

## มหันตภัยไฮเทค สารเคมีอันตรายในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นการนำมาวมกันที่ซับซ้อนของชิ้นส่วนหลายร้อยชิ้น ซึ่งหลายชิ้นจะประกอบไปด้วยโลหะหนักและสารเคมีอันตรายหลายชนิด สารอันตรายเหล่านี้ก่อให้เกิดมลภาวะร้ายแรงและทำให้คนงานได้รับความเสี่ยงจากการต้องอยู่ใกล้ขีดหรือสัมผัสเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกผลิตขึ้นมาหรือกำจัดทิ้งไป

### เบริลเลียม

เบริลเลียมเป็นโลหะซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว มีน้ำหนักเบากว่าอะลูมิเนียมและแข็งแรงกว่าเหล็กกล้า ตลอดจนเป็นตัวนำความร้อนและสื่อไฟฟ้าได้ดีมาก (Taylor *et al.* 2003) เบริลเลียมถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในรูปโลหะผสมทองแดงกับเบริลเลียมซึ่งตามปกติจะมีเบริลเลียมอยู่ร้อยละ 2 โลหะผสมนี้จะเพิ่มความแข็งแรงขึ้นเป็นหกเท่าของทองแดง เบริลเลียมถูกนำมาใช้ในสปริง รีเลย์ และข้อต่อ และในแผงวงจรหลักของคอมพิวเตอร์แบบเก่า (OECD 2003, Taylor *et al.* 2003)

ในระหว่างกระบวนการสกัดเบริลเลียมและสารประกอบของมัน ไอและผงฝุ่นเบริลเลียมและเบริลเลียมออกไซด์สามารถเกิดขึ้นได้ การสูดหายใจเข้าไปเป็นหนทางหลักที่คนงานในอุตสาหกรรมเหล่านี้จะได้สัมผัสกับเบริลเลียม (Field 2001) ในอดีตหลายคนเชื่อกันว่าการผลิตและการใช้โลหะผสมเบริลเลียมกับทองแดงไม่ได้ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนงาน (โปรดดู Infante & Newman 2004) อย่างไรก็ตาม การศึกษาในระยะหลังได้แสดงให้เห็นว่าคนที่ทำงานกับโลหะผสมดังกล่าวอาจรับความเสี่ยงอย่างสูงได้ในการสัมผัสกับเบริลเลียมและต้องรับผลกระทบร้ายต่อสุขภาพรวมทั้งเริ่มเป็นโรคเบริลเลียมเรื้อรัง (Chronic Beryllium Disease หรือ CBD) (Balkissoon & Newman 1999, Schuler *et al.* 2005) คนงานยังอาจนำผงฝุ่นเบริลเลียมจากสถานที่ทำงานติดไปกับเสื้อผ้าและรองเท้านำไปสัมผัสกับคนในครอบครัวได้อีกด้วย (Cohen & Positano 1986, Sanderson *et al.* 1999) และมีรายงานถึงกรณีที่คุณสมรสของคนงานกับเบริลเลียมเริ่มมีความอ่อนไหวต่อเบริลเลียมและเป็นโรค CBD (Knishkowsky & Baker 1986)

ในขณะที่กรณีการสัมผัสกับเบริลเลียมที่ได้รับการรายงานส่วนมากจะเป็นคนงานซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสกัดและการผลิต การสัมผัสก็อาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการรีไซเคิลอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีโลหะผสมเบริลเลียมกับทองแดง ผุ่นผงเบริลเลียมอาจเกิดขึ้นในระหว่างการฉีกและบดหรือในระหว่างกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงเช่นที่ใช้ในโรงหลอมโลหะ (Basel 2004, OECD 2003) ซึ่งสามารถนำไปสู่ความอ่อนไหวต่อเบริลเลียมและโรค CBD ในคนงานได้ (Cullen *et al.* 1987, Infante & Newman 2004)

เบริลเลียมเป็นพิษอย่างรุนแรงและเรื้อรังต่อมนุษย์โดยส่วนใหญ่มีผลกระทบต่อปอด การหายใจเอาผุ่นผงและไอของเบริลเลียมที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไปสามารถยังผลให้เกิดโรคเบริลเลียมชนิดรุนแรง (Acute Beryllium Disease หรือ ABD) ได้ โดยมีผลกระทบต่อได้หลายอย่าง เช่น การหายใจติดขัด ไอ เจ็บหน้าอก หัวใจเต้นเร็ว และถึงแก่ความตายได้ในกรณีร้ายแรงที่สุด ประมาณร้อยละ 30 ของผู้เป็นโรค ABD จะกลายเป็นโรค CBD ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโรคเบริลลิโอซิส (Berylliosis)

ในการสัมผัสกับเบริลเลียม แม้ในระดับที่ต่ำมากและเป็นระยะเวลาสั้นๆ ก็อาจนำไปสู่การมีความอ่อนไหวต่อเบริลเลียม คนบางคนอาจจะกลายเป็นโรค CBD ซึ่งเป็นโรคอ่อนเพลียจะแสดงอาการ ได้แก่ ภาวะการพองลมในเนื้อเยื่อหรือถุงลมซึ่งผิดปกติ และการสร้างหรือเกิดเนื้อเยื่อเส้นใยมากผิดปกติในปอด ซึ่งบางครั้งอาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ แม้ว่าสามารถใช้สารสเตอรอยด์ (Steroids) บรรเทาอาการได้ แต่ในปัจจุบัน CBD ยังเป็นโรคที่ไม่อาจรักษาให้หายขาดได้ (Field 2001) โรค CBD สามารถเกิดขึ้นได้หลังจากเริ่มสัมผัสได้ไม่นานหรืออาจเกิดขึ้นได้หลังจากมีการสัมผัสครั้งแรกหลายปีมาแล้ว (Newman *et al.* 1996) ระยะเวลาและปริมาณการสัมผัสซึ่งจะยังผลให้เกิดความอ่อนไหวและกลายเป็นโรค CBD ได้ก็แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคล ไม่ทุกคนที่เกิดความอ่อนไหวจะกลายเป็นโรค CBD คนบางคนอาจกลายเป็นโรคเบริลลิโอซิสได้หลังจากการสัมผัสเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและได้มีการรายงานถึงผลกระทบต่อสุขภาพภายหลังการสัมผัสในระดับที่ต่ำกว่า 20-100 เท่าของขีดจำกัดการสัมผัสในสถานที่ทำงานที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย (Kelleher *et al.* 2001) เชื่อกันว่าผลกระทบนี้เป็นผลมาจากแนวโน้มทางพันธุกรรม (Field 2001, Viet *et al.* 2000) ในหลายกรณี โรค CBD ในคนงานเกิดจากการที่ไม่ได้มีการตรวจวินิจฉัยหรือได้รับการตรวจวินิจฉัยผิดพลาด (Infante & Newman 2004, Newman 1995) การสัมผัสกับผิวหนังโดยตรงยังทำให้ผิวหนังอักเสบได้อีกด้วยและอาจทำให้เกิดความอ่อนไหวต่อเบริลเลียมได้ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของการกลายเป็นโรค CBD (Tinkle *et al.* 2003)

นอกจากนี้แล้วเบริลเลียมและสารประกอบเบริลเลียมยังได้ถูกจัดประเภทเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์โดยองค์การวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International Agency for Research on Cancer หรือ IARC) โดยมีพื้นฐานมาจากอัตราการเป็นมะเร็งปอดที่เพิ่มขึ้นในหมู่คนงานผลิตเบริลเลียม (IARC 1993)

ในบางประเทศมีการควบคุมเพื่อแก้ปัญหาการสัมผัสกับเบริลเลียมในสถานที่ทำงานโดยใช้จำนวนความเข้มข้นสูงสุดในอากาศที่ยอมให้มีได้เป็นตัวกำหนด หลายประเทศได้จำกัดค่าการสัมผัสในสถานที่ทำงานไว้ที่ 1-2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (WHO 1990) ตัวอย่างเช่น ในสหรัฐอเมริกา ค่าจำกัดการสัมผัสที่อนุญาตให้ได้เฉลี่ยสูงสุด (Permissible Exposure Limit หรือ PEL) ถูกกำหนดไว้ที่ 2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในระยะเวลา 8 ชั่วโมง โดยมีค่าจำกัด 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับช่วงเวลา 30 นาทีใด ๆ และค่าสูงสุดที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (USCFR 1999)

ค่าจำกัดการสัมผัสในสถานที่ทำงานที่ใช้โดยทั่วไปจะใช้เกณฑ์จากค่าความเข้มข้นในอากาศของเบริลเลียมทั้งหมด แต่ก็ไม่ได้มีการกล่าวถึงปัจจัยอื่นๆ ซึ่งสามารถมีผลกระทบต่อสัมผัส เช่น ขนาดอนุภาค ผงฝุ่น และรูปแบบทางเคมีของเบริลเลียม การศึกษาเมื่อไม่นานมานี้บ่งบอกว่าคนงานบางคนสามารถกลายเป็นโรค CBD เมื่อได้สัมผัสในระดับต่ำกว่าขีดจำกัดดังกล่าวมาก (Kelleher *et al.* 2001, Kolanzi 2001)

## แคดเมียม

แคดเมียมและสารประกอบของแคดเมียมถูกนำมาใช้ได้หลายอย่างในการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ แคดเมียมถูกนำมาใช้ในหน้าสัมผัสและสวิตช์บางชนิด และคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กจำนวนมากจะใช้แบตเตอรี่ชนิดชาร์จไฟฟ้าได้ซึ่งทำจากนิเกิลแคดเมียม (Ni-Cd) สารประกอบแคดเมียมยังถูกนำไปใช้เป็นตัวสร้างเสถียรในการผสมพลาสติก PVC เช่น ที่ใช้ทำฉนวนสายไฟฟ้า แคดเมียมซัลไฟด์ยังถูกใช้ทำหลอดภาพรังสีแคโทด (CRT) รุ่นเก่าๆ เป็นสารเคลือบฟอสเฟอร์ซึ่งเป็นสารใช้กับผิวภายในของจอภาพเพื่อทำให้เกิดแสง (OECD 2003)

การกำจัดผลิตภัณฑ์ที่มีแคดเมียมอยู่ทำให้เกิดการปล่อยแคดเมียมออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ การเผาทำลายก็สามารถปล่อยสารประกอบแคดเมียมทั้งสู่อากาศและในละอองซี้ด้า (Allsopp *et al.* 2001) ในกระบวนการรีไซเคิล เช่น การทบทวนหลอดภาพแก้ว CRT ก็อาจจะปล่อยแคดเมียมออกมาสู่สิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อคนงานจากการสูดหายใจของแคดเมียมซัลไฟด์เข้าไป (OECD 2003)

แคดเมียมเป็นโลหะหายากและพบในธรรมชาติในความเข้มข้นที่ต่ำมาก (Salomons & Forstner 1984) สามารถคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน และในสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำแคดเมียมจะเคลื่อนไหวได้ดีกว่าโลหะส่วนใหญ่อื่นๆ (ATSDR 2000) แคดเมียมมีความเป็นพิษสูงต่อพืช สัตว์ และมนุษย์โดยไม่มีคุณค่าในทางชีวเคมีหรือโภชนาการที่ทราบเลย (ATSDR 2000, WHO 1992) การสัมผัสสามารถยังผลให้เกิดการสะสมในทางชีวภาพของแคดเมียมในมนุษย์และสัตว์ พืชอาหารบางชนิด เช่น ธัญพืช ข้าว และผักก็สามารถสะสมแคดเมียมได้ซึ่งทำให้เกิดการสัมผัสเพิ่มเติมได้กับมนุษย์ (Elinder & Jarup 1996)

การสัมผัสกับแคดเมียมสามารถเกิดขึ้นได้ในการทำงานจากการสูดหายใจเอาไอหรือผงฝุ่นซึ่งมีแคดเมียมหรือสารประกอบแคดเมียมเข้าไปหรือจากการสัมผัสทางสิ่งแวดล้อมโดยผ่านทางอาหารเป็นหลัก แคดเมียมเป็นสารพิษสะสมและการสัมผัสเป็นระยะเวลาสามารถยังผลให้ไตถูกทำลายและกระดูกเป็นพิษได้ การสัมผัสกับแคดเมียมในมนุษย์จากสัตว์ผ่านทางอาหารจะมีผลต่อไตเป็นหลัก (Elinder & Jarup 1996, WHO 1992) การศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ได้แสดงให้เห็นว่าไตถูกทำลายในระดับการสัมผัสที่ต่ำกว่าการคาดการณ์สมัยก่อน (Hellstrom *et al.* 2001)

ผลกระทบอย่างอื่น ได้แก่ การขัดขวางการทำงานของกลไกแคลเซียมในร่างกายและละลายเป็นโรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ (Elinder & Jarup 1996, WHO 1992) การสูดหายใจเอาไอหรือผงฝุ่นแคดเมียมออกไซด์เข้าไปสามารถมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ซึ่งผลกระทบ ได้แก่ ท่อลมและหลอดลมอักเสบและน้ำท่วมปอด (ATSDR 2000, WHO 1992) นอกจากนี้แคดเมียมและสารประกอบของแคดเมียมก็เป็นที่ทราบกันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ โดยมากคือมะเร็งปอดหลังจากที่สูดหายใจเข้าไป (DHSS 2002)

มีการควบคุมในระดับภูมิภาคเกี่ยวกับการใช้แคดเมียมในผลิตภัณฑ์ กฎหมายของสหภาพยุโรป (EU) ซึ่งจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิด (ROHS) ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ห้ามการใช้แคดเมียมในอุปกรณ์ใหม่ที่ออกวางตลาดตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 (EC 2002a) โดยอนุญาตให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมได้สูงสุดร้อยละ 0.01 ตามน้ำหนักของวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน มีข้อยกเว้นสำหรับเรื่องนี้สำหรับการใช้แคดเมียมในงานชุบผิวบางชนิด ตามกฎหมายซึ่งควบคุมของเสียจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment หรือ WEEE) แบตเตอรี่ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมโดยน้ำหนักมากกว่าร้อยละ 0.025 จะต้องถูกแยกออกจากเส้นทางของเสียและนำไปรีไซเคิลตามความเหมาะสม (EC 2002b) การใช้แคดเมียมในผลิตภัณฑ์ยังถูกกล่าวถึงในกฎหมายอื่นของสหภาพยุโรป รวมถึงการจำกัดการใช้แคดเมียมเป็นตัวแต่งสีหรือตัว

สร้างเสถียรพลาสติกในผลิตภัณฑ์หลายชนิด (รวมทั้ง PVC) ที่มีปริมาณแคดเมียมเกินกว่าร้อยละ 0.01 โดยมีข้อยกเว้นบางประการด้วยเหตุผลเรื่องความปลอดภัย (EEC 1991)

ในปี 2541 ในการประชุมคณะรัฐมนตรีเรื่องอนุสัญญา OSPAR ว่าด้วยการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติก ได้มีการตกลงวางเป้าหมายหยุดการปล่อยของเสียและสารอันตรายทั้งหมดลงสิ่งแวดล้อมทางทะเลภายในปี 2563 และรวมทั้งสารประกอบแคดเมียมอยู่ในบัญชีรายการแรกของสารเคมีสำหรับการดำเนินการในลำดับแรกตามเป้าหมายนี้ (OSPAR 1998)

### **โครเมียมเฮกซะวาเลนต์**

โครเมียมเฮกซะวาเลนต์เป็นสารเคมีรูปหนึ่งของโลหะโครเมียม สามารถนำไปใช้ได้หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนและใช้ในการทำให้แข็งและป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องครอบที่เป็นโลหะ โครเมียมเฮกซะวาเลนต์มีปฏิกริยารุนแรงและละลายน้ำได้ดีกว่าโครเมียมรูปแบบอื่นมาก ซึ่งทำให้สามารถเคลื่อนไหวในสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า (Mukherjee 1998)

การทำลายของเสียซึ่งมีโครเมียมอยู่อาจยังผลให้มีการปล่อยออกสู่อากาศและก่อให้เกิดละอองซีเมนต์ที่มีโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ซึ่งต่อมาก็คงจะเล็ดลอดออกมาจากซีเมนต์ (Allsopp *et al.* 2001, Mangialardi *et al.* 1998)

ในขณะที่รูปแบบอื่นของโครเมียมอาจเป็นสารอาหารปริมาณน้อยมากสำหรับสัตว์และมนุษย์ โครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะมีความเป็นพิษสูงแม้ในความเข้มข้นที่ต่ำและในบางกรณีเป็นสารก่อมะเร็ง (ATSDR 2000) และยังสามารถกัดกร่อนและทำให้เกิดปฏิกิริยาทางผิวหนังได้โดยทันทีหลังจากที่ได้สัมผัสไม่ว่าจะปริมาณเท่าใดก็ตาม การทำลายตับและไตก็เคยมีการรายงานว่าเกิดขึ้นมาแล้ว (ATSDR 2000) นอกจากนี้การสัมผัสกับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในอากาศในการปฏิบัติงานได้ถูกโยงไปถึงมะเร็งปอด และองค์การวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศได้จัดให้สารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (IARC 1990) โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ยังเป็นพิษต่อสัตว์และพืชอีกด้วย และในการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ได้พบว่ามีความเสี่ยงการเป็นมะเร็งเพิ่มขึ้นด้วยหลังจากการสูดหายใจเข้าไป (ATSDR 2000)

กฎหมายของสหภาพยุโรปซึ่งจำกัดการใช้สารพิษบางชนิด (ROHS) ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ห้ามการขายอุปกรณ์ใหม่ซึ่งมีโครเมียมเฮกซะวาเลนต์เข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 (EC 2002a)

## ตะกั่ว

มีการใช้ตะกั่วอยู่สองทางหลักๆ ในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ตะกั่วโลหะถูกใช้ในการบัดกรีไฟฟ้าโดยส่วนมากบนแผ่นวงจรพิมพ์ (โดยทั่วไปเป็นโลหะผสมกับดีบุก) ออกไซด์ของตะกั่วถูกใช้ในหลอดภาพ CRT โดยผสมอยู่กับแก้ว และในบัดกรีแก้วชนิดหนึ่งซึ่งใช้เพื่อเชื่อมแผ่นหน้ากับส่วนกรวย หลอดภาพ CRT จะมีตะกั่วอยู่ประมาณ 2-3 กิโลกรัมในหลอดภาพแบบเก่า และ 1 กิโลกรัมในหลอดภาพแบบใหม่ (OECD 2003) นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้สารประกอบตะกั่วเป็นตัวสร้างเสถียรในการผสมสารพลาสติก PVC (Matthews 1996)

ตะกั่วสามารถเล็ดลอดออกจากหลอดภาพเมื่ออยู่ภายใต้หุ้มนึ่งกลบ (Musson *et al.* 2000) การเผาหลอดภาพก็สามารถก่อให้เกิดการปล่อยตะกั่วออกสู่อากาศได้ เช่น จากขี้เถ้าที่เกิดขึ้น (Allsopp *et al.* 2001) ตะกั่วในหลอดภาพ CRT และแผงวงจรพิมพ์ยังอาจถูกปล่อยออกมาเป็นผงฝุ่นออกไซด์ของตะกั่วหรือไอตะกั่วได้ด้วยในระหว่างการบัดกรีหรือในกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง เช่น การถลุงหรือการใช้ความร้อนเพื่อเอาบัดกรีออก (OECD 2003)

คนงานซึ่งใช้ตะกั่วในกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง เช่น ในโรงถลุงตะกั่วสามารถสัมผัสกับไอตะกั่วได้อย่างมาก (Schutz *et al.* 2005) คนงานซึ่งใช้บัดกรีทำจากตะกั่วก็อาจจะสัมผัสกับผงฝุ่นและไอซึ่งมีตะกั่วได้ (ATSDR 2000) ได้เคยมีการรายงานถึงการทำลายระบบทางเดินหายใจในหมู่คนงานซึ่งใช้บัดกรีตะกั่วผสมดีบุก แม้ว่าไม่ได้มีการหาค่าในการมีส่วนร่วมของตะกั่วที่มีในบัดกรีก็ตาม (Gupta *et al.* 1991)

ตะกั่วมักจะสะสมตัวเมื่อถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยจะอยู่ได้เป็นเวลานานกว่าเมื่อเทียบกับสารมลพิษส่วนใหญ่ ตะกั่วสามารถเข้าไปอยู่ในห่วงโซ่อาหารและกระบวนการเผาผลาญอาหารเป็นกำลังและเนื้อหนัง (Metabolism) ของมนุษย์ได้อีกนานในอนาคต มนุษย์สามารถสะสมตะกั่วได้เช่นเดียวกับพืชและสัตว์จำนวนมาก (Sauve *et al.* 1997, ATSDR 2000) ในบริเวณที่พื้นดินและผงฝุ่นมีการปนเปื้อนของตะกั่ว เด็กๆ ก็จะมีโอกาสสัมผัสตะกั่วได้มากขึ้นจากพฤติกรรม เช่น การนำมือเข้าปาก (Malcoe *et al.* 2002)

ตะกั่วมีความเป็นพิษสูงต่อมนุษย์รวมทั้งสัตว์และพืชมากมายและไม่มีคุณค่าในทางชีวเคมีหรือโภชนาการ (ATSDR 2000, Goyer 1996) ผลกระทบในทางเป็นพิษของตะกั่วมีลักษณะเดียวกันไม่ว่าจะเป็นการกลืนกินหรือสูดหายใจเข้าไป การสัมผัสกับตะกั่วในมนุษย์มีผลกระทบในหลายด้าน รวมถึงการทำลายระบบประสาทและระบบเลือด ผลกระทบต่อไตและต่อการศึกษาที่นำไปเป็นห่วงเป็นพิษคือผลกระทบจากการสัมผัสในระดับต่ำที่มีต่อการพัฒนาของสมองและระบบประสาทส่วนกลางในเด็ก ซึ่งอาจมีผลทำลายสติปัญญา (Canfield *et al.* 2003, Goyer 1993) การสัมผัสกับตะกั่วมีลักษณะเป็นการสะสมและดูเหมือนว่าไม่สามารถรักษาให้หายได้เมื่อเกิดขึ้นแล้ว (Bellinger & Dietrich 1994) ผลกระทบทำนองเดียวกันก็สามารถพบได้ในสัตว์และตะกั่วก็เป็นพิษต่อสัตว์น้ำทุกชนิดอีกด้วย (WHO 1989a, Sadiq 1992) มีการควบคุมในระดับภูมิภาคเกี่ยวกับการใช้ตะกั่วในผลิตภัณฑ์ กฎหมายของสหภาพยุโรปซึ่งจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิด (ROHS) ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ห้ามการใช้ตะกั่วในอุปกรณ์ใหม่ที่วางตลาดตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 (EC 2002a) โดยอนุญาตให้มีความเข้มข้นของตะกั่วได้สูงสุดร้อยละ 0.1 ตามน้ำหนักของวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน มีข้อยกเว้นบางประการ เช่น การใช้ตะกั่วในบัดกรีบางชนิดและในแก้วของหลอดภาพ CRT นอกจากนี้กฎหมายที่ควบคุมของเสียจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE) ยังกำหนดว่าแบตเตอรี่ที่มีตะกั่วมากกว่าร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักต้องถูกแยกออกจากเส้นทางของเสียและนำไปรีไซเคิลตามที่เหมาะสม (EC 2002b) นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมพลาสติก PVC ในสหภาพยุโรปได้ทำข้อตกลงโดยสมัครใจจะเลิกใช้ตัวสร้างเสถียรตะกั่วในพลาสติก PVC ภายในปี 2558 (ENDS 2002)

## ปรอท

ปรอทถูกใช้ในอุปกรณ์ให้แสงสว่างซึ่งส่องสว่างจอภาพแสดงผลชนิดแบน ปรอทถูกใช้ในสวิตช์และรีเลย์ของคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่รุ่นเก่าด้วย และคอมพิวเตอร์รุ่นเก่าบางรุ่นก็อาจจะยังใช้แบตเตอรี่ที่มีปรอท (OECD 2003)

การปล่อยปรอทออกมาสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการผลิตอุปกรณ์ เช่น จอภาพแสดงผลชนิดแบน การเผาทำลายหรือการฝังกลบก็สามารถก่อให้เกิดการปล่อยปรอทออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ (Allsopp *et al.* 2001, OECD 2003) เมื่อถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ เช่น จากการเผาทำลาย ปรอทสามารถเดินทางไปทั่วโลกและส่งผลกระทบต่อแหล่งที่มันถูกปล่อย (UNEP 2002) หลังจากการปล่อยปรอทสามารถเข้าสู่แหล่งน้ำได้ (โดยตรงหรือหลังจากการพัดพาไป) และถูกเปลี่ยนรูปเป็นปรอทเมทิล (Methyl Mercury) ซึ่งเป็นรูปแบบของปรอทที่มีความเป็นพิษสูง สามารถสะสมในทางชีวภาพและขยายตัวในทางชีวภาพได้ (เข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ) เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารในระดับต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือในปลา หนทางนี้เป็นเส้นทางใหญ่ในการสัมผัสกับ

สาธารณสุขทั่วไป (WHO 1989b, UNEP 2002) คนงานก็อาจสัมผัสกับปรอทได้ด้วยโดยการหายใจเอาไอและผงฝุ่นปรอทเข้าไป

ปรอทและสารประกอบของปรอทที่มีความเป็นพิษสูงและโลหะชนิดนี้ไม่มีคุณค่าในทางชีวเคมีและโภชนาการ (WHO 1989) การสูดหายใจเอาไอปรอทในระดับสูงเข้าไปอาจก่อให้เกิดผลกระทบได้หลายอย่าง เช่น ผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System หรือ CNS) (ATSDR 2000, Goyer 1996) การสัมผัสกับปรอทระดับต่ำในระยะยาวยังสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและทำลายไตอีกด้วย (Ratcliffe *et al.* 1996, Goyer 1996) ผลกระทบเหล่านี้ยังได้ถูกรายงานไว้ในการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์อีกด้วย (ATSDR 2000)

สำหรับประชาชนทั่วไปแล้วหนทางหลักในการสัมผัส คือ ได้รับปรอทเมทิลจากทางอาหาร (UNEP 2002) ปรอทในรูปนี้สามารถสะสมในร่างกายได้และผลกระทบหลักก็คือ การทำลายระบบประสาท ปรอทเมทิลสามารถผ่านช่องก้นเข้าไปในรกและเส้นเลือดสมองได้ง่าย และสามารถสร้างผลกระทบอย่างร้ายแรงต่อการพัฒนาสมองและระบบประสาทส่วนกลางของทารกในครรภ์และเด็กได้ แม้แต่ในระดับที่คนส่วนมากกำลังสัมผัสอยู่ในปัจจุบัน (Mahaffey *et al.* 2004, UNEP 2002) การวิจัยเมื่อไม่นานมานี้ยังบ่งบอกว่าการสัมผัสสามารถก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจและโรคหัวใจได้ด้วย (Virtanen *et al.* 2005)

มีการควบคุมในระดับภูมิภาคเกี่ยวกับการใช้ปรอทในผลิตภัณฑ์ กฎหมายของสหภาพยุโรปซึ่งจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิด (ROHS) ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ห้ามการใช้ปรอทในอุปกรณ์ใหม่ที่วางตลาดตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 โดยอนุญาตให้มีความเข้มข้นได้สูงสุดร้อยละ 0.1 ตามน้ำหนักของวัสดุและส่วนประกอบเฉพาะอย่าง ซึ่งมีข้อยกเว้นบางประการสำหรับการใช้ปรอทในหลอดไฟฟลูออโรเรสเซนต์ (EC 2002a) ตามกฎหมายควบคุมของเสียจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE) ส่วนประกอบที่มีปรอท เช่น สวิตช์หรือหลอดไฟส่องหลังต้องถูกถอดออกจาก WEEE ที่ถูกแยกเก็บต่างหาก และปรอทต้องถูกเอาออกจากหลอดไฟชนิดปล่อยก๊าซ (EC 2002b) การใช้ปรอทในผลิตภัณฑ์ยังถูกกล่าวถึงอีกในกฎหมายสหภาพยุโรป เช่น การห้ามจำหน่ายแบตเตอรี่และหม้อสะสมไฟฟ้าซึ่งมีปรอทมากกว่าร้อยละ 0.0005 โดยน้ำหนัก นอกเหนือไปจากเซลล์แบตเตอรี่ชนิดกัลวานิกที่มีปรอทได้ไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (EC 1998)

นอกจากนี้แล้ว ในการประชุมคณะรัฐมนตรีเรื่องอนุสัญญา OSPAR ว่าด้วยการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติก ก็ได้รวมปรอทไว้ในบัญชีรายการสารเคมีสำหรับการ

ดำเนินการในลำดับแรกเพื่อหยุดการปล่อยของเสียและสารอันตรายทั้งหมดลงสิ่งแวดล้อมทางทะเลภายในปี 2563 (OSPAR 1998)

## สารทนไฟทำจากโบรมีน

สารทนไฟทำจากโบรมีน (Brominated Flame Retardants หรือ BFRs) เป็นกลุ่มที่หลากหลายของสารประกอบออกาโนโบรมีน (Organobromine Compounds) ซึ่งถูกใช้เพื่อป้องกันการติดไฟ และ/หรือ ระวังการแพร่กระจายของเปลวไฟในพลาสติกและวัสดุอื่นๆ หลากหลายชนิด ถึงแม้ว่าจะมีสารประกอบโบรมีนหรือกลุ่มโบรมีนมากกว่า 70 ชนิดได้รับการรายงานว่าถูกนำไปใช้เป็นสาร BFRs (Lassen *et al.* 1999) มีสารเคมีอยู่สามกลุ่มหลักที่ใช้กันมากในปัจจุบัน คือ โพลีโบรมิเนเต็ด ไดฟีนีล อีเธอร์ (Polybrominated Diphenyl Ethers หรือ PBDEs) เฮกซาโบรมไซคลอดอดีเคน (Hexabromocyclododecane หรือ HBCD) และโบรมิเนเต็ด บิสฟีนอล (Brominated Bisphenols) โดยเฉพาะเตตราโบรมบิสฟีนอล เอ (Tetrabromobisphenol-A หรือ TBBPA) สาร TBBPA โดยทั่วไปจะถูกนำไปใช้เป็นสารประกอบทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีพันธะทางเคมีกับพลาสติก ในขณะที่สาร PBDEs และสาร HBCD จะถูกใช้เป็นสารเติมแต่งโดยเพียงแต่รวมตัวเข้ากับพลาสติก และจะมีโอกาสมากกว่าที่จะเล็ดลอดออกจากผลิตภัณฑ์ (Alaee *et al.* 2003) ในสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ สาร TBBPA จะถูกนำไปใช้ในแผงวงจรพิมพ์เป็นหลักซึ่งสามารถมีโบรมีนได้ประมาณร้อยละ 20 (Alaee *et al.* 2003) สาร PBDEs และสาร TBBPA ยังถูกนำไปใช้ในครอบตัวถังพลาสติก (OECD 2003) ในอดีตโพลีโบรมิเนเต็ด ไบฟีนีล (Polybrominated Biphenyls หรือ PBBs) ก็ถูกใช้เป็นสารทนไฟด้วยเช่นกัน แม้ว่าการผลิตสารเคมีเหล่านี้ในขณะนี้ได้หยุดไปแล้ว (OSPAR Commission 2004)

สาร BFRs ส่วนมากจะคงยังไม่ยอมหายไปจากสิ่งแวดล้อมและบางชนิด โดยเฉพาะสาร PBDEs บางตัวจะสะสมในทางชีวภาพได้สูง อย่างไรก็ตามบรรดาสารในบัญชีรายการข้างต้นจะมีอยู่ในทางชีวภาพและสามารถวัดได้ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตในป่าและมนุษย์ โดยที่จริงแล้วการผลิตสารเหล่านี้ได้นำไปสู่การแพร่หลายของสาร และในบางกรณีมีการปรากฏเพิ่มขึ้นในสิ่งแวดล้อม สาร PBDEs สาร HBCD และสาร TBBPA ทั้งหมดได้ถูกตรวจพบในอากาศภายในบ้าน และ/หรือ ผงฝุ่นในสถานที่ทำงาน (Sjodin *et al.* 2001, Jakobsson *et al.* 2002) สาร PBDEs ยังถูกพบในเกือบทุกส่วนของสิ่งแวดล้อมรวมทั้งในการตกตะกอน (Allchin *et al.* 1999) ปลา น้ำจืดและปลาทะเล (Asplund *et al.* 1999a, b) ไขนก (Hites 2004) และแม้แต่ปลาวาฬจากมหาสมุทรลึกและบริเวณขั้วโลกเหนือ (de Boer *et al.* 1998, Ikonomou *et al.* 2002) มีข้อมูลเพียงเล็กน้อยสำหรับสารทนไฟโบรมิเนเต็ดอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป

สาร PBDEs ยังได้รับการรายงานว่าเป็นสารปนเปื้อนโดยทั่วไปในมนุษย์ รวมถึงรายงานจากประเทศสวีเดน สเปน ฟินแลนด์ และจากอเมริกาเหนือ (Lindstrom *et al.* 1997, Meneses *et al.* 1999, Strandman *et al.* 1999, She *et al.* 2000) ความเข้มข้นของ PBDEs ในน้ำนมมนุษย์และเลือดได้แสดงให้เห็นถึงระดับที่เพิ่มขึ้นตลอดสองทศวรรษที่ผ่านมา (Alaee *et al.* 2003, Meironyte *et al.* 1999, Thomsen *et al.* 2002) และยังมีหลักฐานบางประการที่มีแนวโน้มคล้ายกันสำหรับสาร TBBPA อีกด้วย ในสภาพการทำงานเช่น การรีไซเคิลขึ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ได้พบความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสาร PBDEs และสาร TBBPA ในอากาศและในเลือดของคนงานซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจากการสูดหายใจเอาผงฝุ่นปนเปื้อนเข้าไป (Sjodin *et al.* 2001, Sjodin *et al.* 2003) สำหรับประชาชนทั่วไป หนทางหลักในการสัมผัสน่าจะมาจากอาหาร (โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสาร PBDEs ซึ่งสะสมในทางชีวภาพได้มากกว่า) แม้ว่าแหล่งอื่นของการสัมผัสน่าจะต้องมีความสำคัญด้วย รวมทั้งการสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ทนไฟจากการหายใจเอาอากาศภายในบ้าน และ/หรือ ผงฝุ่นเข้าไป (Harrad *et al.* 2004)

โดยทั่วไป ความรู้เกี่ยวกับความเป็นพิษระยะยาวและขนาดต่ำสำหรับสาร BFRs มีอยู่อย่างจำกัด ในขณะที่การเป็นพิษอย่างรุนแรงของสาร BFRs ได้รับการพิจารณาว่าต่ำ การสัมผัสเป็นประจำกับสาร PBDEs (โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือในครรภ์) ได้ถูกแสดงให้เห็นว่ามีการแทรกแซงการพัฒนาสมองและโครงกระดูกจากการทดลองกับสัตว์ (Eriksson *et al.* 1999) ซึ่งอาจจะนำไปสู่ผลกระทบทางประสาทอย่างถาวร เช่น ความสามารถในการเรียนรู้และความทรงจำสูญเสียไป และผลกระทบด้านพฤติกรรม (Darnerud 2003, Eriksson *et al.* 2001) มีความวิตกกังวลเกี่ยวกับความเสี่ยงสำหรับการพัฒนาพฤติกรรมทางประสาทในมนุษย์จากการสัมผัสกับสาร PBDEs เมื่อแรกเกิดผ่านทางน้ำนมมารดา (Branchi *et al.* 2003) นอกจากนี้ยังมีหลักฐานบางประการด้วยสำหรับการที่สาร PBDEs, HBCD, และ TPPBA เป็นพิษต่อระบบประสาท (Mariussen & Fonnum 2003) สาร BFRs ยังสามารถมีผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนบางระบบได้อีกด้วย สารเมตาโบไลต์ (Metabolites) ของสาร PBDEs และ TBBPA สามารถแทรกแซงฮอร์โมนที่ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อเจริญเติบโตและการพัฒนาได้ (Meerts *et al.* 1998, 2001) สาร BFRs ยังเป็นตัวที่อาจทำลายต่อมไร้ท่อของวิถีเอสโตรเจนได้อีกด้วย (Legler & Brouwer 2003) ในการทดลองในสัตว์กับหนู ได้พบว่าสาร PBDEs ทำให้การเข้าสู่วัยเริ่มเจริญพันธุ์นั้นช้าลง และมีผลกระทบร้ายแรงต่อตับและต่อการพัฒนาของตัวอ่อนในครรภ์ ตลอดจนผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน (Birnbaum & Staskal 2004, Darnerud 2003) สาร HBCD ยังก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อตับในหนู (Alaee *et al.* 2003, Darnerud 2003)

สำหรับบรรดาสาร BFRs การเผาทำลายของเสียซึ่งมีสารประกอบเหล่านี้มีส่วนทำให้เกิดสารโบรมิเนเต็ด ไดออกซิน และสารฟิวแรน ซึ่งจะแสดงความเป็นพิษเท่าเทียมกันกับสารคู่เคียงกันที่ผสมคลอริน (IPCS 1998)

สารทนไฟทำจากโบรมีนได้ถูกจัดรวมไว้ในกลุ่มบัญชีรายการสารเคมีสำหรับการดำเนินการในลำดับต้นเพื่อให้หยุดการปล่อย การปล่อยก๊าซ และการปล่อยของเสียจากบรรดาสารอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลภายในปี 2020 ในการประชุมเมื่อปี 1998 ของคณะรัฐมนตรีเรื่องอนุสัญญา OSPAR ว่าด้วยการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติก (OSPAR 1998) หลังจากนั้นมา OSPAR ได้ตรวจสอบทบทวนโอกาสที่จะดำเนินการกับสาร PBDEs และสาร HBCD แต่ก็กำลังรอผลการประเมินภายในสหภาพยุโรปก่อนจะพัฒนามาตรการเฉพาะเรื่อง (OSPAR 2001) ขณะนี้ยังไม่มีมาตรการใดจาก OSPAR ที่นำมาจัดการกับสาร TBBP-A แม้ว่าเอกสารเบื้องต้นของ OSPAR ได้เสนอแนะไว้ว่าควรสนับสนุนให้มีการทดแทนด้วยสารเคมีที่ปลอดภัยกว่าซึ่งมีความเสี่ยงน้อยกว่าต่อสิ่งแวดล้อม (OSPAR Commission 2004)

กฎหมายของสหภาพยุโรปซึ่งจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิด (ROHS) ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ห้ามการจำหน่ายอุปกรณ์ใหม่ซึ่งมีสาร PBBs และสาร PBDEs ตั้งแต่วันที่

1 กรกฎาคม 2006 (EC 2002a) โดยอนุญาตให้มีความเข้มข้นได้สูงสุดร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักสำหรับสารแต่ละกลุ่ม แต่ยังคงมีข้อยกเว้นสำหรับสาร deca-BDE ที่ยังเจรจาทำความเข้าใจกันอยู่ การประเมินความเสี่ยงของสหภาพยุโรปได้สรุปว่าไม่จำเป็นต้องมีการควบคุม แม้ว่าคณะกรรมการวิชาการวิทยาศาสตร์เรื่องความเสี่ยงทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของสหภาพยุโรป (Scientific Committee on Health and Environment Risks หรือ SCHER) ได้ปฏิเสธข้อสรุปดังกล่าวเมื่อไม่นานมานี้และแนะนำต่อไปอย่างแข็งขันให้ใช้มาตรการลดความเสี่ยง (SCHER 2005) กฎหมายของสหภาพยุโรปที่มีลักษณะทั่วไปนั้นได้ห้ามการจำหน่ายและการใช้สาร penta-BDE และสาร octa-BDE ในผลิตภัณฑ์ในวงกว้างกว่า (EU 2003)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการห้ามในระดับประเทศ และ/หรือ ในระดับภูมิภาคจะมีผลบังคับใช้ก็ตาม สารสืบเนื่องจำนวนมากจากสารทนไฟทำจากโบรมีนก็จะยังคงมีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ยังคงใช้กันอยู่ และ/หรือ มีอยู่ในเส้นทางของเสีย ตามกฎหมายของสหภาพยุโรปซึ่งควบคุมของเสียจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE) พลาสติกซึ่งมีสารทนไฟทำจากโบรมีนจะต้องถูกเอาออกจากของเสียดังกล่าวซึ่งแยกเก็บต่างหาก (EC 2002b)

เนื่องจากการคงทนอยู่นานและความไม่เอียงที่สะสมในทางชีวภาพ สาร penta-BDE จึงถูกจัดไว้เป็น “สารอันตรายลำดับต้น” ตามระเบียบกรอบงานเรื่องน้ำของสหภาพยุโรป (EU Water Framework Directive) (EC

2001) นอกจากนี้แล้วเมื่อคำนึงถึงคุณสมบัติ “เหมือน POP” สาร penta-BDE จึงกำลังได้รับการพิจารณาเพิ่มเข้าไปในบัญชีรายการ “สารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน” (Persistent Organic Pollutants หรือ POPs) ซึ่งจะต้องถูกควบคุมทั่วโลกตามอนุสัญญาสตอกโฮล์ม 2001 ซึ่งพัฒนาขึ้นภายใต้ความอุปถัมภ์ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme หรือ UNEP) (Peltola & Yla-Mononen 2001)

## โพลีไวนิลคลอไรด์

โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride หรือ PVC) เป็นพลาสติกผสมคลอรีนซึ่งใช้ในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์บางชนิด เช่น ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าและสายเคเบิล (OECD 2003) ทั้งการผลิต PVC และการกำจัดโดยวิธีการเผาในเตาเผา (หรือการเผาโดยทั่วไป) สามารถยังผลให้เกิดคลอรีเนเต็ด ไดออกซินและฟิวแรน สารเคมีเหล่านี้ตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม สามารถสะสมได้ในทางชีวภาพ และหลายตัวมีความเป็นพิษใน ความเข้มข้นที่ต่ำมาก (Stringer & Johnston 2001) นอกจากนี้ในสูตรการผลิต PVC หลายชนิดจะมีสารเคมี ชนิดต่างๆ อยู่ด้วย เช่น สารดีบุกอินทรีย์ (Organotin) ตัวสร้างเสถียรซึ่งทำด้วยตะกั่วและแคดเมียม และ สารเติมแต่งทำให้ยืดหยุ่นใน PVC ชนิดยืดหยุ่นได้รวมทั้งพทาเลท (Phthalates) (Matthews 1996) สารเติมแต่ง หลายชนิดสามารถถูกปล่อยออกจาก PVC ได้ในระหว่างช่วงอายุของผลิตภัณฑ์และภายหลังการกำจัดทิ้ง (Santillo *et al.* 2003) โลหะหนักจากตัวสร้างเสถียรก็ถูกปล่อยออกมาด้วยในระหว่างการกำจัดทิ้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโดยการเผา (Allsopp *et al.* 2001)

## พทาเลท

พทาเลท (Phthalate Esters) เป็นสารอนุพันธ์เอสเทอร์ของกรดอัลลิกซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ และในการใช้งานของผู้บริโภค สารบางตัวถูกจำหน่ายและใช้เป็นผลิตภัณฑ์เคมีโดยเฉพาะ ของมันเอง (เช่น สารได เอธิลเฮกซิล พทาเลท [di (ethylhexyl phthalate หรือ DEHP)] ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี) ในขณะที่สารตัวอื่นเป็นสารผสมแบบไอโซเมอร์ที่ซับซ้อนซึ่งประกอบด้วยสารประกอบหลายตัวที่มีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน (เช่น ได ไอโซ โนนิล พทาเลท [di-iso-nonyl phthalate หรือ DINP] และได ไอโซ เดซิล พทาเลท [di-iso-decyl phthalate หรือ DIDP]) ผลของการใช้เป็นจำนวนมากในการใช้งานที่โล่งแจ้งทำให้สารเหล่านี้เป็น สารเคมีที่มนุษย์สร้างขึ้นมีอยู่ทั่วไปมากที่สุดตัวหนึ่งที่พบในสิ่งแวดล้อม (Meyer *et al.* 1972)

พทาเลทสามารถนำไปใช้ได้หลายทางโดยขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีที่แน่นอน แม้ว่าจนถึงบัดนี้ที่ถูกใช้มากที่สุดคือใช้เป็นสารเติมแต่งทำให้ยืดหยุ่นในพลาสติกยืดหยุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ PVC สารเหล่านี้จะถูกผลิตใน

ปริมาณสูงมาก ตัวอย่างเช่น ในปี 1997 สาร DEHP เกือบทั้งหมด 600,000 ตัน ถูกผลิตในยุโรปเพียงแห่งเดียว (CSTEE 2002) จากพทาเลทหลักสามตัว (DEHP, DINP และ DIDP) มากกว่าร้อยละ 90 ถูกนำไปใช้กับ PVC ในหลากหลายการใช้งาน (<http://www.ecpi.org/plasticisers/index.html>) การประยุกต์ใช้งานส่วนน้อยได้แก่ การใช้เป็นส่วนประกอบของหมึก สารยัดติด สีทา วัสดุอุดกันรั่ว และสารเคลือบผิว)

ในบรรดาการใช้พทาเลททั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวทำให้ PVC ยืดหยุ่นได้ยังผลให้เกิดมีของเสียในปริมาณมากต่อสิ่งแวดล้อม (ทั้งในร่มและที่กลางแจ้ง) ในระหว่างช่วงอายุของผลิตภัณฑ์และอีกครั้งหนึ่งหลังการกำจัดทิ้ง เฉพาะภายในสหภาพยุโรปอย่างเดียวก็นับจำนวนเป็นพันๆ ตันต่อปี (CSTEE 2001a) ผลที่ตามมาคือพทาเลทได้กลายเป็นสารปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้นมามากและแพร่หลายที่สุดตัวหนึ่งมาเป็นเวลานาน (Meyer *et al.* 1972) และดังนั้นการสัมผัสของมนุษย์กับพทาเลทจึงมีอย่างแพร่หลายและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

หลังจากการปล่อยออกมา แม้ว่าอาจมีการเสื่อมสภาพลงบ้าง แต่ก็ถือว่าพทาเลทค่อนข้างจะมีความคงทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินและในการตกตะกอน การแพร่กระจายอย่างกว้างขวางของพทาเลทได้รับการบันทึกไว้โดยองค์การทางสิ่งแวดล้อมทุกแขนง (CSTEE 2001b) เพราะการใช้อย่างแพร่หลายในวัสดุอาคารและผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในบ้านเรือน พทาเลทจึงเป็นสารปนเปื้อนที่มีอยู่ทั่วไปในอากาศภายในอาคาร (Otake *et al.* 2001) รวมทั้งในศูนย์อนุบาลเด็ก (Wilson *et al.* 2001, Fromm *et al.* 2004) พทาเลทยังถูกรายงานว่าเป็นส่วนประกอบจำนวนมากของผงฝุ่นภายในบ้านอีกด้วย โดยในบางกรณีมีมากกว่า 1 ส่วนในพันส่วน (1 กรัมต่อ 1 กิโลกรัม) ของมวลฝุ่นทั้งหมด (Butte & Heinzow 2002) ผลิตภัณฑ์ PVC ได้ถูกพบว่าปล่อยพทาเลท DEHP และ DBP ออกมา (Afshari *et al.* 2004) และในการศึกษาหนึ่งพบว่า ความเข้มข้นของสารบิวทิล เบนซิล พทาเลท (Butyl Benzyl Phthalate หรือ BBzP) และสาร DEHP ในตัวอย่างฝุ่นจากบ้านมีความเกี่ยวข้องกับจำนวนวัสดุปูพื้นชนิด PVC ในบ้าน (Bornehag *et al.* 2004)

พทาเลทยังมีความสามารถในตัวที่จะสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อทางชีวภาพได้อีกด้วย แม้ว่าการสัมผัสอย่างต่อเนื่องก็มีส่วนต่อระดับภาวะของร่างกายด้วย จากการศึกษาในหลายประเทศได้พบพทาเลทและสารเมตาโบไลต์หลัก (Primary Metabolites) ของพทาเลทในร่างกายมนุษย์ (Colon *et al.* 2000, Blount *et al.* 2000) ในการศึกษาที่สหรัฐอเมริกา สารเมตาโบไลต์ของพทาเลทถูกพบในตัวอย่างปัสสาวะของมนุษย์ที่นำมาวิเคราะห์มากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสัมผัสอย่างแพร่หลายกับพทาเลท โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ ไดเอทิล พทาเลท (Diethyl Phthalate หรือ DEP) ไดบิวทิล พทาเลท (Dibutyl Phthalate หรือ DBP) หรือไดไอโซบิวทิลพทาเลท

(Diisobutylphthalate) เบนซิลบิวทิล พทาเลท (Benzylbutyl Phthalate) และสาร DEHP (Silva *et al.* 2004) ในการศึกษาอีกอันหนึ่งได้ตรวจพบพทาเลทในตัวอย่างบัสสาวะของสตรีมีครรภ์ในนิวยอร์กและเมืองคราคูฟ ประเทศโปแลนด์ และได้พบว่าการสูดอากาศเข้าไปเป็นหนทางสำคัญในการสัมผัสกับพทาเลท (Adibi *et al.* 2003)

ได้มีความวิตกกังวลอย่างมากเกี่ยวกับความเป็นพิษของพทาเลทต่อสิ่งมีชีวิตในป่าและมนุษย์ แม้ว่ากลไกที่แท้จริงและระดับของความเป็นพิษจะแปรเปลี่ยนไปจากองค์ประกอบหนึ่งไปยังอีกองค์ประกอบหนึ่ง ในหลายกรณีจะเป็นสารเมตาโบไลต์ของพทาเลทที่เป็นตัวการสำหรับความเป็นพิษมากที่สุด (Dalgaard *et al.* 2001) สำหรับมนุษย์แล้วแม้ว่าการสัมผัสในปริมาณมากสามารถเกิดขึ้นได้ผ่านทางอาหาร การสัมผัสโดยตรงกับพทาเลทจากผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค และ/หรือ เครื่องมือแพทย์น่าจะมีความสำคัญมาก บางทีตัวอย่างที่ดีที่สุดคือ การสัมผัสของเด็กๆ กับพทาเลทซึ่งใช้ในของเล่นสำหรับกัดซึ่งทำจาก PVC อย่างนิ่ม (Stringer *et al.* 2000) ซึ่งขณะนี้ถูกควบคุมอยู่ในทวีปยุโรป (ดูข้างล่าง)

สาร DEHP ซึ่งเป็นพทาเลทที่ถูกใช้มากที่สุดตัวหนึ่งนั้นเป็นที่ทราบกันว่าเป็นสารพิษต่อระบบสืบพันธุ์ โดยจะขัดขวางการเจริญเติบโตของอวัยวะของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และถูกจัดประเภทในสหภาพยุโรปว่า “เป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์” โดยที่จริงแล้วความเป็นพิษของสารนี้ต่อการเจริญเติบโตของระบบสืบพันธุ์เพศชายได้เป็นที่ทราบกันมากกว่า 50 ปีแล้ว (Park *et al.* 2002) ในการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ได้พบว่าสาร DEHP มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ของเพศเมียในหนูที่โตแล้ว และมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของลูกสัตว์ (Lovekamp-Swan & Davis 2003) ความเป็นพิษที่ตรวจพบส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบของ MEHP ซึ่งเกิดขึ้นในร่างกายเป็นสารเมตาโบไลต์ของสาร DEHP และปรากฏว่ามีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและต่อการทำงานของตับรวมทั้งกระบวนการสร้างและสลายฮอร์โมนและการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Dalgaard *et al.* 2001, Wong and Gill 2002) การศึกษาอื่นๆ ในสัตว์ได้ยืนยันความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ของสาร DEHP และพทาเลทที่ใช้กันทั่วไปอื่นๆ อีกหลายตัว รวมทั้งบิวทิล เบนซิล พทาเลท (BBZP) และไดบิวทิล พทาเลท (DBP) (Ema & Miyawaki 2002, Mylchreest *et al.* 2002) ข้อมูลจากสัตว์ยังบ่งบอกว่าสาร BBZP สาร DBP สาร DEHP และสาร MEHP สามารถทำลายความเสียหายกับอวัยวะได้และลดการผลิตเชื้ออสุจิ (Duty *et al.* 2003) และสำหรับสาร DEHP สาร DBP ถูกจัดประเภทในสหภาพยุโรปว่า “เป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์”

โดยทั่วไป จะคิดกันว่าความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์เป็นเรื่องน่าวิตกน้อยกว่าสำหรับพทาเลทตัวอื่นๆ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ สาร DINP และสาร DIDP แม้ว่าจะมีหลักฐานสำหรับการเจริญเติบโตทางเพศที่ผิดปกติใน

หนูซึ่งสัมผัสกับสาร DINP (Gray *et al.* 2000) และพทาเลทชนิดนี้มีความเป็นฮอร์โมนหญิงอ่อนๆ (Harris *et al.* 1997) ความวิตกอื่นๆ สำหรับสาร DINP และสาร DIDP จะเกี่ยวกับผลกระทบที่เป็นพิษต่อตับและไตเป็นหลัก

ในสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ได้มีการรายงานเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกั้นหลอดลม (โรคหืด) ในเด็กๆ และการมีวัสดุซึ่งมีพทาเลทอยู่มากภายในบ้าน (Oie *et al.* 1997) นอกจากนี้ระดับของพทาเลทในผงฝุ่นในบ้านตามระดับที่พบตามปกติในสิ่งแวดล้อมภายในอาคารก็ยังเกี่ยวข้องกับอาการภูมิแพ้ในเด็กๆ เช่น เยื่อจมูกอักเสบ ผื่นแดง และโรคหืด (Bornehag *et al.* 2004) ในผู้ใหญ่การสัมผัสกับพทาเลทบางชนิด (สาร DBP และสาร DEP) ได้รับการรายงานว่าเกี่ยวข้องกับผลกระทบร้ายแรงต่อการทำงานของปอดในผู้ชาย แม้ว่าจะไม่พบในผู้หญิง (Hoppin *et al.* 2004)

ในปัจจุบันมีการควบคุมเพียงเล็กน้อยสำหรับการจำหน่ายและการใช้พทาเลทแม้ว่ามันจะมีความเป็นพิษอยู่ มีปริมาณการใช้มาก และมีแนวโน้มที่จะเล็ดลอดออกจากผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้สูง สำหรับการควบคุมที่มีอยู่ซึ่งทราบกันดีที่สุดน่าจะเป็นการห้ามฉลากสินค้าสหภาพยุโรปสำหรับการใช้พทาเลทชนิดในของเล่นเด็กที่ออกแบบมาสำหรับให้กัดเล่น (ตกลงกันครั้งแรกในปี 1999 และต่ออายุต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน, EC 2004) แม้ว่าการห้ามนี้ได้กล่าวถึงเส้นทางการสัมผัสที่สำคัญไปเส้นทางหนึ่งก็ตาม แต่การสัมผัสโดยทางสินค้าสำหรับผู้บริโภคอื่นๆก็ยังคงไม่ได้รับการกล่าวถึง

ในปี 1998 การประชุมคณะรัฐมนตรีเรื่องอนุสัญญา OSPAR ว่าด้วยการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติกได้ตกลงกันเรื่องเป้าหมายหยุดการปล่อย การปล่อยก๊าซและการทิ้งของเสียจากบรรดาสารอันตรายลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลภายในปี 2020 และได้รวมพทาเลท DBP และ DEHP ไว้ในบัญชีรายการแรกของสารเคมีที่ต้องถูกดำเนินการในลำดับต้นตามเป้าหมายนี้ (OSPAR 1998) นอกจากนี้สาร DEHP ได้ถูกเสนอให้เป็น “สารอันตรายลำดับต้น” ตามระเบียบกรอบงานเรื่องน้ำของสหภาพยุโรปด้วย (EU 2001) เพื่อเป็นการกำหนดห้ามปล่อยลงน้ำภายใน 20 ปีทั่วทั้งทวีปยุโรป

## สารดีบุกอินทรีย์

สารดีบุกอินทรีย์ (Organotins) เป็นสารประกอบอินทรีย์โดยมีพันธะอย่างน้อยที่สุดหนึ่งพันธะระหว่างคาร์บอนกับดีบุกโลหะ จนถึงปัจจุบันสารที่รู้จักกันดีที่สุด คือ ไทริบิวทิลทิน (Tributyl Tin หรือ TBT) ซึ่งเนื่องจากผลของการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในสีกันเปรียงที่ใช้ทาเรือเดินสมุทรและเรือเล็กได้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงอย่างมากในการพัฒนาทางเพศของหอยทากทะเล อย่างไรก็ตามมีสารประกอบดีบุกอินทรีย์อื่นๆ หลายชนิดใช้กันอยู่

ทั่วไปซึ่งเด่นที่สุดคือ โมโนบิวทิล ทิน (Monobutyl Tin หรือ MBT) และไดบิวทิล ทิน (Dibutyl Tin หรือ DBT) โมโนออกทิล ทิน (Monooctyl Tin หรือ MOT) และไดออกทิล ทิน (Diocetyl Tin หรือ DOT) และไตรฟีนิลทิน (Triphenyltin หรือ TPT)

ถึงแม้ว่าสีกันเพรียงจะเป็นสาร TBT ส่วนใหญ่ที่ถูกนำมาใช้ สารประกอบนี้ยังถูกนำมาใช้เป็นสารป้องกันเชื้อราในผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคบางชนิด ได้แก่ วัสดุปูพื้น PVC (ไวนิล) บางชนิด (Allsopp *et al.* 2000, Oeko-Test 2000) ในผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคสารตีบุกอินทรีย์ที่มีมากที่สุดคือ สาร MBT และสาร DBT ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นตัวทำเสถียรความร้อนในสาร PVC อย่างแข็ง (ท่อ แผง) และอย่างอ่อน (ที่ปิดผนัง เครื่องตกแต่งบ้าน วัสดุปูพื้น ของเล่น) ผลิตภัณฑ์ PVC และในการประยุกต์ใช้เคลือบแก้วบางชนิด (Matthews 1996) การใช้ใน PVC เป็นประมาณสองในสามของการใช้ทั่วโลกของสารประกอบเหล่านี้ (Sadiki & Williams 1999) ซึ่งสามารถรวมกันขึ้นเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โมโนออกทิล ทิน (MOT) และไดออกทิล ทิน (DOT) ยังถูกนำมาใช้เป็นตัวสร้างเสถียร PVC โดยส่วนใหญ่เป็นการประยุกต์ใช้สัมผัสกับอาหารในระดับถึงช่วงกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งได้รับการรายงานสำหรับสาร MOT ในภาชนะบรรจุ PVC (Kawamura *et al.* 2000)

ส่วนใหญ่ของการวิจัยที่กล่าวถึงการแพร่กระจายของสารประกอบตีบุกอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมซึ่งก็สามารถเข้าใจว่าได้เน้นไปที่การกระจายของสาร TBT และผลิตภัณฑ์ของมันที่แตกตัวออกมา (ซึ่งรวมถึงสาร DBT) ในสิ่งแวดล้อมทางทะเล การใช้สีกันเพรียงทำจากสาร TBT ทั่วโลกได้ยังผลให้เกิดการปนเปื้อนในระดับโลกโดยมีผลกระทบร้ายแรงต่อประชากรหอยนางรมและหอยทะเลอื่นๆ (Santillo *et al.* 2001a) การตกค้างยาวนานของบิวทิล ทิน ผนวกกับความสัมพรรคของสารต่อเนื่องต่อห่วงโซ่ชีวิตได้ทำให้มีสารเหล่านี้แพร่กระจายอยู่ในตัวปลา แมวน้ำ ปลาวาฬ และปลาโลมาในบริเวณทะเลหลักทั้งหมด (Iwata *et al.* 1995, Kannan *et al.* 1996, Ariese *et al.* 1998) มีข้อมูลน้อยกว่ามากเกี่ยวกับการแพร่กระจายของสารตีบุกอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ ในการศึกษาครั้งหนึ่งของจำนวนไม่กี่ครั้งที่เกิดขึ้น Takahashi *et al.* (1999) ได้รายงานว่าพบกากบิวทิล ทินในตับของลิงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอื่นๆ ในประเทศญี่ปุ่น ตลอดจนในตับของมนุษย์และได้ให้ความเห็นว่าการใช้ในผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคอาจเป็นหนทางการสัมผัสที่สำคัญหนทางหนึ่ง ได้เป็นที่ทราบกันมานานพอสมควรแล้วว่าตัวสร้างเสถียรบิวทิล ทินสามารถเคลื่อนย้ายจากสาร PVC ในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ในระหว่างการใช้อย่างตามปกติ (Sadiki & Williams 1999) และการใช้ดังกล่าวย่อมต้องมีส่วนอย่างไม่ต้องสงสัยในการมีอยู่อย่างแพร่หลายของสารประกอบตีบุกอินทรีย์ในผงฝุ่นจากสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Santillo *et al.* 2001b)

เป็นที่ทราบกันว่าสารดีบุกอินทรีมีความเป็นพิษที่การสัมผัสในระดับค่อนข้างต่ำไม่เพียงแต่สำหรับสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังเท่านั้นหากแต่ยังสำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอีกด้วย ในสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยทั่วไปสาร TBT จะมีความเป็นพิษมากกว่าสาร DBT ซึ่งก็จะเป็นพิษมากกว่าสาร MBT (Cima *et al.* 1996) แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งนี้ไม่ใช่ว่าต้องเป็นกรณีเช่นนี้เสมอไป สาร DBT มีความเป็นพิษมากกว่าสาร TBT ต่อระบบเอนไซม์ของสิ่งมีชีวิตในทะเลบางชนิด (Al-Ghais *et al.* 2000) และบ่อยครั้งจะมีความเป็นพิษร้ายแรงกว่าสาร TBT ในปลา (O'Halloran *et al.* 1998) โดยมีระบบภูมิคุ้มกันเป็นเป้าหมายหลัก

สารดีบุกอินทรียังได้ถูกแสดงด้วยว่ามีคุณสมบัติเป็นพิษต่อระบบภูมิคุ้มกันและทำให้เกิดสภาพพิการในครรภ์ (ในช่วงกำลังพัฒนา) ในระบบของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Kergosien & Rice 1998) ซึ่งก็เป็นอีกกรณีที่สาร DBT มักจะมีความเป็นพิษมากกว่าสาร TBT (Ema *et al.* 1995) สาร DBT และสาร TBT ได้รับการรายงานว่ายับยั้งเซลล์ของระบบภูมิคุ้มกัน (เซลล์ทำลายตามธรรมชาติ) ภายนอกกาย ที่ความเข้มข้นคล้ายกับระดับซึ่งได้ถูกตรวจพบในเลือดมนุษย์ (Jenkins *et al.* 2004) สาร DBT มีความเป็นพิษกับระบบประสาทต่อเซลล์สมองของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Eskes *et al.* 1999) เมื่อไม่นานมานี้ได้มีรายงานเรื่องการเป็นพิษกับระบบประสาทที่ระดับต่ำกว่าระดับซึ่งได้ตรวจพบในตัวอย่างเลือดมนุษย์ (Jenkins *et al.* 2004) ซึ่งเป็นการให้ความเห็นว่าการสัมผัสเป็นประจำกับสาร DBT ในระดับต่ำในประชากรของมนุษย์อาจทำให้เป็นพิษกับระบบประสาท สาร DBT ยังได้ถูกพบว่าก่อให้เกิดการตายของเซลล์เพิ่มขึ้น (Apoptosis) ในเนื้อเยื่อสมองบางชนิดของหนูซึ่งได้รับการสัมผัสในระหว่างการเจริญเติบโต (Jenkins *et al.* 2004) การสัมผัสของสัตว์กับสารไตรเมทิลทิน (Trimethyltin หรือ TMT) ในระหว่างการเจริญเติบโตสามารถเป็นเหตุให้ความสามารถในการเรียนรู้และความทรงจำสูญเสียไปได้ (Jenkins & Barone 2004) ผลกระทบที่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะในหนูได้รับการรายงานไว้ด้วย (Kumasaka *et al.* 2002)

การศึกษาทั้งในสัตว์และคนได้แสดงให้เห็นว่าการสัมผัสอย่างรุนแรงกับสารดีบุกอินทรีสามารถยังผลให้เกิดการเป็นพิษกับระบบประสาทหรือการเป็นพิษกับระบบภูมิคุ้มกัน ตัวอย่างเช่น การสัมผัสกับมนุษย์อย่างรุนแรงกับไตรเมทิลทินจำนวนมากเนื่องจากการได้รับพิษโดยอุบัติเหตุได้ยังผลให้เกิดความจำเสื่อม การชัก การสูญเสียการได้ยิน ความงุนงงสับสน และการถึงแก่ชีวิต (Jenkins *et al.* 2004) ในขณะที่อาหารทะเลยังอาจจะเป็นแหล่งสำคัญของของการสัมผัสกับสารดีบุกอินทรีสำหรับผู้บริโภคจำนวนมาก การสัมผัสกับผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคซึ่งมีสารเหล่านี้อยู่ หรือผงฝุ่นภายในบ้านก็ยังคงอาจมีความสำคัญอยู่ด้วยเช่นกัน

ปัจจุบันนี้การควบคุมการสัมผัสกับสารประกอบดีบุกอินทรีย์โดยทางกฎหมายได้เน้นเป็นหลักไปที่สาร TBT ในสีกันเปรียง ตั้งแต่ปี 1991 ในสหภาพยุโรปได้ห้ามการใช้กับเรือที่มีขนาดความยาวน้อยกว่า 25 เมตร (Evans 2000) และเมื่อเร็วๆ นี้ องค์การเดินเรือระหว่างประเทศ (International Maritime Organization หรือ IMO) ได้ตกลงที่จะเลิกใช้สาร TBT ทั้งหมดทั่วโลก (จากเดือนมกราคม 2003 เป็นต้นไป) และเลิกการมีสาร TBT อยู่บนเรือ (จากปี 2008 เป็นต้นไป) ตามอนุสัญญาขององค์การเรือ ระบบป้องกันสีกันเปรียงที่เป็นอันตราย ([www.imo.org](http://www.imo.org))

แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมตามที่กล่าวไว้ข้างต้น สาร TBT ก็ยังคงถูกใช้เป็นสารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคบางชนิดต่อไปเช่นเดียวกับการใช้บิวทิล ทินและออกทิล ทิน ตัวอย่างเช่น ภายในสหภาพยุโรปสารประกอบดีบุกอินทรีย์ต้องไม่ถูกนำมาใช้กับผ้าบางชนิดเพื่อที่จะมีคุณสมบัติได้รับ “ป้ายเครื่องหมายผลิตภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” หรือ “Eco-label” (EU 2002) แต่ก็ไม่มีข้อจำกัดในการใช้ถ้าวาสดูหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารดังกล่าวไม่ถูกนำไปสัมผัสกับน้ำ แม้ว่าสาร TBT ได้ถูกจัดประเภทตามระเบียบเรื่องการติดป้ายเครื่องหมายของสหภาพยุโรปว่า “เป็นอันตรายเมื่อสัมผัสกับผิวหนัง เป็นพิษถ้ากลืนกินเข้าไป สามารถระคายเคืองต่อตาและผิวหนัง” และก่อให้เกิด “อันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพเมื่อสัมผัสเป็นเวลานานโดยการสูดหายใจเข้าไปหรือถ้ากลืนกินเข้าไป”

ในปี 1998 ในการประชุมคณะรัฐมนตรีเรื่องอนุสัญญา OSPAR ว่าด้วยการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติก ได้ตกลงกันเรื่อง เป้าหมายหยุดการปล่อย การปล่อยก๊าซ และการทิ้งของเสียของบรรดาสารอันตรายลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลภายในปี 2020 และได้รวมสารประกอบดีบุกอินทรีย์ไว้ในบัญชีรายการแรกของสารเคมีที่ต้องดำเนินการในลำดับต้นตามเป้าหมาย (OSPAR 1998) ในขณะที่การดำเนินการในเบื้องต้นได้เน้นที่การบรรลุผลของอนุสัญญา IMO เรื่องสารป้องกันเปรียงที่เป็นอันตราย (OSPAR 2000) ในปี 2002 OSPAR ได้เริ่มพิจารณาขอบเขตสำหรับการดำเนินการเกี่ยวกับการใช้อื่นๆ และสารประกอบดีบุกอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งรวมทั้งเรื่องการใช้ตัวสร้างเสถียรบิวทิล ทินแม้ว่าจนถึงบัดนี้ยังไม่ได้มีการเสนอมาตรการใดๆ ต่อมาอีก

## เอกสารอ้างอิง

Adibi J.J., Perera F.P., Jedrychowski W., Camann D.E., Barr D. & Jacek R. (2003) Prenatal exposure to phthalates among women in New York City and Krakow, Poland. *Environmental Health Perspectives* 111 (14): 1719-1722

- Afshari A., Gunnarsen L., Clausen P.A. & Hansen V. (2004) Emission of phthalates from PVC and other materials. *Indoor Air* 14 (2): 120-128
- Alaee M., Arias P., Sjödin A & Bergman A. (2003). An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possibly modes of release. *Environment International* 29 (6): 683-689
- Al-Ghais, S.M. & Ahmad, A.B. (2000) Differential inhibition of xenobiotic-metabolizing carboxylesterases by organotins in marine fish. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 46(3): 258-264
- Allchin, C. & Morris, S. (2002) The determination and occurrence of three groups of brominated flame retardants (polybrominated diphenyl ethers, tetrabromobisphenol A and hexabromocyclododecane) in samples of aquatic origin from the UK. In: Readman, J.; Worsfold, P., eds. *Proceedings of ISEAC 32, International Symposium on the Environment and Analytical Chemistry*, Plymouth, 17-20 June 2002: 15
- Allsopp, M., Santillo, D. & Johnston, P. (2000). Hazardous chemicals in PVC flooring. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 14/00, November 2000: 10 pp. [published under cover title "Poison Underfoot: Hazardous Chemicals in PVC Flooring and Hazardous Chemicals in Carpets, ISBN 90-73361-68-0]
- Allsopp, M., Costner, P. & Johnston, P. (2001). *Incineration and Human Health: State of knowledge of the impacts of waste incinerators on human health*. Publ. Greenpeace International, Amsterdam, ISBN 90-73361-69-9: 81 pp.
- Ariese, F., van Hattum, B., Hopman, G., Boon, J. & ten Hallers-Tjabbes, C. (1998) Butyltin and phenyltin compounds in liver and blubber samples of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) stranded in the Netherlands and Denmark.. Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, Report W98-04, March 1998
- Asplund, L., Athanasiadou, M., Sjödin, A., Bergman, Å. & Borjeson, H. (1999b) Organohalogen substances in muscle, egg and blood from healthy Baltic salmon (*Salmo salar*) and Baltic salmon that produced offspring with the M74 syndrome. *Ambio* 28(1): 67-76

- Asplund, L., Hornung, M., Peterson, R.E, Turesson, K. & Bergman, Å. (1999a) Levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish from the Great Lakes and Baltic Sea. *Organohalogen Compounds* 40:351-354
- ASTDR (2000) Toxicological profile for cadmium on CD-ROM. Agency for Toxic Substances and Disease Registry
- Balkissoon, R. C. & Newman, L. S. (1999) Beryllium copper alloy (2%) causes chronic beryllium disease. *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 41(4): 304-308
- Basel (2004) Technical guidelines on the environmentally sound recycling/reclamation of metals and metal compounds (R4). Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal, UNEP/CHW.7/8/Add.3. Available [www.basel.int/meetings/cop/cop7/docs/08a3e.pdf](http://www.basel.int/meetings/cop/cop7/docs/08a3e.pdf)
- Belfroid, A.C., Purperhart, M. & Ariese, F. (2000) Organotin levels in seafood. *Marine Pollution Bulletin* 40(3): 226-232
- Bellinger, D. & Dietrich, K.N. (1994) Low-level lead exposure and cognitive functioning in children. *Pediatric Annals* 23: 600-605
- Birnbaum L.S & Staskal D.F. (2004). Brominated flame retardants: cause for concern? *Environmental Health Perspectives* 112 (1): 9-17
- Blount, B.C., Silva, M.J., Caudill, S.P., Needham, L.L., Pirkle, J.L., Sampson, E.J., Lucier, G.W., Jackson, R.J. & Brock, J.W. (2000) Levels of seven urinary phthalate metabolites in a human reference population. *Environmental Health Perspectives* 108(10): 979-982
- Bornehag C-G., Sundell J., Weschler C.J., Sigsgaard T., Lundgren B., Hasselgren M. & Hägerhed-Engman L. (2004) The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: a nested case-control study. *Environmental Health Perspectives* 112 (14): 1393-1397
- Branchi I., Capone F., Alleva E. & Costa L.G. (2003). Polybrominated Diphenyl ethers: neurobehavioural effects following developmental exposure. *NeuroToxicology* 24 (3): 449-462
- Butte, W. & Heinzow, B. (2002) Pollutants in house dust as indicators of indoor contamination. *Reviews in Environmental Contamination and Toxicology* 175: 1-46

- Canfield, R.L., Henderson, C.R., Cory-Slechta, D.A., Cox, C., Jusko, T.A., Lanphear, B.P. (2003) Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10  $\mu\text{g}$  per deciliter. *New England Journal of Medicine* 348(16): 1517-1526
- Cima, F., Ballarin, L., Bressa, G., Martinucci, G. & Burighel, P. (1996) Toxicity of organotin compounds on embryos of a marine invertebrate (*Styela plicata*; Tunicata). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 35(2): 174-182
- Cohen, B.S. & Positano, R. (1986) Resuspension of dust from work clothing as a source of inhalation exposure. *American Industrial Hygiene Association Journal* 47(5): 255-258
- Colon, I., Caro, D., Bourdony, C.J. & Rosario, O. (2000) Identification of phthalate esters in the serum of young Puerto Rican girls with premature breast development. *Environmental Health Perspectives* 108(9): 895-900
- CSTEE (2001a) EC Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment, Opinion on the results of the Risk Assessment of: 1,2-Benzenedicarboxylic acid, di-C8-10-branched alkyl esters, C9-rich and di-"isononyl" phthalate - Report version (Human Health Effects): Final report, May 2001. Opinion expressed at the 27th CSTEE plenary meeting, Brussels, 30 October 2001: 7 pp. [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/sct/out120\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/sct/out120_en.pdf)
- CSTEE (2001b) EC Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment, Opinion on the results of the Risk Assessment of: 1,2-Benzenedicarboxylic acid, di-C8-10-branched alkyl esters, C9-rich and di-"isononyl" phthalate - Report version (Environment): Final report, May 2001. Opinion expressed at the 27th CSTEE plenary meeting, Brussels, 30 October 2001: 5 pp. [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/sct/out122\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/sct/out122_en.pdf)
- CSTEE (2002) EC Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment, Opinion on the results of the Risk Assessment of Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). Report version: Human Health, September 2001. Opinion expressed at the 29th CSTEE plenary meeting, Brussels, 09 January 2002: 8 pp. [http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/sct/out141\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/sct/out141_en.pdf)
- Cullen, M.R., Kominsky, J.R., Rossman, M.D., Cherniack, M.G., Rankin, J.A., Balmes, J.R., Kern, J.A., Daniele, R.P., Palmer, L., Naegel, G.P., McManus, K. & Cruz R. (1987) Chronic beryllium disease in a precious metal refinery: clinical, epidemiologic and immunologic evidence for

continuing risk from exposure to low level beryllium fume. American Review of Respiratory Disease 135:201-209

Dalgaard, M., Nellemann, C., Lam, H.R., Sorensen, I.K. & Ladefoged, O. (2001) The acute effects of mono(2-ethylhexyl)phthalate (MEHP) on testes of prepubertal Wistar rats. Toxicology Letters 122: 69-79

Darnerud P.O. (2003). Toxic effects of brominated flame retardants in man and in wildlife. Environment International 29 (6): 841-853

de Boer, J., Wester P.G., Klamer H.J.C., Lewis, W.E. & Boon J.P. (1998) Do flame retardants threaten ocean life? Nature 394 (2 July): 28-29  
DHHS (2002) 10<sup>th</sup> Report on Carcinogens. U.S. Department of Health and Human Services, US Public Health Service, National Toxicology Program

Duty, S.M., Singh, N.P., Silva, M.J., Barr, D.B., Brock, J.W., Ryan, L., Herrick, R.F., Christiani, D.C. & Hauser, R. (2003) The relationship between environmental exposures to phthalates and DNA damage in human sperm using the neutral comet assay. Environmental Health Perspectives 111 (9): 1164-1169

EC (1998) Commission Directive 98/101/EC of 22 December 1998 adapting to technical progress Council Directive 91/157/EEC on batteries and accumulators containing certain dangerous substances. Official Journal L 001, 05/01/1999: 1-2

EC (2001) Decision No 2455/2001/EC of the European Parliament and of the Council of 20 November 2001 establishing the list of priority substances in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC, Official Journal L 249, 17/09/2002: 27-30

EC (2002a) Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Official Journal L 037, 13/02/2003: 19-23

EC (2002b) Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) - Joint declaration of the European Parliament, the Council and the Commission relating to Article 9. Official Journal L 037, 13/02/2003: 24-39

- EC (2003) Directive 2003/11/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 amending for the 24<sup>th</sup> time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (pentabromodiphenyl ether, octabromodiphenyl ether), Official Journal L 42, 15/02/2003: 45-46
- EC (2004) Commission Decision 2004/781/EC amending Decision 1999/815/EC concerning measures prohibiting the placing on the market of toys and childcare articles intended to be placed in the mouth by children under three years of age made of soft PVC containing certain phthalates. Official Journal L 344, 20.11.2004: 35-36
- EEC (1991) Directive 91/338/EEC of 18 June 1991 amending for the 10th time Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations. Official Journal L 186, 12/07/1991: 59-63
- Elinder, C.G. and Jarup, L. (1996) Cadmium exposure and health risks: recent findings. *Ambio* 25, 5: 370-373
- Ema, M., Kurosaka, R., Amano, H. & Ogawa, Y. (1995) Comparative developmental toxicity of butyltin trichloride, dibutyltin dichloride and tributyltin chloride in rats. *Journal of Applied Toxicology* 15(4): 297-302
- Ema, M. & Miyawaki, E. (2002) Effects on development of the reproductive system in male offspring of rats given butyl benzyl phthalate during late pregnancy. *Reproductive Toxicology* 16: 71-76
- ENDS (2002) PVC Industry agrees to phase out lead stabilisers by 2015. The ENDS Report No. 328, May 2002, 31-32
- Eriksson, P., Viberg, H., Ankarberg, E., Jakobsson, E., Örn, U. & Fredriksson, A. (2001) Polybrominated diphenylethers (PBDEs): a novel class of environmental neurotoxicants in our environment. In: Asplund, L.; Bergman, Å.; de Wit, C., *et al.* eds. Proceedings of the Second International Workshop on Brominated Flame Retardants, BFR 2001, Stockholm, May 14-16 2001: 71-73
- Eskes, C., Honegger, P., Jones-Lepp, T., Varner, K., Matthieu, J.M. & Monnet-Tschudi, F. (1999) Neurotoxicity of dibutyltin in aggregating brain cell cultures. *Toxicology In Vitro* 13(4-5): 555-560

- Evans, S.M. (2000) Marine antifoulants. In: C. Sheppard [Ed.], *Seas at the Millenium: An Environmental Evaluation*, Volume III: Global Issues and Processes, Elsevier Science Ltd, Oxford, ISBN: 0-08-043207-7, Chapter 124: 247-256
- Field S. (2001) Toxic Beryllium: New Solutions for a chronic problem. *Environmental Health Perspectives* 109(2): A74-A79
- Fromme H., Lahrz T., Piloty M., Gebhart H., Oddoy A. & Rüden H. (2004) Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany). *Indoor Air* 14 (3): 188-195
- Goyer, R.A. (1993) Lead toxicity: current concerns. *Environmental Health Perspectives* 100: 177-187
- Goyer, R.A. (1996) Toxic effects of metals. In Casarett & Doull's *Toxicology. The Basic Science of Poisons*, Fifth Edition, Klaassen, C.D. [Ed]. McGraw-Hill Health Professions Division, ISBN 0071054766
- Gray, L.E., Ostby, J., Furr, J., Price, M., Veeramachaneni, D.N.R. & Parks, L. (2000) Perinatal exposure to the phthalates DEHP, BBP and DINP, but not DEP, DMP or DOTP, alters sexual differentiation of the male rat. *Toxicological Sciences* 58(2): 350-365
- Gupta, B.N., Rastogi, S.K., Husain, T., Mathur, N., Pangtey, B.S. (1991) A study of respiratory morbidity and pulmonary-function among solderers in the electronics industry. *American Industrial Hygiene Association Journal* 52(2): 45-51
- Harrad S., Wijesekera R., Hunter S., Halliwell C. & Baker R. (2004). Preliminary assessment of UK human dietary and inhalation exposure to polybrominated dipethyl ethers. *Environmental Science and Technology* 38 (8): 2345-2350
- Harris C.A., Henttu, P., Parker, M.G. & Sumpter, J.P. (1997) The estrogenic activity of phthalate esters in vitro *Environmental Health Perspectives* 105 (8): 802-811
- Hellstrom, L., Elinder, C.G., Dahlberg, B.,Lundberg, M., Jarup, L., Persson, B., & Axelson, O. (2001) Cadmium Exposure and End-Stage Renal Disease. *American Journal of Kidney Diseases*, 38(5), 1001-1008
- Hites R.A. (2004). Polybrominated Diphenyl ethers in the environment and in people: A meta-analysis of concentrations. *Environment, Science and Technology* 38 (4): 945-956

- Hoppin J.A., Ulmer R. & London S.J. (2004) Phthalate exposure and pulmonary function. *Environmental Health Perspectives* 112 (5): 571-574
- Ikonomou, M.G., Rayne, S. & Addison, R.F. (2002) Exponential increases of the brominated flame retardants, polybrominated diphenyl ethers, in the Canadian Arctic from 1981 to 2000. *Environmental Science and Technology* 36(9): 1886-1892
- Infante, P.I. & Newman, L.S. (2004) Beryllium exposure and chronic beryllium disease. *The Lancet* 363: 415-416
- International Agency for Research on Cancer, IARC (1990) Chromium. In International Agency for Research on Cancer (IARC) monograph; Chromium, Nickel and Welding. IARC monograph, Vol. 49, 677pp ISBN 9283212495
- International Agency for Research on Cancer, IARC (1993) Beryllium and Beryllium Compounds. In International Agency for Research on Cancer (IARC) monograph; Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing. IARC monograph, Vol. 58, 444pp ISBN 9283212584
- IPCS (1998) Polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, Environmental Health Criteria, No. 205, International Programme on Chemical Safety, UNEP/ILO/WHO, ISBN 92 4 157205 1: 303 pp.
- Iwata, H., Tanabe, S., Mizuno, T. & Tatsukawa, R. (1995) High accumulation of toxic butyltins in marine mammals from Japanese coastal waters. *Environmental Science and Technology* 29: 2959-2962
- Jakobsson, K., Thuresson, K., Rylander, L., Sjödin, A., Hagmar, L. & Bergman, Å. (2002) Exposure to polybrominated diphenyl ethers and tetrabromobisphenol A among computer technicians. *Chemosphere* 46(5): 709-716
- Jenkins, S.M. & Barone, S. (2004) The neurotoxicant trimethyltin induces apoptosis via caspase activation, p38 protein kinase, and oxidative stress in PC12 cells. *Toxicology Letters* 147 (1): 63-72
- Jenkins, S.M., Ehman, K. & Barone, S. (2004) Structure-activity comparison of organotin species: dibutyltin is a developmental neurotoxicant in vitro and in vivo. *Developmental Brain Research* 151 (1-2): 1-12

- Kannan, K., Corsolini, S., Focardi, S., Tanabe, S. & Tatsukawa, R. (1996) Accumulation pattern of butyltin compounds in dolphin, tuna and shark collected from Italian coastal waters. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 31: 19-23
- Kawamura, Y., Machara, T., Suzuki, T. & Yamada, T. (2000) Determination of organotin compounds in kitchen utensils, food packages and toys by gas chromatography/atomic emission detection method. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan* 41(4): 246-253
- Kelleher, P.C., Martyny, J.W., Mroz, M.M., Maier, L.A., Rutenber, A.J., Young, D.A. & Newman, L.S. (2001) Beryllium particulate exposure and disease relations in a beryllium machining plant. *Journal of Occupational & Environmental Medicine* 43(3): 238-249
- Kergosien, D.H. & Rice, C.D. (1998) Macrophage secretory function is enhanced by low doses of tributyltin-oxide (TBTO), but not tributyltin-chloride (TBTCl). *Arc. Environ. Contam. Toxicol.* 34: 223-228
- Knishkowsky, B. & Baker, E.L. (1986) Transmission of occupational disease to family contacts. *American Journal of Industrial Medicine* 9(6): 543-550
- Kolanz, M.E. (2001) Introduction to Beryllium: Uses, Regulatory History, and Disease. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 16(5): 559-567
- Kumasaka, K., Miyazawa, M., Fujimaka, T., Tao, H., Ramaswamy, B.R., Nakazawa, H., Makino, T. & Satoh, S. (2002) Toxicity of the tributyltin compound on the testis in premature mice. *Journal of Reproduction and Development* 48(6): 591-597
- Lovekamp-Swan T. & Davis B.J. (2003) Mechanisms of phthalate ester toxicity in the female reproductive system. *Environmental Health Perspectives* 111 (2): 139-145
- Lassen, C., Lokke, S. & Hansen, L.I. (1999) Brominated Flame Retardants: substance flow analysis and substitution feasibility study. Danish Environmental Protection Agency Environmental Project No. 494, Copenhagen, ISBN 87-7909-415-5: 240 pp.
- Legler J. & Brouwer A. (2003). Are brominated flame retardants endocrine disruptors? *Environmental International* 29 (6): 879-885
- Lindstrom, G., van Bavel, B., Hardell, L. & Liljegren, G. (1997) Identification of the flame retardants polybrominated diphenyl ethers in adipose tissue from patients with non-Hodgkin's lymphoma in Sweden. *Oncology Reports* 4(5): 999-1000

- Mahaffey, K.R., Clickner, R.P. & Bodurow, C.C. (2004) Blood Organic Mercury and Dietary Mercury Intake: National Health and Nutrition Examination Survey, 1999 and 2000. *Environmental Health Perspectives* 112(5): 562-570
- Malcoe, L.H., Lynch, R.A., Kegler, M.C. & Skaggs, V.J. (2002) Lead sources, behaviors, and socioeconomic factors in relation to blood lead of native American and white children: A community-based assessment of a former mining area  
*Environmental Health Perspectives* 110 (Supplement 2): 221-231
- Mangialardi, T., Piga, L., Schena, G. & Sirini, P. (1998) Characteristics of MSW incinerator ash for use in concrete. *Environmental Engineering Science* 15(4): 291-297
- Mariussen E. & Fonnum F. (2003). The effect of brominated flame retardants on neurotransmitter uptake into rat brain synaptosomes and vesicles. *Neurochemistry International* 43 (4-5):533-542
- Matthews, G. (1996) PVC: production, properties and uses. Publ: The Institute of Materials, London.
- Mayer, F.L., Stalling, D.L. & Johnson, J.L. (1972) Phthalate esters as environmental contaminants. *Nature* 238: 411-413
- Meerts, I.A.T.M., Marsh, G., van Leeuwen-Bol, I., Luijks, E.A.C., Jakobsson, E., Bergman, Å. & Brouwer, A. (1998) Interaction of polybrominated diphenyl ether metabolites (PBDE-OH) with human transthyretin *in vitro*. *Organohalogen Compounds* 37: 309-312
- Meerts, I.A.T.M., Letcher, R.J., Hoving, S., Marsh, G., Bergman, Å., Lemmen, J.G., van der Burg, B. & Brouwer, A. (2001) *In vitro* estrogenicity of polybrominated diphenyl ethers, hydroxylated PBDEs and polybrominated bisphenol A compounds. *Environmental Health Perspectives* 109(4): 399-407
- Meironyte, D., Noren, K. & Bergman, Å. (1999) Analysis of polybrominated diphenyl ethers in Swedish human milk. A time-related trend study, 1972-1997. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A* 58(6): 329-341
- Meneses, M., Wingfors, H., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Lindstrom, G. & von Bavel, B. (1999) Polybrominated diphenyl ethers detected in human adipose tissue from Spain. *Chemosphere* 39(13): 2271-2278
- Mukherjee, A.B. (1998) Chromium in the environment of Finland. *The Science of the Total Environment* 217: 9-19

- Musson, S.E., Jang, Y.C., Townsend, T.G., Chung, I.H. (2000) Characterization of lead leachability from cathode ray tubes using the toxicity characteristic leaching procedure. *Environmental Science & Technology* 34(20): 4376-4381
- Mylchreest, E., Sar, M., Wallace, D.G. & Foster, P.M.D. (2002) Fetal testosterone insufficiency and abnormal proliferation of Leydig cells and gonocytes in rats exposed to di(n-butyl) phthalate. *Reproductive Toxicology* 16: 19-28
- Newman, L.S. (1995) Beryllium disease and sarcoidosis: clinical and laboratory links. *Sarcoidosis* 12: 7-19
- Newman, L.S., Lloyd, J. & Daniloff, E. (1996) The natural history of beryllium sensitization and chronic beryllium disease. *Environmental Health perspectives* 104 (Supplement 5): 937-943
- Oie, L., Hersoug, L.G. & Madsen, J.O. (1997) Residential exposure to plasticizers and its possible role in the pathogenesis of asthma. *Environmental Health Perspectives* 105 (9): 972-978
- O'Halloran, K., Ahokas, J.T. & Wright, P.F.A. (1998) Response of fish immune cells to *in vitro* organotin exposures. *Aquatic Toxicology* 40(2-3): 141-156
- OECD (2003) Technical guidance for the environmentally sound management of specific waste streams: used and scrap personal computers. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Working Group on Waste Prevention and Recycling. ENV/EPOC/WGWPR(2001)3/FINAL.
- Oeko-Test (2000) Sondermüll im Haus. *öko-test magazine* 5/2000: 74-79
- OSPAR (1998) OSPAR Strategy with Regard to Hazardous Substances, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, OSPAR 98/14/1 Annex 34
- OSPAR (2000) OSPAR Background Document on Organic Tin Compounds, OSPAR Priority Substances Series, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, OSPAR Commission, London, ISBN 0-946956-56-1: 16pp.
- OSPAR (2001) Certain Brominated Flame Retardants – Polybrominated Diphenylethers, Polybrominated Biphenyls, Hexabromocyclododecane, OSPAR Priority Substances Series, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, OSPAR Commission, London: 25pp.

- OSPAR (2004) OSPAR Commission 2001 (updated 2004). Background document on certain brominated flame retardants – polybrominated diphenylethers, polybrominated biphenyls, hexabromo cyclododecane. ISBN 0 946956 78 2
- Otake, T., Yoshinaga, J. & Yanagisawa, Y. (2001) Analysis of organic esters of plasticizer in indoor air by GC-MS and GC-FPD. *Environmental Science and Technology* 35(15): 3099-3102
- Park, J.D., Habeebu, S.S.M. & Klaassen, C.D. (2002) Testicular toxicity of di-(2-ethylhexyl)phthalate in young Sprague-Dawley rats. *Toxicology* 171: 105-115
- Peltola, J. & Yla-Mononen, L. (2001) Pentabromodiphenyl ether as a global POP. *TemaNord* 2001:579, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, ISBN 92-893-0690-4: 78 pp.
- Ratcliffe, H.E., Swanson, G.M. and Fischer, L.J. (1996). Human exposure to mercury: a critical assessment of the evidence of adverse health effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 49: 221-270
- Sadiki, A-I. & Williams, D.T. (1999) A study on organotin levels in Canadian drinking water distributed through PVC pipes. *Chemosphere* 38 (7): 1541-1548
- Sadiq, M. (1992) Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker Inc., New York, Basel, Hong Kong. ISBN 0824786475
- Salomons, W. and Forstner, U. (1984) Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, ISBN 3540127550
- Sanderson, W.T., Henneberger, P.K., Martyny, J., Ellis, K., Mroz, M.M. & Newman L.S. (1999) Beryllium contamination inside vehicles of machine shop workers. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 14(4): 223-230
- Santillo, D., Johnston, P. & Langston, W.J. (2001a) Tributyltin (TBT) antifoulants: a tale of ships, snails and imposex. Chapter 13 in: P. Harremoës, D. Gee, M. MacGarvin, A. Stirling, J. Keys, B. Wynne, S.G. Vaz [eds], *Late Lessons from Early Warnings: the precautionary principle 1896-2000*, European Environment Agency Environmental Issue Report No 22, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-9167- 323-4: 135-148
- Santillo, D., Johnston, P. & Brigden, K. (2001b) The presence of brominated flame retardants and organotin compounds in dusts collected from Parliament buildings from eight countries. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 03/2001, March 2001: 24 pp.

- Santillo, D., Labunska, I., Davidson, H., Johnston, P., Strutt, M. & Knowles, O. (2003). Consuming Chemicals: Hazardous Chemicals in house dust as an indicator of chemical exposure in the home: Part I - UK. Greenpeace Research Laboratories Technical Note 01/2003, April 2003: 74 pp.
- Sauve, S., McBride, M.B. & Hendershot, W.H. (1997) Speciation of lead in contaminated soils. *Environmental Pollution* 98(2): 149-155
- Schuler, C.R., Kent, M.S., Deubner, D.C., Berakis, M.T., McCawley, M., Henneberger, P.K., Rossman, M.D. & Kreiss, K. (2005) Process-related risk of beryllium sensitization and disease in a copper-beryllium alloy facility. *American Journal of Industrial Medicine* 47(3): 195-205
- Schutz, A., Olsson, M., Jensen, A., Gerhardsson, L., Borjesson, J., Mattsson, S., Skerfving, S. (2005) Lead in finger bone, whole blood, plasma and urine in lead-smelter workers: extended exposure range. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 78(1): 35-43
- Scientific Committee on Health and Environmental Risks, SCHER (2005) Opinion on "Update of the risk assessment of bis(pentabromophenyl) ether (decabromodiphenyl ether)", 18<sup>th</sup> March 2005. Available; [http://europa.eu.int/comm/health/ph\\_risk/committees/04\\_scher/docs/scher\\_o\\_012.pdf](http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_012.pdf)
- She, J., Winkler, J., Visita, P., McKinney, M. & Petreas, M. (2000) Analysis of PBDEs in seal blubber and human breast adipose tissue samples. *Organohalogen Compounds* 47: 53-56
- Silva M.J., Barr D.B., Reidy J.A., Malek N.A., Hodge C.C., Caudill S.P., Brock J.W., Needham L.L. & Calafat A.M. (2004) Urinary levels of seven phthalate metabolites in the U.S. population from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2000. *Environmental Health Perspectives* 112 (3): 331-338
- Sjödén, A., Carlsson, H., Thuresson, K., Sjölin, S., Bergman, Å. & Ostman, C. (2001) Flame retardants in indoor air at an electronics recycling plant and at other work environments. *Environmental Science and Technology* 35(3): 448-454
- Sjödén A., Patterson D.G. and Bergman A. (2003). A review on human exposure to brominated flame retardants – particularly polybrominated diphenyl ethers. *Environment International* 29: 829-839
- Strandman, T., Koistinen, J., Kiviranta, H., Vuorinen, P.J., Tuomisto, J. & Vartiainen, T. (1999) Levels of some polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish and human adipose tissue in Finland. *Organohalogen Compounds* 40:355-358

- Stringer, R., Labunska, I, Santillo, D., Johnston, P., Siddorn, J. & Stephenson, A. (2000)  
Concentrations of phthalate esters and identification of other additives in PVC children's toys.  
Environmental Science and Pollution Research 7(1): 27-36
- Stringer, R.L. & Johnston, P.A. (2001) Chlorine and the Environment: An Overview of the Chlorine  
Industry. Publ. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. ISBN 0-7923-6797-9,  
429pp
- Takahashi, S., Mukai, H., Tanabe, S., Sakayama, K., Miyazaki, T. & Masuno, H. (1999) Butyltin  
residues in livers of humans and wild terrestrial mammals and in plastic products. Environmental  
Pollution 106: 213-218
- Taylor, T.P., Ding, M., Ehler, D.S., Foreman, T.M., Kaszuba, J.P. & Sauer, N.N. (2003) Beryllium in  
the environment: A review. Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous  
Substances & Environmental Engineering 38(2): 439-469
- Thomsen, C., Lundanes, E. & Becher, G. (2002) Brominated flame retardants in archived serum  
samples from Norway: A study on temporal trends and the role of age. Environmental Science  
and Technology 36(7): 1414-1418
- Tinkle, S.S., Antonini, J.M., Rich, B.A., Roberts, J.R., Salmen, R., DePree, K. & Adkins, E.J. (2003)  
Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease. Environmental Health  
Perspectives 111(9): 1202-1208
- UNEP (2002) Global Mercury Assessment, United Nations Environment Programme (UNEP)  
Chemicals, Geneva, Switzerland. Available at; [www.chem.unep.ch/mercury](http://www.chem.unep.ch/mercury)
- United States Code of Federal Regulations, USFCR (1999) Title 29, Labor, Part 1910. Occupational  
Safety and Health Standards, Subpart Z, Toxic and Hazardous Substances, Title 29, Volume 6,  
parts 1910.1000, Washington, DC
- Viet, S.M., Torma-Krajewski, J. & Rogers J. (2000) Chronic beryllium disease and beryllium  
sensitization at Rocky Flats: A case control study. American Industrial Hygiene Association  
Journal 61: 244-254
- Virtanen, J.K., Voutilainen, S., Rissanen, T.H., Mursu, J., Tuomainen, T., Korhonen, M.J., Valkonen,  
V., Seppänen, K., Laukkanen, J.A., Salonen, J.T. (2005) Mercury, Fish Oils, and Risk of Acute

Coronary Events and Cardiovascular Disease, Coronary Heart Disease, and All-Cause Mortality in Men in Eastern Finland. *Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology* 25: 228-233

Wilson, N.K., Chuang, J.C. & Lyu, C. (2001) Levels of persistent organic pollutants in several child day care centres. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 11(6): 449-458

Wong, J.S. & Gill, S.S. (2002) Gene expression changes induced in mouse liver by di(2-ethylhexyl) phthalate. *Toxicology and Applied Pharmacology* 185(3): 180-196

World Health Organisation (1989a) Lead; environmental aspects. *Environmental Health Criteria* 85. ISBN 9241542853

World Health Organisation (1989b) Mercury. *Environmental Health Criteria* 86. ISBN9241542861

World Health Organisation, WHO (1990) Beryllium. *Environmental Health Criteria* 106. ISBN 9241571063

World Health Organisation (1992) Cadmium. *Environmental Health Criteria* 135. ISBN 9241571357