

【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂作品舉例】

高中職組 成果報告表單

題目名稱：電解質水溶液的未接來電

一、摘要：

我們以 TDS 水質檢測筆測量四種氯化鹽類的在不同濃度下的導電度，研究後發現在低濃度時(0.1M 以下)其導電度與濃度有線性正相關的關係，而在高濃度時(0.5M 以上)由於離子數量過多阻礙了離子遷移，使得導電度呈現停滯的狀況。另外在高濃度時(0.1M 以上)，莫耳導電度隨著濃度增加而減小，並且與濃度倒數有線性正相關的關係。在 0.005M 時，當陰離子相同陽離子不同時，價數越高之陽離子其莫耳導電度越高。而離子半徑越小之陽離子其莫耳導電度越高。

二、探究題目與動機

在學校的自然科探究與實作課程中，我們利用 TDS 水質檢測計測量了電解質溶液的導電度並加以研究，想要了解溶液濃度和導電度之間的關係。其中我們發現導電度與濃度之間有特殊變化，深入探討及探查文獻後，我們發現導電度的變化與很多原因有關，我們決定深入探討不同濃度與不同電解質對溶液導電度的影響。

三、探究目的與假設

- (一) 導電度可用來表示水溶液的導電能力。導電能力和溶液中離子之有無、離子之濃度、活性、價數及離子間之相對濃度有關，和溶液的溫度也有關係。導電度其實是電阻的倒數，若採用 SI 單位則為 S/m (S : Siemens , 西門子) 。
- (二) 莫耳導電度是指把含有 1mol 電解質的溶液置於相距為單位距離的電導池的兩個平行電極之間，這時所具有的導電度。為於對不同類型的電解質進行導電能力的比較，我們可以選擇莫耳導電度，因為這時不但電解質有相同的量，而且電極間距離也都是單位距離。
- (三) 根據以上對導電度的了解，我們訂定研究目的如下：
1. 定溫下，研究可溶性鹽類水溶液之濃度與導電度的關係
 2. 定溫定濃度下，研究可溶性鹽類種類與導電度的關係
- (四) 而在實驗前，我們對於上述研究目的也有先進行假設
1. 當電解質濃度越大表示水溶液中離子越多，所以導電度與濃度可能有正相關的關係
 2. 可溶性鹽類的種類主要影響為離子電荷與離子半徑，可能也會影響導電度

四、實驗流程及探究

(一) TDS 水質檢測筆

TDS 是 total dissolved solids 的縮寫，中文是：「溶解性總固體」，測量單位為毫克/升 (mg/L)，它可以表示 1 升水中含有多少毫克溶解性固體，包括可溶性鹽類、離子型有機物、部分重金屬離子。其測量原理很是通過檢測筆兩端的電極，檢測水的導電度來判斷水的 TDS 值，導電性越好，表示水中的「雜」質越多，TDS 值越高；導電性越差，表示水中的「雜」質越少，TDS 值越低。但是 TDS 檢測筆無法反映水中有害重金屬離子濃度，至於水中細菌、有機物濃度、亞硝酸鹽濃度、有沒有農藥殘留都無法通過 TDS 進行測量。



(二) 實驗步驟：

1. 配製濃度為 4M 的氯化鈉水溶液，並持續將溶液稀釋到以下濃度 2M、1M、0.5M、0.1M、0.05M、0.01M、0.005M、0.001M
2. 使用 TDS 水質檢測器依序測量溶液導電度，並記錄下來。
3. 將鹽類替換成氯化鉀、氯化鈣、氯化鎂，重複上述步驟。

(三) 實驗結果與討論

1. 氯化鹽類的濃度與導電度關係

表 1：實驗測量數據(導電度單位 (μS/CM))

	4M	2M	1M	0.5M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M	0.001M
氯化鈣	14506	14660	14636	14590	8806	5054	779	730	81.3
氯化鎂	12470	12763	12296	12056	8184	6167	2275	892	142
氯化鈉	14620	14343	14523	14400	9464	5044	816	350	88
氯化鉀	14523	14630	14630	14050	6758	3278	508	238	56

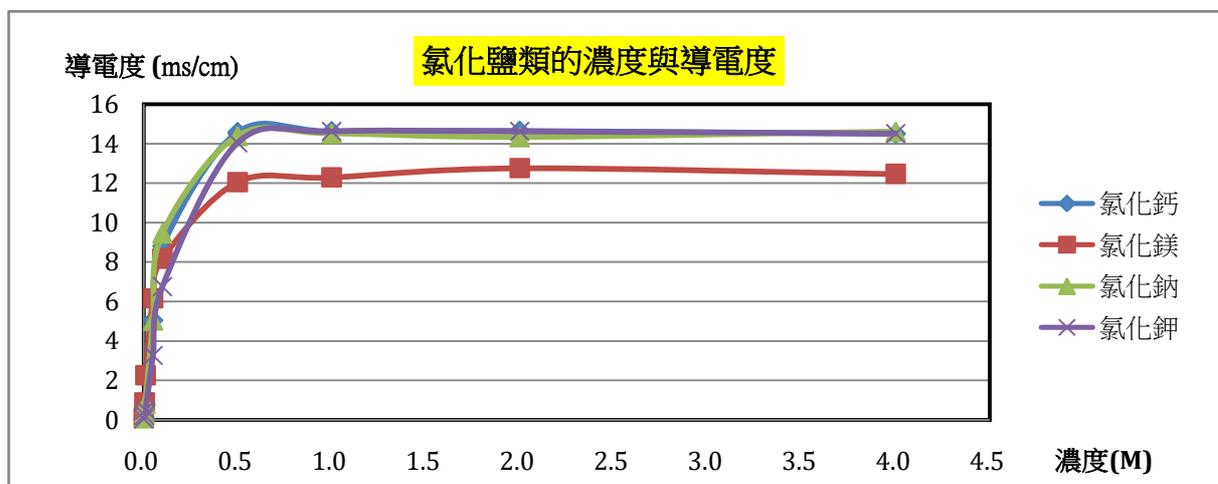


圖 1：氯化鹽類的濃度與導電度之關係圖

由圖 1 我們可以看出導電度在濃度 0.5M 以下有隨著濃度增加而增加的趨勢，但是從 0.5M 以上至 4M 時，導電度的變化已經趨於平緩，這是因為電解質的導電度在低濃度的情況下因為導電粒子數增加了使得導電度增加，但是在高濃度時，在溶液中的粒子數會呈現出擁擠的狀態，反而使得離子的流動受到阻礙，因此導電率就呈現停滯的狀況。

2.我們另外將圖 1 中的低濃度區(0.001M~0.1M)進行作圖分析，從圖 2 可以看出低濃度區中，四種氯化鹽類的濃度與導電度有線性關係的趨勢

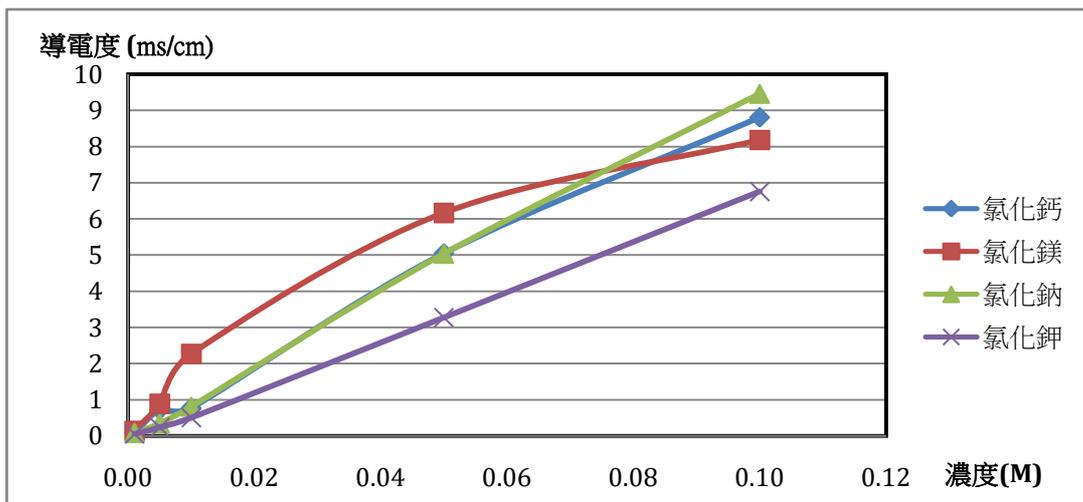


圖 2、氯化鹽類的濃度與導電度之關係圖(低濃度區)

3.因為想要了解低濃度區中，各鹽類濃度與導電度的關係，我們將氯化鈉的數據獨立作圖分析，並做線性趨勢線，由圖 3 可以發現 R^2 達到 0.998，顯示氯化鈉溶液在低濃度區的濃度與導電度有接近線性正相關的關係，因此在濃度 0.1M 以下，可以藉由導電度的測量推算氯化鈉溶液的濃度。

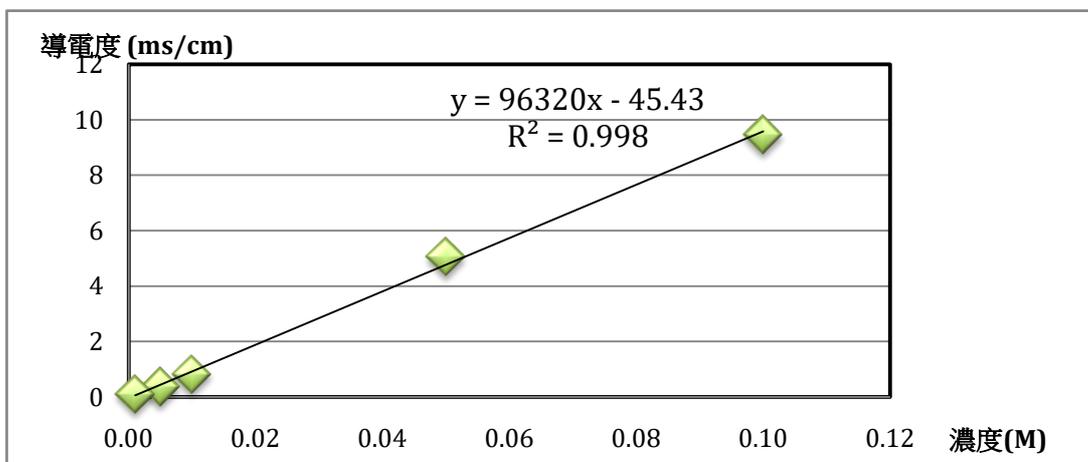


圖 3、氯化鈉的濃度與導電度之關係圖(低濃度區)

4.將其他三種鹽類的數據獨立作圖分析，並做線性趨勢線。從圖 4 圖 5 圖 6 可以看到 R^2 分別都有 0.993、0.931、0.999，顯示實驗數據與趨勢線都相當吻合。

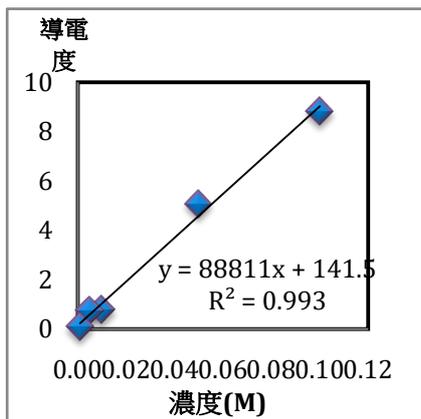


圖 4、氯化鈣

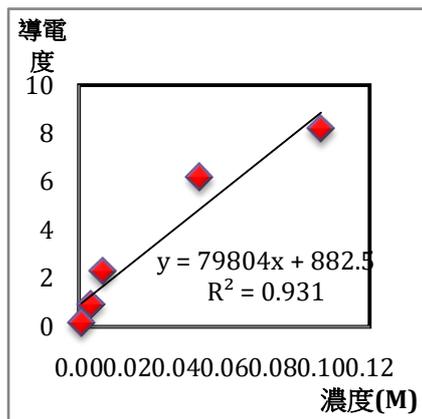


圖 5、氯化鎂

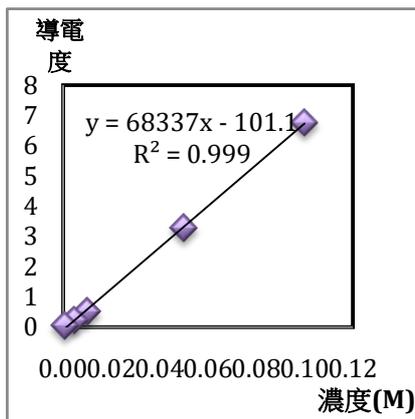


圖 6、氯化鉀

5.接著我們將四種氯化鹽的導電度除以體積莫耳濃度得到以下數據並作圖

表 1：四種氯化鹽不同濃度下的莫耳導電度(莫耳導電度單位 ($S \cdot cm^2/mole$))

	4	2	1	0.5	0.1	0.05	0.01	0.005	0.001
氯化鈣	3626.5	7330	14636	29180	88060	101080	77900	146000	81300
氯化鎂	3117.5	6381.5	12296	24112	81840	123340	227500	178400	142000
氯化鈉	3655	7171.5	14523	28800	94640	100880	81600	70000	88000
氯化鉀	3630.8	7315	14630	28100	67580	65560	50800	47600	56000

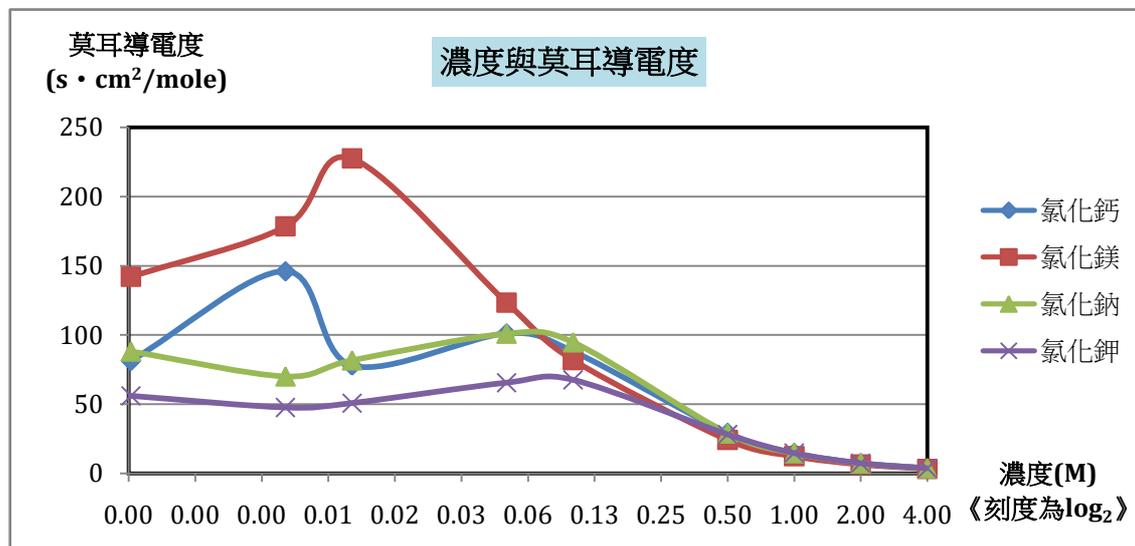


圖 7：氯化鹽類的濃度與莫耳導電度之關係圖

由圖 7 我們可以看出在低濃度區(0.001M~0.05M)時，離子濃度與莫耳導電度比較沒有明顯趨勢，但是在高濃度區(0.1M~4M)，可以看出四種鹽類的莫耳導電度均隨著濃度增加而下降，這可能是因為當濃度升高時，粒子之間相互作用增強，使得正、負離子遷移速率變慢，因此使得溶液的莫耳導電度降低。

6.我們另外將圖 7 中的高濃度區(0.1M~4M)進行作圖分析，從圖 8 可以看出高濃度區中，四種氯化鹽類的濃度與莫耳導電度有負相關的關係。

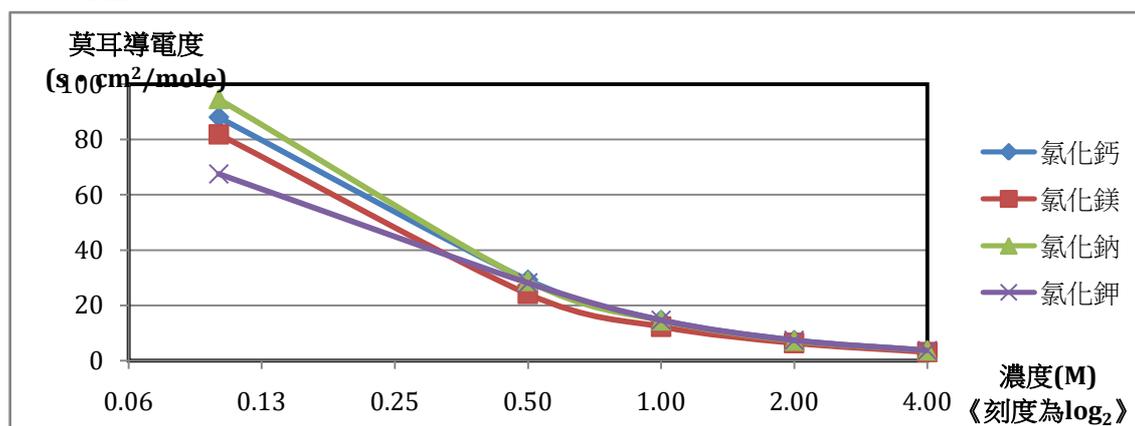


圖 8：氯化鹽類的濃度與莫耳導電度之關係圖(高濃度區)

7.為了想要了解高濃度區中，鹽類濃度與導電度的關係，我們將氯化鈉的數據獨立作圖分析，由圖 3 可以做乘勢線時，從公式可以看到 X 為-0.88 次方，且 R^2 達到 0.993，我們認為顯示氯化鈉溶液在高濃度區的濃度與莫耳導電可能有接近反比的關係，因此我們繼續處理數據，將濃度倒數與莫耳導電度進行作圖，並做線性趨勢線，發現 R^2 達到 0.990，顯示我們的實驗數據與趨勢線相當吻合。

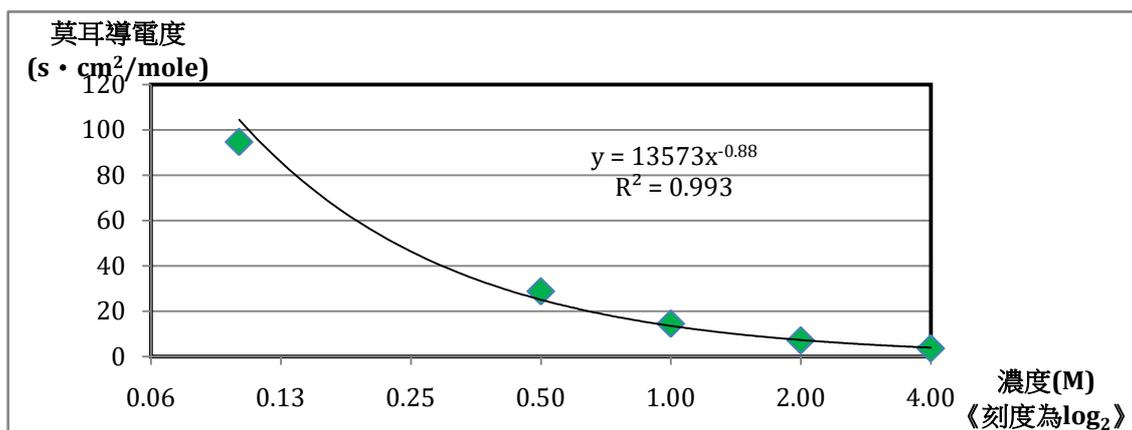


圖 9：氯化鈉的濃度與莫耳導電度之關係圖(高濃度區)

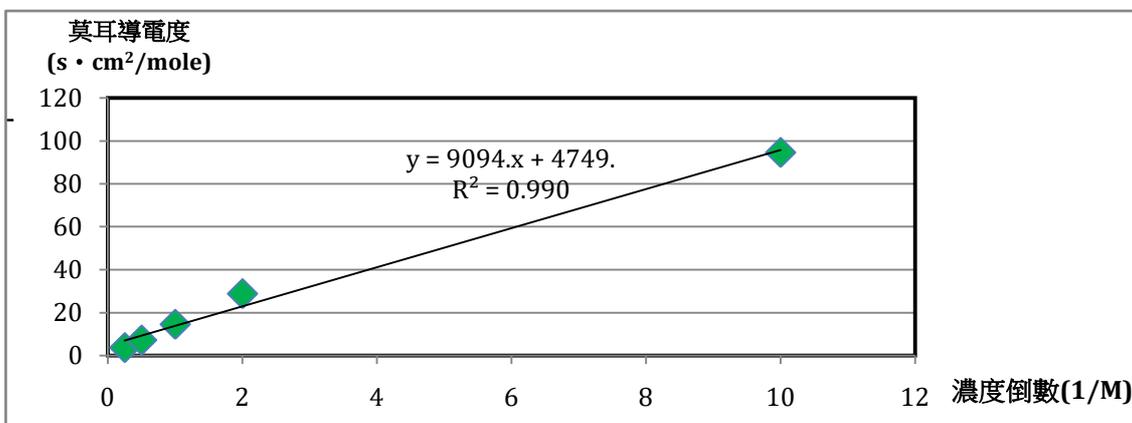


圖 10：氯化鈉的濃度倒數與莫耳導電度之關係圖(高濃度區)

8.為了瞭解價數與離子半徑是否影響溶液導電度，我們採用 0.005M 下的四種鹽類之莫耳導電度進行作圖分析。

(1)由圖 11 可以發現帶有+2 陽離子的氯化鈣與氯化鎂其莫耳導電度均高於氯化鉀與氯化鈉，有可能是因為在同一濃度下當陽離子價數為+2 時，其陰離子會有兩個，也就是說一莫耳氯化鈣會解離出 3 個離子，而一莫耳氯化鈉則只會解離出 2 個離子，離子數量較多導致當陽離子價數較高時，莫耳導電度較高。

(2)另外將氯化鈣、氯化鎂以及氯化鈉、氯化鉀，分成兩組各自比對時，發現當價數相同時，陽離子半徑較大的氯化鈣與氯化鉀，其莫耳導電度均優於半徑較小的氯化鎂與氯化鈉，其原因可能是當離子半徑較小的時候，水溶液中的陰陽離子作用力較強，使得莫耳導電度會減弱。

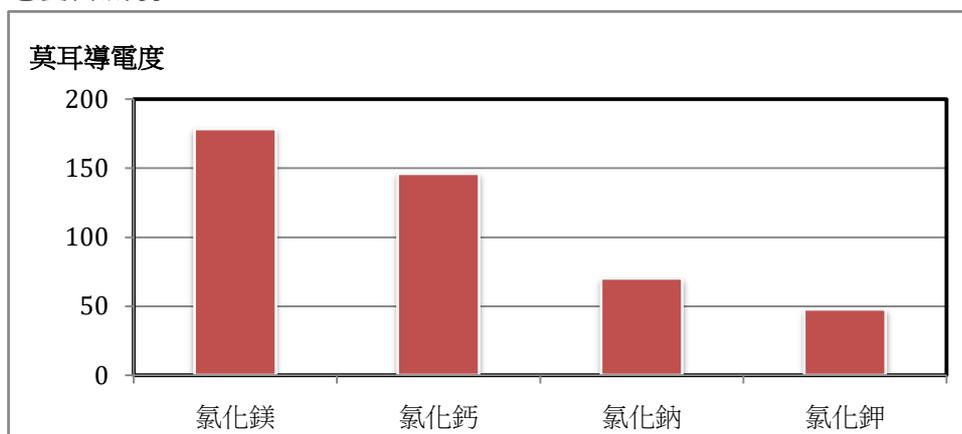


圖 11：四種氯化鹽的莫耳導電度之比較(0.005M)

五、結論及推廣

(一) 研究結論

1.電解質溶液在低濃度時(0.1M 以下)其導電度與濃度有線性正相關的關係。此結論與柯爾勞施定律符合。

科爾勞施定律

強電解質在溶液中完全離解。當溶液足夠稀時，實際測量的強電解質電導率與濃度成正比。隨著濃度的升高，電導率會逐漸偏離與濃度的正比關係。

$$\Lambda_m = \Lambda_m^0 - K\sqrt{c} \quad (\Lambda_m^0 \text{ 為極限摩爾電導率，} K \text{ 為經驗常數，} c \text{ 為電解質濃度)}$$

2. 電解質溶液在高濃度時(0.5M 以上)由於離子數量過多阻礙了離子遷移，使得導電度呈現停滯的狀況。此實驗結果與滲流理論的情形類似。

- 3.將導電度換算成莫耳導電度時，可以單純比較離子的性質與離子遷移速率的關係。
4. 電解質溶液在低濃度時(0.05M 以下) 其莫耳導電度與濃度變化無明顯規律。
5. 電解質溶液在高濃度時(0.1M 以上)，莫耳導電度隨著濃度增加而減小，並且與濃度倒數有線性正相關的關係。
- 6.綜合以上，電解質溶液在低濃度時可由導電度推估濃度，而在高濃度區可由莫耳導電度推估濃度。
- 7.在 0.005M 時，當陰離子相同陽離子不同時，價數越高之陽離子其莫耳導電度越高。
8. 在 0.005M 時，當陰離子相同陽離子不同時，離子半徑越小之陽離子其莫耳導電度越高。

(二)推廣與修正

- 1.本研究使用的藥品與儀器均非常容易取得，實驗步驟亦相當簡單，非常適合中學生進行探究討論。
- 2.在本研究中會大量屬用數據分析的方法，並且要以不同層面對影響導電度的因素進行分析，會利用到國高中化學課所學到的電解質、離子價數、離子半徑、溶液濃度...等知識，可以將課本所學實際應在實驗室裡的研究。
- 3.如果有機會再進行有關導電度的研究，我們可以修正的部分如下：
 - (1)增加測量次數，才能加強實驗數據的信度與效度
 - (2)增加氯化鹽類的種類，可以更強化我們的實驗結論。
- 4.有關電解質溶液導電度的研究，未來我們可以研究溫度與強弱電解質對導電度的影響。

六、參考資料

- (一) 劉子熊、楊論閔、洪智誠。「濃」「稀」合度——強弱電解質濃度對電導度影響之深究。全國高級中學小論文(化學類)
- (二) 魏劭安、邱瑞浩、陳芷嫻。Running Ion - 電解質水溶液的導電性質與離子移動的速率。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書
- (三) 洪玫英、呂宜靜、陳玟凌、張祖禎。哪個離子跑得快？。中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書(高職組 化工、衛工及環工科)。

(四) 西北大學物理與天文學系博士生 林蔚廷、西北大學物理與天文學系博士生 楊暘。滲流理論。科學 online。高瞻自然科學教學資源平台

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=70317>

(五) 摩爾電導率

<https://baike.baidu.hk/item/%E6%91%A9%E7%88%BE%E9%9B%BB%E5%B0%8E%E7%8E%87/5490970>

(六) 電導率 (電解質)

[https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%AF%BC%E7%8E%87_\(%E7%94%B5%E8%A7%A3%E8%B4%A8\)](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%AF%BC%E7%8E%87_(%E7%94%B5%E8%A7%A3%E8%B4%A8))