

## บทที่ 4 มลพิษทางน้ำ (Water Pollution)

### 4. มลพิษทางน้ำ

#### 4.1. บทนำ

##### 4.1.1. ความสำคัญของมลพิษทางน้ำ

เราได้ศึกษาเกี่ยวกับวัฏจักรของน้ำมาแล้ว ซึ่งได้แสดงถึงความสำคัญของน้ำต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม สมบัติที่สำคัญบางประการของน้ำที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อนี้มีดังนี้

1. เป็นตัวทำละลายที่ดีมาก ดังนั้นจึงเป็นตัวกลางหลักทางชีวภาพในทางเคลื่อนย้ายสารอาหารและผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสีย ช่วยนำให้กระบวนการชีวภาพในสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำดำเนินไปได้
2. มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงสุดของของเหลวที่ใช้ทั่วไป ช่วยในการละลายและการแตกตัวของสารประกอบไอออนิก
3. มีค่าแรงตึงผิวมากกว่าของเหลวอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าและ capillary action
4. มีความโปร่งใสและแสงสำหรับช่วงคลื่นวิสิเบิลและอัลตราไวโอเลตบางส่วน จึงจะยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านเพื่อการสังเคราะห์แสงโดยใช้แสงของพืชในน้ำที่มีความลึกในระดับต่าง ๆ

5. มีความหนาแน่นมากที่สุด  $4^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นน้ำแข็งจึงลอยในน้ำ และการหมุนเวียนในแนวตั้งของน้ำจึงมีขีดจำกัด
6. มีค่าความร้อนของการกลายเป็นไอสูงกว่าสารอื่น ๆ ซึ่งจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่าง บรรยากาศและน้ำ
7. มีค่าความร้อนแฝงของการหลอมละลายกว่าของเหลวอื่น ๆ ยกเว้นแอมโมเนีย ซึ่งก็หมายความว่าอุณหภูมิรอบ ๆ จุดเยือกแข็งค่อนข้างคงที่และเสถียร
8. มีความจุความร้อนสูงกว่าของเหลวอื่น ๆ ยกเว้นแอมโมเนีย ซึ่งจะช่วยในการรักษาอุณหภูมิในสิ่งมีชีวิตและภูมิศาสตร์

#### 4.1.2. แหล่งกำเนิดของน้ำเสียปฐมภูมิ

น้ำเสียจะถูกปล่อยออกมาจากแหล่งปฐมภูมิหลัก ๆ 4 แหล่งด้วยกันคือ

1. น้ำโสโครกจากอาคารบ้านเรือนหรือชุมชน
2. น้ำเสียจากทางด้านอุตสาหกรรม
3. น้ำที่ไหลออกมาจากการกสิกรรม
4. น้ำจากน้ำฝนและน้ำทิ้ง ของเขตเมือง

#### 4.1.3. มาตรฐานคุณภาพของน้ำ ( Water Quality Standards)

มาตรฐานคุณภาพของน้ำโดยมากจะมีรากฐานจากกฎเกณฑ์เบื้องต้น 2 ประการ คือ มาตรฐานของน้ำในแหล่งน้ำ และมาตรฐานในน้ำทิ้ง

มาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำ จะอาศัยหลักที่ว่าความต้องการการเยียวยาสำหรับคุณภาพของน้ำให้ได้รับค่าที่มีอยู่กับค่าต่ำสุดของมลพิษหนึ่ง ๆ หรือ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้น้ำ

มาตรฐานในน้ำทิ้ง อาศัยหลักของความเข้มข้นของมลพิษที่สามารถจะถูกปล่อยออกมาหรือขนาดของการบำบัดที่ต้องการใช้ มาตรฐานของน้ำทิ้งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นสูงสุดของมลพิษ ( มิลลิกรัมต่อลิตร, mg/L)หรือปริมาณสูงสุด ( ปอนด์ต่อวัน, lb/day ) ของมลพิษ ที่จะถูกปล่อยส่งสู่แหล่งน้ำที่รองรับ

#### 4.1.4. ลักษณะเฉพาะของน้ำเสีย

พารามิเตอร์พื้นฐานในการกำหนดลักษณะเฉพาะของน้ำเสียสรุปได้ดังนี้

1. รายละเอียดของแหล่งที่เป็นจุดกำเนิด นั่นคือจะบอกองค์ประกอบของของเสีย ( สารประกอบที่เฉพาะหรือองค์ประกอบทั่วไป ) อัตราการปล่อยออกมา (เฉลี่ยและจุดสูงสุด) การปล่อยออกมาที่เดียวและความถี่ของการปล่อยแบบฉุกเฉินหรือการหกเลอะเทอะ

2. สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบ

- องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์
- สารอินทรีย์ทั้งหมด ในรูป COD, Total Organic Carbon ( TOC ), BOD และสารที่สกัดได้
- สารพิษและสารที่เป็นอันตราย, ลำดับของมลพิษ
- สารอนินทรีย์ทั้งหมดในรูป TDS (Total Dissolved Solid)
- ไอออนของสารอนินทรีย์เฉพาะ เช่น As, Ba, Cd, CN, Hg, Pb, Se, Ag, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- pH, acidity, alkalinity
- ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

- น้ำมันและไขมัน
- ตัวออกซิไดส์-รีดิวส์
- สารลดแรงตึงผิว
- ความต้องการคลอรีน

3. สมบัติทางกายภาพ : ช่วงและการกระจายของอุณหภูมิ อนุภาคต่างๆ ( คอลลอยด์, ของแข็งที่จมหรือลอย ) สี, กลิ่น, สภาพการเป็นโฟม การกักคร่อนและกัมมันตภาพรังสี

4. ปัจจัยทางชีวภาพ : BOD, ความเป็นพิษ ( ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ, แบคทีเรีย, สัตว์ และพืชและแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค

5. ลักษณะเฉพาะของการไหล : อัตราการไหลเฉลี่ยในแต่ละวัน ระยะเวลา และขนาดของอัตราการไหลสูงสุด การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลสูงสุด และอัตราการไหลของน้ำในแหล่งน้ำ ( เฉลี่ยและสูงสุด )

4.1.5. คำจำกัดความขององค์ประกอบในน้ำเสีย

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดลักษณะน้ำเสียสามารถแยกออกได้เป็นองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์, สารอนินทรีย์ และ สารชีวภาพ สารปนเปื้อนที่สำคัญที่ได้รับความสนใจโดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สารปนเปื้อนที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการบำบัดน้ำเสีย

สารปนเปื้อน	เหตุผลที่มีความสำคัญ
ของแข็งแขวนลอย	นำไปสู่การเกิดตะกอน และการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเมื่อน้ำเสียที่ไม่ได้รับการบำบัดก่อนถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ
สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ส่วนมากถูกวัดในเหมอมของ BOD และ COD ถ้าถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ได้รับการบำบัด ความเสถียรทางชีวภาพจะนำไปสู่การลดปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในธรรมชาติ และเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
เชื้อโรค	เชื้อโรคต่างๆจะถูกถ่ายทอดโดยสิ่งมีชีวิตที่ก่อให้เกิดโรคในน้ำเสีย
สารอาหาร	ทั้ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส รวมถึงคาร์บอนที่เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ถ้าถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ได้รับการบำบัด สารอาหารเหล่านี้จะไปสู่การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่ไม่ต้องการในแหล่งน้ำ และเมื่อถูกปล่อยลงสู่ดินในปริมาณที่มากเกินไปสามารถนำไปสู่การปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

สารปนเปื้อน	เหตุผลที่ความสำคัญ
มลพิษที่ถูกลำดับความสำคัญ	สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ถูกเลือกโดยอาศัยความรู้ทางเป็นสารก่อให้เกิด ระเบิด การผาเสถา ทารกในครรภ์
สารอินทรีย์ที่ละลายตัวยาก	ความคิดปกติ ความเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน ส่วนมากพบในน้ำเสีย สารอินทรีย์ต่างๆที่ต่อต้านต่อระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไป ตัวอย่างเช่น สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และยาปราบศัตรูพืชทางค้ำานเกษตรกรรม
โลหะหนัก	โลหะหนักที่ถูกปล่อยลงสู่น้ำเสีย โดยกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรม
สารอินทรีย์ที่ละลายได้	องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น แคลเซียม โซเดียม และซัลเฟต ที่ถูกเคมิกลงไปในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน

องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จะถูกประมาณในเทอมของความ ต้องการ ใช้แก๊สออกซิเจนโดยใช้ค่า BOD, COD, หรือ

Total oxygen demand และเศษส่วนของสารอินทรีย์ที่สามารถแสดงได้ในเทอมของการใช้คาร์บอน, TOC ควรจะจำไว้ว่า พารามิเตอร์เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องวัดองค์ประกอบที่เหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะสะท้อนถึงค่าดังต่อไปนี้

1. BOD : สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในเทอมของความ ต้องการ ใช้แก๊สออกซิเจน ( oxygen demand )
2. COD : สารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกับสารอินทรีย์บางชนิด เช่น ซัลไฟด์ ซัลไฟท์ เพอร์รอสไอออน คลอไรด์ และไนไตรท์
3. TOD : คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดจะแสดงในรูปของคาร์บอน

ความต้องการออกซิเจนและคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 4.2 นอกเหนือจากคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) แล้ว ยังมีความสำคัญที่จะตรวจสอบ VOC และการมีอยู่ของมลพิษต่าง ๆ

ในการกำหนดลักษณะเฉพาะทางอินทรีย์ของน้ำเสียที่จะถูกบำบัดโดยการใช้ระบบทางชีวภาพที่จะรวมสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ไว้ในการทดสอบเพื่อให้ได้รับข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1. ความรุนแรงของความเป็นพิษ เช่น โลหะหนัก แอมโมเนีย เป็นต้น
2. ความสามารถของตัวยับยั้ง เช่น TDS และ คลอไรด์
3. สารปนเปื้อนที่ต้องการการบำบัดเฉพาะก่อน เช่น ค่า pH, alkalinity, acidity, ของแข็งที่แขวนลอย เป็นต้น
4. สารอาหารที่มีอยู่

ตารางที่ 4.2 Oxygen demand and Organic Carbon ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

waste	BOD, (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	BOD/TOC	COD/TOC
Chemical <sup>a</sup>	--	4,260	640	—	6.65
Chemical <sup>b</sup>	—	2,410	370	—	6.60
Chemical <sup>c</sup>	—	2,690	420	—	6.40
Chemical	—	576	122	—	4.72
Chemical	24,000	41,300	9,500	2.53	4.35
Chemical refinery	—	580	160	—	3.62
Petrochemical	—	3,340	900	—	3.32
Chemical	850	1,900	580	1.47	3.28
Chemical	700	1,400	450	1.55	3.12
Chemical	8,000	17,500	5,800	1.38	3.02
Chemical	60,700	78,000	26,000	2.34	3.00
Chemical	62,000	143,000	48,140	1.28	2.96
Chemical	—	165,000	58,000	—	2.84
Chemical	9,700	15,000	5,500	1.76	2.72
Nylon polymer	—	23,300	8,800	—	2.70
Petrochemical	—	—	—	—	2.70
Nylon polymer	—	112,600	44,000	—	2.50
Olefin processing	—	321	133	—	2.40
Butadiene processing	—	359	156	—	2.30
Chemical	—	350,000	160,000	—	2.19
Synthetic rubber	—	192	110	—	1.75

สภาพความเป็นพิษในแหล่งน้ำต้องการให้มีการกำหนดต่อการปล่อยของเสียออกมาทั้งหมด ค่าสภาพความเป็นพิษในน้ำโดยทั่วไปจะรายงานออกมาในรูป LC<sub>50</sub> ร้อยละของน้ำเสียที่ทำให้สิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการทดลองตาย 50% ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด เช่น 48 หรือ 96 ชั่วโมงหรือ ระดับที่ไม่มีผลที่สังเกตเห็นได้ (NOEL) ซึ่งค่า NOEL คือ ความเข้มข้นของน้ำเสียสูงสุดที่ไม่มีผลใด ๆ เกิดขึ้น แม้ว่าจะได้รับต่อเนื่องหรือติดต่อกัน ความเป็นพิษโดยมากก็แสดงได้หน่วย toxicity unit ( TU ) ซึ่งคือ 100 หากด้วยค่าความเป็นพิษที่วัดได้

$$TU = 100/LC_{50} \text{ หรือ } NOEL$$

ซึ่งค่า LC<sub>50</sub> หรือค่า NOEL แสดงในรูปร้อยละของน้ำเสียในน้ำรองรับ ดังนั้นน้ำเสียที่มีค่า LC<sub>50</sub> หรือ 10% จะมีค่า 10 TU

ความเป็นพิษของน้ำเสียยังสามารถกำหนดได้ในลักษณะเป็นความเป็นพิษเรื้อรังในที่ซึ่งอัตราการเจริญทางการสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตได้รับผลกระทบ

พารามิเตอร์ทางเคมีที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำดังแสดงไว้ในตาราง 4.3 พร้อมกับวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบ ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับมลพิษซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในบทนี้

**ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ทางเคมีของน้ำและวิธีการวิเคราะห์**

สปีชีร์ทางเคมี	บทบาทที่สำคัญในน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
Acidity	High acidity may be caused by industrial pollution or acid mine drainage	volumetric
Alkalinity	May affect water treatment, buffering or algal activity	volumetric



Aluminium	Due to water treatment, buffering	AA, ICP
Ammonia	Due to algal activity or pollution	Spectrophotometry
Arsenic	Toxic pollutant	Spectrophotometry, AA, ICP
Barium	Toxic pollutant	AA, ICP
Beryllium	Toxic pollutant	AA, ICP, fluorimetry
Boron	Toxic to plants	Spectrophotometry, ICP
Bromide	Due to contamination with sea-water or industrial waste	Spectrophotometry: potentiometry, ion chromatography
Cadmium	Toxic pollutant	AA, ICP
Calcium	Present in hard water; may be increased by water treatment	AA, ICP
Carbon dioxide	May be increased by bacterial action or corrosion	Volumetric
Chloride	Saline water contamination	Volumetric, electrochemical, ion chromatography
Chlorine	Added during water treatment	Spectrophotometry
Chromium (VI)	Toxic pollutant	AA, ICP, spectrophotometry
Copper		AA, ICP
Cyanide	Toxic pollutant	Spectrophotometry, potentiometry, ion chromatography
Fluoride	May be added during water treatment, toxic at high concentrations	Spectrophotometry, potentiometry, ion chromatography
Hardness	Important water quality factor, may be affected by water treatment	AA, volumetric

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

สปีชีร์ทางเคมี	บทบาทที่สำคัญในน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
Lead	Toxic pollutant	AA, ICP, voltammetry
Lithium	May indicate pollution	AA, ICP, flame photometry
Magnesium	Hardness	AA, ICP
Manganese	Water quality (staining)	AA, ICP
Mercury	Toxic pollutant	Flameless atomic absorption
Methane	Due to anaerobic bacterial action	Combustible gas indicator
Nitrate	Encourages algal growth; may be toxic	Spectrophotometry, ion chromatography
Nitrite	Toxic pollutant	Spectrophotometry, ion chromatography
Nitrogen (albuminoid) (organic)	Proteinaceous material Organic pollution indicator	Spectrophotometry
Oil and grease	Industrial pollution	Gravimetry
Organic carbon	Organic pollution indicator	Oxidation - CO <sub>2</sub> measurement
Organic contaminants	Organic pollution indicator	Activated carbon adsorption
Oxygen	Water quality indicator	Volumetric, electrochemical
Oxygen demand (biological, (chemical)	Water quality and pollution indicators	Microbiological - volumetric Chemical oxidation - volumetric

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

สปีชีร์ทางเคมี	บทบาทที่สำคัญในน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
pH	Water quality and pollution indicator	Potentiometry
Phenols	Pollutants	Distillation ▪ spectrophotometry
Phosphate	Productivity, pollution	Spectrophotometry
Phosphorus (hydrolysable)	Water quality and pollution indicator	Spectrophotometry
Potassium	Productivity, pollution	AA, ICP, flame photometry
Selenium	Toxic pollutant	Spectrophotometry, neutron activation
Silica	Water quality indicator	Spectrophotometry. ICP
Silver	Pollutant	AA, ICP
Sodium	Water quality indicator, may arise from saline contamination	AA, ICP, flame photometry
Strontium	Water quality indicator	AA, ICP, flame photometry
Sulphate	Water quality indicator; may arise from pollution	Ion chromatography
Sulphide	Water quality indicator; may arise from pollution	Spectrophotometry, volumetric, ion chromatography
Sulphite	Water quality indicator; acts as an oxygen scavenger	Volumetric, ion chromatography
Tannin, lignin	Water quality indicators, pollutants	Spectrophotometry
Vanadium	Water quality indicator, pollutant	ICP

#### ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

สปีชีร์ทางเคมี	บทบาทที่สำคัญในน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
Zinc	Water quality indicator, pollutant	AA, ICP
Surfactants	Pollutants	Spectrophotometry

มลพิษในน้ำจะมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรง ( โดยผ่านในรูปมลพิษน้ำดื่ม ) และสิ่งแวดล้อมโดยทั่ว ๆ ไป ( โดยผ่านไปในรูปที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ในแม่น้ำหรือทะเล สารเคมีที่เป็นมลพิษจำนวนมากได้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยผ่านทางน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำโสโครกจากอาคารบ้านเรือน หรือการชะล้างจากแผ่นดิน ( จากเหมืองแร่ ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมและของเสียจากหลุมฝังกลบ ) และมาจากบรรยากาศ

ในบทนี้ เราจะพิจารณาถึงความสำคัญของมลพิษในน้ำบางชนิดว่ามาจากไหน ทำไมจึงมีอันตรายต่อมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมและเราสามารถจะวัดมลพิษเหล่านี้ได้อย่างไร

#### 4.1.6 ลำดับความสำคัญของมลพิษต่าง ๆ ในน้ำ

การควบคุมมลพิษในน้ำในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา ทำโดยการกำหนดลำดับของมลพิษต่าง ๆ สารเหล่านี้ซึ่งจะถูกปล่อยลงในแหล่งน้ำ และระดับของสารนี้ในน้ำซึ่งถูกจำกัดโดยกฎหมาย ( จะกล่าวในรายละเอียดในบทที่ 7 )

ตัวอย่างของรายการลำดับของมลพิษต่าง ๆ เรียกว่า “List I” สำหรับทวีปยุโรปมีดังนี้

1. สารประกอบ organohalogen และสารที่อาจจะมาจาก organohalogen ในสิ่งแวดล้อม (รวมถึงยาปราบศัตรูพืชชนิด organochlorine, PCBs, chlorophenols, chlorobenzenes, chloroanillines, chlorinated solvent และ chlorinated hydrocarbon อื่น ๆ)
2. สารประกอบ organophosphorous (รวมถึงยาฆ่าแมลงประเภท organophosphorous)
3. สารประกอบ organotin
4. สารที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าก่อให้เกิดโรคมะเร็งที่อยู่หรือโดยสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำ (รวมทั้ง polycyclic aromatic hydrocarbons, benzene, nitrobenzenes)
5. พรอทและสารประกอบของพรอท
6. แคดเมียมและสารประกอบของแคดเมียม
7. น้ำมันแร่ที่คงทนและ hydrocarbon ที่มาจากปิโตรเลียม
8. สารเคมีสังเคราะห์ที่คงทนซึ่งอาจจะลอยหรือแขวนลอยหรือจม ซึ่งอาจจะรบกวนการใช้น้ำในลักษณะใดๆ

สารเคมีจำนวนมาก แต่ที่ได้ถูกเลือกในรายการนี้มีเพียง 129 ชนิด และได้มีการกำหนดขีดจำกัดไว้เพียงบางชนิด สารเคมีเหล่านี้ถูกเลือกโดยอาศัยฐานของความเป็นพิษ, ความคงทนในสภาพแวดล้อมและการสะสมในห่วงโซ่อาหาร ในประเทศสหรัฐอเมริกา EPA ก็จะมีรายการของลำดับของมลพิษซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

ในทวีปยุโรป จะมีรายการที่สองของสารเคมีซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำ แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งสถานที่และศักยภาพของการใช้น้ำในแหล่งที่ของเสียจะถูกปล่อยออกไป รายการนี้จะเรียกว่า “List II” มีดังนี้

1. โลหะบางชนิดและสารประกอบของมัน (เช่น สังกะสี ทองแดง นิกเกิล โครเมียม ตะกั่วและอาร์เซนิก)
2. ยาปราบศัตรูพืชอื่น ๆ ที่ไม่ได้รวมอยู่ใน List I
3. สารที่จะมีผลกระทบต่อหรือกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำ (เช่น น้ำดื่มหรือปลา)
4. สารประกอบที่เป็นพิษของซิลิกอน
5. สารประกอบอนินทรีย์ของฟอสฟอรัส
6. น้ำมันแร่และปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เสถียร
7. ไซยาไนต์ และ ฟลูออไรด์
8. สารที่มีผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ (เช่น แอมโมเนียและไนไตรท์)

เราจะศึกษาบางอย่างจากสารประกอบที่สำคัญที่พบใน List I โดยจะพิจารณาแง่ที่ว่าคืออะไรมาจากไหน (แหล่งที่มา) และทำการวัดได้อย่างไร (การวิเคราะห์) และเหตุผลที่ว่าทำไมจึงจัดว่าเป็นสารอันตราย (ผลกระทบ) ส่วนสารอื่น ๆ บางตัวในรายการ (เช่น PAHs) เราจะศึกษาในหัวข้อมลพิษในอากาศ โดยทั่วไปแล้วมลพิษจะไม่ถูกจำกัดในส่วนหนึ่งส่วนใดของสิ่งแวดล้อม ส่วนมากก็จะพบในน้ำ, อากาศ และดิน

## 4.2 โลหะหนัก (Heavy Metals)

### 4. 2. 1 แหล่งที่มา ( Sources)

มลพิษที่สำคัญที่สุดในประเภทนี้ได้แก่ แคดเมียม ปรอทและตะกั่ว สารเหล่านี้กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม

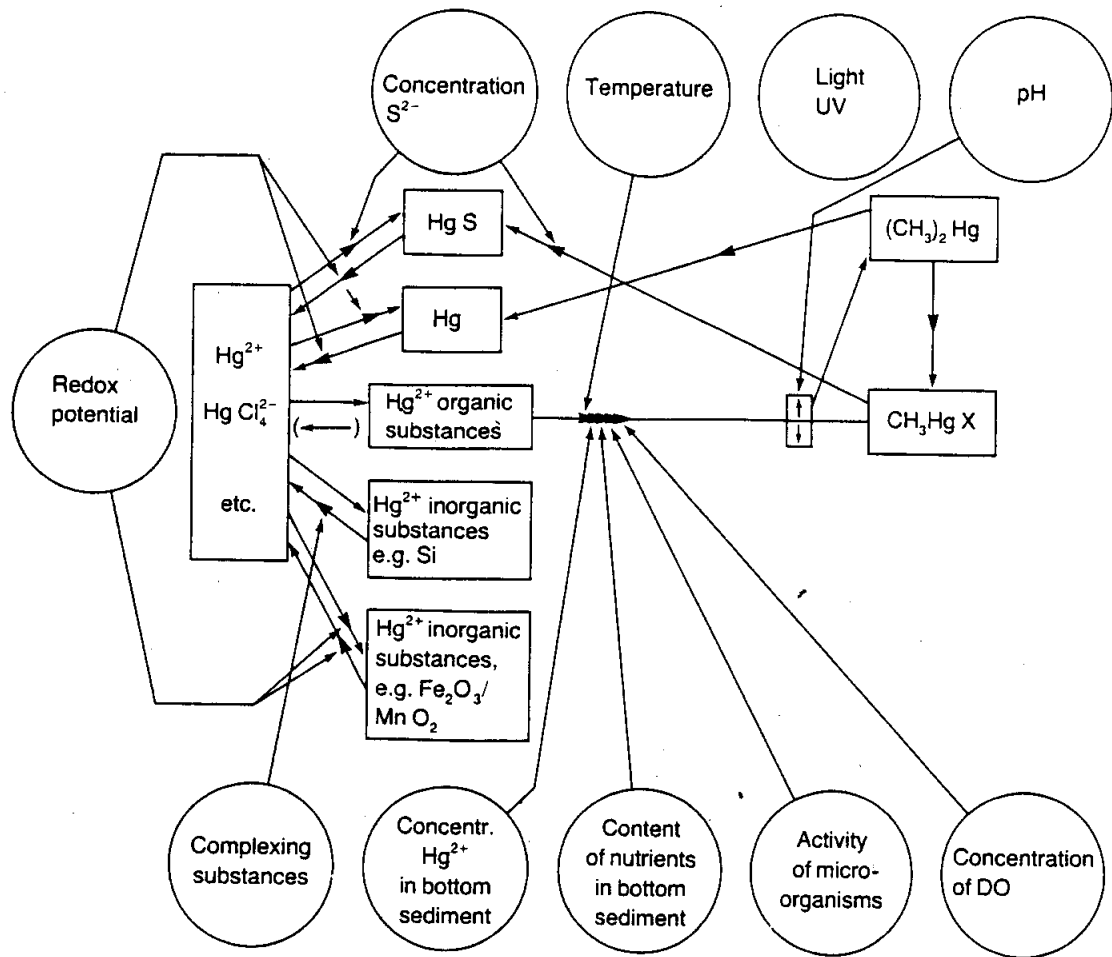
แหล่งหลัก ๆ ของแคดเมียมและปรอทในสิ่งแวดล้อมมาจากแบตเตอรี่ที่เลิกใช้แล้ว เมื่อสิ่งเหล่านี้ถูกกำจัดในของเสียจากอาคารบ้านเรือนส่วนมากจะไปสิ้นสุดลงที่หลุมฝังกลบ อาจจะถูกน้ำฝนชะเอาโลหะหนักออกมาอย่างช้า ๆ ลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินหรือแม่น้ำลำคลอง อีกทางหนึ่งอาจจะมาจากการเผาของเสียที่มีโลหะอยู่ออกสู่บรรยากาศ จากนั้นก็กลับตกลงมาสู่แผ่นดินโดยฝน

แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท อาจอยู่ในน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากเหมืองแร่ ตะกั่วจะปนเปื้อนในน้ำดื่มโดยตรงเมื่อใช้ตะกั่วทำท่อ แหล่งหลักอื่น ๆ ของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมที่มาจากการใช้ tetraethyl lead เป็นสารเติมแต่งในน้ำมัน ตะกั่วในควันที่ถูกปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย ในที่สุดพบว่าไปลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

โลหะหนักเหล่านี้มักจะไม่สามารถสลายตัวในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงเกิดการสะสม และมีแนวโน้มที่จะจับกับตะกอนในแม่น้ำ ซึ่งจากนั้นจะมันจะถูกปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ในช่วงระยะเวลาานาน ๆ

แคดเมียมจะตกตะกอนในตะกอนตามปากอ่าวในรูปแคดเมียมซัลไฟด์ เพราะที่ระดับน้ำลึกจะมีความเข้มข้นของซัลไฟด์ไอออนสูง ( ซึ่งถูกผลิตโดยการกระทำของแบคทีเรียกับซัลเฟตแบบไม่ใช้ออกซิเจน )

การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของสารประกอบของปรอทในแหล่งน้ำต่างๆ ( ดังรูปที่ 4.1. )



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบของสารประกอบของปรอทในแหล่งน้ำต่างๆ

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ (Analysis)

การตรวจหาปริมาณของโลหะหนักในน้ำโดยปกติจะทำโดยใช้เทคนิค Graphite-Furnace AAS, ICP-OES หรือ ICP-MS เทคนิคเหล่านี้จะมีความไวและมีความจำเพาะเจาะจงสูงพอ ดังนั้นจึงต้องอาศัยการบำบัดตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์เพียงเล็กน้อยที่



ความเข้มข้นในระดับไมโครกรัมต่อลิตร ( $\mu\text{g/l}$ ) ที่ธาตุต่างๆเหล่านี้จะถูกพบ ตัวอย่างของน้ำอาจจะนำมาทำง่าย ๆ โดยการระเหยจนแห้งและละลายด้วยกรดในน้ำปริมาณเพียงเล็กน้อย

เทคนิค เช่น AAS และ ICP จะวัดในรูปปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุในรูปที่แตกตัวได้ในตัวอย่าง แต่เทคนิคดังกล่าวจะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบของธาตุในตัวอย่าง และอาจจะล้มเหลวในการตรวจสอบโลหะในรูป Organometallic (เช่น methyl mercury) การวิเคราะห์ทางโครมาโทกราฟี สามารถจะให้ข้อมูลได้มากกว่าโดยการแยกธาตุในรูปแบบต่าง ๆ (เรียกกระบวนการนี้ว่า speciation ) ในกรณีทำโดยการใช้เทคนิค Ion-Exchange HPLC กับการตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า การตรวจวัดที่ไวกว่าสามารถทำได้โดยการทำปฏิกิริยาของโลหะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีสี อาจทำได้โดยการทำอนุพันธ์ก่อน (pre-column derivatization) หรือหลัง (post-column derivatisation) ของคอลัมน์ใน HPLC โลหะโดยมากจะวัดโดยการรวมตัวเป็นสารเชิงซ้อนกับ thiocarbamates สามารถทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้นโดย Liquid-liquid หรือ Solid-Phase Extraction ก่อนนำมาทำการวิเคราะห์โดยเทคนิค Reverse-Phase HPLC

#### 4.2.3 ผลกระทบ (Effects)

ตะกั่ว แคดเมียม และปรอททุกตัวมีความเป็นพิษมาก สามารถเกิดพิษได้อย่างแข็งแกร่งกับซัลเฟอร์ ซึ่งจะไปผลต่อการทำงานของเอนไซม์โดยการสร้างพันธะกับหมู่ thiol ในเอนไซม์ ยังสามารถรวมตัวกับหมู่กรดและเอมีนในโปรตีน ไอออนของมันสามารถรวมตัวกับเซลล์เมมเบรน ทำให้มีผลต่อกระบวนการส่งผ่านในเซลล์

พิษเฉียบพลันจากแคดเมียมจะรุนแรงมาก สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อเลือด, ไต, และกระดูก สามารถที่จะทำลายผลการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เนื่องจาก

แคดเมียมมีความคล้ายคลึงกับสังกะสีมาก สังกะสีเกิดขึ้นโดยธรรมชาติในเอนไซม์บางชนิดและอาจถูกแทนที่โดยแคดเมียม

พิษเฉียบพลันจากตะกั่วจะทำลายไต ระบบสืบพันธุ์ ตับ สมองและระบบประสาท พิษจากตะกั่วเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดโรคโลหิตจางและเมื่อยล้า เข้าใจว่าการได้รับตะกั่วจากสิ่งแวดล้อมเป็นสาเหตุการลดลงของระดับไอคิว (ความเสื่อม, ล้าช้าของสมอง) ในเด็ก

ปรอททำลายสมอง ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอารมณ์ อัมพาต ตาบอดหรือบ้่า พิษของปรอทขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมี ปรอทในรูป organometallic (เช่น methylmercury) จะเป็นพิษมาก แบคทีเรียชนิดที่ย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนบางชนิดในตะกอนจะเปลี่ยนปรอทคลอไรด์ (สารอนินทรีย์) ในน้ำเสียจากระบวนการอุตสาหกรรมไปเป็น methylmercury chloride และ dimethylmercury สารประกอบเหล่านี้จะสะสมในห่วงโซ่อาหาร โดยจะสะสมในเนื้อเยื่อไขมันในปลา ความเข้มข้นที่พบในปลาอาจจะสูงกว่าความเข้มข้นในตะกอนถึง 1000 เท่า ผลนี้จะเปลี่ยนสารอนินทรีย์ของปรอท (ซึ่งไม่ละลายในน้ำ) เข้าไปอยู่ในรูปแบบซึ่งมนุษย์สามารถรับได้โดยตรงโดยการกินปลาที่มีการปนเปื้อนจากสารตะกั่ว

ในช่วงทศวรรษที่ 1950 ได้มีเหตุการณ์ต่าง ๆ เกี่ยวกับความเป็นพิษของปรอทเกิดขึ้นมากมายในอ่าว Minamata ประเทศญี่ปุ่น ประชาชนผู้ที่ได้รับประทานอาหารทะเลจากบริเวณนี้จะได้รับปรอทในปริมาณสูง เนื่องมาจากการสะสมในห่วงโซ่อาหารในปลาของปรอทที่ปล่อยออกมาจากโรงงานเคมีที่ปล่อยของเสียลงไปในอ่าว ระดับของปรอทในอาหารทะเลประมาณ 5-20 mg/l ประชาชนมากกว่า 40 คนตายทันทีจากพิษนี้ และคนอื่น ๆ ก็แสดงอาการของคนได้รับพิษ และมีเด็กเกิดมาไม่สมประกอบทุพพลภาพ

### 4.3 ฟอสเฟตและไนเตรต (Phosphates and Nitrates)

#### 4.3.1 แหล่งที่มา (Sources)

ฟอสเฟตและไนเตรตที่มีอยู่ในน้ำเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในธรรมชาติซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชในน้ำ ผลเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ในศตวรรษที่ 20 ได้ทำให้มีการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเหล่านี้ในแหล่งน้ำต่าง ๆ ก็เนื่องมาจากเหตุผลหลายประการ

ปัจจัยสำคัญที่สุดก็คือ การเพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสและไนโตรเจนจากการสังเคราะห์ก็เพื่อส่งเสริมพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกอย่างหนาแน่นโดยใช้ปุ๋ยมากกว่าการขยายพื้นที่ นอกจากนี้ในทางปฏิบัติของการเกษตรสมัยใหม่ ในการเพิ่มขนาดของพื้นที่และการลดจำนวนต้นไม้ที่ปกคลุมลงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการถูกชะล้างสารอาหารออกไปจากดิน เมื่อรวมปัจจัยทั้งสองนี้เข้าด้วยกันก็หมายถึง ได้มีการเพิ่มปริมาณของฟอสเฟตและไนเตรตลงไปในน้ำจากแผ่นดินมากมาย

ฟอสเฟตและไนเตรตอาจจะถูกผลิตออกมาอยู่ในน้ำเสียจากระบวนการอุตสาหกรรม แหล่งที่มาที่ใหญ่ที่สุดคือ ฟอสเฟตจากผงซักฟอกในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน ผงซักฟอกที่ใช้กันตามบ้านเรือนส่วนใหญ่มีปริมาณฟอสเฟตสูงถึง 40% โดยน้ำหนัก การใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 50 ปีที่ผ่านมาในประเทศที่กำลังพัฒนา ฟอสเฟตเค็มลงไปเพื่อทำให้น้ำอ่อน เพื่อลดการตกตะกอนของสารซักฟอกจากไอออนของแคลเซียมในน้ำ อย่างเช่น ในเขตภาคตะวันออกเฉียงของประเทศอังกฤษ มลพิษจากฟอสเฟตและไนเตรตรุนแรงมากและพบว่าประมาณ 90% ของฟอสเฟตที่ลงสู่แม่น้ำมาจากน้ำเสียของอาคารบ้านเรือน

### 4.3.2 การวิเคราะห์ (Analysis)

วิธีการวิเคราะห์ มาตรฐานในการตรวจหาปริมาณฟอสเฟต ในรูป

orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) จะใช้เทคนิคการวัดทางด้านสเปกโตรโฟโตเมตรีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างฟอสเฟตและแอมโมเนียมโมลิบเดต ในสารละลายที่มีกรดกำมะถัน กรดแอสคอบิก และแอนติโมนี โปตัสเซียม ทาร์เตรต ส่วนในรูปอื่นๆ จะทำการออกซิไดส์ด้วยกรดไนตริก และกรดกำมะถัน เป็น orthophosphate ก่อน แล้วจึงคำนวณตามวิธีวิเคราะห์ orthophosphate ค่าการดูดกลืนของสารเชิงซ้อนจะถูกเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นโดยใช้กราฟมาตรฐาน เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด สามารถทำเป็นระบบอัตโนมัติได้ หรือใช้ในการทดสอบภาคสนามได้ (field test)

#### ตารางที่ 4.4 สารประกอบของฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำ

สารประกอบ	• องค์ประกอบหลัก
Orthophosphates	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{FeHPO}_4^+$ , $\text{CaH}_2\text{PO}_4^+$
Inorganic condensed phosphates:	
— pyrophosphates	$\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ , $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$ , $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ , $\text{CaP}_2\text{O}_7^{2-}$
— tripolyphosphates	$\text{H}_2\text{P}_3\text{O}_{10}^{3-}$ , $\text{HP}_3\text{O}_{10}^{4-}$ , $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ , $\text{CaP}_3\text{O}_{10}^{3-}$
— trimetaphosphates	$\text{HP}_3\text{O}_9^{2-}$ , $\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$ , $\text{CaP}_3\text{O}_9^-$
Organic orthophosphates:	
— glycosophosphate	glucose-1-phosphate, adenosine monophosphate,
— inositylphosphate	inosityl monophosphate, inosityl hexaphosphate,
— phospholipids	phosphoglycerides, phosphatide acid, phosphatide choline,
— phosphoamines	phosphocreatinine,
— phosphoproteins	phosphoarginine
Organic condensated phosphates	adenosine-5'-triphosphate, coenzyme A

ไนเตรตสามารถตรวจวัดหาปริมาณได้โดยวิธีการตรวจวัดสี (colourimetric method) โดยใช้ปฏิกิริยาของฟีนอล (เช่น 1,6-dimethyl phenol) มีกรดกำมะถัน 70-80% จะเกิดสารประกอบ 4-nitro-1,6-dimethyl phenol ขึ้น ซึ่งมีสีเหลืองเข้มในสารละลาย เอเคเวียสที่เป็นเบส ต้องใช้ขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลายในการกำจัดสิ่งรบกวน โดยจะเกี่ยวข้องกับสารประกอบของฟีนอลที่ไม่มีประจุออกจากสารละลาย เอเคเวียสที่เป็นกรดเข้าไปในทอลูอิน จากนั้นทำการสกัดคืนสู่เอเคเวียสในรูปแบบที่เป็นเบส ของ 'phenolate ion'

#### 4.3.3 ผลกระทบ ( Effects)

ไอออนทั้งสองนี้อาจตรวจสอบได้โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography) โดยใช้คอลัมน์ชนิด anion-exchange HPLC และวัดการนำไฟฟ้า ข้อดีของวิธีนี้ก็คือไอออนชนิดนี้และชนิดอื่น ๆ สามารถถูกตรวจวัดได้ในเวลาเดียวกัน Ion-Exchange SPE สามารถถูกนำมาใช้ในการแยกและเพิ่มความเข้มข้นของแอนไอออน ก่อนการวิเคราะห์

ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตและไนเตรตที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำจะอยู่ในช่วง 10-20  $\mu\text{g/l}$  (สำหรับฟอสเฟต) และ 200-500  $\mu\text{g/l}$  (สำหรับไนเตรต) ผลจากมลพิษเนื่องมาจากแหล่งที่กล่าวมาได้เพิ่มความเข้มข้นของไอออนเหล่านี้ในน้ำเป็นอย่างมาก เช่น ในภาคตะวันออกเฉียงของประเทศอังกฤษพบว่ามีระดับสูงถึง 1 mg/l (สำหรับฟอสเฟต) และ 10 mg/l (สำหรับไนเตรต) ผลในระยะเริ่มต้นของระดับการเพิ่มสารอาหารจะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่าย เมื่อพืชเหล่านี้ตายลงที่ปลายฤดูร้อน ก็จะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย แบคทีเรียเหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในน้ำจนหมด ผลทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตาย เรียกกระบวนการนี้ว่า "eutrophication"

นอกจากผลทั่ว ๆ ไปต่อสิ่งแวดล้อม ผลของ eutrophication ยังมีต่อสุขภาพของมนุษย์ สาหร่ายบางชนิดผลิตสารที่เป็นพิษซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อปลา คน และสัตว์อื่น ๆ

ปัญหาที่สัมพันธ์กัน คือ การปนเปื้อนไนเตรตในน้ำดื่ม ไนเตรตอาจจะถูกรีดิวส์เป็นไนไตรท์ภายใต้สภาวะเป็นกรดในกระเพาะของคน ซึ่งไนไตรท์จะไปรีดิวส์ไอออนของ  $Fe^{2+}$  ในเฮโมโกลบิน ซึ่งจะไปลดความสามารถของเลือดในการบรรทุกออกซิเจน ผลนี้จะร้ายแรงมากในเด็กที่อยู่ในวัยคืบนมจากขวดทำให้เกิด 'blue-baby syndrome' (methanemaglobinaemia) ไนไตรท์อาจถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรซามีนในร่างกาย ซึ่งทราบกันโดยทั่วไปว่าทำให้เกิดมะเร็ง

## 4.4 น้ำโสโครก (Sewage)

### 4.4.1 แหล่งที่มา (Sources)

น้ำโสโครกจากชุมชนได้กล่าวมาแล้วว่าเป็นแหล่งมีศักยภาพสูงของมลพิษที่เกิดจากฟอสเฟต ของเสียพวกนี้ยังมีโลหะหนัก ผงซักฟอก ไขมันและน้ำมัน เชื้อโรคและมลพิษที่ร้ายแรงอื่น ๆ (ดูในตาราง 4.5) การปล่อยน้ำโสโครกลงสู่แหล่งน้ำและทะเลที่ยังไม่ได้รับการบำบัดที่เหมาะสมก่อนก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ แต่อย่างไรก็ดี การปล่อยน้ำโสโครกที่ยังไม่ได้รับการบำบัดโดยวิธีนี้ก็มิได้อยู่โดยทั่วไป แม้แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ในอดีตทุกคนคิดว่าผลจากการเจือจางโดยแหล่งน้ำคือวิธีการแก้ปัญหาของของเสียชนิดนี้ แต่ทุกวันนี้เราทุกคนรู้ดีว่าไม่เป็นความจริงอีกต่อไปแล้ว

ในบทนี้เราจะพิจารณาถึงผลกระทบหลักของมลพิษต่อคุณภาพของน้ำโดยรวมจากน้ำโสโครกที่มีสารอินทรีย์อยู่ เช่น ของเสียจากคน

## ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบหลักในน้ำโสโครก

องค์ประกอบ	แหล่งกำเนิด	ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ
Oxygen-demanding substances	Mostly organic materials, particularly human <b>faeces</b>	Consume dissolved oxygen
Refractory <b>organics</b>	Industrial wastes, household products	Toxic to aquatic life
Viruses	Human wastes	Cause disease (possibly cancer); major problem in sewage recycling through <b>the</b> water system
Detergents	Household detergents	Foaming adversely affects visual appearance, prevent grease and oil removal, toxic to aquatic life.
Phosphates	Detergents	Algal nutrients
Grease and oil	Cooking, food <b>processng</b> , industrial wastes	Adversely affects visual <b>appearance, toxic</b> to aquatic life
Salts	Human wastes, water softeners, industrial waste	Increase water salinity
Heavy metals	Industrial wastes, chemical laboratories	Toxicity
Chelating agents	Some detergents, industrial wastes	Heavy metal ion <b>solubilisation</b> and transport
Solids	All sources	Affects visual appearance, harmful to aquatic life.

น้ำโสโครกจากอาคารบ้านเรือนไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนเช่นนี้ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมยังประกอบด้วยสารอินทรีย์ซึ่งอาจจะไม่เป็นพิษโดยตรง แต่มีอันตรายต่อคุณภาพของน้ำ น้ำโสโครกที่มาจากการกสิกรรมและเกษตรกรรม

#### 4.4.2 การวิเคราะห์ (Analysis)

##### 4.4.2.1 การตรวจวัดออกซิเจน

ในการวิเคราะห์ จะหาปริมาณออกซิเจนที่สมมูลพอดีที่จะย่อยสลายสารโสโครกในน้ำ ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ การหาค่า DO (Dissolved Oxygen) , BOD( Biological Oxygen Demand) และ COD( Chemical Oxygen Demand)

ค่าของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( Dissolved Oxygen) เปลี่ยนแปลงได้ง่าย เทคนิคในการเก็บตัวอย่างสำหรับวิธีนี้จึงมีความสำคัญมาก ตัวอย่างจะต้องไม่ปล่อยให้สัมผัสด้วยออกซิเจนจากอากาศก่อนการวิเคราะห์ ในทางปฏิบัติสามารถทำได้โดยการเติมตัวอย่างจนเต็มภาชนะที่ใช้เก็บเพื่อป้องกันการรับออกซิเจนเพิ่มจากอากาศก่อนที่การวิเคราะห์จะเสร็จสมบูรณ์ ในการเก็บตัวอย่างต้องมีความระมัดระวังมาก หากทำไม่ได้โดยทันที ต้องทำการ “fixing” ซึ่งทำได้โดย การเติมสารละลายของแมงกานีสซัลเฟต และ Alkali-iodide-azide แล้วเก็บไว้ในที่มืดที่มีอุณหภูมิต่ำ

วิธีการหนึ่งสำหรับการตรวจวัดออกซิเจนในน้ำ เรียกว่า “Winkler Method” ที่จะเกี่ยวข้องกับสารไทเทรตของไอโอดีน-ไฮโอซัลเฟตของแมงกานีสไดออกไซด์ที่ถูกผลิตจากการออกซิไดส์  $Mn^{2+}$

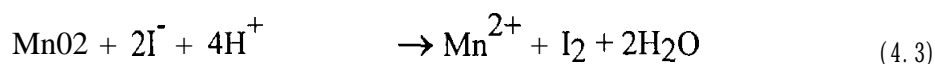
1. การเติมสารละลายของแมงกานีสซัลเฟต และ Alkali-iodide-azide แมงกานีสซัลเฟตจะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในน้ำในสถานะเป็นต่าง



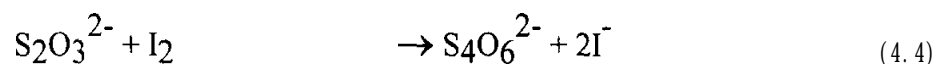


(ถ้าไม่มีออกซิเจน จะได้ตะกอนขาวของสมการที่ 4.1)

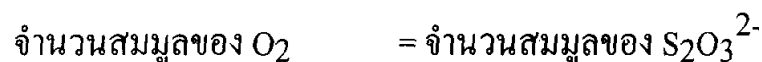
2. ทำการละลาย  $\text{MnO}_2$  ด้วยกรดซัลฟูริก  $\text{MnO}_2$  จะถูกออกซิไดส์ด้วย KI ในสารละลายกรด



3. ทำการหาปริมาณ ของ  $\text{I}_2$  ทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมโซอิตัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) โดยมีน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์

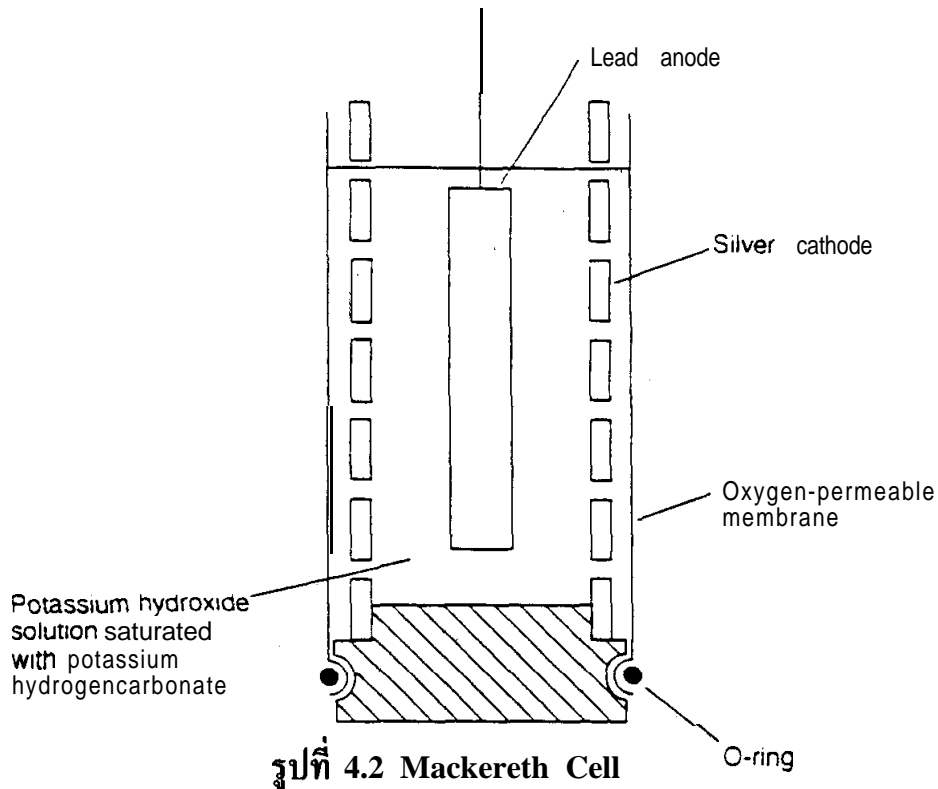
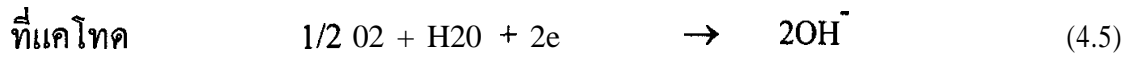


จากสมการ (4.2), (4.3) และ (4.4) จะได้ความสัมพันธ์คือ



การหาค่าออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำอาจทำได้โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีความจำเพาะเจาะจง (selective electrode) สำหรับใช้ตรวจหาออกซิเจน เรียกว่า Mackereth cell (รูปที่ 4.2) วิธีนี้เป็นประโยชน์มากเพราะสามารถนำออกไปใช้นอกห้องปฏิบัติ

การได้ กระแสที่ถูกผลิตขึ้นมาโดยเซลล์จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการแพร่ของออกซิเจนผ่านเยื่อเมมเบรนที่มีสมบัติเฉพาะที่จะยอมให้ออกซิเจนผ่าน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนในตัวอย่าง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์ คือ

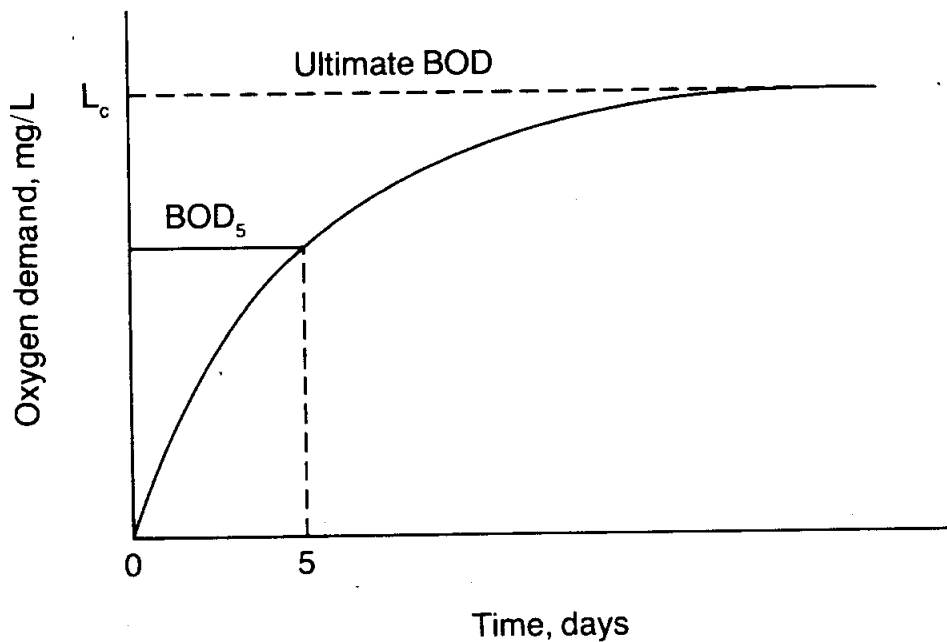


รูปที่ 4.2 Mackereth Cell

#### 4.4.2.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

ค่า BOD เป็นการวัดออกซิเจนที่ถูกใช้โดยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ โดยตัวอย่างน้ำถูกทำให้อิ่มตัวด้วยออกซิเจนและทำการวัดความ

เข้มข้นของออกซิเจน จากนั้นสารตัวอย่างจะถูกปล่อยไว้ 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C ในที่มีด เพื่อปล่อยให้แบคทีเรียได้ทำหน้าที่ของมัน จากนั้นทำการวัดความเข้มข้นของออกซิเจน อีกครั้งหนึ่ง ค่า BOD ได้จากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนทั้งสองค่า ถ้าค่า BOD สูงกว่าความเข้มข้นของออกซิเจนตอนเริ่มต้น ออกซิเจนทั้งหมดในสาร ตัวอย่างจะถูกใช้หมด ในกรณีนี้ตัวอย่างจะเจือจางและทำการหาค่า BOD ซ้ำอีกครั้ง หนึ่ง (ดังรูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของเคอร์ฟ BOD

#### 4.4.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

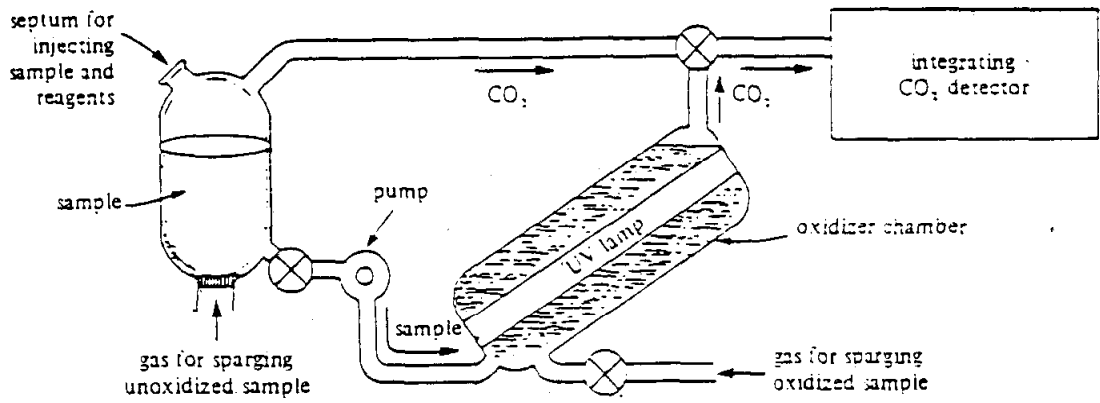
ค่า COD เป็นการวัดปริมาณของออกซิเจนที่สมมูลพอดีกับสารอินทรีย์ที่สามารถถูกออกซิไดส์ได้ด้วย ตัวออกซิไดส์อย่างแรง เช่น โพตัสเซียมไดโครเมต ในกรด

กำมะถันเข้มข้น หรือ โปตัสเซียมเปอร์มันกานेटที่เติมลงไปในตัวอย่าง ที่อุณหภูมิสูง สารที่สามารถดูดออกซิไดส์ได้ในน้ำ วัดปริมาณที่มากเกินไปของสารออกซิไดส์ หลังจากเวลาที่กำหนดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด สารออกซิไดส์ที่ยังคงเหลืออยู่หาปริมาณได้โดยการไทเทรต ( ตัวอย่าง เช่น คิวยสารละลายมาตรฐาน เพอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โดยมีเพอร์โรอิน เป็นอินดิเคเตอร์ หรือใช้ ไอโอดีน-โซโอซัลเฟต ) จะคำนวณปริมาณของออกซิเจนซึ่งสมมูลกับปริมาณของสารออกซิไดส์ที่ถูกใช้หมด

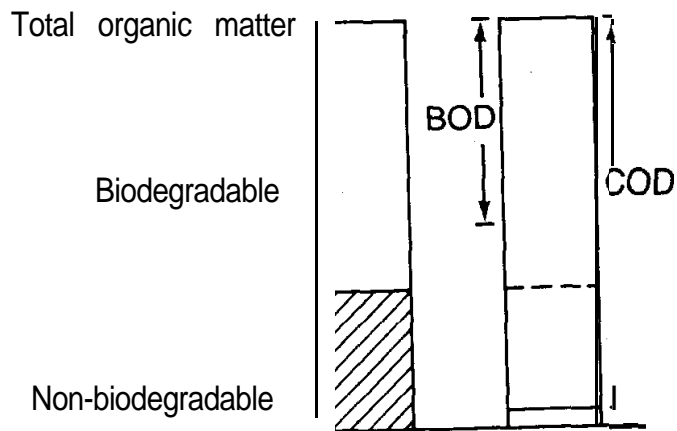
#### 4.4.2.4 Total Organic Carbon (TOC)

วิธีอื่น ๆ ที่ใช้วัดขนาดของการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำ คือการวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่าง สารประกอบอินทรีย์อาจจะถูกออกซิไดส์โดยการเผาไหม้หรือทางเคมีโดยการใช้โปตัสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟตและแสงอัลตราไวโอเลต (รูปที่ 4.2) ทำการวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตออกมาอาจโดยการนำค่าการนำไฟฟ้า อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี หรือ โดยการรีดิวส์ต่อไปเป็นแก๊สมีเทนและตรวจวัดโดยเทคนิค GC- FID

วิธีนี้จะง่ายกว่าการหาค่า BOD หรือ COD เพราะสามารถใช้สำหรับการติดตามตรวจวัดในขณะที่ของเสียถูกปล่อยออกมาและให้ผลการวัดที่มีความสม่ำเสมอสูงมาก ตัวบ่งชี้ที่สำคัญคือสารประกอบอินทรีย์ของคาร์บอนเนต ควรจะกำจัดออกไปก่อนทำการวิเคราะห์โดยการทำให้ตัวอย่างน้ำมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะเปลี่ยนคาร์บอนเนตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 4.4 เครื่องวิเคราะห์ TOC

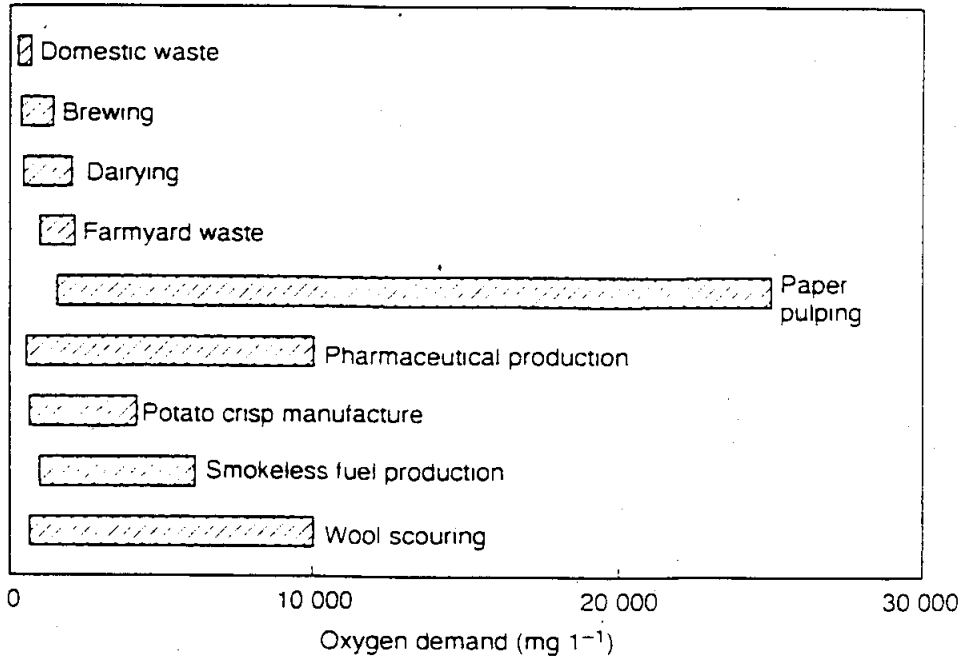


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD ต่อค่า TOC ในน้ำ

#### 4.4.3 ผลกระทบ ( Effects)

ชีวิตของสัตว์ในแม่น้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำสามารถลดปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ เนื่องจากแบคทีเรียใช้ในการ

ออกซิไดส์สารอินทรีย์เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ไนเตรทและซัลเฟต เมื่อออกซิเจนถูกใช้หมด การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการรีดักชัน ซึ่งเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นมีเทน แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สเหล่านี้สามารถติดไฟได้ เป็นพิษและมีกลิ่นเหม็นซึ่งจะทำลายทุกชีวิตในน้ำ น้ำเสียถูกปล่อยออกมาบางแหล่งลงสู่น้ำจะมีค่า BOD สูงมากดังแสดงในรูปที่ 4.6



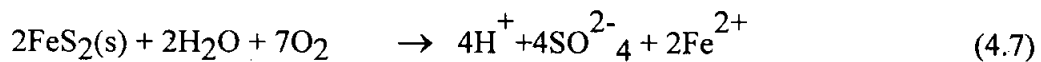
รูปที่ 4.6 น้ำเสียจากแหล่งต่างๆกับค่า BOD

ความเข้มข้นของออกซิเจนที่อิ่มตัวในน้ำที่ 25°C มีค่าเพียง 8.4 mg/l ดังนั้นของเสียทั้งหมดเหล่านี้จะใช้ออกซิเจนทั้งหมดในน้ำยกเว้นจะถูกเจือจางอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำเสียและอัตราการไหลของน้ำ น้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะมีค่า BOD ต่ำกว่าของเสียชนิดอื่น ๆ แต่อาจจะมีปัญหารุนแรงมากที่สุด เพราะถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งจะถูกละเจือจางในน้ำได้น้อยกว่า มลพิษในน้ำในวิธีนี้จะแย่มากกว่าในฤดูร้อนเนื่องจากอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำต่ำกว่า

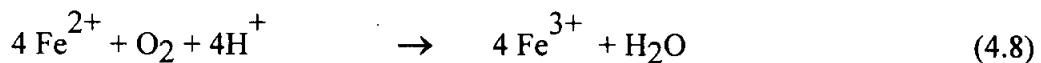
## 4.5 กรด (Acids)

### 4.5.1 แหล่งที่มา (sources)

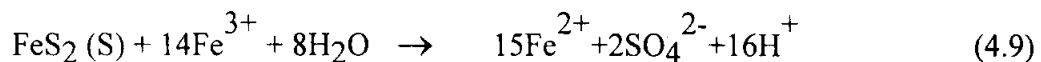
มลพิษในน้ำจากกรดกำมะถันอาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่ระเหยออกมาจากเหมืองแร่ แบคทีเรียบางชนิดสามารถออกซิไดส์แร่ซัลไฟด์ เช่น iron pyrites ( $\text{FeS}_2$ ) ที่พบในหิน



เหล็ก (II) จะถูกออกซิไดส์เป็นเหล็ก (III)



เหล็ก (III) จะไปออกซิไดส์ iron pyrites ต่อ โดยตัวมันเองถูกรีดิวส์กลับเป็น  $\text{Fe}^{2+}$  (นั่นคือสามารถเกิดเป็นวงจรซ้ำ ๆ กัน)



แหล่งหลักอื่น ๆ ของความเป็นกรดในน้ำมาจากฝนกรด เราจะกล่าวในรายละเอียดในเรื่องมลพิษทางอากาศ ซึ่งมาจากการเผาไหม้ของถ่านหินและเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่มีสารประกอบของซัลเฟอร์และไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จะเกิดออกไซด์ของซัลเฟอร์และไนโตรเจนขึ้น ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะได้กรดซัลฟูริกและกรดไนตริก

#### 4.5.2 การวิเคราะห์ ( Analysis)

วิธีการที่ง่ายที่สุดในการตรวจหาสภาพความเป็นกรดของน้ำ คือ การวัดค่า pH โดยการใช้ขั้วไฟฟ้า pH ถ้าน้ำมีกรดอ่อนละลายอยู่ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปไม่แตกตัว การวัด pH อย่างง่าย ๆ จะไม่ให้ความเข้มข้นของกรดทั้งหมด วิธีนี้อาจวัดได้โดยการไทเทรตกับเบสแก่ เลือกอินดิเคเตอร์ ที่เปลี่ยนแปลงสีที่ค่า pH ค่อนข้างสูง (เช่น phenolphthalein,  $pK_i = 8.3$ ) จะถูกนำมาใช้เพื่อให้แน่ใจว่ากรดอ่อนนั้นเกิดปฏิกิริยา ถ้าหากเลือกใช้อินดิเคเตอร์ เช่น methyl orange ( $pK_i = 4.5$ ) เฉพาะกรดแก่เท่านั้นที่ถูกวัดได้ (กรณีนี้อาจจะมีประโยชน์เพราะกรดแก่มักจะเป็นอันตรายมากกว่า)

#### 4.5.3 ผลกระทบ ( Effects)

สภาพของน้ำที่ไม่ได้มลพิษจะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5-8.5 ในแหล่งที่ไม่มีคาร์บอนेट น้ำจะมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยเนื่องมาจากการละลายคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ น้ำกระด้างจะมีสภาพเป็นด่างเล็กน้อยเนื่องมาจากมีคาร์บอนेटอยู่ซึ่งละลายมาจากหินปูน

ชีวิตในน้ำจะมีความไวมากต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ยกตัวอย่างเช่น ปลาซามอนไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 6.5 ปลาไหลจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ที่ pH 5.5 ปลาหลายชนิดที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ที่ pH ต่ำกว่า 5.5 ผลกระทบอย่างหนึ่งของฝนกรดทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดในพื้นที่บางแห่งเช่น แคนาดา สแกนดิเนเวีย ซึ่งทำให้น้ำบริเวณนี้มีค่า pH ต่ำกว่า 5 ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายลง

การปรับสภาพของน้ำที่เป็นกรดทำได้โดยการเติมหินปูนลงไปสะสมปริมาณกรดที่มากเกินไปในน้ำหรือในน้ำเสียที่ออกมาจากอุตสาหกรรม



## 4.6 สบู่และผงซักฟอก (Soaps and Detergents)

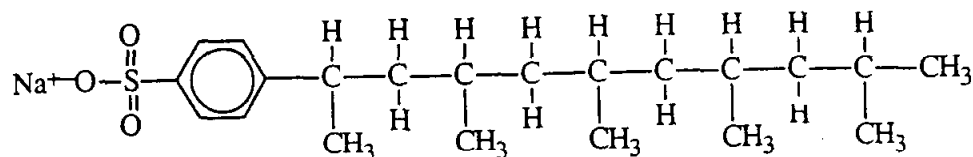
### 4.6.1 แหล่งที่มา (Sources)

สบู่และผงซักฟอกถูกนำมาใช้ในกระบวนการทำความสะอาดแทบทุกประเภท ดังนั้นจึงพบได้ในน้ำเสียจากบ้านเรือนทุกชนิดและน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมาก

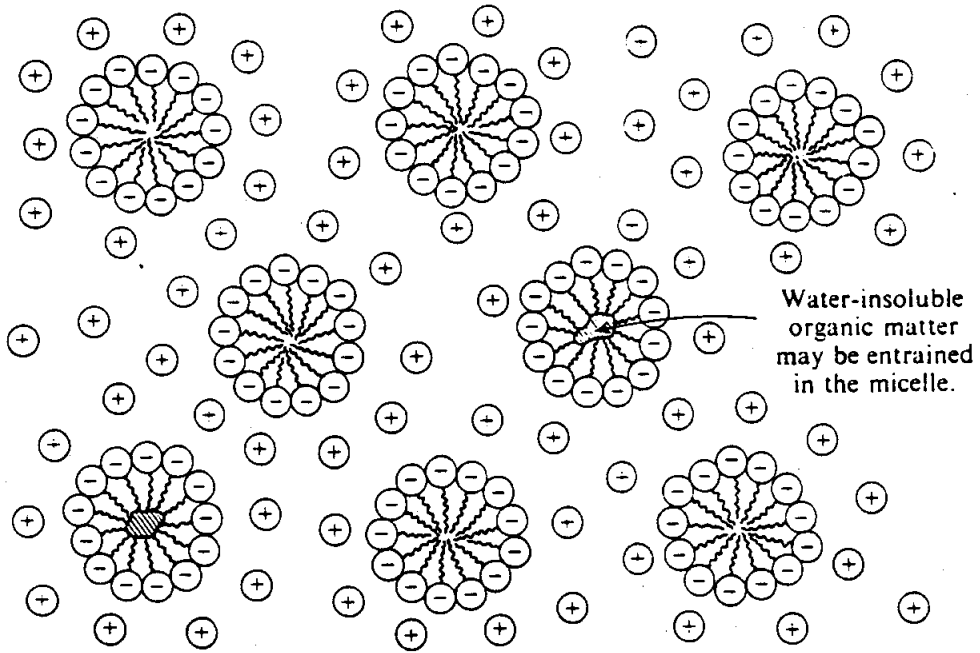
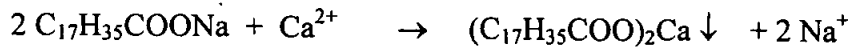
การทำความสะอาดของสบู่และผงซักฟอกเกิดโดย ในโครงสร้างของสารทั้งสองจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่เป็นห่วงโซ่ยาว และส่วนที่แตกตัวได้ (โดยมากเป็นกรด) สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะเกิดอันตรกิริยากับส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของโมเลกุลของผงซักฟอก ดังนั้นมันจะสามารถแขวนลอยในน้ำได้ (ดังรูปที่ 4.7)

สบู่ประกอบด้วยกรดคาร์บอกซิลิกที่มีห่วงโซ่ยาว เช่น โซเดียมสเตียเรต ( $C_{17}H_{35}COO^- Na^+$ ) ส่วนผงซักฟอกโดยมากจะเป็นกรดซัลโฟนิคที่มีห่วงโซ่ยาว เช่น

โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต

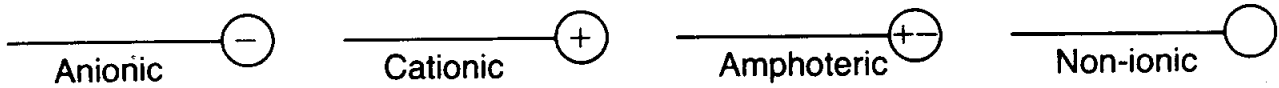


ของเสียของสบู่ในการทำเป็นสารทำความสะอาดก็คือมันจะรวมตัวเป็นเกลือของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในน้ำกระด้าง สบู่จะมีประสิทธิภาพน้อยลง



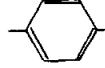
รูปที่ 4.7 อนุภาคคอลลอยด์ของไมเซลล์ของสบู่

ส่วนผงซักฟอกจะไม่มีปัญหานี้ อย่างไรก็ตาม ผงซักฟอกจะมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า สบู่จะถูกกำจัดออกจากน้ำในธรรมชาติได้เร็วกว่า โดยการตกตะกอนด้วยแคลเซียมหรือแมกนีเซียม ผงซักฟอกจะมีความคงทนในสิ่งแวดล้อมได้นานกว่า ผงซักฟอกชนิดแรกที่ใช้ในทางการค้าประกอบด้วย สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโซ่กิ่ง ซึ่งจะไม่สามารถทำให้แตกสลายได้ง่าย ๆ โดยแบคทีเรียในสิ่งแวดล้อม ปัญหานี้บางส่วนสามารถเอาชนะได้โดยการเปลี่ยนแปลงไฮโดรคาร์บอนเป็นโซ่ตรง



รูปที่ 4.8 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวในผงซักฟอก

ตัวอย่างผงซักฟอกชนิด Anionic Detergents

Type	Compound	Formula
Sulphonated aromatic hydrocarbons	ABS	$C_{12}H_{25}$  $SO_3^- Na^+$
Sulphonated aliphatic hydrocarbons	Secondary sodium alkanosulphonate	$C_{13}H_{31}SO_3^- Na^+$
Sulphonated $\alpha$ -olefin	Sodium $\alpha$ -olefin sulphonate	$C_{16}H_{31}SO_3^- Na^+$
Sulphonated polyhydroxy alcohols	Sodium lauryl sulphate	$C_{12}H_{25}OSO_3^- Na^+$
Sulphonated fatty acids	Sulphonated palmitic oil	$C_{16}H_{33}CH-COOCH_3$   $SO_3^- Na^+$
Sulphonated maleic ester	Lauryl-sulphonated succinate	$ROOC-CH-CH_2COOR$   $SO_3^- Na^+$

ประกอบด้วย สารเคมีที่เป็นผงซักฟอกเพียง 10-30% ซึ่งรวมถึงฟอสเฟต (ได้กล่าวมาแล้ว) ตัวแลกเปลี่ยนไอออน คาร์บอเนต ซิลิเกต อนุพันธ์ของเซลลูโลส สารฟอกสี ตัว

ปรับเนื้อใยผ้า เอนไซม์ น้ำหอม สีย้อมและสารเติมแต่งอื่น ๆ (สารเฉื่อย เช่น โซเดียมซัลเฟต) สารต่าง ๆ เหล่านี้ลงสู่แม่น้ำเสียเป็นผลเนื่องมาจากการใช้ผงซักฟอก

#### ตัวอย่างผงซักฟอกชนิด Nonionic detergents

สูตรพื้นฐาน	
$RXH + n-CH_2-CH_2$	$\rightarrow RX (CH_2CH_2O)_nH$ เมื่อ $n = 1-50$
ชนิด	สูตร
Ethoxylate of polyhydroxy alcohol	$CH_3(CH_2O)(CH_2CH_2O)_nH$
Alkyl phenol ethoxylate	$R-O(CH_2CH_2O)_nH$
Ethoxylate of Fatty acid	$R-COO(CH_2CH_2O)_nH$
Alkinonamide of Fatty acid	$R-CONHCH_2CH_2OH$

#### 4.6.2 การวิเคราะห์ (Analysis)

การหาปริมาณของสารลดแรงตึงผิวโดยปกติจะทำโดยอาศัยฐานของสารลดแรงตึงผิวในรูป anionic, cationic และ neutral ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น วิธีการวิเคราะห์ anionic surfactant (เป็นชนิดที่ใช้กันมากที่สุด) เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของ methyleneblue (โมเลกุลของแคทไอออนที่มีขนาดใหญ่) มากเกินพอ ที่รวมตัวกับ hydrophobic ion-pair จากนั้นจะสกัดเข้าไปอยู่ในชั้นคลอโรฟอร์ม และปล่อย methylene blue ที่มากเกินพอไว้ในเฟสที่เป็นเอควีลส ค่าการดูดกลืนพวกสีน้ำเงินในชั้นคลอโรฟอร์มจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้นทั้งหมดของ anion surfactant ในตัวอย่าง

#### 4.6.3 ผลกระทบ ( Effects)

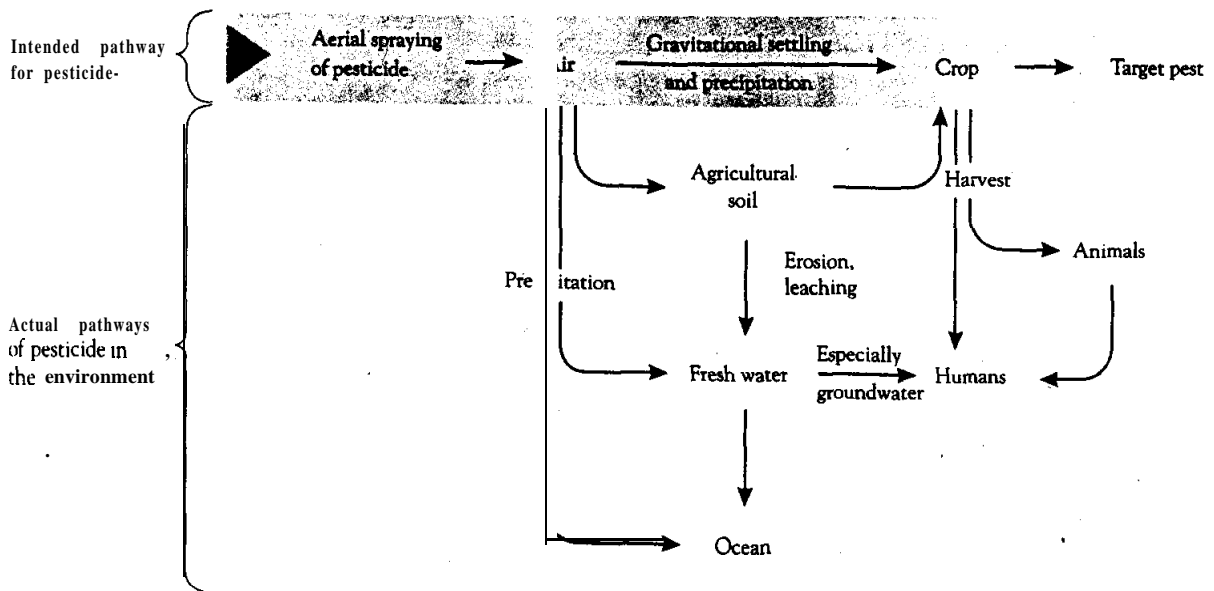
ผงซักฟอกไม่ใช่สารที่เป็นพิษร้ายแรงมาก แต่ถ้าถูกปล่อยให้สะสมอยู่ในแหล่งน้ำซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ยังสามารถทำลายแบคทีเรียที่มีอยู่ย่อยสลายของเสียอินทรีย์ในโรงงานบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถทนต่อระดับ benzene sulfonate สูงประมาณ 10 mg/l ในปัจจุบัน ผงซักฟอกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้นกว่าแต่ก่อน ระดับเหล่านี้จึงไม่เกิดขึ้นบ่อยนัก

องค์ประกอบอื่น ๆ ในการผลิตผงซักฟอกอาจมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ฟอสเฟตที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญของการเกิด eutrophication ตัวฟอกสีประเภทมีคลอรีนในผงซักฟอกทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษ

### 4.7 ยาปราบศัตรูพืช (Pesticides)

#### 4.7.1 แหล่งที่มา ( Sources)

สารประกอบยาปราบศัตรูพืชที่รบกวนหรือทำลายจำนวนมากถูกนำมาใช้ โดยมากในทางด้านเกษตรกรรมเพื่อทำลายศัตรูของพืชและศัตรูทางด้านเกษตรกรรม สารประกอบเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเสถียรในสิ่งแวดล้อมและสามารถปนเปื้อนในน้ำดื่มเช่นเดียวกับในแม่น้ำและทะเล รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าปัญหาต่าง ๆ เกิดขึ้นได้อย่างไร ยาปราบศัตรูพืชส่วนใหญ่ที่ใช้ในทางเกษตรกรรมจะถูกสเปรย์ไปบน พืชผลซึ่งอาจจะตกลงสู่แหล่งน้ำของสารที่ตกค้างหรืออยู่ในอากาศแล้วตกลงมาพร้อมกับฝน หรืออาจจะถูกชะล้างออกจากดิน มลพิษจากยาปราบศัตรูพืชอาจจะเกิดขึ้นโดยผ่านมาตามการปล่อยของเสียหรือโดยอุบัติเหตุจากโรงงานผู้ผลิต



รูปที่ 4.9 The actual pathways of pesticides in the environment, including living organisms. (The intended pathway of pesticides is shaded)

การใช้ยาปราบศัตรูพืชจะรวมถึง

1. ยาฆ่าแมลง ( เช่น pyrethins, DDT และสารประกอบ Organchlorine อื่น ๆ Organophosphate และ Carbamate ) ซึ่งใช้ในการฆ่าแมลงเพื่อป้องกันมนุษย์ สัตว์ และพืชผล

2. ยาฆ่าพืช ( เช่น Paraquat, Triazines Chlorophenoxy Acid ) ใช้ฆ่าพืชที่ไม่ต้องการและใช้ในการทำให้ใบไม้ร่วง

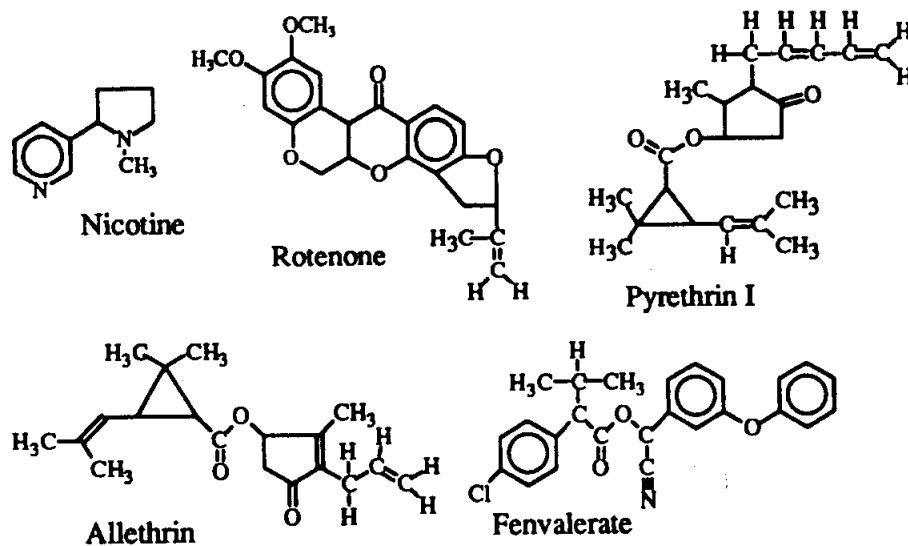
3. ยาฆ่าเชื้อรา ใช้ในการฆ่าเชื้อราต่าง ๆ

4. ยาฆ่าสัตว์ประเภทฟันคู้ เช่น ใช้ในการฆ่าหนู

โครงสร้างของยาปราบศัตรูพืชบางตัวที่สำคัญ ดังแสดงไว้ดังต่อไปนี้

## 1. ยาปราบศัตรูพืชประเภท Pyrethins และ Pyrethroid insecticides (รูปที่ 4.10)

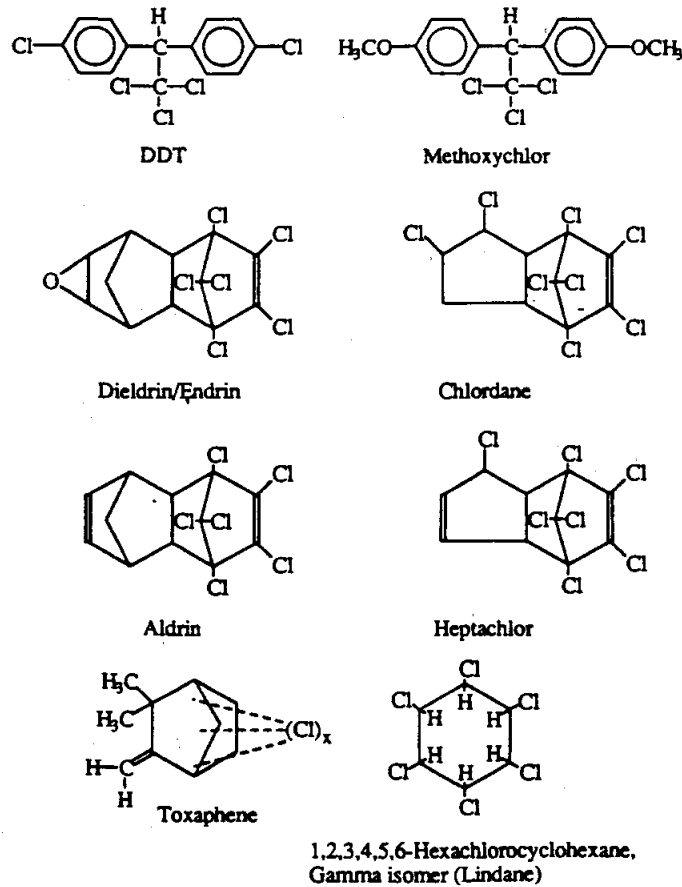
Pyrethins เป็นสารประกอบในธรรมชาติพบในดอกไม้ประเภทดอกเบญจมาศ Pyrethroid เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นในกลุ่มของ Pyrethroids เป็นสารที่สลายตัวได้ในทางชีวภาพและไม่เป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม



รูปที่ 4.10 Common botanical insecticides and synthetic analogues of the pyrethroids

## 2. ยาปราบศัตรูพืชประเภท DDT และสารประกอบ Organochlorine(OC) อื่น ๆ (รูปที่ 4.11)

สารประกอบเหล่านี้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในช่วงทศวรรษ 1960 แต่ได้ถูกยกเลิกห้ามใช้โดยเด็ดขาดในประเทศที่พัฒนาแล้วส่วนใหญ่ เนื่องจากมีความเสถียรสูงในสิ่งแวดล้อมและการสะสมในห่วงโซ่อาหาร แต่ยังคงมีใช้ในประเทศที่กำลังพัฒนา โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้ในการควบคุมยุงนำโรคต่าง ๆ



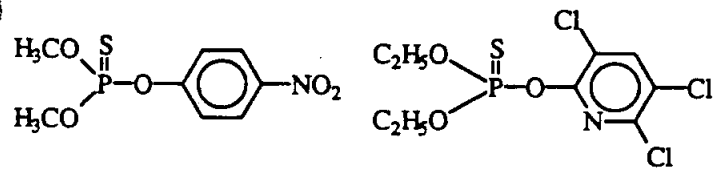
รูปที่ 4.11 Common organochlorine insecticides

### 3. ยาปราบศัตรูพืชประเภท Organophosphate (OP) insecticides (รูปที่ 4.12)

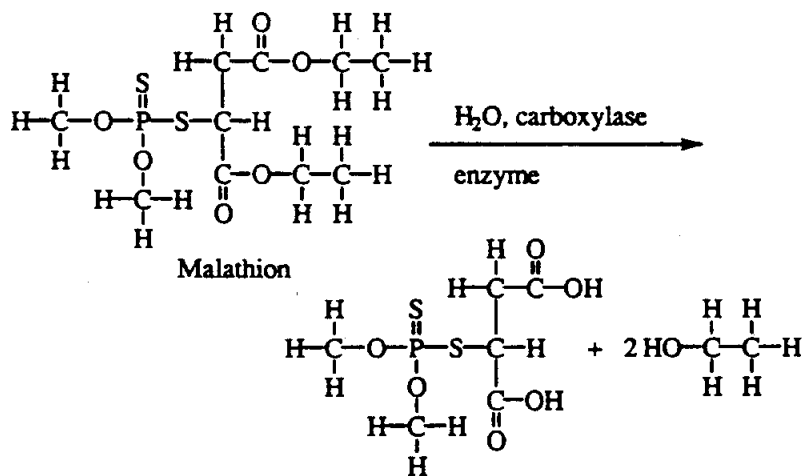
เป็นอนุพันธ์อินทรีย์ของกรดฟอสฟอริก ยกตัวอย่างเช่น Methyl Parathion Chlorpyrifos และ Malathion สารประกอบประเภทนี้สลายตัวได้เร็วในสิ่งแวดล้อมและไม่สะสมในห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นจึงไม่เป็นมลพิษที่สำคัญในแหล่งน้ำ ความเป็นพิษจะแตกต่างกันอย่างมากมาตมมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น Malathion (รูปที่ 4.13) มีความเป็นพิษต่ำมาก ๆ (ต่ำกว่า Parathion 100 เท่า) เนื่องจาก



สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จะมีเอนไซม์ที่จะทำการไฮโดรไลซิส Malathion แต่เอนไซม์ชนิดนี้จะไม่พบในแมลง



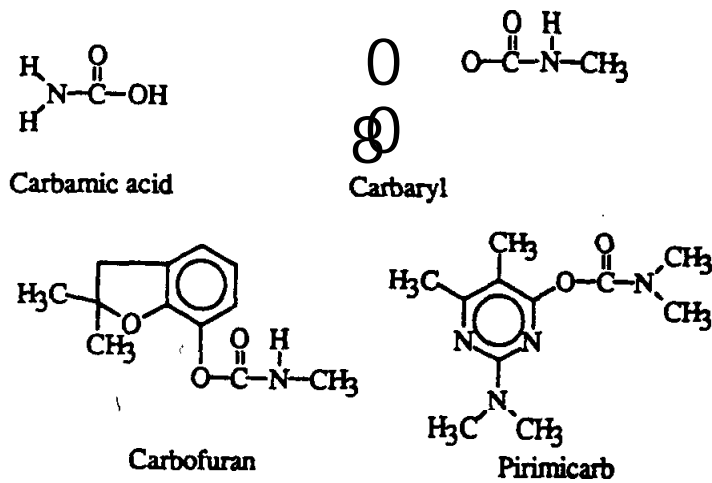
รูปที่ 4.12 Structures of methyl parathion and chlorpyrifos



รูปที่ 4.13 Malathion detoxification in mammals

#### 4. ยาปราบศัตรูพืชประเภท Carbamates (รูปที่ 4.14)

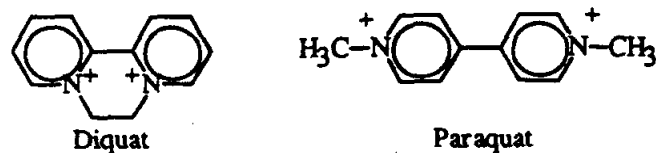
สารประกอบเหล่านี้เป็นอนุพันธ์ของกรดคาร์บามิก จะใช้ในอาคารบ้านเรือนเช่นเดียวกับในเกษตรกรรม จะสลายตัวได้เร็วกว่าสารประกอบ organochlorine และได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง



รูปที่ 4.14 Carbamic acid and three insecticidal carbamates

### 5. ยาปราบศัตรูพืชประเภท Bipyridillium herbicides ( รูปที่ 4.15 )

เป็นยาฆ่าวัชพืชที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ใช้ในการควบคุมวัชพืชในบ้านเรือน และเกษตรกรรม

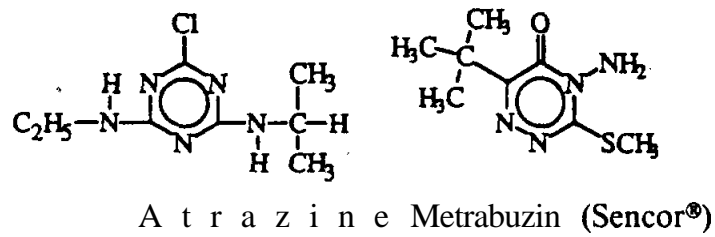


รูปที่ 4.15 The two major bipyridillium herbicides (cation forms)

### 6. Trizine herbicides ( รูปที่ 4.16 )

ยาฆ่าวัชพืชที่มีความจำเพาะเจาะจง จะไปยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชกลุ่มเป้าหมาย แต่จะไม่มีอันตรายต่อธัญพืช ซึ่งจะถูกระบวนการเมแทบอลิซึม

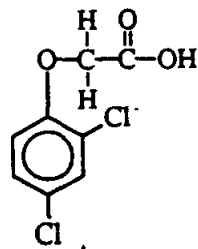
และจะถูกทำลายความเป็นพิษ Atrazine จะถูกใช้มากกับพวกข้าวโพด Metribuzin จะใช้กับพวกถั่วเหลือง อ้อย และข้าวสาลี



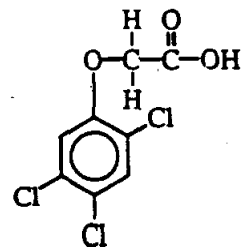
รูปที่ 4.16 Structures of atrazine and metribuzin

### 7. ยาปราบศัตรูพืชประเภท Chlorophenoxyacid herbicides ( รูปที่ 4.17 )

ครั้งหนึ่งเคยถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการควบคุมวัชพืชและทำให้ใบไม้ร่วง ใน 2,4,5-T โดยมากจะมีการปนเปื้อนของ dioxins ( โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “Agent Orange “ ที่สหรัฐอเมริกานำมาใช้ในสงครามเวียดนาม



2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (and esters). 2,4-D

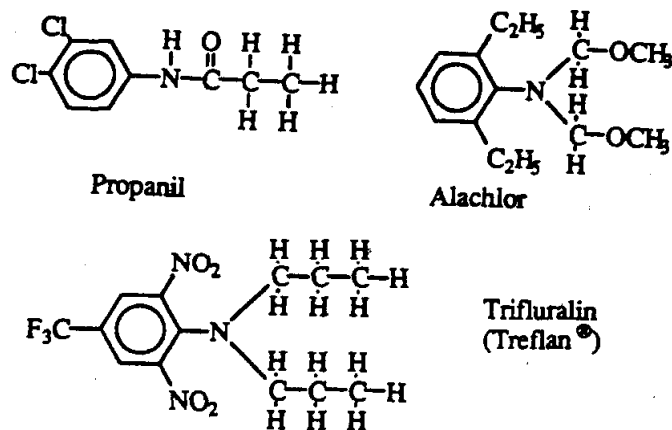


2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid (and esters), 2,4,5-T

รูปที่ 4.17 Chlorophenoxyacetic herbicides

## 8. ยาปราบศัตรูพืชประเภทอื่นๆ Other herbicides ( รูปที่ 4.18 )

สารเคมีอื่น ๆ จำนวนมากได้ถูกนำมาใช้เป็นยาฆ่าวัชพืชในทางเกษตรกรรม ทั้ง 3 ตัวในรูปที่ 4.18 Propanil น่าสนใจที่สุดเพราะถูกนำมาใช้ในการควบคุมวัชพืชในนาข้าว



รูปที่ 4.18 Structures of propanil, alachlor and trifluralin

### 4.7.2 การวิเคราะห์ ( Analysis )

เนื่องจากยาปราบศัตรูพืชมีมากมายหลายประเภทดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงเป็นไปได้ที่จะกล่าวในรายละเอียดในวิธีการที่จะใช้วิเคราะห์สารแต่ละตัว สารประกอบประเภทนี้ได้ถูกแบ่งออกเป็นประเภท เช่น Organochlorine Organophosphate Pyrethroids Triazines Chlorephenoxy Acid ที่มีสมบัติคล้ายคลึงกัน ซึ่งสามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้ในประเภทเดียวกัน ( หรือหลายประเภท ) ภายใน Multiresidue method เพียงครั้งเดียว

มีความเป็นไปได้ที่จะทำการกำหนดลักษณะทั่ว ๆ ไปของวิธีการที่ยอมรับในการตรวจวิเคราะห์หายาปราบศัตรูพืชในน้ำ ดังนี้

1. การสกัดยาปราบศัตรูพืชจากน้ำด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่ละลายในน้ำเช่น ไคลอโรโรมีเทน หรือ เฮกเซน ในวิธีการที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปจะนำมาประยุกต์ใช้ได้กับสารประกอบพวก Organochlorine Pesticides (OC) และสารประกอบพวก Organophosphate Pesticides (OP) และสารประกอบเป็นกลางที่ไม่มีขั้วอื่น ๆ

2. มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทำความสะอาดและการแยกสารตัวอย่างที่สกัดออกมาได้ เพื่อกำจัดสิ่งรบกวนออกไป โดยมากจะใช้เทคนิคทางคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้สารที่บรรจุในคอลัมน์ คือ อะลูมินา (ซึ่งจะหน่วงเหนี่ยวองค์ประกอบที่มีสภาพขั้วสูงในตัวอย่างไว้ แล้วปล่อยให้ยาปราบศัตรูพืชที่มีสภาพขั้วต่ำผ่านออกไป) ซิลเวอร์ไนเตรท (มีความจำเพาะเจาะจงกับสารประกอบอัลคีน) และซิลิกา (ซึ่งจะช่วยแยกยาปราบศัตรูพืชออกจาก PCBs ซึ่งพบมากในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม) ถ้าหากว่ามียาปราบศัตรูพืชมากกว่า 1 ประเภทที่จะทำการตรวจวิเคราะห์ สารประกอบเหล่านี้จะถูกทำการแยก (fractionates) ออกเป็นประเภทในระหว่างกระบวนการทำความสะอาด

3. แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) จะเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาวิเคราะห์สารประเภทนี้มากที่สุด สารประเภทนี้ส่วนใหญ่มักจะมีความเสถียรสูง มีสภาพขั้วต่ำ และระเหยได้จึงเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC สำหรับสารประกอบบางชนิดที่มีสภาพขั้วค่อนข้างสูง (เช่น Chlorophenoxy acids) ต้องมีการทำอนุพันธ์ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ GC

4. วิธีการตรวจวัดในเทคนิค GC ที่ใช้ จะขึ้นอยู่กับสารประกอบที่เกี่ยวข้อง ตัวตรวจวัดชนิดจับอิเล็กตรอน (Electron Capture Detector, ECD) จะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับสารประกอบพวกฮาโลเจน เช่น DDT ECD ได้ถูกคิดสังเคราะห์ขึ้นมาในช่วงต้นทศวรรษที่ 1960 ทำให้สามารถตรวจวัด DDT ได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำมาก ๆ

เป็นครั้งแรก และแสดงให้เห็นการแพร่กระจายของ DDT อย่างกว้างขวางในสิ่งแวดล้อม ซึ่งความรู้นี้นำไปสู่ความหวังใหม่ ๆ ในสิ่งแวดล้อม

สำหรับสารประกอบที่มีฟอสฟอรัส-ไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบสามารถตรวจได้โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิด NPD (Nitrogen- Phosphorous Detector) หรือ FPD (Flame Photometric Detector) สารประกอบเหล่านี้ทุกประเภทสามารถตรวจวัดได้โดยใช้เทคนิคแมสสเปกโตรเมตรี และในปัจจุบันเทคนิค GC-MS ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์อย่างกว้างขวาง

#### 4.7.3 ผลกระทบ ( Effects)

ยาปราบศัตรูพืชได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตาม สำหรับยาที่คิดว่าจะมีความจำเพาะเจาะจงสูง นั่นก็คือเป็นอันตรายต่อแมลงแต่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ดังนั้นพิษเฉียบพลันในมนุษย์ของสารประกอบที่เป็นยาปราบศัตรูพืชสมัยใหม่บางชนิดจึงไม่สูงนัก อย่างไรก็ตามความเป็นพิษของสารประกอบเหล่านี้ค่อนข้างจะเป็นเรื่องธรรมดา เนื่องจากถูกนำมาใช้ในปริมาณมาก โดยทั่ว ๆ ไปเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมักเกี่ยวข้องกับคนงานในไร่และคนอื่น ๆ ที่ใช้ยาปราบศัตรูพืช การละลายของสารประกอบเหล่านี้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ยากที่จะมีพิษเฉียบพลันเกิดขึ้นจากการดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อน ยกเว้นเสียแต่ว่าจะมาจากกระแสน้ำที่มีสารประกอบเหล่านี้หกเลอะเทอะซึ่งถูกปล่อยออกมาจากโรงงาน แต่ในแง่ผลระยะยาวต่อการสัมผัสกับสารประกอบพวกนี้จากอาหารและน้ำ ยังไม่มีความไม่แน่ใจในผลที่จะเกิดขึ้น

ยาปราบศัตรูพืชมีความสำคัญอย่างมากในระบบการทำเกษตรกรรมสมัยใหม่ เพราะเป็นระบบปลูกพืชชนิดเดียว ในทางปฏิบัติคือการปลูกพืชชนิดเดียวกันในพื้นที่ขนาดใหญ่ติดต่อกันทุก ๆ ปี ซึ่งในลักษณะเช่นนี้จะกระตุ้นปริมาณสัตว์ที่เป็นศัตรูพืช

เหล่านี้เป็นทวีคูณ ในช่วงระยะ 50 ปีที่ผ่านมาสารประกอบเหล่านี้ได้มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดต่อการหยุดยั้งการทำลายพืชผลโดยแมลง นอกจากนี้แล้วยังถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการควบคุมเชื้อโรค ใช้ในการฆ่าแมลง เช่น ยุงที่นำเชื้อมาเลเรีย และเชื้อโรคที่ร้ายแรงอื่น ๆ

มีปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมากมายกับการใช้ยาปราบศัตรูพืชเหล่านี้

### 1. มีการพัฒนาเชื้อสายพันธุ์ที่มีการต่อต้านสูง(ดื้อยา)

ยิ่งเรานำสารประกอบเหล่านี้มาใช้มากเท่าใดสัตว์ต่าง ๆ ก็จะมีการพัฒนาต่อต้านฤทธิ์ยามากขึ้น ทำให้เราต้องใช้ยาปราบศัตรูพืชในปริมาณที่เพิ่มขึ้น หรือมีการปรับปรุงพัฒนาสารประกอบใหม่ ๆ ขึ้นมาตลอดเวลา

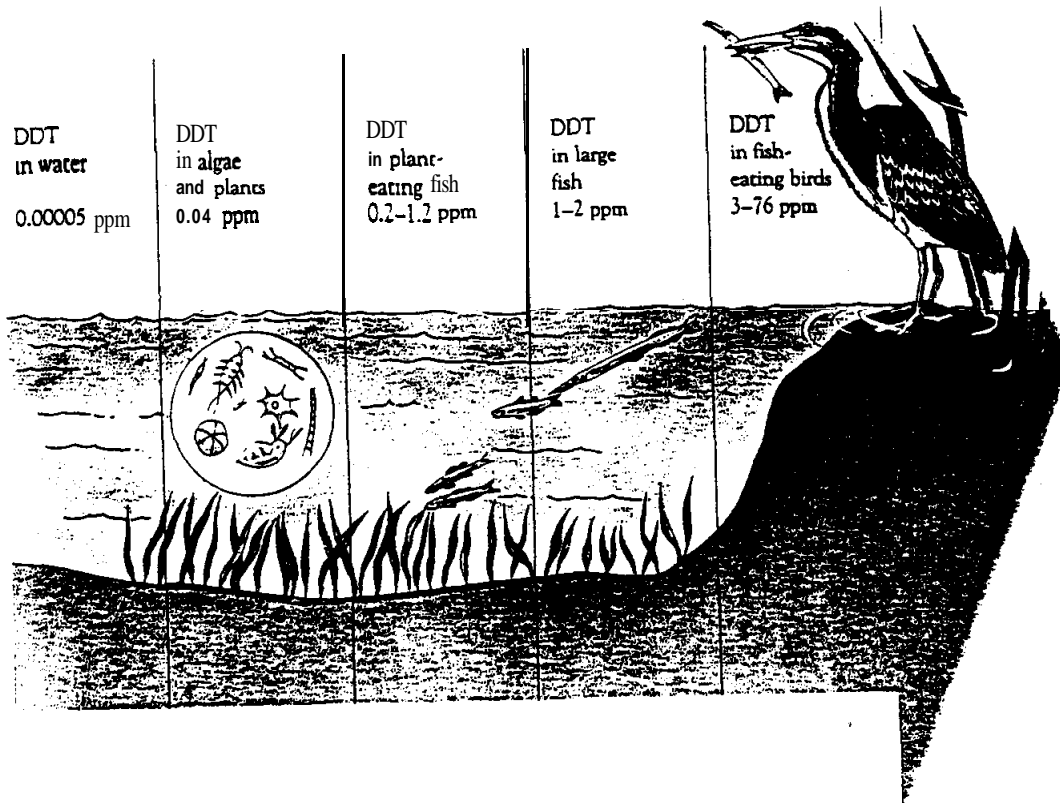
### 2. มีผลกระทบต่อผู้ล่าโดยธรรมชาติ

การฆ่าแมลงก็หมายถึงว่าผู้ล่าโดยธรรมชาติที่กินแมลงเป็นอาหารก็จะไม่มีแมลงให้กินนั่นก็หมายถึงว่าในห่วงโซ่อาหารทั้งหมดในสิ่งแวดล้อมก็จะได้รับผลกระทบด้วย

### 3. ความคงทนและการสะสมทางชีวภาพ

ผลนี้จะมีมากต่อมลพิษในน้ำ เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้ส่วนใหญ่มีความเสถียรมาก และมีแนวโน้มจะคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน ไม่เพียงแค่นั้นเนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไม่มีขั้ว ทำให้เกิดการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เมื่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เหล่านี้ถูกกินโดยผู้ล่าที่สูงกว่าในห่วงโซ่อาหาร ปริมาณของสารพิษตกค้างก็จะเพิ่มขึ้น ผลนี้แสดงได้ในรูปที่ 4.19 ของ DDT จึงสังเกตว่าความเข้มข้นของ DDT เพิ่มขึ้นอย่างไรในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในห่วงโซ่อาหารที่ดำเนินไป นักอินทรีย์ที่อยู่

ปลายสุดของห่วงโซ่จะมีความเข้มข้นของ DDT ประมาณ หนึ่งล้านเท่าในเนื้อเยื่อของมัน สูงกว่าความเข้มข้นของ DDT ในน้ำ



รูปที่ 4.19 Bioaccumulation of DDT

ยาปราบศัตรูพืช เช่น DDT อาจจะมีค่าความเข้มข้นต่ำมาก ๆ (ในระดับที่อาจตรวจวัดไม่ได้) ในน้ำ แต่อาจถูกรับเข้าไปโดยสาหร่ายและพืชในน้ำ และไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของมัน ถ้าหากว่าพืชเหล่านั้นถูกกินโดยปลาเล็ก ๆ ระดับของสารนั้นในปลาก็จะสูงขึ้น เนื่องจากปลากินพืชจำนวนมากมาในตลอดชั่วชีวิตของมัน กระบวนการเช่นนี้จะ

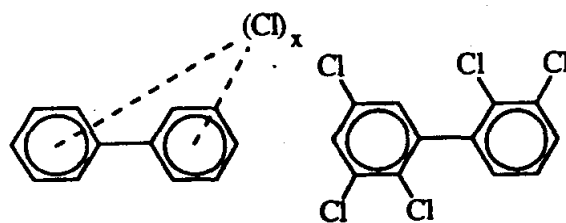


เกิดต่อ ๆ ไปจนถึงจุดสูงสุดของห่วงโซ่อาหาร ในกรณีนี้มักกินปลาในระดับความเข้มข้นของสารในนกอาจเป็นล้านเท่าสูงกว่าในน้ำ

#### 4.8 Polychlorinated biphenyls (PCBs)

##### 4.8.1 แหล่งกำเนิด ( Sources)

Polychlorinated Biphenyls ( PCBs ) เป็นกลุ่มของสารประกอบที่พบเป็นจำนวนมากที่ผลิตได้จากกระบวนการเติมคลอรีนลงในสารประกอบ Biphenyls จะมีทั้งหมด 209 ไอโซเมอร์ (isomers) ที่แตกต่างกัน ความแตกต่างจะอยู่ที่จำนวนและตำแหน่งของคลอรีน ( ดูรูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.20 General formula for polychlorinated biphenyls (*left*, where X may range from 1 to 10) and a specific S-chlorine congener (*right*)

PCBs เป็นสารประกอบที่เสถียรและมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงมาก จึงพบว่าถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเก็บประจุ และในการประยุกต์ใช้ทางด้านอื่น ๆ ( การบำบัดฝ้ายและแอสเบสตอส และเป็นตัว Plasticisers

และใช้ในสีทาบ้าน การผลิต PCBs ได้ถูกสั่งห้ามผลิตในปี 1976 ในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น ๆ

เหตุผลของการห้ามผลิต เพราะเนื่องจากพบว่ามีสารสะสมสารนี้ในสิ่งแวดล้อม สาเหตุใหญ่ก็เนื่องมาจากการกำจัดอุปกรณ์ที่มี PCBs และมีการปล่อยออกมาจากโรงงานผู้ผลิตโดยตรง PCBs มีความทนทานต่อการสลายตัวทางเคมีและชีวภาพสูงมาก และต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการเผาเพื่อทำลาย PCBs ดังนั้นในปัจจุบันนี้ PCBs จึงสามารถตรวจพบได้ในตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมเกือบทุกชนิดรวมทั้งน้ำจากแม่น้ำและทะเล และยังคงถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมตลอดเวลา เนื่องจากเครื่องมือทางไฟฟ้าที่มี PCBs ยังคงมีใช้อยู่

#### 4.8.2 การวิเคราะห์ (Analysis)

PCBs จะมีความคล้ายคลึงทางเคมีกับสารประกอบ Organochlorine Pesticides มาก ในการตรวจวัดในตัวอย่างน้ำจึงมีความคล้ายคลึงกันมาก โดยทั่วไปจะเกี่ยวกับการสกัดออกจากน้ำโดยตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว และทำความสะอาดด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี และตรวจวัดปริมาณโดยเทคนิค GC ด้วยตัวตรวจวัดชนิด ECD หรือ MS

ความยุ่งยากในการวิเคราะห์สารประกอบประเภทนี้ก็คือ ผลิตภัณฑ์ของ PCBs ทางการค้าประกอบด้วยของผสมของไอโซเมอร์จากการสังเคราะห์ PCBs ดังนั้นทั้ง 209 ไอโซเมอร์อาจจะพบอยู่ในตัวอย่างใด ๆ ในการวิเคราะห์ ตอนแรกนักเคมีวิเคราะห์จะต้องทำการตรวจวัด PCBs ทั้งหมด เนื่องจากคอลัมน์ของ GC ไม่มีประสิทธิภาพสูงพอที่จะแยก PCB ไอโซเมอร์จำนวนมากมาแยกออกจากกันได้ การใช้แคปิลลารีคอลัมน์สมัยใหม่ช่วยให้การแยกดีขึ้นมาก ในปัจจุบันการวิเคราะห์ PCBs จะมุ่งที่จะวัดไอโซเมอร์เฉพาะตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งมีความเป็นพิษสูงมาก ๆ

#### 4.8.3 ผลกระทบ ( Effects)

PCBs มีแนวโน้มที่จะสะสมทางชีวภาพได้ในวิธีการที่คล้ายคลึงกับ Organochlorine Pesticides ดังนั้นในขณะที่การปนเปื้อนของ PCBs อาจมีระดับต่ำมาก (แม้ว่าการแพร่กระจายมาก) จะมีระดับสูงขึ้นในสิ่งมีชีวิตในน้ำ อาจจะสูงกว่าหลายเท่า ซึ่งจะพบในกรณีของนก ปลาที่มีไขมันสูง แมวน้ำ นาก สัตว์น้ำอื่น ๆ PCBs ยังเกี่ยวข้องกับการลดปริมาณของประชากรของสัตว์เหล่านี้บางชนิด

พิษเฉียบพลันของ PCBs ค่อนข้างต่ำ ผลเรื้อรังอาจมีผลรุนแรงมากกว่า เนื่องจากการแพร่กระจายของมลพิษเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อม กลไกของความเป็นพิษยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดีนัก แต่อาจจะเกี่ยวข้องกับความจริงที่ว่า PCBs (และ Organohalogen ตัวอื่น ๆ) จะไปเหนี่ยวนำ (ไปกระตุ้นแอกติวิตี) ของเอนไซม์ Cytochrome P-450 Metabolising Enzymes ต่าง ๆ รวมทั้งเอนไซม์ตัวที่เรียกว่า Aryl Hydrocarbon Hydroxylase (AHH) ซึ่งจะเกิดโดยการจับของ Receptor ที่เรียกว่า Ah Receptor นี่เป็นส่วนหนึ่งของกลไกปกติของร่างกายในการเมแทบอลิซึมสารประกอบ xenobiotics ชนิดนี้ ปัญหาเกี่ยวกับ PCBs ก็คือจะไปเหนี่ยวนำเอนไซม์ แต่โดยมากจะต่อต้านการเกิด Hydroxylation โดยตัวมัน ซึ่งจะนำไปสู่การสะสมของสารนี้ในระดับปริมาณสูง และเอนไซม์ตัวอื่น ๆ ในตับ ซึ่งก่อให้เกิดผลต่าง ๆ ที่ตามมาต่อร่างกายซึ่งยากที่จะทำลายได้

อาการของความเป็นพิษของ PCBs ในมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นที่ปรากฏ คือ จะไปก่ระบบภูมิคุ้มกัน (ลดการต่อต้านเชื้อโรค) ปัญหาเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ (รวมถึง Birth defects) ปัญหาเกี่ยวกับผิวหนังและมะเร็ง เนื่องจากทุกคนมีโอกาสได้รับ PCBs เช่นเดียวกับมลพิษอื่น ๆ ในบางครั้งจึงเป็นการยากที่จะกล่าวว่า อาการเฉพาะมาจากมลพิษตัวใดตัวหนึ่ง ผลจากการได้รับโดยเฉียบพลันจากการได้รับมลพิษในปริมาณ

มาก และผลจากการทดลองในสัตว์ อาจจะไม่ทำให้รายละเอียดที่เกี่ยวกับผลของการได้รับอย่างเรื้อรังของสารเคมีเหล่านี้ในระดับต่ำ ๆ

ได้มีเหตุการณ์เกี่ยวกับมลพิษในปริมาณมากที่เกี่ยวข้องกับ PCBs เกิดขึ้นที่ร้ายแรงที่สุดเกิดขึ้นที่ Yusho ประเทศญี่ปุ่นในปี 1968 สาเหตุมาจากการรั่วไหลของ PCBs ในหม้อแปลงเกิดการปนเปื้อนในน้ำมันข้าวจำนวนมากในโรงงาน ประชาชนจำนวนมากได้บริโภคน้ำมันนี้ พบว่ามีประชาชนจำนวน 13,000 คน ได้พบว่ามีอาการเป็นพิษเนื่องจาก PCBs การปนเปื้อนในอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ในสหรัฐอเมริกาในปี 1971 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ มีไข่ไก่จำนวนมากมายที่ฟักออกเป็นตัวไม่ได้

#### 4.9 มลพิษทางเคมีอื่น ๆ ในน้ำ

เราได้ศึกษามลพิษต่าง ๆ ที่ถูกจัดว่าเป็นอันตรายต่อแหล่งน้ำ ส่วนมากจะเป็นพวกที่มีการกระจายมากในสิ่งแวดล้อม ส่วนมากจะมาจาก diffuse source สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่เป็นสารมลพิษอื่น ๆ ในน้ำที่เนื่องมาจากของเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจัดเป็น point source มลพิษที่มาจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้มีความรุนแรงมากสำหรับท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องโดยตรง แต่สารประกอบเหล่านี้ไม่ได้มีความสำคัญมากสำหรับสิ่งแวดล้อมโดยรวมของโลก ซึ่งเราจะพิจารณามลพิษจากอุตสาหกรรมและของเสียในรายละเอียดต่อไป

#### 4.10 สารกัมมันตรังสี ( Radionuclides)

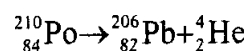
##### 4.10.1 แหล่งที่มา ( Sources)

#### 4.10.1.1 ธรรมชาติของการเปล่งรังสี

การเปล่งรังสีมาจากการเปลี่ยนแปลงในการจัดเรียงตัวของอะตอม การคายกัมมันตภาพรังสีมี 3 ชนิดหลัก ๆ คือ

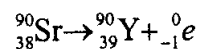
1. อนุภาคแอลฟา ( $\alpha$ ) คือนิวเคลียสของฮีเลียมซึ่งมี 2 โปรตรอน และมี 2 นิวตรอน และมีประจุ +2 ได้มาจากอะตอมของธาตุหนักที่มีจำนวนโปรตรอนมากไปในนิวเคลียสทำให้ไม่เสถียร

ตัวอย่าง



2. อนุภาคเบตา ( $\beta$ ) คือ อิเล็กตรอนที่ถูกคลาโยออกมาจากนิวเคลียสเมื่อนิวตรอนถูกเปลี่ยนเป็นนิวตรอน

ตัวอย่าง



3. รังสีแกมมา ( $\gamma$ ) เป็นโฟตอนที่มีพลังงานสูงที่คายออกมาจากนิวเคลียสที่อยู่ในสถานะเร้า หรือเป็นส่วนหนึ่งของการสลายตัวให้แอลฟาหรือเบตา

ธาตุบางชนิดมีปริมาณของไอโซโทป ที่เป็นกัมมันตรังสีในธรรมชาติ เกิดเนื่องจากกระบวนการในจักรวาล ยังมีไอโซโทปที่เป็นกัมมันตรังสีที่ถูกผลิตขึ้นมาโดยมนุษย์ (รวมทั้งธาตุที่มีเลขอะตอมสูงๆ) อาจทำได้โดยการอาบรังสีของธาตุอื่น ๆ หรือเป็นผลิตภัณฑ์จากการแตกของนิวเคลียส (Nuclear Fission)

แอกติวิตีของสารกัมมันตรังสีจะวัดในหน่วยเบคเคอเรล ( Becquerels , Bq ) ซึ่ง 1 Bq คือการแตกสลายของนิวเคลียส 1 ครั้งต่อวินาที ปริมาณที่ถูกดูดซับโดยมนุษย์จะถูกวัดโดยหน่วยเกรย์ ( Grays , Gy ) ซึ่ง 1 Gy แทนการถ่ายเทพลังงานของรังสี 1 จูลน์ต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณสมมูล ( dose equivalent ) จะคำนึงถึงความจริงที่ว่าผลทางด้านชีวภาพของรังสีชนิดต่าง ๆ แตกต่างกัน โดยอนุภาคแอลฟาจะมีอำนาจในการทำลายสูงกว่าอนุภาคเบตาหรือรังสีแกมมาถึง 20 เท่า ซึ่งวัดในหน่วย Sieverts ( Sv ) เมื่อดูดซับปริมาณรังสี 1 Gy จะสมมูลกับปริมาณ 20 Sv ( อนุภาคแอลฟา ) หรือ 1 Sv ( อนุภาคเบตาหรือรังสีแกมมา )

ครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก ซึ่งมีความแตกต่างจากเวลาที่สั้นมาก ๆ ( น้อยกว่า 1 วินาที ) ไปจนถึงเวลาที่ยาวนานมาก ๆ ( นับล้านปี ) ไอโซโทปที่มีชีวิตสั้นจะสลายตัวได้เร็ว และดังนั้นจะมีแอกติวิตีสูงมากในขณะนั้น ไอโซโทปที่มีอายุยาวนานจะมีค่าแอกติวิตีต่ำกว่า แต่จะก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เนื่องจากความยาวนานของระยะเวลาที่มันแสดงกัมมันตภาพรังสีอยู่

#### 4.10.1.2 กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

ซึ่งมีแหล่งกำเนิดต่าง ๆ คือ

- (a) รังสีคอสมิก ซึ่งมาจากดวงอาทิตย์และส่วนที่เหลือของจักรวาล
- (b) จากการสลายตัวโดยธรรมชาติของไอโซโทปกัมมันตรังสี เช่น  $^{40}\text{K}$  ( พบว่ามีอยู่ที่ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยประมาณ 3 ppm ที่ผิวโลก )  $^{232}\text{Th}$  ( มีอยู่ประมาณ 10-15 ppm ในหินแกรนิต ) ผลึกภัณฑ์จากการสลายตัวของยูเรเนียมและทอเรียม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แก๊สเรดอน ซึ่งจะเป็เป็นตัวให้กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติระดับหนึ่ง ปริมาณของ

กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติที่มนุษย์ได้รับ โดยเฉลี่ยในประเทศอังกฤษประมาณ 1.7 mSv ต่อปี

#### 4.10.1.3 รังสีจากการประยุกต์ทางการแพทย์ (Radiation from medical application)

รังสี X และรังสี  $\gamma$  ได้ถูกนำมาใช้ทางการแพทย์ในการวินิจฉัยโรค และบำบัดโรคซึ่งในกรณีมีคนไข้จะได้รับปริมาณรังสีในปริมาณที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้รับโดยแหล่งต่าง ๆ ตามธรรมชาติ ไอโซโทปกัมมันตรังสีเฉพาะเท่านั้นที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ ซึ่งจะปล่อยของเสียที่เป็นสารกัมมันตรังสีออกมา รังสีทางการแพทย์จะมีส่วนในค่าปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับ โดยเฉลี่ยประมาณ 0.25 mSv ต่อปี

#### 4.10.1.4 มลพิษจากกัมมันตภาพรังสีจากการระเบิดของโรงงานผลิตอาวุธนิวเคลียร์

มีระเบิดนิวเคลียร์เพียง 2 ลูกที่ระเบิดในระหว่างสงครามโลกที่ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ถล่มเมือง Hiroshima และ Nagasaki ประเทศญี่ปุ่นในปี 1945 และได้มีการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์มากกว่า 1,000 ลูก ไม่ว่าจะในบรรยากาศ ในพื้นที่แห้งแล้ง ไม่มีผู้คนอาศัยอยู่หรือเกาะหรือใต้ดิน ผลกระทบในบรรยากาศจากการทดสอบจะกระจุกกระจายไปทั่วโลกและอาจตกลงมาพร้อมกับฝน

ระเบิดนิวเคลียร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **Fission bombs** ธาตุยูเรเนียมที่มีปริมาณมากพอระเบิดจะผลิตอะตอมที่เล็กลงต่าง ๆ มากมายและรวมถึงอนุภาคกัมมันตรังสี ผลกระทบที่จากการแตกสลายจำนวนมากเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งอาจจะเข้าไปสู่เนื้อเยื่อของมนุษย์ในที่ที่ไอโซโทปที่เสถียรในธรรมชาติอยู่ของธาตุชนิดเดียวกันหรือธาตุที่คล้ายคลึงกัน การแตกสลายยังผลิตธาตุที่ไม่เสถียรที่มีมวลสูงกว่ายูเรเนียม เช่น พลูโตเนียม

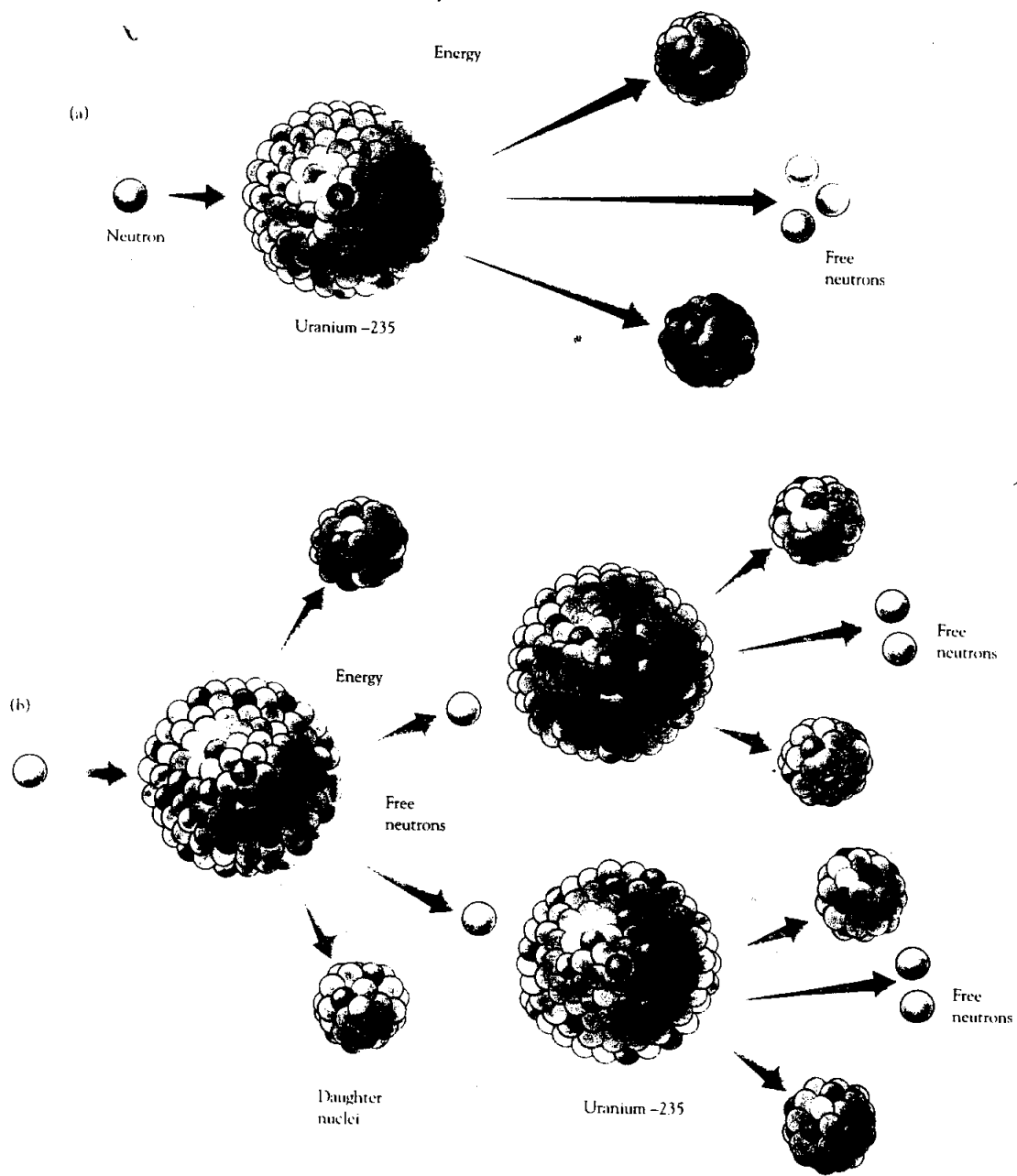
2. **Fusion bombs** (หรือ hydrogen bomb) นิวเคลียสของไฮโดรเจนจะหลอมเข้าด้วยกัน ระเบิดชนิดนี้จะผลิตไอโซโทปทริเทียม ( $^3_1\text{H}$ ) จำนวนมากมาย ซึ่งเป็นไอโซโทปหนึ่งของไฮโดรเจนที่จะคายอนุภาค  $\beta$  ไอโซโทปนี้สามารถแทนที่ไฮโดรเจนในน้ำและดังนั้นจะเข้าไปในสิ่งมีชีวิตง่าย ๆ fusion bomb จะประกอบด้วยเครื่องมือทำให้แตกตัวเพื่อเริ่มปฏิกิริยารวมตัว ดังนั้นจะมีผลกระทบจากการแตกตัวถูกผลิตขึ้นด้วย

การทดสอบอาวุธนิวเคลียร์เกือบจะล้มเลิกแล้วในโลก ยังคงมีเฉพาะบางประเทศที่ยังมีการทดสอบอยู่ ในปัจจุบันปริมาณของกัมมันตภาพรังสีที่เป็นผลเนื่องมาจากการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ของประชาชนในประเทศอังกฤษมีค่าประมาณ 0.01 mSv ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับ 0.08 mSv ต่อปีในปี 1960 (ซึ่งในขณะนั้นมีการทดลองอาวุธนิวเคลียร์กันมาก)

#### 4.10.1.5 มลพิษจากโรงงานผลิตไฟฟ้านิวเคลียร์และเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูอื่น ๆ

มีโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์เกือบ 600 แห่งที่ถูกสร้างขึ้นในโลก และนอกจากนี้ยังมีเตาปฏิกรณ์ปรมาณูที่ถูกใช้สำหรับงานวิจัยและทางด้านการทหาร โดยหลัก ๆ





รูปที่ 4.21 Nuclear fission of Uranium-235

แล้วใช้ในการควบคุมปฏิกิริยาใน Fission bomb (ยูเรเนียม) กระบวนการนี้อธิบายในรูปที่ 4.21 ซึ่งแสดงถึง

(a) การยิงนิวเคลียสของ  $^{235}\text{U}$  ด้วยนิวตรอน ทำให้แตกตัวออกเป็น 2 ส่วนที่เล็กกว่า และนิวตรอนจำนวนมากมาย

(b) เกิดการยิงนิวเคลียส  $^{235}\text{U}$  ต่อๆ ทำให้แตกออกเป็นส่วนๆ ดำเนินไปในลักษณะปฏิกิริยาลูกโซ่

ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์จะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

### 1. การทำเหมืองยูเรเนียม

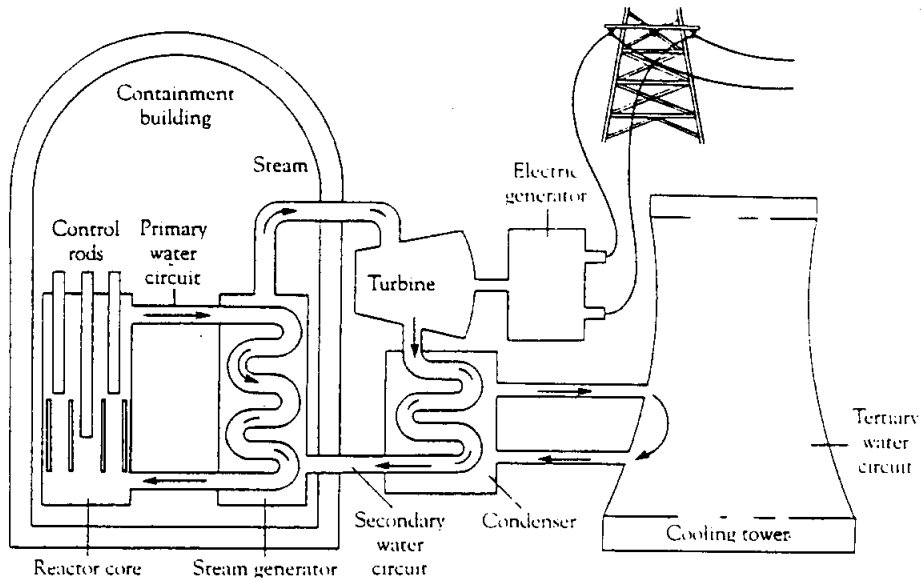
โดยปกติแร่ยูเรเนียมจะประกอบด้วยยูเรเนียมประมาณ 0.15% (ในรูป  $\text{U}_2\text{O}_3$ ) และต้องทำให้มีความเข้มข้นเพิ่ม หลังจากการทำเหมืองและก่อนจะนำไปจำหน่าย กระบวนการเหล่านี้จะปล่อยฝุ่นกัมมันตรังสีและมีความเสี่ยงต่อมลพิษในน้ำ โดยการปล่อยทิ้งโดยอุบัติเหตุ

### 2. การผลิตเชื้อเพลิงยูเรเนียม

กระบวนการเคมีต่าง ๆ จะถูกนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงยูเรเนียม ปกติจะอยู่ในรูปของ  $\text{UF}_4$  หรือยูเรเนียมออกไซด์ที่เข้มข้นมาก (มีไอโซโทปที่แตกตัวได้  $^{235}\text{U}$  มากกว่าที่มีในธรรมชาติ) ซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและทางน้ำอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ ปริมาณโดยเฉลี่ยในผู้คนที่อยู่ใกล้โรงงานที่ดำเนินกระบวนการต่าง ๆ นี้จะมีประมาณ 0.005 mSv ต่อปี จากอากาศ และ 0.05 mSv ต่อปีจากน้ำ

### 3. การทำงานของเตาปฏิกรณ์

การทำงานของโรงงานพลังงานนิวเคลียร์แบบดั้งเดิมดังแสดงในรูปที่ 4.22 ปฏิกริยา nuclear fission ในแก่นกลางจะผลิตความร้อน ซึ่งใช้ในการผลิตไอน้ำ ซึ่งจะไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จากนั้นไอน้ำจะควบแน่นและไหลกลับคืนสู่แหล่งผลิตไอน้ำหรือคอยทำความเย็นขนาดใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้น้ำเย็นลงในตัวควบแน่นที่ 3 (tertiary water)



รูปที่ 4.22 A nuclear power plant containing a pressurised water reactor (PWR)

ปฏิกริยานิวเคลียร์ฟิชชัน จะผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นกัมมันตรังสีจำนวนมากที่มีค่าครึ่งชีวิตแตกต่างกัน ในเตาปฏิกรณ์แบบดั้งเดิมจะมีกัมมันตภาพรังสีถึง  $10^{20}$  Bq ส่วน

ใหญ่จะอยู่ในรูปไอโซโทปที่มีช่วงชีวิตยืนยาว ที่จุดสิ้นสุดของชีวิตของมัน อย่างไรก็ตาม ภายใต้งี๋นไขโดยปกคิกัมมันตภาพรังสีเกือบทั้งหมดจะบรรจุอยู่ภายในเตาปฏิกรณ์ การปล่อยออกมาเป็นประจําเกิดขึ้นโดยมากผ่านไปในน้หล่อเย็น ปริมาณโดยเฉลี่ยของผู้คนที่อาศัยอยู่ใกล้โรงงานผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ใน ประเทศอังกฤษจะมีค่าประมาณโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 0.3 mSv ต่อปี

#### 4. การเก็บของเสียจากนิวเคลียร์

ของเสียเหล่านี้จะประกอบด้วยไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีช่วงชีวิตยาว ซึ่งจะต้องทำการเก็บเป็นเวลาหลายปี (จริงๆแล้วก็คือ ชั้วนัรันครในกรณีของอนุภาค เช่น ฟลูโตเนียม ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิตมากกว่า 24,000 ปี) จะถูกแยกออกเป็นของเสียระดับต่ำ ซึ่งจะถูกกำจัดโดยการฝังกลบและในน้ ส่วนที่มีระดับปานกลางและสูงปัจจุบันจะเก็บไว้บนแผ่นดิน และในน้ที่สุดจะฝังไว้ใต้แผ่นดินในตำแหน่งที่ลึก

#### 5. การนำของเสียมาเข้าสู่กระบวนการอีกครั้งหนึ่ง

การสะสมของผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวจะไปลดประสิทธิภาพของเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ดังนั้นเชื้อเพลิงต้องมีการแทนที่ก่อนที่ยูเรเนียมจะถูกใช้หมด เชื้อเพลิงอาจจะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการอีกครั้งหนึ่งเพื่อสกัดเอายูเรเนียมที่เหลืออยู่ออก และนำมาทำเชื้อเพลิงใหม่ สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ใกล้โรงงานประเภทนี้ในประเทศอังกฤษ ประมาณว่าปริมาณของรังสีที่ได้รับโดยเฉลี่ยประมาณ 1 mSv ต่อปี

#### 4.10.1.6 มลพิษที่ตามมาหลังจากเกิดอุบัติเหตุกับเตาปฏิกรณ์ปรมาณู

อุบัติเหตุจำนวนมากมายได้เกิดขึ้นในโรงงาน พลังงานนิวเคลียร์ซึ่งนำไปสู่การปล่อยกัมมันตภาพรังสีในปริมาณที่สูงกว่าการปล่อยออกมาโดยปกติมากออกสู่สิ่งแวดล้อม

##### 1. Windscale, UK ( 1957 )

เตาปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อการวิจัยเกิดความร้อนสูงเกินไป ได้มีการปล่อยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกสลายตัวออกมา (เช่น  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  และ  $^{90}\text{Sr}$ ) เข้าสู่บรรยากาศ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะจับลงที่ผิวดินและในน้ำ ในที่สุดก็อยู่ในอาหาร เช่นนมวัว ปริมาณที่ยังผลโดยเฉลี่ยต่อประชาชนในประเทศอังกฤษจากเหตุการณ์นี้ประมาณ 0.03 mSv

##### 2. Three Mile Island, USA ( 1979 )

ความล้มเหลวของน้ำหล่อเย็นในเตาปฏิกรณ์ทำให้เกิดความร้อนสูงเกินไปและปล่อยกัมมันตภาพรังสีออกมา ส่วนมากจะอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สอายุสั้น เช่น  $^{133}\text{Xe}$  ไม่มีมีมนุษย์คนใดได้รับรังสีเกิน 1 mSv ที่เป็นผลเนื่องจากอุบัติเหตุนี้

### 3. Chernobyl Ukraine ( 1986 )

เป็นอุบัติเหตุที่ร้ายแรงที่สุดที่เกี่ยวข้องกับพลังงานปรมาณู เกิดการระเบิดและไฟไหม้ในเตาปฏิกรณ์เป็นผลให้มีการปล่อยผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวออกมา 3-100 % ในเตาปฏิกรณ์ ( ขึ้นอยู่กับความสามารถในการระเหย ) แอคติวิตีทั้งหมดมีค่าประมาณ  $10^{18}$  Bq ส่วนมากจะแพร่กระจายไปโดยลมและฝน ปนเปื้อนในอากาศ น้ำ ดิน และอาหารในยุโรปตะวันตกส่วนใหญ่ ผลนี้ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่วัดได้ในหมู่ประเทศสแกนดิเนเวียเฉลี่ยประมาณ 2-3 mSv ประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้โรงงานได้รับปริมาณสูงกว่านี้มาก

#### 4.10.1.7 มลพิษจากส่วนที่ไม่ใช้กระบวนการทางนิวเคลียร์

การเผาไหม้ถ่านหิน และการหลอมโลหะบางชนิดจะปล่อยนิวเคลียสกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อมที่ถูกจับอยู่ในถ่านหินหรือแร่ธาตุ

#### 4.10.2 การวิเคราะห์ ( Analysis )

นิวเคลียสกัมมันตรังสีโดยปกติจะวัดในเทอมของแอคติวิตี ( ในหน่วย Bq ) มากกว่าความเข้มข้นทางเคมี อาจจะใช้ Scintillation counters ( ซึ่งจะวัดคลื่นแสงที่คายออกมาจากสารโดยให้เกิดอันตรกิริยากับรังสี ) ชนิดเฉพาะของ Ionisation Counters เรียกว่า Proportional Counter พลังงานของรังสีจะถูกวัดในเวลาเดียวกัน นิวเคลียสกัมมันตรังสีที่คายอนุภาคชนิดเดียวกันออกมา สามารถแยกโดยพลังงานของอนุภาคที่ถูกปล่อยออกมา

การวัดกัมมันตภาพรังสีทั้งหมดในตัวอย่างสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยชนิดของ เครื่องวัดดังกล่าว น่าจะมีประโยชน์มากกว่าถ้าสามารถวัดกัมมันตภาพรังสีของนิวเคลียส เฉพาะตัวใดตัวหนึ่ง ในกรณีเช่นนี้ ขั้นตอนในการทำความสะอาดจำเป็นต้องนำมาใช้ เพื่อแยกนิวเคลียสกัมมันตรังสี อาจจะโดยใช้วิธีการที่คล้ายคลึงกับที่ใช้สำหรับแยก ไอโซโทปที่เสถียรของธาตุ ตัวตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีสามารถถูกใช้ในลักษณะ on-line ใน HPLC นิวเคลียสกัมมันตรังสีที่พบโดยทั่วไปในน้ำ ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.6

#### 4.10.3 ผลกระทบ ( Effects)

อนุภาคกัมมันตรังสีชนิดต่างกันจะมีความแตกต่างในอันตรายต่อสุขภาพของ มนุษย์ อนุภาคแอลฟา ( $\alpha$ ) ไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านเนื้อเยื่อมนุษย์ได้มากนัก ( ประมาณ  $1\mu\text{m}$  เท่านั้น ) แต่ก่อให้เกิดความเสียหายมาก

ตัวที่ปล่อยอนุภาคแอลฟาโดยมากจะเป็นโลหะหนัก ซึ่งจะสะสมอยู่ในร่างกายถ้า หากว่าถูกทานเข้าไป จะทำให้ระบบภายในถูกทำลาย อนุภาคเบต้ามีอำนาจในการทะลุ ทะลวงได้มากกว่า อนุภาคแอลฟา ( ประมาณ  $0.2\text{ cm}$  ) แต่ก่อให้เกิดความเสียหายน้อย กว่า รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถทะลุทะลวงเนื้อเยื่อได้ดี และก่อให้เกิด ความเสียหายต่อระยะทางหนึ่งหน่วยได้มากกว่าอนุภาคเบต้า

ผลของรังสีในร่างกาย เกิดเนื่องจากการชนของอนุภาคกัมมันตรังสีกับโมเลกุล ของร่างกายเกิดเป็นไอออน ซึ่งอาจจะไปชนกับโมเลกุลของน้ำทำให้แตกตัวออกเป็น อนุมูล  $\cdot\text{OH}$  และ  $\cdot\text{H}$  อิสระ ซึ่งสามารถรวมตัวเป็น  $\text{H}_2\text{O}_2$  ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ อนุมูล อิสระเหล่านี้และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  จะทำปฏิกิริยากับโปรตีน กรดนิวคลีอิก ไขมัน เป็นต้น ก่อให้ เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลที่สำคัญต่อชีวิตเหล่านี้ การทำลาย DNA ก่อให้เกิดการผ่า เหล่า มะเร็งและผลทางด้านพันธุกรรม

ผลเฉียบพลันต่อการได้รับรังสีในระดับสูงเรียกว่า ‘Radiation sickness’ เกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน ผม่วง ผิวหนังมีสีแดง ท้องร่วงและเลือดออก ในที่สุดถึงตายได้ ถ้าหากได้รับในปริมาณที่สูงพอ รังสีประมาณ 1 sV สูงพอที่จะทำให้ตายได้ภายในเวลา 2-3 วัน อาการเหล่านี้สังเกตได้จากผู้เคราะห์ร้ายจาก

#### ตารางที่ 4.6 กัมมันตภาพรังสีที่พบในน้ำ

Radionuclide	Half-Life	Source
$^{14}\text{C}$	5730 y ( $\beta$ )	cosmic irradiation of $^{14}\text{N}$
$^{32}\text{Si}$	3 0 0 y	cosmic irradiation of $^{40}\text{Ar}$
$^{40}\text{K}$	$1.4 \times 10^9$ y (Pa)	0.0 1% of natural potassium
$^{226}\text{Ra}$	1620 y	from decay of $^{238}\text{U}$
$^{210}\text{Pb}$	21 y	from decay of $^{238}\text{U}$
$^{230}\text{Th}$	75,200 y	from decay of $^{238}\text{U}$
$^{234}\text{Th}$	24 d	from decay of $^{238}\text{U}$
$^{90}\text{Sr}$	28Y ( $\beta$ )	from reactor and weapons <b>fission</b> ; these are the most important
$^{131}\text{I}$	8 d	fission products because of their high yields and biological activity
$^{137}\text{Cs}$	30 y ( $\beta$ )	
$^{140}\text{Ba}$	13 d	from reactor and weapons fission, listed in order of decreasing
$^{95}\text{Zr}$	65 d	fission yield
$^{141}\text{Ce}$	33 d	
$^{89}\text{Sr}$	51 d	
$^{60}\text{Co}$	5.25Y ( $\beta$ )	from non-fission neutron reactions in reactors
$^{54}\text{Mn}$	310 y	
$^{55}\text{Fe}$	2.7 y (X)	from $^{56}\text{Fe}$ and $^{55}\text{Fe}$ by reaction with neutrons in weapons hardware
$^{239}\text{Pu}$	24,300 y	from neutron capture by $^{238}\text{U}$ in reactors and weapons



ระเบิดอะตอมที่ Hiroshima และ Nagasaki และผู้เคราะห์ร้ายจากเหตุการณ์ระเบิดที่ Chernobyl (ตายประมาณ 30 คน 1,000 คนได้รับความทุกข์ทรมานจากพิษของรังสี โดยเฉียบพลันจากเหตุการณ์นี้)

พิษเฉียบพลันจากรังสีจะเกิดขึ้นในเหตุการณ์ดังกล่าวเท่านั้น ความเสี่ยงเนื่องจากเหตุการณ์ในอุตสาหกรรมพลังงานนิวเคลียร์ต้องคำนึงถึงด้วย โรงงานพลังงานปรมาณูส่วนมากจะต้องมีการออกแบบและการทำงานที่มีความปลอดภัยสูงกว่าโรงงานที่ Chernobyl อย่างไรก็ตาม ความห่วงใยต่อสาธารณะโดยรวมก็เนื่องมาจากพิษเรื้อรังจากมลพิษของกัมมันตรังสี ที่สำคัญที่สุดที่เห็นจะได้แก่มะเร็ง ความเสี่ยงนี้เป็นที่ทราบดีแล้วว่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการได้รับรังสี

สารกัมมันตรังสีที่ได้รับความสนใจและห่วงใย ก็จะเป็นพวกที่สามารถเข้าไปในเนื้อเยื่อของร่างกาย เนื่องจากได้รับเป็นเวลาดึกดำบรรพ์  $^{90}\text{Sr}$  และ  $^{226}\text{Ra}$  จะเข้าไปแทนที่แคลเซียมในกระดูกได้  $^{137}\text{Cs}$  อาจจะไปแทนที่โพแทสเซียมในกล้ามเนื้อ  $^{131}\text{I}$  อาจจะถูกนำเข้าไปในต่อมธัยรอยด์ เมื่อเกิดเหตุการณ์เกี่ยวกับมลพิษนี้ อันดับแรกควรจะควบคุมนิวเคลียสเหล่านี้เฉพาะ เช่น โดยการควบคุมการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อน ยกตัวอย่างเช่น หลังจากเหตุการณ์ที่ Chernobyl ชาวนาที่อาศัยอยู่บริเวณตะวันตกของยุโรปถูกสั่งห้ามไม่ให้ขายแกะเพื่อนำไปบริโภค เนื่องจากมีระดับ  $^{137}\text{Cs}$  สูงมากในเนื้อ

ความเสี่ยงจากสารกัมมันตรังสีที่ถูกนำเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยมนุษย์ โดยทั่วไปแล้วน้อยกว่าที่เคียวซึ่งปริมาณโดยเฉลี่ยที่ได้รับจากสารกัมมันตรังสีในธรรมชาติจะสูงกว่า แต่อย่างไรก็ดีก็ยังคงมีความห่วงใยต่อสาธารณะเกี่ยวกับเรื่องนี้ ในขณะที่เคียวกันความเป็นไปได้ของอุบัติเหตุทางนิวเคลียร์ที่สำคัญ ๆ ปัญหาที่สำคัญมากก็คือการกำจัดกากนิวเคลียร์ ในประเทศอังกฤษยังไม่มีสถานที่สำหรับเก็บกากนิวเคลียร์ที่มีระดับปานกลางและสูงในระยะยาวถูกจัดตั้งขึ้น ปริมาณของกากนิวเคลียร์ที่เพิ่มขึ้นก็จะถูกเก็บไว้บนพื้น

ดิน ( ที่โรงงาน nuclear waste reprocessing ) มีแผนการที่จะฝังลงใต้แผ่นดินลึก ๆ แต่ในการเลือกสถานที่จะต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมากเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนค่อนำได้ดินให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การต่อต้านของคนในท้องถิ่นที่ถูกกำหนดเป็นแหล่งฝังกากนิวเคลียร์ ในปัจจุบันเป็นปัญหาที่รุนแรงมากจนรัฐบาลไม่สามารถดำเนินตามนโยบายนี้ได้

## คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายความหมายของคำต่อไปนี้
2. BOD COD TOD TOC TDS alkalinity Acidity LC50
3. ในการกำหนดลำดับความสำคัญ ( priority) ของมลพิษในแหล่งน้ำ มีหลักและวิธีการอย่างไร
4. จงอธิบายปรากฏการณ์ eutrophication ว่าเป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ได้อย่างไร
5. “ blue baby syndrome” หมายถึงอะไร
6. ในการวิเคราะห์หาค่า BOD ทำได้อย่างไร
7. เทอม BOD และ COD ต่างก็เกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจน เทอมใดที่ใช้บอกสภาพของน้ำเสียได้ถูกต้องมากกว่า เพราะเหตุใด
8. ยาที่ใช้ในการปราบศัตรูพืชแบ่งออกเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง
9. ในฐานะที่เป็นนักเคมี เราควรจะเลือกใช้ยาปราบศัตรูพืชประเภทใด เพราะเหตุใด
10. ยาปราบศัตรูพืชมีกลไกในการทำลายสิ่งมีชีวิตอย่างไร
11. ค่า LC50 และค่า LD50 มีความสำคัญต่อการแสดงค่าความเป็นพิษแตกต่างกันอย่างไร

☆☆☆☆☆☆☆☆