



สารนำรู้จากงานวิจัยและบทความ ทางวิชาการด้านความปลอดภัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิกา สุนทรไชยกุล Ph.D. (Food Toxicology and Safety)
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สวัสดีค่ะ กลับมาเจอกันอีก ตามนัดหรือเปล่า ท่านผู้อ่าน หมู่นี้คนเขียนมีความสุขกับอากาศมาก เรายากไม่รู้ว่าฝนตกหรือแดดออก บางทีตอนเช้าตรู่ที่บ้านอากาศจะเย็น หมอกกลบจัด ไม่น่าเชื่อว่า ที่นี้คือดอนเมือง ช่วงปีใหม่ไปตลาดต้นไม้มา พบของแปลกใหม่หลายอย่าง ดอกไม้ที่เราเคยรู้จักเปลี่ยนไป ต้นเล็บมือนางที่เคยเป็นไม้เลื้อย บัดนี้ยืนตรงต้นแนว ต่อยตั้งวัชพืชข้างทาง ถูกตัดแปลง (โหม) จนจำแทบไม่ได้ การเปลี่ยนแปลงของโลกที่เราคุ้นเคยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การจัดการในอนาคตควรเป็นแบบไหนดี

การประยุกต์ใช้แผนการตัดสินใจสำหรับประเมินการได้รับสัมผัสและผลกระทบต่อมนุษย์และระบบนิเวศจากสารเคมีผสมที่ตรวจพบในน้ำผิวดินและน้ำทิ้ง

1. บทนำ

มนุษย์เราและระบบนิเวศเป็นตัวรับสัมผัสสารเคมีหลายชนิดอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่มาตรฐานการควบคุมในปัจจุบันให้ความสำคัญสารเคมีเป็นรายตัวมากกว่าสารผสม ซึ่งเกิดขึ้นจริงในชีวิตเรา ทำให้เกิดความกังวลใจว่า การได้รับสารเคมีชนิดเดียวอาจไม่เกิดผลไม่พึงประสงค์ให้เห็น แต่ถ้าได้รับมากกว่าหนึ่งชนิดอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อคนและสิ่งแวดล้อมมากกว่า หากเป็นเช่นนั้นการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีแบบเดิมคงไม่สามารถตอบโจทย์ได้

สมาคมอุตสาหกรรมสารเคมีแห่งสหภาพยุโรป (CEFIC) ได้แต่งตั้งคณะกรรมการเฉพาะกิจสำหรับศึกษาผลกระทบจากการได้รับสัมผัสร่วมสารเคมีผสม (MIAT) ใน พ.ศ. 2553 คณะกรรมการชุดนี้ MIAT ได้เริ่มพัฒนาแผนการตัดสินใจ (decision tree) สำหรับการประเมินกรณีได้รับสัมผัสสารเคมีผสม การพัฒนาได้แนวคิดจากวิธีการหลากหลายที่ดีพิมพ์ และมาจากคณะกรรมการนักวิทยาศาสตร์ร่วมสามสถาบันแห่งสหภาพยุโรป (SCs) และโครงการระหว่างประเทศว่าด้วยความปลอดภัยสารเคมี (IPCS) รวมทั้งเครื่องมือประเมินล่าสุดที่เรียกว่า “อัตราส่วนสะสมสูงสุด The maximal cumulative ratio: MCR” และการใช้ค่า TTC (Threshold of Toxicological Concern)

รายงานการศึกษานี้อภิปรายเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ “แผนการตัดสินใจ” ในสภาพความเป็นจริงของการได้รับสัมผัสร่วมสารเคมีหลายชนิดพร้อมกัน ผลการศึกษาที่ได้จะมีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น คุณค่าของสิ่งที่ได้จากการศึกษาและประเด็นต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการศึกษา การประยุกต์ครั้งนี้ได้พิจารณาปัญหาของการประเมินความเสี่ยงการได้รับสัมผัสร่วมสารเคมีผสมของมนุษย์และระบบนิเวศผ่านตัวกลางสิ่งแวดล้อม ข้อมูลสารเคมีหลายชนิดเหล่านี้มาจากการตรวจติดตามตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่ผิวดินในยุโรป การใช้แผนการตัดสินใจนี้ไม่สามารถทำได้ทุกขั้นตอนของแผนผัง แต่อย่างน้อยก็สามารถใช้ได้เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในส่วนที่อธิบายความเป็นพิษต่อมนุษย์และระบบนิเวศเมื่อมีข้อมูลจำกัด

2. นิยามศัพท์

2.1 การได้รับสัมผัสร่วม (Combined exposure)

องค์กรหลายสถาบันได้พยายามอภิปราย วิจัย และกำกับความหมายของผลกระทบร่วมจากการได้รับสัมผัสสารเคมีหลายชนิดมานานมากกว่า 50 ปี แต่ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกลับเพิ่มความสับสนและขัดแย้งกัน ดังนั้น การศึกษาได้ให้นิยามคำว่า “การได้รับสัมผัสร่วม หมายถึงบุคคลหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้รับสัมผัสสารเคมีมากกว่าหนึ่งชนิดซึ่งแต่ละชนิดมาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน ปริมาณสารเคมีหลายชนิดที่ได้รับมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน (เช่น รับผ่านทางอากาศหรืออยู่ในผลิตภัณฑ์เดียวกัน เป็นต้น) สามารถจัดเข้าเป็นการได้รับสารเคมีผสมซึ่งการได้รับสารเคมีผสมเป็นส่วนหนึ่งของการได้รับสัมผัสร่วม

2.2 การอธิบายความเสี่ยง

การอธิบายผลไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพใช้ค่า Hazard quotient (HQ) และ Hazard index (HI) โดย

$$HQ = \frac{Dose}{RV} \dots\dots\dots(1)$$

ตามหลักการการประเมินสารผสมของ WHO Tier 1 การศึกษานี้ได้อนุมานว่าแหล่งน้ำผิวดินที่เป็นตัวอย่างของการศึกษาเป็นแหล่งน้ำประปา และคนได้รับสารเคมีมากกว่าหนึ่งชนิดผ่านน้ำดื่ม และสารเคมีในน้ำที่จะถูกเจือจางลง 10 เท่าเมื่อถูกปล่อยลงแหล่งน้ำผิวดิน ทั้งนี้ไม่มีกลไกอื่นตามธรรมชาติลดความเข้มข้นสารเคมีในแหล่งน้ำผิวดิน นอกจากนี้กำหนดว่าความเข้มข้นของสารผสมในแหล่งน้ำผิวดินก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงไปมีค่าเท่ากับ 0 น้ำหนักเฉลี่ยของคนเท่ากับ 60 กิโลกรัม และทุกคนดื่มน้ำวันละ 2 ลิตร

$$HI = \sum HQ \dots\dots\dots(2)$$

ค่า Maximal cumulative ratio (MCR) คำนวณโดยใช้ค่า HI และ HQ สำหรับการประเมินการได้รับสัมผัสสารผสม ด้วยสมการ

$$MCR = \frac{HI}{MHQ} \dots\dots\dots(3)$$

ค่า MHQ คือ HQ ที่มีค่าสูงสุดใช้สำหรับคำนวณสารเคมีเดียวและสารเคมีหลายตัว

กรณีสำหรับการประเมินระบบนิเวศน์ วิธีการประเมินใช้แบบเดียวกับที่ใช้ในการประเมินด้านสุขภาพของคน โดยกำหนดให้ตัวรับทางระบบนิเวศน์อยู่ในแหล่งน้ำผิวดินที่น้ำทิ้งที่ปล่อยลงมา

$$HQ = \frac{Concentration}{RV}$$

2.3 Non-detects (NDs)

การประเมินสารผสมมีความยากลำบากที่บางครั้งความเข้มข้นของสารเคมีบางชนิดมีอยู่ในระดับต่ำมากต่ำกว่าค่าน้อยที่สุดของเครื่องมือจะตรวจวัดได้ (LOD) และตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีค่าในลักษณะนี้ (NDs) ถ้าตัดข้อมูลทิ้งจะมีผลต่อการประเมิน ดังนั้นการศึกษานี้ตั้งกรอบการประเมินสำหรับค่า NDs 2 กรณี คือ (1) NDs = 0 และ (2) NDs = LOD/20.5

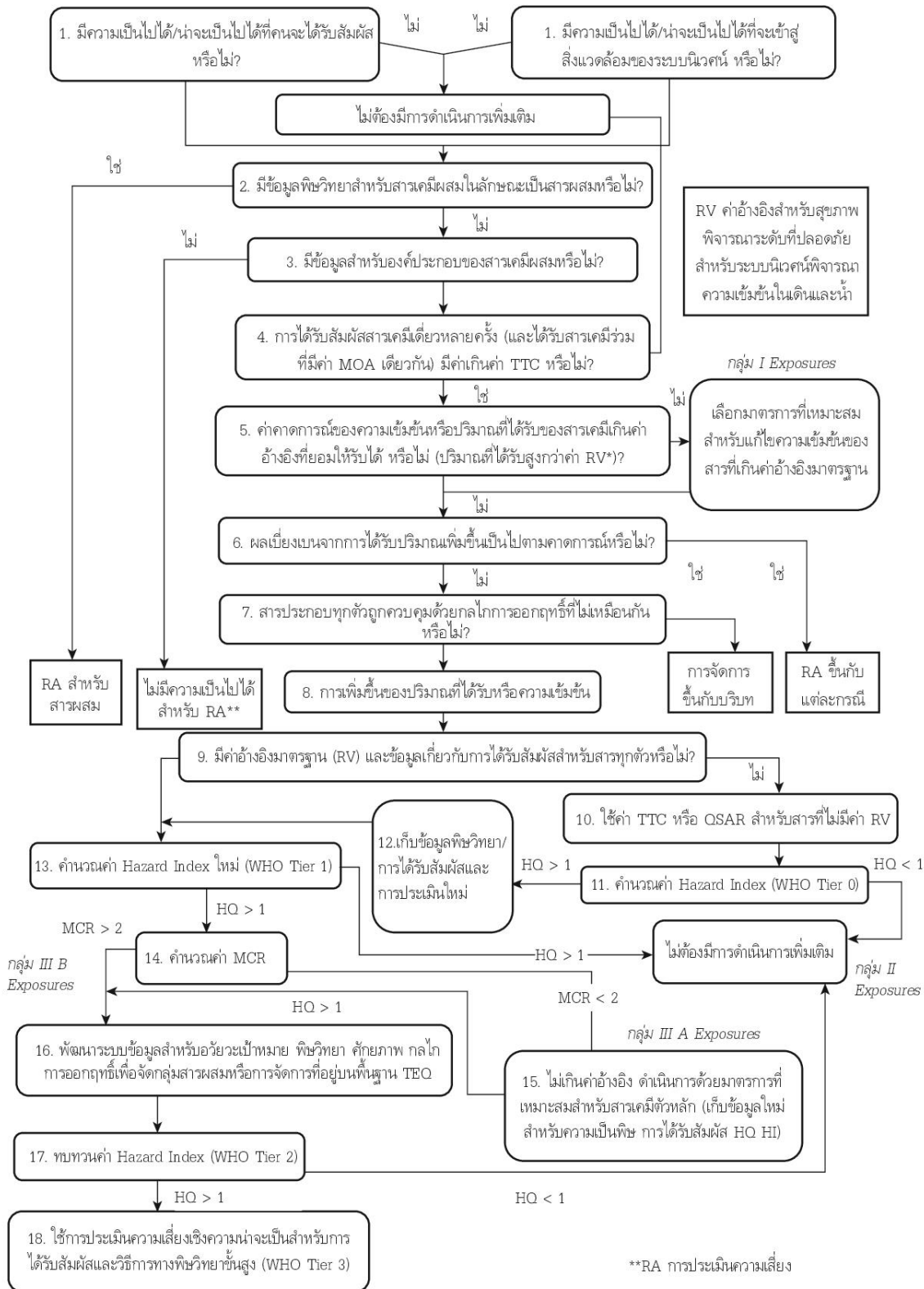
3. วิธีการศึกษา

3.1 แผนการตัดสินใจ (Decision tree)

แผนการตัดสินใจดัดแปลงจาก Cefic MIAT ให้เหมาะสมกับตัวรับของระบบนิเวศน์และสุขภาพของคนต่อการได้รับสัมผัสสารผสมหรือสารเคมีที่เป็นพิษในแหล่งน้ำผิวดินและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในยุโรป แผนการตัดสินใจมีทั้งหมด 18 ขั้นตอน และแบ่งกลุ่มการได้รับสัมผัส 3 กลุ่มคือ กลุ่ม I, II และ III (III A และ III B) Exposures รายละเอียดของแผนการตัดสินใจ (แสดงในภาพที่ 1)

3.2 ข้อมูลการตรวจติดตามทางด้านสิ่งแวดล้อม

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยทำการสำรวจ 2 ครั้ง (CH-1 และ CH-2) การสำรวจทั้ง 2 ครั้งถูกออกแบบให้สอดคล้องกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนย้ายมลพิษในสิ่งแวดล้อม ในที่นี้คือในระบบบำบัดน้ำเสียของเมืองและเมื่อผ่านลงสู่แม่น้ำ ผลจากการสำรวจ 2 ครั้งได้ข้อมูลมา 4 ชุด CH 1-1, CH 1-2, CH 2-1, CH 2-2 ส่วนการสำรวจครั้งที่ 3 และ 4 ดำเนินการในสหราชอาณาจักร UKCIP การสำรวจครั้งที่ 5 เก็บในยุโรป ดังนั้นข้อมูลสำหรับการได้รับสารเคมีผสมมีทั้งหมด 7 ชุด (CH 1-1, CH 1-2,



ภาพที่ 1 แผนการตัดสินใจพัฒนาโดย The Cefic MIAT

CH 2-1, CH 2-2, JRC, UKCIP และ EA) ชุดข้อมูลเหล่านี้แตกต่างกันที่จำนวนสารประกอบที่ทำการวิเคราะห์หาในแต่ละตัวอย่าง

4. ผลการศึกษา

จากข้อมูลในฐานข้อมูล 7 แห่ง (CH 1-1, CH 1-2, CH 2-1, CH 2-2, JRC, UKCIP และ EA) มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 559 ตัวอย่าง โดย 362 ตัวอย่างมาจากแหล่งน้ำผิวดิน และ 197 ตัวอย่างมาจากน้ำทิ้ง ชุดข้อมูลเหล่านี้แตกต่างกันที่จำนวนสารประกอบที่ทำการวิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่าง (ผลสรุปข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบและความเป็นพิษของสารเคมีผสมนำเสนอในตารางที่ 1) จำนวนสารที่สามารถวิเคราะห์ได้มีตั้งแต่ 21 ถึง 123 ชนิด จำนวนสารเคมีที่ตรวจพบในแต่ละตัวอย่างมีตั้งแต่ 2 ถึง 69 ชนิด ค่าเฉลี่ยมาตรฐานเท่ากับ 20.4 มีการวิเคราะห์หาสารเคมีจำนวนทั้งสิ้น 222 ชนิด ตรวจพบ 163 ชนิดจากผลการสำรวจทั้งหมด สารเคมีที่ตรวจพบได้แก่กลุ่มสารอินทรีย์และสารอินทรีย์มีขั้วและไม่มีขั้ว มีค่าอ้างอิงมาตรฐาน (Reference values; RVs) สำหรับประเมินด้านสุขภาพของคนเพียง 100 ชนิด สารเคมีอีกจำนวน 110 ชนิดที่ไม่มีค่า RVs ให้ใช้ตามหลักการ

จัดแบ่งประเภทสารเคมีของ Cramer classification of TTC ซึ่งสารเคมีที่ตรวจพบจัดอยู่ในรูปสารประกอบ 7 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ ออร์โธ-ฟอสเฟต ซัลเฟต โปแตสเซียมและแคลเซียม สารเคมีเหล่านี้มีความเป็นพิษต่ำ และไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และระบบนิเวศน์ที่ระดับความเข้มข้นที่ตรวจพบ (0.08 - 500 ppb)

เมื่อใช้เกณฑ์สำหรับการพิจารณาความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ พบว่ามีสารเคมีจำนวน 143 ชนิดเข้าเกณฑ์ โดยไม่รวม 7 กลุ่มข้างต้น มีสารจำนวน 72 ตัวที่ไม่เข้าเกณฑ์ สารกลุ่มใหญ่ที่ไม่เข้าเกณฑ์จะอยู่ฐานข้อมูลชุด CH 1-2 และ CH 2-1 และสารกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีการตรวจวัดแต่ไม่ตรวจพบ ที่เป็นเช่นนั้นเพราะ สารเหล่านี้ไม่ค่อยถูกตรวจวัดมาก่อนในอดีต แต่ครั้งนี้มีการตรวจวัดเพราะ (1) สารเหล่านี้ถูกปล่อยมากับน้ำทิ้งจากครัวเรือนและสามารถปนเปื้อนลงสู่น้ำผิวดินได้ (2) แม้จะมีการตรวจวัดไม่บ่อยนัก แต่ระดับความเข้มข้นที่ตรวจพบมีค่าสูง หรือ (3) ความวิตกกังวล ความเป็นพิษด้านก่อกลายพันธุ์ การเกิดมะเร็ง หรือผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนหรือระบบภูมิคุ้มกัน

ตารางที่ 1 ลักษณะของสารผสมจำนวน 559 ชนิดในชุดข้อมูล 7 ชุด

ชื่อชุดข้อมูล	ชุดข้อมูล						
	CH 1-1	CH 1-2	CH 2-1	CH 2-2	JRC	UKCIP	EA river
จำนวนตัวอย่าง	74	10	24	9	122	120	200
จำนวนสารที่วิเคราะห์	21	123	63	24	35	47	40
จำนวนสารที่ตรวจพบมากกว่าหนึ่งตัวอย่าง	21	69	45	21	35	46	40
มีข้อมูลความเป็นพิษต่อมนุษย์	21	69	45	21	35	34	36
มีข้อมูลความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์	16	39	37	20	35	39	40
สารที่ไม่เคยตรวจพบ	0	54	18	3	0	1	0
มีข้อมูลความเป็นพิษต่อมนุษย์	-	54	18	3	-	1	-
มีข้อมูลความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์	-	37	8	1	-	1	-
จำนวนต่ำสุดของสารที่ตรวจพบต่อตัวอย่าง	2	55	6	4	4	16	12
จำนวนสูงสุดของสารที่ตรวจพบต่อตัวอย่าง	20	69	32	19	35	42	30
จำนวนเฉลี่ยของสารที่ตรวจพบต่อตัวอย่าง	15.3	62.6	24.1	12.6	22	27.5	20.4



4.1 ผลต่อสุขภาพของมนุษย์

เมื่อใช้แผนการตัดสินใจประเมินพบว่ามีร้อยละ 2 ของสารเคมีจำนวน 559 ชนิด (9 ชนิด) เท่านั้นที่เข้ากลุ่ม I Exposures และมาจากตัวอย่างน้ำผิวดิน ในจำนวนนี้สาร 3 ชนิดได้แก่ โครเมียม เอสทอนและเอริลเอสตราไดออล ถูกประเมินว่ามีค่าเกินเกณฑ์ที่ยอมให้คนรับสัมผัสได้ สารเคมีที่เหลืออีกร้อยละ 98 มีความเสี่ยงรวม (HI: Hazard Index) น้อยกว่า 1 กล่าวคือยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับสารผสมและสารเดี่ยว ดังนั้น จัดอยู่ในกลุ่ม II Exposures ไม่มีสารกลุ่มไหนจัดอยู่ในกลุ่ม III A และ III B Exposures (มีค่าอยู่ในช่วงที่นำกังวลสำหรับสารผสม อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้เมื่อเป็นสารเดี่ยว มีสารเหนียวนำของการเกิดผล) การประเมินโดยเงื่อนไขที่ใช้ค่าความเข้มข้นสูงสุดซึ่งพิจารณาตามฐานคิดที่ว่าสารนั้นเป็นสารเคมีที่มีการตรวจวัดแต่ไม่ตรวจพบ (NDs) ให้เทียบค่าเท่ากับ 0

เมื่อกำหนดค่า NDs เท่ากับค่าต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้หารด้วย 20.5 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือแทบไม่เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสารผสม (ตารางที่ 2)

เมื่อนำค่า MCR เปรียบเทียบกับ HI พบว่าผลของข้อมูลจากฐานข้อมูลทั้ง 7 กลุ่มมีความแตกต่างกันและสามารถถูกจัดเข้ากลุ่มต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนและลักษณะของสารเคมี ตามหลักทฤษฎีขอบเขตสูงสุดของ MCR ที่มีค่าความเข้มข้นเท่ากับจำนวนสารเคมีที่สามารถผ่านไปยังตัวรับได้ ดังนั้น เมื่อค่าเฉลี่ยของจำนวนสารเคมีที่ตรวจพบมีค่า 20 มีความเป็นไปได้ที่ค่า MCR มีค่าเท่ากับหรือสูงกว่า 20 แต่จากการเปรียบเทียบค่าระหว่าง MCR และ HI ค่าเฉลี่ย MCR มีค่า 2.4 และร้อยละ 44 ของค่า MCR มีค่าน้อยกว่า 2 ตัวเลขเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่ามีสารประกอบไม่กี่ชนิดที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่า HI สำหรับรายบุคคลที่ได้รับสัมผัสสารผสม

ตารางที่ 2 อัตราส่วน (%) ของการได้รับสัมผัสสารผสมที่สามารถจัดเข้ากลุ่ม I (ความกังวลต่อสารเดี่ยว) กลุ่ม II (ความกังวลต่อสารผสม) กลุ่ม III (ความกังวลต่อการได้รับสัมผัสรวม) ที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ภายใต้ข้อมูลนานต่างๆ เพื่อประเมินสารเคมีที่ตรวจพบที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าค่าตรวจวัดของเครื่องมือ (ND)

การจัดกลุ่มตามการประเมินด้วยแขนง การตัดสินใจ	ร้อยละของสารผสม		
	ตัวอย่างรวม	ตัวอย่างน้ำผิวดิน	ตัวอย่างน้ำทิ้ง
กลุ่ม I			
Nondetects = 0	2	2	0
Non-detections = Detection limit/ $2^{0.5}$	3	3	0
กลุ่ม II			
Nondetects = 0	98	98	100
Non-detections = Detection limit/ $2^{0.5}$	97	97	100
กลุ่ม III A			
Nondetects = 0	0	0	0
Non-detections = Detection limit/ $2^{0.5}$	0	0	0
กลุ่ม III B			
Nondetects = 0	0	0	0
Non-detections = Detection limit/ $2^{0.5}$	0	0	0

4.2 ผลต่อระบบนิเวศน์

การประเมินผลต่อระบบนิเวศน์มีความแตกต่างจากผลต่อสุขภาพ (ตารางที่ 3) การได้รับสัมผัสสารผสมส่วนใหญ่ (ร้อยละ 68) ประกอบด้วยสารมากกว่าหนึ่งชนิดที่จัดอยู่ในกลุ่ม I ด้านระบบนิเวศน์ และพบในตัวอย่างที่มาจากน้ำทิ้ง (78%) มากกว่าตัวอย่างน้ำผิวดิน (63%) สารต่างๆ ที่ตรวจพบมีค่าเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ได้แก่ โลหะหนัก ยาต่างๆ สารอินทรีย์ สารเคมีปราบวัชพืช อาหารและฮอร์โมน มีเพียงร้อยละ 19 ของการได้รับสัมผัส

สารผสมที่มีค่า HI น้อยกว่า 1 (กลุ่ม II) ตัวอย่างทั้งหมดในกลุ่ม II มาจากน้ำผิวดิน ร้อยละ 12 จัดอยู่ในกลุ่ม III และตัวอย่างส่วนใหญ่ที่มาจากน้ำทิ้ง (20%) มากกว่าน้ำผิวดิน (20%) สารในกลุ่ม III สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ III A (มีสารเหนียวหนึ่งตัว) และ III B (ไม่มีสารเหนียว) การประเมินยังทำภายใต้เงื่อนไข Nondetects = 0 และ Non-detections = Detection limit/2^{0.5} ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ค่า ND มีผลต่อผลการศึกษาแต่ไม่ทั้งหมด

ตารางที่ 3 อัตราส่วน (%) ของการได้รับสัมผัสสารผสมที่สามารถจัดเข้ากลุ่ม I (ความกังวลสำหรับสารเดี่ยว) กลุ่ม II (ความกังวลระดับต่ำสำหรับผลจากสารเดี่ยว) กลุ่ม III (ความกังวลการได้รับสัมผัสร่วม) ที่มีผลต่อระบบนิเวศน์มนุษย์ ภายใต้ข้อมูลนานต่างๆ เพื่อประเมินสารเคมีที่ตรวจพบที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าค่าตรวจวัดของเครื่องมือ (ND)

การจัดกลุ่มตามการประเมินด้วยแขนง การตัดสินใจ	ร้อยละของสารผสม		
	ตัวอย่างรวม	ตัวอย่างน้ำผิวดิน	ตัวอย่างน้ำทิ้ง
กลุ่ม I			
Nondetects = 0	68	63	78
Non-detections = Detection limit/2 ^{0.5}	73	65	86
กลุ่ม II			
Nondetects = 0	19	29	3
Non-detections = Detection limit/2 ^{0.5}	18	27	1
กลุ่ม III A			
Nondetects = 0	6	4	10
Non-detections = Detection limit/2 ^{0.5}	3	2	4
กลุ่ม III B			
Nondetects = 0	6	4	10
Non-detections = Detection limit/2 ^{0.5}	7	5	9



เมื่อนำค่า MCR เปรียบเทียบกับ HI พบว่า ตัวอย่างส่วนใหญ่ที่จัดอยู่ในกลุ่ม I มาจากชุดข้อมูล EA และชุดข้อมูลจากสวิส 4 ชุด ในขณะที่กลุ่ม II มาจากชุดข้อมูล JRC และกลุ่ม III ส่วนใหญ่มาจากชุดข้อมูล UKCIP และ JRC ค่าเฉลี่ยจำนวนสารที่ตรวจพบใน 559 ตัวอย่างมีค่า 20 แต่ค่าเฉลี่ยของ MCR มีค่า 1.8 ทั้งตัวอย่างจากน้ำผิวดิน และน้ำทิ้ง มีจำนวนตัวอย่างเกือบร้อยละ 72 ที่มีค่า MCR น้อยกว่า 2 ค่า MCR สำหรับผลกระทบต่อระบบนิเวศมีค่าน้อยกว่าค่า MCR สำหรับผลกระทบต่อสุขภาพ ผลที่ได้แสดงว่าระบบนิเวศมีความสามารถรับภาระจากการปนเปื้อนสารผสมสูงกว่าสุขภาพของคน

ค่า HI มีความแตกต่างค่อนข้างมากในระหว่าง 4 กลุ่ม ค่า HI ค่อนข้างสูงในกลุ่ม I (ค่าเฉลี่ย 15) มีค่าน้อยที่สุดในกลุ่ม II (ค่าเฉลี่ย 0.4) สำหรับกลุ่ม III A และกลุ่ม III B HI มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.3 - 1.8 ค่าสูงสุดเท่ากับ 3.4 แสดง

ให้เห็นว่าการได้รับสัมผัสสารผสมเป็นสิ่งที่กังวล แต่กลับพบว่าค่า HI ในสารผสมถูกเหินย่นำด้วยสารเคมีเดี่ยวโดยมีสารเคมีเดี่ยวอย่างน้อยหนึ่งชนิดที่มีค่า HQ มากกว่า 1

ประมาณร้อยละ 12 ของสารผสมที่มีค่า HI มากกว่า 1 และต้องใช้วิธีการประเมินร่วมเพื่อจัดเข้ากลุ่ม III ทั้งนี้มีสารเคมี 6 ชนิดที่จัดเข้ากลุ่ม III A ได้แก่ Diclofenac, Clarithromycin, Tramadol, Terbutylazine desethyl, Terbutylazine และ PBDEs ผลการตรวจวัดที่ได้จากฐานข้อมูล UKCIP และ JRC จัดเข้ากลุ่ม III B ซึ่งกลุ่มนี้ต้องใช้วิธีการประเมินความเสี่ยง WHO Tier 3 การประเมินแบบนี้สารเคมีถูกจัดกลุ่มตามกลไกการออกฤทธิ์ สารเคมีจาก UKCIP มีค่าเฉลี่ย MCR 3.0 ขณะที่ JRC มีค่า 3.3 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า HI ถูกเหินย่นำด้วยค่า HQ ของสารเคมีแต่ละชนิด

ตารางที่ 4 สารเคมีเดี่ยวที่มีค่า HQ สูงที่สุดในอันดับ 1 ถึง 4 ของการได้รับสัมผัสสารผสมกลุ่ม III B จากฐานข้อมูล UKCIP และ JRC

ฐานข้อมูล UKCIP (น้ำทิ้ง)		ฐานข้อมูล JRC (น้ำผิวดิน)	
สารเคมี	จำนวนสารผสม (ใน 12 ชนิด)	สารเคมี	จำนวนสารผสม (ใน 10 ชนิด)
Copper	12	Diclofenac	9
Total PDBEs	12	Terbutylazine	9
Zinc	11	Terbutylazine desethyl	9
Propanolol	5	Nonylphenol	6
Iron	3	Bisphenol A	4
Nickel	3	Estrone	3
Fluoxetine	2	Isoproturon	3
		tert-Octylphenol	3

จากตารางที่ 4 มีสารเคมี 4 ชนิดที่มีค่า HQ สูงที่สุดในจำนวนสารผสมทั้งหมด 12 และ 10 ชนิดของฐานข้อมูล UKCIP และ JRC ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม

จำนวนสารทั้ง 4 ชนิดมีส่วนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับชนิดอื่น

5. อภิปรายผลการศึกษา

ผลจากการใช้แผนการตัดสินใจสำหรับการประเมินความเสี่ยงของการได้รับสัมผัสร่วมสารเคมีเป็นเรื่องซับซ้อนและควรนำเสนอประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวกับผลการประเมิน อาทิ การประเมินศักยภาพจากการได้รับสัมผัสร่วมสารเคมี ใช้ข้อมูลที่ดีที่สุดสำหรับความเป็นพิษของสารเคมี สร้างกรอบสำหรับกรณีที่ได้รับสัมผัสปริมาณต่ำมากๆ และอธิบายข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการออกฤทธิ์และสัดส่วนของจำนวนสารเคมี การศึกษาสรุปว่าขั้นตอนที่สำคัญในแผนการตัดสินใจ คือ (1) ขั้นตอนที่ 5 การชั่งป่งกลุ่ม I Exposures และขั้นตอนที่ 8 - 16 สำหรับการจัดกลุ่ม II, III A และ III B

การใช้แผนการตัดสินใจสามารถช่วยในการตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการความเสี่ยงจากการได้รับสารผสมซึ่งขึ้นกับค่า RVs วิธีการได้รับสัมผัส และความพร้อมของวิธีการประเมินในระดับ WHO Tier 0 ใช้ค่า TTC สำหรับประเมินความเสี่ยงสุขภาพในคนและสามารถสร้างมาตรการแก้ไขได้โดยไม่ต้องมีค่า RVs อย่างไรก็ตาม การประเมินระบบนิเวศน์ต้องใช้ Tier 1 (ประเมินโดยเทียบกับค่า RVs) สำหรับสารเคมีจำนวน 72 ชนิดที่ไม่สามารถอธิบายผลกระทบได้ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้แผนการตัดสินใจสำหรับระบบนิเวศน์ต้องคำนึงถึงลักษณะของระบบนิเวศน์ในพื้นที่ศึกษา ตัวอย่างเช่น การประเมินความเสี่ยงกรณีน้ำทิ้ง กรอบการประเมินกำหนดว่าเมื่อน้ำทิ้งถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำผิวดิน ความเข้มข้นจะถูกเจือจางไป 10 เท่า แต่เมื่อเป็นแหล่งน้ำผิวดินขนาดเล็ก ความเข้มข้นจะถูกเจือจางน้อยกว่า 10 เท่า นอกจากนี้ แหล่งน้ำนั้นอาจรับน้ำทิ้งมาจากที่ต่างๆ ทำให้มีการปนเปื้อนสารเคมีอื่นๆ ร่วมด้วย ทั้งหมดนี้จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า HQ และ HI ทำให้การตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการอาจจะเปลี่ยนไป เช่น จากกลุ่ม I Exposures เป็น กลุ่ม II หรือ กลุ่ม III A หรือ III B ก็ได้

ภายใต้กรอบการใช้แผนการตัดสินใจ ค่า HQ และค่า HI ที่มีค่ามากกว่า 1 จากการประเมินขั้นที่ 5 - 11 ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงข้อมูลเกี่ยวกับการได้รับสัมผัสที่ใช้ในขั้นตอนการประเมิน สิ่งที่ต้องการเพิ่มเติมมีดังต่อไปนี้

- คำนวณหาจำนวนเท่าที่เป็นจริงของการเจือจางความเข้มข้นสารเคมีในน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยออกมา
- ตรวจวัดเพิ่มเติมสำหรับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยระยะยาวในตัวอย่างน้ำผิวดิน

- ตรวจหากลไกที่ทำให้ระดับความเข้มข้นของสารเคมีลดลง เช่น การระเหย การสลายตัวตามธรรมชาติ

- ประเมินว่าถ้าค่า RVs ของสารเคมีในสารผสมถูกประยุกต์ใช้สำหรับตัวรับทั่วไปในระบบนิเวศน์

โดยสรุปแผนการตัดสินใจสามารถใช้สำหรับประเมินการได้รับสัมผัสร่วมสารเคมีและผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เครื่องมือนี้สามารถแยกแยะการได้รับสัมผัสร่วมได้ว่าผลที่เกิดขึ้นและแหล่งที่เกิดการสัมผัสร่วมใดที่เป็นจุดเสี่ยง ซึ่งการประเมินสารเคมีทีละชนิดจะไม่สามารถทำให้เห็นตรงจุดนี้ได้ นอกจากนี้แผนการตัดสินใจยังช่วยชี้บ่งว่าสารเคมีตัวใดในสารผสมที่เป็นตัวเหนี่ยวนำค่า HQ และ HI ทำให้มีประโยชน์ต่อการประเมินอย่างมาก

ที่มา: Price P, Han X, Junghans M, Kunz P, Watts C, Leverett D. (2012). An application of a decision tree for assessing effects from exposures to multiple substances to the assessment of human and ecological effects from combined exposures to chemicals observed in surface waters and waste water effluents. *Environmental Sciences Europe*. 24: 34 - 46. <http://www.enveurope.com/content/24/1/34>.



บทเรียนจากการใช้ระบบการจัดการของเสียสำหรับควบคุมของเสียอันตราย

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของสินค้าอุปโภคบริโภคทั่วโลกมีผลต่อการใช้สารเคมีที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากผลิตภัณฑ์นั้นหมดอายุแล้ว เรื่องนี้ไม่ใช่เรื่องใหม่ ในช่วงการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมี การใช้สปีดเคราะหเป็นที่แพร่หลายและมากกว่าการใช้สปีดธรรมชาติ เนื่องจากสปีดเคราะหสามารถควบคุมปริมาณที่ใช้ได้ เมื่อเริ่มต้นศตวรรษที่ 20 ประเทศเยอรมนีและสวิตเซอร์แลนด์เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายสปีดเคราะหทั่วโลก แต่หลังจากมีการค้นพบถึงความเป็นพิษต่อทั้งคนและสิ่งแวดล้อม โรงงานที่เคยผลิตสปีดเคราะหดังกล่าวกลายเป็นพื้นที่ปนเปื้อน ในทำนองเดียวกันเมื่อค้นพบคุณสมบัติของคลอรีน คลอรีนได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมมากมาย ต่อมาเมื่อมีข้อมูลว่าคลอรีนมีความเป็นพิษสูง ออร์แกนิกคลอรีนได้ถูกห้ามใช้ทันที

การเปลี่ยนแปลง 2 ประการที่มีผลต่อการพัฒนากระบวนการผลิต

- การเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลของปริมาณสารเคมีที่มีการใช้ในที่ต่างๆ ทั่วโลก
- ระบบแรงงานทั่วโลก

การเปลี่ยนแปลง 2 ประการที่กล่าวข้างต้นมีผลไม่มากนักน้อยต่อความพอเพียงของสารเคมีสำหรับสายการผลิต และมีผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ในขณะที่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เข้าใจเกี่ยวกับความเป็นพิษหรืออันตรายของสารเคมีเกิดขึ้นช้ากว่า ทำให้การจัดการของเสียมักจะตามหลังการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมเคมี

2. การจัดการของเสียซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการสารเคมี

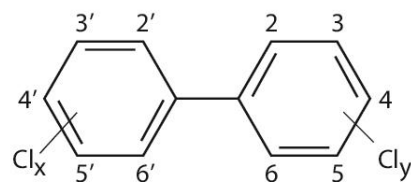
ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดใช้วัสดุหลากหลายชนิดและที่มาของวัสดุก็ต่างกัน การจัดการสายการผลิตและระบบแรงงานเป็นระบบที่ซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับขั้นตอนที่ยุงยาก ปัจจุบันระบบการจัดการของเสียขึ้นกับการจัดการระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค ขั้นตอนการจัดการประกอบด้วยการใช้ซ้ำ รีไซเคิลและการฟื้นฟูแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (ถ้าเป็นไปได้) ดังนั้น การจัดการของเสียจึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการสารเคมี อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตดังนี้

- ช่วงเวลาที่เป็นรอยต่อระหว่างการวางสินค้าในตลาดและการออกระเบียบจำกัดการใช้สารเคมี รอยต่อระหว่างการผลิตและการกำจัดทั้งผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ
 - การเจือจางสารเคมีอันตรายที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์
 - การกระจายตัวอย่างมากของผลิตภัณฑ์ในโลกเทคโนโลยีซึ่งมักมีสารเคมีเป็นองค์ประกอบ
 - ค่าใช้จ่ายสำหรับการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนสารเคมีอันตรายซึ่งมักจะปะปนกับขยะทั่วไป
- รายงานชิ้นนี้ได้ถอดบทเรียนจากสิ่งที่เกิดขึ้นในประเทศเยอรมนี โดยมี 2 กรณีศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 กรณีศึกษา PCBs

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

PCBs (Polychlorinated biphenyls) เป็นกลุ่มสารประเภทเดียวกันแต่มีลักษณะต่างกัน 209 ลักษณะและถูกสังเคราะห์ให้อยู่ในรูปสารผสม เช่น น้ำมัน ซีฟิ่ง ทั้งนี้อธิบายคุณลักษณะตามปริมาณคลอรีนที่ผสมอยู่ (% น้ำหนัก) (โครงสร้างทั่วไปแสดงในภาพที่ 1) จุดหลอมเหลวของสารผสมมีค่าต่ำกว่าสารเคมีเดี่ยวอย่างมาก สารผสมที่มีคลอรีนมากมีความหนืดสูง ดังนั้น ส่วนใหญ่กระบวนการผลิตจะเติม Trichlorobenzene ลงไปเพื่อลดความหนืด PCBs สามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมและอยู่ได้เป็นเวลานาน โดยเฉพาะสารผสมที่มีปริมาณคลอรีนสูง นอกจากนี้ PCBs สามารถสะสมในดิน ตะกอนดิน สิ่งมีชีวิต ความเข้มข้นสูงสุดพบในไขมันของสัตว์ทะเลและมนุษย์ ดังนั้น การบริโภคไขมันสัตว์และปลาจะมีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับ PCBs



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ Polychlorinated biphenyls

ถ้าพิจารณาคุณสมบัติขั้นต้นของ PCBs พบว่ามีโครงสร้างทางเคมีอย่างง่าย ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น จุดหลอมเหลว สัมประสิทธิ์การกระจายตัว และปัจจัยการสะสมจะแตกต่างกันไปขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล และ/หรือปริมาณคลอรีน อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ความเป็นพิษ และการตกค้างยาวนานด้วย ข้อสังเกตที่เกิดจากการถอดบทเรียนในเรื่องนี้มีดังนี้

- ค่าความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การกระจายตัวมีผลต่อการคงตัวยาวนานในสิ่งแวดล้อม
- จุดหลอมเหลว จุดเดือด และค่า K_{ow} เพิ่มขึ้นอย่างมาก ตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนคลอรีนอะตอม (ซึ่งสามารถเข้าแทนที่ไฮโดรเจนอะตอม)

PCBs กลุ่มที่มีโครงสร้างแนวระนาบซึ่งจะคล้าย polychlorinated dibenzodioxins และ dibenzofurans กลุ่มนี้มีความเป็นพิษสูงกว่ากลุ่ม non-planar ดังนั้นค่าความเข้มข้นที่ยอมให้ปนเปื้อนในอาหารแตกต่างกันสำหรับ dl-PCBs และ ndl-PCBs ("dioxin-like", "not dioxin-like")

พื้นที่ที่มีการประยุกต์ใช้และการจัดการของเสีย

PCBs เริ่มมีการใช้ครั้งแรกใน พ.ศ. 2473 สำหรับทำฉนวนกันไฟ ตัวเก็บประจุ หม้อแปลง (การใช้ PCBs ในอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 1) ต่อมาใน พ.ศ. 2513 ได้มีการห้ามใช้สารเคมีกลุ่มนี้เนื่องจากพบว่ามีอันตรายสูง โดยครั้งแรกห้ามเฉพาะระบบการผลิตแบบเปิด อย่างไรก็ตาม แม้จะแสดงว่าระบบการผลิตที่ใช้เป็นระบบปิด ความเป็นจริงยังลักลอบใช้ระบบเปิด เพราะปริมาณ 2/3 ของการใช้ PCBs หายไปจากระบบ แม้กระทั่งในปัจจุบันมีการใช้ PCBs ในการก่อสร้างอาคารโดยเป็นส่วนผสมในสีและวัสดุเชื่อมต่อต่างๆ ในปริมาณ 1/3 แต่เนื่องจากการไม่มีการรายงานใช้ PCBs ในงานการก่อสร้าง คนจำนวนมากจึงไม่รู้ว่าบ้านเรือนหรือสถานที่ทำงานมีการใช้ PCBs ส่วนใหญ่ที่ทราบว่าการปนเปื้อนได้จากการตรวจพบสารกลุ่มนี้ในอาหารและคุณภาพอากาศ

ตารางที่ 1 รูปแบบการใช้และการกำจัด PCBs

ประเภทผลิตภัณฑ์	ชนิด PCBs ที่ใช้	ลักษณะการผลิต	การจัดการ	การแยกจากวัสดุอื่น
สารฉนวนในหม้อแปลงขนาดใหญ่	Cl < = 54%	ระบบปิด	ของเสียพิเศษ	ง่าย
สารฉนวนในตัวเก็บประจุขนาดใหญ่	Cl < = 42%	ระบบปิด	ของเสียพิเศษ	ง่าย
สารหล่อลื่นระบบไฮดรอลิก	Tri- and Tetra-CBs	ระบบปิด	ของเสียพิเศษ/น้ำเสีย	ยากสำหรับเหมืองใต้ดินที่ปล่อยออกจากเหมือง
น้ำมันสำหรับถ่ายเทความร้อน	สารผสมที่มีคลอรีนต่ำ	ระบบปิด	ของเสียพิเศษ	ง่าย
สารฉนวนในตัวเก็บประจุขนาดเล็ก	Cl < = 42%	ระบบปิด	ของเสียอิเล็กทรอนิกส์/ของเสียจากบ้านเรือน	มีความเป็นไปได้ในขั้นตอนการคัดแยก
สารเติมแต่งในตัวกันรั่ว/เชื่อม	สารผสมทุกประเภท	ระบบเปิด	ของเสียอันตราย/ของเสียผสมจากการก่อสร้าง	มีความเป็นไปได้ในขั้นตอนแยกชิ้นส่วน
สารเติมแต่งสี	สารผสมทุกประเภท	ระบบเปิด	ของเสียอันตราย/ของเสียผสมจากการก่อสร้าง	แทบจะไม่ได้
สารเติมแต่งใน PVC	สารผสมที่มีคลอรีนสูง	ระบบเปิด	ของเสียอันตราย/ของเสียจากบ้านเรือน	มีความเป็นไปได้ในขั้นตอนการคัดแยก



กรณีที่มีการปนเปื้อนการผลิตเป็นแบบปิด เช่น ตัวเก็บประจุ ถ้าไม่มีการทำให้แตกหรือหักก็จะปลอดภัย ดังนั้นการผลิตแบบนี้จึงยังอนุญาตให้ดำเนินการต่อไปได้ สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิดที่จำหน่ายในเยอรมนีต้องติดฉลาก เช่น Clophen (เยอรมนี) และ Arochlor (สหรัฐอเมริกา) เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการ คนงานและหน่วยงานที่กำกับดูแลกฎหมายสหภาพยุโรปครอบคลุมเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดที่ความจุตั้งแต่ 5 ลิตรและมีปริมาณ PCBs มากกว่า 50 มก./กก. เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ คนงานกฎหมายได้กำหนดค่าความเข้มข้นที่ยอมให้มีได้ในสถานที่ทำงาน จากตัวอย่างที่ผ่านมาพบปัญหาของการจัดการของเสียที่ไม่เหมาะสมและต้องได้รับการแก้ไขดังต่อไปนี้

- การเก็บและการกำจัดซากอาคารหรือบ้านเรือนที่มีการปนเปื้อน
- การกำจัดผลิตภัณฑ์ใช้ตามบ้านเรือนที่ปนเปื้อน PCBs
- การกำจัดผลิตภัณฑ์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อน PCBs
- การทำความสะอาดและฟื้นฟูน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่
- การเก็บรวบรวมและการทำลายน้ำมันไฮดรอลิกที่ปนเปื้อนทั้งหมดหรือบางส่วน
- การเก็บรวบรวมและการทำลายสินค้าที่มี PCBs เช่น พียูซีจากบ้านเรือนและร้านค้า
- การฟื้นฟูพื้นที่ที่เคยปนเปื้อน เช่น โรงงานอุตสาหกรรม อาคารเก่า เป็นต้น
- ในกิจกรรมที่ใช้อุณหภูมิสูงที่ 200 - 4000 °C คลอรีนและสารอินทรีย์สามารถเกิดปฏิกิริยากลายเป็น PCBs หรือสารประกอบคล้ายไดออกซิน การเกิดปฏิกิริยานี้พบที่ก๊าซเชื้อเพลิงบริเวณปล่องระบายอากาศ

พิจารณาปัญหาที่กล่าวข้างต้นคาดว่าไม่น่าจะสามารถแก้ไขได้ทุกปัญหา ดังนั้น เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสู่ห่วงโซ่อาหาร อาหารสัตว์ ดินและน้ำทิ้ง จึงมีการกำหนดค่าความเข้มข้นที่ยอมให้ตรวจพบได้ ทั้งนี้การกำจัด PCBs ทำได้โดยง่ายเพียงแต่นำไปเผาในเตาเผาไรต์โรคิลิน (เตาเผาสำหรับของแข็ง) ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงกว่า 9000 °C สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ระยะเวลานานสำหรับปัญหาการเกิดสารประกอบคล้าย PCBs สามารถแก้ไขด้วยการลดอุณหภูมิก๊าซเชื้อเพลิงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีวิธีการกำจัด PCBs ด้วยการทำปฏิกิริยา

กับโซเดียมหรือโปแทสเซียม การเติมไฮโดรเจน การใช้เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเลือกวิธีการจัดให้พิจารณาปริมาณคลอรีนในโครงสร้างเป็นหลัก

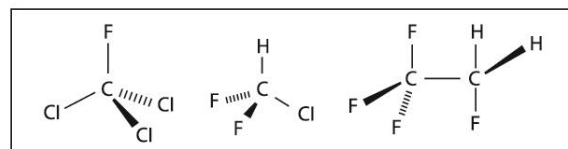
การจัดการผลิตภัณฑ์ใช้ตามบ้านเรือน เริ่มต้นด้วยการติดฉลากเพื่อระบุคุณลักษณะของสารเคมีที่ใช้ จากนั้นก็ง่ายต่อการแยกและเป็นการลดจำนวนของเสียที่มีการปนเปื้อน PCBs จริงๆ จากที่ผ่านมาพบว่าร้อยละ 95 ของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์สามารถถูกคัดแยกได้ตั้งแต่ขั้นตอนแรก หม้อแปลงหรือตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ต้องติดฉลากตามกฎหมาย การกำจัดทำได้ตั้งแต่แยกเอาเฉพาะส่วนที่ปนเปื้อนออกมากำจัด สำหรับการลดการปนเปื้อนหม้อแปลงทั้งอัน ทำได้ยากและต้องระมัดระวังการเคลื่อนย้ายไปสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับของเสียปนเปื้อน PCBs จากเรือต้องจัดการตามกฎหมายของสหภาพยุโรป (European directive 76/769) การกำจัดต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการเคลื่อนย้ายไปปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมอื่นและสามารถใช้งบประมาณอย่างมีประสิทธิภาพ

การแผ่รังสีระดับความเข้มข้น PCBs ในเลือดดำเนินการระหว่าง พ.ศ. 2528 - 2533 ในกลุ่มนักศึกษาจาก 4 มหาวิทยาลัย พบว่ามีแนวโน้มลดลง และการใช้ PCBs กลุ่มที่มีปริมาณคลอรีนสูงเริ่มลดลงอย่างช้าๆ และมีปริมาณน้อยกว่ากลุ่มที่มีปริมาณคลอรีนต่ำ

2.2 กรณีศึกษาสาร CFCs/HCFCs

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

Chlorofluorocarbons (CFCs) หรือรู้จักทั่วไปในชื่อ ฟรอน มีคาร์บอน 1 - 2 อะตอมในโครงสร้าง ส่วนใหญ่เป็นสถานะก๊าซที่อุณหภูมิห้อง จุดเดือดเพิ่มขึ้นตามปริมาณคลอรีน ไม่ติดไฟ ฮาโลคาร์บอนมักถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในลักษณะรั่วซึม สามารถตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อมอาจนานกว่า 10 ปีขึ้นไป คลอรีนในโมเลกุลทำปฏิกิริยาในชั้นโอโซนทำให้ความเข้มข้นของโอโซนลดลง (ODP) หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้ (GWP)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ Trichlorofluoromethane (F11), Chlorodifluoromethane (F22), และ 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (R134 a)

พื้นที่ที่มีการประยุกต์ใช้และการจัดการของเสีย

สารฟรียอนเป็นสารที่ช่วยลดอุณหภูมิได้ดีมาก ระยะต้นใช้กับอุปกรณ์ทำความเย็น และทดแทนสารกลุ่ม แอมโมเนีย เมทิลคลอไรด์ จากนั้นใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ภายใต้ความดัน เช่น การสกัด ปัญหาจาก CFCs ในการ ลดความเข้มข้นของโอโซนและการก่อให้เกิดก๊าซเรือน กระจก ทำให้มีกฎบัตรระหว่างประเทศมาควบคุมการใช้

และการกำจัด ขณะนี้ได้มีความพยายามลดการใช้ CFCs โดยให้ใช้ HCFCs แทน ส่วนการจัดการให้พื้นฟูก่อน การกำจัดทิ้ง การรีไซเคิล หรือการทำความสะอาด หาก ต้องการเผาให้ใช้เตาเผาไรตาริคิลน์ ในประเทศเยอรมนี ได้มีกฎหมายบังคับให้ผู้ผลิตรับผิดชอบในการจัดการ นอกจากนี้ การจัดการต้องคำนึงถึงชนิดของฟรียอนที่ใช้ด้วย รายละเอียดนำเสนอในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสาร CFCs, HCFCs และ fluorinated hydrocarbons

ประเภทผลิตภัณฑ์	ชนิดของสารเคมีที่ใช้	ลักษณะการผลิต
สารลดอุณหภูมิสำหรับเครื่องทำความเย็น	F-11 → HCFCs → Pentane	ระบบปิด
ก๊าซขับเคลื่อนสำหรับสเปรย์	F-11, F-12 → F-134a และสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ → Propane/Butane → pressurized air	ระบบเปิด
โฟมสำหรับโพลียูรีเทน และโพลีสไตรีน	F-11, F-12 → F-22 → F-134a, F-152a	ระบบเปิด
เครื่องปรับอากาศสำหรับยานยนต์	F-22 → F-134a → 2,3,3,3-Tetrafluoropropene → CO ₂	ระบบเปิดบางส่วน

การห้ามใช้หรือเข้มงวดกับการใช้สารเคมี อันตรายเป็นสิ่งสำคัญที่สุดสำหรับการลดการปนเปื้อน สิ่งแวดล้อม การจัดการด้วยการจัดการปนเปื้อน หลังการใช้เป็นสิ่งที่ทำได้ยากกว่าและเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจาก

- ขึ้นกับอายุของผลิตภัณฑ์
- ปริมาณที่สารอันตรายเหล่านี้ปล่อยออกสู่ สิ่งแวดล้อมตลอดอายุของมัน
- ความคงตัวระยะยาวในสิ่งแวดล้อม

ที่มา: Friege H. (2011). The role of waste management in the control of hazardous substances: lessons learned. *Environmental Sciences Europe*. 24: 35 - 44. <http://www.enveurope.com/content/24/1/35>.

งานวิจัยทั้ง 2 เรื่องน่าสนใจมากโดยเฉพาะ เรื่องแรก เพราะเคยตั้งคำถามหลายประการเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงสำหรับการสัมผัสร่วมสารเคมี เดี่ยวหรือการสัมผัสสารผสม (บางครั้งเราใช้ Aggregated และ Cumulative effect) เนื้อหาค่อนข้างยากและวิธีการ เขียนไม่กระชับ อาจจะเป็นเพราะไม่ใช่เจ้าของภาษาก็เป็นไปได้ อ่าน 2 เรื่องนี้แล้วผู้เขียนได้อะไรพอสมควร และหวังว่าท่านคงได้เช่นกัน หากต้องการทราบเพิ่มเติม ท่านสามารถดูจากต้นฉบับได้ ผู้เขียนได้ให้ URL ของบทความพร้อมนี้แล้ว