

มหันตภัยร้ายจากไดออกซิน (Dioxins)

รจยา บุญยทุษมานนท์

บทคัดย่อ

สารไดออกซินเป็นสารพิษที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจเป็นมีความเป็นพิษสูงและเป็นสารก่อมะเร็งที่สามารถตกค้างได้ยาวนาน ถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม โดยความพยายามของนานาชาติที่จะควบคุมสารเคมีประเภทต่างๆที่มีความเป็นพิษสูง ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้เข้าร่วมลงนามเป็นภาคีตามอนุสัญญาสตอกโฮล์ม เมื่อ มกราคม พ.ศ. 2548 โดยมีจุดประสงค์เพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (Persistent Organic Pollutants, POPs) และสารกลุ่มไดออกซินก็เป็นสารกลุ่มหนึ่งในกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการการปรับลดการปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยมุ่งประเด็นในเรื่องการออกมาตรการควบคุมแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ การติดตามตรวจสอบการตกค้างในสิ่งแวดล้อม การแนะนำเทคนิคเพื่อเป็นแนวทางด้านเทคนิคที่ดีที่สุดและแนวทางปฏิบัติด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด เนื่องจากการตรวจวิเคราะห์สารกลุ่มไดออกซินนั้นค่อนข้างซับซ้อนและต้องลงทุนสูงด้านเครื่องมือและเทคนิค ซึ่งขณะนี้ประเทศไทยยังไม่สามารถตรวจวิเคราะห์สารกลุ่มนี้ได้ การส่งตัวอย่างวิเคราะห์ยังต่างประเทศนั้นราคาแพงมาก กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้เริ่มโครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการไดออกซิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการสนับสนุนภาครัฐและเอกชนด้านการควบคุมมลพิษและงานวิจัยเพื่อการปรับลดสารกลุ่มดังกล่าว และเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจด้านสารพิษสู่ประชาชน เพื่อการบริโภคอย่างยั่งยืนและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

คำสำคัญ ไดออกซิน สิ่งแวดล้อม สารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน อนุสัญญาสตอกโฮล์ม POPs

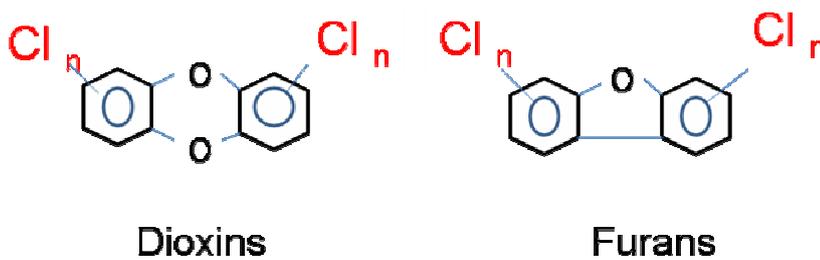
บทนำ

มนุษย์นำสารเคมีมาใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น ขณะเดียวกันมนุษย์ก็ได้รับผลกระทบต่อสุขภาพจากสารเคมีเช่นกัน ปัญหาสุขภาพอนามัยของประชาชนที่ได้รับผลกระทบซึ่งเกิดจากกิจกรรมอุตสาหกรรมและการเกษตร นับเป็นปัญหาสำคัญไม่เฉพาะในประเทศไทยเท่านั้นแต่ยังเป็นปัญหาระดับโลก ปัจจุบันมนุษย์จึงได้รับผลกระทบจากการใช้สารเคมีหลายชนิดรวมทั้งสารที่เกิดขึ้นจากขบวนการผลิตและเกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพและสารตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและระบบนิเวศน์ 50-60 ปีที่ผ่านมาปัญหาสารเคมีตกค้างที่ยาวนานแสดงให้เห็นถึงพิษภัยจากการใช้สารเคมีอย่างชัดเจนมากขึ้นทั่วโลก ทำให้เกิดความร่วมมือและทำข้อตกลงระหว่างประเทศขึ้น หนึ่งในความร่วมมือนั้นคือข้อตกลงเป็นภาคีตามอนุสัญญาสตอกโฮล์ม ซึ่งประเทศไทยได้ร่วมลงนามตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2548 โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการปลดปล่อยสารอินทรีย์กลุ่มที่ตกค้างยาวนาน (Persistent Organic Pollutants, POPs) ซึ่งสารเหล่านี้

แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน สารกลุ่มพีซีบี และสารกลุ่มไดออกซินและฟิวแรน [1]

ไดออกซินคืออะไร

ไดออกซิน (dioxins) เป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นมาโดยมิได้ตั้งใจผลิตขึ้น (unintentional products) จากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นสารประกอบในกลุ่ม คลอรีเนเตต อะโรมาติก (chlorinated aromatic compounds) ที่มีออกซิเจน (O) และคลอรีน (Cl) เป็นองค์ประกอบ 1 ถึง 8 อะตอม ไดออกซิน มีชื่อเรียกเต็ม คือ โพลีคลอรีเนเตตไดเบนโซ พารา-ไดออกซิน (polychlorinated dibenzo-para-dioxins: PCDDs) สารกลุ่มไดออกซินมีทั้งหมด 75 ชนิด สารอีกกลุ่มที่มีโครงสร้าง และความเป็นพิษคล้ายไดออกซิน เรียกว่า Dioxin like สารกลุ่มนี้คือ ฟิวแรน ชื่อเต็มคือ โพลีคลอรีเนเตตไดเบนโซฟิวแรน (polychlorinated dibenzo furan: PCDFs) มีอยู่ 135 ชนิด ไดออกซิน/ฟิวแรน มีทั้งหมด 210 ชนิด (75+135) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งมีสารคลอรีน (Cl) ไปประกอบอยู่บนวงแหวนของเบนซีน (benzene ring) ดังแสดงในรูปที่ 1[2] และจำนวน isomer ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของสารกลุ่มไดออกซินและฟิวแรน

ตารางที่ 1 จำนวน isomer ของ PCDDs และ PCDFs

จำนวน คลอรีนอะตอม	จำนวน PCDDs isomer	จำนวน PCDFs isomer
1	2	4
2	10	16
3	14	28
4	22	38
5	14	28
6	10	16
7	2	4
8	1	1
รวม	75	135

ความเป็นพิษของกลุ่ม พีวเรน = 0.1 หมายความว่า ความเป็นพิษ = 1 ใน 10 เท่าของสารไดออกซินที่มีความเป็นพิษสูงสุด สารอีกกลุ่มที่มาพร้อมกับกลุ่มไดออกซินคือ Dioxin-like PCBs สารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษดังแสดงในตารางที่ 4

คุณสมบัติของสารไดออกซิน

โครงสร้างของสารไดออกซิน/พีวเรน ที่ประกอบด้วยคลอรีนอะตอมเกาะเกี่ยวกับพันธะทางเคมีกับวงแหวนเบนซีน ละลายได้ดีในไขมัน ทำให้สารกลุ่มนี้มีความคงทนสูงในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ละลายน้ำได้น้อย สามารถถ่ายทอดและสะสมได้ทางห่วงโซ่อาหาร (food chain) [3] สามารถเคลื่อนย้ายและแพร่กระจายในอากาศและตกลงสู่ดิน และแหล่งน้ำ เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม มีความเป็นพิษจากการจัดการลำดับความเป็นพิษของ WHO เทียบว่าเป็นสารที่เป็นพิษระดับ 1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ ดังแสดงในตารางที่ 2 [4]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสารไดออกซิน/พีวเรน

คุณสมบัติ	PCDDs	PCDFs
จุดหลอมเหลว (°C)	89 -322	184-258
จุดเดือด(°C)	284-510	375-537
Log K _{ow}	4.3-8.2	5.4-8.0
Half life (อากาศ)	2 วัน – 3 สัปดาห์	1 – 3 สัปดาห์
Half life (น้ำ)	2 เดือน – 6 ปี	3 วัน – 8 เดือน
Half life (ดิน)	2 เดือน – 6 ปี	8 เดือน – 6 ปี
Half life (ตะกอนดิน)	8 เดือน – 6ปี	2 ปี – 6 ปี

การเกิดสารไดออกซิน

ดังที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นว่าสารกลุ่มไดออกซิน/พีวเรนเกิดขึ้นในรูปของผลผลิตพลอยได้จากหลายกระบวนการและแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจสรุปได้ ดังนี้

1. กระบวนการผลิตเคมีภัณฑ์ ที่มีคลอรีน โบรมีน ฟีนอล เป็นองค์ประกอบ เช่น 2,4,5 – T (herbicide) และ pentachlorophenol เป็นต้น
2. กระบวนการเผาไหม้จากเตาเผาอุณหภูมิสูง (incinerator) เช่น เตาเผาขยะชุมชน เตาเผาขยะติดเชื้อ เตาเผาขยะอันตรายหรือกากอุตสาหกรรม กระบวนการหลอมโลหะ ซึ่งพบสารไดออกซิน/พีวเรนในกากของเถ้าลอย (Fly ash) อากาศที่ปลดปล่อยจากปล่อง และน้ำชะเตาเผา เป็นต้น เตาเผาหลอมโลหะ ซึ่งมีโลหะ

ประเภทต่างๆ รวมอยู่ด้วย เช่น อุตสาหกรรมรีไซเคิลโลหะ อุตสาหกรรมหลอมอลูมิเนียม โลหะทองแดง แมงกานีส นิกเกิล เป็นต้น [5]

3. กระบวนการทางธรรมชาติ หรือ กิจกรรมของมนุษย์ที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบเช่น chlorophenol hydrogen peroxide พบที่การย่อย ฌ อุณหภูมิ เช่น โรงงานกระดาษ ผลิตเยื่อกระดาษ หรือการบำบัดของขยะ เป็นต้น แหล่งกำเนิดสารกลุ่ม ไดออกซิน/ฟิวแรน ที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งจากการศึกษาของประเทศ เนเธอร์แลนด์ดังตารางที่ 3

4. กระบวนการเกิด Photochemical reaction ภายใต้บรรยากาศปกติ ทำให้ไดออกซินปลดปล่อยสู่บรรยากาศและเคลื่อนย้ายไปได้ไกล [3]

ตารางที่ 3 กิจกรรมกำเนิดสารไดออกซิน/ฟิวแรนที่ปล่อยสู่อากาศ ประเทศสหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ และ เยอรมัน [1, 2, 4]

กิจกรรม	ปริมาณไดออกซิน / ฟิวแรน (g -TEQ/ year)		
	สหรัฐ (พ.ศ. 2538)	เยอรมัน (พ.ศ.2538)	เนเธอร์แลนด์
เตาเผาขยะ โรงพยาบาล	477	0.1	-
เตาเผาขยะชุมชน	1,100	50	382
เตาเผาหลอมโลหะ	0.38	168	26
เตาเผาขยะสารอันตราย	5.7	2	-
โรงงาน โลหะ	17.0 (อลูมิเนียม)	5.69	4.0
	541 (ทองแดง)	-	-
โรงงานผลิตสารเคมี	-	-	0.5
การใช้ไม้ที่ได้รับการรักษาเนื้อไม้	-	-	25
การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง	72.8	14.2	16.7
การจราจร	33.5 (ดีเซล)	4.7	7.0
	6.3 (ไร้สารตะกั่ว)	2.7	-
การเผาไหม้	62.5 (ที่อยู่อาศัย)	1.59	-
	29.1 (อุตสาหกรรม)	-	-
	208 (ป่าไม้ฟาง)	-	-
การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง	9.3	-	-

ความเป็นพิษของไดออกซินที่มีต่อร่างกาย [6]

พิษเฉียบพลัน

ไดออกซินไม่ทำให้เกิดอาการพิษหรือตายอย่างเฉียบพลัน แต่อาการจะค่อยๆเกิดขึ้นและทวีความรุนแรงจนถึงแก่ชีวิตได้ในเวลา 14 – 28 ชั่วโมง อาการที่จัดเป็นลักษณะของพิษที่เกิดจากสารไดออกซิน คือ อาการที่เรียกว่า “Wasting Syndrome” โดยลักษณะอาการแบบนี้จะเกิดการสูญเสียน้ำหนักตัวอย่างรวดเร็วจากการได้รับสารเป็น 2-3 วัน นอกจากนี้ส่วนมากเกิดอาการฟุ้งของต่อมไทมัส มีอาการผิดปกติของตับ เลือดออกมาในอวัยวะต่างๆ มีอาการอัมพาตของต่อมไทมัส ต่อมลูกหมากและมดลูกเล็กกลอง น้ำหนักของต่อมไทรอยด์เพิ่มขึ้น การสร้างเม็ดเลือดของไขกระดูกลดต่ำ อาการที่เห็นได้ชัดเจนคือ ผิวหนังอักเสบ เป็นตุ่มสีสีดำ คล้ายสิ่วหัวช้าง (Chloraone) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณใบหน้า ผิวหนังสีของเล็บเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเย็บตาอักเสบ เป็นสารก่อมะเร็ง ภูมิคุ้มกันบกพร่อง ความผิดปกติของฮอร์โมนเพศ [6]

พิษเรื้อรัง

ไดออกซิน/ ฟิวแรน ทำให้น้ำหนักตัวลดลง เกิดความผิดปกติที่ตับ เซลล์ตาย เกิดอาการผิวหนังอักเสบ

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นพิษกำหนดโดย NATO/CCMS(1988) และ WHO (1997) [4]

congeners	TEF	TEF	TEF
	NATO/CCMS(1988)	WHO (1997)	
Dibenzo-p-dioxins			Non-ortho PCBs
2,3,7,8-Tetra CDD	1.0	1.0	PCB 71 = 0.00001
1,2,3,7,8-Penta CDD	0.5	1.0	PCB 81 = 0.00001
1,2,3,4,7,8-Hexa CDD	0.1	0.1	PCB 126 = 0.1
1,2,3,5,7,8-Hexa CDD	0.1	0.1	PCB169 = 0.01
1,2,3,7,8,9-Hexa CDD	0.1	0.1	
1,2,3,4,6,7,8-Hepta CDD	0.01	0.01	
Octa CDD	0.001	0.0001	
Dibenzofurans			Mono-ortho PCBs
2,3,7,8-Tetra CDF	0.1	0.1	PCB 105 = 0.0001
1,2,3,7,8-Penta CDF	0.05	0.05	PCB 114 = 0.0005
2,3,4,7,8-PentaCDF	0.5	0.5	PCB 118 = 0.0001
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 123 = 0.0001
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 156 = 0.0005

1,2,3,7,8,9-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 157 = 0.0005
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 167 = 0.00001
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	0.01	0.01	PCB 189 = 0.0001
1,2,3,4,7,8,9-Hepta CDF	0.01	0.01	
Octa CDF	0.001	0.0001	

หมายเหตุ TEF = Toxicity Equivalent Factor

จากการทดสอบสารไดออกซินสัตว์ทดลอง [6] พบว่า สาร 2,3,7,8 -TCDD ในปริมาณต่ำทำให้เกิดผลต่อสัตว์ทดลองดังนี้ น้ำหนักตัวลดลง ผิวหนังมีลักษณะผิดปกติ เช่น เป็นปุ่ม สีผิวผิดปกติ อาการผิวหนังอักเสบ เป็นต้น

- ระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง
- การทำงานของระบบต่างๆผิดปกติ เช่น ระบบเลือด การทำงานของตับ ระบบสืบพันธุ์ หรือ การให้กำเนิดของตัวอ่อนผิดปกติ ขบวนการผลิตเอ็นไซม์ผิดปกติ
- ทำให้เกิดมะเร็ง

จากการศึกษาผลกระทบต่อคนเนื่องจากอุบัติเหตุในอดีต เช่น การระเบิดของโรงงานผลิตสารเคมี (Seveso ประเทศอิตาลี ค.ศ.1976) ทำให้คนงานได้รับผลกระทบ คือ ตรวจพบมะเร็งที่ตับ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงผิดปกติของเอ็นไซม์ในตับผิวหนังอักเสบลักษณะเป็นสีหัวดำมีอาการระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง โดยมีผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวมีผู้ได้รับผลต่อเนื่องถึง 20 ปี เป็นต้น

- การสืบพันธุ์: สารไดออกซินมีผลการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนในกระแสเลือดซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ทดลองและปริมาณของสาร ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ของเพศผู้และเพศเมีย ลักษณะทั่วไปในเพศเมียคือการผสมติดของสัตว์ทดลองหรือไม่สามารถตั้งท้องได้จนครบกำหนด จำนวนลูกต่อครอกลดลง การทำงานของรังไข่ผิดปกติหรือไม่ทำงาน วงจรการเป็นสัตว์ (ผสมพันธุ์) ผิดปกติ และมีเนื้อเยื่อไขมันดกเจริญเติบโตภายนอกมดลูก ในเพศผู้พบว่าไดออกซิน ทำให้น้ำหนักของอวัยวะและอวัยวะอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ลดลงอวัยวะมีรูปร่างผิดปกติ การสร้างเชื้ออสุจิลดลง และการผลิตติดลด มีความไวต่อสาร ได้แก่ ลิง และหนูชนิดต่างๆ ระดับต่ำสุดที่ 1 ไมโครกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน และรับต่อเนื่องกันนาน 13 สัปดาห์ ทำให้การสร้างอสุจิลดลง

การกระจายตัวของสารไดออกซินลงสู่สิ่งแวดล้อม [7]

การกระจายของสารไดออกซินลงสู่น้ำมีหลายวิธี ดังนี้

1. การกระจายจากอากาศสู่แหล่งน้ำและดินโดยการดูดซับแล้วถูกชะล้างจากดินสู่น้ำ แต่มีปริมาณน้อย
2. จากการปะปนอยู่ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมโดยตรง :

- เช่น
- น้ำเสียจากโรงงานกระดาษ
 - โรงงานผลิตสารเคมี
 - โรงงานบางประเภทนำเอาโลหะกลับมาใช้ใหม่ โดย

ใช้สารล้างเป็นพวกที่มีคลอรีน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอยู่

เนื่องจากสารไดออกซินไม่ละลายน้ำจึงถูกดูดซึมบนตะกอน

3. การแพร่กระจายจากสัตว์น้ำ เช่น ปลา มีโอกาสที่จะรับสารไดออกซิน จากนั้นมีการพบว่าในปลาจะมีสารไดออกซินสูงสุด ถึง 85 พิโกรัม ต่อ กรัม แต่ถ้าเฉลี่ยจะประมาณ 0.4 พิโกรัม ต่อ กรัม ซึ่งทำให้คนที่บริโภคเนื้อปลาจะมีสารไดออกซิน เข้าสู่ร่างกายประมาณ 0.5 พิโกรัม ต่อ กิโลกรัม ต่อ วัน มีมาตรฐานของ FDA ระบุว่าสารไดออกซิน ระดับ 25 พิโกรัม ต่อ กรัม ในเนื้อปลาจะไม่มีอันตราย คนบริโภคเนื้อปลาเฉลี่ยแล้วจะบริโภคไดออกซิน แต่ละวันประมาณ 2 พิโกรัม ต่อ กิโลกรัม ต่อ วัน ประมาณ 300 เท่าของ EPA ที่ตั้งค่ากำหนดในอากาศไว้

4. การแพร่กระจายจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง

ไดออกซินส่วนหนึ่งจะมาจากก๊าซเชื้อเพลิงโดยการเผาไหม้ เช่น

- Lead Gasoline มี CI ประมาณ 700 ppm เนื่องจากในน้ำมันประเภทนี้จะมี

Additives dichlorethane

Dichlorethane CI: lead = 1.3

US. Lead gasoline มี CI ค่า (0.1 g/gallon = 10-30 ppm)

- Emission factor:

Unleaded gasoline = 0.003 ไมโครกรัม ต่อ กิโลกรัม

Lead gasoline (USA 10-30 ppm) = 0.03 ไมโครกรัม ต่อ กิโลกรัม

5. การแพร่กระจายของไดออกซิน จากการเผาไหม้วัสดุที่มีคลอรีน (CI)

ในการเผาไหม้วัสดุหรือมูลฝอยจะมีสารต่างๆ ที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีนอยู่ต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำมาเผาไหม้ก็จะมีโอกาสเกิดสารไดออกซิน ขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5

6. การแพร่กระจายสารไดออกซินจากการไม้พินในครัวเรือน

โดยทั่วไปในไม้จะมีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ จากการประมาณการพบว่า มีการแพร่กระจายของสารไดออกซินที่มีความเข้มข้นต่อพื้นที่สูงสุดประมาณ 0.2 ng/m² ต่อพื้นที่ที่มีบ้าน 50 หลัง โดยแต่ละหลังห่างกันในรัศมี 1 กม.

7. การแพร่กระจายของสารไดออกซินในนมมารดา

จากการศึกษาของ WHO 1989 และในยุโรปในปี 1994 พบว่ามีสาร Dioxins ในนมของแม่ของประชากรในประเทศต่างๆ ดังนี้

- Thailand 4.9 pg/g fat

- USA 16.6 pg/g fat

- Belgium

39.524

pg/g fat

ใน Netherlands ได้มีการทดลองเลี้ยงเด็กด้วยนมแม่ (Mother's milk) 200 คน และนมวัว (Cow's milk) 200 คน พบว่า เด็กที่เลี้ยงโดยนมแม่จะรับสาร Dioxins เข้าสู่ร่างกายสูงกว่าเด็กที่เลี้ยงโดยนมวัวถึง 10 เท่า

ตารางที่ 5 ปริมาณของสารไดออกซินที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นในการเผาไหม้วัสดุ [4]

ลำดับที่	วัสดุ	ร้อยละของคลอรีนในวัสดุ	Dioxins ($\mu\text{g}/\text{kg}$ emission)
1	PVC	45	0.4*
2	Hospital Waste	7	20
3	Hazardous Waste	5.5	1
4	Municipal Waste	0.4	10
5	Wood Combustion	0.2	1*
6	Coal Combustion	0.02	1*
7	Leaded Gasoline	0.002	0.03
8	Unleaded Gasoline	0.001	0.003
9	Heavy Fuel	0.005	0.4*
10	Diesel Rhinebarge	Nd.	0.1*

จาก RIVM/TNO report

อื่นๆ จาก Thomas and Sprio report

8. การแพร่กระจายของไดออกซินโดยอาหาร ได้แก่ เนื้อวัว นมและผลิตภัณฑ์จากนม ไข่ หมู ปลา ไช้ โดยจะมีไดออกซิน ที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ประมาณ 116.7-119.7 pg/day จากเนื้อและผลิตภัณฑ์จากนมซึ่งเทียบเท่าปริมาณไดออกซิน เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ประมาณร้อยละ 97.5 จะมาจากอาหารที่มนุษย์บริโภค (ตารางที่6)

ตารางที่ 6 ปริมาณสารไดออกซินที่ประชาชนของสหรัฐอเมริกาได้รับในแต่ละวัน

ลำดับที่	แหล่งของ Dioxins	ปริมาณที่ได้รับ (พิโคกรัม/วัน)	ร้อยละของปริมาณรวม
1	อากาศ	0.4	1
2	น้ำดื่ม	0.004	0.01
3	ผักและผลไม้	1.7	4

4	ไข่	0.5	1
5	ปลา	6.7	17
6	ผลิตภัณฑ์นม	9.8	24
7	เนื้อโค	21.8	53
ปริมาณที่ได้รับรวม		41	100

ตารางที่ 7 ปริมาณน้อยที่สุดที่มีทำให้เกิดอาการผิดปกติจากการได้รับสารไดออกซินทางปากสำหรับมนุษย์ (Minimal Risk Levels for exposure to dioxins: MRL) [9]

ชื่อสารเคมี	ทางที่เข้าสู่ร่างกาย	อาการ	MRL
สารไดออกซิน	ปาก	เฉียบพลัน	200 พิโคกรัม/กิโลกรัม/วัน
		ปานกลาง	20 พิโคกรัม/กิโลกรัม/วัน
		เรื้อรัง	1 พิโคกรัม/กิโลกรัม/วัน

การตรวจวัดสารไดออกซิน [9]

การตรวจวิเคราะห์สารไดออกซินนั้นสามารถอ้างอิงได้หลายวิธี ซึ่งวิธีมาตรฐานเหล่านั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวกลางประเภทต่างๆ เช่น ตัวอย่างอากาศจากปล่อง ตัวอย่างในบรรยากาศ ตัวอย่างน้ำทิ้ง ตัวอย่างชีวภาพ ตัวอย่างอาหาร ฯลฯ นอกจากนั้นแต่ละประเทศก็จะมีมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ กัน เช่น EPA1613 EPA8290 EPA23 TO-09 EN1948 เป็นต้น ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. วิธีสกัดโดยเทคนิคต่างๆ เช่น
 - Soxhlet extraction
 - microwave extraction
 - Solid phase extraction (SPE)
 - Liquid-Liquid extraction (LLE)
 - Accelerated Solvent Extraction (ASE)
 - Pressurized Solvent Extraction (PSE)
2. วิธีการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากตัวอย่าง (Clean up) เช่น
 - Gel Permeation Chromatography
 - Multi-layer Chromatography
 - Basic alumina Chromatography

- Acid alumina Chromatography
 - Activated carbon Chromatography
 - Sulfuric acid treatment
3. การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ (Quality control and Quality assurance) เช่น
- Control chart
 - Solvent Blank
 - Sample blank
 - $^{13}\text{C}_{12}$ Labelled standards
 - Column clean up spike
 - Recovery test
 - Standard Reference Material (SRM)
 - Certified Reference Material (CRM)
 - Laboratory round robin
4. การวิเคราะห์ทางปริมาณ (Quantitative analysis)
- High Resolution Gas Chromatography - High Resolution Mass Spectrophotometer (HRGC/HRMS)
 - Isotope ratio dilution
5. การรายงานผล (report)
- 1 picogram = 10^{-12} กรัม
 - Toxicity Equivalent by weight of 2,3,7,8-TCDD (TEQ)
 - I-TEF (International - Toxicity Equivalent factors)
 - $\text{TEQ} = \text{Total concentration} * \text{I-TEF (International - Toxicity Equivalent factors)}$

การจัดการกากของเสีย [7]

วิธีการกากของเสียไดออกซิน ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและเป็นวิธีที่ USEPA แนะนำคือการเผา (Incineration) เตาเผาที่เหมาะสมมี 3 แบบ คือ

1. Rotary Kiln อุณหภูมิ $850^{\circ}\text{C} - 1,600^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลาที่กากของเสียอยู่ในเตาเผาเป็นวินาทีสำหรับกากของเสียที่เป็นของเหลวหรือก๊าซและเป็นชั่วโมงสำหรับของแข็ง
2. Fluidized Bed อุณหภูมิ $450^{\circ}\text{C} - 980^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลาที่กากของเสียในเตาเผา เช่นเดียวกับเตาเผาชนิด Rotary kiln
3. Liquid Injection อุณหภูมิ $650^{\circ}\text{C} - 1,600^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลา 0.1 - 2 วินาที เตาเผาชนิดนี้ใช้สำหรับกากของเสียไดออกซินที่เป็นของเหลว

ปัจจุบันแม้ว่าประเทศไทยมีเตาเผาขยะอุตสาหกรรมซึ่งเป็นกากของเสียอันตราย อยู่ภายใต้การดูแลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่นิคมอุตสาหกรรมบางปู โดยลักษณะของเตาเผาแล้ว สามารถทำลายของเสียจากห้องปฏิบัติการไดออกซินได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการตรวจสอบสารไดออกซินจากเตาเผาดังกล่าว

มาตรฐานควบคุมสารไดออกซินของประเทศไทย

ประเทศไทยเริ่มมีการกำหนดให้เตาเผามูลฝอยเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ ที่จะต้องควบคุมการปล่อยอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ และกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสีย โดยจัดทำเป็นประกาศ 4 ฉบับ ประกอบด้วย

ฉบับที่ 1 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2540 เรื่อง กำหนดมาตรฐานการปลดปล่อยสารจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน ซึ่งกำหนดค่าสารประกอบไดออกซินรวมไม่เกิน 30 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ฉบับที่ 2 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2545 เรื่อง กำหนดปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ปล่อยออกจากเตาเผา สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรม กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศประเภทไดออกซินและฟูราน (Dioxins/Furans I- TEQ) ไม่เกิน 0.5 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ฉบับที่ 3 ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2548 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2546 ค่าสารประกอบไดออกซินซึ่งคำนวณผลในรูปของหน่วยความเข้มข้นเทียบเคียงความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Dioxins/Furans I - TEQ) ไม่เกิน 0.5 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ฉบับที่ 4 ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2549 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากโรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้ของเสียเป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัตถุดิบในการผลิตค่าสารประกอบไดออกซิน ซึ่งคำนวณผลในรูปของหน่วยความเข้มข้นเทียบเคียงความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Dioxins/Furans I- TEQ) ไม่เกิน 0.5 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบมาตรฐาน ข้อกำหนดปริมาณสารเจือปนในก๊าซเสียที่ระบายออกจากปล่องเตาเผา [5]

ลำดับที่	ชนิดของสาร	ค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศ			
		ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม		ค่ามาตรฐานกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม**	
		Mg/Nm*	ppm	Mg/Nm*	ppm
1	ฝุ่นละออง (Particulate)	35	-	120	-
2	ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl)	40	45.12	-	25
3	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	115	-	-	-
4	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	80	75.0	-	30
5	ออกไซด์ของไนโตรเจน (No _x ในรูป NO ₂)	150	338.82	-	180
6	สารประกอบไดออกซิน (Dioxins)	0.5 ng- TEQ/N m ³	-	-	30 ng/Nm ³

หมายเหตุ: * ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดปริมาณเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องเตา
สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นอันตรายจากอุตสาหกรรมกำหนดเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม 2545

** ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุม
การปล่อยอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย กำหนดเมื่อ 17 มิถุนายน 2540

มาตรการควบคุมไดออกซินและฟิวแรนในระดับโลก [3]

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้มีความเห็น
สอดคล้องกันคือ ต้องการให้มีกลไกทางกฎหมายระหว่างประเทศ เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารมลพิษที่ตกค้าง
ยาวนาน (Persistent Organic Pollutants: POPs) เบื้องต้น 12 ชนิด ดังกล่าว โดยร่วมกับรัฐบาลประเทศต่างๆ จัด
ให้มีการประชุมคณะกรรมการเจรจาระหว่างรัฐบาล เพื่อเตรียมกลไกทางกฎหมายต่างประเทศบังคับใช้สำหรับ
การดำเนินกิจกรรมต่างๆ โดยเน้นที่สาร POPs ทั้ง 12 ชนิดรวมทั้งศึกษาและพิจารณาสาร POPs อื่น
นอกเหนือจาก 12 ชนิด ที่กำหนดไว้แล้วด้วยขณะนี้การประชุมเจรจาเสร็จสมบูรณ์แล้ว และได้ประกาศใช้เป็น
อนุสัญญาเรียกว่า “Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants” ประเทศไทยได้ลงนามใน
สัตยาบัน เมื่อมกราคม พ.ศ. 2548 จุดมุ่งหมายของอนุสัญญาฯ คือ เพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของมนุษย์และ
สิ่งแวดล้อมจากสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน สารเคมี POPs เบื้องต้น 12 ชนิดคือ อัลดริน (aldrin) ; คลอเดน
(chlordane); ดีดีที (DDT); ดิลดริน (dieldrin); เอนดริน (endrin); เฮปตะคลอ (heptachlor); เอชซีบี

(hexachlorobenzene); ไมเร็กซ์ (mirex); ท็อกซาฟีน (toxaphene); พีซีบี (polychlorinated Biphenyls: PCBs); ไดออกซิน (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins: PCDDs) และพีวเรน (Polychlorinated dibenzofurans: PCDFs) สาร POPs เหล่านี้เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ซึ่งถูกย่อยสลายได้ยากโดยแสงหรือสารเคมี หรือ โดยชีวภาพ ทำให้เกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานานและสามารถเคลื่อนย้ายไปได้ไกลมาก

พันธกรณีสำคัญที่ภาคีต้องปฏิบัติ หลังจากอนุสัญญา POPs มีผลบังคับใช้แล้ว

1. ใช้มาตรการทางกฎหมายและการบริหารในการห้ามผลิตและใช้สาร POPs 9 ชนิดแรก
2. จะนำเข้า/ ส่งออกสาร POPs ได้ก็เฉพาะตามวัตถุประสงค์ที่อนุญาตให้ทำได้ เช่น มีข้อยกเว้นพิเศษเพื่อนำมาใช้เป็นสารกำจัดปลวก สารกำจัดแมลง เป็นต้น
3. ต้องจัดทำแผนปฏิบัติการในการลดหรือเลิกการปล่อยสาร POPs จากกระบวนการผลิตภายใน 2 ปี หลังจากอนุสัญญา POPs บังคับใช้
4. ส่งเสริมการใช้สารทดแทน แนวปฏิบัติทางด้านสิ่งแวดล้อม และเทคนิคที่ดีที่สุด
5. ประกันว่าคลังสินค้าที่มีสาร POPs ต้องได้รับการดูแลไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งต้องดูแลจัดการของเสียที่เกิดจากสาร POPs ในทำนองเดียวกัน
6. กำหนดแผนและปฏิบัติตามแผนเพื่อเป็นไปตามอนุสัญญา POPs และส่งรายงานให้ที่ประชุมภาคี
7. ให้ผู้บริหารและผู้กำหนดนโยบายมีความเข้าใจเรื่อง POPs
8. ให้ความรู้เกี่ยวกับ POPs แก่สาธารณชน
9. สนับสนุนให้มีการวิจัยเรื่องผลกระทบต่างๆ จากสาร POPs ทั้งในระดับชาติและระหว่างประเทศ
10. ตั้งศูนย์ประสานงานระดับชาติเพื่อทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลและหน้าที่อื่นๆ

สำหรับนานาประเทศนั้นได้กำหนดค่ามาตรฐานของสารไดออกซินในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชีวิตความเป็นอยู่ของแต่ละประเทศ ดังตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 9 ค่ามาตรฐานของสารไดออกซินจากตัวกลางสิ่งแวดล้อมที่กำหนดโดยประเทศแคนาดา [11]

ตัวกลางสิ่งแวดล้อม	หมายเหตุ	ค่ามาตรฐาน
อากาศ	บรรยากาศ (24 ชั่วโมง)	5 พิโคกรัม TEQ ต่อคิวบิกเมตร
น้ำดื่ม	ปริมาณมากที่สุดที่อนุญาตให้ตรวจพบได้	15 พิโคกรัม TEQ ต่อลิตร
น้ำผิวดิน	กำลังดำเนินการพิจารณา	-
ดิน	- พื้นที่ที่อยู่อาศัย	1000 พิโคกรัม TEQ ต่อกรัม
	- พื้นที่การเกษตร	10 พิโคกรัม TEQ ต่อกรัม

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่ามาตรฐาน PCDDs/PCDFs จากเตาเผาอุณหภูมิสูงของประเทศต่างๆ [4]

ประเทศ	ค่ามาตรฐาน	ประเภทเตาเผา
ออสเตรเลีย	0.1ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
แคนาดา	0.1 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
สหภาพยุโรป	0.1ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
เนอร์เธอร์แลนด์	1.0 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
ไต้หวัน	0.5 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
ญี่ปุ่น (มาตรฐานเก่า)	0.5 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
ญี่ปุ่น (มาตรฐานใหม่)	0.1ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาขนาดใหญ่
สหรัฐอเมริกา (มาตรฐานเก่า)	30 ng-Total/Nm ³	เตาเผาขนาดใหญ่
สหรัฐอเมริกา (มาตรฐานใหม่)	13 ng-Total/Nm ³	เตาเผาขนาดใหญ่
ประเทศไทย (2540)	30 ng-Total/Nm ³	เตาเผาอุตสาหกรรมขนาดตั้งแต่ 1 ตัน/วันขึ้นไป
ประเทศไทย (2545)	0.5 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาสิ่งปฏิกูลหรือเตาเผาที่ไม่ใช่แล้ว

หมายเหตุ 30 ng-Total/Nm³ เท่ากับประมาณ 0.5 ng. I-TEQ/Nm³

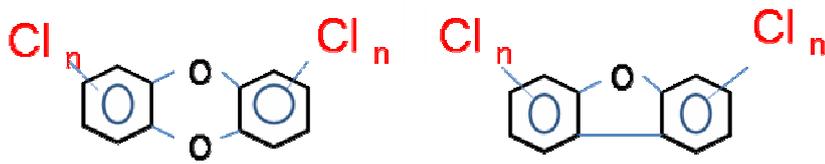
13 ng-Total/Nm³ เท่ากับประมาณ 0.2 ng. I-TEQ/Nm³

สรุป

สารไดออกซินเป็นสารพิษที่เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ ณ ขณะนี้พบว่าสารไดออกซินเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงที่สุดที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ตั้งใจ มนุษย์สามารถได้รับสารไดออกซินจากจากกิจกรรมต่างๆ และสิ่งแวดล้อมต่างๆรอบตัวเรา โดยมีแหล่งกำเนิดทั้งภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม หรือแม้แต่การจราจรซึ่งเป็นสิ่งใกล้ตัวเรามาก ภาครัฐเห็นความสำคัญของปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่อประชาชน โดยมีนโยบายและกฎหมายเพื่อควบคุม กำกับและพยายามปรับลดการปลดปล่อยของสารกลุ่มไดออกซินจากแหล่งกำเนิด ซึ่งจะต้องมีการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีให้เหมาะสมต่อไปในอนาคต และต้องมีการติดตามตรวจสอบเพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารไดออกซินอย่างต่อเนื่อง สำหรับประเทศที่เจริญแล้วนั้น การบังคับใช้กฎหมายและความรับผิดชอบต่อสังคมนับว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญที่ทำให้ประสบความสำเร็จในการปรับลดสารมลพิษไม่ใช่แต่เฉพาะสารไดออกซินเท่านั้น แต่สารพิษกลุ่มอื่นๆก็สามารถบริหารจัดการให้ปลอดภัยต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนั้นการให้ความรู้แก่ประชาชนเพื่อความเข้าใจและการปฏิบัติตนอย่างถูกต้องเพื่อมิให้เป็นผู้สร้างมลพิษก็เป็นช่องทางหนึ่งที่มีส่วนช่วยปัญหามลพิษลดลงด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, United Nations Environment Programme (UNEP) 2001
- [2] Christoffer Rappe. 'Source and Environmental Concentrations of dioxins and related compounds' Pure & Appl. Chem., Vol.68, No.9, p.1781-1789, 1986
- [3] Svensson BG., Hallberg T., Nilsson A., Schutz A., Hagmar L. (1994) Parameters of Immunological Competence in subject with high consumption of fish contaminated with persistent organochlorine compounds. Int. Arch. Occup Emission Health.
- [4] Dioxins มหันตภัยไดออกซิน กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [5] Kees, O., Ruud, A., Mirjam, S. "Metal as Catalysts during the formation and Decomposition of Chlorinated Dioxins and Furans in incineration Processes" J. Air & waste Management Association., Vol.48, p 101-105, 1998
- [6] ปิยาณี ตั้งทองทวี "อันตรายของไดออกซิน กรมโรงงานอุตสาหกรรม" Engineering Today หน้า 113-114
- [7] David O. Carpenter "Review Environmental Contaminants and Human Health: The Health Effects of Persistent Toxic Substance" Firat Tip Dergisi, 10, 2005
- [8] ดร. พล สาเททอง "เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง แนวทางการจัดการมูลฝอยของประเทศไทย" จัดทำโดย บริษัท ซียูบี จำกัด ร่วมกับ เทศบาลตำบลเกาะสมุย
- [9] Agency for Toxic Substances and Disease Registry / Division of Toxicology and Environmental Medicine (DTEM) "ToxFAQs: CABS™ /Chemical Agent Briefing Sheet Dioxins" March 2006
(<http://www.atsdr.cdc.gov/cads/dioxins/dioxins.cabs.pdf>)
- [10] U.S. Environmental Protection Agency (www.epa.gov/ncea/dioxin.htm)
- [11] Ministry of Environment and Energy Report No 4-84 "Dioxins and Furans" Green Facts July, 1997
(<http://www.mywaterlooregion.com/website/references/dioxinsandfurans.pdf>)



Dioxins

Furans

รูปที่ 1 โครงสร้างของสารกลุ่มไดออกซินและฟิวแรน

ตารางที่ 1 จำนวน isomer ของ PCDDs และ PCDFs

จำนวน คลอรีนอะตอม	จำนวน PCDDs isomer	จำนวน PCDFs isomer
1	2	4
2	10	16
3	14	28
4	22	38
5	14	28
6	10	16
7	2	4
8	1	1
รวม	75	135

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสารไดออกซิน/ฟิวเรน

คุณสมบัติ	PCDDs	PCDFs
จุดหลอมเหลว (°C)	89 -322	184-258
จุดเดือด(°C)	284-510	375-537
Log K _{ow}	4.3-8.2	5.4-8.0
Half life (อากาศ)	2 วัน – 3 สัปดาห์	1 – 3 สัปดาห์
Half life (น้ำ)	2 เดือน – 6 ปี	3 วัน – 8 เดือน
Half life (ดิน)	2 เดือน – 6 ปี	8 เดือน – 6 ปี
Half life (ตะกอนดิน)	8 เดือน – 6ปี	2 ปี – 6 ปี

ตารางที่ 3 กิจกรรมกำเนิดสารไดออกซิน/ฟิวเรนที่ปล่อยสู่อากาศ ประเทศสหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ และเยอรมัน [1, 2, 4]

กิจกรรม	ปริมาณไดออกซิน / ฟิวเรน (g -TEQ/ year)		
	สหรัฐ (พ.ศ. 2538)	เยอรมัน (พ.ศ.2538)	เนเธอร์แลนด์
เตาเผาขยะ โรงพยาบาล	477	0.1	-
เตาเผาขยะชุมชน	1,100	50	382
เตาเผาหลอมโลหะ	0.38	168	26
เตาเผาขยะสารอันตราย	5.7	2	-
โรงงานโลหะ	17.0 (อลูมิเนียม)	5.69	4.0
	541 (ทองแดง)	-	-
โรงงานผลิตสารเคมี	-	-	0.5
การใช้ไม้ที่ได้รับการรักษาเนื้อไม้	-	-	25
การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง	72.8	14.2	16.7
การจลาจล	33.5 (ดีเซล)	4.7	7.0
	6.3 (ไร้สารตะกั่ว)	2.7	-
การเผาไหม้	62.5 (ที่อยู่อาศัย)	1.59	-
	29.1 (อุตสาหกรรม)	-	-
	208 (ป่าไม้ฟาง)	-	-

การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง	9.3	-	-
------------------------	-----	---	---

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นพิษกำหนดโดย NATO/CCMS(1988) และ WHO (1997) [4]

congeners	TEF NATO/CCMS(1988)	TEF WHO (1997)	TEF
<i>Dibenzo-p-dioxins</i>			<i>Non-ortho PCBs</i>
2,3,7,8-Tetra CDD	1.0	1.0	PCB 71 = 0.00001
1,2,3,7,8-Penta CDD	0.5	1.0	PCB 81 = 0.00001
1,2,3,4,7,8-Hexa CDD	0.1	0.1	PCB 126 = 0.1
1,2,3,5,7,8-Hexa CDD	0.1	0.1	PCB169 = 0.01
1,2,3,7,8,9-Hexa CDD	0.1	0.1	
1,2,3,4,6,7,8-Hepta CDD	0.01	0.01	
Octa CDD	0.001	0.0001	
<i>Dibenzofurans</i>			<i>Mono-ortho PCBs</i>
2,3,7,8-Tetra CDF	0.1	0.1	PCB 105 = 0.0001
1,2,3,7,8-Penta CDF	0.05	0.05	PCB 114 = 0.0005
2,3,4,7,8-PentaCDF	0.5	0.5	PCB 118 = 0.0001
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 123 = 0.0001
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 156 = 0.0005
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 157 = 0.0005
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	0.1	0.1	PCB 167 = 0.00001
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	0.01	0.01	PCB 189 = 0.0001
1,2,3,4,7,8,9-Hepta CDF	0.01	0.01	
Octa CDF	0.001	0.0001	

หมายเหตุ TEF = Toxicity Equivalent Factor

ตารางที่ 5 ปริมาณของสารไดออกซินที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นในการเผาไหม้วัสดุ [4]

ลำดับที่	วัสดุ	ร้อยละของคลอรีนในวัสดุ	Dioxins ($\mu\text{g}/\text{kg}$ emission)
1	PVC	45	0.4*
2	Hospital Waste	7	20
3	Hazardous Waste	5.5	1
4	Municipal Waste	0.4	10
5	Wood Combustion	0.2	1*
6	Coal Combustion	0.02	1*
7	Leaded Gasoline	0.002	0.03
8	Unleaded Gasoline	0.001	0.003
9	Heavy Fuel	0.005	0.4*
10	Diesel Rhinebarge	Nd.	0.1*

ตารางที่ 6 ปริมาณสารไดออกซินที่ประชาชนของสหรัฐอเมริกาได้รับในแต่ละวัน

ลำดับที่	แหล่งของ Dioxins	ปริมาณที่ได้รับ (พิโคกรัม/วัน)	ร้อยละของปริมาณรวม
1	อากาศ	0.4	1
2	น้ำดื่ม	0.004	0.01
3	ผักและผลไม้	1.7	4
4	ไข่	0.5	1
5	ปลา	6.7	17
6	ผลิตภัณฑ์นม	9.8	24

7	เนื้อโค	21.8	53
ปริมาณที่ได้รับรวม		41	100

ตารางที่ 7 ปริมาณน้อยที่สุดที่มีทำให้เกิดอาการผิดปกติจากการได้รับสารไดออกซินทางปากสำหรับมนุษย์ (Minimal Risk Levels for exposure to dioxins: MRL) [9]

ชื่อสารเคมี	ทางที่เข้าสู่ร่างกาย	อาการ	MRL
สารไดออกซิน	ปาก	เฉียบพลัน	200 พิโคกรัม/กิโลกรัม/วัน
		ปานกลาง	20 พิโคกรัม/กิโลกรัม/วัน
		เรื้อรัง	1 พิโคกรัม/กิโลกรัม/วัน

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบมาตรฐาน ข้อกำหนดปริมาณสารเจือปนในก๊าซเสียที่ระบายออกจากปล่องเตาเผา [5]

ลำดับที่	ชนิดของสาร	ค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศ			
		ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม		ค่ามาตรฐานกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม**	
		Mg/Nm*	ppm	Mg/Nm*	ppm
1	ฝุ่นละออง (Particulate)	35	-	120	-
2	ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl)	40	45.12	-	25
3	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	115	-	-	-
4	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	80	75.0	-	30
5	ออกไซด์ของไนโตรเจน (No _x ในรูป NO ₂)	150	338.82	-	180
6	สารประกอบไดออกซิน (Dioxins)	0.5 ng- TEQ/N m ³	-	-	30 ng/Nm ³

ตารางที่ 9 ค่ามาตรฐานของสารไดออกซินจากตัวกลางสิ่งแวดล้อมที่กำหนดโดยประเทศแคนาดา [11]

ตัวกลางสิ่งแวดล้อม	หมายเหตุ	ค่ามาตรฐาน
อากาศ	บรรยากาศ (24 ชั่วโมง)	5 พิโคกรัม TEQ ต่อคิวบิกเมตร
น้ำดื่ม	ปริมาณมากที่สุดที่อนุญาตให้ตรวจพบได้	15 พิโคกรัม TEQ ต่อลิตร
น้ำผิวดิน	กำลังดำเนินการพิจารณา	-
ดิน	- พื้นที่ที่อยู่อาศัย	1000 พิโคกรัม TEQ ต่อกรัม
	- พื้นที่การเกษตร	10 พิโคกรัม TEQ ต่อกรัม

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่ามาตรฐาน PCDDs/PCDFs จากเตาเผาอุณหภูมิสูงของประเทศต่างๆ [4]

ประเทศ	ค่ามาตรฐาน	ประเภทเตาเผา
ออสเตรเลีย	0.1ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
แคนาดา	0.1 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
สหภาพยุโรป	0.1ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
เนอร์เธอร์แลนด์	1.0 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
ไต้หวัน	0.5 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
ญี่ปุ่น (มาตรฐานเก่า)	0.5 ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาทุกขนาด
ญี่ปุ่น (มาตรฐานใหม่)	0.1ng. I-TEQ/Nm ³	เตาเผาขนาดใหญ่
สหรัฐอเมริกา (มาตรฐานเก่า)	30 ng-Total/Nm ³	เตาเผาขนาดใหญ่
สหรัฐอเมริกา (มาตรฐานใหม่)	13 ng-Total/Nm ³	เตาเผาขนาดใหญ่
ประเทศไทย (2540)	30 ng-Total/Nm ³	เตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดตั้งแต่

ประเทศไทย (2545)	0.5 ng. I-TEQ/Nm ³	1 ตัน/วันขึ้นไป เตาเผาสิ่งปฏิกูลหรือเตาเผาที่ไม่ใช่แล้ว
------------------	-------------------------------	------------------------------------------------------------

หมายเหตุ 30 ng-Total/Nm³ เท่ากับประมาณ 0.5 ng. I-TEQ/Nm³

13 ng-Total/Nm³ เท่ากับประมาณ 0.2 ng. I-TEQ/Nm³