

## บทที่ 12

### ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ปัจจุบันมีรายงานภัยพิบัติที่เกิดจากความรุนแรงของการผันแปรสภาพภูมิอากาศค่อนข้างบ่อยครั้งและมีขนาดความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากระบบภูมิอากาศมีความเชื่อมโยงกันทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค ลักษณะที่เกิดขึ้นในอีกที่หนึ่งอาจส่งผลมาถึงพื้นที่อื่นได้ ทั้งนี้ลักษณะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อระบบภูมิอากาศในระดับโลกที่สำคัญ ได้แก่ ความผันแปรของภูมิอากาศในซีกโลกใต้ ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา ภาวะโลกร้อน ฝนกรดและการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ เป็นต้น สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ และฝนกรดที่มีผลต่อภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

#### 1. ก๊าซโอโซน

โอโซนเป็นก๊าซชนิดหนึ่งที่อยู่ในบรรยากาศ ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดย ดร.คริสเตียน ฟรีดริช เซินไบน์ (Dr.Christian Friedric Schonbein) ในปี ค.ศ. 1839 เซินไบน์ ซึ่งขณะนั้นอายุได้ 40 ปี ได้ทำการทดลองแยกน้ำด้วยไฟฟ้าแล้วได้กลิ่นฉุนของก๊าซชนิดหนึ่งที่ขั้วบวก และเข้าใจว่าเป็นก๊าซออกซิเจนที่มีประจุลบ เลยให้ชื่อก๊าซนี้ว่า ออกซิเจนดัดแปลง หรือ ออกซิเจนที่มีกลิ่น ต่อมาเรียกชื่อก๊าซนี้ว่า โอโซน (OZONE) โดยตั้งตามภาษากรีกว่า โอเซอิน (OZEIN) ซึ่งแปลว่า มีกลิ่น หรือ ดมกลิ่น (odorous, to smell) เซินไบน์สามารถผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้ประจุไฟฟ้า รังสีแสงและปฏิกิริยาเคมี แต่ไม่สามารถแยกก๊าซโอโซนให้บริสุทธิ์ เพราะที่ใดมีก๊าซโอโซนก็จะต้องมีก๊าซออกซิเจนเจือปนอยู่ด้วยเสมอ

## 2. โอโซนในชั้นบรรยากาศ

ในบรรยากาศมีโอโซนปริมาณน้อยมากเฉลี่ยประมาณ 3 ใน 10 ล้านโมเลกุลอากาศเท่านั้น แม้ว่าจะมีปริมาณเล็กน้อยแต่มีบทบาทสำคัญในบรรยากาศมาก เพราะช่วยกรองรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ไม่ให้ส่องลงมาถึงบรรยากาศภายในและผิวพื้นโลกได้ ปกติพบโอโซนมากใน 2 บริเวณ ได้แก่ บรรยากาศชั้นสเตรโตสเฟียร์ มีโอโซนอยู่ร้อยละ 90 ในระดับความสูงตั้งแต่ 8-50 กม. แต่มีอยู่ค่อนข้างหนาแน่นที่ระดับความสูง 15-35 กม. จากพื้นผิวโลกและหนาแน่นมากที่ระดับ 19-23 กม. เรียกว่าชั้นโอโซน (Ozone layer) ส่วนที่เหลือร้อยละ 10 พบที่บริเวณชั้นล่างลงมา คือชั้นโทรโพสเฟียร์ โอโซนจะไม่กระจายสม่ำเสมอตลอดแนวตั้ง โดยผันแปรตามที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ซึ่งมีปริมาณหนาแน่นประมาณ 230-500 ดีอบสัน โดยมีค่าเฉลี่ยทั่วโลกคือ 300 ดีอบสัน ค่าโอโซนเฉลี่ยต่ำสุดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรและสูงขึ้นตามละติจูดที่เพิ่มขึ้น

### 2.1 โอโซนในชั้นสเตรโตสเฟียร์

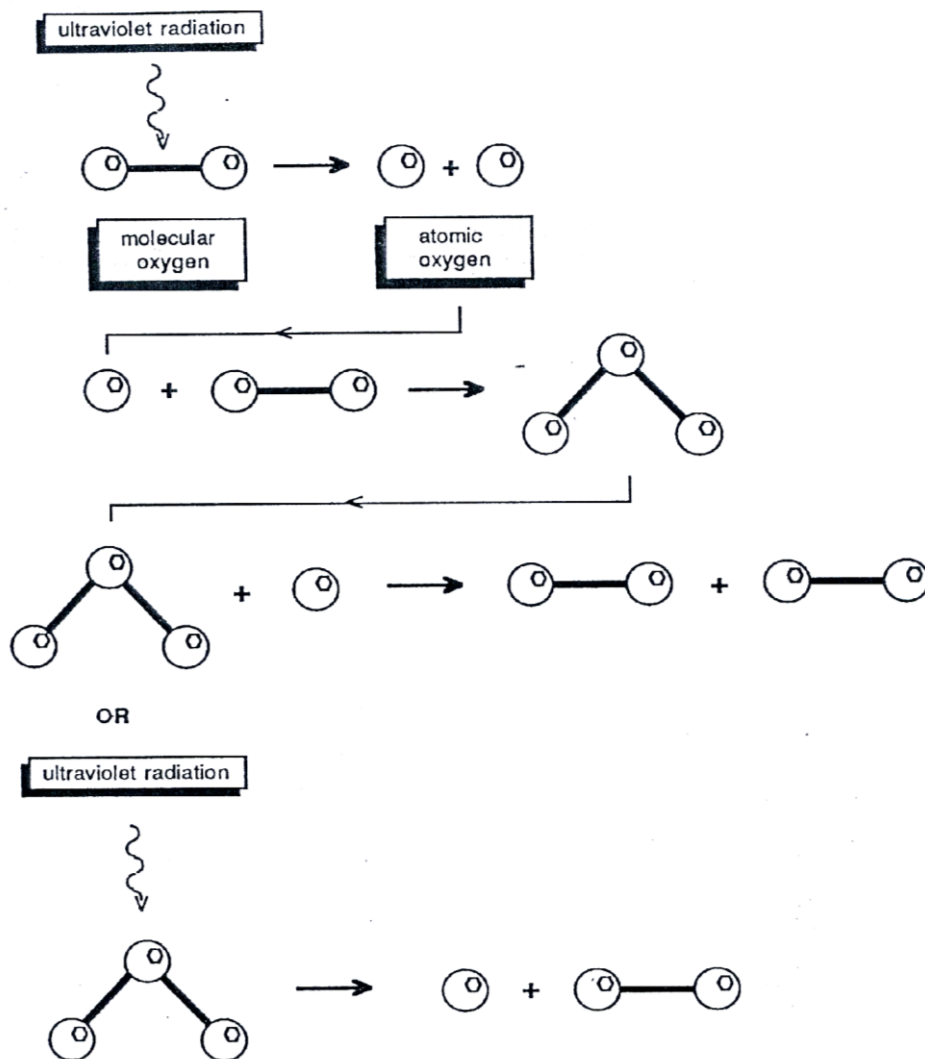
#### 2.1.1 การเกิดโอโซนในชั้นสเตรโตสเฟียร์

โอโซนในชั้นสเตรโตสเฟียร์ เกิดจากอะตอมของออกซิเจน 3 อะตอมมารวมตัวกัน จะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แสงอาทิตย์ที่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ตขนาดคลื่นสั้นมาก (น้อยกว่า 242 นาโนเมตร) กระแทบโมเลกุลของออกซิเจนในบรรยากาศ อะตอมออกซิเจนจะแตกออกเป็นอะตอมอิสระ แล้วรวมตัวกันเป็นโอโซนและเมื่อก๊าซโอโซนกระทบกับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่คลื่นความยาวไม่เกิน 320 นาโนเมตร จะแตกตัวออกเป็นโมเลกุลออกซิเจนและอะตอมออกซิเจนอีก 1 ตัว ปริมาณของโอโซนที่เกิดขึ้นจากแสงอาทิตย์จึงอยู่ในระดับสมดุล โอโซนในชั้นนี้จะมีประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณโอโซนทั้งหมด โอโซนในชั้นนี้มีความหนาแน่นที่สุด คือ 1 โมเลกุลต่ออากาศ 100,000 โมเลกุล (10 ส่วนต่อ 1 ล้านส่วน) ถ้าเราอัดมวลโอโซนที่มีอยู่ทั้งหมดตั้งแต่ผิวโลกจนถึงที่ความสูงประมาณ 60 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเลให้แบนเป็นแผ่นรอบพื้นผิวโลก จะได้ความหนาเพียง 3 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักราว 3 พันล้านตัน

#### 2.1.2 หน้าที่ของโอโซนในชั้นสเตรโตสเฟียร์

โอโซนในชั้นนี้มีบทบาทต่อมนุษย์มาก โดยช่วยควบคุมอุณหภูมิโลกในฐานะที่เป็นก๊าซเรือนกระจก ทำให้บรรยากาศในชั้นบนกลายเป็นเขตอบอุ่น กันไม่ให้ความ

ร้อนจากโลกระบายสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ยังปล่อยให้แสงอุลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นคลื่นยาว (ความยาวคลื่นมากกว่า 320 นาโนเมตร) และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต อีกทั้งยังเป็น ประโยชน์ต่อการสร้างวิตามินดีของร่างกายมนุษย์ ตกลงมาสู่พื้นโลกได้เกือบทั้งหมด โดยดูด ชั้รังสีที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ไว้ในชั้นสตราโตสเฟียร์ด้วย



รูปที่ 12.1 การเกิดโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์  
ที่มา : Kemp, 1994, p 123

## 2.2 โอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์

### 2.2.1 การเกิดโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์

ก๊าซโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ จำนวนหนึ่งจะตกลงชั้นโทรโพสเฟียร์ ที่ความสูงไม่เกิน 27 กิโลเมตร ที่บรรยากาศในชั้นนี้ ยังสามารถเกิดโอโซนขึ้นได้จากปฏิกิริยาของสารไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์เมื่อมีแสงแดด ทำให้ในเมืองบางแห่งมีปริมาณโอโซนสูงถึงกว่า 240 ส่วนในพันล้าน ทั้งที่โอโซนในปริมาณ 100 ส่วนในพันล้านก็เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์นี้จะไม่ลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นบน

### 2.2.2 หน้าที่ของโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์

โอโซนในบรรยากาศชั้นนี้ที่มีปริมาณตามธรรมชาติไม่มากเกินไป คือ 10 ส่วนในพันล้านจะช่วยดูดซับรังสีความร้อนที่สะท้อนจากพื้นโลกช่วยให้โลกอบอุ่นไม่หนาวเย็นในเวลากลางคืน ช่วยควบคุมให้โลกมีอากาศใกล้เคียงหรือไม่ต่างกันมากนัก

## 3. คุณสมบัติพิเศษของก๊าซโอโซน

ก๊าซโอโซนมีคุณสมบัติพิเศษบางประการ เนื่องจากก๊าซโอโซนนี้เกิดจากแสงอุลตราไวโอเลตที่มีคลื่นสั้นและเป็นอันตรายที่สุด (ความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร) แต่เมื่อมันเกิดขึ้นแล้วกลับดูดซับรังสีนี้ไว้จนหมดสิ้นไม่ให้เกิดกัมมันตภาพรังสีต่อสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังสามารถดูดซับแสงอุลตราไวโอเลตที่มีคลื่นยาวกว่า และมีอันตรายน้อยกว่า (ความยาวคลื่น 280-320 นาโนเมตร) ได้ถึงร้อยละ 70-90 ปล่อยให้ตกลงสู่พื้นผิวโลกได้เพียงร้อยละ 10-30 แต่ปริมาณรังสีที่ตกลงสู่ผิวโลกเพียงแค่นี้ก็ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์หลายอย่างเช่น ทำให้ผิวไหม้เกรียม ทำลายเนื้อเยื่อตา ผิวแก่ก่อนวัยและเกิดมะเร็งผิวหนังได้

ส่วนรังสีอุลตราไวโอเลต ซึ่งเป็นคลื่นยาว (ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตรขึ้นไป) และไม่ใช่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ในการช่วยสร้างวิตามินดีนั้น โอโซนปล่อยให้ผ่านลงมา

#### 4. โอโซนธรรมชาติ

ก๊าซโอโซนธรรมชาติเริ่มเกิดขึ้นในตอนเช้าทันทีที่บรรยากาศชั้นบนได้รับแสงแดด บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ซึ่งเป็นเขตร้อนและได้รับรังสี UV มากก็จะเกิดก๊าซโอโซนได้มากกว่าดินแดนแถบขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ โดยเฉพาะฤดูหนาวซึ่งมีรังสี UV น้อยราว 400-600 เท่า ในชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกทั้งหมดมีก๊าซโอโซนสะสมอยู่ในชั้นโอโซนร้อยละ 90 ที่เหลือจะกระจายตัวลงต่ำและพัดพาตามกระแสลมไปได้ไกล ๆ ทะเลและมหาสมุทรซึ่งเป็นพื้นน้ำกว้าง 3 ใน 4 ส่วนของผิวโลกจึงเป็นแหล่งที่มีก๊าซโอโซนสะสมอยู่มาก มีเพียงเล็กน้อยที่ประจุไฟฟ้าแรงสูงจากฟ้าผ่าสลายโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนให้กลายเป็นโอโซน

สำหรับก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติใกล้ผิวโลกมีปริมาณอยู่น้อยมาก คิดเป็นร้อยละ 0.000001-0.000004 เพื่อให้ง่ายจึงปรับหน่วยวัดเป็นปริมาณส่วนในล้านส่วน (สนล.) หรือ Part per million (ppm.) ก็จะได้ 0.01-0.04 โดยปริมาตรหรือคิดเป็นน้ำหนักได้ 20-80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับบริเวณชายทะเลตอนกลางวันจะมีระดับเฉลี่ยสูงกว่าเป็น 0.03-0.05 สนล. ซึ่งถ้าวัดความเข้มข้นในชั้นโอโซนบางแห่งก็อาจจะสูงถึง 40 สนล. หรือ 1000-4000 เท่าของที่พบบนผิวโลก

#### 5. มาตรฐานโอโซนในอากาศ

เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการสูดหายใจเอาก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไป องค์การอนามัยโลกจึงได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นโดยปริมาตรของก๊าซโอโซนในอากาศที่หายใจไว้ที่ 0.1-0.12 สนล. หรือ 100-120 มคก./ลบ.ม. สำหรับการหายใจติดต่อกันนาน 8 ชั่วโมง และ 0.15-0.2 สนล. สำหรับการหายใจติดต่อกันนาน 1 ชั่วโมง ประเทศกลุ่มสหภาพยุโรปกำหนดไว้ที่ 0.11 สนล. ในเวลา 8 ชั่วโมงและ 0.18 สนล. ในเวลา 1 ชั่วโมง สหรัฐอเมริกาคำหนดไว้ที่ 0.08 สนล. ในเวลา 8 ชั่วโมงและ 0.12 สนล. ในเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนประเทศไทยเราใช้มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

ปี ค.ศ. 1997 สมาคมโอโซนนานาชาติได้รวบรวมผลกระทบของก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ดังนี้

- |            |   |
|------------|---|
| 0.001 สนล. | เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของผู้ที่มีประสาทสัมผัสไวจะรู้สึกได้ |
|            | กลิ่น เป็นความเข้มข้นต่ำเกินกว่าที่เครื่องมือจะวัดได้     |
| 0.003 สนล. | สามารถได้กลิ่นในห้องทดลอง                                 |

- 0.003-0.01 สนล. สามารถได้กลิ่นในสถานที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์
- 0.001-0.125 สนล. เป็นความเข้มข้นที่พบตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นกับความสูง ลักษณะอากาศและพื้นที่
- 0.040 สนล. ความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ในที่อยู่อาศัย
- 0.050 สนล. ความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ และพื้นที่ที่มีการระบายอากาศได้ และเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาตให้มีการผลิตเป็นเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ระบบไฟฟ้า
- 0.064 สนล. ข้อเสนอของสำนักงานมาตรฐานคุณภาพอากาศแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา ที่ให้มีก๊าซโอโซนรวมทั้งสารออกซิแดนท์อื่น ๆ ในอากาศที่หายใจได้ไม่เกิน 1 ชั่วโมงและให้เกิดขึ้นไม่เกินปีละครั้ง
- 0.100 สนล. เป็นความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาตให้มืออย่างต่อเนื่องในสถานที่พักจำกัดอากาศ ของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา เช่น เรือดำน้ำ
- 0.100 สนล. เป็นความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาตให้มีในโรงงานอุตสาหกรรม สถานที่สาธารณะและที่พักอาศัย ในประเทศอังกฤษ ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ และเยอรมนี
- 0.15-.051 สนล. เป็นระดับความเข้มข้นที่เคยพบในตัวเมืองสหรัฐอเมริกา
- 0.200 สนล. เป็นความเข้มข้นที่สามารถได้รับเป็นเวลานานโดยไม่ทำให้เกิดการเจ็บป่วย
- 0.300 สนล. อาจมีอาการระคายเคืองต่อจมูกและคอ ทำให้จาม มีน้ำมูกไหลหรือเจ็บคอ
- 0.500 สนล. เป็นระดับที่ประกาศเตือนครั้งที่ 1 ในเมืองลอสแอนเจลิส สหรัฐอเมริกา สามารถทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ ถ้าได้รับเป็นเวลานาน อาจเป็นสาเหตุของน้ำคั่งในปอด และติดเชื้อได้ง่าย

1.00-2.00 สนล.	<p>ที่ 1.00 สนล. เป็นระดับที่ประกาศเตือนครั้งที่ 2 ในเมือง ลอสแอนเจลีส สหรัฐอเมริกา</p> <p>ที่ 1.50 สนล. เป็นระดับที่ประกาศเตือนครั้งที่ 3 ในเมือง ลอสแอนเจลีส สหรัฐอเมริกา ถ้าสุดท้ายใจที่ระดับความเข้มข้นนี้ ผู้ที่ไม่สามารถทนได้ จะมีอาการปวดศีรษะ เจ็บอก และทางเดินหายใจแห้ง</p>
1.40-5.60 สนล.	มีการทดลองพบว่า ไบแก๊ซของถั่วพินโตถูกทำลายถ้าให้อยู่ในที่ที่มีก๊าซโอโซนระดับนี้นานเกิน 70 นาที
5.00-25.00 สนล.	หนูตะเภาจะตายถ้าสุดท้ายใจในก๊าซโอโซนที่ระดับ 12.00 สนล.นาน 3 ชั่วโมง ซางเชื่อมโลหะที่ได้รับก๊าซโอโซนขนาด 9.00 สนล. ร่วมกับก๊าซมลพิษอื่น ๆ จะทำให้เกิดภาวะน้ำคั่งในปอด หลังจากนั้น 2-3 สัปดาห์ ผลการถ่ายภาพรังสีเอ็กซ์เรย์ทรวงอกก็จะเป็นปกติ แต่อีก 9 เดือนต่อมาจะมีอาการเมื่อยล้าและหอบเหนื่อยเวลาทำงาน
25.00 สนล. และมากกว่า	ที่จริงความเข้มข้นที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์จริง ๆ ยังไม่มีใครทราบ แต่อาจทำให้สัตว์ทดลองตาย เมื่อสุดท้ายใจที่ความเข้มข้น 50.00 สนล. เป็นเวลาติดต่อกัน 60 นาที

## 6. การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

ในบรรยากาศชั้นสเตรโตสเฟียร์จะมีโอโซนเกิดขึ้นตลอดทั้งปีโดยเฉพาะบริเวณแถบศูนย์สูตร จากนั้นโอโซนจะเคลื่อนที่ไปทางแถบละติจูดขั้วโลก บริเวณชั้นล่างของชั้นสเตรโตสเฟียร์จะมีโอโซนมากที่สุด (อาจขึ้นอยู่กับความสูงของโทรโพพอสด้วย) โอโซนจะมีค่าสูงสุดในบริเวณละติจูดสูง เช่น ตอนเหนือของแคนาดาถึงอาร์กติกและเหนือเขตไซบีเรีย และละติจูดกลางในเขตซีกโลกใต้ อย่างไรก็ตามภูมิอากาศที่หนาวเย็นเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การไหลเวียนของโอโซนชะลอลง เช่น ในช่วงระหว่างฤดูหนาวเขตซีกโลกใต้จะมีมวลอากาศเย็นก่อตัวเป็นวงรอบขั้วโลกใต้ซึ่งจะป้องกันมวลอากาศที่มีโอโซนมากจากเขตร้อนศูนย์สูตรไม่ให้เคลื่อนเข้ามาถึงละติจูดบริเวณขั้วโลกใต้ (ทำให้เขตแอนตาร์กติกอุณหภูมิต่ำถึง -80 องศาเซลเซียส) ความเข้มโอโซนจึงมีค่าสูงเหนือละติจูดกลาง กระทั่งถึงฤดูร้อนของทวีปออสเตรเลีย (ซีกโลก

ได้) จึงสามารถเคลื่อนเข้าสู่เขตขั้วโลกใต้ได้ ซึ่งก่อให้เกิดเมฆบนชั้นสเตรโตสเฟียร์เหนือบริเวณขั้วโลก (Polar Stratospheric Cloud) สภาวะทางอุทกนิยมนิวทราเนียเหนือแอนตาร์ติกเช่นนี้ ประกอบกับปริมาณของรีแอกทีฟคลอรีนเป็นสาเหตุที่กระตุ้นให้เกิดการทำลายโอโซน

ผลจากการพัฒนาอุตสาหกรรมส่งผลให้เกิดสารพิษและสารที่ทำลายสภาพแวดล้อมของอากาศ ทำให้ชั้นโอโซนอยู่ในภาวะอันตราย เนื่องจากปล่อยสารประกอบที่มีส่วนทำลายชั้นโอโซนทำให้บรรยากาศขาดสมดุล องค์การอุทกนิยมนิวทราเนียโลก ได้ตรวจวัดโอโซนทั่วโลก ผลการศึกษาชี้ว่าสารประกอบพวกคลอโรฟลูออโรคาร์บอนและฮาโลน มีศักยภาพสูงต่อการทำลายชั้นโอโซนและผลจากปริมาณโอโซนที่ลดลงในทวีปแอนตาร์กติกในฤดูใบไม้ผลิแสดงให้เห็นว่า สารประกอบที่ปล่อยสู่บรรยากาศโดยมนุษย์นั้นกำลังทำลายโอโซน และพบว่าไอเสียเครื่องบินความเร็วเหนือเสียง (Supersonic Transport; SST) ต่าง ๆ จะปล่อยไนตริกออกไซด์สู่บรรยากาศชั้นสเตรโตสเฟียร์ตอนล่างและเป็นไปได้ในการไปกระตุ้นให้เกิดการสลายโอโซนในธรรมชาติ

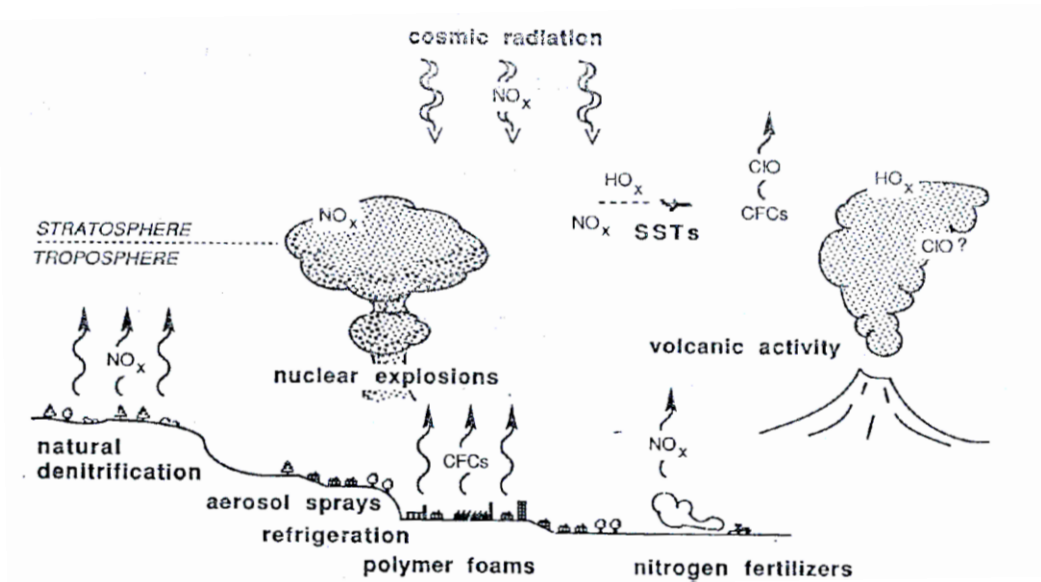
แม้ว่าการเกิดโอโซนจะขึ้นอยู่กับพลังงานจากดวงอาทิตย์ แต่ก็สามารถสลายตัวได้เองโดยสารประกอบจำพวกไนโตรเจน ออกซิเจน โบรมีนและคลอรีนในธรรมชาติ ซึ่งปกติสารประกอบไนโตรเจนมักมาจากภาคพื้นดินและมหาสมุทร ส่วนไฮโดรเจนมาจากไอน้ำในอากาศ และคลอรีนมาจากมหาสมุทรในรูปเมทิลคลอไรด์และเมทิลโบรมายด์ การพัฒนาอุตสาหกรรมของมนุษย์ส่งผลให้เกิดการทำลายความสมดุลระหว่างการเกิดและการสลายตัวของโอโซน การปล่อยสารประกอบจำพวกคลอรีนและโบรมีน เช่น คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) เข้าไปในบรรยากาศจึงเป็นการทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสเตรโตสเฟียร์ให้มีปริมาณต่ำกว่าเดิม

สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นทำให้ชั้นโอโซนบางลง ประกอบด้วย คลอรีน(Cl) ฟลูออรีน(F) โบรมีน(Br) คาร์บอน(C) และไฮโดรเจน(H) เรียกรวมกันว่า ฮาโลคาร์บอน(Halocarbon) ซึ่งเมื่อรวมกันเป็นสารประกอบจำแนกเป็น 2 กลุ่มสำคัญนี้

1) สารประกอบประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon หรือ CFC) ประกอบด้วย คลอรีน ฟลูออรีน และคาร์บอน สารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) และเมทิลคลอโรฟอร์ม (Methyl Chloroform) เป็นต้น ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น เช่น ตู้เย็น การเป่าโฟม เครื่องปรับอากาศ การใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และใช้เป็นสารชะล้างอื่น ๆ สามารถทำลายโอโซนได้เป็นอย่างมาก



2) สารประกอบประเภทฮาโลน (Halon) ประกอบด้วยคาร์บอน โบรมีน ฟลูออรีน และ คลอไรด์ มักใช้เป็นสารในถังดับเพลิง



รูปที่ 12.2 การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

ที่มา : Kemp, 1994, p. 124

การตรวจวัดโอโซนด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ทั้งภาคพื้นดินและดาวเทียมในช่วง พ.ศ. 2523-2533 พบว่ามีโอโซนลดลงมากเหนือทวีปแอนตาร์กติกร้อยละ 60 โดยลดลงมากระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายนของทุกปี โดยในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2530 พบว่าความเข้มข้นโอโซนเหนือทวีปแอนตาร์กติกลดอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับปกติ ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ “รูรั่วโอโซนในทวีปแอนตาร์กติกา” (Antarctic ozone hole) ในเขตขั้วโลกเหนือหรือทวีปอาร์กติกละก็มีความเข้มข้นโอโซนลดลงเช่นกัน โดยลดลงในช่วงฤดูหนาวถึงฤดูใบไม้ผลิ (เดือนมกราคม-มีนาคม) ในช่วง พ.ศ.2533-2537 ที่ผ่านมามีอัตราการลดลงเฉลี่ยของโอโซนมีมากถึงร้อยละ 20-25 ซึ่งอาจมีค่าสูงต่ำกว่านี้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น การเกิดของเมฆสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกใต้หรือ Polar Stratosphere Clouds (PSC) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการนำสารประกอบ CFCs ไปสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์

ส่วนสาเหตุที่เกิดรูโอโซนที่บริเวณขั้วโลกใต้ หรือทวีปแอนตาร์กติกา เชื่อว่าเกิดจากลักษณะพิเศษบางอย่างของภูมิภาคที่นั่นคือ

- ประการแรกในฤดูหนาวที่ยาวนานถึง 4 เดือนโดยไม่มีแสงแดดนั้น อุณหภูมิของบรรยากาศชั้น Stratosphere ช่วงต้นคือราว 10 กม. จากพื้นดินต่ำมากถึง -90 องศาเซลเซียส ความเย็นจัดนั้นส่งผลให้อุณหภูมิทั้งหมดในอากาศกลายเป็นเกล็ดน้ำแข็งไป สันนิษฐานว่าเริ่มต้นมีสาร CFC เข้าไปเกาะกับละอองน้ำแข็งที่ประกอบกันขึ้นเป็นเมฆในชั้น Stratosphere และรออยู่ตลอดในฤดูหนาว จนเมื่อดวงอาทิตย์เริ่มโผล่ออกมา สาร CFC ที่ถูกแสงแดดก็แตกตัวออกเป็นอะตอมคลอรีน และเริ่มปฏิบัติการทำลายโอโซน โดยไม่มีการขัดขวางหรือการต้านทานจากสารเคมีอื่นภายนอก

- ประการที่ 2 คือพายุหิมะที่ขั้วโลกใต้ได้รับสารเคมีทุกอย่างไว้ในวงหมุนของมัน ไม่ให้หลุดออกไปข้างนอกและสารเคมีข้างนอกไม่ให้เข้าไป เมื่อถึงฤดูร้อน พายุหิมะที่กักรูโอโซนไว้ภายในก็สลายตัว ทำให้โอโซนจางไปด้วย คาดว่าอากาศที่มีรูโอโซนกระจายไปจนถึงละติจูด 60 องศาใต้ และหลายคนยังคงคิดว่ายังจะแผ่กระจายขึ้นไปสูงถึงละติจูด 40-45 องศาใต้ นั่นคือ แถว ๆ เกาะแทสเมเนีย ที่น่าเป็นห่วงก็คือ มีแนวโน้มว่าพายุขั้วโลกใต้จะขยายวงกว้างขึ้นและกินเวลานานขึ้นกว่าจะสลายตัว นั่นหมายถึงว่าปริมาณโอโซนที่ถูกทำลายจะยิ่งเพิ่มขึ้น ผลกระทบก็จะสูงขึ้นด้วย

แม้ว่าปริมาณโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์กำลังลดลง แต่พบว่าในชั้นโทรโพสเฟียร์มีแนวโน้มที่ปริมาณโอโซนจะเพิ่มมากขึ้น (คาดว่าอาจมีถึงร้อยละ 10 ต่อ 10 ปี) โดยปริมาณโอโซนที่เพิ่มขึ้นในซีกโลกเหนือพบในบริเวณไฟไหม้ในทุ่งหญ้าสะวันนา เขตร้อน ปริมาณโอโซนที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์เพราะมีรังสีดวงอาทิตย์กระทบกับมลพิษบางชนิด เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ไอเสียเครื่องบินและรถยนต์ รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของสารกระตุ้นหรือสารเริ่มต้นของปฏิกิริยา (Precursors) เช่น มีเทน (CH<sub>4</sub>) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นต้น

อย่างไรก็ตามโอโซนที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถทดแทนโอโซนที่ลดลงในสตราโตสเฟียร์ได้ เพราะอยู่ในส่วนชั้นบรรยากาศที่ต่างกัน นอกจากนั้นโอโซนที่เพิ่มขึ้นบริเวณผิวพื้นมีผลเสียต่อสุขภาพมนุษย์ เช่น แสบตา ระคายเคืองต่อหลอดลม เพราะว่าโอโซนทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ ได้อย่างง่ายด้วยการออกซิไดซ์และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดไฟโตเคมิคัลที่เกิดขึ้นในวันที่อากาศร้อนอบอ้าวปราศจากเมฆในเมืองใหญ่ทั่วโลก ซึ่งรัฐบาลควรมีมาตรการเตรียมป้องกันและการควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้น

## 7. ผลกระทบจากการลดลงของก๊าซโอโซน

ผลการลดปริมาณของโอโซนในชั้นบรรยากาศมีผลกระทบออกมาในหลายรูปแบบ เนื่องจากโอโซนไม่ได้กระจายตัวอย่างเป็นรูปแบบและมีความไม่เสถียร ผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงมีทั้งทำให้อุณหภูมิอบอุ่นขึ้นและเย็นลง โดยอบอุ่นขึ้นในตอนล่างของบรรยากาศชั้นสเตรโตสเฟียร์ อย่างไรก็ตามผลการลดปริมาณลงส่งผลให้มีรังสีคลื่นสั้นผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศมากขึ้น โดยเฉพาะรังสีในช่วงอุลตราไวโอเล็ตแบบ UV-B ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ เช่น ทำให้เป็นโรคต่อกระจกมากขึ้น อันตรายต่อผิวหนัง จนอาจก่อให้เกิดมะเร็งที่เซลล์ผิวหนังได้ ซึ่งพบว่า UV-B ทำให้เป็นมะเร็งผิวหนังชนิดนอนมีลาโนมา (Non-melanoma) และมีอัตราผู้ป่วยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลทางการแพทย์ระบุว่า UV-B สามารถเข้าไปทำลายดีเอ็นเอทางพันธุกรรมและยังยับยั้งระบบภูมิคุ้มกันร่างกายได้

มีผลการศึกษารายงานว่า ปริมาณโอโซนลดลงร้อยละ 1 ส่งผลให้มีผู้ป่วยมะเร็งผิวหนังชนิดนอนมีลาโนมาเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 2 นอกจากนี้ยังมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงตอนในทะเล เมื่อ UV เข้ามามากย่อมส่งผลต่อการลดปริมาณ CO<sub>2</sub> ในชั้นบรรยากาศ ทำให้แพลงตอนลดจำนวนลงเกิดการเสียสมดุลในวัฏจักรคาร์บอนและย่อมมีผลกระทบต่อภูมิอากาศตามมาอย่างหลีกเลี่ยงได้ยาก โดยเดือนที่มีปริมาณ UV ส่งเข้ามามากคือเดือนตุลาคม ผลการศึกษาใน พ.ศ. 2534 พบว่าค่าปริมาณโอโซนจะลดต่ำลงในฤดูร้อน ถ้าอยู่กลางแจ้งจะได้รับแสงอุลตราไวโอเล็ตสูงสุดในฤดูร้อนมาก ปริมาณโอโซนลดลงเหนือละติจูดกลางและขั้วโลกประมาณร้อยละ 10 (พิจารณาความเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติจากทั้งสองซีกโลก)

## 8. มาตรการลดปัญหาโอโซน

แนวคิดที่นำมาใช้เป็นยุทธศาสตร์ในการบรรเทาการลดลงของปริมาณโอโซนคือหาทางเอา CFCs ออกจากบรรยากาศ หักปล่อยสารที่ทำลายโอโซน และทดแทนปริมาณโอโซนที่สูญเสียไปในบรรยากาศ ซึ่งองค์การอุทกนิยามวิทยาโลกและองค์การสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) ได้ผลักดันและสร้างความตระหนักถึงผลกระทบต่อปัญหาโอโซนของโอโซนที่จะก่อให้เกิดผลต่อบรรยากาศโลกและสุขภาพของมนุษย์ พร้อมหามาตรการบังคับใช้เพื่อลดการใช้หรือปล่อยสารเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ โดยร่วมผลักดันให้ประเทศต่าง ๆ ร่วมลดใช้สารที่ก่อผลต่อปริมาณโอโซน ในพ.ศ. 2527 มีการประชุมสุดยอดวิชาการของประชาคมด้าน

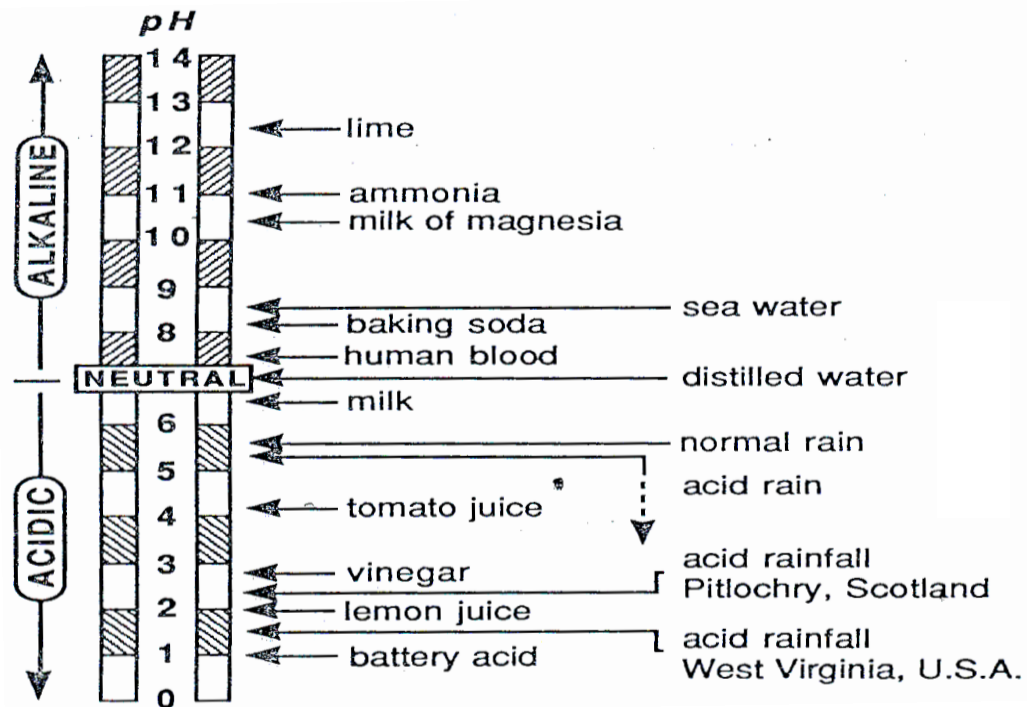
โอโซน ในเมือง Halkidiki โดย S. Chubachi จากหน่วยงานอุตุนิยมวิทยาแห่งญี่ปุ่นได้รายงาน ว่ามีการตรวจวัดโอโซนได้ค่าต่ำสุดประมาณ 200 มิลลิ-บรรยากาศ-เซนติเมตร ณ สถานีไซโย วา (Syowa) เป็นเวลาหลายวันในช่วงฤดูหนาวในทวีปแอนตาร์กติกา และมีรายงานสนับสนุน จากสถานีตรวจวัดของประเทศต่าง ๆ ออกมามากมายจนนำไปสู่ข้อตกลงในอนุสัญญาเวียนนา เมื่อ พ.ศ.2528 และใน พ.ศ. 2530 เกิดความร่วมมือในพิธีสารมอนทรีออล และล่าสุดได้มีการ จัดประชุมประเทศภาคีสมาชิกพิธีสารมอนทรีออลครั้งที่ 11 ขึ้นใน พ.ศ. 2542 ที่กรุงปักกิ่ง ได้ มีข้อตกลงเพื่อหยุดใช้สารซีเอฟซี ฮาลอนและสารทำลายโอโซนชนิดอื่น ๆ ซึ่งเป็นตัวการหลัก ในการทำลายโอโซน ข้อตกลงเหล่านี้เป็นสนธิสัญญาการจัดการความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมโลก ครั้งแรกภายใต้สหประชาชาติเพื่อป้องกันปัญหาที่กำลังเกิดขึ้น ถือเป็นความสำเร็จอย่างหนึ่ง ของมนุษยชาติในการร่วมมือกันปกป้องชั้นบรรยากาศโลก ทำให้มีความมั่นใจต่อความ ปลอดภัยและความยั่งยืนของโลกในอนาคต

ปัจจุบันประเทศต่าง ๆ ได้ให้สัตยาบันและมีมาตรการหยุดผลิตและ/หรือบริโภคสารที่ ทำลายชั้นโอโซนและมุ่งเน้นพัฒนาสารอื่นที่ไม่ทำลายโอโซนขึ้นมาทดแทน (Ozone-Friendly) อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการปฏิบัติยังคงมีสารเหล่านั้นเก็บไว้เพื่อการใช้ในกรณีจำเป็น ผลที่ เกิดขึ้นจากความร่วมมือทำให้มีความมั่นใจว่าโดยขบวนการธรรมชาติชั้นโอโซนจะกลับคืน มาเหมือนเดิมในอีกประมาณ 50 ปีข้างหน้าและใน พ.ศ. 2550 องค์การ NASA ได้เสนอ รายงานว่ามีปริมาณความหนาแน่นของชั้นโอโซนในบรรยากาศเพิ่มขึ้น แต่ขนาดของรูโหว่ก็ ยังคงมีขนาดใหญ่กว่าประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งถ้าหากประเทศต่าง ๆ ละเลิกและหยุดการใช้ สารที่มีผลต่อโอโซนอย่างจริงจังแล้ว เชื่อว่าบรรยากาศคงมีชั้นโอโซนสะสมอยู่ในปริมาณที่ สมดุล

## 9. ฝนกรด

ฝนกรดหมายถึง น้ำฝนที่มีค่า pH ต่ำกว่าระดับ 5.6 โดยปกติการวัดค่าสารที่เป็นกรด จะใช้มาตรา pH เป็นหน่วยในการวัด โดยจะมีค่าเป็นไปตั้งแต่ 0 ถึง 14 การที่สารใด ๆ นั้น จะเป็นกรดได้นั้น หมายถึงสารนั้น ๆ จะต้องมีความ pH ตั้งแต่ 1 ถึง 6 โดยค่าที่น้อยเท่าไร หมายถึงยิ่งเป็นกรดแก่เท่านั้น ในทางกลับกัน สารที่มีความ pH ตั้งแต่ 8 ถึง 14 จะเรียกว่า ต่าง (base หรือ alkalis) โดยสารเหล่านี้จะทำการรับอะตอมไฮโดรเจนแทน น้ำบริสุทธิ์มีค่า pH เป็น 7 กล่าวคือไม่ได้เป็นกรดและไม่ได้เป็นด่าง เรียกสารนี้ว่า เป็นกลาง โดยทั่วไปแล้วถ้า ฝนมีค่า pH ต่ำกว่า 5.6 จะถือว่าเป็นฝนกรด เมื่อใดก็ตามที่กรดรวมตัวกับด่าง ด่างจะทำให้

ความเป็นกรดลดน้อยลงมาได้ ซึ่งฝนในบรรยากาศปกติจะมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ๆ อยู่แล้ว มักจะทำปฏิกิริยากับต่างอื่น ๆ ในธรรมชาติทำให้เกิดสมดุลขึ้น แต่เมื่อใดก็ตามที่ปริมาณกรดในบรรยากาศเพิ่มขึ้น จึงทำให้สมดุลตรงนี้เสียหายไป จึงทำให้เกิดความเสียหายต่าง ๆ กับสภาพแวดล้อมมากมาย ตั้งแต่ ดิน น้ำ สัตว์ต่าง ๆ รวมไปถึงสิ่งก่อสร้างของมนุษย์เอง



รูปที่ 12.3 มาตรฐานพีเอช (pH scale) แสดงระดับ pH ของฝนกรด  
เปรียบเทียบกับค่า pH ของสารอื่น ๆ

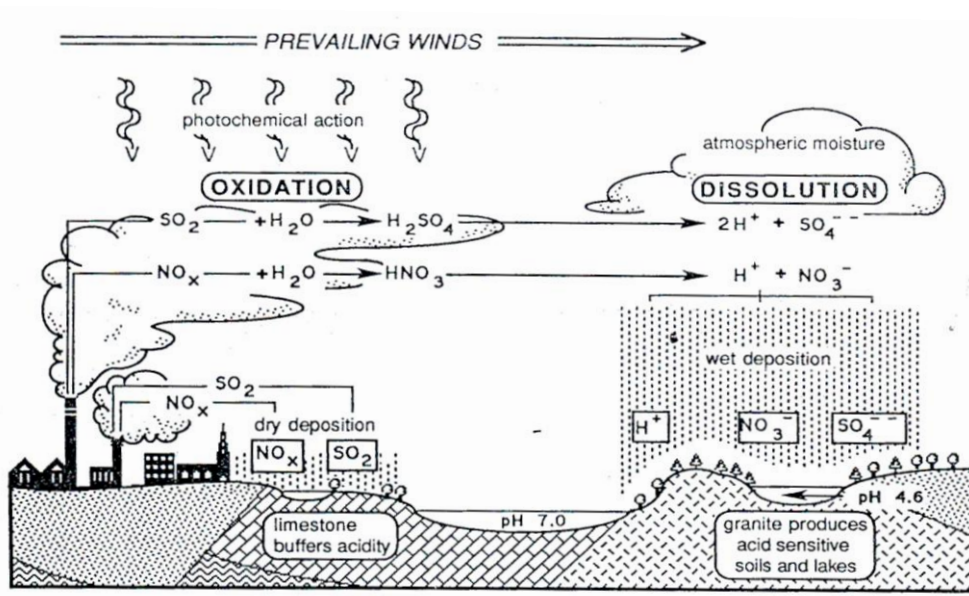
ที่มา : Kemp, 1994, p.71

ฝนกรดเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอันเกิดจากมลภาวะทางอากาศและน้ำฝนได้ชะล้างมลภาวะเหล่านั้นให้ตกลงมายังพื้นโลก กรดในน้ำฝนเกิดจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนตริกออกไซด์ ที่มีอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างซีกโลกเหนือและใต้ ประเทศอุตสาหกรรมส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร จึงใช้เชื้อเพลิงมากกว่าซีกโลกใต้ประมาณ 16 เท่า จึงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกำมะถัน และออกไซด์

ของไนโตรเจนมากกว่าปกติ เมื่อฝนตกลงมาจึงละลายก๊าซเหล่านั้น ทำให้น้ำฝนมีค่าความเป็นกรดสูงขึ้น

## 10. การเกิดฝนกรด

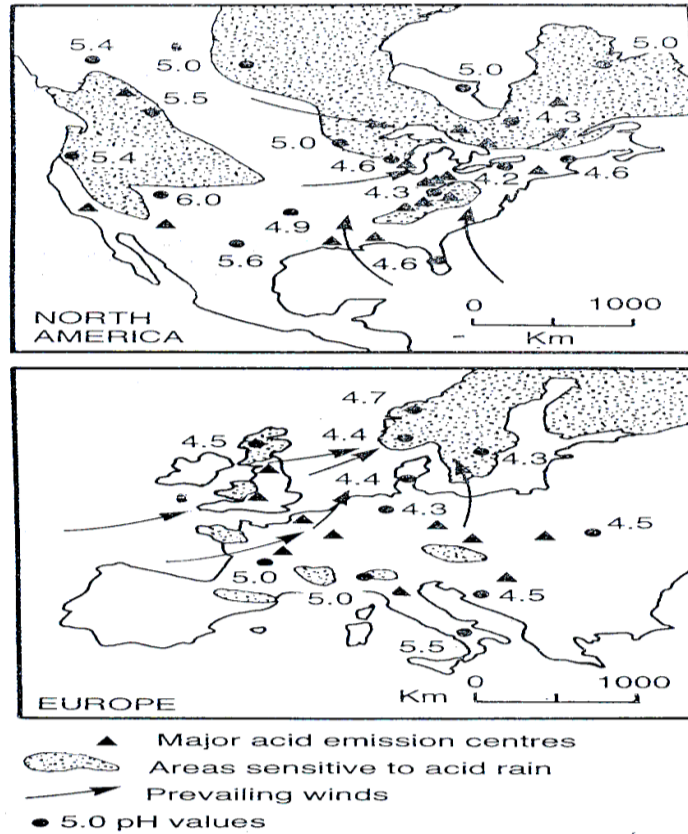
กระบวนการที่ก่อให้เกิดฝนกรดนั้น เริ่มต้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลต่าง ๆ การเผาไหม้คือปฏิกิริยาเคมีที่ออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ในอากาศรวมตัวกับคาร์บอน ( $\text{C}$ ) ไนโตรเจน ( $\text{N}$ ) ซัลเฟอร์ ( $\text{S}$ ) และสารอื่น ๆ ที่ประกอบอยู่ในสารที่เกิดการเผาไหม้ มีไนโตรเจนหรือซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบด้วยแล้ว ก็จะเรียกว่าก๊าซออกไซด์ โดยเมื่อใดก็ตามสิ่งที่ถูกเผาไหม้นั้น มีไนโตรเจนหรือซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบด้วยแล้ว ก็จะเป็นผลทำให้สารออกไซด์เหล่านี้ก่อกำเนิดขึ้นมาได้ ในประเทศอเมริกา 70% ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดมาจากโรงงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ในแคนาดา อุตสาหกรรมบางอย่าง เช่น การกลั่นน้ำมัน การหลอมโลหะ ก่อสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงถึง 61% ส่วนไนโตรเจนออกไซด์นั้น เกิดได้จากหลายแหล่ง เนื่องจากสารอินทรีย์หลาย ๆ ชนิดมักจะมีไนโตรเจนประกอบอยู่ โดยควันพิษจากรถยนต์นั้นมีส่วนแบ่งมากที่สุด อย่างไรก็ตามแหล่งการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ที่สำคัญอีกแหล่งก็คือ การเผาศพ เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์เข้าสู่บรรยากาศแล้ว จะทำปฏิกิริยากับไอน้ำ และสารเคมีอื่น ๆ ในบรรยากาศ ก่อให้เกิดกรดซัลฟูริก กรดไนตริกและสารพิษอื่น ๆ ประเภทไนเตรตและซัลเฟต โดยสารเหล่านี้อาจจะสลายตัวลงไปในพื้นที่แล้วตกลงมาพร้อมกัน



รูปที่ 12.4 การเกิด การกระจาย และผลกระทบจากฝนกรด  
ที่มา : Kemp, 1994, p. 72

## 11. บริเวณที่เกิดฝนกรด

โดยทั่วไปแล้ว ฝนกรดจะไม่เกิดใกล้กับแหล่งที่เป็นตัวปล่อยก๊าซ แต่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่อยู่ไกลออกไปทางใต้ลม เพราะต้องอาศัยปฏิกิริยาของก๊าซที่เกิดขึ้นในอากาศก่อนที่จะตกลงมา ตัวอย่างที่เกิดขึ้นในต่างประเทศ เช่นอเมริกา แหล่งที่ปล่อยก๊าซอยู่บริเวณรัฐโอไฮโอ เคนตักกี แต่ไปเกิดฝนกรดในประเทศแคนาดา ซึ่งอยู่เหนือขึ้นไป หรือแวนคูเวอร์แลนด์ ซึ่งอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในยุโรป แหล่งปล่อยก๊าซคือประเทศทางยุโรปตะวันตก แต่ประเทศที่ได้รับผลกระทบกลับเป็นประเทศในยุโรปเหนือบริเวณสแกนดิเนเวีย ที่อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ไม่พบฝนกรดในไทย แต่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดฝนกรดขึ้นในประเทศลาวหรือประเทศจีนตอนใต้หรือตอนใต้ของพม่า ในทำนองเดียวกัน ฝนกรดที่จะเกิดขึ้นในไทย อาจมาจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ในประเทศอื่นโดยรอบได้ โดยเฉพาะจากประเทศจีนตอนใต้ซึ่งมีการใช้ถ่านหินลิกไนต์ซึ่งมีกำมะถันเจือปนอยู่สูงเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก

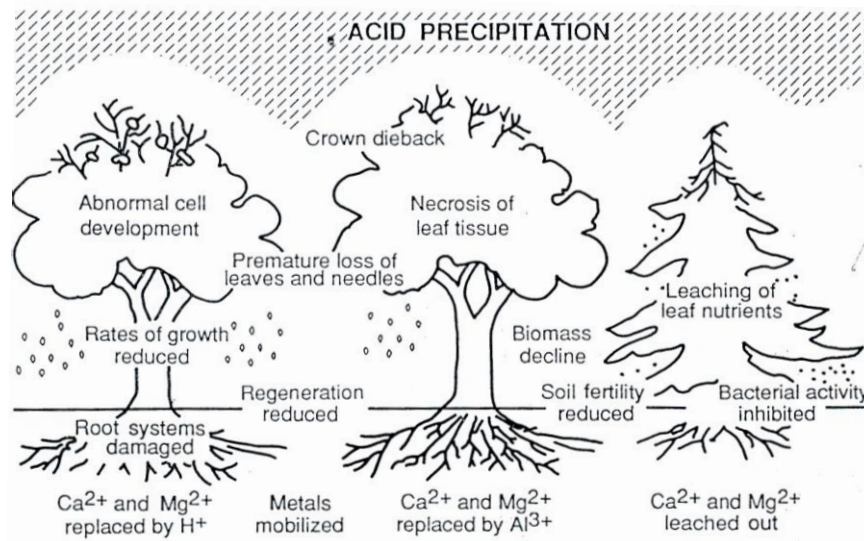


รูปที่ 12.5 บริเวณที่เกิดฝนกรดในทวีปอเมริกาเหนือและทวีปยุโรป  
ที่มา : Kemp, 1994, p.74

## 12. ผลกระทบจากฝนกรด

ความเสียหายอันเกิดมาจากฝนกรดได้แพร่ขยายไปทั่วอเมริกาเหนือ ยุโรป ญี่ปุ่น จีน และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ฝนกรดจะละลายปุ๋ยในดิน ทำให้พืชเติบโตช้า เมื่อไหลลงแหล่งน้ำ ก็จะทำให้แหล่งน้ำนั้น ๆ ไม่เอื้ออำนวยให้สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ได้ หรือแม้แต่ในเมืองเอง ฝนกรดก็ก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หรืออาจจะจับตัวรวมกับหมอกก่อให้เกิดหมอกควันพิษ (smog) ที่ทำอันตรายกับระบบทางเดินหายใจและอาจรุนแรงถึงชีวิตได้หากมีมากถึงระดับหนึ่ง





รูปที่ 12.6 ผลกระทบจากฝนกรดต่อสภาพแวดล้อมบนพื้นโลก  
ที่มา : Kemp, 1994, p.85

### 12.1 ผลกระทบที่มีต่อดิน

ฝนกรดจะทำการละลายและพัดพาปุ๋ยและสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของต้นไม้ไป นอกจากนี้แล้วอาจจะยังละลายสารพิษอื่น ๆ ที่มีอยู่ทั่วไปในดิน เช่น อะลูมิเนียม (aluminum : Al) และปรอท (mercury : Hg) โดยพัดพาสารเหล่านี้ลงไปในแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดอันตรายกับระบบนิเวศน์ในน้ำต่อไป

### 12.2 ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ

เมื่อฝนกรดตกลงมาและถูกดูดซึมลงแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้โดยง่าย น้ำบริสุทธิ์ในธรรมชาติทั่วไป มักเป็นกรดอ่อน ๆ หรือเบสอ่อน ๆ โดยค่า pH จะอยู่ที่ประมาณ 6-8 อย่างไรก็ตามฝนกรดอาจทำให้ค่า pH ในแหล่งน้ำบางแหล่งลดต่ำกว่านั้น ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น ๆ รวมไปถึงความสามารถในการละลายออกซิเจนในน้ำที่ลดน้อยลง เมื่อน้ำไม่สามารถละลายออกซิเจนไว้ได้ สิ่งมีชีวิตใต้น้ำก็ไม่สามารถหายใจได้ตามปกติจึงต้องล้มตายไป ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงกับระบบนิเวศน์ โดยสิ่งมีชีวิตทั่วไปจะเริ่มล้มตายเมื่อค่า pH เริ่มลดลงต่ำกว่า 6.0 ไชปลาจะไม่สามารถฟักออกเป็นตัวได้เมื่อค่า pH ลดลงถึง 5.0

และเมื่อใดก็ตามที่ค่า pH ของน้ำลดลงต่ำกว่า 4.5 แหล่งน้ำนั้นจะไม่สามารถค้ำจุนสิ่งมีชีวิตใด ๆ ได้อีก สัตว์บกเองก็เชื่อว่าจะไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งน้ำที่เป็นกรด หอยทากที่อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำที่เป็นกรดจะเกิดปัญหากับเปลือกหอยของมัน ทำให้เปลือกไม่แข็งแรง และเมื่อนกกินหอยทากเหล่านี้เข้าไป ส่งผลให้นักขาดสารแคลเซียม ก่อให้เกิดปัญหาเปลือกไขบางในนกบางชนิดอีกด้วย

### 12.3 ผลกระทบที่มีต่อต้นไม้

นอกจากต้นไม้จะได้รับผลกระทบจากการที่สารอาหารในดินถูกชะล้างไปแล้ว ฝนกรดเหล่านี้ยังเป็นอันตรายต่อบางส่วนของพืชด้วย โดยการกัดกร่อนใบ ทำให้เกิดรูโหว่ ทำให้พืชขาดความสามารถในการผลิตอาหารจากการสังเคราะห์แสง (photosynthesis : ความสามารถในการสร้างอาหารของพืชโดยน้ำ ออกซิเจน และแสงเป็นวัตถุดิบ) นอกจากนี้แล้วเชื้อโรคต่าง ๆ อาจทำอันตรายกับพืชได้โดยเข้าผ่านทางแผลที่ใบ ทำให้ต้นไม้อ่อนแอต่อสภาวะอื่น ๆ อีกมากมาย ไม่ว่าจะเป็นความร้อน หรือความแห้งแล้ง

### 12.4 ผลกระทบต่อการเกษตร

สำหรับปัญหากับพืชผลทางการเกษตรถือได้ว่าน้อยกว่าพืชในป่าทั่วไปได้รับ เพราะโดยทั่วไปปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรมีความสามารถรองรับกรดได้มากกว่าปกติเล็กน้อยอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามเกษตรกรควรตรวจสอบสภาพของดินอย่างสม่ำเสมอ หากบางพื้นที่ประสบปัญหาสภาพดินเป็นกรด สามารถเติมปูนขาวลงไปในพื้นที่เพื่อให้เกิดสมดุลได้โดยไม่มีผลข้างเคียงใด ๆ การเจริญเติบโตของพืชจะไม่ออกมาเป็นไปตามธรรมชาติจะมีการขยายพันธุ์ที่รวดเร็วเกินไปเป็นจำนวนมากคล้ายกับห้วงโซ่อาหาร

### 12.5 ผลกระทบที่มีต่อสิ่งปลูกสร้างของมนุษย์

ภาพความเสียหายจากฝนกรดที่ปราสาทลินคอล์นในอังกฤษ ทำให้เกิดก้อนปูนหลุดขึ้นมาจากเนื้อหินและปัญหาตามมาก็คือเกิดปลวกขึ้นตามไม้จากสิ่งปลูกสร้างของมนุษย์ ฝนกรดอาจทำความเสียหายอย่างรุนแรงกับสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยสิ่งที่เห็นได้ชัดที่สุดคือปูนที่ถูกฝนกรดละลายออกมา ทำให้เกิดความเสียหายที่ยากจะซ่อมแซมได้ในบางกรณี ซึ่งสิ่งนี้กำลังเป็นปัญหาใหญ่ในการปกป้องสิ่งปลูกสร้างเก่า ๆ และสถานที่สำคัญของประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติ เช่น วิหารพาร์เธนอน (Parthenon) เป็นต้น

## 12.6 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

แหล่งน้ำที่เป็นกรดไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับมนุษย์เท่าไรนัก ไม่มีปัญหาอะไรถ้าเราจะว่ายน้ำในทะเลสาบที่เป็นกรด แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญไม่ได้อยู่ที่ความเป็นกรดของน้ำ หากเป็นเพราะสารพิษที่ละลายมาจากดินลงสู่แหล่งน้ำต่างหาก ในสวีเดน มีทะเลสาบมากกว่าหนึ่งหมื่นแห่งที่ได้รับผลกระทบจากฝนกรด ทำให้มีสารปรอทละลายอยู่เป็นจำนวนมาก ประชาชนบริเวณแถบนั้นได้รับการเตือนโดยทางการไม่ให้รับประทานปลาที่จับมาจากแหล่งน้ำเหล่านั้น สำหรับในอากาศ กรดเหล่านี้จะรวมตัวกับสารเคมีอื่น ๆ ก่อให้เกิดหมอกควันที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและทำให้หายใจได้ลำบาก โดยเฉพาะกับคนที่มีโรคหอบหืด หรือโรคทางเดินหายใจอื่น ๆ อยู่แล้ว อาการอาจกำเริบรุนแรงจนถึงแก่ชีวิตได้

## 13. การควบคุมการเกิดฝนกรด

คือการควบคุมกำเนิดสารประกอบของซัลเฟอร์และไนโตรเจนนั่นเอง ซึ่งอาจมีวิธีการหลายวิธี เช่น

1. การเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีการปนเปื้อนของซัลเฟอร์น้อย
2. ปรับปรุงการสันดาปเพื่อควบคุมการเกิดสารประกอบออกไซด์ไนโตรเจนด้วยการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 1,500 องศาเซลเซียส
3. ควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการสันดาป
4. การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อกำจัดพิษก่อนระบายออกสู่บรรยากาศ ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและเพิ่มความยุ่งยากในการบำรุงรักษาอีกไม่น้อย การสร้างปล่องควันสูงลิบลิวไม่สามารถแก้ปัญหามลพิษทางอากาศได้ แต่เป็นการผลักภาระปัญหาจากสถานที่ใกล้เคียงไปยังแหล่งที่อยู่ห่างไกลมากกว่าเท่านั้น

## 14. การแก้ไขและป้องกันปัญหาฝนกรด

การลดปัญหาฝนกรดสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยวิธีการลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่จะเข้าสู่บรรยากาศจากโรงงานไฟฟ้า ยานพาหนะ และโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป วิธีที่ง่ายที่สุดคือการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยการประหยัดพลังงาน ไม่ว่าจะเป็ใครก็สามารถช่วยโลกด้วยวิธีนี้ได้ การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน การใช้ระบบขนส่งมวลชน เหล่านี้ล้วนเป็น

วิธีการลดปัญหาฝนกรดได้อย่างดีทีเดียว อีกทางเลือกหนึ่งคือการคัดเลือกเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ ถ่านหินจากแหล่ง ๆ หนึ่ง อาจมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนน้อยกว่าอีกแหล่งหนึ่งอย่างเห็นได้ชัด และถ่านหินบางแหล่งอาจสามารถกำจัดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไปก่อนได้อย่างง่ายดาย ด้วยการใช้เชื้อเพลิงที่ปลอดสารซัลเฟอร์และไนโตรเจน ก็จะสามารถลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์น้อยกว่าเชื้อเพลิงอื่น ๆ อีกด้วย สำหรับเชื้อเพลิงที่น่าจับตามองในการป้องกันปัญหาฝนกรดมากที่สุดเห็นจะเป็นก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากก๊าซธรรมชาติปลอดจากซัลเฟอร์และมีไนโตรเจนอยู่เพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามจุดอ่อนของก๊าซธรรมชาติคือความที่มันมีราคาค่อนข้างแพง มีปริมาณน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ จึงเป็นปัญหาสำหรับประเทศที่มีปัญหาทางเศรษฐกิจในการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่ช่วยรักษาโลกใบนี้

มลภาวะยังสามารถลดได้ในระหว่างที่กำลังมีการเผาไหม้ เตาเผาไหม้ ๆ สามารถลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้โดยการทำให้ไนโตรเจนเหล่านั้นจับตัวเป็นไนโตรเจนอิสระซึ่งไม่มีอันตรายใด ๆ นอกจากนี้การใส่ปูนขาวหรือหินทรายลงไปในช่วงการเผาเพื่อช่วยในการจับซัลเฟอร์บางส่วนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ให้ลดน้อยลงไปได้ แต่เมื่อใดที่ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่ถือกำเนิดขึ้นแล้ว วิธีการแก้ไขคือการป้องกันสารทั้งสองออกจากการเข้าสู่บรรยากาศ ในปล่องควันจะมีอุปกรณ์อย่างหนึ่ง เป็นเครื่องฟอกอากาศโดยใช้ละอองน้ำ (scrubbers spray) โดยให้ก๊าซเหล่านี้ผ่านละอองน้ำและละอองหินปูนเพื่อละลายสารพิษออกมา แล้วกักเก็บไว้บำบัดต่อไป นอกจากนี้แล้ว เรายังสามารถเปลี่ยนก๊าซที่มีพิษเหล่านี้ให้เป็นก๊าซอื่น ๆ ที่มีพิษน้อยกว่าได้ โดยผ่านสารไปในกลุ่มของเมทัลโลหะพิเศษ ที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนสารพิษให้เป็นสารที่ปลอดภัยขึ้น (catalytic converters) โดยใช้อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในรถยนต์ แต่กลับไม่นิยมในอุตสาหกรรมทั่วไป การลดปัญหาเมื่อเกิดฝนกรดนี้แล้วก็นับว่าได้ผลเช่นกัน ที่นอร์เวย์และสวีเดน ปัญหาเหล่านี้ได้ถูกแก้ไขโดยการเติมปูนขาวลงในแหล่งน้ำต่าง ๆ และยังมี การเติมปูนขาวลงในถังเก็บนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับท่อประปา ในตัวเมืองเอง การใช้สีหรือสารอื่น ๆ ที่สามารถป้องกันฝนกรดได้เคลือบทาไว้บนสิ่งปลูกสร้างก็สามารถลดปัญหาได้อย่างดี