

บทที่ 3

ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

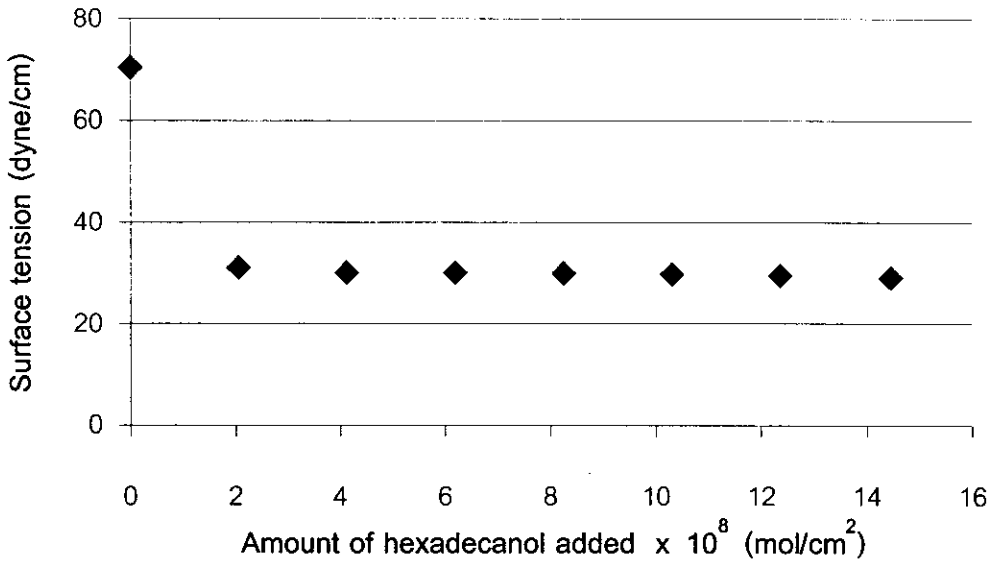
1. ผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไปต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของ VOC

1.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ VOC กับเวลา

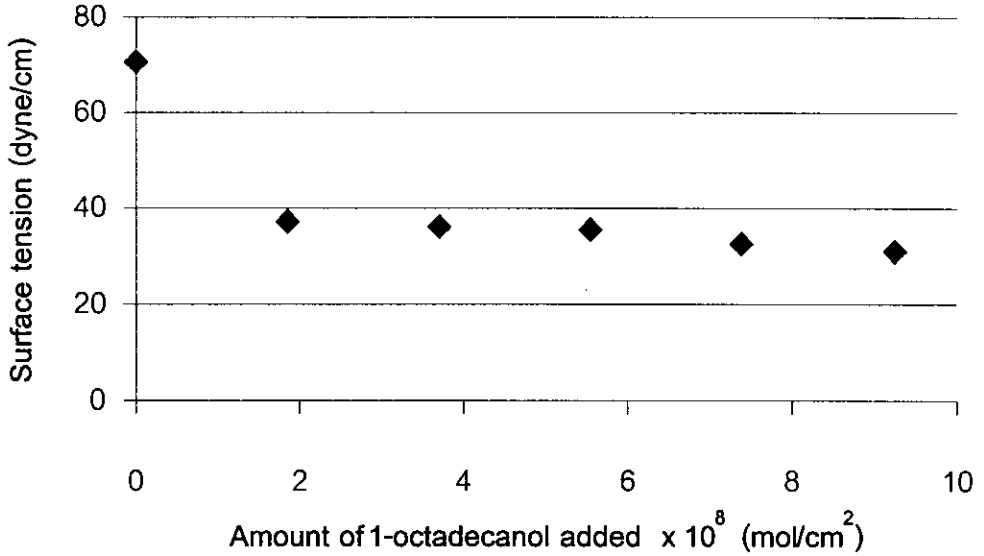
วัดความเข้มข้นของ VOC ที่เวลาต่างๆ จากกระบวนการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำ โดยทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิห้องประมาณ 27 °C และไม่มีกระแสลมพัดผ่าน โดยแปรเปลี่ยนชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ โดยเลือกใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ และจัดเรียงตัวเป็นฟิล์มปกคลุมบนผิวน้ำ สารลดแรงตึงผิวที่เลือกใช้ ได้แก่ hexadecanol และ 1-octadecanol ซึ่งมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานดังนี้

1. มีความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลดี
2. มีอัตราการแพร่กระจาย (spreading rate) สูง
3. การจัดเรียงตัวเป็นฟิล์มสามารถทำได้ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้
4. เมื่อมีการฉีกขาดของฟิล์ม จะสามารถคืนกลับ (recover) มาได้อย่างรวดเร็ว
5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) ไม่เกิดขึ้นเร็วจนเกินไป
6. ไม่รบกวนหรือมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป จะเกิดการสะสมของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวบริเวณผิวน้ำ จะทำให้ความตึงผิวของน้ำลดลง จากการทดลองวัดค่าความตึงผิวของน้ำที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่างๆ แสดงได้ดังภาพประกอบ 4 จะเห็นว่า ความตึงผิวของน้ำจะลดลงตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป และเมื่อวัดค่าความเข้มข้นของ VOC ในน้ำที่เวลาต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของ VOC ในน้ำเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นจะมีค่าลดลงตามเวลา ดังแสดงในภาพประกอบ 5, 6, 7 และ 8

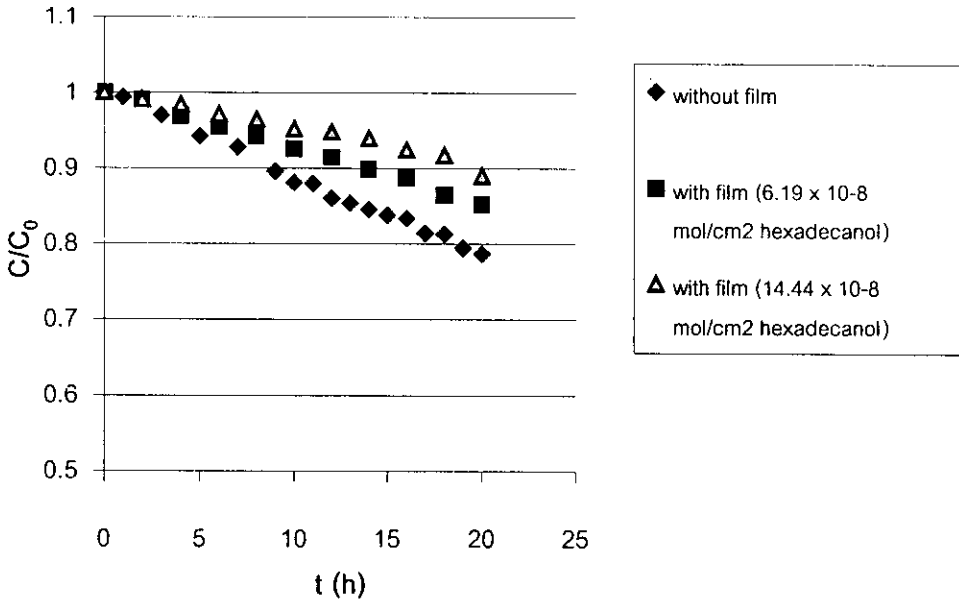


(a)

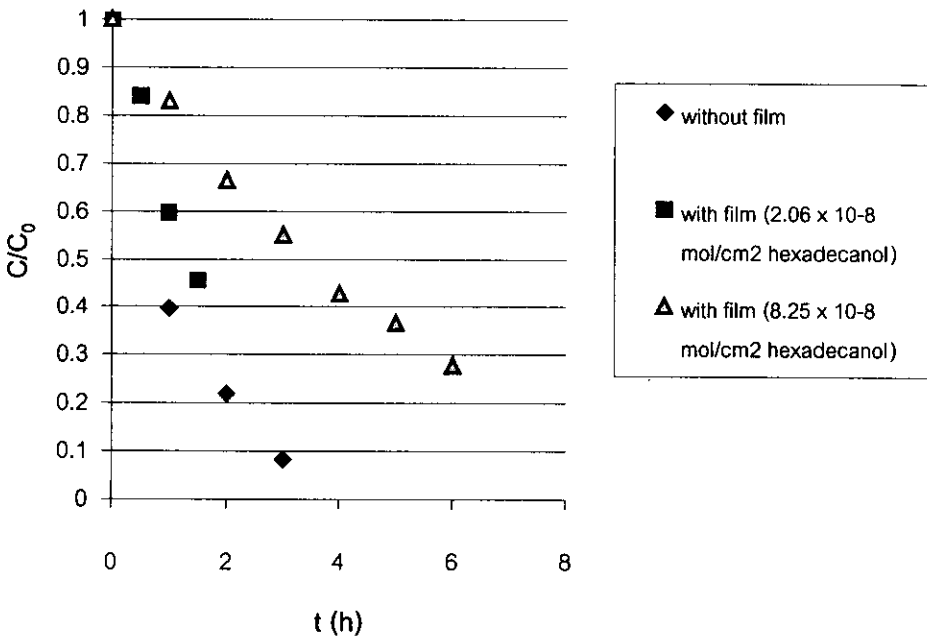


(b)

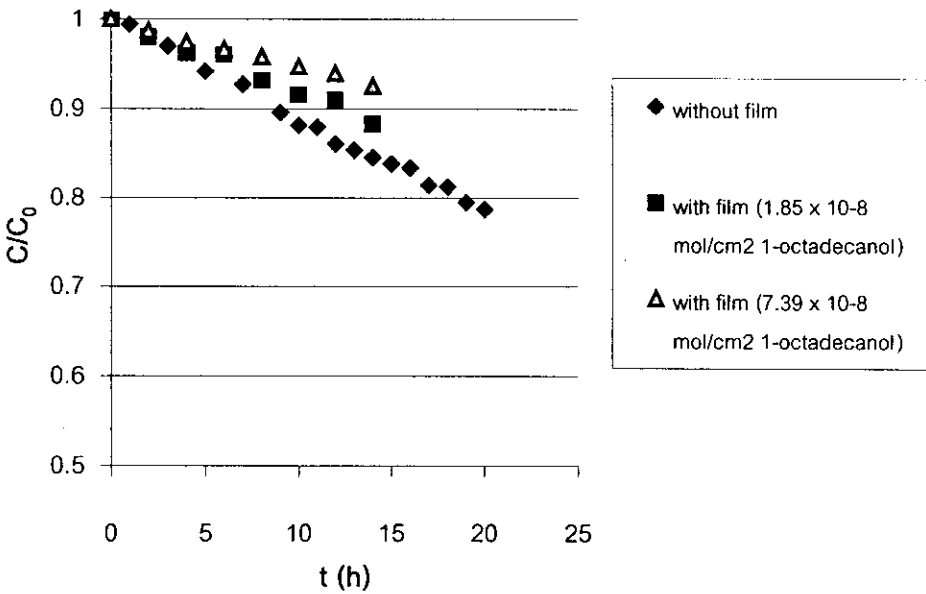
ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ hexadecanol (a) และ 1-octadecanol (b) กับความตึงผิวของน้ำ



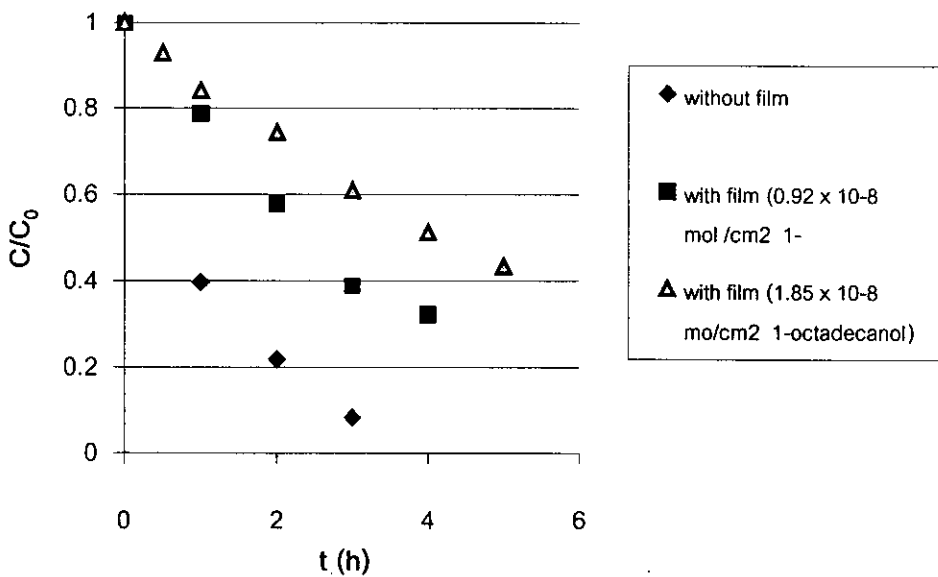
ภาพประกอบ 5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเมทานอลในน้ำที่เวลาต่างๆ เทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C ความเร็วลม 0 m.s⁻¹ โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ hexadecanol



ภาพประกอบ 6 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโทลูอีนในน้ำที่เวลาต่างๆ เทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่อุณหภูมิของแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C ความเร็วลม 0 m.s⁻¹ โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ hexadecanol



ภาพประกอบ 7 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเมทานอลในน้ำที่เวลาต่างๆ เทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ แหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C ความเร็วลม 0 m.s⁻¹ โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ 1-octadecanol



ภาพประกอบ 8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโทลูอีนในน้ำที่เวลาต่างๆ เทียบกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C ความเร็วลม 0 m.s⁻¹ โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ 1-octadecanol

จากกราฟในภาพประกอบ 5, 6, 7 และ 8 พบว่า เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป ความเข้มข้นของ VOC ในน้ำเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น (C/C_0) มีค่าลดลงช้ากว่ากรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว เพราะ ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะไปปกคลุมบนผิวน้ำ ปิดกั้นไม่ให้ VOC ระเหยออกไป ทำให้ความเข้มข้นของ VOC ในน้ำในกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเมทานอลในน้ำกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโกลูอินในน้ำเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น พบว่า ความเข้มข้นของโกลูอินในน้ำจะลดลงเร็วกว่ากรณีของเมทานอล เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า โกลูอินมีค่าคงที่ของเฮนรี่สูง อัตราการระเหยจะมีค่าสูง ในขณะที่เมทานอลจะมีค่าคงที่ของเฮนรี่ต่ำ ดังนั้น จึงทำให้โกลูอินสามารถระเหยออกไปได้เร็วกว่าเมทานอล

1.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว ($K_{OL,a}$)

จากข้อมูลความเข้มข้นของ VOC ที่เวลาต่างๆ นำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว ($K_{OL,a}$) โดยการพล็อตกราฟระหว่าง $\ln(C_{L,t}/C_{L,0})$ กับเวลา (t) ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1.6) คือ

$$\ln\left(\frac{C_{L,t}}{C_{L,0}}\right) = -K_{OL}a_v t = -\frac{K_{OL}At}{V} = -\frac{K_{OL,a}t}{V}$$

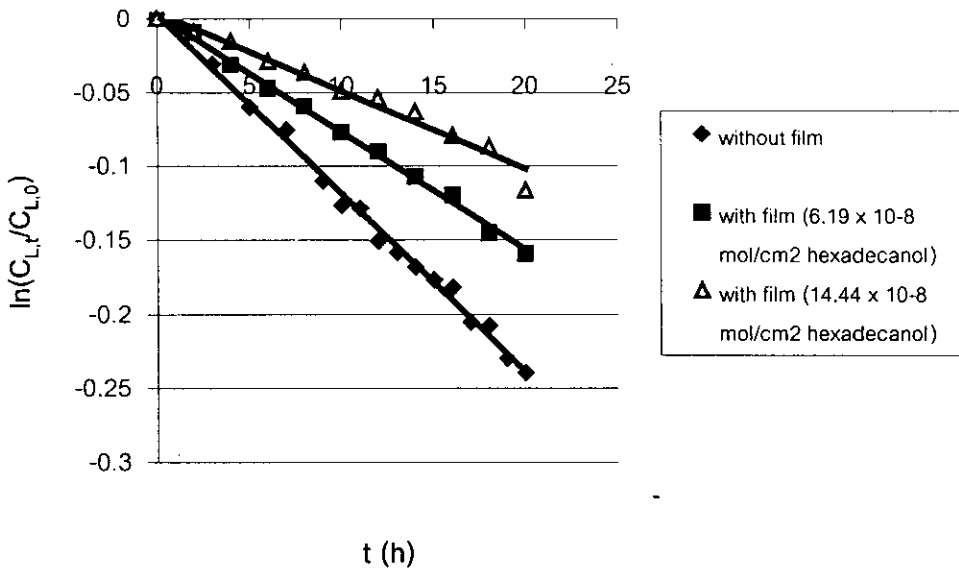
- เมื่อ
- a_v = อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของการระเหยต่อปริมาตรของสารละลาย, m^{-1}
 - K_{OL} = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว, $m \cdot s^{-1}$
 - $K_{OL,a}$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว, $m^3 \cdot s^{-1}$
 - A = พื้นที่ผิวของการระเหย, m^2
 - V = ปริมาตรของสารละลาย, m^3

ซึ่งจะได้กราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด

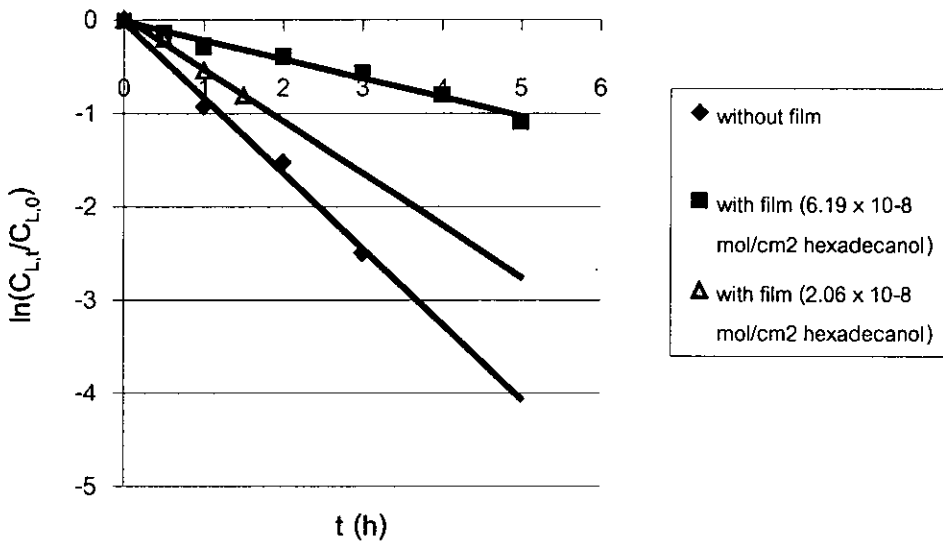
โดยที่

$$slope = -\frac{K_{OL,a}}{V}$$

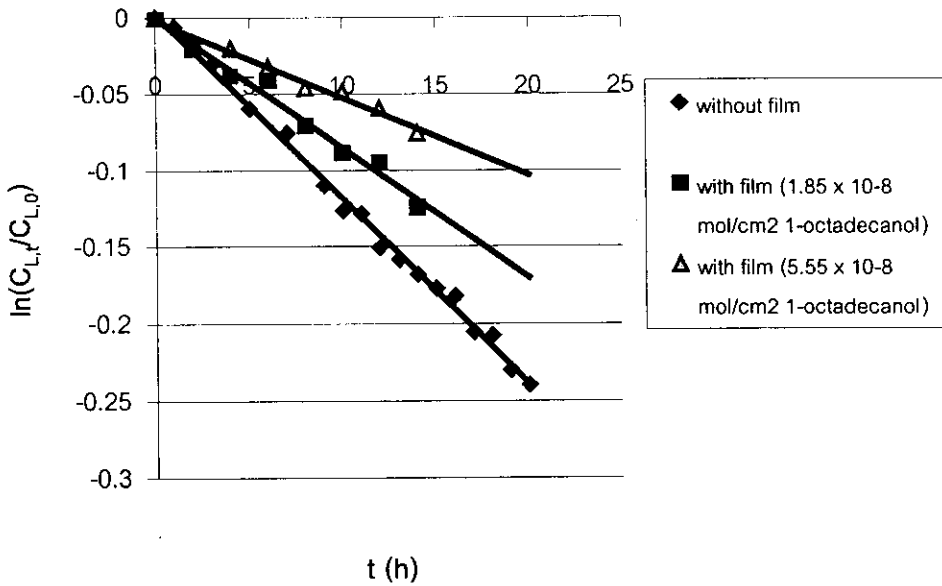
ดังแสดงในภาพประกอบ 9, 10, 11 และ 12



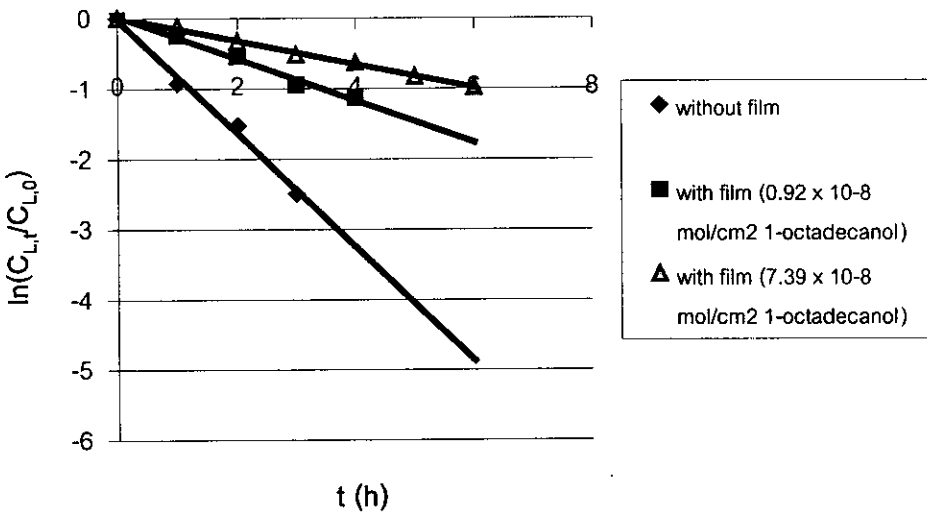
ภาพประกอบ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(C_{L,t}/C_{L,0})$ กับ เวลา (t) สำหรับการระเหยของเมทานอลจากน้ำ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27°C ความเร็วลม 0 m.s^{-1} โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ hexadecanol



ภาพประกอบ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(C_{L,t}/C_{L,0})$ กับเวลา (t) สำหรับการระเหยของโทลูอีนจากน้ำ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27°C ความเร็วลม 0 m.s^{-1} โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ hexadecanol



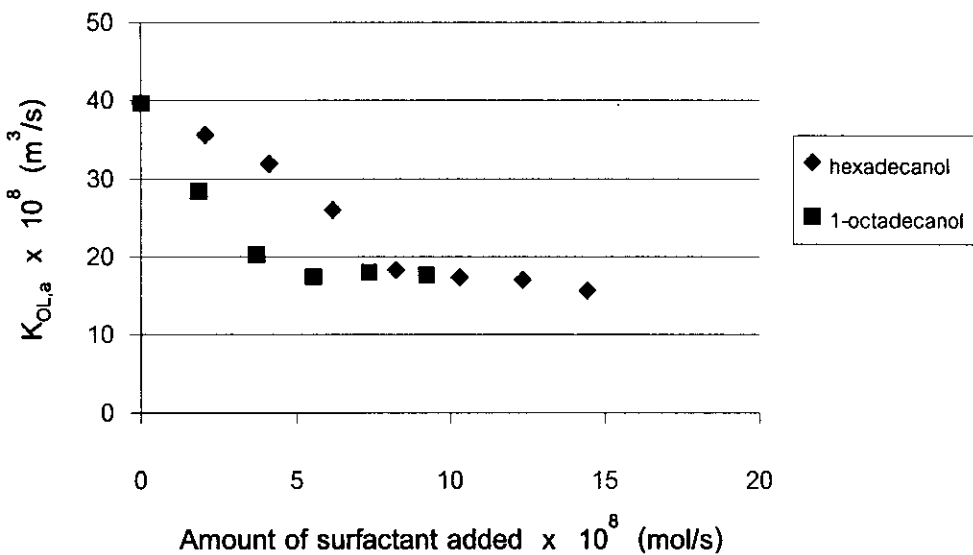
ภาพประกอบ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(C_{L,t}/C_{L,0})$ กับ เวลา (t) สำหรับการระเหยของเมนทอลจากน้ำ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27°C ความเร็วลม 0 m.s^{-1} โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ 1-octadecanol



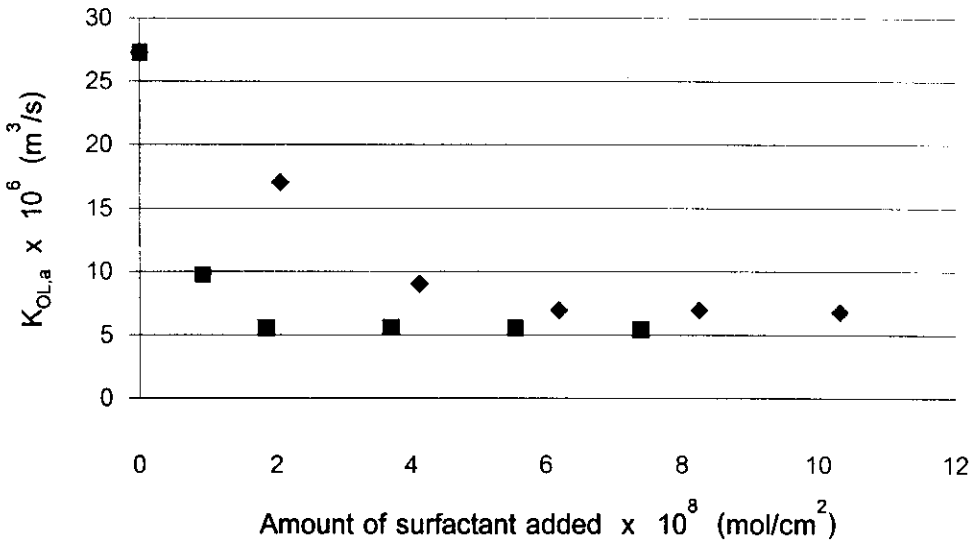
ภาพประกอบ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(C_{L,t}/C_{L,0})$ กับเวลา (t) สำหรับการระเหยของโทลูอินจากน้ำ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27°C ความเร็วลม 0 m.s^{-1} โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของ 1-octadecanol

จากกราฟในภาพประกอบ 9, 10, 11 และ 12 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(C_L/C_{L0})$ กับ เวลา (t) พบว่า เมื่อมีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว ความชันของกราฟจะลดลง และจะลดลงมากยิ่งขึ้นเมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งความชันเหล่านี้จะบ่งบอกถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว ($K_{OL,a}$) ของ VOC จึงกล่าวได้ว่า ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลวมีค่าลดลง และจะมีค่าลดลงมากยิ่งขึ้นเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลวแปรผันกับปริมาณและชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ แสดงในภาพประกอบ 13 และ 14 สำหรับกรณีการระเหยของเมทานอลและโทลูอิน ตามลำดับ



ภาพประกอบ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของเมทานอลเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว ($K_{OL,a}$) กับปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ $27^\circ C$ และความเร็วลม 0 m/s



ภาพประกอบ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของไหลอื่นเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว ($K_{OL,a}$) กับปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27°C และความเร็วลม 0 m/s

จากกราฟในภาพประกอบ 13 และ 14 จะเห็นว่า เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว ($K_{OL,a}$) ลดลง โดยที่ค่า $K_{OL,a}$ จะลดลงตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่ง ค่า $K_{OL,a}$ จะมีค่าคงที่ โดยพบว่า แม้ว่าจะใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่มากขึ้น แต่ก็ไม่สามารถทำให้ค่า $K_{OL,a}$ ลดลงได้อีกต่อไป เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก สารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไปจะมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ และจัดเรียงตัวเป็นฟิล์มปกคลุมผิวน้ำ ซึ่งจุดที่ $K_{OL,a}$ เริ่มคงที่ จะเป็นจุดที่ฟิล์มของสารปกคลุมผิวน้ำอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจากกราฟพบว่า ปริมาณของ hexadecanol และ 1-octadecanol ที่ทำให้ค่า $K_{OL,a}$ มีค่าต่ำสุดนี้จะมีค่าไม่เท่ากัน กล่าวคือต้องให้ hexadecanol และ 1-octadecanol ในปริมาณ 10.31×10^{-8} และ 5.55×10^{-8} mol/cm² (หรือ 25 และ 15 $\mu\text{g/cm}^2$) ตามลำดับ จึงจะทำให้ค่า K_{OL} ของเมทานอลมีค่าต่ำสุด และจะต้องใช้ปริมาณ hexadecanol และ 1-octadecanol 6.19×10^{-8} และ 1.85×10^{-8} mol/cm² (หรือ 15 และ 5 $\mu\text{g/cm}^2$) ตามลำดับ จึงจะทำให้ค่า $K_{OL,a}$ ของไหลอื่นมีค่าต่ำสุด ซึ่งจากผลดังกล่าวนี้แสดงเป็นนัยว่า ชั้นฟิล์มที่เกิดจาก hexadecanol ในปริมาณ 10.31×10^{-8} mol/cm² (หรือ 25 $\mu\text{g/cm}^2$) มีคุณสมบัติในการป้องกันการระเหยของเมทานอลจากน้ำได้เทียบเท่ากับชั้นฟิล์มที่เกิดจาก 1-octadecanol ในปริมาณเพียง 5.55×10^{-8} mol/cm² (หรือ 15 $\mu\text{g/cm}^2$) ในทำนองเดียวกัน ฟิล์มที่เกิดจาก hexadecanol ในปริมาณ $6.19 \times$

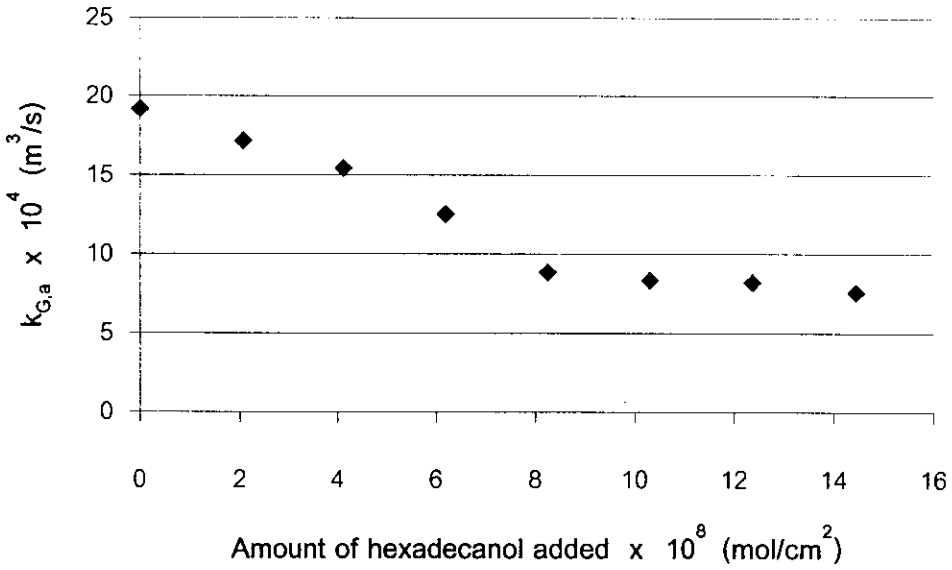
10^{-8} mol/cm² (หรือ 15 μ g/cm²) มีคุณสมบัติในการป้องกันการระเหยของโพลีเอทิลีนจากน้ำได้เทียบเท่ากับชั้นฟิล์มที่เกิดจาก 1-octadecanol ในปริมาณเพียง 1.85×10^{-8} mol/cm² (หรือ 5 μ g/cm²) เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า 1-octadecanol มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า hexadecanol และผลของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของ 1-octadecanol แข็งแรงกว่า hexadecanol จึงทำให้ต้องใช้ hexadecanol ในปริมาณที่มากกว่า 1-octadecanol

1.3 ผลของปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$)

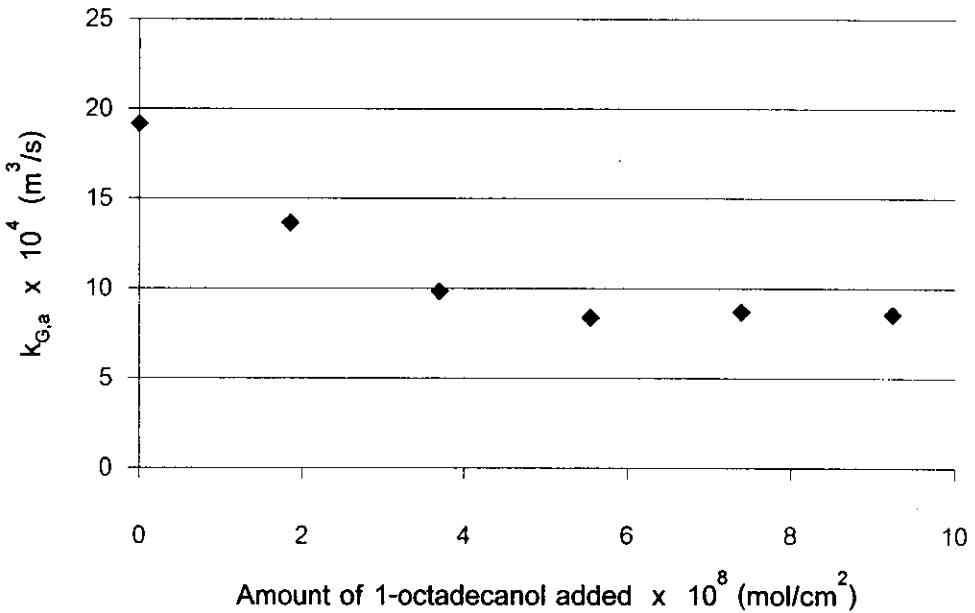
สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$) สามารถหาได้จากกระบวนการระเหยของเมทานอลจากน้ำ เพราะ เมทานอลมีความสามารถในการละลายน้ำสูง (H มีค่าต่ำ) และความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลอยู่ในวัฏภาคแก๊สมากกว่า 90 % ในการศึกษานี้ หากค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สได้จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของเมทานอลเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว โดยที่

$$k_G = \frac{RTK_{OL}}{H} \quad \text{หรือ} \quad k_{G,a} = \frac{RTK_{OL,a}}{H}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สกับปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ แสดงได้ดังภาพประกอบ 15 และ 16 จากรูปดังกล่าวพบว่า สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สแปรผกผันกับปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ โดย $k_{G,a}$ จะมีค่าลดลงตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สจะมีค่าคงที่ คือที่ปริมาณของ hexadecanol เท่ากับ 10.31×10^{-8} mol/cm² (หรือ 25 μ g/cm²) และปริมาณของ 1-octadecanol เท่ากับ 5.55×10^{-8} mol/cm² (หรือ 15 μ g/cm²) และค่าของสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สจะไม่ลดลงอีกไม่ว่าจะเติมสารลดแรงตึงผิวที่มากขึ้นก็ตาม เหตุที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่า สารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป จะไปจัดเรียงตัวเป็นฟิล์มปกคลุมผิวน้ำ และทำหน้าที่กั้นไม่ให้ VOC ระเหยออกไป ซึ่งถ้าปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวก็จะยังสามารถจัดเรียงตัวที่ผิวน้ำปกคลุมพื้นที่ผิวในการระเหยได้มากขึ้น ทำให้การระเหยของ VOC จากน้ำลดลง จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมากพอที่จะสามารถครอบคลุมพื้นผิวในการระเหยทั้งหมด ทำให้สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สจะมีค่าต่ำสุด และพบว่า แม้ว่าจะใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่มากขึ้น ก็ไม่สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สได้มากกว่านี้อีก เพราะ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวได้ปกคลุมผิวน้ำอย่างสมบูรณ์แล้ว



ภาพประกอบ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$) ของเมทานอล กับปริมาณของ hexadecanol ที่ใช้ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C และความเร็วลม 0 m/s



ภาพประกอบ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$) ของเมทานอล กับปริมาณของ 1-octadecanol ที่ใช้ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C และความเร็วลม 0 m/s

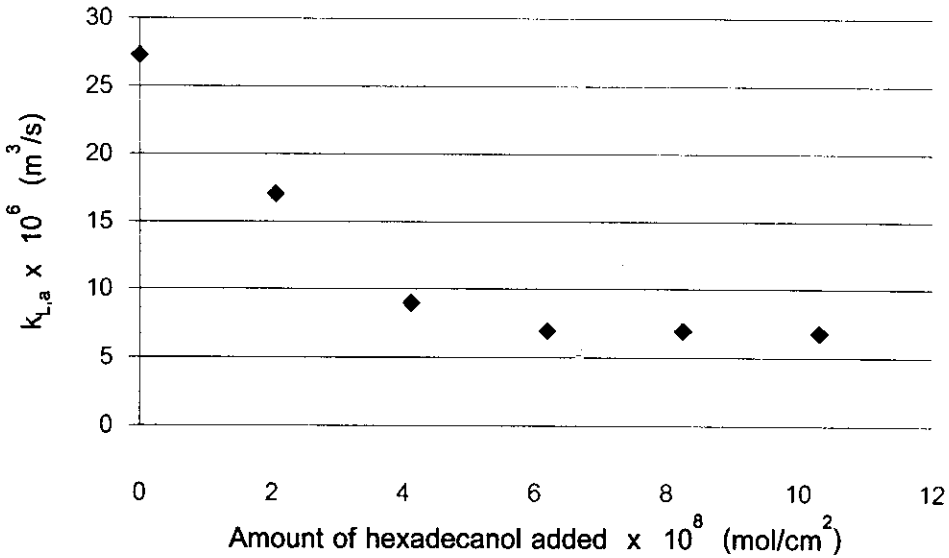
1.4 ผลของปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไปต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$)

สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) สามารถหาได้จากกระบวนการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ โทลูอินจัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ($H > 5 \times 10^{-3} \text{ atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$) โดยมีรายงานว่าความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลของโทลูอินจะอยู่ในวัฏภาคของเหลวมากกว่า 90 % ดังนั้นอัตราการระเหยของโทลูอินจึงถูกควบคุมด้วยฟิล์มของเหลว และสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวได้จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของโทลูอินเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว (ในหัวข้อ 1.2) โดยอาศัยสมการ (1.11)

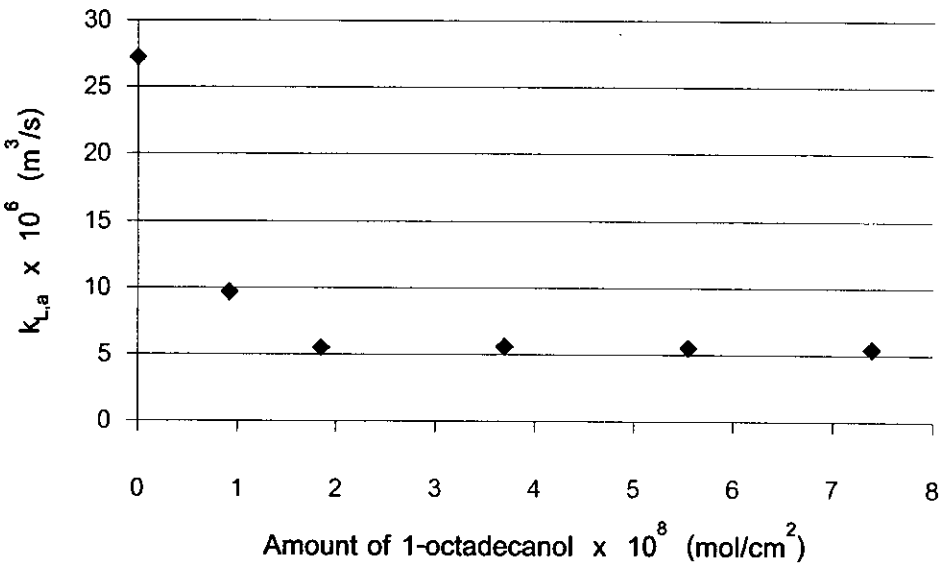
$$K_{OL} = k_L$$

$$K_{OL,a} = k_{L,a}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) กับปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ แสดงได้ดังภาพประกอบ 17 และ 18 ซึ่งจะเห็นว่า สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจะแปรผกผันกับปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ กล่าวคือ สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจะมีค่าลดลงตามปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งคือที่ปริมาณของ hexadecanol เท่ากับ $6.19 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ (หรือ $15 \mu\text{g/cm}^2$) และ 1-octadecanol เท่ากับ $1.85 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ (หรือ $5 \mu\text{g/cm}^2$) สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจะมีค่าคงที่ และจะไม่ลดลงอีกไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวลงไปอีกเท่าใดก็ตาม ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีของสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส กล่าวคือ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะจัดเรียงตัวบริเวณผิวน้ำ มีลักษณะเป็นฟิล์มปกคลุมอยู่บนผิวน้ำ และกีดกันการระเหยของโทลูอินจากแหล่งน้ำ ทำให้สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวมีค่าลดลง ซึ่งเมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เพิ่มขึ้น ก็จะยิ่งลดการระเหยของโทลูอินได้มากขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวมีค่าลดลง จนกระทั่งถึงจุดที่สารลดแรงตึงผิวมีปริมาณมากพอที่จะครอบคลุมพื้นที่ผิวในการระเหยทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจะมีค่าต่ำสุด และจะไม่ลดลงอีกไม่ว่าจะใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่มากขึ้นเท่าใดก็ตาม เพราะ จุดที่สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวมีค่าต่ำสุด เป็นจุดที่ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวได้ปกคลุมผิวน้ำอย่างสมบูรณ์



ภาพประกอบ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) ของโทลูอีน กับปริมาณของ hexadecanol ที่ใช้ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C และความเร็วลม 0 m/s



ภาพประกอบ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) ของโทลูอีน กับปริมาณของ 1-octadecanol ที่ใช้ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C และความเร็วลม 0 m/s

จากผลการทดลองในหัวข้อ 1.3 และ 1.4 จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$) และสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) จะมีค่าลดลงตามปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป จนกระทั่ง

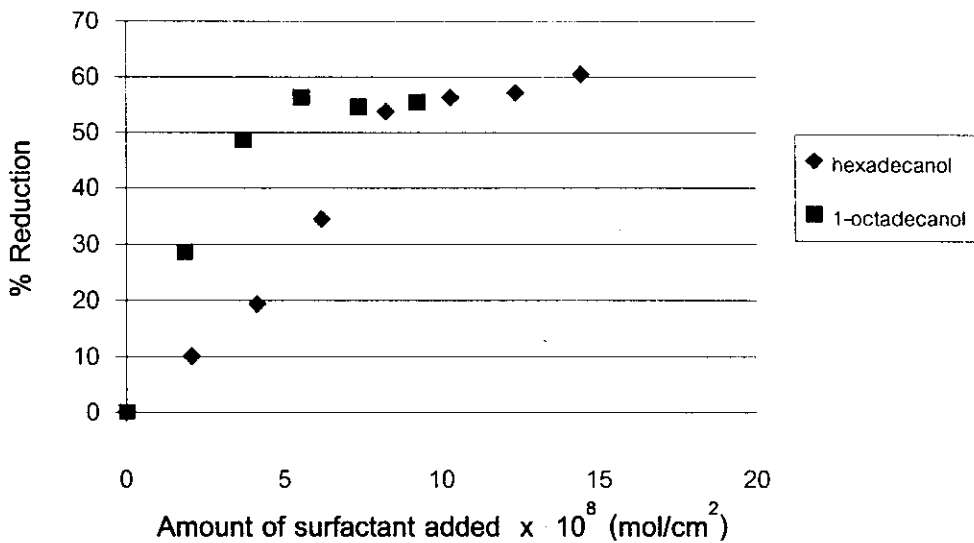
ถึงจุดหนึ่งจะมีค่าคงที่ตลอด และไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวอีกต่อไป และสามารถกล่าวได้ว่า พิล์มของสารลดแรงตึงผิวที่เกิดจาก hexadecanol หรือ 1-octadecanol ในปริมาณ 10.31×10^{-8} และ 5.55×10^{-8} mol/cm² (หรือ 25 และ 15 µg/cm²) ตามลำดับ สามารถลดการระเหยของ VOC ที่ควบคุมโดยฟิล์มแก๊สได้ดี ในขณะที่การลดการระเหยของ VOC ที่ควบคุมโดยฟิล์มของเหลวสามารถทำได้โดยใช้ hexadecanol หรือ 1-octadecanol ในปริมาณเพียง 6.19×10^{-8} และ 1.85×10^{-8} mol/cm² (หรือ 15 หรือ 5 µg/cm²) ตามลำดับเท่านั้น อย่างไรก็ตามในสภาวะความเป็นจริงแล้ว พบว่า ในแหล่งน้ำหนึ่งๆ อาจพบ VOC ทั้งสองกลุ่มอยู่ด้วยกันเสมอ ดังนั้น ปริมาณของ hexadecanol และ 1-octadecanol ที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งน้ำจริงควรมีค่าเท่ากับ 10.31×10^{-8} และ 5.55×10^{-8} mol/cm² (หรือ 25 และ 15 µg/cm²) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของสารลดแรงตึงผิวดังกล่าว จะสามารถลดการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำ ทั้งในกระบวนการระเหยที่ถูกควบคุมโดยฟิล์มแก๊ส ถูกควบคุมโดยฟิล์มของเหลว หรือในกรณีที่ฟิล์มทั้งสองต่างมีผลต่อการระเหยของ VOC ได้ และเชื่อว่าฟิล์มที่เกิดจากการใช้ hexadecanol และ 1-octadecanol ในปริมาณที่มากกว่า 10.31×10^{-8} และ 5.55×10^{-8} mol/cm² (หรือ 25 และ 15 µg/cm²) ตามลำดับ จะเป็นฟิล์มที่มีโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ซ้อนทับกันหลายชั้น (multilayer) ทำให้ความยืดหยุ่นของชั้นฟิล์มหายไป และเมื่อมีการฉีกขาดของฟิล์มในระหว่างกระบวนการระเหย โอกาสที่ฟิล์มจะกลับคืน (recover) มาจะเกิดได้ช้า และเนื่องจากความดันผิว (surface pressure) จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป ซึ่งถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณมาก จะทำให้ความดันผิวมีค่าสูง และถ้าความดันผิวมีค่าสูงเกินไป จะมีผลทำให้ฟิล์มเกิดการฉีกขาดได้ ดังนั้นปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดฟิล์มโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) หรือเกิดฟิล์มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับฟิล์มโมเลกุลชั้นเดียวมากที่สุดโดยที่โมเลกุลอยู่ติดชิดกันพอดี ไม่มีการบีบอัดของโมเลกุลอันเนื่องมาจากความดันผิวที่สูงเกินไป และฟิล์มสามารถกลับคืนได้อย่างรวดเร็ว ก็จะสามารถลดการระเหยของ VOC ได้ดี ส่วนฟิล์มที่เกิดจาก hexadecanol และ 1-octadecanol ในปริมาณที่น้อยกว่า 10.31×10^{-8} และ 5.55×10^{-8} mol/cm² (หรือ 25 และ 15 µg/cm²) ตามลำดับนั้น ความสามารถในการลดการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำยังไม่ดีเท่าที่ควร เพราะฟิล์มที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่มีปริมาณมากพอที่จะครอบคลุมพื้นที่ผิวทั้งหมดของการระเหย ดังนั้นเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของฟิล์มที่ปริมาณดังกล่าวว่าจะสามารถใช้กับ VOC ชนิดอื่นได้หรือไม่ โดยนำมาทดสอบกับการระเหยของอะซีโตน MEK และ เบนซีน ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว ($K_{OL,a}$) ระหว่างกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวกับกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว สำหรับการระเหยของอะซีโตน MEK และเบนซีนจากน้ำ ที่อุณหภูมิแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C

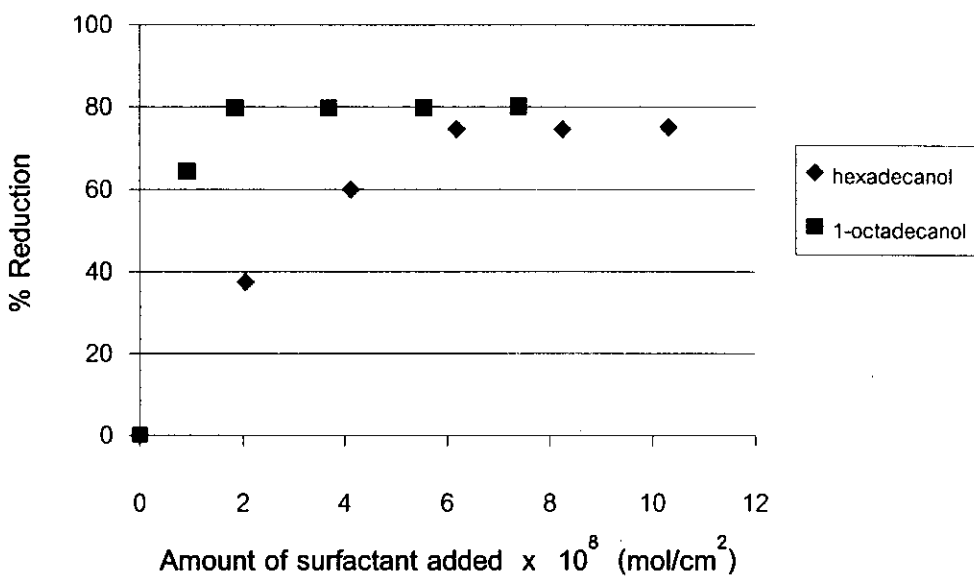
Type of surfactant	$K_{OL,a} \times 10^7 \text{ (m}^3/\text{s)}$		
	acetone	MEK	benzene
Nofilm	17.94	18.41	101.60
$10.31 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($25 \mu\text{g/cm}^2$) hexadecanol	3.99	6.93	45.08
$5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($15 \mu\text{g/cm}^2$) 1-octadecanol	7.69	5.69	36.80

จากตารางข้างต้น จะเห็นว่า ค่า $K_{OL,a}$ กรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวในทุกกรณี แสดงว่าฟิล์มที่เกิดจาก hexadecanol ในปริมาณ $10.31 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($25 \mu\text{g/cm}^2$) และ 1-octadecanol $5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($15 \mu\text{g/cm}^2$) สามารถลดการระเหยของอะซีโตน MEK และเบนซีนจากแหล่งน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองที่กล่าวมา จะเห็นว่า ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวสามารถป้องกันหรือลดการระเหยของ VOC ซึ่งประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการช่วยป้องกันหรือลดการระเหยของ VOC จากน้ำ แสดงในเทอมของค่าร้อยละการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล ดังแสดงในภาพประกอบ 19 และ 20 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 19 ร้อยละการลดลงของการระเหยของเมทานอล ในกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว



ภาพประกอบ 20 ร้อยละการลดลงของการระเหยของโทลูอีน ในกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว

จากกราฟในภาพประกอบ 19 และ 20 จะเห็นว่า ฟิล์มของ hexadecanol และ 1-octadecanol สามารถลดการระเหยของเมทานอลจากน้ำได้ประมาณ 55 % และลดการระเหยของโทลูอินจากน้ำได้สูงถึงประมาณ 75 % โดยที่ใช้ 1-octadecanol ในปริมาณที่น้อยกว่า hexadecanol ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวสามารถลดการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ

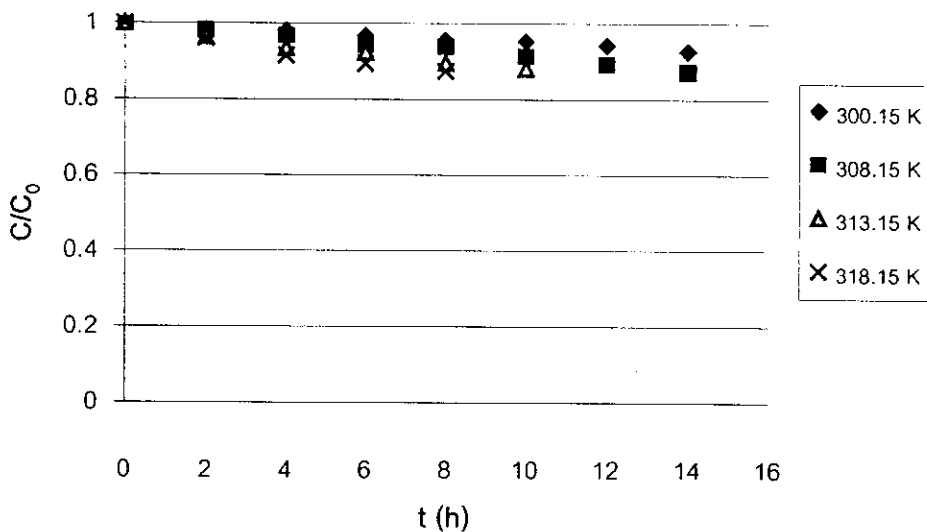
จากการเปรียบเทียบค่าร้อยละการลดลงของการระเหยของเมทานอล ที่แสดงในภาพประกอบ 19 กับค่าร้อยละการลดลงของการระเหยของโทลูอิน ที่แสดงในภาพประกอบ 20 พบว่า ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด สามารถลดค่า $k_{L,a}$ ได้มากกว่า $k_{G,a}$ ทั้งนี้เพราะ นอกจากฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะทำหน้าที่เป็นตัวกีดกันการแพร่ของโมเลกุลของ VOC โดยตรงแล้ว ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวยังทำให้ความปั่นป่วนบริเวณผิวน้ำลดลงด้วย ซึ่งเมื่อรวมผลทั้งที่เกิดจากการกีดกันการแพร่และการลดความปั่นป่วนบริเวณผิวน้ำแล้ว จะทำให้สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) ได้ในเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าการลดค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$) ซึ่งการลดลงของสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สจะเกิดจากผลของสารลดแรงตึงผิวเนื่องจากการกีดกันการแพร่เป็นหลัก ทั้งนี้เพราะการลดความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลวจะส่งผลกระทบต่อฟิล์มแก๊สน้อยมาก

2. ผลของอุณหภูมิของแหล่งน้ำต่อประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการป้องกันการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำ

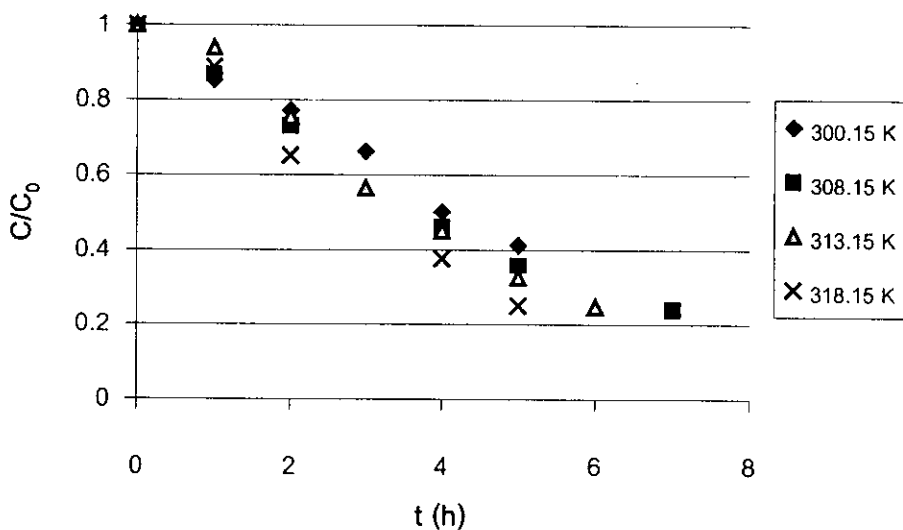
ปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำ คือ อุณหภูมิของแหล่งน้ำ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของแหล่งน้ำต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สและสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจากกระบวนการระเหยของเมทานอลและโทลูอินจากน้ำ ที่มีฟิล์มที่เกิดจากการใช้ 1-octadecanol ในปริมาณ $5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ (หรือ $15 \text{ }\mu\text{g/cm}^2$) ปกคลุมอยู่ที่ผิวน้ำ โดยที่ไม่มีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำ และกำหนดให้อุณหภูมิของวัฏภาคของเหลวแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 300.15 – 318.15 K

2.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ VOC กับเวลา

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ VOC กับเวลา ได้จากการศึกษาการระเหยของเมทานอลและโทลูอินจากแหล่งน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งความเข้มข้นของเมทานอลและโทลูอินที่เวลาต่างๆ เทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นแสดงไว้ในภาพประกอบ 21 และ 22 ตามลำดับ จากกราฟทั้งสอง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ VOC จะลดลง และเมื่อควบคุมอุณหภูมิของแหล่งน้ำให้สูงขึ้น พบว่า ความเข้มข้นของ VOC จะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พลังงานจลน์ของแต่ละโมเลกุลจะสูงขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่ตลอดเวลาและเกิดการชนกัน แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อย ทำให้โมเลกุลของสารสามารถหลุดออกไปเป็นแก๊สได้ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการระเหยของเมทานอลและการระเหยของโทลูอินจากน้ำ พบว่า โทลูอินสามารถระเหยออกไปได้เร็วกว่าเมทานอล เพราะโทลูอินมีค่าคงที่ของเฮนรี่สูง อัตราการระเหยจะมีค่าสูง ในขณะที่เมทานอลมีค่าคงที่ของเฮนรี่ต่ำ ดังนั้นจึงทำให้โทลูอินระเหยออกมาได้เร็วกว่าเมทานอล



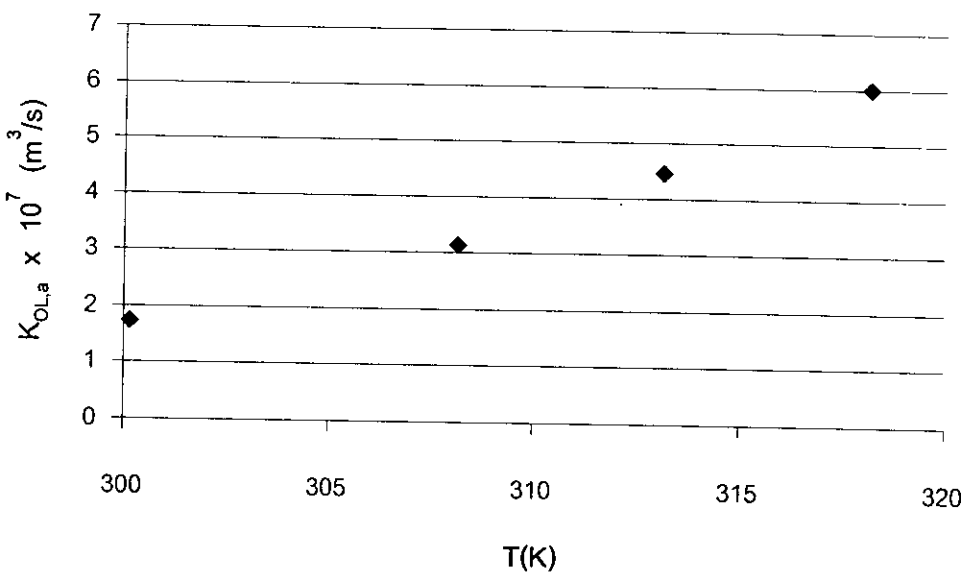
ภาพประกอบ 21 ความเข้มข้นของเมทานอลที่เวลาต่างๆ เทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ในกรณีที่มีฟิล์มที่เกิดจาก 1-octadecanol ในปริมาณ $5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($15 \mu\text{g/cm}^2$) ปกคลุมผิวหน้า และแปรเปลี่ยนอุณหภูมิของแหล่งน้ำอยู่ในช่วง 300.15 – 318.15 K และความเร็วลมเท่ากับ 0 m/s



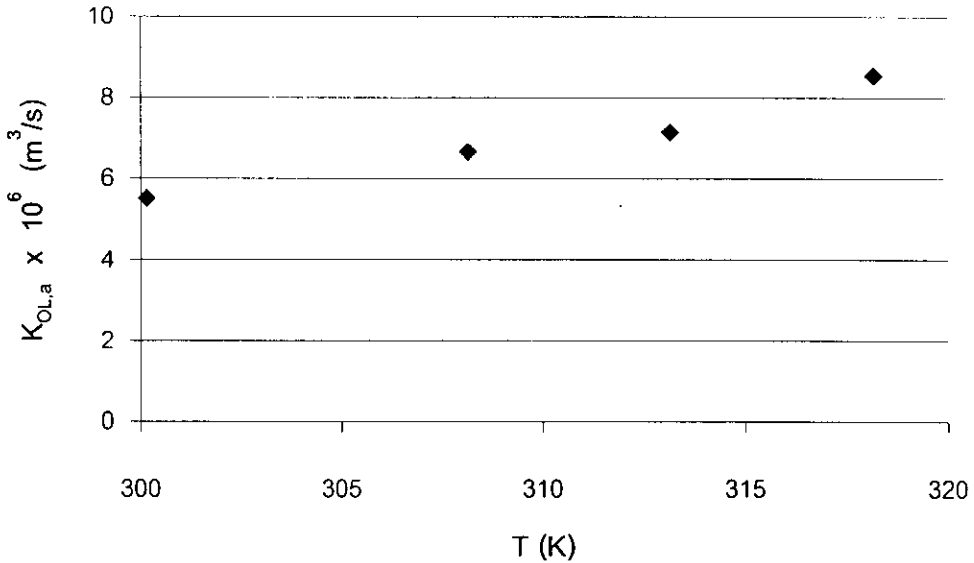
ภาพประกอบ 22 ความเข้มข้นของโทลูอีนที่เวลาต่างๆ เทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ในกรณีที่มีฟิล์มที่เกิดจากการใช้ 1-octadecanol ในปริมาณ $5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($15 \mu\text{g/cm}^2$) ปกคลุมผิวหน้า และแปรเปลี่ยนอุณหภูมิของแหล่งน้ำอยู่ในช่วง 300.15 – 318.15 K และความเร็วลมเท่ากับ 0 m/s

2.2 ผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิ ภาคของเหลว ($K_{OL,a}$)

จากข้อมูลความเข้มข้นของ VOC ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่อุณหภูมิของแหล่งน้ำมีค่า
ต่างๆ สามารถคำนวณค่า $K_{OL,a}$ ได้เช่นเดียวกับในหัวข้อ 1.2 โดยค่า $K_{OL,a}$ ที่คำนวณได้มีความ
สัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังแสดงในกราฟภาพประกอบ 23 และ 24 สำหรับกรณีของเมทานอลและ
โทลูอีน ตามลำดับ



ภาพประกอบ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับ
กับวิภาคของเหลวของการระเหยของเมทานอลจากน้ำ กับอุณหภูมิแหล่ง
น้ำที่ปกคลุมด้วยฟิล์มของ 1-octadecanol ในปริมาณ 5.55×10^{-8}
 mol/cm^2 ($15 \mu\text{g/cm}^2$)

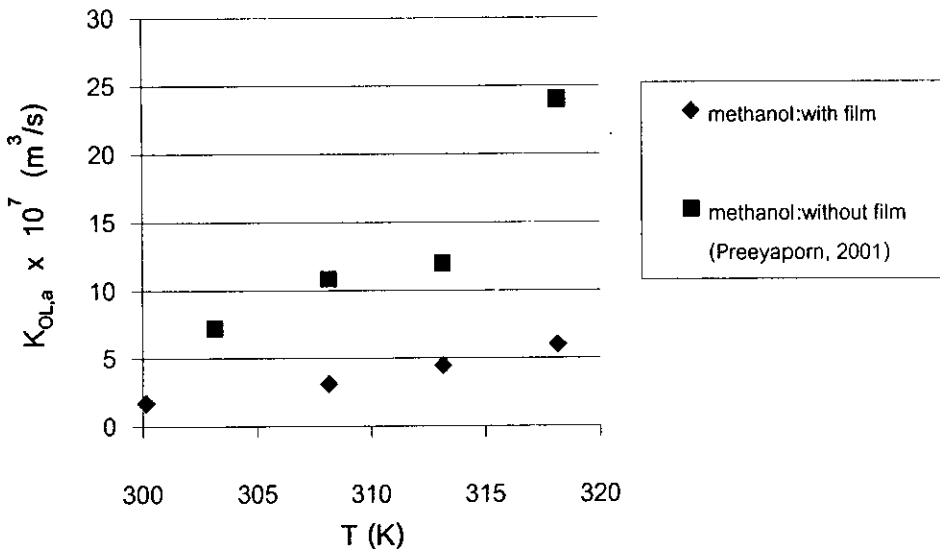


ภาพประกอบ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลวของการระเหยของโทลูอีนจากน้ำ กับอุณหภูมิของแหล่งน้ำที่ปกคลุมด้วยฟิล์มของ 1-octadecanol ในปริมาณ 5.55×10^{-8} mol/cm² (15 µg/cm²)

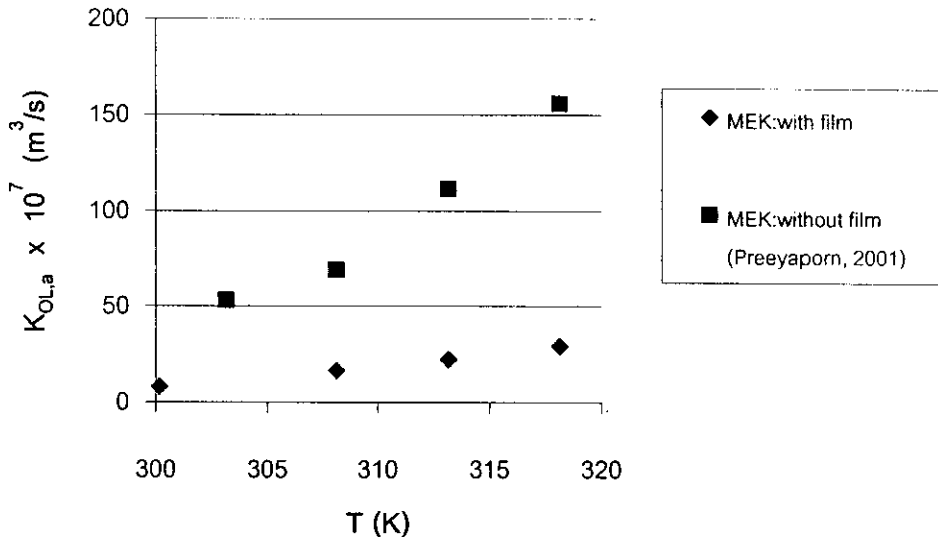
จากกราฟในภาพประกอบ 23 และ 24 พบว่าค่า $K_{OL,a}$ ของ VOC แต่ละชนิดจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของแหล่งน้ำที่สูงขึ้น ด้วยเหตุผลสามประการ คือ ประการแรก เมื่ออุณหภูมิของแหล่งน้ำสูงขึ้น จะทำให้พลังงานจลน์ของแต่ละโมเลกุลสูงขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่ตลอดเวลาและเกิดการชนกัน ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลง โมเลกุลของสารจึงสามารถหลุดออกไปได้ ประการที่สอง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาของชั้นฟิล์มแก๊สและฟิล์มของเหลวจะลดลง ซึ่งจากทฤษฎีสองฟิล์มกล่าวว่า เมื่อความหนาของชั้นฟิล์มลดลง จะทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลมีค่าสูงขึ้น ประการที่สาม จะเกี่ยวข้องกับสมบัติของชั้นฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความตึงผิวจะลดลง ทำให้ความดันผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อความดันผิวมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติความยืดหยุ่น (flexibility) ของชั้นฟิล์มลดลง โอกาสที่ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการเสียหายก็จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้น ความต้านทานรวมที่เกิดจากฟิล์มแก๊ส ฟิล์มของเหลว และฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจึงลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมมีค่าลดลง

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลวระหว่างกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวกับกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการทดลองในระบบเดียวกันจากงานวิจัยของ ปรียาภรณ์ ทองสร้อย (2544) ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวอยู่ แสดงผลการเปรียบเทียบดังกล่าวในภาพประกอบ 25, 26 และ 27 สำหรับกระบวนการระเหยของเมทานอล MEK และโทลูอิน ตามลำดับ

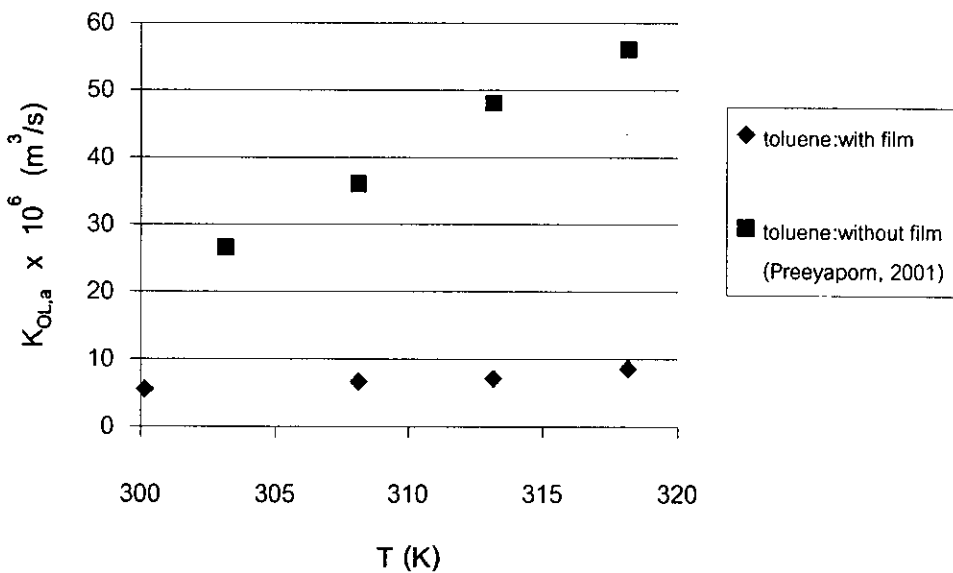
จากการเปรียบเทียบค่า $K_{OL,a}$ ของ VOC แต่ละชนิด ระหว่างกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวกับกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการทดลองในระบบเดียวกันดังที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าค่า $K_{OL,a}$ ของที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวในทุกค่าอุณหภูมิ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่า แม้ว่าอุณหภูมิของแหล่งน้ำจะสูงขึ้น ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวยังคงมีประสิทธิภาพเพียงพอในการลดการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำได้



ภาพประกอบ 25 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของเมทานอลเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลวระหว่างกรณีที่มีฟิล์มของ 1-octadecanol ในปริมาณ 5.55×10^{-8} mol/cm² (15 µg/cm²) กับกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว ที่อุณหภูมิต่างๆ ของแหล่งน้ำ



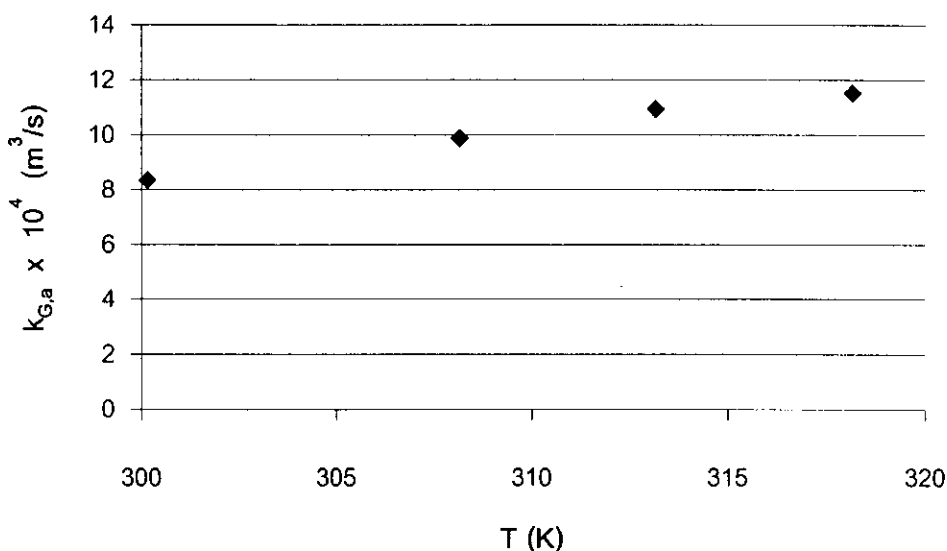
ภาพประกอบ 26 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของ MEK เมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลวระหว่างกรณีที่มีฟิล์มของ 1-octadecanol ในปริมาณ $5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($15 \mu\text{g/cm}^2$) กับกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว ที่อุณหภูมิต่างๆ ของแหล่งน้ำ



ภาพประกอบ 27 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของโทลูอีนเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลวระหว่างกรณีที่มีฟิล์มของ 1-octadecanol ในปริมาณ $5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($15 \mu\text{g/cm}^2$) กับกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว ที่อุณหภูมิต่างๆ ของแหล่งน้ำ

2.3 ผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$)

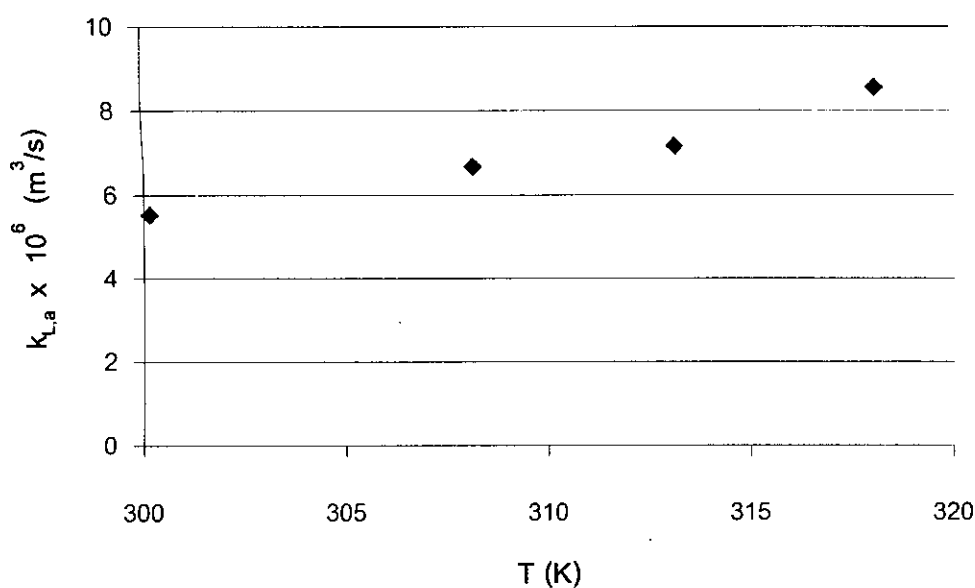
ค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$) ของระบบที่อุณหภูมิต่างๆ ของแหล่งน้ำ หาได้จากสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของเมทานอลเมื่อเทียบกับวิภาคของเหลวตามสมการ (1.12) โดยศึกษาอุณหภูมิของแหล่งน้ำในช่วง $27 - 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีฟิล์มที่เกิดจาก 1-octadecanol ในปริมาณ $5.55 \times 10^{-8}\text{ mol/cm}^2$ (หรือ $15\text{ }\mu\text{g/cm}^2$) ปกคลุมอยู่บนผิวน้ำ ผลของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส แสดงได้ดังภาพประกอบ 28 จากรูปดังกล่าวพบว่า สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิตลอดช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่คล้ายคลึงกันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิภาคของเหลว กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของแหล่งน้ำสูงขึ้น ความหนาของฟิล์มแก๊สจะลดลง ทำให้สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิของแหล่งน้ำที่สูงขึ้น ยังมีผลในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความตึงผิวจะลดลง ความดันผิวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความยืดหยุ่น (flexibility) ของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวลดลง โอกาสที่ฟิล์มจะเกิดการเสียหายจึงเกิดขึ้นได้ง่าย ดังนั้น สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สจึงมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิแหล่งน้ำที่สูงขึ้น



ภาพประกอบ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส ($k_{G,a}$) ของเมทานอล กับอุณหภูมิของแหล่งน้ำ

2.4 ผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$)

ค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) หาได้จากสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของโกลูอินเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลวตามสมการ (1.11) โดยทำการศึกษาอุณหภูมิของแหล่งน้ำในช่วง 27 – 45 °C โดยที่มีฟิล์มที่เกิดจาก 1- octadecanol ในปริมาณ 5.55×10^{-8} mol/cm² (15 µg/cm²) ปกคลุมผิวน้ำ ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวแสดงได้ดังภาพประกอบ 29 จากภาพประกอบดังกล่าว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวแปรผันตรงกับอุณหภูมิของแหล่งน้ำ โดยเมื่ออุณหภูมิของแหล่งน้ำสูงขึ้น สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า อุณหภูมิของแหล่งน้ำที่สูงขึ้น ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มมีค่าลดลง จึงทำให้ VOC ระเหยออกไปได้ง่ายขึ้น สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจึงมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิของแหล่งน้ำยังมีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของแหล่งน้ำสูงขึ้น ความตึงผิวจะลดลง ทำให้ความดันผิวมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ความยืดหยุ่นของชั้นฟิล์มสูญเสียไป ฟิล์มมีโอกาสที่จะเกิดการเสียหายได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการลดการระเหยของ VOC จากน้ำลดลง สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวจึงมีค่าสูงขึ้น



ภาพประกอบ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว ($k_{L,a}$) ของโกลูอิน ที่อุณหภูมิต่างๆ ของแหล่งน้ำ

3. ผลของความเร็วมต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของ VOC

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการระเหยของ VOC คือ ความเร็วม ซึ่งพบว่าสภาวะในธรรมชาติ การพัดของกระแสลมจะเกิดแบบไม่คงที่และไม่ต่อเนื่องตลอดเวลา มีการพัดและหยุดพัดอย่างไม่ มีแบบแผนที่แน่นอน ดังนั้นจึงเลือกที่จะศึกษาอิทธิพลของความเร็วมแบบไม่คงที่ (unsteady wind velocity) แทนการพัดแบบความเร็วมคงที่ (steady wind velocity) ซึ่งจะคล้ายคลึงกับ สภาวะในตามธรรมชาติมากกว่า ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานจริงได้ ขนาดของ กระแสลมที่พัดผ่านผิวน้ำและระยะเวลาที่มีกระแสลมพัดผ่านนอกจากจะมีผลต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์ม แก๊สและสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวแล้ว ยังมีผลต่อการทำลายและการกลับคืนสภาพ (recover) ของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวที่ปกคลุมผิวน้ำด้วย ดังนั้น การศึกษาผลของความเร็วมต่อประ สสิทธิภาพของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวในการป้องกันการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำ ทำโดย จำลองให้มีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำแบบไม่คงตัวด้วยขนาดและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ความเร็ว ลมที่ศึกษาแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 0 – 4.21 เมตรต่อวินาที โดยวัดที่ระยะ 10 เซนติเมตรเหนือระดับ ผิวน้ำ กำหนดรูปแบบของความเร็วมเป็น 2 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 3 เพื่อศึกษาประสิทธิ ภาพของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวในการลดค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สและสัมประสิทธิ์ฟิล์มของ เหลวในสภาวะที่มีกระแสลมพัดผ่าน จึงได้ศึกษาการระเหยของเมทานอลและการระเหยของโทลู อีนจากแหล่งน้ำที่มีกระแสลมแบบไม่คงตัวพัดผ่านใน 3 กรณี คือ

- (1) ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว
- (2) มีฟิล์มของ hexadecanol $10.31 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($25 \text{ } \mu\text{g/cm}^2$) ปกคลุมบนผิวน้ำ
- (3) มีฟิล์มของ 1-octadecanol $5.55 \times 10^{-8} \text{ mol/cm}^2$ ($15 \text{ } \mu\text{g/cm}^2$) ปกคลุมบนผิวน้ำ

ตาราง 3 รูปแบบของความเร็วลม

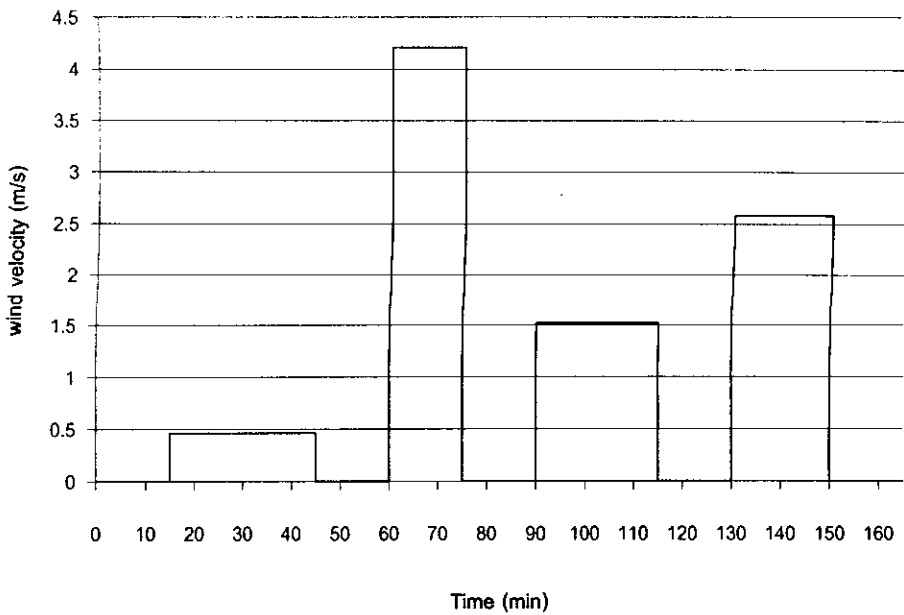
รูปแบบที่ 1

ช่วงเวลา (min)	เวลา (sec)	ความเร็วลม (m/s)
0-15	900	0
15-45	1800	0.46
45-60	900	0
60-75	900	4.21
75-90	900	0
90-115	1500	1.52
115-130	900	0
130-150	1200	2.58
150-165	900	0

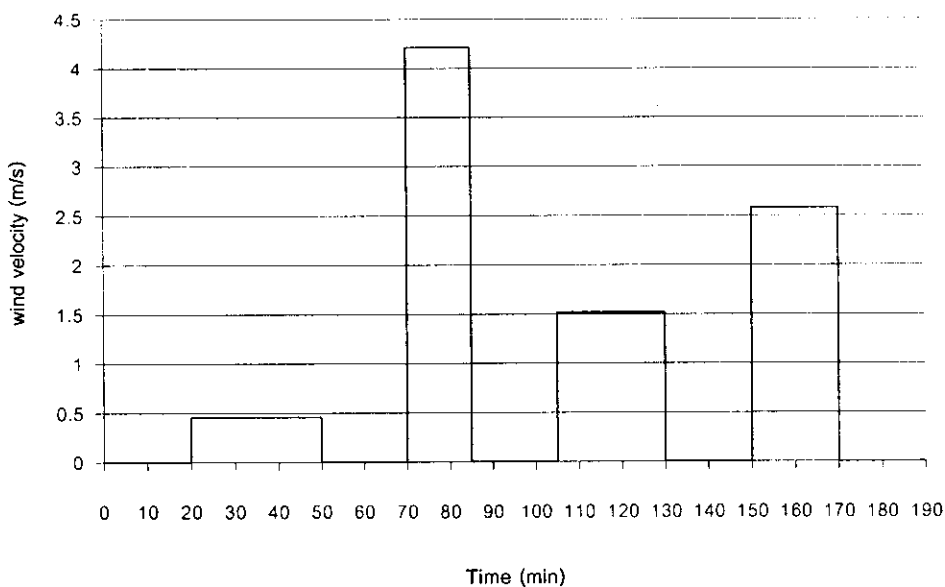
รูปแบบที่ 2

ช่วงเวลา (min)	เวลา (sec)	ความเร็วลม (m/s)
0-20	1200	0
20-50	1800	0.46
50-70	1200	0
70-85	900	4.21
85-105	1200	0
105-130	1500	1.52
130-150	1200	0
150-170	1200	2.58
170-190	1200	0

รูปแบบของกระแสลมที่ใช้ศึกษาจะมีความแตกต่างกัน คือ รูปแบบที่ 2 (pattern II) จะมีช่วงระยะเวลาที่กระแสลมหยุดพักนานกว่ารูปแบบที่ 1 (pattern I) โดยความเร็วลมเฉลี่ยสำหรับรูปแบบที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 1.01 และ 0.87 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 30 และ 31

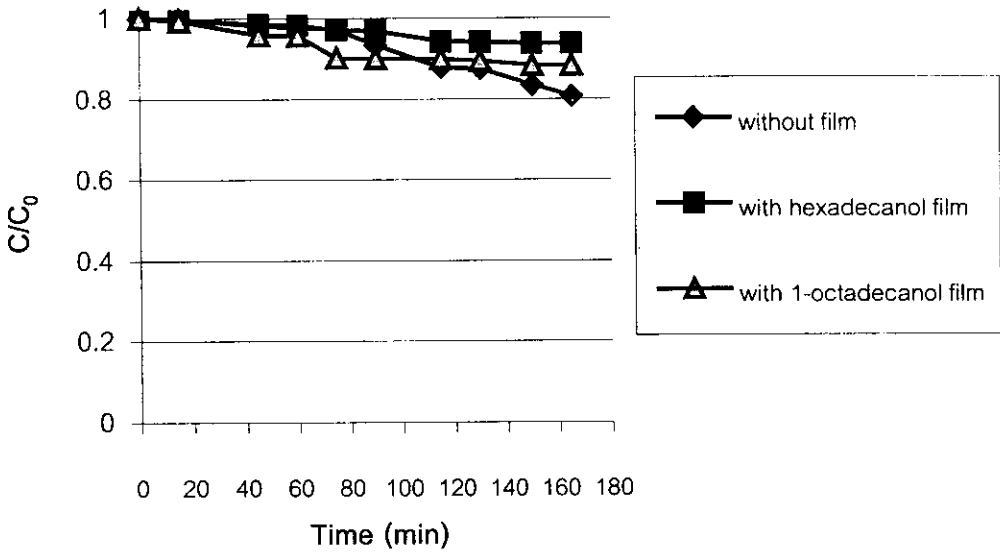


ภาพประกอบ 30 การแปรเปลี่ยนความเร็วลมกับเวลา สำหรับความเร็วลมรูปแบบที่ 1 (pattern I) โดยมีความเร็วลมเฉลี่ย 1.01 m/s อุณหภูมิของแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C

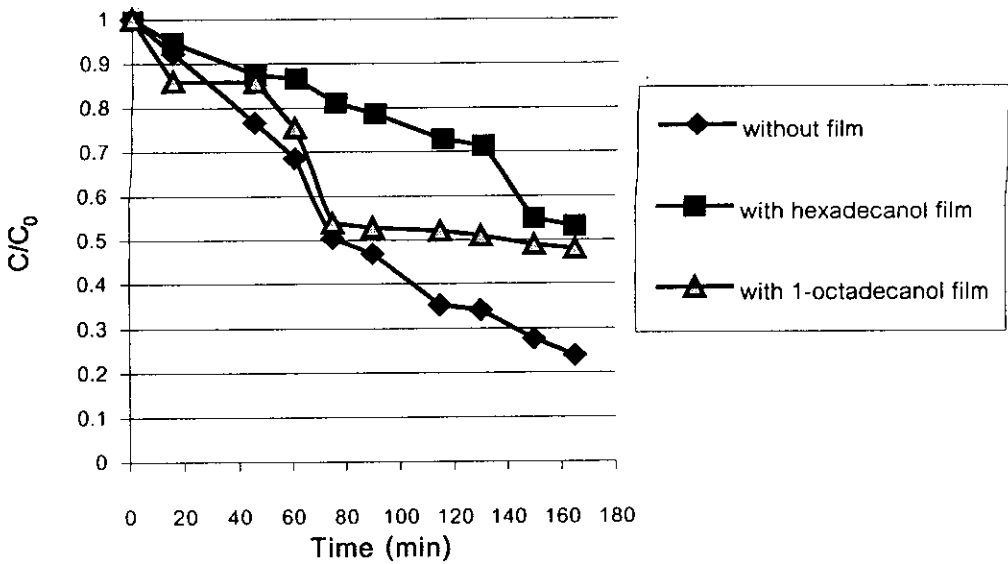


ภาพประกอบ 31 การแปรเปลี่ยนความเร็วลมกับเวลา สำหรับความเร็วลมรูปแบบที่ 2 (pattern II) โดยมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.87 m/s อุณหภูมิของแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C

ลักษณะการลดลงของความเข้มข้นของเมทานอลและโทลูอีโนในน้ำกับเวลาทั้งกรณีที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวและกรณีที่ไม่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวบนผิวน้ำ ภายใต้กระแสลมตามรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 แสดงในเทอมของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาใดๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น (C/C_0) ได้ดังภาพประกอบ 32 และ 33

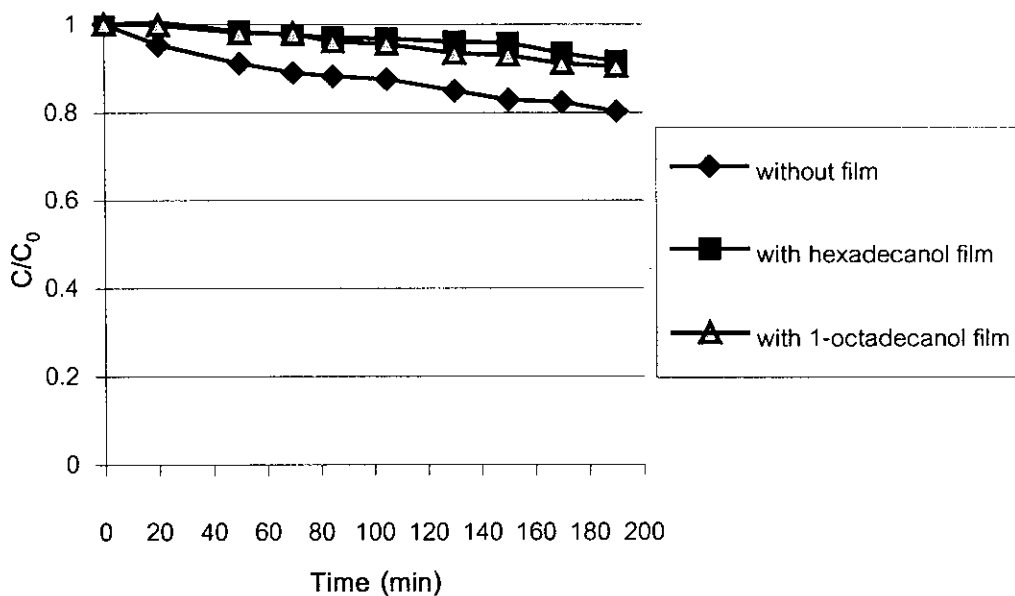


(a)

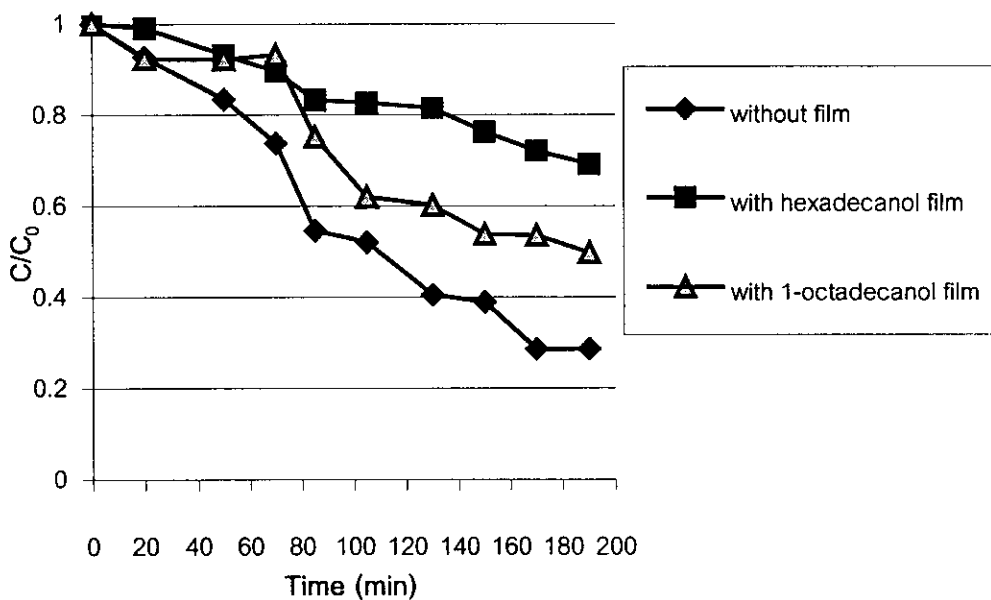


(b)

ภาพประกอบ 32 การแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของเมทานอล (a) และโทลูอีน (b) ในน้ำที่เวลาต่างๆ ในกรณีที่มีกระแสมพัดตามรูปแบบที่ 1



(a)



(b)

ภาพประกอบ 33 การแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของเมทานอล (a) และโทลูอีน (b) ในน้ำที่เวลาต่างๆ ในกรณีที่มีกระแสดมพัดตามรูปแบบที่ 2

จากข้อมูลความเข้มข้นกับเวลา สามารถคำนวณอัตราการระเหยที่เวลาใดๆ ได้จากสมการ (3.1)

$$r = N_{VOC,t} A = \frac{(C_t - C_{t+\Delta t})V}{(\Delta t)} \quad (3.1)$$

เมื่อ	r	=	อัตราการระเหยของ VOC, $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$
	$N_{VOC,t}$	=	ฟลักซ์ของ VOC ที่เวลา t , $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	C_t	=	ความเข้มข้นของ VOC ที่เวลา t , $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$
	$C_{t+\Delta t}$	=	ความเข้มข้นของ VOC ที่เวลา $t + \Delta t$, $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$
	V	=	ปริมาตรของสารละลาย, m^3
	Δt	=	ผลต่างของเวลา, s

ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการระเหยเฉลี่ยตลอดช่วงเวลการระเหยได้จากสมการ (3.2)

$$r_{VOC,avg} = \frac{\sum r_i t_i}{\sum t_i} \quad (3.2)$$

เมื่อ	$r_{VOC,avg}$	=	อัตราการระเหยเฉลี่ยของ VOC, $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$
	r_i	=	อัตราการระเหยของ VOC ที่เวลาใดๆ, $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$
	t_i	=	เวลา t ใดๆ, s

นำค่าฟลักซ์เฉลี่ยที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับ

วิฤภาคของเหลว ($K_{OL,a}$) จากสมการ (3.3)

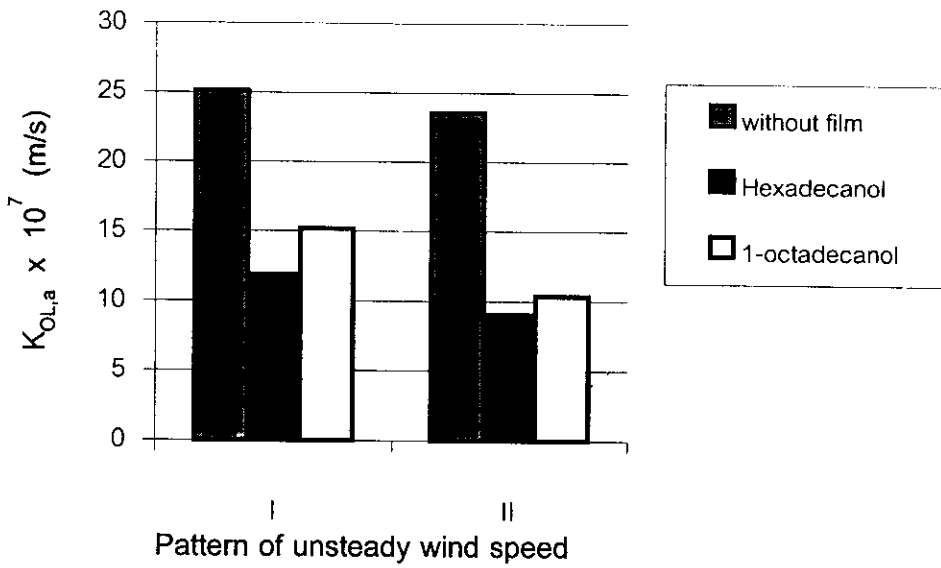
$$K_{OL,a,avg} = \frac{r_{VOC,avg}}{C_{L,avg}} \quad (3.3)$$

เมื่อ $K_{OL,a,avg}$ = ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของ VOC เมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

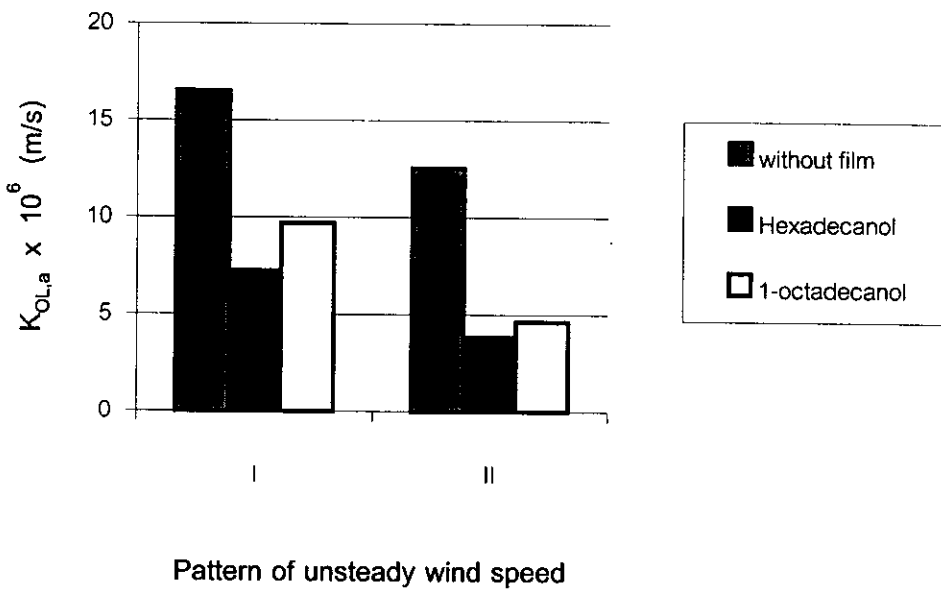
$r_{VOC,avg}$ = อัตราการระเหยเฉลี่ยของ VOC, $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$

$C_{L,avg}$ = ความเข้มข้นเฉลี่ยของ VOC, $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$

ซึ่งผลที่ได้แสดงในภาพประกอบ 34



(a)



(b)

ภาพประกอบ 34 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว สำหรับการระเหยของเมทานอล (a) และโทลูอีน (b) จากน้ำ ที่อุณหภูมิของแหล่งน้ำเท่ากับ 27°C

จากการทดลองพบว่า เมื่อฟิล์มถูกรบกวนจากกระแสลมพัดผ่าน ทำให้ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวฉีกขาดและถูกพัดออกไปสะสมอยู่ที่บริเวณขอบของถังระเหยอีกด้านหนึ่งที่อยู่ตรงข้ามกับแหล่งกำเนิดลม แต่พบว่าทันทีที่กระแสลมหยุดพัด ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะแผ่กลับมาปกคลุมทั่วผิวน้ำอย่างรวดเร็ว จากแผนภูมิในภาพประกอบ 34 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบของความเร็วลมสองรูปแบบ พบว่า รูปแบบที่ 1 ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่ารูปแบบที่ 2 จะให้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของ VOC เมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลวสูงกว่ากรณีที่มีความเร็วลมตามรูปแบบที่ 2 พัดผ่าน เนื่องจาก เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น จะทำให้ความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลวมากขึ้น พื้นที่ผิวของการระเหยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การระเหยของ VOC เพิ่มขึ้น ค่า $K_{OL,avg}$ ในกรณีที่มีความเร็วลมตามรูปแบบที่ 1 จึงสูงกว่ากรณีที่มีความเร็วลมตามรูปแบบที่ 2 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรของเมทานอลและโทลูอีนเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลวในกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีฟิล์มของ 1-octadecanol และสูงกว่ากรณีที่มีฟิล์มของ hexadecanol ตามลำดับ แสดงว่าฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดสามารถลดการระเหยของเมทานอลและโทลูอีนจากแหล่งน้ำได้ ซึ่งประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการลดการระเหยของ VOC แสดงได้ด้วยค่าร้อยละการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (% reduction) ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตาราง 4 ร้อยละการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของเมทานอล สำหรับความเร็วลมทั้งสองรูปแบบ ที่อุณหภูมิของแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C

Type of surfactant	% Reduction	
	Pattern I	Pattern II
hexadecanol	52.59	61.63
1-octadecanol	39.48	55.94

ตาราง 5 ร้อยละการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของโพลีเอทิลีน สำหรับความเร็วลมทั้งสองรูปแบบ ที่อุณหภูมิของแหล่งน้ำเท่ากับ 27 °C

Type of surfactant	% Reduction	
	Pattern I	Pattern II
hexadecanol	56.14	69.50
1-octadecanol	41.26	42.51

จากตารางดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่า ในกรณีที่มีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำ กรณีที่มีฟิล์มของ hexadecanol จะให้ค่าร้อยละการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลมากกว่ากรณีที่มีฟิล์มของ 1-octadecanol แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำ ฟิล์มของ hexadecanol จะมีความสามารถในการป้องกันการระเหยของ VOC ได้ดีกว่าฟิล์มที่เกิดจาก 1-octadecanol เพราะ hexadecanol จะมี spreading rate สูงกว่า 1-octadecanol ทำให้ฟิล์มที่เกิดจาก hexadecanol สามารถกลับคืนมาปกคลุมผิวน้ำได้เร็วกว่าฟิล์มที่เกิดจาก 1-octadecanol ดังนั้นฟิล์มของ hexadecanol จึงมีความสามารถในการป้องกันการระเหยของ VOC จากน้ำได้ดีกว่า 1-octadecanol เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีกระแสลมพัดผ่าน