

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

多環芳香族碳氫化合物控制技術之研究-界面活性劑增溶效應之應用

Control Technology for Polycyclic Aromatic Compounds- Enhancement of Solubilization by Surface Active Compounds

計畫編號：NSC 88-2211-E-002-029

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：李慧梅 國立台灣大學環境工程學研究所

一、中文摘要

本研究主要目的在探討添加界面活性劑對氣相多環芳香烴化合物吸溶作用的影響。研究結果顯示，界面活性劑溶液之 CMC 值隨溫度之上升而上升，在 25 時之 CMC 值最低。而添加 NaOH 因為電解質之效應，導致 CMC 值隨 pH 之增加而降低。不管是靜止或是攪拌吸收，添加的陰離子性界面活性劑(SDS)濃度在臨界微胞濃度(CMC)之前，氣相 PAHs 之吸收速率與純水相接近。但在濃度大於 CMC 後，吸收速率明顯的隨界面活性劑濃度增加而上昇，且氣體在溶液中的溶解度隨活性劑濃度之增加成線性比例增加。在 CMC 之前後，吸收速率受到 pH 值的影響很小，但隨攪拌轉速之增加而明顯增加。不管是靜止或是在攪拌轉速 270rpm 時，總質傳係數皆隨界面活性劑濃度之上升而下降，這是由於存在界面阻力、液相黏度增加以及形成微胞後之擴散係數降低之故。但氣體吸收速率反而隨界面活性劑濃度之增加而增加，這是由於形成微胞造成之 PAHs 溶解效應大於質傳效應所致。在界面活性劑濃度小於 CMC(10^{-4} M)或是大於 CMC(0.05M)時，總質傳係數皆隨著 pH 以及氣體溶解度之增加而下降，但隨著攪拌轉速增加。

Naphthalene 在界面活性劑溶液中之增溶效應可用一增溶因子(Enhancement

Factor, En)來表示。其定義為添加界面活性劑與不加界面活性劑之純水溶液之 naphthalene 吸收量的比值。結果顯示，無論是在靜止、增加攪拌速度或是添加電解質，在 CMC 前後，添加界面活性劑皆會增加氣相 PAHs 在水中的溶解度。尤其在超過 CMC 之高界活性劑濃度(0.1M)，再加上攪拌(270rpm)時，相較於靜止純水狀態之溶解度，增溶因子為 18.60，亦即在界面活性劑溶液中，能增加氣相 naphthalene 的溶解度達 18.60 倍。綜合此研究得知，於水溶液中添加陰離子性界面活性劑能夠大大提昇氣相疏水性有機化合物的溶解量，因而增進期去除率。

關鍵詞：多環芳香烴化合物，疏水性有機化合物，界面活性劑，臨界微胞濃度，溶化效應，總質傳係數，增溶因子

Abstract

Surfactants have been known to be able to enhance the solubility of non-polar compounds and been applied to soil washing, NAPLs treatments, and so on. This is the first time for surfactants to be applied to air pollution control by using surfactant in this study. The CMC values at different

temperatures and the solubilization of vapor phase naphthalene were measured. The results indicate that the surfactant molecules disfavor to form micelles at higher temperature in the range of 25 ~ 50 . Raising pH will lead to a lower CMC by adding NaOH, especially at pH=11. No matter quiescent or agitated solution, the PAHs absorption rate increase obviously only above CMC. The absorption equilibrium concentrations increase linearly in proportion to surfactant concentrations above CMC. The pH effects on absorption rate and equilibrium concentration is small. Agitation can increase the gas absorption rate and lumped mass transfer coefficient. All the lumped mass transfer coefficient decrease with surfactant concentration due to the increase of interfacial resistance, viscosity and the decrease of spherical micelle diffusion coefficient. Because the solubilization effect of micelles is greater than mass transfer coefficient reduction effect above CMC, the total net absorption rate increases. Both high pH and high speed of agitation can facilitate the mass transfer of naphthalene from gas phase into liquid. The solubility of vapor phase naphthalene can be expressed by an enhancement factor (En). The naphthalene enhancement factor of surfactant solution at 0.1 M and stir at 270 rpm relative to pure water quiescence absorption can reach 18.60. This study confirms that the ionic surfactant can increase removal efficiency of hydrophobic organic compounds from gas phase.

Key words: polycyclic aromatic compounds,

surfactant, solubilization, critical micelle concentration, enhancement factor

二、緣由與目的

近年來由於垃圾量大增，再加上事業廢棄物產生量遠大於一般廢棄物，且過去對於垃圾的處理大多採用衛生掩埋的方法，因此全省各地的掩埋場現階段都面臨到使用年限已達飽和的問題。利用焚化處理一般廢棄物及可燃性事業廢棄物，除了不須廣大的用地外，更可將廢棄物分解成無害的 H₂O、CO₂ 及殘餘灰燼，減量效果佳又可回收熱能，亦即達到去毒性、無害化及延長掩埋場使用年限等優點。但民眾擔心焚化時會造成二次公害，尤其是毒性空氣污染物的產生，因此如何研發出可行的毒性污染物防治方法，以消除民眾心中的疑慮，是為當前重要之課題。焚化爐煙道排放之毒性空氣污染物多環芳香烴化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; 簡稱 PAHs)中，部份 PAHs 已經被證實為直接或間接的致癌物或致突變物，若長期暴露於 PAHs 的環境中，還有可能引起皮膚、呼吸道及神經系統受損等疾病(1)。國內目前尚未訂定 PAHs 之管制標準，未來我國將毒性 PAHs 納入管制已是必然的趨勢。因此現在應該提早研究發展一套可行的防治技術以因應未來的管制標準。

界面活性劑係指一個分子中，同時具有親水基和疏水基的有機物(2)。當溶液中之界面活性劑濃度增加時，導致界面活性劑分子於水溶液表面的吸附達飽和狀態，此時溶液的表面張力、密度、滲透壓、當量導電度以及溶液的清潔力等物理化學性質突然產生巨大的變化，這時水溶液內之界面活性劑分子開始聚集而產生微胞(micelle)，形成微胞的最低濃度稱為臨界微胞濃度(Critical Micelle Concentration, CMC)。界面活性劑的親油基是由疏水性的烷基所構成，因此不溶於水的疏水性有機化合物可以溶於界面活性劑水溶液的微胞內部，此種現象稱為溶化作用(Solubilization)，此亦為污染物去除之主要

原理(3, 4)。

PAHs 是屬於半揮發性溶解性極低的疏水性環狀有機物，其在高溫煙道環境中主要是以氣相分佈為主(5)。到目前為止仍有很多既有的焚化排放控制設備之一是採用溼式洗滌(wet scrubber)的方式。因此本研究將在目前廣泛使用的濕式洗滌塔控制方法中，研究添加界面活性劑對氣相多環芳香烴化合物吸溶作用影響，以做為評估其控制技術可行性之依據。因此本研究之目的為：

1. 探討界面活性劑對於氣相 PAHs 吸收之能力。
2. 求出因界面活性劑存在下之吸收增進因子(Enhancement Factor, En)。
3. 求出不同界面活性劑濃度下之質量傳送係數。

三、研究方法

1. 吸收模式

含界面活性劑之氣體吸收如圖 1 所示。若只考慮 PAHs 氣體在液相中之質傳，根據薄膜理論(6, 7)，在任何時候通過薄膜之 PAHs 通量是固定的，因此由 Fick's 第二定律以及邊界條件，可以積分得到在界面活性劑薄膜層以及在液相固定薄膜層之總 PAHs 通量 N_T ：

$$N_T = k_s (C_T^i - C_T^s) \quad (1)$$

$$N_T = k_L (C_T^s - C_T) \quad (2)$$

其中：

$k_s (=D_s / u_s)$ ：界面活性劑層之質傳係數 (m/sec)

$k_L (=D_L / u)$ ：液相之質傳係數 (m/sec)

D_s, D_L ：在界面活性劑層以及液相之 PAHs 擴散係數 (m²/sec)

u_s, u ：界面活性劑薄膜以及液相薄膜之厚度 (m)

C_T^i ：在界面活性劑層與氣體交界面之 PAHs 濃度 (mol/L)

C_T^s ：在界面活性劑層與液體薄膜交界面之 PAHs 濃度 (mol/L)

C_T ：在總吸收液內之 PAHs 濃度 (mol/L)

將方程式(1)與(2)相加，得到：

$$N_T = \frac{1}{\frac{1}{k_s} + \frac{1}{k_L}} (C_T^i - C_T) \quad (3)$$

$$= k_L' (C_T^i - C_T)$$

其中 k_L' 定義為液相之總質傳係數(m/sec)

由質量平衡可知：

$$V_T \frac{dC_T}{dt} = N_T A \quad (4)$$

其中：

A ：氣液接觸面積 (m²)

將方程式(3)帶入方程式(4)，得：

$$\frac{dC_T}{dt} = k_L' \left(\frac{A}{V_T} \right) (C_T^i - C_T) \quad (5)$$

由初始條件(Initial Condition)：

$$C_T = 0 \quad \text{at} \quad t = 0 \quad (6)$$

對方程式(6)積分，得到：

$$C_T = C_T^i \left[1 - k_L' \left(\frac{A}{V_T} \right) t \right] \quad (7)$$

由方程式(7)做非線性回歸可以得到液相之總質傳係數 k_L' (m/sec)。

2. 實驗方法

由於 PAHs 是屬於疏水性且極不容易溶於水，因此在短時間之 PAHs 的吸收量極微少，如此會造成化學分析上的困難；若要模擬噴霧式濕式洗滌塔來觀察氣體吸收動力之研究，勢必要設計不同高度之洗滌塔來調整氣液接觸時間，無論是在吸收時間、洗滌塔的高度以及分析上的限制，因此本研究採取池式反應槽進行批次(batch)實驗。Naphthalene 實驗系統如圖 2 所示。Naphthalene 標準氣體產生器以及吸收裝置皆置於恆溫水槽中，溫度保持在 50。

(1)界面活性劑：採用之物種為 Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)。

- (2)PAHs：採用二環 Naphthalene 作為實驗物種。
- (3)氣體產生器：利用毛細擴散管 (VICI Metronics Co.)產生標準 PAHs 氣體濃度，實驗氣體濃度為 $49.14 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。
- (4)CMC 之偵測方法：採用電導度的變化來測定。
- (4)分析：以固相微量萃取技術(Solid-Phase Microextraction, 簡稱 SPME) 萃取 PAH，之後配合 GC-PID 進行定量分析。
- (5)由於一般濕式洗滌設備如填充塔、噴霧式洗滌塔等，吸收液皆處在流動狀態或是旋轉狀態，因此液體在吸收氣體過程都會產生擾動與混和。基於此種考量，本研究除了探討在靜止狀態下的吸收外，並將藉由攪拌來探討不同程度的界面擾動對 PAHs 吸收的影響。攪拌轉速之設計為靜止、270rpm、500rpm 以及 700rpm，此範圍包含了從靜止、輕微擾動到劇烈的擾動。

四、結果與討論

臨界微胞濃度(CMC)之量測

SDS 在 pH=7 之不同溫度下之臨界微胞濃度如圖 3 所示，在 25、35 及 50 之 CMC 值分別為 $8.43 \times 10^{-3}\text{M}$ 、 $9.05 \times 10^{-3}\text{M}$ 和 $9.98 \times 10^{-3}\text{M}$ 。在 25 得到之 CMC 值與其他文獻 (8, 9) 相比較非常的接近，由此可以確認本實驗使用電導度計方法量測離子性界面活性劑之 CMC 是可行的。由結果可知隨著界面活性劑溶液溫度之增加，CMC 值也隨之增加。SDS 在 50 之不同 pH 值之臨界微胞濃度如圖 4 所示，在 pH=7、pH=9 及 pH=11 之 CMC 值分別為 $9.98 \times 10^{-3}\text{M}$ 、 $9.85 \times 10^{-3}\text{M}$ 和 $9.23 \times 10^{-3}\text{M}$ 。CMC 隨著 pH 值之增加而降低。由於本實驗是添加鹼性 NaOH 來調整 pH 值，而

NaOH 溶在水裏亦是一種電解質(NaOH 1:1) 其會減少界面活性劑親水端周圍的離子厚度，且中和親水基之電荷而降低微胞間的靜電排斥力，導致界面活性劑單體易凝聚形成微胞，使得 CMC 值下降。

靜止及攪拌狀態之氣體吸收速率

在液面靜止狀態下，不同界面活性劑濃度之氣體吸收速率如圖 5 所示。實驗結果顯示在臨界微胞濃度之前(小於 $9.98 \times 10^{-3}\text{M}$)，各濃度之吸收速率相當接近，添加界面活性劑之氣體吸收速率與未添加界面活性劑之純水差異很小，界面活性劑濃度的影響相當的低。但濃度超過 CMC 後，可以明顯看到 naphthalene 的吸收速率快速地增加。這結果顯示界面活性劑分子形成微胞後，更能促進疏水性之 naphthalene 氣體分子的溶化，因而導致吸收速率明顯的增加，同樣情形亦發生在吸收液體攪拌速度在 270rpm。比較靜止與攪拌狀態下之吸收速率，可以發現攪拌之吸收速率大於靜止狀態下之氣體吸收速率。這是因為攪拌可以增加液面之擾動，造成氣液接觸面積加大，使得液體表面之更新速度加快，因而增加氣體之吸收速率。

靜止及攪拌狀態之 naphthalene 溶解度

根據氣體吸收動力方程式 7，將總溶液相之 naphthalene 濃度對時間作圖回歸，可以求得在各個不同界面活性劑濃度下之 naphthalene 吸收平衡之溶解度，如圖 6 所示，可以發現不管是在靜止或是攪拌情形，在 CMC 之前，添加界面活性劑可以增加微許的吸收量，且隨界面活性劑濃度之增加而少許增加；但當濃度超過 CMC，吸收量隨界面活性劑濃度之增加而成線性增加。這是因為在 CMC 後，界面活性劑分子形成具有高溶化能力的微胞。根據圖 6 之斜率可以求得界面活性劑濃度在形成微胞之後對氣體的增溶量。在靜止狀態下，由氣體吸收而求出之莫爾溶化比 (molar solubilization ratio, MSR) 為 1.16×10^{-4} ，而在攪拌時，氣體吸收之 MSR 為

1.73×10^{-4} 。有攪拌比沒有攪拌能夠溶化更多的 naphthalene，原因為造成界面擾動除了使氣液接觸表面積增加與加快表面更新速度外，其也會增加 naphthalene 在水溶液中與界面活性劑之接觸作用，因而導致溶解度增加。

pH 及攪拌速度對 naphthalene 溶解度之影響

界面活性劑濃度在 $10^{-4}M$ 以及 $0.05M$ 時，pH 在 7~11 之氣體吸收速率如圖 7 所示。實驗結果顯示不管是在 CMC 之前與之後，pH 值對於氣體吸收速率的影響很小，氣體吸收速率隨著 pH 值的增加而略微增加。而對於攪拌吸收來說(圖 8)，不管是小於 CMC 或大於 CMC，攪拌時之氣體吸收速率皆大於靜止時的吸收速率，且隨攪拌速度的增加，吸收速率增加的愈快。因為攪拌轉速愈大液面的擾動加劇，因此在轉速大的情形下會增加氣相 naphthalene 的吸收速率。同樣地，在界面活性劑濃度超過 CMC 時，因為微胞的吸溶作用，使得吸收速率比純水或是界面活性劑濃度稀薄之溶液來得大。

Naphthalene 之液相總質傳係數

如圖 9 所示，靜止時，界面活性劑濃度從 $10^{-5}M$ 增加至 $0.1M$ 時，總質傳係數從 $4.16 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ 下降至 $9.60 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ ，最後或會趨近一最低穩定值。同樣地，在攪拌狀態，總質傳係數從 $1.72 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ 下降至 $4.74 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ 。不管是靜止或是在攪拌轉數 270rpm 時，總質傳係數皆隨界面活性劑濃度之上升而下降。雖然在高濃度界面活性劑溶液下，質傳係數變的很低，但是其對氣相 PAHs 的吸收速率卻反而增加這是因為微胞的溶化效應遠大於質傳係數減低的影響，因此吸收速率仍然增加。實驗結果亦顯示不論是在界面活性劑濃度小於 CMC($10^{-4}M$) 或是大於 CMC($0.05M$)時，總質傳係數皆隨著 pH 之增加而下降，也會隨著氣體之總溶解度之增加而降低(圖 10)。在大於 CMC 的情況

下，總質傳係數皆比小於 CMC 微胞存在時來得小。攪拌的影響與 pH 的影響剛好相反，界面活性劑濃度在 CMC 前後，隨著攪拌轉速的增加，Nap 氣體的溶解度也會增加，總質傳係數 $k_L a'$ 也會隨之增加(圖 11)。這是由於攪拌可以增加氣液界面擾動，增加氣液接觸面積與溶液的混和攪拌，因此加快 naphthalene 或溶化 naphthalene 的微胞的擴散速度，所以會增加氣體從氣相進入液相之質量傳送。

界面活性劑對 PAHs 之增溶效應

Naphthalene 在界面活性劑溶液中之增溶效應可以以一增溶因子(Enhancement Factor, En)來表示。增溶因子之定義為添加界面活性劑與不加界面活性劑之純水溶液之 naphthalene 吸收量的比值。圖 12 為在各種不同界面活性劑濃度下之增溶因子，從圖中可以發現在靜止吸收時，界面活性劑濃度小於 CMC 時之增溶因子界於 1.11~1.25 之間，添加界面活性劑能增加 PAHs 溶解度的量很有限；但界面活性劑濃度超過 CMC 後，增溶因子開始大幅度的增加，在本實驗之最高界面活性劑濃度 $0.1M$ 時，增溶因子可以達到 11.93。同樣情形在添加界面活性劑且攪拌速度為 270rpm 時，相對於純水溶液於 270rpm 攪拌轉速時，增溶因子從 1.27 增加至 11.57。若將存在界面活性劑且攪拌速度 270rpm 之溶解度與靜止純水狀態之溶解度相比較，可以發現增溶因子從 1.61 增加至 18.60，這顯示添加界面活性劑及攪拌能增加氣相 naphthalene 在水溶液的溶解度達 18.60 倍。

圖 13 為 pH 在 7~11 時之增溶因子，在 CMC 之前，pH 從 7 上升至 11，增溶因子從 1.10 增加至 1.39，這顯示在 CMC 之前，pH 對於單體的增溶影響很小；但在大於 CMC 時，當 pH 值從 7 上升至 11 時，增溶因子從 6.39 增加至 8.95，很明顯地高 pH 值對於高濃度界面活性劑範圍有較大的增溶效應。圖 14 為不同攪拌速度之增溶因子，在小於 CMC($10^{-4}M$)時，攪拌速度從 0~700rpm，相對於純水靜止吸收，增溶

因子為 1.10~2.59；但在大於 CMC(0.05M)時,相較於靜止純水之吸收,轉速 0~700rpm 之增溶因子為 6.39~9.68。從之前的結果討論得知,添加的界面活性劑濃度在 CMC 之前,吸收液對 naphthalene 氣體的吸收量略大於純水的吸收量,彼此相當的接近。因此從上述小於 CMC(10^{-4} M)且攪拌速度在 0~700rpm 之增溶因子結果得知,如果不添加界面活性劑僅增加攪拌速度來加強界面的擾動混和,即使在高攪拌轉速 700rpm 下,增溶因子必定低於 2.59,也就是不添加界面活性劑僅用純水吸收配合攪拌所能增加疏水性有機物的吸收量實在有限,但添加界面活性劑濃度在 CMC 以上,則顯著的提昇吸收效果。上述結果明顯的知道,攪拌造成液面擾動會提高增溶因子,且界面活性劑濃度在大於 CMC 之增溶量又遠比小於 CMC 時大。

綜合上述結果,我們可以確信添加陰離子性界面活性劑能夠增加疏水性有機化合物的吸收量,如果能夠配合攪拌與提昇 pH 值,則更能夠大大提昇界面活性劑的效果。

五、結論

增加溫度將不利微胞之形成,使得界面活性劑溶液之 CMC 值上昇,在 25 時之 CMC 值最低。而因為電解質之效應,導致增加 pH 會降低 CMC 值。不管是在液面靜止或是攪拌吸收(270rpm),在 CMC 之前,PAHs 氣體的吸收速率變化很小。在 CMC 以上時,因為微胞形成,因此吸收速率快速增加。且氣體的溶解度在大於 CMC 時與界面活性劑濃度成線性比例增加。在 CMC 之前與之後,pH 值對於氣體吸收速率的影響很小,氣體吸收速率隨著 pH 值的增加而略微增加。而攪拌所造成的液面擾流,使得攪拌之氣體吸收速率皆大於靜止之吸收速率,且隨攪拌速度之增加而增加。不管是靜止或是在攪拌轉速 270rpm 時,總質傳係數皆隨界面活性劑濃度之上升而下降。添加界面活性劑會導致總質傳係數的降低,但因為微胞溶化作用的影

響,導致高濃度界面活性劑溶液具有較高的 PAHs 吸收速率。隨著攪拌轉速增加,造成液面擾動及氣液接觸面積增大,使得氣體的溶解度隨之增加,總質傳係數 $k_L a'$ 也會增加。無論是在靜止、增加攪拌速度或是添加電解質,在 CMC 前後皆會增加氣體的溶解度。尤其在高界活性劑濃度(0.1M)超過 CMC 且加上攪拌(270rpm)時,相較於靜止純水狀態之溶解度,能增加氣相 naphthalene 的溶解度達 18.60 倍。因此可以確信添加陰離子性界面活性劑能夠大大增加氣相疏水性有機化合物的吸收量。

六、計畫成果自評

由本計畫之研究成果可以得知,添加陰離子性界面活性劑能夠增加氣相疏水性有機化合物的溶解度,尤其是在濃度超過臨界微胞濃度時吸收效果更好。如果能夠配合增加電解質以及提高攪拌的速度更能提高吸收速率。因此本研究之結果可以提供焚化廠於空氣污染設備中的濕式洗滌塔添加界面活性劑來控制 PAHs 的參考,再者可以當作同屬非極性毒性空氣污染物戴奧辛的控制評估。

七、參考文獻

- (1)You, J. H., P. C. Chiang, K. T. Chang and S. C. Chang, "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) and Mutagenicity of Soot Particulates in Air Emissions from the Two-Stage Incineration of Polystyrene", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 36, pp. 1-17 (1994).
- (2)Rosen, M. J., "Surfactants and Interfacial Phenomena", John Wiley & Sons (1989).
- (3)Edward, D. A., R. G. Luthy and Liu Z., "Solubilization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Micellar Nonionic Surfactant Solutions", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 25, pp. 127-133 (1989).
- (4)Ko, S. O., M. A. Schlautman and E. R. Carraway, "Partitioning of Hydrophobic

Organic Compounds to Sorbed Surfactants. 1. Experimental Studies” Environ. Sci. Technol., Vol. 32, pp. 2769-2775 (1998).

(5) Li, C. T., W. J. Lee, H. H. Mi and C. C. Su, “PAH Emission from the Incineration of Waste Oily Sludge and PE Plastic Mixtures”, The Science of the Total Environment, Vol. 170, pp. 171-183, (1995).

(6) Bird, R. B., W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, “Transport Phenomena”, Wiley & Sons: New York (1960).

(7) Mulder, H.; G. R. Wassink, A. M. Breure, J. G. V. Andel, W. H. Rulkens, “Influence of Hydrodynamic Conditions on Naphthalene Dissolution and Subsequent Biodegradation”, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 57, pp. 145-154 (1998).

(8) Clarke A. N., K. H. Oma and M. M. Megehee, “Soil Clean Up by Surfactant Washing. II. Design and Evaluation of the Components of the Pilot-Scale Surfactant Recycle System”, Separation Science and Technology, Vol. 28, pp. 2103-2135 (1993).

(9) Doong, R. A.; W. G. Lei, T. F. Chen, C. Y. Lee, J. H. Chen and W. H. Chang, “Effect of Anionic and Nonionic Surfactants on Sorption and Micellar Solubilization of Monocyclic Aromatic Compounds”, Water Science and Technology, Vol. 34, pp. 327-334 (1996).

(10) Mesa, C. L., “The Temperature Dependence of Critical Micellar Concentrations”, Colloids and Surfaces, Vol. 35, pp. 329-335 (1989).

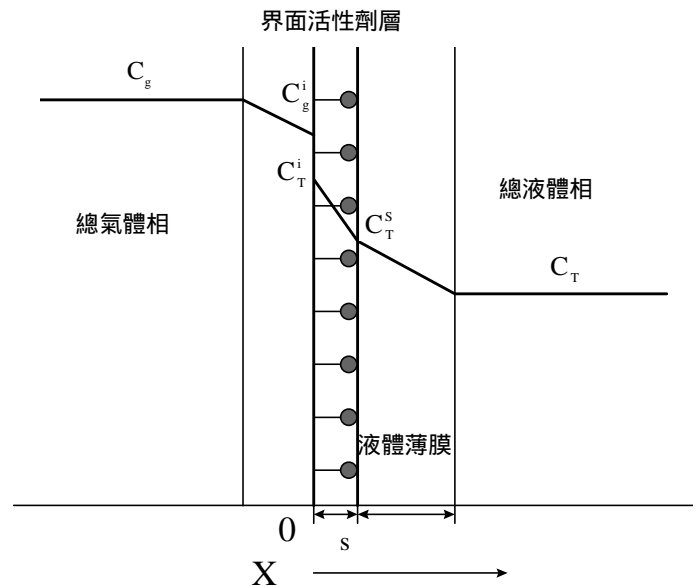


圖 1. PAHs 氣體吸收濃度分佈圖

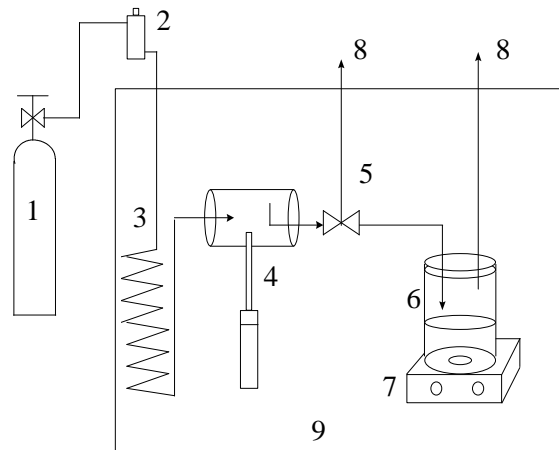


圖 2. PAHs 氣體吸收裝置圖

其中：1. N₂ 氣體鋼瓶 2. 電子流量計 3. 熱交換器 4. Naphthalene 擴散管 5. 三通閥 6. 吸收槽 7. 攪拌器 8. 氣體出口 9. 恆溫水槽

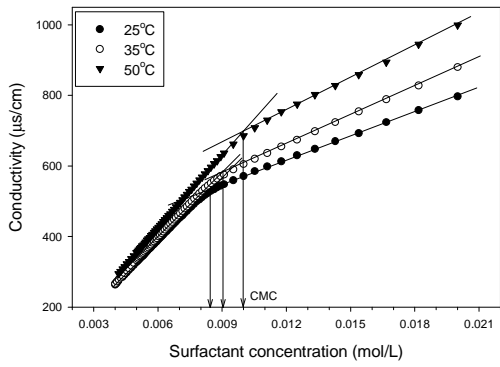


圖 3. 不同溫度之臨界微胞濃度(CMC)值

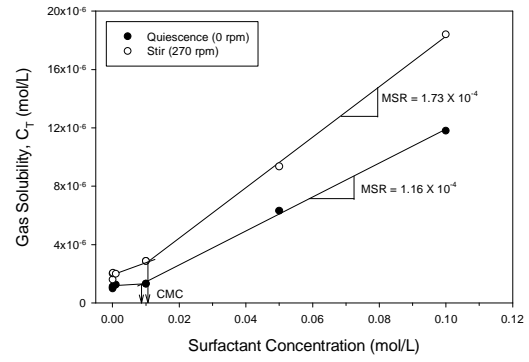


圖 6. 在吸收達穩態時之不同界面活性劑濃度下之 naphthalene 溶解度

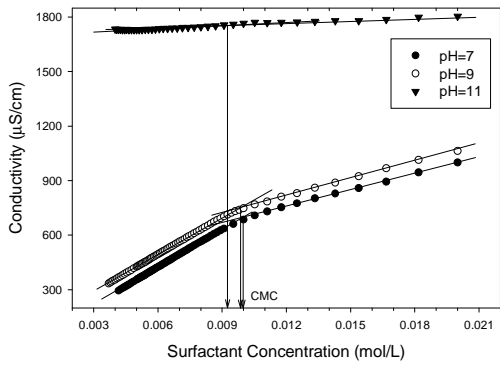


圖 4. 不同 pH 之臨界微胞濃度(CMC)值

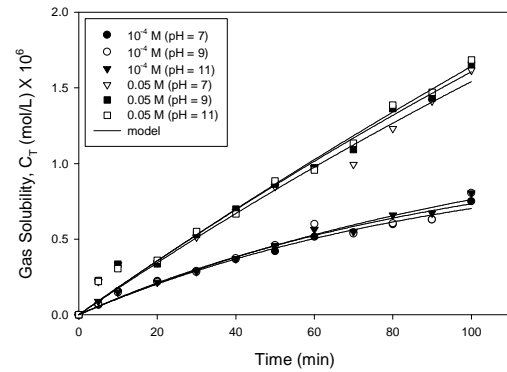


圖 7. 在不同 pH 下之不同時間之 naphthalene 溶解度

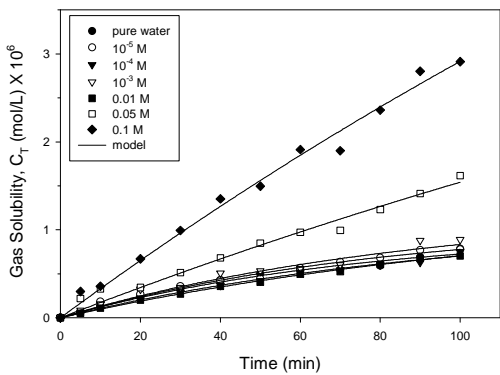


圖 5. 靜止吸收時，在不同界面活性劑濃度下之 Nap 溶解度隨時間之變化

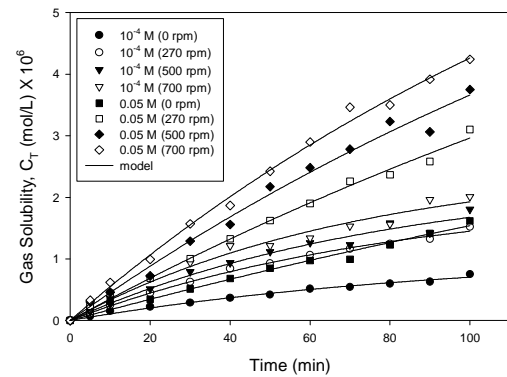


圖 8. 在不同攪拌速度下之不同時間之 naphthalene 溶解度

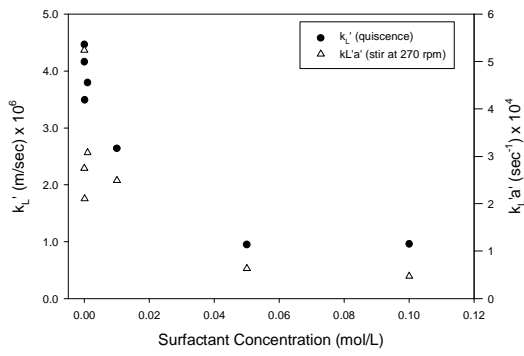


圖 9. 不同界面活性劑濃度之總液相質傳係數

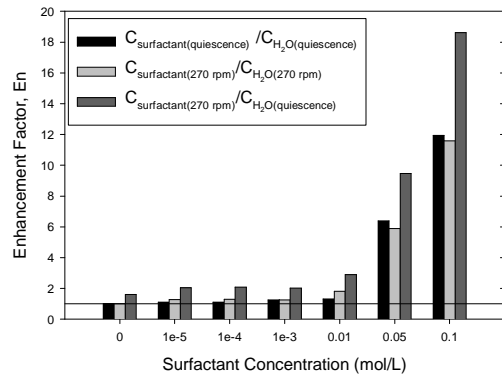


圖 12. 在不同界面活性劑濃度下之增溶因子

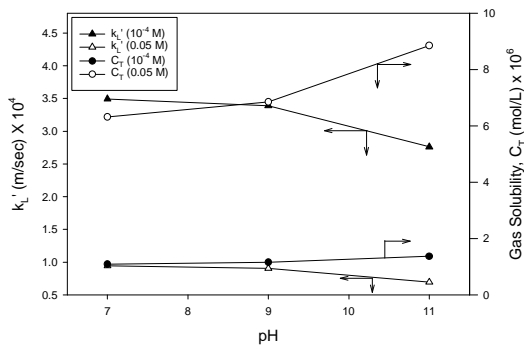


圖 10. 不同 pH 之總液相質傳係數及 naphthalene 溶解度

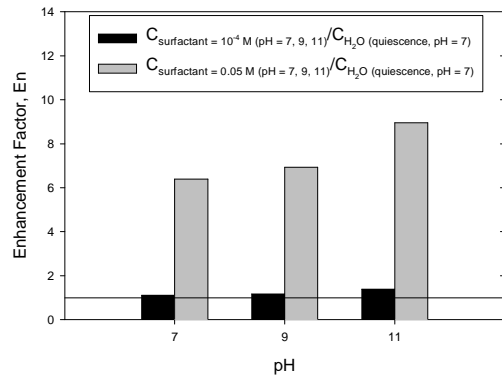


圖 13. 在不同 pH 下之增溶因子

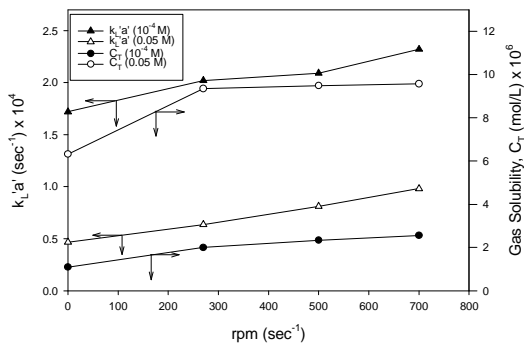


圖 11. 不同攪拌速度下之總液相質傳係數及 naphthalene 溶解度

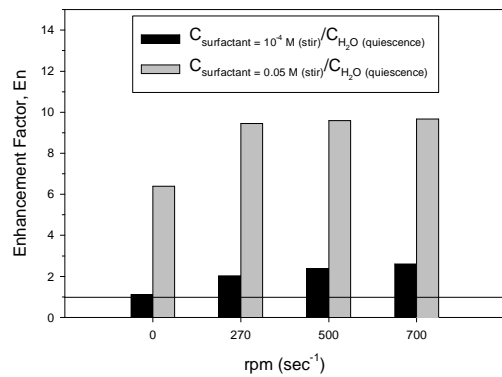


圖 14. 不同攪拌速度下之增溶因子