

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040202

國立嘉義高級中學

指導老師姓名

吳聰建

作者姓名

余尚駿

黃煜程

蕭逸修

分子電容的電解液研究

壹、摘要：

- 一、本實驗主要目的在於研究電解液對於分子電容器導電度的影響。
- 二、電子傳導的介質選擇，關係著電解液的導電度高低，選擇時以離子遷移率高低作優先考慮。
- 三、溶質包括有機酸有機鹼，明白兩者間的相互吸引力對於電容器蓄電量的影響。
- 四、選擇能夠產生介質的化學物質時，以能夠產生最大靜電量者為佳，此牽涉到官能基之多寡。
- 五、在本研究使用兩種不同的溶劑、三種不同的有機酸和兩種不同的有機鹼，分別研究十組不同情況下的電解液，對於分子電容的影響，在實驗中尋找導電度最高者的配方。
- 六、經本研究發現，分子電容的電解液在有機酸與有機鹼之當量點時，產生最大導電度。

貳、研究動機：

在一次偶然的機會，撿到了一顆外殼破損的電池，雖然早已經對於乾電池的構造瞭解甚多，但這個外殼破損的電池卻不停地流出不明液體，手指碰觸時，感覺滑滑的，但是過些時候手指卻產生疼痛，因而勾起好勝心，想要破解這令手指腫脹多天的不明液體。

查詢著課本上所有的資訊，好不容易找到了[基礎化學的第四章-生活中的能源、第三節-化學電池](#)，專門講述有關電池的構造及原理，卻只能猜測那液體應該便是“電解液”吧！只知道電解液是由[氯化銨 \(\$\text{NH}_4\text{Cl}\$ \)](#)、[氯化鋅 \(\$\text{ZnCl}_2\$ \)](#)、以及[二氧化錳 \(\$\text{MnO}_2\$ \)](#)所組成，但是電解液又是如何反應而產生電的呢！？

課本上的知識似乎不足以滿足好奇心，於是開始從網路上獵補可能的資訊，任何可能的 KeyWord 敲打在 Yahoo 的搜尋列上，覺得似乎所有資料皆被吸收以後，正想為這次的努力下定義時，猛然發現“鋁式電容器”的字樣，好奇心的驅使下，卻令我們意外發現了另一片藍天，果真是柳暗花明又一村啊！

參、研究目的：

- 一、了解何謂分子電容器。
- 二、找出選擇電解液時的所有考量。
- 三、探討有機溶劑對於有機酸的解離度影響與導電度的關係。
- 四、藉由有機酸的改變對於導電度產生的效果。
- 五、研究導電度與含水量之增減關係。
- 六、溶質濃度的改變與導電度之間是否有關聯。
- 七、探討有機鹼對導電度的貢獻度。

肆、研究設備與器材：

設備：

導電度計*1 台、電子天秤*1 台、安全吸球*2 個、1000c.c.燒杯*2 個、250c.c.燒杯*2 個、50c.c 量筒*2 個、乳頭滴管*5 個、保麗龍*1 個、玻棒*3 支、溫度計*2 支、加熱攪拌器*2 台

藥品：

N-甲基吡咯烷酮（1-Methyl-2-Pyrrolidone,簡稱：NMP）MERCK 試藥級
 γ -丁內酯（ γ -Butyrolacton,簡稱： γ -BL）MERCK 試藥級
二乙基胺（Diethylamine）MERCK 試藥級
三乙基胺（Triethylamine）MERCK 試藥級
馬來酸（Maleic Acid）聯工試藥級
酞酸（Phthalic Acid）聯工試藥級
苯甲酸（Benzoic Acid）聯工試藥級
丙酮（Acetone）聯工試藥級

伍、研究原理：

一、分子電容器的電解液選擇標準概述（鋁式電容器電解液業界一般常規）：

- (1) 含水量 $\leq 5\%$ （反應中生成水量 $> 5\%$ 亦不可），水的沸點低，受熱後容易產生氣體，內壓增加，會減短鋁式電容器的壽命，且易發生氣爆，有安全上的顧慮。
- (2) 所以 H^+ 和 OH^- 兩者不能同時存在，其中兩者選擇以離子遷移率判斷，相關論點如三所述。
- (3) 不可含金屬離子，在通電的情況下，部分金屬離子會產生電解效應，因此會發生兩極極板連通的情形，此情況稱之為“穿透或貫穿”（即俗稱的短路）。
- (4) 通電後會產生分子電容者，並且導電性越高越佳。

二、溶劑對於有機酸的平準效應，所謂的平準效應乃是溶質在不同的溶劑中所表現出不一樣的化性表徵。在本研究中，溶質為有機酸或有機鹼，其所表現出的不同化性在於解離度的不同。

三、關於離子遷移率，見下表可知 H^+ (349.8×10^{-3} 厘米/秒) 的遷移率最高，其次是 OH^- (199.6×10^{-3} 厘米/秒)，兩者皆是理想的電子傳遞介質，但是由於顧慮分子電容在應用上不可含過量的水，所以兩者間只能選擇其中之一，其中以 H^+ 為最佳介質，故優先使用。

離子	遷移率 10^{-3} 厘米/秒	離子	遷移率 10^{-3} 厘米/秒
H^+	349.8	$1/2Cu^{+2}$	53.6
Li^+	38.7	$1/3La^{+3}$	69.6
Na^+	50.1	NH_4^+	73.5
K^+	73.5	OH^-	199.6
$1/2Zn^{++}$	52.8	F	7.0
$1/3Fe^{+3}$	68.0	Cl^-	76.4
$1/2Pb^{++}$	69.5	Br^-	78.1
$1/2Sr^{+2}$	59.5	I	76.8
Ag^+	61.92	$1/2SO_4^-$	80.0
$1/2Mg^{++}$	53.1	$1/2C_2O_4^{-2}$	74.2
$1/2Ca^{++}$	59.5	ClO_4^{-3}	67.3
$1/2Ba^{++}$	63.6		

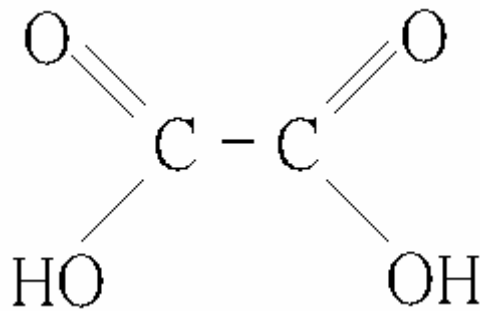
表 1：離子遷移率

四、溶劑 vs 溶質的溶解度：以相似溶解相似的原理，以及有機酸的解離常數，進行討論（見附件）

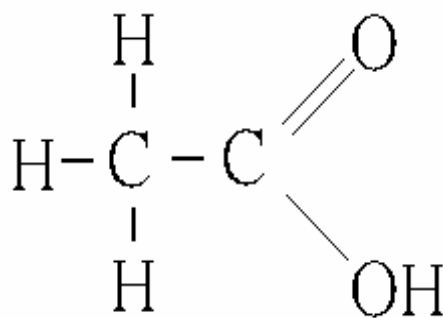
五、溶液的黏度：黏度在物理表徵上視為分子間的阻力，對電子的傳遞效果產生負面的效果，傳遞中散失的能量轉換成熱能，所以黏度越大，導電越差。

六、電容器的電荷能量是以 $Q = C V$ 來表示， Q 是庫倫， C 是靜電容量， V 是電壓；所以當電壓直不變時（意即： $V = \text{常數}$ ），加大靜電容量就能增高電荷能量。電容器的容量單位應該是 F (Farad)，但是由於計量太高造成數值偏低，故多改用 μF 。

例如：



草酸，分子量=90(g/mole)，每一分子具有兩個官能基，所以反應中每個草酸分子可以產生兩個電荷。



乙酸，分子量=60(g/mole)，但乙酸每一分子只有一個官能基，反應中僅能產生一個電荷，故當兩者等質量時，草酸的靜電容量較大。相較之下電容器中，用草酸當作電解液者，比起乙酸使用壽命較長，且兩者以產生相同電量的前提下，草酸重量可縮減成乙酸的 3/4 倍；但是草酸經過反應後容易產生大量的CO₂，造成內外壓力的不平衡，導致電容器爆炸，以致於損毀，此乃草酸不適合作為電解液的原因。

陸、實驗步驟：

實驗一：在不同溶劑中馬來酸解離度的探討

實驗步驟

1. 取 150c.c.的 NMP 和 150c.c.的 γ -丁內酯分別置入不同燒杯中，並用標籤註明，以視區別。
2. 秤取 5 克的馬來酸兩份，分別置入 NMP 和 γ -丁內酯中，攪拌均勻。
3. 將處理好的溶液，置入恆溫裝置中。
4. 使用安全吸球，每次滴定 0.3c.c.的二乙基胺，攪拌均勻，等到導電度值穩定，記錄其導電值。
5. 當滴定前後的導電度數值增減幅度過小的情況，連續出現五次，結束實驗。
6. 重複操作 3 次，取平均值。
7. 將平均資料畫成曲線圖。

實驗數據

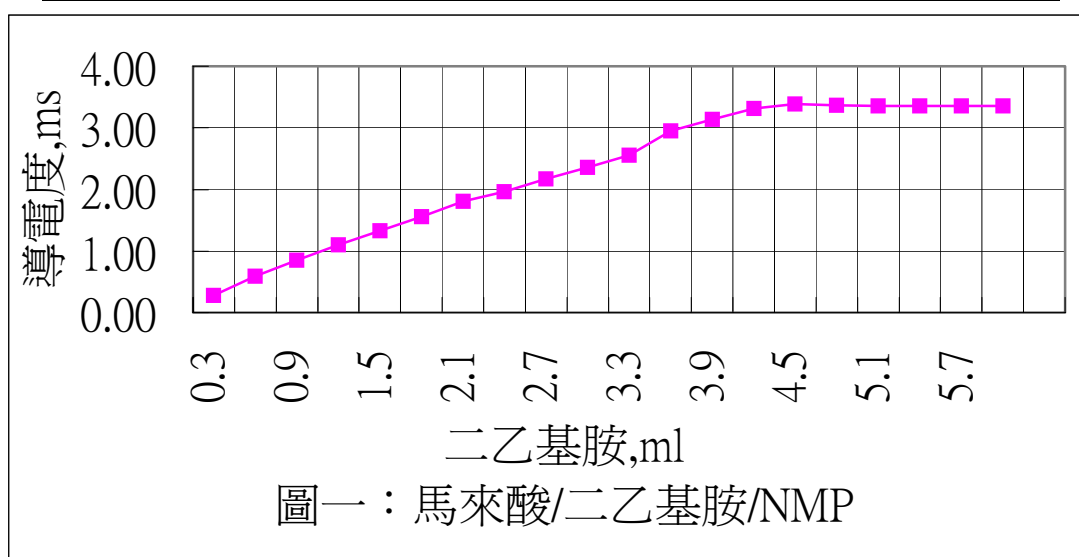
註：記錄數據 = 平均數據

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP)，150c.c.

溶質：有機酸-馬來酸，5.048g

有機鹼：二乙基胺(固定因子)

二乙基胺, ml	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
導電度, ms	0.29	0.60	0.86	1.11	1.33	1.56	1.81	1.96	2.17	2.36
二乙基胺, ml	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0
導電度, ms	2.56	2.95	3.14	3.31	3.39	3.37	3.36	3.36	3.36	3.36



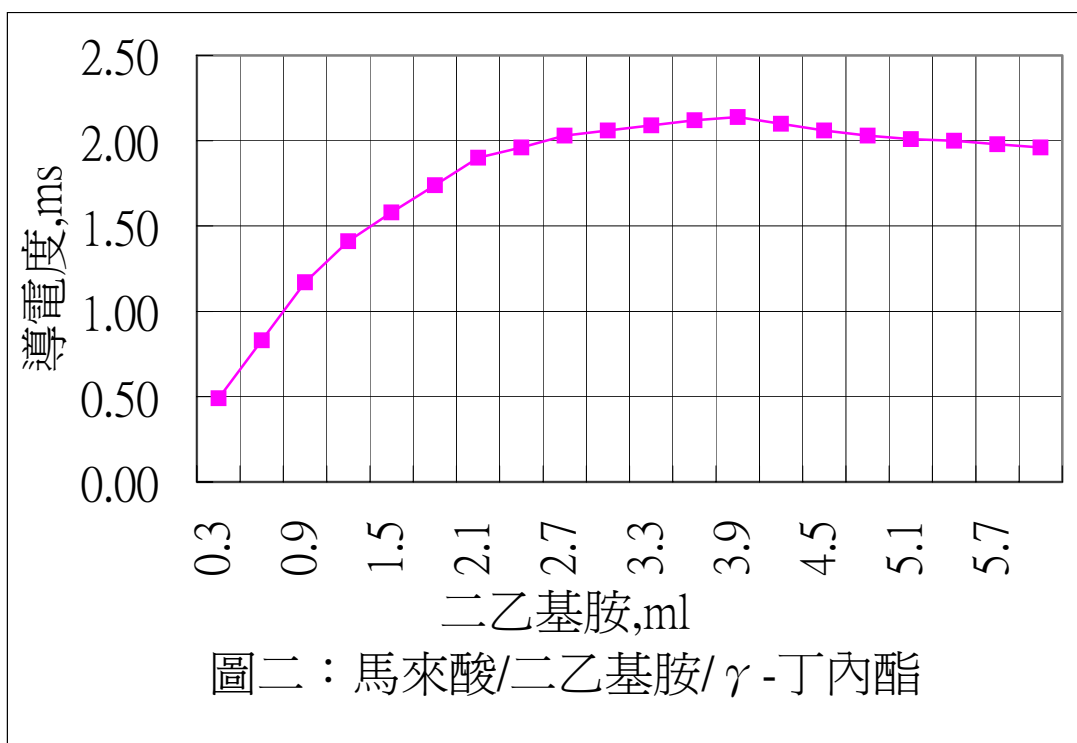
1 克當量酸 = 1.001 克當量鹼，1 克酸 = 0.631 克鹼
(當二乙基胺滴至 4.5ml 導電度為最大 3.39ms 計算)

有機溶劑： γ -丁內酯，150c.c.

溶質：有機酸-馬來酸，5.019g

有機鹼：二乙基胺(固定因子)

二乙基胺，ml	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
導電度，ms	0.49	0.83	1.17	1.41	1.58	1.74	1.90	1.96	2.03	2.06
二乙基胺，ml	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0
導電度，ms	2.09	2.12	2.14	2.10	2.06	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96



1 克當量酸=0.872 克當量鹼，1 克酸= 0.550 克鹼
(當二乙基胺滴至 3.9ml 導電度為最大 2.14ms 計算)

實驗一討論：

1. 在實驗中發現酸難溶於有機溶劑中，與設想不符合，根據“相似溶解相似”的原理，判定兩者為性質相異的物質。
2. 在（實驗一圖一和圖二）中，（發現馬來酸+NMP 溶液）與（馬來酸+ γ -丁內酯溶液）相比較，依照導電度上升代表解離程度越好的原理，導論出馬來酸在 NMP 溶劑中解離程度較好。

實驗二：在不同溶劑中酞酸解離度的探討

實驗步驟

1. 取 150c.c. 的 NMP 和 150c.c. 的 γ -丁內酯分別置入不同燒杯中，並用標籤註明，以視區別。
2. 秤取 5 克的酞酸兩份，分別置入 NMP 和 γ -丁內酯中，攪拌均勻。
3. 將處理好的溶液，置入恆溫裝置中。
4. 使用安全吸球，每次滴定 0.3c.c. 的二乙基胺，攪拌均勻，等到導電度值穩定，記錄其導電值。
5. 當滴定前後的導電度數值增減幅度過小的情況，連續出現，結束實驗。
6. 重複操作 3 次，取平均值。
7. 將平均資料畫成曲線圖。

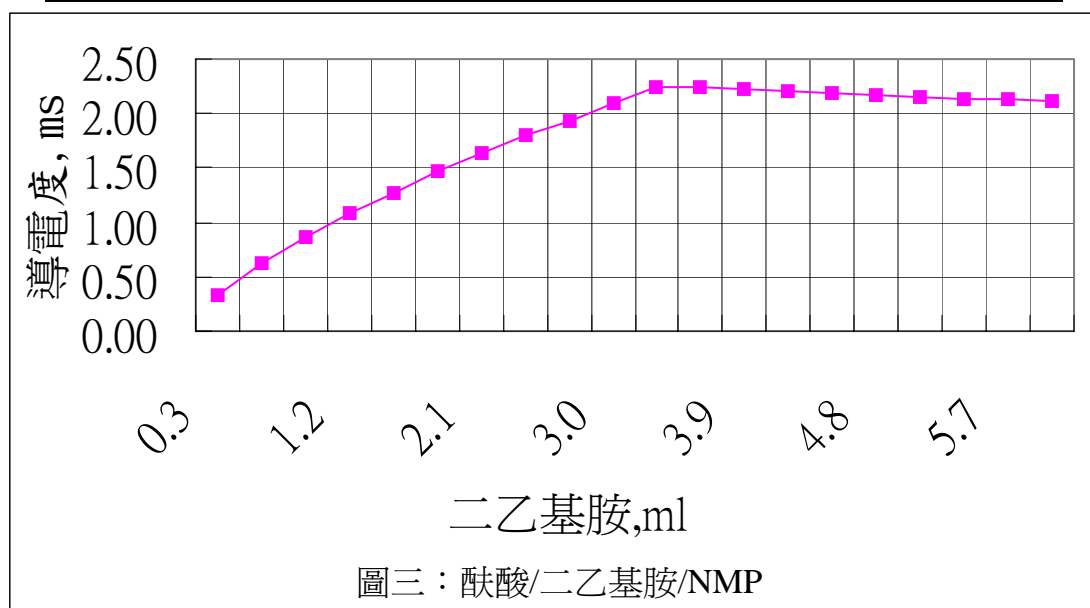
實驗數據

註：記錄數據 = 平均數據

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP)，150c.c.

溶質：有機酸-酞酸，5.019g 有機鹼：二乙基胺(固定因子)

二乙基胺, ml	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
導電度, ms	0.34	0.63	0.86	1.09	1.28	1.47	1.64	1.81	1.93	2.10
二乙基胺, ml	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0
導電度, ms	2.25	2.24	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15	2.14	2.13	2.11



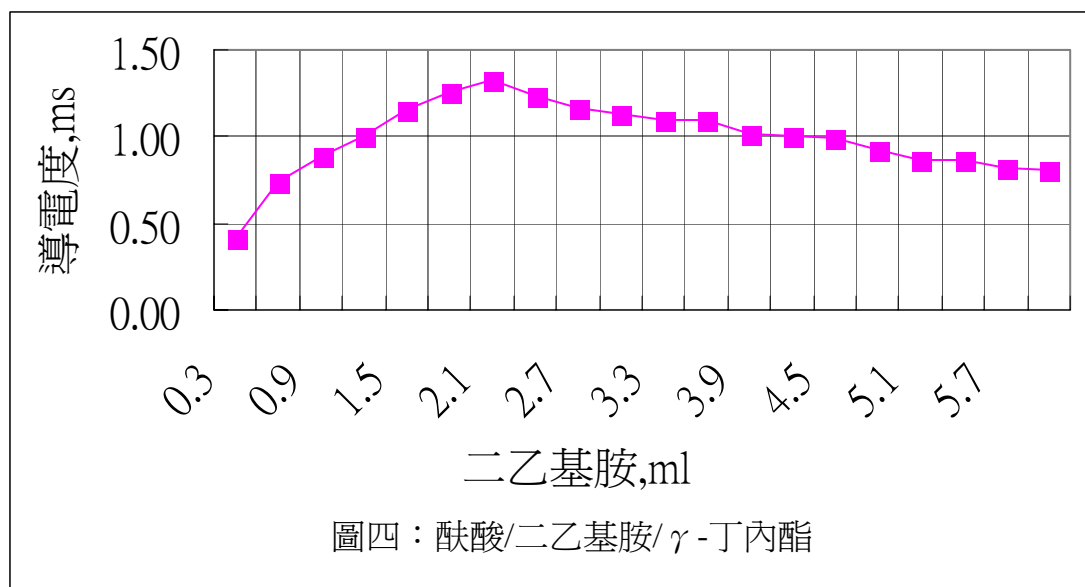
1 克當量酸 = 1.056 克當量鹼，1 克酸 = 0.465 克鹼
(當二乙基胺滴至 3.3ml 導電度為最大 2.25ms 計算)

有機溶劑： γ -丁內酯，100c.c.

溶質：有機酸-酞酸，3.034g

有機鹼：二乙基胺(固定因子)

二乙基胺，ml	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
導電度，ms	0.42	0.74	0.89	1.00	1.15	1.26	1.33	1.23	1.17	1.13
二乙基胺，ml	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	6.0
導電度，ms	1.10	1.10	1.01	1.00	0.99	0.92	0.87	0.86	0.82	0.81



圖四：酞酸/二乙基胺/ γ -丁內酯

1 克當量酸= 1.112 克當量鹼，1 克酸= 0.490 克鹼
(當二乙基胺滴至 2.1ml 導電度為最大 1.33ms 計算)

實驗二討論：

1. 在實驗中發現酸難溶於有機溶劑中，與設想不符合，根據“相似溶解相似”的原理，判定兩者為性質相異的物質。
2. 在（實驗二圖三和圖四）中，發現(酞酸+NMP 溶液)與(酞酸+ γ -丁內酯溶液)相比較，依照導電度上升代表解離程度越好的原理，導論出酞酸在 NMP 溶劑中解離程度較好。

實驗三：不同含水量對於導電度的影響

實驗步驟

1. 任選一組溶液配方，依照達到最高導電度時的百分比配製。
2. 將新配置好的新溶液加入不同百分比的水，攪拌均勻，等到導電度值穩定，記錄其值。
3. 重複操作 3 次，取平均值。
4. 另取馬來酸+NMP+二乙基胺為對照組，重複上述步驟。
5. 畫出兩者平均值的曲線圖。

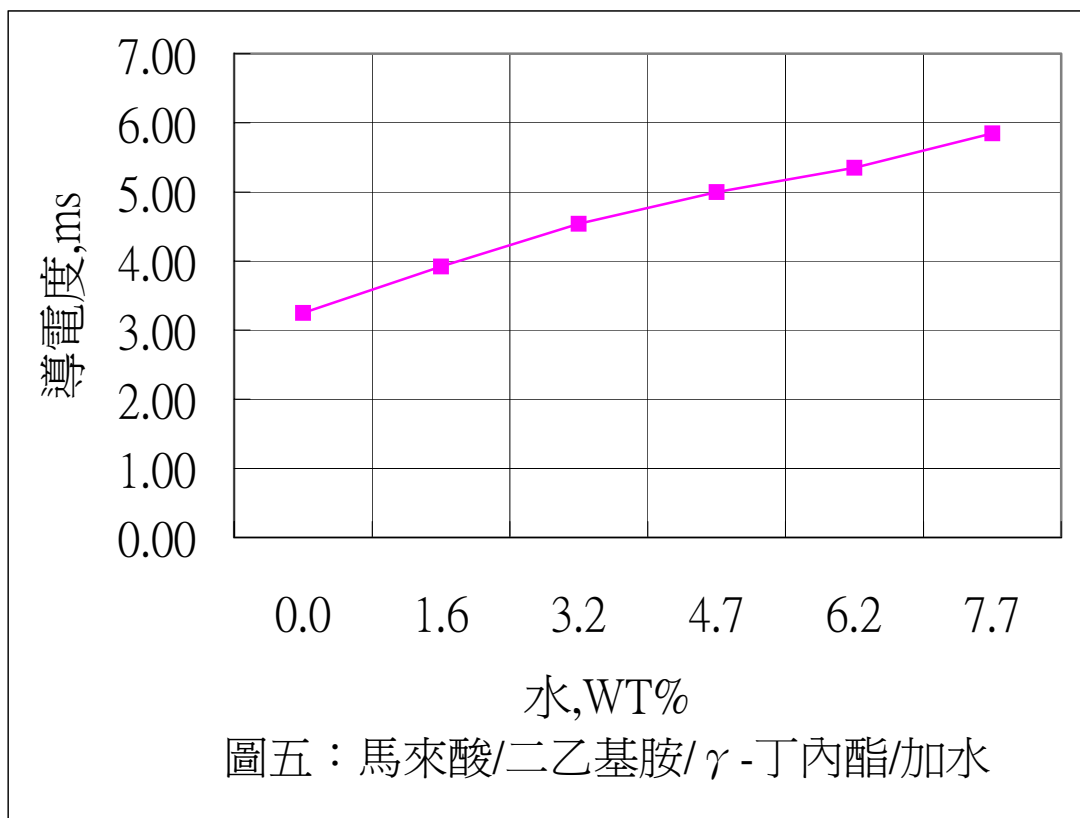
實驗數據

註：記錄數據=平均數據

有機溶劑： γ -丁內酯，100c.c. (表 1 之圖二配方)

溶質：有機酸-馬來酸，5.139g 有機鹼：二乙基胺 3.9c.c 溶質 wt%：6.6

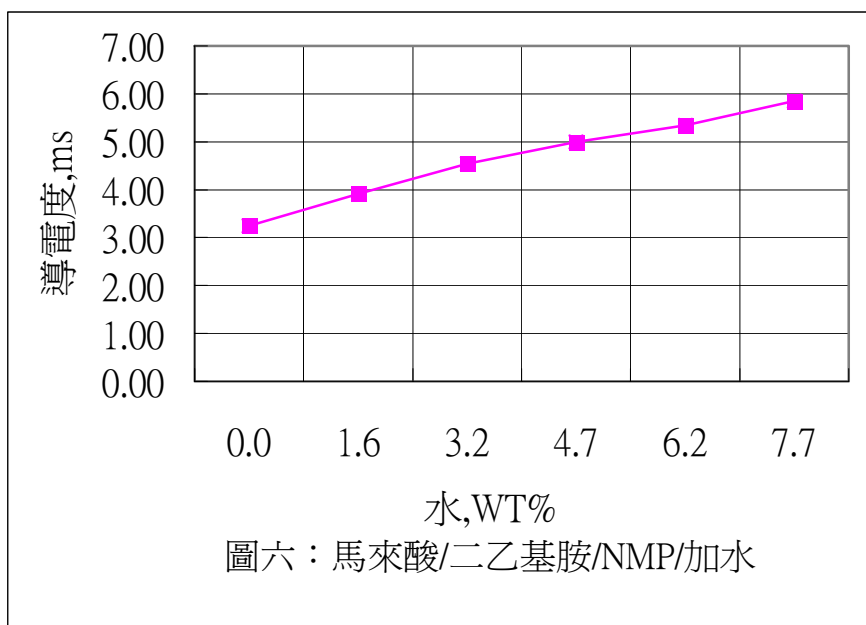
水，%	0.0	1.6	3.2	4.7	6.2	7.7
導電度，ms	3.25	3.92	4.54	5.00	5.35	5.85



有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP) (表 1 之圖一配方)

溶質：有機溶質重量百分比:19.7%

水，%	0.0	9.8	21	27	32
導電度，ms	5.50	6.00	6.26	6.48	6.69



實驗三討論：

- 1.在（實驗三圖五）中，選擇馬來酸+ γ -丁內酯+二乙基胺為範例實驗組，得出導電度與含水量的線性關係式為： $mS=3.363+0.3304*水(\%)$ ，線性關係數：0.99，平均誤差百分比：1.8%。
- 2.在（實驗三圖六）中，選擇馬來酸+NMP+二乙基胺為對照組，得出導電度與含水量的線性關係式為： $ms= 5.56+0.0346*水(\%)$ ，線性相關係數：0.975，平均誤差百分比：0.8%。

實驗四：溶質濃度與導電度的關係

實驗步驟

1. 選出導電度最好的一組。
2. 配置成溶質重量百分比為：50%的溶液。
3. 使用安全吸球，吸取每次 5c.c.的 NMP。
4. 每次加入 5c.c.的 NMP，攪拌均勻。
5. 測量其導電度數值，重複數次，取平均值記錄之。
6. 畫出平均曲線圖。

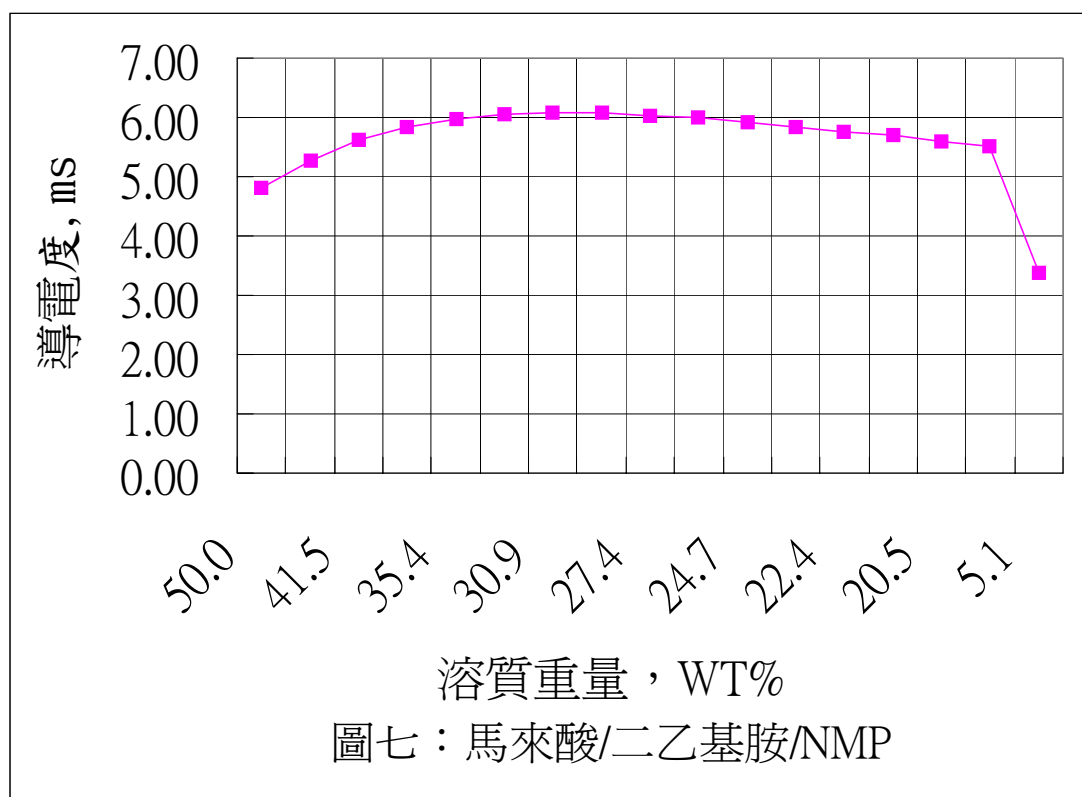
實驗數據

註：記錄數據=平均數據

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP) (表 1 之圖一配方)

溶質：有機溶質(馬來酸+NMP+二乙基胺)重量百分比:50%

溶質重量，%	50.0	45.3	41.5	38.2	35.4	33.0	30.9	29.1	27.4
導電度，ms	4.80	5.27	5.61	5.84	5.97	6.05	6.07	6.07	6.04
溶質重量，%	26.0	24.7	23.5	22.4	21.4	20.5	19.7		5.1
導電度，ms	5.99	5.93	5.84	5.76	5.69	5.60	5.51		3.39



導電度，ms=溶質 wt%/(0.7993+0.1377x溶質 wt%)。

30wt%以下線性相關係數 0.998，平均誤差百分比 0.66%。

註：重量百分比為 5.1%，導電度為 3.39，是由實驗一的記錄數值換算得來。

實驗四討論：

- 1.在(表 1)中，選擇四組中最佳導電度作為範例實驗組(馬來酸+NMP+二乙基胺)，導電度最高出現在溶質重量百分比為 $30 \pm 1\%$ 時。
- 2.在(實驗四圖七)中，重量百分比 0~30% 時，提高濃度會提高導電度的原因，推測是因為粒子與粒子的碰撞機率增加，與[物質科學化學篇\(下\)、第 6 章-化學反應速率、第二節-碰撞學說與反應速率](#)，以及[第三節-影響反應速率的因素、第 2 點-濃度與接觸面積](#)，有類似之處。

實驗五：胺基對於導電度相對貢獻度的關係

實驗步驟

- 1.以三乙基胺替代二乙基胺，依據實驗一至四實驗步驟重複操作
- 2.測量其導電度數值，重複數次，取平均值記錄之。
- 3.畫出平均曲線圖。

實驗數據

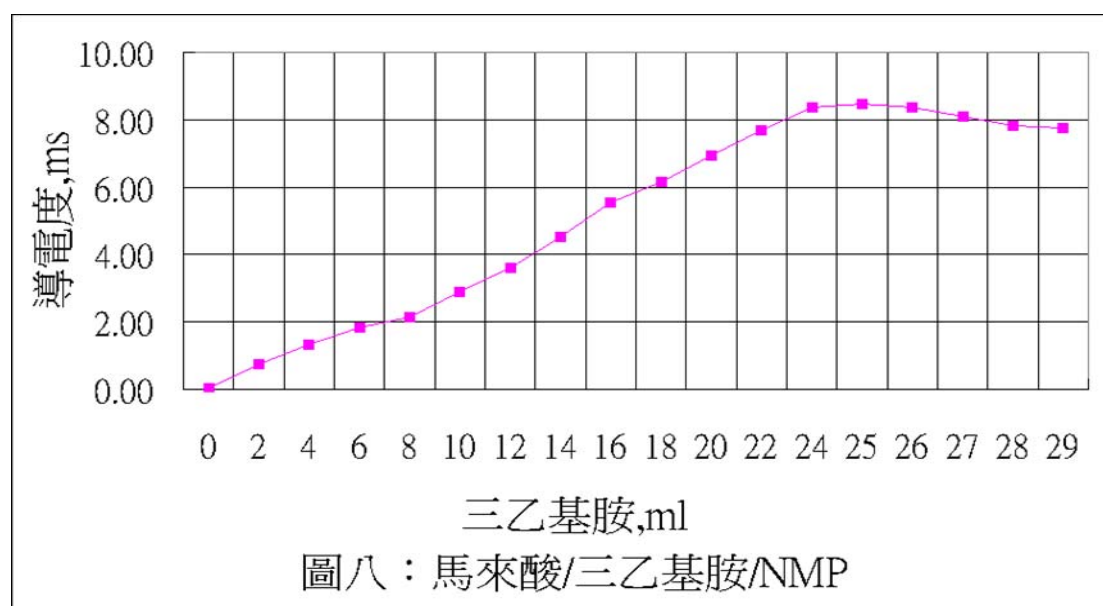
註：記錄數據=平均數據

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP)，50cc

溶質：有機酸：馬來酸，20.063g

有機鹼：三乙基胺 (固定因子)

三乙基胺, ml	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
導電度, ms	0.05	0.76	1.32	1.83	2.15	2.90	3.60	4.51	5.55	6.16
三乙基胺, ml	20	22	24	25	26	27	28	29		
導電度, ms	6.94	7.68	8.38	8.47	8.38	8.11	7.83	7.76		



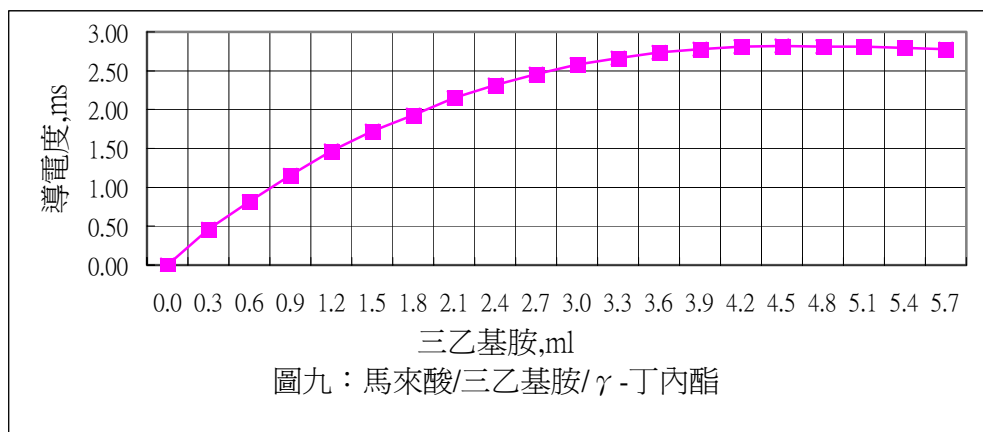
1 克當量酸=1.011 克當量鹼，1 克酸=0.881 克鹼
(當三乙基胺滴至 25ml 導電度為最大 8.47ms 計算)

有機溶劑： γ -丁內酯，100cc

溶質：有機酸：馬來酸，5.117g

有機鹼：三乙基胺（固定因子）

三乙基胺，ml	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
導電度，ms	0.00	0.46	0.82	1.15	1.47	1.72	1.93	2.15	2.32	2.46
三乙基胺，ml	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
導電度，ms	2.58	2.66	2.74	2.78	2.81	2.82	2.81	2.81	2.79	2.78



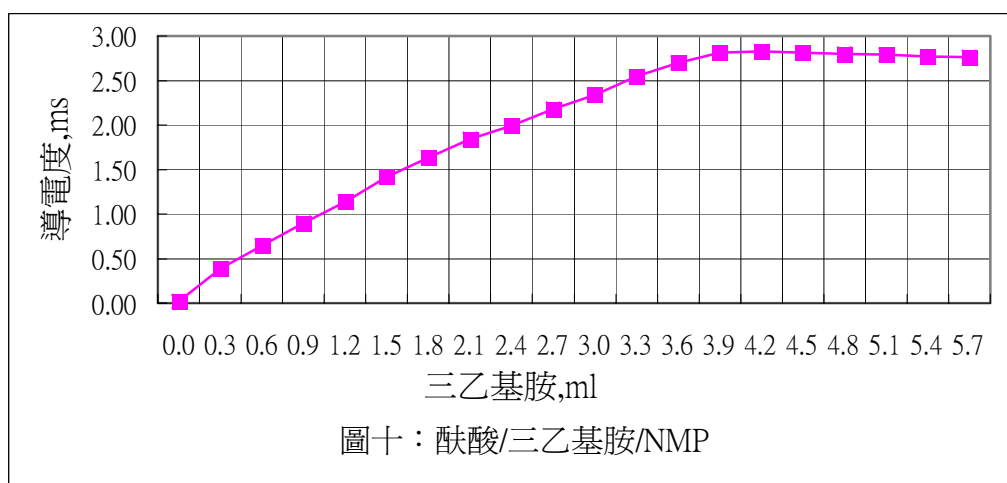
1 克當量酸=0.714 克當量鹼，1 克酸= 0.622 克鹼
 (當三乙基胺滴至 4.5ml 導電度為最大 2.82ms 計算)

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP)，100cc

溶質：有機酸：酞酸，5.032g

有機鹼：三乙基胺（固定因子）

三乙基胺，ml	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
導電度，ms	0.02	0.39	0.65	0.90	1.14	1.42	1.63	1.84	1.99	2.18
三乙基胺，ml	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
導電度，ms	2.42	2.55	2.70	2.81	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.76



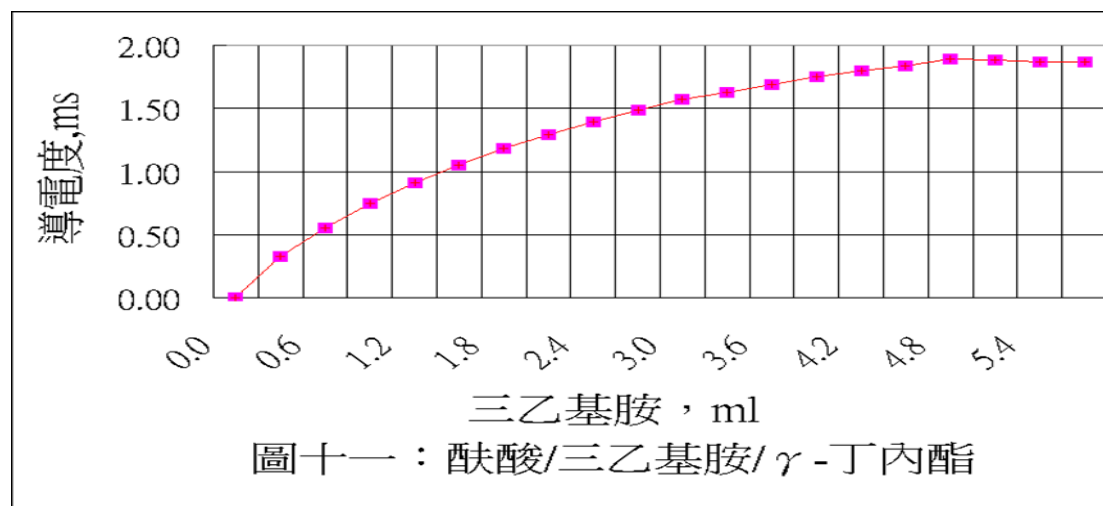
1 克當量酸= 1.000 克當量鹼，1 克酸= 0.609 克鹼
 (當三乙基胺滴至 4.2ml 導電度為最大 2.83ms 計算)

有機溶劑： γ -丁內酯，100cc

溶質：有機酸：酞酸，5.089g

有機鹼：三乙基胺（固定因子）

三乙基胺，ml	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
導電度，ms	0.00	0.33	0.55	0.75	0.91	1.05	1.18	1.29	1.39	1.49
三乙基胺，ml	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
導電度，ms	1.57	1.63	1.69	1.75	1.80	1.84	1.89	1.88	1.87	1.87



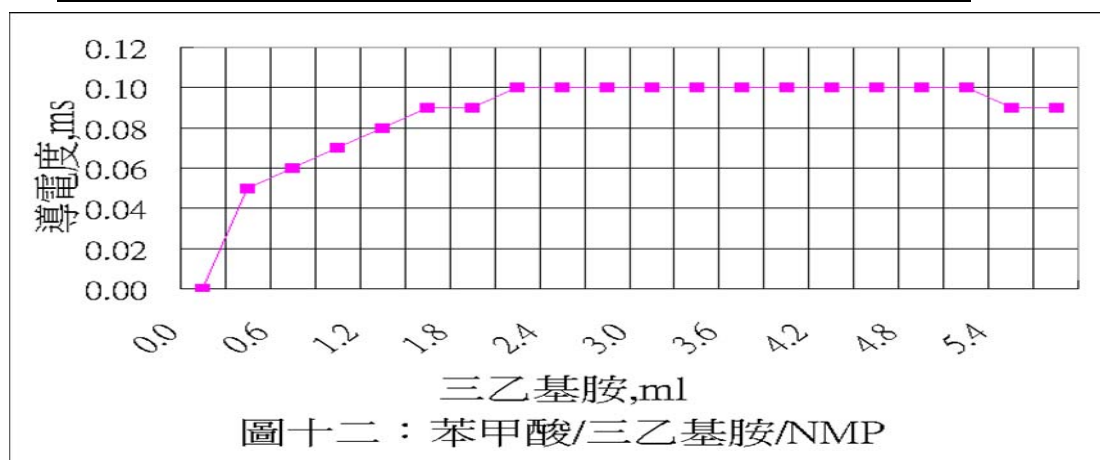
1 克當量酸 = 1.095 克當量鹼，1 克酸 = 0.667 克鹼
 (當三乙基胺滴至 4.8ml 導電度為最大 1.89ms 計算)

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP)，100cc

溶質：有機酸：苯甲酸，3.016g

有機鹼：三乙基胺（固定因子）

三乙基胺，ml	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
導電度，ms	0.00	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
三乙基胺，ml	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
導電度，ms	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09



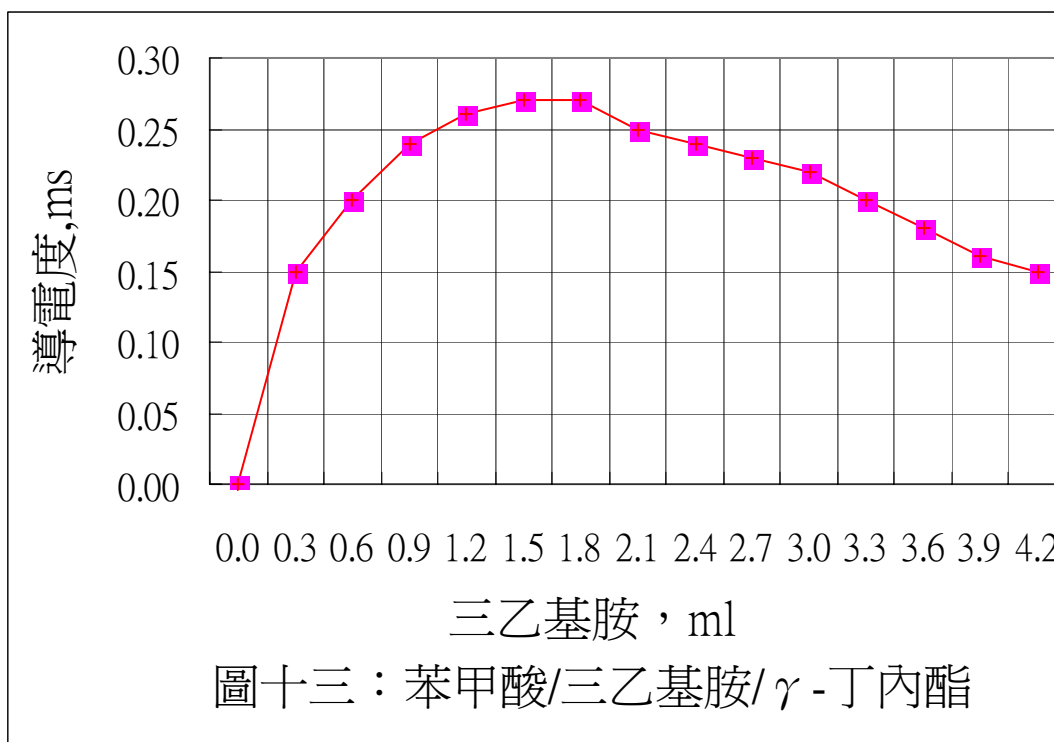
1 克當量酸 = 0.613 克當量鹼，1 克酸 = 0.508 克鹼
 (當三乙基胺滴至 2.1ml 導電度為最大 0.1ms 計算)

有機溶劑： γ -丁內酯，100cc

溶質：有機酸：苯甲酸，3.056g

有機鹼：三乙基胺 (固定因子)

三乙基胺，ml	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
導電度，ms	0.00	0.15	0.20	0.24	0.26	0.27	0.27	0.25	0.24	0.23
三乙基胺，ml	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7
導電度，ms	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09



1 克當量酸=0.419 克當量鹼，1 克酸=0.347 克鹼
(當三乙基胺滴至 1.5ml 導電度為最大 0.27ms 計算)

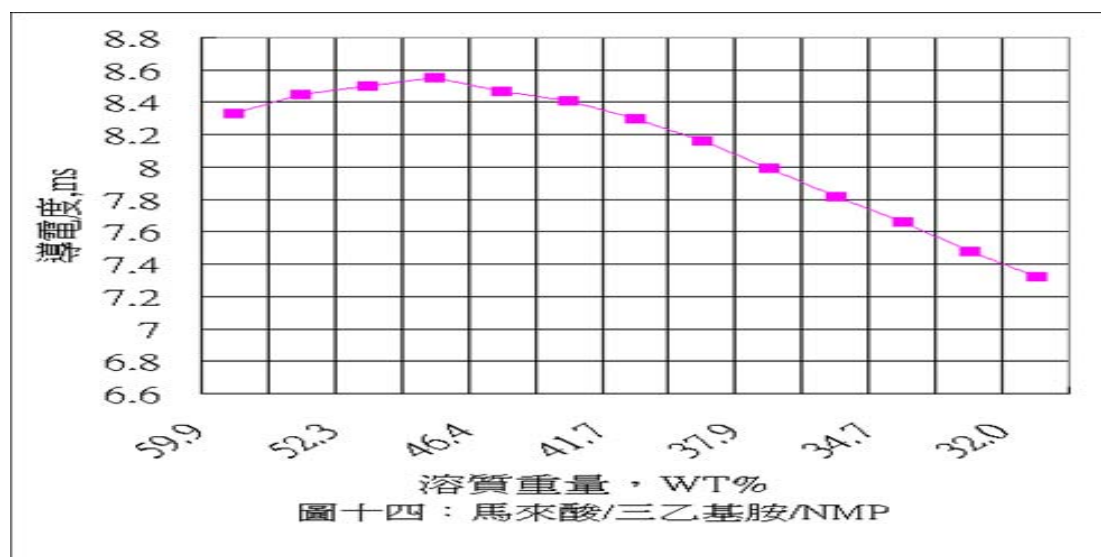
實驗數據

註：記錄數據=平均數據

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP)，20.049g(表 2 之圖 8 配方)

溶質：有機酸：馬來酸，15.648g 有機鹼：三乙基胺，14.350g，溶質，WT%:59.9%

溶質重量，%	59.9	55.9	52.3	49.2	46.4	44.0	41.7	39.7	37.9	36.2	34.7	33.3
導電度，ms	8.33	8.45	8.50	8.55	8.47	8.41	8.30	8.16	7.99	7.82	7.66	7.48



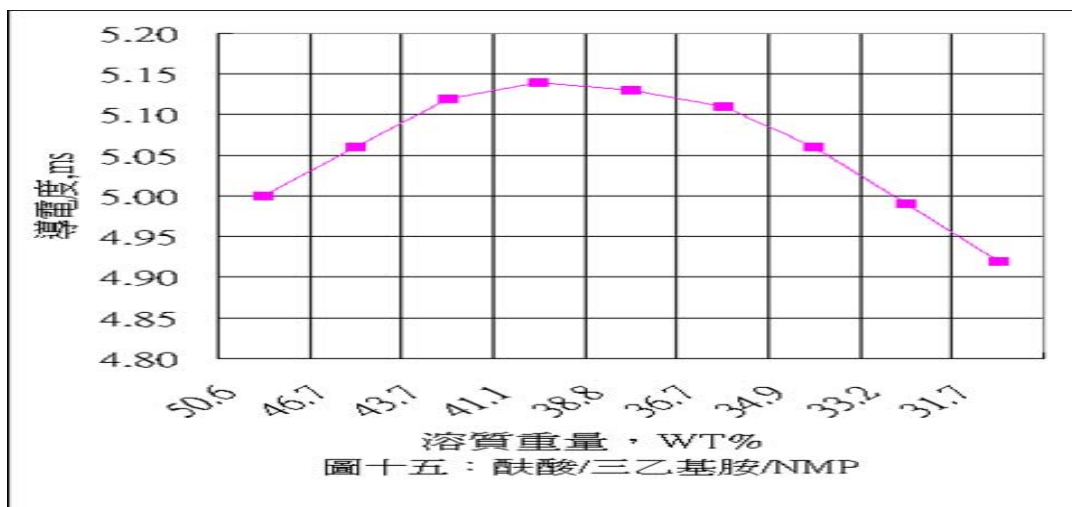
導電度，ms=溶質 wt%/(1.8439+0.0775×溶質 wt%)。

49wt%以下線性相關係數 0.97，平均誤差百分比 0.81%。

有機溶劑：N-甲基吡咯烷酮(NMP)，25.025g(表 2 之圖 9 配方) (圖十四對照組)

溶質：有機酸：酞酸，15.613g 有機鹼：三乙基胺，9.473g，溶質，WT%:50.6%

溶質重量，%	50.6	46.7	43.7	41.1	38.8	36.7	34.9	33.2	31.7
導電度，ms	5.00	5.06	5.12	5.14	5.13	5.11	5.06	4.99	4.92



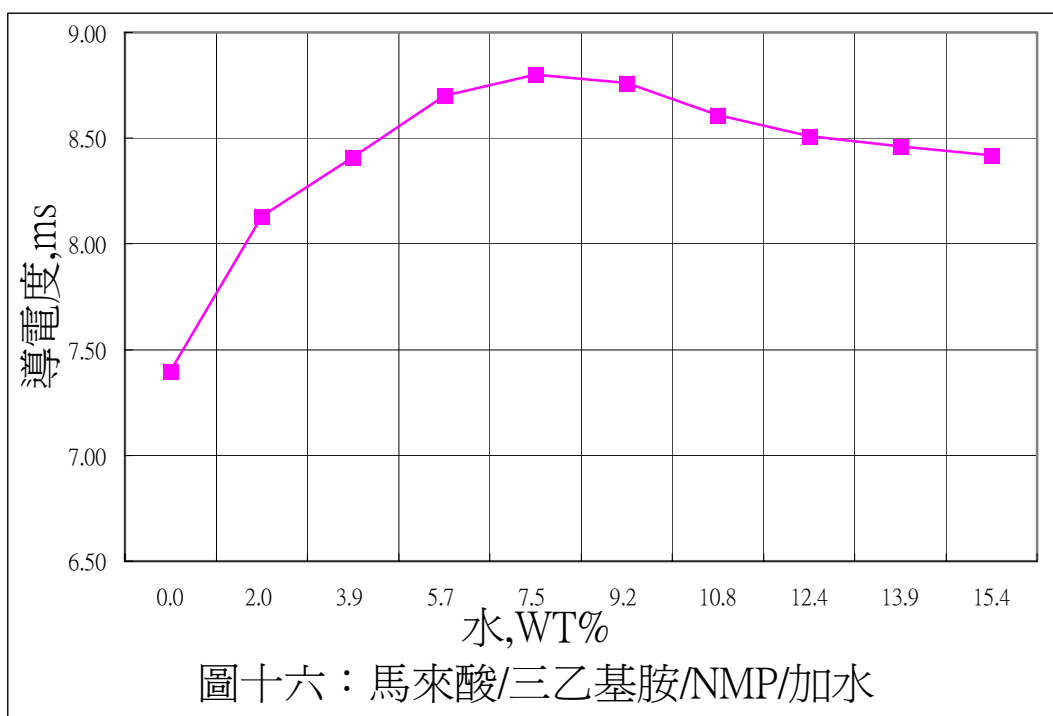
導電度，ms=溶質 wt%/(1.2231+0.1636×溶質 wt%)。

41wt%以下線性相關係數 0.913，平均誤差百分比 0.39%。

有機溶劑：馬來酸/三乙基胺/NMP(表 2 之圖 8 配方)

溶質：溶質 wt，32%

水，wt%	0.0	2.0	3.9	5.7	7.5	9.2	10.8	12.4	13.9	15.4
導電度，ms	7.40	8.13	8.41	8.70	8.80	8.76	8.61	8.51	8.46	8.42



化學品名稱	密度 g/ml,20°C	分子量, g/mole	沸/熔點,°C	介電 常數	PH, 20°C 100g/H ₂ O	圖一	圖二	圖三	圖四
NMP,ml	1.0279	99.13	沸點,202°C	3.3	9	150	--	150	--
γ-BL,ml	1.1254	86.09	沸點,205°C	3.9	4.5	--	150	--	100
馬來酸, g	0.75~0.80	116.07	熔點,132°C	--	--	5.048	5.019	--	--
酞酸,g	0.96	166.13	熔點,206°C	--	--	--	--	5.019	3.034
二乙基胺,ml	0.7275	73.14	沸點,56°C	--	--	4.5	3.9	3.3	2.1
二乙基胺,g	--	--	--	--	--	3.183	2.759	2.334	1.486
1 克當量酸= X 克當量鹼						1.001	0.872	1.056	1.112
1 克酸= X 克鹼						0.631	0.550	0.465	0.490
溶質重量%						5.07	4.40	4.55	3.86
導電度, ms						3.39	2.14	2.25	1.33
溶質 ms/mole						38.96	26.43	36.22	34.48

表 1：物理性質及配方溶質 ms/mole

化學品名稱	密度 g/ml,20°C	分子量, g/mole	沸/熔點,°C	介電 常數	PH, 20°C 100g/H ₂ O	圖八	圖九	圖十	圖士
NMP,ml	1.0279	99.13	沸點,202°C	3.3	9	50	--	100	--
γ-BL,ml	1.1254	86.09	沸點,205°C	3.9	4.5	--	100	--	100
馬來酸, g	0.75~0.80	116.07	熔點,132°C	--	--	20.063	5.117	--	--
酞酸,g	0.96	166.13	熔點,206°C	--	--	--	--	5.032	5.089
三乙基胺,ml	0.7260	101.19	沸點,89°C	--	--	25	4.5	4.2	4.8
三乙基胺,g	--	--	--	--	--	18.188	3.274	3.056	3.492
1 克當量酸= X 克當量鹼						1.040	0.734	0.997	1.127
1 克酸= X 克鹼						0.907	0.640	0.607	0.686
溶質重量%						42.67	6.94	7.29	7.08
導電度, ms						8.47	2.82	2.83	1.89
溶質 ms/mole						24.0	36.89	46.79	29.01

表 2：物理性質及配方溶質 ms/mole

化學品名稱	密度 g/ml, 20°C	分子量 g/mole	沸/熔點, °C	介電常數	PH, 20°C 100g/1H ₂ O	圖十二	圖十三
NMP, ml	1.0279	99.13	沸點, 202°C	3.3	9	100	--
γ-BL, ml	1.1254	86.09	沸點, 205°C	3.9	4.5	--	100
苯甲酸, g	0.500	122.12	熔點, 122°C	--	--	3.016	3.056
三乙基胺, ml	0.7260	101.19	沸點, 89°C	--	--	2.1	1.5
三乙基胺, g	--	--	--	--	--	1.528	1.091
1 克當量酸= X 克當量鹼						0.611	0.431
1 克酸= X 克鹼						0.507	0.357
溶質重量%						4.23	3.55
導電度, ms						0.1	0.27
溶質 ms/mole						2.51	7.54

表 2-1：物理性質及配方溶質 ms/mole

馬來酸 /NMP	酞酸 /NMP	馬來酸 /γ-BL	酞酸 /γ-BL	備註
38.96	36.22	26.43	34.48	在二乙基胺下溶質 ms/mole
24.0	46.79	36.89	29.01	在三乙基胺下溶質 ms/mole
0.62	1.29	1.40	0.84	三乙基胺/二乙基胺的導電度比值平均為 1.04

表 3：三乙基胺/二乙基胺的導電度比值

In NMP	In γ-BL	平均	備註
38.96/36.22=1.08	26.43/34.48=0.77	0.93	馬來酸/酞酸，at 二乙基胺
24.0/46.79=0.51	36.89/29.01=1.27	0.89	馬來酸/酞酸，at 三乙基胺
2.51/46.79=0.05	7.54/29.01=0.26	0.16	苯甲酸/酞酸，at 三乙基胺

表 4：相同溶劑下酸的溶質 ms/mole 比值

In 馬來酸	In 酞酸	平均	備註
38.96/26.43=1.47	36.22/34.48=1.05	1.26	NMP/γ-BL，at 二乙基胺
24.0/36.89=0.65	46.79/29.01=1.61	1.13	NMP/γ-BL，at 三乙基胺

表 5：相同酸下溶劑的溶質 ms/mole 比值

整體實驗討論：

- 1.在相同的有機溶劑，不同的有機酸相互比較如表 1 中(圖一和圖三，圖二和圖四)，表 2 中(圖十和圖十一)，馬來酸有較高的導電度值，可能原因是酸類解離常數(Ka)：馬來酸(1.2×10^{-2}) > 酞酸(1.2×10^{-3}) > 苯甲酸(6.3×10^{-5})。
- 2.發現當有機鹼與有機酸達到“當量點”時，有最高的導電度，此時應為最佳化的導電介質濃度；不足或過量時，導電度較低。
- 3.在(實驗一圖一)結束後，把(馬來酸+NMP+二乙基胺)溶液放在加熱攪拌器上加熱，意外發現在 28°C 時，每上升 0.1°C，導電度上升 0.01mS；在超過 30°C 以後，每上升 0.5°C，導電度上升 0.01mS；但是當溫度超過 40°C 以後，導電度卻開始下降。根據物質科學化學篇(下)、第 6 章-化學反應速率、第三節-影響反應速率的因素、第 3 點-溫度，認為溫度使得超過低能限的分子增加，使得有機鹼和有機酸更容易結合成分子電容結構，另外推論溫度也能使電子傳遞速率上升。超過 40°C 以後，導電度下降的原因，應該是溫度接近二乙基胺的沸點(二乙基胺沸點：56°C)，於是使部分二乙基胺揮發，拆散部分的分子電容結構，導致導電度下降，根據上述原理，推出過 40°C 以後電容量也會跟著下降。
- 4.依表 1 及表 2 中選取導電度最高者為馬來酸/NMP 在二乙基胺為 3.39ms(表 1 之圖一配方)，在三乙基胺為 8.47ms(表 2 之圖八配方)執行溶質重量百分比與導電度的相關性試驗，採用對照組為酞酸/NMP/三乙基胺(表 2 之圖九配方)。
- 5.從圖七及圖十四得到的線性相關為：
馬來酸/NMP/二乙基胺：導電度，ms=溶質 wt%/(0.7993+0.1377x溶質 wt%)，在圖七 30wt%以下時線性相關係數 0.998，平均誤差百分比 0.66%。
馬來酸/NMP/三乙基胺：導電度，ms=溶質 wt%/(1.8439+0.0775x溶質 wt%)，在圖十四 49wt%以下線性相關係數 0.97，平均誤差百分比 0.81%。

柒、總結：

一、胺基對於導電度的相對貢獻度：

在表三中溶質 ms/mole 基礎下比較，僅改變胺基時，得到貢獻度(三級胺/二級胺)比值平均為 1.04，與胺基在極性溶劑中其鹼性強度大小：三級胺 > 二級胺 > 一級胺的理論相符，故前述論點也適用在導電度的表徵上。

二、有機酸解離度對於導電度的相對貢獻度：

在相同的有機溶劑，不同的有機酸相互比較如表 1 中(圖一和圖三，圖二和圖四)，表 2 中(圖十和圖十一)，馬來酸有較高的導電度值，可能原因是酸類解離常數(Ka)：馬來酸(1.2×10^{-2}) > 酞酸(1.2×10^{-3}) > 苯甲酸(6.3×10^{-5})理論相符，故前述論點也適用在導電度的表徵上。

三、溶劑對於導電度的相對貢獻度：

在表五中，相同溶質ms/mole基礎下比較，僅改變溶劑時，得到NMP > γ -丁內酯，與其酸鹼性強度大小[pH(100g/L-H₂O,20°C)時]：NMP > γ -丁內酯相符，故溶劑酸鹼性強度愈大者對導電度有正面的影響。

四、溶質 ms/mole 比值顯著性差異狀況：(本項的差異性應用值得另案探討)

在表四溶質 ms/mole 基礎下比較馬來酸/酞酸，使用二乙基胺在溶劑 γ -BL 較 NMP 有顯著性差異，使用三乙基胺在溶劑 NMP 較 γ -BL 有顯著性差異。

表五溶質 ms/mole 基礎下比較 NMP/ γ -BL 使用二乙基胺時，馬來酸較酞酸有顯著性差異，使用三乙基胺在酞酸較馬來酸有顯著性差異。

五、綜合以上述論點與溶質莫耳導電度最高者為本研究選取主要配方的依據，配方一：馬來酸/NMP/二乙基胺最高的導電度為 6.07ms，溶質為 30 ±1wt%(如圖七)；配方二：馬來酸/NMP/三乙基胺最高導電度為 8.55ms，溶質為 49wt%(如圖十四)。

六、對照圖十四和圖十五發現溶質 ms/mole 不能當做篩選配方唯一的依據。

未來研究的方向：

政府為節省能源，已於 9 2 年公告實施照明用日光燈具必需加裝一只電容器為製造日光燈具的標準配件之一，所以消費市場非常廣闊，故本研究應朝提高導電度的配方繼續努力。

捌、附註：

分子電容器的原理：

電容器大致上可分為：薄膜電容器、塑膠電容器、積層陶瓷電容器以及鋁式電容器。這次實驗的主題-分子電容器即為“鋁式電容器”的一種，其最大的特徵在於通電後，分子依電極整齊排列，宛若另類的極板，故有分子電容器之稱。分子電容器具有漏電率小、壽命長、單位電量成本低等優點。而在分子電容器中又可以分成水性及油性兩種，其中的差別整理如下：

A.水性電容器與油性電容器的區分：

(1) 水性：

- 1.電解液的溶劑係由乙二醇所組成者。
- 2.一般製作成電容器後使用壽命 ≤ 1000 小時者。

(附註：電解液的溶劑若非由乙二醇所組成，但使用壽命 ≤ 1000 小時者亦屬於水性電容器)

(2) 油性：

- 1.電解液的溶劑係由非乙二醇所組成者
- 2.一般製作成電容器後使用壽命 ≥ 3000 小時者

B.油性電容器與水性分子電容的比較

(1)壽命較長

(2)成本低(附註：油性分子電容使用壽命增加3倍，成本僅增加一半)

(3)耐高溫(附註：水性分子電容器因為含水量 $\geq 10\%$ ，故沸點低；這也是壽命較短的原因)

(4)漏電率小

(5)經濟價值高

C.電容器之基本結構概述：

(1)由含浸過電解液的牛皮紙包捲鋁箔而成。(詳見附圖)

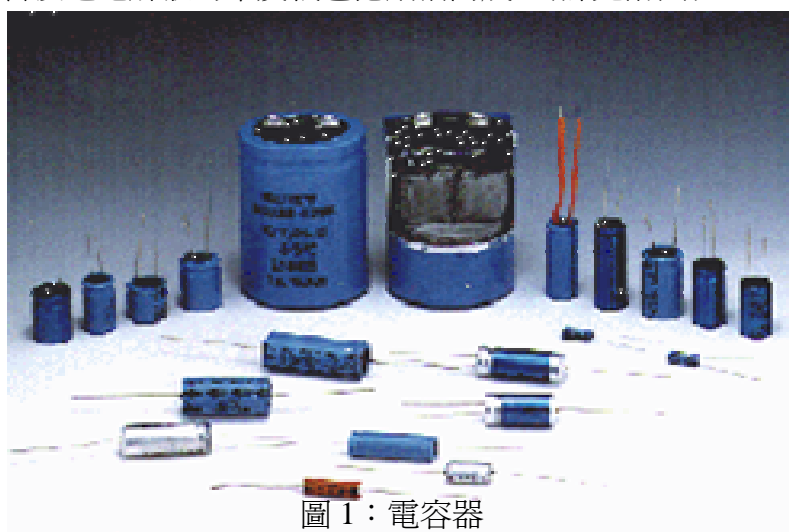
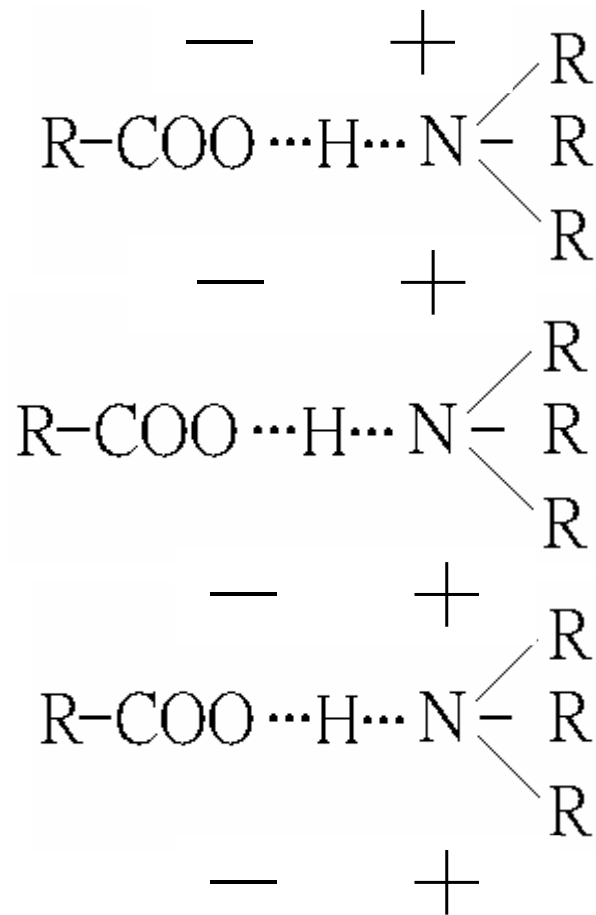


圖 1：電容器

(2)分子電容結構示意圖：



玖、參考資料：

- 1.工研院,研討會,1999年03月18日,題目：片式鋁電解電容器
- 2.毛光興,儀器分析,第一版,幼獅編譯中心,P.1675,附錄C 酸類解離常數,附錄D 鹼解離常數
- 3.翁春和,基礎化學(全),南一書局,P.109-120
- 4.梁中鏢,2003年06月16日,淺談電容濾波用電解電容,
<http://www.acanddc.com/word4.htm>
- 5.楊寶旺,物質科學化學篇(下),龍騰文化事業股份有限公司,P.11-19

酸類解離常數表(附件)

英文名稱	中文名稱	Ka(u=0)	Pka	英文名稱	中文名稱	Ka(u=0)	Pka
Acetic	醋酸	1.74*10 ⁻⁵	4.76	K ₃		1.51*10 ⁻⁹	8.82
Ammonium ion	銨離子	5.6*10 ⁻¹⁰	9.25	K ₄		3.24*10 ⁻¹⁰	9.49
Arsenic	砷酸			Formic	甲酸	1.70*10 ⁻⁴	3.77
K ₁		6.5*10 ⁻³	2.19	Fumaric K ₁	反丁烯二酸	9.6*10 ⁻⁴	3.02
K ₂		1.3*10 ⁻¹²	6.89	K ₂		4.1*10 ⁻⁵	4.39
K ₃		3.1*10 ⁻¹²	11.51	Hydrogen cyanide	氰酸	4.9*10 ⁻¹⁰	9.31
Benzoic	苯甲酸	6.3*10 ⁻⁵	4.21	Hydrogen fluoride	氟酸	4.9*10 ⁻¹⁰	3.17
Boric	硼酸	5.9*10 ⁻¹⁰	9.23	Hydrogen peroxide	過氧化氫	1.8*10 ⁻¹²	11.8
Bromoacetic	溴乙酸	1.2*10 ⁻³	2.89	Hydrogen sulfide	硫化氫		
Butyric	丁酸	1.6*10 ⁻⁵	4.81	K ₁		1*10 ⁻⁷	7.00
Carbonic	碳酸			K ₂		1.3*10 ⁻¹³	12.9
K ₁		4.3*10 ⁻⁷	6.37	Hypochlorous	次氯酸	3.2*10 ⁻⁸	7.50
K ₂		4.8*10 ⁻¹¹	10.32	Iodic	碘酸	1.67*10 ⁻¹	0.80
Chloroacetic	氯乙酸	1.4*10 ⁻³	2.86	Lactic	乳酸	1.32*10 ⁻⁴	3.88
o-Chlorobenzoic	鄰-氯苯甲酸	1.1*10 ⁻³	2.96	Maleic	順丁烯二酸		
m-Chlorobenzoic	間-氯苯甲酸	6.1*10 ⁻⁴	3.22	K ₁		1.2*10 ⁻²	1.92
p-Chlorobenzoic	對-氯苯甲酸	1.03*10 ⁻⁴	3.99	K ₂		6.0*10 ⁻⁷	6.22
Citric acid K ₁	檸檬酸	8.0*10 ⁻⁴	3.10	Malonic	丙二酸		
K ₂		1.6*10 ⁻⁵	4.80	K ₁		1.4*10 ⁻³	2.85
Dichloroacetic	二氯乙酸	5.5*10 ⁻²	1.26	K ₂		2.2*10 ⁻⁶	5.66
Diethylenetriaminepentaacetic acid(DTPA)				Nitritotriacetic			
K ₁		8.3*10 ⁻³	2.08	K ₁		1.3*10 ⁻²	1.90
K ₂		3.9*10 ⁻³	2.41	K ₂		3.2*10 ⁻³	2.49
K ₃		5.4*10 ⁻⁵	4.27	K ₃		1.9*10 ⁻¹⁰	9.73
K ₄		2.5*10 ⁻⁹	8.60	Nitrous	亞硝酸	5.1*10 ⁻⁴	3.30
K ₅		2.5*10 ⁻¹¹	10.6	Oxalic	草酸		
Ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA)				K ₁		8.8*10 ⁻²	1.05
K ₁		8.5*10 ⁻³	2.07	K ₂		5.1*10 ⁻⁵	4.30
K ₂		1.8*10 ⁻³	2.75	Periodic	過碘酸	2.3*10 ⁻²	1.64
K ₃		5.8*10 ⁻⁷	6.24	Phenol	石碳酸	1.4*10 ⁻¹⁰	9.85
K ₄		4.6*10 ⁻¹¹	10.64	Phosphoric	磷酸		
Ethyletherdiaminetetraacetic acid(EEDTA)				K ₁		7.5*10 ⁻³	2.12
K ₁		1.26*10 ⁻²	1.90	K ₂		6.2*10 ⁻⁸	7.21
K ₂		2.14*10 ⁻³	2.67	K ₃		4.8*10 ⁻¹³	12.32

Phthalic	酞酸			K ₂		5.1*10 ⁻⁶	5.30
K ₁		1.2*10 ⁻³	2.92	Sulfanilic	磺酸	6.4*10 ⁻⁴	3.20
K ₂		3.9*10 ⁻⁶	5.41	Sulfurous	亞硫酸		
Picric	苦味酸	4.1*10 ⁻¹	0.39	K ₁		1.3*10 ⁻²	1.88
Propionic	丙酸	1.34*10 ⁻⁵	4.87	K ₂		6.3*10 ⁻⁸	7.20
Salicylic	水楊酸			Tartaric	酒石酸		
K ₁		1.05*10 ⁻³	2.98	K ₁		9.1*10 ⁻⁴	4.04
K ₂		7.3*10 ⁻¹⁴	13.2	K ₂		4.3*10 ⁻⁵	4.37
Succinic	丁二酸			Trichloroacetic	三氯醋酸	2.2*10 ⁻¹	0.66
K ₁		8.1*10 ⁻⁵	4.10	Sulfanilic	磺酸	6.4*10 ⁻⁴	3.20

鹼類解離常數表(附件)

英文名稱	中文名稱	Kb(u=0)	Pkb	英文名稱	中文名稱	Kb(u=0)	Pkb
Ammonia	氨	1.78*10 ⁻⁵	4.75	Pyridine	吡啶	1.5*10 ⁻⁹	8.83
Aniline	苯胺	4.2*10 ⁻¹⁰	9.38	tris(hydroxymethyl) aminomethane		1.26*10 ⁻⁶	5.90
Ethanolamine	乙醇胺	2.8*10 ⁻⁵	4.55	Triethanolamine	三乙醇胺	6.6*10 ⁻⁷	6.18
Ethylenediamine 乙二胺				Triethylenetetraamine 三乙四胺			
K ₁		1.28*10 ⁻⁴	3.90	K ₁		1*10 ⁻⁴	4.00
K ₂		2.0*10 ⁻⁷	6.70	K ₂		1.9*10 ⁻⁵	4.72
Glycine	氨基醋酸	2.2*10 ⁻¹²	11.7	K ₃		5.6*10 ⁻⁸	7.25
Hydrazine	肼	1.0*10 ⁻⁶	6.00	K ₄		2.5*10 ⁻¹¹	10.6
Hydroxylamine	羥胺	1.23*10 ⁻⁸	7.90	Urea	脲	1.5*10 ⁻¹⁴	13.8

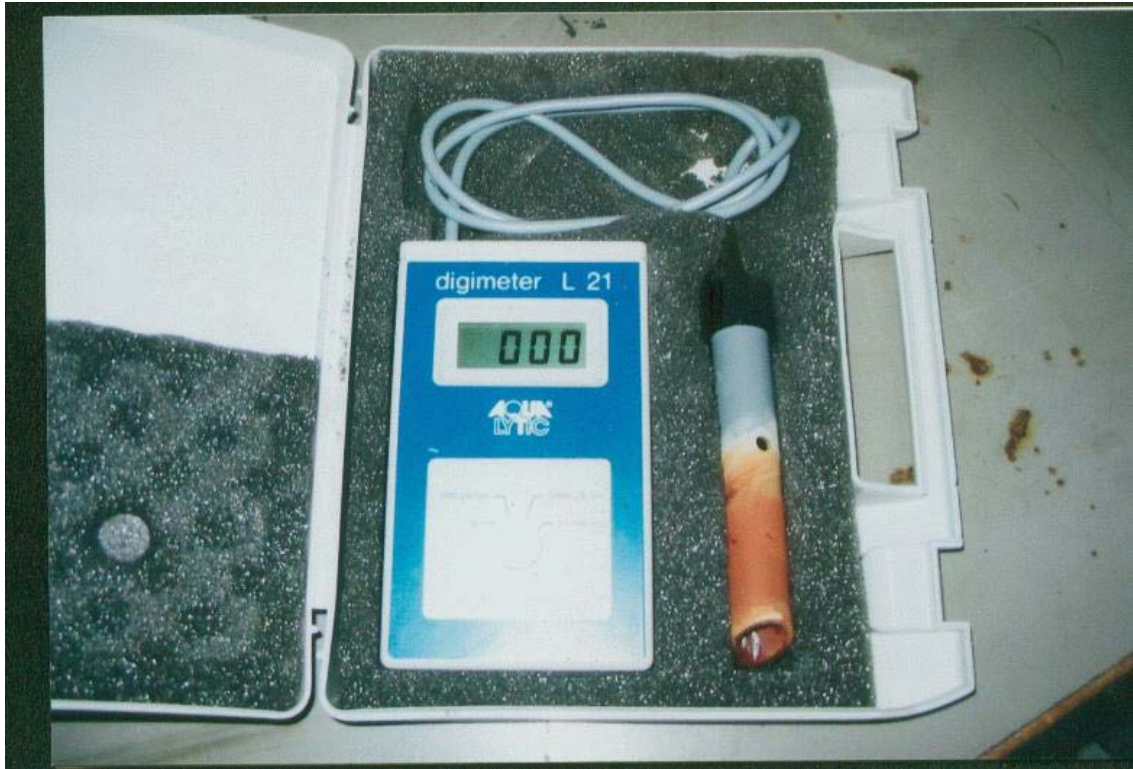
一步一腳印，我們的痕跡，我們的果實



實驗前的準備：防護眼鏡，防護手套，防毒面具。
全套防護做的好，安全實驗沒煩惱！



藥品展示



導電度計



隔熱裝置

評語

040202 高中組化學科 第一名

分子電容器的電解液研究

1. 構想很好。
2. 解釋清楚。