

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compound, VOC) ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ อุตสาหกรรมยา และใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมเคลือบผิว เป็นต้น Quigley and Corsi (1995) พบว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาตามท่อน้ำทิ้งและสามารถแพร่กระจายก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสียมีลักษณะเป็นแหล่งน้ำเปิด ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เช่น กระแสลมที่พัดผ่านผิวน้ำ อุณหภูมิสูงในตอนกลางวัน ตลอดจนกระบวนการเติมอากาศในขั้นตอนของการบำบัดน้ำเสีย ต่างก็เป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายระเหยจากน้ำขึ้นสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว (Chern and Yu, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายได้ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์เข้าบรรยากาศอีกด้วย (www.peps.fsu.edu) ส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศตามมา ซึ่งจะมีผลต่อการดำรงชีวิตมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ดังนั้นมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นนี้จึงเป็นปัญหาที่จะต้องเร่งรีบแก้ไข

การพัฒนาวิธีการป้องกันการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสู่บรรยากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ได้มีการศึกษาพบว่า การที่มีสิ่งสกปรก ฝุ่น หรือคราบน้ำมันมารวมตัวกันเกาะปกคลุมผิวน้ำ จะทำให้การระเหยของน้ำลดลง (Law and Diamond, 1998) นอกจากนี้ได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำ โดยการหยดสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble surfactant) ลงไปปกคลุมบนผิวน้ำในลักษณะของฟิล์มชั้นเดียว (monolayer) (Broecker et al., 1978; Brockmann et al., 1982; Saylor et al., 2000) ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าว พบว่า ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวสามารถลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ดังนั้น ฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำก็น่าที่จะสามารถช่วยลดการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำได้เช่นกัน ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำเปิดต่างๆ ได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวต่ออัตราการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำ โดย

ศึกษาถึงชนิด ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว ต่อดัชนีผลของอุณหภูมิ และความเร็วลมต่อการลดการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำสารลดแรงตึงผิวมาประยุกต์ใช้ควบคุมการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำสู่บรรยากาศ

การตรวจเอกสาร

1. การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว K_{OL} และการหาค่าฟลักซ์

ในกระบวนการระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ค่าฟลักซ์ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่เวลาใดๆ ($N_{VOC,t}$) สามารถคำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (two – film theory) แสดงได้ดังสมการ

$$N_{VOC,t} = K_{OL} \left(C_{L,t} - \frac{RTC_{G,t}}{H} \right) \quad (1.1)$$

- เมื่อ $N_{VOC,t}$ = ฟลักซ์ของ VOC ที่เวลา t , $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$
 K_{OL} = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว, m.s^{-1}
 $C_{L,t}$ = ความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคของเหลวที่เวลา t , mol/m^3
 $C_{G,t}$ = ความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคแก๊สที่เวลา t , mol/m^3
 H = ค่าคงที่ของเฮนรี (Henry's law constant), $\text{atm.m}^3.\text{mol}^{-1}$
 R = ค่าคงที่สากลของแก๊ส (Universal gas constant), $\text{atm.m}^3.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature) ของน้ำ, K

จากทฤษฎีฟิล์มสองชั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวัฏภาคของเหลว มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว (k_L) และสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส (k_G) ดังสมการ

$$\frac{1}{K_{OL}} = \frac{1}{k_L} + \frac{RT}{HK_G} \quad (1.2)$$

- เมื่อ k_L = สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว, m.s^{-1}
 k_G = สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส, m.s^{-1}

สำหรับกรณีที่มีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำ กระแสลมจะพัดเอา VOC ออกไปกับกระแสลม ในทันทีที่มันระเหยขึ้นมาจากแหล่งน้ำ โดยทั่วไปพบว่า ความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคแก๊สมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคของเหลว ดังนั้นสมการที่ (1.1) จะลดรูปเป็น

$$N_{voc,t} = K_{ol}C_{L,t} \quad (1.3)$$

สำหรับกระบวนการระเหยของ VOC ที่ปริมาตรของสารละลายสามารถสมมติได้ว่ามีค่าคงที่ตลอดกระบวนการระเหย (มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรรวม) สามารถทำดุลมวลรอบถังระเหย จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของ VOC ที่เวลาใดๆ ($N_{voc,t}$) พื้นที่ผิวของการระเหย ปริมาตรของสารละลาย และความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคของเหลวที่เวลาใดๆ ดังสมการ

$$N_{voc,t} = -\frac{V}{A} \frac{dC_{L,t}}{dt} \quad (1.4)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลาย, m^3
 A = พื้นที่ผิวของการระเหย, m^2
 t = เวลาที่ใช้, s

รวมสมการ (1.3) และ สมการ (1.4) จะได้

$$\frac{dC_{L,t}}{dt} = -\frac{K_{ol}AC_{L,t}}{V} \quad (1.5)$$

อินทิเกรตสมการ (1.5) จากเวลาเท่ากับศูนย์ถึงเวลา t ใดๆ จะได้

$$\ln \frac{C_{L,t}}{C_{L,0}} = -K_{ol}a_v t \quad (1.6)$$

เมื่อ $a_v = \frac{A}{V}$ = อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของการระเหยต่อปริมาตรของสารละลาย, m^{-1}
 จากสมการที่ (1.5) สามารถหาค่า K_{ol} ที่สภาวะต่างๆ ได้จากความชันของกราฟที่พล็อตระหว่าง $\ln \frac{C_{L,t}}{C_{L,0}}$ กับ t นั่นคือ

$$K_{OL} = -\frac{Slope}{a_v} \quad (1.7)$$

เมื่อทราบค่า K_{OL} ฟลักซ์ของ VOC ที่เวลาใดๆสามารถหาได้จากผลคูณของค่า K_{OL} กับความเข้มข้นของ VOC ในบรรยากาศของเหลว (ตามสมการที่ (1.3)) ส่วนค่าฟลักซ์เฉลี่ยตลอดกระบวนการระเหยก็หาได้ทำนองเดียวกับสมการที่ (1.3) โดยใช้ความเข้มข้นเฉลี่ยแทนความเข้มข้นที่เวลาใดๆ ดังสมการ

$$N_{VOC,avg} = K_{OL} C_{L,avg} \quad (1.8)$$

เนื่องจากความเข้มข้นของ VOC ในกระบวนการระเหยที่ศึกษามีรูปแบบการลดลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังนั้นการเฉลี่ยแบบลอการิทึม (log mean average) จึงเป็นรูปแบบที่เหมาะสม ดังนั้นสมการ (1.8) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$N_{VOC,avg} = K_{OL} \frac{(C_{L,f} - C_{L,0})}{\ln \frac{C_{L,f}}{C_{L,0}}} \quad (1.9)$$

เมื่อ $C_{L,f}$ = ความเข้มข้นของ VOC ในบรรยากาศของเหลวที่เวลาสุดท้าย, mol.m^{-3}

$C_{L,0}$ = ความเข้มข้นของ VOC ในบรรยากาศของเหลวที่เวลาเริ่มต้น, mol.m^{-3}

นอกจากคำนวณตามสมการ (1.9) แล้ว ค่าฟลักซ์เฉลี่ยตลอดกระบวนการระเหยของ VOC ยังสามารถหาได้จากการทดลองโดยตรงของความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นสุดท้ายดังสมการ

$$N_{VOC,avg} = \frac{C_{L,f} - C_{L,0}}{a_v t_f} \quad (1.10)$$

ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ที่ทำนายโดยใช้ค่า K_{OL} ตามสมการ (1.9) กับค่าฟลักซ์ที่วัดได้โดยตรงตามสมการ (1.10) ก็จะสามารถตรวจสอบความถูกต้องของค่า K_{OL} ได้

2. การหาค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว (k_L)

สามารถหาได้จากกระบวนการระเหยของ VOC ที่ความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลอยู่ในบรรยากาศของเหลว VOC เหล่านี้จะมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ซึ่งก็คือ VOC ที่มีค่าคงที่

ของเฮนรี่สูง เมื่อ H มีค่าสูง เทอมที่สองทางขวาของสมการ (1.2) จะสามารถประมาณได้ว่ามีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการ (1.2) จึงลดรูปเป็น

$$\frac{1}{K_{OL}} = \frac{1}{k_L} \quad (1.11)$$

พบว่า VOC ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ VOC ที่มีค่าคงที่ของเฮนรี่สูงกว่าหรือเท่ากับ $5 \times 10^{-3} \text{ atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ และพบว่าความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลของ VOC กลุ่มนี้จะอยู่ในวิภาคของเหลวมากกว่า 90% ขึ้นไป ตัวอย่างของ VOC กลุ่มนี้ได้แก่ โทลูอีน และเบนซีน

3. การหาค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส (k_G)

ในความเป็นจริงแล้วการหาค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สของ VOC ใดๆ หาได้จากกระบวนการระเหยของ VOC บริสุทธิ์ ทั้งนี้เพราะในกระบวนการระเหยของสารบริสุทธิ์จะไม่มีเกรเดียนต์ของความเข้มข้นในวิภาคของเหลวเกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่มีความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลในวิภาคของเหลว และความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลที่เกิดขึ้นในกระบวนการระเหยของ VOC บริสุทธิ์จึงอยู่ในวิภาคแก๊สทั้งหมด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการทดลองการระเหย VOC บริสุทธิ์ในถังระเหยขนาดใหญ่และมีกระแสลมพัดผ่านนั้นเป็นสิ่งที่ไม่สามารถกระทำได้ ดังนั้นจึงต้องศึกษาหาค่า k_G จากการระเหยของ VOC จากน้ำแทน โดยใช้ VOC ที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง ซึ่งก็คือ VOC ที่มีค่าคงที่ของเฮนรี่ต่ำนั่นเอง เมื่อ H มีค่าต่ำมากๆเทอมที่สองทางขวามือของสมการ (1.2) จะมีค่าสูงกว่าเทอมแรกมากๆ ดังนั้นสมการ (1.2) ลดรูปเป็น

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad \frac{1}{K_{OL}} &= \frac{RT}{Hk_G} \\ k_G &= \frac{RTK_{OL}}{H} \end{aligned} \quad (1.12)$$

นั่นคือสามารถหาค่า k_G ได้จากค่า K_{OL} จากกระบวนการระเหยของสารละลาย VOC ที่มีค่าคงที่ของเฮนรี่ต่ำๆ โดย VOC ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ VOC ที่มีค่าคงที่ของเฮนรี่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ $5 \times 10^{-6} \text{ atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ และยังพบว่า ความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลของ VOC กลุ่มนี้จะอยู่ในวิภาคแก๊สมากกว่า 90% ขึ้นไป ตัวอย่างของ VOC กลุ่มนี้ได้แก่ เมทานอล และอะซีโตน

4. ความต้านทานการระเหยของชั้นฟิล์มที่ปกคลุมผิวน้ำ

อัตราการระเหยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (flux) ของ VOCs จากแหล่งน้ำที่ถ่ายโอนผ่านผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ (air-water interface) เข้าสู่บรรยากาศ มีความสัมพันธ์กับความต้านทานการถ่ายโอนมวลรวม (overall mass transfer resistance, r_{OL}) และความเข้มข้นของ VOCs ในแหล่งน้ำ ดังสมการ

$$N_{VOCs} = \frac{C_L - \frac{C_G RT}{H}}{r_{OL}} \approx \frac{C_L}{r_{OL}} \quad (1.13)$$

$$r_{OL} = r_L + r_G + r_i$$

เมื่อ $r_L = \frac{1}{k_L}$ = ความต้านทานการถ่ายโอนมวลของชั้นฟิล์มในวัฏภาคของเหลว (liquid-film mass transfer resistance)

$r_G = \frac{1}{k_G}$ = ความต้านทานการถ่ายโอนมวลของชั้นฟิล์มในวัฏภาคแก๊ส (gas-film mass transfer resistance)

r_i = ความต้านทานอื่นๆ เช่น ฟิล์มพื้นผิว (surface film) จากสารลดแรงตึงผิวหรือสารปนเปื้อน

$r_{OL} = \frac{1}{K_{OL}}$ = ความต้านทานการถ่ายโอนมวลรวม (overall mass transfer resistance)

N_{VOCs} = ฟลักซ์ของ VOCs ที่ถ่ายโอนผ่านผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ, $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

K_{OL} = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม, m.s^{-1}

k_G = สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส, m.s^{-1}

k_L = สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว, m.s^{-1}

C_G = ความเข้มข้นของ VOCs ในวัฏภาคแก๊ส, mol.m^{-3}

C_L = ความเข้มข้นของ VOCs ในวัฏภาคของเหลว, mol.m^{-3}

H = Henry's law constant, $\text{atm.m}^3.\text{mol}^{-1}$

R = ค่าคงที่ของแก๊ส, $\text{atm.m}^3.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์, K

จากทฤษฎีข้างต้นจะเห็นได้ว่า ฟลักซ์ของ VOCs ที่ระเหยจากแหล่งน้ำเป็นสัดส่วนผกผันอยู่กับความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลรวม ดังนั้นการเพิ่มชั้นฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวลงบนผิว

ของของเหลว ซึ่งเป็นการเพิ่มความต้านทานต่อการถ่ายโอนมวลรวม จะสามารถลดการระเหยของ VOCs จากแหล่งน้ำได้

5. ร้อยละของการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมและสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สและสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว

ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการช่วยป้องกันหรือลดการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายหาได้ในเทอมของค่าร้อยละของการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สและสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวดังสมการ

- % Reduction in K_{OL}

$$\% \text{ Reduction in } K_{OL} = \frac{(K_{OL, \text{nofilm}} - K_{OL, \text{film}})}{K_{OL, \text{nofilm}}} \times 100 \quad (1.14)$$

- % Reduction in k_G

$$\% \text{ Reduction in } k_G = \frac{(k_{G, \text{nofilm}} - k_{G, \text{film}})}{k_{G, \text{nofilm}}} \times 100 \quad (1.15)$$

- % Reduction in k_L

$$\% \text{ Reduction in } k_L = \frac{(k_{L, \text{nofilm}} - k_{L, \text{film}})}{k_{L, \text{nofilm}}} \times 100 \quad (1.16)$$

เมื่อ $K_{OL, \text{nofilm}}$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลวในกรณีที่ไม่มีฟิล์มปกคลุม, m.s^{-1}

$K_{OL, \text{film}}$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลวในกรณีที่มีฟิล์มปกคลุม, m.s^{-1}

$k_{G, \text{nofilm}}$ = สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สในกรณีที่ไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวปกคลุม, m.s^{-1}

$k_{G, \text{film}}$ = สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สในกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวปกคลุม, m.s^{-1}

$k_{L, \text{nofilm}}$ = สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวในกรณีที่ไม่มีฟิล์มสารลดแรงตึงผิวปกคลุม, m.s^{-1}

$k_{L, \text{film}}$ = สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวในกรณีที่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวปกคลุม, m.s^{-1}

6. สมการสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล

สมการสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (k_L และ k_G) มีรายงานไว้สองรูปแบบ คือ แบบจำลองตามแนวความคิด และแบบจำลองที่เป็นสมการเอ็มพิริคัล ซึ่งจะอยู่บนพื้นฐานของการทดลอง

6.1 แบบจำลองตามแนวความคิด (conceptual model)

แบบจำลองตามแนวความคิด จัดเป็นความพยายามแรกๆ ที่จะอธิบายให้เห็นภาพพจน์ของสัมประสิทธิ์ของการถ่ายโอนมวล ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีสองฟิล์ม ทฤษฎีการเปลี่ยนผิว ทฤษฎีชั้นขอบเขต และทฤษฎีการทะลุทะลวง

6.1.1 ทฤษฎีสองฟิล์ม (Two-film model)

ทฤษฎีสองฟิล์ม เสนอโดย Whitman (1924) สมมุติว่ามีฟิล์มนิ่ง (stagnant film) สองฟิล์มอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของน้ำและอากาศ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสำหรับการแพร่ผ่านฟิล์มของเหลวหนึ่ง คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุลต่อความหนาของชั้นฟิล์ม ดังสมการ

$$k_G = \frac{D_G}{\delta_G}$$

และ

$$k_L = \frac{D_L}{\delta_L} \quad (1.17)$$

| | | | |
|-------|------------|---|---|
| เมื่อ | k_G | = | สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| | k_L | = | สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| | D_G, D_L | = | สัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุลในวัฏภาคแก๊สและวัฏภาคของเหลวตามลำดับ, $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ |
| | δ | = | ความหนาของชั้นฟิล์ม, m |

จากทฤษฎีสองฟิล์มทำนายว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมแปรผันโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุลของสารประกอบ อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลจะขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพแวดล้อม เช่น ความเร็วลม ความชื้น ความหนาแน่นและอุณหภูมิของของเหลว ซึ่งจะมีผลต่อความหนาของชั้นฟิล์ม

6.1.2 ทฤษฎีการทะลุทะลวง (Penetration theory)

Herbie (1935) เป็นคนแรกที่เสนอทฤษฎีนี้ขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายอัตราการแพร่เข้าสู่ของไหลซึ่งความเข้มข้นที่ผิวสัมผัสมีค่าคงที่ โดยสมมุติว่าของไหล (bulk fluid) มีความปั่นป่วนทำ

ให้เกิดกระแสวนเข้ามายังบริเวณผิวสัมผัส โมเลกุลที่แพร่จะเคลื่อนที่ไปไม่ถึงอีกด้านหนึ่งของชั้นบางๆ ถ้าเวลาสัมผัสสั้น ที่สภาวะไม่คงตัว จะได้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลดังสมการที่ (1.18) จากทฤษฎีนี้ทำนายได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลแปรผันโดยตรงกับรากที่สองของสัมประสิทธิ์การแพร่

$$k = 2\sqrt{\frac{D}{\pi t}} \quad (1.18)$$

เมื่อ k = สัมประสิทธิ์ของการถ่ายโอนมวล, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
 D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุล, $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
 t = เวลา, s

6.1.3 ทฤษฎีการเปลี่ยนผิว (Surface renewal theory)

ทฤษฎีนี้ปรับปรุงมาจากทฤษฎีการทะลุทะลวงโดย Danckwerts (1951) ซึ่งพิจารณาในกรณีที่แต่ละส่วนของของไหลที่ผิวถูกแทนที่ด้วยของไหลใหม่จากกระแสน้ำกลับ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลแสดงได้ดังสมการ (1.19) ทฤษฎีนี้ทำนายได้ว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลแปรผันโดยตรงกับรากที่สองของสัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุล ถึงแม้ว่าในทางกายภาพทฤษฎีนี้จะใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าทฤษฎีสองฟิล์ม แต่ก็ไม่นิยมที่จะนำไปใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อม เพราะตัวแปรที่เกี่ยวข้องไม่สามารถวัดได้โดยตรง

$$k = \sqrt{D\tau} \quad (1.19)$$

เมื่อ k = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
 D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุล, $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
 τ = average residence time for an element in the interface, s

6.1.4 ทฤษฎีชั้นขอบเขต (Boundary layer theory)

สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลจากทฤษฎีชั้นขอบเขตจะคล้ายคลึงกับการศึกษาเรื่องกลศาสตร์ของไหลและการถ่ายโอนความร้อนผ่านแผ่นแบนบางๆ (flat plate) นั่นคือ เมื่อขอบเขตอยู่ในช่วงลามินาร์ ซึ่งมี Reynolds number น้อยกว่า 3×10^5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลหาได้จากสมการ

$$\frac{k_L}{D} = 0.626 \text{Re}^{\frac{1}{2}} \text{Sc}^{\frac{1}{3}} \quad (1.20)$$

สำหรับการไหลในช่วงปั่นป่วน Reynolds number มีค่ามากกว่า 5×10^5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสามารถคำนวณได้โดยใช้ Chilton – Colbum analogy ดังสมการ

$$\frac{k_L}{D} = 0.373 \text{Sc}^{\frac{1}{3}} (\text{Re}^{0.8} - 15500) \quad (1.21)$$

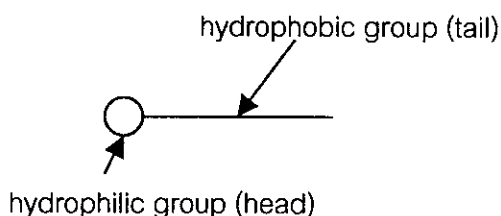
- เมื่อ
- k = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล, m.s^{-1}
 - D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุล, $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
 - L = ความยาวของเพลทบาง, m
 - Re = Reynolds number
 - Sc = Schmidt number

6.2 แบบจำลองสมการเอ็มพิริคัล

แม้ว่าแบบจำลองตามแนวความคิด ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้เข้าใจการถ่ายโอนมวลที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาค แต่โดยทั่วไปแล้วไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานจริงๆ เนื่องจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องไม่สามารถวัดได้โดยตรง ซึ่งในทางปฏิบัติค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลที่ใช้ส่วนมากจะอยู่ในรูปของสมการสหสัมพันธ์ (Herback, 1962; Mackay and Yeun, 1983; Schwarzenback et al., 1998; Lunney, et al., 1985)

7. ความสัมพันธ์การระเหยของสารกับสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ดังรูป



ส่วนที่เป็น hydrophilic group จะมีความเป็นขั้วสูง และส่วนของ hydrophobic group จะเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว ซึ่งมักจะเป็นพวก hydrocarbon group การจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในน้ำเป็นในลักษณะที่หันด้านที่มีขั้ว (ส่วนหัว) เข้าหาน้ำ และหันด้านที่ไม่มีขั้ว (ส่วนหาง) ออกจากน้ำ

สารลดแรงตึงผิวมีประโยชน์มาก เช่น ใช้ในการทำผงซักฟอก สบู่ และอื่นๆ รวมถึงการนำมาประยุกต์ใช้ในการลดการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำเปิดต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทที่ไม่ละลายน้ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำนี้ จะจัดเรียงตัวในลักษณะของฟิล์มโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) บนผิวน้ำ โดยหันส่วนที่เป็นหัวเข้าหาน้ำ ซึ่งกลไกของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวในการลดการระเหยของสารมีสองประการ คือ

1. เป็นตัวกีดกันการระเหยของสารจากแหล่งน้ำ (barrier effect)
2. ลดความปั่นป่วนและการเกิดคลื่นของวัฏภาคของเหลว

ฟิล์มโมเลกุลชั้นเดียวสามารถต้านทานการระเหยของน้ำได้ดี และสามารถแพร่กระจายกลับมาได้อย่างรวดเร็วเมื่อฟิล์มเกิดการฉีกขาด พบว่าแอลกอฮอล์สายโซ่ยาวจะมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการลดการระเหยของสาร และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน อย่างไรก็ตาม หากสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาวกว่า C_{18} จะทำให้สมบัติการแพร่กระจายของสารลดแรงตึงผิวลดลง ดังนั้นจึงต้องเลือกชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสม สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้มากในการลดการระเหยของสาร คือ hexadecanol เนื่องจากมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายจัดเรียงตัวเป็นโมเลกุลชั้นเดียวได้อย่างรวดเร็ว เมื่อถูกรบกวนจากกระแสลมจะสามารถกลับคืนมาเรียงตัวเป็นฟิล์มโมเลกุลชั้นเดียวได้อย่างรวดเร็ว และยอมให้การถ่ายโอนออกซิเจนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (Mansfield, 1955)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Barnes (1997)

การสูญเสียของน้ำจากแหล่งน้ำเปิดโดยกระบวนการระเหย เป็นปัญหาที่พบเห็นในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้ง วิธีการหนึ่งที่สามารถลดการระเหยของน้ำในสภาวะดังกล่าวได้ คือ การใช้ฟิล์มชั้นเดียวของแอลกอฮอล์โซ่ยาวมาปกคลุมผิวน้ำ งานวิจัยนี้จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ความยาวของสายโซ่แอลคิล และองค์ประกอบของฟิล์มชั้นเดียวต่อการระเหย โดยวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature gradient) ได้ผิวน้ำด้วย interferometry พบว่า การ

ยับยั้งการเกิดการพาความร้อนไม่ไหลไกลไกลที่สำคัญในการช่วยต้านทานการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำ

Brockmann et al. (1982)

ศึกษาความสม่ำเสมอ (uniformity) ของฟิล์มพื้นผิว (surface film) และอิทธิพลของฟิล์มพื้นผิวต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการศึกษาใน North sea off Sylt Island ด้วยการหยด Frozen blocks ของ oleyl alcohol จำนวน 80 กรัม จากเฮลิคอปเตอร์ในลักษณะเวียนเป็นรูปก้นหอย พบว่า ฟิล์มของ oleyl alcohol ที่เกิดขึ้นจะไปเข้าไปแทนที่สารลดแรงตึงผิวที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (natural surface - active component) ซึ่งได้แก่ พวกกรดไขมันชนิดต่างๆ เมื่อทำการวัดการแลกเปลี่ยนแก๊สโดยการวัดอัตราการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีฟิล์มของ oleyl alcohol ที่ผิวน้ำ ภายใต้สภาวะที่มีลมพัดผ่าน พบว่าฟิล์มของ oleyl alcohol สามารถลดอัตราการแพร่ของแก๊สได้ประมาณ 30% และสามารถสรุปได้ว่า ภายใต้สภาวะที่มีความปั่นป่วนมากๆ ฟิล์มจะฟอร์มตัวทำให้เกิดความต้านทานการถ่ายโอนมวล โดยจะไปเปลี่ยน hydrodynamic condition ที่บริเวณผิวสัมผัส ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยน wind - wave spectra และลด wind stress จึงทำให้การแลกเปลี่ยนแก๊สลดลง

Broecker et al. (1978)

ศึกษาอิทธิพลของกระแสลมและผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการทดลองในอุโมงค์ลมขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 18 เมตร และระดับน้ำลึก 0.5 เมตร ความเร็วลมที่ศึกษาอยู่ในช่วง 2 -16 เมตรต่อวินาที โดยทำการศึกษาทั้งกรณีที่มีและไม่มีฟิล์มของ oleyl alcohol หยด oleyl alcohol ที่ส่วนต้นของอุโมงค์ลมอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา เนื่องจากอิทธิพลของลมทำให้ oleyl alcohol แพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกัน กระแสลมก็พัดเอาฟิล์มของ oleyl alcohol ไปรวมกันที่ส่วนท้ายของอุโมงค์ลมด้วย ดังนั้นความถี่ในการหยดจึงต้องเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวนี้ได้ปกคลุมทั่วผิวน้ำอย่างสมบูรณ์แล้ว โดยความเร็วลมที่ใช้ต้องไม่เกิน 13 เมตรต่อวินาที เพราะถ้าความเร็วลมมากกว่านี้จะทำให้ฟิล์มเกิดการฉีกขาด และที่ส่วนท้ายของอุโมงค์ลมจะมีการกำจัดฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของฟิล์มในลักษณะที่เป็นฟิล์มหลายชั้น (multilayer) อันเนื่องมาจากกระแสลมที่พัดอย่างต่อเนื่อง

จากการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมแบบเชิงเส้น และฟิล์มของ oleyl alcohol จะลดการเกิดคลื่นบนผิวน้ำ เป็นเหตุให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลลดลงได้ถึง 80%

Bunyakan et al. (2000)

ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส (k_G) และสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว (k_L) ในกระบวนการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compound, VOC) จากแหล่งน้ำ ทำการทดลองในอ่างที่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ศึกษาอยู่ในช่วง 20 – 40 °C โดยวัดค่าจากการระเหยของ VOC 2 ชนิด ได้แก่ เมทานอล และ โทลูอิน จากผลการทดลองพบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (K_{OL} , k_G , k_L) แปรผันตามอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลจะเพิ่มขึ้นด้วย และได้พัฒนาสมการเอมพิริคัลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สและสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวกับอุณหภูมิของแหล่งน้ำ โดยใช้สัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) เป็นตัวปรับแก้ให้สามารถใช้กับ VOC ตัวอื่นๆ ได้ ดังแสดงในสมการ (1.22) และ (1.23)

$$k_L(\text{VOCs}) = \left[1.0 \exp\left(\frac{-3805.9}{T}\right) \right] \left[\frac{D_{\text{VOCs-water}}}{D_{\text{toluene-water}}} \right]$$

สำหรับ $293 \leq T \leq 313$ K (1.22)

$$k_G(\text{VOCs}) = \left[1.32 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{2266.3}{T}\right) \right] \left[\frac{D_{\text{VOCs-water}}}{D_{\text{methanol-water}}} \right]$$

สำหรับ $293 \leq T \leq 313$ K (1.23)

| | | | |
|-------|-----------------------------|---|--|
| เมื่อ | $k_L(\text{VOCs})$ | = | สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวของ VOC, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| | $k_G(\text{VOCs})$ | = | สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สของ VOC, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| | T | = | อุณหภูมิของวัฏภาคของเหลว, K |
| | $D_{\text{VOCs-water}}$ | = | สัมประสิทธิ์การแพร่ของ VOC ในน้ำที่อุณหภูมิ T, $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ |
| | $D_{\text{toluene-water}}$ | = | สัมประสิทธิ์การแพร่ของโทลูอินในน้ำที่อุณหภูมิ T, $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ |
| | $D_{\text{methanol-water}}$ | = | สัมประสิทธิ์การแพร่ของเมทานอลในน้ำที่อุณหภูมิ T, $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ |

Bunyakan et al. (2001)

ศึกษาผลของความเร็วมต่อการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compound, VOC) จากแหล่งน้ำเปิด โดยทำการทดลองในถังระเหยขนาด กว้าง 0.4 เมตร ยาว 3.9 เมตร และสูง 0.2 เมตร วางอยู่ภายใต้อุโมงค์ลมที่มีขนาด กว้าง 0.5 เมตร ยาว 4 เมตร และสูง 0.5 เมตร จากการแปรเปลี่ยนความเร็วมเหนือผิวน้ำแบบคงตัว โดยความเร็วมที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 0 – 4.80 เมตรต่อวินาที พบว่า สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส (k_G) และสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว (k_L) จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วมเหนือผิวน้ำ โดยมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นสำหรับ แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง k_L กับความเร็วมจะแบ่งออกเป็นสองช่วงโดยมีจุดเปลี่ยนแปลงความชันที่ความเร็วมเท่ากับ 2.58 เมตรต่อวินาที และได้พัฒนาสมการเอมพิริคัลของ k_G และ k_L ให้สามารถใช้กับ VOC ตัวอื่นๆ ได้โดยใช้มวลโมเลกุลเป็นตัวปรับแก้ แสดงได้ดังสมการ

$$k_L(VOC) = [2.33 \times 10^{-6} U_{10cm} + 9.71 \times 10^{-6}] \left[\frac{92.14}{MW_{VOC}} \right]^{0.5}$$

สำหรับ $0 \leq U_{10cm} \leq 2.58$ เมตรต่อวินาที (1.24)

$$k_L(VOC) = [1.89 \times 10^{-5} U_{10cm} + 3.38 \times 10^{-5}] \left[\frac{92.14}{MW_{VOC}} \right]^{0.5}$$

สำหรับ $2.58 < U_{10cm} \leq 4.80$ เมตรต่อวินาที (1.25)

และ

$$k_G(VOC) = [4.37 \times 10^{-3} U_{10cm} + 2.25 \times 10^{-3}] \left[\frac{32.04}{MW_{VOC}} \right]^{0.5}$$

สำหรับ $0 \leq U_{10cm} \leq 4.80$ เมตรต่อวินาที (1.26)

| | | | |
|-------|-------------|---|---|
| เมื่อ | $k_L(VOCs)$ | = | สัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลวของ VOC ใดๆ, $m.s^{-1}$ |
| | $k_G(VOCs)$ | = | สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สของ VOC ใดๆ, $m.s^{-1}$ |
| | U_{10cm} | = | ความเร็วมเหนือผิวน้ำเป็นระยะ 10 เซนติเมตร, $m.s^{-1}$ |
| | Mw_{VOC} | = | น้ำหนักโมเลกุลของ VOC ใดๆ, $g.mol^{-1}$ |

Goldman et al. (1978)

ศึกษาการแลกเปลี่ยนแก๊สภายใต้สภาวะปั่นป่วน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 20 °C ในภาชนะขนาด 500 มิลลิลิตร วางอยู่บนเครื่องเขย่า (shaker table) โดยมีการเติมสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ polyethylene oxide และ oleyl alcohol ลงไป เก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากที่ต่างๆ มาทำการทดลองโดยการแปรเปลี่ยนความเร็วในการผสม (mixing speed) และแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด ซึ่งความเร็วในการเขย่าจะอยู่ในช่วงระหว่าง 125 – 250 rpm

จากการทดลองพบว่า สารลดแรงตึงผิวสามารถลดการระเหยของออกซิเจนที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลวได้ อธิบายได้ว่า สารลดแรงตึงผิวทำให้เกิด surface pressure force ที่ไปต่อต้านและลดความปั่นป่วนของของเหลว รวมทั้งสามารถลด surface renewal ได้ ซึ่งจากการศึกษากับตัวอย่างน้ำทะเลจากที่ต่างๆ พบว่าสารลดแรงตึงผิวสามารถลดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้แตกต่างกัน ตั้งแต่จาก 5 – 15 % สำหรับน้ำในมหาสมุทร จนถึง 50 % สำหรับน้ำทะเลที่อยู่บริเวณใกล้ชายฝั่ง และพบว่าสารลดแรงตึงผิวสามารถลดการแลกเปลี่ยนแก๊สจากทะเล Sargasso ได้ถึง 50 %

Gus' kova et al. (2000)

ศึกษาผลของไขมันโมเลกุลชั้นเดียว (lipid monolayer) ต่อการแพร่ของแก๊สออกซิเจนผ่านผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ (air - water interface) ด้วยวิธี polarography โดยการนำเอา platinum electrode จุ่มลงไปใต้น้ำ จากการทดลองพบว่า การเกิดโมเลกุลชั้นเดียวของ phosphatidylcholine, stearic acid, hexadecanol, octadecanol, eicosanol และ docosanol บนผิวน้ำนั้นทำให้การแพร่ของออกซิเจนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิล์มชั้นเดียวของ docosanol จะให้ค่าการลดลงของการแพร่สัมพัทธ์ (relative diffusion current, R) มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าค่า R จะเพิ่มขึ้นตามความดันผิว (surface pressure) ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่า ฟิล์มโมเลกุลชั้นเดียวสามารถทำให้การแพร่ของออกซิเจนลดลงได้ เนื่องจากทำให้เกิดพลังงานมากขึ้น (energy barrier) และป้องกันการดูดซับแก๊ส ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเกิดอันตรกิริยาอย่างอ่อนๆ ระหว่างสายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon chain) กับออกซิเจน

Jähne and HauBecker (1998)

ศึกษาการแลกเปลี่ยนแก๊สชนิดต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และออกซิเจน ระหว่างบรรยากาศกับมหาสมุทร ภายใต้ความหนาของ boundary layer 20 - 200 ไมโครเมตรที่ผิวน้ำ ไฮโดรไดนามิกของ boundary layer นี้จะแตกต่างจาก boundary layer ในกรณีของแผ่นของแข็ง (solid plate) อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของคลื่น จากการวัดพบว่า คลื่นลมทำให้อัตราการถ่ายโอนแก๊สเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวก็มีอิทธิพลต่ออัตราการถ่ายโอนแก๊สด้วย โดยทำให้อัตราการถ่ายโอนแก๊สลดลง

Machida et al. (1998)

ศึกษาการยับยั้งการระเหยของน้ำโดยใช้ฟิล์มชั้นเดียว (monolayer) ที่เกิดจากสารผสมระหว่าง poly(octadecylacrylate) (POA) และ octadecanol (OA) คลุมบนผิวน้ำ ซึ่งจะใช้ Brewster angle microscopy (BAM) และ atomic force microscopy (AFM) ในการศึกษา microstructure ของฟิล์มที่มีการแปรเปลี่ยนสัดส่วนของ poly(octadecylacrylate) และ octadecanol จากผลการทดลองพบว่า ฟิล์มโมเลกุลชั้นเดียวที่ถูกผสมในสัดส่วน POA/OA = 1:3 - 1:4 จะมีความสามารถในการต้านทานการระเหยของน้ำได้ดีที่แรงตึงผิวอยู่ในช่วง 20 - 40 $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงผลของ condensation effect โดยการผสมของ π - A isotherm

Rathbun and Tai (1983)

ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว โดยวัดจากการระเหยของสารประกอบอินทรีย์จำพวกคีโตน 7 ชนิด ได้แก่ acetone, 2-butanone, 3-pentanone, 4-methyl-2-pentanone, 2-heptanone และ 2-octanone จากการทดลองในภาชนะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร และสูง 1.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 293.2 - 313.2 K ได้รับความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สกับอุณหภูมิ ดังสมการ

$$k_G = a_A \exp(b_A T) \quad (1.27)$$

เมื่อ k_G = สัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
 T = อุณหภูมิของสารละลาย (K)
 a_A, b_A = ค่าคงที่

สำหรับค่า a_A และ b_A ของแต่ละสารสามารถหาได้จากการพล็อตกราฟระหว่าง k_G กับ อุณหภูมิในสเกล $\log - \log$ โดยที่ค่า a_A และ b_A คือ จุดตัดแกน (intercept) และความชัน (slope) ของกราฟตามลำดับ

ค่า a_A และ b_A ที่ได้จากการระเหยสารประกอบอินทรีย์บริสุทธิ์แสดงได้ดังตาราง

ตาราง 1 ค่าคงที่ของสารประกอบอินทรีย์ 7 ชนิด ที่ได้จากการพล็อตกราฟระหว่าง k_G กับ อุณหภูมิในสเกล $\log - \log$

| สารอินทรีย์ | a_A (m.day ⁻¹) | b_A (K ⁻¹) |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Acetone | 3.33 | 0.0147 |
| 2-butanone | 24.3 | 0.00991 |
| 2-pentanone | 22.9 | 0.00978 |
| 3-pentanone | 15.0 | 0.0112 |
| 4-methyl -2-pentanone | 21.4 | 0.0101 |
| 2-heptanone | 17.8 | 0.0107 |
| 2-octanone | 12.8 | 0.0121 |

เนื่องจากการศึกษานี้กระทำในภาวะระเหยขนาดเล็ก ค่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊สที่ได้จึงไม่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้กับแหล่งน้ำเปิดขนาดใหญ่

Saylor et al. (1999)

ศึกษาผลของการเกิดโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) ของสารลดแรงตึงผิวที่ผิวน้ำต่อสนาม อุณหภูมิ (temperature field) ของการระเหยของน้ำ วัดโดยใช้ infrared imaging techniques โดยทำการทดลองในถังแก้วขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และสูง 15 เซนติเมตร วัดค่าจากผิวน้ำที่มีการปกคลุมด้วยฟิล์มของ oleyl alcohol เป็นแบบโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) และจากผิวน้ำที่ปราศจากฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว

จากการศึกษา พบว่า กรณีที่มีสารลดแรงตึงผิวอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างแก๊สกับของเหลว (gas - liquid interface) จะมีผลต่อระบบโดยจะไปลดการเคลื่อนที่ของของไหล และยังมีผลไปยังการระเหยอีกด้วย

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ได้แก่

1. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตรเมื่อเทียบกับวิฤภาคของเหลว (K_{oLa})
2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มแก๊ส (k_{Ga})
3. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่อสัมประสิทธิ์ฟิล์มของเหลว (k_{La})
4. ศึกษาผลของอุณหภูมิของวิฤภาคของเหลวต่อประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการป้องกันการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำ
5. ศึกษาผลของความเร็วลมเหนือผิวน้ำต่อประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการป้องกันการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อป้องกันหรือลดการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสู่บรรยากาศ ตลอดจนสามารถนำไปใช้กับแหล่งน้ำใช้ต่างๆ เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำอันเนื่องมาจากการระเหยของน้ำได้