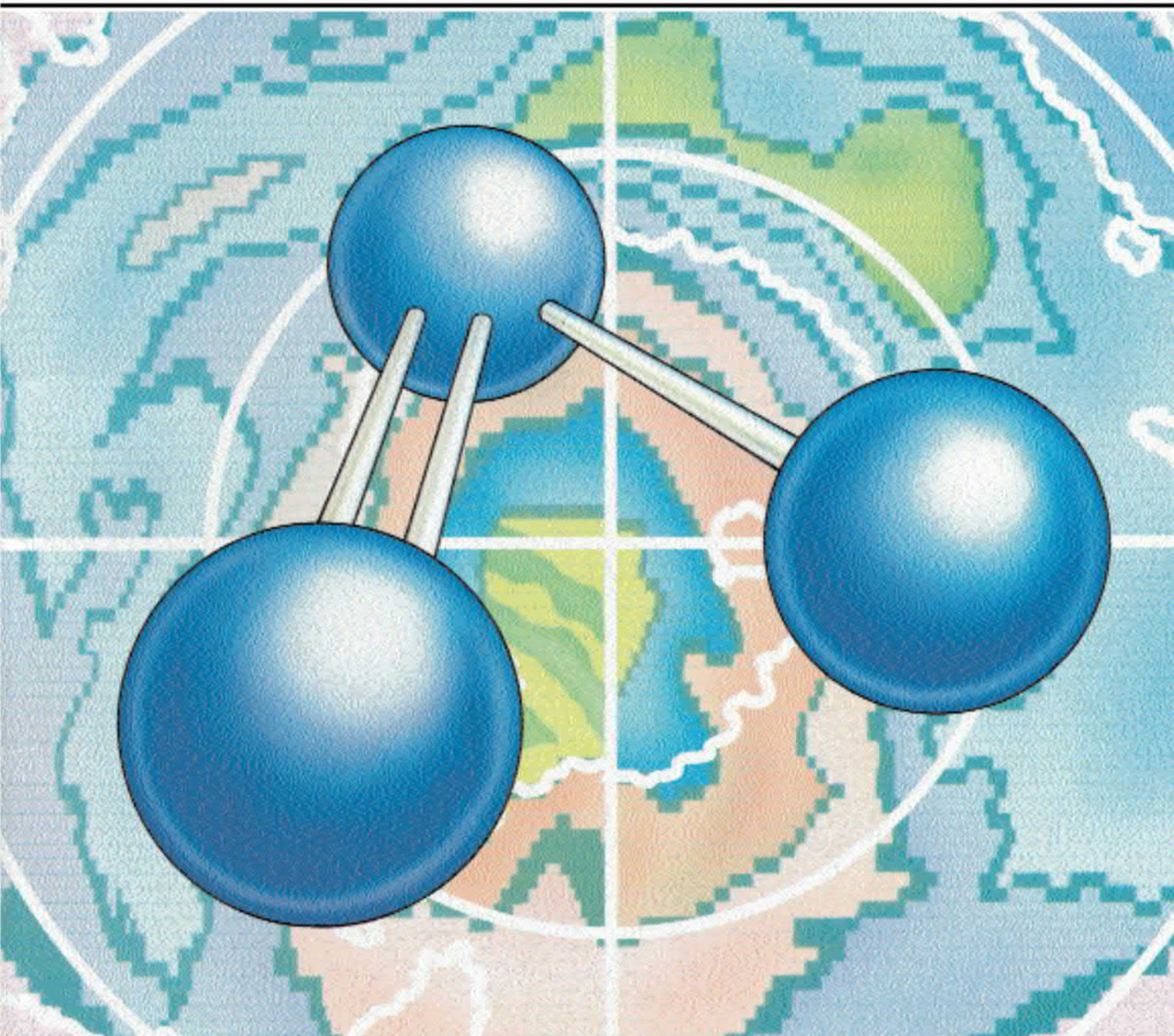
ชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS เล่มที่ 7

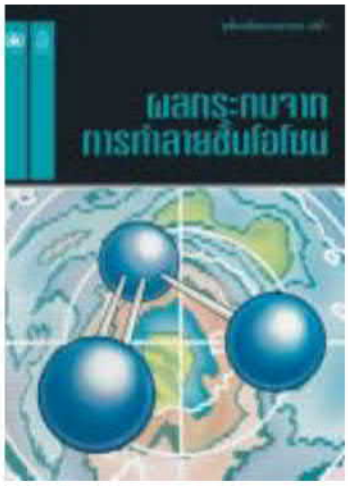
UNEP

ผลกระทบจาก การทำลายชั้นโอโซน



หนังสือในชุดเดียวกัน

1. ก๊าซเรือนกระจก
2. ชั้นโอโซน
3. ช้างแอฟริกา
4. มลพิษอากาศในเมือง
5. อาหารปนเปื้อน
6. มลพิษในแหล่งน้ำจืด
7. ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน
8. ปรากฏการณ์เอลนิโญ
9. ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม
10. ผลกระทบเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง
11. ความหลากหลายทางชีวภาพของโลก
12. มลพิษในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ
13. ผลกระทบของภูมิอากาศต่อการประมง



ปกเป็นแผนภาพโมเลกุลของโอโซน
ซึ่งวางไว้เหนือแผนที่ซึ่งแสดงการลดลง
ของชั้นโอโซนบริเวณอาร์กติก

ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน

The Impact of Ozone Depletion

ของ UNEP/GEMS

แปลโดยนักแปลเครือข่ายของกรมวิชาการ

เยาวณี บุญวรรณโน ปุญญาพร อัครวิเนค เพ็ญศิริ ปานรังศรี
วัลลภา โสภาค พิมพา ใจยงค์ ภัทรตีณา บุญชูชีพ

สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ

The Impact of Ozone Depletion

UNEP 1991

หนังสือชุดสิ่งแวดล้อม เล่มที่ 7

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ไนโรบี

หนังสือแปลอันดับที่ 173

สาขาสิ่งแวดล้อม

ลิขสิทธิ์ฉบับภาษาไทยเป็นของกระทรวงศึกษาธิการ

สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ แปลและจัดพิมพ์

ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2544 จำนวนพิมพ์ 15,000 เล่ม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

สหประชาชาติ. โครงการสิ่งแวดล้อม.

ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน. = The Impact of Ozone Depletion.-- กรุงเทพฯ : สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ, 2544.

52 หน้า.

1. การทำลายโอโซน. I. ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก. II. เยาวณี บุญวรรณโณ และคณะ, ผู้แปล. III. กรมวิชาการ. IV. ชื่อเรื่อง.

577.276

ISBN 974-269-039-1

ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ
เรื่อง อนุญาตให้ใช้หนังสือในโรงเรียน

ด้วยกรมวิชาการได้จัดทำหนังสือแปลชุดสิ่งแวดล้อม รวม 13 เล่ม ได้แก่ 1) ก๊าซเรือนกระจก 2) ชั้นโอโซน 3) ช้างแอฟริกา 4) มลพิษอากาศในเมือง 5) อาหารปนเปื้อน 6) มลพิษในแหล่งน้ำจืด 7) ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน 8) ปรากฏการณ์เอลนิโญ 9) ธารน้ำแข็งกับสิ่งแวดล้อม 10) ผลกระทบเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง 11) ความหลากหลายทางชีวภาพของโลก 12) มลพิษในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ และ 13) ผลกระทบของภูมิอากาศต่อการประมง โดยแปลจากหนังสือชุดสิ่งแวดล้อม ของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (UNEP/GEMS Environment Library) เพื่อใช้เป็นหนังสือความรู้สำหรับครู นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนประชาชนทั่วไป

กระทรวงศึกษาธิการพิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้หนังสือนี้ในโรงเรียนได้

ประกาศ ณ วันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2544

(นายอำรุง จันทวานิช)
รองปลัดกระทรวง ปฏิบัติราชการแทน
ปลัดกระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

สิ่งแวดล้อมมีคุณค่าอเนกอนันต์แก่มวลชีวิตบนโลก และก่อความรำคาญจนถึงขั้นเป็นอันตรายรุนแรงได้เช่นเดียวกัน สิ่งแวดล้อมใกล้ตัวและสิ่งแวดล้อมโลกมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงโดยธรรมชาติ หากเราทุกคนร่วมกันดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว ระบบสิ่งแวดล้อมทั้งโลกย่อมยั่งยืนและน่าอยู่ตลอดไป

กรมวิชาการเห็นว่าหนังสือชุดสิ่งแวดล้อมของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ และระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (UNEP/GEMS Environment Library) ประกอบด้วยประเด็นสิ่งแวดล้อมหลักๆ ของโลกรวม 13 เรื่อง เสนอสาระที่น่าเรียนรู้อย่างมาก ก่อให้เกิดความตระหนักในเรื่องสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตเราสมควรเผยแพร่ให้แพร่หลาย จึงได้จัดประชุมปฏิบัติการนักแปลเครือข่าย ของกรมวิชาการเพื่อร่วมกันแปลหนังสือชุดนี้ สำหรับใช้ในโรงเรียนตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาขึ้นไป และเผยแพร่แก่สาธารณชนทั้งหลาย

กรมวิชาการขอขอบคุณนักแปลเครือข่าย ผู้ตรวจ วิทยากร และผู้เกี่ยวข้องทุกคนที่ร่วมกันจัดทำหนังสือนี้ และขอขอบคุณโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติเป็นพิเศษที่เอื้อเฟื้อลิขสิทธิ์การแปล

(นายประพัฒน์พงศ์ เสนาฤทธิ์)
อธิบดีกรมวิชาการ
22 มิถุนายน 2544

ผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซน

ไมเคิล ดี. กวินน์

หน่วยเฝ้าระวังโลก หรือเอิร์ทวอตช์ (Earthwatch) ก่อตั้งขึ้นใน ค.ศ. 1972 โดยที่ประชุมองค์การสหประชาชาติว่าด้วยสิ่งแวดล้อมของมนุษย์เพื่อประเมินผลกิจกรรมต่าง ๆ ที่อยู่ในแผนปฏิบัติงานที่วางไว้ หน่วยงานขององค์การสหประชาชาติแต่ละหน่วยทำหน้าที่ตรวจสอบและประเมินผลสภาพแวดล้อมด้านต่าง ๆในความรับผิดชอบของตน ระบบตรวจสอบ สิ่งแวดล้อมโลก หรือเจมส์ (Global Environment Monitoring System – GEMS) ตั้งขึ้นเป็นทางการหลังจากนั้น 2 ปี ใน ค.ศ. 1974 หน่วยงานนี้ปฏิบัติงานร่วมกับโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ หรือยูเนป (United Nations Environment Programme – UNEP) และหน่วยงานร่วมอื่น ๆ โดยผ่านศูนย์กิจกรรมโครงการที่สำนักงานใหญ่โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ ในกรุงไนโรบี

ระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลกประสบความสำเร็จในการทำงานมานานกว่าทศวรรษ ช่วยประเมินผลครั้งสำคัญ ๆ เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม เช่น ผลกระทบจากการที่โลกร้อนขึ้น มลพิษอากาศในเขตเมืองและในแหล่งน้ำจืด อัตราการลดลงของป่าเขตร้อน และสิ่งมีชีวิตถูกคุมคามจนจำนวนลดลง เช่น ช้างแอฟริกา เป็นต้น

เนื่องจากเป็นเรื่องเฉพาะ ผลการประเมินเหล่านี้จึงจัดพิมพ์เป็นเอกสารทางวิชาการ และมีหลายเรื่องที่จัดพิมพ์เป็นหนังสือชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS ซึ่งผู้ไม่มีพื้นฐานทางเทคนิคก็สามารถอ่านเข้าใจได้โดยง่าย

หนังสือเล่มนี้เป็นอันดับที่ 7 ของชุด เป็นเล่มหนึ่งที่ UNEP ให้ความสนใจเป็นพิเศษ เมื่อ 10 ปีที่แล้วน้อยคนนักที่จะได้ยินเรื่องราวของชั้นโอโซน และยิ่งน้อยไปกว่านั้นอีกที่จะสงสัยว่าชั้นโอโซนกำลังถูกทำลายจากการปล่อยสารเคมีที่มนุษย์ทำขึ้น ขอบคุณ UNEP ที่เป็นผู้ริเริ่มดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ปัจจุบันนี้เรามีการประชุมนานาชาติเรื่องการพิทักษ์ชั้นโอโซนและมากกว่า 70 ประเทศทั่วโลกได้ร่วมลงนามในพิธีสารเพื่อกำหนดว่าควรจะลดการบริโภคและการผลิตสารเคมีที่เป็นสาเหตุใหญ่ในการทำลายชั้นโอโซนอย่างไร

หนังสือเล่มที่ 2 ในชุดนี้ ครอบคลุมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการลดลงของชั้นโอโซน และผลที่เกี่ยวเนื่องตามมาจากการทำลายโอโซนที่มีต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นแนวทางลดการทำลายชั้นโอโซน

ไมเคิล ดี. กวินน์
ผู้อำนวยการระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก
โครงการสิ่งแวดล้อมโลกแห่งสหประชาชาติ

สารบัญ

คำนำ

ถ้อยแถลง 7

บทนำ 8

ภูมิหลังทางวิทยาศาสตร์ 13
- ช่องโหว่โอโซนบริเวณขั้วโลกใต้ 14
- การทำลายชั้นโอโซนบริเวณละติจูดกลาง 18
- การทำลายชั้นโอโซนบริเวณขั้วโลกเหนือ 19

ผลกระทบต่อสังคม 21
- รังสีอัลตราไวโอเลต 21
- ระบบภูมิคุมกันโรคและการใช้วัคซีน 24
- มะเร็งผิวหนัง 25
- อันตรายต่อดวงตาเพิ่มขึ้น 26
- ผลกระทบต่อมหาสมุทร 27
- ผลกระทบต่อพืชบก 29
- มลพิษอากาศเพิ่มขึ้น 31
- ความเสียหายต่อวัสดุ 33

เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับโอโซน 35
- เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ 38
- การใช้ลักษณะอื่นๆ 40
- ความสำคัญของการร่วมมือกันในโลก 43
- การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ และการทำลายCFC และฮาลอน 45

ทางเลือกนโยบายในอนาคต 47

แหล่งอ้างอิง 51

ถ้อยแถลง

มอสตาฟา เค. ทอลบา

ชั้นโอโซนซึ่งเป็นเกราะป้องกันโลกจากการทำลายของรังสีอัลตราไวโอเลตกำลังลดน้อยลงทุกที เนื่องจากเราผลิตสารชนิดต่างๆ ที่ทำลายชั้นโอโซนกันมากเป็นเวลามากกว่า 60 ปีแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาร CFC และสารฮาลอน แม้ว่าเราจะเลิกใช้สารเหล่านี้ได้ในวันพรุ่งนี้ การทำลายชั้นโอโซนก็จะยังคงดำเนินอยู่ต่อไปตลอดศตวรรษหน้า เพราะในชั้นบรรยากาศเต็มไปด้วยสารเคมีที่คงอยู่ได้นาน การยุติการใช้สารเหล่านี้ได้กำหนดไว้ในพิธีสารมอนทรีออล และคงจะกินเวลาจนถึง ค.ศ. 2130 กว่าสารประกอบที่มนุษย์สร้างขึ้นเหล่านี้จะหมดไปจากชั้นบรรยากาศอย่างสิ้นเชิง

ขณะเดียวกันผลกระทบจากการทำลายชั้นโอโซนสามารถรับรู้ได้ทั่วโลก ผลกระทบโดยตรงที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่แผ่มายังพื้นผิวโลกที่เพิ่มขึ้น ผลกระทบนี้ทำให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพในรูปของมะเร็งผิวหนัง ต้อกระจก และโรคอันเนื่องมาจากภูมิคุ้มกันลดลง ทำลายห่วงโซ่อาหารในทะเล และพืชผลทางการเกษตร อีกทั้งวัสดุ ังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น พลาสติกและสีที่ใช้ทาภายนอก มีอิทธิพลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน มลพิษอากาศ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

ด้วยปัญหาที่เผชิญเริ่มจะรุนแรงขึ้น จึงเกิดปฏิบัติการเพื่อหยุดยั้งการทำลายโอโซนและฟื้นฟูสิ่งที่ถูกทำลายไป มีการค้นพบช่องโหว่โอโซนบริเวณขั้วโลกใต้เป็นครั้งแรกใน ค.ศ. 1987 ซึ่งทำให้วงการวิทยาศาสตร์และการเมืองในนานาประเทศตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก และกระตุ้นให้เร่งแก้ปัญหาอย่างกว้างขวางและเร็วขึ้น

คณะทำงานเหล่านี้รับผิดชอบการประเมินด้านเทคนิค สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ และจัดพิมพ์เผยแพร่ข้อตกลงอันเข้มงวดเกี่ยวกับการหยุดยั้งการใช้สาร CFC และสารฮาลอนที่ทำลายโอโซนซึ่งได้กำหนดระยะเวลาในการใช้สารดังกล่าวไว้ในพิธีสารมอนทรีออล ซึ่งไม่เคยปรากฏมาก่อน

มอสตาฟา เค. ทอลบา
ผู้อำนวยการบริหาร
โครงการสิ่งแวดล้อมโลกแห่งสหประชาชาติ

บทนำ

"...การทำลายจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรม เปลี่ยนแปลงระบบภูมิคุมกันโรค ทำลายพืชผลทางการเกษตร สายใยอาหารในทะเล และเพิ่มระดับความร้อนจากสภาวะเรือนกระจก..."

โอโซนก่อตัวขึ้นในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตที่เป็นอันตรายจากดวงอาทิตย์ ซึ่งปริมาณของสารเคมีที่มนุษย์เร่งผลิตเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการทำลายโมเลกุลโอโซนอย่างรวดเร็ว

สารเคมีที่ทำลายโอโซนส่วนใหญ่มาจากสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ มากมาย เช่น เครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศ ตลอดจนโฟมอ่อน และตัวทำละลายที่ใช้ทำความสะอาด อีกทั้งสารฮาลอนที่ใช้ดับเพลิง ปริมาณสารเหล่านี้ในชั้นบรรยากาศได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่กลางทศวรรษ 1970

มีการค้นพบช่องโหว่โอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ใน ค.ศ. 1985 และมีการยืนยันว่า พบการทำลายโอโซนในลักษณะเดียวกันนี้ในบริเวณกว้างที่ขั้วโลกเหนือ เป็นไปได้ว่าการทำลายจะเกิดขึ้นในเขตที่มีประชากรหนาแน่น

คณะผู้แทนประเมินการทำลายโอโซนทางวิทยาศาสตร์ (ดูในกรอบ) ได้รายงานว่า สารประกอบคลอรีนและโบรมีนที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น เป็นตัวการทำให้เกิดการสูญเสียโอโซน ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของมนุษย์ในการตรวจวัดโอโซนทั้งหมดที่สูญเสียไปจริง คณะผู้แทนเตือนว่า ผู้คนทั่วโลกจะมีส่วนร่วมในการทำลายโอโซนให้เลวร้ายลงตลอดไปจนถึงทศวรรษหน้า ช่องโหว่โอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้จะเกิดขึ้นในแต่ละฤดูใบไม้ผลิ จนกระทั่งสารเคมีที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศนั้นลดลงสู่ระดับเดิม ซึ่งมีปริมาณคลอรีนน้อยกว่า 2 ส่วนในพันล้านส่วนโดยปริมาตร (part per billion by volume – ppbv) ก่อนการเปลี่ยนแปลงในยุคอุตสาหกรรมระดับคลอรีนธรรมชาติในชั้นบรรยากาศ มีเพียง 0.6 ppbv ก่อนที่ช่องโหว่โอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้จะก่อตัวขึ้น ความเข้มข้นของสารประกอบคลอรีนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์เหนือขั้วโลกใต้เพิ่มสูงขึ้นถึง 1.5–2.0 ppbv ซึ่งปัจจุบันนี้ได้เพิ่มขึ้นถึง 3.0–3.5 ppbv และกำลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สาร CFC และสารฮาลอนยังคงอยู่ในชั้นบรรยากาศโลกนานนับสิบ ๆ ปี บางแห่งอาจคงอยู่ได้มากกว่า 100 ปี ถ้าหากเราหยุดปล่อยสารเหล่านี้โดยทันที และทำลายสาร CFC และสารฮาลอนที่ยังคงมีอยู่ทั้งหมด ต้องทำต่อเนื่องกันไปจนถึงปลายศตวรรษ 21 ก่อนที่ระดับสารประกอบคลอรีนในชั้นบรรยากาศจะต่ำลงจนถึงระดับที่อำนวยให้ช่องโหว่โอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้ได้ก่อตัวขึ้นในระยะเวลาอันสั้นได้ คณะผู้แทนยังย้ำว่า ในอนาคตการทำลายโอโซนจะมีแนวโน้มมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพราะกระบวนการที่เป็นสาเหตุของการทำลายโอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้นั้นซับซ้อนเกินกว่าที่จะจัดเข้าได้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สาร CFC และสารฮาลอนคงอยู่ได้ในบรรยากาศนานนับสิบๆ ปี บางทีอาจคงอยู่ได้นานกว่า 100 ปี

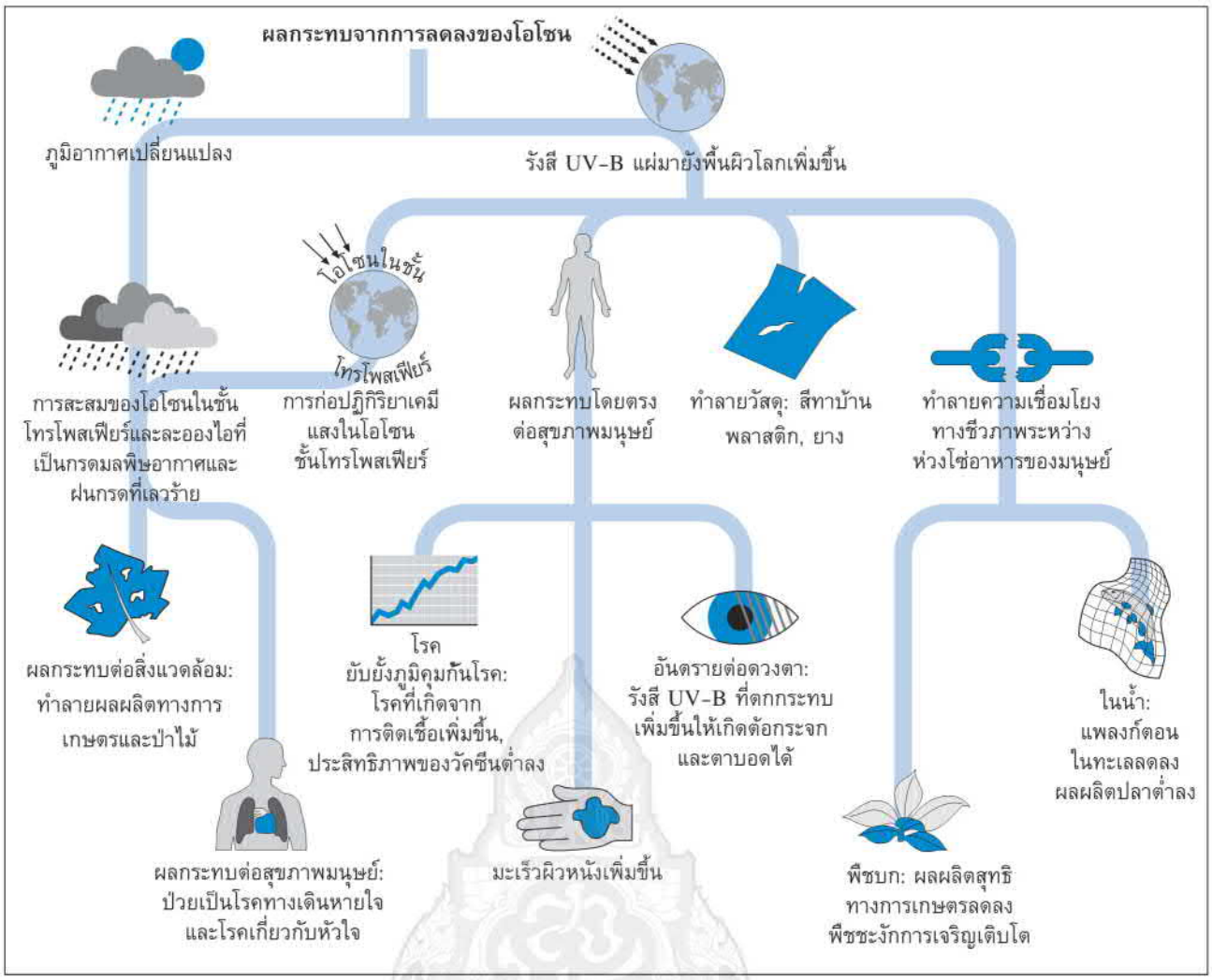
พิธีสารมอลทรีออลแก้ไขใหม่ใน ค.ศ. 1990 มีจุดมุ่งหมายเพื่อยุติการผลิตสาร CFC ฮาลอน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และเมทิลคลอโรฟอร์ม ให้หมดสิ้นไปภายใน ค.ศ. 2005 หากประสบผลสำเร็จใน ค.ศ. 2050 ระดับของสารประกอบคลอรีน

ในชั้นบรรยากาศจะต่ำกว่าระดับที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเล็กน้อย ซึ่งยังไม่ต่ำพอที่จะหยุดยั้งการเกิดช่องโหว่โอโซนในฤดูใบไม้ผลิได้ แต่หมายความว่า ประมาณปลายศตวรรษหน้าการทำลายโอโซนจะเริ่มลดลง และประมาณ ค.ศ. 2130 สารประกอบคลอรีนหลายชนิดที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นจะหมดไปจากชั้นบรรยากาศ

อนุสัญญาเวียนนาและพิธีสารมอนทรีออล

ใน ค.ศ. 1974 เชอร์วูด โรแลนด์ (Sherwood Rowland) แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย และมาริโอ โมลินา (Mario Molina) เสนอทฤษฎีแรกที่กล่าวโทษสาร CFC ว่าเป็นสารทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ความคิดนี้ยังไม่ได้รับความสนใจทันทีในขณะนั้น แต่จนกระทั่ง ค.ศ. 1981 คณะทำงานของรัฐบาล ผู้เชี่ยวชาญด้านกฎหมายและด้านเทคนิค โดยความเห็นชอบของคณะมนตรีบริหารโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้เห็นด้วยกับความคิดนี้ ได้ร่าง 'อนุสัญญาพิทักษ์ชั้นโอโซน' ขึ้น ใน ค.ศ. 1985 ประเทศต่างๆ 21 ประเทศ และกลุ่มประเทศประชาคมยุโรปได้ลงนามรับรองอนุสัญญานี้ในชื่อว่า 'อนุสัญญาเวียนนา'

ในอนุสัญญาได้กำหนดแผนคู่ขนานสำหรับพิธีสาร ซึ่งระบุข้อบังคับเป็นการเฉพาะ จากนั้นใน ค.ศ. 1985 โครงการสำรวจขั้วโลกใต้แห่งสหราชอาณาจักรได้ตีพิมพ์หลักฐานการเกิดช่องโหว่โอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ที่ไม่อาจโต้แย้งได้ การร่างพิธีสารมอนทรีออลสิ้นสุดและเห็นพ้องร่วมกันในวันที่ 16 กันยายน ค.ศ. 1987 และมีผลบังคับใช้ในเดือนมกราคม ค.ศ. 1989 ในพิธีสารมอลทรีออลระบุว่า 36 ประเทศที่ใช้สาร CFC ประมาณร้อยละ 80 ของการบริโภคสาร CFC ในโลกได้ให้สัตยาบันร่วมกันเพื่อลดการผลิตและการใช้สาร โดยเรียกร้องให้ลดการผลิตและการใช้สาร CFC ที่แพร่หลายมากที่สุด 5 ชนิด และสารฮาลอนที่สำคัญอีก 3 ชนิด เป้าหมายคือ การใช้สารดังกล่าวจนถึงเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 1989 ให้อยู่ในระดับเดียวกับที่ใช้ใน ค.ศ. 1986 เดือนกรกฎาคม 1993 ให้อยู่ในระดับร้อยละ 80 ของที่ใช้ใน ค.ศ. 1986 และเหลือร้อยละ 50 ใน ค.ศ. 1998 มาตรการพิเศษนี้กำหนดขึ้นสำหรับประเทศกำลังพัฒนาที่มีอัตราการบริโภคต่ำเมื่อคิดตามจำนวนประชากร ประเทศภาคีต่างตกลงที่จะจำกัดการใช้สารฮาลอนให้อยู่ในระดับที่ใช้ใน ค.ศ. 1986 หลัง ค.ศ. 1992 เป็นต้นไป ประมาณเดือนมกราคม ค.ศ. 1992 ประเทศเหล่านี้ได้จัดทำบัญชีรายชื่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยสารควบคุมนี้ และในปีต่อมาได้ห้ามนำเข้าสินค้าดังกล่าวจากประเทศที่ไม่ได้เป็นภาคี แต่ละประเทศภาคีผลักดันให้มีมาตรการควบคุมการนำเข้าสินค้าที่ผลิตด้วยสารควบคุม การค้นพบสารทดแทนเป็นงานที่เป็นไปไม่ได้ใน ค.ศ. 1987 แต่ความก้าวหน้าด้านการวิจัยเกี่ยวกับการสูญเสียโอโซนผลักดันให้มีการประชุมระหว่างประเทศภาคีที่ลงนามในพิธีสารเป็นครั้งที่ 2 ที่กรุงลอนดอน ในเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 1990 เพื่อตกลงหาทางยุติการใช้สาร CFC และสารฮาลอนให้มากที่สุดภายใน ค.ศ. 2000



รูปที่ 1 *แผนภาพรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเหตุให้โอโซนถูกทำลายลง ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในโลก*

การทำลายชั้นโอโซนที่เพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ทุกๆ ร้อยละ 10 ของชั้นโอโซนที่ถูกทำลายไป คาดว่ารังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นที่ทำลายสิ่งมีชีวิตจะแผ่มายังพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 รังสีนี้สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรม เปลี่ยนแปลงระบบภูมิคุมกันโรค ทำลายผลผลิตทางการเกษตร รบกวนสายใยอาหารในทะเล และเร่งภาวะเรือนกระจก โดยลดความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของแพลงก์ตอนในมหาสมุทร ส่งผลให้อัตราการเกิดมะเร็งผิวหนังเพิ่มขึ้น ดวงตานับล้านดวงจะได้รับผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความเข้มมากกว่าเดิมและทำให้เกิดต้อกระจก คนที่ได้รับรังสีเพิ่มขึ้นจะมีภูมิคุมกันโรคลดลง ทำให้การใช้วัคซีนอาจได้ผลน้อยลง โรคติดต่อต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้นและรุนแรงกว่าเดิม รังสีอัลตราไวโอเลตอาจยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และปริมาณการผลิตพืชผลทางการเกษตรอาจลดลง ในทางกลับกันเกิดผลกระทบที่เลวร้ายต่อแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนในนาข้าวทำให้ผลผลิตจากการทำนาลดลงมาก

คาดว่ามลพิษอากาศที่เลวร้ายลงเป็นผลมาจากความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยากันระหว่างสารเคมีทำให้เกิดหมอกควันพิษและฝนกรด ยิ่งกว่านั้นยังส่งผลกระทบต่อการใช้วัสดุหลายชนิด เช่น พลาสติก ไม้ ยาง ทำให้เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

การทำลายชั้นโอโซนและผลกระทบที่เกิดจากการทำลายก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรง แต่ยังพอมีความหวังอยู่บ้าง กว่า 3 ปีที่ผ่านมา ระดับความรุนแรงที่เกิดเป็นการเตือนให้รู้ว่า ถึงเวลาแล้วที่นักวิทยาศาสตร์และรัฐบาลในประเทศต่างๆ ในโลกต้องร่วมมือกัน และลงมือปฏิบัติร่วมกัน ตั้งแต่ ค.ศ. 1985 เป็นต้นมาความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ในโลก และผู้เชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกิดความเข้าใจกระบวนการทำลายโอโซน และเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ค้นพบได้ในปัจจุบันบอกเป็นนัยว่าสามารถกำจัดสารเคมีที่ทำลายโอโซนได้ใน ค.ศ. 2000 เมื่อพิธีสารมอนทรีออลได้ลงนามใน ค.ศ.1987 ซึ่งยังไม่มีข้อพิสูจน์แน่ชัดได้ว่าสาร CFC กำลังทำลายชั้นโอโซน และโอกาสในการค้นพบสารเคมีที่ปลอดภัยต่อโอโซนที่นำมาใช้ทดแทนนั้นยังมีอยู่น้อย

การประเมินพิธีสารมอนทรีออล

"เริ่มต้นใน ค.ศ. 1990 และอย่างน้อยทุกๆ 4 ปี หลังจากนั้น กลุ่มประเทศภาคีต้องประเมินมาตรการควบคุมที่ระบุไว้ในมาตรา 2 บนพื้นฐานของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม เทคนิค และเศรษฐศาสตร์ที่พอหาได้ โดยกลุ่มประเทศภาคีต้องเรียกประชุมคณะผู้แทนที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาดังกล่าวอย่างน้อย 1 ปี ในการประเมินแต่ละครั้ง เพื่อหาข้อยุติเกี่ยวกับข้อตกลงและขอบเขตอำนาจหน้าที่ของคณะผู้แทนเหล่านี้ คณะผู้แทนต้องรายงานข้อสรุปต่อประเทศภาคีต่างๆ ผ่านสำนักงานเลขาธิการ ภายใน 1 ปี"

มาตรา 6 แห่งพิธีสารมอนทรีออล

ในเดือนตุลาคม ค.ศ. 1988 คณะทำงานพิธีสารมอนทรีออล ซึ่งศึกษาสารที่ทำลายชั้นโอโซนได้แต่งตั้งคณะตรวจสอบ 4 คณะ เพื่อทบทวนมาตรา 6 ในพิธีสาร มาตราที่ครอบคลุมทางด้านวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม เทคนิค และเศรษฐศาสตร์ที่ทำให้เกิดปัญหาการทำลายชั้นโอโซน ใน ค.ศ. 1990 โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติซึ่งทำหน้าที่เป็นคณะเลขาธิการของพิธีสารได้จัดพิมพ์และเผยแพร่ข้อสรุปสำคัญของคณะตรวจสอบ

ข้อสรุปได้บรรยายเกี่ยวกับการวินิจฉัยร่วมกันของผู้เชี่ยวชาญหลายร้อยคนจากประเทศพัฒนาแล้ว 21 ประเทศ และประเทศกำลังพัฒนา 9 ประเทศ โดยมีองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกช่วยเหลือเตรียมการประเมินทางวิทยาศาสตร์

หนังสือเล่มนี้ได้ข้อมูลส่วนใหญ่มาจากรายงาน 4 ฉบับแรกของการประเมินของคณะตรวจสอบการทำลายชั้นโอโซน

ใน ค.ศ. 1990 พิธีสารมอนทรีออลได้ถือปฏิบัติตามข้อตกลงอย่างเคร่งครัด มีข้อพิสูจน์ว่าโอโซนถูกทำลายลงอย่างรวดเร็ว และมีหลักฐานชี้ชัดว่าเกิดจากสารประกอบคลอรีนและโบรมีนที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น มีการส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อจำกัดการใช้สารเหล่านี้ การใช้สารทดแทนชนิดอื่นๆ แทนสาร CFC ยังอยู่ในขั้นตอนการผลิตเพื่อการค้า ซึ่งผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีเรียกร้องว่า แม้จะไม่รู้แน่ชัดว่าเทคโนโลยีจะพัฒนาไปอย่างไร นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายยังจะต้องพัฒนาสารทดแทนสาร CFC ทำให้เราสามารถคาดหวังด้วยเหตุผลจากข้อเท็จจริงได้ว่าจะสามารถยับยั้งการแพร่กระจายของสาร CFC ได้อย่างสิ้นเชิงภายใน ค.ศ. 2000 ด้านการเมืองมีการดำเนินงานอันรวดเร็วร่วมกันระหว่างประเทศอย่างน่าอัศจรรย์ใจ มีการเจรจาหารือเกี่ยวกับพิธีสารเป็นเวลามากกว่า 2 ปี เมื่อความรู้และความเข้าใจต่าง ๆ ที่ยอมรับกันมาประมาณ 10 ปีจำเป็นต้องได้รับการรับรองจากความคิดเห็นส่วนใหญ่จากนานาประเทศ ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากพอกันกับการรีบเร่งลดการใช้สาร CFC

ด้านการเมืองมีการดำเนินงานอันรวดเร็วร่วมกันระหว่างประเทศอย่างน่าอัศจรรย์ใจ มีการเจรจาหารือเกี่ยวกับพิธีสารเป็นเวลามากกว่า 2 ปี เมื่อความรู้และความเข้าใจต่าง ๆ ที่ยอมรับกันมาประมาณ 10 ปีจำเป็นต้องได้รับการรับรองจากความคิดเห็นส่วนใหญ่

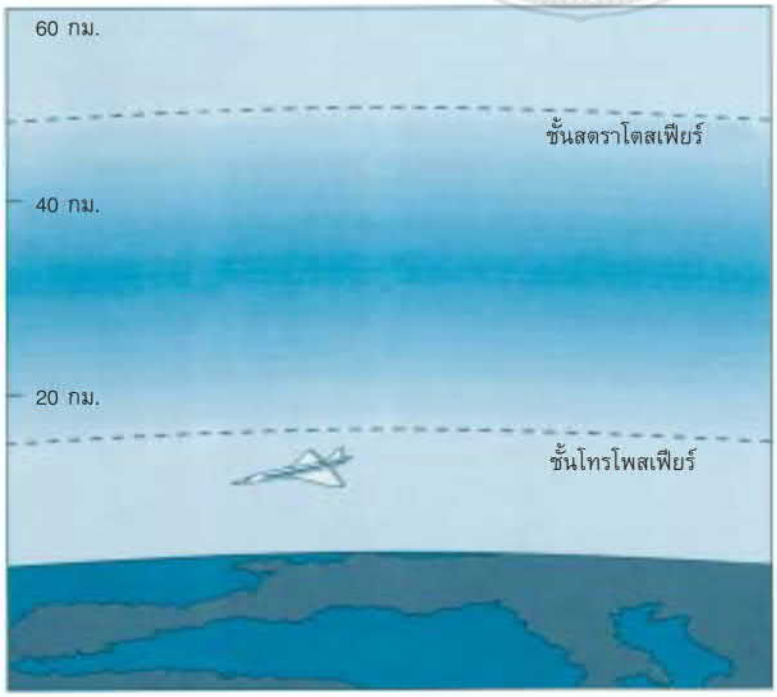
ประเทศอุตสาหกรรมเป็นต้นเหตุของปัญหาการทำลายชั้นโอโซน ซึ่งเกิดจากการพัฒนาการใช้สาร CFC และสารเคมีชนิดอื่น ๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเห็นพ้องกันว่าประเทศอุตสาหกรรมควรต้องรับผิดชอบด้วยการให้ความช่วยเหลือในด้านการเงินและเทคโนโลยีแก่ประเทศกำลังพัฒนาเพื่อปรับปรุงมาตรฐานการครองชีพโดยไม่ใช้เทคโนโลยีเดิมที่ก่อให้มลพิษซึ่งทำลายโอโซน นี่คือสถานการณ์เร่งด่วนที่จะต้องให้บรรลุผลสำเร็จด้านความร่วมมือในการเลือกใช้สารทดแทน ยิ่งไปกว่านั้นยังมีความจำเป็นด้านระยะเวลาในการค้นคว้าวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถถ่ายโอนไปให้ประเทศกำลังพัฒนาที่ต้องการเทคโนโลยีและความรู้ในการกำจัดสาร CFC และสารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่ทำลายชั้นโอโซน และในที่สุดแล้วชั้นโอโซนจะฟื้นคืนสภาพ

ภูมิหลังทางวิทยาศาสตร์

ชั้นโอโซนส่วนใหญ่วางตัวอยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ นับจากพื้นผิวโลกเหนือขึ้นไป 12-50 กิโลเมตร โอโซนในชั้นบรรยากาศทำหน้าที่คล้ายร่มกันแดดขนาดยักษ์ป้องกันไม่ให้พืชและสัตว์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตที่เป็นอันตราย หากปราศจากโอโซนแล้ว สิ่งมีชีวิตในรูปแบบต่างๆ บนโลกจะไม่สามารถงอกงามและเจริญเติบโตได้ โอโซนในชั้นบรรยากาศไม่เพียงแต่จะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นที่เป็นอันตรายถึงชีวิตได้เท่านั้น แต่ยังกรองรังสีอัลตราไวโอเลตในส่วนที่เป็นอันตรายน้อยกว่าได้ถึงร้อยละ 70-90 การแผ่รังสีในช่วงความยาวคลื่นนี้ เป็นสาเหตุที่ทำให้ผิวหนังไหม้เกรียม มะเร็งผิวหนัง ต้อกระจก และทำให้ระบบภูมิคุ้มกันโรคอ่อนแอ ซึ่งระบบภูมิคุ้มกันป้องกันเราจากการติดเชื้อ ชะลอการเจริญเติบโตของพืชโดยทำความเสียหายต่อโครงสร้างทางพันธุกรรมของพืชและสัตว์บางชนิด

โอโซนเป็นโมเลกุลง่าย ๆ ประกอบด้วย ออกซิเจน 3 อะตอม แม้ว่าโอโซนจะช่วยให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโต แต่โอโซนก็ยังเป็นก๊าซพิษที่มีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ โอโซนเป็นเพียงส่วนประกอบน้อย ๆ ในบรรยากาศเท่านั้น หากโอโซนทั้งหมดในชั้นบรรยากาศนับจากระดับพื้นผิวโลกจนถึงระดับความสูงที่ 60 กิโลเมตร มารวมกันเป็นชั้นก๊าซจะหนาเพียง 3 มิลลิเมตร ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 3,000 ล้านตัน

โอโซนเกือบทั้งหมดมีอยู่ในชั้นบรรยากาศต่ำสุด 2 ชั้น คือ ชั้นโทรโพสเฟียร์ซึ่งอยู่สูงจากพื้นผิวโลกขึ้นไป 12 กิโลเมตร และชั้นสตราโตสเฟียร์ที่อยู่สูงขึ้นไปประมาณ 50 กิโลเมตร ประมาณร้อยละ 90 ของโอโซนทั้งหมดอยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์



รูปที่ 2 *โอโซนส่วนใหญ่ในชั้นบรรยากาศพบในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ซึ่งสูงจากพื้นผิวโลกประมาณ 12-50 กิโลเมตร*

โอโซนมีพฤติกรรมเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งในบรรยากาศชั้นสูงกว่าชั้นโทรโพสเฟียร์และต่ำกว่าชั้นสตราโตสเฟียร์ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในชั้นเหล่านี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับความร้อนของภาวะเรือนกระจกขึ้นได้

กว่า 10 ปีมาแล้ว สารเคมีที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นได้ทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งโอโซนในชั้นนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงในเขตร้อน แต่จะมีการสูญเสียโอโซนสูงถึงร้อยละ 8 ในช่วงฤดูหนาวบริเวณละติจูดกลาง ละติจูดสูงทางตอนเหนือและทางตอนใต้ โดยจะสูญเสียโอโซนสูงมากถึงร้อยละ 60 ในบริเวณขั้วโลกใต้ในฤดูใบไม้ผลิ

เนื่องจากเคมีของโอโซนในชั้นบรรยากาศมีช่วงล้าที่ยาวนาน ดังนั้นจึงทำให้เกิดการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่องไปจนถึงศตวรรษหน้า ยิ่งไปกว่านั้นจากการสังเกตพบว่า ในอนาคตการสูญเสียโอโซนน่าจะมากกว่าที่ได้คาดคะเนไว้ นี่คือสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นจากแบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณารวมถึงผลกระทบของเมฆที่ก่อตัวอยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์ในละติจูดสูง หรือละอองไอที่อยู่ในบริเวณละติจูดกลางไว้ด้วย

ช่องโหว่โอโซนบริเวณขั้วโลกใต้

10–15 ปีที่ผ่านมา ในแต่ละฤดูใบไม้ผลิจะสูญเสียโอโซนอย่างรวดเร็วเป็นบริเวณกว้างและเป็นไปอย่างคาดไม่ถึง ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์เหนือบริเวณขั้วโลกใต้ทุกฤดูใบไม้ผลิ โอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์จะถูกทำลายสูงถึงร้อยละ 95 ที่ระดับความสูง 12–24 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก ซึ่งเป็นใจกลางชั้นโอโซนแถบขั้วโลก ภาพถ่ายดาวเทียมได้แสดงช่องโหว่โอโซนขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ของประเทศสหรัฐอเมริกา

การตรวจวัดครั้งล่าสุดแสดงให้เห็นว่า ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ทั้งหมดซึ่งสูงจากพื้นผิวโลกขึ้นไป 12–50 กิโลเมตร ชั้นโอโซนครึ่งหนึ่งเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ถูกทำลายลงในแต่ละฤดูใบไม้ผลิ ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ไม่ได้คาดคะเนถึงระดับการทำลายนี้ ในขณะนี้อัตราส่วนโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์เหนือละติจูดกลางไปจนถึงละติจูดสูงหายไปอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่คาดคะเนไว้

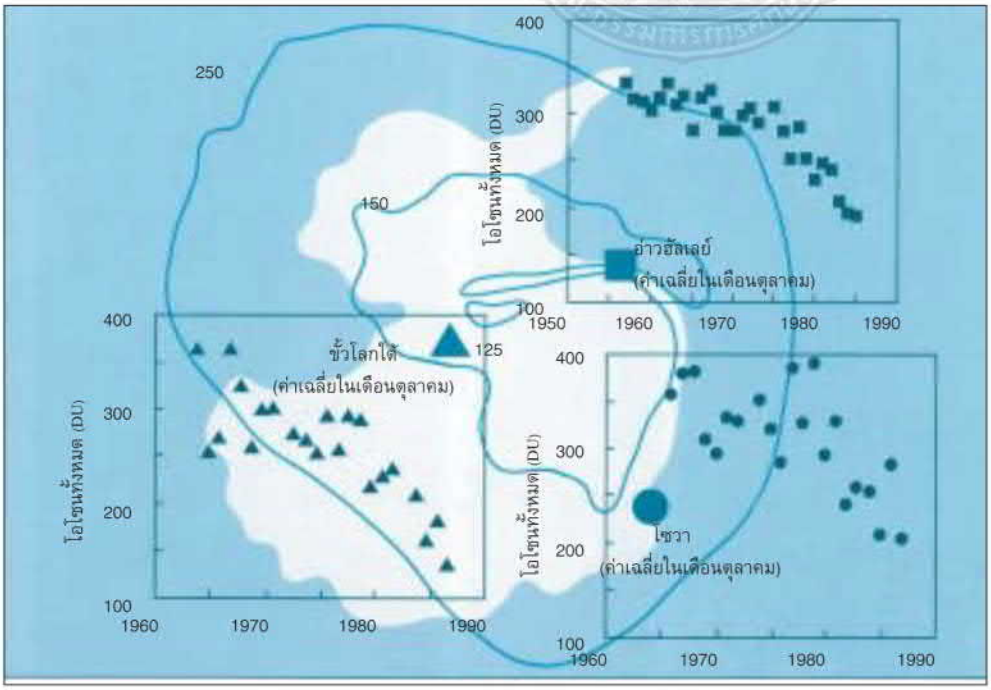
มีหลักฐานสำคัญทางวิทยาศาสตร์กล่าวว่า สารประกอบคลอรีนและโบรมีนที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์เหนือบริเวณขั้วโลกใต้ในระหว่างฤดูใบไม้ผลิ เมื่อเกิดช่องโหว่โอโซนขนาดใหญ่ที่สุดนั้น ปริมาณสารประกอบคลอรีนที่ทำปฏิกิริยา และเป็นสาเหตุให้เกิดการทำลายชั้นโอโซนอย่างมากมายและรวดเร็ว มีมากกว่า 50–100 เท่าของช่วงเวลาอื่นของปี

มูลเหตุที่ก่อให้เกิดการทำลายโอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ที่กระจายไปในฤดูหนาวเป็นเพราะกระแสวนของอากาศเย็นที่พัดผ่านขั้วโลก การที่ไม่มีแสงอาทิตย์ผ่านในกระแสวนยามกลางคืนในฤดูหนาวแถบบริเวณขั้วโลกใต้ และไม่มีอากาศจากละติจูดที่อุ ่น กว่าเคลื่อนที่เข้ามาในกระแสวน อากาศเย็นจึงพัดไปที่ระดับต่ำกว่าในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ กระแสวนจึงทำลายชั้นโอโซนด้วยการที่เมฆซึ่งมีกรดไนตริกและน้ำแข็งก่อตัวขึ้นในตอนล่างของชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลก

การทำปฏิกิริยาระหว่างฝุ่นล่อองในก้อนเมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกกับสารประกอบคลอรีนและโบรมีนที่คงตัว เป็นตัวการหลักที่ทำลายโอโซนเป็นบริเวณกว้างเหนือขั้วโลกใต้ ในภาวะเช่นนี้คลอรีนมอนอกไซด์ 1 โมเลกุลสามารถทำลายโมเลกุลของโอโซนได้ถึง 10,000–100,000 โมเลกุ ล

เมื่อสารประกอบคลอรีนซึ่งมีลักษณะคงตัวและโบรมีนเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่มีปฏิกิริยาสูงขึ้น หากได้รับแสงอาทิตย์จะทำให้โมเลกุลของโอโซนแตกตัว การทำลายดังกล่าวเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าที่ทฤษฎีคาดไว้ในตอนแรก ปริมาณสารคลอรีนและโบรมีนที่มีปฏิกิริยาสูง ซึ่งสังเกตได้ในช่วงฤดูใบไม้ผลิเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ มีมากพอที่จะทำลายชั้นโอโซนสูงถึงร้อยละ 2–3 ต่อวัน

สารเคมีในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ทำให้โอโซนแตกตัวมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่คลอรีนมอนอกไซด์ในปริมาณซึ่งวัดได้เหนือบริเวณขั้วโลกใต้ใน ค.ศ. 1987



รูปที่ 3 *แนวโน้มในระยะยาวของโอโซนทั้งหมด ซึ่งสังเกตได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน 3 แห่งในบริเวณขั้วโลกใต้ โดยมีความเข้มข้นลดลงมากกว่า 20 ปีมาแล้ว*

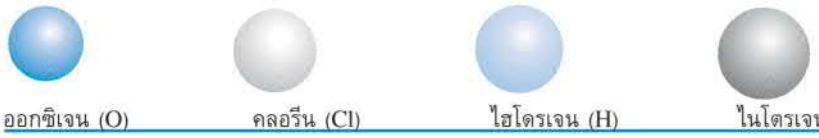
DU = ยูนิตดอบสัน หมายถึง หน่วยวัดปริมาณโอโซนด้วยเครื่องมือตรวจวัดสเปกโตโฟโตมิเตอร์

ด้วยกระสวยอวกาศและเครื่องมือตรวจวัดภาคพื้นดิน ทำให้นักวิทยาศาสตร์สรุปว่าปฏิกิริยาของสารประกอบคลอรีนเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียโอโซนบริเวณขั้วโลกใต้ในฤดูใบไม้ผลิ ปริมาณคลอรีนมอนอกไซด์ที่พบในชั้นสตราโตสเฟียร์มีเพียง 1 โมเลกุลในพันล้านโมเลกุลของก๊าซชนิดอื่น ๆ เท่านั้น จากหลักฐานดังกล่าวนี้ สารประกอบคลอรีนที่ดูเหมือนว่าไม่มีความสำคัญนั้น ความจริงแล้วมีปริมาณมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ของชั้นสตราโตสเฟียร์ถึง 100 เท่า ซึ่งในบริเวณอื่น ๆ นั้น สังเกตพบว่ามีการทำลายโอโซนเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

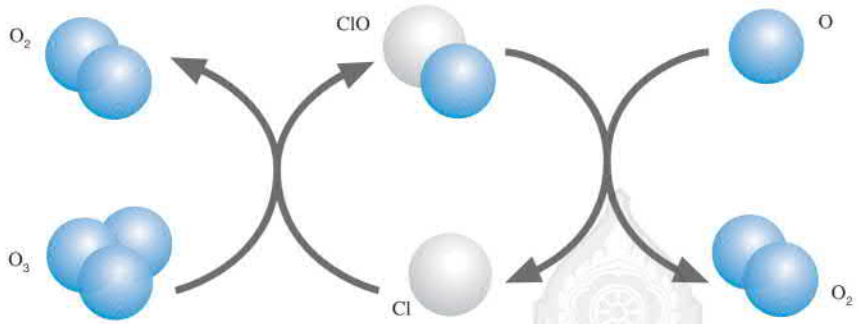
การสังเกตและการวิจัยสารประกอบคลอรีนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ในห้องทดลองในปัจจุบันนี้ยืนยันแล้วว่า ปฏิกิริยาเคมีของคลอรีนเป็นมูลเหตุสำคัญที่สุด แม้จะไม่ใช่มูลเหตุทั้งหมดที่ทำลายโอโซนในฤดูใบไม้ผลิเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ใน ค.ศ. 1987 ก็ตาม การพิสูจน์ว่าโอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกถูกทำลายได้อย่างไรนั้นต้องการการตรวจสอบซ้ำแล้วซ้ำอีกเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่รู้กันว่าเกิดขึ้นในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยที่กระบวนการดังกล่าวเริ่มขึ้นจากการก่อตัวของเมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลก แล้วกระตุนให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลคลอรีนซึ่งมีลักษณะคงตัวให้อยู่ในรูปแบบคลอรีนที่ไวต่อปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาเคมีที่บริเวณพื้นผิวเมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ขั้วโลกป้องกันการทำลายโอโซนจากไนโตรเจนออกไซด์ให้ช้าลง โดยปกติเมื่อไนโตรเจนออกไซด์จับตัวกับคลอรีนในรูปที่ไวต่อปฏิกิริยา จะเปลี่ยนกลับไปเป็นโมเลกุลที่คงตัวกว่าโมเลกุลเดิม ในทางกลับกัน ในเมฆชั้นสตราโตสเฟียร์ที่บริเวณขั้วโลก ไนโตรเจนออกไซด์จะเกาะกันแน่นเป็นกลุมก่รดไนตริก (HNO_3) ซึ่งคงตัวอยู่ได้นาน จนไม่สามารถเปลี่ยนคลอรีนมอนอกไซด์ให้กลับไปสะสมในรูปของสารประกอบคลอรีนที่คงรูปเพิ่มขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้ สารประกอบคลอรีนที่มีความไวต่อปฏิกิริยาสูงจึงคงอยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์จำนวนมากและยาวนานกว่าปกติ และทำลายชั้นโอโซนในอัตราสูงขึ้น

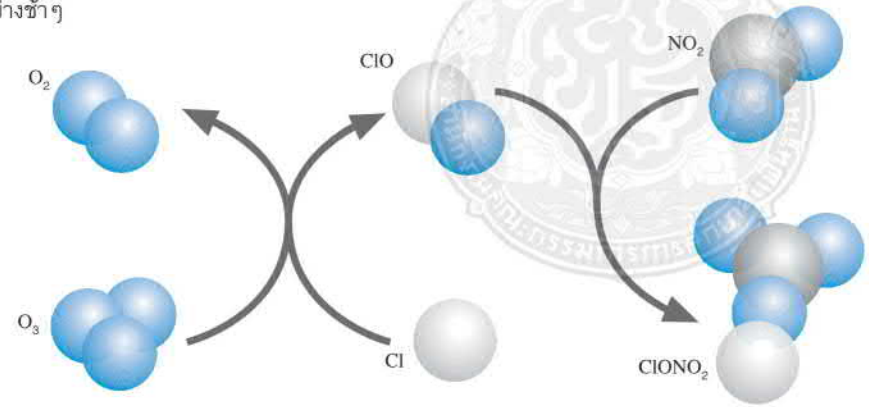
หลักฐานอื่นเพิ่มเติมที่แสดงว่าปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่พื้นผิวของเมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ขั้วโลกเป็นเหตุให้เกิดการทำลายโอโซนมากที่สุดสามารถสังเกตได้เหนือบริเวณขั้วโลกใต้ เมื่อฤดูใบไม้ผลิมาถึงในเดือนกันยายน ค.ศ. 1987 โดยเมื่อเกิดกระบวนการการดึงไนโตรเจนที่อยู่ในระดับต่ำในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกใต้ออกไป ซึ่งสังเกตได้ที่ระดับความสูงประมาณ 18–20 กิโลเมตร จึงเป็นการสนับสนุนทฤษฎีที่ว่า เมฆจับตัวกับไนโตรเจนออกไซด์และป้องกันการก่อตัวสะสมของคลอรีนในรูปที่ทำลายได้น้อย



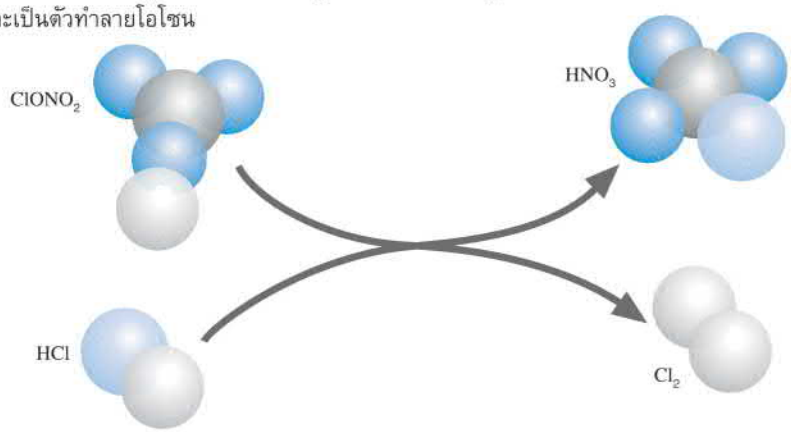
คลอรีนทำปฏิกิริยากับโอโซน และแตกตัวเป็นออกซิเจนกับคลอรีนมอนอกไซด์ และคลอรีนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอิสระเกิดเป็นคลอรีน จากนั้นวงจรของคลอรีนจะเริ่มใหม่อีกครั้ง



เมื่อมีไนโตรเจนออกไซด์ วงจรจะถูกทำลาย สารประกอบคลอรีนที่มีความคงตัวยาวนานจะก่อตัวขึ้น และอัตราการลดลงของโอโซนจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ



อย่างไรก็ตาม ในเมฆที่ชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลก สารประกอบคลอรีนคงตัวที่มีอายุยาวนานจะเปลี่ยนรูปเป็นสารที่ไวต่อปฏิกิริยามาก และเป็นตัวทำลายโอโซน



ความผันแปรของระบบอากาศเกือบทุก 2 ปี วงจรสุริยะ และการทำลายโอโซน

ปัจจัยอื่นอีก 2 ประการ ที่มีผลต่อโอโซนในชั้นบรรยากาศ คือ ความผันแปรของระบบอากาศเกือบทุก 2 ปี และวงจรสุริยะทุกๆ 11 ปี การเปลี่ยนแปลงทิศทางลมในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ทุกๆ 2 ปีเหนือเขตร้อนเกี่ยวพันกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในละติจูดที่สูงขึ้นไปในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ในเขตร้อนลมจะเปลี่ยนทิศทางทุกๆ 2 ปี โดยพัดไปทางใดทางหนึ่งในทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตก

ความผันแปรของระบบอากาศเกือบทุก 2 ปีซึ่งเกิดขึ้นใน ค.ศ. 1988 ทำให้ลมพัดไปทางทิศตะวันออก ในขณะที่ช่องโหว่โอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกใต้สามารถเห็นได้ชัดว่าเล็กกว่าปีก่อนหน้านั้น ใน ค.ศ. 1989 ลมยังคงพัดไปในทิศตะวันออก ช่องโหว่ของโอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกใต้คาดว่ายังคงเล็กอยู่ แต่ใน ค.ศ. 1989 นี้เองช่องโหว่ของโอโซนเหนือบริเวณขั้วโลกใต้เกือบจะเท่ากับช่องโหว่ใน ค.ศ.1987 ซึ่งเป็นการทำลายโอโซนที่ร้ายแรงที่สุดเท่าที่เคยบันทึกไว้

วงจรสุริยะสร้างความแปรปรวนให้กับจำนวนโอโซนทั้งหมด ในระหว่างช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์แผ่รังสีสูงขึ้นจะทำให้รังสีอัลตราไวโอเลตแผ่รังสีออกมาที่ความเข้มมากขึ้น คาดว่าจำนวนโอโซนทั้งหมดในละติจูดต่ำและละติจูดกลางในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ตอนบนจะเพิ่มขึ้น การแปรปรวนในโอโซนทั้งหมดร้อยละ 3 สังเกตได้ในวงจรสุริยะทุก 11 ปี ดูเหมือนว่าจะมีสหสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรของระบบอากาศเกือบทุก 2 ปีกับวงจรสุริยะ แต่ไม่เป็นที่ยืนยันอย่างแน่ชัด

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปรากฏการณ์ทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถลดอัตราการทำลายโอโซน แต่การลดลงไม่ได้ชดเชยส่วนที่เสียหายไปมากมายที่เริ่มต้นด้วยการทำลายจากการแพร่กระจายของสารเคมีที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น

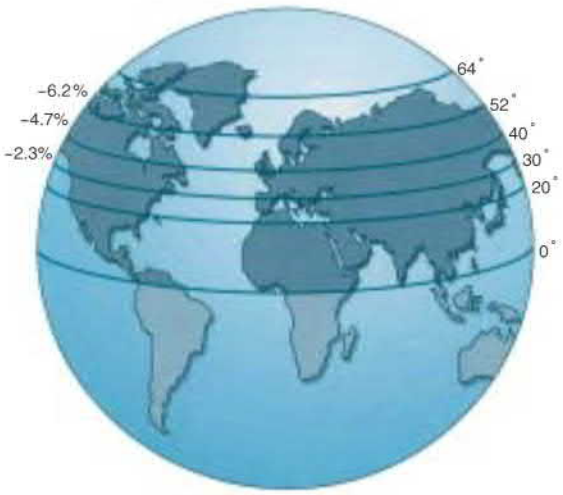
การทำลายชั้นโอโซนบริเวณละติจูดกลาง

ชั้นโอโซนไม่ได้ลดน้อยลงเหนือบริเวณขั้วโลกใต้เท่านั้น แต่พบว่าช่องโหว่โอโซนได้ขยายลึกขึ้นกลางเดือนธันวาคม ค.ศ. 1987 จนถึง ค.ศ. 1991 ซึ่งสถานีสังเกตการณ์ภาคพื้นดินได้แสดงให้เห็นการลดลงอย่างฉับพลันถึงร้อยละ 10 ของโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์เหนือบริเวณทางตอนใต้ของออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ ซึ่งเป็นเช่นนี้อยู่นานนับเดือน ระดับโอโซนในรอบปีที่ลดลงซึ่งวัดได้ในละติจูดใกล้เส้นศูนย์สูตรและซีกโลกทั้งสอง จากหลักฐานชี้ให้เห็นว่าคลอรีนและโบรมีนทำให้โอโซนลดลง การที่โอโซนลดลงในฤดูหนาวในซีกโลกเหนือมีการบันทึกไว้ตั้งแต่ทศวรรษ 1970 แต่ปัจจุบันมีหลักฐานชี้ชัดอีกว่าการลดลงของโอโซนเกิดขึ้นทั้งในฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อนในซีกโลกทั้งสองทั้งละติจูดกลางและละติจูดสูง (ในระหว่าง ค.ศ.1979–1991 มากถึงร้อยละ 3.5 ที่ละติจูด 45 องศาเหนือในฤดูร้อน)

อัตราการสูญเสียปรากฏมากขึ้นในช่วงทศวรรษ 1980 ซึ่งสูงกว่าในช่วงทศวรรษ 1970ประมาณร้อยละ 2 เนื่องจากระดับคลอรีนและโบรมีนยังคงเพิ่มขึ้น จึงมีการคาดหวังไว้ว่าการลดลงของโอโซนบริเวณละติจูดกลางในช่วงทศวรรษ 1990 น่าจะเท่ากับการลดลง

ในช่วงทศวรรษ 1980 และภายใน ค.ศ. 2000 ระดับของคลอรีน และโบรมีนจะสูงขึ้นถึงร้อยละ 6 ในฤดูร้อน และประมาณร้อยละ 10 ในฤดูหนาว

การทำลายโอโซนในละติจูดที่ต่ำกว่าเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการกระจายของอากาศที่มีโอโซนน้อยเมื่อกระแสวนขั้วโลกแผ่กระจายในปลายฤดูใบไม้ผลิ กระแสวนอาจแปรเปลี่ยนปริมาตรอากาศได้อีกด้วย สารคลอรีนที่คงตัวจะเปลี่ยนแปลงไปในรูปที่ไวต่อปฏิกิริยามากขึ้น ซึ่งอากาศที่ถูกถ่ายเทเหล่านี้จะไปทำลายโอโซนในแนวที่เคลื่อนตัวผ่านไปยังละติจูดที่อยู่ต่ำกว่าลงมา



รูปที่ 4 *แสดงการเปลี่ยนแปลงในฤดูหนาวโดยเฉลี่ยจากการทำลายโอโซนในช่วง ค.ศ. 1970–1986 บริเวณละติจูดเหนือและการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยประจำปีในแถบเดียวกันลดลงร้อยละ 1.3 โดยที่แนวโน้มในระยะยาวนั้นไม่สามารถจะอธิบายได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่หลากหลายทางธรรมชาติ*

อนุภาคของกรดซัลฟุริกกระตุนให้เกิดปฏิกิริยาที่เป็นสาเหตุให้เกิดการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ให้เป็นไปอย่างรวดเร็ว ปรากฏการณ์เช่นนี้อาจสำคัญมากทีเดียวหลังเกิดภูเขาไฟระเบิด จึงทำให้อัตราการทำลายโอโซนเหนือเขตที่มีภาวะมลพิษมีความรุนแรงยิ่งขึ้น

การทำลายชั้นโอโซนบริเวณขั้วโลกเหนือ

การทำลายชั้นโอโซนเกิดขึ้นแล้วในซีกโลกเหนือ ในละติจูดกลางทางตอนเหนือ ชั้นโอโซนที่ระยะ 38–43 กิโลเมตรในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ถูกแบ่งให้บางลงร้อยละ 5–13 ระหว่าง ค.ศ. 1979–1986 ที่ระดับความสูง 25 กิโลเมตรและต่ำกว่าโอโซนยังคงบางลงอย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูหนาว ขณะนี้ช่องโหว่โอโซนบริเวณขั้วโลกเหนือเกิดขึ้นแล้ว แม้ว่าไม่ลึกหรือมีอายุไม่ยาวนานเท่ากับช่องโหว่ที่เกิดขึ้นในบริเวณขั้วโลกใต้

เราสามารถมองเห็นเมฆขั้วโลกในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ได้ในบริเวณขั้วโลกเหนือ บริเวณขั้วโลกเหนือมีเมฆมากกว่าบริเวณขั้วโลกใต้ 10–100 เท่า หรืออาจจะมากกว่านั้น กระแสวนในบริเวณขั้วโลกเหนือซึ่งพัดอยู่รอบขั้วโลกในฤดูหนาวทำให้เกิดอากาศหนาวเย็นอย่างรุนแรงและเป็นสาเหตุของการทำลายโอโซน ปรากฏการณ์นี้ต่างไปจากกระแสวนในบริเวณขั้วโลกใต้ ในบริเวณขั้วโลกเหนือ กระแสวนจะไหลไปยังบริเวณละติจูดต่ำกว่าด้วยเช่นกัน และอากาศอุ่นจะทำให้อุณหภูมิในกระแสวนสูงขึ้น

ในทางทฤษฎี อุณหภูมิที่สูงขึ้นภายในกระแสวนทำให้เมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกก่อตัวน้อยลง และทำให้โมเลกุลของคลอรีนที่อยู่ในสภาพเฉื่อยกลายเป็นสารประกอบที่ไวต่อปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาของสารประกอบคลอรีนจะทำลายโอโซนในช่วงที่มีแสงอาทิตย์เท่านั้น เนื่องจากกระแสวนบริเวณขั้วโลกเหนือจะเคลื่อนตัวไปยังละติจูดที่ต่ำกว่าและได้รับแสงอาทิตย์มากขึ้น ถ้าอากาศในกระแสวนทำให้เกิดการทำลายโอโซนในระยะเริ่มแรก ดังนั้นแสงอาทิตย์จึงทำให้เกิดการทำลายโอโซนในวงกว้างด้วย

รูปที่ 5 *แผนที่เส้นอาร์กติกเซอร์เคิลในยุโรปเหนือ ไซบีเรีย สแกนดิเนเวีย แคนาดา กรีนแลนด์ และไอซ์แลนด์ แสดงบริเวณที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากช่องโหว่โอโซนในบริเวณขั้วโลกเหนือ*

จากการสังเกตปฏิกิริยาเคมีของชั้นสตราโตสเฟียร์ในบริเวณขั้วโลกเหนือ ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นในบริเวณขั้วโลกใต้ และยังแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการทำลายโอโซนที่สูงขึ้นกว่าที่ผ่านมา ในช่วงฤดูหนาว ค.ศ.1987-1988 ความเข้มข้นของสารคลอรีนมอนอกไซด์ที่ก่อตัวขึ้นหลังจากทำปฏิกิริยากับสารประกอบคลอรีนที่ทำลายโมเลกุลโอโซน พบว่าทำลายถึง 3-6 เท่า ซึ่งมากกว่าแบบจำลองเคมีแสงที่พยากรณ์ไว้ที่ละติจูดและเวลาเดียวกันในปีนั้น ช่องโหว่โอโซนขนาดเล็กหลายช่องเหนือบริเวณขั้วโลกใต้ที่สังเกตได้จากสถานีค้นคว้าวิจัยของหลายชาติที่ตั้งอยู่ในทวีปแอนตาร์กติกา พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับที่พบในซีกโลกเหนือ ซึ่งช่องโหว่ขนาดเล็กดังกล่าวสังเกตพบได้ในระหว่าง ค.ศ. 1989 โดยคณะสำรวจบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ในขั้วโลกเหนือ การตรวจวัดขนาดช่องโหว่เหล่านี้ด้วยดาวเทียมแสดงให้เห็นว่ามีการทำลายโอโซนที่เลวร้ายพอๆ กับบริเวณขั้วโลกใต้

ปัจจุบันนี้เชื่อว่าซีกโลกเหนือโชคดีที่ไม่มีช่องโหว่โอโซนบริเวณขั้วโลกเหนือแบบที่เกิดขึ้นใน ค.ศ.1989 ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ของปีนั้นความเข้มข้นของสารประกอบในกลุ่มค่คลอรีนในชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกเหนือสูงกว่าที่คาดไว้ถึงร้อยละ 50-100 และมีระดับเท่ากับที่ช่องโหว่โอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้ อุณหภูมิต่ำสุดในละติจูดสูงทางตอนเหนือต่ำกว่าอุณหภูมิปกติในปลายเดือนมกราคมและต้นเดือนกุมภาพันธ์ และเมฆในชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกอยู่ไกลออกไปทางใต้ถึง 50 องศาเหนือ สอดคล้องกับที่บันทึกไว้ว่า อุณหภูมิต่ำจะเป็นกระแสวนตะวันตกที่รุนแรงบริเวณเหนือพืดน้ำแข็งขั้วโลก ภาวะเช่นนี้ทำให้ช่องโหว่โอโซนขยายวงกว้างขึ้น

แต่ในกลางเดือนกุมภาพันธ์บริเวณขั้วโลกเหนือจะอุนขึ้นอย่างมาก ความกดอากาศสูง 2 หย่อมที่เกิดขึ้นเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกและแอตแลนติกทำให้กระแสวนขั้วโลกเหนือกระจายออกไป อุณหภูมิที่สูงขึ้นในระยะเริ่มแรกทำให้เกิดการก่อตัวของเมฆในชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลก อากาศที่มีโอโซนและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มากอาจเคลื่อนตัวไปทางขั้วโลก ความร้อนของกระแสวนขั้วโลกเหนือและการรวมกันของโอโซนกับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีบทบาทสำคัญในการจำกัดการสูญเสียโอโซนในบริเวณขั้วโลกเหนือระหว่าง ค.ศ. 1989 อย่างไรก็ตาม ฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิในซีกโลกเหนือสามารถทำให้เกิดการสูญเสียโอโซนในบริเวณขั้วโลกเหนืออย่างรุนแรงได้

ในขณะที่การทำลายโอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้เกิดขึ้นในเขตที่ไม่มีประชากรอาศัยอยู่ แต่ชั้นโอโซนที่ถูกทำลายในบริเวณขั้วโลกเหนือกลับส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อประชากรในยุโรปตอนเหนือ แคนาดา กรีนแลนด์ และไซบีเรีย

ผลกระทบต่อสังคม

การทำลายชั้นโอโซนก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงที่คุกคามสุขภาพมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลก เมื่อโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์บางลง รังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นที่เป็นอันตรายจะแผ่มายังพื้นผิวโลกมากขึ้น รังสีอัลตราไวโอเลตมีผลกระทบหลายประการ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นด้านการทำลายที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุ ่างๆ

ผลกระทบเหล่านี้จะยิ่งเลวร้ายลงเมื่อโอโซนยังคงถูกทำลายอย่างต่อเนื่อง ยิ่งชั้นโอโซนลดลงมากเท่าใด พื้นผิวโลกจะได้รับพลังงานที่มีความยาวคลื่นสั้นมากขึ้น ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต คาดกันว่าทุกร้อยละ 10 ของการทำลายชั้นโอโซน เราจะได้รับรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นเหล่านี้เพิ่มขึ้นร้อยละ 20

รังสีที่เพิ่มขึ้นนี้อาจส่งผลกระทบออกไปเป็นวงกว้าง ทำให้เกิดอันตรายต่อดวงตา การแพร่กระจายของโรคติดต่อ อีกทั้งยังเพิ่มโอกาสการเป็นมะเร็งผิวหนัง การใช้วัคซีนป้องกันโรคบางชนิดอาจได้ผลน้อยลง รังสีอัลตราไวโอเลตจากพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้นในปริมาณที่มากนั้น จะกระตุนปฏิกิริยาเคมีในชั้นบรรยากาศตอนล่างที่ใกล้ผิวโลก ทำให้เกิดหมอกควันพิษและฝนกรดเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบหายใจ

พืชชนิดต่าง ๆ จะเจริญเติบโตช้าลง บางต้นอาจแคระแกร็น ผลผลิตจากพืชอาจลดลง ป่าไม้ถูกทำลาย รังสีในปริมาณที่เกินมาตรฐานจะทำลายสัตว์น้ำในวัยอ่อน เช่น ลูกปลา ลูกปู ลูกกุ้ง ในมหาสมุทร จำนวนแพลงก์ตอนซึ่งเป็นสายใยอาหารที่สำคัญของสัตว์ทะเลอาจได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง และย่อมส่งผลกระทบต่อไปยังสายใยอาหารของสัตว์ทะเลทุกชนิด นอกจากนี้ขีดความสามารถในการดูดกลืนก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เหล่านี้ลดลง ได้แก่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รังสีที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มความร้อนจากภาวะเรือนกระจกขึ้นอีก รังสีอัลตราไวโอเลตจะยังคงแผ่มายังโลกพร้อมกับผลลัพธ์ที่ก่อให้เกิดอันตรายอย่างรุนแรงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปตลอดจนทศวรรษหน้า แม้ว่าการค้นคว้าวิจัยเพื่อทำความเข้าใจผลกระทบเหล่านี้จะมีอยู่มากก็ตาม

รังสีอัลตราไวโอเลต

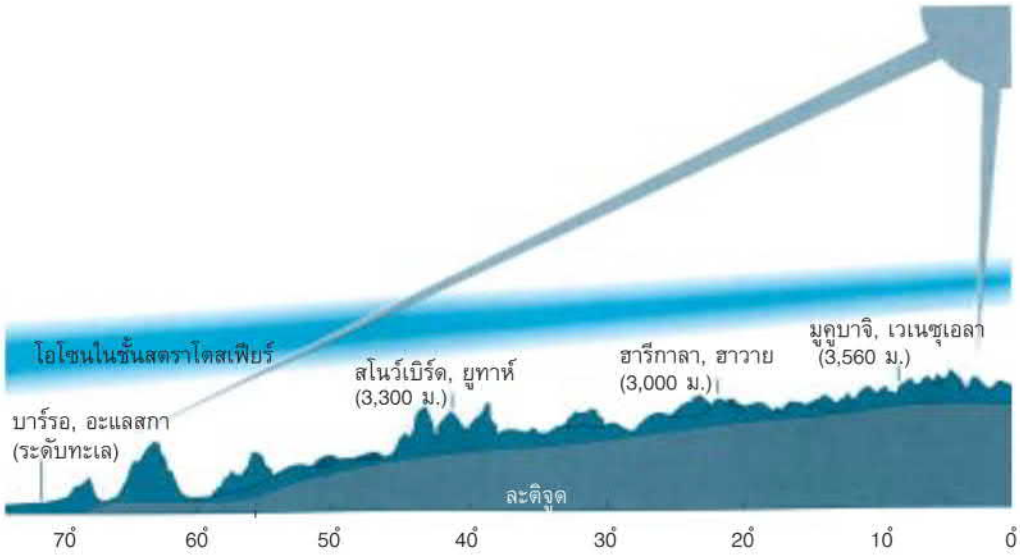
รังสีอัลตราไวโอเลตแบ่งตามความยาวคลื่นได้ 3 ชนิด คือ รังสี UV-A ที่แผ่มาในช่วงความยาวคลื่น 315-400 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร เท่ากับ 1 ในล้านมิลลิเมตรหรือ 10^{-9} เมตร) ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการลดลงของโอโซนและไม่เป็นอันตราย รังสี UV-B แผ่รังสีออกมาในช่วงความยาวคลื่น 280-315 นาโนเมตร รังสีนี้มีผลกระทบต่อการลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ รังสี UV-B เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ และรังสี UV-C

ที่แผ่ออกมาในความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร ความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นอันตรายร้ายแรงมาก แต่โชคดีที่รังสี UV-C นี้ถูกโอโซนในชั้นบรรยากาศและก๊าซออกซิเจนดูดกลืนไปอย่างสมบูรณ์ และถึงแม้ว่าโอโซนจะลดลงอย่างมาก โอโซนที่เหลืออยู่จะยังคงดูดกลืนรังสี UV-C ต่อไปได้

เมื่อโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ลดลง รังสี UV-B จะแผ่มายังพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วน และจะแผ่มาด้วยความยาวของคลื่นที่สั้นกว่าเดิม การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลตมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก เมื่อรังสีอัลตราไวโอเลตมีความยาวคลื่นเป็น 280 นาโนเมตร จะทำลาย DNA เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เช่นเดียวกับผลกระทบอื่นๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์และพืช

อันตรายของรังสี UV-B ขึ้นอยู่กับปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรอง และมุมของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ตลอดจนเมฆที่ปกคลุมอยู่ซึ่งทำหน้าที่ปกป้องพื้นผิวโลกจากบางส่วนของรังสีอัลตราไวโอเลต ตามปกติโอโซนในเขตร้อนจะบางที่สุด ส่วนในแถบขั้วโลกชั้นโอโซนจะหนาที่สุด ในเขตร้อนดวงอาทิตย์จะทำมุมอยู่ตรงศีรษะพอดี รังสีของดวงอาทิตย์จึงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกด้วยเส้นทางที่ตรงที่สุด ดังนั้นรังสีอัลตราไวโอเลตจะถูกกรองน้อยที่สุด

ในเขตละติจูดที่สูงขึ้นไปจะได้เปรียบ เนื่องจากมีชั้นโอโซนที่หนากว่า และยังได้รับแสงอาทิตย์ด้วยมุมที่เอียงกว่ามาก รังสีอัลตราไวโอเลตจึงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศได้ไกลขึ้น และผ่านกระบวนการกรองของโอโซนก่อนที่จะถึงพื้นผิวโลก ระดับที่คาดคะเนไว้จากการทำลายโอโซนเหนือเขตร้อนจะต่ำกว่าในเขตละติจูดที่สูงขึ้นไป อย่างไรก็ตาม ในเขตร้อนรังสีอัลตราไวโอเลตเดินทางมายังผิวโลกด้วยเส้นทางที่สั้นกว่า (ดูแผนภาพข้างล่าง) โดยเฉพาะรังสี UV-B จะทำให้เกิดผลกระทบรุนแรงได้ ขณะที่ประเทศพัฒนาแล้วกังวลว่าอัตราการเกิดมะเร็งผิวหนังจะเพิ่มขึ้นจากรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นในประเทศเขตร้อน ดูเหมือนว่าการทำลายโอโซนสามารถเพิ่มความรุนแรงต่อสุขภาพมากขึ้น ซึ่งรวมทั้งการติดเชื้อโรคจากไวรัส และอันตรายต่อดวงตา ผลกระทบที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะทำลายระบบภูมิคุ้มกันโรค และทำให้คนอายุสั้นลง



รูปที่ 6 *การแผ่รังสี UV-B เข้มมากขึ้นที่บริเวณใกล้เขตร้อน ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์สามารถแผ่มาได้โดยตรง และโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ในเขตนี้กรองรังสีได้เพียงเล็กน้อยก่อนที่จะแผ่มาถึงพื้นผิวโลก*

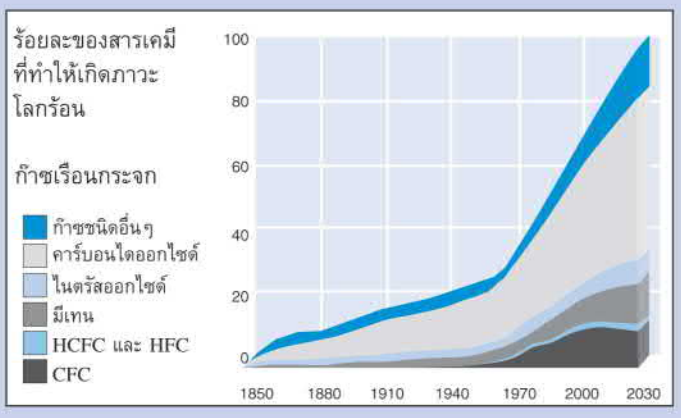
การทำลายชั้นโอโซนและภาวะโลกร้อน

การทำลายชั้นโอโซนดูเหมือนจะเพิ่มอัตราและขนาดของภาวะเรือนกระจกให้มากขึ้น มีผลทำให้แหล่งรองรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในมหาสมุทรลดลง

ทุกวันนี้แพลงก์ตอนในมหาสมุทรดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปกว่าครึ่งหนึ่งในชั้นบรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่รู้กันว่าการดูดซับนี้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อแพลงก์ตอนเหล่านี้ยังคงได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตในปริมาณที่เพิ่มขึ้น คณะทำงานศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของพิธีสารมอนทรีออลเตือนว่า การลดการตรึงคาร์บอนของแพลงก์ตอนจะมีผลกระทบต่อภูมิอากาศโลกอย่างไม่ต้องสงสัย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากย่อมยังคงมีอยู่ในชั้นบรรยากาศ และทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มขึ้น หากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงร้อยละ 10 จากการดูดซับของมหาสมุทรจะมีปริมาณพอ ๆ กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์

ยิ่งกว่านั้น มหาสมุทรจะไม่ดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับที่เท่ากับปริมาณการปล่อยที่เพิ่มขึ้นบนพื้นโลก หากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 มหาสมุทรจะดูดซับได้เพียงร้อยละ 1 เท่านั้น

ในทางกลับกันการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ในเขตละติจูดกลางและละติจูดสูงเป็นผลให้ลดอิทธิพลจากรังสีที่แผ่ลงมา เช่นเดียวกับแนวโน้มของอากาศที่ร้อนจากการกระจายตัวของซัลเฟอร์ที่พ่นออกมาจากการระเบิดของภูเขาไฟจะถูกหักล้างกันไปด้วยอากาศที่เย็นกว่า



ระบบภูมิคุมกันโรคและการใช้วัคซีน

รังสีอัลตราไวโอเลตจะขัดขวางการทำงานของปฏิกิริยาภูมิแพ้ของผิวหนัง และมีผลกระทบอย่างล้ำลึกต่อระบบภูมิคุมกันโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อเซลล์ผิวหนังซึ่งเป็นปราการด่านแรกในการต่อต้านเชื้อโรค

ตามปกติเมื่อเราฉีดวัคซีนเข้าในผิวหนัง ภูมิคุมกันที่เกี่ยวข้องจะสนองตอบต่อแอนติเจนที่กระตุน ้ โดยการผลิตเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (lymphocite) ที่มีอยู่ในต่อมน้ำเหลืองใต้ผิวหนังขึ้น แต่กระบวนการของเซลล์ที่ผลิตสารต่อต้านนี้ (antibody) จะถูกยับยั้งในผิวหนังที่ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลต และทำให้เซลล์ชนิดหนึ่งที่เพิ่มจำนวนขึ้น (เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่าที-เซลล์) เซลล์ชนิดนี้ทำหน้าที่ป้องกันร่างกายจากการต่อต้านของสารสำคัญๆ เช่น โปรตีนของเซลล์มันเอง

เมื่อผิวหนังได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตมากเกินไป ที-เซลล์จะคุมกันร่างกายด้วยการไม่ตอบรับวัคซีนที่ฉีดเข้าไป เสมือนว่าเป็นเนื้อเยื่อที่แปลกปลอม มีผลทำให้ร่างกายไม่สามารถผลิตแอนติเจนที่จำเป็นต่อการต้านทานโรคได้

ประเด็นนี้มีความสำคัญไม่เฉพาะแค่การพัฒนาของโรคมะเร็งผิวหนังเท่านั้น แต่ยังมีผลให้เกิดโรคติดต่ออีกหลายชนิด หากร่างกายไม่ยอมรับการสร้างภูมิคุมกันโรคที่มาจากวัคซีนแล้ว การฉีดวัคซีนจึงเป็นตัวการทำให้เกิดโรคขึ้นเสียเอง สิ่งที่ตามมาจะร้ายแรงยิ่งขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศพัฒนาน้อย ซึ่งการควบคุมโรคติดต่อ อาทิ โรคหัดยังต้องขึ้นอยู่กับการสร้างภูมิคุมกันที่มีประสิทธิภาพ

โรคหลายชนิดได้รับผลกระทบจากการยับยั้งโดยภูมิคุมกันของร่างกาย ภูมิคุมกันจะลดน้อยลงเมื่อรังสี UV-B เพิ่มขึ้น โรคทุกชนิดที่เกี่ยวข้องกับผิวหนัง เช่น โรคหัดและโรคติดเชื้อจากไวรัสชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดผื่นลุกลามบนผิวหนัง อันได้แก่ โรคอีสุกอีใส โรคผิวหนังพุพอง โรคที่เกิดจากปรสิต เช่น โรคมาลาเรีย โรคผิวหนังเกิดจากเชื้อลิเมเนีย โรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย เช่น วัณโรค และโรคเรื้อน และการติดเชื้อรา เช่น โรคติดเชื้อแคนดิดา

ภาวะโลกร้อนจะเพิ่มปัญหาโรคติดต่อขึ้นอีกด้วย เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนแมลงที่เป็นพาหะนำโรค เช่น ยุงซึ่งเป็นพาหะของเชื้อมาเลเรียจะมีชีวิตอยู่ได้ในบริเวณที่สูงและละติจูดที่สูงขึ้นไป จึงทำให้เชื้อโรคที่เคยจำกัดอยู่แต่ในเขตร้อนมีชีวิตอยู่ได้ในเขตอบอุนที่มีอากาศร้อนชื้น

กลุมข่องโรคติดต่อต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะอากาศที่ร้อนขึ้น และการที่รังสี UV-B สามารถยับยั้งการทำงานของภูมิคุมกันโรคได้มากขึ้น อาจเพิ่มการแพร่ระบาดและความร้ายแรงของโรคติดต่อได้ในอนาคต

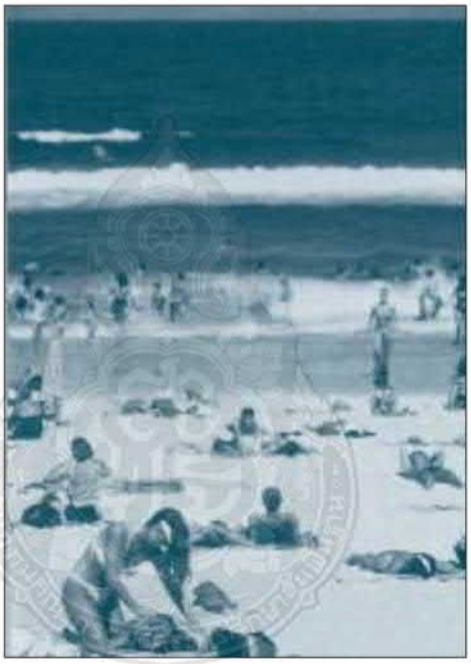
การฉีดวัคซีนเพื่อป้องกันโรคที่มีแมลงเป็นพาหะจะไม่เป็นผลเลย หากวัคซีนนั้นให้กับคนที่ได้รับรังสี UV-B ในปริมาณสูง เช่นเดียวกับประเทศที่อยู่ทางตอนเหนือขึ้นไปในที่ต่าง ๆ ที่ได้รับผลกระทบมาจากภาวะโลกร้อนอาจกระตุนให้คนออกมารับแสงอาทิตย์ในตอนต้นฤดู ผู้คนเหล่านี้อาจได้รับรังสี UV-B มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากชั้นโอโซนลดน้อยลง

มะเร็งผิวหนัง

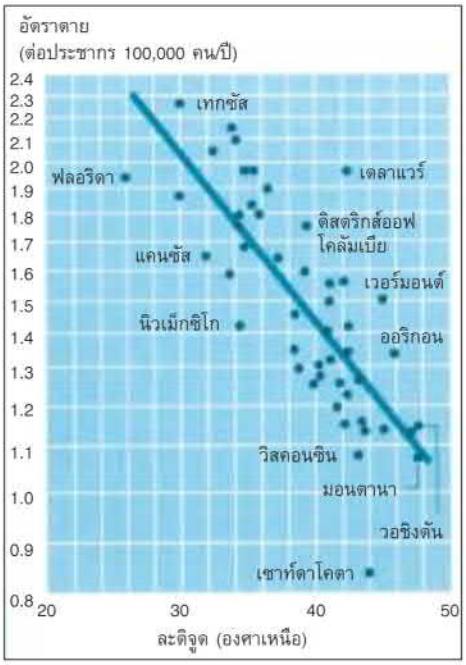
มีสาเหตุ 2 ประการที่ประกอบกันทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง ได้แก่ ระยะเวลาในการได้รับรังสี UV-B และความสามารถของรังสี UV-B ในการยับยั้งการต้านทานของภูมิคุมก้นในผิวหนัง ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดมะเร็งผิวหนังสูงขึ้น

เป็นที่ทราบกันอย่างแน่ชัดและทำให้มั่นใจแล้วว่า ระหว่างรังสี UV-B กับการเกิดมะเร็งผิวหนังชนิดที่ไม่ใช่มีลาโนมา (non-melanoma) มีความสัมพันธ์กันโดยทำให้ถึงกับชีวิตได้ ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าการได้รับรังสี UV-B ในปริมาณที่มากเกินไปเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง โรคมะเร็งที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุมาจากรังสี UV-B ยับยั้งการสนองตอบของภูมิคุมก้นในผิวหนัง ระบบภูมิคุมก้นของร่างกายจึงต่อต้านการเจริญเติบโตของเนื้องอกน้อยลง

ผิวหนังของคนเราสามารถปรับสภาพต่อการได้รับรังสี UV-B ได้ในระดับหนึ่งโดยการเปลี่ยนสีผิวให้เข้มขึ้น และชั้นของผิวหนังหนาขึ้น การที่เซลล์ผิวหนังเจริญเร็วผิดปกติ อาจจะหมายถึงการไวต่อการเกิดมะเร็งผิวหนัง



ในแต่ละวันผู้คนต่างพากันอาบแดดเป็นเวลานานหลายชั่วโมง เพื่อแสวงหาสุขภาพที่ดีจากการมีสีผิวที่เข้มขึ้น ที่จริงแล้วการได้รับรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นเป็นการเสี่ยงต่อสุ ขภาพ



รูปที่ 7 *แสดงอัตราการตายเนื่องจากมะเร็งผิวหนังชนิดมีลาโนมากับละติจูดที่ตั้ง ซึ่งคนผิวขาวมีอัตราการตายสูงกว่ามากเมื่ออยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร*

มีผู้คำนวณว่าถ้าโอโซนลดลงร้อยละ 5 เซลล์จะก่อตัวเป็นมะเร็งเบซอลเซลล์ (basal cell carcinoma) เพิ่มขึ้นร้อยละ 14 ซึ่งเป็นมะเร็งผิวหนังที่พบได้บ่อยมากที่สุด ในมะเร็งผิวหนังชนิดที่ไม่ใช่มีลาโนมา และจะเกิดเป็นมะเร็งสเควมัสเซลล์ (squamous cell carcinoma) เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 มะเร็งชนิดนี้เป็นมะเร็งผิวหนังชนิดที่ไม่ใช่มีลาโนมาบ่อยครั้งที่มะเร็งชนิดนี้ทำอันตรายถึงชีวิต ในสหรัฐอเมริกาเมื่อโอโซนลดลงร้อยละ 5 จะทำให้คนเป็นมะเร็งชนิดเบซอลเซลล์เพิ่มขึ้นถึง 56,000 คน นอกเหนือจากนั้นอีก 25,000 คนจะพัฒนาไปเป็นมะเร็งชนิดสเควมัสเซลล์ ซึ่งเกิดขึ้นในแต่ละปี ความคิดเห็นแบบอนุรักษ์นิยมระบุว่า ในแต่ละปีจะมีผู้ป่วยเป็นมะเร็งชนิดที่ไม่ใช่มีลาโนมาที่นอกเหนือไปจากนั้นอีก 240,000 คนทั่วโลก และคนที่มีสีผิวขาวมีความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งผิวหนังมากกว่า สำหรับมะเร็งผิวหนังชนิดมีลาโนมาที่เป็นอันตรายถึงชีวิต (มะเร็งผิวหนังอื่นๆ) หน่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (The US Environmental Protection Agency) ได้สรุปว่าการลดลงของโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ทุก ๆ ร้อยละ 1 มีผลให้คนเป็นมะเร็งมีลาโนมาชนิดที่ร้ายแรงกว่าร้อยละ 2 (ใน ค.ศ. 1990 มีจำนวน 106 ล้านคน) และมีผลให้ผู้คนเสียชีวิตสูงกว่าร้อยละ 0.2–3 (10.6–15.9 ล้านคน)

อันตรายต่อดวงตาเพิ่มขึ้น

คาดกันว่าการทำลายชั้นโอโซนทำให้เกิดต้อกระจกและตาบอดเพิ่มขึ้น ดวงตาไม่เหมือนกับผิวหนังที่สามารถปรับสภาพให้เข้ากับการได้รับรังสี UV-B โดยการเพิ่มความหนาของชั้นผิวหนังและเพิ่มสีผิวให้เข้มขึ้นได้ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าดวงตามีความไวต่อการรับแสงและรังสีในปริมาณมากและซ้ำๆ รังสี UV-B สามารถทำอันตรายกระจกตา แก้วตา และเยื่อชั้นในสุดของลูกตาได้

การทำลายดวงตาจากรังสี UV-B ขั้นแรกเริ่มจากทำให้กระจกตาอักเสบเนื่องจากได้รับแสงจ้า (หรือเสียสายตาเนื่องจากแสงสะท้อนจากหิมะเข้าตา) โดยส่วนหน้าของดวงตาหรือเปลือกตา และผิวหนังรอบดวงตาจะเกิดอาการบวมแดง ซึ่งนานเข้าจะทำให้เป็นต้อกระจก

ผลการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้พบว่า การได้รับรังสี UV-B เกี่ยวข้องกับการเป็นต้อกระจก คนที่ตาบอดส่วนใหญ่ใน ค.ศ. 1985 มีสาเหตุมาจากต้อกระจกมากที่สุด องค์การอนามัยโลกคาดการณ์ว่าต้อกระจกเป็นสาเหตุทำให้คนตาบอดถึง 17 ล้านคน ซึ่งมีจำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของคนตาบอดทั้งหมดในโลก

ภายหลังการแก้ไขในสิ่งที่หน่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมได้คาดการณ์ไว้ตั้งแต่ต้น คณะทำงานศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้สรุปว่าถ้าชั้นโอโซนลดลงร้อยละ 1 ใน ค.ศ. 1985 คนจะเป็นต้อกระจกและตาบอดเพิ่มอีก 100,000–150,000 คน

โดยสรุปแล้ว การได้รับแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยหนึ่งในการพัฒนาของมะเร็งชนิดมีลาโนมาภายในลูกตา ประชากรที่อาศัยในเขตละติจูดที่ต่ำกว่าจะมีโอกาสเป็นมะเร็งชนิดนี้มากกว่าถึง 3 เท่า และผู้มีดวงตาสีฟ้ามีความเสี่ยงมากที่สุด

ในแต่ละวันฝูงชนในอินเดียยืนต่อแถวคอยเปลี่ยนผ้าพันแผล ภายหลังการผ่าตัดต้อกระจกเพื่อป้องกันตาบอด ซึ่งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เมื่อชั้นโอโซนบางลง

ผลกระทบต่อมหาสมุทร

การทำลายชั้นโอโซนดูเหมือนว่าจะสร้างความเสียหายให้กับวงจรชีวิตพืชและสัตว์ในทะเล เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อสายใยอาหารในทะเล รังสีอัลตราไวเลตที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่ประกอบกันเป็นสายใยอาหารในทะเล

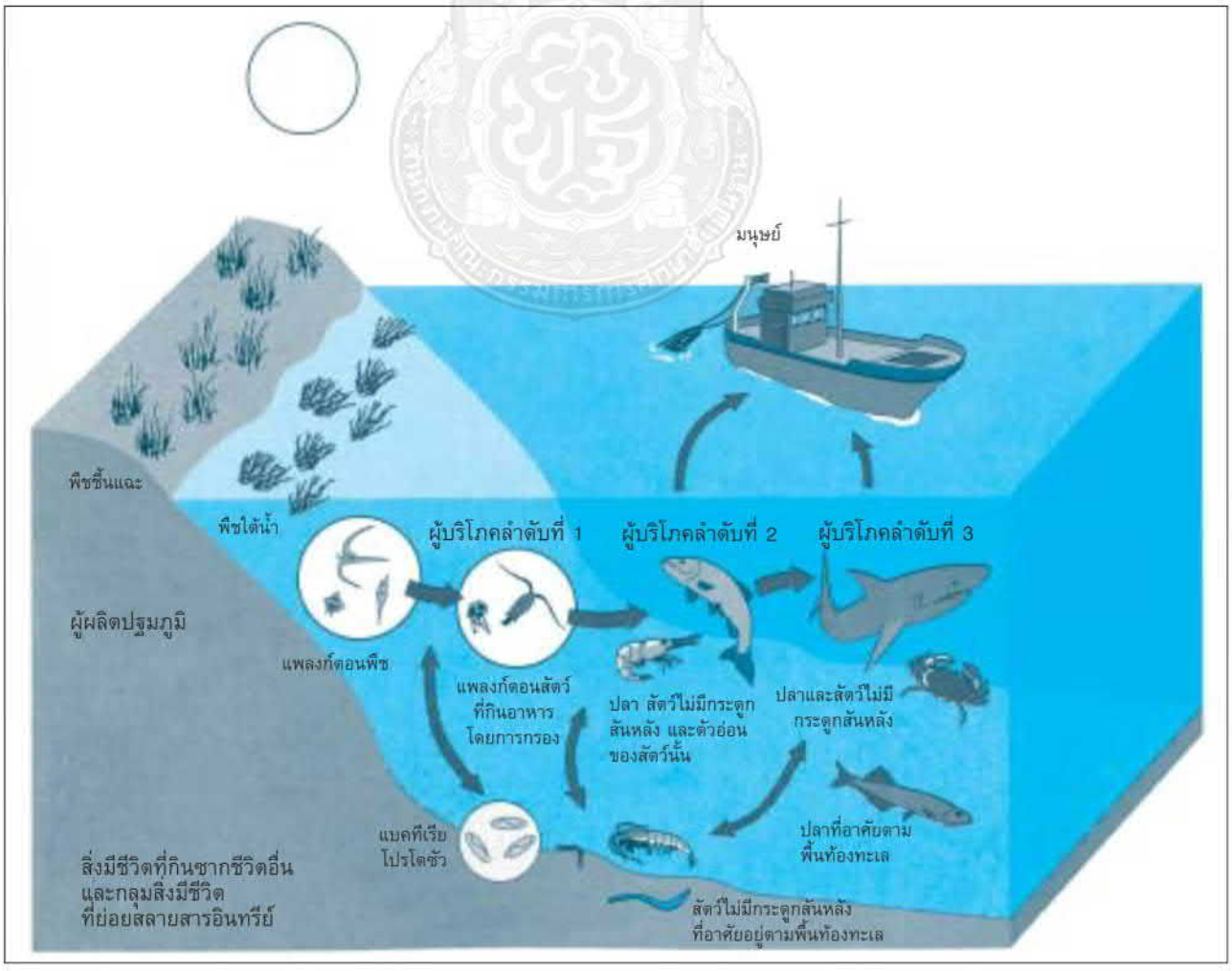
สิ่งมีชีวิตเล็กๆ เหล่านี้เป็นแหล่งอาหารปฐมภูมิขั้นแรกเริ่มของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในทะเลและมหาสมุทร และไวต่อรังสี UV-B เพราะมันไม่มีอวัยวะที่ช่วยป้องกันภัยจากการดูดซับรังสีของเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดที่พืชและสัตว์ชั้นสูงกว่ามี ระดับโอโซนที่ลดลงเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโต การดำรงชีวิตของแพลงก์ตอน และยังรวมไปถึงผลกระทบที่ตามมาอีกมากมาย

แพลงก์ตอนพืชหลายชนิดจะผลิตชีวมวลเกินกว่าครึ่งหนึ่งที่มีอยู่ในโลก ถ้าอยากจะทราบปริมาณชีวมวลที่ได้ในแต่ละปี คำนวณโดยคูณด้วย 6 10 กิโลกรัม ผลลัพธ์ที่ได้คือ มวลสารนั้นที่มีขนาดเท่ากับตู้รถไฟขนถ่านหินต่อกัน ซึ่งยาวกว่าระยะทางไป-กลับระหว่างโลกถึงดวงจันทร์ ปริมาณรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะไปลดจำนวนอาหารที่แพลงก์ตอนพืชได้ผลิตขึ้นโดยกระบวนการการสังเคราะห์แสง และอาหารที่สังเคราะห์ได้บางส่วนจะสูญเสียไปจำนวนเล็กน้อย ดังนั้นจึงทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศในทะเล ซึ่งเป็นระบบที่ซับซ้อนอย่างมาก โดยทำให้ปริมาณอาหารสำรองของโลกเสียหายอย่างรุนแรง แพลงก์ตอนสัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตที่กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร ในสายใยอาหารในทะเลแพลงก์ตอนสัตว์จัดเป็นผู้บริโภคลำดับที่ 1 และจะได้รับผลเมื่อปริมาณรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าโอโซนถูกทำลายลง

ถึงร้อยละ 15 ในฤดูร้อนเหนือบริเวณน่านน้ำเขตอบอุ่นในเวลาเพียงไม่ถึง 5 วัน แพลงก์ตอนสัตว์ที่อาศัยอยู่ในผิวน้ำบริเวณนี้จะตายไปประมาณครึ่งหนึ่ง

ขณะเดียวกันรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นจะทำลายลูกปลาวัยอ่อน ตัวอ่อนของกุ้ง ตัวอ่อนของปู สัตว์เล็กๆ ชนิดอื่นๆ ในทะเลและมหาสมุทร ผลจากการทำลายสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในทะเลเหล่านี้จะเกิดควบคู่กันไปกับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแพลงก์ตอนสัตว์ รังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นจะจำกัดความสามารถในการกินอาหารของลูกปลา การเจริญเติบโต การแพร่พันธุ์ ตัวอย่างเช่น ในวันที่ร้อนจัดบนไหล่ทวีปชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกในอเมริกาเหนือที่โอโซนลดลงร้อยละ 16 ทำให้ตัวอ่อนของปลาแอนโชวีอายุ 2, 4 และ 12 วัน มีอัตราตายถึงร้อยละ 50, 82 และ 100 ตามลำดับ

ถ้าแพลงก์ตอนลดจำนวนลงและผลผลิตอาหารลดลงอย่างฉับพลัน อีกทั้งจำนวนปลา กุ้ง และปูที่มีชีวิตอยู่รอดจนเจริญเป็นตัวเต็มวัยลดน้อยลง ทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตชั้นสูงในรูปแบบอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในทะเลมีปริมาณอาหารลดลง ซึ่งรวมไปถึงปริมาณอาหารสำหรับการบริโภคของมนุษย์ก็จะลดลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 8 *เพราะว่าผู้ผลิตอาหารปฐมภูมิไวต่อระดับของ UV-B ที่เพิ่มขึ้น ชั้นโอโซนที่บางลงจึงค่อนข้างเป็นอันตรายต่อห่วงโซ่อาหารในทะเล*

ระดับการทำลายของรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นสาเหตุให้จับปลาได้ลดลง ส่งผลให้ชาวประมงที่ดำรงชีพด้วยผลิตผลจากทะเลได้รับความเดือดร้อน

ประมาณกันว่าการทำลายชั้นโอโซนร้อยละ 16 จะเป็นสาเหตุทำให้จำนวนแพลงก์ตอนลดลงร้อยละ 5 และส่งผลให้ปริมาณปลาที่จับได้ลดลงร้อยละ 6-9 ซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณอาหารสำรองของโลก ถ้าปลาที่จับได้น้อยลงร้อยละ 7 จะเท่ากับจำนวนปลาที่เป็นอาหารมนุษย์ที่ต้องสูญเสียไปถึงปีละ 6 ล้านตัน

ปริมาณโปรตีนในสัตว์ที่คนบริโภคจากทะเล ขณะนี้มีมากว่าร้อยละ 30 โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนาจำนวนร้อยละในการบริโภคโปรตีนจะสูงมากกว่านี้

รังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในสายพันธุ์สิ่งมีชีวิตในชุมชนของพืชในมหาสมุทรอย่างเห็นได้ชัด การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ทำให้เกิดการก่อกวนสายใยอาหารในทะเลเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตในทะเล

ผลกระทบต่อพืชบก

รังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นได้ก่อกวนระบบนิเวศต่าง ๆ บนผืนโลก ตัวอย่างเช่น ผลผลิตข้าวอาจจะลดลงอย่างรุนแรง ทั้งนี้เพราะรังสี UV-B มีผลต่อกิจกรรมการดูดซึมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ สิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ในพื้นดินดังกล่าวนี้ ได้แก่ ไซยาโนแบคทีเรีย ซึ่งมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศโดยมีหน้าที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้ละลายในน้ำ อันเป็นสิ่งที่พืชในตระกูลสูงกว่านี้ทำไม่ได้

ตรงกันข้ามกลุ่มสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เหล่านี้จะได้รับผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเลตในระดับต่าง ๆ โอโซนที่ลดลงอาจเป็นการเสริมไนโตรเจนธรรมชาติให้กับระบบนิเวศต่าง ๆ

เช่น ไนโตรเจนที่เพิ่มในนาข้าวเขตร้อนน่าจะทำให้โอโซนลดลงอย่างมาก และต่อเนื่องกันไป ประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ ซึ่งมีงบประมาณในการจัดสรรเงินเพื่อซื้อปุยวิทยาศาสตร์น้อยคงจะต้องได้รับความลำบากอย่างยิ่ง แต่ไซยาโนแบคทีเรียสามารถเพิ่มเติมไนโตรเจนที่จำเป็นในนาข้าวได้ในจำนวนมหาศาลโดยไม่ต้องจ่ายเงินเพื่อซื้อปุยเพิ่ม คาดการณ์ว่าสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ชนิดนี้สามารถดูดซึมไนโตรเจนประมาณ 35 ล้านตันต่อปี ขณะที่ไนเตรตจากปุยวิทยาศาสตร์จะผลิตได้เพียง 30 ล้านตันต่อปีเท่านั้น

เมื่อรังสี UV-B เพิ่มขึ้นปริมาณการเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตรหลายชนิดจะลดลง พืชบางชนิดบางสายพันธุจะได้รับผลกระทบทำให้ได้ผลผลิตลดลงยิ่งกว่าพืชชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาเพียงไม่กี่กรณีภายใต้ภาวะของรังสีอัลตราไวโอเลต ผลจากการศึกษาชี้นำว่า การเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรโลกมีความเสี่ยงหากโอโซนยังคงถูกทำลายต่อไปอีก

จากการศึกษาในพืชชนิดต่างๆ จนบัดนี้พบว่า พืชที่นำมาศึกษาประมาณครึ่งหนึ่งจะไวต่อรังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้น ถ้าพืชพวกนี้ได้รับรังสี UV-B จำนวนมากมีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตช้าลง ขนาดต้นเล็กและแคระแกร็น นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำและการผลิดอกของพืช

การทดสอบในถั่วเหลืองลูกผสมต่างชนิดพบว่ามีปริมาณการเก็บเกี่ยวผลผลิตลดลงถึงร้อยละ 25 เมื่อมีการทำลายโอโซนเกิดขึ้นร้อยละ 25 และยังพบว่าคุณค่าอาหารได้ลดลงด้วยเช่นเดียวกัน อาทิ ปริมาณโปรตีนและน้ำมันในเมล็ดถั่ว ในการทดสอบพืชอาหาร 10 ชนิด มีอยู่ 5 ชนิดที่เก็บเกี่ยวผลผลิตได้น้อยลงประมาณร้อยละ 5-90 ผลผลิตข้าวสาลีลดลงประมาณร้อยละ 5 ผลผลิตมันฝรั่งลดลง

รูปที่ 9 *แสดงการได้รับแสงอาทิตย์ในพืชบางชนิดต่อเนื่องในเวลากลางวัน และรังสี UV-B สามารถยับยั้งการผลิดอกของพืช จึงทำให้พืชชะงักการเติบโตเมื่อพืชเหล่านี้ได้รับแสงในปริมาณจำกัด*

ประมาณร้อยละ 21 และผลผลิตน้ำเต้าลดลงประมาณร้อยละ 90 แต่ไม่มีผลกระทบต่อข้าวเจ้า ถั่วลิสง และข้าวโพด

แม้ว่าจะต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมอีกในเรื่องนี้ แต่การทดลองที่ผ่านมาได้แสดงให้รู้ว่ารังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นจะยับยั้งการผสมเกสรในพืชบางชนิด เช่น *Pethunia hybrida* และ *Visia collosa* ซึ่งถูกยับยั้งอัตราการผลิตเกสรให้น้อยลงถึงร้อยละ 65 ในภาวะที่มีรังสี UV-B ในระดับปานกลาง บางทีปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นอาจจะสัมพันธ์กับระยะเวลาผลิดอก หากรังสีทำให้ต้นไม้ผลิดอกเร็วขึ้นหรือช้ากว่าช่วงเวลาที่แมลงมาผสมเกสรตามธรรมชาติย่อมจะเกิดผลกระทบอื่นๆ ขึ้นได้อีก

รังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นอาจจะคุกคามความอุดมสมบูรณ์และการอยู่รอดของป่าไม้ได้ด้วยเช่นกัน จากการทดลองเพาะเมล็ดสนชนิดต่างๆ แล้วให้รับรังสี UV-B เพิ่มกล้าไม้สน 3 ใน 10 ชนิด อันได้แก่ ลอดจโพล (lodgepole) เรด (red) ลอโบลลี (lobolly) ต้นจะเล็กและแคระแกร็น

มลพิษอากาศเพิ่มขึ้น

โอโซนเป็นก๊าซพิษ เมื่อโอโซนอยู่ในชั้นบรรยากาศระดับต่ำ จะทำให้เกิดมลพิษอากาศ ถ้าโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ลดลงรังสี UV-B จะแผ่ลงมายังบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น นั่นคือ ทั้งในเมืองและพื้นที่ชนบทที่มีระดับไนโตรเจนออกไซด์สูงพอเพียงที่จะสนับสนุนให้เกิดผลิตผลของโอโซนจึงทำให้เกิดมลพิษอากาศเพิ่มขึ้น

ในพื้นที่ห่างไกลออกไปมีระดับไนโตรเจนออกไซด์ที่ต่ำมาก ซึ่งบางทีในพื้นที่นี้อากาศจะสะอาดกว่าในขณะนี้ก็ได้เพราะในพื้นที่ดังกล่าวไนโตรเจนออกไซด์ที่มนุษย์ผลิตขึ้นได้กระจายออกไปจึงทำให้ผลิตผลของโอโซนยังคงมีอยู่ รังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นจะทำลายชั้นโอโซนอย่างรวดเร็ว มลพิษที่เลวร้ายนี้ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพ และความผาสุกของมนุษย์ ดังนั้นจำเป็นต้องมีนโยบายในการควบคุมมลพิษที่เข้มงวด

มีการสาธิตให้เห็นรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นซึ่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาเคมีหรืออิทธิพลการออกซิไดส์ของสารเคมีในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ การทดลองในห้องจำลองหมอกควันพิษ เราจะเห็นรังสี UV-B กระตุนรูปแบบอนุมูลในปฏิกิริยาจำนวนมาก (โมเลกุลที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารเคมีชนิดอื่นๆ) ก่อตัวเป็นสารชนิดใหม่ ตัวอย่างเช่น อนุมูลไฮดรอกซิล (OH^-) เป็นตัวก่อปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซปริมาณน้อยที่พบได้บ่อย ๆ ใกล้พื้นผิวโลก

อนุมูลไฮดรอกซิลจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างโอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ และสารก่อมลพิษที่น่ากลัวชนิดอื่น ๆ รวมทั้งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดซัลฟุ ิกและกรดชนิดอื่น ๆ สารก่อมลพิษเหล่านี้ส่วนใหญ่จะก่อตัวขึ้นจากจากสารเคมีที่กระจายออกมาจากโรงงาน อุตสาหกรรม ยานพาหนะ และแหล่งกำเนิดพลังงานชนิดอื่น ๆ

การก่อตัวของหมอกควันพิษได้สร้างสารเคมีอินทรีย์หลายชนิดที่เป็นสารออกซิไดส์ ตัวอย่างเช่น สารฟอร์มัลดิไฮด์ โดยโมเลกุลเหล่านี้จะก่อปฏิกิริยากับอนุมูลไฮโดรเจน ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนรังสี UV-B โดยรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นจะก่อปฏิกิริยากับอนุมูลไฮโดรเจนในอากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลิตผลที่ได้ออกมานั่นคือ หมอกควันพิษและฝนกรดในปริมาณมาก

การทำลายชั้นโอโซนร้อยละ 10 ในพื้นที่ในเมืองน่าจะเป็นผลทำให้โอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 10-25 ปัญหาจากการทำลายชั้นโอโซนจะเลวร้ายที่สุดในเมืองที่มีมลพิษอย่างหนักซึ่งมีการควบคุมการแพร่กระจายมลพิษเพียงเล็กน้อย แต่แม้ว่าจะมีการควบคุมการแพร่กระจายมลพิษอย่างกว้างขวางแล้วก็ตาม จะยังคงได้รับผลกระทบนี้อยู่ทั้งนี้เพราะมีการเคลื่อนไหวของเคมีในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น จึงเป็นการลดประสิทธิภาพของโครงการควบคุมดังกล่าว

พื้นที่ในชนบทจะประสบความเดือดร้อนอย่างมากจากหมอกควันพิษและฝนกรด เพราะว่าหลาย ๆ พื้นที่ในชนบทส่วนใหญ่มีไนโตรเจนออกไซด์และสารประกอบไฮโดร-คาร์บอนมากพอที่จะก่อให้เกิดการขวางกั้นของปฏิกิริยาเคมี จึงทำให้เกิดสารมลพิษชนิดใหม่ การลดลงของโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ในพื้นที่ชนบทในเขตละติจูดกลางร้อยละ 20 ทำให้โอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 10

คาดว่าฝนกรดจะเกิดเพิ่มขึ้นได้ในฤดูอื่น ๆ รังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นเป็นไปได้ที่จะทำให้มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศโลก ไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์เป็นสารเคมีหลักที่ออกซิไดส์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยรวมตัวกับละอองน้ำในก้อนเมฆกลั่นตัวตกลงมาเป็นฝนกรด พื้นที่ในชนบทที่มีความเข้มข้นไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่า 0.2-1.4 ppbv คาดว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นประมาณร้อยละ 30

แม้กระทั่งในพื้นที่อยู่ที่ห่างไกลมากๆ รังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นคาดว่าเป็นสาเหตุให้ระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เบาบางนั้นเพิ่มสูงขึ้น

เป็นไปได้ที่ในปัจจุบันอัตราและจำนวนของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคเล็ก ๆ ในชั้นบรรยากาศ (ละอองไอ) เมื่ออนุภาคเล็ก ๆ เหล่านี้ลงมาอยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ตอนล่างจะก่อให้เกิดการทำลายโอโซนเป็นบริเวณกว้าง นี่เป็นเพียงการสังเกตเหนือบริเวณขั้วโลกเหนือและใต้

เท่านั้น บริเวณที่มีมลพิษมากจะได้รับความเดือดร้อนจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก เพราะอนุภาคที่ก่อมลพิษเริ่มทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ที่อยู่เหนือขึ้นไปจำนวนมาก

ความเสียหายต่อวัสดุ

การทำลายโอโซนและผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุให้วัสดุมากมายหลายชนิดเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ พลาสติกที่ใช้นอกอาคารจะมีอายุการใช้งานสั้นลงอย่างมาก แม้ว่าจะได้รับรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นเพียงเล็กน้อยก็ตาม

ผลกระทบจะแผ่ขยายออกไปเป็นบริเวณกว้าง แผ่นโพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ด้านข้างขอบประตูและขอบหน้าต่าง ท่อน้ำ รางน้ำ และอุปกรณ์ที่ใช้ตกแต่งภายในอาคารดูเหมือนว่าเสื่อมสภาพเร็วขึ้นกว่าปกติ เช่นเดียวกับปลอกหุ้มสายเคเบิล โพลิคาร์บอเนต การชุบหรือเคลือบสีอะคริลิก และแผ่นโพลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่ใช้เสริมแรงภายนอกอาคาร แท็งก์น้ำ และท่อน้ำ

กันชนและกระโปรงรถที่ทำด้วยโพลิยูริเทนและโพรพิลีนจะมีอายุการใช้งานไม่นาน รวมทั้งวัสดุคุณภาพสูงที่ใช้ในการประกอบอากาศยาน แห เชือก อวน ที่ใช้จับปลาซึ่งทำจากไนลอน โพลิเอทิลีนและโพลิโพรพิลีนจะผุเร็วขึ้นเช่นเดียวกับท่อรองตัวเรือที่เสริมด้วยโพลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

พลาสติกหลายชนิด เช่น พลาสติกที่ใช้คลุม พืชผักในบาห์เรนจะเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติเมื่อสัมผัสรังสี UV-B ที่สูงขึ้น

การเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติจะส่งผลกระทบต่อแผ่นฟิล์มที่ใช้คลุมดินและแผ่นพลาสติกที่ใช้กับเรือนเพาะชำ พลาสติกสำหรับใช้งานนอกอาคาร เช่น ที่นั่งในสนามกีฬา ยางรถ สายยาง เปลือกหุ้มที่ทำด้วยพอลิเมอร์ บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากอุตสาหกรรมจะได้รับผลกระทบเช่นเดียวกันด้วย

ประเทศกำลังพัฒนาจะเกิดปัญหาจากการเสื่อมสภาพของวัสดุเร็วกว่าปกติมาก เพราะความนิยมการใช้พลาสติกที่มีมากนั่นเอง เนื่องจากราคาถูก พลาสติกจะถูกทำลายเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรงในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรเพราะบริเวณนี้มีอุณหภูมิที่สูงกว่า ได้รับแสงอาทิตย์ในปริมาณมากกว่าบริเวณอื่น ๆ

ยังไม่มีข้อมูลมากพอสำหรับวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่อาจจะได้รับผลกระทบจากระดับรังสี UV-B ที่เพิ่มสูงขึ้น วัสดุเหล่านี้ตลอดจนผลิตภัณฑ์ยาง สีทาบ้าน และสีรองพื้น ไม้ กระดาษและสิ่งทอ ทุกอย่างจะเสื่อมคุณภาพลงเร็วกว่าปกติเมื่อการทำลายชั้นโอโซนยังคงดำเนินอยู่ต่อไป

เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับโอโซน

ตั้งแต่ทศวรรษ 1930 สาร CFC และสารเคมีที่เกี่ยวข้องใช้เป็นผลิตภัณ ์ในลักษณะต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เริ่มด้วยการนำสารมาใช้แทนแอมโมเนียและซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ในการทำความเย็นขั้นต้น (ปฐมภูมิ) ตั้งแต่ ค.ศ. 1931-1945 ผลิตภัณ ์สาร CFC 12 ได้เพิ่มขึ้นเป็น 35 เท่า ใน ค.ศ. 1974 การใช้สาร CFC 11 และ CFC 12 ทั้งหมดในตลาดเพิ่มสูงขึ้นถึง 445,000 ตันต่อปีหลังจากที่เริ่มใช้ CFC ในการเป่าโฟมและสารละอองไอในทศวรรษ 1940-1950

CFC เป็นสารที่ใช้ในตู้เย็น และจนบัดนี้ได้กลายเป็นส่วนผสมที่สำคัญในเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่และระบบปรับอากาศในยานพาหนะ นอกจากนั้นยังนำมาทำโฟมอ่อนและโฟมแข็งในผลิตภัณ ์ชนิดต่างๆ เช่น เครื่องเรือน เบาะรองนั่ง ที่นอน บรรจุภัณ ์วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างอาคาร ชิ้นส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ ไม้เทนนิส พวงมาลัยรถยนต์ กันชนรถ และเสื้อชูชีพ

CFC ชนิดอื่น ๆ ยังใช้เป็นตัวทำละลาย ตัวขับดันละอองไอ และใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในโรงพยาบาล อีกทั้งอาหารแช่แข็ง เช่น ข้าวโพดทั้งฝัก ผลราสเบอรี่ และกุ้งสัด

สารฮาลอนที่ใช้ในการดับเพลิงมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน 2 ใน 3 ชนิดนั้น ได้แก่ สารฮาลอน 1211 และฮาลอน 2402 ใช้ฉีดพ่นดับเพลิง ในขณะที่สารฮาลอน 1301 ใช้เทราดลงบนพื้นห้องหรือบริเวณภายในตึกที่เกิดเพลิงไหม้ที่มีสาเหตุมาจากก๊าซ สารฮาลอนประเภทหลังนี้ใช้ประโยชน์สำหรับดับเพลิงในห้องคอมพิวเตอร์ พิพิธภัณ ์และที่อื่น ๆ เช่น เครื่องยนต์ของเครื่องบิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่เมื่อสูญเสียไปแล้วไม่มีสิ่งอื่นมาทดแทนได้ หรือมีราคาแพงมากอาจได้รับความเสียหายหากดับเพลิงด้วยน้ำหรือเครื่องดับเพลิงชนิดที่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ สารฮาลอนในเครื่องดับเพลิงมีลักษณะพิเศษที่ไม่เหมือนกับสารชนิดอื่น คือ ไม่เกิดอันตรายฉับพลันแก่ผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้น

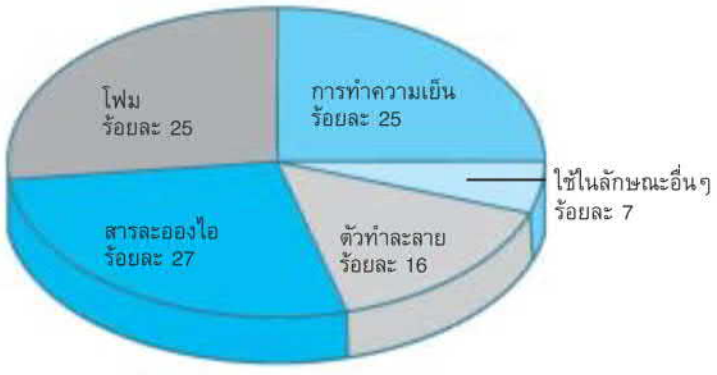
สารเคมีอีก 2 ชนิดที่มีส่วนสำคัญในการทำลายชั้นโอโซน ได้แก่ คาร์บอน-เตตระคลอไรด์และเมทิลคลอโรฟอร์ม สาร 2 ชนิดนี้ขึ้นบัญชีสารต้องห้ามเพิ่มเติม (1990) ในพิธีสารมอนทรีออล คาร์บอนเตตระคลอไรด์สามารถทำลายชั้นโอโซนได้มากพอ ๆ กับสาร CFC บางชนิด และยังเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตสาร CFC11 CFC12 และสารฆ่าแมลงอีกหลายชนิด เป็นตัวทำละลายซึ่งใช้ในการผลิตยางสังเคราะห์และสีย้อม สารขจัดคราบน้ำมันของโลหะ น้ำยาซักแห้ง สารดับเพลิง และเป็นส่วนผสมในการรมควันเมล็ดพืช

เมทิลคลอโรฟอร์มใช้ในรูปของตัวทำละลายอเนกประสงค์ในอุตสาหกรรมทุกชนิดในกระบวนการระเหยเพื่อกำจัดคราบมัน ทำให้เกิดความเย็นในการทำความสะอาดโลหะที่เป็นส่วนประกอบต่างๆ และวัสดุอุปกรณ์ชนิดต่างๆ นอกจากนั้นยังใช้ในการซักแห้งเสื้อผ้า ใช้ขจัดคราบสกปรกของวัตถุสิ่งทอและสินค้าอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ตัวทำ

ละลายสารยึดเกาะในรูปของละอองไอสำหรับใช้ทำความสะอาดวัสดุกึ่งตัวนำ การผลิตสารฟลูออโรคาร์บอน และสารเคมีที่เกี่ยวข้องในการผลิตเหล็กกล้า อีกทั้งการซุบเคลือบผลิตภัณ ์ต่างๆ หมึก วัสดุ ิ่งทอ และสินค้าอื่นๆ

การหาสารทดแทนสำหรับสารเคมีที่จำเป็นเหล่านี้เริ่มมีขึ้นใน ค.ศ.1987 โดยการลงนามร่วมกันในพิธีสารมอนทรีออลภายใต้ความช่วยเหลือของ UNEP โดยแต่งตั้งคณะทบทวนเทคโนโลยีขึ้น ให้ความรู้แก่ผู้เชี่ยวชาญ 110 คนจาก 22 ประเทศ โดยที่คณะอนุกรรมการระหว่างประเทศ 5 ประเทศได้พิจารณาและรายงานผลการใช้สารทดแทนในเครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศและปั๊มความร้อน โฟมแข็งและโฟมอ่อน เครื่องใช้ไฟฟ้า สารขจัดคราบมันและตัวทำละลายที่ใช้ในการซักแห้ง ละอองไอ รวมทั้งสารฆ่าเชื้อโรค และสารฮาลอนในเครื่องดับเพลิงได้

สารที่ใช้ทดแทนสาร CFC ต้องมีมาตรฐานที่แน่นอน นอกจากจะต้องมีรูปร่างของโมเลกุลคล้ายกันกับสาร CFC แล้ว สารทดแทนนั้นจะต้องไม่เป็นพิษและมีความสำคัญพอๆ กัน และสารทดแทนนั้นต้องไม่แพร่กระจายให้โลกร้อนขึ้นไม่ว่าทั้งในทางตรงด้วยการดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือปลดปล่อยความร้อนออกมา หรือในทางอ้อมด้วยการลดประสิทธิภาพในกระบวนการหรือการนำสารทดแทนเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปแล้วพลังงานจากโรงงานไฟฟ้าที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์จำนวน 1 ใน 3 ของพลังงานทั้งหมดแพร่กระจายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้น หากสารทดแทนที่ใช้แทนสาร CFC เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของพลังงานต่ำลง พลังงานที่จะเพิ่มเข้าไปทำให้เกิดสารมลพิษจำนวนมากแพร่กระจายออกมา ดังนั้นจึงเป็นการเสริมให้โลกร้อนขึ้น เช่น ถ้าใช้สารทดแทนสาร CFC 12 ซึ่งสารชนิดนี้เป็นของเหลวที่ใช้ทำความเย็นในตู้เย็นที่ใช้กันอยู่ ทั้งหมดรวมแล้วใช้กำลังไฟฟ้า 30,000 เมกกะวัตต์ จะทำให้ประสิทธิภาพของพลังงานลดลงร้อยละ 5

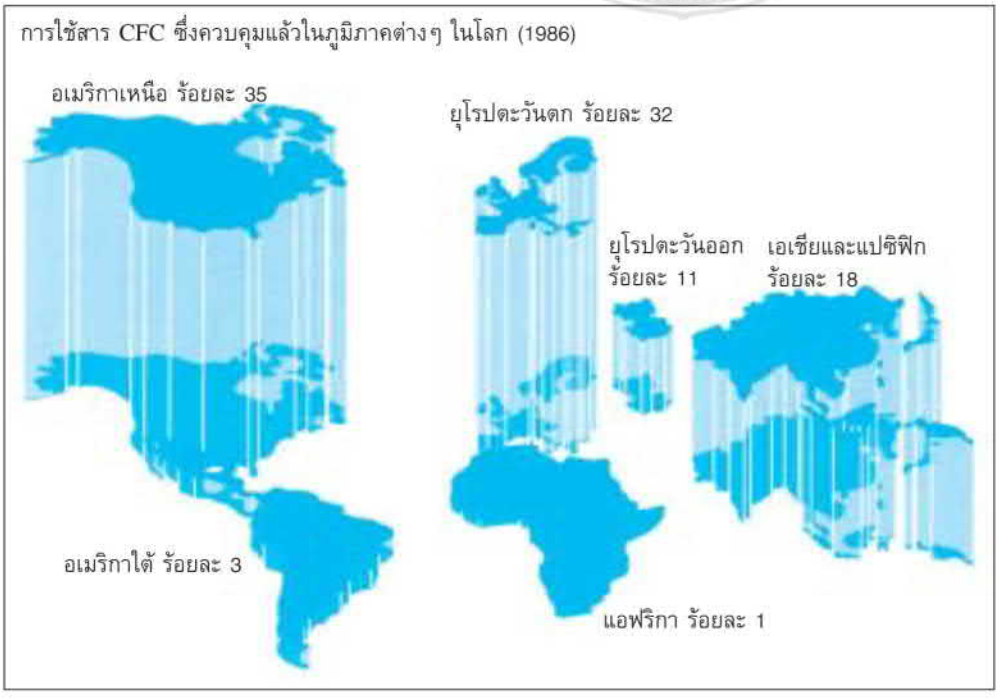


รูปที่ 10 *แสดงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้สาร CFC ในปริมาณที่ควบคุ ม ใน ค.ศ. 1986 การใช้สารทดแทนแทนสาร CFC ยังมีสัดส่วนค่อนข้างน้อยที่ใช้ในโฟม สารละอองไอ และการทำความเย็น*

นั่นคือ เราต้องเพิ่มความต้องการด้านกำลังไฟฟ้าในโลกเพิ่มขึ้นอีกราว 1,500 เมกกะวัตต์ การยุติการใช้สาร CFC ในระยะสั้นจึงขึ้นอยู่กับการหันมาใช้สารไฮโดร-คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFC) สารชนิดนี้ปกติจะทำลายโอโซนแม้ว่าจะเพียงน้อยนิดก็ตาม สาร HCFC สามารถคงอยู่ในชั้นบรรยากาศได้น้อยกว่าสาร CFC และมีส่วนสำคัญในการทำลายบรรยากาศชั้นที่ต่ำกว่า ก่อนจะกระจายไปถึงบรรยากาศชั้นสตรา-โตสเฟียร์

โดยเฉพาะการกำจัดสาร CFC ฮาลอน HCFC 22 เมทิลคลอโรฟอร์ม และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่แพร่กระจายอย่างสมบูรณ์นั้น จะชักนำให้เกิดคลอรีนในชั้นบรรยากาศระดับล่างในปริมาณน้อยสุดที่สามารถกระตุนให้ก่อปฏิกิริยาได้ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดช่องโหว่ในชั้นโอโซนที่ขั้วโลกใต้ แต่คณะทบทวนเทคโนโลยีเรียกร้องว่าหากเราหยุดใช้สาร CFC และหันมาใช้สารทดแทน HCFC แทนภายใน ค.ศ. 2050 การใช้สารเหล่านี้จะไม่ส่งผลต่อช่วงเวลาที่จะรักษาชั้นโอโซนกลับคืนมาดังเดิม

ถึงแม้ว่า ในที่สุดแล้วสารทดแทนสาร CFC ที่พัฒนาได้จะไม่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบ แต่ในระยะเวลาอันสั้นสาร HCFC จะถูกจำกัดการใช้โดยพิจารณาจากการยุติการใช้สาร CFC อย่างช้าๆ ด้วยค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นและประสิทธิภาพของพลังงานที่ต่ำลง รวมทั้งการเกิดภาวะโลกร้อนขึ้น อุตสาหกรรมการทำความเย็นได้พิจารณาแล้วว่าไม่มีข้อจำกัดในการนำสาร HCFC 22 มาใช้ ตัวอย่างเช่น ต้องมีการดำเนินงานพัฒนาสารทดแทน CFC ซึ่งเป็นเงื่อนไขให้เสร็จก่อน ค.ศ. 2000



รูปที่ 11 *แสดงให้เห็นว่าอเมริกาเหนือและยุโรปตะวันตกเป็นผู้นำในการใช้สาร CFC ลดลงใน ค.ศ. 1986*

เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ

สาร CFC ใช้เป็นของเหลวในการทำความเย็นในช่องแช่แข็งของตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และปั๊มความร้อนถึงร้อยละ 25 ของการบริโภคสาร CFC ในโลก สาร CFC ส่วนใหญ่ใช้ในงานอุตสาหกรรมและเครื่องปรับอากาศในยานยนต์ ทั่วโลกใช้สาร CFC เป็นของเหลวในการทำความเย็นในตู้เย็นภายในบ้านเพียงร้อยละ 1 และใช้สาร CFC เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ในสารป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วในตู้เย็นอีกร้อยละ 4 คาดว่าประเทศกำลังพัฒนาจะผลิตตู้เย็นที่ใช้ในบ้านมากขึ้นถึงร้อยละ 30 ต่อปี ซึ่งอัตราการใช้สาร CFC ที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้ยังไม่ชัดเจนพอที่จะกล่าวถึงการบริโภคสาร CFC ที่มีอยู่ทั้งหมดได้ทั่วโลก

แม้ว่าการแพร่กระจายสาร CFC ใน ค.ศ. 1994 ได้ลดลงประมาณร้อยละ 45 และร้อยละ 50-60 ภายใน ค.ศ. 1997-1998 การทดแทนสาร CFC ที่ใช้ในตู้เย็นด้วยสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อโอโซนคาดว่าจะนำมาใช้ทดแทนได้ในราว 15-20 ปีข้างหน้า สารให้ความเย็นที่เป็นทางเลือกนั้นคือ สาร HCFC สารไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) หรือสารเคมีเหล่านี้ผสมกันซึ่งมีใช้กันแล้วในปัจจุบัน แต่อุปกรณ์บางอย่างที่ยังมีใช้อยู่นั้นจะต้องนำมาเพิ่มสมรรถนะให้สูงขึ้นและแทนที่อุปกรณ์เก่าอย่างช้าๆ สาร CFC จะยังคงมีความจำเป็นอยู่หลังจาก ค.ศ. 2000 ทั้งนี้เพื่อใช้กับตู้เย็นรุ่นเก่าๆ และระบบเครื่องปรับอากาศในยานยนต์ที่ไม่สามารถใช้สารทดแทนอื่นได้ แต่อาจไม่นานเกินไปนักที่จะผลิตสาร CFC ขึ้นใหม่ ด้วยการนำสารเคมีที่มีอยู่กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งบางทีอาจมีความต้องการมากขึ้น

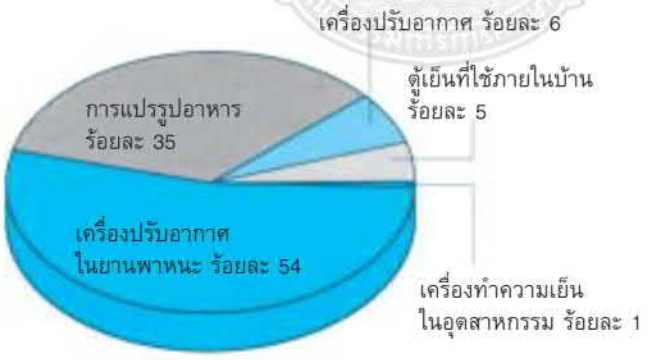
ระบบการทำความเย็นในบางระบบอุตสาหกรรมสามารถเปลี่ยนไปใช้ของเหลวในการทำความเย็นชนิดอื่นได้ แต่ระบบทำความเย็นที่ใช้สาร CFC ส่วนใหญ่จะลดการใช้สาร CFC ลงด้วยการสงวนรักษาสารนี้ไว้และนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง โรงงานที่สร้างขึ้นหลัง ค.ศ.1998 อาจจะไม่ใช้สาร CFC เลย แต่ยังมีโรงงานที่ใช้สาร CFC อยู่บ้างจำนวนน้อย ซึ่งโรงงานเหล่านี้อาจยังมีเหลืออยู่จนถึง ค.ศ. 2015 ทั้งนี้เพื่อซ่อมแซมเครื่องรุ่นเก่าที่ไม่สามารถใช้สารเคมีทดแทนชนิดอื่นแทนได้ คณะทบทวนด้านเทคโนโลยีเชื่อว่า การใช้สารเคมีทางเลือกชนิดอื่นๆ การเก็บรักษาและการปรับปรุงสารทำความเย็นหมายถึงการใช้สาร CFC ในเครื่องทำความเย็นในโรงงานอุตสาหกรรมน้อยกว่าร้อยละ 92 ใน ค.ศ. 1998

แท้ที่จริงแล้วบรรจุภัณฑ์ที่ทำความเย็นทั้งหมดใช้สารทำความเย็น CFC 12 ยังไม่มีสารทางเลือกอื่นใดที่ใช้ทดแทนสาร CFC 12 ได้ในปัจจุบัน หากยุติการใช้สาร CFC 12 ใน ค.ศ. 2000 ตามที่วางแผนไว้ อุปกรณ์ที่มีมูลค่าประมาณ 2,000 ล้าน

เหรียญสหรัฐ จะถูกเก็บไว้ถึงปีละ 245 ตัน ถ้าอุปกรณ์ดังกล่าวยังมีความจำเป็นและเป็นไปได้ที่สามารถเปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็นชนิดใหม่ที่เป็นสาร HCFC ค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ในเรือจะมีค่าประมาณ 1.8 ล้านเหรียญสหรัฐ รวมทั้งค่าใช้จ่ายสำหรับจำนวนเรือทั้งหลายทั่วโลกในการเปลี่ยนมาใช้สาร HCFC รวมกันอย่างคร่าวๆ ได้ประมาณ 7,000 ล้านเหรียญสหรัฐ

เครื่องปรับอากาศในรถยนต์และรถบรรทุกก็เป็นอีกปัญหาหนึ่ง ซึ่งเครื่องปรับอากาศในยานยนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันใช้สาร CFC 12 และประมาณกันว่าร้อยละ 28 ในการผลิตสาร CFC 12 ที่นำมาใช้ในยานยนต์ในโลกไม่มีสารทดแทนใดนำมาใช้แทนสาร CFC 12 ที่ใช้กับเครื่องทำความเย็นในรถยนต์โดยตรงได้ ดังนั้นการเปลี่ยนสารทำความเย็นเป็นชนิดอื่นยังคงเป็นงานใหญ่ การเก็บรักษาสาร CFC และการนำกลับมาใช้ใหม่ดูเหมือนว่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการลดการใช้สาร CFC ในระยะสั้น

สารที่ได้รับเลือกให้ใช้ทดแทนสาร CFC 12 ซึ่งไม่ทำลายโอโซน และไม่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่ดีสุดขณะนี้คือสาร HFC-134a ซึ่งแนะนำให้นำมาใช้ในยานยนต์รุ่นใหม่ๆ ตั้งแต่ ค.ศ. 1994 การร่วมมือกันเปลี่ยนมาใช้สาร HFC-134a และยุติการใช้สาร CFC 12 อย่างรวดเร็วนั้น หมายความว่าชุดปรับอากาศในรถยนต์ทั้งหมดต้องพร้อมที่จะใช้สารทำความเย็นชนิดที่ไม่ทำลายโอโซนนี้ได้ใน ค.ศ. 2010



รูปที่ 12 *ความเสียหายจากการใช้สาร CFC ที่ใช้ทำความเย็น จากภาพแสดงให้เห็นว่าสาร CFC ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในระบบปรับอากาศยานพาหนะเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่สร้างความเสียหาย รองลงมาคือการใช้ในอาหารเพื่อการค้า*

การใช้ลักษณะอื่น ๆ

รูปที่ 13 ร้อยละของการใช้สารเคมีที่ทำลายโอโซน อุปกรณ์และครื่องใช้ และช่วงชีวิตการคงอยู่ ในชั้นบรรยากาศ

ผลิตภัณ โฟม

มีการใช้สาร CFC ในผลิตภัณ โฟมถึงร้อยละ 25-30 ของการบริโภคสาร CFC ในโลก ใน ค.ศ. 1993 โดยทางเทคนิคแล้วจะลดการใช้สาร CFC นี้ลงได้ถึงร้อยละ 60-70 และกำจัดให้หมดสิ้นไปใน ค.ศ.1995 เป็นไปได้ว่าจะมีการซื้อขายสาร HCFC ได้ในราคาที่ถูกใน ค.ศ. 1993 หากพิจารณาเทคโนโลยีแล้ว ผู้ผลิตโฟมทั้งหลายมีทางเลือกที่จะไม่ใช้สาร HCFC อยู่เพียงไม่กี่ทางเลือกเท่านั้น ตลาดโฟมทุกประเภทแข่งขันกันผลิตสินค้าที่ไม่ใช้สาร CFC ยกเว้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีระบบป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟที่ยังต้องการใช้สาร CFC ในการผลิตโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

ตัวทำละลาย

สาร CFC 113 ที่ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับทำความสะอาดแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำ (เช่นเครื่องวัดการหมุนวนและตัวขับเคลื่อนแผ่นดิสก์ในคอมพิวเตอร์) โลหะและเสื้อผ้า ซึ่งนำมาใช้ถึงร้อยละ 16 ของการใช้สาร CFC ในโลก โดยที่อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์นำไปใช้มาก ถึงร้อยละ 80

แม้ว่าจะไม่มีสารทดแทนใดที่นำมาใช้แทนสาร CFC 113 ได้ และถึงจะมีทางเลือกที่เป็นไปได้หลายทางในการยุติการใช้สาร CFC 113 ใน ค.ศ. 2000 แต่การยุติการใช้สาร CFC 113 ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับสาร HCFC เพราะมีทางเลือกให้เลือกใช้ได้หลายประการ ได้แก่ ผลิตภัณ ์และกระบวนการใช้สารทดแทน การทำความสะอาดด้วยน้ำ กระบวนการทำความสะอาดด้วยไฮโดรคาร์บอน และกระบวนการที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย ขณะเดียวกันการควบคุมการใช้ CFC 113 และการนำกลับมาใช้ใหม่ยังสามารถลดการใช้สารชนิดนี้ลงได้อีกร้อยละ 50

ละอองไอ การฆ่าเชื้อ และการใช้ลักษณะอื่น ๆ

ใน ค.ศ. 1986 สาร CFC ที่นำมาใช้ในรูปของละอองไอมีถึงร้อยละ 27 ของการใช้สาร CFC ในโลก ยกเว้นผลิตภัณ ์ทางการแพทย์บางชนิด เช่น ยาพ่นรักษาโรคหอบหืด และการใช้สอยอื่นๆ นอกจากนั้นแล้วเราสามารถกำจัดการบริโภคสาร CFC ได้โดยหันมาใช้สารทางเลือกชนิดอื่นแทน สารทดแทนที่ใช้กันมากที่สุดคือ สารไวไฟจำพวกไฮโดรคาร์บอน โพรเพน บิวเทน และเพนเทน สาร HCFC ที่ไม่ติดไฟ (โดยเฉพาะสาร HCFC 22 ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีกว่าผลิตภัณ ์สาร CFC ประมาณร้อยละ 30) มีความเป็นไปได้ที่จะใช้งานได้ดีแต่มีราคาแพงมาก การปรับเปลี่ยนจากการใช้สาร CFC ต้องอาศัยเวลา โดยต้องพิจารณาการเริ่มต้นปรับปรุง การปรับเปลี่ยนใหม่ทั้งหมด และบางทีอาจต้องเปลี่ยนแปลงสถานที่ตั้งโรงงาน เพราะอาจเสี่ยงต่อไฟไหม้หรือการระเบิดของสารไฮโดรคาร์บอน

คาดว่าใน ค.ศ. 1986 มีการควบคุมการใช้สาร CFC ชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ในผลิตภัณ ์ด้านการแพทย์จำนวน 10-12,000 ตัน ประกอบด้วยยาสำหรับสูดดมจำนวน 3-4,000 ตัน เช่น ยารักษาโรคหอบหืด ซึ่งเป็นเรื่องยากสำหรับการกำจัดการใช้สารประเภทดังกล่าวก่อนสิ้นศตวรรษนี้ การใช้สาร CFC 12 ประมาณ 20-25,000 ตัน เป็นสารฆ่าเชื้ออาจถูกจำกัดลงด้วยทางเลือกต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้ว เช่น การนึ่งฆ่าเชื้อโรคและใช้สารฟอร์มัลดิไฮด์ ซึ่งควรยุติการใช้สาร CFC 12 ในประเทศพัฒนาแล้วอย่างช้าภายใน ค.ศ. 1995 และจากนั้นในประเทศกำลังพัฒนา

ไนโตรเจนเหลวกับเทคนิคทางการค้าเป็นทางเลือกสำหรับการทดแทนสาร CFC 12 เพื่อใช้แช่อาหารที่เสียง่ายให้แข็งตัวได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

ในปัจจุบันมีสารทดแทนที่สามารถใช้แทนสารเมทิลคลอโรฟอร์มแล้วถึงร้อยละ 90-95 และส่วนใหญ่ใช้แทนสารคาร์บอนเตตระคลอไรด์ได้ ส่วนคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่เหลือยังคงจำเป็นสำหรับใช้เป็นวัสดุผลิตสารทดแทนชนิดอื่น ๆ อีกมาก แต่การใช้ในลักษณะนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายจากการแพร่กระจาย สารทดแทนที่ผลิตขึ้นจะช่วยดูดซับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ทั้งปวงที่ทำลายโอโซน

การดับเพลิง

สารฮาลอนเป็นไฮโดรคาร์บอนด์ที่มีโบรมีนและบางครั้งอาจมีคลอรีนผสมอยู่ ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้จะทำลายโอโซน ถึงแม้ว่าสารชนิดนี้ถูกควบคุมให้มีจำนวนน้อยกว่าร้อยละ 3 ของสารควบคุมทั้งหมดก็ตาม แต่ก็มีศักยภาพมากพอในการทำลายโอโซนให้ลดการแพร่กระจายลงได้ในขั้นต้น

แต่ทว่าอาจจะไม่เกิดขึ้น หรืออาจมีเพียงสารทดแทนสารฮาลอนที่ใช้ในการดับเพลิงได้เพียงชนิดเดียว ขณะที่สารฮาโลคาร์บอนเหล่านี้ทำลายโอโซนได้มากกว่าสาร CFC ถึง 10 เท่า โดยได้รับการยกเว้นให้ใช้ได้ ทั้งนี้เพราะมีผลดีต่อการดับเพลิง เนื่องจากสารชนิดนี้ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า มีการกระจายตัวได้เร็ว ไม่เหลือสิ่งที่ตกค้าง และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดูเหมือนว่าทางเลือกทางเคมีที่สามารถนำไปดำเนินการเป็นการเฉพาะนั้นจะได้รับการพัฒนาต่อไป

การดำเนินการอย่างผสมผสานกันหลายด้าน เช่น การลดการฟุ้งกระจายระหว่างฝึกปฏิบัติและทดสอบ การใช้มาตรการป้องกันเพลิงไหม้ต่างๆ และการยอมรับความเสี่ยงที่อาจเพิ่มขึ้นจากเพลิงไหม้ อาจทำให้ยุติการใช้สารฮาลอนได้ใน ค.ศ. 2005

ถ้าไม่มีการพัฒนาทางเลือกใหม่เพิ่มขึ้น โลกจะต้องเลือกระหว่างการตัดสินใจใช้สารฮาลอนสำหรับดับเพลิงในที่จำเป็นกับผลกระทบที่เลวร้ายต่อชั้นโอโซน หรือยอมรับความเสี่ยงต่ออัตราการเกิดเพลิงไหม้ที่เพิ่มขึ้น

สารฮาลอน 1301 สามารถรองรับการดับเพลิงโดยใช้เทราดในพื้นที่ปิดล้อมและดับเพลิงโดยไม่ทำอันตรายต่อคนหรือทรัพย์สิน ซึ่งเป็นดาบสองคม ผู้เชี่ยวชาญเชื่อว่านักการเมืองอาจตัดสินใจว่าสารฮาลอน 1301 ไม่มีความสำคัญพอที่จะอดทนนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกต่อไป

บริษัทประกันบางแห่งยอมรับประเด็นดังกล่าวนี้แล้ว บริษัทประกันภัยหลายแห่งในสหรัฐอเมริกาได้ยกเลิกข้อเสนอทั้งหมดจากตัวแทนจำหน่ายเครื่องดับเพลิงที่ใช้สารฮาโลเจนในการดับเพลิง และการสูญเสียที่เกิดจากการจัดการป้องกันภัย โดยพิจารณาทางเลือกที่ใช้สารชนิดอื่นแทนสารฮาลอนในกรณีที่มีการสูญเสียอย่างใหญ่หลวง ผู้รับประกันภัยของบริษัทนอร์ทเทิร์น-เทเลคอมตกลงที่จะให้การคุ้มครองความเสี่ยงอันเกิดจากเพลิงไหม้ด้วยการติดตั้งเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีมูลค่ากว่า 10 ล้านเหรียญสหรัฐแทน โดยไม่ต้องการเครื่องดับเพลิงที่มีสารฮาลอน

รูปที่ 14 *แสดงการใช้สิ่งอื่นทดแทนสาร CFC ร่วมกับการอนุรักษ์ ได้แก่ การใช้สาร HCFC และ HFC และการใช้สารทดแทนที่ไม่ใช่สารฮาโลคาร์บอน*

ความสำคัญของการร่วมมือกันในโลก

ความก้าวหน้าในการค้นคว้าหาสารทดแทนสารเคมีที่ทำลายโอโซนดำเนินไปอย่างรวดเร็วตั้งแต่มีการลงนามในพิธีสารมอนทรีออลเมื่อ ค.ศ. 1987 เป็นไปในลักษณะความร่วมมือระหว่างประเทศและภายในประเทศอุตสาหกรรมด้วยกัน

ใน ค.ศ. 1987 สารทดแทนที่มีศักยภาพทดแทนสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ที่ใช้สำหรับทำความเย็นและทำความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้ามีอยู่เพียงไม่กี่ชนิด การค้นพบทางเลือกแทนสารฮาลอนที่ใช้ในการดับเพลิงยังเป็นปัญหาที่ยากจะพิจารณา ซึ่งพิธีสารต้องการเพียงเพื่อจำกัดการผลิตและการบริโภคสารฮาลอนเหล่านี้ ถึงแม้ว่าด้วยโมเลกุลต่อโมเลกุลแล้ว สารฮาลอนสามารถทำลายโอโซนได้ 3–10 เท่าพอ ๆ กับสาร CFC ก็ตาม

2 ปีต่อมา คณะประเมินผลทางเทคนิคเพื่อสำรวจหาสารทดแทนรายงานว่า สารควบคุม 5 ชนิดภายใต้พิธีสารมอนทรีออล สามารถจำกัดการใช้ให้ลดลงได้อย่างน้อยที่สุด ร้อยละ 95 ใน ค.ศ. 2000 นั่นย่อมหมายถึง การเร่งพัฒนาเทคโนโลยีและเทคนิคใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจทำให้สามารถกำจัดสาร CFC ได้หมดสิ้นก่อนหน้านั้น แม้ว่ายังไม่มีสารเคมีชนิดใดที่มีคุณสมบัติเหมือนกับสารฮาลอนสำหรับใช้ในการป้องกันเพลิงไหม้ก็ตาม แต่การใช้วิธีดั้งเดิมและการใช้มาตรการป้องกันเพลิงไหม้แบบต่าง ๆ จะช่วยให้สารฮาลอนหมดไปได้ก่อน ค.ศ. 2005

หลายฝ่ายได้ร่วมมือกันเร่งรัดพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับโอโซน บริษัทค้าสารเคมีระหว่างประเทศได้จัดทำข้อตกลงร่วมกันเพื่อทดสอบความเป็นพิษของสารเคมีที่เป็นทางเลือกใหม่หลายชนิด กระบวนการดังกล่าวประสบความสำเร็จอย่างงดงามในการสรรหาสารทดแทนในเชิงการค้าให้มีใช้ได้ต่อไป ข้อตกลงอีกประเด็นหนึ่งคือการทดสอบสารเคมีที่เป็นทางเลือกใหม่นี้ว่าสิ่งแวดล้อมยอมรับได้หรือไม่ ด้วยการศึกษาอำนาจของสารที่มีต่อการทำลายโอโซน ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ระดับความเสียหายที่ทำให้ชั้นบรรยากาศเสื่อมถอยลงเมื่อเทียบกับสารอื่น และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อสารเหล่านี้สลายตัว มีความร่วมมือกันในการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ผู้ผลิตตู้เย็นและเครื่องทำความเย็นเกือบทุกยี่ห้อที่วางขายในสหรัฐอเมริกา ร่วมมือกับรัฐบาลในการแสวงหาสารประกอบชนิดอื่นที่นำมาใช้แทนสาร CFC

หน่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกาและกระทรวงกลาโหมได้จัดตั้งโครงการอุตสาหกรรมรัฐบาลเพื่อพัฒนาทางเลือกใหม่ในการดับเพลิงแทนสารฮาลอนเพื่อรักษาโอโซนไว้ อีกข้อตกลงหนึ่งคือการประเมินสารทดแทนที่ใช้แทนสาร CFC ว่าสามารถใช้เป็นวัสดุฉนวนกันไฟฟ้ารั่วในอาคารได้หรือไม่

การร่วมมือฉันมิตรเพื่อรักษาโอโซน

ผลดีด้านการเงินในการค้นพบสารทดแทน

ผลดีด้านการเงินในการลดการใช้สาร CFC และสารฮาลอนย่อมมีมากกว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลดสารเหล่านี้อย่างไม่ต้องสงสัย การลดสารดังกล่าวก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพ เกษตรกรรม และสิ่งแวดล้อม แต่เป็นเรื่องยากหากจะนำมาตีราคากับคนจำนวนมากมายที่สามารถหลีกเลี่ยงการเป็นมะเร็งได้ หรือระบบนิเวศที่ไม่ถูกทำลายจากรังสี UV-B

ถึงแม้ทางเลือกเชิงเทคนิคส่วนใหญ่เพื่อยุ ิกตรใช้สาร CFC จะต้องการเงินทุนในขั้นเริ่มต้น แต่บางทางเลือกจะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าในขั้นสุดท้าย หรืออาจใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณ ์ กล่าวคือร้อยละ 50 แรกของการลดการใช้สาร CFC ในโลกต้องการการลงทุนใหม่ที่มีค่าใช้จ่ายพอประมาณหรือใช้จ่ายเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งจะก่อให้เกิดความยุงเห่ยิงทางธุรกิจ และต้องสละเงินทุ นจำนวนเล็กน้อยจำนวนหนึ่งไป คาดว่าการลดการใช้สาร CFC และสารฮาลอนยังต้องดำเนินต่อไปอีกมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารทดแทนสาร CFC ที่จัดหามาได้ในอนาคตด้านราคา ความปลอดภัย ประสิทธิภาพของพลังงาน และราคาของอุปกรณ์และผลิตภัณ ในการปรับเปลี่ยนระบบ การใช้สารทดแทนจะนำไปสู่การประหยัดเงินจำนวนหนึ่ง การนำสารไฮโดรคาร์บอนมาใช้แทนสาร CFC ในรูปของสารละอองไอนั้นในทางการผลิตจะถูกกว่าสาร CFC ที่เป็นตัวทำละลายหลายชนิดในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ โดยสามารถกำจัดออกได้อย่างง่ายดายด้วยกระบวนการดูแลรักษาความเย็นที่ดีกว่าและสิ้นเปลืองน้อยกว่า การผสมกันระหว่างสารทดแทนที่ใช้เป็นสารทำความเย็นจะทำให้ระบบการทำความเย็นได้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ยังผลให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศที่กำลังวางแผนเพื่อจะใช้ตู้เย็นเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากการใช้ตู้เย็นเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องขยายโครงสร้างพื้นฐานด้านกำลังไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม คณะผู้ตรวจสอบทางเศรษฐกิจภายใต้พิธีสารมอนทรีออลได้เตือนว่า การยุติการใช้สาร CFC อย่างรวดเร็วที่ใช้เวลาน้อยกว่า 10 ปี จะเพิ่มค่าใช้จ่ายอย่างมากมายจากการสละเงินลงทุนในการผลิตสาร CFC และการใช้เทคโนโลยี ด้วยแผนการดังกล่าวโครงการระยะสั้นเกินไปนั้นทำให้ไม่มีเวลาพัฒนาตู้เย็นสำหรับใช้ในบ้านให้มีประสิทธิภาพกับการใช้พลังงานมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มราคาผลิตภัณ โดยไม่มีการหักลบค่าใช้จ่ายต้นทุนกระแสไฟฟ้า อีกทั้งยังทำให้โลกร้อนขึ้นอันเนื่องจากโรงไฟฟ้าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

ผู้ผลิตและผู้ใช้สาร CFC ในญี่ปุ่นได้รณรงค์ส่งเสริมการลดการใช้สาร CFC ในขณะที่ผู้ผลิตสารเคมีในประชาคมยุโรปประกาศข้อตกลงร่วมกันว่าจะไม่ขายหรือออกใบอนุญาตสำหรับเทคโนโลยีเพื่อการผลิตสาร CFC และสารฮาลอนให้แก่ประเทศที่ไม่ได้ร่วมลงนามในพิธีสาร ข้อตกลงนี้ปัจจุบันบริษัทดูปองต์ในสหรัฐอเมริกาและผู้ผลิตในออสเตรเลียได้นำไปใช้ ซึ่งบริษัทเหล่านี้เป็นตัวแทนใหญ่ในการผลิตสาร CFC ของโลก

เห็นได้ชัดเจนว่าผู้ใช้สาร CFC ในหลายประเทศได้ประกาศนโยบายของบริษัทที่จะลดหรือจำกัดการใช้ผลิตภัณ ์ที่ทำลายโอโซน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในพิธีสารได้รวดเร็วมากขึ้น บริษัทซีเมนส์ซึ่งเป็นบริษัทรายใหญ่ที่ผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศเยอรมนีได้นำตัวทำละลายแอลกอฮอล์บางชนิดมาใช้แทนสาร CFC 113 การตัดสินใจในครั้งนี้หมายความว่า ส่วนประกอบของแผงวงจรไฟฟ้าทั้งหมดต้องสามารถใช้การได้กับแอลกอฮอล์ ดังนั้นจึงเป็นการบีบบังคับให้ผู้จำหน่ายสินค้าของบริษัทซีเมนส์ต้องเสี่ยงกับการสูญเสียทางด้านธุรกิจ สิ่งที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ผู้ผลิตรายเล็กได้ประโยชน์จากการที่บริษัทซีเมนส์คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

อุตสาหกรรมสารเคมีในยุโรปมีความตั้งใจที่จะสร้างทางเลือกที่เป็นประโยชน์แก่ทุกประเทศเช่นเดียวกันกับเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นมาให้เป็นที่ยอมรับ แต่หลายบริษัทกำลังเพิกเฉยต่อกฎระเบียบเรื่องความลับทางการค้าที่เกี่ยวกับผลิตภัณ ์ใหม่ ๆ และเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับโอโซน ซึ่งมีประโยชน์ด้วยกันทั่วโลก

การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ และการทำลาย CFC และฮาลอน

การแทรกแซงของรัฐบาลอาจมีความจำเป็นในประเทศกำลังพัฒนาและประเทศพัฒนาแล้ว โดยการนำสาร CFC และสารฮาลอนที่มีอยู่มาปรับปรุงและนำกลับมาใช้ใหม่ แม้ว่าโครงการสำคัญ ๆ ในหลายประเทศจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของหน่วยงานของรัฐและเอกชน ซึ่งแผนการในโครงการนี้ไม่อาจดำเนินการให้เป็นผลสำเร็จได้ทั่วโลกจนกว่าโครงสร้างพื้นฐานที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่จะให้ผลดีด้านค่าใช้จ่าย

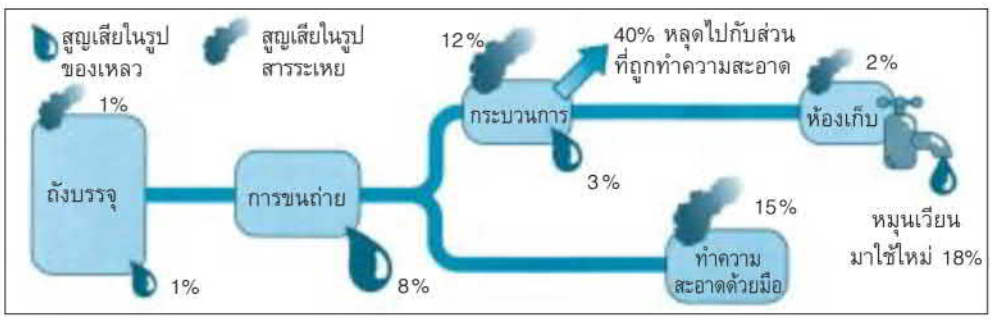
การสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจหรือระเบียบข้อบังคับยังไม่เพียงพอ ตลาดยังไม่ยอมรับผลิตภัณ ์ที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ตลาดคงยังต้องการสาร CFC และสารฮาลอนใหม่ที่มีคุณสมบัติได้มาตรฐานและบริสุทธิ์ กฎข้อบังคับของรัฐบาลมักเข้มงวดเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมและขนถ่ายสาร CFC ที่ใช้แล้ว การปรับปรุงและการนำสารทำความเย็นหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เช่น สาร CFC 12 เป็นเรื่องที่ยากมาก แม้ว่าจะมี

วิธีที่เหมาะสมตามทฤษฎีซึ่งสามารถนำสารทำความเย็นที่ใช้แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ถึงร้อยละ 92-99 แต่อาจเป็นไปไม่ได้ที่จะบรรลุเป้าหมายเช่นนั้น อุปกรณ์ที่ปรับปรุงแล้วนำกลับมาใช้ใหม่มีการโฆษณาเพียงเล็กน้อยและมีราคาแพง และซึ่งบางทีมีผู้ค้าย่อยเพียงรายเดียวตลอดทั้งปี รัฐบาล หรือโดยเฉพาะบริษัทจำเป็นต้องรวบรวมจัดเก็บสารทำความเย็นปริมาณเล็กน้อยที่ใช้แล้วจากบ้าน และจำนวนมากมายจากอุตสาหกรรม การพัฒนาการบริการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ให้เหมาะสมในแต่ละประเทศและระหว่างประเทศ จะต้องกระตุ้นด้วยแรงจูงใจทางเศรษฐกิจหรือออกกฎหมายเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติ ในขณะเดียวกันควรบำรุงรักษาสารทำความเย็นไม่ให้รั่วซึมในขณะผลิต ซ่อมแซม และทดสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ และเป็นการประหยัดเงินด้วย

มีเทคโนโลยีมากมายที่เป็นข้อตกลงเพื่อทำลายทั้งสาร CFC และสารฮาลอน แต่สิ่งที่เป็นความต้องการนั้นคือ ระบบการจัดการกับสารเคมีเหล่านี้ควรเริ่มตั้งแต่การนำมาใช้จนสูญสลายไป ควรทำบันทึกประวัติเครื่องใช้แต่ละชิ้นตามเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อตรวจสอบตั้งแต่ช่วงการผลิตจนถึงเวลาที่กำจัดทิ้ง ระบบการจัดการเช่นนี้อาจจะได้รับการพัฒนาให้เชื่อมโยงกันหรือภายใต้ความช่วยเหลือของโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติก็ได้

ในกรณีของสารฮาลอนที่มีอยู่ในโลก ประมาณได้ว่ามีจำนวน 110,000 ตัน ผู้เชี่ยวชาญทางเทคนิคเชื่อว่าคลังเก็บสารนี้ควรจัดการในระดับชาติ เพื่อนำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำในปริมาณสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และใช้ด้วยระบบใหม่ที่จำเป็น จำกัดการแพร่กระจายในระหว่างการบำรุงรักษาหรือรื้อถอดอุปกรณ์ ตรวจวัดปริมาณสารฮาลอนที่แพร่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศ ตลอดจนทำลายส่วนที่ไม่สามารถฟื้นคืนสภาพเดิมได้จนก่อปัญหาปนเปื้อน

การสังเกตการณ์อย่างเป็นระบบเกี่ยวกับสารเคมีที่มีคลอรีนและโบรมีนทุกชนิดเป็นส่วนประกอบนั้นจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะคลอรีนสามารถเข้าไปอยู่ในชั้นบรรยากาศและเป็นเหตุให้เกิดการทำลายโอโซน อีกทั้งทำให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้น สิ่งเหล่านี้อาจกระตุ้นให้ชุมชนที่ทำงานด้านวิทยาศาสตร์ช่วยกันประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีเหล่านี้



รูปที่ 15 *แสดงตัวทำละลาย CFC 113 ที่สูญเสียไปในระหว่างการใช้ร้อยละ 82 ซึ่งเหลือเพียงร้อยละ 18 เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และเพิ่มศักยภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึงร้อยละ 50*

ทางเลือกนโยบายในอนาคต

โลกได้เริ่มดำเนินการที่สามารถปฏิบัติได้ทันทีเพื่อชะลอการทำลายชั้นโอโซนให้กลับฟื้นคืนสภาพอย่างรวดเร็ว

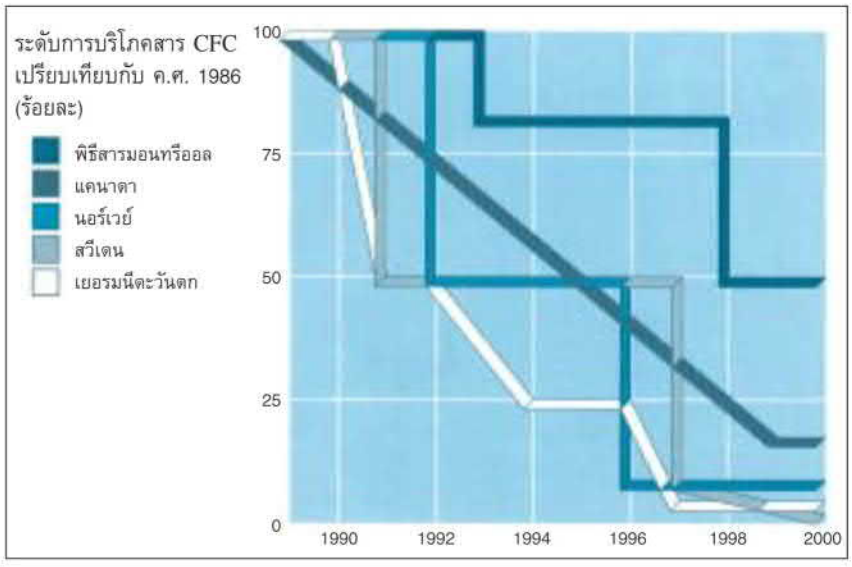
ประเทศอุตสาหกรรมหลายประเทศกำลังลดการผลิตและการใช้สาร CFC และสารฮาลอนที่ทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ บางประเทศวางแผนที่จะกำจัดให้หมดสิ้นก่อนเวลาที่พิธีสารมอนทรีออลได้กำหนดไว้ เช่น ประเทศสวีเดนต้องการยุติการใช้สารควบคุม CFC ให้หมดสิ้นภายใน ค.ศ. 1994 ซึ่งล่วงหน้าไปก่อน 6 ปี (ตามกำหนดจะให้หมดใน ค.ศ. 2000) ในขณะเดียวกันหลายประเทศกำลังพัฒนาเริ่มใช้สารเคมีเหล่านี้มากขึ้นเพราะต้องการยกระดับมาตรฐานการครองชีพ

ในการฟื้นสภาพชั้นโอโซน ผู้ที่รับผิดชอบโดยตรงก็คือประเทศพัฒนาแล้ว ซึ่งเป็นผู้ที่สร้างปัญหาที่ใหญ่หลวงนี้ รวมทั้งประเทศกำลังพัฒนาที่ปรารถนาจะมีผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ ให้ประชาชนในประเทศได้ใช้ (ซึ่งประเทศเหล่านี้คิดว่าเป็นความจำเป็นสำหรับโลกพัฒนาแล้ว)

ประเทศกำลังพัฒนาที่ตกอยู่ในภาวะตึงเครียดทางเศรษฐกิจไม่สามารถที่จะซื้อหาและติดตั้งเทคโนโลยีใหม่ที่ไม่ใช้สาร CFC ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคมักได้รับการพัฒนาในประเทศร่ำรวย ซึ่งเป็นผู้ผลิตและบริโภคสาร CFC เป็นส่วนใหญ่

พิธีสารมอนทรีออลเป็นที่ยอมรับกันว่า การหยุดยั้งการทำลายชั้นโอโซนเป็นปัญหาระดับโลกที่ต้องการการแก้ไขร่วมกันในระดับโลก สำหรับประเทศกำลังพัฒนาการก้าวกระโดดข้ามสิ่งที่ล้าสมัย จึงต้องการสิ่งใหม่ ๆ รวมทั้งเทคโนโลยีที่ก่อมลพิษ และวิธีการต่าง ๆ เพื่อพิทักษ์สภาพแวดล้อม กลไกต่าง ๆ ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่จำเป็นจากนานาประเทศ ตลอดจนการอบรมเชิงเทคนิค การกระตุนท้างการค้า การร่วมมือกันและช่วยเหลือซึ่งกันทั้งในลักษณะพหุภาคีและทวิภาคี

กองทุนเริ่มแรกสำหรับการช่วยเหลือประเทศกำลังพัฒนาได้ก่อตั้งขึ้นโดยประเทศที่ลงนามในพิธีสารมอนทรีออลเมื่อเดือนมิถุนายน ค.ศ. 1990 กองทุนนี้อนุญาตให้ประเทศกำลังพัฒนาสามารถนำเงินอุดหนุนไปปรับปรุงมาตรฐานการครองชีพโดยจัดหาสิ่งอำนวยประโยชน์ ได้แก่ เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศที่ไม่ใช้สาร CFC เพื่อไม่เพิ่มการทำลายโอโซน



รูปที่ 16 ในประเทศอุตสาหกรรมบางประเทศยอมรับที่จะยุติและควบคุมการใช้สาร CFC เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ในพิธีสารมอนทรีออล

มีการเสนอแนะกลไกในการจัดหาทุนประเภทอื่นๆ ตั้งแต่การเพิ่มความช่วยเหลือด้านการพัฒนาแก่ต่างประเทศ จนถึงการจัดเก็บเงินค่าธรรมเนียมจากการใช้สาร CFC หรือการให้เงินอุดหนุนเล็กน้อยซึ่งอาจคิดเป็นร้อยละ 0.1 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ ถ้าข้อเสนอประการหลังนี้เป็นที่ยอมรับ คาดว่าจะสามารถจัดเก็บเงินได้ถึง 13,000 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี

รัฐบาลอาจจะใช้วิธีบังคับจัดเก็บค่าธรรมเนียมการนำส่ง CFC ก็ได้ หากคิดค่าธรรมเนียม 25 เซนต์ต่อ CFC จำนวน 1 กิโลกรัมซึ่งเทียบกับการทำลายชั้นโอโซนแล้ว คิดเป็นเงินมากกว่า 300 ล้านเหรียญสหรัฐในปีแรกทีเดียว ถ้าจัดเก็บค่าธรรมเนียมดังกล่าวตั้งแต่บัดนี้จนถึงปีที่ยุติการใช้สาร CFC และสารฮาลอน คือ ค.ศ. 2000 จะคิดเป็นเงินถึง 52 พันล้านเหรียญสหรัฐ

สถาบันเพื่อการพัฒนา รวมทั้งธนาคารโลก ธนาคารเพื่อการพัฒนาแห่งอเมริกา ธนาคารเพื่อการพัฒนาแห่งเอเชีย และธนาคารเพื่อการพัฒนาแห่งแอฟริกา ได้ส่งเสริมการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่จำเป็นในระหว่างช่วงเวลาการเปลี่ยนจากการใช้สาร CFC ไปยังการใช้สารทดแทนที่ไม่ทำลายโอโซน โครงการนำร่องใหม่ที่ชื่อโครงการอำนวยความสะดวกเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก (Global Environment Faclity—GEF) เกิดขึ้น เพื่อให้ความช่วยเหลือด้านการออกเงินกู้โดยคิดดอกเบี้ยอัตราต่ำแก่ประเทศกำลังพัฒนาเพื่อพิทักษ์และจัดการสิ่งแวดล้อม การพิทักษ์ชั้นโอโซนเป็นหนึ่งในเป้าหมายที่กำหนดไว้เป็นพิเศษ

ตารางที่ 1 *แสดงระยะเวลาสิ้นสุดการใช้สาร CFC ที่คาดไว้ ในขณะที่สารบางชนิดต้องการเร่งให้หมดไป ช่วงเวลาที่แสดงในตารางนี้ไม่ได้สะท้อนให้เห็นการรีบเร่งที่จะลดการแพร่กระจายสาร CFC ก่อนที่จะเกิดการทำลายชั้นโอโซนอันบอบบาง*

	ส่วนการใช้งาน	ระยะเวลา
เครื่องทำความเย็น		1989–2015
	ใช้ภายในบ้าน	1995–1999
	การค้าขาย/ขายปลีก	1989–1999
	การขนส่ง	1989–2010
	ห้องเย็น	1989–2005*
	เครื่องปรับอากาศ	1991–2015
	การอุตสาหกรรม	1989–2010
	ปั๊มความร้อน	1989–2005*
	เครื่องปรับอากาศรถยนต์	1994–2010*
โฟมอ่อน		1989–1993
โฟมแข็ง		1989–1995
สารละลาย		
	อุปกรณ์ไฟฟ้า	1995–1997
	การทำความสะอาดโลหะ	1993–1996
	การทำความสะอาดแบบแห้ง	1993–1995
อื่นๆ		
	ละอองไอ (ไม่ใช้ทางการแพทย์)	1990–1995
	ละอองไอ (ใช้ทางการแพทย์)	1990–1995
	การนึ่งฆ่าเชื้อโรค	1990–1995

* ทั้งหมดนี้อาจหมดไปในไม่ช้า ถ้าเปลี่ยนมาใช้สาร HFC หรือ HCFC ซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนา

ความช่วยเหลือระหว่างประเทศอาจจะรวมถึงมาตรการดังต่อไปนี้

การสนับสนุนจากแหล่งเงินกู้หลายแหล่งตามเป้าหมายของพิธีสาร เช่น โครงการพัฒนาสารทดแทนที่มีศักยภาพใช้แทนสาร CFC หรือโดยการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ต้องการเงินลงทุนอย่างเร่งด่วน การกู้เงินสำหรับใช้ในโครงการใช้สาร CFC ต้องเข้มงวด ในขณะที่โครงการที่เป็นทางเลือกด้านเทคโนโลยีทางเลือกอื่นๆ ควรได้รับการสนับสนุน

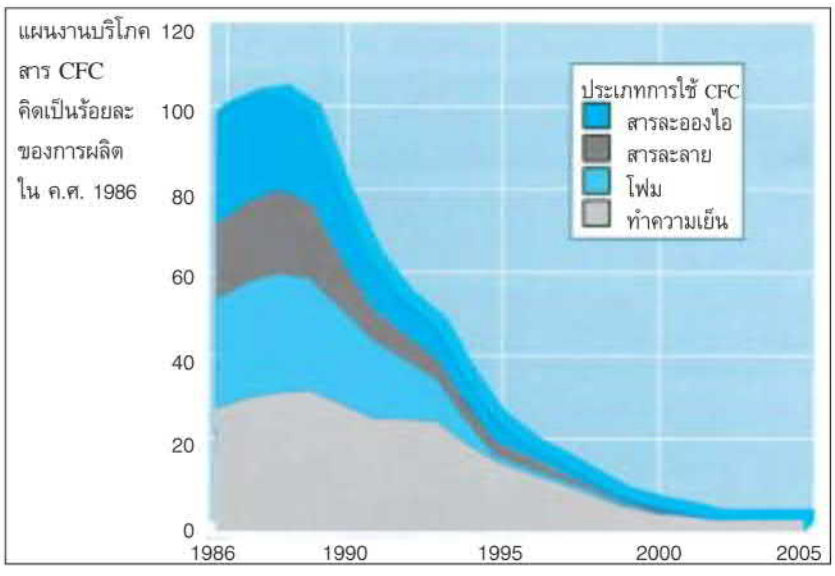
ประเทศที่ลงนามในพิธีสารควรได้สิทธิ์ในการนำเข้าสารทดแทนสาร CFC ที่ผลิตจากประเทศกำลังพัฒนาเข้าสู่ตลาดของประเทศเหล่านี้ได้ ในขณะเดียวกันต้องเข้มงวดกับสินค้าบรรจุภัณฑ์ที่มีสาร CFC เป็นส่วนประกอบ

ประเทศพัฒนาแล้วควรช่วยเหลือด้วยการให้อนุญาตหรือให้สิทธิในการถ่ายโอนเทคโนโลยีสารทดแทน ไม่ว่าจะเป็นทางตรง ด้วยการซื้อขายสิทธิ์หรืออนุญาตให้ใช้สิทธิ์ในผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ๆ แก่ประเทศกำลังพัฒนา หรือในทางอ้อมโดยการผ่อนผันการเก็บภาษี หรือผ่อนปรนระเบียบแก่ผู้ถ่ายโอนเทคโนโลยีทดแทนสาร CFC โดยเฉพาะ

ประเทศกำลังพัฒนาควรได้รับความช่วยเหลือให้สามารถเข้าถึงการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่ใช้แทนสาร CFC ทั้งในด้านเทคนิคและเศรษฐกิจที่เหมาะสมที่สุดตามความจำเป็นของประเทศนั้นๆ สิ่งช่วยเหลือเหล่านี้อาจรวมถึงข้อมูล การศึกษาวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนด้านที่ปรึกษา เงินอุดหนุน และการฝึกบุคลากรด้านเทคโนโลยีที่ไม่ใช้สาร CFC

การให้เงินอุดหนุนโดยตรงสำหรับผลิตภัณฑ์ไร้สาร CFC ตัวอย่างเช่น อนุญาตให้ผลิตสารทดแทนภายใต้เงื่อนไขที่ใช้กับตู้เย็นไร้สาร CFC

หนี้สินต่างประเทศนำมาเชื่อมโยงกับการควบคุมการใช้สาร CFC การยินยอมทำตามพิธีสารสามารถนำมาพิจารณาตามความจำเป็นหรือเป็นเงื่อนไขสำหรับตัดหนี้ออกจากบัญชีหนี้สินระหว่างประเทศได้



รูปที่ 17 *การนำกลับมาใช้ใหม่ การเก็บรักษา และการใช้สารทดแทนสาร CFC สามารถลดการบริโภคสาร CFC อย่างรวดเร็วตั้งแต่ ค.ศ. 1986 จนเหลือร้อยละ 5 ใน ค.ศ. 2005*

ยังคงมีความห่วงใยที่ว่าเทคโนโลยีที่ใช้กับสาร CFC ซึ่งเลิกใช้ไปแล้ว อาจเคลื่อนย้ายไปยังประเทศกำลังพัฒนา โครงการยุติการใช้สาร CFC ที่ตกลงหรือประกาศออกไปแล้วนั้น หมายความว่าโรงงานจำนวนมากที่ผลิตสาร CFC ทั่วโลกจะหยุดใช้อุปกรณ์ที่ใช้สาร CFC กลาง ค.ศ. 1990 ซึ่งจะไม่มีบริษัทใดที่ให้คำมั่นสัญญาไว้แล้วเทขายสินค้าที่มีสาร CFC หรือฮาลอนไปยังประเทศอื่น

ประเทศอุตสาหกรรมต้องสร้างความมั่นใจว่าในการกำจัดสาร CFC ต้องไม่หมายความว่าตนได้ขยายการใช้สาร CFC ไปยังประเทศกำลังพัฒนา รัฐบาลและภาคอุตสาหกรรมในประเทศอุตสาหกรรมเหล่านั้นต้องร่วมมือกันขัดขวางการขายอุปกรณ์ที่ใช้สาร CFC ที่มีมากเกินไปให้แก่ประเทศกำลังพัฒนา

มีความขัดแย้งกันระหว่างวัตถุประสงค์โลกในพิธีสารและความต้องการของผู้ผลิตที่จะชดเชยต้นทุนในการพัฒนาเทคโนโลยีสารทดแทนที่ใช้แทนสาร CFC ผ่านทางใบอนุญาตและการเรียกค่าลิขสิทธิ์ ซึ่งผู้ผลิตสามารถแสวงหากำไรเพื่อชดเชยต้นทุนการผลิตเทคโนโลยีเหล่านี้ แต่ความพยายามที่จะชดเชยต้นทุนอย่างรวดเร็วทำให้เทคโนโลยีไร้สาร CFC มีราคาสูงขึ้น ดังนั้นจึงเป็นการยากที่ประเทศกำลังพัฒนาจะนำสารดังกล่าวมาใช้ การช่วยเหลือทางเศรษฐกิจแบบทวิภาคีและพหุภาคีสามารถช่วยขยายเทคโนโลยีที่ไม่ใช้สาร CFC ได้

ปัญหาอีกประการหนึ่งที่อาจเกิดขึ้นจากการถ่ายโอนเทคโนโลยีก็คือ ผู้มีส่วนร่วมมักไม่ค่อยให้ความสนใจ โรงงานผู้ผลิตเทคโนโลยีที่ไม่ใช้สาร CFC จะแข่งขันกันเองโดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดโลก ได้แก่ อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านสำหรับผู้บริโภค นโยบายแห่งชาติจำเป็นต้องหยุดการขวางกั้นการถ่ายโอนเทคโนโลยี ในขณะเดียวกันจะต้องสร้างแรงจูงใจและคุมครองบริษัทที่ผลิตเทคโนโลยีที่ใช้สารทดแทนสาร CFC รวมทั้งปกป้องตลาดสินค้าดังกล่าวอย่างรวดเร็วเท่าที่จะทำได้

แต่ยังคงมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับขอบเขตการทำลายโอโซนในอนาคตอยู่ การลดลงของชั้นโอโซนจะเลวร้ายลงเรื่อยๆ อย่างน้อยที่สุดจนกระทั่งกลางศตวรรษหน้าโดยไม่รู้ว่าที่คาดการณ์ไว้ในปัจจุบันจะพลิกความคาดหมายหรือไม่ แม้ว่าความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับการทำลายโอโซนได้ก้าวหน้าไปอย่างมากตั้งแต่พิธีสารมอนทรีออลเริ่มต้นลงนาม แต่ปัญหาหลายแง่ยังคงต้องการสืบค้นอย่างครำ่เคร่ง ที่สำคัญคือนโยบายแห่งชาติและการดำเนินงานด้านอุตสาหกรรมควรมีความยืดหยุ่น เพื่อให้สามารถสร้างประโยชน์ได้จากความเข้าใจที่มีเพิ่มขึ้น และสามารถนำไปปฏิบัติได้เมื่อจำเป็น

แหล่งอ้างอิง

United Nations Environment Programme. *Economic Panel Report* (pursuant to Article 6 of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer). Nairobi, UNEP, July 1989.

United Nations Environment Programme. *Environmental Effects Panel Report* (pursuant to Article 6 of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer). Nairobi, UNEP, November 1989.

United Nations Environment Programme. *Technical Progress on Protecting the Ozone Layer* (6 volumes pursuant to Article 6 of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer).

Report of the Technology Review Panel

Refrigeration, air conditioning and heat pumps Technical Options Report

Flexible and rigid foams Technical Options Report

Electronics, degreasing and dry cleaning solvents Technical Options Report

CFCs for aerosols, sterilants and miscellaneous uses Technical Options Report

Halon fire-extinguishing agents Technical Options Report Nairobi, UNEP, 1991.

United Nations Environment Programme. *The Ozone Layer* (UNEP/GEMS Environment Library No. 2). Nairobi, UNEP, 1987.

National Aeronautics and Space Administration; National Oceanic and Atmospheric Administration; United Kingdom Department of the Environment; United Kingdom Department of the Environment; United Nations Environment Programme; World Meteorological Organization. *Scientific Assessment of Stratospheric Ozone: 1989.* Washington, DC, NASA; Washington, DC, NOAA; London, DoE; Nairobi, UNEP; Geneva, WMO; 1989.

ผู้จัดทำ

ผู้แปล

1. นางเยาวณี บญวรรณโน
2. นางปุญญาพร อัครวิเนค
3. นางเพ็ญศรี ปานรังศรี
4. นางสาววัลลภา โสภาค
5. นางพิมพา ใจยงค์
6. นางภัทรตีณา บุญชูชีพ

ผู้ตรวจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วนิดา จีนศาสตร์

บรรณาธิการที่ปรึกษา นางสาวจินตนา ใบกาซูยี
ผู้อำนวยการสถาบันการแปลหนังสือ

บรรณาธิการอำนวยการ นางสาวอุษณีย์ วัฒนพันธ์

บรรณาธิการ นางสาวมะลิ เกือบสันเทียะ

พิมพ์ที่โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว นายวิชัย พยัคฆโส ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา พ.ศ. 2544

ผู้แปล

1 พิมพา ใจยงค์
2 เพ็ญศิริ ปานรังศรี
3 ภัทรตีณา บุญชูชีพ
4 วัลลภา โสภาค
5 เยาวณี บุญวรรณโน
6 ปุญญาพร อัครวิเนค

หนังสือชุดสิ่งแวดล้อมของ UNEP/GEMS