บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารจำเป็น และเป็นปัจจัยจำกัดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตประเภทผู้ผลิตขั้นต้น ทั้งบนบกและในแหล่งน้ำ อย่างไรก็ดี หากแหล่งน้ำมีสารอาหารมากเกินไปหรือที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วผิดปกติ (bloom) ของแพลงก์ตอนพืช สารอาหารเหล่านี้เข้าสู่แหล่งน้ำได้ทั้งโดยธรรมชาติและจากการปนเปื้อนมากับน้ำทิ้ง/น้ำเสียจากบ้านเรือน ชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ทั้งโดยตรงในรูปของสารอาหารอนินทรีย์ หรือโดยอ้อมในรูปของสารอาหารอินทรีย์ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยสารอาหารอนินทรีย์ออกสู่มวลน้ำ

ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญ อุดมสมบูรณ์ไปด้วยสัตว์น้ำนานาชนิด พบปลา 450 ชนิด ปูและกุ้ง 30 ชนิด พรรณไม้น้ำและสาหร่าย 75 ชนิด (มูลนิธิสารานุกรมวัฒนธรรมไทย ธนาคารไทยพาณิชย์, 2542) ทะเลสาบสงขลานอกจากจะเป็นแหล่งประมง เป็นแหล่งน้ำจืดเพื่อการเกษตรกรรม และเป็นแหล่งท่องเที่ยว ยังเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้ง/น้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารทะเลและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับยางพารา (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2536) ของเสียจากกิจกรรมเหล่านี้มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ในทะเลสาบสงขลา ยังมีการเลี้ยงปลาในกระชังอยู่มาก มูลจากปลาและเศษอาหารปลาที่เหลือซึ่งเป็นสารอินทรีย์เช่นกัน ก็จะสะสมอยู่บนพื้นท้องทะเลสาบ เมื่อสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกย่อยสลายโดยจุลชีพก็จะปลดปล่อยสารอาหารอนินทรีย์ประเภท แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และฟอสเฟตออกมาสู่มวลน้ำ ซึ่งเป็นอาหารโดยตรงของแพลงก์ตอนพืช สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายไม่หมดก็จะสะสมอยู่กับตะกอนทะเลสาบและเป็นแหล่งสำรอง โดยจุลชีพจะค่อยๆ ย่อยสลายและปลดปล่อยสารอาหารอนินทรีย์เข้าสู่มวลน้ำเป็นอาหารของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าหากมีสารอินทรีย์มากเกินก็จะทำให้บริเวณนั้นขาดออกซิเจน ทำให้น้ำเน่าเสียได้ และส่งผลกระทบไปยังสิ่งมีชีวิต (Wetzel, 2001)

ปัจจุบันพื้นที่ต่างๆ ของทะเลสาบสงขลา รวมทั้งทรัพยากรที่มีอยู่ในทะเลสาบสงขลา และโดยรอบทะเลสาบสงขลา ได้ถูกพัฒนา และใช้ประโยชน์โดยปราศจากการควบคุมและวางแผน เช่น การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตทะเลสาบสงขลาตอนใน การระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยไม่ผ่านการบำบัด และการขยายตัวของชุมชน ฯลฯ (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์, 2540) และการเพิ่มปริมาณกระชังปลาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ทำให้สารอินทรีย์ปริมาณมากเข้าสู่ทะเลสาบสงขลาและสะสมอยู่กับตะกอน

การศึกษาในเรื่องสารอาหารประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในทะเลสาบสงขลา ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในเชิงคุณภาพน้ำโดยตรง ขณะที่ตะกอนซึ่งเป็นแหล่งสะสมสารอินทรีย์และสามารถปลดปล่อยสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกสู่แหล่งน้ำอย่างต่อเนื่อง ยังมีการศึกษาน้อย และเป็นการศึกษาเฉพาะบางบริเวณที่ไม่กว้างขวางนัก งานวิทยานิพนธ์นี้จึงต้องการศึกษาการสะสมและรูปแบบการแพร่กระจายของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนทะเลสาบทั้งระบบ ตลอดจนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสกับปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมในตะกอน โดยครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบสงขลาทั้งระบบ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการแพร่กระจายของไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดในตะกอนทะเลสาบสงขลาทั้งระบบ และความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดกับปริมาณสารอินทรีย์

3. การตรวจเอกสาร

3.1 ตะกอน

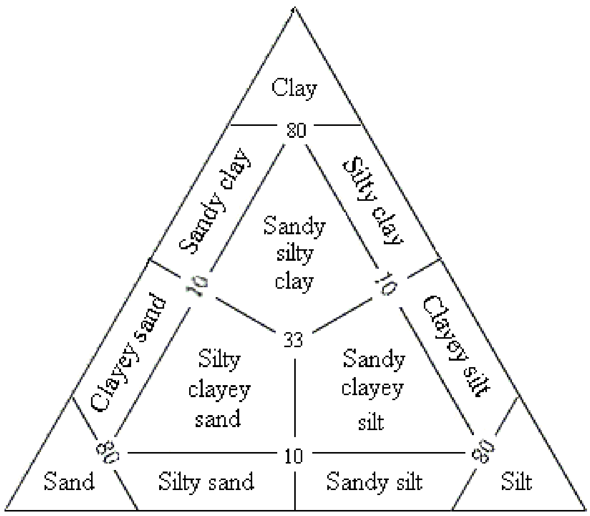
ตะกอน (sediment) เป็นสสารจากแผ่นดินที่ถูกกระบวนการผุพังกัดกร่อนจนแตกสลายเป็นอนุภาคเล็กๆ รวมตัวกับสารอินทรีย์ และถูกชะพาลงสู่แหล่งน้ำ รวมตลอดจนถึงอนุภาคที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำเอง เช่น ซากแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตอื่นหรือเกิดจากการแยกตัวออกจากมวลน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางกายภาพเคมี (physico-chemical condition) (Ditoro, 2001) คุณลักษณะของตะกอนสามารถชี้ถึงสถานะความเสื่อมโทรม โดยเฉพาะการปนเปื้อนของสารได้ดีกว่าการใช้คุณภาพน้ำเป็นตัวชี้วัด เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ของตะกอนจะผันแปรตามเวลาน้อยกว่าน้ำ (Kim *et al.*, 2003) นอกจากนี้ตะกอนยังเป็นแหล่งเก็บกัก (sink) และแหล่งกำเนิด (source) ของสารอาหารในแหล่งน้ำ จุลชีพจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่กับตะกอน และให้สารอาหารอนินทรีย์ออกมาละลายอยู่ในน้ำระหว่างตะกอน ทำให้น้ำระหว่างตะกอนมีความเข้มข้นของสาร

อาหารอนินทรีย์มากและสามารถที่จะแพร่ออกสู่มวลน้ำเหนือตะกอน และส่งผลต่อแหล่งน้ำทั้งโดยตรงและโดยอ้อม กระบวนการเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ (Buffle and Stumm, 1994.; Cheung *et al*., 2003)

3.1.1 ขนาดอนุภาคของตะกอน

ตะกอนประกอบไปด้วยอนุภาคต่างๆ ตั้งแต่หยาบจนถึงละเอียด อนุภาคในกลุ่มขนาดต่างๆ มีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน กลุ่มที่มีขนาดหยาบเกิดมาจากส่วนที่แตกหักของแร่และหิน โดยเฉพาะพวกควอทซ์ (quartz) ซึ่งเป็นแร่ดั้งเดิม ซึ่งนอกจากจะมีพื้นที่ผิวน้อยแล้วยังเฉื่อยต่อกระบวนการทางเคมีต่างๆ พวกนี้ได้แก่อนุภาคขนาด "ทราย" และ "ทรายแป้ง" (2-63 ไมโครเมตร) ดังนั้นหากมีอนุภาคเหล่านี้มาก ตะกอนก็จะร่วนซุยไม่เกาะกันเป็นก้อน น้ำซึมผ่านได้ง่าย ขณะที่กลุ่มขนาด "ดินเหนียว" เกิดมาจากการผุพังของแร่ที่เกิดขึ้นมาใหม่ ที่เรียกว่าแร่ทุติยภูมิ จะมีขนาดเล็ก (<2 ไมโครเมตร) และมีพื้นที่ผิวมากโครงสร้างจะเป็นโครงข่ายอลูมิโนซิลิเคต (aluminosilicate) ซึ่งมีประจุ จึงง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Gabler, 1982)

ตะกอนที่มีองค์ประกอบขนาดต่างๆ กันจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป มาตรฐานการเรียกชื่อมีอยู่หลายแบบ โดยทุกแบบจะเป็นการกำหนดชื่อโดยอาศัยปริมาณสัดส่วนของขนาดอนุภาค 3 กลุ่ม คือ ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว แบบที่นิยมใช้ในการศึกษาตะกอนแหล่งน้ำจะเป็นแบบดังแสดงในรูป 1-1 (Gorsline, 1960) เมื่อพล็อตสัดส่วนของอนุภาคขนาดต่างๆ ลงในไดอะแกรมสามเหลี่ยมในรูป 1-1 แล้วตกลงตรงไหนก็ให้เรียกชื่อตะกอนตามที่ระบุไว้ในไดอะแกรม



รูป 1-1 ไดอะแกรมที่ใช้เรียกชื่อตะกอน ตามสัดส่วนปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว (Gorsline, 1960)

3.1.2 สารอินทรีย์ในตะกอน

สารอินทรีย์ที่สะสมในตะกอนมีที่มา 2 แหล่ง ส่วนหนึ่งมาจากสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำ อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์หรือมูลสัตว์ที่ถ่ายออกมาในแหล่งน้ำนั้น สารอินทรีย์เหล่านี้จะทับถมร่วมกับตะกอนตามพื้นท้องน้ำและถูกพัดพาออกสู่ทะเลในที่สุด (Grissinger and McDowell, 1970)

สารอินทรีย์มีคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ (Ryba and Burgess, 2002) ในกระบวนการย่อยสลายโดยจุลชีพจะใช้ออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำ นอกจากจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาแล้วยังปลดปล่อยสารอาหารอนินทรีย์ออกสู่มวลน้ำระหว่างตะกอน ดังนั้นหากตะกอนบริเวณใดมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมากก็จะมีศักยภาพในการเป็นแหล่งกำเนิดสารอาหารที่ส่งต่อไปให้ผู้ผลิต เช่น แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ได้ (Accornero *et al.*, 2003) ซึ่งถ้าสารอินทรีย์มีอยู่มากเกินไป นอกจากจะทำให้เกิดยูโทรฟิเคชั่นจนแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วแล้วยังเป็นสาเหตุของการขาดแคลนออกซิเจนละลายในมวลน้ำบริเวณนั้น เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องการออกซิเจน (Nakamura, 2003)

3.1.3 การแลกเปลี่ยนสารระหว่างรอยต่อของน้ำกับตะกอน

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางกายภาพเคมีในแหล่งน้ำ เช่น ความเค็มเปลี่ยนหรือ pH เปลี่ยน ทำให้สมดุลวัฏภาคระหว่างน้ำเหนือผิวตะกอนกับน้ำระหว่างตะกอนบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลงไป (Bufflap and Allen, 1995) จึงเกิดการแลกเปลี่ยนสารโดยการแพร่ข้ามรอยต่อระหว่างน้ำกับตะกอน ก่อให้เกิดการถ่ายเทสารระหว่างที่ละลายอยู่ในน้ำระหว่างตะกอนกับสารที่ละลายอยู่ในมวลน้ำเหนือตะกอน (Jordan and Correll, 1985; Bufflap and Allen, 1995) สารอาหารอนินทรีย์ซึ่งละลายอยู่ในน้ำระหว่างตะกอนซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ถูกย่อยสลายโดยจุลชีพ ก็ถูกปลดปล่อยออกสู่มวลน้ำเหนือผิวตะกอนโดยกระบวนการนี้เช่นกัน ดังนั้นตะกอนจึงมีศักยภาพในการเป็นแหล่งกำเนิดของสารอาหารในแหล่งน้ำ

3.2 ทะเลสาบสงขลา

ทะเลสาบสงขลามีลักษณะเป็นระบบทะเลสาบกึ่งปิดที่เรียกว่า "ลากูน" (Lagoon) ขนาดใหญ่แห่งเดียวของประเทศไทยและเป็นทะเลสาบน้ำกร่อยแหล่งเดียวของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีพื้นที่ผิวน้ำรวมประมาณ 1,047 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ $7^\circ\ 08'$ ถึง $7^\circ\ 50'$ เหนือ และลองจิจูดที่ $100^\circ\ 07'$ ถึง $100^\circ\ 37'$ ตะวันออก ทะเลสาบสงขลารับน้ำจืดจากแม่น้ำ น้ำฝน และ

น้ำหลากจากแผ่นดิน ระบบทะเลสาบสงขลาเชื่อมต่อกับอ่าวไทย น้ำในทะเลสาบจึงได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลทำให้ระบบนิเวศมีความหลากหลาย (พรศิลป์ ผลพันธิน, 2542)

3.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

ทะเลสาบสงขลามีลักษณะคอดเป็นตอนๆ โดยมีคลองเชื่อม ทางกายภาพสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยตอนบนสุดอยู่ในพรุควนเคร็ง ตอนล่างสุดเชื่อมต่อกับอ่าวไทยบริเวณ อ.เมือง จ.สงขลา ส่วนต่างๆ ของระบบทะเลสาบสงขลา (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547) มีดังนี้

1. ทะเลน้อย อยู่ตอนบนสุดของทะเลสาบสงขลา อยู่ในเขตจังหวัดพัทลุง มีพื้นที่ประมาณ 27 ตารางกิโลเมตร เป็นทะเลสาบน้ำจืด ลึกเฉลี่ย 1.2 เมตร มีคลองเชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนบน 3 คลอง คือ คลองนางเรียม คลองบ้านกลาง และคลองยวน มีพืชน้ำนานาชนิดขึ้นอยู่รอบๆ อาทิ วัชพืชน้ำพวก จอก แหน กก และผักตบชวา มีป่าพรุขนาดใหญ่ คือ พรุควนเคร็ง เป็นแหล่งนกน้ำนานาชนิด ทั้งที่ประจำถิ่นและอพยพ
2. ทะเลสาบตอนบน (หรือทะเลหลวง) ทางฝั่งตะวันออกอยู่ถัดจากทะเลน้อยลงไปถึง ต.เกาะใหญ่ อ.กระแสสินธุ์ จ.สงขลา และทางฝั่งตะวันตกถึงบ้านแหลมจองถนน อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง มีพื้นที่ประมาณ 473 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร มีคลองท่าแนะ คลองนาท่อม และคลองท่ามะเดื่อ ระบายน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนบน อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงในทะเลสาบตอนบนมีน้อยมาก พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยไม่เกิน 0.09 เมตร ส่วนใหญ่ของรอบปีจะเป็นน้ำจืด แต่บางปีที่แล้งจัดจะมีการรุกตัวของน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง อาจทำให้ในบางพื้นที่ค่าความเค็มสูงถึง 10 psu (practical salinity unit)
3. ทะเลสาบตอนกลาง (หรือทะเลสาบ) อยู่ถัดลงไปจาก ต.เกาะใหญ่ ลงไปถึงบริเวณบ้านปากรอ ต.ปากรอ อ.สิงหนคร จ.สงขลา มีพื้นที่ประมาณ 360 ตารางกิโลเมตร ลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร ทะเลสาบตอนนี้จะมีเกาะแก่งหลายเกาะ ได้แก่ เกาะสี่-เกาะห้า เกาะหมาก เกาะนางคำ ทะเลสาบตอนกลางเชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนล่างโดยคลองหลวงและอ่าวท้องแบน มีคลองพรุพ้อ คลองพานไทร และคลองป่าบอน ระบายน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนกลาง ทะเลสาบตอนกลางนี้ได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลขึ้นลงบ้าง พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยบริเวณปากรอประมาณ 0.11 เมตร การผสม

ผสานของน้ำเค็มและน้ำจืดในสัดส่วนที่ต่างกันในฤดูฝนและฤดูแล้ง ทำให้ระบบนิเวศเป็นทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อยขึ้นกับฤดูกาล ความเค็มจึงอยู่ในช่วง 0-20 psu

4. ทะเลสาบตอนล่าง (หรือทะเลสาบสงขลา) เริ่มจากบ้านปากรอ ต.ปากรอ ไปจนถึงจุดที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา พื้นที่ของทะเลสาบตอนล่างประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร ยกเว้นที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาจะลึกประมาณ 12-14 เมตร เนื่องจากการขุดลอกเพื่อการเดินเรือ มีคลองหลายสายที่ระบายน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำลงสู่ทะเลสาบ ได้แก่ คลองอู่ตะเภา คลองรัตภูมิ คลองบางโหนด และคลองพะวง เป็นต้น ทะเลสาบส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลขึ้นลงมากกว่าส่วนอื่น โดยมีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยที่ปากร่องน้ำประมาณ 0.6 เมตร ความเค็มแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลเช่นเดียวกับทะเลสาบตอนกลาง ค่าความเค็มของน้ำในฤดูแล้งอยู่ในช่วง 23-30 psu แต่ฤดูฝนค่าความเค็มที่ผิวเกือบเป็นศูนย์ ทะเลสาบส่วนนี้มีการวางเครื่องมือประมงประเภทไซนั่งและโพงพางเกือบทั่วทั้งทะเลสาบ

3.2.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ฝนตกเกือบตลอดปี และมีเพียง 2 ฤดู (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547) คือ

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนมกราคม แบ่งเป็น 2 ระยะ

ระยะแรก ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน เป็นช่วงมรสุม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ช่วงนี้มีฝนตกน้อย

ระยะที่ 2 ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียง เหนือพัดผ่านอ่าวไทย ทำให้ฝนตกชุก เดือนที่ฝนตกมากที่สุด คือ เดือนพฤศจิกายน

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกซึ่งเป็นลมร้อนและชื้น ทำให้อากาศร้อน โดยเดือนเมษายนอากาศร้อนที่สุด

ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2535-2545 ต่อปีอยู่ที่ 2,043 มิลลิเมตร โดยมีพิสัยอยู่ในช่วง1,549-2,399 มิลลิเมตรต่อปี และค่ามัธยฐาน (median) หรือปริมาณฝนรายปีส่วนใหญ่อยู่ที่ ประมาณ 2,000 มิลลิเมตรต่อปี

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา นอกเหนือจากปริมาณฝน จากข้อมูลสถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ของสถานีตรวจอากาศ อ.เมือง จ.สงขลา พบว่าอุณหภูมิของอากาศค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี โดยอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ในช่วง 26.7 ถึง 29.1 องศาเซลเซียส โดยในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนอื่นๆ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงตลอดทั้งปี มีค่าเฉลี่ยประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝนในช่วงที่ฝนไม่ตกก็ยังมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

3.2.3 การไหลเวียนของกระแสน้ำที่มีอิทธิพลต่อตะกอนท้องทะเลสาบ

การไหลเวียนของกระแสน้ำในทะเลสาบเกิดจากอิทธิพลหลัก 3 ประการด้วยกัน (ปราโมทย์ โศจิศุภร, 2548) คือ

1) น้ำขึ้น-น้ำลง ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำบริเวณทะเลสาบตอนล่าง ความเร็วของน้ำเนื่องจากน้ำขึ้น-น้ำลงจะแรงเฉพาะปากทะเลสาบตอนล่าง ถัดเข้าไปจากเกาะยอกระแสน้ำจะอ่อนตัวมีเพียงแต่การขึ้นลงของระดับน้ำเท่านั้น อิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลงส่งอิทธิพลเข้าไปถึงทะเลสาบตอนกลางและตอนบนผ่านทางช่องแคบปากรอ แต่เพราะช่องแคบที่ปากรอแคบและมีความลึกจำกัด จึงทำให้อิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลงแทบจะไปไม่ถึงทะเลสาบตอนบน
2) กระแสน้ำเนื่องจากน้ำท่า ในช่วงฤดูฝนช่วงที่ 2 (ตุลาคม-ธันวาคม) น้ำท่าไหลปริมาณมากจากคลองต่างๆจะไหลหลากลงสู่ทะเลสาบ บริเวณปากคลองกระแสน้ำจะไหลแรง แต่ไกลออกไปในทะเลสาบกระแสน้ำจะอ่อนตัวลง และจะไหลแรงขึ้นอีกครั้งบริเวณช่องแคบปากรอที่เชื่อมต่อทะเลสาบตอนกลางและทะเลสาบตอนล่าง
3) กระแสน้ำเนื่องจากลม ทะเลสาบตอนล่าง เป็นทะเลสาบน้ำตื้น หากมีลมแรงพอและพัดอย่างต่อเนื่อง ก็สามารถที่จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำในทะเลสาบแต่ละแห่งได้ แต่จากการสังเกตและตรวจวัดไม่พบว่ามีการไหลเวียนของน้ำเนื่องจากลมอย่างถาวรในทะเลสาบ เนื่องจากลมที่พัดเหนือผิวน้ำไม่แรงและไม่ต่อเนื่องจนเกิดเป็นกระแสน้ำ แต่อิทธิพลของลมตะวันออกเฉียงใต้จะทำให้เกิดคลื่นรุนแรงในทะเลสาบตอนบนโดยเฉพาะช่วงบ่าย

เนื่องจากการสะสมของตะกอนในทะเลสาบสงขลาเกิดจากการตกตะกอนของตะกอนที่แขวนลอยมากับน้ำในทะเลสาบส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งมาจากการที่ตะกอนท้องน้ำที่ถูกพัดพาตามกระแสน้ำมา ดังนั้น กระแสน้ำจึงมีอิทธิพลต่อการสะสมของทะเลสาบ แต่จากข้อมูลข้างต้น พบว่าการสะสมของตะกอนทะเลสาบสงขลาขั้นต้น กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้น-น้ำลงและน้ำท่าในฤดูฝน

ในฤดูแล้ง น้ำในทะเลสาบตอนบนและทะเลน้อยค่อนข้างนิ่ง ในฤดูฝน กระแสน้ำจะเกิดจากน้ำท่าไหลออกจากคลอง ส่วนลมมีผลน้อยมากต่อการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบ ซึ่งย่อมแสดงว่ามีผลต่อการตกตะกอนจากท้องทะเลเข้ามาน้อยมาก

3.2.4 การตกตะกอนและการตื้นเขิน

3.2.4.1 แหล่งที่มาของตะกอน

ปัจจุบันทะเลสาบสงขลาตื้นเขินกว่าในอดีต เนื่องจากการทับถมของตะกอนที่มาจากพื้นที่ลุ่มน้ำโดยรอบ อันที่จริง การตกตะกอนในทะเลสาบเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แต่กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์รอบลุ่มน้ำฯ เป็นตัวการที่ทำให้อัตราการตกตะกอนเพิ่มรวดเร็วขึ้น

ตะกอนที่เข้าสู่ทะเลสาบสงขลา ถูกพัดพามาโดยกระแสน้ำและกระแสลม แต่เนื่องจากเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นเขตที่ลมพัดไม่รุนแรง อีกทั้งผิวดินมีพืชปกคลุม โอกาสที่ลมจะพัดเอาตะกอนปริมาณมากจากบนบกไปตกทับถมในทะเลสาบจึงมีน้อย ตะกอนที่ถูกพาเข้าสู่ทะเลสาบส่วนใหญ่จะมาตามกระแสน้ำในรูปของตะกอนแขวนลอย ซึ่งมีที่มาจาก 3 แหล่งหลัก (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547) คือ

1) ตะกอนจากชายฝั่ง จะพบบริเวณปากทะเลสาบสงขลา เพราะเป็นส่วนที่ติดต่อกับทะเลและได้รับอิทธิพลน้ำขึ้น-น้ำลง ตะกอนทรายเหล่านี้เคลื่อนที่ขนานกับชายฝั่งตามอิทธิพลของกระแสน้ำเลียบชายฝั่ง ส่วนหนึ่งจะถูกพัดพาเข้าสู่ปากทางเข้าทะเลสาบตอนล่าง แต่เข้าไปได้ไม่เกินบริเวณเกาะยอ เนื่องจากกระแสน้ำอ่อนตัวลง
2) ตะกอนที่ถูกชะและไหลมากับน้ำท่า ตะกอนประเภทนี้เป็นองค์ประกอบหลักของตะกอนในทะเลสาบ ในฤดูฝน (ตุลาคม-มกราคม) ปริมาณน้ำท่ามาก กระแสน้ำแรงจึงมีตะกอนไหลลงสู่ทะเลสาบในปริมาณมาก แต่ก็ไหลออกจากทะเลสาบมากเช่นกัน
3) ตะกอนจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ ส่วนของทะเลสาบที่มีตะกอนประเภทนี้มาก คือ ทะเลน้อย ซึ่งมีน้ำตื้น มีพืชต่างๆ ขึ้นหนาแน่นและตายทับถม ทำให้ตะกอนท้องน้ำมีสีดำ เนื่องจากการทับถมและย่อยสลายของซากพืชเหล่านี้ นอกจากนี้บริเวณทะเลสาบตอนกลาง จะมีสาหร่ายน้ำกร่อยหรือตะไคร่น้ำขึ้นหนาแน่น เพราะเป็นบริเวณที่น้ำตื้น เมื่อถึงฤดูฝน น้ำในทะเลสาบตอนกลางจะเป็นน้ำจืด สาหร่ายก็จะตายหมด เหลือแต่รากเหง้า ซากพืชที่ตายก็จะกลายเป็นสารอินทรีย์ทับถมอยู่ในตะกอนท้องน้ำในบริเวณที่เคยเจริญเติบโต บางส่วนก็ถูกชะล้างลงสู่ทะเลสาบตอนล่างและอาจพัดพาออกสู่อ่าวไทย แต่ปริมาณการสะสมของตะกอนประเภทนี้มีไม่มากนัก

3.2.4.2 ปริมาณและอัตราการตกตะกอน

อัตราการตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา ในช่วง พ.ศ. 2488-2538 ซึ่งศึกษาโดยใช้ Cs-137 พบว่า อยู่ในช่วงไม่เกิน10±0.2 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 มิลลิเมตรต่อปี บริเวณซีกบนของทะเลสาบตอนกลางทั้งทางด้านพัทลุงและด้านสงขลามีอัตราการตกตะกอน 6-7 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนบริเวณซีกล่างของทะเลสาบตอนกลางด้านจังหวัดสงขลา (บริเวณคูขุด) มีอัตราการตกตะกอน 7-8 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งสูงกว่าทางฝั่งตะวันตกด้านจังหวัดพัทลุง และทะเลสาบส่วนที่ติดกับช่องแคบปากพะยูนจะมีอัตราการตกตะกอนสูงสุด สำหรับทะเลสาบสงขลาตอนนอก อัตราการตกตะกอนอยู่ที่ 5-7 มิลลิเมตรต่อปี (ธวัช ชิตตระการ และคณะ, 2539; และธวัช ชิตตระการ และคณะ, 2541) ซึ่งอัตราการตกตะกอนดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาล่าสุดโดย ปราโมทย์ โศจิศุภร (2548) ซึ่งคำนวณอัตราการตกตะกอนจากการซ้อนทับแผนที่ความลึกน้ำ 2 ปี คือ พ.ศ. 2518 และ พ.ศ. 2545 และพบว่าพื้นที่ที่มีการทับถมของตะกอน ส่วนใหญ่จะเป็นที่ตื้นเขินทางด้านตะวันตกของทะเลสาบตอนล่าง โดยท้องทะเลสาบตื้นขึ้นประมาณ 30 เซนติเมตร ส่วนบริเวณที่ลึกขึ้นเป็นผลมาจากการปรับปรุงร่องน้ำเดินเรือโดยการขุดลอก และผลจากกระแสน้ำที่ไหลแรงขึ้นเนื่องจากการสร้างท่าเรือน้ำลึกที่บีบปากร่องน้ำสงขลาให้แคบลง

อัตราการตื้นเขินในแต่ละบริเวณของทะเลสาบไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดของอนุภาคที่ถูกพัดพาและความรุนแรงของกระแสน้ำท่า ตะกอนทรายส่วนมากจะตกใกล้กับบริเวณปากคลอง ทำให้ปากคลองตื้นเขินอย่างรวดเร็ว ประมาณ 50% ของตะกอนขนาดทรายแป้ง จะตกในรัศมีไม่เกิน 1 กิโลเมตร รอบปากแม่น้ำ อีกประมาณ 50% จะเจือจางและแพร่ไปกับกระแสน้ำในรัศมีประมาณ 2 กิโลเมตร สำหรับตะกอนขนาดดินเหนียวจะถูกพัดพาและแพร่ไปกับกระแสน้ำ ในฤดูฝนตะกอนดินเหนียวจะถูกพัดพาให้เคลื่อนที่ไปในอัตรา 1 กิโลเมตรต่อวัน ดังนั้นบางส่วนอาจตกตะกอนบริเวณกึ่งกลางทะเลสาบตอนบน ที่เหลือจะเคลื่อนที่ไปจนเข้าสู่ทะเลสาบตอนล่าง ส่วนฤดูแล้งมีแนวโน้มตกตะกอนในทะเลสาบตอนบนจนถึงบริเวณเกาะใหญ่ ซึ่งบริเวณนี้ได้รับอิทธิพลของความเค็ม ตะกอนจึงมีแนวโน้มจะตกตะกอนในลักษณะของ flocculation อย่างไรก็ดีภาวะลมพายุในทะเลสาบที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งตลอดทั้งปี และความลึกที่ค่อนข้างน้อย ทำให้คลื่นลมมีอิทธิพลสูงต่อการก่อความปั่นป่วนของตะกอนที่นอนก้นในน้ำ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย และการแพร่กระจายของตะกอนเป็นระยะไกลมากขึ้น (ปราโมทย์ โศจิศุภร, 2548)

อัตราการตกตะกอนในทะเลสาบขึ้นกับการถ่ายเทตะกอนแขวนลอยระหว่างทะเลสาบกับอ่าวไทยผ่านทางร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบสงขลา ตะกอนจากอ่าวไทยที่เข้ามาในทะเลสาบจะเป็นอนุภาคทราย ส่วนตะกอนจากทะเลสาบสู่ทะเลจะเป็นดินเหนียวเป็นหลัก ปริมาณตะกอนสุทธิที่

ถ่ายเทระหว่างทะเลสาบกับอ่าวไทย ขึ้นกับฤดูกาล ปริมาณน้ำท่า และน้ำขึ้น-น้ำลง ในช่วงฤดูฝนจะมีน้ำท่าออกสู่ทะเล ถึง 2,954 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และตะกอนไหลออกถึง 16,000 ตันต่อวัน ส่วนในฤดูกาลอื่นๆ จะน้ำและตะกอนไหลในแต่ละรอบวันจะมีทั้งการไหลเข้าและไหลออก (ศรัญญา วานิยะพงศ์, 2539; แมน ชุนงาน, 2543; กิติพล คำบุศย์ และคณะ, 2543)

3.2.4.3 สาเหตุของการตื้นเขิน

ทะเลสาบสงขลาเป็นแอ่งบนที่ราบชายฝั่ง มีการสะสมตัวของตะกอนจากแม่น้ำ โดยชายฝั่งตะวันตกของทะเลสาบเป็นเศษหินเชิงเขา ซึ่งเป็นก้อนหินขนาดต่างๆ ที่แตกย่อยมาจากหินระยะแรกกองอยู่อย่างระเกะระกะข้างเชิงเขา เมื่อถึงฤดูน้ำหลาก น้ำจะพัดพากรวด หิน ดิน ทรายมาสะสมตัวบนที่ราบชายฝั่งกลายเป็นตะกอนน้ำพา ตะกอนน้ำพาจะมีการคัดขนาดจนเหลือทรายแป้งและดินเหนียวซึ่งเป็นตะกอนท้องน้ำและรอบทะเลสาบสงขลาในปัจจุบัน ตะกอนจากคลองต่างๆ มาทับถม ทำให้ทะเลสาบตื้นเขินขึ้นเรื่อยๆ โดยในช่วงท้ายๆ อัตราการตื้นเขินจะทวีความรวดเร็วขึ้น หากปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติ ในอนาคตทะเลสาบจะตื้นเขินจนกลายเป็นพรุ และเป็นแผ่นดินในที่สุด การที่ทะเลสาบจะคงความเป็นทะเลสาบอยู่ได้นานเท่าไหร่นั้น ขึ้นอยู่กับอัตราการทับถมของตะกอนที่ท้องทะเลสาบ ตะกอนขนาดอนุภาคต่างๆ ที่ทับถม ส่วนใหญ่จะมาจากตะกอนที่ไหลเข้ามากับน้ำท่า และมีส่วนน้อยที่มาจากการที่พืชน้ำที่ตายและทับถมอยู่ที่ก้นทะเลสาบ (ปราโมทย์ โศจิศุภร, 2548)

ดังนั้น สาเหตุการตื้นเขินที่สำคัญ คือ ตะกอนจากคลองที่ไหลลงสู่ทะเลสาบ ประจวบกับกระแสน้ำในทะเลสาบตอนบน และทะเลสาบตอนกลางโดยทั่วไปมีความเร็วอ่อนมาก (ยกเว้นบริเวณปากรอ) เพราะไม่ได้รับอิทธิพลน้ำขึ้น-น้ำลง อย่างไรก็ดี ทะเลสาบตอนบนเป็นพื้นน้ำเปิดบริเวณกว้าง มีคลื่นในช่วงบ่ายกวนให้ตะกอนแขวนลอยฟุ้งกระจายอยู่ได้ นอกจากนี้ คลื่นยังทำให้ชายฝั่งตอนบนและซ้ายบนของทะเลสาบตอนบนถูกกัดเซาะไปด้วย แต่ในทะเลสาบตอนกลางมีเกาะขวางกั้นอิทธิพลของคลื่นไม่รุนแรง ทำให้อนุภาคทรายแป้งและดินเหนียวสามารถตกตะกอนได้มาก การแผ้วถางป่าเพื่อทำไร่และการเปิดหน้าดินจะทำให้ตะกอนแขวนลอยไหลไปกับน้ำท่าสู่ทะเลสาบได้มากขึ้น ตัวเร่งการลดขนาดของทะเลสาบที่สำคัญ คือ การถมที่ล้ำเข้าไปในทะเลสาบในบริเวณที่ชายฝั่งเกิดการตื้นเขินซึ่งปรากฏให้เห็นอยู่บ่อยๆ ในทางกลับกัน การสร้างเขื่อนหรือฝายน้ำล้นเป็นการดักตะกอนไม่ให้ไหลลงสู่ทะเลสาบ จึงเป็นการช่วยลดการตื้นเขินในทะเลสาบได้เป็นอย่างมาก (ธวัช ชิตตระการ และคณะ, 2541; ปราโมทย์ โศจิศุภร, 2548)

บริเวณที่สภาพความตื้นเขินรุนแรง จนทำให้ทะเลสาบเริ่มกลายเป็นพรุและแผ่นดิน คือ ทะเลน้อย การถางป่าในพรุควนเคร็ง ทำให้เกิดการชะล้างหน้าดินได้ง่าย ส่งผลให้ตะกอนไหลลงสู่

ทะเลน้อยได้มากขึ้น นอกจากนี้ ต้นกก บัว ผักตบชวา หรือหญ้าที่ขึ้นในทะเลน้อยยิ่งดักตะกอนทำให้ตื้นเขินได้เร็วขึ้น ทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง ตั้งแต่ใต้ทะเลน้อยลงมาจนถึงปากรอ ก็มีความตื้นเขินเช่นกัน ในบางฤดูจะมีพืชน้ำปกคลุมท้องน้ำ ซึ่งจะเร่งให้มีการตกตะกอนมากขึ้น (ยิ่งในช่วง 2-3 ปีหลังนี้ ที่เกิดการแพร่กระจายของสายหนามจนเต็มทะเลสาบตอนกลาง) สำหรับทะเลสาบตอนกลางนั้น จะมีพื้นที่ตื้นเขินขนาดใหญ่ ครอบคลุมเนื้อที่กว่าครึ่งหนึ่งของทะเลสาบตอนกลางด้านตะวันตก (ปราโมทย์ โศจิศุภร, 2548)

3.3 รูปแบบทางเคมีของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

3.3.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนในแหล่งน้ำ จำแนกตามลักษณะทางกายภาพเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ละลายน้ำ และรูปแบบที่ตรึงอยู่กับอนุภาค

3.3.1.1 ไนโตรเจนในส่วนที่ละลายน้ำ

ไนโตรเจนที่ละลายน้ำมีทั้งรูปแบบที่เป็นอินทรีย์และที่เป็นอนินทรีย์ อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ ได้แก่ ไนเตรต (NO_3^-), ไนไตรต์ (NO_2^-) และแอมโมเนีย (NH_3 หรือ NH_4^+ ขึ้นกับอุณหภูมิและ pH ของน้ำ) ส่วนอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำ ได้แก่ กรดอะมิโนต่างๆ (มนุวดี หังสพฤกษ์, 2532) แอมโมเนีย เกิดจากการย่อยสลายยูเรียและสารอินทรีย์ แพลงก์ตอนพืชใช้แอมโมเนียเพื่อสร้างโปรตีน (กรดอะมิโน) ในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (nitrification) แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ ไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต โดย nitrosomonas bacteria และ nitrobacter bacteria ตามลำดับ (Lawson, 1995; Boyd and Tucker, 1998) ดังสมการ 1 และ 2

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\text{nitrosomonas bacteria}} 2NO_2^- + H_2O + 4H^+ \qquad (1)$$

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{oxidation}} 2NO_3^- \qquad (2)$$

เนื่องจากไนไตรต์ เป็นอินเตอร์มีเดียท (intermediate) ในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น โดยทั่วไปจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรตอย่างรวดเร็ว ในแหล่งน้ำจึงมักพบไนไตรต์ที่ความเข้มข้นต่ำ (<0.007 mg-N/l) แต่ในบางสภาวะหากอัตราการออกซิไดซ์ของแอมโมเนียเร็วกว่าอัตราการออกซิไดซ์ไนไตรต์ไปเป็นไนเตรต ก็จะเกิดการสะสมไนไตรต์ขึ้นได้ นอกจากนี้แหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียจะพบไนไตรต์ในความเข้มข้นที่สูงกว่าแหล่งน้ำทั่วไป (Lawson, 1995)

ไนเตรต เป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชั่น และเป็นตัวกระตุ้นการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ความเข้มข้นของไนเตรตในแหล่งน้ำทั่วไป จะมีค่าต่ำ เฉลี่ยประมาณ 0.05 mg-N/l แต่แหล่งน้ำที่รองรับน้ำทิ้งจากชุมชนหรือการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาจมี ไนเตรตสูงถึง 0.30 mg-N/l (Lawson, 1995) ดังนั้น ในแหล่งน้ำทั่วไปที่มีออกซิเจนละลายอยู่ รูปแบบที่ละลายน้ำและคงตัว คือ ไนเตรต ส่วนแอมโมเนียจะมีความคงตัวน้อยกว่า เมื่อมีออกซิเจน แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต ตามลำดับ ในทางตรงข้าม ถ้าขาดออกซิเจน ไนเตรตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นไนไตรต์และแอมโมเนีย (มนุวดี หังสพฤกษ์, 2532)

3.3.1.2 ไนโตรเจนที่ตรึงอยู่กับอนุภาค

ไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนในรูปอนุภาคนี้ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนสะสมในตะกอนท้องน้ำ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ รวมทั้งแบคทีเรีย สารประกอบไนโตรเจนกลุ่มนี้เป็นไนโตรเจนอินทรีย์ เมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลชีพในน้ำและจะปลดปล่อยแอมโมเนีย ดังสมการ 3 (Bender *et al.*, 1977)

$$\text{organic matter} \xrightarrow{\text{bacteria, ammonification}} NH_3 \text{ or } NH_4^+ \qquad (3)$$

3.3.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำจำแนกตามลักษณะทางกายภาพได้ 2 รูปแบบ คือ ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ และฟอสฟอรัสที่ตรึงอยู่กับอนุภาค ฟอสฟอรัสที่ตรึงอยู่กับอนุภาค ได้แก่ ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต ซึ่งฟอสฟอรัสในรูปอนุภาคนี้ ส่วนหนึ่งจะตกตะกอน อีกส่วนหนึ่งจะเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ รวมทั้งแบคทีเรียเช่นเดียวกับไนโตรเจน

ฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำได้จากการชะล้างเปลือกโลกในรูปของแร่ฟอสเฟต ทั้งในส่วนที่ละลายน้ำได้และส่วนที่เป็นเศษชิ้นเล็กๆ ปุ๋ยฟอสเฟต และจากน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงาน ฟอสเฟตที่มาจากน้ำทิ้งน้ำเสียมักจะอยู่ในรูปโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) และเมื่อเวลาผ่านไป จะเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เปลี่ยนให้เป็นออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) รูปแบบทางเคมีของฟอสเฟตในแหล่งน้ำขึ้นอยู่กับค่า pH ที่ pH ต่ำกว่า 6 ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ เป็นส่วนใหญ่ ขณะที่pH ระหว่าง 7-11 รูปแบบเคมีหลักจะเป็น HPO_4^{2-} (Lawson, 1995)

รูปแบบทางเคมีของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ จำแนกจากความแตกต่างจากการทำปฏิกิริยากับโมลิบเดต (molybdate) ความยากง่ายต่อการถูกไฮโดรไลซ์ และขนาดอนุภาค ได้ 8 รูปแบบ (Strickland and Parsons, 1972; Stumm and Morgan, 1996) ดังนี้

1. สารละลายอนินทรีย์ที่ว่องไว (Inorganic soluble and reactive) มีความว่องไวทางเคมี รวมเรียกว่าออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ PO_4^{3-}, HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$ สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำได้ดี และเป็นฟอสฟอรัสที่แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
2. สารละลายอินทรีย์ที่ว่องไว (Organic soluble and reactive) คือ ฟอสฟอรัสที่เกาะรวมกับสารอินทรีย์ แต่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่าย พวกนี้จะทำปฏิกิริยากับโมลิบเดตในสภาวะกรดได้ภายใน 5 นาที
3. สารละลายอินทรีย์ที่ไม่ว่องไว (Organic soluble and unreactive) คือ ฟอสฟอรัสที่เกาะกับสารอินทรีย์ แต่ไม่สามารถถูกไฮโดรไลซ์ พวกนี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับโมลิบเดตในสภาวะกรด ส่วนใหญ่เป็นพวกกรดนิวคลีอิก (nucleic acid)
4. เอนไซม์ไฮโดรไลเซเบิลฟอสเฟต (Enzyme hydrolyzable phosphate) คือ ฟอสเฟตที่ง่ายต่อการถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ อัลคาไลน์โมโนเอสเทอเรส (alkaline mono-esterase) ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลฟอสเฟต และชิ้นส่วนของอนินทรีย์ฟอสเฟตชนิดเส้นตรง (linear inorganic phosphate)
5. โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) คือ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปโพลีเมอร์ ประกอบด้วยพันธะฟอสเฟต (phosphate linkage) ทั้งแบบอนินทรีย์และอินทรีย์ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นอนินทรีย์โพลีฟอสเฟต โพลีฟอสเฟตพบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือน โดยเฉพาะบริเวณที่มีการปนเปื้อนจากผงซักฟอก อนินทรีย์โพลีฟอสเฟตสามารถเปลี่ยนมาเป็นออร์โธฟอสเฟตได้โดยกระบวนการไฮโดรไลซิส
6. อนุภาคอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ว่องไว (Inorganic particulate and unreactive phos-phorus) คือ ฟอสฟอรัสในสารแขวนลอย เป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ตรึงอยู่กับอนุภาค พวกนี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับโมลิบเดตในสภาวะกรดภายใน 5 นาที
7. อนุภาคอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ว่องไว (Organic particulate and unreactive phos-phorus) คือ ฟอสฟอรัสในตะกอนแขวนลอยซึ่งตรึงอยู่กับอนุภาคอินทรีย์ ไม่ทำปฏิกิริยากับโมลิบเดตในสภาวะกรดภายใน 5 นาที พบในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต เศษดิน หิน และทราย
8. อนุภาคฟอสฟอรัสที่ว่องไว (Particulate reactive phosphorus) คือ ฟอสฟอรัสอนินทรีย์และอินทรีย์ที่ถูกดูดซับอยู่บนอนุภาค สามารถเกิดปฏิกิริยากับโมลิบเดตในสภาวะกรดได้ภายใน 5 นาที ส่วนใหญ่จะเป็นอนินทรีย์ ได้แก่ เฟอริคฟอสเฟต (ferric phosphate) และฟอสเฟตตัวอื่นๆ ที่ได้จากเซลล์พืช

3.4 การสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนดิน

ในตะกอนแต่ละแหล่งมีไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด คาร์บอนทั้งหมด ซัลเฟอร์ทั้งหมด และสารอินทรีย์สะสมในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตาราง1-1) ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดน้ำจากธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์รอบแหล่งน้ำนั้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับกระบวนการทางธรณีเคมี และชีวภาพที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ ซึ่งได้มีการรายงานผลจากแหล่งต่าง ๆ และในพื้นที่การศึกษา

ตาราง 1-1 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน สารอินทรีย์ คาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และซัลเฟอร์ทั้งหมด ในตะกอนจากบริเวณต่าง ๆ

พื้นที่ศึกษา	OC (%)	OM (%)	TC (%)	TN (%)	TP(%)	TS (%)	อ้างอิง
ทะเลสาบสงขลาตอนนอก	-	0.257-4.203	-		0.005-0.017	-	[1]
ทะเลสาบสงขลาตอนนอก	-	0.57-1.87	-	0.025-0.118	-	-	[2]
ส่วนล่างทะเลสาบสงขลาตอนกลาง กุมภาพันธ์. 2543 เมษายน 2543	 0.56 0.38-3.71	 0.97 0.70-6.3	 - -	 0.060 0.009-0.402	 - -	 - -	[3]&[4]
ทะเลสาบสงขลาตอนกลางและนอก	0.42-3.50	-	-	-	-	-	[5]
ทะเลสาบสงขลาตอนกลางและนอก	-	4.70-11.50	-	0.007-0.114	0.005-0.01	-	[6]
ทะเลน้อยและทะเลสาบสงขลาตอนกลาง	-	0.24-37.67	-	0.02-0.69	0.002-0.072	-	[7]
ทะเลน้อย	-	9.81	-	0.49	-	-	[8]
บึงมักกะสัน	-	-	-	0.14-0.26	0.048-0.076	-	[9]
ลุ่มน้ำแม่กลอง	-	2.20-5.46	-	-	-	-	[10]
อ่าวไทย ใกล้ฝั่ง ห่างฝั่ง	-	8.19 7.32	- -	- -	- -	- -	[11]
Atchafalaya River (Mexico)	1.40-1.90	-	-	0.17-0.22	-	-	[12]
Yuehu inlet system (China)	1.85-3.35	-	-	-	-	-	[13]
Pearl River Delta (South China)	0.30-5.00	-	0.3-2.03	0.06-0.64	0.02-0.12	0.03-0.23	[14]
Rias Baixas (NW Spain)	11.04	18.30	-	0.64	0.28	-	[15]
Pomeranian Bay (Poland)	-	-	-	-	0.21-2.41	-	[16]
Altata-Ensenada del Pabellon, lagoon complex, northwestern Mexico	-	-	-	0.04-0.29	-	-	[17]
Southport Broadwater, Australia	-	-	-	0.00-0.19	0.001-0.049	-	[18]
River and Lake, China	-	-	-	-	0.034-0.088	-	[19]
Lagoon of Venice	-	-	-	-	0.024-0.058	-	[20]
Arabian Gulf	-	-	0.14-0.96	-	-	-	[21]

ตาราง 1-1 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษา	OC (%)	OM (%)	TC (%)	TN (%)	TP(%)	TS (%)	อ้างอิง
Futian mangrove forest	-	-	0.4-4.5	-	-	-	[22]
Uatuba Bay	-	-	-	-	-	0.01-0.48	[23]
Szczecin Lagoon and the Gdanks Basin, Poland	-	-	-	-	-	0.41-0.96	[24]

อ้างอิง

[1] เพิ่มศักดิ์ เพิ่งมาก (2531) (OM = Walkey-Black method, TP = ย่อยด้วย HNO_3)

[2] กานดา เรืองหนู (2543) (OM = Walkey-Black method, TN = Kjeldahl)

[3] อำนาจ ศิริเพชร (2543) (OC และ OM = Walkey-Black method, TN = Kjeldahl)

[4] มงคลรัตน์ เจริญพรทิพย์ (2544) (OC และ OM = Walkey-Black method, TN = Kjeldahl)

[5] เพราพรรณ แสงสกุล (2528) (OM = Walkey-Black method,)

[6] ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์ (2540)(OM = Walkey-Black method, TN = Kjeldahl, TP = ย่อยด้วย($HClO_4$)

[7] สมศักดิ์ มณีพงศ์ และสุภาพร รักเขียว (2541) (OM = Ignition method, TN = Kjeldahl method, TP = ย่อยด้วย HNO_3 + $HClO_4$)

[8] จุติพร สิวายะวิโรจน์ (2543) (OM = Walkey-Black method, TN = Kjeldahl)

[9] ธีรพล นนทแก้ว (2534) (TN= Kjeldahl method, TP = ย่อยด้วย HNO_3 และ $HClO_4$)

[10] รัชนีกรณ์ ศิริพรกิตติ (2534) (OM = Walkey-Black method)

[11] กฤษฎา หน่อเนื้อ (2541) (OM = Ignition loss method)

[12] Gordon *et al.* (2001) (Perkin Elmer 2400 Elemental Analyzer)

[13] Jia *et al*. (2003) (Perkin Elmer 2400 series II CHNS/O Analyzer)

[14] Cheung *et al*. (2003) (Perkin Elmer 2400 series II CHNS/O Analyzer)

[15] Villares and Carballeira (2003) (TC และ TN = LECO CHN 1000 elemental Analyzer, TP = ย่อยด้วย 2N HCl, OM = Ignition method)

[16] Frankowski *et al*. (2002) (TP = Molybdenum yellow method)

[17] Fernandez *et al*. (2002) (TN= Kjeldahl method)

[18] Burton *et al.* (2004) (TN และ TP = flow injection analysis)

[19] Kim *et al*. (2003) (TP= Molybdenum yellow method)

[20] Sfriso *et al*.(1995) (TP= Molybdenum blue method)

[21] Abachi *et al*.(1988)

[22] Tam *et al.*(1995) (CHN Analyser)

[23] Burone *et al.*(2003) (LECO CNS 2000 Analyzer)

[24] Glasby *et al*. (2004) (Perkin Elmer 2400 series II CHNS/O Analyzer)