

ผลของ 1-Hexadecanol ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสำหรับการระเหยของน้ำและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำที่อุณหภูมิกึ่งที่

จรัญ บุญกาญจน์¹ รัชดา ชาตรีเมืองศรีชัย² และ นวรัตน์ ประกายเลิศลักษณ์²

Abstract

Bunyakan, C., Tatreemontreechai, R. and Prakailertlak, N.

Effect of 1-hexadecanol on mass transfer coefficients for evaporation of water and volatile organic compounds from water at constant temperature

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2002, 24(1) : 67-75

The objective of this study was to determine the effect of 1-hexadecanol on the overall mass transfer coefficients (K_{OL}) of acetone and toluene representing low and high volatile organic compounds (VOC). A series of evaporation experiments was performed in a water bath in order to control the water temperature. The water temperature range of 25-35 °C was investigated. The initial concentrations of acetone and toluene in water were about 1000 and 200 mg/L, respectively. The amounts of 1-hexadecanol added were varied from 0 to 32 µg/cm². The air temperature was constant at 28±1°C for all experiments. The K_{OL} values of both VOC

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

¹Ph.D. (Chemical Engineering), ²นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ่าเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail : becharun@ratree.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 18 เมษายน 2544 รับลงพิมพ์ 18 กรกฎาคม 2544

were measured at various levels of 1-hexadecanol on water surface. The results indicated that the K_{OL} value decreased with increasing amount of 1-hexadecanol and reached a minimum value when the amount of 1-hexadecanol added was in the range of 25-30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. The K_{OL} reduction at this level of 1-hexadecanol depends on the water temperature and the volatility of VOC. The K_{OL} reductions of toluene were about 57, 45, and 31 % at 25, 30 and 35 °C, respectively, while those of acetone at the same temperatures were 43, 40 and 37%, respectively. Additionally, the influence of 1-hexadecanol on water evaporation was also investigated. The reduction in k_g of water at the same amount of 1-hexadecanol were 72, 69 and 62 for the water temperatures of 25, 30 and 35 °C, respectively. From this investigation, we can conclude that the use of surfactant to prevent air pollution caused by VOC evaporation from water is possible.

Key words : air pollution, VOC, evaporation, mass transfer coefficient, hexadecanol

บทคัดย่อ

จรัญ บุญกาญจน์ รัชดา ชาตรีวนต์รัชัย และ นวัตตน์ ประกายเดิศลักษณ์
ผลของ 1-Hexadecanol ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสำหรับการระเหยของน้ำและ
สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากแหล่งน้ำที่อุณหภูมิกึ่งที่

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2545 24(1) : 67-75

วัสดุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาผลของ 1-Hexadecanol ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของโกลุ่มอินทรีย์และของชีโคน ซึ่งเป็นตัวแทนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound, VOC) ที่สามารถระเหยได้ง่ายและระเหยได้น้อยตามลำดับ การทดลองการระเหยของ VOC จากน้ำ กระทำในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วง 25-35 °C ความเข้มข้นเริ่มต้นของชีโคนและของโกลุ่มอินทรีย์ที่ใช้มีค่าประมาณ 200 และ 1000 มก/ลิตร ตามลำดับ ปริมาณของ 1-Hexadecanol ที่เติมอยู่ในช่วง 0-32 ในโครงสร้าง/ตร.ซม. ทำการวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลที่ปริมาณของ 1-Hexadecanol ที่ใช้ต่าง ๆ กัน ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของทั้งโกลุ่มอินทรีย์และของชีโคน มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของ 1-Hexadecanol ที่ใช้มีค่านากขึ้น และมีค่าต่ำสุดเมื่อปริมาณของ 1-Hexadecanol ที่ใช้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 25-30 ในโครงสร้าง/ตร.ซม. ร้อยละการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลที่ปริมาณของ 1-Hexadecanol ในช่วงดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความสามารถในการระเหยของ VOC โดยพบว่าการเติม 1-Hexadecanol เพียงประมาณ 25-30 ในโครงสร้าง/ตร.ซม. นั้น สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของโกลุ่มอินทรีย์ได้ประมาณ 57, 45, และ 31 % สำหรับอุณหภูมิ 25, 30, และ 35 °C ตามลำดับ ในขณะที่ร้อยละการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของชีโคน เนื่องจากปริมาณของ 1-Hexadecanol ในช่วงประมาณและอุณหภูมิข้างต้นนี้ค่าเป็น 43, 40, และ 37 % ตามลำดับ

นอกจากนี้แล้วในการศึกษานี้ยังได้ศึกษาผลของ 1-Hexadecanol ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของน้ำ พนท. ในช่วงปริมาณของ 1-Hexadecanol ที่ใช้ข้างต้น จะสามารถลดสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของน้ำได้สูงถึง 76, 69 และ 62 % สำหรับอุณหภูมิ 25, 30 และ 35 °C ตามลำดับ จากการศึกษานี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการเติม 1-Hexadecanol ลงในน้ำเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถนำมายังกันลักษณะทางอากาศที่เกิดจากการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำต่าง ๆ ได้

จากข้อมูลการศึกษาที่มีรายงานไว้โดย EPA ของประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าในแต่ละปีจะมีการระเหยของ VOC สูงร้อยก้าวในปริมาณที่สูง โดยส่วนหนึ่งของ VOC ที่ระเหยสูงร้อยก้าวมาจากการแหล่งน้ำ เปิดต่าง ๆ ทั้งนี้ เพราะ

VOC เหล่านี้มีใช้กันอยู่ทั่วไป ทั้งในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมขนาดกลาง อุตสาหกรรมขนาดเล็ก โรงพยาบาล สถานศึกษา และแม้แต่ในครัวเรือน ดังนั้น นักจะพบว่า แหล่งน้ำที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น แม่น้ำ ลำธาร ทะเล ฯลฯ สามารถเป็นแหล่งของ VOC ที่สำคัญไม่แพ้กัน

สถานศึกษา โรงพยาบาล และของเมืองหรือชุมชน จะมี VOC บ่อน้ำที่ด้วยสมอ ซึ่ง VOC เหล่านี้สามารถกระหายสู่ บรรยายการได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อมีกระแสลมพัด ผ่านแหล่งน้ำเปิดดังกล่าว (จรัญ และคณะ, 2544) ปัญหา การระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำเปิดจึงเป็นปัญหาที่ได้ รับความสนใจในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาเป็นอย่างมาก และมี มาตรการแก้ไขปัญหาดังกล่าวกันอย่างจริงจัง เช่น มีการ กำหนดให้โรงงานอุตสาหกรรมทุกโรงต้องรายงานปริมาณ ของ VOC ที่ปล่อยสู่บรรยายการทุกปี (Wit, 1993) ซึ่งส่ง ผลให้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ต้องหาวิธีการที่จะป้องกัน ไม่ให้ VOC ระเหยจากแหล่งน้ำบันดัดของโรงงาน วิธีการที่มี ใช้กันอยู่ ได้แก่ การสร้างกำแพงสูงล้อมบ่อบันดัด เช่น บ่อบันดัดน้ำเสียของ Ciba-Geigy ในมลรัฐ Alabama ประเทศสหรัฐอเมริกา (Sadec, *et al.*, 1996) หรือการสร้าง หลังคาคลุม Equalization basin ในระบบบันดัดน้ำเสีย ก็มีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือต้องการป้องกันไม่ให้กระแส ลมสัมผัสน้ำที่ด้วยวัสดุบางๆ เช่น ตาข่ายและลูกบอลพลาสติกขนาดเล็ก ก็จะสามารถลดอัตรา การระเหยของ VOC ที่ความเร็วลม 6 เมตร/วินาทีได้สูง ถึง 80% (Bunyakan, 1998) และอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถ ทำได้ คือการป้องกันผิวน้ำของแหล่งน้ำเปิดด้วยฟิล์มของ สารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก ซึ่งพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการป้องกันการ ระเหยของน้ำ และการปลดปล่อย (desorption) ของแก๊ส CO₂ จากแหล่งน้ำได้ดี (La Mer *et al.*, 1965; O' Brien *et al.*, 1976; Bean and Florey, 1968; Broecker *et al.*, 1978; Brockmann *et al.*, 1982; Lee *et al.*, 1980) โดย นักวิจัยเหล่านี้ พบว่าฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวสามารถลด การระเหยของน้ำได้เพราะการกำบังผิวน้ำโดยขั้นของฟิล์ม และฟิล์มที่เกิดขึ้นจะลดขนาดของคลื่น (wave damping) ทำให้ความบันป่วนบริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ ลดลง

การศึกษานี้จึงเป็นศึกษาเบื้องต้น ที่จะศึกษาถึงความ เป็นไปได้ที่จะนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้เพื่อลดการระเหย ของ VOC จากแหล่งน้ำ โดยสารลดแรงตึงผิวที่เลือกใช้ใน การศึกษานี้คือ 1-Hexadecanol ซึ่งจะทำการศึกษาผล ของสารลดแรงตึงผิวดังกล่าว ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอน มวลรวมของ VOC ที่ระเหยจากแหล่งน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากการศึกษานี้นักศึกษาจะใช้ยืนยัน ถึงความเป็นไปได้ที่จะนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้เพื่อลด การระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำแล้ว ยังจะสามารถใช้ เป็นแนวทางในการศึกษาทดลองในระดับ Pilot scale เพื่อ ศึกษาถึงสภาวะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ผลของความเร็วลม และชนิด ของสารลดแรงตึงผิวต่อประสิทธิภาพการลดการ ระเหยของ VOC ต่อไป

อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิว (1-Hexadecanol) ต่อการระเหยของ VOC จากน้ำ จะทำโดยศึกษาการ ระเหยของอะซีโตนและของโกลูอินจากน้ำในถังระเหย ขนาด 35x30x15 ลบ.ซม. ที่วางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ VOC ที่ ใช้จะถูกนำมาระลายน้ำให้มีความเข้มข้นประมาณ 1000, และ 200 มก/ลิตร สำหรับอะซีโตน และ โกลูอิน ตามลำดับ จากนั้นสารละลายดังกล่าวปริมาตร 10.5 ลิตร จะถูกใส่ลง ในถังระเหยและปรับอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อ ให้อุณหภูมิของสารละลายในถังระเหยมีค่าตามต้องการ (อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วง 25 ถึง 35 °C) จากนั้นจึงเติมสารละลายของสารลดแรงตึงผิว (1-Hexadecanol ใน Isopropanol) ลงบนผิวน้ำให้มีปริมาณของสาร ลดแรงตึงผิวตามที่ต้องการ โดยปริมาณของ 1-Hexadecanol ที่ใช้ในการศึกษานี้จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 32 ไมโคร-กรัม/ตร.ซม. หลังจากเติมสารลดแรงตึงผิวลงบนผิวน้ำ แล้ว จึงปล่อยให้ระบบอยู่นิ่งโดยไม่มีการรบกวนเป็นเวลาประมาณ 5 นาที เพื่อให้สารลดแรงตึงผิวแพร่กระจายไปทั่วผิวน้ำ

จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลอง โดยการบันทึกอุณหภูมิของน้ำภายในถังระเหยและเก็บตัวอย่างสารละลาย เพื่อ หาค่าความเข้มข้นของ VOC เริ่มต้นสำหรับการทดลอง นั้นๆ และหลังจากนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ตามเวลาที่กำหนดจนถึงสุดการทดลอง โดยในการเก็บ ตัวอย่างสารละลายในถังระเหยในแต่ละครั้งนั้น จะใช้เข็ม ฉีดยาเก็บที่จุดกึ่งกลางของสารละลายที่ต่ำแห้ง กึ่งกลางของถังระเหย ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองและ จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการ ระเหยของสารที่ศึกษา ตัวอย่างของสารละลายที่เก็บที่เวลา ต่างๆ จะเก็บไว้ในตู้เย็น และทำการวิเคราะห์หากความเข้มข้น

ของ VOC ในน้ำโดยใช้แก๊สโคมไฟฟ้า (Hewlett Packard, Model 5790A) ซึ่งมีลักษณะสำหรับการวิเคราะห์คือ เครื่องตรวจหา (detector) ที่ใช้เป็นชนิด FID ทำงานที่อุณหภูมิ 300 °C อุณหภูมิของ Oven เท่ากับ 80 °C และอุณหภูมิของ Injection port เท่ากับ 250 °C คอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นแพ็คคอลัมน์ 6 พุต บรรจุด้วย 10% Carbowax 20 M และอัตราการไหลของแก๊สพลา เท่ากับ 20 มล./นาที ความเข้มข้นของ VOC ที่วัดได้ที่เวลาต่างๆ ของแต่ละการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของ 1-Hexadecanol ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม

สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเมื่อเทียบกับวัฏจักรของเหลว (K_{OL}) ของกระบวนการระเหยของ VOC จากน้ำสามารถหาได้โดยการวัดความเข้มข้นของ VOC ที่เหลือในน้ำที่เวลาต่างๆ ตามวิธีที่ได้มีรายงานไว้ทั่วไป (จรัญ และ คง, 2543) ผลของสารลดแรงตึงผิว ต่อค่า K_{OL} ที่ได้จากกระบวนการระเหยของโทลูอีนและของอะซีโนนจากน้ำที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 °C แสดงดัง Figure 1 และ Figure 2 ตามลำดับ จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่าผลการทดลองของทั้ง โทลูอีนและของอะซีโนนจะเป็นไปในรูปแบบเดียวกันคือ ที่อุณหภูมิใดๆ ค่า K_{OL} จะมีค่าลดลงตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวถึงระดับหนึ่งคือประมาณ 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. ก็จะพบว่าค่า K_{OL} จะลดลงถึงค่าต่ำสุดจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่โดยจะไม่ลดลงอีกต่อไป พบว่าการทดลองนี้ให้ผลลัพธ์คล้องกับผลการศึกษาของ Mcathur and Durham (อ้างถึงโดย Pradhan, 1982) ซึ่งได้ศึกษาผลของพิล์มของสารลดแรงตึงผิวต่ออัตราการระเหยของน้ำและพบว่า ประสิทธิภาพของพิล์มจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จนกระทั่งถึงปริมาณหนึ่งประสิทธิภาพของพิล์มจะมีค่าสูงสุดและจะคงที่ที่ค่านั้นโดยจะไม่ขึ้นกับปริมาณสารที่เติมอีกต่อไป

เพื่อขอรับรายผลของสารลดแรงตึงผิวต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล จึงได้ทดลองวัดค่าแรงตึงผิวของน้ำที่มีสาร

ลดแรงตึงผิวในปริมาณต่างๆ และหาค่าความดันผิวนอกจากสารลดแรงตึงผิวจากข้อมูลของแรงตึงผิวที่วัดได้จากการ

$$\pi = \gamma_0 - \gamma \quad (1)$$

เมื่อ π = ความดันพื้นผิว, dynes/cm

γ_0 = แรงตึงผิวของน้ำ, dynes/cm และ

γ = แรงตึงผิวของน้ำที่เติมสารลดแรงตึงผิว, dynes/cm

โดยค่าแรงตึงผิวและค่าความดันผิว ที่ได้แสดงใน

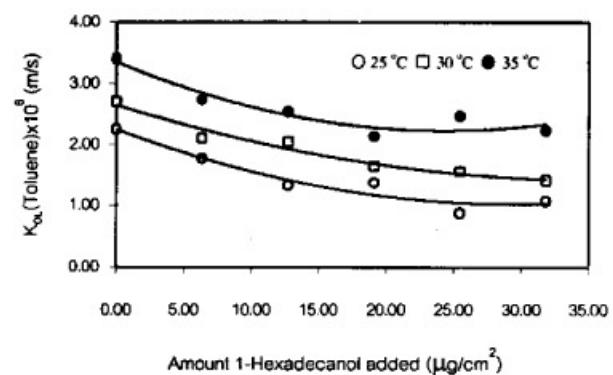


Figure 1. Influence of 1-Hexadecanol on K_{OL} of toluene at various water temperatures
(Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

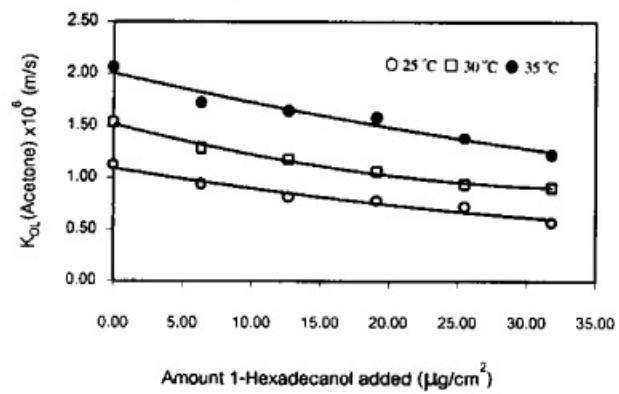


Figure 2. Influence of 1-Hexadecanol on K_{OL} of acetone at various water temperatures
(Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

Figure 3 และ Figure 4 ตามลำดับ จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ค่าแรงตึงผิวจะลดลงเมื่อบริมาณของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น (Figure 3) ซึ่งจะตรงข้ามกับความดันผิวที่เพิ่มตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น (Figure 4)

การลดลงของแรงตึงผิวแสดงให้เห็นว่ามีการสะสมของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวนั้นผิวน้ำของน้ำในรูปแบบของฟิล์มของโมเลกุลกระจายไปทั่วผิวน้ำของน้ำ โดยลักษณะพิล์มนี้ของสารลดแรงตึงผิวนี้จะมีลักษณะเป็นพิล์มของเหลวขยาย (Adamson, 1990) จากการวัดค่าแรงตึงผิวและความดันผิวดังกล่าว สามารถนำมาอธิบายผลของสารลดแรงตึงผิวต่อ K_{OL} ได้ดังนี้คือ การที่ K_{OL} ค่อนข้างต่ำ ลดลงตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น และในที่สุดจะมีแนวโน้มคงที่ที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวประมาณ

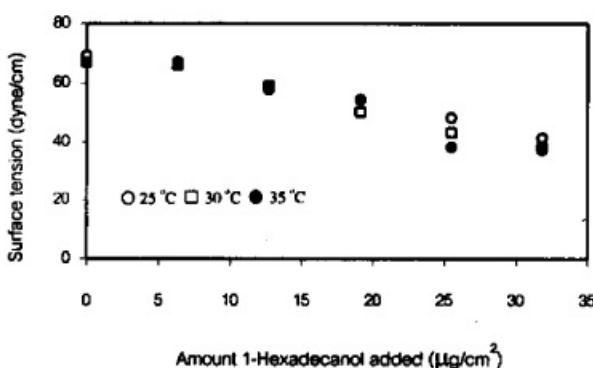


Figure 3. Surface tension of 1-Hexadecanol-water at various water temperatures

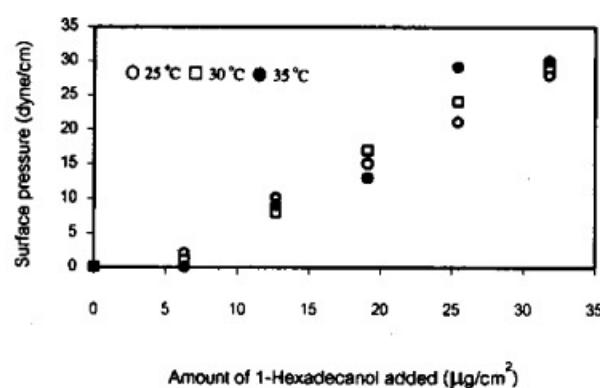


Figure 4. Surface pressure of 1-Hexadecanol film on water surface at various water temperatures

25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. นั้น เป็น เพราะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพิล์มจากพิล์มที่เกิดจากการแพ็คกันอย่างหลวมๆ ของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ความดันผิวต่ำๆ กลายเป็นพิล์มที่มีการแพ็คของโมเลกุลที่มีความเป็นระเบียบมากขึ้น เนื่องจากความดันผิวที่เพิ่มขึ้น โดยพิล์มนี้ประกอบด้วยโมเลกุลที่แพ็คกันอย่างเป็นระเบียบนี้จะด้านการถ่ายโอนมวลได้ดีกว่าพิล์มที่มีโมเลกุลแพ็คกันอย่างหลวมๆ ทำให้ค่า K_{OL} ลดลงกับปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่ เมื่อโมเลกุลเหล่านี้มีการแพ็คกันใกล้ที่สุด (closed pack) การเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวลงไปอีก ก็จะไม่ช่วยให้ K_{OL} ลดลงอีกต่อไป แต่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่มากเกินพอจะทำให้เกิดเป็นพิล์มหลalyชั้นในบางส่วนของพื้นผิวและใช้ทดแทนพิล์มเดิมที่อาจถูกทำลายเนื่องจากความดันผิวที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของพิล์มนี้ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจากการทดลองสามารถได้ว่าลักษณะของพิล์มนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่สามารถลดค่า K_{OL} ได้ดี คือพิล์มที่เกิดจากปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ช่วงประมาณ 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. โดยพิล์มนี้จะสามารถลดอัตราการระเหยของ VOC ได้สูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีพิล์ม ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมสำหรับการลดพลักษ์การระเหยของ VOC จากน้ำ

จากบทที่สองพิล์มพลักษ์การระเหยจะแบร์พันโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล K_{OL} ดังสมการ (2)

$$N = K_{OL} (C_L - \frac{HC_G}{RT}) \quad (2)$$

เมื่อ N = พลักษ์การระเหย, mol/s m^2 ,
 K_{OL} = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเทียบกับ
 วัฏภาคของเหลว, m/s ,
 C_L = ความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคของเหลว,
 mol/m^3
 C_G = ความเข้มข้นของ VOC ในวัฏภาคแก๊ส,
 mol/m^3
 H = ค่าคงที่ของเยนรี่, $\text{atm m}^3 \text{ mol}^{-1}$,
 R = ค่าคงที่สากลของแก๊ส, atm mol K^{-1} , และ
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์, K

ดังนั้นที่สภาวะใดๆ ค่าร้อยละการลดลงของฟลักซ์การระเหยของ VOC จากน้ำ (% N reduction) จะเท่ากับร้อยละการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (% K_{OL} reduction) ดังสมการ (3)

$$\% \text{ } N \text{ reduction} \approx \% \text{ } K_{OL} \text{ reduction} = \frac{K_{OL} \text{ (without film)} - K_{OL} \text{ (with film)}}{K_{OL} \text{ (without film)}} \times 100 \quad (3)$$

จากค่า K_{OL} ของโกลูอีนและของอะซีโตนที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาคำนวณหาร้อยละการลดลงของ K_{OL} ที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว และอุณหภูมิต่างๆ ได้ดังแสดงใน Figure 5 และ Figure 6 สำหรับโกลูอีนและอะซีโตน ตามลำดับ จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่า ที่อุณหภูมิใดๆ ร้อยละการลดลงของ K_{OL} จะมีแนวโน้มคงที่และเป็นค่าสูงสุดเมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เดิม มีค่าอยู่ในช่วง 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณดังกล่าวสามารถลด K_{OL} ของโกลูอีน ได้ประมาณ 57, 45 และ 31 % สำหรับอุณหภูมิ 25, 30 และ 35 °C ตามลำดับ ในขณะที่ค่าร้อยละการลดลงของ K_{OL} ของอะซีโตนในช่วงปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเดียวกันนี้ มีค่าประมาณ 43, 40 และ 37 สำหรับอุณหภูมิ 25, 30 และ 35 °C ตามลำดับ และการเติมสารลดแรงตึงผิวมากกว่า

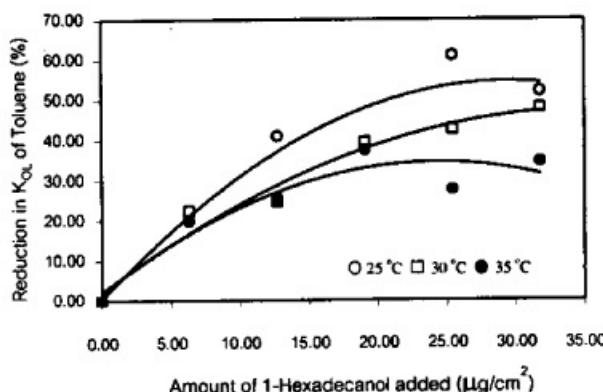


Figure 5. Reduction in K_{OL} of toluene due to the present of a surfactant film (Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

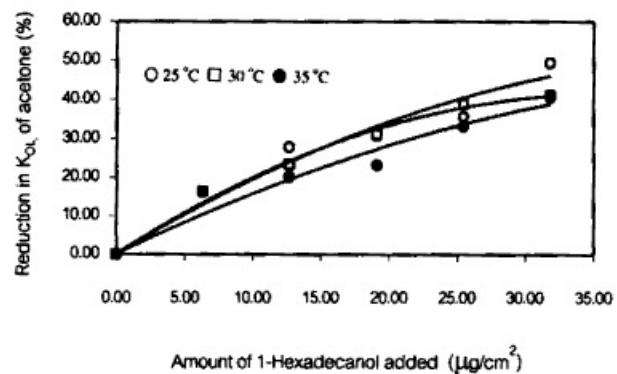


Figure 6. Reduction in K_{OL} of acetone due to the present of a surfactant film (Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. ไม่ทำให้ร้อยละการลดลงของ K_{OL} เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด แต่มีแนวโน้มคงที่ ดังนั้นปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมที่สามารถลดฟลักซ์การระเหยได้ดีที่สุดคือ 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม.

อย่างไรก็ตามจากการทดลองจะเห็นได้ว่าร้อยละการลดลงของอัตราการระเหยของ VOC ใดๆ จากน้ำ นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เดิมลงไปในน้ำแล้วยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำด้วย โดยที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมคือ 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. นั้น พบว่าร้อยละการลดลงของ K_{OL} ที่อุณหภูมิสูง (เช่น ที่ 35 °C) จะต่ำกว่าร้อยละการลดลงของ K_{OL} ที่อุณหภูมิต่ำ (เช่น ที่ 25 °C) อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจมาจากสาเหตุหลักๆ สองประการคือ ประการแรกความดันผิวที่เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิอาจทำให้พิล์มน้ำของสารลดแรงตึงผิวที่อุณหภูมิสูงๆ เกิดการยุบตัว และประการที่สอง คือ เป็นผลมาจากการที่ความด้านทานต่อการระเหยส่วนที่เกิดจากพิล์มน้ำกับฟลักซ์หรือพิล์มน้ำของเหลวมีค่าลดลงกับอุณหภูมิ ดังนั้นความด้านรวมซึ่งเป็นผลรวมของความด้านทานเนื่องจากพิล์มน้ำของสารลดแรงตึงผิวกับพิล์มน้ำของเหลวมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการลดลงของ K_{OL} ที่อุณหภูมิสูงมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยความด้านทานเนื่องจากพิล์มน้ำของสารลดแรงตึงผิวสำหรับการระเหยของโกลูอีนและอะซีโตน จากน้ำจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ความด้านทานต่อการระเหยผ่านชั้นฟิล์มของสารลดแรง ตึงผิว

การเติมสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำลงบนผิวน้ำจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำและของ VOC ที่ระเหยได้ที่อยู่ในน้ำมีค่าลดลง หันนี้เพริ่งฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวที่ปกคลุมบนผิวน้ำของน้ำ จะทำให้ความด้านทานต่อการระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น โดยความด้านทานต่อการระเหยอันเนื่องมาจากฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวมีความสัมพันธ์อยู่กับความด้านทานรวมของการระเหยดังสมการ (4) (Adamson, 1990)

$$R_{Total} = R_0 + R_{film} \quad (4)$$

เมื่อ R_{Total} = ความด้านทานต่อการระเหยรวม
 R_0 = ความด้านทานต่อการระเหยในขณะที่ไม่มีชั้นฟิล์ม
 R_{film} = ความด้านทานต่อการระเหยที่เกิดจากชั้นฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว

ดังนั้น

$$R_{film} = R_{Total} - R_0 \quad (5)$$

และเนื่องจากความด้านทานการถ่ายโอนมวล คือ ส่วนกลับของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล ดังนั้นค่าความด้านทานของฟิล์มนี้ของสารลดแรงตึงผิวสามารถหาค่าได้ จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลที่วัดได้ในขณะที่มีและไม่มีฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวดังสมการ (6)

$$R_{film} = \left(\frac{1}{K_{OL}} \right) \text{with film} - \left(\frac{1}{K_{OL}} \right) \text{without film} \quad (6)$$

จากค่า K_{OL} ที่ได้จากการทดลอง สามารถคำนวณหาค่าความด้านทานของฟิล์ม ของสารลดแรงตึงผิวที่ด้านการระเหยของโกลูอีน และของอะซีตอิกน้ำได้ ดังแสดงใน Figure 7 และ Figure 8 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความด้านของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวต่อการระเหยทั้งของโกลูอีนและของอะซีตอิกน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น และที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวหนึ่งๆ ค่าความด้านทานของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยค่าความด้านทานของฟิล์มของสารลดแรงตึงผิว ที่ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวอยู่ในช่วง 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. จะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 25 °C โดยมีค่าประมาณ 5.87×10^5 และ 6.87×10^5 วินาที/ เมตร สำหรับ

การระเหยของโกลูอีน และการระเหยของอะซีตอิกน์ ตามลำดับ

ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการระเหยของน้ำ

ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการระเหยของน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากฟิล์มของสารลดแรงตึง เช่นเดียวกับในการนี้ของ การระเหยของ VOC ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ที่ต่างกัน คือ การระเหยของน้ำบริสุทธิ์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นในวัฏจักรของเหลว ดังนั้นกระบวนการการระเหยของน้ำ

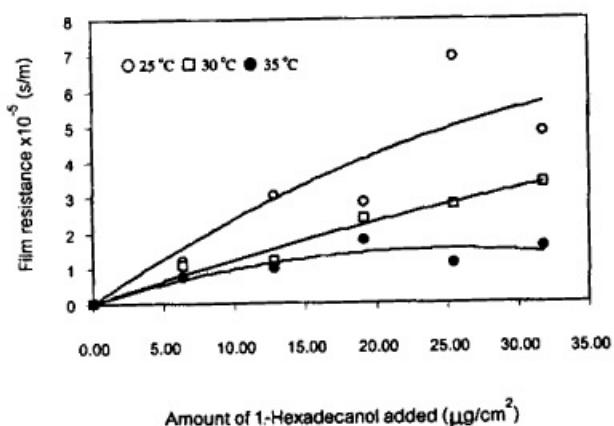


Figure 7. Film resistant to toluene evaporation at various surfactant concentrations (Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

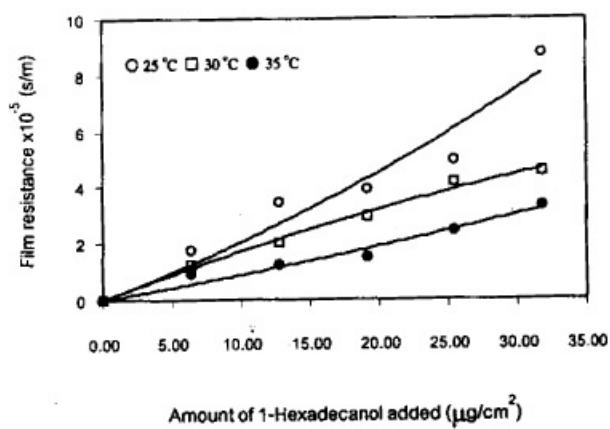


Figure 8. Film resistant to acetone evaporation at various surfactant concentrations (Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

จะขึ้นอยู่กับความด้านท่านของพิล์มแก๊สเท่านั้น จึงสามารถศึกษาผลของสารลดแรงต้านต่อการระเหยของน้ำได้โดยการวัดสัมประสิทธิ์พิล์มแก๊ส (k_G) จากกระบวนการการระเหยของน้ำที่มีและไม่มีพิล์มของสารลดแรงต้านพิวน้ำ ซึ่งสัมประสิทธิ์พิล์มแก๊สสำหรับกระบวนการการระเหยของน้ำหาค่าได้จากฟังก์การระเหยของน้ำ และความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำที่ผิวน้ำกับในอากาศเหนือผิวน้ำ ตามสมการ (7)

$$k_G = \frac{N}{C^* - C_G} \quad (7)$$

เมื่อ k_G = สัมประสิทธิ์พิล์มแก๊ส, m/s,

N = พังค์การระเหยของน้ำ, mol/s m²,

C^* = ความเข้มข้นของน้ำที่ผิวน้ำท่วงหน้าของน้ำ และอากาศ, mol/m³ และ

C_G = ความเข้มข้นของน้ำในอากาศเหนือผิวน้ำ, mol/m³

ค่า k_G ที่ได้จากการกระบวนการการระเหยของน้ำที่ 25, 30 และ 35 °C และปริมาณของสารลดแรงต้านตัวอย่าง 0-32 ไมโครกรัม/ตร.ซม. แสดงดัง Figure 9 และร้อยละการลดลงของ k_G ที่ปริมาณของสารลดแรงต้านต่างๆ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีสารลดแรงต้าน แสดงดัง Figure 10 จากรูปเหล่านี้จะพบว่าการลดลงของ k_G กับปริมาณของสารลด

แรงต้านที่เพิ่มขึ้น เป็นไปในท่านของเดียวกันกับกรณีของโกลุ่นและของอะซีโตน แต่ร้อยละการลดลงของ k_G ของน้ำจะสูงกว่า โดยร้อยละการลดลงของ k_G ที่ปริมาณของสารลดแรงต้านตัวอย่าง 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. มีค่าเท่ากับ 72, 69 และ 62 สำหรับอุณหภูมิ 25, 30 และ 35 °C ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความด้านท่านของพิล์มของสารลดแรงต้านต่อการระเหยของน้ำ ในช่วงปริมาณของสารลดแรงต้านต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเป็น 2.02×10^2 วินาที/เมตร ซึ่งต่ำกว่าในกรณีของอะซีโตน และของโกลุ่น ส่วนค่าความด้านท่านของพิล์มของสารลดแรงต้านต่อการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิอื่นๆ และที่ปริมาณของสารลดแรงต้านต่างๆ ได้แสดงไว้ใน Figure 11

บทสรุป

จากการศึกษาผลของสารลดแรงต้านตัวอย่างโอลูมอลในกระบวนการการระเหยของ VOC จากน้ำ และตัวอย่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอลูมอลของน้ำ พบว่าพิล์มของสารลดแรงต้านตัวอย่าง 25-30 ไมโครกรัม/ตร.ซม. สามารถลดการระเหยของ VOC จากแหล่งน้ำ และลดการระเหยของน้ำได้ดี จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถนำสารลดแรงต้านตัวอย่างมาประยุกต์ใช้เพื่อลดผลกระทบทางอากาศที่เกิดจากการระเหย

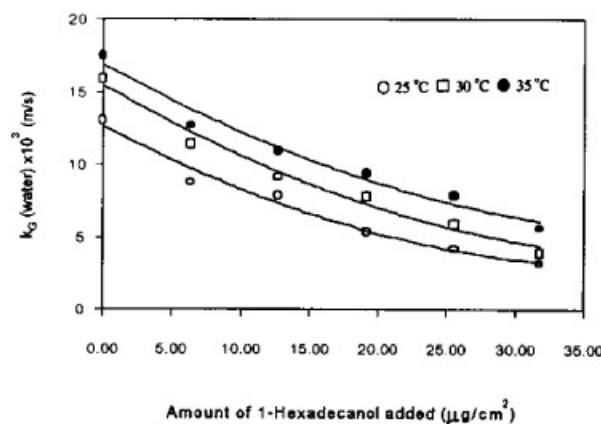


Figure 9. Influence of 1-Hexadecanol on k_G of water at various water temperatures (Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

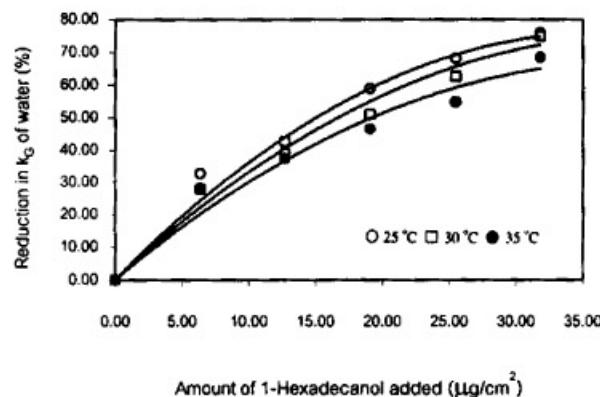


Figure 10. Reduction in k_G of water due to the present of a surfactant film (Amount of 1-Hexadecanol \approx 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature \approx 25-35 °C)

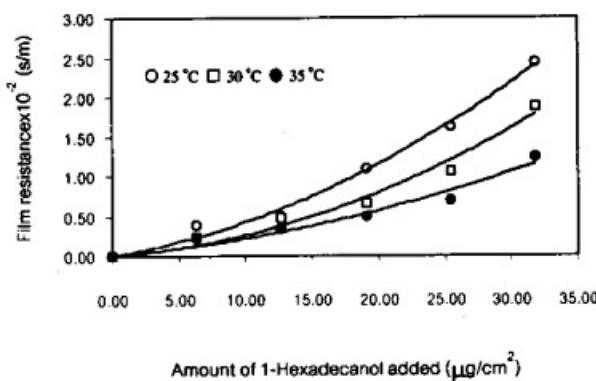


Figure 11. Film resistant to water evaporation at various surfactant concentrations (Amount of 1-Hexadecanol = 0 - 32 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, water temperature (25-35 °C))

ของ VOC จากแหล่งน้ำและสามารถใช้ลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำได้ อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจจะมีผลต่อพิล์มของสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ผลของความเร็วลมและผลของพิล์มต่อการถ่ายโอนของออกซิเจน รวมทั้งต้องทำการศึกษาระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอยู่ในระหว่างการศึกษาของกลุ่มวิจัยนี้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2544 และขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนเงินวิจัยส่วนหนึ่งแก่นักศึกษา และให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือวิเคราะห์ สามารถไปทดลอง ทำให้การวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- จรัญ บุญกาญจน์ ปริยาภรณ์ ทองสร้อย และ ชาคริต ทองอุไร.
2544. สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสำหรับการทำนายอัตราการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยข่ายจากแหล่งน้ำเปิด : ผลของความเร็วลม ว. สงขลานครินทร์ วทท. 23(2) : 265-274
- จรัญ บุญกาญจน์ วิชัย พุทธ่อง และ สถาพร เยาวพงษ์อารีย์.
2543. ผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลของกระบวนการระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยข่ายจากน้ำ. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 22(2) : 241-247

- Adamson, W. A. 1990. Physical chemistry of surface. John Wiley & Sons, Inc. New York. N.Y. : 53-201.
- Bean, B.R. and Florey, Q.L. 1968. A field study of the effectiveness of fatty alcohol mixture as evaporation reducing monomolecular films. Water Resour. Res. 4 : 206-208.
- Brockmann, H. U., Huhnerfuss, H., Kattner, G., Broecker, C. H. and Hentschel, G. 1982. Limnol. Oceanogr. 27(6) : 1050-1058.
- Broecker, H.C., Petermann, J. and Siems, W. 1978. The influence of wind on CO₂-exchange in a wind-wave tunnel including the effects of monolayers. J. Marine Res. 36 : 595-610.
- Bunyakan, C. 1998. Mass transfer coefficient for surface impoundment and the reduction of volatile organic compound emissions. Ph.D. Dissertation Vanderbilt University, Nashville TN.
- La Mer, V.K. and Healy, W.T. 1965. Evaporation of water : Its retardation by monolayers. Science. 148 : 36-42.
- Lee, H.Y., Tsao, T.G. and Wankat, C. P. 1980. Hydrodynamic effect of surfactant on gas-liquid oxygen transfer. AIChE Journal 26(6) : 1008-1012.
- Mackay, D. and Yeun, A.T.K. 1983. Mass transfer coefficient correlations for volatilization of organic solutes from water. Environ. Sci. Technol. 17 : 211-217.
- O'Brien, R.N., Feher, A.I., Li, K.L. and Tan, W.C., 1976. The effect of monolayers on the rate of evaporation of H₂O and the solution of O₂ in H₂O. Can. J. Chem. 54 : 2739-2744.
- Pradhan, P.P. 1982. Comparative study of evaporation control of class A pans using monomolecular organic surface films. Master Thesis Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Sadek, E.S., Smith, D.J., Watkin, T.A. and Gebel, R. 1996. Mass transfer of volatile organics from large open basins. Environmental Progress. 15(2) : 82-92
- Witt, A.R., 1993. Steady-state and dynamic modeling and simulation of an industrial wastewater treatment plant. Ph.D. Dissertation. Vanderbilt University. Nasville. TN.