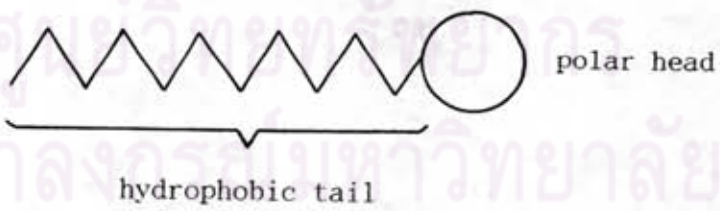
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (surface active agent or surfactant) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในผงซักฟอก โดยมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นเส้นยาว ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน (รูปที่ 2.1) คือ

1) ส่วนที่มีขั้วและสามารถละลายได้ดีในน้ำ เรียกว่า hydrophilic หรือ polar head
2) ส่วนที่ไม่มีขั้วและละลายได้ในน้ำมันหรือไขมัน เรียกว่า hydrophobic tail



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว

จากการที่โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนที่ละลายได้ในน้ำ และส่วนที่ละลายได้ในน้ำมัน อยู่ภายในโมเลกุลด้วยกัน เมื่อสารนี้ละลายน้ำจะมีคุณสมบัติ ดังนี้ (สุวัฒน์ ทรัพย์ประภา, 2524)

1. การลดแรงตึงผิว (lowering of surface tension)

แรงตึงผิว (surface tension) คือ แรงที่ใช้ในการรักษาผิวของน้ำให้มีพื้นที่น้อยที่สุด โดยปกติโมเลกุลของน้ำที่ผิวจะอิสระต่อการเคลื่อนไหวมากกว่าโมเลกุลของน้ำที่มีอยู่ภายในหรือมีพลังงานอิสระสูง เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป ส่วนของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำจะถูกน้ำผลักออกไป ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไปเรียงกันอยู่ที่ผิวน้ำ มีผลต่อความอิสระของโมเลกุลของน้ำที่ผิวลดน้อยลงหรือมีพลังงานอิสระลดลงซึ่งจะทำให้แรงตึงผิวลดลงด้วย

2. การทำให้เปียก (wetting)

สารลดแรงตึงผิวช่วยทำให้มุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำที่มีต่อพื้นผิวน้ำลดลง และถ้ามุมนี้ยิ่งเล็กลงมากเท่าไหร่ก็จะทำให้พื้นผิวเปียกน้ำมากขึ้นเท่านั้น

3. การดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว (detergency)

สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงดึงดูดกันระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิว ซึ่งส่วนของโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำจะไปสัมผัสกับสิ่งสกปรก และจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลต่างๆ ภายในน้ำ จะทำให้เกิดแรงดึงจนกระทั่งสิ่งสกปรกหลุดออกจากพื้นผิวได้

4. การแขวนลอยในน้ำ (emulsion)

น้ำมันหรือไขมันไม่สามารถผสมรวมกันกับน้ำได้ แต่ถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวลงไปพร้อมทั้งคนอย่างแรง ๆ เพื่อให้น้ำมันเกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ แทรกตัวอยู่ในน้ำ แล้วโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวก็จะไปล้อมรอบหยดน้ำมันเล็กๆ เหล่านี้ โดยส่วนของโมเลกุลที่ละลายได้ในน้ำมันจะไปเกาะติดหยดน้ำมัน ทำให้หยดน้ำมันเล็ก ๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำได้

5. การละลาย (solubilizing)

ภายในกลุ่มของสารลดแรงตึงผิว ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะ และคุณสมบัติคล้ายน้ำมัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะละลายสารที่ละลายในน้ำมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ๆ ได้

6. การกระจายตัว (dispersion)

สิ่งสกปรกต่าง ๆ เมื่อถูกดึงหลุดออกจากพื้นผิวแล้วก็อาจกลับรวมตัวกันใหม่ ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจกลับเข้ามาจับพื้นผิวได้อีก แต่การที่สารลดแรงตึงผิวไปจับรอบ ๆ สิ่งสกปรกเล็ก ๆ ที่ถูกดึงออกนั้น จะเกิดชั้นบาง ๆ ของประจุไฟฟ้าหุ้มเอาไว้ คล้ายกลุ่มสารลดแรงตึงผิว (Micelle) ทำให้มีการผลักดันระหว่างกันของสิ่งสกปรกเล็ก ๆ จะไม่รวมตัวกัน ซึ่งจะกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำ

7. การป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่ (suspension or prevention of redeposition)

สิ่งสกปรกเมื่อถูกดึงออกจากพื้นผิวชั้นบาง ๆ ของประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันที่ล้อมรอบพื้นผิวทั้งสอง ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างสิ่งสกปรกกับพื้นผิวจึงไม่สามารถกลับเข้าไปจับพื้นผิวได้อีก

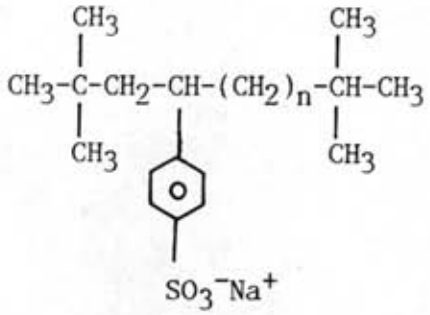
ชนิดของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่ประกอบด้วย ส่วนที่ชอบละลายในน้ำมัน (hydrophobic groups) และส่วนที่ละลายในน้ำ (hydrophilic groups) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด ตามคุณสมบัติของการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ (สมโภชน์ อิ่มเอิบ, 2528) คือ

1. กลุ่มประจุลบ (anionic surfactants) เป็นพวกที่มีส่วนของ hydrophilic มีประจุเป็นลบ ได้แก่ กลุ่ม sulfonate, sulfate หรือ carboxylate สารลดแรงตึงผิวที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือ alkyl sulfonate ซึ่งมีสมการทั่วไป ดังนี้

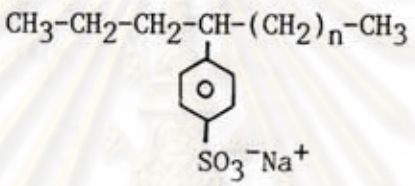
$$R - SO_3Na \rightleftharpoons RSO_3^- + Na^+$$

สัญลักษณ์ R คือ alkyl group เป็น long hydrocarbon chain ตัวอย่างเช่น



a. tetrapropylene-derided alkylbenzene sulfonates

(branch chain alkylbenzene sulfonate, ABS)



b. linear alkylbenzene sulfonates (LAS)

สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้ ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตผงซักฟอก โดยเฉพาะ alkylbenzene sulfonate เนื่องจากมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพในการทำงานดีมาก โดยทั่วไปเหมาะสำหรับงานซักล้างทำความสะอาดในบ้านเรือนและร้านซักรีด

2. กลุ่มประจุบวก (cationic surfactants) เป็นกลุ่มที่มีส่วนของ hydrophilic เป็นประจุบวก ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่ม Quarternary ammonium cationic ได้แก่

alkyl trimethylammonium ($RMe_3N^+X^-$)

alkyl benzyl dimethylammonium ($RBzMe_2N^+X^-$)

diakyl dimethylammonium ($R_2Me_2N^+X^-$)

alkyl pyridinium (RPy^+X^-)

alkyl imidazolinium (RIz^+X^-)

สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้นิยมใช้กันน้อย โดยทั่วไปเหมาะสำหรับงานล้างและทำความสะอาดโลหะ เช่น เครื่องมือแพทย์ เป็นต้น

3. กลุ่มที่ไม่มีประจุ (nonionic surfactants)เป็นกลุ่มที่ส่วนของhydrophilic ไม่มีประจุ แต่สามารถดึงดูดกับน้ำ ทำให้ละลายน้ำได้ เช่น

$$CH_3-(CH_2)_n-CH_2-O-(CH_2-CH_2-O)_n-CH_2-CH_2-OH$$

alkyl ethoxylate

สารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่สังเคราะห์หรือพัฒนาขึ้นมาใหม่ จึงยังไม่นิยมใช้กันแพร่หลายมากและมีราคาแพง โดยทั่วไปเหมาะกับงานซักล้างและใช้กับเครื่องล้างจานอัตโนมัติ

4. กลุ่มที่มีทั้งสองประจุ (amphoteric surfactants) เป็นพวกที่ละลายน้ำแล้วส่วนของ hydrophilic อาจเป็นได้ทั้งประจุบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เช่น

$$CH_3-(CH_2)_n-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{N^+}}-CH_2-COO^-$$

alkyl dimethylbetaine

สารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีทั้งสองประจุ มักนำมาใช้เป็น liquid detergent ขอบเขตการใช้ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การย่อยสลายทางชีวภาพของสารลดแรงตึงผิว

การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) หมายถึง การสลายตัวของสารเคมีโดยปฏิกิริยาทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิต (ผกา อุดมนิธิกุล,2527) สารเคมีในที่นี้คือสารลดแรงตึงผิวนั่นเอง

แต่เดิม สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้เป็นองค์ประกอบของผงซักฟอกกันอย่างแพร่หลาย คือ สารลดแรงตึงผิวชนิด branched alkylate sulfonates (ABS) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างแบบกิ่ง หรือที่เรียกว่า hard detergent เนื่องจากผงซักฟอกประเภทนี้สลายตัวได้ยากในธรรมชาติ ทำให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำ ดังนั้นประเทศต่าง ๆ ในแถบตะวันตกจึงได้พัฒนาเปลี่ยนแปลงไปใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด linear alkylate sulfonates (LAS) มีโครงสร้างแบบเส้นตรง หรือที่เรียกว่า soft detergent เข้ามาแทนการใช้ ABS ประมาณกลางทศวรรษ 1960 จนกระทั่งในปัจจุบันเกือบทุกประเทศได้หันมาใช้ LAS ด้วยเหตุผลที่ว่า LAS มีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายและเร็วกว่า ABS ทำให้ลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

การสลายตัวทางชีวภาพของสารลดแรงตึงผิวชนิด ABS และ LAS สามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน (Swisher, 1987) คือ

1. primary biodegradation คือ การสลายตัวทางชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นลำดับแรก สารลดแรงตึงผิวจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในน้ำ ทำให้โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวเปลี่ยนแปลงไปจนสูญเสียสมบัติต่าง ๆ เช่น การเป็นสารลดแรงตึงผิว การเป็นฟอง และการทำปฏิกิริยากับสี (dye) เป็นต้น

2. ultimate biodegradation คือ การย่อยสลายในขั้นสมบูรณ์ จุลินทรีย์จะย่อยสลายที่ปลายกลุ่มอัลคิลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น จะเกิดการแยกของคาร์บอนอะตอมที่จับคู่กันใน alkyl chain หลุดออกทีละ 2 อะตอม เหลือปลายเป็นหมู่คาร์บอกซิล การย่อยสลายจะเกิดอย่างต่อเนื่อง จำนวนคาร์บอนอะตอมลดลงเรื่อย ๆ จนเหลือแต่เบนซีนและสายของคาร์บอนสั้น ๆ หลังจากนั้นเบนซีนก็จะถูกทำลาย สารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเกลืออนินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์จะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน ซึ่งจำเป็นต่อการดำเนินชีวิต

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของสารลดแรงตึงผิว

1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในแหล่งน้ำ (dissolved oxygen) จากการศึกษาของ Wayman and Robertson (1963) พบว่า การย่อยสลายตัวทางชีวภาพของผงซักฟอกภายใต้สภาพที่มีออกซิเจน (aerobic condition) จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic condition) ซึ่งสอดคล้องกับ Swisher (1987) ที่ว่า การย่อยสลายของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดได้ช้ามากภายใต้สภาพที่ไม่มีออกซิเจน

2. ธาตุอาหาร (nutrient) การย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวโดยจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งจะเกิดเมื่อธาตุอาหารที่เป็นสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายหมดก่อน เพราะจุลินทรีย์ในน้ำชอบที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์อื่น ๆ มากกว่าสารลดแรงตึงผิว ซึ่งย่อยสลายได้ยากกว่า (Swisher,1987) และถ้าในแหล่งน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์สูง สารลดแรงตึงผิวจะย่อยสลายได้ช้ามาก ซึ่งจากการศึกษาของ Urano และ Saito (1985) พบว่า sodium dodecylbenzene sulfonate จะไม่ถูกย่อยสลายในสภาพที่มีค่า biochemical oxygen demand (BOD) สูงกว่า หรือเท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และในสภาวะดังกล่าวนี้จะไม่เกิดการสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวในน้ำทิ้งเลย

3. อุณหภูมิ (temperature) Halvorson and Ishaque (1969) ได้ศึกษาว่าเมื่อเปลี่ยนจาก 25 °C เป็น 10 °C จะทำให้ระยะเวลาที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น และถ้าลดอุณหภูมิต่ำลงจนถึง 0 °C การย่อยสลายจะไม่เกิดขึ้นเลย เช่นเดียวกับ Fuhrman et al. (1964) รายงานว่า ถ้าปัจจัยอื่น ๆ คงที่ อัตราการย่อยสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยทำการทดลอง ที่อุณหภูมิ 0 °C, 23 °C และ 35 °C พบว่า ที่อุณหภูมิ 35 °C สารลดแรงตึงผิวจะถูกย่อยสลายเร็วที่สุด รองลงมาคือ 23 °C และ 0 °C ตามลำดับ

4. สารพิษ (toxic or bacteriostatic agent) สารพิษที่เจือปนอยู่ในแหล่งน้ำจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแบคทีเรีย ซึ่งจะมีผลต่อการย่อยสลายของสารลดแรงตึงผิวด้วย เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ยาฆ่าแมลงที่ใช้ในการเกษตร ซึ่งตกค้างอยู่ในแหล่งน้ำ Fuhrman et al. (1964) ได้ศึกษาพบว่า phenol ที่ระดับความเข้มข้น 2 พีพีเอ็ม จะมีผลต่อทำให้การสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวเกิดขึ้นได้ช้ามาก

5. ชนิดของสารลดแรงตึงผิว (type of surfactant) Weaver and Coughlin (1964) ศึกษาอัตราการสลายตัวทางชีวภาพของ anionic surfactant 2 ชนิด โดยวิธี river die-away ในน้ำจากแม่น้ำ Ohio พบว่า ในเวลา 30 วัน LAS ถูกย่อยสลายเหลือเพียงเล็กน้อย หรือเกือบ 100 เปอร์เซนต์ แต่ ABS ถูกย่อยสลายไปประมาณ 60-70 เปอร์เซนต์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองอื่น ๆ ได้แก่ Swisher (1963), Weil and Stirton (1964) และ ผกา อุดมนิธิกุล (2527) สรุปได้ว่า สารลดแรงตึงผิวชนิด LAS มีการสลายตัวทางชีวภาพได้มากและรวดเร็วกว่าสารลดแรงตึงผิว ABS

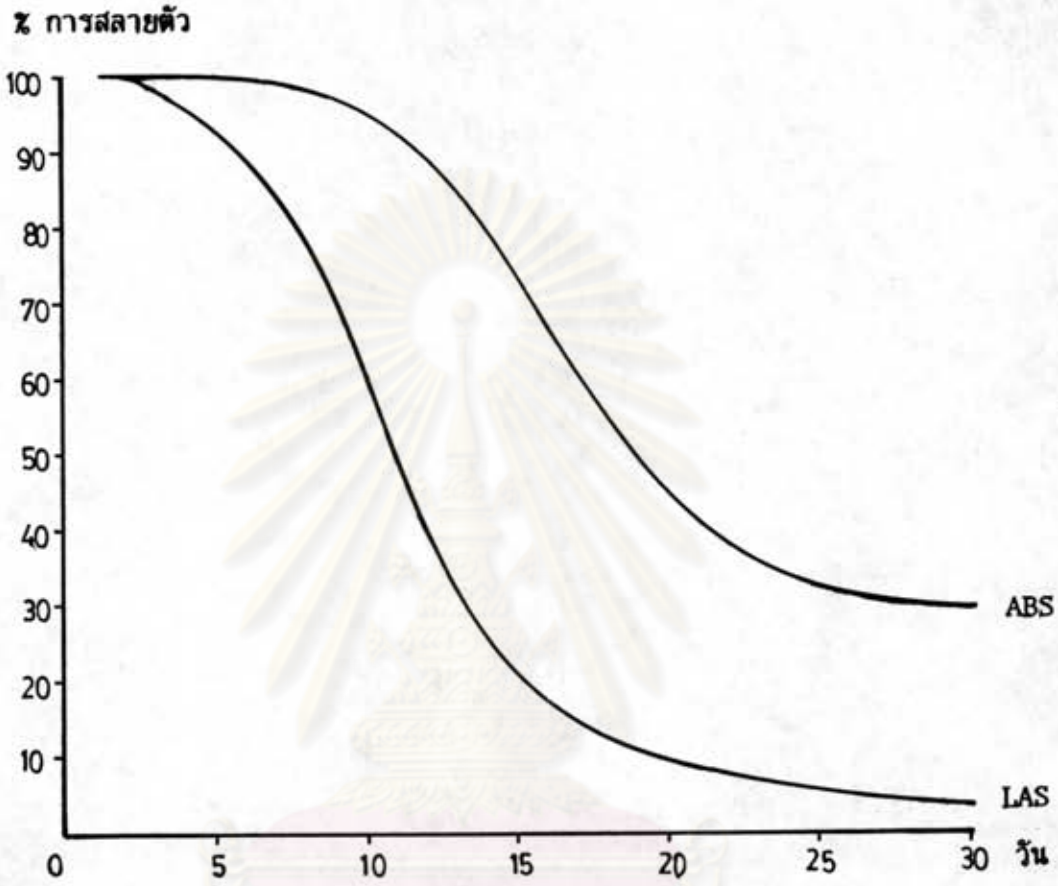
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากการมีปริมาณการใช้ผงซักฟอกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ก็เท่ากับทำให้สารลดแรงตึงผิวนั้นจะสะสมหรือปนเปื้อนในแหล่งน้ำมากขึ้น จนกระทั่งมีอยู่ในระดับความเข้มข้นสูงก็ย่อมจะมีโอกาสส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ จนอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และในที่สุดจะส่งผลกระทบต่อประโยชน์การใช้น้ำของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรม หรือการประมง จากการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อสิ่งมีชีวิต มีผลสรุปดังนี้

1. ผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

จากรายงานถึงอันตรายของผงซักฟอกต่อสุขภาพของมนุษย์ พบว่าผงซักฟอกจะเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทางคือ ทางผิวหนัง โดยไปสัมผัสกับผงซักฟอกจะให้ไขมันตามธรรมชาติที่ผิวหนังลดลง ทำให้เกิดการระคายเคืองเป็นแผลแดงช้ำ เกิดอาการแพ้ตกสะเก็ดและเป็นแผลพุพองจะจะทำให้เกิดโรคผิวหนังชนิดเรื้อรังได้ และอีกทางหนึ่งคือโดยการรับประทานเข้าไปจะมีผลต่อการบีบตัวของลำไส้ ทำให้มีอาการท้องร่วง ลำไส้พุพอง อาเจียน (กนก บุญยะรัตเวช, 2524)

Bornmann and Loeser (1961) อ้างตาม เสิศชัย เจริญธัญรักษ์ (2528) ได้ศึกษาพิษเฉียบพลันของสารลดแรงตึงผิวต่อหนู พบว่า LD_{50} มีค่าเท่ากับ 1,220 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมสำหรับ ABS และ 1,260 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับ LASและ Swisher (1966) ได้รายงานผลการศึกษาถึง พิษเฉียบพลันของสารลดแรงตึงผิวในผงซักฟอก ต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม พบว่ามีค่า LD_{50} ของ ABS และ LAS อยู่ในช่วง 500-30,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการทดลองที่เกี่ยวกับพิษเรื้อรังของสารลดแรงตึงผิว โดยใช้คนเป็นอาสาสมัครให้คนที่มีลำไส้ปกติทาน



รูปที่ 2.2 อัตราการสลายตัวทางชีวภาพของ ABS และ LAS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาหารที่มีสารลดแรงตึงผิวเข้าไปนานๆโดยเฉลี่ยประมาณ 100-10,000 ครั้ง ในปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อวัน ผลปรากฏว่าไม่เป็นอันตรายใด ๆ ทั้งสิ้น

สำหรับความเป็นพิษของผงซักฟอกต่อพันธุกรรม Mikami ได้ทำการทดลองกับหนูเพศผู้ พบว่าผงซักฟอกทำให้ตัวอสุจิผิดปกติ ซึ่งอาจนำมาสู่ความผิดปกติทางพันธุกรรมในรุ่นลูกหลานได้ (สุรพล สุดารา, 2524) และเลิศชัย เจริญธัญรักษ์ (2528) ได้ศึกษาผลทางไซโตจินิติคของผงซักฟอกต่อเซลเม็ดเลือดขาวของคนในอาหารเลี้ยงเซล พบว่าผงซักฟอกทำให้อัตราการแบ่งเซลลดลงแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของผงซักฟอกที่เพิ่มขึ้น (0.5-2.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)และผงซักฟอก ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของผงซักฟอกด้วยเช่นกัน

2. ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

Swisher et al. (1964) ศึกษาความเป็นพิษของ LAS ต่อลูกปลา bluegill (Lepomis macrochirus) พบว่า LAS จะมีผลทำให้การเคลื่อนไหลของปลาช้าลงเสียการทรงตัว และมีเมือกออกจากตัวมากผิดปกติ และจากรายงานของ Hokanson and Smith (1971) ได้ทดลองใช้สารประกอบ LAS กับปลา bluegill พบว่าค่า LC_{50} จะแตกต่างกันตามระยะการเจริญเติบโตของปลา ลูกปลาวัยอ่อนจะเป็นช่วงที่อ่อนแอที่สุด และระดับความเข้มข้นที่ไม่เป็นอันตรายต่อลูกปลาวัยอ่อนคือ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และยังพบอีกว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความกระด้างของน้ำ และอุณหภูมิจะมีผลต่อความเป็นพิษของ LAS คือค่า 44 hr-LC_{50} เท่ากับ 4.25 และ 2.85 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่มีความกระด้าง 15 และ 290 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่า LC_{50} เท่ากับ 0.2 และ 2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำที่มีระดับออกซิเจนละลาย 1.9 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Orathai (1986) ได้ศึกษาความเป็นพิษของผงซักฟอกต่อกุ้งก้ามกราม พบว่า ความเป็นพิษจะเพิ่มขึ้นเมื่อความกระด้างและอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น

Pickerling and Thatcher (1970) ศึกษาความเป็นพิษของ LAS ที่มีต่อปลา fathead minnow ในระยะยาวพบว่า ค่าสูงสุดของ LAS ที่ยอมให้มีในน้ำ โดยไม่เป็นอันตรายต่อปลามีค่าประมาณ 0.63 พีพีเอ็ม และมีค่า 96 hr-LC_{50} เท่ากับ 4.2-4.5 พีพีเอ็ม

จากการรวบรวมผลการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองชีววิเคราะห์ของ อัจฉราภรณ์ อุดมกิจ (2529) ได้กล่าวว่าสารลดแรงตึงผิวอัลคิลเบนซีน ซัลโฟเนต ทั้งแบบกิ่งและแบบเส้นตรง

ก่อให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลันแก่ปลาชนิดต่าง ๆ จะมีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.46 ถึง 12.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ LAS และ 2.1 ถึง 22.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ ABS แสดงให้เห็นว่า LAS มีความเป็นพิษสูงกว่า ABS เช่นเดียวกับการทดลองของธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์ (2526) และชาญยุทธ คงภิรมย์ชื่น (2528) ผลการทดลองปรากฏว่าผงซักฟอกประเภท soft detergent มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำรุนแรงแรงกว่าประเภท hard detergent สัตว์ที่ทดลองคือไรแดง และปลานิล และไมตรี (2524) ได้รายงานว่า LAS จะมีความเป็นพิษเฉียบพลันต่อปลามากกว่า ABS ตั้งแต่ 1.5-4 เท่า โดยเฉพาะในน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัด

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับ ความเป็นพิษสะสมของสารลดแรงตึงผิว พบว่าปลาบางชนิดที่ได้รับสารลดแรงตึงผิวเข้าสู่ร่างกายเป็นระยะเวลานาน ที่ความเข้มข้นระดับหนึ่งซึ่งต่ำกว่าพิษเฉียบพลัน จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อหนวด โดยส่วนปลายของต่อมรับความรู้สึก (taste bud) จะถูกทำลาย ทำให้การว่ายน้ำและการหาอาหารของปลาผิดปกติ และสารลดแรงตึงผิว ยังมีผลทำให้ปลามีความต้านทานต่อสารพิษอื่นที่มีอยู่ในน้ำลดลงอีก เช่น ยาฆ่าแมลง Bardach et al. (1965) และ Mckim et al. (1975) ทำการศึกษาความเป็นพิษสะสมต่อลูกปลาวัยอ่อน โดยได้รับ LAS เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าลูกปลาวัยอ่อนชนิด mouth bass, norther pike, fathead minnow และ white sucker ที่อยู่ในสารละลาย LAS ที่ระดับความเข้มข้น 5.8, 1.1, 1.1 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะทำให้จำนวนลดลง

3. ผลกระทบต่อพืช

การศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อพืช ส่วนมากทำการศึกษาในพืชน้ำจำพวกสาหร่าย พบว่า สารลดแรงตึงผิวจะถูกดูดซึมเข้าไปในบริเวณของเซลเมมเบรน ทำให้เกิดปฏิกิริยาในส่วนของ hydrophobic ของสารลดแรงตึงผิว กับส่วนที่เป็น lipoidal ของเซลเมมเบรน มีผลทำให้ permeability ของเซลเมมเบรนเพิ่มมากขึ้น ถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวความเข้มข้นสูง จะทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเซลเกิดการรั่วไหลออกสู่ภายนอก และอาจทำให้เซลตายได้ในที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สารลดแรงตึงผิวจะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง รวมทั้งมีผลต่อการสร้าง คลอโรฟิลเอ และ บี ลดลงด้วย เซลสาหร่ายจะมีสีเขียวซีด และเกิดความผิดปกติในการสร้างโคโลนี (สุวนิตย์ จุลวัจน์, 2528) เช่นเดียวกับ Davis and Gloyna (1969) ได้รายงานถึง ความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวต่อสาหร่ายว่า สาหร่าย

ส่วนใหญ่เป็นพืชเซลเดียวที่มีผนังเซลบาง โอกาสที่สารลดแรงตึงผิว จะเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลไปสัมผัสกับเซลเมมเบรนเกิดขึ้นได้ง่าย จะทำลายองค์ประกอบภายในเซล โดยเฉพาะคลอโรฟิล ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งสารลดแรงตึงผิวเข้มข้นมาก ๆ จะเกิดการทำลายมากขึ้น ทำให้สาหร่ายตายได้และ Hicks (1985) ทำการทดลองพบว่าถ้าใช้ผงซักฟอกในระดับความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ cytoplasmic membrane ของสาหร่ายผิดปกติไปจากธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่ายสีเขียวชนิด Cladophoa sp. ส่วนสาหร่ายทะเลเมื่อได้รับผงซักฟอกที่มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะทำให้การสังเคราะห์แสงถูกยับยั้งลงถึง 50%

Sachi et al. (1977) ได้ทดลองนำต้นกล้าข้าวมาเลี้ยงใน culture solution ที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิด alkyl benzene sulfonate พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 2.5 พีพีเอ็ม จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของต้น Patamogenton pectinatus และ Paltamogenton densus ในความเข้มข้น 6 พีพีเอ็มจะทำให้ P.densus ตายใน 14 วัน นอกจากนี้ผลการศึกษาอื่นได้แสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวมีผลกระทบต่อพืชบกด้วยเช่นกัน ได้แก่ การศึกษาของ Lopez (1975) พบว่าผงซักฟอกที่มีสาร ABS, LAS, และ alpha olefin sulfonate จะยับยั้งการเจริญเติบโตของ มะเขือเทศ ถั่วเหลือง และข้าวบาเลย์ และจากการทดลองของ Paluch and Nogai (1968) สรุปได้ว่าสารพวก sodium alkyl aryl sulfonate alphenol และ sodium alkyl sulfonate ในอัตราความเข้มข้น 5-280 มิลลิกรัมต่อลิตร จะยับยั้งการงอก และการเจริญเติบโตของรากฝอย ในพวกเมล็ดถั่ว กะหล่ำปลี ข้าวโพด ฝ้าย และข้าวโอ๊ต

4. ผลกระทบต่อจุลินทรีย์

จากการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อจุลินทรีย์ พบว่าสารลดแรงตึงผิวมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ผลกระทบต่อระบบเอ็นไซม์ Czok et al. (1968) สรุปได้ว่า สารลดแรงตึงผิว LAS ชนิด C_8 ที่ระดับความเข้มข้น 25,000-50,000 พีพีเอ็ม จะมีผลต่อกิจกรรมของเอ็นไซม์ acid phosphatase ลดลงไป 50% และ LAS ชนิด C_{17} จะทำให้กิจกรรมของเอ็นไซม์ดังกล่าวลดลง 50% เหมือนกัน แต่ในระดับความเข้มข้นเพียง 25-600 พีพีเอ็มเท่านั้น

แสดงให้เห็นว่า สารลดแรงตึงผิวประเภท LAS มีความเป็นพิษต่อเอ็นไซม์มากขึ้น เมื่อ alkyl chain มีความยาวเพิ่มขึ้น

ผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ Kopp and Muller (1965) รายงานว่าสารลดแรงตึงผิวจะไปทำให้ส่วนของ flagella ขาดหายไป เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวไปยับยั้งการสร้าง flagella และจากการศึกษาด้วย electron microscope พบว่า sodium dodecyl sulfate (C_{12}) ที่ระดับความเข้มข้น 0.005 mg/Lจะมีผลไปยับยั้งการสร้าง flagella ของ Proteus mirabil นอกจากนี้ได้สรุปอีกว่าสารลดแรงตึงผิว sodium alkyl sulfate จะทำให้แบคทีเรียจำพวก Proteus sp. มีการจับกลุ่มกัน ซึ่งจะมีผลมากขึ้นถ้ามี alkyl chain ยาวขึ้น

ผลกระทบต่อการใช้ออกซิเจน Fischler (1958) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของ anionic surfactantsที่มีต่อการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียจำพวก Mycobacterium phlei และ Staphylococus aureus พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม จะสามารถยับยั้งการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียทั้งสองชนิดและที่ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งได้สมบูรณ์ทำให้เซลของแบคทีเรียตายไปในที่สุด

Swedmark et al. (1964) ได้สรุปว่า LAS จะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่า ABS และ nonionic surfactant จะมีความเป็นพิษน้อยกว่า anionic surfactant

นอกจากสารลดแรงตึงผิวมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตโดยตรงแล้ว ยังพบอีกว่าสารลดแรงตึงผิวจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำจะมีผลต่อคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมยิ่งขึ้น จากการศึกษาของ Marchetti (1965) ได้กล่าวว่า สารลดแรงตึงผิวปริมาณต่ำ เช่น 0.3 หรือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้เกิดฟองในแหล่งน้ำ ซึ่ง Klein (1966) ได้อธิบายว่า ฟองเหล่านี้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงถึงร้อยละ 20 จะส่งผลกระทบต่อระบบการหายใจของสัตว์น้ำและพืชน้ำ และสิ่งสำคัญยังมีผลต่อการคืนสภาพของน้ำตามธรรมชาติ (self purification) และฟองจะไปขัดขวางในขบวนการเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียลดลง (Nelson, 1980)

การศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อสิ่งมีชีวิตในประเทศไทย

การศึกษาวิจัยถึงผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวต่อสิ่งมีชีวิตในประเทศไทยเท่าที่ผ่านมา พบว่า งานวิจัยเกือบทั้งหมดเป็นการศึกษาทดลองถึงความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute toxicity) สำหรับการศึกษาถึงความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Chronic toxicity) มีอยู่น้อยมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเป็นพิษของผงซักฟอกและสารลดแรงตึงผิวต่อสิ่งมีชีวิตในประเทศไทย

สิ่งมีชีวิตที่ทดลอง	สารลดแรงตึงผิว	ผลการศึกษา	ผู้ศึกษา
ไรแดง (Moina macrocopa)	แอ็บ (ABS) ซอร์ส (ABS) ไวท์เนจิค (LAS)	24 hr-LC_{50} เท่ากับ 8.1 mg/L 24 hr-LC_{50} เท่ากับ 37.3 mg/L 24 hr-LC_{50} เท่ากับ 16.8 mg/L	ธนากรณ์ จิตตชำลพงศ์ (2526)
ไรแดง (Moina macrocopa)	LAS APE (Alkyl phenol ethoxylate)	24 hr-LC_{50} 7.50 ppm.ในน้ำด่างกลางที่ไม่เติมอาหาร 24 hr-LC_{50} 13.75 ppm.ในน้ำด่างกลางที่เติมอาหาร 24 hr-LC_{50} 37.50 ppm.ในน้ำด่างกลางที่ไม่เติมอาหาร 24 hr-LC_{50} 50.00 ppm.ในน้ำด่างกลางที่เติมอาหาร ส่วนการศึกษาถึงพิษะสมพบว่าสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิด มีผลต่อการสืบพันธุ์ของไรแดง ทำให้จำนวนลูกที่เกิดและความสามารถในการสืบพันธุ์ลดลง รวมทั้งช่วงชีวิตของไรแดงสั้นลงด้วย และค่าความเข้มข้นที่ปลอดภัยของ LAS และ APE ต่อไรแดง เท่ากับ 1.73 และ 8.90 ppm. ตามลำดับ	เรวัต วัฒนาภูลกิจ (2531)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สิ่งมีชีวิตที่ทดลอง	สารลดแรงตึงผิว	ผลการศึกษา	ผู้ศึกษา
ปลาตะเพียนขาว (Puntius gonionotus)	soft detergent	96 hr-LC_{50} 13.60 mg/L ในน้ำอ่อน	Harwinta F. (1984)
		96 hr-LC_{50} 11.84 mg/L ในน้ำค่อนข้างกระด้าง	
		96 hr-LC_{50} 11.41 mg/L ในน้ำกระด้าง	
	hard detergent	96 hr-LC_{50} 24.71 mg/L ในน้ำอ่อน	
		96 hr-LC_{50} 13.64 mg/L ในน้ำค่อนข้างกระด้าง	
		96 hr-LC_{50} 10.45 mg/L ในน้ำกระด้าง	
	soft detergent	96 hr-LC_{50} 11.84 mg/L ที่อุณหภูมิ 28°C	
		96 hr-LC_{50} 11.51 mg/L ที่อุณหภูมิ 35°C	
	hard detergent	96 hr-LC_{50} 13.64 mg/L ที่อุณหภูมิ 28°C	
		96 hr-LC_{50} 12.06 mg/L ที่อุณหภูมิ 35°C	
ปลานิล (Tilapia nilotica)	แฟ็บ (ABS)	96 hr-LC_{50} เท่ากับ 19.50 mg/L	ราตรีธร ดงกิรมย์ชื่น (2528)
	แฟ็บ (LAS)	96 hr-LC_{50} เท่ากับ 9.20 mg/L	
	ไวพ์เพจิค (LAS)	96 hr-LC_{50} เท่ากับ 12.60 mg/L	
ปลานิล (Tilapia nilotica)	แฟ็บ, สินไทย, เซาปุ้นจิ้น และบรีส ชนิด ABS	สารละลายผงซักฟอกทุกชนิดจะมีผลทำให้ปลานิลมีการเจริญเติบโตช้า และผงซักฟอกชนิดเดียวกันในระดับความเข้มข้นสูงจะทำให้ปลานิลเจริญเติบโตช้ากว่าในระดับความเข้มข้นต่ำ	สุพิกฤษฎ์ พึ่งน้อย (2528)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สิ่งมีชีวิตที่ทดลอง	สารลดแรงตึงผิว	ผลการศึกษา	ผู้ศึกษา
ลูกปลานิล (Tilapia nilotica)	ABS	96 hr-LC_{50} 5.15 mg/L	อัจฉราภรณ์ อุดมกิจ (2528)
	LAS	96 hr-LC_{50} 1.06 mg/L	
		ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทั้ง 2 ชนิด จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีความเค็มสูงกว่า 20 ppt	
กุ้งก้ามกราม (Macrobranchiun rosenbergii)	soft detergent	96 hr-LC_{50} 21.9 mg/L ในน้ำอ่อน	Orathai (1986)
		96 hr-LC_{50} 18.2 mg/L ในน้ำค่อนข้างกระด้าง	
		96 hr-LC_{50} 18.1 mg/L ในน้ำกระด้าง	
	hard detergent	96 hr-LC_{50} 61.7 mg/L ในน้ำอ่อน	
		96 hr-LC_{50} 54.7 mg/L ในน้ำค่อนข้างกระด้าง	
		96 hr-LC_{50} 54.4 mg/L ในน้ำกระด้าง	
	soft detergent	96 hr-LC_{50} 20.9 mg/L ที่อุณหภูมิ 23°C	
		96 hr-LC_{50} 18.2 mg/L ที่อุณหภูมิ 28°C	
		96 hr-LC_{50} 11.8 mg/L ที่อุณหภูมิ 33°C	
	hard detergent	96 hr-LC_{50} 59.5 mg/L ที่อุณหภูมิ 23°C	
		96 hr-LC_{50} 54.7 mg/L ที่อุณหภูมิ 28°C	
		96 hr-LC_{50} 41.3 mg/L ที่อุณหภูมิ 33°C	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สิ่งมีชีวิตที่ทดลอง	สารลดแรงตึงผิว	ผลการศึกษา	ผู้ศึกษา
แบคทีเรียที่อยู่ในดิน	แฟ็บ ขาว เขาปุ่นจิ้น	-ที่ระดับความเข้มข้น 3 ppm พาให้ปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 ppm จะมีปริมาณลดลง -ไม่มีผลเปลี่ยนแปลงที่ทุกระดับความเข้มข้น -มีความเข้มข้นเพียง 1 ppm พาให้แบคทีเรียลดลง	สิทธิชัย บุตรน้ำเพ็ชร (2528)
จุลินทรีย์ในปุ๋ยหมัก (2532)	Fab (ABS) และ White Magic (LAS)	ที่ระดับความเข้มข้น 70 ppm สำหรับ ABS และ 20 ppm. สำหรับ LAS จะพาให้ปริมาณจุลินทรีย์มีปริมาณลดลงในระดับต่ำสุด	วสันต์ ต้นไทม (2532)
สาหร่ายสีเขียว (S. aeutus)	ABS และ LAS	ผงซักฟอกชนิด ABS 1 และ LAS 1 ที่ระดับ ความเข้มข้นต่ำ สาหร่ายจะเจริญได้ดีจนถึงระดับหนึ่ง ถ้าความเข้มข้นสูงขึ้นจะยังการเจริญเติบโต สำหรับ ABS 2 และ LAS 2 ทุกระดับความเข้มข้น จะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตช้า	สุวนิตย์ จุลวัจน์ (2528)
สาหร่าย (Chlorella sp.)	ABS และ LAS	ที่ระดับความเข้มข้น 0.57 mg/L จะยับยั้งการเจริญเติบโต และจะยับยั้งโดยสมบูรณ์เมื่อความเข้มข้นของ ABS เท่ากับ 27.59 mg/L และ LAS 27.34 mg/L ถ้าค่าความเค็มเพิ่มขึ้น LAS จะมีความเป็นพิษมากกว่า ABS	Somchit (1986)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สิ่งมีชีวิตที่ทดลอง	สารลดแรงตึงผิว	ผลการศึกษา	ผู้ศึกษา
ผักตบชวา (Eichhornia crassipes)	soft และ hard detergent	ผงซักฟอกทั้ง 2 ชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 mg/L ทำให้เจริญเติบโตดี แต่ที่ 50 mg/L ทำให้เกิดความผิดปกติและตายในที่สุด	อังจรีย์ วรรณ เชาว์วาสิน (2528)
เซลเม็ดเลือดขาวของคนในอาหารเลี้ยงเชื้อ	hard และ soft detergent	ผงซักฟอกทั้ง 2 ชนิดจะทำให้อัตราการแบ่งเซลลดลง และทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม โดยแปรผันตามความเข้มข้นของผงซักฟอกที่เพิ่มขึ้น (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mg/L)	เสริม เจริญธัญรักษ์ (2528)

จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวต่อสิ่งมีชีวิตขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัย ได้แก่

1. ชนิดหรือโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว คือ ผงซักฟอกที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิด LAS โดยมีโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรง มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตรุนแรงกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด ABS ซึ่งมีโครงสร้างแบบกิ่ง โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตประเภทสัตว์น้ำ เช่น พวกปลา กุ้ง และไรแดง

2. ระดับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว คือ สารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวกันในระดับความเข้มข้นสูง มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมากกว่าในระดับความเข้มข้นต่ำ

3. อุณหภูมิของน้ำ คือ ความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวต่อสัตว์น้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น

4. ระดับความกระด้างของน้ำ คือ สารลดแรงตึงผิวในน้ำที่มีระดับความกระด้างสูงมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าในน้ำที่มีระดับความกระด้างต่ำ หรือน้ำอ่อน

5. ความเค็มของน้ำ คือ ความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวต่อสัตว์น้ำ จะเพิ่มขึ้นเมื่อในน้ำมีความเค็มสูงขึ้น

ปริมาณสารลดแรงตึงผิวในแหล่งน้ำ

การศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่มีอยู่ในแหล่งน้ำในประเทศไทยเท่าที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ทำการศึกษาในช่วงปี 2527-2528 ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ระหว่างการเริ่มเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวชนิด ABS มาเป็น LAS การศึกษาทั้งหมดได้รายงานถึงปริมาณสารลดแรงตึงผิวในรูปของ Methylene Blue Active Substances (MBAS) สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่พบในแหล่งน้ำในประเทศไทย

แหล่งน้ำ	ปริมาณที่พบ		ผู้ศึกษา
	ในน้ำ (mg/L MBAS)	ในดินตะกอน (µg/g MBAS)	
แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	0.01-1.54	0.20-149.21	ภาควิชาชีววิทยา
คลองพระโขนง	0.07-2.02	1.99-352.80	คณะวิทยาศาสตร์
คลองผดุงกรุงเกษม	0.40-3.05	43.89-762.92	มหาวิทยาลัยมหิดล (2527)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

แหล่งน้ำ	ปริมาณที่พบ		ผู้ศึกษา
	ในน้ำ (mg/L MBAS)	ในดินตะกอน (µg/g MBAS)	
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.050-0.460	-	ผกา อุดมนิธิกุล (2527)
แม่น้ำแม่กลอง	0.040-0.070	-	
แม่น้ำท่าจีน	0.051-0.095	-	
แม่น้ำบางปะกง	0.055-0.100	-	
อ่าวไทยตอนบน	0.007-0.058	-	
แม่น้ำเจ้าพระยา	0.04-0.48	4.6-12.0	ชีเท็ด และธรณีเท็ด (2527)
แม่น้ำแม่กลอง	0.04-0.07	1.2-11.6	
แม่น้ำท่าจีน	0.05-0.08	2.1-10.6	
แม่น้ำบางปะกง	0.05-0.10	4.0-10.0	
อ่าวไทยตอนบน	0.01-0.06	3.0-9.4	
คลองสายต่าง ๆ	0.06-2.00	-	
แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	0.010-0.152	1.95-18.84	Onedera (1985)
คลองต่าง ๆ ตลอดแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	0.019-0.138	1.79-28.50	

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

แหล่งน้ำ	ปริมาณที่พบ		ผู้ศึกษา
	ในน้ำ (mg/L MBAS)	ในดินตะกอน (µg/g MBAS)	
แม่น้ำบางปะกง	0.023-0.080	-	ทองทิพย์ ศามา (2530)
แม่น้ำนครนายก	0.023-0.069	-	
แม่น้ำปราจีนบุรี	0.039-0.068	-	

สำหรับการศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในแหล่งน้ำในต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น Hon-nami และ Hanga (1979) พบว่า ในปี 1978 มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวในรูป MBAS ในแม่น้ำ Tamagawa อยู่ในช่วง 0.24-0.66 มิลลิกรัมต่อลิตร และในแม่น้ำ Ohkuri และแม่น้ำ No เท่ากับ 0.24 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในอ่าวโตเกียวมีปริมาณ MBAS อยู่ในช่วงระหว่าง 0.03-0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร Kikuchi et al. (1986) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณ LAS ในทะเล โดยใช้วิธี High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) ผลการศึกษาพบว่า ปี 1982 ในอ่าวโตเกียวมีความเข้มข้นของ LAS ในน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง 0.8-30 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งบริเวณชายฝั่งมีความเข้มข้นสูงสุด สำหรับในดินตะกอนมีค่าตั้งแต่น้อยกว่า 0.2 ถึง 69 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และในตัวอย่างปลา มีค่าน้อยกว่า 0.3 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักเปียก) ส่วนในประเทศอิหร่าน ได้มีการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในบ่อบาดาล ที่กรุง Tehran ทั้งหมด 316 บ่อ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำพบว่า ในน้ำบาดาลมีค่าความเข้มข้นตั้งแต่ตรวจไม่พบจนถึง 1.403 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ 95 เปอร์เซนต์ของบ่อทั้งหมดมีความเข้มข้น MBAS อยู่ระหว่าง 0.006-0.159 มิลลิกรัมต่อลิตร (Imandel et al., 1977) สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา Pickering

(1970) ได้รายงานถึงปริมาณ MBAS ในแม่น้ำ Illinois ที่ Peoria ว่า ในช่วงปี 1959-1965 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 มิลลิกรัมต่อลิตร และในปี 1965-1966 ซึ่งเป็นช่วงที่หลังจากเลิกใช้ ABS แล้ว มีค่า MBAS เฉลี่ยลดลงเหลือ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร และในแม่น้ำ Illinois ที่ Grafton ในปี 1964 มีค่า MBAS อยู่ระหว่าง 0.10-0.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ปี 1966 มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร และปี 1967 มีค่าอยู่ในช่วง 0.10-0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร และในแม่น้ำ Ohio ปี 1966 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร

การสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวในระบบบำบัดน้ำเสีย

1. ระบบ septic tank Klein and Mcgauhey (1965) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ ABS, LAS และ ALC (alcohol sulfate) ในแบบจำลองของถังเกรอะแบบลานซึม (septic tank percolation field system) โดยมีค่า detention time 2 วัน ผลการศึกษาพบว่า ABS ถูกกำจัดได้น้อยที่สุดคือ 54.5-73.9% ส่วน LAS และ ALC มีประสิทธิภาพถูกกำจัดเท่ากับ 97% และ 99% ตามลำดับ ส่วน septic Tank ซึ่งย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) ปรากฏว่าทั้ง LAS และ ABS ถูกกำจัดออกไปได้น้อยมากคือ LAS เท่ากับ 9-14.6% และ ABS 8.5-9.8% นวลฉวี เรืองไรรัตนโรจน์ (2529) ได้ศึกษาการสลายตัวของผงซักฟอกในระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบถังเกรอะ โดยวิธี die-away technique พบว่า soft detergent (LAS) ทุกระดับความเข้มข้นมีการสลายตัวเร็วกว่า และดีกว่า hard detergent (ABS) คือ ในระยะเวลาที่ทดลอง 47 วัน ผงซักฟอกชนิด LAS สามารถสลายตัวได้ถึง 80-100% แต่ขณะที่ผงซักฟอกชนิด ABS สลายตัวได้เพียง 0-20%

2. ระบบ oxidation pond Klein and Mcgauhey (1965) ได้ศึกษาการสลายตัวของสารลดแรงตึงผิวในแบบจำลองแบบ conventional stabilization ponds โดยใน standard-rate pond มีค่า detention time 30 วัน สามารถกำจัด ABS, LAS และ ALC ได้ น้อยกว่า 40% , 91% และ 98% ตามลำดับ และใน high-rate pond มีค่า

detention time 3.3 วัน สามารถสลาย ABS, LAS และ ALC ได้เท่ากับ น้อยกว่า 15%, 56.2% และ 95.2% ตามลำดับ

3. ระบบ extended aeration Theodore (1968)ได้รายงานถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารลดแรงตึงผิวของระบบ extended aeration ซึ่งมีค่า detention time 47 ชั่วโมง จะสามารถกำจัด ABS ได้เพียง 58-61% และ LAS ได้ 97.7% และที่มี detention time เท่ากับ 13 ชั่วโมง สามารถกำจัด ABS ได้ 32.8% และ 70.2%

4. ระบบ trickling filter Klein and Mcgauhey (1965) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบบำบัดแบบ standard-rate trickling filter พบว่า ABS ถูกกำจัดไปได้ประมาณ 30-35% ส่วน LAS ถูกกำจัดได้มากกว่า 80% และ Theodore (1968) ได้รายงานถึงประสิทธิภาพในการกำจัด LAS ของระบบนี้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ LAS ถูกกำจัดได้ประมาณ 75-80%

5. ระบบ activated sludge Klein and Mcgauhey (1966) ได้ทำการศึกษาในแบบจำลอง activated sludge โดยมี detention time 15 วัน และ 25 วัน พบว่า LAS สามารถสลายตัวได้โดยเฉลี่ย 94.7 และ 94.6% สำหรับ ABS ที่มี detention time 30 วัน ถูกกำจัดได้ 44.9% Theodore (1968) ได้รายงานถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสารลดแรงตึงผิวของระบบ conventional activated sludge มีค่า detention time 6-16 ชั่วโมง พบว่า สามารถกำจัด ABS ได้ 54% และ LAS 85% สำหรับการศึกษาของนวลฉวี เรืองไรรัตนโรจน์ (2529) โดยใช้วิธี batch-sludge die-away ทำการทดลองเป็นเวลา 172 ชั่วโมง พบว่าชนิดและระดับความเข้มข้นของผงซักฟอกมีอัตราการสลายตัวไม่แตกต่างกัน คือ ผงซักฟอกชนิด ABS สามารถถูกกำจัดไปประมาณ 92% ส่วน LAS ถูกกำจัด 97%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย