

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 界面活性劑對氯化鈉氣膠潮解影響之研究

### The Effect of Surfactants on the Deliquescence of Sodium Chloride

計畫編號：NSC 88-2211-E-002-008

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

執行單位名稱及主持人：台大環工所 李慧梅 教授

#### 一、中文摘要

有機物為氣膠之重要成分，其中包含具界面活性之有機物，它們可影響溶液表面性質。本研究中，針對氯化鈉與界面活性劑混合氣膠之潮解現象進行觀察探討，並選用兩種環境氣膠中常見且具界面活性之物種進行研究，所選用物種為Glutaric acid及Pyruvic acid。本研究系統包括：相對濕度調節室、TDMA (Tandem Differential Mobility Analyzer) 系統及SMPS (Scanning Mobility Particle Sizing) 系統。研究結果顯示，氯化鈉氣膠之潮解點在75%RH，其粒徑成長79.47nm，粒徑成長率為77.9%。界面活性劑共以六種不同重量百分比與氯化鈉混合，六種重量百分比中界面活性劑分別佔氣膠重量之2.5%、5%、10%、20%、40及60%。混合氣膠之研究結果顯示，界面活性劑之存在將使氣膠之潮解點及潮解粒徑下降。所觀察到之最低潮解點發生在60%的界面活性劑下，潮解點可降至71%RH。此外，氣膠之潮解粒徑亦隨界面活性劑之增加而下降，於60% Pyruvic acid下所觀察到潮解粒徑最低，為142.7nm。

**關鍵詞：**潮解、界面活性劑、有機氣膠、吸濕

#### Abstract

In this study, the deliquescence phenomenon of sodium chloride aerosol with

surfactants was investigated at retention time 4.24 sec. Two surfactants used in this study, including glutaric acid and pyruvic acid, because they both are found in atmospheric aerosol and show surface active property. The experimental system consists of a relative humidity conditioner, a tandem differential mobility analyzer (TDMA) and a scanning mobility particle sizing (SMPS) system. The results of sodium chloride aerosol showed that the deliquescence point of sodium chloride aerosol was found at 75%RH and the growth size of sodium chloride aerosol is 79.47nm and the growth ratio is 77.9%. Surfactants were mixed with sodium chloride internally at six different weight fractions of surfactant, includes 2.5, 5, 10, 20, 40, and 60 %wt. The presence of both surfactants appear to decrease the deliquescence point of sodium chloride, the lowest deliquescence point were both observed at about 71%RH when the weight fraction of surfactants are 60%wt. And the lowest size of sodium chloride aerosol with surfactants was found to be 142.7nm at 60%wt of pyruvic acid. The deliquescence point and size of sodium chloride aerosol with surfactants were related to the weight fraction of surfactants. It indicates that the presence of surfactants on sodium chloride aerosol change the deliquescence phenomenon of sodium chloride, and the negative effect is shown.

**Keywords:** Deliquescence, Surfactant, Organic aerosol, Hygroscopic

## 二、緣由與目的

大氣氣膠組成十分複雜，一般而言包括：水、硫酸鹽、硝酸鹽、氯鹽、銨鹽、元素碳及有機物[1]，其中以無機鹽類最顯著之吸濕現象[2-4]。氣膠粒徑大小可影響氣膠在大氣中之停留時間，及因吸入而進入人體呼吸系統之可能性。因而，氣膠粒徑及氣膠在大氣中成長情形，為評估氣膠對人體健康影響之重要依據。台灣地區由於地處熱帶及亞熱帶之間且四面環海，具有高溫潮濕之特性，在這種環境下之氣膠顆粒吸濕成長之現象顯得格外明顯且重要。

有機物在氣膠中具有相當高之含量，對生物常具有負面作用，且有許多研究指出有機物的存在亦會對氣膠之吸濕行為產生影響，為氣膠中相當重要之成分。一般而言，氣膠上有機成分的含量有隨粒徑減少而增加之趨勢[5]，而對於細粒氣膠方面，在台灣地區的調查結果顯示，有機碳質量濃度為 $0.393 \sim 70.1 \mu\text{m}/\text{m}^3$ [6,7]。而與台灣地區氣膠之總重量相比較，細粒氣膠所含有的有機成分則佔3%~37.9%[8-10]。而在國際間之相關研究顯示，氣膠中有機成分含量佔7.2%~50% [11-15]。以上研究結果均顯示，氣膠中有機物含量可高達氣膠重量之一半。

在氣膠之有機成分中包括許多可溶解於水溶液之有機成分（Water Soluble Organic Carbon, WSOC），而這些可溶解於水溶液之有機成分一般可稱為具界面活性，或稱為界面活性劑。調查結果發現，氣膠中WSOC濃度約佔有機成分含量之1.8%~67% [14,15]，以有機成分佔氣膠重量之10%~50%來估計，則氣膠中WSOC含量約為氣膠重量之1.5%~37%，顯示大氣氣膠中界面活性有機物之含量範圍相當大。一般而言，氣膠中所含具界面活性有機物約佔氣膠重量之10%wt，而在氣膠上形成單一分子膜僅需氣膠重量約1% wt [16]，在

此含量下已足夠界面活性劑在氣膠表面形成有機界面膜。

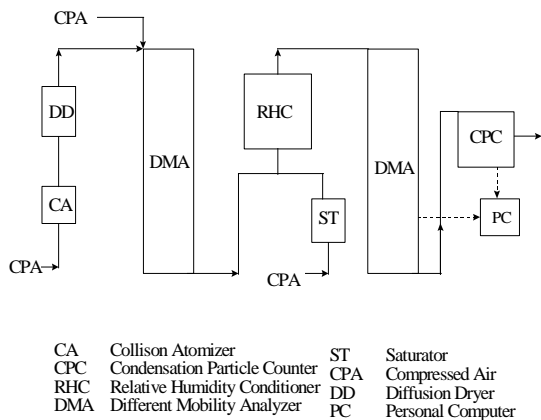
在有機氣膠吸濕成長的相關研究方面，Hämeri(1992)發現混合氣膠在高於潮解點之相對濕度下才會大幅成長[17]。Andrews(1993)之結果顯示，有機物含量之增高將限制顆粒所能吸收的水量，且混合氣膠之潮解現象並不似無機鹽氣膠般在潮解點即迅速成長並到達平衡，有趨於平緩的趨勢[18]。Hansson(1990)之研究結果顯示，氣膠吸濕成長率隨有機物分率之增加而降低。吸濕成長率之降低可能因液滴之表面張力或溶液性質受到改變，亦可能由於疏水性物質造成可吸濕顆粒吸收水蒸氣分子之質傳速率限制[19]。上述研究結果顯示，有機物在氣膠吸濕成長過程中，主要扮演抑制水蒸氣吸收的角色。

有機物若是能在氣膠吸濕成長過程中，在大氣及氣膠界面上形成一有機界面膜，則有機物將對氣膠之吸濕造成阻力[13]。而本研究之主要目的即為了解實際狀況下，不同濃度、種類之界面活性劑如何影響氣膠之吸濕過程。

## 三、研究方法

本實驗系統依如圖一所示，其功用可分為四個主要部分，茲簡介如下：

1. 氣膠產生器：TSI Model 3076 Collision Atomizer，可使實驗溶液以低壓、高速霧化成液態氣膠微粒。
2. 粒徑篩分儀：TSI Model 3071 Electrostatic Classifier，將氣膠產生源產生之多粒徑分佈氣膠篩分成單一粒徑分佈。
3. 相對濕度調節室：Relative Humidity Conditioner，氣膠反應之所在，調節室內的濕度環境以適當的乾、濕乾淨空氣混合，調配出特定的實驗相對濕度值，使氣膠在4.24秒的停留時間下供氣膠進行吸濕成長。
4. 粒徑掃描系統：TSI Model 3934 SMPS，可在極短時間內（30~300 秒）掃描並輸出實驗氣膠粒徑分佈情形。



圖一 實驗系統圖

本實驗系統由氣膠產生器產生次微米的氣膠，在經過粒徑篩分儀之篩分後可篩出單一粒徑分佈的氣膠，並進入相對濕度調節室。相對濕度調節室可調節不同相對濕度，在本研究中之相對濕度範圍約由 7% 85% RH。成長之後的氣膠最後則進入粒徑掃描系統進行粒徑分析，其分析範圍為 5nm 1000nm，而可由起始粒徑及分析粒徑了解氣膠之吸濕成長情形。

緣由與目的中已提到大氣氣膠中存在許多不同的物種，由於無機鹽類為氣膠中造成大幅吸濕成長之主因，因此本研究中將選用一種無機鹽代表氣膠中之無機鹽，並與所選用之界面活性劑混合進行實驗，以了解界面活性劑所造成之影響。在大氣氣膠中之無機鹽成分相當多，本研究中係採用氯化鈉為無機鹽物種，其主要原因包括：(1) 台灣地區四面環海，而氯化鈉又是海鹽之主要成分，因此極易出現於氣膠之中，(2) 氯化鈉之吸濕潮解成長極為顯著，因此，界面活性劑對吸濕成長之影響較易觀察，(3) 氯化鈉之潮解點為數種常見鹽類中對溫度變化最不敏感者，其潮解點在 5~35 約為  $75 \pm 1\%RH$ ，最大誤差不超過 1%RH，此對可能需跨季節之研究上較不易產生誤差，(4) 氯化鈉之特性及潮解現象早已完整的建立，在與文獻之比較上較不易遭遇困難。

而界面活性劑則是採用 Glutaric acid 及 Pyruvic acid。Glutaric acid 具有雙羧基結

構，在同一族的酸類中，分子量較 Glutaric acid 小的酸類有著高蒸氣壓、高揮發性的問題而不適用於本研究；分子量較大的酸類則有著大氣環境中含量不高而代表性不夠之困擾，是以選擇 Glutaric acid 代表雙羧基酸類進行研究。而 Pyruvic acid 則屬於 Ketocarboxylic acid 之一族，此物種為碳水化合物代謝反應中之主要的中間產物且在環境中有相當高的含量，是以選擇進行實驗。而此兩種有機物之結構由於同時具有親水性及親油性兩種結構，此表示具界面活性之特性，而此兩種酸類之特性如表一所示。

表一 本研究中所採用界面活性劑之特性

界面活性劑	特 性
Glutaric acid	*Molecular formula: $(CH_2)_3-(COOH)_2$ *Solubility in water: 630 g/L at 20 *HLB value: 9.775
Pyruvic acid	*Molecular formula: $CH_3COCOHOH$ *Solubility in water: Miscible with water in all proportion *HLB value: 8.625

#### 四、結果與討論

在大氣中，氣膠的有機成分十分複雜，而且許多都尚未能完整的鑑定出來，而在 Saxena and Hildemann (1996)之研究報告中指出，已鑑定完成的有機成分中，許多有機成分是具有可溶於水性質的有機物(Water-soluble organic carbons, WSOC)，而這些可溶於水的有機物以 Dicarboxylic acids 及 Ketoacids 兩族的有機化合物含量最豐富，其含量約為所有可溶於水有機物之 4.6% 17% wt [14]。是以本研究於此兩族有機化合物中選出兩個最適合之物種，Glutaric acid 及 Pyruvic acid 進行研究，如

研究方法中所述 而其含量根據 Rogge et al. (1993)及 Sempere and Kawamura (1994)之研究顯示,美國加州所測得之 Glutaric acid 含量為 28.3~38.7 ng/m<sup>3</sup>, 在日本東京則為 39~88 ng/m<sup>3</sup>;而氣膠中 Pyruvic acid 的含量在東京所測得為 27~89 ng/m<sup>3</sup>。上述研究結果顯示,此兩種物種分別在 Dicarboxylic acids 及 Ketoacids 兩族的化合物中佔相當顯著含量,相當具有代表性。

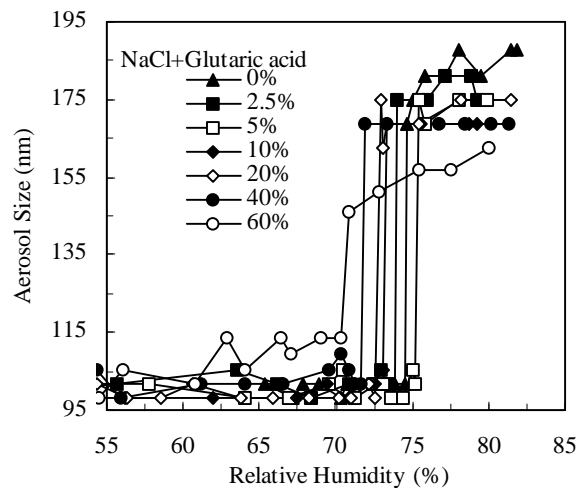
#### 4.1. 氯化鈉氣膠之潮解

在本研究開始探討界面活性劑之影響前,首先進行氯化鈉氣膠潮解現象之觀察,以確保實驗系統之正常運作。氯化鈉氣膠在不同相對濕度下之觀察結果顯示,在溫度於 22.9 ~25.6 的狀況下,所觀察到之潮解點在 75 ± 0.2%RH,此結果與以往的研究結果[17,18,20]相當符合。在 4.24 秒的停留時間及反應器中相對濕度高於潮解點下,可觀察到氯化鈉氣膠有極顯著的粒徑成長。在此定義兩個討論中常使用的名詞,成長粒徑(Growth size)為氣膠在成長後所觀察到之粒徑及初始粒徑間之差距,而潮解粒徑(Deliquescence size)專指氣膠在經過潮解成長後所觀察到之氣膠粒徑。實驗結果顯示,氯化鈉氣膠潮解粒徑介於 168.49nm 至 187.69nm 間,由於氣膠之起始粒徑為 101.82nm。因此氯化鈉氣膠之粒徑成長率為 65.5%至 84.1%之間,其粒徑變化顯示氯化鈉氣膠在潮解後並非一穩定粒徑,而有上下跳動之現象,為便於不同氣膠間之比較,在此定義平均潮解粒徑值為該氣膠在潮解之後所觀測到之所有氣膠粒徑之平均值。氯化鈉氣膠之平均潮解粒徑經計算後為 181.18nm,粒徑成長率為 77.9%。

#### 4.2. 氯化鈉與界面活性劑混合氣膠之潮解現象

圖二所示為氯化鈉與 Glutaric acid 混合氣膠在不同相對濕度、不同重量百分比下之潮解現象。本研究中,Glutaric acid 在混合氣膠中之重量百分比包括:2.5%、5%、10%、20%、40%及 60%六種,其中標示為 0%wt 者為氯化鈉氣膠之潮解狀

況。混合氣膠與氯化鈉氣膠之比較顯示,混合氣膠中 Glutaric acid 含量由 2.5%逐漸增加至 20%時,其潮解粒徑有減少之趨勢,其粒徑範圍介於~168nm 及~181nm 之間;而在同樣的狀況下,氣膠之潮解點則明顯的由~75%RH 降低至~72%RH。當 Glutaric acid 的重量百分比達到 40%及 60%時,不論是潮解粒徑或潮解點均有顯著的降低,其平均潮解粒徑分別為 168.49nm 及 154.05nm,潮解點為 71.8%RH 及 70.4%RH。



圖二 氯化鈉與 Glutaric acid 混合氣膠在不同相對濕度、不同重量百分比下之潮解現象

圖三所示則為氯化鈉與 Pyruvic acid 混合氣膠在不同相對濕度、不同重量百分比下之潮解現象。所採用之六種重量百分比與前述氯化鈉及 Glutaric acid 混合氣膠相同 當 Pyruvic acid 之重量百分比由 2.5%增加至 60%時,潮解粒徑由~175nm 降低至~145nm。而潮解點之變化則類似於氯化鈉與 Glutaric acid 混合氣膠,當 Pyruvic acid 由 0%增加至 60%時,潮解點由~75%RH 降低至~71%RH。

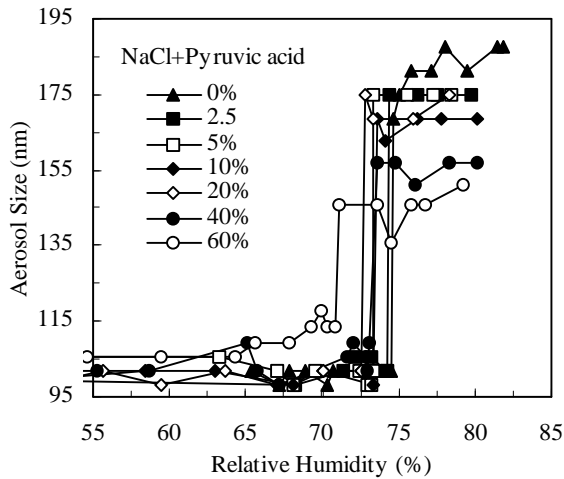
#### 4.3. 氯化鈉與界面活性劑混合氣膠之潮解粒徑

4.2.所觀察到混合氣膠潮解粒徑之減少至少有兩個可能的因素所造成,包括:

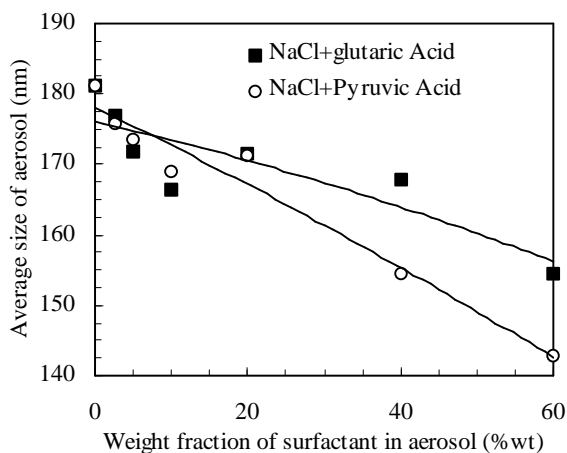
- (1)氣膠中氯化鈉成分之減少。由於氯化

鈉為氣膠中吸濕之主要成份，其成份之減少可能造成潮解粒徑之降低。

(2)界面活性劑在氣膠表面形成有機界面膜。此將造成水蒸氣分子傳輸進入氣膠時之質傳阻力增加，而影響其與氯化鈉之接觸及溶解。



圖三 氯化鈉與 Pyruvic acid 混合氣膠在不同相對濕度、不同重量百分比下之潮解現象



圖四 氯化鈉與 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 混合氣膠在不同重量百分比之潮解粒徑變化

當兩種混合氣膠之界面活性劑重量百分率相同時，實驗結果顯示不同界面活性劑之存在將造成不同的潮解粒徑，此可證明上述因素(2)影響之存在。除此之外，兩種界

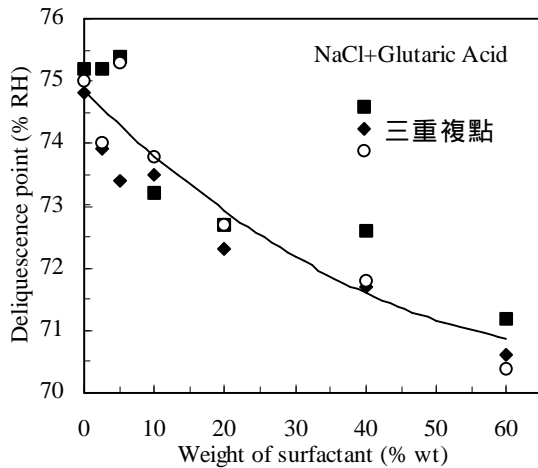
面活性劑之存在除了對混合氣膠之潮解點及潮解粒徑有明顯影響外，亦發現混合氣膠在潮解點之前有粒徑成長之現象，此顯示 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 本身具有吸濕性，而先前之研究及文獻中亦觀察到類似之現象[18]。然而，此現象僅於高重量百分比之界面活性劑(60%)存在下才可偵測到較明顯的成長，而且潮解粒徑係隨著界面活性劑之含量增加而減小，此指出界面活性劑本身之吸濕性質遠小於氯化鈉。因此對界面活性劑混合氣膠之吸濕成長而言，因素(2)應為界面活性劑存在下對吸濕之主要影響，。但兩種界面活性劑應在低於氯化鈉潮解點之相對濕度下即可吸濕而成長，因而在本研究中可在較低相對濕度下觀察到混合氣膠之成長現象。

氯化鈉與 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 混合氣膠之所有潮解粒徑在此亦加以平均，求出不同重量百分比下各氣膠之平均潮解粒徑，結果如圖四所示。由圖四中顯示，氣膠之潮解粒徑與所存在之界面活性劑重量百分比成反比關係，潮解粒徑隨界面活性劑重量百分比之增加而有下降之趨勢，且潮解粒徑在界面活性劑重量百分比 2.5%~20% 已明顯較氯化鈉氣膠之潮解粒徑低了許多。當 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 在混合氣膠之重量百分比由 0% 增加至 60% 時，氣膠之平均潮解粒徑分別由 181.18nm 減少至 154.55nm 及 142.74nm。由此圖可明顯看出，氯化鈉與界面活性劑混合氣膠中，界面活性劑 HLB 值較低者 (Pyruvic acid) 所觀察到之潮解粒徑較 HLB 值較高者 (Glutaric acid) 為低，在先前對四種不同界面活性劑之研究[21]中，亦發現類似之趨勢。根據先前研究之結論指出，Glutaric acid 及 Pyruvic acid 兩種混合氣膠之間潮解粒徑之差異主因應是界面活性劑所形成之有機界面膜，因其對水蒸氣吸收之質傳阻力不同而造成潮解粒徑之差異。而在界面活性劑重量百分比 2.5%~20% 間，潮解粒徑與界面活性劑重量百分比未呈反比趨勢之不穩定現象可能係由於此時混合氣膠中，界面活性劑成分之含量較少，而降低溶解於氣膠中及聚集在氣膠表

面上之界面活性劑的含量，以致界面活性劑所形成之有機界面膜無法完整的包裹住氣膠外表。

#### 4.4. 氯化鈉與界面活性劑混合氣膠之潮解粒徑

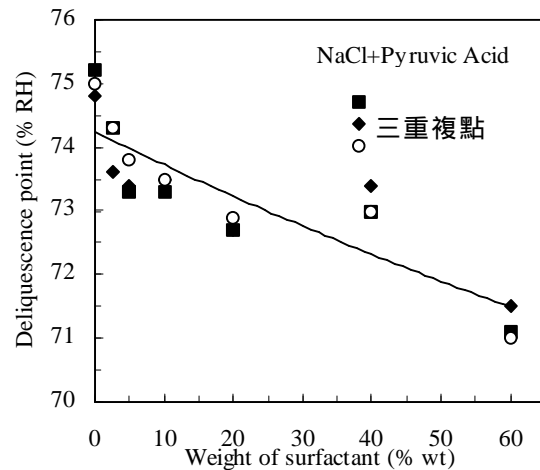
由 4.2.節之結果已顯示，潮解點對於 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 之存在及其含量變化相當的敏感，圖五及圖六特別針對 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 混合氣膠之潮解點，在不同重量百分比之界面活性劑下之變化分別作一整理與分析，圖中每個研究所採用之重量百分比上分別以不同符號標上三重複實驗之結果。圖五顯示，氯化鈉與 Glutaric acid 混合氣膠之潮解點隨著 Glutaric acid 含量之增加而降低，當 Glutaric acid 之重量百分比由 0% 增加至 60% 時，潮解點由~75%RH 降低至~71%RH，而氯化鈉與 Pyruvic acid 混合氣膠之潮解點亦有類似之現象，如圖六所示。



圖五 氯化鈉與 Glutaric acid 混合氣膠潮解點在不同重量百分比之變化

但是，氯化鈉與 Glutaric acid 混合氣膠潮解點之三重複實驗結果間之變異性卻比氯化鈉與 Pyruvic acid 混合氣膠之三重複實驗高。此結果應是由於 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 兩個物種間不同的蒸氣壓所造成，Glutaric acid 之蒸氣壓根據 Merck Index 所記載在 47 為 1.36hPa，但 Pyruvic acid 則未被記載，顯示 Glutaric acid 具較高之蒸氣壓。由於 Glutaric acid 較高之蒸氣壓，有可

能造成實驗過程中 Glutaric acid 之含量因揮發而降低，而因此造成同樣重量百分比的 Glutaric acid 下，三重複實驗結果具較大的變異。而理論上，此種現象應較易在低重量百分比之狀況下所觀察到，因為 Glutaric acid 之含量本就較低，相對來說，因揮發所損失的量就佔總量中最高的比例。這或許是氯化鈉與 Glutaric acid 混合氣膠在 2.5% 及 5% 之實驗結果，為兩種不同混合氣膠所有重量百分比實驗結果中具最顯著變異之原因。



圖六 氯化鈉與 Pyruvic acid 混合氣膠潮解點在不同重量百分比之變化

無機鹽之潮解現象對大氣氣膠而言相當的重要，因為潮解將造成氣膠粒徑在極短時間內的大幅度變化。然而文獻指出，在環境中所採集到之氣膠並無法在高濕度下觀察到顯著的潮解點，而是隨相對濕度呈一平滑成長曲線 [20,22]。Tang and Munkelwitz(1993)對此現象提出一個原因來說明，即此平滑曲線係因環境氣膠內之各成份為內部混合所造成，換言之，即各成份間會互相影響，致使單一成份之特性隱沒而未被觀察到 [20]。研究指出，多成份之無機鹽氣膠可觀察出多個潮解點 [23]，而當氣膠中無機鹽的種類夠多時即可產生此平滑的成長曲線。此外由本研究之研究結果顯示，界面活性劑對無機鹽之潮解點亦有顯著影響，對於環境氣膠之無潮解點成長的現象也應考慮此類有機物所造成之影響。

## 五、結論

本研究中所觀察到之氯化鈉氣膠潮解點約在 75%RH，粒徑成長率為 77.9%，結果顯示氯化鈉氣膠之吸濕成長只在相對濕度高於潮解點之後才可觀察到，且氣膠粒徑在相對濕度高於潮解點後有極大幅度的成長。而當界面活性劑存在時，觀察結果指出氣膠之潮解點及粒徑成長受界面活性劑之影響而均有下降之現象。當氯化鈉氣膠與 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 混合後，潮解點有隨著界面活性劑含量增加而下降之趨勢，界面活性劑重量百分比由 0% 提升至 60% 時，潮解點則由原始之 74.9%RH 分別降至 70.7%RH 及 71.2%RH。而在粒徑變化方面，氯化鈉氣膠與 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 混合氣膠之界面活性劑同樣由 0% 提升至 60% 時，氣膠潮解粒徑由原來的 175.9nm 分別降至 154.6nm 及 142.7nm。造成混合氣膠粒徑下降之主因有二，一為界面活性劑含量之增加相對的減少了氯化鈉的含量，由於氯化鈉具極易吸濕成長之特性，其含量之降低將對潮解粒徑造成影響，二為界面活性劑在氣膠吸濕潮解的過程中可於氣膠表面形成一層有機界面膜，因而阻礙了水蒸氣分子進入氣膠，亦將改變氣膠之潮解粒徑。大氣環境所採集到之氣膠通常均無法觀測出潮解點，一般推論係因環境氣膠所含之複雜成份間相互影響干擾所致，而界面活性劑之研究結果亦顯示可影響潮解點，環境氣膠無法觀測出潮解點，界面活性劑之存在應佔相當重要之地位。此外，亦由於有機界面膜之存在，此亦造成氣膠內部水份蒸發到外界環境之困難而較難以被乾燥，此使得氣膠在低相對濕度下可以液滴之形式存在較久之時間。

## 六、計畫成果自評

經過一年之研究進行，研究生對串聯式微分電移動度分析儀及掃描式電移動度粒徑掃描系統之操作上已相當熟練，並具有基本的維修能力。本年度之計劃中對於界面活性劑之影響已有進一步成果，顯示實際大氣中所存在之有機物中，確有可對

氣膠吸濕成長造成顯著影響之物種，且此類物種在環境中存有相當高之含量。隨著界面活性劑含量之提高，氣膠吸濕成長粒徑之降低應來自於界面活性劑溶解後所產生之界面有機膜對水分子吸收之抑制以及無機鹽成分降低之稀釋效應，而粒徑之降低則與界面活性劑之 HLB 值相關。在理論模式與實驗結果之結合部份，本研究已嘗試以去年度所發展出之氣膠吸濕模式進行氣膠吸濕成長之推估，然而由於氯化鈉與 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 混合氣膠在潮解點後之吸濕成長非常不明顯，因此氣膠吸濕模式並無法成功結合實驗結果並計算出在 Glutaric acid 及 Pyruvic acid 存在下，氯化鈉氣膠表面質傳係數之改變狀況，然依上一年度研究之結果，質傳係數應降至原水分子質傳係數之 1/1000 以下。對於此部分，可能尚需提升實驗系統性能，進一步將實驗之相對濕度提升至 95%RH 以上，才能得出明顯的粒徑成長，並進行模式之推估。

## 六、參考文獻

- [1] Kim, Y. P., Seinfeld, J. H., and Saxena, P. (1993) *Atmospheric Gas-Aerosol Equilibrium I. Thermodynamic model*. Aerosol Sci. and Tech., 19, 157-181.
- [2] Tang, I. N. (1976) *Phase Transformation and Growth of Aerosol Particles Composed of Mixed Salts*. J. Aerosol Sci., 7, 361-371.
- [3] Tang, I. N., Munkelwitz, H. R., and David, J. G. (1978) *Aerosol Growth Studies - VI. Phase Transformation of Mixed Salt Aerosols in a Moist Atmosphere*. J. Aerosol Sci., 9, 505-511.
- [4] Winkler, P. (1973) *The Growth of Atmospheric Aerosol Particles as a Function of the Relative Humidity - II*. Aerosol Sci., 4, 373-387.
- [5] Gieray, R., Wiser, P., Engelhardt, T., Swietlicki, E., Hansson, H. C., Mentes, B., Orsini, D., Martinsson, B., Svenningsson, B., Noone, K. J., and Heintzenberg, J. (1997) *Phase Partitioning of Aerosol Constituents in Cloud Based on Single-Particle and Bulk*

- Analysis. Atmospheric Environment*, 31, 16, 2491-2502.
- [6] 陳瑞仁, 廖世瑚, 簡維政 (1996) *第十三屆空染污染技術研討會*, 705-712。
- [7] 黃慕欣, 王怡方, 王秋森 (1996) 1996 *International Conference on Aerosol Science and Technology*, Dec. 5-7, 1996 Taipei, Taiwan, pp.639-647.
- [8] 許文昌, 李崇德 (1992) *第九屆空氣污染控制技術研討會*, 189-202。
- [9] 魏致中, 陳宛青, 王秋森 (1994) *第十一屆空氣污染控制技術研討會*, 638-641。
- [10] 黃榮利 (1992) *都市大氣環境中有機氣膠之研究*, 台大環工所碩士論文。
- [11] Gray, H. A., Cass, G. R., Huntzicker, J. J., Heyerdahl, E. K., and Rau, J. A. (1986) *Characteristics of Atmospheric Organic and Elemental Carbon Particle Concentrations in Los Angeles*. *Sci. Total Envir.*, 20, 580-589.
- [12] Kadowaki, S. (1990) *Characterization of Carbonaceous Aerosols in the Nagoya Urban Area. I. Elemental and Organic Carbon Concentrations and the Origin of Organic Aerosols*. *Environ. Sci. Technol.*, 24, 741-744.
- [13] Rogge, W. F., M. A. Mazurek, L. M. Hildemann, G. R. Cass, and B. R. T. Simoneit (1993) *Quantification of Urban Organic Aerosols at a Molecular Level: Identification, Abundance and Seasonal Variation*. *Atmospheric Environment*, 27A, 8, 1309-1330.
- [14] Saxena, P, Hildemann, L. M. (1996) *Water-Soluble Organics in Atmospheric Particles: A Critical Review of the Literature and Application of Thermodynamics to Identify Candidate Compounds*. *J. of Atmospheric Chem.*, 24, 57-109.
- [15] Saxena, P, L. M. Hildemann, P. H. McMurry, and J. H. Seinfeld (1995) *Organics Alter Hygroscopic Behavior of Atmospheric Particles*. *J. of Geophys. Res.*, 100, D9, 18755-18770.
- [16] Gill, P. S. and T. E. Graedel (1983) *Organic Films on Atmospheric Aerosol Particles, Fog Droplets, Cloud Droplets, Raindrops, and Snowflakes*. *Rev. of Geophys. and Space Physics* 21, 4, 903-920
- [17] Hameri, K., M. Rood, and H. C. Hansson (1992) *Hygroscopic Properties of a NaCl Aerosol Coated With Organic Compounds*. *J. Aerosol Sci.* 23, Suppl. 1, S437-S440.
- [18] Andrews, E. and S. M. Larson (1993) *Effect of Surfactant Layers on the Size Changes of Aerosol Particles as a Function of Relative Humidity*. *Env. Sci. Tech.* 27, 857-865.
- [19] Hansson and Wiedensohler (1990) *Experimental Determination of the Hygroscopic Properties of Organically Coated Aerosol Particles*. *J. Aerosol Sci.* 21, Suppl. 1, S241-S244.
- [20] Tang, I. N. and Munkelwitz, H. R. (1993) *Composition and Temperature Dependence of the Deliquescence Properties of Hygroscopic Aerosols*. *Atmospheric Environ.*, 27A, 4, 467-473.
- [21] Chen, Y. Y. and Lee, W. M. Grace (1999) *Hygroscopic Properties of Inorganic-Salt Aerosol with Surface-Active Organic Compounds*. *Chemosphere*, 38, 10, 2341-2448.
- [22] Rood, M. J. Larson, T. V. Covert, D. S., and Ahlquist, N. C. (1985) *Measurement of Laboratory and Ambient Aerosols with temperature and Humidity Controlled Nephelometry*. *Atmospheric Environment*, 19, 1181-1190.
- [23] Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: from Air Pollution to Climate Change*. A Wiley-Interscience Publication.