

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

สารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้เป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำได้ ซึ่งสารอินทรีย์นี้เป็นสาเหตุของการลดลงของออกซิเจนละลาย ที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนั้นในการประเมินปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งหรือน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม จึงนิยมตรวจวัดค่าบีโอดี (Biochemical oxygen demand, BOD) ซึ่งก็คือ ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ แต่ปัญหาในการตรวจวัดค่าบีโอดี คือ ไม่สามารถทำได้รวดเร็วหรือทันที แต่ต้องใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 5 วัน จึงจะทราบผลวิเคราะห์ และไม่สามารถระบุแหล่งที่มาในการปนเปื้อนได้ ส่วนการตรวจวัดค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) และทีโอซี (Total organic carbon, TOC) แม้ใช้เวลาน้อยกว่า แต่ไม่สามารถจะแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) และที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (non-biodegradable) (Ellis, 1989) ดังนั้นหากสามารถที่จะตรวจวัดค่าบีโอดีได้รวดเร็วหรือในทันที จะทำให้การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ความต้องการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยวิธี on-line monitoring เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาเครื่องมือใหม่ๆ ที่อาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของน้ำเสียและน้ำธรรมชาติ (Dobbs *et al.*, 1972) มีงานวิจัยหลายชิ้น พบว่าการดูดกลืนแสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 nm มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ (Dissolved organic carbon, DOC) ในน้ำธรรมชาติ (Mrkva, 1975, 1983; Bari and Farooq, 1985 และ Edwards and Cresser, 1987) แต่มักจะมีปัญหาเรื่องสิ่งสกปรกเกาะ optical cell ของเครื่องมือ ทำให้ต้อง recalibration หรือแก้ปัญหาเครื่องบ่อยๆ ซึ่งไม่สะดวก (Reynolds and Ahmad, 1995)

คุณสมบัติในการเรืองแสงหรือฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำธรรมชาติ มีรายงานไว้ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1910 โดย Dienart (Reynolds and Ahmad, 1995) ต่อมามีการนำปรากฏการณ์นี้มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารฮิวมิก (humic) และสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติอย่างแพร่หลาย (Hodge and Swift, 1981; Vodacek and Philpot, 1987; Dujmov *et al.*, 1992; Green and Blough, 1992; Vodacek, 1992; Mopper and Schultz, 1993) งานวิจัยเหล่านี้และงานวิจัยของ Ahmad *et al.*

(1993) พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะตรวจวัดคุณภาพของน้ำ ทั้งน้ำผิวดินและน้ำเสีย โดยอาศัยคุณสมบัติการฟลูออเรสเซนซ์ของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ

มีผู้วิจัยหลายท่าน ได้แก่ Ahmad *et al.* (1993), Ahmad and Reynolds (1995) และ Reynolds and Ahmad (1995) ได้ศึกษาคุณสมบัติในเรื่องฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำทิ้งชุมชน พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำทิ้งหรือน้ำเสีย กับปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำแต่ละบริเวณ แม้ว่าน้ำทิ้งหรือน้ำเสียแต่ละแห่งอาจจะให้ค่าฟลูออเรสเซนซ์ที่แตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ อุณหภูมิ pH และการมีอยู่ของโลหะหนัก แต่มีความเป็นไปได้สูงที่จะพัฒนาการตรวจวัดแบบฟลูออเรสเซนซ์ให้เป็นระบบ on-line monitoring ของแต่ละพื้นที่ต่อไปได้

คลองอุตะเกาเป็นคลองที่มีชุมชนหนาแน่น และมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่มากมาย น้ำทิ้งหรือน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรมเหล่านี้ ล้วนแล้วแต่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มาก ทำให้ภาระบรรทุกของบีโอดี (BOD loading) ที่ลงสู่คลองอุตะเกามีค่าสูง นอกจากนี้ยังมีรายงานอยู่เนืองๆ ว่าโรงงานมักจะแอบปล่อยน้ำเสียในช่วงเวลากลางคืนหรือในช่วงฝนตก ทำให้น้ำเน่าเสียและปลาตายลอยแพเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อทางราชการไปตรวจวัดหลังจากที่ได้รับรายงานก็ไม่ปรากฏหลักฐานแต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะว่ามลสารถูกเจือจางไปและกระบวนการชีวธรณีเคมีตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำได้เปลี่ยนให้สารอินทรีย์ในน้ำไปอยู่ร่วมกับตะกอนท้องน้ำ และถึงแม้ว่าชาวบ้านจะเก็บตัวอย่างเอง แล้วส่งวิเคราะห์ แต่หากการเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างไม่ถูกต้อง ก็ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้ไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์จึงอาจเป็นแนวทางหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหานี้ได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะหารูปแบบฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำผิวดินธรรมชาติและน้ำเสียแต่ละประเภท หาสเปกตรัมเฉพาะของสารอินทรีย์ เพื่อจำแนกความแตกต่างของน้ำเสียจากแหล่งที่มาต่างกันในแหล่งน้ำผิวดิน และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำทิ้งหรือน้ำเสียกับค่าความสกปรกในรูปบีโอดีที่ 5 วัน โดยทำการศึกษาในน้ำทิ้งหรือน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานน้ำยางชั้น และระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ กับค่าบีโอดีของน้ำนั้น ทั้งนี้เพื่อหาความเป็นไปได้ในการบ่งชี้การปนเปื้อนของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมในแหล่งน้ำผิวดินและหาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์เพื่อตรวจวัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในรูปของบีโอดีในน้ำทิ้งหรือน้ำเสีย

1.2 ตรวจเอกสาร

น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์แล้ว จากกิจกรรมต่างๆ ทั้งบ้านเรือน การเกษตร และอุตสาหกรรม มักพบสิ่งเจือปนเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนคุณสมบัติบางประการไป เช่น อุณหภูมิ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ น้ำเสียจากบ้านเรือนมักจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูง น้ำเสียจากการเกษตรจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสตลอดจนสารพิษจากสารเคมีที่ใช้ในการเกษตรปะปนอยู่มาก ส่วนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะขึ้นอยู่กับประเภทอุตสาหกรรม (ฉัตรไชย รัตนไชย, 2539) เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล และน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม ซึ่งน้ำเสียจากกิจกรรมเหล่านี้ก่อให้เกิดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีมากเกินไปในน้ำ ทำให้ออกซิเจนละลายที่มีอยู่ในน้ำไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เพราะถูกจุลินทรีย์ใช้ไปเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดสภาวะขาดออกซิเจน นอกจากพืชและสัตว์น้ำไม่สามารถอยู่ได้แล้วยังส่งผลให้น้ำเน่าเหม็น

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย โดยเป็นที่ตั้งถิ่นฐานหลัก มีชุมชนขนาดใหญ่ มีเกษตรกรรมหลากหลาย อีกทั้งเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมมากมาย น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่มาก ส่งผลให้คลองอู่ตะเภาซึ่งรองรับน้ำทิ้งและน้ำเสียที่ระบายลงมา มีการสะสมของสารอินทรีย์ จนเป็นเหตุให้คุณภาพน้ำโดยรวมลดลง

1.2.1 รูปแบบของสารอินทรีย์ในน้ำ

สารอินทรีย์ หมายถึง สารที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ มีธาตุไฮโดรเจน และสารอนุพันธ์ของไฮโดรเจน-คาร์บอน เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ ตัวอย่างสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน สารเหล่านี้ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำ เป็นเหตุให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำลดลง ปริมาณของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำนิยมตรวจวัดด้วยค่าบีโอดี น้ำที่มีค่าบีโอดีสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2543)

สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทที่ไม่ละลายและประเภทที่ละลายในน้ำ สารอินทรีย์ประเภทที่ละลายน้ำ (dissolved organic matter, DOM) นี้เป็นตัวการที่ทำให้ค่าบีโอดีในน้ำสูง DOM ในแหล่งน้ำธรรมชาติพบว่าเป็น 2 ชนิดหลัก คือ (1) non-humic เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน และ (2) humic ความเข้มข้นของ DOM ในแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ขึ้นอยู่กับสถานที่ การปนเปื้อน

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และฤดูกาล น้ำใต้ดิน และน้ำทะเลชายฝั่ง จะมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ คาร์บอนอินทรีย์ละลาย (Dissolved organic carbon, DOC) อยู่ที่ประมาณ 0.7 และ 1 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำแม่น้ำและทะเลสาบจะมี DOC สูง เฉลี่ยประมาณ 10 มก./ล. (Thurman, 1985 อ้างถึงใน Akkanen , 2002)

รูปแบบสารอินทรีย์วัดได้ในค่าดังต่อไปนี้

- 1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำ
- 2) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำ ค่าบีโอดีบ่งถึงคุณลักษณะของน้ำว่ามีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ปะปนอยู่มากน้อยแค่ไหน (นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546)
- 3) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ
- 4) ทีโอดี (Total organic carbon, TOC) คือ ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำ ประกอบด้วย อินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอน

ถ้าแหล่งน้ำมีค่า BOD และ COD สูง หมายถึง ในแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่สูง หรืออาจบอกค่าประมาณของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำได้จากค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ (Dissolved oxygen, DO) ดังนั้นถ้าในแหล่งน้ำใดมีค่า DO ต่ำมาก แสดงว่าน้ำนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่สูง

1.2.2 แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ

สารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติมาจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ

1.2.2.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

สารอินทรีย์ที่มีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ ประกอบด้วย

- 1) จากกระบวนการชะล้างสารอินทรีย์ในดินลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นสารอินทรีย์ในน้ำจะมีมากในช่วงฝนตก หรือช่วงน้ำท่วม โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความลาดเทสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการ

ชะล้างได้มากกว่าพื้นที่ราบเรียบ สารอินทรีย์ที่หลงเหลือในน้ำ ได้แก่ humic acid และ fulvic acid ซึ่งสารเหล่านี้ถ้ามีปริมาณมาก จะทำให้น้ำมีสีเหลืองเข้ม หรือสีน้ำตาล

2) การเกิดจากพืชน้ำพวก phytoplankton หลังจากพืชน้ำสังเคราะห์แสงแล้ว สารอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์ จำพวก amino acids และ glucose บางส่วนจะไหลออกจากเซลล์พืชของแหล่งน้ำ และสารอินทรีย์ที่ได้จากพืชน้ำอีกส่วนหนึ่ง คือ ผลของการย่อยสลายส่วนของพืชน้ำที่ตายแล้ว

3) การเกิดจากการแขวนลอยของพวกสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในน้ำ ผิวหน้าโดยทั่วไปจะมีอนุภาคสารแขวนลอยอินทรีย์ ได้แก่ พวก microplankton ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 10% ของค่า TOC ในน้ำสำหรับน้ำผิวน้ำ (ชูชาติ หุตะเจริญ และเกษม จันทรแก้ว, 2526 อ้างจาก Werner and Morgan, 1981)

4) การจับถ่ายหรือจากพฤติกรรมของสัตว์น้ำ แหล่งน้ำที่มีปลาตก ปลาเค้า หรือปลากด จะปล่อยสารอินทรีย์ลงในแหล่งน้ำ คิดเป็นค่า BOD เฉลี่ย 0.0022 กก. BOD /วัน ต่อน้ำหนักปลา 1 ปอนด์ (ชูชาติ หุตะเจริญ และเกษม จันทรแก้ว, 2526 อ้างจาก Teuncy *et al.*, 1981)

1.2.2.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์

มนุษย์เป็นตัวละครสำคัญในการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ลงในแหล่งน้ำ ทำให้น้ำมีปริมาณสารอินทรีย์มากจนทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียได้ สารอินทรีย์ที่มาจากแหล่งกำเนิดประเภทนี้ประกอบด้วย

1) น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้น้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและเน่าเสียที่สุดในการฟื้นฟูคุณภาพน้ำจะต้องใช้งบประมาณสูงมาก กิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่

- บ้านพักอาศัย น้ำเสียเกิดจากเศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะหรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้า สิ่งของต่างๆ ภายในบ้าน และการอาบน้ำ

- ภัตตาคาร มีน้ำเสียเกิดจากห้องครัวและห้องล้าง โดยเฉพาะค่าน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องอาหารหรือภัตตาคาร อันเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

- โรงแรมมีน้ำเสียจากห้องน้ำและห้องส้วมจากห้องพัก และห้องครัวหรือภัตตาคารภายในโรงแรม อาคารสำนักงาน มีน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วม

- กิจกรรมอื่นๆ เช่น สถานบริการ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาดสถานบริการจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

2) น้ำเสียจากกิจกรรมการเกษตร แหล่งกำเนิดน้ำทิ้งจากการเกษตรที่สำคัญแบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินได้เป็น พื้นที่เพาะปลูก ฟาร์มเลี้ยงสุกร และบ่อเลี้ยงปลา

- การเพาะปลูก เป็นพื้นที่สำคัญเนื่องจากมีเนื้อที่มากที่สุดและมีการใช้สารเคมีมากที่สุดด้วย มลพิษทางน้ำที่เกิดจากการเกษตรส่วนใหญ่แล้วเกิดมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในทางการเกษตร

- ฟาร์มสุกร ของเสียก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสกปรก ปัญหาสำคัญที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร ของเสียที่เป็นปัญหาหลักสำหรับฟาร์มสุกร คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง ส่วนที่เป็นน้ำเสีย

- การเพาะเลี้ยงปลา เป็นกิจกรรมหนึ่งที่เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งภายในฟาร์มและส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอกฟาร์ม ซึ่งมลพิษที่เกิดขึ้นภายในฟาร์มเพาะเลี้ยงแบ่งได้ 4 ประเภท คือ มลพิษจากการเตรียมบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มลพิษจากการให้อาหารสัตว์น้ำ มลพิษจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ และมลพิษจากยารักษาโรค

3) น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรม รายได้จากภาคอุตสาหกรรมได้ทำรายได้ให้กับประเทศมากกว่าภาคการเกษตรอย่างน้อย 2 เท่า ในขณะที่เศรษฐกิจของประเทศมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปัญหาล้างสิ่งแวดล้อมก็ได้เพิ่มมากขึ้น ปัญหามลพิษน้ำไม่ได้หยุดอยู่ที่ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ได้ขยายครอบคลุมไปถึงโลหะหนัก สารพิษ สารอันตราย อื่นๆ ซึ่งมลสารเหล่านี้ยากที่จะทำลาย

จากการที่โรงงานอุตสาหกรรมมีมากมายหลายประเภท จึงเป็นไปได้ที่ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะเหมือนกันทุกโรงงาน แม้กระทั่งในโรงงานประเภทเดียวกัน ลักษณะของน้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการ โรงงานนั้นยังแตกต่างกัน และช่วงเวลาทำงานก็แตกต่างกัน ลักษณะน้ำเสียในแต่ละเวลา ก็จะแตกต่างกันมาก ทั้งอัตราการไหลและส่วนประกอบในน้ำเสียนั้น

1.2.3 ลักษณะของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ

สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำทั่วไปมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1.2.10.6 สารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ

สารอินทรีย์ที่มีลักษณะแขวนลอยหรือมีขนาดอนุภาคใหญ่ ได้แก่ เศษอาหาร ซากสิ่งมีชีวิต รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในน้ำ เช่น แพลงก์ตอน สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในน้ำ หลังจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้ว จะกลายเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และในที่สุดจะกลายเป็นก๊าซต่างๆ (เช่น CO_2 , NH_3 , CH_4) เป็นต้น และสารอาหารต่างๆ ในน้ำ

1.2.3.2 สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ

สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ละลายน้ำได้น้อยและมักจะอยู่ในรูปของโมเลกุลมากกว่าอไอออน (สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอไอออนมากกว่าโมเลกุล) ปริมาณสารอินทรีย์จะมีมากตามผิวน้ำมากกว่าน้ำลึกๆ ที่ระดับน้ำ 400-600 เมตร จะไม่พบสารอินทรีย์อยู่เลยหรือมีเป็นปริมาณน้อยมาก และกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็มีน้อยด้วย สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) สารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์ง่าย ได้แก่ สารอินทรีย์ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ เช่น แป้ง น้ำตาล กรดอะมิโน วิตามินบางชนิด เป็นต้น สามารถกำจัดได้โดยจุลินทรีย์ในน้ำได้ในเวลาไม่นานนัก

2) สารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์ยาก สารพวกนี้จุลินทรีย์ในน้ำจะย่อยได้ในปริมาณน้อยและใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลานาน ได้แก่ organic complexes ทั้งหลาย ยาฆ่าแมลงบางชนิด และพวก aromatic hydrocarbons พวกนี้จุลินทรีย์จะย่อยสลายได้เพียง 20-40% เท่านั้น

1.2.4 บทบาทของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติ

แหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปไม่ว่าแหล่งน้ำจืดหรือน้ำทะเล จะต้องมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบเสมอ เพราะสารอินทรีย์มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศทางน้ำมาก ในแหล่งน้ำที่สมบูรณ์ มักจะพบปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าแหล่งน้ำที่ไม่สมบูรณ์ สารอินทรีย์ในน้ำมีบทบาทที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1) ลดการแพร่กระจายของโลหะหนัก สารอินทรีย์ที่อยู่แหล่งน้ำมีคุณสมบัติ เป็น chelating agent เช่น กรดอะมิโน สารฮิวมิก มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับโลหะหนักบางชนิด เช่น

ทองแดง สังกะสี เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เป็นผลให้พิษของโลหะหนักดังกล่าวลดลง ไม่เป็นอันตรายต่อปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ

2) เป็นอาหารของจุลินทรีย์และสัตว์น้ำเล็กๆ เช่น แพลงก์ตอนสัตว์จะบริโภคสารอินทรีย์โดยตรง และถ้ามีปริมาณสารอินทรีย์มีไม่มากนักก็จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายไปเป็นสารอาหารพืช เช่น พอกฟอสเฟต และไนเตรต โดยน้ำไม่เน่าเสีย สารอาหารพืชเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืชที่เป็นอาหารของสัตว์น้ำต่างๆ

1.2.5 ปัญหาของการมีปริมาณสารอินทรีย์มากในแหล่งน้ำ

โดยทั่วไปแหล่งน้ำธรรมชาติ มีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณไม่มากจนทำให้เกิดปัญหาการเน่าเสีย แต่เนื่องจากมีกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมและประชากรที่อยู่อย่างหนาแน่นบริเวณริมน้ำ ระบายน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง โดยไม่ผ่านกระบวนการกำจัดมาก่อน นอกจากนี้ยังมีการไหลบ่าของน้ำจากแหล่งเกษตรกรรมต่างๆ ก็ชะล้างพัดพาเอาสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำ การมีสารอินทรีย์สะสมในน้ำเป็นจำนวนมากก่อให้เกิดผลเสียต่อแหล่งน้ำโดยตรง ดังนี้

1) การลดลงของปริมาณออกซิเจนละลายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิด aerobic bacteria จะใช้ออกซิเจนไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณการเติมออกซิเจนลงในแหล่งน้ำน้อยกว่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ ในที่สุดปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำก็จะหมดไป นอกจากนี้ผลผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์จะได้เป็นสารอาหาร เช่น ฟอสเฟต ไนเตรต ทำให้เกิดการสะพรั่ง (bloom) ของสาหร่ายต่างๆ ขึ้น

2) การเพิ่มปริมาณของเสียในน้ำ ได้แก่ ก๊าซไข่เน่า (H_2S) ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไข่เน่าทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็น และเมื่อรวมตัวกับโลหะในแหล่งน้ำจะทำให้น้ำมีสีดำ การเกิดก๊าซไข่เน่าและก๊าซแอมโมเนียเป็นผลมาจากปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำหมดไป anaerobic bacteria และ facultative bacteria จะใช้ออกซิเจนจากออกซิเจนที่รวมอยู่กับสารประกอบอินทรีย์ (combine oxygen) เช่น SO_4^{2-} , NO_3^{2-} ทำให้เกิดก๊าซพิษดังกล่าว และมีผลต่อค่า pH ของน้ำ และทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของมีเทน (CH_4)

3) เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรคและสารพิษอื่นๆ

โดยสรุปแล้วผลเสียที่เกิดจากปัญหาน้ำที่มีสารอินทรีย์มาก ทำให้เกิดน้ำเสียขึ้น ก่อให้เกิดผลกระทบ ดังนี้

- ผลเสียต่อระบบนิเวศวิทยาทางน้ำ คือ เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางนิเวศน์ เช่น ปลา และสัตว์น้ำหลายชนิดตาย แต่เกิดการแทนที่ของแบคทีเรียบางชนิดแทน
- ผลเสียต่อเศรษฐกิจการประมง
- ผลเสียต่อการนำน้ำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค
- ผลเสียในด้านสุขภาพอนามัยของผู้ใช้น้ำและผู้ใกล้เคียง
- ผลเสียด้านการพักผ่อนหย่อนใจ

1.2.6 แนวทางในการจัดการและควบคุมคุณภาพสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ

- 1) การควบคุมปริมาณมลพิษจากแหล่งต่างๆ เช่น
 - การควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งเกษตรกรรม เช่น การเลี้ยงสัตว์ น้ำทิ้งควรผ่านการบำบัดก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำ
 - ควบคุมปริมาณ BOD loading ของโรงงานอุตสาหกรรม
 - ควบคุมปริมาณสารอินทรีย์จากบ้านเรือนและชุมชนต่างๆ ซึ่งเริ่มจากการวางผังเมืองที่เหมาะสม การมีระบบกำจัดน้ำเสียรวม หรือมีการกำจัดน้ำเสียอย่างง่าย
- 2) การจัดตั้งองค์กรต่างๆ และระบบการบริหารแหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆ ไป ซึ่งการจัดตั้งหน่วยงานที่รับผิดชอบในการดำเนินการแหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆ เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์นั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการได้แก่
 - การกำหนดนโยบายและการวางแผน
 - การใช้มาตรการด้านกฎหมายที่เหมาะสม
 - การดำเนินการในระบบบำบัดน้ำเสีย
 - การสำรวจและตรวจสอบคุณภาพน้ำ ตลอดจนข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ควรเป็นมาตรฐานเดียวกัน
 - การติดตามผลและประเมินผล
 - การวิจัย

องค์ประกอบทั้งหมดนี้มีหน่วยงานหลายหน่วยงานที่รับผิดชอบ ซึ่งการดำเนินการไม่ประสานกัน ขาดความร่วมมือที่ดี ดังนั้นจึงควรให้หน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งเป็นศูนย์กลางประสานงาน เพื่อจัดแบบแผนการศึกษาและวิเคราะห์บทบาทหน้าที่ของหน่วยงานต่างๆ เพื่อกำหนดองค์กรและระบบการจัดการคุณภาพน้ำที่เหมาะสมและกำหนดให้หน่วยงานย่อยต่างๆ ทำงานประสานกัน เพื่อให้มีการจัดการคุณภาพน้ำอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

1.2.7 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำ ค่าบีโอดีบ่งถึงคุณลักษณะของน้ำว่ามีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ปะปนอยู่มากน้อยแค่ไหน ค่าบีโอดีจึงเป็นการตรวจหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีในน้ำทางอ้อม (นิคม ละอองศิริวงศ์ และขงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2546)

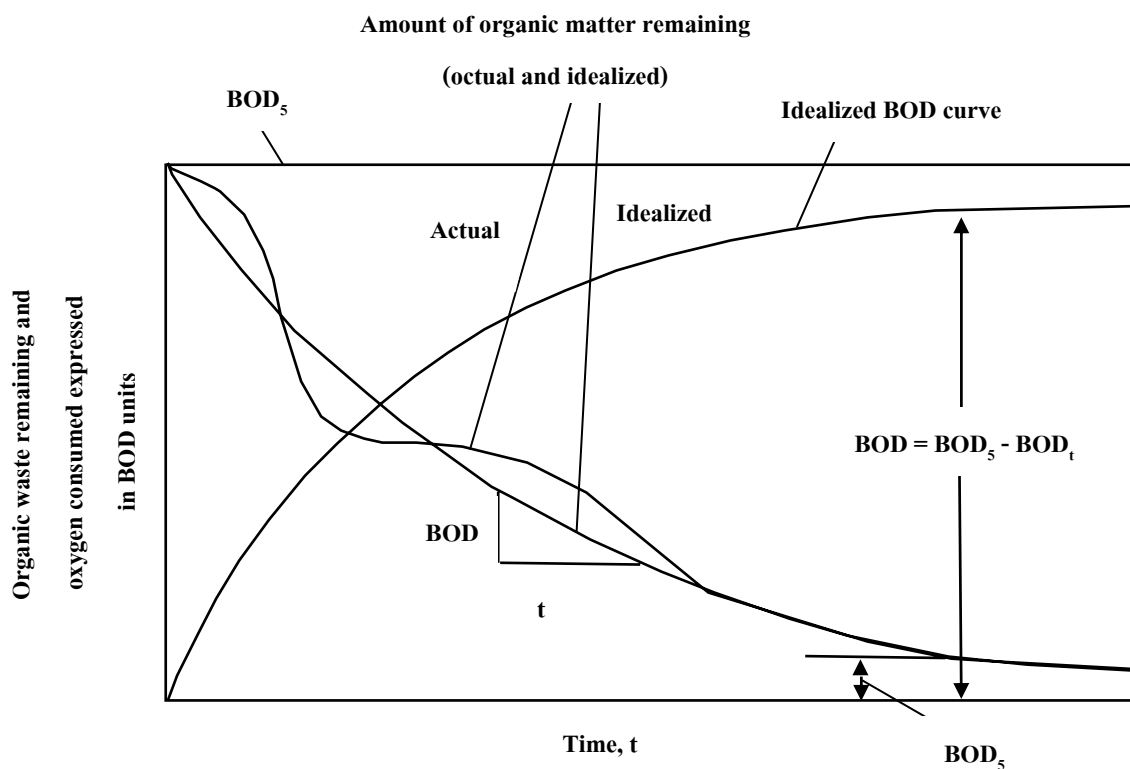
การใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดส์สารประกอบของคาร์บอน ดังสมการ

สารอินทรีย์ + O₂ + ธาตุอาหาร → CO₂ + H₂O + เซลล์ใหม่ + ธาตุอาหาร + พลังงาน

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดส์สารประกอบไนโตรเจนโดย autotrophic bacteria ในกลุ่ม nitrifying bacteria การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ที่ 20°C จะน้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ใช้ในช่วง 5 วันแรก จึงมีค่าน้อยมาก

การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีจึงเป็นวิธีการทางชีววิเคราะห์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดค่าออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ภายใต้สภาวะที่คล้ายกับที่เกิดในธรรมชาติมากที่สุด เพื่อที่จะให้ค่าจากการวิเคราะห์ใช้เปรียบเทียบระหว่างกันได้ จึงต้องทำให้ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการย่อยสลายของที่ ดังนั้นค่าบีโอดีมาตรฐานจะต้องบ่มที่อุณหภูมิ 20±1 °C เป็นเวลา 5 วัน สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว ก็เพราะที่อุณหภูมิ 20°C จุลินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายไนโตรเจน (nitrifying bacteria) เจริญเติบโตได้ช้า การเลือกใช้เวลาบ่ม 5 วัน ก็เพราะเวลามากกว่านี้ การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นน้อยมาก และเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกซิเจนใน ระยะที่ 2 ดังกล่าวข้างต้น ค่าบีโอดีที่ใช้เวลาบ่ม 5 วัน ใช้สัญลักษณ์ “BOD₅” ดังรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 หลักการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี

ที่มา : นิคม และชงยุทธ, (2546) อ้างถึงใน Tchobanoglous and Schroeder (1987)

1.2.7.1 ความสำคัญของค่าบีโอดี

ค่าบีโอดีมีความสำคัญในการจัดการคุณภาพน้ำและการจัดการสิ่งแวดล้อม
นักสิ่งแวดล้อมวิเคราะห์หาค่าบีโอดีในแหล่งน้ำเพื่อ

- 1) หากำล้างความสกปรกของน้ำเสียต่างๆ ในแง่ของออกซิเจนที่ต้องการใช้เพื่อ
ย่อยสลายสารอินทรีย์
- 2) ใช้ในการควบคุมความสกปรกของแหล่งน้ำว่าควรจะทำจัดการอินทรีย์ที่จะทิ้ง
ลงน้ำแค่ไหน เพื่อที่จะให้มีระดับออกซิเจนเหลืออยู่ตามต้องการ
- 3) ใช้วัดความสามารถของแหล่งน้ำที่จะกำจัดความสกปรกโดยธรรมชาติ
- 4) ใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำทิ้ง
- 5) ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

1.2.7.2 ปัญหาในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี

การวิเคราะห์หาค่าบีโอดียุ่งยาก เพราะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เพื่อที่จะให้ผลวิเคราะห์มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้ (APHA, AWWA and WEF, 1995) นอกจากนี้ยังต้องใช้น้ำตัวอย่างในปริมาณมาก (อย่างน้อย 1-2 ลิตร) ต้องใช้อุปกรณ์มากมายหลายชิ้น ต้องมีตู้บ่มที่อุณหภูมิ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ไม่น้อยกว่า 5 วัน ถ้าน้ำตัวอย่างมีความสกปรกมาก จะต้องทำให้เจือจางเสียก่อน มิฉะนั้นออกซิเจนในน้ำอาจไม่พอตลอดช่วงของการทดลอง ถ้าเจือจางในสัดส่วนที่ไม่ถูกต้องก็ต้องทำใหม่ ปกติการเจือจางสำหรับน้ำทิ้งใช้ 1-5% ส่วนน้ำธรรมชาติทั่วๆ ไปใช้ 25-100% นอกจากนี้จะต้องให้ปริมาณออกซิเจนลดน้อยลงอย่างน้อย 2 มก./ล. และเหลือออกซิเจนอยู่อย่างน้อย 1 มก./ล. น้ำที่ใช้เจือจางควรปราศจากสารที่ไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และมีพีเอชที่เหมาะสม (ประมาณ 7) และประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็น ตลอดจนสารอื่นๆ ที่จุลินทรีย์ต้องการ เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม ข้อสำคัญน้ำสำหรับใช้เจือจางจะต้องอิมตัวด้วยออกซิเจน และเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำสำหรับใช้เจือจางไม่มีสารหรือสิ่งที่จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในการวิเคราะห์บีโอดีทุกครั้งจึงควรมีตัวอย่างที่มาตรฐาน เช่น ใช้กลูโคสหรือกรดกลูตามิกวิเคราะห์ควบคู่กันไปด้วย น้ำเจือจางที่ดีควรมีค่าบีโอดีไม่เกิน 0.2 มก./ล. น้ำจากบางแหล่งอาจมีจุลินทรีย์ที่จะย่อยสารอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องเติมจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งพบมากในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนลงไปเป็นเชื้อ (seed) ด้วย

การวิเคราะห์บีโอดีจึงผิดพลาดได้ง่าย สาเหตุของความผิดพลาดเกิดขึ้นได้จาก (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2543)

- 1) อุณหภูมิไม่คงที่ จะทำให้ค่าบีโอดีเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากค่าบีโอดีที่เป็นจริง
- 2) ส่วนประกอบของน้ำเจือจาง ต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เช่น ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.5 มีสารอาหารที่จำเป็น ไม่มีสารพิษต่อจุลินทรีย์ เป็นต้น
- 3) การเลือกเจือจางตัวอย่าง ถ้าเลือกไม่เหมาะสมอาจทำให้ค่าผิดพลาดได้ ควรเลือกให้จุลินทรีย์มีการใช้ออกซิเจนละลาย ภายในเวลา 5 วัน ประมาณ 50%
- 4) สารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น โลหะหนักและสารพิษจะไประงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือฆ่าจุลินทรีย์ ทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง

- 5) การเกิดไนตริไฟเคชัน น้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วหลายชนิดที่มีไนตริไฟเคชันเกิดขึ้นจะทำให้ค่าบีโอดีสูงกว่าความเป็นจริง เพราะออกซิเจนถูกใช้ไปในการออกซิไดส์สารอนินทรีย์ในโตรเจน
- 6) น้ำที่มาจากแหล่งที่มีออกซิเจนต่ำหรือไม่มีเลย จะมีจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนน้อยหรือไม่ต้องการออกซิเจน เมื่อนำน้ำเหล่านี้มาหาค่าบีโอดี จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำจะต้องปรับตัว 2-3 วัน เพื่อปรับสภาวะจากที่ใช้ออกซิเจนน้อยหรือไม่ต้องการออกซิเจน มาเป็นพวกใช้ออกซิเจน ดังนั้นค่าบีโอดีจึงต่ำกว่าปกติ
- 7) สาเหตุอื่นๆ เช่น มีสารรบกวน ในการหาค่าออกซิเจนละลาย

1.2.8 การวามแสงและการเรืองแสงของโมเลกุล (Molecular Fluorescence and Phosphorescence)

การเปล่งแสง (luminescence) ของสารบางชนิดจัดว่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นค่อนข้างพิเศษ สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบหรือตรวจพิสูจน์ชนิดของสารนั้นๆ ได้ โดยเฉพาะในปัจจุบันนี้ได้กลายเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้อย่างดี ผู้ที่พบปรากฏการณ์การเปล่งแสงนี้เป็นคนแรก คือ นักวิทยาศาสตร์ชาวสเปนชื่อ Nicholas Monardes ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1565 โดยเขาสังเกตเห็นว่า สิ่งที่สกัดได้จากไม้ชื่อ “lignum nephriticum” สามารถเปล่งแสงสีน้ำเงินได้ และเมื่อปี ค.ศ. 1833 Sir David Brewster ได้เคยบันทึกไว้ว่าคลอโรฟิลล์เปล่งแสงสีแดงได้ เช่นเดียวกัน ในปี ค.ศ. 1852 Sir G.G. Stokes นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ เป็นผู้อธิบายถึงกระบวนการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงที่จะนำไปใช้ในเคมีวิเคราะห์ อันถือได้ว่าเป็นการวางรากฐานทางความคิดที่สืบทอดมาจนถึงปัจจุบันนี้ นอกจากนี้ Stokes ยังเป็นผู้บัญญัติคำว่า ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) ขึ้นมาใช้ เมื่อเขาพบว่าแร่ฟลูออรัสสปาร์ (fluorspar) เปล่งแสงสีน้ำเงินขาวได้ คุณสมบัติเกี่ยวกับการเปล่งแสงของสารนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1864 รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับประวัติของการเปล่งแสง T.C.O. Haver ได้เขียนไว้ใน J. Chem. Ed. 55, 423. 1987 สำหรับฟอสฟอเรสเซนซ์ (phosphorescence) เป็นคำที่ได้ตั้งขึ้นมาใช้ตั้งแต่ต้นๆ ปี ค.ศ. 1500 หลังจากงานของชาวกรีกที่ได้นำเอาแสงมาใช้บอกทิศทาง ความจริงชื่อธาตุฟอสฟอรัสก็ตั้งขึ้นจากงานของชาวกรีกในปี ค.ศ. 1669 เช่นเดียวกัน เพราะฟอสฟอรัสสามารถทำให้เกิดแสงสว่างจ้าในท้องมืดได้ (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2539)

ลูมิเนสเซนซ์สเปกโตรสโกปี (Luminescence spectroscopy) ได้กลายมาเป็นเทคนิคที่สำคัญและใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์ทางเคมี เนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มี

สภาวะไวสูง มีลักษณะเฉพาะ ดังจะเห็นได้จากจำนวนผลงานที่ตีพิมพ์ออกมาอย่างมาก แต่เมื่อเทียบกับเทคนิคทางยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี (UV-visible Spectroscopy) เทคนิคหลังใช้งานได้กว้างขวางและนิยมใช้มากกว่า

1.2.8.1 ชนิดของการเปล่งแสง (Types of Luminescence)

การเปล่งแสงมีด้วยกันหลายชนิด ทั้งนี้แล้วแต่แหล่งของพลังงานที่ทำให้โมเลกุลไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (excited state) เช่น โมเลกุลที่เกิดอันตรกิริยากับโฟตอนของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิด luminescent molecules เรียกว่า photoluminescence ซึ่งยังแบ่งออกได้เป็นการวาวแสง (fluorescence) และการเรืองแสง (phosphorescence) ทั้งสองปรากฏการณ์นี้แตกต่างกันที่กระบวนการกลับมาสู่สถานะพื้นใหม่ ถ้าโมเลกุลของสารนั้นใช้พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า chemical luminescence หรือ chemiluminescence และถ้าโมเลกุลได้รับพลังงานจากอนุภาคที่มีพลังงานสูงไปเป็นโมเลกุลที่สถานะกระตุ้นเรียกว่า radioluminescence นอกจากนี้ยังมี bioluminescence หรือ thermoluminescence เป็นต้น เฉพาะ photoluminescence เท่านั้นที่นิยมใช้เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่นที่สภาวะไวหรือเซนซิวิตี (sensitivity) มีลักษณะเฉพาะ (selectivity) และวิเคราะห์ได้ในช่วงความเข้มข้นที่กว้าง

1.2.8.2 หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Principles of Photoluminescence)

โฟโตลูมิเนสเซนซ์เป็นกระบวนการไปสู่สถานะกระตุ้นและการกลับสู่สถานะพื้น (excitation-deexcitation process) โดยมีโฟตอนเข้าไปเกี่ยวข้อง คือ มีการดูดกลืนโฟตอนและให้โฟตอนออกมา เนื่องจากกระบวนการที่เกิดขึ้นจะต้องแข่งกัน ดังนั้น อัตราการเกิดของกระบวนการเหล่านี้จึงมีความสำคัญ

1) กระบวนการกระตุ้น (Excitation)

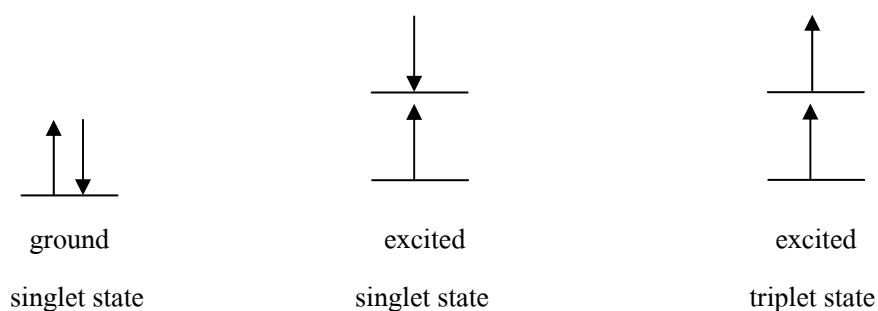
เมื่อโมเลกุลดูดกลืนรังสีจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (excitation state) และจะต้องมีกลไกอะไรสักอย่างที่จะต้องลดพลังงานที่มากเกินไปลงมาสู่สถานะพื้น (deexcitation state)

ถ้าให้มัลติพลิตี (multiplicity) ของโมเลกุลเป็น M ซึ่งแสดงถึง orbital angular momentum ของแต่ละสถานะ (state) และเกี่ยวข้องกับ spin ดังสมการ

$$M = 2S + 1$$

S = spin quantum number ของโมเลกุล และเป็นผลรวมของ spin ของอิเล็กตรอนในโมเลกุล สำหรับโมเลกุลของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ $S = 0$ เพราะโมเลกุลมีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ ดังนั้นสถานะที่มีพลังงานต่ำที่สุด ซึ่งเรียกว่าสถานะพื้น อิเล็กตรอนจะต้องอยู่เป็นคู่ (pair)
 $S = (+1/2 - 1/2) = 0$

$M = 2(0) + 1 = 1$ เรียกว่า singlet state (singlet electronic state) และให้ singlet state พื้น (ground singlet state) เป็น S_0 ถ้าเป็น S_1 และ S_2 จะหมายถึง singlet state กระตุ้นที่หนึ่งและที่สองตามลำดับ (first and second excited singlet state)



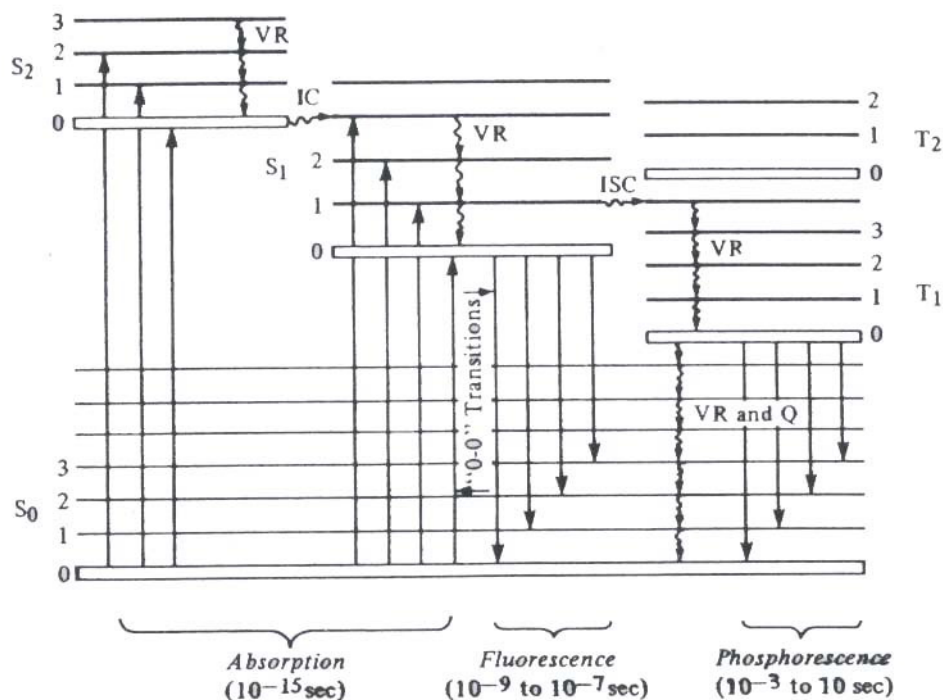
ขณะที่โมเลกุลอยู่ในสถานะกระตุ้น อิเล็กตรอนตัวหนึ่งมีโอกาสที่เปลี่ยน spin กลับทาง ดังนั้น

$$S = +1/2 + 1/2 = 1$$

$$M = (2 \times 1) + 1 = 3 \text{ เรียก triplet state}$$

และ triplet state ที่มีพลังงานต่ำที่สุดให้เป็น T_1 ดังนั้น โมเลกุลใดที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ จึงไม่สามารถมี triplet state พื้น (ground triplet state) เพราะอิเล็กตรอนมีพลังงานต่ำที่สุดมี spin paired ดังนั้น โมเลกุลที่มีหนึ่ง unpair อิเล็กตรอน (จำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคี่) จึงมีสถานะเป็น doublet state เช่น พวก free radicals เป็นต้น

กระบวนการเกิดการกระตุ้นเนื่องจากดูดกลืนพลังงานและกระบวนการแผ่รังสีสามารถแสดงได้ง่ายๆ โดยใช้แผนภาพแสดงระดับพลังงาน Jablonski ดังรูป 1-2



รูปที่ 1-2 ระดับพลังงาน Jablonski เกี่ยวกับการดูดกลืนและการแผ่รังสี

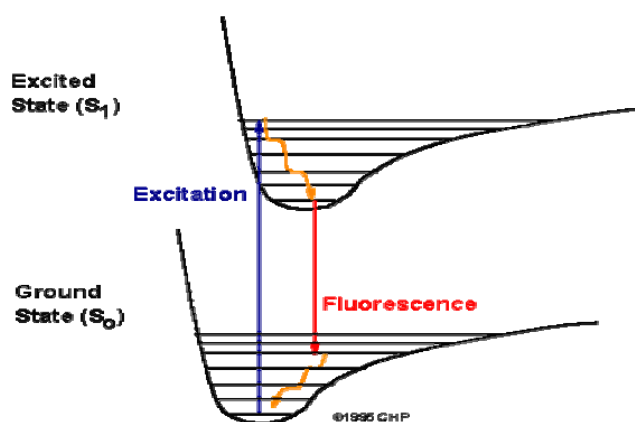
ในแผนภาพนี้แสดงระดับพลังงานให้เห็นเฉพาะ electronic และ vibrational energy levels เท่านั้น แต่ rotational energy levels จะไม่มี เพราะไม่สามารถวัดและแยกออกได้ด้วย เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ธรรมดา ซึ่งระดับพลังงานความยาวคลื่นแสงที่ให้ออกมาก็แตกต่างกันอย่างมากและยังขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ด้วย

1) กระบวนการลดระดับพลังงาน (Deexcitation หรือ deactivation process)

สมมติว่าโมเลกุลถูกกระตุ้นไปสู่สถานะกระตุ้น (excitation state) S₂ การที่โมเลกุลจะกลับลงมาสู่สถานะพื้นนั้นจะมีกลไกต่างๆ เกิดขึ้นหลายขั้นตอน ถ้าโมเลกุลนั้นอยู่ในสารละลาย โมเลกุลนั้นสามารถลด vibrational energy ที่เกินไปลงด้วยการชนกับโมเลกุลของตัวทำละลาย กลายเป็นความร้อนโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Vibrational Relaxation (VR) ในขณะเดียวกัน โมเลกุลที่อยู่ S₂ จะมีระดับพลังงานของ vibrational energy ลดต่ำลงมาอยู่ในระดับเดียวกันกับ vibrational energy ที่สูงของ excited singlet แรก S₁ นั่นคือ S₂ พลังงานต่ำกลายเป็น S₁ พลังงานสูง เรียกว่าเกิดกระบวนการ Internal Conversion (IC) กระบวนการลดพลังงานทั้งของ VR และ IC เกิดขึ้นรวดเร็ว (ประมาณ 10⁻¹² วินาที) จนโมเลกุลลงสู่สถานะ S₁ โดยไม่มีการแผ่รังสี ดังนั้น จะเห็นว่าการ deexcited จาก state สูงกว่า S₁ มาสู่ vibrational energy ต่ำ (V = 0) โดยมีการแผ่รังสีจะพบน้อย มีเพียง

โมเลกุลที่เกิดแบบนี้ เช่น azulene และอนุพันธ์ เมื่อโมเลกุลลงมาสู่ระดับพลังงาน S_1 ที่มีพลังงานต่ำแล้วก็จะเกิด deexcited ไปสู่ S_0 โดยมีการให้โฟตอนเรียกว่า “เกิดฟลูออเรสเซนซ์” (fluorescence) ซึ่งเกิดรวดเร็วมาก (ประมาณ 10^9 - 10^7 วินาที) จะเห็นจากรูปที่ 1-2 ว่ามีอยู่ระดับหนึ่งที่พลังงานที่สารดูดกลืนเข้าไปทำให้เกิดสถานะกระตุ้นเท่ากับพลังงานที่สารนั้นให้ออกมา เมื่อกลับสู่สถานะพื้นเรียกว่า “0 - 0” transitions แต่ในทางปฏิบัติ พลังงานอาจแตกต่างกันเล็กน้อย แบนด์ของสเปกตรัมอาจเคลื่อนที่บ้างเนื่องจาก solvent effects สำหรับในกรณีที่โมเลกุลกำลังอยู่ในสถานะกระตุ้น อิเล็กตรอนตัวหนึ่งอาจเกิด spin กลับทาง (reverse spin) ทำให้ค่า multiplicity เป็น 3 โมเลกุลนั้นจะถูกเปลี่ยนจาก singlet state ไปเป็น triplet state โดยที่กระบวนการเกิดนี้ไม่มีการให้รังสีออกมา (non-radiative transfer) เรียกว่า Intersystem crossing (ISC) Triplet state นั้นจะมีพลังงานต่ำกว่าของ singlet state เดิม โมเลกุลของสารอินทรีย์นั้นมีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ ทำให้โมเลกุลนั้นไม่มี ground triplet state ดังรูปที่ 1-2 เนื่องจากอิเล็กตรอนที่อยู่ใน orbital มีพลังงานต่ำสุด และ spin paired ตามกฎของ Hund (Hund's rule) เกี่ยวกับ multiplicity หลังจากเปลี่ยนไปเป็น triplet state ที่มีพลังงานสูงแล้วก็จะเกิดกระบวนการ VR เพื่อลดพลังงานให้เป็น triplet state (T_1) ที่มีพลังงานต่ำแล้วก็จะเกิดกระบวนการลดระดับพลังงานจาก T_1 ไปยัง S_0 โดยให้โฟตอนเกิดขึ้น เรียก “ฟอสฟอเรสเซนซ์” (phosphorescence) การเกิดแทรนซิชันระหว่าง state ที่มี multiplicity ต่างกันจะเกิดไม่ได้ กระบวนการเกิดฟอสฟอเรสเซนซ์จะใช้เวลาหรือมีชีวิตยาวกว่า (ประมาณ 10^3 - 10 วินาที) ฟลูออเรสเซนซ์ ดังนั้นจึงทำให้สามารถเห็นการเรืองแสงของสารตัวอย่างได้หลังจากทำให้เกิดสถานะกระตุ้นแล้ว ทั้งนี้ต้องอยู่ที่อุณหภูมิ ต่ำๆ เท่านั้น

1.2.8.3 การเกิดฟลูออเรสเซนซ์ของโมเลกุล



รูปที่ 1-3 หลักการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ของโมเลกุล

จากรูปที่ 1-3 ฟลูออเรสเซนซ์เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนภายในโมเลกุล มีการรับและปล่อยพลังงาน พลังงานที่อยู่ในโมเลกุลจะคงที่ ซึ่งเรียกว่า สถานะพื้น เมื่อโมเลกุลดูดกลืนรังสีจากการแผ่รังสีขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานที่สูงขึ้น เรียกว่า สถานะกระตุ้น โมเลกุลที่ถูกกระตุ้นจะกลับสู่สถานะพื้น โดยการลดพลังงานในกระบวนการที่เรียกว่า การลดการกระตุ้น ซึ่งมีทั้งกระบวนการที่ไม่เกิดแสง และกระบวนการที่เกิดแสง โมเลกุลส่วนใหญ่สูญเสียพลังงานโดยการคายพลังงานในรูปความร้อนที่เกิดจากการชนกันของโมเลกุล บางโมเลกุลหลังจากสูญเสียพลังงานจากการชนกันแล้วอิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้น โดยการคายพลังงานในรูปแสง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ฟลูออเรสเซนซ์” (Senesi *et al.*, 1991; Coble, 1996; Baker and Genty, 1999) โดยส่วนมากการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ ของโมเลกุลจะเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นที่ยาวกว่าการดูดกลืนแสง การเลื่อนไปที่ความยาวคลื่นนี้เรียกว่า “Stokes shift” (ลาวัลย์ ศรีพงษ์, 2544)

1.2.9 การใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ ในการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ

Fluorescence spectroscopy เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการหาลักษณะแหล่งกำเนิดของตัวอย่างสารอินทรีย์ในทะเล สิ่งมีชีวิตในน้ำ และดิน ซึ่งเทคนิค ฟลูออเรสเซนซ์ มีดังนี้

1.2.9.1 Conventional fluorescence spectroscopy

เทคนิค Conventional fluorescence spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้ความยาวคลื่นกระตุ้น (excitation wavelength, λ_{ex}) ที่เจาะจงค่าหนึ่ง ที่สแกนความยาวคลื่นที่คายพลังงาน (emission wavelength, λ_{em}) ได้ emission spectrum ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย มีข้อจำกัดน้อย และสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดได้โดยตรง (Santana and Padron, 2000; Patra and Mishra, 2002)

ได้มีการนำเทคนิค Conventional fluorescence spectroscopy มาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณ PAHs เพราะเป็นเทคนิคที่มีคุณสมบัติว่องไวต่อการเกิดแสง และค่อนข้างจะมีค่าใช้จ่ายน้อย นอกจากนั้นเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัด PAHs ของตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมทางทะเล เช่น Vandermeulent *et al.* (1979) ได้นำเทคนิคนี้ไปใช้ในการตรวจวัด PAHs ของตะกอนดินในทะเล

1.2.9.2 Synchronous fluorescence spectroscopy

เทคนิค Synchronous fluorescence spectroscopy เป็นการสแกนทั้งความยาวคลื่นกระตุ้น (excitation wavelength) และความยาวคลื่นการคาย (emission wavelength) ในเวลาเดียวกัน

โดยให้ความแตกต่างของความยาวคลื่น ($\Delta\lambda$) ระหว่างความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น (excitation wavelength) และความยาวคลื่นที่คายแสงออกมา (emission wavelength) คงที่ และจะบันทึกค่าความเข้มข้นของการคายแสง (intensity emission) หรือค่าความเข้มข้นของการกระตุ้น (intensity excitation)

คุณสมบัติของ Synchronous fluorescence spectroscopy มีดังนี้

- ส่วนแคบของแถบแสง (Narrowing of spectral band)
- ความง่ายของแถบแสงที่คายพลังงานแสง (Simplification of emission spectra) การกำหนดความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้นใน Conventional fluorescence spectroscopy ให้ความยาวคลื่นที่คายพลังงานแสงออกมามีการเพิ่มของ intensity ขณะที่เทคนิค synchronous การเพิ่มของ intensity จะขึ้นอยู่กับค่าการเลือก $\Delta\lambda$ ที่เหมาะสม
- การลดลงของแถบแสง (Contraction of spectral range)

นอกจากนี้เทคนิคนี้จะมีประสิทธิภาพในการแยกส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน (Cabaniss and Shuman, 1987; Vodacek, 1989) และระบุคุณสมบัติของสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ ที่มาจากหลายบริเวณ (Miano *et al.*, 1988; Seneasi *et al.*, 1991; Miano and Seneasi, 1992; De Souza *et al.*, 1994; Coble, 1996) จึงได้มีการนำเทคนิค Synchronous fluorescence spectroscopy มาประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพของน้ำเสียและสามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย (Galapate *et al.*, 1998)

1.2.9.3 Excitation-Emission Matrices (EEM)

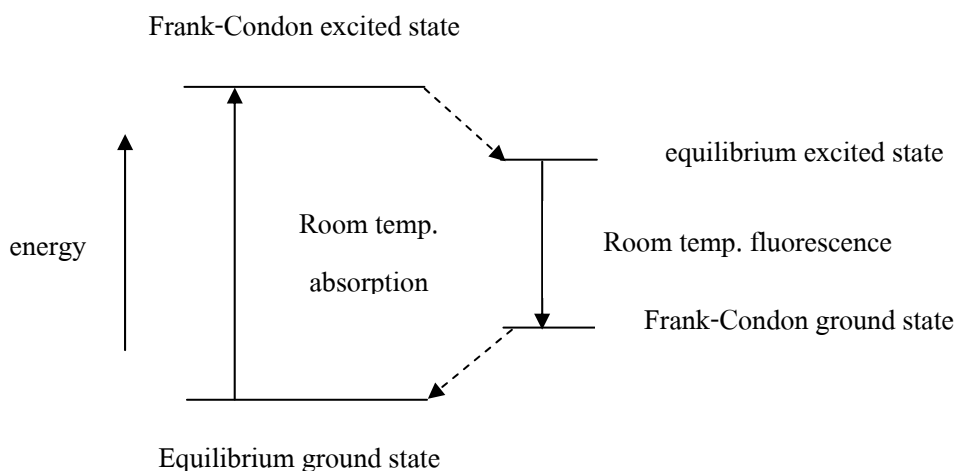
เทคนิค Excitation-Emission Matrices (EEM) ได้มาจากการสแกน synchronous อย่างซ้ำๆ หลายครั้ง แต่จะเร็วกว่าโดยมีกระบวนการการตรวจวัดอย่างชัดเจนและตรงตามเป้าหมาย ข้อมูลของเทคนิค EEM จะอยู่ในรูปของ fluorescence contour plot ได้มาจากจุดที่ทำการตรวจวัดที่เท่ากันแล้วนำไปเชื่อมต่อกับแผนที่ทางภูมิประเทศ ซึ่ง plot สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแยกความแตกต่างของตัวอย่างที่มีส่วนประกอบมากมายที่มาจากที่เดียวกัน ในแต่ละที่นั้นสามารถเห็นลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบนั้นแต่ไม่สามารถระบุได้โดยตรงกับส่วนประกอบของตัวอย่างที่มาจากหลายๆ ทาง (Hertz and McGrown, 1992) นอกจากนี้ fluorescence EEM peak intensity สามารถตรวจวัดคุณลักษณะของสารละลายอินทรีย์ในน้ำและดิน และติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ (Marhba *et al.*, 2000; Marhba and Pu, 2000)

1.2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อฟลูออเรสเซนซ์

สภาพแวดล้อมหลายอย่างจะมีผลอย่างมากต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ของพวกพอลิอะตอมมิกโมเลกุล เช่น ตัวทำละลาย pH อุณหภูมิ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ หรือการเกิดพันธะไฮโดรเจน เป็นต้น

1.2.10.1 ผลของตัวทำละลายต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ (solvent effects)

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางฟลูออโรเมตรีนี้มักจะทำในสารละลาย และเกือบทุกกรณีตัวทำละลายจะทำให้ฟลูออเรสเซนซ์แบนด์กว้างขึ้น polarity ก็มีส่วนสำคัญในการบ่งบอกถึงการเกิดอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย การเกิด electro-static attraction ก็ช่วย stabilizes หรือลดระดับของพลังงานลง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าสถานะพื้นหรือสถานะกระตุ้นของสารที่จะวิเคราะห์หรือตัวถูกละลายจะถูก stabilizes มากกว่ากัน ดังรูปที่ 1-4



รูปที่ 1-4 การเกิดผลกระทบของตัวทำละลายต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์

ตาม Frank-Condon principle กล่าวคือ nuclear positions ในโมเลกุลจะไม่มีเวลาพอที่จะเปลี่ยนตำแหน่งในขณะที่อิเล็กตรอนเกิดแทรนซิชัน แต่ตามด้วยการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นระหว่างอิเล็กตรอนเกิดแทรนซิชันจาก Equilibrium ground state ไปยัง non-equilibrium excited singlet state (Frank-Condon state) ขณะอยู่ที่ excited state พันธะจะมีการเปลี่ยนแปลงในตัวของมันเองให้ยาวตัวมากขึ้น (lower energy) ดังจุดประข้างบน ฟลูออเรสเซนซ์จะเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ ที่ equilibrium excited state ลงมายัง Frank-Condon ground state การจัดพันธะใน โมเลกุลจะเกิดขึ้นเพื่อไม่ให้โมเลกุลลงมาสู่สถานะที่มีพลังงานต่ำกว่าของ equilibrium ground state ดังเส้นจุดประ

ข้างล่าง พลังงานที่ต่างกันระหว่าง Frank-Condon excited state กับ equilibrium excited state และระหว่าง Frank-Condon ground state กับ equilibrium ground state นั้น ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างตัวทำละลายกับ excited state และ ground state ของโมเลกุลนั้น ถ้า excited state เป็น polar มากกว่า ground state คือ polarity ของตัวทำละลายเพิ่มขึ้น สถานะข้างบนซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะถูก stabilizes มากกว่า ground state และพลังงานของ equilibrium excited state ลดลง ขณะที่พลังงานของ ground state เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทำให้ฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นมีพลังงานลดลง และความยาวคลื่นของฟลูออเรสเซนซ์จะเพิ่มขึ้น เมื่อตัวทำละลายมี polarity เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม ถ้า ground state เป็น polar มากกว่า excited state, ground state ก็จะถูก stabilizes เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ excited state เมื่อตัวทำละลายมี polarity เพิ่มขึ้น ดังนั้นพลังงานที่แตกต่างกันระหว่าง excited state กับ ground state จะเพิ่มขึ้น ทำให้ความยาวคลื่นของฟลูออเรสเซนซ์เคลื่อนที่ไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลงเมื่อตัวทำละลายมี polarity เพิ่มขึ้น

1.2.10.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ (temperature effects)

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำทำให้ความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลเพิ่มขึ้น ทั้งที่อยู่สถานะพื้นและที่อยู่สถานะกระตุ้น การที่โมเลกุลมีความเร็วเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการชนกันมากขึ้นด้วย ดังนั้นโมเลกุลที่อยู่สถานะกระตุ้นจะชนกับโมเลกุลที่อยู่สถานะพื้น ทำให้เกิด internal conversion (IC) เพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้ความเข้มของฟลูออเรสเซนซ์ลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิทำให้ค่า quantum efficiency ลดลงด้วย จากการศึกษาของ Ahmad and Reynolds (1995), Reynolds and Ahmad (1997) และ Baker and Genty (1999) พบว่า ฟีเอช ในช่วง 3-7.5 และอุณหภูมิในช่วง 10-80°C จะไม่มีผลต่อฟลูออเรสเซนซ์

1.2.10.3 ผลของการเปลี่ยนแปลง pH ต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ (effects of pH)

สารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันัลกรุปที่เป็นกรดหรือเบส การเปลี่ยนแปลง pH จะมีผลอย่างมากต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ ทั้งความยาวคลื่นและความเข้มของฟลูออเรสเซนซ์จะเปลี่ยนแปลงไป สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะสารประกอบนั้นอาจจะอยู่ในรูปของโมเลกุลหรืออยู่ในรูปของไอออนแตกต่างกัน ค่า pK_a ของสารพวกนี้จะขึ้นอยู่กับ pH อยู่แล้ว นอกจากนี้ pH ยังเข้าไปเกี่ยวข้องกับการเกิด resonance ซึ่งช่วย stabilize excited state อีกด้วย

1.2.10.4 ผลจากการเกิดพันธะไฮโดรเจน (effects of hydrogen bonding)

การเกิดพันธะไฮโดรเจนของฟังก์ชันนัลกรุปในโมเลกุลนั้นกับตัวละลายหรือกับสารอื่นที่ปนอยู่จะมีผลอย่างมากต่อการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ เพราะไปทำให้ค่า quantum efficiency เปลี่ยนแปลงซึ่งมักจะทำให้ลดลง โดยทั่วไปโมเลกุลใดที่ละลายในตัวทำละลายที่เกิดพันธะไฮโดรเจน โดยเป็นพวกกรดแก่เมื่ออยู่ที่สถานะกระตุ้นมากกว่าที่สถานะพื้น จะมีผลทำให้เกิดฟลูออเรสเซนซ์มีความยาวคลื่นสั้นลงมากกว่าโมเลกุลที่เป็นเบสแก่เมื่ออยู่ที่สถานะกระตุ้น ในบางกรณี พันธะไฮโดรเจนสามารถลดความเข้มของฟลูออเรสเซนซ์ได้เนื่องจากไปเพิ่มการเกิด internal conversion ให้กับโมเลกุลที่เกิดพันธะไฮโดรเจน

1.2.10.5 ผลจากออกซิเจนที่ละลายอยู่ (effects of dissolved oxygen)

ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายนั้นมักจะไปลดความเข้มของทั้งฟอสฟอเรสเซนซ์และฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันกับสารที่ให้ฟลูออเรสเซนซ์หรือฟอสฟอเรสเซนซ์ นอกจากนี้ ออกซิเจนยังช่วยส่งเสริมให้เกิด intersystem crossing (ISC) และการเปลี่ยนโมเลกุลที่สถานะกระตุ้นไปเป็น triplet state แล้วทำให้ไม่เกิดฟลูออเรสเซนซ์

1.2.10.6 ผลจากสารเคมีอื่นๆ ที่เป็นสารเจือปน (effects of impurities)

ในกรณีที่มีสารอื่นปนอยู่ด้วยในสารละลายตัวอย่าง สารเหล่านั้นอาจมีผลกระทบต่อ การเกิดลูมิเนสเซนซ์กับสารที่จะวิเคราะห์ได้ ถ้าสารเหล่านั้นสามารถดูดกลืนหรือให้แสงออกมา ที่ความยาวคลื่นเดียวกันกับความยาวคลื่นของแสงเพื่อทำให้เกิดการกระตุ้น หรือที่จะให้ออกมาจากสารตัวอย่าง คือ ถ้าสารเจือปนนั้นดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกันกับของแสงที่ให้ออกมาจากสารตัวอย่าง ก็จะทำให้ความเข้มของฟลูออเรสเซนซ์ลดลงไปส่วนหนึ่ง การที่สารเจือปนนี้ดูดกลืนแสงที่จะทำให้เกิดการกระตุ้นหรือฟลูออเรสเซนซ์ที่ได้ออกมา เรียกว่าเกิด “Inner-Filter Effect”

1.2.11 พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตะเกา

1.2.11.1 ข้อมูลทั่วไป

ลุ่มน้ำคลองอุตะเกาเป็นลุ่มน้ำย่อยที่ใหญ่ที่สุดในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เป็นแหล่งชุมชน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมที่สำคัญ ตั้งอยู่ที่ ละติจูดที่ $6^{\circ} 28'$ ถึง $7^{\circ} 10'$ N ลองจิจูดที่ $100^{\circ} 10'$ ถึง $100^{\circ} 37'$ E มีพื้นที่ประมาณ 2,840 ตร.กม. ครอบคลุมอาณาเขตพื้นที่ 5 อำเภอ คือ สะเดา นาหม่อม หาดใหญ่ บางกล่ำ และควนเนียง โดยมีคลองอุตะเกาเป็นสายน้ำหลัก ยาวประมาณ

90 กม. คลองอยู่ตะเภามีคลองสาขามากมาย ได้แก่ คลองหล้าปัง คลองเล คลองรำ คลองสะเดา คลองประตู่ คลองตง คลองป้อม คลองจำไทร คลองหวะ คลองตำ คลองวาด เป็นต้น มีต้นน้ำที่เทือกเขาต้นกาลาศิริ อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ไหลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือ โดยมีจุดเริ่มจากชายแดนไทย-มาเลเซีย ไปสิ้นสุดที่ทะเลสาบสงขลาตอนนอก มีความกว้างของผิวน้ำในหน้าแล้งโดยเฉลี่ยบริเวณต้นน้ำ 6-15 ม. กลางน้ำ 15-30 ม. และปลายน้ำ 30-50 ม. ลึกประมาณ 2-5 ม. พื้นที่รับน้ำ 1,600 ลบ.กม. (นาตยา จึงเจริญธรรม, 2546)

1.2.11.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมเขตร้อน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้มีฝนตกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ทำให้มีฝนในช่วงเดือนตุลาคมถึงมกราคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกมากที่สุด เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน เป็นช่วงที่มีอากาศร้อนและฝนตกในปริมาณน้อย เกิดจากอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทะเลจีนใต้ (นาตยา จึงเจริญธรรม, 2546) โดยทั่วไปจะมีฝนตกเกือบทั้งปีเฉลี่ยต่อปีประมาณ 1,720 มม. อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดตลอดปีมีค่า 31.4 และ 22.8 °C ตามลำดับ และอัตราการระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 1,650 มม.ต่อปี (सानิตย์ สังข์ชุม, 2545)

อัตราการไหลของน้ำในคลองอยู่ตะเภาผันแปรตามฤดูกาล โดยฤดูแล้งมีอัตราการไหลน้อยกว่า 6 ลบ.ม./วินาที ส่วนฤดูฝนมีอัตราการไหลของน้ำมากกว่า 90 ลบ.ม./วินาที ความแตกต่างของระดับน้ำขึ้นลงบริเวณปากคลองอยู่ตะเภามีค่าประมาณ 25 ซม. โดยทั่วไปน้ำในคลองจะเป็นน้ำจืด ยกเว้นบริเวณปากคลองที่ต่อเนื่องกับทะเลสาบสงขลาจะเป็นเขตเอสทูรี (เสาวภา อังสุภาณิช, 2539) ความเค็มของน้ำในคลองอยู่ตะเภาจะไวต่ออัตราการไหลของน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงความเค็มในทะเลสาบสงขลา ในฤดูแล้งน้ำเค็มสามารถรุกเข้าในคลองอยู่ตะเภาได้ถึง 12 กม. (บริเวณบ้านนารังนก) ทำให้เกิดการผสมผสานกันของน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยมีลักษณะการผสมผสานกันเพียงบางส่วน จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นน้ำจืดอย่างฉับพลัน ซึ่งเป็นการหยุดการรุกตัวของน้ำเค็มอย่างฉับพลันด้วย คาดว่าอาจจะเป็นสาเหตุของการตื้นเขินในบางบริเวณ เช่น ที่บ้านหาร (สมบุญ พรพิเนตพงศ์, 2541)

1.2.11.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภา จำแนกลักษณะของหิน 3 ประเภท (นาตยา จึงเจริญธรรม, 2546 อ้างจาก กรมทรัพยากรธรณี, 2523) คือ หินชั้น (sedimentary rocks) หินแปร (metamorphic rocks) และหินแกรนิต (igneous rocks) พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินชั้น

หินแปรในยุคควาเทอร์นารี (Quaternary : Qa, Qt) ประกอบด้วยตะกอนน้ำพา และตะกอนตะพัก ลุ่มน้ำ พบในบริเวณตั้งแต่ที่ราบลุ่ม ที่ราบ ไปจนถึงที่ลูกคลื่นลอนลาด ทำให้มีลักษณะเป็นพื้นที่ กว้างในแนวยาวทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งเกิดจากตะกอน กรวด ทราย ที่ถูกพัดพาทับถมมาทับถมกับลำน้ำในคลอง อยู่ตะเภา และลำคลองสาขา หินที่พบเป็นประเภท กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเลน นอกจากนี้ ยังพบหินในยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous : C, Cb, Cy) ซึ่งประกอบไปด้วยหินดินดาน หินทราย หินชนวน หินฮอร์นเฟล และหินควอร์ตไซต์ เป็นต้น พบมากบริเวณพื้นที่ด้านทิศ ตะวันออกและตะวันตกถัดจากพื้นที่ตะกอนตะพักลุ่มน้ำ ส่วนบริเวณพื้นที่เป็นหินในยุคไทรแอสสิก (Triassic : Tr) พบบริเวณเทือกเขาน้ำค้าง ประกอบด้วยหินทราย หินดินดาน และหินกรวดมน

หินอัคนีที่พบในยุคจูแรสสิก-ไทรแอสสิก (Jurassic-Triassic : TRJgr) และ ครีเตเชียส (Cretaceous : Kgr) ประกอบด้วย หินไบโอไทต์แกรนิต หินทิวร์มาลีนแกรนิต และ หินมัสโคไวต์ทิวร์ มาลีนแกรนิต พบบริเวณเทือกเขาบรรทัดและเทือกเขาในเขตอำเภอนาหม่อม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบแนวรอยเลื่อนและรอยแตก (Fault and Joint) ในพื้นที่ดังกล่าว

1.2.11.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภาประกอบด้วย พื้นที่ภูเขา ที่ราบลูกคลื่น ลอนลาดลอนชัน และที่ราบ จึงทำให้มีความหลากหลายในการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนใหญ่มีการใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา นอกจากนี้จะมีการทำเกษตรกรรมแล้ว ก็ยังเป็นที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม และอื่นๆในบริเวณนี้

1.2.11.5 การใช้ประโยชน์จากคลองอยู่ตะเภา

แม้ว่าคลองอยู่ตะเภา จะเป็นแหล่งน้ำดิบของการประปาภูมิภาค ที่ผลิตน้ำประปา จำหน่ายแก่ประชาชนทั่วไป ทั้งเทศบาลนครหาดใหญ่และเทศบาลนครสงขลา แต่คลองอยู่ตะเภา มีสถานะเสี่ยงต่อการเกิดปัญหามลพิษ เนื่องจากกลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภาเป็นแหล่งชุมชนซึ่งปล่อยน้ำทิ้งที่ สามารถระบุแหล่งกำเนิด อาทิ เขตเทศบาลและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และที่ไม่สามารถระบุ แหล่งกำเนิด เช่น น้ำทิ้งจากเกษตรกรรม ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี มูลสัตว์

อุตสาหกรรมในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอยู่ตะเภาเป็นอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องจากการเกษตรแทบทั้งสิ้น โดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก ได้แก่ อุตสาหกรรมแปรรูป อาหารทะเล (บรรจุกระป๋องและแช่แข็ง) อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมจากยางพาราและ ผลิตภัณฑ์ยาง (ยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น ยางแท่ง ทีทีอาร์ ยางเครฟ และถุงมือยาง) อุตสาหกรรม

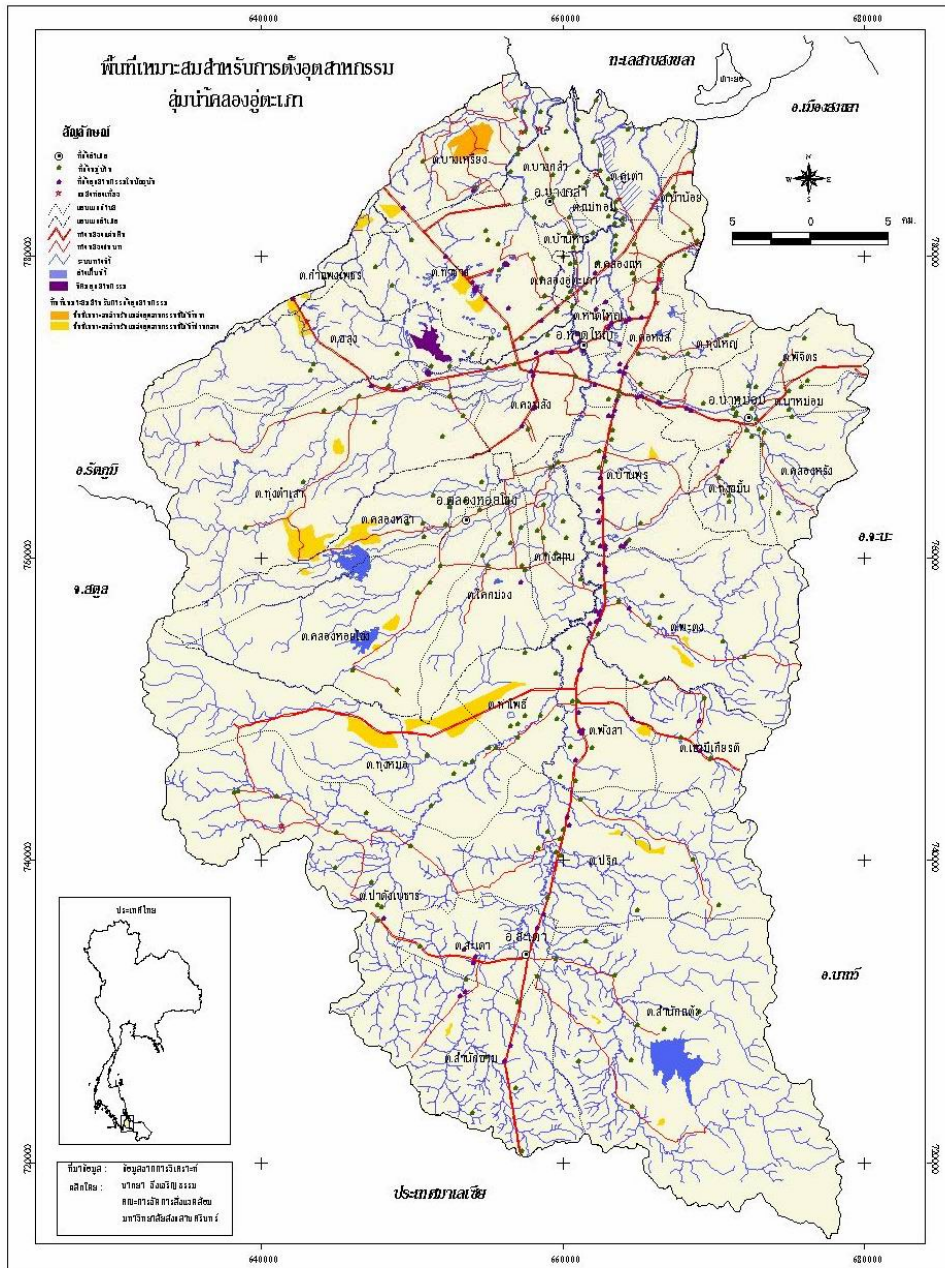
จากไม้ยางพารา (เครื่องเรือนเครื่องใช้ ไม้อัดไม้ประสาน ปาร์เก้ และแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด) โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และยุโรป

การขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมนี้เป็นผลมาจากโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะเส้นทางคมนาคมสายหลัก คือ ทางหลวงแผ่นดินสาย 407 หาดใหญ่-สงขลา (ถนนกาญจนวนิช) ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 รัตภูมิ-หาดใหญ่-สงขลา (ถนนเพชรเกษม) ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 43 รัตภูมิ-นาหม่อม-จะนะ (ถนนสายเอเชีย) พบว่ามีโรงงานที่อยู่ตามแนวถนนเหล่านี้สูงกว่าบริเวณอื่นๆ ในเขตลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีโรงงานผลิตภัณฑ์ยาง 53 โรงงาน โรงงานเกี่ยวกับสัตว์น้ำ 10 โรงงาน โรงงานประเภทอื่นๆ 11 โรงงาน รวม 74 โรงงาน และมีน้ำทิ้งจากโรงงานผ่านระบบบำบัดแล้วปล่อยลงคลอง จำนวน 26 โรงงาน และโรงงานมีบ่อเก็บกักโดยไม่ปล่อยลงคลอง 48 แห่ง (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา, 2546) โดยความสามารถในการบำบัดได้ของระบบบำบัดทั้ง 26 แห่ง มีประสิทธิภาพตั้งแต่ 70–99.8% ซึ่งนับเป็นภาระความสกปรกที่ปล่อยลงสู่คลองอู่ตะเภาแล้วจะมีค่าสูงถึงประมาณไม่น้อยกว่า 500 กก. BOD/วัน (เฉพาะจากคลองอู่ตะเภา) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

ตาราง 1-1 โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่คลองอุตะเถา (ข้อมูลบางส่วนของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2543)

โรงงาน	ประเภทของกิจการ	ระบบบำบัดน้ำเสีย	ปริมาณน้ำทิ้ง (ลบ.ม./วัน)
บริษัท เซฟสตกิน คอร์ปอเรชั่น ประเทศไทย จำกัด	ผลิตถุงมือยางและถุง มือแพทย์	Facultative pond with supplemental aeration and polishing pond	10,000
บริษัท เซฟสตกิน เมคคิคอล แอนดีไซ เอนทิฟิค (ประเทศ ไทย) จำกัด	ผลิตถุงมือยาง ธรรมชาติและยาง สังเคราะห์	Aerated lagoon + Oxidation pond	8,000
บริษัท สยามแชมเปอร์เมด จำกัด	ผลิตถุงมือยาง	บ่อเติมอากาศ + บ่อ ปรับสภาพ	4,000
บริษัท สยามแชมเปอร์เมด จำกัด	ผลิตถุงมือแพทย์	บ่อเติมอากาศ + บ่อ ปรับสภาพ	2,000
บริษัท ออมนิเกรซ (ประเทศ ไทย) จำกัด	ผลิตถุงมือยาง ถุงยาง อนามัย และลูกโป่ง	Stabilization pond	2,000
บริษัท ทรัพย์มีลาเทกซ์ จำกัด	ผลิตน้ำยางข้น	Aerated lagoon + Oxidation pond	1,680
บริษัท หาดทิพย์ จำกัด	ผลิตน้ำอัดลม	Anaerobic pond	910
บริษัท ณรงค์ซีฟู๊ด	ห้องเย็นเก็บอาหาร ทะเลและอาหารแช่ แข็ง	Aerated lagoon	700
บริษัท เอ็กซ์เซลรับเบอร์ จำกัด	ผลิตน้ำยางข้น และยาง แท่งที่ทียัวร์ 5 แอล	Stabilization pond	600
บริษัท ไฮแคร์อินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด	ผลิตถุงมือยาง	Stabilization pond	500

ที่มา : สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (2543)



รูปที่ 1-5 ที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตตะเกา
ที่มา : นาดยา จิ่งเจริญธรรม (2546)

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหารูปแบบฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำ 4 ประเภท คือ น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น น้ำเสียจากระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ และน้ำคลองอุตะเกา
2. เพื่อหาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค Synchronous fluorescence spectroscopy (SFS) เพื่อบ่งชี้แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดิน โดยให้สเปกตร้าจำเพาะ (fingerprint spectra)
3. เพื่อหาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิค SFS เพื่อตรวจวัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในรูปของบีโอดีในน้ำทิ้งหรือน้ำ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

น้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำเสียจากทุกบ่อของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานน้ำยางข้น ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่ และน้ำจากคลองอุตะเกา 9 สถานี ตรวจวัดรูปแบบฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำทั้งหมดและวิเคราะห์หาค่าบีโอดี และตรวจหาสเปกตร้าจำเพาะในน้ำเสียที่ถูกเจือจางด้วยน้ำคลองอุตะเกา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการบ่งชี้ว่าการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติ มาจากแหล่งอุตสาหกรรมหรือแหล่งชุมชน และยังใช้เป็นแนวทางศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาการตรวจวัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ (ในรูปบีโอดี) ในแหล่งน้ำด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์