



บทที่ 1

บทนำ

มลภาวะทางน้ำเป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และยังสามารถส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ พืช ที่ใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ของชีวิตได้อีกด้วย ชุมชน กิจกรรมการเกษตร และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นแหล่งก่อกำเนิดมลภาวะทางน้ำที่มีได้เป็นไปเนื่องจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ ของเสียจากกิจกรรมที่กล่าวมาแล้วและที่ลงสู่แหล่งน้ำมีหลายชนิดโดยขึ้นกับประเภทของกิจกรรมนั้น ๆ ในประเทศไทยปัญหามลภาวะทางน้ำส่วนใหญ่ ถือได้ว่าเป็นผลมาจากของเสียที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งชุมชน (ไมตรี ดวงสวัสดิ์, 2526) ซึ่งนอกจากก่อให้เกิดการเน่าเสียและทำให้น้ำขาดออกซิเจนแล้ว น้ำเสียจากบ้านเรือนยังมีสารประกอบอื่นๆ ที่สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพของน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำด้วย เช่น ผงซักฟอก (Detergent) ซึ่งเป็นที่ทราบกันแล้วว่าก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทางน้ำในหลายประเทศ เช่น การทำให้เกิดฟองในแหล่งน้ำและระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งการตกค้างเจือปนในสิ่งแวดล้อม

ในประเทศไทยมีการเพิ่มปริมาณการใช้ผงซักฟอกจาก 39,415 ตัน ในปี 2515 เป็น 53,632 ตันในปี 2520 และ 83,728 ตันในปี 2525 แนวโน้มของความต้องการใช้ผงซักฟอกจะเพิ่มขึ้น จนมีปริมาณถึง 110,591 ตัน ในปี 2530 (ปริดา ฉันทะกุล, 2527) การเพิ่มปริมาณการใช้ผงซักฟอกอย่างรวดเร็ว ประกอบกับมาตรการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดแรงตึงผิวในผงซักฟอก ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2527 ทำให้ปัญหาเรื่องผงซักฟอกกับสิ่งแวดล้อมทางน้ำเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวาง การศึกษาผลกระทบของผงซักฟอกต่อแหล่งน้ำ หรือสิ่งมีชีวิตในน้ำภายในประเทศเท่าที่ปรากฏจะเน้นเฉพาะบริเวณแหล่งน้ำจืด แต่ในสภาพธรรมชาติบริเวณปากแม่น้ำอันเป็นน้ำกร่อยและบริเวณอ่าวไทยตอนบน อาจได้รับผลกระทบจากมลภาวะที่เกิดจากผงซักฟอกได้เช่นเดียวกัน เนื่องมาจากบริเวณดังกล่าวเป็นที่รองรับน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง จากแหล่งชุมชน แหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมชายฝั่ง ปัญหาน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนส่วนใหญ่จะเป็นผลจากน้ำที่ใช้ในการทำ ความสะอาดหรือการซักล้าง ซึ่งจะมีสารที่ใช้ในการทำ ความสะอาดคือผงซักฟอกเจือปนอยู่ น้ำทิ้งที่มีผงซักฟอกละลายอยู่นี้จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ไมตรี ดวงสวัสดิ์ (2526) ได้รายงานว่าสารลดแรงตึงผิวซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผงซักฟอกเป็น

ตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดพิษแก่สัตว์น้ำ นอกจากนี้ความต้องการใช้ผงซักฟอกที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการผลิตและการใช้สารลดแรงตึงผิวในอุตสาหกรรม รวมทั้งการนำเข้าของวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นที่ใช้ผลิตสารลดแรงตึงผิวจะเพิ่มขึ้นด้วย

รายงานนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาผลกระทบของสารเคมีที่เป็นวัตถุดิบ หรือสารตั้งต้นของการผลิตสารลดแรงตึงผิวและผงซักฟอกซึ่งได้แก่สารพวก Alkylbenzene sulphonic ที่ได้รับมาจากตัวแทนจำหน่ายสารเคมีในอุตสาหกรรมและโรงงานผลิตผงซักฟอก โดยผ่านทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ส่วนสัตว์ทดลองที่ใช้ในการศึกษาควรเป็นสัตว์น้ำที่พบในประเทศไทย โดยเฉพาะสัตว์ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้หรือสามารถพบได้ในน้ำกร่อย

วัตถุประสงค์

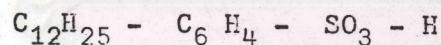
1. ศึกษาและเปรียบเทียบความเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน (Acute toxicity) ของสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิว ABS (Branched alkylbenzene sulphonic acid, ABS- ACID) และสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิว LAS (Linear alkylbenzene sulphonic acid, LAS ACID) ต่อลูกปลานิล (Tilapia nilotica Linn) ที่ความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน
2. ศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มต่อความเป็นพิษเฉียบพลันของสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด
3. ศึกษาและเปรียบเทียบความเป็นพิษของสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิว ABS และ LAS ในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ต่อเนื้อเยื่อเหงือกของลูกปลานิล
4. ประเมินระดับความเข้มข้นของสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิว ABS และ LAS ที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อลูกปลานิล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับอิทธิพลแบบเฉียบพลัน และแบบสะสมของ สารตั้งต้นของ สารลดแรงตึงผิวต่อลูกปลานิลในน้ำกร่อย
2. ทราบถึงระดับความเข้มข้นของสารตั้งต้นของสาร ABS และ LAS ที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะหายใจและชีวิตของลูกปลานิล
3. ทราบถึงอิทธิพลของความเค็มต่อความเป็นพิษของสารตั้งต้นของ สารลดแรงตึงผิว
4. ใช้ประกอบการประมาณค่าความเข้มข้นที่ปลอดภัย (Safety Concentration) ของสารตั้งต้นของ สารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดต่อลูกปลานิล

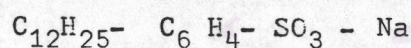
ประวัติความเป็นมา

จากการสำรวจเอกสารพบว่ารายงานเกี่ยวกับอิทธิพล หรือผลกระทบของสารตั้งต้นในการผลิตสารลดแรงตึงผิวมีน้อยมาก แต่เมื่อพิจารณาสูตร โครงสร้างอย่างง่ายของสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิวพวก Dodecylbenzene sulphonic acid ที่ใช้ในการทดลองจะเขียนได้ดังนี้



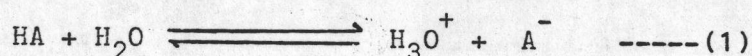
หรืออาจเขียนสั้น ๆ ว่า "HA" โดยให้ "A" แทนกลุ่ม " $C_{12} H_{25} - C_6 H_4 - SO_3$ "

ส่วนสารลดแรงตึงผิวนั้นจะอยู่ในรูปของ Sodium dodecylbenzene sulphonate ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น

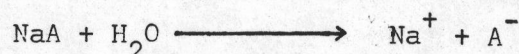


หรืออาจใช้สัญลักษณ์ "NaA" แทนได้เช่นเดียวกัน

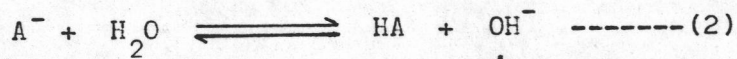
เมื่อสารทั้งสองประเภทละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว เนื่องจาก HA เป็นกรดอ่อน สมการทางเคมีอย่างง่าย ๆ ที่ใช้เขียนแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็น



ส่วนการแตกตัวของเกลือ NaA นั้น จะเกิดได้สมมูลดังสมการ



จากนั้นไอออน A^- จะเกิดปฏิกิริยากับน้ำ



จากสมการที่ (1) และ (2) แสดงให้เห็นว่าเมื่อสารลดแรงตึงผิว และสารตั้งต้นของมันอยู่ในสภาพสารละลายจะพบไอออน A^- อยู่ในสารละลายเช่นเดียวกัน ไอออน A^- ดังกล่าวคือ กลุ่ม " $C_{12}H_{25}-C_6H_4-SO_3^-$ " ซึ่งเป็นส่วนที่จะไปทำปฏิกิริยากับพื้นผิวที่มันสัมผัสนั่นเอง

เนื่องจากเอกสารรายงานเรื่องสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิวมีน้อยมาก ประกอบกับปฏิกิริยาหรือการกระทำของสารลดแรงตึงผิว และสารตั้งต้นจะเกิดจากส่วนของโมเลกุลส่วนเดียวกัน จึงใช้การตรวจสอบเอกสารเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิวสำหรับประกอบการศึกษาในครั้งนี้อย่างถี่ถ้วนเกี่ยวกับสารตั้งต้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลอง

ผงซักฟอกและสารลดแรงตึงผิว

ผงซักฟอก (Detergent) หมายถึง ผงซึ่งสามารถช่วยในการซักฟอกให้ดีขึ้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2526) ทั้งนี้ Task Group Report (1944) ได้อ้างถึง MeCutcheon ในปี 1952 ว่า ผงซักฟอกคือสารประกอบทางเคมีซึ่งมีคุณสมบัติของการทำความสะอาด และอ้างรายงานของ Larson ในปี 1949 ว่า ผงซักฟอกที่ดีต้องมีลักษณะดังนี้

1. สามารถละลายน้ำได้
2. มีความสามารถในการทำให้เปียก
3. สามารถทำให้เกิดการกระจายตัวของสิ่งสกปรก
4. ทำให้สิ่งสกปรกหรือหยดน้ำมันแขวนลอยอยู่ในน้ำ

รายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบ รวมทั้งคุณลักษณะทางเคมีและชีวภาพของผงซักฟอกได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก และข ตามลำดับ

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant หรือ Surface active agent) เป็นองค์ประกอบสำคัญของผงซักฟอก หมายถึง สารเคมีที่ไปลดแรงตึงผิวของสิ่งต่าง ๆ หรือไปทำให้พื้นผิวของสิ่งที่มีมันไปถูกมีความไวต่อการสัมผัส โดยสารเคมีดังกล่าวจะมีคุณสมบัติของการละลายทั้งในน้ำและตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ การทำให้พื้นผิวที่มันสัมผัสเปียก การกระจายตัวของ

อนุภาคหรือสารรวมทั้งการแขวนลอยของสารหรือสิ่งสกปรก สารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยโครงสร้าง สองส่วนคือ ส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ (Hydrophilic group) และส่วนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในน้ำมันหรือไขมัน (Hydrophobic group) คุณสมบัติของการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ของสารลดแรงตึงผิวในน้ำเป็นตัวแบ่งสารประกอบนี้ออกเป็น 5 ประเภท (สวัณน์ ทรัพย์ะประภา, 2524 และ Llenado and Jamieson, 1981) คือ

1. พวกที่มีประจุลบ (Anionic surfactants) มีส่วนของโมเลกุลที่ละลายน้ำได้เป็นประจุลบ ได้แก่ สบู (R-COO⁻) Alkyl sulphate (R-O-SO⁻) Alkyl benzene sulphate (R-O-SO₃⁻) เป็นต้น

2. กลุ่มที่ไม่มีประจุไฟฟ้า (Non-ionic surfactants) ซึ่งส่วนของโมเลกุลที่ละลายน้ำได้จะไม่มีประจุ แต่สามารถดึงดูบน้ำทำให้ละลายน้ำได้ เช่น Alcohol ethoxylates (R-(OC₂H₄)_n-OH)

3. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic surfactants) มีส่วนของโมเลกุลที่ละลายน้ำได้เป็นประจุบวก ได้แก่ Amine salt เช่น Alkyl trimethyl ammonium halides (R-N⁺-(CH₃)₃)

4. กลุ่มที่มีทั้งสองประจุ (Amphoteric surfactants) ส่วนของโมเลกุลที่ละลายน้ำอาจเป็นได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ ขึ้นกับความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย ได้แก่ Alkyl betain (R-N⁺CH₂-COO⁻-(CH₃)₂) เป็นต้น

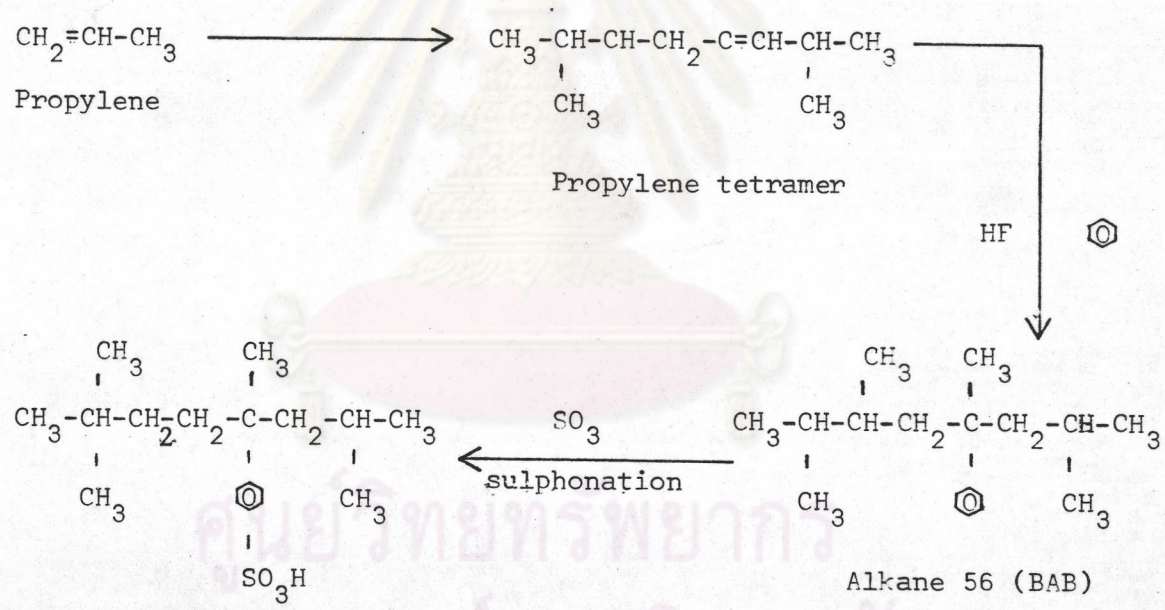
5. กลุ่มที่เป็น Semipolar surfactants ได้แก่ พวกที่ประจุถูกเหนี่ยวนำให้เกิดโดยวิธีการบางอย่าง

สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบเป็นสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีการผลิตประมาณร้อยละแปดสิบของการผลิตสารลดแรงตึงผิวทั่วโลก (Llenado and Jamieson, 1981) ในประเทศไทยสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบของผงซักฟอก คือ อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (R-O-SO₃Na) โดยเฉพาะ Dodecylbenzene sulphonate (C₁₂H₂₅-SO₃Na) ซึ่งเป็นเกลือของ Dodecylbenzene sulphonic acid (C₁₂H₂₅-SO₃H) สารลดแรงตึงผิวพวกนี้สามารถแบ่งตามลักษณะสูตรโครงสร้างออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบเส้นตรงและแบบเป็นกิ่ง (Linear and branch chain) แต่เดิมมีการใช้อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตแบบเป็นกิ่ง (ABS, Branched alkylbenzene sulphonate) จนถึง พ.ศ. 2526 ได้มีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมให้ใช้อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตแบบเส้นตรง (LAS,

Linear alkylbenzene sulphonate แทน โดยกำหนดให้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือน มีนาคม 2527 เนื่องจากพวกที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรงจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ง่ายกว่าพวกที่มีโครงสร้างแบบกิ่งและสามารถถูกกำจัดได้เกือบหมด เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอและไม่มีสารอาหารชนิดอื่นในน้ำ (ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2526)

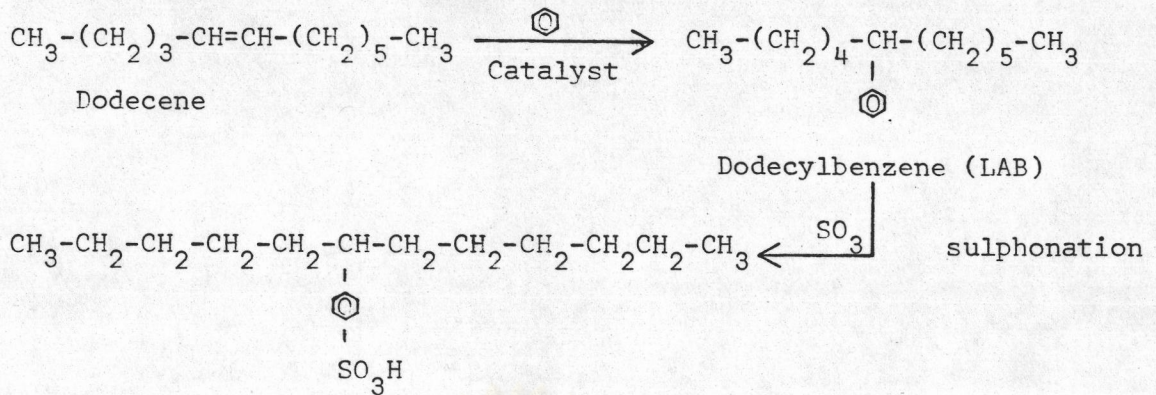
ดังที่กล่าวมาแล้วว่าสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้กันมากคือ Dodecylbenzene sulphonate ซึ่งได้มาจากปฏิกิริยาสะเทินของ Dodecylbenzene sulphonic acid กับ NaOH ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ผลิต Dodecylbenzene sulphonic acid นั้นจะแตกต่างกันตามลักษณะสูตรโครงสร้างของ Dodecylbenzene sulphonic acid ดังนี้ (ประสาน เลอไกรสิทธิ์, 2526)

1. การผลิตBranched dodecylbenzene sulphonic acid (ABS-ACID) จะเริ่มต้นจาก Propylene ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการแตกตัวของน้ำมัน ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



Branched dodecylbenzene sulphonate acid(ABS-ACID)

2. Linear dodecylbenzene sulphonic acid (LAS-ACID) เตรียม จาก Dodecene ซึ่งผลิตจาก Kerosene หรือน้ำมันก๊าดที่เป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันตามขั้นตอนต่าง ๆ คือ



Linear dodecylbenzene sulphonic acid (LAS-ACID)

เมื่อพิจารณาถึงสารตั้งต้นในการผลิตสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด จะพบว่าโครงสร้างกลุ่มที่สำคัญและเป็นส่วนที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการสัมผัสกับพื้นผิวหรือวัสดุต่าง ๆ คือ ส่วนของโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ (Hydrophobic part of surfactant) ซึ่งได้แก่พวก Alkylbenzene คือ Alkanes 56 (BAB) ในกรณีของ ABS-ACID หรือ ABS และ Dodecylbenzene (LAB) ในกรณีที่ใช้ LAS-ACID หรือ LAS ตามลำดับ

ผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ

Marchetti (1965) ได้อ้างถึง Renn and Barada ในปี 1961 และ Part and Giraud ในปี 1964 ว่าสารลดแรงตึงผิวปริมาณต่ำ เช่น 0.3 หรือ 0.5 มก./ล. (mg/l) สามารถทำให้เกิดฟองในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ Marchetti (1965) ได้กล่าวตามรายงานของ Holroyd and Parker ในปี 1952 และ Lynk and Sawyer ในปี 1954 ว่า ฟองและสารลดแรงตึงผิวที่ละลายในน้ำจะรบกวนการให้อากาศหรือการละลายของออกซิเจนในน้ำ ซึ่งมีผลเสียต่อการรวมตัวและการตกตะกอนของสิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดแหล่งน้ำในแง่ชีวภาพลดลง อย่างไรก็ตามการเกิดฟองมีผลให้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวลดลงและฟองไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรง สารลดแรงตึงผิวปริมาณสูงในแหล่งน้ำจะมีผลให้เกิดการเพิ่มความเป็นพิษของสารชนิดอื่น ๆ หรือลดความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ดังที่ Kent and Hooper (1966) ได้รายงานว่า ผลผลิตเบื้องต้นของทะเลสาบมิชิแกนและลำธาร อาจลดลงเนื่องจากการปนเปื้อนของอัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตแบบเป็นกิ่ง (ABS) ซึ่งมีผลต่อการขนย้ายออกของเหล็กและโลหะอื่นที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ

Okubo (1972) รายงานการสะสมของอัลคิลเบนซิลซิลโฟเนตในอ่าวโตเกียว และบริเวณใกล้เคียงว่ามีค่าเฉลี่ย 0.05 และ 0.03 ส่วนในล้านส่วน (ppm or mg/l) สำหรับน้ำที่ผิวและน้ำหน้าดินตามลำดับ ส่วนอัลคิลเบนซินที่สะสมในโคลนตะกอนมีค่าเฉลี่ย 1.81 มก./ล. ของน้ำหนักเปียก ในประเทศไทย Department of Biology, Mahidol University (1984) ได้ทำการศึกษาระดับน้ำเจ้าพระยาตอนล่างตั้งแต่คลองสรรพสามิต (กิโลเมตรที่ 8 จากปากแม่น้ำ) ถึงกิโลเมตรที่ 28 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวในน้ำและดินตะกอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 และ 23.96 มก./ล. ตามลำดับ ต่อมา Onodera (1984) ได้ทำการศึกษาระดับน้ำเจ้าพระยาตอนล่างตั้งแต่บริเวณพระสมุทรเจดีย์ (10 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ) ถึงโรงงานกระดาษบางปะอิน (กิโลเมตรที่ 131.1 จากปากแม่น้ำ) และรายงานค่าเฉลี่ยของสารลดแรงตึงผิวในคลองตลอดบริเวณที่ทำการศึกษากับ 0.045 มก./ล. ในขณะที่ค่าเฉลี่ยในดินมีค่าเป็น 14.23 มก./ล. บริษัทซีเทคอินเตอร์เนชั่นแนลและบริษัทธรณีเทค จำกัด (2527) ได้รายงานถึงปริมาณสารลดแรงตึงผิวประจุลบในรูปของ Methylene blue active substance ที่สะสมในแหล่งน้ำและดินตะกอน ดังแสดงเปรียบเทียบของ ผกา อุดมณีกุล (2527) ไว้ในตารางที่ 1

การสลายตัวของสารลดแรงตึงผิว ABS และ LAS

สารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในน้ำ การสลายตัวทางชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นลำดับแรกคือ ขบวนการคาร์บอกซิเลชันที่กลุ่มของเมทิล (Methyl group) ตรงปลายของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว จากนั้นจะเกิดจากแยกของคาร์บอนอะตอมที่จับคู่กันใน Alkyl chain จนเหลือแต่เบนซีน (Benzene ring) และสายของคาร์บอนสั้น ๆ เมื่อการสลายตัวทางชีวภาพของสารลดแรงตึงผิวเกิดอย่างสมบูรณ์ของเบนซีนและสายคาร์บอนสั้น ๆ เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งอาจจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นโปรโตพลาสซึมภายในตัวแบคทีเรีย (Swisher, 1970)

ตารางที่ 1 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่สะสมในแหล่งน้ำในประเทศไทย

แหล่งน้ำ	ตัวอย่างน้ำ (มก./ล)		ดินตะกอน** (ส่วนในล้านส่วน)
	การทดลองที่ 1*	การทดลองที่ 2**	
แม่น้ำแม่กลอง	0.049 (0.040-0.070)	0.05 (0.04-0.07)	6.3 (1.2-11.6)
แม่น้ำท่าจีน	0.070 (0.051-0.095)	0.06 (0.05-0.08)	6.4 (2.1-10.6)
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.288 (0.050-0.460)	0.23 (0.04-0.48)	7.9 (4.6-12.0)
แม่น้ำบางปะกง	0.071 (0.055-0.100)	0.07 (0.05-0.10)	7.1 (4.0-10.0)
อ่าวไทยตอนบน	0.021 (0.007-0.058)	0.02 (0.01-0.06)	5.9 (3.0-9.4)

* ที่มา : ผกา อุดมนิกุล (2527)

** ที่มา : ซีเท็ค และธรรมิเท็ค (2527)

Hammerton (1955) ได้รายงานผลการทดลองเปรียบเทียบการสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวในแม่น้ำที่อุณหภูมิ 18-19° ซ โดยวิธี River die-away และใช้ความเข้มข้นตั้งต้น 5 ส่วนในล้านส่วน พบว่า LAS จะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 4 ของความเข้มข้นตั้งต้นภายในเวลา 4 วัน แต่ ABS ต้องใช้เวลาถึง 21 วัน เพื่อจะลดปริมาณลงเหลือร้อยละ 45 ของความเข้มข้นตั้งต้นแสดงว่า LAS ถูกย่อยสลายโดยขบวนการทางชีวภาพได้ดีกว่า ABS ต่อมา Weaver and Coughlin (1964) ได้สนับสนุนความเชื่อดังกล่าวโดยรายงานอัตราการสลายตัวของ ABS และ LAS ด้วยวิธี River die-away ในน้ำจากแม่น้ำโอไฮโอ (Ohio River) ว่ามี ABS ปริมาณลดลงเหลือ ร้อยละ 28 ของปริมาณเริ่มต้น และ LAS ลดลงเหลือร้อยละ 3 ของจุดเริ่มต้นในเวลา 30 วัน

Eisler (1965) ได้ศึกษาการสลายตัวของ ABS ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าในเวลา 12 สัปดาห์ ABS มีปริมาณลดลงเหลือร้อยละ 60 และมากกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณตั้งต้นที่อุณหภูมิ 25° ซ และ 70° ซ ตามลำดับ ในปี 1982 Miura and Nishizawa รายงานว่าสารลดแรงตึงผิว LAS สามารถสลายตัวได้ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำน้อยกว่า 1 มก./ล. ต่อมา Urano and Saito (1985) ได้รายงานไว้ว่า Sodium dodecylbenzenesulphonate จะไม่ถูกย่อยสลายในสภาพที่มีค่า biological oxygen demand/total oxygen demand and dissolved organic carbon สูงกว่าหรือเท่ากับ 30 มก./ล. และในสภาพดังกล่าวนี้จะไม่เกิดการย่อยสลายของ sewage เลย ผกา อุดมินิกุล (2527) รายงานว่า LAS มีการสลายตัวทางชีวภาพได้เร็วกว่า ABS ในเวลา 60 วัน ทั้งในน้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากบริเวณที่ถือว่าเป็นน้ำสะอาดพอใช้ น้ำเสีย และน้ำกร่อย โดยปริมาณ LAS ที่เหลืออยู่มีค่าร้อยละ 0.31, 2.15 และ 0.91 ตามลำดับ ในขณะที่ ABS จะลดลงเหลือร้อยละ 7.8, 30.49 และ 54.75 ในน้ำตัวอย่าง 3 ชนิดตามลำดับ

อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิว ABS และ LAS ต่อสัตว์น้ำจำพวกปลา

จากการทดลองชีววิเคราะห์ (Bioassay) พบว่าสารลดแรงตึงผิวอัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตทั้งแบบกิ่งและแบบเส้นตรงก่อให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) แก่ปลาชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 โดยสารลดแรงตึงผิวที่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันนั้นจะมีความเข้มข้นตั้งแต่ 2.1 ถึง 22.0 มก./ล สำหรับ ABS และ 0.64 ถึง 12.0 มก./ล. ในกรณีของ LAS นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำในปริมาณต่ำ (Low concentration) อาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ได้

Schmid and Mann (1961) ได้รายงานถึงการทำลายเซลล์ชั้นผิวและเซลล์ - เมือก (Epithelial and Mucous cells) บนปลายของซี่เหงือก (Gill lamellae) รวมทั้งการเชื่อมติดกันของ Laminar folds ในปลาเทราท์ (Trout) อันเกิดจาก Dodecylbenzene sulphonate (อัลคิลเบนซีนที่มีคาร์บอน 12 อะตอม) ซึ่งมีความเข้มข้น 5 มก./ล. ในขณะที่สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ในปริมาณ 20 มก./ล. จะก่อให้เกิด

ตารางที่ 2 ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารลดแรงตึงผิว ABS

สัตว์ทดลอง	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าสังเกต	ความเข้มข้น (มก./ล.)	ผู้รายงาน	หมายเหตุ
<u>Pimephales promelas</u>	96	LC ₅₀	3.5	Henderson et al., 1959	hard water 400 ppm
	96	LC ₅₀	4.5	Henderson et al., 1959	soft water 20 ppm
	96	LC ₅₀	11.3	Thatcher, 1966	
	24	TL _m	12.8	Pickering, 1966	
	216	TL _m	6.4	Pickering, 1966	
<u>Pimephales notatus</u>	96	LC ₅₀	7.7	Thatcher, 1966	
<u>Lepomis macrochirus</u>	24	LC ₅₀	8.2	Henderson et al., 1959	hard water
	96	LC ₅₀	5.6	Henderson et al., 1959	hard water
	24	TL _m	20	Lemke & Mount, 1963	
	720	TL _m	15.5-18.3	Lemke & Mount, 1963	
	24	TL _m	17.44	Marchetti, 1965 อ้างถึงรายงาน ของ Cairns et al., ในปี 1964	soft water
	24	TL _m	17.28	Thatcher, 1966	hard water
	96	LC ₅₀	8.2	Thatcher, 1966	
	96	TL _m	12.1	Lemke & Mount, 1963	ABS 32.6 % active gradient
	96	TL _m	15.8	Lemke & Mount, 1963	ABS 27 % active gradient
	96	TL _m	17.5	Lemke & Mount, 1963	ABS 27 % active gradient
<u>Lepomis gibbosus</u>	96	LC ₅₀	22	Cairns & Scheier, 1962	
	24	TL _m	22.35	Marchetti, 1965 อ้างถึงรายงาน ของ Cairns et al., ในปี 1964	soft water
<u>Phoxinus laevis</u>	-	LC ₅₀	6-7	Marchetti, 1965 อ้างถึงรายงาน ของ Leclerc & Delaminck ในปี 1952	
<u>Salmo gairdneri</u>	-	LC ₅₀	2.5-10	Marchetti, 1965 อ้างถึงรายงาน ของ Robert ในปี 1954	
<u>Carassius auratus</u>	-	TC ₅₀	20.50	Marchetti, 1965 อ้างถึงรายงาน ของ Marchetti ในปี 1964	
<u>Fundulus heterochitus</u>	96	LC ₅₀	6.8	Eisler, 1965	
<u>Mugil cephalus</u>	96	LC ₅₀	3.1	Eisler, 1965	
<u>Pseudophlyronectus americanus</u>	96	LC ₅₀	2.5	Eisler, 1965	
<u>Anguilla rostrata</u>	96	LC ₅₀	2.3	Eisler, 1965	
<u>Menidia menidia</u>	96	LC ₅₀	2.1	Eisler, 1965	
<u>Notropis ardens</u>	96	LC ₅₀	9.5	Thatcher, 1966	
<u>Notropis atherinoides</u>	96	LC ₅₀	7.4	Thatcher, 1966	
<u>Notropis cornutus</u>	96	LC ₅₀	17.0	Thatcher, 1966	
<u>Notropis stramineus</u>	96	LC ₅₀	9.0	Thatcher, 1966	
<u>Campostoma anomalum</u>	96	LC ₅₀	8.9	Thatcher, 1966	
<u>Erycymba buccata</u>	96	LC ₅₀	9.2	Thatcher, 1966	
<u>Cyprinus carpio</u>	96	LC ₅₀	18.0	Thatcher, 1966	
<u>Ictalurus melas</u>	96	LC ₅₀	22.0	Thatcher, 1966	
<u>Gadus morrhua</u>	96	LC ₅₀	3.5	Swedmark et al., 1971	6° - 8° C
<u>Pleuronectus flesus</u>	96	LC ₅₀	6.5	Swedmark et al., 1971	6° - 8° C
<u>Idus idus</u>	48	LC ₅₀	13	Abel, 1974 อ้างถึงรายงานของ Hirsch ในปี 1963	

ตารางที่ 3 ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารลดแรงตึงผิว LAS

สัตว์ทดลอง	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าสังเกต	ความเข้มข้น (มก./ล.)	ผู้รายงาน	หมายเหตุ
<u>Carassius auratus</u>	6	TC	8.5	Marchetti, 1965 อ้างถึงรายงาน ของ Marchetti ในปี 1964	
<u>Pimephales promelas</u>	24	TL _m	3.4	Pickering, 1966	
	216	TL _m	2.3	Pickering, 1966	
	96	TL _m	4.55	Pickering & Thatcher, 1975	continuous flow system
	96	LC ₅₀	3.4	Mc Kim et al., 1975	
<u>Lepomis macrochirus</u>	96	LC ₅₀	3.0	Swisher et al., 1964	C ₁₂ - LAS
	96	LC ₅₀	0.64	Swisher et al., 1964	C ₁₄ - LAS
	96	LC ₅₀	4.0	Thatcher & Santner, 1967	
	48	TL _m	0.4 - 2.2	Hokanson & Smith, 1971	fingerlings
<u>Lepomis macrochirus</u>	96	TL _m	0.72	Dolan & Hendricks, 1976	intact LAS
	96	TL _m	1.64	Dolan & Hendricks, 1976	degraded LAS
<u>Esox lucius</u>	96	LC ₅₀	3.7	Mc Kim et al., 1975	
<u>Catostomus commersoni</u>	96	LC ₅₀	3.7	Mc Kim et al., 1975	
<u>Micropterus dolomieu</u>	96	LC ₅₀	4.0	Mc Kim et al., 1975	
<u>Salmo gairdneri</u>	96	LC ₅₀	5.0	Pohla-Gubo & Adam, 1982	100 % LAS
<u>Oryzias latipes</u>	48	LC ₅₀	12.0	Kikuchi & Wakabayashi, 1984	
<u>Idus idus</u>	48	LC ₅₀	4	Abel, 1974 อ้างถึงรายงานของ Hirsch ในปี 1963	
<u>Gadus morrhua</u>	96	LC ₅₀	1.0	Swedmark et al., 1971	6 - 8 C
	96	LC ₅₀	< 1.0	Swedmark et al., 1971	15 - 17 C
<u>Pleuronectes flesus</u>	96	LC ₅₀	1.5	Swedmark et al., 1971	6 - 8 C
	96	LC ₅₀	< 1.0	Swedmark et al., 1971	15 - 17 C
<u>Pleuronectes platessa</u>	96	LC ₅₀	>1.0 <5.0	Swedmark et al., 1971	6 - 8 C

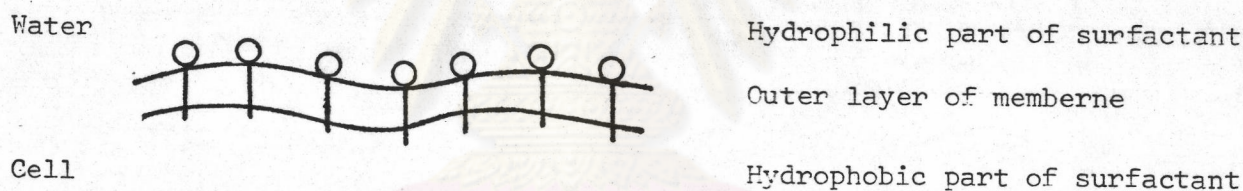
การทำลายเซลล์ที่ผิวของซีเหงือกได้ภายในเวลา 1 ชั่วโมง Lemke and Mount (1963) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเหงือกปลา Lepomis macrochirus เนื่องจากสาร ABS ผลปรากฏว่าในการทดลองแบบ Continuous renewable system เป็นเวลา 30 วัน ABS 27 % ที่มีความเข้มข้น 6.5 และ 13.5 มก./ล. ทำให้เซลล์ผิวของซีเหงือกหนา กว่าปกติ 2-3 เท่า นอกจากนี้ยังพบการหนาของผนังเซลล์ และเซลล์ที่อยู่ระหว่างซีเหงือก (Interlamellar cells) อาจพบการบวมของ Lamellae แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเหงือกที่สัมผัสกับสารละลาย 3.2 มก./ล. ABS จากการทดลองชีววิเคราะห์ แบบ Static system โดยใช้ลูกปลาชนิดเดียวกัน โดย Swisher et al. (1964) พบว่า ลูกปลาที่รอดชีวิตหลังจากการเลี้ยงในสาร LAS (มีคาร์บอน 12 อะตอมหรือ C¹²-LAS) เข้มข้น 3 มก./ล. เป็นเวลา 96 ชั่วโมง จะมีการเชื่อมติดของ Gill lamellae และ mucous layer จะหลุดออกไป จากนั้นชั้นของเนื้อเยื่อจะถูกทำลาย จนเหลือแต่โครงสร้างแข็ง การสูญเสียชั้นของเนื้อเยื่อและเซลล์เมือกชั้นผิวในโครงสร้างของเหงือกจะมีผลให้เกิดการสะสมของสารที่มีลักษณะเป็นวุ้นเมือก (Gelatinous material) ที่บริเวณช่องเปิดของซีเหงือก ก่อนปลาตาย

Swedmark et al. (1971) ได้ศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิว ABS และ LAS ในระดับที่เป็นอันตรายต่อปลา Gadus morrhua และ Pleuronectes flesus พบว่า จะเกิดการพองของ Gill epithelium และมีการสะสมของ Mucous ที่เหงือก ซึ่งมีผลให้การแพร่ของก๊าซผ่านเหงือกลดลงอันมีผลต่อการหายใจ นอกจากนี้อาจมีการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่ Epithelium ด้วย Wakabayashi et al. (1978) รายงานว่า C¹²-LAS ในความเข้มข้น 1 มก./ล. จะถูกดูดซึมเข้าสู่ปลา Cyprinus carpio โดยผ่านทางเหงือก จากนั้นจะถูกดูดซึมและแพร่กระจายไปทั่วเนื้อเยื่อทุกส่วนของปลา สำหรับปลา Carassius auratus ที่เลี้ยงไว้ใน ¹⁴C labeled LAS ความเข้มข้น 9 มก./ล. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะสังเกตเห็นการเชื่อมติดกันของ Secondary lamellae จนบางส่วนซ้อนกัน (Imori and Takita, 1979) ส่วน Part et al. (1985) ได้รายงานถึงการที่สาร LAS ทำลายเนื้อเยื่อเหงือกของปลา Salmo gairdneri เมื่อมีความเข้มข้น 36 มก./ล. โดยพบว่า Epithelium จะบวมและมีการหนาหรือลอยตัวจากผนังชั้นล่าง นอกจากนี้ Secondary lamellae จะเชื่อมติดกันรวมทั้งเกิดการบวมน้ำ (Edema) ด้วย

ความเป็นพิษของ สารลดแรงตึงผิวต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะปลานั้น สามารถอธิบายได้ โดยพิจารณาจาก

1. คุณสมบัติทางเคมีของ สารลดแรงตึงผิว ได้แก่

1.1 คุณสมบัติที่จะสะสมหรือถูกดูดซับอยู่ที่บริเวณผิวหรือรอยต่อระหว่างเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตกับน้ำที่เป็นตัวกลาง โดยเฉพาะตรงเซลล์ชั้นผิว (Epidermis) ของเนื้อเยื่อเหงือกซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับน้ำตลอดเวลา รวมทั้งเป็นบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซและอออน อีกทั้งเป็นส่วนที่มี Urea metabolism เกิดขึ้นด้วย จากรายงานของ Lundahl and Cabridenc (1978) แสดงว่า โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวส่วนที่ละลายน้ำได้ (Hydrophilic part) จะสะสมอยู่ที่เหนือบริเวณเซลล์ชั้นนอกของผนังเซลล์ (Outer layer of membrane) และส่วนที่ไม่ละลายน้ำของสารลดแรงตึงผิว (Hydrophobic part) อาจเกิดปฏิกิริยาผ่านผนังเซลล์ชั้นนอกเข้าไป ดังรูป



การสะสมของ สารลดแรงตึงผิวที่บริเวณผนังเซลล์ของเหงือก เป็นตัวขัดขวางการแลกเปลี่ยนก๊าซและอออน (Swedmark et al., 1971; Abel, 1976; Hara and Thompson, 1978) ซึ่งปฏิกิริยาการสะสมของ สารลดแรงตึงผิวตรงบริเวณดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของกลุ่มอัลคิลซึ่งเป็น Hydrophobic part ยาวขึ้น การขัดขวางขบวนการหายใจและแลกเปลี่ยนอออนที่เกิดขึ้น มีผลให้เกิดการขาดออกซิเจนและการสูญเสียเสถียรภาพของน้ำและเกลือแร่ภายในร่างกาย (Osmotic and ionic stability) และอาจจะทำให้ปลาตายได้ทั้ง ๆ ที่มีการให้อากาศจนอิ่มตัว (Swedmark et al., 1971)

1.2 คุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับองค์ประกอบทางชีวเคมีของเซลล์ เมื่อ สารลดแรงตึงผิวสัมผัสกับเยื่อหุ้มเซลล์หรือผนังเซลล์ นอกจากจะเป็นการขัดขวางการแลกเปลี่ยนก๊าซและอออนดังที่กล่าวมาแล้ว สารลดแรงตึงผิวจะไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบของเซลล์ภายในตัวสิ่งมีชีวิต ดังนี้

- ทำให้เมือกหรือ Mucus ที่ปกคลุมเซลล์ชั้นผิวหลุดออกไป (Hara and Thompson, 1978) ซึ่งจะสังเกตได้จาก การแยกของ Mucus layer ออกจากเซลล์ชั้นล่างในเนื้อเยื่อเหงือกของปลา Lepomis macrochirus ที่สัมผัสกับสารลดแรงตึงผิว LAS ดังรายงานของ Swisher et al. ในปี 1964

- สารลดแรงตึงผิวจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Lipid component ของผนังเซลล์ (Abel, 1976) กล่าวตามรายงานของ James ในปี 1964 รวมทั้งการทำลายโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Abel, 1976) ทั้งนี้เพราะสารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติเป็น Protein denaturant and precipitant ที่ดี (Abel, 1976) กล่าวอ้างตาม Putnam ในปี 1948 และ Glassman ในปี 1948 ; Hara and Thompson, 1978)

- สารลดแรงตึงผิว สามารถมีผลรบกวนกิจกรรมของเมตาโบไลต์ เอนไซม์ และโค-เอนไซม์ ต่าง ๆ ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต (Marchetti, 1965 และ Hara and Thompson, 1978) โดยสารลดแรงตึงผิวจะไปทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน หรือ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของสารทั้ง 3 ประเภทข้างต้น (Marchetti, 1965 และ Hara and Thompson, 1976 อ้างตามรายงานของ Saier and Stiles ในปี 1975)

- นอกจากความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว สารลดแรงตึงผิวอาจก่อให้เกิดการรบกวนต่อสารประกอบภายในเซลล์ อีกหลายชนิด (จากการรวบรวมและรายงานของ Marchetti, 1965)

การทำลายของเนื้อเยื่อเหงือกของปลาที่สัมผัสกับสารลดแรงตึงผิว ที่สังเกตได้จาก รายงานของ Schmid and Mann (1962) Lemke and Mount (1965) และ Swisher et al. (1964) นั้นน่าจะเป็นผลจากการที่ชั้นของเซลล์เมือก ผนังเซลล์ และ เยื่อหุ้มต่าง ๆ ถูกทำลายทำให้สารเมตาโบไลต์ และเอนไซม์ออกมาทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบต่าง ๆ ในเซลล์ได้ คือเกิดการ Autolysis ขึ้นนั่นเอง

2. คุณสมบัติทางกายภาพของสารลดแรงตึงผิว

Swedmark et al. (1971) และ Abel (1974) ได้อ้างถึงรายงานของ Bock ในปี 1966 Gloxhuber and Fischer ในปี 1968 และ Part and Giraud ในปี 1964 ว่าความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว เป็นผลจากความสามารถในการลดแรงตึงผิว (Surface tension) แต่จากรายงานของ Rahb ในปี 1945 และ Glassman

ในปี 1948 ซึ่งถูกอ้างโดย Abel (1974) ปรากฏว่า Surface tension ไม่มีความสัมพันธ์กับความเป็นพิษ นอกจากนี้ Marchetti (1965) ได้รายงานไว้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวกับ Surface tension จะเกิดขึ้นเฉพาะในบางกรณีเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่อาจยืนยันได้ว่าความสามารถในการลดแรงตึงผิวของสารดังกล่าวมีส่วนสัมพันธ์กับความ เป็นพิษของ สารนั้นกับสัตว์น้ำ

ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของ สารลดแรงตึงผิว

1. ปัจจัยทางชีวภาพ

ปัจจัยทางชีวภาพที่สำคัญได้แก่ ชนิดของสัตว์ทดลอง อายุของสัตว์ และช่วงชีวิตของสัตว์ทดลอง (Marchetti, 1965) นอกจากนี้ Abel (1974) กล่าวว่า การทำให้สัตว์ชินหรือการปรับสภาวะของสัตว์ทดลองจะมีผลให้ความเป็นพิษเปลี่ยนไป

จากการทดลองของ Eisler (1965) และ Thatcher (1966) ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นความแตกต่างของระดับความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากสัตว์ทดลองต่างชนิดกัน Pickering (1966) รายงานว่า ลูกปลา Pimephales promelas อายุ 1 วัน มีความไวต่อความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวมากกว่าลูกปลาที่อายุมากขึ้นรวมไปถึงปลาโตเต็มวัย นอกจากนี้ยังมีรายงานระบุว่าระยะวิกฤตที่ลูกปลาชนิดนี้มีความอ่อนแอที่สุด คือช่วงอายุ 7 วัน ถึง 14 วัน หลังที่กออกจากไข่ (Abel, 1974 กล่าวถึงรายงานของ Pickering and Thatcher ในปี 1970) การทดลองของ Hokanson and Smith (1971) แสดงว่า ระยะที่มีการดูดซึม Yolk sac ของปลา Lepomis macrochirus เป็นช่วงที่ปลามีความไว (Sensitive) ต่อสาร LAS มากที่สุด Swedmark et al., (1971) พบว่าไข่และระยะวัยอ่อนของปลา Gadus morrhua และ Pleuronectus flesus จะไวต่อสารลดแรงตึงผิวมากกว่าตัวเต็มวัย Marchetti (1965) กล่าวว่า ลูกปลาที่เพิ่งฟักจากไข่ใหม่ ๆ จะสามารถทนต่อสารลดแรงตึงผิวได้ดีจากนั้นความทนทานจะค่อย ๆ ลดลงในระยะแรกของการใช้อาหารจาก Yolk sac ความทนทานของลูกปลาจะคงที่อยู่ที่ระหว่างวันที่ 12 ถึง 19 หลังจากฟัก ลูกปลาวัยอ่อนอายุ 20-24 วัน จะมีความทนทานต่อความเป็นพิษลดน้อยลงจนต่ำสุดในขณะที่ Yolk sac ยุบ ต่อจากนั้นความทนทานจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามขนาดตัวปลา เมื่อปลาเริ่มกินอาหาร

2. ชนิดและคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวต่างชนิดกันจะมีความเป็นพิษต่างกัน พวกที่มีประจุบวกมีความเป็นพิษสูงสุด รองลงมาคือสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและกลุ่มที่ไม่มีประจุตามลำดับ (Marchetti, 1965 กล่าวอ้างถึง Colas ในปี 1962) คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่มีอิทธิพลต่อความเป็นพิษได้แก่ ลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุล รวมทั้งการสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวนั้น ๆ

Marchetti (1965) อ้างถึงรายงานของ Marchetti ในปี 1964 ว่าความเข้มข้นที่เป็นพิษของ C_{13} -ABS มีค่าระหว่าง 18.9-26 มก./ล. ส่วนความเข้มข้นที่เป็นพิษของ C_{13} -LAS คือ 7.5-13 มก./ล. เมื่อทำการทดลองกับปลา Carassius auratus นอกจากนี้ Abel (1974) ได้อ้างถึงรายงานของ Hirsch ในปี 1963 ว่า LAS มีความเป็นพิษสูงกว่า ABS ประมาณ 2-3 เท่า เมื่อพิจารณาจากค่า 48 ชั่วโมง LC_{50} สำหรับปลา Goldorfen Idus idus (L.) (ตารางที่ 2 และตารางที่ 3) และความยาวของสายหรือกลุ่มอัลคิล (Alkyl chain) ก็เป็นปัจจัยที่ทำให้ความเป็นพิษต่างกัน กล่าวคือความเป็นพิษของ LAS ต่อปลาชนิดเดียวกันนี้จะมีค่าต่ำสุดเมื่อกลุ่มอัลคิลมีคาร์บอน 8 อะตอม หรือเป็นพวก C_8 -LAS เมื่อคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้นความเป็นพิษจะสูงขึ้น (ค่า 48 ชั่วโมง LC_{50} ลดลง) เรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดเมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ระหว่าง 13 - 16 อะตอม ผลการทดลองของ Swisher et al. (1964) แสดงว่า C_{14} -LAS มีความเป็นพิษสูงกว่า C_{12} -LAS ขณะที่ทดลองกับปลา Lepomis macrochirus Marchetti (1965) ได้อ้างถึงงานของ Hirsch ในปี 1963 ว่าตำแหน่งของกลุ่มฟีนอล หรือวงเบนซีน (Benzene ring) มีผลต่อความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว LAS โดยกลุ่มฟีนอลที่อยู่ตำแหน่ง C_2 และ C_3 ของสายคาร์บอนจะมีความเป็นพิษสูง (LC_{50} 1 มก./ล. ในขณะที่ไอโซเมอร์ที่มีฟีนอลอยู่ในตำแหน่ง C_4 มีพิษต่ำสุด (ค่า LC_{50} 13 มก./ล. ส่วนไอโซเมอร์ที่มีฟีนอลอยู่ที่ตำแหน่ง C_6 จะมีพิษปานกลาง

จากรายงานของ Swisher et al. (1964) และ Marchetti (1965) ได้กล่าวถึงงานของ Hirsch ในปี 1963 และ Marchetti ในปี 1964, 1964 A, 1965) สรุปได้ว่าความเป็นพิษของอัลคิลเบนซินซิลโฟเนตขึ้นกับคุณสมบัติในการสลายตัวของขบวนการทางชีวภาพ กล่าวคือ สารลดแรงตึงผิวที่มีการแตกกิ่งของกลุ่มอัลคิลมากจะสลายตัวยาก ส่วนกลุ่มอัลคิลที่เป็นสารตรงจะสลายตัวง่ายและมีความเป็นพิษมากกว่า สารลดแรงตึงผิวที่มีการแตกกิ่งของกลุ่มอัลคิลในรูปแบบเดียวกัน ความยาวของกลุ่มอัลคิลจะมีผลต่อการสลายตัวทาง

ชีวภาพ เช่นเดียวกัน ขณะเดียวกันจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เพิ่มขึ้นมีผลให้การสลายตัวเกิดได้ง่ายแต่ความเป็นพิษจะมีมากขึ้น อัลคิลเบนซีนจะถูกย่อยสลายได้ยากเมื่อมีกลุ่มฟินอลอยู่มาทางปลายโคปลายหนึ่งของสายอัลคิลแต่ความเป็นพิษจะน้อยกว่า จะเห็นได้ว่าความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวพวกอัลคิลเบนซีนชนิดที่มีการสลายตัวได้ง่าย จะมีค่าสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีการสลายตัวช้า

เมื่อสารลดแรงตึงผิวถูกย่อยสลายโดยขบวนการทางชีวภาพความเป็นพิษของสาร - ชนิดนั้นต่อสัตว์น้ำจะลดลง จากรายงานของ Delan and Hendricks (1976) แสดงว่าค่า 96 ชั่วโมง TL_{96} ของปลา Bluegill Sunfish (Lepomis macrochirus) เพิ่มขึ้นจาก 0.72 เป็น 0.89, 1.16 และ 1.64 มก./ล. เมื่อร้อยละของการสลายตัว (Percent biodegraded) มีค่าเท่ากับ 0, 36.7, 53.3 และ 76.0 ตามลำดับ

3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ pH และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ นอกจากจะมีผลต่อสัตว์ทดลองแล้วยังมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว Marchetti (1965) กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่จะไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวอัลคิลเบนซีนซิลโฟเนต โดยความเป็นพิษจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดเฉพาะในกรณีที่สัตว์ทดลองไม่ถูกปรับสภาพให้เข้าชินกับสภาวะที่อุณหภูมิใหม่เท่านั้น Swedmark et al., (1971) ได้เสนอรายงานสนับสนุนความคิดของ Marchetti (1965) ดังสังเกตจากค่า 96 ชั่วโมง LC_{50} ของสาร LAS หรือปลา Godus morrhua และ Pleuronectes flesus ในตารางที่ 3 แต่ Hokanson and Smith (1971) พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเป็นพิษของ LAS ในปลา Lepomis macrochirus ซึ่งเขาได้สรุปไว้ว่า ระดับเริ่มเป็นพิษโดยเฉลี่ยมีค่า 2.35 มก./ล. ที่ 15° ซ และ 2.23 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 25° ซ

Swedmark et al., (1971) ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าคุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่มีอิทธิพลต่อความเป็นพิษของอัลคิลเบนซีนซิลโฟเนต ได้แก่ ความกระด้างของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำและความเค็มหรือปริมาณเกลือในน้ำ

Abel (1974) กล่าวว่าความกระด้างของน้ำเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว แต่อิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวจะไม่มีแบบแผนที่แน่นอน คือการเพิ่มความกระด้างของน้ำอาจมีผลให้ความเป็นพิษเพิ่มขึ้น หรือลดลงหรืออาจไม่มีผลกระทบต่อความเป็นพิษ

ของสารลดแรงตึงผิวเลย การศึกษาของ Henderson et al. (1959) และ Marchetti (1965) อ้างถึง Cairns et al. ในปี 1964) แสดงว่าความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความกระด้างของน้ำ (Calcium carbonate hardness) เพิ่มขึ้น ในปี 1971 Hokanson and Smith ได้รายงานว่าค่าเฉลี่ยของ LC₅₀ ของ LAS ต่อ Lepomis macrochirus จาก 4.25 มก./ล. ในน้ำที่มีความกระด้าง 15 มก./ล. จะเปลี่ยนเป็น 2.85 มก./ล. ในน้ำที่มีความกระด้างเป็น 290 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งแสดงว่าความเป็นพิษของ LAS เพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมีความกระด้างสูงขึ้น แต่ Marchetti (1965) อ้างถึงงานของ Leclerc and Develaminck ในปี 1952 Jones ในปี 1964 และ Part and Giraud ในปี 1964 ว่ามีผลขัดแย้งกับงานของ Henderson et al. (1959) , Cairns et al. (1964) และ Hokanson and Smith (1971) เนื่องจากความกระด้างของตัวทำลายจะไม่มีผลต่อความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว

Herbert et al. (1975) รายงานว่า ความเป็นพิษของ ABS ต่อปลา Salmo gairdneri เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงจาก 8 มก./ล. เป็น 4 มก./ล. นอกจากนี้ระดับเริ่มเป็นพิษของ LAS ต่อปลา Lepomis macrochirus จะลดลงร้อยละ 10-20 แสดงว่าความเป็นพิษของ LAS สูงขึ้นเมื่อระดับออกซิเจนลดลงจากระดับอิ่มตัวเป็น 2 มก./ล. (Hokanson and Smith, 1971)

ความเค็มเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว Eisler (1965) พบว่า ปลา Fundulus heteroclitus (L.) และ Anguilla rostrata (Le Sueur) ที่เลี้ยงในสาร ABS ที่มีความเข้มข้นเท่ากับค่า 96 ชั่วโมง LC₅₀ คือ 20 และ 10 มก./ล. ตามลำดับ จะมีการตายเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มสูงและต่ำกว่าปกติ

4. สารพิษชนิดอื่น ๆ

จากรายงานของ Hokanson and Smith (1971) พบว่า Suspended solids พวก Bentonite ในระดับความเข้มข้น 0, 50, และ 200 มก./ล. ไม่มีผลกระทบต่อระดับเริ่มเป็นพิษของสาร LAS ในปลา Bluegill Abel (1974) ได้อ้างถึงรายงานของ Dugan ในปี 1967 และ Solon et al., ในปี 1969 ว่า สารลดแรงตึงผิวหรือผงซักฟอกในปริมาณเล็กน้อย สามารถทำให้ความเป็นพิษของยาฆ่าแมลงพวก Dieldrin DDT และ Parathion เพิ่มขึ้น จากผลงานของ Cairns and Scheier

(1964) พบว่าการสัมผัสกับ ABS เป็นเวลา 30 วัน จะไม่มีอิทธิพลต่อความเป็นพิษของสังกะสีหรืออุณหภูมิสูงในปลา Lepomis gibbosus (L.) จากการศึกษาของ Brow et al. ในปี 1968 ซึ่งถูกอ้างโดย Abel (1974) รายงานว่า การสัมผัสต่อสังกะสีเป็นเวลานาน (chronic exposure) ของปลา Salmo gairdneri จะไม่มีผลกระทบต่อความเป็นพิษของ Anionic detergent ต่อปลาชนิดนี้

การศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อสัตว์น้ำในประเทศไทย

การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อสัตว์น้ำในประเทศไทย ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเป็นการศึกษาความเป็นพิษของผงซักฟอกชนิดต่าง ๆ ต่อสัตว์น้ำ ได้แก่ งานของธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์ ในปี 2526 ซึ่งได้รายงานค่าความเข้มข้นที่ทำให้ไรแดง (Moina macrocopa) ตาย จำนวนครึ่งหนึ่งในเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ผงซักฟอก 3 ชนิดคือ แแท็บ บรีส และไวท์เมจิก ต่อมา Buapetch (1982) ได้ทำการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของผงซักฟอก 4 ชนิด และสารลดแรงตึงผิว ABS ต่อปลาตะเพียนขาว (Puntius gonionotus) ในปี 2528 ชำญยุทธ์ คงภิมย์ขึ้น ได้ศึกษาอิทธิพลของผงซักฟอกแท็บสูตรเก่า แท็บสูตรใหม่ และไวท์เมจิก ต่อปลานิล (Tilapia nilotica) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเป็นพิษเฉียบพลันของผงซักฟอกและสารลดแรงตึงผิวต่อสัตว์น้ำในประเทศไทย

สัตว์ทดลอง	สาร	LC ₅₀ (mg/l)	เวลา (ชั่วโมง)	ผู้รายงาน
ไรแดง (<u>Moina macrocopa</u>)	แท็บ (ABS)	28.1	24	ธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์ (2526)
	บรีส (ABS)	37.3	24	
	ไวท์เมจิก (LAS)	16.8	24	
ปลาตะเพียนขาว	แท็บ (ABS)	18.12	96	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สัตว์ทดลอง	สาร	LC ₅₀ (mg/l)	เวลา (ชั่วโมง)	ผู้รายงาน
<u>(Puntius gonionotus)</u>	บรีส (ABS)	20.18	96	Buapetch (1982)
	ผงซักฟอก A	27.79	96	
	ผงซักฟอก B	131.10	96	
ปลาไนล <u>(Tilapia nilotica)</u>	ABS	17.92	96	ชาญยุทธ คงภิมย์ขึ้น (2528)
	แสบ (ABS)	19.50	96	
	แสบ (LAS)	9.20	96	
	ไวท์เมจิก (LAS)	12.60	96	

จะเห็นได้ว่าในสัตว์นำชนิดเดียวกัน ความเป็นพิษของผงซักฟอกที่มีสารลดแรงตึงผิวพวก ABS เป็นองค์ประกอบจะต่ำกว่าความเป็นพิษของผงซักฟอกที่มี LAS เป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้ประวิทย์ สุรนินาต (2518) ได้รายงานว่าผงซักฟอกชื่อ Fastac ในปริมาณระหว่าง 2.61 ถึง 3.25 ส่วนในล้านส่วน จะมีผลให้อัตราการฟักไข่ของปลาแกด (Labeo erythrurus) ปลาทรงเครื่อง (L. bicolor) และปลายี่สกเทศ (L. rohita) ลดลงครึ่งหนึ่ง รายงานของวินา เครือคล้าย (2518) ก็แสดงให้เห็นว่า Fastac ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 5.6 ส่วนในล้านส่วนขึ้นไป จะทำให้การเจริญเติบโตของปลาไน และปลาหมอเทศลดลง ต่อมาในปี 2521 ประสิทธิ์ กลิ่นภิมย์ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของผงซักฟอกแสบ บรีส เพค และรินโซ ต่อหอยขม (*Vivipara ingallsiana*) และสรุปได้ว่า ผงซักฟอกทุกชนิดในปริมาณ 5 ส่วนในล้านส่วน สามารถทำให้มดลูกของหอยขมไม่เจริญ ซึ่งอาจเกิดการฝ่อของมดลูกได้ นอกจากนี้จะมีผลให้อัตราการปล่อยตัวอ่อนลดลง และตัวอ่อนที่ถูกปล่อยออกมาจะมีลักษณะผิดปกติ ชาญยุทธ คงภิมย์ขึ้น (2528) ได้รายงานว่าผงซักฟอกแสบสูตรใหม่มีความเข้มข้น 7.0 มก./ล. ทำให้การเจริญเติบโตของปลาไนขนาด 7-8 เซนติเมตรลดลงภายในเวลา 12 สัปดาห์

สัตว์ทดลอง

การศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของ สารตั้งต้นในระดับอุตสาหกรรม - ของสารลดแรงตึงผิวต่อสัตว์น้ำในย่านน้ำกร่อย ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำตัวกลางอยู่เสมอ ดังนั้นสัตว์ที่ใช้ทดลอง จึงต้องสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มและสามารถปรับตัวให้ดำรงชีวิตอยู่รอด สัตว์ที่นิยมใช้ศึกษากันมากคือ ปลากระพงขาว แต่ในการทดลองครั้งนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงความสะดวกในการจัดหาตัวอย่างสัตว์ทดลอง ซึ่งพบว่า ปลานิลเป็นปลาที่หาได้ง่ายและมีอยู่ตลอดปี ในขณะที่ลูกปลากระพงขาวจะหาได้เพียงบางช่วงของปีเท่านั้น นอกจากนี้ปลานิลยังพบได้ตามแหล่งน้ำจืด และน้ำกร่อยทั่วไป ซึ่งเป็นข้อยืนยันว่า ปลาชนิดนี้สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ดี

ชีววิทยาบางประการของปลานิล (Tilapia nilotica Linn.)

ปลานิลมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Tilapia nilotica Linn. แต่ในต่างประเทศบางแห่งจะใช้ชื่อ Sarotherodon niloticus (Linnaeus) Trewavas (1982) ได้เสนอให้ใช้ชื่อ Oreochromis niloticus (Linn.) แทน S. niloticus สำหรับในประเทศไทย ยังคงใช้ชื่อ T. nilotica เมื่อกล่าวถึงปลานิล

ปลานิลเป็นปลาที่อยู่ได้ทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย พบรวมฝูงตามแหล่งน้ำทั่วไป ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล ตรงกลางเกล็ดมีสีเข้มมีลายพาดขวางลำตัว 9-10 แถบ ริมฝีปากบนและล่างเสมอกันที่บริเวณแก้มมีเกล็ด 4 แถว บนกระดูกแก้มจะมีจุดสีเข้มหนึ่งจุด มีครีบหลัง 1 ครีบ ประกอบด้วยก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อนจำนวนมาก ครีบกันมีลักษณะเช่นเดียวกับครีบหลัง บริเวณส่วนอ่อนของครีบหลังครีบกัน และครีบหาง จะมีจุดสีขาวและเส้นสีดำตัดขวาง (กรมประมง, 2526)

Philippart (1982) รายงานว่า S. niloticus (Linn) เป็นปลาที่ทนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ในช่วงกว้างคือเป็น Eurythermal species แพร่กระจายได้ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 8° ถึง 42° ซ และสามารถพบปลาชนิดนี้ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความเค็ม 12-29 ส่วนในพันส่วน (อ้างตาม Kirk ในปี 1972 และ Fryer and Lies ในปี 1972) Chervinski (1982) อ้างถึง Myers ในปี 1938

และ Steinitz ในปี 1954 ว่าปลาในกลุ่ม *Tilapias* ทั้งหมดมีต้นกำเนิดในทะเล และแพร่กระจายมาสู่น้ำจืด โสภณ จันทรรัตน์ (2527) พบว่าลูกปลานิยมนาตความยาวเฉลี่ย 2.57 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.316 กรัมที่เลี้ยงในน้ำเค็ม 20 และ 25 ส่วนในพันส่วน มีการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่เลี้ยงในน้ำจืดและน้ำที่มีความเค็ม 10 ส่วนในพันส่วน แสดงว่าปลานชนิดนี้สามารถอยู่อาศัยและเจริญเติบโตได้ดีในน้ำกร่อย

จากรายงานของ Payne and Collinson (1983) ปรากฏว่าความเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *S. niloticus* (Linn.) คือ 5-10 กรัมต่อลิตร (ส่วนในพันส่วน) ในขณะที่ Watanabe et al. (1984) ได้รายงานค่าเฉลี่ยของความเค็มที่มีผลให้ไปทีผลมอยู่ ตัวอ่อน และลูกปลาวัยอ่อนของ *O. niloticus* ตายเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งในเวลา 96 ชั่วโมง (96-hour median lethal salinity) ไว้ ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การทนทานต่อความเค็มของตัวอ่อนและลูกปลาจะเพิ่มขึ้นเมื่อไข่ หรือ ลูกปลาก่อทำให้เคยชินกับน้ำที่มีความเค็มสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของ MLS-96 (96 hour median lethal salinity)
 ต่อไข่ ตัวอ่อน และลูกปลา Oreochromis niloticus

Stage of development	MLS-96 (%)	Spawning salinity (‰)	Incubation salinity (‰)	Remark
Fertilized eggs 7 to 120-day old	18.9	0	0-32	-
	18.9	0	0-32	-
<u>fry and fingerling</u>				
7-day old fry	19.2	0	0	Saline
	21.2	0	5	Water
	25.0	0	10	hatched
	30.2	0	15	
	32	0	20	
	32	0	25	
6 to 9-day old fry	19.2	0	-	-
	28.1	5	-	-
	32	10	-	-
	32	15	-	-