคมีกลุ่มนี้มาศึกษาเนื่องจากสารเคมีเหล่านี้เกี่ยวข้องกับพลาสติก มีผลกระทบต่อสุขภาพของคน และขาดเครื่องมือที่มีผลผูกพันทางกฎหมายระดับโลกเพื่อจะกล่าวถึงสารเคมีเหล่านี้จากการศึกษา

จากการศึกษาสารเคมีทั้ง 6 กลุ่มนี้
พบสารเคมีรวมทั้งหมด 73 ชนิด ดังนี้

1. **พทาเลต** (Phthalates) ..... 12 ชนิด
2. **สารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิดอื่น** (Other plasticizers) ..... 2 ชนิด
   หรือสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิดอื่นที่เป็นทางเลือกแทนพทาเลต (Phthalate alternatives)
3. **สารโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน** (PAHs) ..... 24 ชนิด
4. **สารป้องกันการสลายตัวของโพลีเมอร์จากรังสี UV** ..... 8 ชนิด
   ชนิดเบนโซ ไตรอะโซล (BUVs)
5. **ฟีนอลและบิสฟีนอล** (Phenols and bisphenols) ..... 6 ชนิด
6. **สารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์** ..... 21 ชนิด
   (Organophosphate flame retardants) หรือ OPFRs







1. พทาเลต (Phthalates)

การใช้

พทาเลตเป็นกลุ่มสารเคมีที่มีจำนวนสารเคมีหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่มักใช้ในผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิด PVC หรือ Polyvinyl Chloride เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความทนทาน พลาสติก PVC ถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พลาสติกหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค บรรจุภัณฑ์ อาหาร ผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก และพลาสติกทางการแพทย์ พทาเลตบางชนิดยังมีการนำไปใช้เพิ่มในผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พลาสติก



การสัมผัส

เนื่องจากเป็นสารเคมีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ทุกคนจึงมีโอกาสสัมผัสกับสารพทาเลตจากการใช้ผลิตภัณฑ์โดยตรง และจากแหล่งอื่น ๆ เช่น การปนเปื้อน อยู่ในฝุ่นบ้าน อาหาร และน้ำ

ผลกระทบต่อสุขภาพ

สารพทาเลตหลายชนิดได้รับการยืนยันว่าเป็นสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (Endocrine Disrupting Chemicals) หรือ EDCs นำไปสู่ผลกระทบต่อสุขภาพหลายด้าน พิษต่อระบบสืบพันธุ์ ลดระดับฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนและเอสโตรเจน และอาจส่งผลกระทบต่อภาวะการเจริญพันธุ์ (fertility) ในหลายชั่วอายุคน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับความดันโลหิตสูง โรคอ้วน ภาวะโลหิตจาง และอัตราการแท้งบุตรที่สูงขึ้น (Flaws et al., 2020)

ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศไทยมีการออกกฎหมายเพื่อควบคุมสารพทาเลต ชนิด DEHP, DBP, DEP,BBP, DINP, DIDP และ DNOP ในของเล่นเด็ก โดยห้ามมีปริมาณสารพทาเลตชนิดดังกล่าวเกิน 0.1% (โดยน้ำหนัก) ซึ่งคล้ายคลึงกับการควบคุมสารพทาเลตในของเล่นเด็กในหลายประเทศ เช่น อินโดนีเซีย เวียดนาม จีน

และฟิลิปปินส์ รวมถึงในกลุ่มประเทศพัฒนาและประเทศร่ำรวย เช่น สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และออสเตรเลีย โดยในสหภาพยุโรปสารพทาเลตบางชนิดสามารถใช้ได้ แต่ต้องได้รับอนุมัติก่อนนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์



2. สารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิดอื่นๆ (Other plasticizers)

หรือสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิดอื่นที่เป็นทางเลือกแทนพทาเลต (Phthalate alternatives)

การใช้

สารที่มีการนำมาใช้แทนการใช้พทาเลตเพื่อทำให้พลาสติกมีความนุ่มและยืดหยุ่นมากขึ้น ได้แก่ Trioctyl trimellitate (ToTM) และ bis (2-ethylhexyl) adipate (DEHA) พลาสติกที่มีส่วนประกอบของ DEHA และ ToTM ถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท เช่น บรรจุภัณฑ์อาหาร ของเล่นเด็ก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สิ่งทอ ผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล และอื่น ๆ อีกมาก

การสัมผัส

เนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย จึงตรวจพบการปนเปื้อนของสาร ToTM และ DEHA จากฝุ่นภายในบ้านในหลายตัวอย่าง และยังพบการปนเปื้อนในดินและตะกอน คนเราสามารถสัมผัสกับสารเหล่านี้ได้โดยตรงจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารดังกล่าว รวมถึงจากแหล่งอื่น ตัวอย่างเช่น ฝุ่นในบ้าน อาหาร และน้ำที่ปนเปื้อน

ผลกระทบต่อสุขภาพ

มีรายงานว่า ToTM สามารถก่อให้เกิดพิษต่อระบบต่อมไร้ท่อและระบบสืบพันธุ์ รวมถึงสร้างความเสียหายต่อเซลล์ (cytotoxicity) ส่วน DEHA พบว่ามีความเชื่อมโยงกับผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสมอง หัวใจ และเนื้อเยื่อตับ ที่เกิดจากความเครียดจากออกซิเดชั่น (คือภาวะที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายขาดความสมดุลระหว่างอนุมูลอิสระ (Free Radicals) และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งกระตุ้นให้เซลล์เกิดการอักเสบและเสียหาย) การอักเสบและกระบวนการเซลล์ตาย (apoptosis) (Tan et al., 2023)

ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ยังไม่มีการควบคุมสาร ToTM และ DEHA ในประเทศไทยหรือในประเทศอื่น ๆ แต่เฉพาะสาร ToTM อยู่ระหว่างการประเมินในสหภาพยุโรป เพื่อพิจารณาความจำเป็นในการควบคุมทางกฎหมาย



3. สารโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) หรือ PAHs

การใช้

กลุ่มสาร PAHs เป็นกลุ่มของสารเคมีที่มีจำนวนมากกว่า 100 ชนิด ส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้ในพลาสติกอย่างตั้งใจ แต่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในเชื้อเพลิงฟอสซิล และยังสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเผาถ่านหิน น้ำมัน แก๊ส ไม้ พลาสติก และยาสูบ

การสัมผัส

ผู้คนส่วนใหญ่สัมผัสกับสาร PAHs ในชีวิตประจำวันจากอากาศ น้ำ ดิน และแหล่งอาหารที่ปนเปื้อน การสัมผัสสาร PAHs ในสถานที่ทำงานพบได้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในกลุ่มอาชีพนักดับเพลิง คนทำงานก่อสร้างถนน คนงานในอุตสาหกรรมเหล็ก และคนงานในอุตสาหกรรมยางและพลาสติก เป็นต้น

ผลกระทบต่อสุขภาพ

การสัมผัสกับสาร PAHs ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่หลากหลาย เช่น การเกิดมะเร็ง ผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์และต่อมไร้ท่อ ความเป็นพิษต่อระบบภูมิคุ้มกัน และความเป็นพิษต่อระบบประสาท (Sun et al., 2021)

ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศไทยยังไม่มีการควบคุมสาร PAHs ขณะที่หลายประเทศได้กำหนดเกณฑ์สำหรับการสัมผัสในงานอาชีพ การปนเปื้อนในอาหารและสิ่งแวดล้อม รวมถึงจำกัดปริมาณ PAHs ในผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กและสินค้าอุปโภคบริโภคอื่นๆ



4. สารป้องกันการสลายตัวของโพลีเมอร์จากรังสี UV ชนิดเบนโซ ไตรอะโซล (Benzotriazole UV Stabilizers) หรือ BUVs

การใช้

สารกลุ่ม BUVs เป็นกลุ่มสารเคมีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในพลาสติกเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกจากการสัมผัสกับรังสียูวีจากแสงอาทิตย์ สารบางชนิดในกลุ่มนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในครีมกันแดดและผลิตภัณฑ์บำรุงผิวเพื่อป้องกันผิวหนังจากรังสียูวี

การสัมผัส

เนื่องจากการใช้งานที่แพร่หลายของสาร BUVs ทำให้มีการตรวจพบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน อากาศ และน้ำ รวมถึงตรวจพบในน้ำนมแม่ สาร BUVs ยังสามารถหลุดรอดจากวัสดุบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหาร อีกทั้งการสัมผัสกับสาร BUVs ยังสามารถเกิดขึ้นในระหว่างการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารนี้ผสมอยู่ และจากฝุ่นในบ้าน อาหาร และน้ำที่ปนเปื้อน

ผลกระทบต่อสุขภาพ

สาร BUVs มีความเชื่อมโยงกับผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น การรบกวนการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ ความเสียหายต่อการทำงานของตับและไต และผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน (Khare et al., 2023; Zhou et al., 2023)

ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยเป็นภาคีในอนุสัญญาสตอกโฮล์ม ซึ่งกำหนดให้สาร BUVs ชนิด UV-328 ถูกควบคุมทั่วโลก อย่างไรก็ตาม สาร BUVs ชนิดอื่น ๆ ยังไม่ได้รับการควบคุมในประเทศไทย เช่นเดียวกับในหลายประเทศทั่วโลก แต่ในสหภาพยุโรป สาร BUVs ชนิด UV-327, UV-350 และ UV-320 ต้องได้รับอนุญาตก่อนนำไปใช้





5. ฟีนอลและบิสฟีนอล (Phenols and Bisphenols)

การใช้

สารในกลุ่มฟีนอลและบิสฟีนอลมีหลายชนิด การศึกษานี้วิเคราะห์เฉพาะสารอัลคิลฟีนอล (alkylphenols) 2 ชนิด คือ สารออกทิลฟีนอลและสารโนนิลฟีนอล (octylphenol and nonylphenol) ซึ่งใช้เป็นสารต้านการออกซิเดชั่นในพลาสติก รวมถึงการใช้งานอื่นๆ คือ ใช้ในสีลาเท็กซ์ ยาฆ่าแมลง และน้ำยาทำความสะอาดในอุตสาหกรรม บิสฟีนอลถูกใช้เป็นส่วนประกอบทางเคมีในพลาสติกพอลีคาร์บอเนตและเรซินอีพ็อกซี รวมถึงในวัสดุภายในกระป๋องอาหารและกระดาษใบเสร็จชนิดกระดาษความร้อน

การสัมผัส

แหล่งที่มาของการสัมผัสสารฟีนอลและบิสฟีนอล ได้แก่ การปนเปื้อนในฝุ่นในบ้าน อาหาร น้ำ และเครื่องดื่ม การศึกษาพบว่า แหล่งการสัมผัสบิสฟีนอลเอ (BPA) ทางอาหารส่วนใหญ่เกิดจากการหลุดรอดจากบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่ทำจากพลาสติกพอลีคาร์บอเนตและวัสดุในกระป๋องอาหาร

ผลกระทบต่อสุขภาพ

สารชนิดอัลคิลฟีนอลเกี่ยวข้องกับภาวะมีบุตรยากในผู้ชาย ทำให้จำนวนอสุจิต่ำ มีผลต่อการพัฒนาต่อมลูกหมากผิดปกติ การศึกษาการสัมผัสในสถานที่ทำงานพบว่า มีความเชื่อมโยงกับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของมะเร็งเต้านมในผู้ชายและผู้หญิง ทั้งนี้สาร BPA จัดเป็นสารรบกวนระบบต่อมไร้ท่อ (EDCs) ที่มีการศึกษามากที่สุด มีการรายงานผลกระทบต่อสุขภาพในหลายด้าน เช่น การพัฒนาสมองผิดปกติ ผลกระทบด้านการเจริญพันธุ์ที่ไม่พึงประสงค์ ภาวะมีบุตรยาก ความเสี่ยงต่อโรคเบาหวานที่เพิ่มขึ้น และความเกี่ยวข้องกับมะเร็งเต้านม ต่อมลูกหมาก รังไข่ และเยื่อบุโพรงมดลูก นอกจากนี้การศึกษายังแสดงให้เห็นว่า สารบิสฟีนอลชนิดอื่น ๆ มีผลกระทบที่คล้ายกัน (Gore et al., 2024)



กฎหมายและการควบคุมที่เกี่ยวข้อง

สาร BPA ถูกห้ามใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหารสำหรับทารกในประเทศไทย โดยอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการรับประทานอาหารสำหรับทารกและเด็กที่มีส่วนประกอบของ BPA ต้องมีคำเตือนบนฉลาก หลายประเทศทั่วโลกได้ห้ามการใช้ BPA ในขวดนมเด็กและวัสดุที่สัมผัสกับอาหารสำหรับเด็ก



6. สารหน่วงการติดไฟประเภทออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate Flame Retardants) หรือ OPFRs

การใช้

สารหน่วงการติดไฟประเภทออร์กาโนฟอสเฟต (OPFRs) เป็นกลุ่มสารเคมีมากกว่า 130 ชนิด ที่มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อทดแทนการใช้สารหน่วงการติดไฟประเภทโบรมีน เช่น ในผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ สิ่งทอ วัสดุก่อสร้าง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก (plasticizers) เพื่อทำให้พลาสติกมีความนุ่มและยืดหยุ่น

การสัมผัส

ส่วนมากมนุษย์จะสัมผัสสาร OPFRs จากอากาศภายในอาคารและฝุ่นที่ปนเปื้อน เนื่องจากมีการใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบสาร OPFRs ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ สิ่งมีชีวิต ตะกอน และดิน

ผลกระทบต่อสุขภาพ

หลักฐานทางวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นว่า สาร OPFRs เป็นสารทดแทนสารหน่วงการติดไฟประเภทโบรมีนที่มีความเป็นพิษและมีผลกระทบต่อสุขภาพคล้ายกัน เช่น การรบกวนระบบต่อมไร้ท่อ ความเป็นพิษต่อพัฒนาการและระบบประสาท นอกจากนี้ สาร OPFRs แต่ละชนิดยังมีความเป็นพิษเชื่อมโยงไปถึงระบบสืบพันธุ์ ความเป็นพิษต่อระบบประสาท ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ และโรคผิวหนังอักเสบด้วย (Blum et al., 2019; Chupeau et al., 2020)

ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

เช่นเดียวกับในหลายประเทศ ประเทศไทยยังไม่มีการควบคุมการใช้สาร OPFRs แต่ในสหภาพยุโรป สาร OPFRs บางชนิดถูกจำกัดการใช้ในของเล่น



ผลการศึกษาที่มีนัยสำคัญมากที่สุด

ความเข้มข้นของสารเคมีต่าง ๆ ที่ตรวจพบในสายรัดข้อมือ มีความแตกต่างกันภายในกลุ่มอาสาสมัครทั้งสามกลุ่ม โดยที่ระดับของสารเคมีในสายรัดข้อมือในบางตัวอย่างสูงกว่าตัวอย่างอื่นในกลุ่มเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาจากระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่แตกต่างกันต่อหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง จึงเลือกการเปรียบเทียบด้วยค่ามัธยฐาน (ค่ากลาง) เป็นหลัก มากกว่าค่าเฉลี่ย นอกจากนี้ เพื่อให้ผลลัพธ์เข้าใจง่าย และเปรียบเทียบได้สะดวกในการสื่อสารข้อมูล จึงมีการปัดเศษตัวเลขในข้อความ สำหรับรายละเอียดที่ครบถ้วน *ได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ก*

1. อาสาสมัครทุกคน มีการสัมผัสกับสารเคมีทุกประเภทที่มีการศึกษา

งานศึกษานี้ตรวจพบสารเคมีทั้ง 6 กลุ่มจากสายรัดข้อมือของอาสาสมัครทั้งหมดที่ร่วมโครงการ จากชนิดของสารเคมีที่รวมอยู่ในผลการวิเคราะห์ทางเคมีทั้งหมด 73 ชนิด มีสารเคมี 14 ชนิดที่ตรวจพบในสายรัดข้อมือทุกตัวอย่าง และสายรัดข้อมือแต่ละตัวอย่างพบสารเคมีอยู่ระหว่าง 21–41 ชนิด (ดูภาพที่ 2)

เช่นเดียวกับการศึกษาวิจัยอื่นๆ ที่พบว่าไม่มีสายรัดข้อมือใดที่พบชนิดของสารเคมีเหมือนกันทุกชนิด (Dixon et al., 2022) นอกจากนี้ยังตรวจพบสารเคมีในสายรัดข้อมือจากกลุ่มควบคุมในปริมาณที่สูงมาก

ตัวอย่างเช่น สายรัดข้อมือของอาสาสมัครกลุ่มควบคุม มีตัวอย่างหนึ่งพบปริมาณได-ไอโซบิวทิลพทาเลต (DiBP) สูงถึง 107,000 นาโนกรัมต่อกรัม ในขณะที่ตัวอย่างสายรัดข้อมือที่มีระดับสารเคมีชนิดนี้สูงรองลงมามีเพียง 2,400 นาโนกรัมต่อกรัม สำหรับกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติก พบว่า ตัวอย่างสายรัดข้อมือของคนงานรายหนึ่งมีสาร PAHs รวมปริมาณ 1,500 นาโนกรัมต่อกรัม ขณะที่ระดับที่สูงรองลงมาคือ 700 นาโนกรัมต่อกรัม และสายรัดข้อมือ 2 ตัวอย่างจากกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกตรวจพบสาร บิส (2-เอทิลเฮกซิล) พทาเลต (DEHP) ในปริมาณ 129,000 และ 157,000 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ลำดับสามมีค่า 74,000 นาโนกรัมต่อกรัม

2. สารพทาเลตมีปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในสายรัดข้อมือทุกตัวอย่าง





การศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์พบสารพทาเลตในตัวอย่างสายรัดข้อมือ 6 ชนิด จาก 12 ชนิด (ดูตารางที่ 1) และพบสารพทาเลตมากถึง 3 ชนิดในตัวอย่างสายรัดข้อมือทั้งหมดทุกเส้น ได้แก่ ไดเอทิลพทาเลต (DEP), ได-เอ็น-บิวทิลพทาเลต (DBP) และบิส (2-เอทิลเฮกซิล) พทาเลต (DEHP) (ดูภาพที่ 1ก - 1ค) โดย DEHP, DiBP, และ DBP เป็นสารเคมีที่ตรวจพบในปริมาณสูงสุด มีค่า 157,000 นาโนกรัม ต่อกรัม, 107,000 นาโนกรัมต่อกรัม และ 24,000 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ตรวจพบ DBP ในปริมาณต่ำ (38 นาโนกรัมต่อกรัม) ในตัวอย่างเปล่า (field blank)

ตารางที่ 1 ค่ามัธยฐานความเข้มข้นของพทาเลต 6 ชนิดที่ตรวจพบในสายรัดข้อมือจากแต่ละกลุ่มอาสาสมัครที่เข้าร่วมการศึกษา (นาโนกรัมต่อกรัม)

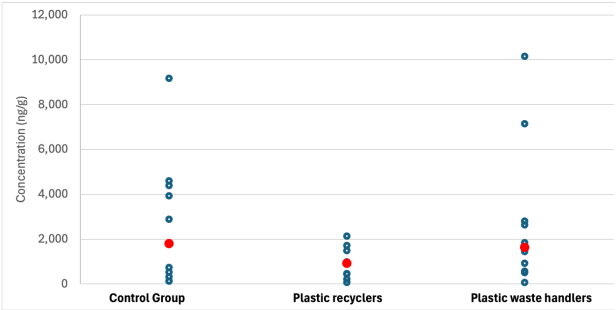
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติก	กลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติก
DMP	**11** (6.9 - 2,300)	**30***	**BLQ**
DEP	**1,800** (140 - 9,200)	**920** (72 - 2,100)	**1,600** (79 - 10,200)
DiBP	**450** (140 - 107,000)	**370** (BLQ - 800)	**470** (300 - 2,400)
DBP	**2,200** (750 - 24,000)	**2,300** (460 - 8,000)	**3,300** (1,200 - 16,000)
BBP	**69** (BLQ - 580)	**41** (7.8 - 1,547)	**110** (72 - 2,200)
DEHP	**8,400** (3,500 - 65,000)	**13,500** (5,500 - 73,900)	**46,600** (9,800 - 157,000)

หมายเหตุ: 1) BLQ หรือ Below limit of quantification หมายถึง ค่าต่ำกว่าช่วงที่สามารถทดสอบได้
2) * หมายถึง ตรวจพบในสายรัดข้อมือเพียง 1 ตัวอย่าง

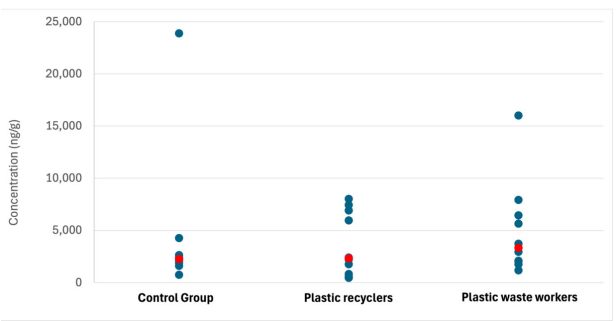
สารไดเมทิลพทาเลต (Dimethyl phthalate) หรือ DMP เป็นสารที่พบในตัวอย่างสายรัดข้อมือทั้งหมดของอาสาสมัครกลุ่มควบคุม แต่พบในกลุ่มอื่นเพียงตัวอย่างเดียว เนื่องจาก DMP เป็นสารที่ใช้ในเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ดูแลผิว และสารกันยุง จึงเป็นไปได้ว่าระดับที่ตรวจพบอาจมาจากการใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มากกว่ามาจากพลาสติก

เมื่อเปรียบเทียบค่ามัธยฐาน (median) ของสารพทาเลตที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือ พบว่า กลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกสัมผัสกับสาร DBP และ DEHP ระดับสูงกว่า และพบ BBP ในระดับที่สูงกว่าสารอื่นเล็กน้อย แต่พบสาร DEP และ DiBP ในระดับที่ต่ำกว่ากลุ่มอื่น

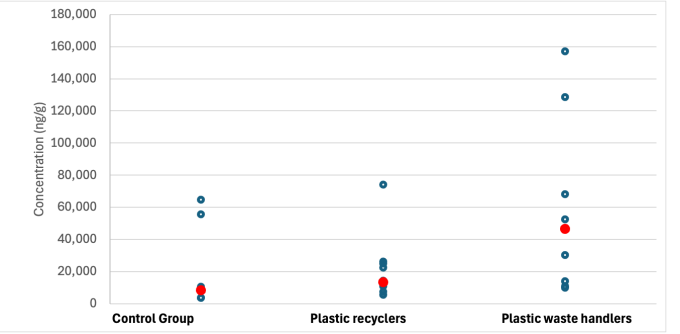




ภาพที่ 1ก
ค่าความเข้มข้นของ diethyl phthalate (DEP) (นาโนกรัมต่อกรัม) ที่พบในตัวอย่าง จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม



ภาพที่ 1ข
ค่าความเข้มข้นของ di-n-butyl phthalate (DBP) (นาโนกรัมต่อกรัม) ที่พบในตัวอย่าง จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม

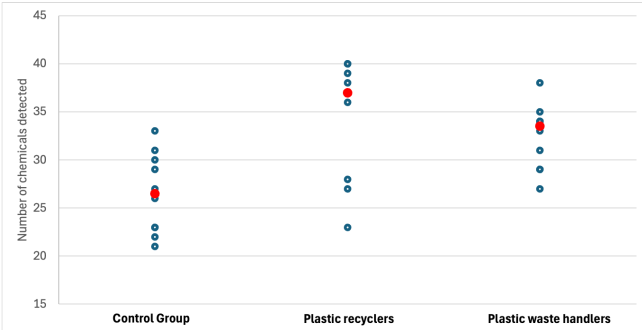


ภาพที่ 1ค
ค่าความเข้มข้นของ bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) (นาโนกรัมต่อกรัม) ที่พบในตัวอย่าง จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม

3. กลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติก สัมผัสกับสารเคมีในพลาสติกจำนวนสูงกว่ากลุ่มอื่น

จากผลการวิเคราะห์จำนวนสารเคมีที่สัมผัส พบว่า อาสาสมัครกลุ่มควบคุมสัมผัสกับชนิดสารเคมีน้อยกว่ากลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติก และกลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติก (ดูภาพที่ 2) โดยกลุ่มควบคุมมีการสัมผัสกับสารเคมีอยู่ระหว่าง 21–33 ชนิด ขณะที่กลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติกมีการสัมผัสกับสารเคมีอยู่ระหว่าง 23–40 ชนิด และกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกมีการสัมผัสกับสารเคมีอยู่ระหว่าง 27–38 ชนิด ค่ามัธยฐาน (ค่ากลาง) ของจำนวนสารเคมีที่ตรวจพบแต่ละกลุ่ม คือ 26.5, 37 และ 33.5 ชนิด ตามลำดับ





ภาพที่ 2
จำนวนสารเคมีที่ตรวจพบในแต่ละตัวอย่าง
จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม

การวิเคราะห์สารเคมีในตัวอย่างสายรัดข้อมือทั้งหมดสามารถยืนยันได้ถึงการสัมผัสสารเคมีหลายชนิดในกลุ่มอาสาสมัคร ที่ใช้สายรัดข้อมือเป็นเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive sampler) รวมถึงการสัมผัสสารเคมีกลุ่มพทาเลต (phthalates), สารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์ (OPFRs) และสารโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง



ขณะที่งานวิจัยที่ใช้สายรัดข้อมือเป็นเครื่องมือหลักในการศึกษาหลายชิ้นนั้นอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ก็มีการศึกษาจากภูมิภาคอื่นที่เผยถึงข้อมูลเชิงลึกเช่นกัน เนื่องจากระดับและรูปแบบของการสัมผัสสารอาจแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศและภูมิภาค ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการบริโภค ความหนาแน่นของประชากร และกฎหมายหรือมาตรฐานที่ควบคุมการใช้สารเคมี ผลการศึกษาครั้งนี้จึงนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ครอบคลุมลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่กว้างขึ้นโดยเฉพาะ

ตัวอย่างเช่น การศึกษาหนึ่งได้ประเมินการสัมผัสสารเคมี 1,530 ชนิดในประชากรทั่วไปจากชุมชนชนบทและเขตเมืองในประเทศเซเนกัล แอฟริกาใต้ สหรัฐอเมริกา และเปรู พบว่า สารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือแต่ละชิ้นมีจำนวนตั้งแต่ 4 ชนิด (ชุมชนในชนบทของแอฟริกา) ไปจนถึง 43 ชนิด (ในสหรัฐอเมริกา) มีสารเคมี 14 ชนิดที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือจำนวนครึ่งหนึ่ง รวมถึงสารพทาเลต 6 ชนิด และสารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์ 1 ชนิด จากสารเคมี 14 ชนิดนี้ 13 ชนิดถูกจัดเป็นสารรบกวนการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ (EDCs) สารเคมีที่มีแนวโน้มเป็นกลุ่ม EDCs มีจำนวนตั้งแต่ 4 ถึง 30 ชนิด

ต่อตัวอย่างสายรัดข้อมือ และจากสารเคมี 191 ชนิดที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือหนึ่งชิ้นหรือหลายชิ้น มีสารเคมีมากกว่า 96 ชนิดที่จัดว่าเป็นสารกลุ่ม EDCs (Dixon et al., 2019)

จากงานวิจัยที่ประเมินการสัมผัสของคนทำงานสำนักงานในประเทศสหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร จีน และอินเดีย พบสารเคมี 94 ชนิดจาก 99 ชนิดที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างสายรัดข้อมืออย่างน้อยหนึ่งชิ้น และตัวอย่างส่วนใหญ่มีการตรวจพบสารเคมีในแต่ละกลุ่ม นอกจากนี้ 98% ของตัวอย่างมีสาร PAHs อย่างน้อยหนึ่งชนิดหรือมากกว่า นอกจากนี้ โดยเฉลี่ยแล้ว สายรัดข้อมือแต่ละชิ้นมีสารเคมีที่ยังไม่รู้จัก 793 ชนิด เมื่อทดสอบผลกระทบต่อสุขภาพของสารเคมีที่รบกวนฮอร์โมนในตัวอย่างจากสายรัดข้อมือ พบว่าสารเคมีที่พบในตัวอย่างสายรัดข้อมือทุกชิ้นแสดงการรบกวนการทำงานของฮอร์โมน (Young et al., 2023)

ท้ายที่สุดนี้ มีการศึกษาการสัมผัสสารเคมีในกลุ่มนักศึกษาในประเทศอิตาลีและฝรั่งเศส พบสารเคมี 74 ชนิดจาก 92 ชนิดที่ตรวจวัดทั้งหมด โดยสามารถตรวจพบได้ในตัวอย่างสายรัดข้อมืออย่างน้อยหนึ่งชิ้น อีกทั้งยังพบสารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์และสาร PAHs ในหลายตัวอย่าง (Wang et al., 2020)



4. กลุ่มคนทำงานรีไซเคิลมีโอกาสสัมผัสสารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์ (OPFRs) มากกว่า



การวิเคราะห์ตัวอย่างสายรัดข้อมือในงานศึกษานี้ พบสารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์ (OPFRs) จำนวน 16 ชนิดจากทั้งหมด



21 ชนิดที่ทำการวิเคราะห์ โดยตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมืออย่างน้อย 1 ตัวอย่าง และสาร OPFRs อย่างน้อย 4 ชนิดถูกตรวจพบในสายรัดข้อมือทุกชิ้น ได้แก่ สาร tri-isobutyl phosphate (TiBP), tri-n-butyl phosphate (TnBP), tris(2-ethylhexyl) phosphate (TEHP), และ triphenyl phosphate (TPhP) โดยสาร TnBP ตรวจพบในระดับสูงที่สุดในตัวอย่างสายรัดข้อมือ 20 ตัวอย่าง (มีค่า 2.4 – 36 นาโนกรัมต่อกรัม) และความเข้มข้นสูงสุดของสาร OPFRs ที่ตรวจพบคือ tris(2-chloropropyl) phosphate ซึ่งพบเฉพาะในตัวอย่างสายรัดข้อมือ 2 ตัวอย่าง จากกลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติก มีค่า 62 และ 61 นาโนกรัมต่อกรัม



ค่าความเข้มข้นมัธยฐาน (ค่ากลาง) ของสาร TiBP และ TnBP ในกลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติกมีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น โดยมีค่ามัธยฐานของสาร TiBP อยู่ที่ 9.6 นาโนกรัมต่อกรัม ขณะที่กลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกและกลุ่มควบคุมมีค่า 3.1 และ 3.0 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับสาร TnBP กลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติกมีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 23 นาโนกรัมต่อกรัม ขณะที่กลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกและกลุ่มควบคุมมีค่า 7.9 และ 9.8 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

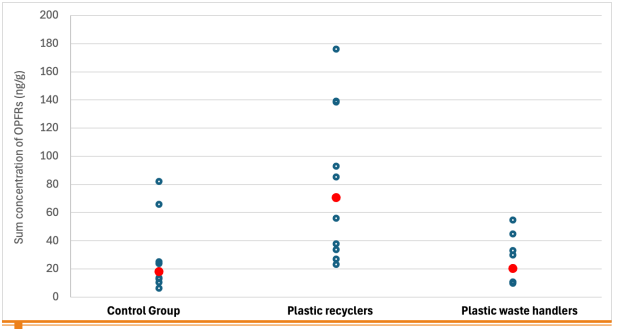
ค่าความเข้มข้นรวมและจำนวนชนิดของกลุ่มสาร OPFRs ที่ตรวจพบในกลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติกสูงกว่ากลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกและกลุ่มควบคุม (ดูภาพที่ 3ก และ 3ข) โดยกลุ่มควบคุมมีค่ามัธยฐานของความเข้มข้นรวมอยู่ที่ 18 นาโนกรัมต่อกรัม (ช่วง 6–82 นาโนกรัมต่อกรัม), กลุ่มผู้ปฏิบัติงานรีไซเคิลพลาสติกมีค่า 71 นาโนกรัมต่อกรัม (ช่วง 23–176 นาโนกรัมต่อกรัม) และกลุ่มผู้ปฏิบัติงานคัดแยก

ขยะพลาสติกมีค่า 20 นาโนกรัมต่อกรัม (ช่วง 10–55 นาโนกรัมต่อกรัม) อีกทั้งยังพบสาร TnBP ในปริมาณเล็กน้อย (0.12 นาโนกรัมต่อกรัม) ในตัวอย่างเปล่า หรือ field blank

ปริมาณความเข้มข้นของกลุ่มสาร OPFRs จำนวน 25 ชนิดที่พบจากการศึกษาครั้งนี้ มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่าการศึกษาในกลุ่มนักศึกษาจากประเทศอิตาลีและฝรั่งเศสซึ่งสวมสายรัดข้อมือต่อเนื่อง 5 วันเช่นกัน โดยค่ามัธยฐานของความเข้มข้นรวมในกลุ่มนักศึกษาในฝรั่งเศสอยู่ที่ 495 นาโนกรัมต่อกรัม และในอิตาลีอยู่ที่ 387 นาโนกรัมต่อกรัม (Wang et al., 2020) ซึ่งต่ำกว่าค่ามัธยฐานของกลุ่มสาร OPFRs จำนวน 31 ชนิดในตัวอย่างสายรัดข้อมือของพนักงานสำนักงานในสหรัฐอเมริกา (241 นาโนกรัมต่อกรัม), สหราชอาณาจักร (2,206 นาโนกรัมต่อกรัม), จีน (138 นาโนกรัมต่อกรัม) และอินเดีย (95 นาโนกรัมต่อกรัม) ที่สวมไว้เป็นเวลา 32 ชั่วโมง (Young et al., 2021) ท้ายสุดนี้ ค่าที่พบในการศึกษาปัจจุบันต่ำกว่าค่าความเข้มข้นรวมปานกลางของกลุ่มสาร OPFRs จำนวน 22 ชนิดที่ตรวจวัดในตัวอย่างสายรัดข้อมือจากงานวิจัยของประเทศเวียดนาม ที่เก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 7 วัน โดยกลุ่มควบคุมในฮานอย (58 นาโนกรัมต่อกรัม), คนทำงานรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ในหมู่บ้านบ่วยเด่า (230 นาโนกรัมต่อกรัม) และคนทำงานรีไซเคิลยานพาหนะเก่า (End-of-Life Vehicle) หรือ ELV ในหมู่บ้านเถวียน (170 นาโนกรัมต่อกรัม) (Matsukami et al., 2022)

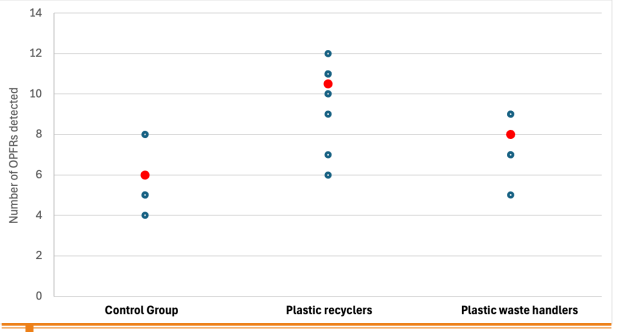


สาเหตุที่ความเข้มข้นในการศึกษาของประเทศไทยต่ำกว่าในประเทศอื่นอาจเกิดจากการใช้กลุ่มสาร OPFRs ที่แพร่หลายน้อยกว่า



ภาพที่ 3ก

ผลรวมความเข้มข้นของสารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์ (OPFRs) (นาโนกรัมต่อกรัม) ที่พบในตัวอย่าง จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม



ภาพที่ 3ข

จำนวนสารหน่วงการติดไฟชนิดฟอสเฟตอินทรีย์ (OPFRs) ที่พบในสายรัดข้อมือแต่ละตัวอย่าง จุดสีแดงคือ ค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม

5. กลุ่มคนทำงานคัดแยกและรีไซเคิลขยะ สัมผัสสาร PAHs มากกว่ากลุ่มควบคุม

จากการวิเคราะห์สาร PAHs ทั้งหมด 24 ชนิด พบ 16 ชนิดในตัวอย่างสายรัดข้อมืออย่างน้อย 1 ตัวอย่าง และพบสาร PAHs ทั้งหมด 3 ชนิดในตัวอย่างสายรัดข้อมือทั้งหมด ได้แก่ สารฟีแนนทรีน (phenanthrene), สารฟลูออแรนทีน (fluoranthene) และสารไพรีน (pyrene) โดยค่าความเข้มข้นในกลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติกและกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติก มีค่ามัธยฐานและค่าต่ำสุดของความเข้มข้นสูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกมีค่าความเข้มข้นของสาร PAHs สูงที่สุด (ตาราง 3)

ตารางที่ 3 ค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ของความเข้มข้นของสาร PAHs ที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือ (นาโนกรัมต่อกรัม)

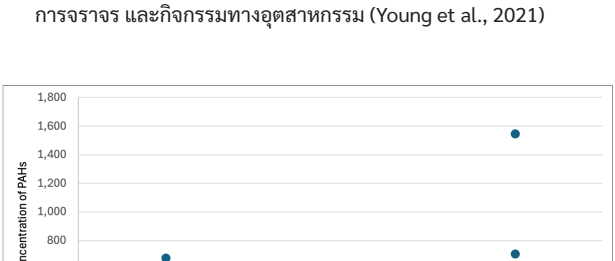
	ค่ามัธยฐาน			ค่าต่ำสุด			ค่าสูงสุด		
	กลุ่มควบคุม	กลุ่มรีไซเคิล	กลุ่มคัดแยก	กลุ่มควบคุม	กลุ่มรีไซเคิล	กลุ่มคัดแยก	กลุ่มควบคุม	กลุ่มรีไซเคิล	กลุ่มคัดแยก
ฟีแนนทรีน (Phenanthrene)	28	48	42	17	34	28	190	140	460
ฟลูออแรนทีน (Fluoranthene)	10	33	30	4	24	12	160	79	290
ไพรีน (Pyrene)	7	38	28	2	20	12	160	75	270

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกมีค่าสาร PAHs ทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุด ประกอบด้วย สารฟีแนนทรีน (phenanthrene) มีค่า 460 นาโนกรัมต่อกรัม, สารฟลูออแรนทีน (fluoranthene) มีค่า 290 นาโนกรัมต่อกรัม และสารไพรีน (pyrene) มีค่า 270 นาโนกรัมต่อกรัม โดยค่าสาร PAHs รวมสูงสุดที่ตรวจพบอยู่ที่ 1,545 นาโนกรัมต่อกรัม ขณะที่ในตัวอย่างเปล่า หรือ field blank พบปริมาณสารฟีแนนทรีน (phenanthrene), สารฟลูออแรนทีน (fluoranthene) และสารไพรีน (pyrene) ปริมาณเล็กน้อย (1–2 นาโนกรัมต่อกรัม)

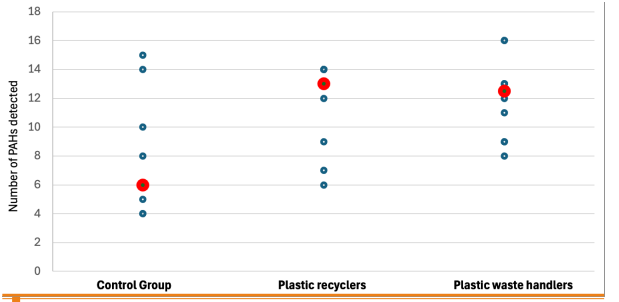
ผลการวิเคราะห์ยืนยันว่า กลุ่มคนทำงานรีไซเคิลและกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติก สัมผัสกับสาร PAHs ในระดับความเข้มข้นและจำนวนชนิดที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม (ดูภาพที่ 4ก และ 4ข) โดยกลุ่มควบคุมมีค่ามัธยฐานของสาร PAHs รวมอยู่ที่ 60 นาโนกรัมต่อกรัม (ช่วง 36–679 นาโนกรัมต่อกรัม), กลุ่มคนทำงานรีไซเคิลมีค่า 190 นาโนกรัมต่อกรัม (ช่วง 87–356 นาโนกรัมต่อกรัม) และกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกมีค่า 150 นาโนกรัมต่อกรัม (ช่วง 68–1,545 นาโนกรัมต่อกรัม)

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาการสัมผัสสาร PAHs ทั้งหมด 18 ชนิด (16 ชนิดเหมือนในงานวิจัยนี้) ในกลุ่มนักเรียนในประเทศฝรั่งเศส พบว่าค่ามัธยฐานรวมของความเข้มข้นของสาร PAHs ใกล้เคียงกันที่ 50 นาโนกรัมต่อกรัม ขณะที่ค่ามัธยฐานในกลุ่มนักเรียนจากประเทศอิตาลีมีค่าต่ำกว่า (21 นาโนกรัมต่อกรัม) (Wang et al., 2020)

สำหรับการศึกษาในกลุ่มพนักงานสำนักงาน เพื่อประเมินการสัมผัสกับสาร PAHs 20 ชนิด (15 ชนิดเหมือนในงานวิจัยนี้) พบว่าค่ามัธยฐานรวมของสาร PAHs ในสหรัฐอเมริกาและสหราชอาณาจักรต่ำกว่ากลุ่มควบคุมในงานวิจัยนี้เล็กน้อย (29 และ 34 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าความเข้มข้นในประเทศจีนและอินเดียสูงกว่า (118 และ 149 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ) งานวิจัยดังกล่าวได้อ้างอิงว่าประเทศจีนและอินเดียเคยถูกระบุว่ามีการปลดปล่อย PAHs มากที่สุดในโลก เนื่องจากมลพิษทางอากาศจากจำนวนประชากรที่หนาแน่นกว่า การจราจร และกิจกรรมทางอุตสาหกรรม (Young et al., 2021)



ภาพที่ 4ก
ผลรวมความเข้มข้นของสาร PAHs (นาโนกรัมต่อกรัม) ที่พบในตัวอย่าง จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม



ภาพที่ 4ข
จำนวนสาร PAHs ที่พบในสายรัดข้อมือแต่ละตัวอย่าง
จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม

6. ทุกกลุ่มศึกษาสัมผัสสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่เป็นทางเลือกอื่นแทนพทาเลต (phthalate plasticizer alternatives)

ในสหภาพยุโรป (EU) มีการใช้สารพลาสติกไซเซอร์หรือสารเพิ่มความยืดหยุ่นในพลาสติกที่เป็นทางเลือกแทนพทาเลตเป็นปกติมากขึ้น เนื่องจากมีข้อบังคับที่เข้มงวดในการใช้สารพทาเลต ดังนั้นสารทางเลือกเหล่านี้จึงมักตรวจพบทั่วไปในตัวอย่าง เช่น ฝุ่นในบ้านเรือน (Jung et al., 2024)

การศึกษาครั้งนี้มีการวิเคราะห์สารพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด ได้แก่ Bis(2-ethylhexyl) adipate (DEHA) และ Trioctyl trimellitate (TOTM) ซึ่งตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือทุกตัวอย่าง (ดูภาพที่ 5ก และ 5ข) การวิเคราะห์ในกลุ่มควบคุมพบระดับค่ามัธยฐานของสาร TOTM ต่ำกว่า

กลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกเล็กน้อย โดยกลุ่มควบคุมมีค่า 500 นาโนกรัมต่อกรัม ส่วนกลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติกมีค่า 740 นาโนกรัมต่อกรัม และกลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกมีค่า 750 นาโนกรัมต่อกรัม ขณะที่ระดับค่ามัธยฐานของสาร DEHA ในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกและกลุ่มคนทำงานรีไซเคิลพลาสติก โดยมีค่า 3,900 2,700 และ 1,600 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างเปล่าหรือ field blank มีค่า 217 นาโนกรัมต่อกรัม

ค่าที่ตรวจพบในการศึกษานี้สูงกว่าที่ตรวจพบจากพนักงานสำนักงานในการศึกษาของ Young et al., 2021 ซึ่งค่ามัธยฐานที่ตรวจพบดังนี้

สหรัฐอเมริกา
พบสาร DEHA 669 นาโนกรัมต่อกรัม และสาร TOTM 228 นาโนกรัมต่อกรัม

สหราชอาณาจักร
พบสาร DEHA 427 นาโนกรัมต่อกรัม และสาร TOTM 260 นาโนกรัมต่อกรัม

จีน
พบสาร DEHA 242 นาโนกรัมต่อกรัม และสาร TOTM 91.9 นาโนกรัมต่อกรัม

อินเดีย
พบสาร DEHA 753 นาโนกรัมต่อกรัม และสาร TOTM 485 นาโนกรัมต่อกรัม



ในการศึกษาการสัมผัสกับสารเคมีในกลุ่มนักศึกษามหาวิทยาลัย 3 กลุ่มในรัฐแคลิฟอร์เนียด้วยการสวมสายรัดข้อมือเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 5 วัน พบสารทั้ง DEHA และ TOTM ในทุกตัวอย่าง โดยค่ามัธยฐานของสาร DEHA อยู่ในช่วง 643.3–2,336 นาโนกรัมต่อกรัม และสาร TOTM



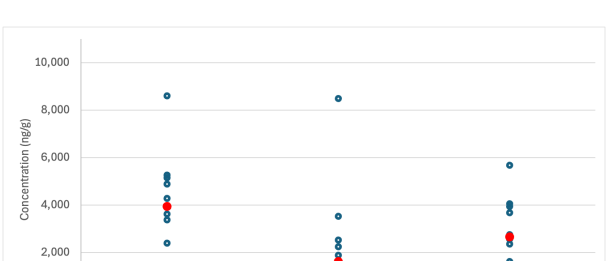




อยู่ในช่วง 25.92–246.4 นาโนกรัมต่อกรัม (Reddam et al., 2024) ซึ่งค่ามัธยฐานของสาร DEHA สูงกว่าการศึกษาของ Young แต่ไม่สูงเท่ากับกลุ่มควบคุมในการศึกษานี้

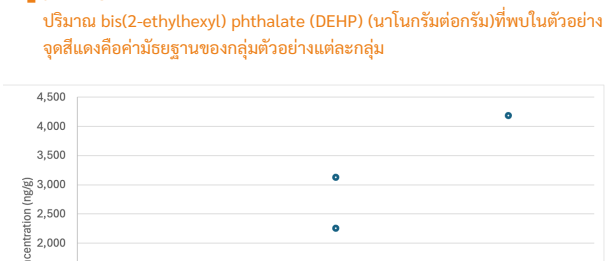
อย่างไรก็ตาม ช่วงระดับความเข้มข้นที่ตรวจพบในการศึกษานี้อยู่ในช่วงเดียวกับระดับความเข้มข้นที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือจากการศึกษาของ Young และ Reddam





ภาพที่ 5ก

ปริมาณ bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) (นาโนกรัมต่อกรัม)ที่พบในตัวอย่าง จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม



ภาพที่ 5ข

ปริมาณสารไตรออกทิล ไตรเมลลิเตต (TOTM) (นาโนกรัมต่อกรัม) ที่พบในตัวอย่าง จุดสีแดงคือค่ามัธยฐานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม







สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า อาสาสมัครที่เข้าร่วมการศึกษาทั้งหมดมีการสัมผัสกับสารเคมีหลากหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับพลาสติก ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนมีข้อกังวลต่อสุขภาพ รวมถึงสารเคมีหลายชนิดที่ได้รับการยืนยันหรือสงสัยว่าเป็นสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ (Endocrine Disrupting Chemicals: EDCs) สิ่งที่น่ากังวลอย่างยิ่งคือความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจพบในการวิเคราะห์ตัวอย่าง คือ สารพทาเลตชนิด DEHP DiBP และ DPB ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีการควบคุมอย่างเข้มงวดในสหภาพยุโรป เนื่องจากมีอันตรายสูงต่อสุขภาพของมนุษย์

นอกจากนี้ จำนวนสารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือแต่ละชิ้นยังทำให้เกิดความกังวลถึงผลกระทบร่วมจากการรวมตัวกันของชนิดสารเคมี ซึ่งจะมีสูงกว่าสารเคมีรายตัว ทั้งนี้การศึกษานี้ไม่ได้ศึกษาถึงสารเคมีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายชนิดอื่น เช่น สารกำจัดศัตรูพืช สารพาราเบน และสารหน่วงการติดไฟประเภทโบรมีน จึงเป็นไปได้อย่างมากที่อาสาสมัครเข้าร่วมการศึกษา รวมถึงคนทั่วไป จะสัมผัสกับสารเคมีอันตรายในชีวิตประจำวันมากกว่าที่พบในการศึกษานี้

คนทำงานรีไซเคิลพลาสติกและคนทำงานคัดแยกขยะพลาสติกมีการสัมผัสกับชนิดสารเคมีในพลาสติกสูงกว่าและมีความเข้มข้นสูงกว่ากลุ่มควบคุม สิ่งนี้เป็นการสนับสนุนสมมติฐานว่า อาชีพการทำงานของพวกเขาทำให้มีการสัมผัสสารเคมีในพลาสติกสูงกว่าคนทั่วไป

ดังนั้นพวกเขาจึงต้องได้รับการพิจารณาเป็นกลุ่มเปราะบางที่มีโอกาสได้รับและสัมผัสกับสารเคมีในพลาสติกสูงกว่าคนอื่น

ทุกคนมีสิทธิที่จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่สะอาด ปลอดภัย และยั่งยืน รวมถึงสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัยและมีสุขภาพดี แต่ประเทศรายได้ต่ำและปานกลางเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด แม้ว่าส่วนใหญ่จะไม่ได้เป็นผู้ผลิตพลาสติกรายใหญ่ ส่วนประเทศที่ร่ำรวยหรือประเทศที่พัฒนาแล้วก็ไม่สามารถปกป้องประชาชนจากสารเคมีอันตรายในพลาสติกได้โดยลำพัง



ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

- ต้องมีการควบคุมสารเคมีในพลาสติกในระดับทั่วโลกที่มีผลผูกพันทางกฎหมายตลอดวงจรชีวิตและข้ามภาคส่วนในสนธิสัญญาพลาสติกฉบับใหม่
- เลิกใช้สารเคมีอันตรายในพลาสติกด้วยการเลือกใช้สารเคมีทางเลือกที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน แต่ต้องมีการป้องกันความปลอดภัยในการใช้ด้วยการมีข้อบังคับควบคุมกลุ่มสารเคมีทางเลือกเหล่านี้
- ห้ามการรีไซเคิลพลาสติกที่มีหรือก่อให้เกิดสารเคมีที่เป็นพิษ พลาสติกควรถูกทำลายด้วยเทคโนโลยีอื่นที่ไม่ใช่การเผา
- ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกต้องเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีในพลาสติก และทำให้ข้อมูลนี้สามารถเข้าถึงได้ตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- นายจ้างต้องปฏิบัติตามภาระหน้าที่ในการป้องกันพนักงานของตนจากอันตรายของสารเคมีในพลาสติก โดยให้ความสำคัญกับการกำจัดสารอันตราย ในกรณีที่ทำไม่ได้ ให้เลือกใช้สารเคมีทางเลือกตามที่กำหนดไว้ตามลำดับชั้นของการควบคุมเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพและอาชีวอนามัย
- การผลิตพลาสติกในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น นำไปสู่การสัมผัสสารเคมีที่เป็นพิษในพลาสติกมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องลดการผลิตและการใช้พลาสติก

เอกสารอ้างอิง

Azoulay, D., Villa, P., Arellano, Y., Gordon, M. F., Moon, D., Miller, K. A., . . . Kistler, A. (2019). **Plastic & health: the hidden costs of a plastic planet:** CIEL Geneva.

Bergmann, A. J., North, P. E., Vasquez, L., Bello, H., Ruiz, M. D. G., & Anderson, K. A. (2017). **Multi-class chemical exposure in rural Peru using silicone wristbands**. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 27(6), 560-568.

Blum, A., Behl, M., Birnbaum, L. S., Diamond, M. L., Phillips, A., Singla, V., . . .Venier, M. (2019). **Organophosphate ester flame retardants: are they a regrettable substitution for polybrominated diphenyl ethers?** Environmental Science & Technology Letters, *6*(11), 638-649.

Carmona, E., Rojo-Nieto, E., Rummel, C. D., Krauss, M., Syberg, K., Ramos, T. M., . . . Almroth, B.C. (2023). **A dataset of organic pollutants identified and quantified in recycled polyethylene pellets.** Data in Brief, 51.

Chupeau, Z., Bonvallot, N., Mercier, F., Le Bot, B., Chevrier, C., & Glorennec, P. (2020). **Organophosphorus flame retardants: a global review of indoor contamination and human exposure in Europe and epidemiological evidence.** Int J Environ Res Public Health, 17(18), 6713.

Dixon, H. M., Armstrong, G., Barton, M., Bergmann, A. J., Bondy, M., Halbleib, M. L., . . . Anderson, K. A. (2019). **Discovery of common chemical exposures across three continents using silicone wristbands. Royal Society Open Science,** 6(2).

Dixon, H. M., Bramer, L. M., Scott, R. P., Calero, L., Holmes, D., Gibson, E. A., . . . Anderson, K. A. (2022). **Evaluating predictive relationships between wristbands and urine for assessment of personal PAH exposure.** Environ Int, 163.

Flaws, J., Damdimopoulou, P., Patisaul, H. B., Gore, A., Raetzman, L., & Vandenberg, L. N. (2020). **Plastics, EDCs and health. Endocrine Society:** Washington, DC, USA.

Gore, A. C., La Merrill, M. A., Patisaul, H. B., & Sargis, R. M. (2024). **Endocrine Disrupting Chemicals: Threats to Human Health.**

Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). **An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling**. J Hazard Mater, 344, 179-199.

Hammel, S. C., Hoffman, K., Webster, T. F., Anderson, K. A., & Stapleton, H. M. (2016). **Measuring personal exposure to organophosphate flame retardants using silicone wristbands and hand wipes.** Environmental science & technology, 50(8), 4483-4491.

Hamzai, L., Lopez Galvez, N., Hoh, E., Dodder, N. G., Matt, G. E., & Quintana, P. J. (2022). **A systematic review of the use of silicone wristbands for environmental exposure assessment, with a focus on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)**. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 32(2), 244-258.

International Labour Office, Geneva (2023). **Hazardous exposures to plastics in the world of work:** Research report.

Jung, J., Cho, Y., Lee, Y., & Choi, K. (2024). **Uses and occurrences of five major alternative plasticizers, and their exposure and related endocrine outcomes in humans: A systematic review.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 54(16), 1165-1194.

Khare, A., Jadhao, P., Vaidya, A. N., & Kumar, A. R. (2023). **Benzotriazole UV stabilizers (BUVs) as an emerging contaminant of concern: a review.** Environmental Science and Pollution Research, 30(59), 124215-124231.

Levasseur, J. L., Hammel, S. C., Hoffman, K., Phillips, A. L., Zhang, S., Ye, X., . . . Stapleton, H. M. (2021). **Young children's exposure to phenols in the home: Associations between house dust, hand wipes, silicone wristbands, and urinary biomarkers.** Environ Int, 147, 106317.

Matsukami, H., Wannomai, T., Uchida, N., Tue, N. M., Hoang, A. Q., Tuyen, L., . . . Suzuki, G. (2022). **Silicone wristband- and handwipe-based assessment of exposure to flame retardants for informal electronic-waste and end-of-life-vehicle recycling workers and their children in Vietnam.** Science of The Total Environment, 853.

Petrlik, J., Beeler, B., Strakova, J., Møller, M., Allo'o Allo'o, S.M., Amera, T., Brosché, S.,Gharbi, S.,Hajri, I., Kuepouo, G., Mng'anya, S., Ngakeng, A., Ochieng Ochola, G., Rhalem, N. and Zulkovska, K. (2021). **Hazardous Plastic Waste Found in Toys and Consumer Products Sold in Africa: Brominated flame retardants in consumer products made of recycled plastic from seven African countries.**

Reddam, A., Herkert, N., Stapleton, H. M., & Volz, D. C. (2024). **Silicone wristbands reveal ubiquitous human exposure to ortho-phthalates and non-ortho-phthalate plasticizers in Southern California.** Environ Res, 258.

Samon, S. M., Hammel, S. C., Stapleton, H. M., & Anderson, K. A. (2022). **Silicone wristbands as personal passive sampling devices: current knowledge, recommendations for use, and future directions.** Environ Int, 169, 107339.

Sun, K. L., Song, Y., He, F. L., Jing, M. Y., Tang, J. C., & Liu, R. T. (2021). **A review of human and animals exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects, photo-induced toxicity and regulating effect of microplastics.** Science of The Total Environment, 773.

Tan, H. L., Yang, L., Liang, X. L., Huang, D. D., Qiao, X. H., Dai, Q. Y., . . . Cai, Z. W. (2023). **Nonphthalate Plasticizers in House Dust from Multiple Countries: An Increasing Threat to Humans.** Environmental science & technology.

Wagner, M., Monclús, L., Arp, H. P. H., Groh, K. J., Løseth, M. E., Muncke, J., . . . Zimmermann, L. (2024). **State of the science on plastic chemicals Identifying and addressing chemicals and polymers of concern.** Zenodo.

Wang, S., Romanak, K. A., Tarallo, S., Francavilla, A., Viviani, M., Vineis, P., . . . Naccarati, A. (2020). **The use of silicone wristbands to evaluate personal exposure to semi-volatile organic chemicals (SVOCs) in France and Italy.** Environmental Pollution, 267, 115490. Ss

Young, A. S., Herkert, N., Stapleton, H. M., Coull, B. A., Hauser, R., Zoeller, T., . . . Allen, J. G. (2023). **Hormone receptor activities of complex mixtures of known and suspect chemicals in personal silicone wristband samplers worn in office buildings.** Chemosphere, 315.

Young, A. S., Herkert, N., Stapleton, H. M., Laurent, J. G. C., Jones, E. R., MacNaughton, P., . . . Luna, M. L. (2021). **Chemical contaminant exposures assessed using silicone wristbands among occupants in office buildings in the USA, UK, China, and India.** Environ Int, 156, 106727.

Zhou, H. M., Hu, X. L., Liu, M. C., & Yin, D. Q. (2023). **Benzotriazole ultraviolet stabilizers in the environment: A review of analytical methods, occurrence, and human health impacts**. Trac-Trends in Analytical Chemistry, 166.

ภาคผนวก ก :
ผลการวิเคราะห์สารเคมีในตัวอย่าง

ค่าต่ำสุด (MIN) ค่าสูงสุด (MAX) และค่ามัธยฐานหรือค่ากลาง (MED)
ของปริมาณสารเคมีที่ตรวจพบในตัวอย่างสายรัดข้อมือจากทั้ง 3 กลุ่มอาสาสมัครที่ร่วมโครงการ รวมถึงตัวอย่างควบคุม หรือ field blank (นาโนกรัมต่อกรัม)

สารเคมี	ตัวย่อ	กลุ่มควบคุม			กลุ่มรีไซเคิล			กลุ่มคัดแยก			Field blank
		MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	
Dimethyl phthalate	DMP	6.89	2,254	10.8	30.4*	30.4*	30.4*	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
Diethyl phthalate	DEP	140	9,170	1,804	72.1	2,130	924	78.7	10,159	1,641	BLQ
di-*n*-propyl phthalate	DnPrP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
di-isobutyl phthalate	DiBP	144	107,107	453	114	817	366	300	2,321	474	BLQ
di-*n*-butyl phthalate	DBP	746	23,880	2,266	457	8,035	2,321	1,191	16,017	3,346	37.8
di-isopentyl phthalate	DiPeP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
n-pentyl-isopentyl phthalate	nPiPP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
di-*n*-pentyl phthalate	DnPeP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
di-*n*-hexyl phthalate	DnHP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
dicyklohexyl phthalate	DcHP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
butyl benzyl phthalate	BBP	9.52	577	69.4	7.79	1,547	41.4	71.8	2,152	113	BLQ
bis(2-ethylhexyl) phthalate	DEHP	3,486	64,748	8,365	5,466	73,945	13,457	9,759	157,142	46,594	BLQ
trioctyl trimellitate	ToTM	423	828	501	391	3,132	744	353	4,187	751	12.4
bis(2-ethylhexyl) adipate	DEHA	586	8,601	3,946	424	8,482	1,611	1,215	5,682	2,664	217
4-*n*-octylphenol	4-OP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
4-*n*-nonylphenol	4-NP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
naphthalene	NA	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
acenaphthylene	ACY	1.20	18.0	3.75	1.31	15.0	3.47	2.63	99.8	3.24	BLQ
acenaphthene	ACE	3.21	48.7	35.3	46.3*	46.3*	46.3*	31.6	93.3	56.7	BLQ
fluorene	FLN	6.92	18.5	12.7	8.97	21.7	15.3	3.39	67.9	13.3	1.32
phenanthrene	PHE	16.9	192	27.7	34.1	139	47.7	27.6	456	41.7	BLQ
anthracene	AN	3.95	36.9	7.41	4.60	78.5	14.0	7.57	102	12.3	2.23
fluoranthene	FLT	4.33	155	9.85	24.4	79.1	32.7	12.1	290	30.1	1.57
pyrene	PY	2.24	156	6.84	19.7	75.3	38.5	12.2	274	28.3	BLQ
benzo[c]fluorene	BcFl	0.79	9.75	1.34	0.94	5.17	1.86	0.73	14.3	2.22	BLQ
benzo[a]anthracene	BaA	1.84	12.7	2.98	2.25	12.5	5.80	0.64	23.1	3.07	BLQ
cyklopenta[cd]pyrene	CPP	2.56	17.8	10.2	1.67	23.5	7.49	0.97	53.7	6.99	BLQ
chrysene	CHR	0.51	15.0	1.47	1.23	18.2	4.17	0.92	31.8	4.55	BLQ

สารเคมี	ตัวย่อ	กลุ่มควบคุม			กลุ่มรีไซเคิล			กลุ่มคัดแยก			Field
		MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	blank
benzo[ghi]perylene	BghiP	0.00	0.00	BLQ	1.31	7.58	5.39	0.82	5.28	2.97	BLQ
dibenzo[al]pyrene	DBalP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
dibenzo[ae]pyrene	DBaeP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
dibenzo[ai]pyrene	DBaiP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
dibenzo[ah]pyrene	DBahP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
drometrizole	UV-P	32.2	80.2	46.6	18.0	36.3	25.6	16.3	17.0	16.7	BLQ
tinuvin 234	UV-234	1.10	17.4	2.30	1.20	31.9	3.18	1.30	21.4	3.05	BLQ
tinuvin 320	UV-320	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
bumetrizole	UV-326	8.33	53.2	20.1	7.33	92.4	48.6	9.33	547	20.2	5.23
tinuvin 327	UV-327	12.3	14.1	13.2	0.70	4.75	2.20	1.10	2.70	2.20	BLQ
tinuvin 328	UV-328	3.40	24.8	10.4	3.10	17.9	8.65	3.00	8.80	4.50	BLQ
octrizole	UV-329	1.80	8.40	4.00	0.80	7.80	1.55	0.70	24.0	0.90	BLQ
tinuvin 350	UV-350	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
bisphenol A	BPA	0.85	25.4	2.01	0.94	12.4	6.49	2.23	15.3	4.75	0.93
bisphenol B	BPB	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
bisphenol F	BPF	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
bisphenol S	BPS	0.05	1.47	0.12	0.06	1.59	0.17	0.09	2.23	0.36	BLQ
triethyl phosphate	TEP	0.52	0.52	0.52	0.70	2.31	1.09	0.52	1.07	0.70	BLQ
tri-n-propyl phosphate	TPrP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
tri-isobutyl phosphate	TiBP	0.76	30.9	2.96	0.91	36.4	9.61	0.60	19.0	3.05	BLQ
tri-n-butyl phosphate	TnBP	3.76	30.2	9.84	5.70	35.8	23.3	2.40	23.3	7.93	0.12
tris(2-butoxyethyl) phosphate	TBOEP	0.26	6.54	1.26	0.25	6.48	0.55	0.52	3.31	1.98	BLQ
tris(2-ethylhexyl) phosphate	TEHP	0.11	8.89	0.44	0.10	1.69	0.69	0.16	6.27	0.66	BLQ
triphenyl phosphate	TPhP	0.44	2.03	1.08	1.29	8.33	5.73	0.29	3.36	1.28	BLQ
cresyl diphenyl phosphate	CDPP	0.45	0.57	0.48	0.64	18.4	6.96	0.78	1.80	1.03	BLQ
tricresyl phosphate (sum of isomers)	ΣTCP	0.18	0.35	0.27	0.84	41.9	3.83	0.18	13.1	0.50	BLQ
5-methylchrysene	5MC	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
benzo[b]fluoranthene	BbFA	0.64	3.58	1.72	0.77	18.6	6.85	0.59	10.3	3.02	BLQ
benzo[k]fluoranthene	BkFA	0.72	1.31	1.02	0.63	8.51	2.98	1.14	5.59	2.29	BLQ
benzo[k]fluoranthene	BjFA	0.51	2.36	1.31	1.39	11.3	4.38	3.04	8.13	5.39	BLQ
benzo[a]pyrene	BaP	0.66	1.24	0.83	0.70	7.59	2.58	1.18	8.66	2.52	BLQ
indeno[1,2,3-cd]pyrene	IP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
dibenzo[ah]anthracene	DBahA	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ

สารเคมี	ตัวย่อ	กลุ่มควบคุม			กลุ่มรีไซเคิล			กลุ่มคัดแยก			Field blank
		MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	
tris(1,3-dichloroisopropyl) phosphate	TDClPP	0.49	3.76	0.61	0.32	1.53	0.67	0.26	0.86	0.37	BLQ
tris(tribromopentyl) phosphate	TTBNPP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
tetrakis(2-chlorethyl) dichloroisopentyl diphosphate	V6	BLQ	BLQ	BLQ	0.05	0.10	0.07	BLQ	BLQ	BLQ	<0.05
resorcinol-bis(diphenyl) phosphate	RDP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
bisphenol A-bis(diphenyl) phosphate	BPA-BDPP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
ethylhexyl diphenyl phosphate	EHDPhP	3.21	3.92	3.56	3.70	31.07	6.93	3.53	8.80	3.73	BLQ
isodecyl diphenyl phosphate	iDDPP	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
tris(2-isopropylphenyl) phosphate	TIPPP	BLQ	BLQ	BLQ	0.73	2.10	1.14	0.22	0.39	0.39	BLQ
tris(p-tertbutylphenyl) phosphate	TtBPP	BLQ	BLQ	BLQ	0.09	0.38	0.14	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
trixylenyl phosphate	TXP	BLQ	BLQ	BLQ	13.7*	13.7*	13.7*	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
tris(2-chloroethyl) phosphate	TCEP	BLQ	BLQ	BLQ	0.68*	0.68*	0.68*	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ
tris(2-chloropropyl) phosphate	TClPP	BLQ	BLQ	BLQ	61.1	61.9	61.5	BLQ	BLQ	BLQ	BLQ

BLQ หรือ Below limit of quantification คือ ต่ำกว่าขีดจำกัดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้
*คือพบเฉพาะในตัวอย่างสายรัดข้อมือ 1 ตัวอย่างจากกลุ่มอาสาสมัครทั้งหมด



ภาคผนวก ข
รายละเอียดการเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างสายรัดข้อมือ

ก. วิธีเตรียมซิลิโคนข้อมือสำหรับการเก็บตัวอย่าง

ก่อนการเก็บตัวอย่าง สายรัดข้อมือซิลิโคน (SWs) จะผ่านการทำความสะอาดด้วยสารละลายผสมระหว่างเอทิลอะซิเตต:เฮกเซน (1:1, v/v) จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง และเอทิลอะซิเตต:เมทานอล (1:1, v/v) จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้น จะห่อหุ้ม SWs ด้วยฟอยล์อะลูมิเนียมที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และทำให้แห้งต่อที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงเก็บไว้ในกล่องโลหะที่เตรียมไว้

ข. วิธีการแยกวิเคราะห์สารชนิดมีขั้ว (Polar Analytes) จากสายรัดข้อมือซิลิโคน

(เฉพาะสาร OPFRs และสาร Bisphenols)

1) การสกัดสารวิเคราะห์

สารวิเคราะห์ถูกสกัดจาก SWs ด้วยเมทานอลพื้นฐาน (1%NH_4OH ในน้ำเมทานอล) โดยใช้การสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound-assisted extraction) 3 รอบ รอบละ 30 นาที

2) กระบวนการหลังการสกัด

- สารละลายที่สกัดได้รวมกันจะถูกระเหยจนแห้ง
- จากนั้นนำมาละลายใหม่ในเมทานอลที่ผสมสารมาตรฐานภายใน (internal standards)

3) การวิเคราะห์

- สารละลายที่เตรียมไว้ถูกกรองและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UHPLC-MS/MS (Ultra-High-Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry)

ค. วิธีการแยกวิเคราะห์สารชนิดไม่มีขั้ว (Non-Polar Analytes) จากสายรัดข้อมือซิลิโคน (สารพทาเลต (Phthalates), พอลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs), UV stabilizer)

1) การสกัดสารวิเคราะห์

- สารวิเคราะห์ถูกสกัดด้วยสารละลายผสมเฮกเซน:ไดคลอโรมีเทน (1:1, v/v)
- การสกัดทำโดยใช้การสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง 3 รอบ รอบละ 30 นาที

2) กระบวนการหลังการสกัด

- **สำหรับตัวเสถียร UV (UV Stabilizers):** ครึ่งหนึ่งของสารสกัดถูกเปลี่ยนตัวทำละลายเป็นเมทานอลที่ผสมสารมาตรฐานภายในจากนั้นกรองและวิเคราะห์ด้วย UHPLC-MS/MS
- **สำหรับสารพทาเลตและ PAHs:** ส่วนที่เหลือของสารสกัดถูกทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี Silica Solid Phase Extraction (SPE) สารสกัดที่ผ่านการทำบริสุทธิ์จะถูกระเหยและนำมาละลายใหม่ในไอโซออกเทน (Isooctane) ที่ผสมสารมาตรฐานภายใน

3) การวิเคราะห์

สารพทาเลตและ PAHs ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS/MS (Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry)

เอกสารอ้างอิง

1. O'Connell, S.G., L.D. Kincl, and K.A. Anderson, **Silicone Wristbands as Personal Passive samplers.** Environmental Science & Technology, 2014. 48 (6): p. 3327-3335
2. Levasseur, J.L., et al., **Characterising firefighter's exposure to over 130 SVOCs using silicone wristbands: A pilot study comparing on-duty and off- duty exposures.** Science of The Total Environment, 2022. 834: p. 155237.

ผลการศึกษานี้พบว่า อาสาสมัครทุกคนที่เข้าร่วมการศึกษาด้วยการสวมใส่สายรัดข้อมูลซิลิโคนต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ต่างมีความเสี่ยงการสัมผัสสารเคมีอันตรายในพลาสติก ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มคนงานคัดแยกและจัดการขยะพลาสติก กลุ่มคนทำงานในกิจการรีไซเคิลพลาสติก รวมถึงกลุ่มคนทำงานสำนักงาน เนื่องจากจากการตรวจวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการ

ในประเทศสาธารณรัฐเช็ก พบว่า สายรัดข้อมือทุกตัวอย่างปนเปื้อนสารเคมีอย่างน้อย 14 ชนิด แต่ชัดเจนว่า คนงานคัดแยกและจัดการขยะพลาสติกและคนทำงานในกิจการรีไซเคิลพลาสติกมีการสัมผัสสารเคมีในพลาสติกมากกว่าทั้งในแง่ของชนิดสารเคมีและระดับปริมาณการสัมผัส

