

## 2.1 คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon ; CFC<sub>u</sub>) และ ฮาลอน (Halon)

### 2.1.1 คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon ; CFC<sub>u</sub>)

คลอโรฟลูออโรคาร์บอน หรือ CFC<sub>u</sub> เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีอะตอมของ คลอรีน, ฟลูออรีน และคาร์บอนในโมเลกุล โดย CFC<sub>u</sub> เป็นสารประกอบที่ถูกพัฒนามาจากสาร ไฮโดรคาร์บอน (Simple Hydrocarbon) โดยการแทนที่ด้วยอะตอมของฮาโลเจน (Halogen-Atom) ซึ่งเป็นวิธีที่รู้จักกันมาตั้งแต่ ทศวรรษ 1890 สำหรับวิธีการสังเคราะห์สาร CFC<sub>u</sub> ได้ถูก ค้นพบโดย Dr.F.Swartz นักวิทยาศาสตร์ ชาวเบลเยียม แห่ง University of Ghent

ในปี ค.ศ. 1930 สารทำความเย็นที่นิยมใช้กันมีอยู่ 7 ชนิด คือ แอมโมเนีย, คาร์บอนไดออกไซด์, เมทิลคลอไรด์, เอธิลคลอไรด์, เมทิลลีนคลอไรด์, ไอโซบิวเทน และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่สารเหล่านี้มีคุณสมบัติบางอย่างที่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารทำความเย็น เช่น เป็นพิษ, ติดไฟง่าย เป็นต้น จึงทำให้มีการพยายามคิดค้นสารตัวใหม่ที่เหมาะสมมากกว่า จนกระทั่งสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนได้ถูกผลิตขึ้นเมื่อ Thomas Midgley และ Albert Henne แห่ง General Motors ต้องการตัวทำความเย็นที่ไม่เป็นพิษและเหมาะสมกับ เครื่องปรับอากาศ โดยได้ร่วมกับบริษัท Du-Pont วิจัยในการผลิตสาร Dichlorofluoromethane ได้สำเร็จเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1931 และต่อมาสารนี้มีชื่อทางการค้าและจดลิขสิทธิ์ ของบริษัท Du-Pont de Numours ในนาม Freon-12 และด้วยคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด กล่าวคือเป็นสารที่คงตัวมาก, ไม่เป็นพิษ, ไม่มีคุณสมบัติที่กัดกร่อน, ไม่ไวไฟ, มีแรงดึงผิวต่ำ, เป็นฉนวนความร้อนและไม่เป็นสื่อไฟฟ้า และนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติของเทอร์โมไดนามิกส์ เหมาะสมแก่การเป็นสารทำความเย็น ดังนั้นสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนตัวอื่น ๆ (CFC-113, CFC-114, CFC-115) จึงถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมทั้งปริมาณการใช้ทั่วโลกก็เพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วเช่นกัน (วิระ มาวิจักขณ์, 2533 ; บุญจง ชาวสิทธิวงษ์และคณะ, 2533)

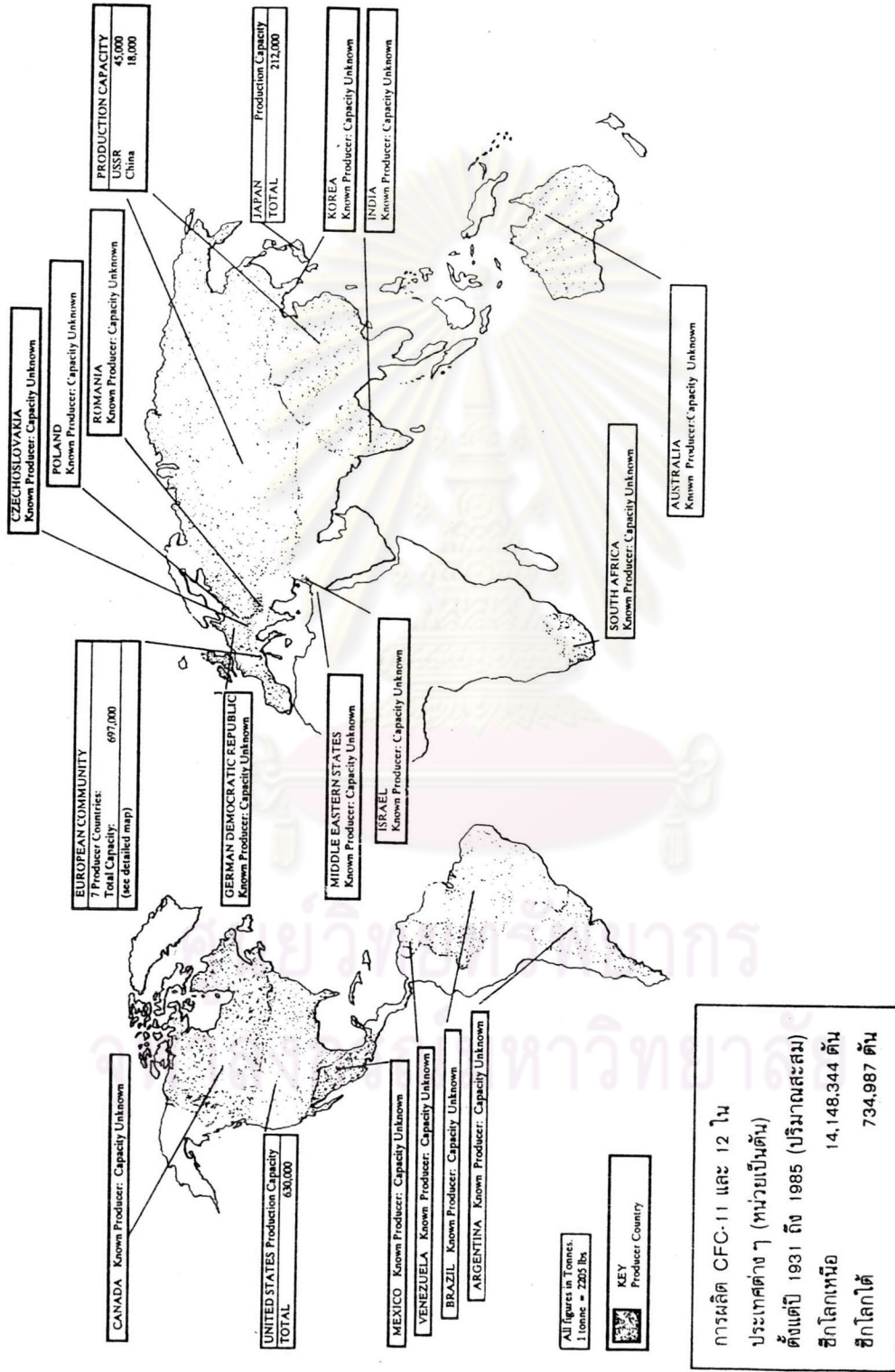
ในปัจจุบันนี้มีสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น CFC-11 ใช้เป็น สารเป่าโฟม, สารทำความเย็น, สารทำความสะอาด, สารขัดมัน; CFC-12 ใช้เป็นสารทำ

ความเย็น, สารเป่าโฟม, สารขับเคลื่อน; CFC-113 ใช้เป็นสารเป่าโฟม, สารทำความเย็น, สารทำความสะอาด; CFC-114 ใช้เป็นสารทำความเย็น, สารเป่าโฟม, สารขับเคลื่อน; CFC-115 ใช้เป็นสารทำความเย็น (วิระ มาวิจักชณ์, 2533)

#### 2.1.1.1 ผู้ผลิตและใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน

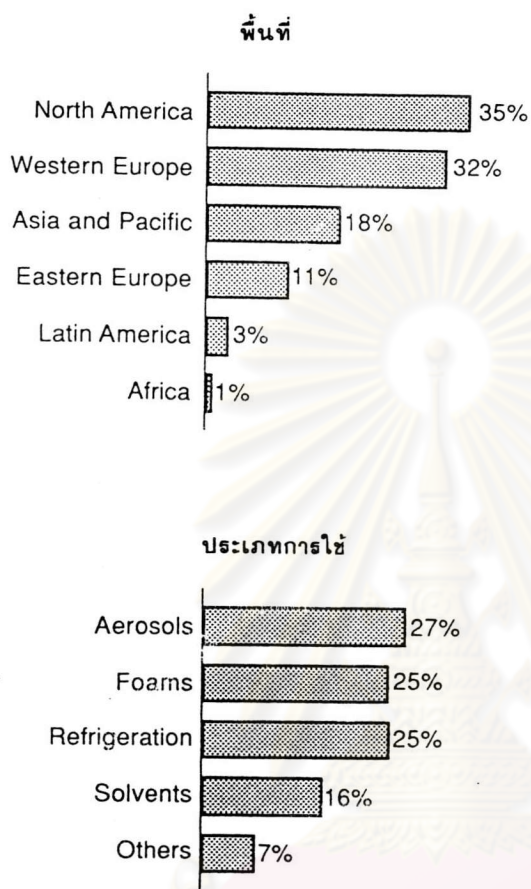
ในปี พ.ศ. 2529 มีการผลิตสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน ประมาณ 1.1 ล้านตัน ใน 25 ประเทศ (วิระ มาวิจักชณ์, 2533) ซึ่ง 5 ประเทศผลิตถึงสามในสี่ของการผลิตของโลก ซึ่งผู้ผลิตส่วนใหญ่อยู่ในซีกโลกเหนือ ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุด ตามด้วยสหราชอาณาจักร และการผลิตในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะ CFC-113 ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (ดังภาพที่ 1) ส่วนผู้ใช้รายใหญ่ก็คือ อเมริกาเหนือและยุโรปตะวันตก และการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนของแต่ละประเทศจะแตกต่างกันเช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้สารนี้มากในเครื่องปรับอากาศรถยนต์, ในญี่ปุ่นใช้มากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และนอกจากนี้ยังมีการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนในกระป๋องสเปรย์, ตู้เย็น, ใช้เป่าโฟม-พลาสติก ประเทศกำลังพัฒนาส่วนมากใช้ในปริมาณที่ไม่มากนัก (ดังภาพที่ 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1 ผู้ผลิต CFCs ของโลก  
(แหล่งที่มา : Federation of Swedish Industries, 2533)





ภาพที่ 2 ปี 1986 ผู้ใช้ CFC<sub>11</sub> แยกตามพื้นที่และประเภทการใช้  
(แหล่งที่มา : Federation of Swedish Industries, 2533)

### 2.1.2 ฮาลอน (Halon)

ฮาลอนเป็นสารประกอบที่โมเลกุลประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอน, ฟลูออรีน หรือ คลอรีน หรือโบรมีน หรือไอโอดีน ฮาลอนมีคุณสมบัติที่สามารถดับไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ตัวฮาลอนเองมีคุณสมบัติคือ ไม่นำไฟฟ้า, สลายตัวได้อย่างรวดเร็ว, ไม่ทิ้งคราบร่องรอย และปลอดภัยสำหรับมนุษย์ในการที่จะนำมาใช้ ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวนี้เองทำให้ฮาลอนถูกนำไปใช้ในการดับเพลิงในกิจการหลายประเภท เช่น ใช้เป็นเครื่องดับเพลิงสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์,



ระบบสื่อสาร, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, พืชภัณฑ์, เครื่องยนต์ของเรือและเครื่องบิน, การป้องกันเพลิงภาคพื้นดินของเครื่องบิน, สำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมทั่ว ๆ ไป และนอกจากนี้ในปัจจุบันก็ยังนิยมนำไปใช้กับเครื่องดับเพลิงขนาดเล็ก (แบบเคลื่อนย้ายได้) รวมถึงนำไปใช้ตามบ้านเรือนอีกด้วย

ยาลอนตัวแรกที่มนุษย์นำมาใช้เป็นสารดับเพลิงก็คือคาร์บอนเตตระคลอไรด์- (Carbontetrachloride ; Halon 104) ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ตั้งต่อก่อน ค.ศ. 1900 ต่อมาก็ได้มีการคิดค้นสารยาลอนตัวอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นสารดับเพลิง เช่น เมทิลโบรไมด์- (Methylbromide ; Halon 1001), คลอโรโบรโมมีเทน (Chlorobromomethane ; Halon 1011) แต่ยาลอนเหล่านี้พบว่าเป็นพิษต่อมนุษย์ในการนำมาใช้ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1947 Purdue Research Foundation ได้วิจัยสารดับเพลิงมากกว่า 60 ชนิด ซึ่งผลจากการวิจัยได้คัดเลือกยาลอน 4 ตัว เพื่อวิจัยต่อไปซึ่งได้แก่ Halon 1202 (Dibromodifluoromethane), Halon 1211 (Bromochlorodifluoromethane), Halon 1301 (Bromotrifluoromethane), Halon 2402 (Dibromotetrafluoromethane) และพบว่า Halon 1202 มีคุณสมบัติในการดับเพลิงมากที่สุดแต่ก็เป็นพิษมากที่สุดเช่นกัน ส่วน Halon 1301 มีคุณสมบัติในการดับเพลิงรองลงมาจาก Halon 1202 แต่มีพิษน้อยที่สุด (UNEP, 1989)

ในปัจจุบันนี้มียาลอนอยู่ 3 ชนิดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Halon 1211, Halon 1301, Halon 2402

ในปี 2529 มีการใช้ Halon ในโลก คือ Halon 1301 ประมาณ 10,000 ตัน (40%), Halon 1211 ประมาณ 14,000 ตัน (56%), Halon 2402 ประมาณ 1,000 ตัน (4%) ในจำนวนนี้ 80% อยู่ในเครื่องดับเพลิงที่ยังไม่ได้ใช้งาน (UNEP, 1989)

## 2.2 ปริมาณการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและยาลอนของประเทศไทย

เนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสมตามที่ได้อธิบายมาแล้วนั้น จึงทำให้มีการผลิตสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและยาลอนหลายชนิดเพื่อใช้กับงานด้านต่าง ๆ ให้เหมาะสม ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและยาลอนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และนอกจากนี้การใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนแต่ละชนิดในแต่ละประเทศก็มีลักษณะการใช้ที่แตกต่างกันตามตารางที่ 1, และตารางที่ 2

ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภทและเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจึงทำให้อุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการลงทุนและขยายตัวเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตารางที่ 3 , ตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน ต่อประชากรในประเทศพัฒนาปี 1986

ประเทศ	CFC - 11 (กก./คน)	CFC - 12 (กก./คน)	CFC - 113 (กก./คน)	Total (กก./คน)
สหรัฐอเมริกา	.34	.58	.31	1.22
ยุโรป	.47	.34	.12	.93
ญี่ปุ่น	.23	.29	.43	.91

แหล่งที่มา : กองควบคุมวัตถุพิษและเคมีภัณฑ์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม, วิระ มาวิจักขณ์, "O<sub>3</sub>, CFC และ Montreal Protocol", 2533

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้สาร CFC<sub>s</sub> ในประเทศอาเซียน : แยกตามประเภทอุตสาหกรรม (เปอร์เซ็นต์)

ประเภทการใช้งาน	เกาหลี (2531)	ไต้หวัน (2531)	ฮ่องกง (2532)	สิงคโปร์ (2532)	มาเลเซีย (2532)	ไทย (2531)	อเมริกาเหนือ (2531)
การล้าง (อิเล็กทรอนิกส์ และโลหะ)	22	23	50	50	49	38	15
การทำความเย็น	20	31	30	35	25	47	45
การทำโฟม	45	41	15	10	14	8	20
สารขับเคลื่อน (สเปรย์)	11	6	5	5	5	7	1
อื่น ๆ	2	-	-	-	7	-	20
รวม (เมตริกตันต่อปี)	15,958	16,256	3,292	6,960 <sup>a</sup>	5,877 <sup>b</sup>	4,030	n.a

แหล่งที่มา : Strategies, Policies and Practices for the Reduction of CFC Usage in the Electronics Industries of Developing Asia ; David C. O'Connor, 1991

Note : a/ ปริมาณการใช้ปี 2531

b/ ปริมาณในรูปของ Ozone Depleting Potential Terms

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 3 การใช้ CFC<sub>s</sub> ในประเทศกลุ่มอาเซียน (ยกเว้นประเทศบรูไน)

ประเทศ	การใช้เป็นเมตริกตันต่อปี					
	2529	2530	2531	2532	2533	2534
	ตัน	ตัน	ตัน (ประมาณ)	ตัน	ตัน	ตัน
สิงคโปร์	3568	4700	6300	-	-	-
มาเลเซีย	n.a	3130	3800	-	-	-
อินโดนีเซีย	n.a	2596	2760	-	-	-
ฟิลิปปินส์	n.a	2248	3770	-	-	-
ไทย	2520	3312	4030	5030	7370	8399
รวม	n.a	15900	20660	-	-	-

แหล่งที่มา : กองควบคุมวัตถุมีพิษและเคมีภัณฑ์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม, วีระ มาวิจักขณ์, "O<sub>3</sub>, CFC<sub>s</sub> และ Montreal Protocol", 2533

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้สาร CFC และ Halon ของประเทศไทย โดยแบ่งตามประเภทการใช้  
(เมตริกตัน ; เปอร์เซ็นต์)

การใช้	2529	2530	2531	2532	2533
การเป่าโฟม	-	266 ( 8.03)	313 ( 7.77)	-	-
สารฉาบตัน (สเปรย์)	-	346 (10.45)	280 ( 6.95)	-	-
สารดับเพลิง	-	16 ( 0.48)	20 ( 0.50)	-	-
สารทำความเย็น	-	1,514 (45.71)	1,900 (47.15)	-	-
สารล้างทำความสะอาด	-	1,170 (35.33)	1,517 (37.64)	-	-
อื่น ๆ	-	-	-	-	-
รวม	2,500	3,312	4,030	4,995	7,375.796

แหล่งที่มา : Strategies, Policies and Practices for the Reduction of CFC Usage in the Electronics Industries of Developing Asia; David C.O' Connor, 1991



ตารางที่ 5 ปริมาณการนำเข้าสาร CFC<sub>s</sub> และ Halon ในปี 2533 แยกตามชื่อสารเคมี  
(กองควบคุมวัตถุมีพิษและเคมีภัณฑ์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533)

	สาร	สูตร	จุดเดือด (°C)	การนำไปใช้	ปริมาณที่นำเข้า ประเทศไทย (MT)
1	CFC 11	CCl <sub>3</sub> F	23.8	ห้องเย็นหรือตู้เย็นขนาดใหญ่, เครื่องปรับอากาศ, Foam Blowing Agent (Rigid Foam), Aerosol ในส่วนที่ผสมกับสารอื่น	1,521.270 4.651
2	CFC 12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	-30	ตู้เย็นตามบ้านเรือน, เครื่องปรับ- อากาศ, เครื่องปรับอากาศในรถยนต์, Foam Blowing Agent (โดยผสมกับ CFC 11) และ Aerosol (โดยผสม- กับ CFC ตัวอื่น ๆ) ในส่วนที่ผสมกับสารอื่น	2,726.920 4.475
3	CFC 113	CClF <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub> F	47.6	Solvent Cleaning Agent ล้าง- ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ เช่น Integrated Circuit Boards ในส่วนที่ผสมกับสารอื่น	2,938.730 16.300
4	CFC 114	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	3.8	ใช้ในวัตถุประสงค์เฉพาะทาง เช่น Blowing Agent หรือ Aerosol	46.620
5	CFC 115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	-39.1	Cleaning และ Blowing Agent - ในส่วนที่ผสมกับสารอื่น	28.260
6	Halon 1211	CF <sub>2</sub> BrCl	-3.4	ใช้ในการดับเพลิง	78.840
7	Halon 1301	CF <sub>3</sub> Br	-57.75	ใช้ในการดับเพลิง	9.730
8	Halon 2402	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Br <sub>2</sub>	47.3	ใช้ในการดับเพลิง	-
รวม					7,375.796



## 2.3 การทำลายโอโซนในบรรยากาศของโลก

### 2.3.1 ชั้นบรรยากาศ

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยธาตุและสารประกอบที่อยู่ในสภาวะที่เป็นก๊าซ รวมกันมากมายหลายสิบชนิด ที่สำคัญมี  $N_2$  (78%),  $O_2$  (21%),  $CO_2$  (0.035%) และไอน้ำ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยก๊าซหรือสารประกอบที่มีปริมาณน้อยอยู่ในขนาดเพียงวัดค่าได้เป็น ppm (part per million) หรือ ppb (part per billion) เท่านั้น โอโซน ( $O_3$ ) เป็นก๊าซชนิดหนึ่งที่มีปะปนอยู่ในบรรยากาศชั้นบน ๆ ขึ้นไป

ตามปกติบรรยากาศของโลกแบ่งออกเป็น 4 ชั้น คือ

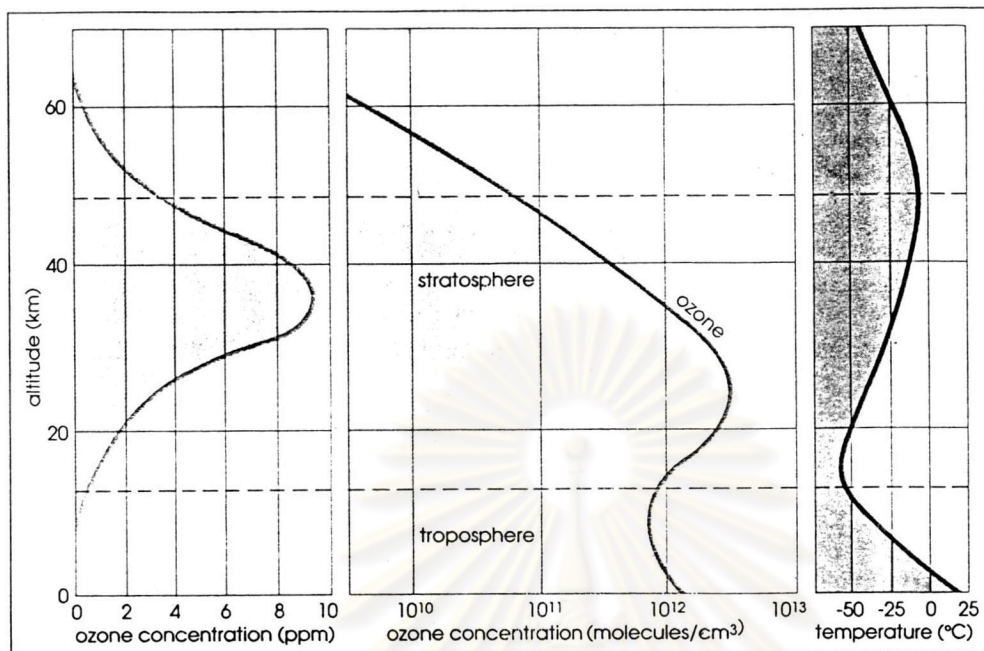
(1) ชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) อยู่ตั้งแต่ผิวพื้นดินขึ้นไปจนถึงความสูงประมาณ 12 กิโลเมตร

(2) ชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่มีความสูงระหว่าง 12-50 กิโลเมตร

(3) ชั้นมีโซสเฟียร์ (Mesosphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่มีความสูงระหว่าง 50-85 กิโลเมตร

(4) ชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่มีความสูง 85 กิโลเมตรขึ้นไป

โอโซนในบรรยากาศนั้นส่วนมากจะอยู่ในชั้นที่สองคือ ชั้นสตราโตสเฟียร์เท่านั้น บนผิวโลก เช่น กรุงเทพฯ จะมีปริมาณโอโซนเฉลี่ย 0.00-0.03 ppm ในวันที่อากาศแจ่มใสแดดจัดมาก ๆ เคยปรากฏว่าปริมาณโอโซนของกรุงเทพฯ สูงสุดแค่ 0.08 ppm ในขณะที่ปริมาณมาตรฐานสูงสุดที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.13 ppm (วิระ มาวิจักขณ์ , 2533)



ภาพที่ 3 แสดงความเข้มข้นของ โอโซนที่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงจากพื้นโลก  
(แหล่งที่มา : UNEP/GEMS Environment Library No.2, 1987)

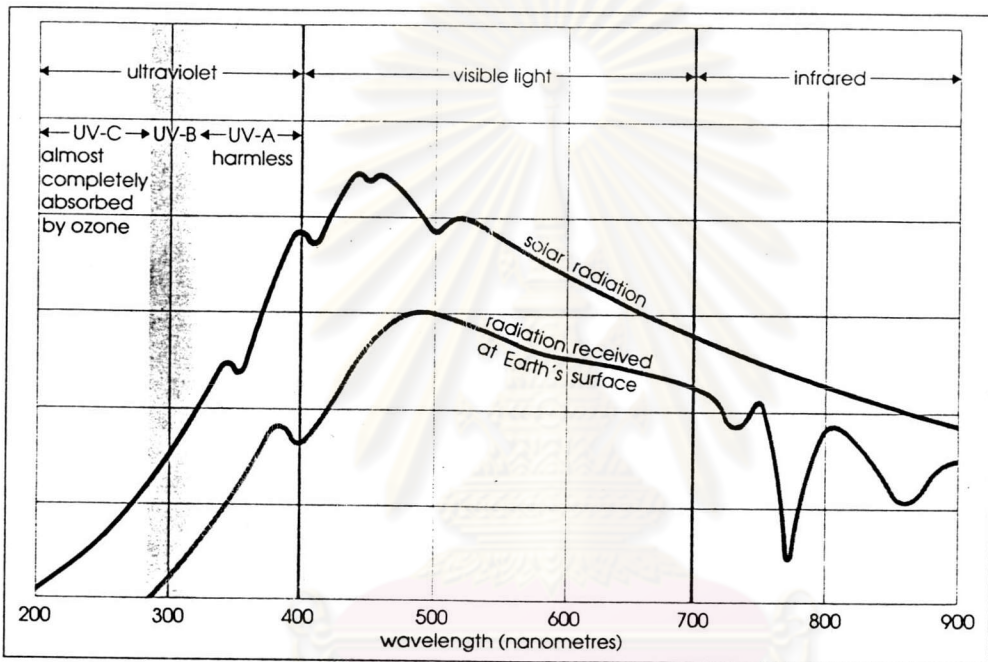
### 2.3.2 การเกิดโอโซนในบรรยากาศ

พลังงานความร้อนที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์นั้น ได้มาในรูปของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีเหล่านี้ประกอบด้วยแถบความยาวคลื่นต่าง ๆ กันตั้งแต่แถบคลื่นสั้นไปยาวคือ รังสีคอสมิก, รังสีแกมมา, รังสีอัลตราไวโอเล็ต, รังสีของแสงที่มนุษย์มองเห็น, รังสีอินฟราเรด, ต่อจากนั้นก็เป็นพวกคลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่ำ (ช่วงคลื่นยาว) เฉพาะรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) นี้มีแถบความยาวคลื่นตั้งแต่ 200-400 นาโนเมตร (nm) (1 nanometer =  $10^{-9}$  meter) สามารถแบ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกเป็น 3 พวกคือ

(1) รังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด C (UV-C) มีความยาวคลื่น 200-280 nm รังสีนี้เป็นอันตรายร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในโลก แต่ UV-C ถูกชั้นโอโซนในบรรยากาศกรองออกไปหมด ไม่สามารถที่จะตกลงสู่พื้นโลกได้

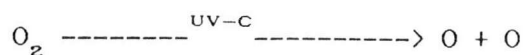
(2) รังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด B (UV-B) มีความยาวคลื่น 280-320 nm รังสี-UV-B นี้มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต, ทำลายสารบางอย่างและทำลายความสมดุลของธรรมชาติในโลกชั้นโอโซนสามารถกรอง UV-B เอาไว้ประมาณ 70-90%

(3) รังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด A (UV-A) เป็นรังสีที่มีแถบความยาวคลื่นมากกว่า 320 nm ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต รังสี UV-A ส่วนใหญ่จะผ่านชั้นบรรยากาศลงมา



ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นความยาวช่วงคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด A, B และ C (แหล่งที่มา : UNEP/GEMS Environment Library No.2, 1987)

รังสี UV-C เมื่อตกกระทบถึงบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์จะเป็นตัวเร่ง (Catalyst) ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวออกเป็นออกซิเจนอิสระ 2 อะตอม

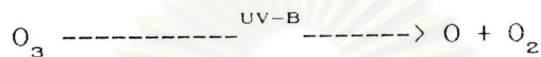




ต่อมาอะตอมอิสระของออกซิเจนจะจับตัวกับโมเลกุลของ  $O_2$  ซึ่งเป็นกระบวนการเกิดโมเลกุลของโอโซน



ในขณะเดียวกัน UV-B ก็จะทำให้โมเลกุลของ  $O_3$  แตกตัวกลับมาเป็นอะตอมของออกซิเจนและโมเลกุลของ  $O_2$  ดังเดิม



กระบวนการเกิดและแตกสลายของโมเลกุลของโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ เป็นอยู่เช่นนี้ตลอดเวลาและอยู่ในสภาวะสมดุลทางธรรมชาติ (Equilibrium States) แต่อย่างไรก็ดีปริมาณของโอโซนจะมากหรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น การผันเปลี่ยนของฤดูกาล, ตำแหน่งความสูงของบรรยากาศที่วัดปริมาณโอโซน ตลอดจนความเข้มข้นของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เช่น ช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ Solar Cycle เป็นต้น (วิระ มาวิจักขณ์, 2533; Australian Environment Council, 1989 ; UNEP, 1987b)

บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์นี้สามารถเรียกได้ว่าเป็นโรงงานผลิตโอโซนให้แก่โลก โอโซนในบรรยากาศชั้นนี้สามารถลดระดับลงมาสู่ชั้นโทรโปสเฟียร์ได้ แต่โอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ไม่สามารถลอยขึ้นไปสู่ชั้นสตราโตสเฟียร์ได้เลย ดังนั้นถ้าโอโซนในชั้นนี้เบาบางลงมนุษย์ไม่สามารถสร้างโอโซนแล้วส่งน้ำขึ้นไปบนบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์เพื่อเป็นการทดแทนได้

### 2.3.3 ประโยชน์ของโอโซน

โอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ทำหน้าที่ 2 ประการสำคัญให้แก่โลก-มนุษย์คือ

(1) ทำหน้าที่กรองรังสี UV โดยเฉพาะรังสี UV-C และ UV-B ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก

(2) ทำหน้าที่เป็นตัวปรับอุณหภูมิ (Temperature Regulator) ให้แก่ผิวโลกและบรรยากาศของโลก

โดยปกติแล้วบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์จะถูกทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นโดยการแผ่รังสีจากพื้นผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนมาจากการแผ่รังสีอินฟราเรดจากชั้นสตราโตสเฟียร์ โอโซนที่อยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์จะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นจะอมความร้อน ถ้าปริมาณโอโซนในชั้นนี้ลดลงจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตน้อยลง ทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตตกลงสู่พื้นโลกมาก ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตน้อยลงในชั้นสตราโตสเฟียร์เองก็จะเย็นลง (ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้เกิดเมฆในบรรยากาศในชั้นสตราโตสเฟียร์มากขึ้น) ดังนั้นจะแผ่รังสีอินฟราเรดลงสู่โลกลดลงทำให้โลกเย็นลงด้วย ซึ่งโดยปกติผลทั้ง 2 ประการนี้จะหักล้างกันไปถ้าปริมาณโอโซนในบรรยากาศชั้นบนอยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นจึงเป็นการควบคุมอุณหภูมิให้แก่โลกให้คงที่ (วิระ มาวิจักขณ์, 2533; UNEP, 1987b; UNEP, 1989b)

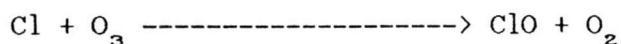
#### 2.3.4 การทำลายโอโซนในบรรยากาศ

ในบรรยากาศยังมีก๊าซอีกหลายชนิดที่แม้ว่าจะมีปริมาณน้อยแต่ก๊าซเหล่านั้น จะไปเร่งปฏิกิริยาการแตกสลายของโอโซน โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ทำให้โมเลกุลของสาร CFC<sub>n</sub> แตกตัวออกเป็นอนุมูลที่ว่องไว (Radicals) อนุมูลเหล่านี้เป็นต้นว่า ออกไซด์ของไฮโดรเจน, ออกไซด์ของไนโตรเจน และคลอรีนออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ เช่น โอโซนหรือออกซิเจน โดยการทำให้ตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกสลายของโอโซน โดยที่ตัวเองไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอะไร ซึ่งโดยปกติแล้วโมเลกุลของสารที่อยู่ในบรรยากาศจะอยู่ในสภาวะที่เรียกว่า Dynamic Balance โดยเฉพาะ ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน และคลอรีน ซึ่งมีวงจรงดในภาพที่ 5,6,7

Catalytic Radicals เหล่านี้ด้วยปริมาณเพียงไม่กี่ ppb ก็มีผลต่อการแตกสลายของโอโซนอย่างมากมาย เช่นเพียง 1 โมเลกุลของ Chlorine Oxide สามารถทำลายโอโซนได้ถึงหนึ่งแสนโมเลกุล ปัจจุบันพบว่าในบรรยากาศมี Chlorine Catalytic Radicals อยู่ถึง 2.7 ppb เปรียบเทียบกับสมัยก่อนที่นักวิทยาศาสตร์จะพบปรากฏการณ์ Ozone Hole ในปี ค.ศ. 1985 ซึ่งมีเพียง 2 ppb เท่านั้น (วิระ มาวิจักขณ์ , 2533)



ปฏิกิริยาการทำลายโอโซนโดย Chlorine และ Nitric Oxide



-----



-----

(ปฏิกิริยาการทำลายโอโซนโดย Chlorine Oxide)



-----



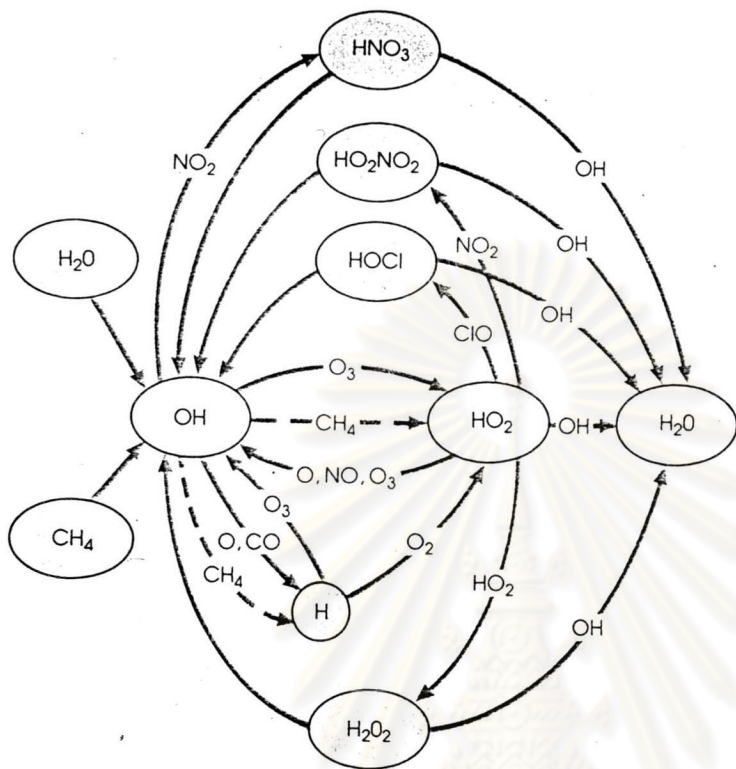
-----

(ปฏิกิริยาการทำลายโอโซนโดย Nitric Oxide)

ผลผลิตรวมของโอโซนนอกจากเกิดการสร้างและแตกสลายของโอโซนตามปกติแล้วยังต้องขึ้นอยู่กับผลของ Relative Speeds ของปฏิกิริยาเคมีอีกหลายร้อยชนิดที่เกิดขึ้นบนบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และ Relative Speeds ของปฏิกิริยาเหล่านั้นก็จะแปรไปตามอุณหภูมิและความดันของบรรยากาศอีกด้วย (Australian Environment Council, 1989 ; UNEP, 1987c)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

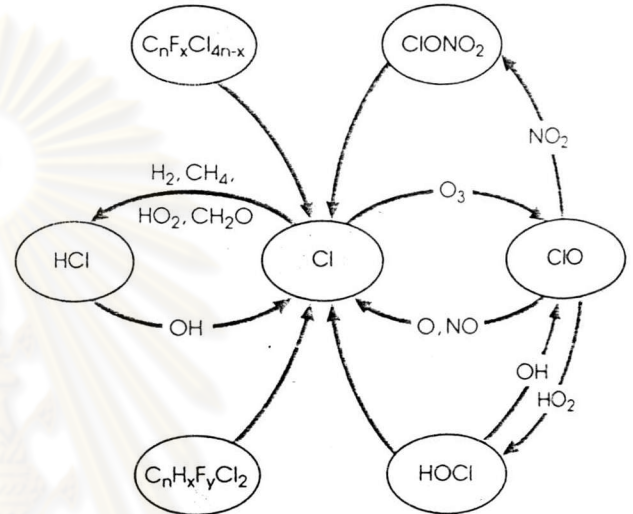
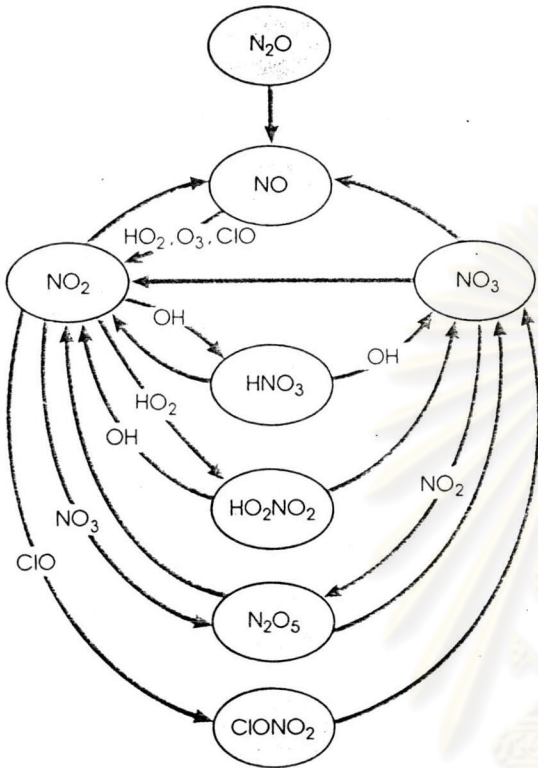




ภาพที่ 5 Hydrogen Cycle

(แหล่งที่มา : UNEP/GEMS Environment Library No.2, 1987)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 6 Nitrogen Cycle

ภาพที่ 7 Chlorine Cycle

(แหล่งที่มา : UNEP/GEMS Environment Libraly No.2, 1987)

2.3.5 ข้อมูลการทำลายชั้นโอโซนจากนักวิทยาศาสตร์

ในปี ค.ศ. 1971 Prof. James Lovelock เป็นผู้พบครั้งแรกว่าในบรรยากาศของโลกมี Traces ของสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนปะปนอยู่ ต่อมาในปี ค.ศ. 1974 นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน 2 คน ได้แก่ Prof.F.Sherwood Rowland และ Prof. Mario J. Molina แห่ง University of California, Irvine ได้ทำนายว่าด้วยความเสถียรของสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนในบรรยากาศมันจะแพร่กระจายขึ้นไปสูงถึงชั้นสตราโตสเฟียร์ และจะไปทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นนั้น คำเตือนนี้มีตั้งแต่ ค.ศ. 1974 แต่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกมีท่าทีสงสัยและเพิกเฉย (บุญจง ขาวลิทธิวงษ์และคณะ, 2533)

ในปี ค.ศ. 1985 ทีมสำรวจขั้วโลกใต้ของอังกฤษนำโดย Joseph Forman ได้เสนอรายงานชิ้นหนึ่ง ซึ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์และนักสิ่งแวดล้อมสนใจเป็นอย่างมากนั่นคือ ในฤดูใบไม้ผลิของขั้วโลกใต้ (ระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม) ปริมาณโอโซนที่ทวีปแอนตาร์กติกลดลงถึง 40% จากระดับของปี ค.ศ. 1979 ในระยะเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นการลดปริมาณโอโซนที่มากที่สุดในโลกเท่าที่เคยมีการบันทึกไว้ หลังจากนั้นนักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งได้กลับไปสำรวจข้อมูลเก่า ๆ ที่เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ได้บันทึกเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งก็พบว่า อันที่จริงปริมาณโอโซนได้ลดลงมาอย่างรวดเร็วตั้งตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 (สถิติการบันทึกจากดาวเทียมเพิ่งจะเริ่มมีเมื่อปี ค.ศ. 1978) แต่ที่ไม่มีการรายงานปรากฏออกมา ก็เพราะว่า ข้อมูลเหล่านั้นได้ถูกเก็บไว้โดยไม่มีการนำออกมารวบรวมและวิเคราะห์กันอย่างจริงจัง จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่บันทึกเก็บไว้ก็พบว่า เฉพาะในปี ค.ศ. 1984 Ozone Hole ที่ขั้วโลกใต้มีขนาดใหญ่กว่าประเทศสหรัฐอเมริกาทั้งประเทศและมีความลึกขนาดมากกว่าความสูงของยอดเขาเอเวอร์เรสต์ (Ozone Hole เกิดในระดับความสูง 12-24 กิโลเมตร จากพื้นดิน) จากปรากฏการณ์ที่ตรวจพบครั้งนั้นนั้นไม่เคยเป็นที่คาดหมายมาก่อน แม้ว่าจะมีการคำนวณและพยากรณ์สถานการณ์ของบรรยากาศของโลกไว้ถึงเรื่องผลกระทบของคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและก๊าซอื่น ๆ ก็ตาม แต่แบบจำลองของการพยากรณ์เหล่านั้นไม่เคยเป็นที่คาดไปถึงว่าจะมีการลดโอโซนในขั้วโลกและด้วยปริมาณต่ำขนาดนี้มาก่อน ดังนั้นในปี ค.ศ. 1987 นักวิทยาศาสตร์จำนวน 150 คน จาก 19 องค์กรระหว่างประเทศและด้วยความร่วมมือจากอีก 4 ประเทศได้ไปตั้งสถานีตรวจสอบที่ประเทศซีลีเกลขั้วโลกใต้และมีเครื่องมือที่ติดตั้งบนดาวเทียม, เครื่องบินสำรวจ, บอลลูน รวมทั้งสถานีบนพื้นดินด้วย ได้มีการส่งเครื่องบินที่ออกแบบติดตั้งเครื่องมือโดยเฉพาะ 2 ลำ ขึ้นไปยังศูนย์กลางของ Ozone Hole เพื่อเก็บข้อมูลปรากฏว่าในระหว่างวันที่ 15 สิงหาคม ถึง 7 ตุลาคม ค.ศ. 1987 ค่าเฉลี่ยของโอโซนที่ขั้วโลกใต้ลดลงเกือบ 50% จากระยะเวลาเดียวกันของปี ค.ศ. 1979 ครอบคลุมพื้นที่ขนาดถึง 2 เท่าของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะในเดือนตุลาคม ค.ศ. 1987 ในบางบริเวณที่ความสูง 15-20 กิโลเมตรจากผิวโลก ปริมาณโอโซนลดลงถึง 95% จากระดับที่เคยมีอยู่เมื่อ 2 เดือนก่อนหน้านั้น (วิระ มาวิจักขณ์, 2533)

ผลการสำรวจปริมาณโอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้ปรากฏผลดังนี้

Ozone Hole	ตุลาคม ปี ค.ศ. 1987	
ที่ Latitude 60°S	ค่าเฉลี่ยโอโซนลดลง 20%	เทียบกับ ตุลาคม ปี ค.ศ. 1979
ที่ Latitude 70°S	ค่าเฉลี่ยโอโซนลดลง 40%	เทียบกับ ตุลาคม ปี ค.ศ. 1979
ที่ Latitude 80°S	ค่าเฉลี่ยโอโซนลดลง 50%	เทียบกับ ตุลาคม ปี ค.ศ. 1979

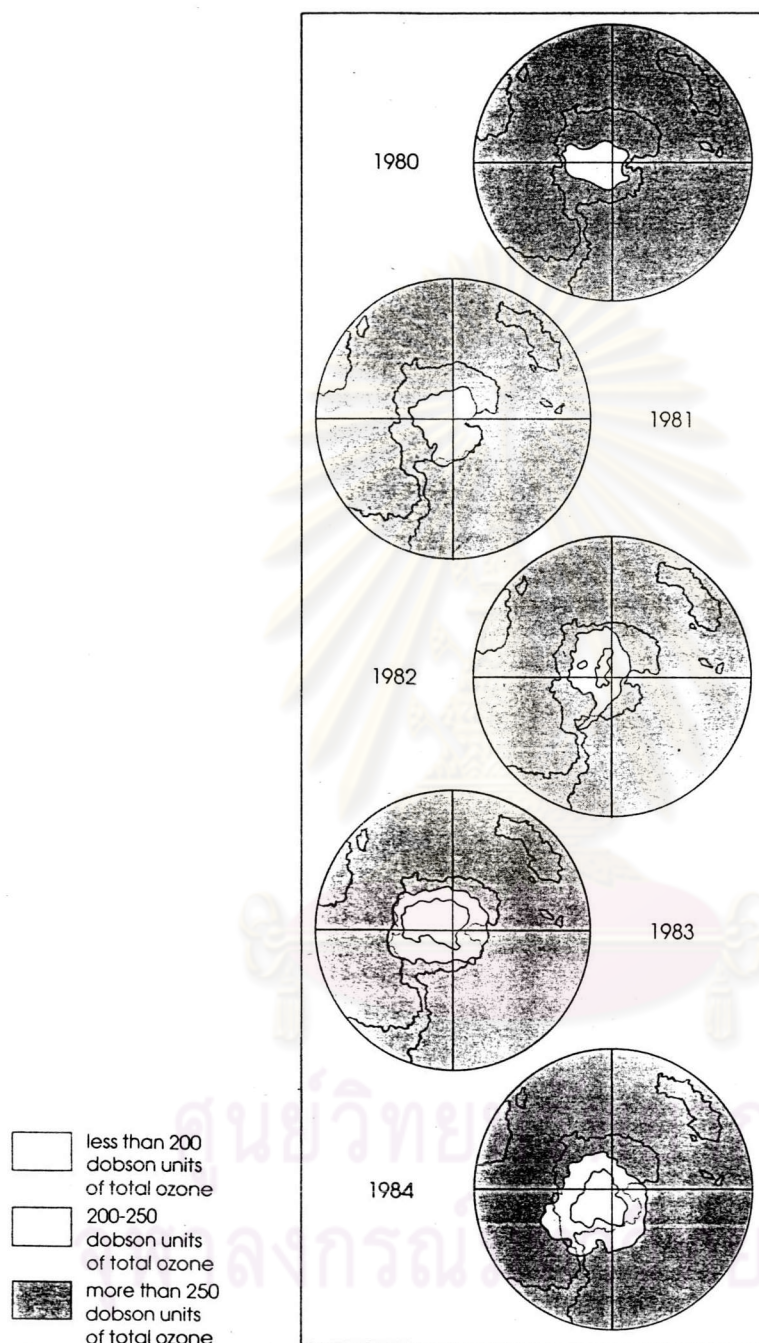
เฉพาะในปี ค.ศ. 1987 ปรากฏการณ์เป็นไปถึงเดือนพฤศจิกายน ถึงต้นเดือนธันวาคม ซึ่งนานที่สุดนับตั้งแต่มีการบันทึกการลดของโอโซนในบริเวณนี้ นักวิทยาศาสตร์เกรงว่าขอบเขตการลดของโอโซนในชั่วโลกได้จะขยายใหญ่ขึ้น ซึ่งจะกินอาณาบริเวณถึงย่านที่มีคนพักอาศัยอยู่ เช่น ประเทศอาร์เจนตินา, ชิลี และบางส่วนของประเทศออสเตรเลีย, บราซิล, นิวซีแลนด์, อูรุกวัย เพราะในช่วงที่ Ozone Hole สลายตัวลงจะเกิดการแพร่กระจายของอากาศทำให้การลดลงของโอโซนแผ่ขยายตัวออกไปทั่วบริเวณแถบนี้ได้ดังกล่าว

ในเดือนธันวาคม ค.ศ. 1987 ศูนย์อุตุนิยมวิทยา 3 ใน 5 แห่งของประเทศออสเตรเลียรายงานถึงการลดลงอย่างมากของปริมาณโอโซนในบรรยากาศในเมืองเมลเบิร์น เมื่อถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 1987 มีรายงานการลดลงของโอโซนมากที่สุดเป็นประวัติการณ์ยาวนานถึง 3 อาทิตย์ ซึ่งนักอุตุนิยมวิทยาของออสเตรเลียกล่าวว่าอาจเป็นสัญญาณเตือนภัยถึงผลกระทบจากการเกิด Ozone Hole ที่ชั่วโลกได้ที่แผ่ขยายอาณาบริเวณไปถึงประเทศออสเตรเลียแล้ว



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศโอโซน พื้นที่สีขาวแสดงถึงโอโซนที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 200 หน่วยดอบสัน จะเห็นได้ว่ามีขนาดใหญ่ขึ้น

(แหล่งที่มา : UNEP/GEMS Environment Library No.2, 1987)

### 2.3.6 สมมติฐานของการเกิด Ozone Hole

นักวิทยาศาสตร์พยายามหาสาเหตุรวมทั้งการตั้งสมมติฐานต่าง ๆ เพื่ออธิบายการเกิด Ozone Hole แต่จากทฤษฎีต่าง ๆ ก็ยังไม่สามารถหาสาเหตุหรือคำอธิบายที่มีเหตุผลเพียงพอได้ นอกจากนั้นการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้อีกกับทฤษฎีต่าง ๆ แล้วก็ยังไม่เห็นชอบกับบางสมมติฐานซึ่งพอจะมีเหตุผลและสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้ เช่น ทฤษฎีที่อธิบายการลดลงของโอโซนสอดคล้องกับการเกิดของ Solar Cycles (วัฏจักรการแตกดับของดวงอาทิตย์) หรือทฤษฎีผลกระทบจาก Quasi Biennial Oscillation (QBO) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของลมทางแถบศูนย์สูตรที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งจากบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ไปยังชั้นสตราโตสเฟียร์ แต่สถิติที่บันทึกไว้ก็สิ้นเกิน ไปสำหรับการยืนยันความถูกต้องจากสมมติฐานทั้งสองนี้ หลังจากการวิเคราะห์และตัดทฤษฎีต่าง ๆ ที่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลความเป็นจริงออกแล้ว คณะนักสำรวจมีความเห็นว่า "จากทฤษฎีต่าง ๆ เท่าที่มีอยู่ มีอยู่อันเดียวที่ไม่สามารถตัดทิ้งไปได้นั้นคือ คลอรีน ซึ่งเป็นที่เชื่อกันว่ากลไกปฏิกิริยาทางเคมีจากคลอรีน ทำให้เกิด Ozone Hole"

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์อธิบายว่า Ozone Hole นั้นเกิดจากสาเหตุที่เกี่ยวข้องกันหลาย ๆ ประการดังนี้

(1) สภาพทางบรรยากาศของขั้วโลกใต้ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะที่ที่ไม่เหมือนกับที่บริเวณอื่น ๆ ของโลก

(2) การเกิดของเมฆขั้วโลก (Polar Stratospheric Clouds ; PSC)

(3) การลดลงต่ำของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน

(4) การเพิ่มขึ้นของปริมาณ Active Chlorine

ขั้นตอนที่เกิดเชื่อกันว่าเป็นไปตามลำดับดังนี้

(1) ในระหว่างหน้าหนาวของขั้วโลกใต้ (เดือนมีนาคมถึงเดือนสิงหาคม) ขั้วโลกใต้หันหนีออกจากดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลานี้ไม่มีแสงแดดในบริเวณนี้เลย บรรยากาศของขั้วโลกใต้เย็นจัดจนมวลของอากาศเกิดขบวนการไหลวนรวมกันเป็นมวลที่ต่างกับบริเวณอื่น ๆ เรียกว่า

Polar Vortex ซึ่งอุณหภูมิของมวลอากาศใน Polar Vortex นี้ลดต่ำลงถึง  $-90^{\circ}\text{C}$

(2) บนชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ซึ่งตามปกติแห้งจัดอยู่แล้ว แต่ในความเย็นจัดขนาดนี้ความชื้นที่มีน้อยนิดก็จะแข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ กระจายตัวอยู่ในลักษณะของกลุ่มเมฆ ดังนั้นใน Polar Vortex จึงประกอบไปด้วยเมฆขั้วโลกที่เย็นจัด

(3) เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวของผลึกน้ำแข็งเหล่านั้น โดยเปลี่ยนสถานะของสารเคมีที่มีคลอรีนซึ่งจากเดิมค่อนข้างจะเสถียรไปเป็นโมเลกุลของคลอรีนที่ไวต่อแสงมาก ๆ

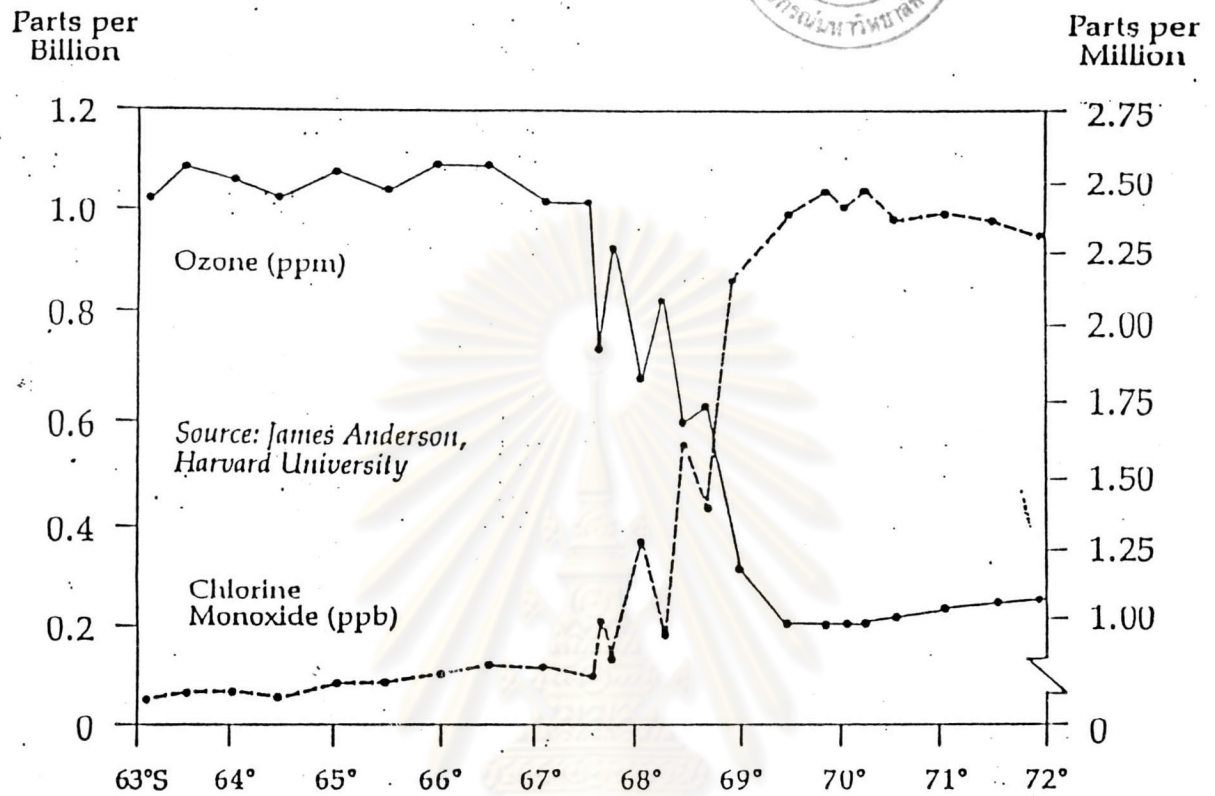
(4) ขณะเดียวกันก๊าซที่เป็นออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งตามปกติจะไปลด Active Chlorine โมเลกุลเหล่านั้นจะถูกความเย็นจัดจับตัวเป็นน้ำแข็งทำให้ไม่สามารถไปทำลาย Active Chlorine โมเลกุลลงได้

(5) เมื่อเวลาผ่านไปถึงตอนที่ขั้วโลกใต้เริ่มหันเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูใบไม้ผลิ แสงแดดเริ่มส่องมาถึงโมเลกุลของ Active Chlorine ก็จะเริ่มปฏิกิริยาถูกใช้ในการทำลายโอโซนที่มีอยู่ในบรรยากาศชั้นนี้ กระบวนการของปฏิกิริยาการทำลายโอโซนกินเวลาถึง 5-6 สัปดาห์ โดยไม่หยุดยั้งทำให้ปริมาณโอโซนลดลงในช่วงเวลาฤดูใบไม้ผลิของขั้วโลกใต้ ดังปรากฏการณ์ที่สำรวจได้

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของ James Anderson และคณะแห่ง Harvard University ยืนยันได้ว่าปฏิกิริยาการเกิด Active Chlorine เกิดขึ้นได้จริงที่บริเวณพื้นผิวของเมฆขั้วโลก และจากการสำรวจพบว่า Active Chlorine โมเลกุลในรูปของ Chlorine Monoxide ซึ่งเป็น intermediate ของปฏิกิริยาถูกใช้ในการทำลายโอโซนในบริเวณ Ozone Hole สูงกว่าปกติถึง 500 เท่า และปริมาณของ ClO สัมพันธ์กับการลดลงของโอโซน (UNEP, 1989a)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาพที่ 9 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้น  $\text{ClO}$  และ  $\text{O}_3$  ใน Latitude ต่าง ๆ ของขั้วโลกใต้, ปี ค.ศ. 1987

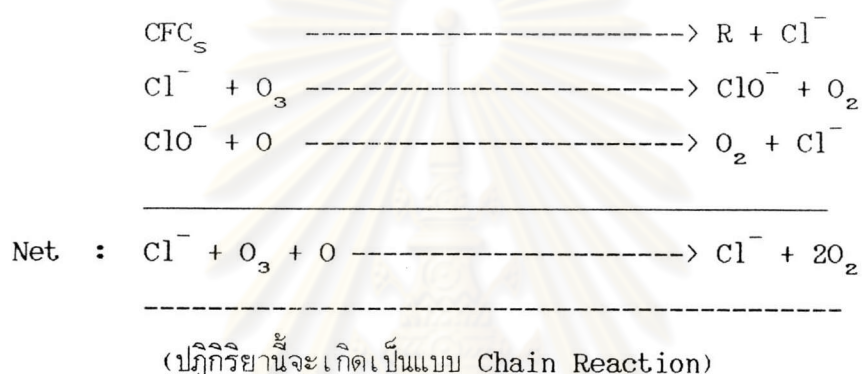
(แหล่งที่มา :  $\text{O}_3$ ,  $\text{CFC}_s$  และ Montreal Protocol, 2533)

### 2.3.7 การทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์โดยสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและฮาโลน

เนื่องจากสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและฮาโลนถูกใช้และปล่อยไปในอากาศด้วยปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงก่อให้เกิดปัญหาการลดลงของโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยอะตอมของคลอรีนในคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน เป็นตัวการสำคัญในการทำลายโอโซน (UNEP, 1989a, 1989b) และเนื่องด้วยคุณสมบัติของคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนที่มีความเสถียรมากทำให้มันคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้นานมากโดยที่ไม่แตกสลายง่าย ๆ (ดังตารางที่ 6) ดังนั้นจึงสามารถ



ลอยตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นาน แต่เมื่อลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งมีโอโซนหนาแน่นและมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากพอที่จะทำให้โมเลกุลของคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนแตกสลายและก่อให้เกิดอะตอมของคลอรีนอิสระซึ่งจะไปดึงอะตอมออกซิเจนหนึ่งอะตอมของโอโซนออกไป ทำให้กลายเป็นคลอรีนมอนอกไซด์ และโอโซนจะเหลือออกซิเจนเพียงสองอะตอมกลายเป็นโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนที่เราใช้หายใจ คลอรีนมอนอกไซด์จะไปจับกับอะตอมของออกซิเจนอิสระที่มีอยู่ในบรรยากาศทำให้ได้เป็นโมเลกุลของออกซิเจน และอะตอมคลอรีนอิสระกลับคืนมาและไปทำลายโมเลกุลของโอโซนตัวอื่นต่อไป (Australian Environment Council, 1989; UNEP, 1987c ; Federation of Swedish Industries, 2533)



คลอรีนแต่ละอะตอมในบรรยากาศชั้นนี้ สามารถทำลายโมเลกุลของโอโซนได้นับแสนโมเลกุล ดังนั้น โอโซนในบรรยากาศชั้นนี้จึงถูกทำลายเป็นจำนวนมากในแต่ละปี หากมีการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนจำนวนมากขึ้น โอโซนก็จะยิ่งถูกทำลายมากขึ้น ซึ่งก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่มีผลต่อบรรยากาศชั้นโอโซน (ในปี 1990)

ก๊าซ	สูตรเคมี	อายุในบรรยากาศ (ปี)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ppb)	อัตราการเพิ่ม (เปอร์เซ็นต์/ปี)
CFC 11	$\text{CFCl}_3$	75	0.23	5
CFC 12	$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	110	0.4	5
CFC 113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	90	0.02	7
Halon 1301	$\text{CF}_3\text{Br}$	110	very low	11
nitrous oxide	$\text{N}_2\text{O}$	150	304	0.25
carbon monoxide	CO	0.4	variable	0-2
carbon dioxide	$\text{CO}_2$	7	344,000	0.4
methane	$\text{CH}_4$	11	1,650	1

แหล่งที่มา : CFC Issue and Greenhouse Effect (Conference Proceedings), 1991

### 2.3.8 สถานภาพของโอโซนในบริเวณขั้วโลกเหนือ

แม้จะยังไม่ปรากฏ Ozone Hole ในบริเวณขั้วโลกเหนือ นักวิทยาศาสตร์พบว่า ในบรรยากาศของขั้วโลกเหนือมีสภาพคล้ายขั้วโลกใต้ คือเกิด Polar Vortex, เกิดเมฆขั้วโลก (แต่น้อยกว่าขั้วโลกใต้ 10-100 เท่า) และมีองค์ประกอบของสารเคมีที่มี Active Chlorine โมเลกุลสูง นั่นคือกระบวนการของปฏิกิริยาการทำลายโอโซนพร้อมที่จะเกิดขึ้น เพียงแต่ยังไม่รุนแรงเหมือนขั้วโลกใต้ ในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1989 พบว่าปริมาณของ Reactive Chlorine สูงกว่าในเดือนปกติถึง 50-100 เท่า นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสภาพโอโซนของขั้วโลกเหนือมีแนวโน้มจะลดลง แต่จะลดลงจนเป็น Ozone Hole เหมือนขั้วโลกใต้นั้น ยังต้องติดตามสำรวจกันต่อไป

แต่มีข้อสังเกตว่า การที่ไม่เกิด Ozone Hole ที่ขั้วโลกเหนือนั้นเพราะ

(1) อุณหภูมิในฤดูหนาวของขั้วโลกเหนือยังไม่ต่ำเท่าที่ขั้วโลกใต้

(2) ระยะเวลาการเกิด Polar Vortex ของขั้วโลกเหนือต่างกับขั้วโลกใต้ กล่าวคือขั้วโลกใต้ Polar Vortex เกิดขึ้นและอยู่นานไปถึงฤดูใบไม้ผลิคืออยู่นานจนได้รับแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็น Catalyst ที่สำคัญของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาการทำลายโอโซน แต่ในบริเวณขั้วโลกเหนือนั้น Polar Vortex สลายไปเร็วกว่าคือ ก่อนที่แสงแดดในฤดูใบไม้ผลิจะมาถึง

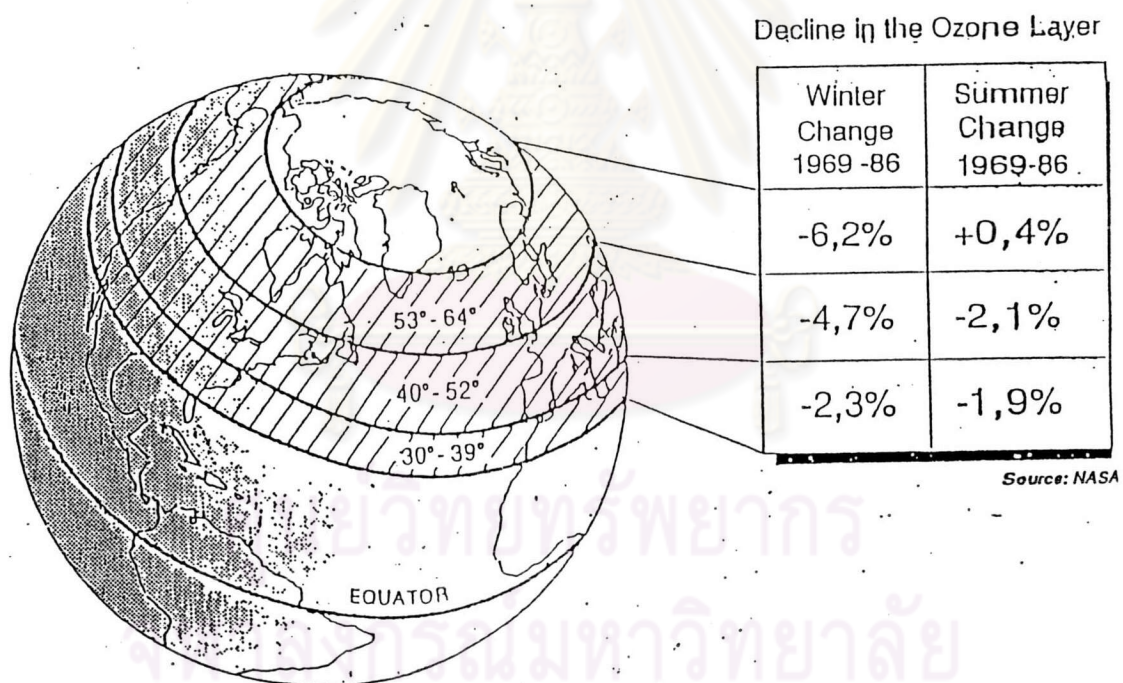
### 2.3.9 ปริมาณโอโซนทั่วโลกระหว่างปี ค.ศ. 1969-1986

จากการบันทึกข้อมูลที่เกิดขึ้นทุกวันโดยเครื่องมือที่ติดตั้งบนภาคพื้นดิน พบว่า ปริมาณโอโซน (ค่าเฉลี่ยทั้งปี) ในช่วงระยะเวลา ค.ศ. 1969-1986 ลดลงไปแล้วระหว่าง 1.7 ถึง 3.0 เปอร์เซ็นต์ในตอนเหนือ ๆ ของโลกระหว่างเส้นรุ้งที่ 30° N - 64° N

ถ้าคิดเฉลี่ยเฉพาะเดือนในหน้าหนาว (เดือนธันวาคม-มีนาคม) อัตราการลดลงของระยะเวลาดังกล่าวนั้นมากกว่าตัวเลขที่คิดจากค่าเฉลี่ยทั้งปี คือ ลดลงไปถึง 2.3-6.2 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณการลดลงของโอโซนจากการสำรวจพบนี้ สูงกว่าตัวเลขที่นักวิทยาศาสตร์ คาดหมายโดยการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ซึ่งคาดว่า จะลดลงเพียง 0.5 ถึง

1.0 เเปอร์เซ็นต์ในช่วงฤดูร้อน และ 0.8-2.0 เเปอร์เซ็นต์ในช่วงฤดูหนาว) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การคาดการณ์ของปริมาณโอโซนที่ลดลงในบริเวณตอนห่างจากเส้นศูนย์สูตรมาก ๆ ใกล้เคียงกับ- ชั่วโลก ทั้งทางเหนือและทางใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างเดือนพฤศจิกายน ค.ศ 1978 ถึง ตุลาคม ค.ศ. 1985 ปริมาณโอโซนเฉลี่ยระหว่างเส้นรุ้งที่ 53°S ถึง 53°N ลดลงไปถึง 2.6 เเปอร์เซ็นต์ (วิระ มาวิจักขณ์, 2533 : World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project Report No.20, 1990)



ภาพที่ 10 ภาพแสดงการลดของปริมาณโอโซน ในบรรยากาศบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร โดยเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 1969 - 1986 (แหล่งที่มา : O<sub>3</sub> , CFC<sub>s</sub> และ Montreal Protocol, 2533)



### 2.3.10 ผลกระทบเนื่องจากโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ถูกทำลาย

ถ้าโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ถูกทำลายลงแล้วจะทำให้รังสี UV (โดยเฉพาะ UV-B) ส่องผ่านลงมาถึงพื้นผิวโลกมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ เกิดขึ้นดังนี้

(1) มนุษย์จะเป็นมะเร็งของโรคผิวหนังมากขึ้น สารกรรมพันธุ์หรือ DNA ในเซลล์ของเราก็จะถูกทำลายโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเช่นกัน ซึ่งจะทำให้เซลล์ตายหรือกลายเป็นเซลล์มะเร็งได้ สำหรับคนผิวขาวหรือผิวสีอ่อนจะเป็นมะเร็งได้ง่าย โดยหากบรรยากาศชั้นโอโซนลดลง 1% ก็จะมีมะเร็งผิวหนังที่เรียกว่า Non-Melanoma เพิ่มขึ้น 3% มะเร็งชนิด Melanoma ซึ่งพบน้อยกว่าก็เชื่อว่าเกี่ยวข้องกับรังสีนี้เช่นกัน องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาประเมินไว้ว่าแม้โอโซนลดลงเพียง 1% ก็จะมีมะเร็งผิวหนังชนิด Non-Melanoma เพิ่มขึ้น 450,000 คน และชนิด Melanoma อีก 1,000 คน สำหรับคนที่ใช้ชีวิตอยู่ในสหรัฐอเมริกาในปัจจุบันนี้และในอนาคตรุ่นลูกหลานก็จะมีความเสี่ยงมากขึ้นไปอีก (UNEP, 1989a, 1989b)

(2) มนุษย์จะเป็นโรคต้อกระจก (Cataracts) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้คนตาบอดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศด้อยพัฒนาทั้งหลายจะได้รับผลกระทบมากกว่าประเทศพัฒนาแล้ว เนื่องจากโอกาสของการผ่าตัดรักษามีน้อยกว่ากันมาก จากการศึกษาที่ทำโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาคาดว่า หากโอโซนลดลง 1% จะทำให้อัตราการเกิดต้อจะเพิ่มขึ้น 0.3 ถึง 0.6% ในโลก (UNEP, 1989a, 1986b)

(3) มีข้อมูลทางการแพทย์พบว่ารังสี UV-B ไปกด, ยับยั้งการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Human Immune System) ทำให้ความต้านทานโรคต่ำลงซึ่งจะทำให้ติดเชื้อต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้นและมีความรุนแรงมากขึ้น เช่น โรคหัด, อีสุกอีใส, เริม และโรคจากเชื้อไวรัสต่าง ๆ (โดยเฉพาะโรคที่เกิดบนผิวหนัง) โรคที่พาหะเข้าทางผิวหนัง เช่น มาเลเรีย โรคติดต่อเชื้อจากแมลงที่เรีย อาทิ วัณโรค, โรคเรื้อนและโรคเชื้อรา นอกจากนี้ยังจะทำให้ผลของการฉีดวัคซีนต้านทานโรคต่าง ๆ ต่ำลงด้วย (UNEP, 1989a, 1989b)

(4) ทำให้ผลิตผลทางเกษตรต่าง ๆ ลดต่ำลง จากการศึกษาพืชตระกูลต่าง ๆ กว่า 200 ชนิด พบว่ามีมากกว่า 70 ชนิดที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสี UV-B ตัวอย่างของการศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแมริแลนด์ เมื่อทำการทดลองให้ปริมาณโอโซนในแปลงทดลองลดลง

25% ถ้าวแหล่งตระกูลหนึ่งให้ผลผลิตลดลงถึง 25% (UNEP, 1989a, 1989b)

(5) รังสี UV-B เพิ่มขึ้นทำให้ Phytoplankton ซึ่งเป็นอาหารสำคัญของสัตว์น้ำในทะเลลดปริมาณลง ถ้าโอโซนลดลง 25% ทำให้ Plankton ลดลงถึง 35% ซึ่งยังผลกระทบต่อ Aquatic Ecosystem เปลี่ยนแปลงไป เช่น ทำให้เกิดผลกระทบต่อปริมาณการประมง, เกิดผลกระทบต่อพันธุ์สัตว์น้ำต่าง ๆ ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ UV-B (UNEP, 1989a, 1989b)

(6) ทำให้วัสดุทางพลาสติกเสื่อมเร็วกว่าที่ควร เช่น วัตถุที่ทำจาก PVC จะกรอบและเสียเร็วขึ้น (ซึ่งทำให้เกิดผลเสียทางด้านเศรษฐกิจ) (UNEP, 1989a, 1989b)

(7) การที่ UV-B ตกถึงพื้นโลกมากขึ้น ทำให้ปริมาณโอโซนในบรรยากาศบนพื้นผิวโลกเกิดมากขึ้น โอโซนที่เป็นเกะกำบังโลกในบรรยากาศชั้นบนนั้นเป็น Pollutant ที่เป็นอันตรายอย่างยิ่งบนผิวโลก (มาตรฐานสูงสุดของโอโซนในอากาศของไทย เท่ากับ 0.13 ppm) โอโซนบนพื้นผิวโลกทำให้เกิดปฏิกิริยา Photochemical Process ที่ทำให้เกิด Smog ได้รวดเร็วขึ้นและ Smog ทำให้เกิดโทษคือ คุณภาพของอากาศลดลง, ทำให้ทัศนวิสัยเลวลง, ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้ลดลง (UNEP, 1989a, 1989b)

(8) การที่โอโซนถูกทำลายลง ทำให้อุณหภูมิของโลกเปลี่ยนแปลงไป เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าโอโซนที่อยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์ จะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นมันจะอมความร้อนไว้เปรียบเสมือน Heat Sink ในชั้นสตราโตสเฟียร์ ถ้าปริมาณโอโซนในบรรยากาศลดลง มันจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตน้อยลง ทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตตกลงสู่พื้นโลกมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันที่มันดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตน้อยลง อุณหภูมิในชั้นสตราโตสเฟียร์เองจะเย็นลง (ปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้เกิดเมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์มากขึ้น) ดังนั้นมันจะแผ่รังสีอินฟราเรดลงสู่โลกลดลงทำให้โลกเย็นลงด้วย ปกติผลทั้ง 2 ประการนี้จะหักล้างกันไปถ้าปริมาณโอโซนในบรรยากาศชั้นบนอยู่ในสภาวะสมดุล (Equilibrium State) (UNEP, 1989a, 1989b)

## 2.4 การควบคุมการใช้ Chlorofluorocarbons และ Halon

### 2.4.1 พิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol)

จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่พบว่าสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและฮาลอน เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศของโลก โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme ; UNEP) จึงจัดให้มีการประชุมเรื่องนี้หลายครั้ง จนกระทั่งเดือนมีนาคม ค.ศ. 1985 ได้มีการประชุมครั้งสำคัญเกี่ยวกับการป้องกันบรรยากาศชั้นโอโซน ณ กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย ในการประชุมครั้งนี้มีการจัดทำอนุสัญญาว่าด้วยการป้องกันบรรยากาศชั้นโอโซน (Vienna Convention For The Protection of The Ozone Layer) ขึ้น ในขั้นต้นมีประเทศต่าง ๆ ร่วมลงนามรับรองอนุสัญญานี้ 27 ประเทศ ในครั้งนั้นประเทศไทยไม่ได้ส่งผู้แทนเข้าร่วมประชุมและยังไม่ได้ลงนามรับรอง แล้วในวันที่ 23 พฤษภาคม ค.ศ. 1985 คณะกรรมการบริหารของ UNEP (Governing Council of UNEP) ได้มีมติ 13/18 เสียง ให้ดำเนินการเรื่องนี้ต่อไป ต่อมาในเดือนกันยายน ค.ศ. 1987 UNEP จัดให้มีการประชุม Diplomat Conference On The Depletion of The Ozone Layer ขึ้น ณ นครมอนทรีออล ประเทศแคนาดา ในการประชุมครั้งนี้ประชุมได้ตกลงจัดตราพิธีสาร Montreal Protocol On Substances That Deplete the Ozone Layer ขึ้น พิธีสารมอนทรีออลนี้เป็นส่วนหนึ่งของอนุสัญญาเวียนนาดังกล่าวข้างต้น

พิธีสารฉบับนี้ กำหนดให้มีการควบคุมการผลิต การใช้สาร 2 กลุ่ม คือ สารกลุ่มที่ 1 ได้แก่ คลอโรฟลูโอโรคาร์บอน รวม 5 ชนิด และสารกลุ่มที่ 2 คือ ฮาลอน รวม 3 ชนิด (ซึ่งต่อมาได้มีการแก้ไขและมีการเพิ่มสารที่ต้องถูกควบคุมการผลิต ดังภาคผนวกที่ 1.1, 1.2, 1.3)

ประเทศที่ลงนามรับรองพิธีสารเรียกว่า Party Country of The Protocol หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Party ประเทศที่ไม่ได้ลงนามเรียกว่า Non-Party ซึ่งประเทศสมาชิก (Party) นี้มีหน้าที่ต้องปฏิบัติตามบทบัญญัติรวม 20 มาตราด้วยกัน พิธีสารนี้เริ่มใช้บังคับ (The Date of Entry Into Force ; EIF) ในวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1989 (UNEP, 1987a, 1990)



#### 2.4.2 สาเหตุที่ประเทศไทยเป็นสมาชิกของพิธีสารมอนทรีออล

ประเทศที่ร่วมลงนามและรับรองพิธีสารนี้เป็นกลุ่มประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ ๆ ทั้งหมด คือ สหรัฐอเมริกา แคนาดา กลุ่มประเทศประชาคมเศรษฐกิจยุโรป ญี่ปุ่น และรัสเซีย ต่างก็ร่วมลงนามหรือจะร่วมลงนามในพิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol) นี้ทั้งสิ้น ในสภาพการหลังจากวันที่อนุสารนี้ใช้บังคับ (Entry Into Force ; EIF) คือในวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1989 หากประเทศไทยไม่ได้ร่วมลงนามเป็นสมาชิกในพิธีสารนี้ ประเทศไทยจะได้รับผลกระทบจากข้อบังคับซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

##### - ผลกระทบทันทีในระยะสั้น

ก. ประเทศที่เป็นสมาชิกจะไม่ยินดีติดต่อค้าขายด้วยกับประเทศที่ไม่ได้เป็นสมาชิก

ข. เนื่องจากประเทศผู้ผลิตต้องถูกจำกัดการผลิตลง ตามระยะเวลาที่กำหนดในพิธีสาร ในขณะที่เดียวกับสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน จะมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (แม้แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้วก็ตาม) ดังนั้นจะเกิดความขาดแคลน (เว้นแต่จะมีการผลิตสารอื่นทดแทนกันได้ ซึ่งประมาณกันว่าจะต้องใช้เวลาน้อยอีก 5-7 ปี) ราคาของสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนจะต้องสูงขึ้นและหายากขึ้นสำหรับประเทศที่ไม่ได้เป็นสมาชิก เนื่องจากการขายให้กับประเทศที่ไม่ได้เป็นสมาชิกจะถูกนับเข้าไปอยู่ในส่วนของการใช้ภายในประเทศ (Domestic Use) ของผู้ขาย ซึ่งปริมาณการใช้ภายในประเทศในปี ค.ศ. 1993 จะถูกลดการใช้ลงเหลือเพียง 80% ของระดับการใช้ของปี ค.ศ. 1986 อยู่แล้ว

ค. กิจกรรมอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องจะถูกจำกัดลง เช่น การผลิตคอมเพรสเซอร์ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ รวมทั้งการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประเทศไทยส่งออกเป็นจำนวนมากก็จะต้องหาสารอื่นมาใช้แทน

##### - ผลกระทบในระยะยาว

ก. ประเทศผู้ผลิตในปัจจุบันซึ่งต้องลดการผลิตลงและต้องมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีที่จะต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะต้องถ่ายโอนไปยังประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งยังคงได้รับการยกเว้นการปฏิบัติตามข้อบังคับของพิธีสารนี้ออกไปอีก 10 ปี หากประเทศไทยไม่ได้เข้าเป็นสมาชิกของพิธีสาร



นี้ ประเทศผู้ผลิตที่เป็นสมาชิกก็จะไม่สามารถถ่ายโอนเทคโนโลยีให้ประเทศไทยได้ ส่วนประเทศอื่น ๆ ที่สามารถผลิตสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนได้และไม่ได้เป็นสมาชิกของพิธีสารนี้ เช่น อินเดีย จีน เม็กซิโก ฯลฯ คงจะไม่อยากขายเทคโนโลยีให้แก่ประเทศไทย เพราะถึงขณะนั้นประเทศเหล่านี้ก็คงจะผลิตเพื่อขายบ้าง เนื่องจากเกิดความขาดแคลนทั่วไป

ข. ผลิตภัณฑ์ที่มีสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน หรือผลิตด้วยสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน จากประเทศไทย ซึ่งถ้าไม่ได้เป็นสมาชิกของพิธีสารนี้แล้ว ก็จะถูกห้ามนำเข้าโดยประเทศที่เป็นสมาชิกพิธีสารนี้

ดังนั้นเพื่อรักษาผลประโยชน์ของประเทศชาติเป็นสำคัญ และร่วมเจตนารมณ์ในการที่จะช่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของโลก รวมทั้งเหตุผลอื่น ๆ อีก ดังนั้นประเทศไทยจึงต้องเข้าร่วมเป็นสมาชิกของพิธีสารมอนทรีออลในวันที่ 16 สิงหาคม ค.ศ. 1988 (บุญจง ชาวสิทธิวงษ์ และคณะ, 2533)

## 2.5 วิธีการลดการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและฮาโลนในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีการใช้สารดังกล่าว

### 2.5.1 กระจกป้องกัน

ในกระจกป้องกันจะใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนเป็นสารขับดัน สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนที่ใช้ได้แก่ CFC-11, 12, 13 และ 14 ซึ่งเทคโนโลยีในการเลิกใช้สารนี้ในกระจกป้องกันได้ถูกนำมาใช้ในประเทศต่าง ๆ นานแล้วเช่น การใช้สารไฮโดรคาร์บอน (โพรเพน, บิวเทน, ไอโซเพนเทน), ไดเมธิลอีเธอร์ แต่สารเหล่านี้จะไวไฟมากดังนั้นการนำมาใช้ต้องมีความระมัดระวัง และนอกจากนี้ยังมีการนำเอาก๊าซอื่น ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจน, ไนตรัสออกไซด์ รวมทั้งสาร HCFC-22, HCFC-142b, HFC-152a มาใช้แต่สารเหล่านี้ยังไม่เหมาะสมมากนัก และรวมทั้งยังมีการนำเอาเทคโนโลยีที่ไม่ต้องใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน เช่น ใช้กำลังกดของนิ้วมือ หรือกำลังอัดจากระบบเครื่องกล ซึ่งพบว่าได้ผลดีและยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ระบบดังกล่าวมีราคาถูกลงด้วย

### 2.5.2 ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็น ได้แก่ ตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ จะใช้พวก CFC-11, 12, HCFC-22 ฯลฯ ซึ่งโดยปกติแล้วสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนจะไม่รั่วไหลนอกจากเวลาซ่อมและทิ้งหรือซึมออกจากเครื่อง เทคโนโลยีในการเลิกใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนที่ดีที่สุดคือการป้องกันการรั่วไหลและการนำกลับมาใช้ใหม่ ส่วนสารทดแทนอื่น ๆ เช่น สารแอมโมเนีย (ซึ่งเป็นสารที่ใช้มาก่อนสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน) แต่แอมโมเนียเป็นสารพิษและติดไฟได้ และนอกจากนี้ยังมีสาร HFC-134a ซึ่งไม่มีคลอรีนและสามารถนำมาใช้แทน CFC-12 ได้ในอนาคต สาร HFC-152a และไดเมทิลอีเธอร์ ซึ่งอาจนำมาใช้ร่วมกับ HCFC-22 ได้ ซึ่งในขณะนี้กำลังอยู่ในระหว่างการวิจัยและค้นคว้า

### 2.5.3 โฟม

ในอุตสาหกรรมการผลิตโฟม จะใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนเป็นสารเป่าโฟม (blowing agent) สำหรับโฟมที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของตัวบ้าน สามารถเลิกใช้โดยหันไปใช้วัสดุทดแทน เช่น ไฟเบอร์กลาส (ใยแก้ว) และใยหิน เป็นฉนวนที่มีราคาพอ ๆ กันกับพลาสติก ถึงแม้ว่าจะต้องทำให้หนาขึ้นก็ตาม ส่วนสารทดแทนเช่น ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการที่เรียกว่า "Water Blowing" แต่โฟมที่ได้จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนด้อยลง, ใช้ HCFC-141b กับ HCFC-22 (แต่มีความไวไฟ), ใช้เมทิลซินคลอไรด์ และกรดฟอร์มิก (แต่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย และสิ่งแวดล้อม), ใช้ HCFC-123 (คาดว่าจะนำมาใช้ได้ในปี 1993 หลังจากศึกษาความเป็นพิษแล้ว), สำหรับเทคโนโลยีระยะยาว คือ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ระบบสูญญากาศ สำหรับวิธีการอื่น ๆ เช่น การดักจับสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนที่เกิดจากระบวนการผลิต, การใช้ Soft Polyol เป็นสารตั้งต้น ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการลดคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาจากขณะทำลายโฟม ซึ่งค่าใช้จ่ายในการทำละลายหรือนำกลับมาใช้ใหม่อาจมีราคาแพงมาก

### 2.5.4 ตัวทำละลาย (Solvent)

สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนใช้เป็นตัวทำความสะอาดแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องมือที่มีความละเอียดต่าง ๆ ชนิดที่ใช้คือ CFC-113 ซึ่งการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีที่ดีที่สุดและมีการใช้กันบ้างแล้วโดยมีความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่

ได้เพิ่มเติมได้ในสายการผลิตที่มีอยู่แล้ว หรือการใช้น้ำเป็นตัวทำความสะอาดแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (แต่ต้องกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียก่อนระบายออกมา) ปัจจุบันมีการผลิต Flux ชนิดใหม่ ๆ ออกมาทำให้การใช้น้ำล้างได้ผลยิ่งขึ้น การเชื่อมวิธีใหม่ ๆ เช่น ใช้ Low Solid Flux และการใช้ Controlled Atmosphere ในการเชื่อมอาจไม่ต้องใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนทำความสะอาด นอกจากนี้ยังมีการนำเอาสารไฮโดรคาร์บอนมาใช้ เช่น Terpenes จากผิวส้ม, และ แอลกอฮอล์มาทดลองใช้พบว่าได้ผลพอสมควร แต่ต้องออกแบบอุปกรณ์โดยระมัดระวังการระเบิด และกลิ่น และความไวไฟของสารดังกล่าวในระหว่างการทำงาน และนอกจากนี้ยังมีสารอื่น ๆ ที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น เมทิลคลอโรฟอร์มและคาร์บอนเตตระคลอไรด์มาใช้แทน CFC-113 ได้ แต่ก็ยังมีคลอรีน ซึ่งอาจทำลายบรรยากาศชั้นโอโซนเช่นกัน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์นั้นถูกจัดให้เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งได้ ส่วนสารอื่น ๆ เช่น HCFC-141b, HCFC-123 และเมธานอล กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนาเพื่อใช้เป็นสารทำความสะอาดแทน CFC-113

#### 2.5.5 สารดับเพลิง

ฮาโลนนิยมใช้เป็นสารดับเพลิง เนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสม แต่ส่วนใหญ่แล้ว (70%) ยังคงอยู่ในเครื่องดับเพลิง วิธีการลดการใช้ เช่น สารทดแทนได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์, โฟม, ผงดับเพลิง และน้ำ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ ให้สามารถใช้น้ำในการดับเพลิงได้ และนอกจากนี้ก็ยังใช้วิธีนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น ในกรณีทดลองเครื่องดับเพลิง

จากข้อสรุปจากการสำรวจเอกสาร จะเห็นได้ว่าด้วยความพยายามของสหประชาชาติที่จะรักษาระดับชั้นโอโซนของโลก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนและฮาโลน ซึ่งสำหรับประเทศไทยมีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาแนวทางในการควบคุมการใช้สารดังกล่าว เพื่อให้เกิดผลกระทบต่ออุตสาหกรรมน้อยที่สุดด้วย