

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

團隊合作獎

030214

核電?NO!河電?YES!

學校名稱：雲林縣私立揚子高級中學(附設國中)

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國三 林華晉 國三 廖于葆 國三 許景翔 | 指導老師： 陳尚民 楊志堅 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：河口鹽梯度差、複合式電極、化學能

摘要

本實驗是找尋適當的材料製作「鈉複合式電極」來利用河川在出海時所造成濃度差的區域來發電。實驗討論的變因有不同的黏著劑不同碳布孔徑不同有機溶劑分別對電極放電度的影響，各個複合式電極完成後先在實驗室進行模擬複合式電極放電的過程，並且利用 EXCEL 對各項實驗數據逐一討論。接著自行設計出一個適合此電極的裝置。為了確認裝置的可行性還到附近的三條大河(濁水溪、大甲溪、曾文溪)實地取水進行實驗，並討論了此電極的「回收效率」與放電能力以及河流本身的特性對自製電極所造成的影響。經過多次實驗，得知赤血鹽與硝酸銅所製作的鈉複合式電極所產生的電功率以及回收率是最好的，電功率為 0.967113 瓦特，回收率達到 83%。

壹、研究動機

「能源」一直是一項熱門的話題，但目前還是找不到可以兼顧環境又能發電的方式，就台灣而言光核四廠是否該運作就吵得沸沸揚揚，運作了會產生含輻射的核廢料，但如果將核電廠停用就會讓我們的供電吃緊。如下圖所示，就台灣而言主要的發電方式為火力發電，其發電量占總發電量高達八成之多，但是一年所產生的二氧化碳也多達了九千多萬噸，僅僅一個台灣就有如此高的二氧化碳的排放量，想要不造成溫室效應都很難，因此找尋新的發電方式是一項不可逃避的問題我們需要一種有效率又環保的發電方式。經過一番查詢後我們發現台灣四面環海的特性，以及擁有二十多條的大小河川，如果能有效的利用這些河川在流出海時所造成濃度差的區域來發電或許就能產出龐大的電能，那就可以不用依賴核能、火力發電這種會破壞環境的方式來產生能源。經過與老師討論後，決定使用高中化學教過的電池來進行後續研究。這時問題就來了如果想用海水做為電解質電極必須含有鈉的成分但鈉如果與海水直接接觸了又會產生氫氣根本無法順利的發電，因此我們使用其他的物質來包覆著鈉進行得失電子的反應，鈉在其中只是扮演傳遞電子的角色。使用化學能原理再由濃度的流動輔助，由兩個不同的電極來產生化學能。期望能把「河電池」帶入台灣這塊土地。



圖 1、(圖片來源:台灣電力公司)

貳、研究目的

本研究濃差發電本研究目的分為下列幾點：

- 一、找尋電極最佳的製作材料以及製法
- 二、設計整個電池裝置讓反應能進行的更流暢
- 三、實際取出海口河水海水回來進行實驗證明自製裝置是有實際利用的價值
- 四、觀察與紀錄裝置之效能來討論如何能再提升自製電池發電的效能

參、研究設備與器材

表 1、儀器以及紀錄設備

| 編號 | 物品 | 數量 | 用途 |
|----|---------|----|------------|
| 一 | 筆記本、筆 | 一本 | 實驗日記與研究觀察果 |
| 二 | 手機 | 一台 | 拍攝實驗過程 |
| 三 | 離心機 | 一台 | 分離沉澱物 |
| 四 | 電子秤 | 一台 | 量取試劑的劑量 |
| 五 | 筆記型電腦 | 一台 | 撰寫 Word 檔案 |
| 六 | 烘箱 | 一台 | 烘乾產物 |
| 七 | 恆定電流電位儀 | 一台 | 供應穩定的電位 |
| 八 | 蠕動式幫浦 | 二台 | 抽取實驗用水 |
| 九 | 電磁加熱攪拌器 | 二台 | 加熱與攪拌 |

表 2、製造電極之材料

| 編號 | 物品 | 數量 | 用途 |
|----|--|----|-----|
| 一 | 硝酸銅 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ | 一瓶 | 實驗用 |
| 二 | 硫酸銅 CuSO_4 | 一瓶 | 實驗用 |
| 三 | 亞鐵氰化鉀 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ | 一瓶 | 實驗用 |
| 四 | 鐵氰化鉀 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ | 一瓶 | 實驗用 |
| 五 | 甲基吡咯烷銅 | 一瓶 | 實驗用 |
| 六 | 氯化亞汞 Hg_2Cl_2 | 兩支 | 實驗用 |
| 七 | 碳黑 C | 一瓶 | 實驗用 |
| 八 | 聚二氟乙烯 | 一袋 | 實驗用 |
| 九 | 導電碳布 | 一捆 | 實驗用 |
| 十 | 半透膜 | 一片 | 實驗用 |
| 十一 | 硝酸鈷 | 一瓶 | 實驗用 |
| 十二 | 聚乙二醇 | 一瓶 | 實驗用 |
| 十三 | 聚聚苯乙烯丁二烯 | 一瓶 | 實驗用 |
| 十四 | 氯化鎳 NiCl_2 | 一瓶 | 實驗用 |



2-1 硝酸銅



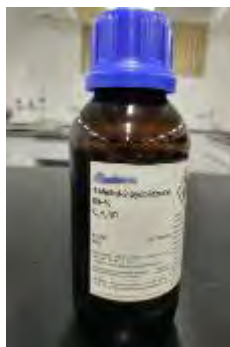
2-2 硫酸銅



2-3 亞鐵氰化鉀



2-4 鐵氰化鉀



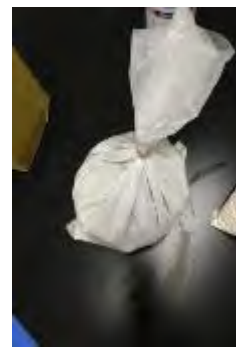
2-5 甲基吡咯烷銅



2-6 氯化亞汞



2-7 碳黑



2-8 聚二氟乙烯



2-9 聚苯乙炔丁二烯



2-10 氯化鎳



2-11 聚乙二醇



2-12 硝酸鈷

圖 2、製造電極之材料

肆、研究及實驗過程

一、研究流程

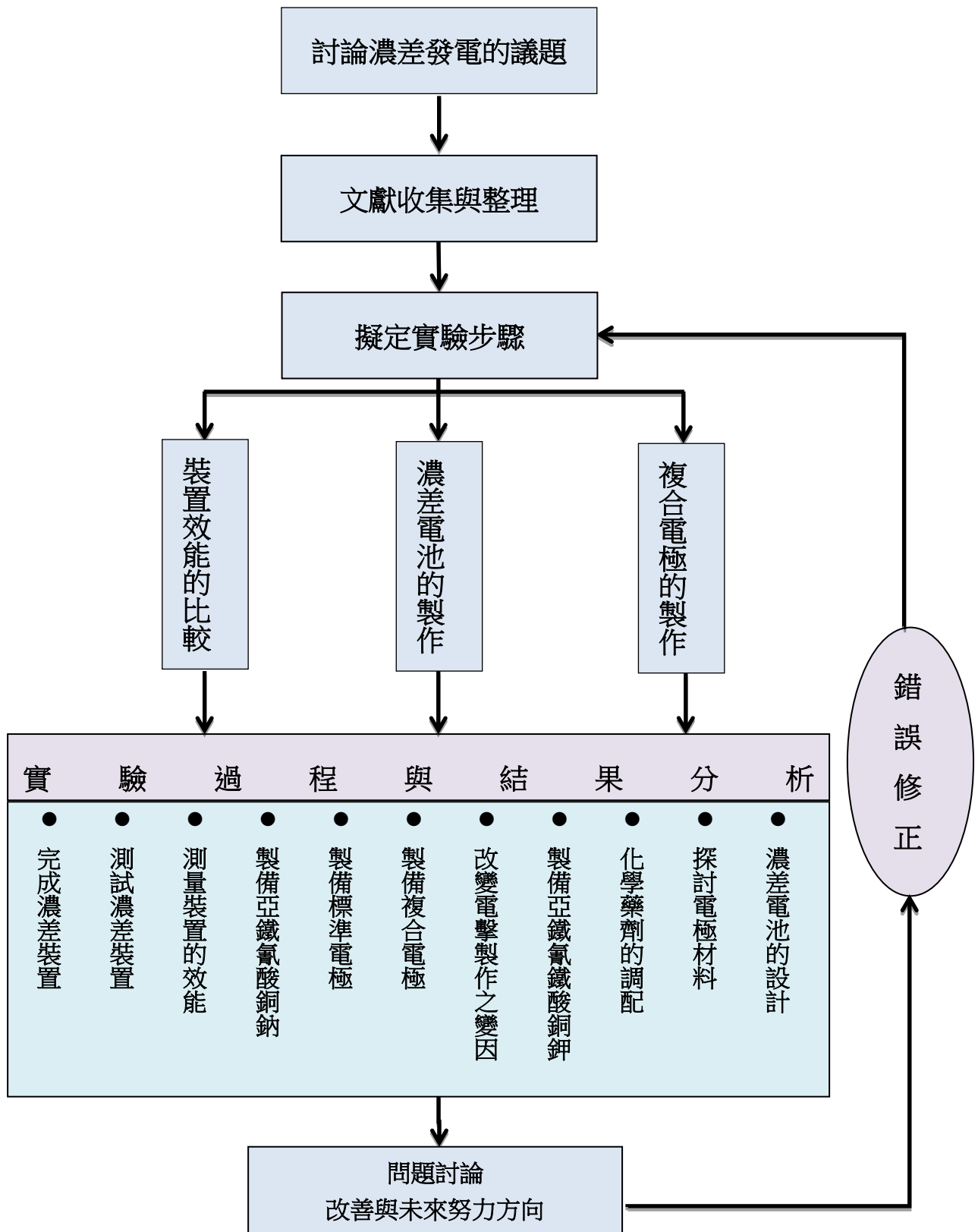


圖 3、研究流程圖

伍、文獻收集

河電池主要是利用河水與海水之間的鹽度差進行發電，透過(CuHCF)這種複合式電極，使整個系統進行氧化還原反應，進一步探討不同藥劑混和所製造的複合式電極效果，找尋最佳的產量生成方法，以達到淨化環境的效果。以下為各種方法與技術的文獻蒐集：

(一) 河電池的發展淺力

現今運用海洋產電的方法有很多種，例如：潮汐發電、洋流發電、海洋溫差發電等，但是高成本往往是此研究海洋發電的致命傷，但是本實驗透過離子交換的這種方法，會比其他種海洋能發電的方法要省上許多花費，河流與海洋交會處會有個很棒的發電機會：這類淡鹹水交會處形成的鹽度梯度蘊含龐大的電位能，舉例來說，各大河口就可包辦全球發電量的 40%如果據估計若全球的河海交界處都以海洋鹽濃差能來發電，則每年可帶來 1.65 兆瓦電力的發電量。

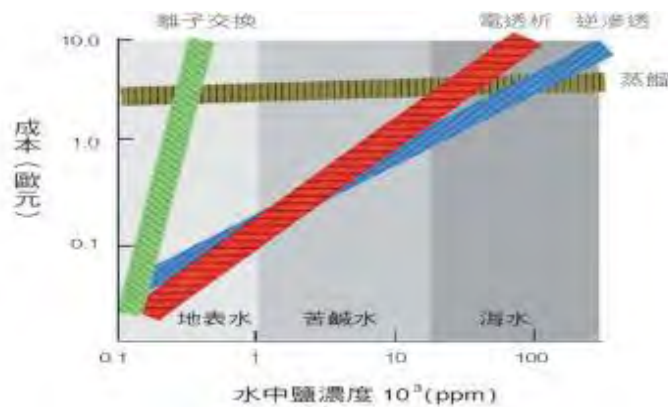


圖 4、各類除鹽操作與成本比較

表 3、各種海洋能發電總表

| 種類 | 電力(TW) | 能量密度(m) |
|--------|--------|---------|
| 洋流發電 | 0.05 | 0.05 |
| 海洋發電 | 2.70 | 1.50 |
| 潮汐發電 | 0.03 | 10.00 |
| 海洋溫差發電 | 2.00 | 210 |
| 海洋濃差發電 | 2.60 | 240 |

表 4、常見液體鹽度與滲透壓

| 種類 | 鹽度 TDS(ppm) | 滲透壓(bar) |
|-----|-------------|----------|
| 海水 | 35000 | 24 |
| 苦鹹水 | 7000 | 5.0 |
| 河水 | 1000 | 0.7 |
| 飲用水 | 450 | 0.3 |

(二) 複合式電極

複合式電極是利用吸附，塗抹，聚合，化學反應等方法把活性分子、催化物質等附著在電極金屬（包括石墨，半導體）表面上，使之具有較強的特徵功能。是一種極複雜的電極，而這種電池電極的循環壽命長且功率大，像是六氰合鐵酸銅的晶體納米顆粒可以作為廉價水性電解質中的電池電極操作。複合式電極在一般速率下進行多次深度放電循環之後，保留了大量的原始電容。即使在非常高的循環速率下，也可觀察到其最大放電容量的三分之二。在適度的電流密度下，可實現接近約 99% 的往返能量效率。如：亞鐵氰酸銅，紅棕色粉末。亞鐵氰化銅能溶於硝酸，氨水及氰化鉀溶液，不溶於水和醋酸。熱至 120°C 以上分解。是目前研究來說平均可使用很久，功效也頗多的複合式電極材料，而亞鐵氰酸銅的製法有很多種。



圖 5、亞鐵氰酸銅

(三) 裝置大綱

這套系統是從電容混合技術加以變化而得，運作原理：使用電池的電極，再藉由鹽度梯度運作。但它是開放系統，和電池不同。這款裝置比以往電容混合研究的發電密度高出一倍。他們還需要提高電力輸出，以及確定這款裝置的成本效益和可擴充程度（在實際環境中，發電廠的規模和小型倉庫相仿）。也可以用再用在鹽度梯度相當極端的地方，例如高鹽湖泊、地熱井或廢水處理廠。但如果這項技術可行又安全，未來將能和太陽能、風能一樣成為再生能源。

陸、實驗流程

(一) 製造複合式電極：

1. 用赤血鹽與 R.O.水配置成 0.05 M 黃血鹽溶液 250 mL
2. 用硝酸銅與 R.O.水配置成 0.1 M 硫酸銅溶液 250 mL
3. 常溫之下各取 80mL 同時滴入裝有 40 mL R.O.水的燒杯並均勻攪拌
4. 使用離心機，使產物可以快速沉澱
5. 用濾紙過濾法將其過濾
6. 使用 R.O.水沖洗濾紙，把雜質去除
7. 將產物置於烘箱烘乾(80 °C、24 小時)
8. 刮取濾紙上之產物並研磨成粉(初步產物)
9. 替換不同的實驗組合，上述實驗步驟後，進行比較

表 5、實驗電極之配對

| | |
|---------|---------|
| 赤血鹽+硝酸銅 | 赤血鹽+硝酸銅 |
| 黃血鹽+硝酸銅 | 黃血鹽+硝酸銅 |

(二) 將前述實驗的產物膠結成電極

1. 取實驗後的產物、碳黑與 PVDF 依比例調和
2. 加入 N-甲基吡咯烷酮
(每次用 0.1 克亞鐵氰酸銅鉀就加入 1 mL 的 N-甲基吡咯烷酮)
3. 持續攪拌直到黏著劑完全溶解
(註：黏著劑使用 PVDF、聚乙二醇、聚聚苯乙烯丁二烯)
4. 將上述混合物均勻塗抹在碳布
(註：碳布厚度 0.13 mm、0.25 mm、0.4 mm、0.5 mm)
5. 將電極置於烘箱烘乾(80 °C、24 小時)
6. 使用 Hg/Hg₂Cl₂ 作為參比電極，與電極的電位差為 0.9 V 浸泡在 0.513 M 的 NaCl 水溶液中 30 分鐘
7. 把浸泡 30 分的電極取出，再用 Hg/Hg₂Cl₂ 作為參比電極，把電位差改為 0.7 V 浸泡在 0.513 M 的 NaCl 水溶液中 30 分鐘
8. 取出後即為實驗用的複合式電極
9. 檢測電極電壓電流值(後續會使用電化學常用的線性掃伏安法、開路電位、安培法對電極做更一進步的檢測)

(三) 設計濃差發電裝置：

設計動機：能讓自製複合式電極發揮最大效能的模型

1. 設計出一個能夠放入半透模的位置
2. 找出可以完全密封模型的方法，並可以接出外接電路
3. 設計出排水孔的最佳位置

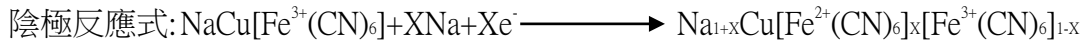
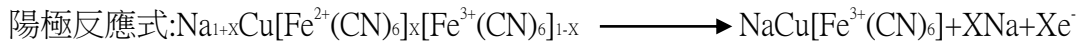
(四) 模型完成後：

1. 把半透模置入模型中
2. 使用蠕動式幫浦將高張食鹽水(NaCl 的重量百分濃度= 10%)與低張食鹽水(NaCl 的重量百分濃度= 1%)分別導入模型兩側
3. 使用三用電表測試裝置是否會發電

(五) 運作原理：

1. 把鹹水和淡水分別注入電池內兩側，放入複合式電極。放入濾紙是為盡量降低兩側的混合程度。
2. 在淡水這一側，電極為 Na₂Cu[Fe^{II}(CN)₆] (為二價鐵)。有淡水時，電極中的鐵與鈉反應，產生丟出鈉離子進入水中；鐵同時釋出電子(變為三價)，電子流過外電路到另一端。

3. 在鹹水這一側，電極中的鐵與水中的鈉離子反應(得到 Na^+)，同時接受自淡水側來的電子，電極從 $\text{NaCu}[\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6]$ 變為 $\text{Na}_2\text{Cu}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$ ，結合這兩個反應，電子由電池的一側流到另一側時，就可產生電力。
4. 液體每隔 30 分交換一次（電池的鹹水側裝入淡水，反之亦然），即可讓電流持續下去。



※由陰陽極反應得知電極在放電的過程中就是在充電但我們使用的電池與一般市面上一次性的電池及充電電池有著很大的不同，它具有二次性但是利用氧化還原的原理進行充放電無須再接電源進行充電。

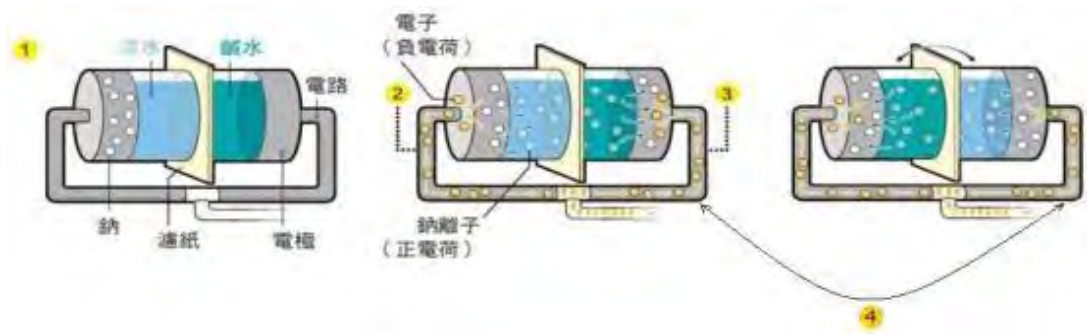








圖 6、裝置運作原理

實驗：

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 7-1 調配赤血鹽溶液 | 7-2 調配硝酸銅溶液 | 7-3 混和溶液 |
|  |  |  |
| 7-4 用離心機加速沉澱 | 7-5 刮取 | 7-6 烘乾 |



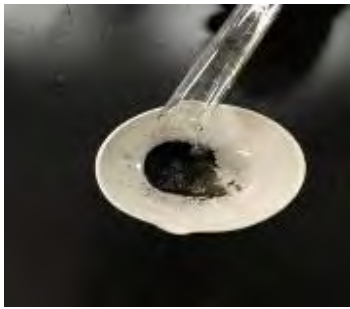


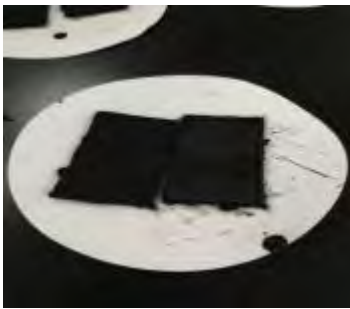
| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 7-7 烘乾後成品 | 7-8 加入碳黑、黏著劑 | 7-9 加入有機溶劑 |
|  |  |  |
| 7-10 充分攪拌 | 7-11 塗抹在碳布上 | 7-12 完成複合式電極 |

圖 7、實驗過程之照片



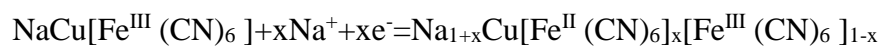
| | |
|---|--|
|  |  |
| 8-1 電極測試 NO.1 | 8-2 電極測試 NO.2 |

圖 8、測試自製電極

電極與 Na^+ 的總反應式：




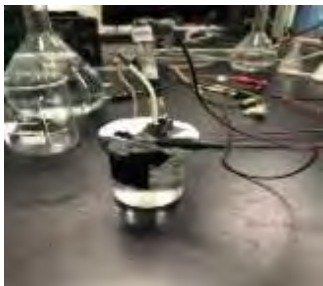
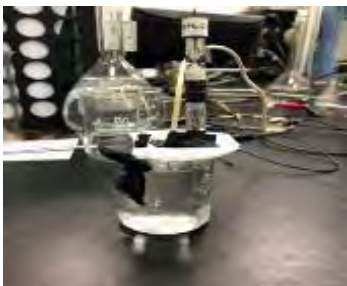
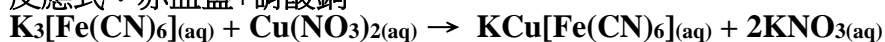
| | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| 9-1 設計放置電極的圓盤 | 9-2 放置碳布過程 | 9-3 進行交換離子 |

圖 9、實驗電極的過程

實驗(一) 電極製作：赤血鹽+硝酸銅

反應式：赤血鹽+硝酸銅



表、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 883 | 1032 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 861 | 927 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 847 | 891 |

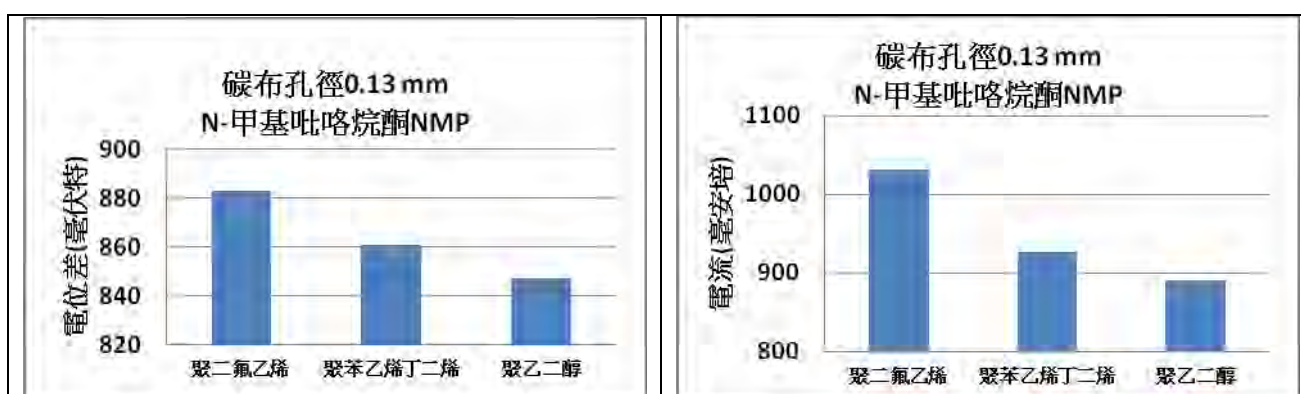


圖 10、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 6、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 889 | 1048 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 864 | 932 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 851 | 904 |

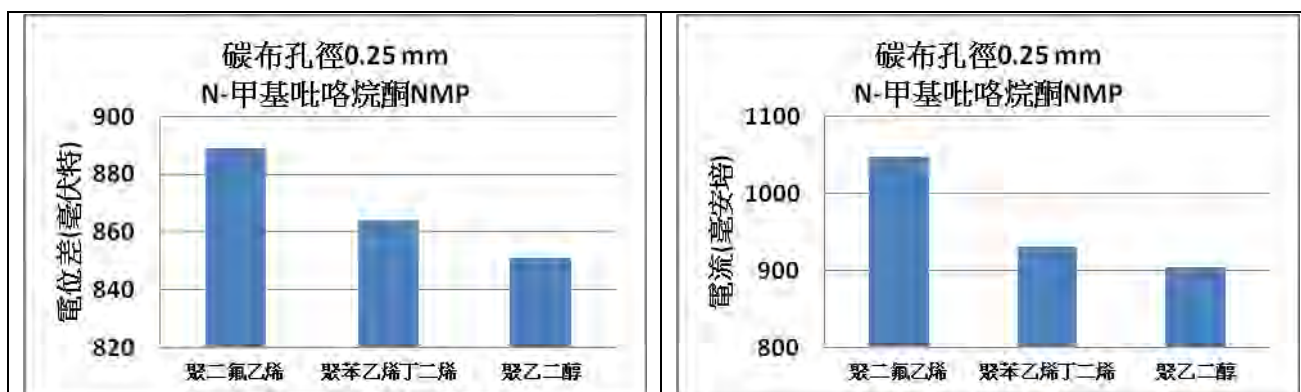


圖 11、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 7、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 893 | 1066 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 868 | 951 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 857 | 921 |

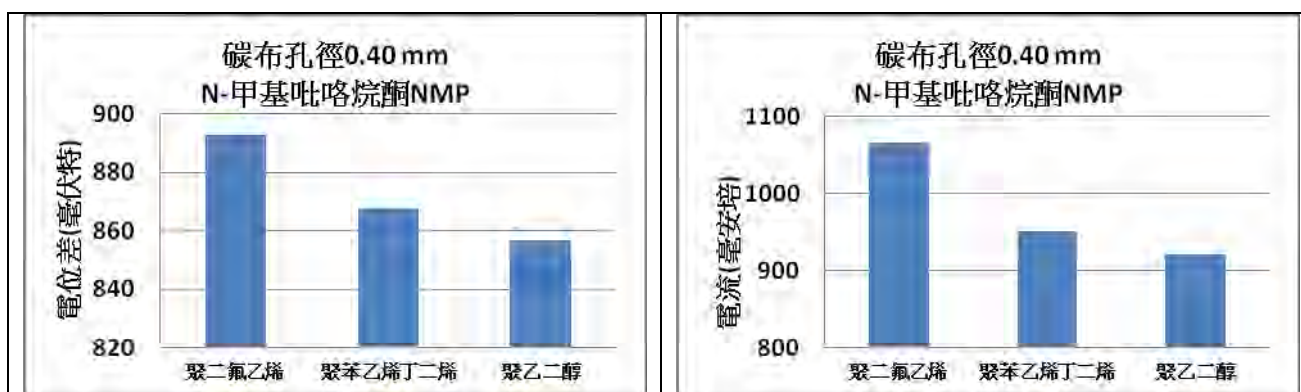


圖 12、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 8、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 903 | 1071 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 875 | 965 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 864 | 932 |

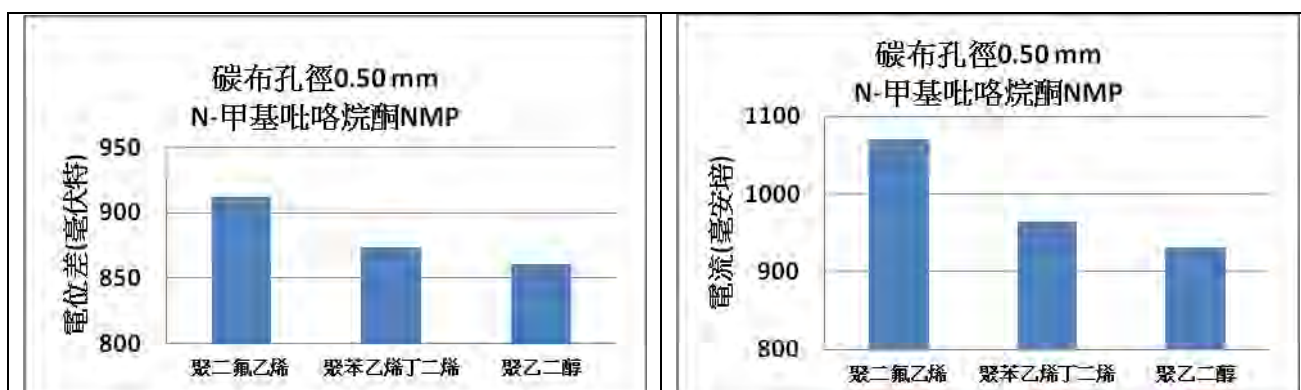
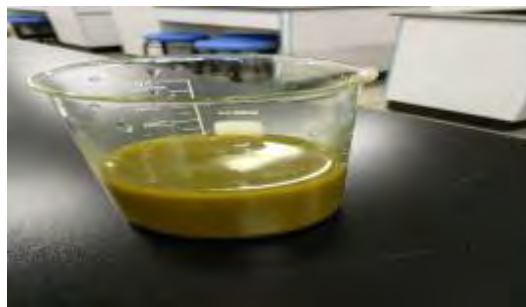


圖 13、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑



14-1 未過濾赤血鹽+硝酸銅產物



14-2 烘乾後赤血鹽+硝酸銅產物

圖 14、赤血鹽+硝酸銅產物

實驗(二) 電極製作：黃血鹽+硝酸銅

反應式：黃血鹽+硝酸銅

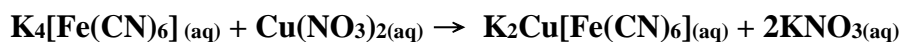


表 9、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 778 | 1028 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 751 | 912 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 734 | 884 |
| PEG | | | |

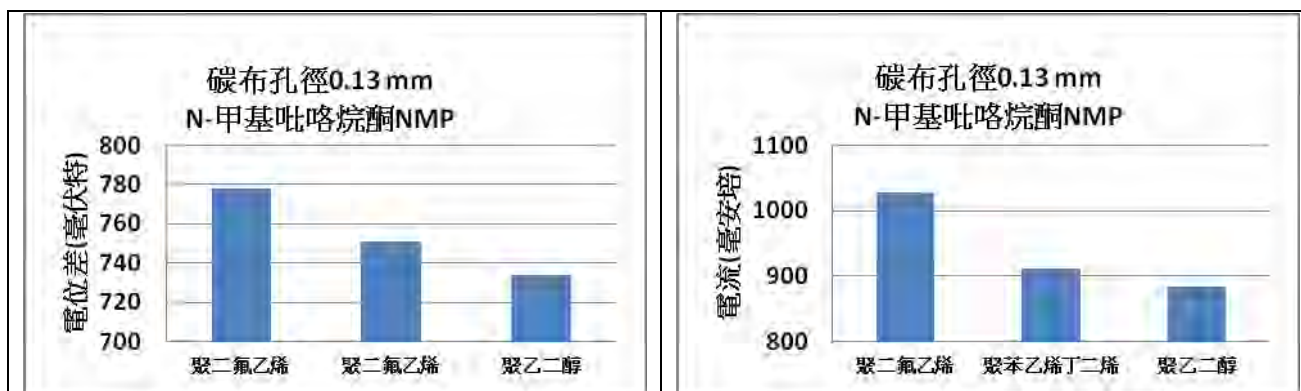


圖 15、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 10、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 776 | 1032 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 757 | 932 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 739 | 891 |

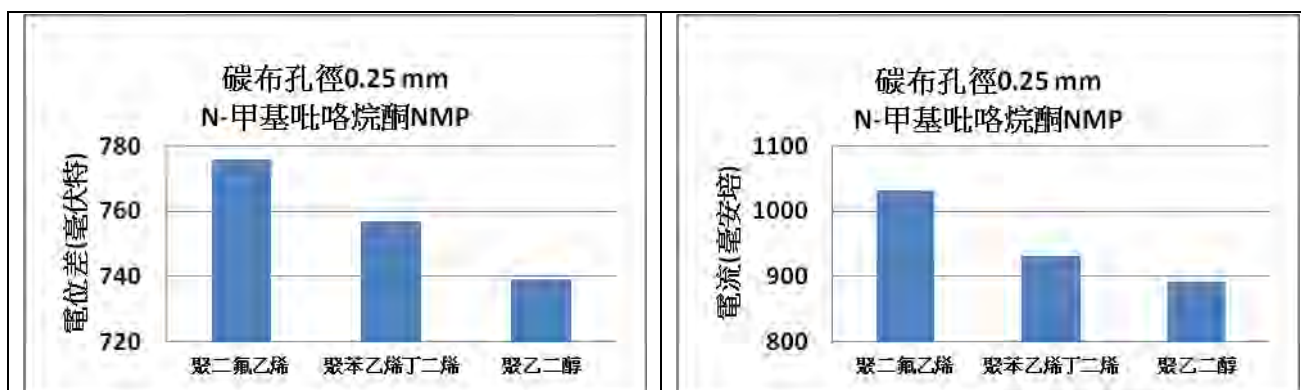


圖 16、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 11、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 782 | 1044 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 744 | 1029 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 743 | 966 |

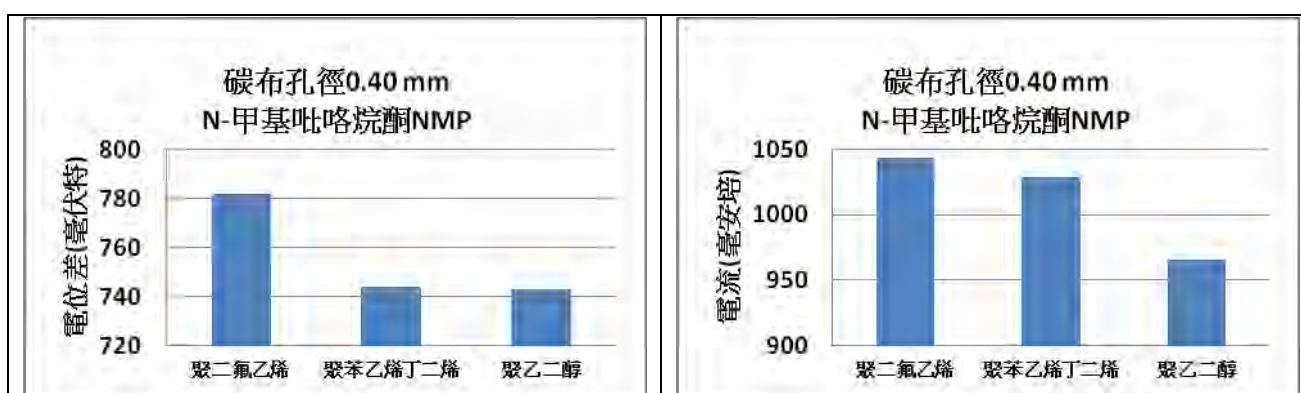


圖 17、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 12、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 790 | 1054 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 776 | 1033 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 749 | 1020 |

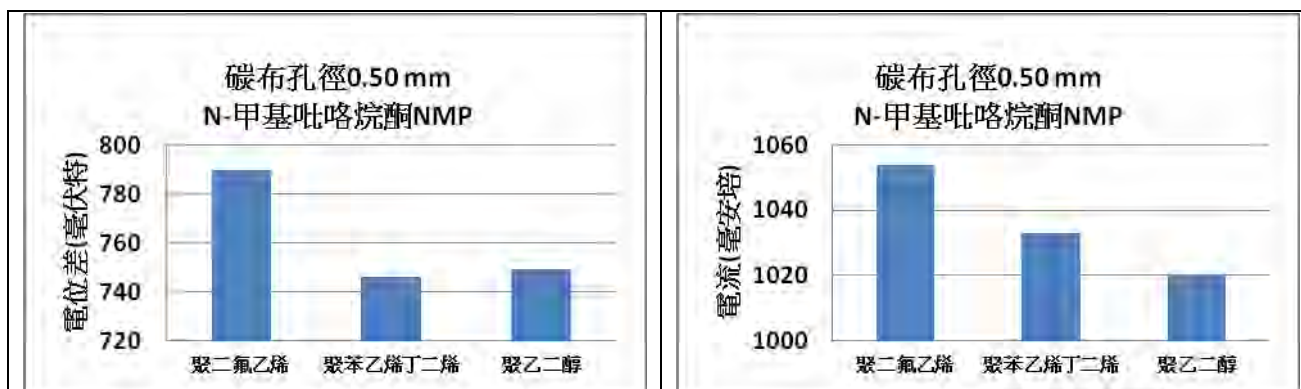


圖 18、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

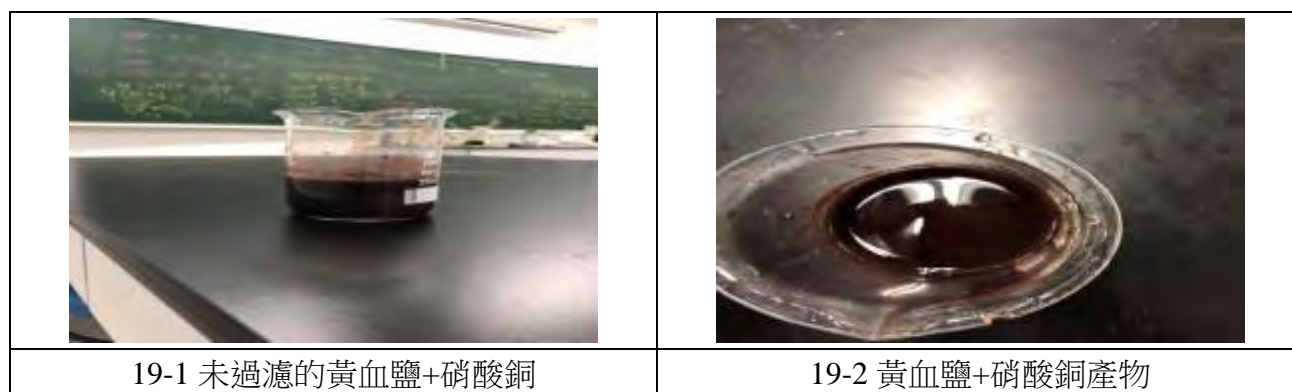


圖 19、黃血鹽+硝酸銅產物

實驗(三) 電極製作：赤血鹽+硝酸鈷

反應式：赤血鹽+硝酸鈷

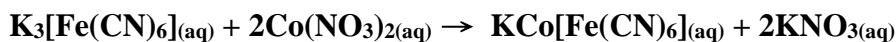


表 13、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 661 | 911 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 642 | 899 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 628 | 833 |

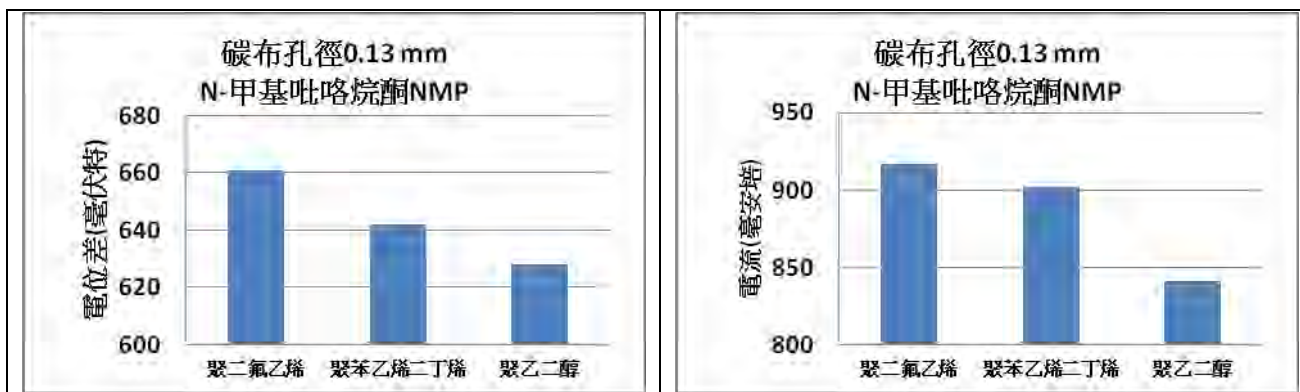


圖 20、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 14、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 692 | 929 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 663 | 891 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 658 | 844 |

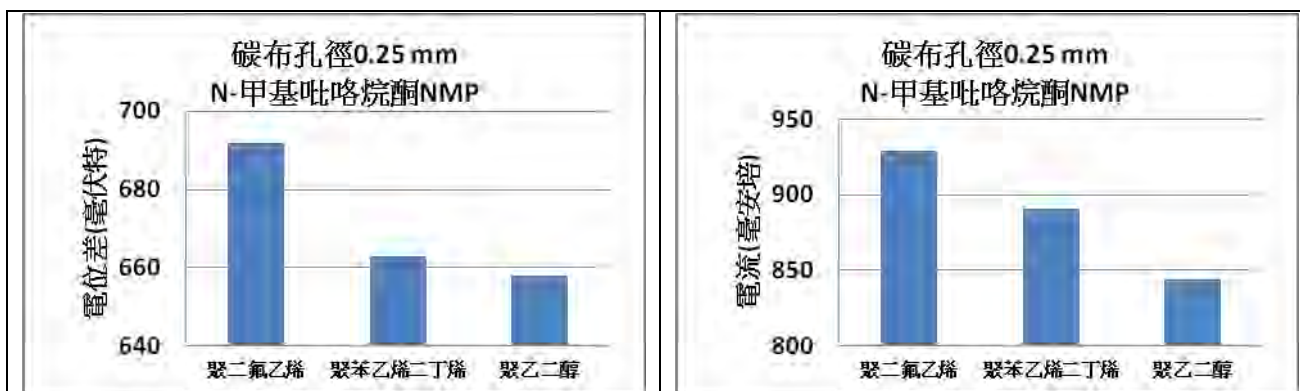


圖 21、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 15、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 701 | 954 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 687 | 931 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 671 | 904 |

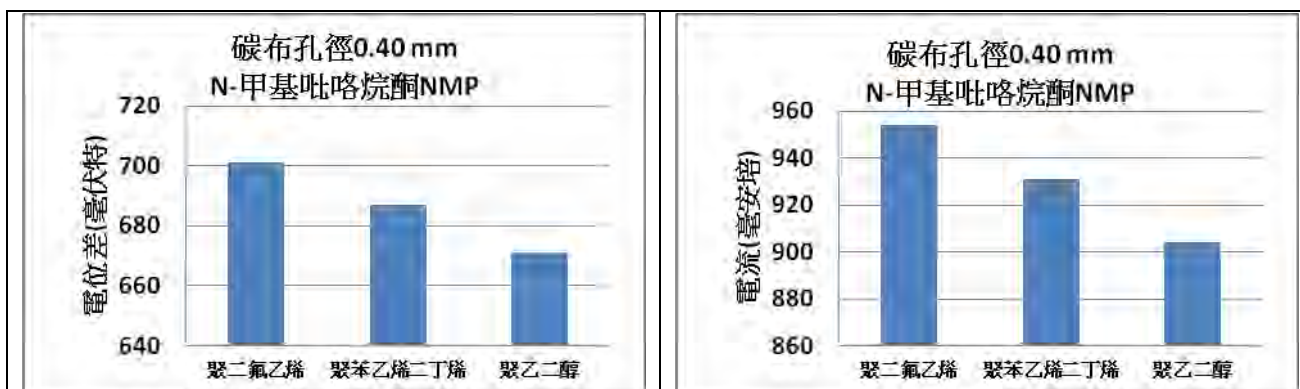


圖 22、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 16、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 732 | 998 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 712 | 975 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 698 | 942 |

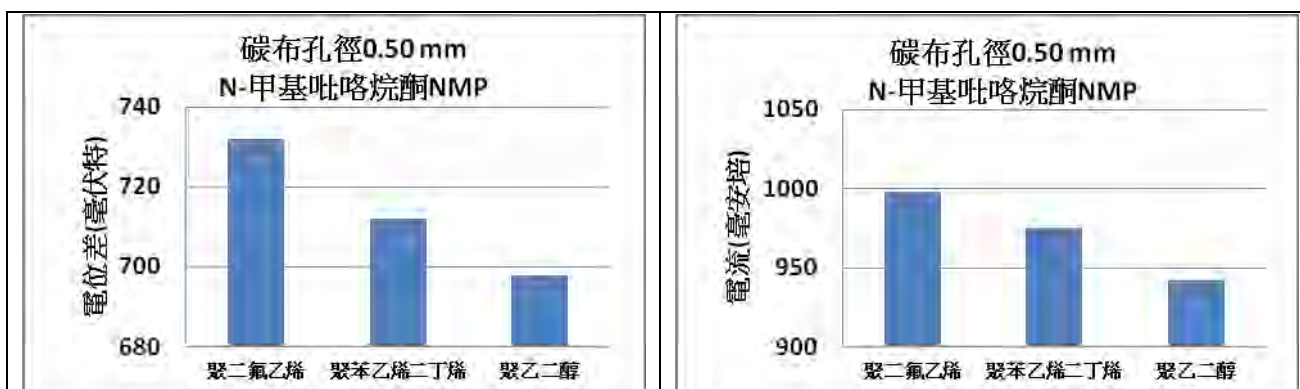
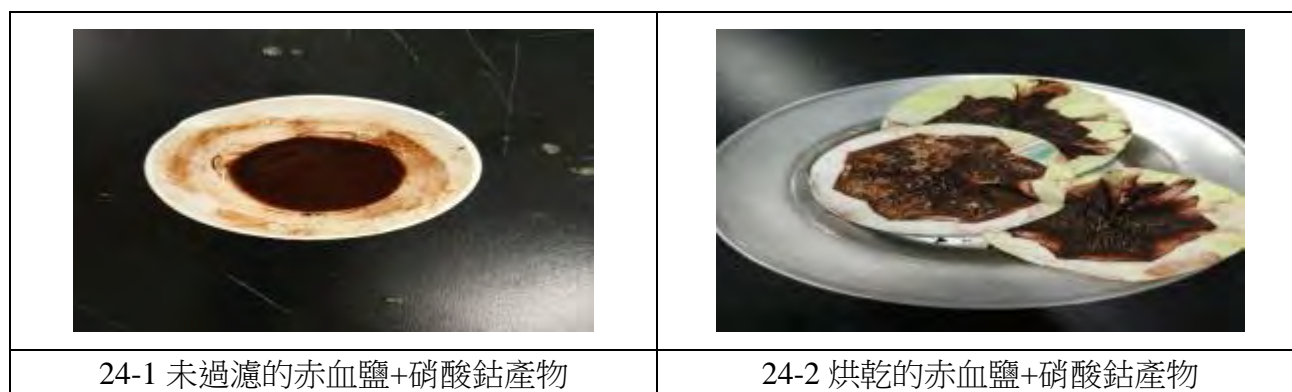


圖 23、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑



24-1 未過濾的赤血鹽+硝酸鈷產物

24-2 烘乾的赤血鹽+硝酸鈷產物

圖 24、赤血鹽+硝酸鈷產物

實驗(四) 電極製作：黃血鹽+硫酸銅

反應式：黃血鹽+硫酸銅

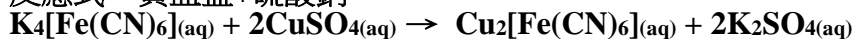


表 17、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 563 | 877 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 531 | 803 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 511 | 792 |

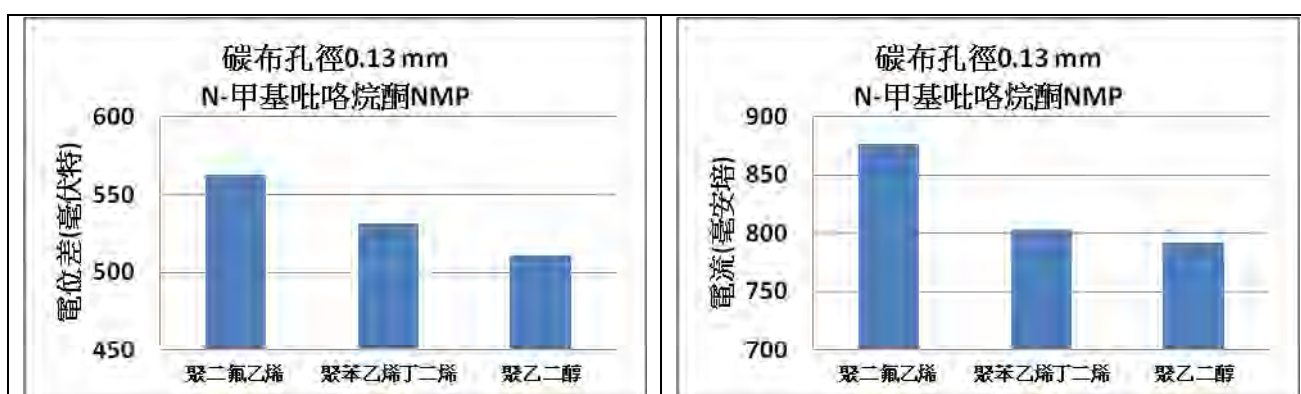


圖 25、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 18、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 566 | 879 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 529 | 807 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 518 | 794 |

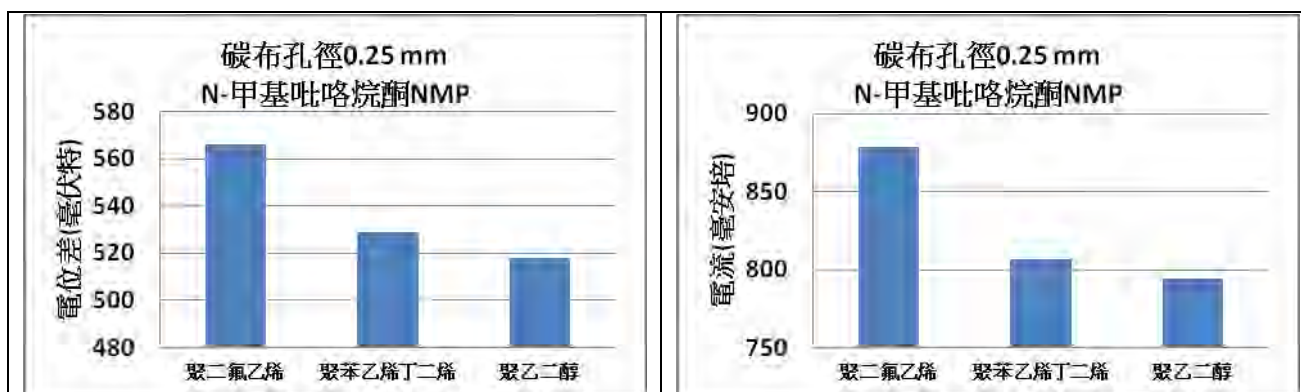


圖 26、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 19、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 571 | 833 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 534 | 812 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 516 | 799 |

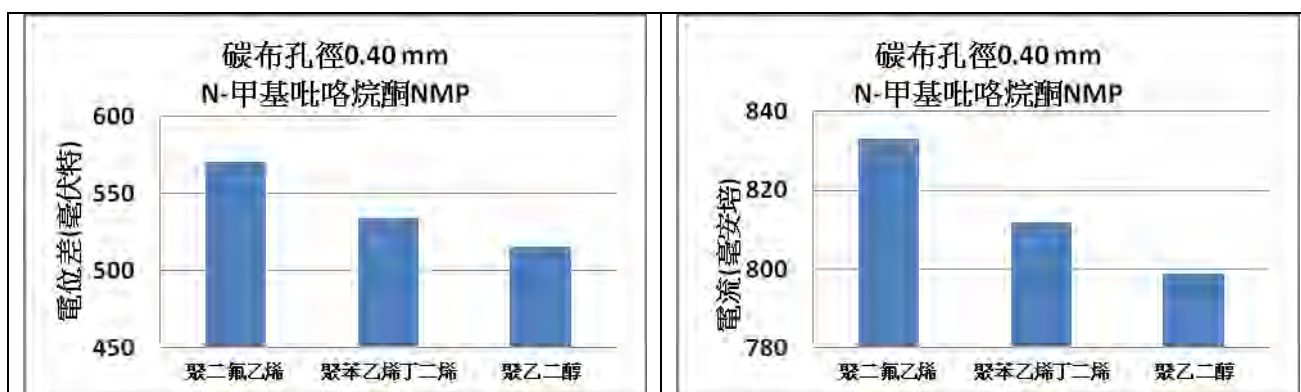


圖 27、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 20、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 575 | 887 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 539 | 816 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 521 | 806 |

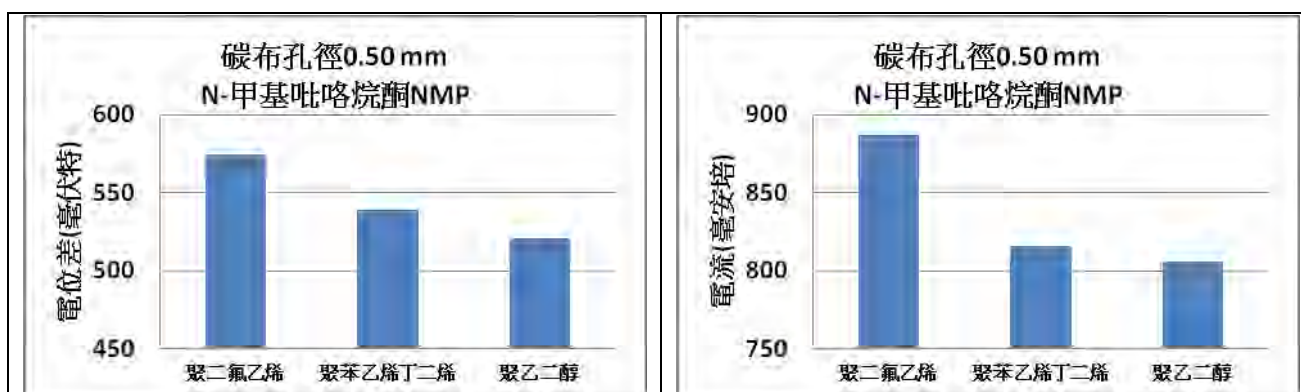


圖 28、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

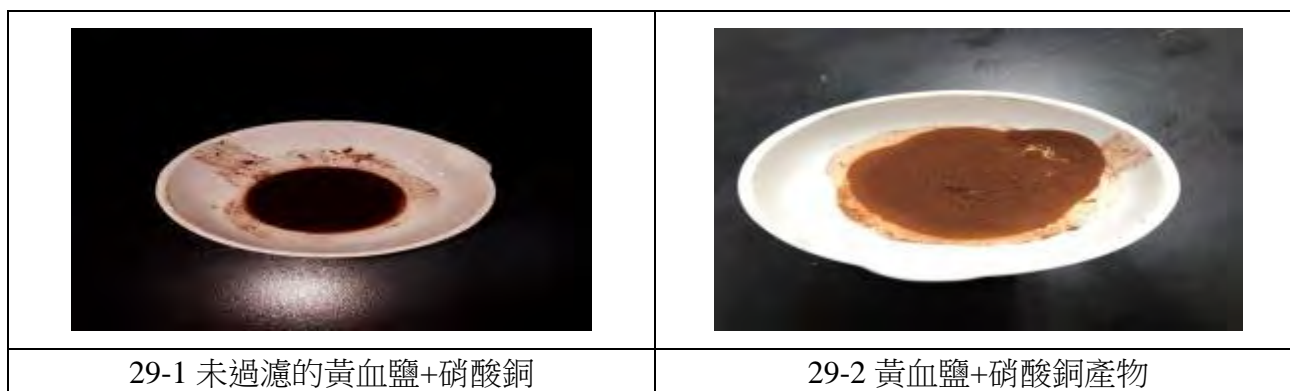


圖 29、黃血鹽+硝酸銅產物

實驗(五) 電極製作：赤血鹽+氯化鎳

反應式：赤血鹽+氯化鎳

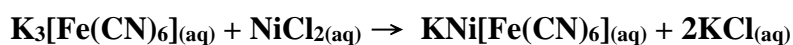


表 21、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 672 | 917 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 650 | 902 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 637 | 841 |

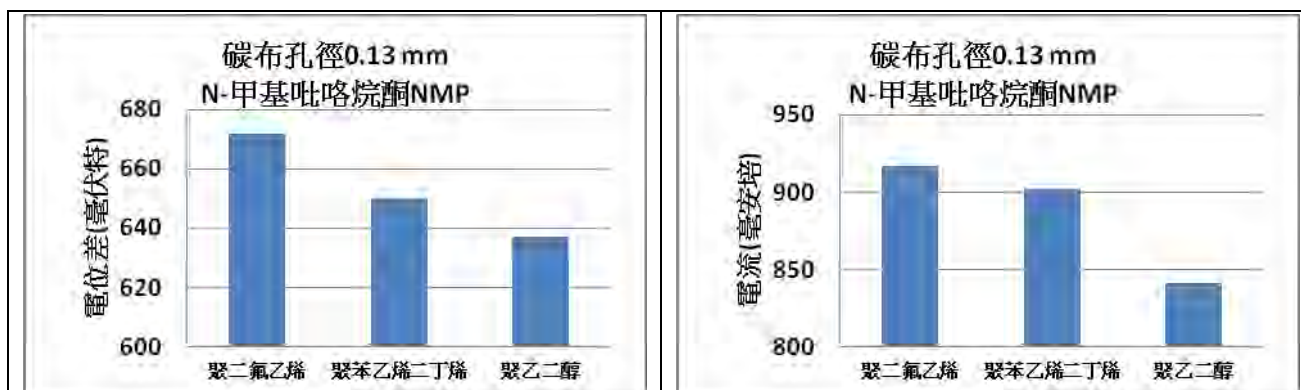


圖 30、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 22、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 698 | 934 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 671 | 906 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 666 | 851 |

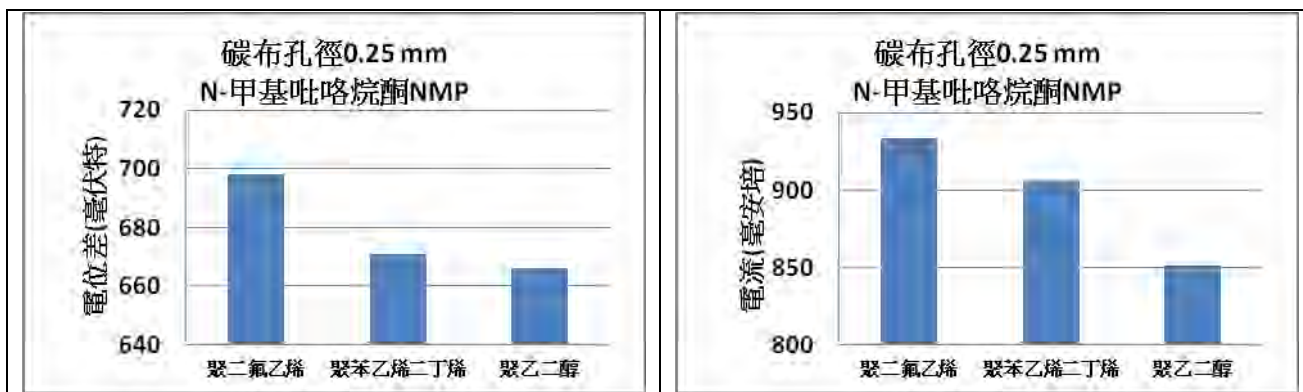


圖 31、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 23、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 709 | 961 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 691 | 939 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 681 | 912 |

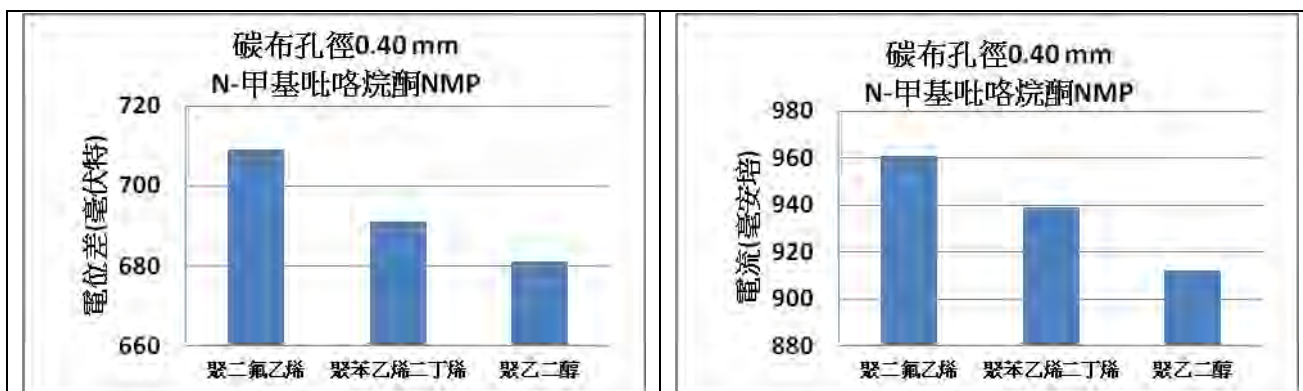


圖 32、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

表 24、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作有機溶劑

| 種類 | 分子量(amu) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|----------------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 PVDF | 約 1,000,000 | 735 | 1002 |
| 聚苯乙烯丁二烯 SBR | 約 100,000 | 722 | 981 |
| 聚乙二醇 PEG | 約 20,000 | 706 | 949 |

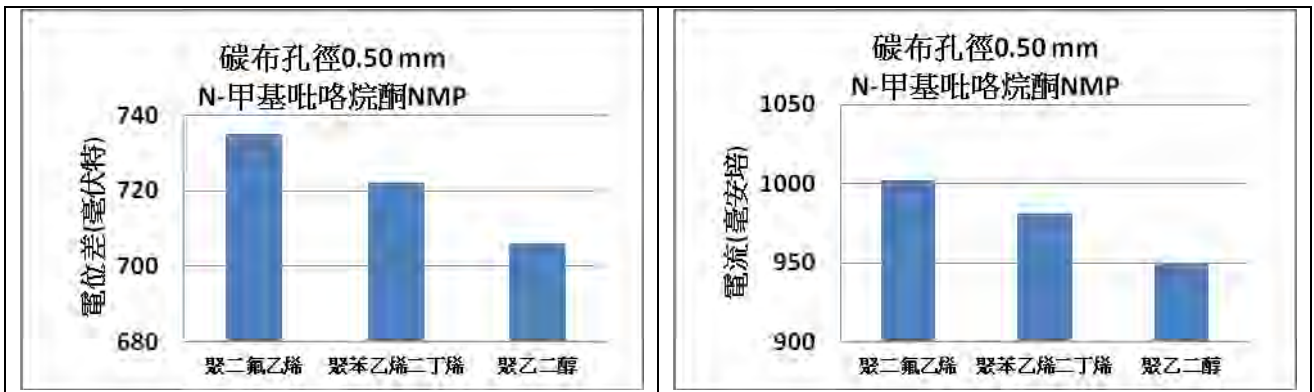
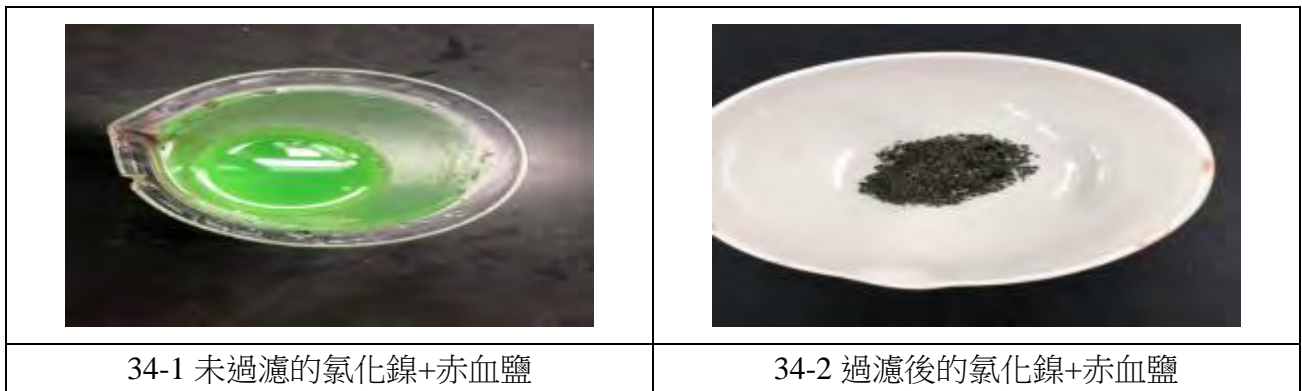


圖 33、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑



34-1 未過濾的氯化鎳+赤血鹽

34-2 過濾後的氯化鎳+赤血鹽

圖 34、黃血鹽+硝酸銅產物

實驗(六) 容器製作

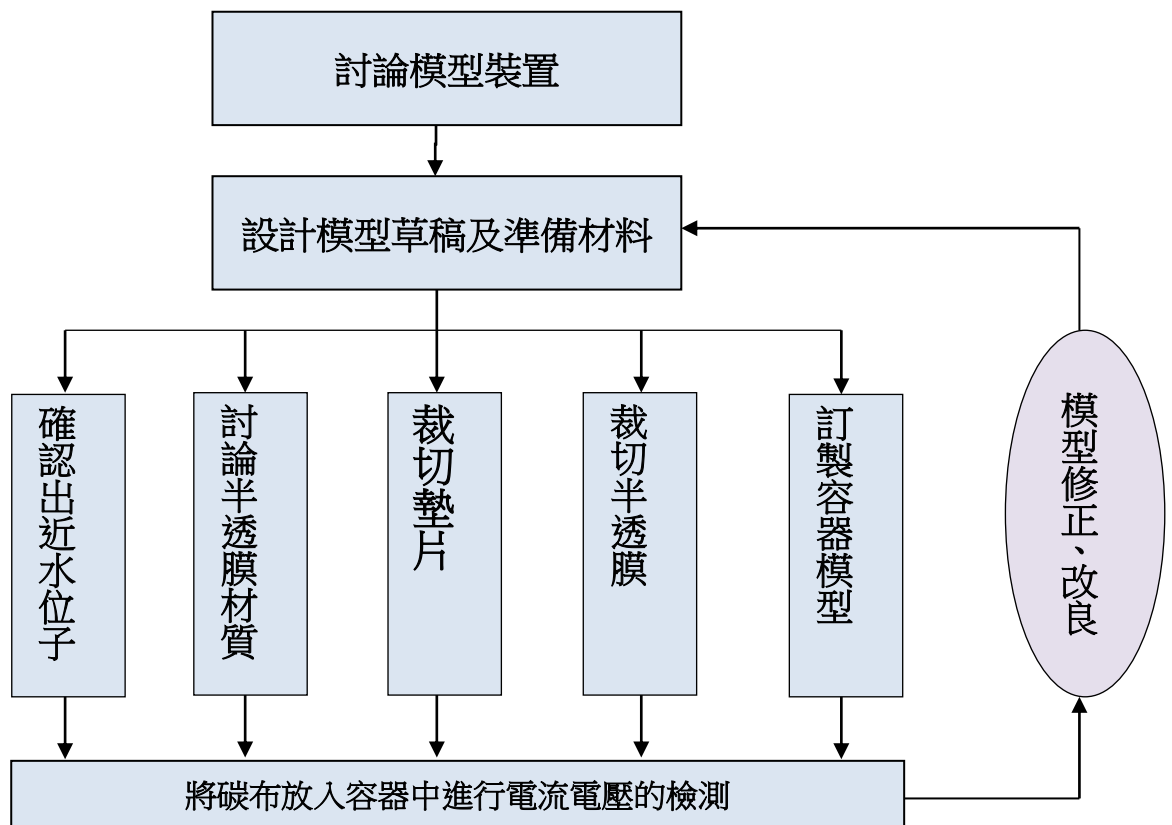


圖 35、研究流程圖

第一代：為了增加電極接觸面積所以我們選用六角形做為模型的基礎外觀，並將出水孔與入水孔的位子做對稱，讓裝置中的水能完全循環。

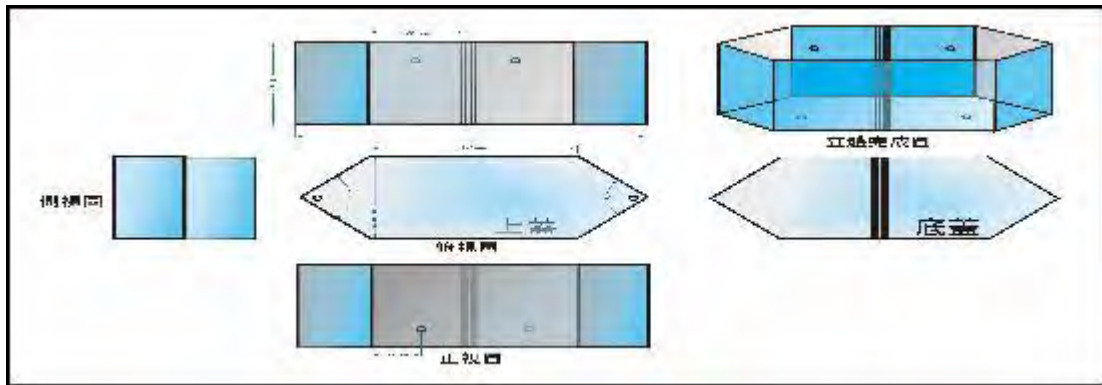


圖 36、第一代的設計圖

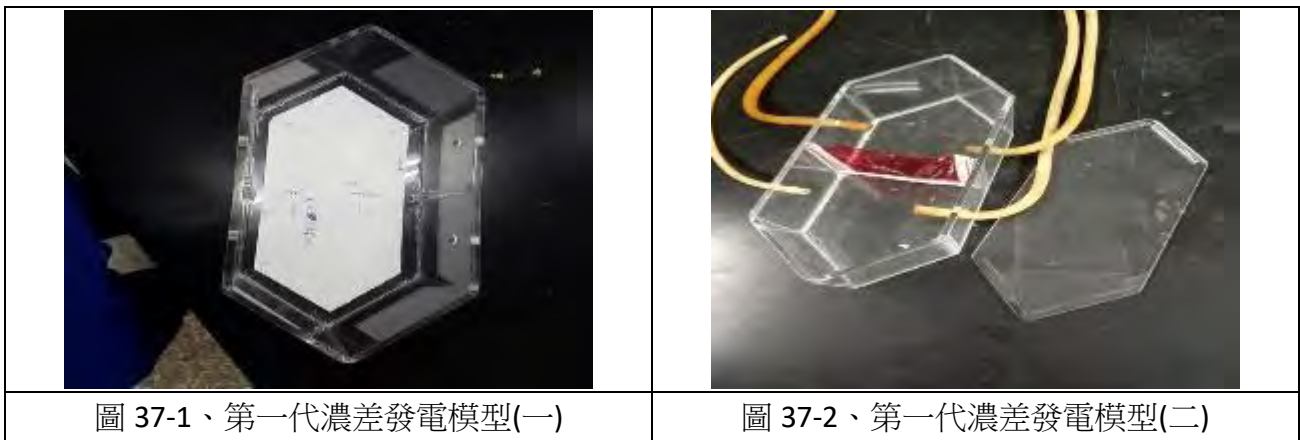


圖 37、第一代模型照片

第二代：我們發現第一代的裝置半透膜的設計上有瑕疵，下方會有水滲到另一邊因此我們將原有裝置拆成兩邊，需要使用時在用螺絲鎖上，並將半透膜夾在中間確保兩邊溶液都能透過半透膜進行交換。

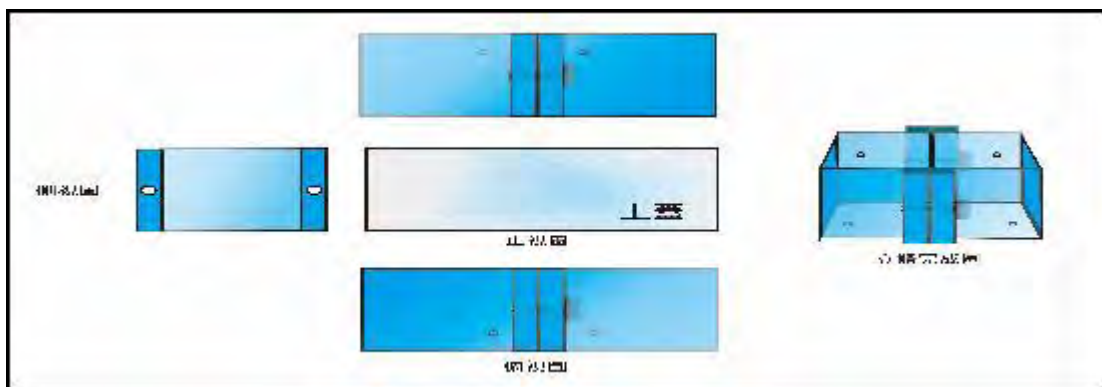


圖 38、第二代的設計圖

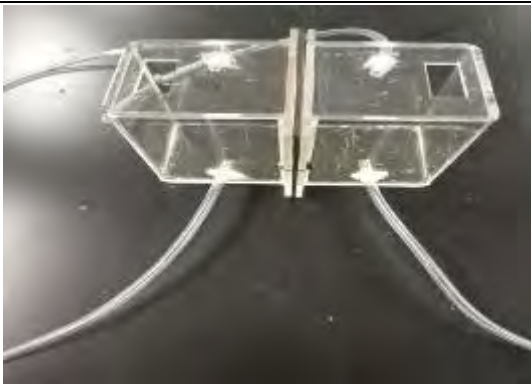


圖 39-1、第二代濃差發電模型(一)

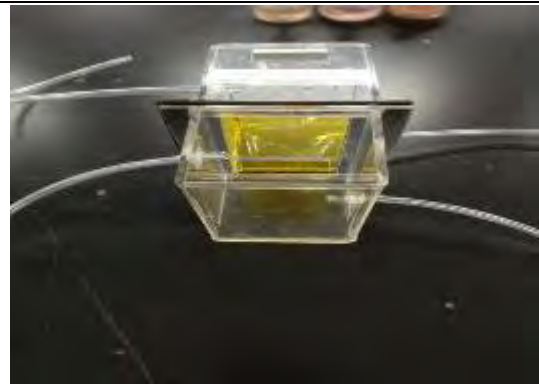


圖 39-2、第二代濃差發電模型(二)

圖 39、第二代模型照片

第三代：將一、二代裝置的的優點做整合，最後決定把外型改為六角形，並且沿著模型邊緣留下兩個正方形的孔，方便將碳布放入。

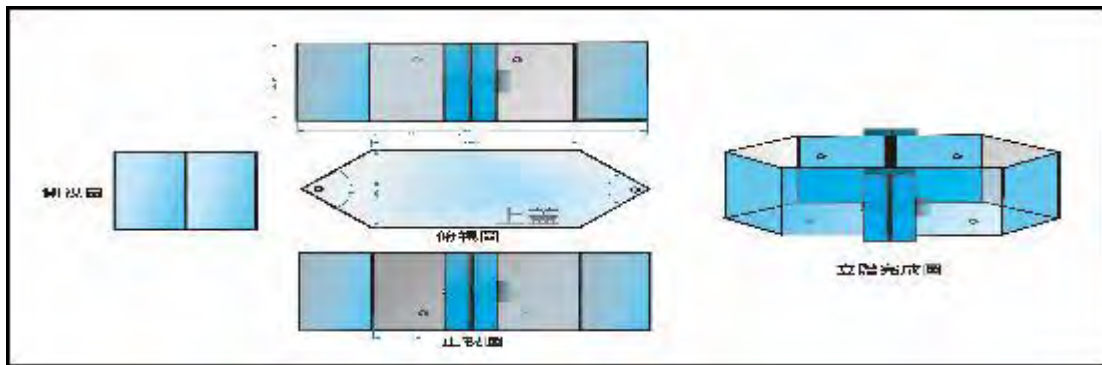


圖 40、第三代的設計圖

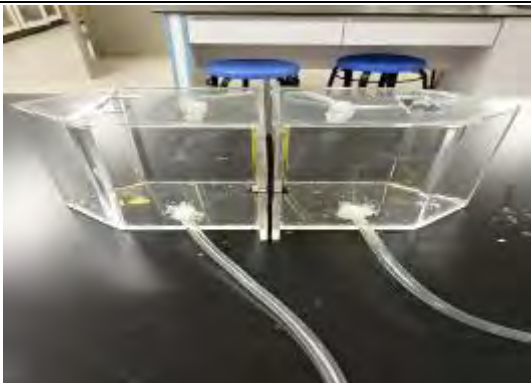


圖 41-1、第三代濃差發電模型(一)

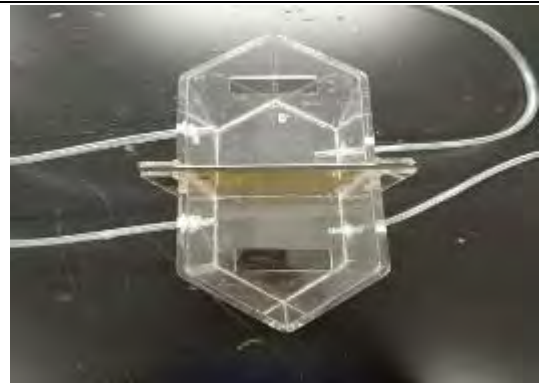


圖 41-2、第三代濃差發電模型(二)

圖 41、第三代模型照片

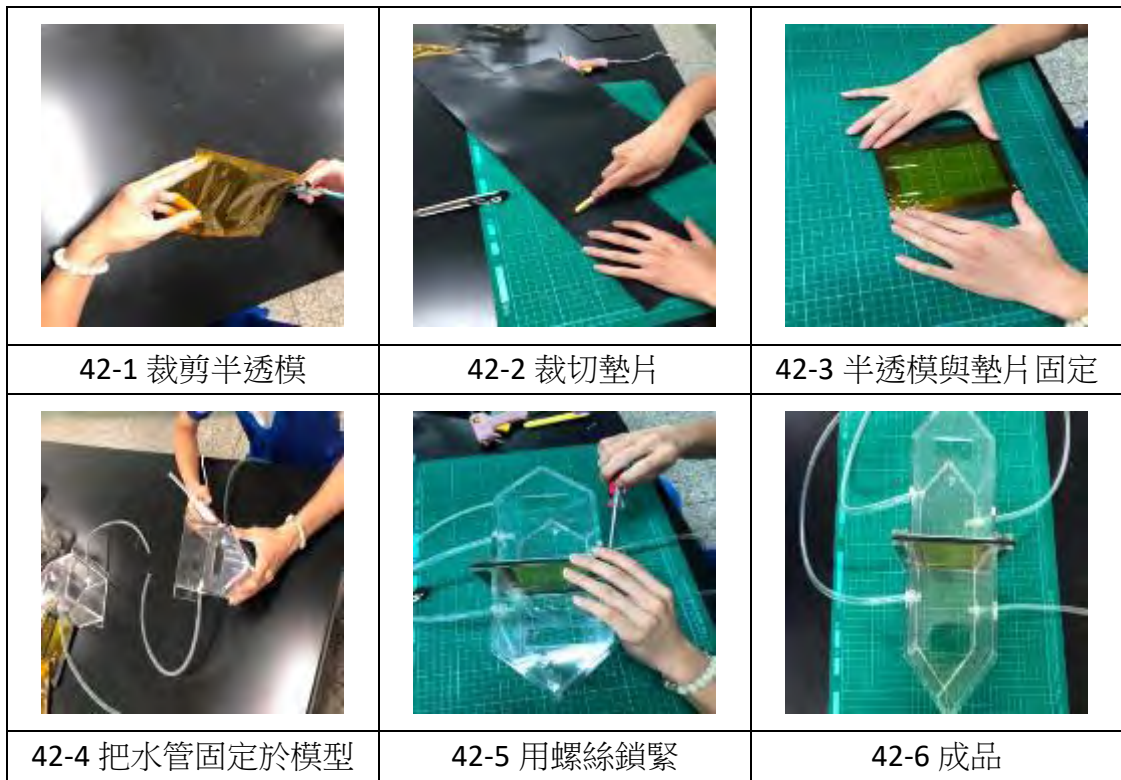


圖 42、模型製作流程照片

表 25、使用赤血鹽加硝酸銅製作的複合式電極對裝置進行實驗

| 裝置 | 時間(min) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|-----|---------|----------|---------|
| 第一代 | 10 | 901 | 712 |
| | 20 | 899 | 664 |
| | 30 | 894 | 325 |
| 第二代 | 10 | 902 | 834 |
| | 20 | 900 | 645 |
| | 30 | 896 | 512 |
| 第三代 | 10 | 906 | 894 |
| | 20 | 901 | 764 |
| | 30 | 899 | 612 |

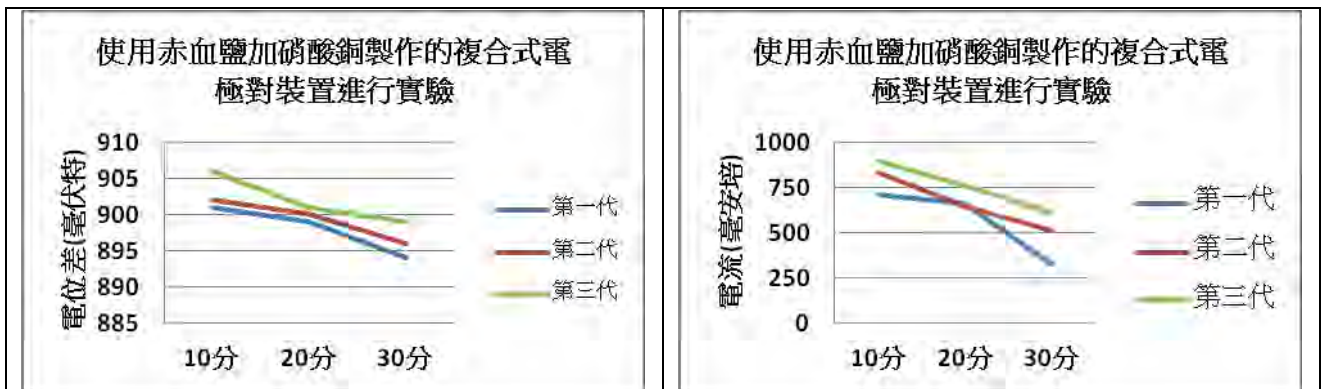


圖 43、使用赤血鹽加硝酸銅製作的複合式電極對裝置進行實驗



圖 44、第一代的實測結果

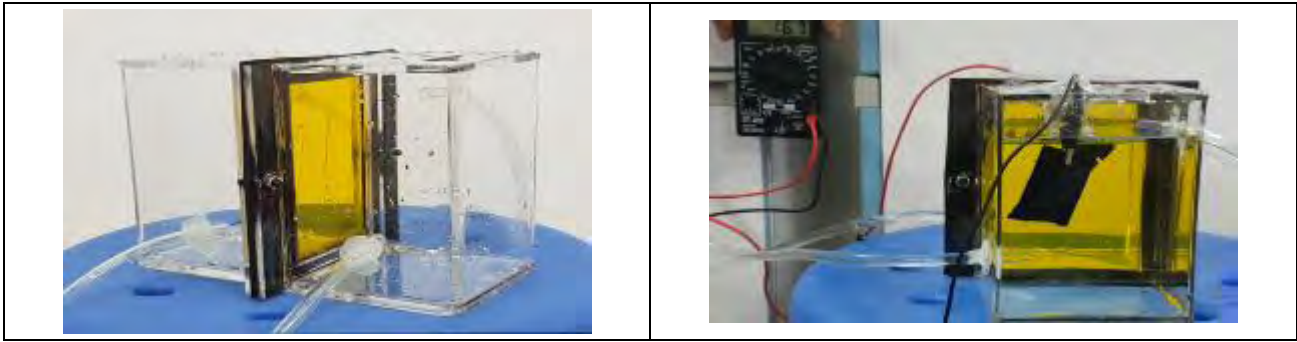


圖 45、第二代的實測結果

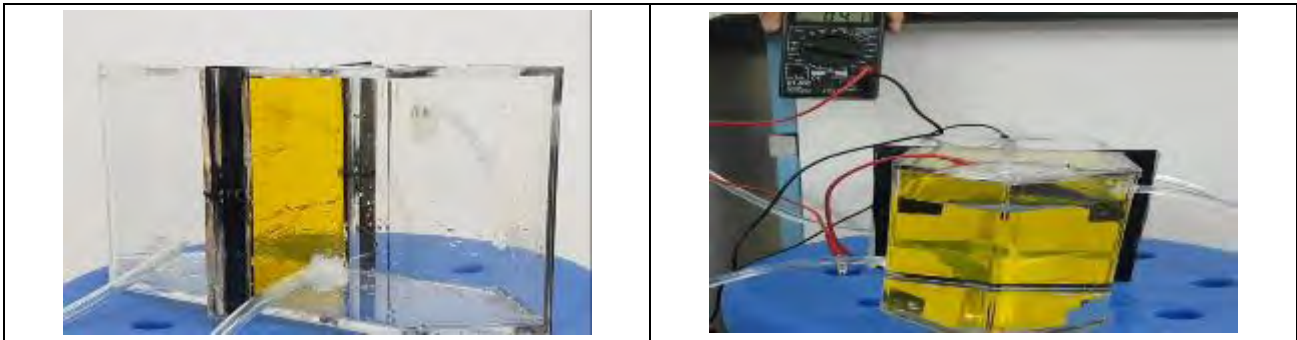


圖 46、第三代的實測結果

實驗(七) 討論三條河川出海口的濃差電池發電效率

| 表 26、三條溪流之特質 | | | | | | |
|--------------|----------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 河川名稱 | 平均逕流量 (CMS) | 導電度 (μ S/cm) | 回收效率 (%) | 電功率 (瓦特) | 電壓 (毫伏特) | 電流 (毫安培) |
| 濁水溪 | 149.29 | 1459 | 68% | 0.85998 | 839 | 1025 |
| 大甲溪 | 75.17 | 212 | 81% | 0.74005 | 779 | 950 |
| 曾文溪 | 9.69 | 607 | 75% | 0.63972 | 743 | 861 |



圖 47、河川實測結果關係圖



圖 48、台灣三條河川實地取水之照片

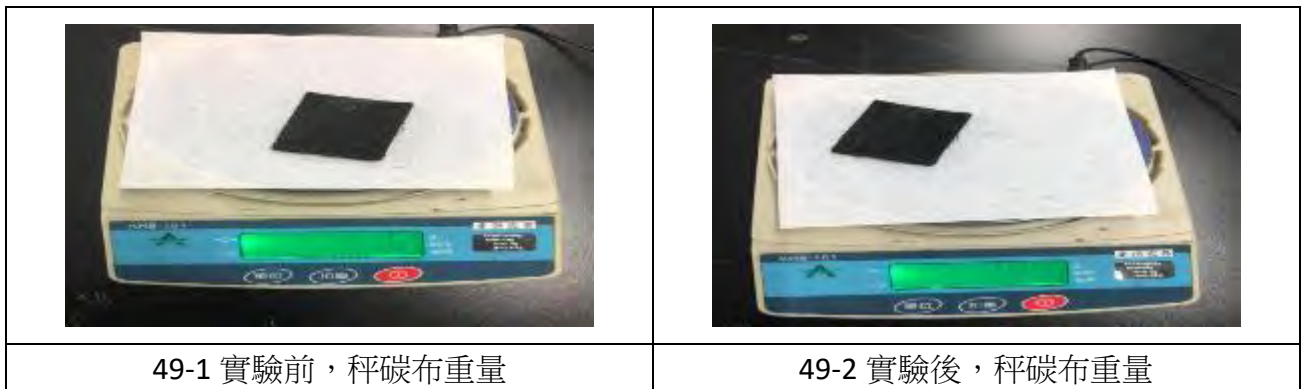
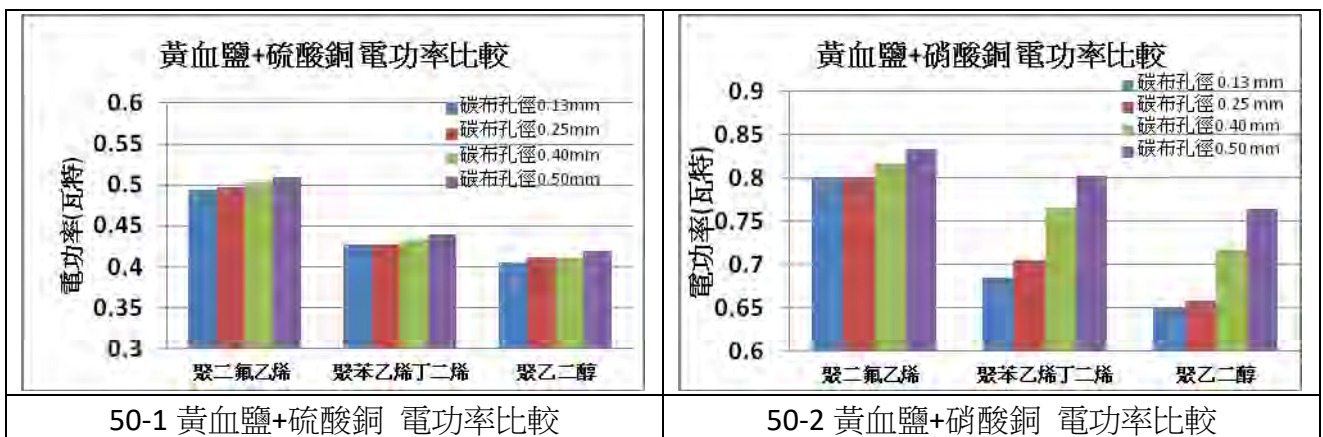


圖 49、計算河川量測後的回收率

柒、研究結果



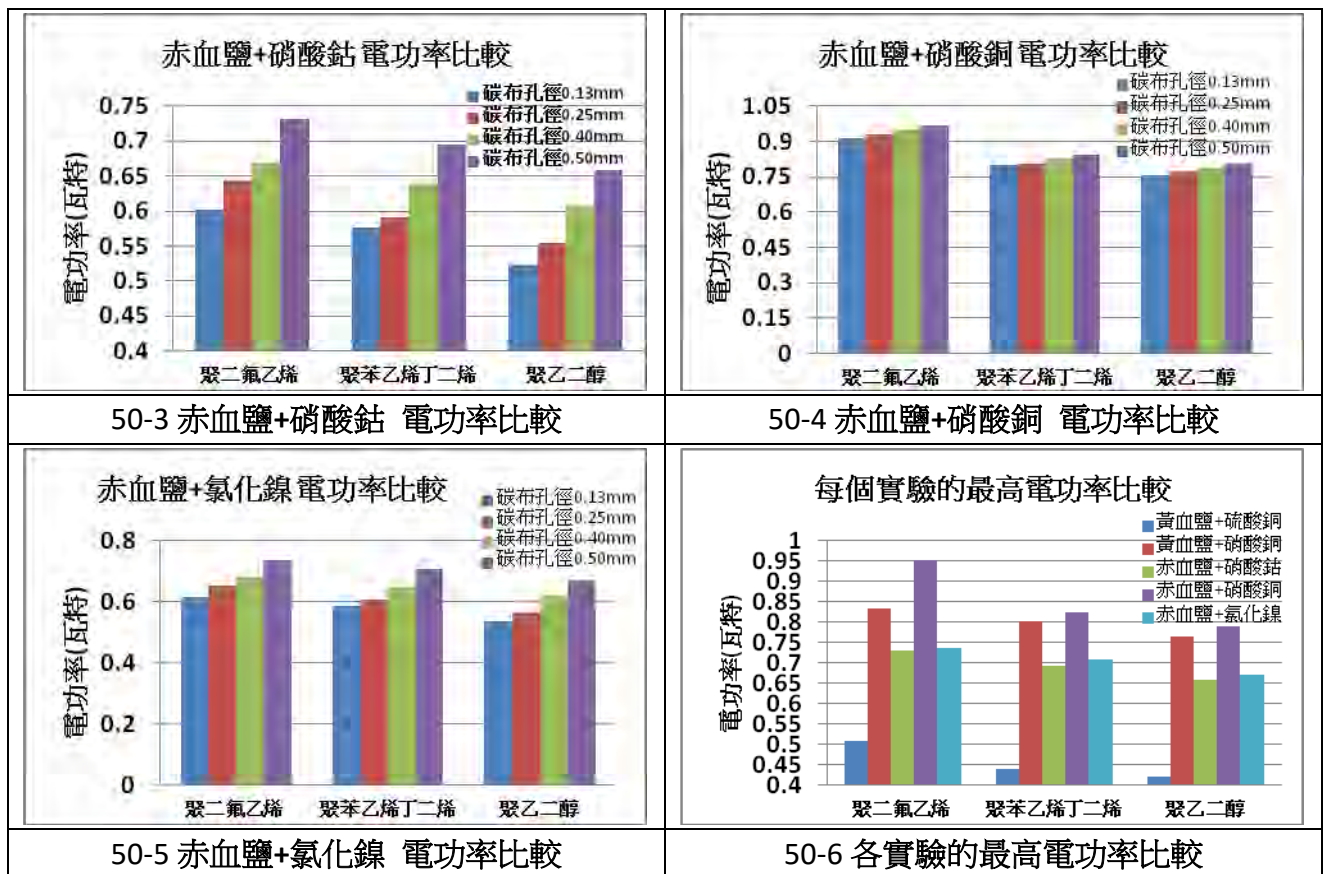


圖 50、各數據的實驗結果

捌、問題討論

在製作實驗一到實驗五的複合式電極後我們發現，六氰基鐵酸銅，不管是在不同分子量還是不同碳布孔徑它所表現的電流及電壓都是最好的，其中又以赤血鹽與硝酸銅為最佳，但這畢竟都只是在實驗室下的結果因此決定實地拿到附近的河川進行實驗，在這之前還進行了實驗六電池裝置的設計運用六邊形的結構我們的電極跟溶液能有最大的接觸面積且電子能透過外接電線被利用，最後進行了實驗七取濁水溪、大甲溪和曾文溪並進一步計算出裝置的電功率及複合式電極實際的回收效率。經過上述所有實驗針對以下幾點做了討論：

1. 使用赤血鹽加硝酸銅與黃血鹽製作複合式電極時的差異

當赤血鹽溶在水之後會解離出鉀離子和亞鐵氰離子，而黃血鹽則是產生鉀離子與鐵氰離子，經過我們與老師的討論及上網查詢它們個別的特性後我們發現二價鐵在溶液的吸收效率有 15%，而三價鐵的只有 3-8%，所以二價鐵比較容易被吸收。但因為三價鐵比較安定，不容易產生氧化還原和自由基的問題，所以還是比較常被拿來使用。在們實驗過程中赤血鹽的效果比黃血鹽佳是因為黃血鹽溶於水後產生的亞鐵離子容易跟其他物質反應進而影響了本來該有的電壓及電流值。

2. 不同分子量的黏著劑所造成的影響

黏著劑的分子量越大黏滯性也相對大但電阻也跟著大，在我們實驗中可以發現剛好

相反分子量小的聚乙二醇測出的電流、是最小的。對於這點讓們常困惑經過們後續的研究發現聚二氟乙烯具有良好的耐化學腐蝕性、耐高溫性、奈氧化性、耐候性、還具有壓電性、介電性、熱電性等這種特殊的性質，且因為實驗中所使用的有機溶劑 N-甲基-2-吡咯酮屬於極性有機溶劑容易與有重複結構的使其有較強極性的 PVDF 相混，且 PVDF 還能將其他實驗時用到的有機物形成共聚合物。而苯乙烯丁二烯、聚乙二醇這兩樣黏著劑雖然分子量相對於 PVDF 是較小的電阻理論上應該是較小的，但 PVDF 的其他特性是高於這兩者(如下圖放電後對有機物的黏滯性)所以後來測出的實驗數據較好。

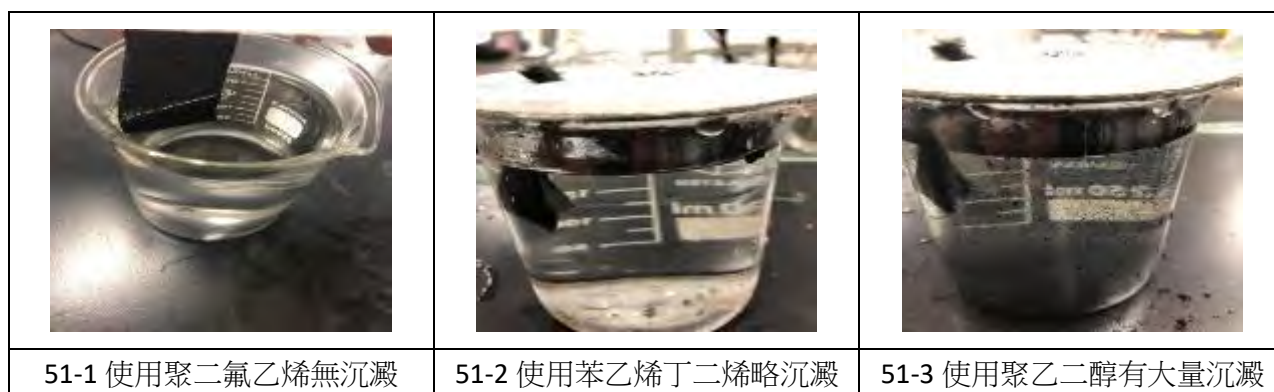


圖 51、使用不同黏著劑後的電極照片

3. 三條河川的實地測量結果

根據我們調查的河川資料與實驗結果，對各河川優缺點進行討論：

1. 濁水溪：在我們實地測量的實驗中濁水溪的逕流量是排名第一所產生的電功率也是最好的，但因為受到的污染最為嚴重以及本身泥沙含量很大因而導致電極回收效率並不理想。
2. 大甲溪：是我們觀察的實驗裡逕流量最小的，它的污染也是這三條河川中污染最少的，所以我們在實驗前推測大甲溪會是發電功率最好的河川，可是它的逕流量太小，使它的發電效率是三條河川裡最差的。實驗經過了一段時間後，發現它的發電功率並沒有隨著實驗時間增長而影響到電池的發電效率，因此在此推測著河川的污染愈少，電池使用壽命就可以越久。
3. 曾文溪：是我們調查的實驗裡逕流量第二的，受到的污染也是這三條河川中污染次多，所以它的發電效率與能源往返率都是第二高的。

綜合實地測量的實驗數據發現，逕流量的多寡會影響河流的濃度差，濃度差影響了自製複合式電極的發電效率，河川本身的污染則是間接或是直接的影響電池的回收效率。

玖、結論

1. 由一到五使用不同材料去製作鈉複合式電極的實驗可以知道赤血鹽加硝酸銅製作的鈉複合式極所發電的效率是最好的。
2. 透過實驗四種不銅碳布孔徑的實驗發現孔徑的大小對於電極所產生的電壓電流的影響不大。
3. 透過改變不同的黏著劑我們發現，黏著劑的分子量雖然會對於電極的電壓電流值有所影響但還是要對於個黏著劑的特性做更進步的探討。
4. 在製作電極裝作的實驗發現使用六角形與利用夾半透膜的方式來設置對於電極在其中所發電的效率是最好的。
5. 再取實地的河川與海水回來進行實驗後我們發現各河川的受汙染的程度與回收率有極高的關係，電壓電流值則是與河川與海的濃度差有關。

拾、未來展望

現今能源缺乏的問題日益嚴重，找尋新的能源都成了各國首要的議題。在本次的實驗中用赤血鹽加硝酸銅所製作出的複合式電極，發電的電功率達到了 **0.967113** 瓦特，在大甲溪的回收效率高達 **81%**，跟市面上一次性的電池相比已經環保許多，但電壓、電流上還是略有不足，往後我們會在對於這方面的缺點做改良，讓它能成為新一代的電池，也會著重在尋找有效維護電極的方法來增加自製電池的壽命並且去嘗試之前實驗過的的 **5** 種複合式電極進行各種的組合(例如:黃血鹽製作的複合式電極+硝酸姑製作的複合式電極)，最後我們會再去檢測更多的河川，找出全台灣哪幾條河川比較適合使用濃差電池來發電，為台灣的再生能源能有所貢獻，讓保護環境與產生能源不在是不可能的事。

拾壹、參考文獻

1. 基礎化學(一) 第四張 化學與能源
2. 選修化學(上) 電化學
3. 專題報導海水滲透過濾-左右逢「源」
4. 維基百科化學能
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8C%96%E5%AD%B8%E8%83%BD>
5. 科學人 2017 年第 182 期 4 月號河流變電池
<http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=newscan> HYPERLINK
6. 藍色能源：混合水怎樣才能發電？
http://www.bbc.com/ukchina/trad/vert_fut/2015/06/150617_vert_fut_water_electricity
7. Cubic Copper Hexacyanoferrates Nanoparticles: Facile Template-Free Deposition and Electrocatalytic Sensing Towards Hydrazine
<https://www.hindawi.com/journals/ijelc/2011/395724/>
8. Self-assembled films of nickel hexacyanoferrate: Electrochemical properties and application in potassium ion sensing
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040609005021024>
9. Cobalt Hexacyanoferrate as Cathode Material for Na⁺ Secondary Battery
<http://iopscience.iop.org/article/10.7567/APEX.6.025802/pdf>
10. 博碩網：地理資訊系統應用於河川自然淨化處理技術之研究-以大甲溪及烏溪為例
<http://hdl.handle.net/11296/eqr759>
11. 台灣經濟部水利署河川資訊

【評語】 030214

本實驗係以自製「鈉複合式電極」中，探討在河川出海時，所造成濃度差予以發電，系統地探討不同材質製成電極，所產生的電功率及回收率，具有創意，值得鼓勵。在應用端的具體設計可以放入更多的想法。以下為一些實驗上的建議：

1. 可在研究內容中多加介紹 PVDF、聚乙二醇、聚苯乙烯丁二烯的功用與在製作電極上的角色為何？
2. 所有的量測需加入誤差值，以提高數據的可信度與得知數據的再現性

摘要

本實驗是找尋適當的材料製作「納複合式電極」來利用河川在出海時所造成濃度差的區域來發電。實驗討論的變因有不同的黏著劑不同碳布孔徑不同有機溶劑分別對電極放電度的影響，各個複合式電極完成後先在實驗室進行模擬複合式電極放電的過程，並且利用EXCEL對各項實驗數據逐一討論。接著自行設計出一個適合此電極的裝置。為了確認裝置的可行性選到附近的三條大河（濁水溪、大甲溪、曾文溪）實地取水進行實驗，並討論了此電極的「回收效率」與放電能力以及河流本身的特性對自製電極所造成的影響。經過多次實驗，得知赤血鹽與硝酸銅所製作的納複合式電極所產生的電功率以及回收率是最好的，電功率達到了0.967113瓦特，回收率則是達到了83%。

壹、研究動機

「能源」一直是一項熱門的話題，但目前還是找不到可以兼顧環境又能發電的方式，就台灣而言核四廠是否該運作就吵得沸沸揚揚，運作了會產生含輻射的核廢料，但如果將核電廠停用就會讓我們的供電吃緊。如下圖所示，就台灣而言主要的發電方式為火力發電，其發電量占總發電量高達八成之多，但是一年所產生的二氧化碳也多達了九千多萬噸，僅僅一個台灣就有如此高的二氧化碳的排放量，想要不造成溫室效應都很难，因此找尋新的發電方式是一項不可逃避的問題我們需要一種有效率又環保的發電方式。經過一番查詢後我們發現台灣四面環海的特性，以及擁有二十多條的大小河川，如果能有效的利用這些河川在流出海時所造成濃度差的區域來發電或許就能產出龐大的電能，那就可以不用依賴核能、火力發電這種會破壞環境的方式來產生能源。經過與老師討論後，決定使用高中化學教過的電池來進行後續研究。這時問題就來了如果想像海水做為電解質電極必須含有鈉的成分但鈉如果與海水直接接觸了又會產生氫氣根本無法順利的發電，因此我們使用其他的物質來包裹鈉進行得失電子的反應，鈉在其中只是扮演傳遞電子的角色。使用化學原理再由濃度的流動輔助，由兩個不同的電極來產生化學能。期望能把「河電池」帶入台灣這塊土地。



圖1、(圖片來源:台灣電力公司)

貳、研究目的

本研究濃差發電本研究目的分為下列幾點：

- 一、找尋電極最佳的製作材料以及製法。
- 二、設計整個電池裝置讓反應能進行的更流暢。
- 三、實際取出口海水回來進行實驗證明自製裝置是有實際利用的價值。
- 四、觀察與紀錄裝置之效能來討論如何能再提升自製電池發電的效能。

參、研究設備與器材

| 表1、儀器以及紀錄設備 | | | | 表2、製造電極之材料 | | | |
|-------------|---------|----|-------------|------------|---|----|-----|
| 編號 | 物品 | 數量 | 用途 | 編號 | 物品 | 數量 | 用途 |
| 一 | 筆記本、筆 | 一本 | 實驗日記與研究觀察結果 | 一 | 硝酸銅 Cu(NO ₃) ₂ | 一瓶 | 實驗用 |
| 二 | 手機 | 一台 | 拍攝實驗過程 | 二 | 硫酸銅 CuSO ₄ | 一瓶 | 實驗用 |
| 三 | 離心機 | 一台 | 分離沉澱物 | 三 | 亞鐵氰化鉀 K ₄ [Fe(CN) ₆] | 一瓶 | 實驗用 |
| 四 | 電子秤 | 一台 | 量取試劑的劑量 | 四 | 鐵氰化鉀 K ₃ [Fe(CN) ₆] | 一瓶 | 實驗用 |
| 五 | 筆記型電腦 | 一台 | 撰寫 Word 檔案 | 五 | 甲基吡咯烷酮 | 一瓶 | 實驗用 |
| 六 | 烘箱 | 一台 | 烘乾產物 | 六 | 氯化亞汞 Hg ₂ Cl ₂ | 兩支 | 實驗用 |
| 七 | 恆定電流電位儀 | 一台 | 供應穩定的電位 | 七 | 碳黑 C | 一瓶 | 實驗用 |
| 八 | 電動式幫浦 | 二台 | 抽取實驗用水 | 八 | 聚二氧乙烯 | 一袋 | 實驗用 |
| 九 | 電磁加熱攪拌器 | 二台 | 加熱與攪拌 | 九 | 導電碳布 | 一片 | 實驗用 |
| | | | | 十 | 硝酸鈉 | 一瓶 | 實驗用 |
| | | | | 十一 | 聚二乙醇 | 一瓶 | 實驗用 |
| | | | | 十二 | 聚二乙醇 | 一瓶 | 實驗用 |
| | | | | 十三 | 聚二乙醇 | 一瓶 | 實驗用 |
| | | | | 十四 | 氯化鎳 NiCl ₂ | 一瓶 | 實驗用 |



圖2、製造電極之材料

肆、研究及實驗過程

一、研究流程：

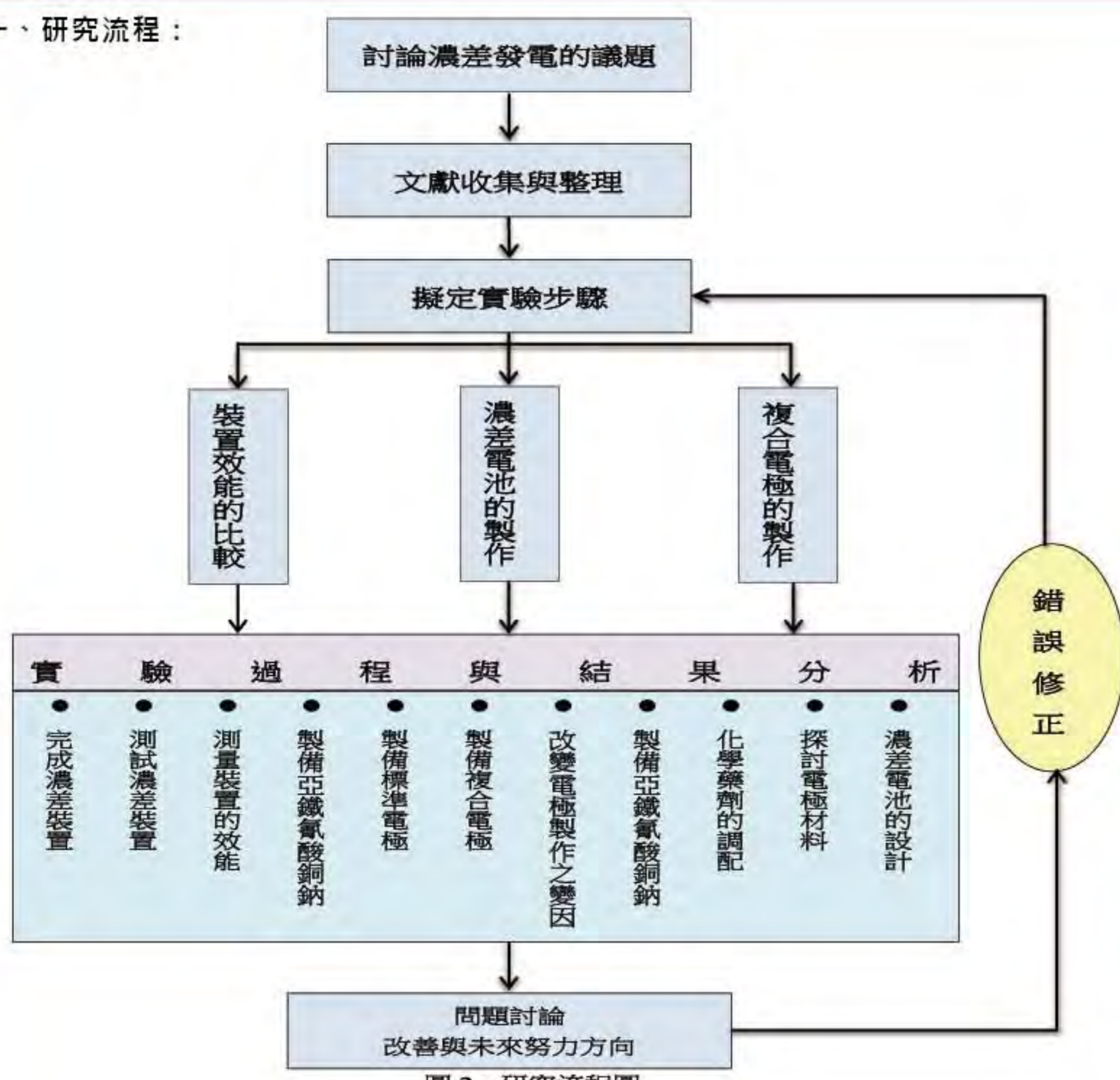


圖3、研究流程圖

伍、文獻收集

河電池主要是利用河水與海水之間的鹽度差進行發電，透過(Cu/HCF)這種複合式電極，使整個系統進行氧化還原反應，進一步探討不同藥劑混和所製造的複合式電極效果，找尋最佳的產生成方法，以達到淨化環境的效果。以下為各種方法與技術的文獻蒐集：

(一)河電池的發展潛力

現今運用海洋發電的方法有很多種，例如：潮汐發電、洋流發電、海洋溫差發電等，但是高成本往往是此研究海洋發電的致命傷，但是本實驗透過離子交換的這種方法，會比其他種海洋能發電的方法要省上許多花費，河流與海洋交會處會有個很棒的發電機會：這類淡鹹水交會處形成的鹽度梯度蘊含龐大的電位能，舉例來說，各大河口就可包辦全球發電量的40%如果據估計若全球的海河交界處都以海洋鹽度差來發電，則每年可帶來 1.65 兆瓦電力的發電量。

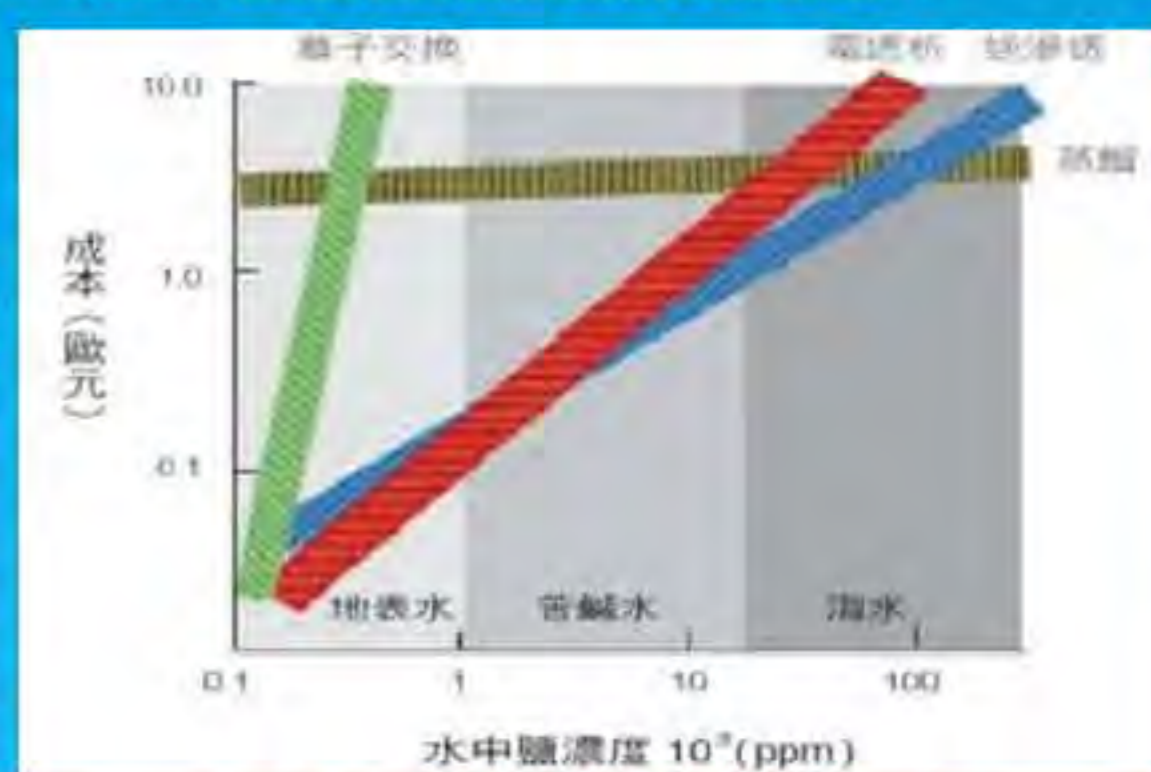


圖4、各類除鹽操作與成本比較

表3、各種海洋能發電總表

| 種類 | 電力(TW) | 能量密度(m) |
|--------|--------|---------|
| 洋流發電 | 0.05 | 0.05 |
| 海洋發電 | 2.70 | 1.50 |
| 潮汐發電 | 0.03 | 10.00 |
| 海洋溫差發電 | 2.00 | 210 |
| 海洋濃差發電 | 2.60 | 240 |

表4、常見液體鹽度與滲透壓

| 種類 | 鹽度 TDS(ppm) | 滲透壓(bar) |
|-----|-------------|----------|
| 海水 | 35000 | 24 |
| 苦鹹水 | 7000 | 5.0 |
| 河水 | 1000 | 0.7 |
| 飲用水 | 450 | 0.3 |

(二)複合式電極

複合式電極是利用吸附，塗抹，聚合，化學反應等方法把活性分子、催化物質等附著在電極金屬(包括石墨，半導體)表面上，使之具有較強的特徵功能。是一種極複雜的電極，而這種電池電極的循環壽命長且功率大，像是六氰合鐵酸鈉的晶體納米顆粒可以作為廉價水性電解質中的電池電極操作。複合式電極在一般速率下進行多次深度放電循環之後，保留了原始大量的原始電容。即使在非常高的循環速率下，也可觀察到其最大放電容量的三分之二。在適度的電流密度下，可實現接近約99%的往返能量效率。如：亞鐵氰酸銅，紅棕色粉末。亞鐵氰化銅能溶於硝酸，氨水及氫化鉀溶液，不溶於水和醋酸。熱至120°C以上分解。是目前研究來說平均可使用很久，功效也頗多的複合式電極材料，而亞鐵氰酸銅的製法有很多種。



圖5、亞鐵氰酸銅

(三)裝置大綱

這套系統是從電容混合技術加以變化而得，運作原理：使用電池的電極，再藉由鹽度梯度運作。但它是開放系統，和電池不同。這款裝置比以往電容混合研究的發電密度高出一倍。他們還需要提高電力輸出，以及確定這款裝置的成本效益和可擴充程度(在實際環境中，發電廠的規模和小型倉庫相仿)。也可以再用在鹽度梯度相當極端的地方，例如高鹽湖泊、地熱井或廢水處理廠。但如果這項技術可行又安全，未來將能和太陽能、風能一樣成為再生能源。

陸、實驗流程

(一)製造複合式電極：

- 1.用赤血鹽與R.O.水配置成0.05 M黃血鹽溶液250 mL
- 2.用硝酸銅與R.O.水配置成0.1 M硫酸銅溶液250 mL
- 3.常溫之下各取80mL同時滴入裝有40 mL R.O.水的燒杯並均勻攪拌
- 4.使用離心機，使產物可以快速沉澱
- 5.用濾紙過濾法將其過濾
- 6.使用R.O.水沖洗濾紙，把雜質去除
- 7.將產物置於烘箱烘乾(80 °C、24小時)
- 8.刮取濾紙上之產物並研磨成粉(初步產物)
- 9.替換不同的實驗組合，上述實驗步驟後，進行比較

表5、實驗電極之配對

| | |
|---------|---------|
| 赤血鹽+硝酸銅 | 赤血鹽+硝酸銅 |
| 黃血鹽+硝酸銅 | 黃血鹽+硝酸銅 |

(二)將前述實驗的產物膠結成電極

- 1.取實驗後的產物、碳黑與PVDF依比例調和
- 2.加入N-甲基吡咯烷酮(每次用0.1克亞鐵氰酸銅鉀就加入1 mL的N-甲基吡咯烷酮)
- 3.持續攪拌直到黏著劑完全溶解(註：黏著劑使用PVDF、聚乙二醇、聚聚苯乙烯二烯)
- 4.將上述混合物均勻塗抹在碳布(註：碳布厚度0.13 mm、0.25 mm、0.4 mm、0.5 mm)
- 5.將電極置於烘箱烘乾(80 °C、24小時)
- 6.使用Hg/Hg₂Cl₂作為參比電極，與電極的電位差為0.9 V浸泡在0.513 M的NaCl水溶液中30分鐘
- 7.把浸泡30分鐘的電極取出，再用Hg/Hg₂Cl₂作為參比電極，把電位差改為0.7 V浸泡在0.513 M的NaCl水溶液中30分鐘
- 8.取出後即為實驗用的複合式電極
- 9.檢測電極電壓電流值(後續會使用電化學常用的線性掃伏安法、開路電位、安培法對電極做更進一步的檢測)

(三)設計濃差發電裝置：

設計動機：能讓自製複合式電極發揮最大效能的模型

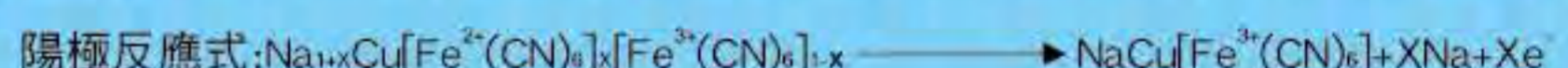
- 1.設計出一個能夠放入半透膜的位置
- 2.找出可以完全密封模型的方法，並可以接出外接電路
- 3.設計出排水孔的最佳位置

(四)模型完成後：

- 1.把半透膜置入模型中
- 2.使用端動式幫浦將高張食鹽水(NaCl的質量百分濃度=10%)與低張食鹽水(NaCl的質量百分濃度=1%)分別導入模型兩側
- 3.使用三用電表測試裝置是否會發電

(五)運作原理：

- 1.把鹹水和淡水分別注入電池內兩側，放入複合式電極。放入濾紙是為盡量降低兩側的混合程度。
- 2.在淡水這一側，電極為Na₂Cu[Fe^{II}(CN)₆](為二價鐵)。有淡水時，電極中的鐵與鈉反應，產生鈉離子進入水中；鐵同時釋出電子(變為三價)，電子流過外電路到另一端。
- 3.在鹹水這一側，電極中的鐵與水中的鈉離子反應(得到Na⁺)，同時接受自淡水側來的電子，電極從NaCu[Fe^{III}(CN)₆]變為Na₂Cu[Fe^{II}(CN)₆]，結合這兩個反應，電子由電池的一側流到另一側時，就可產生電力。
- 4.液體每隔30分交換一次(電池的鹹水側裝入淡水，反之亦然)，即可讓電流持續下去。



*由陰陽極反應得知電極在放電的過程中就是在充電但我們使用的電池與一般市面上一次性的電池及充電電池有著很大的不同，它具有二次性但是利用氧化還原的原理進行充放電無須再接電源進行充電。

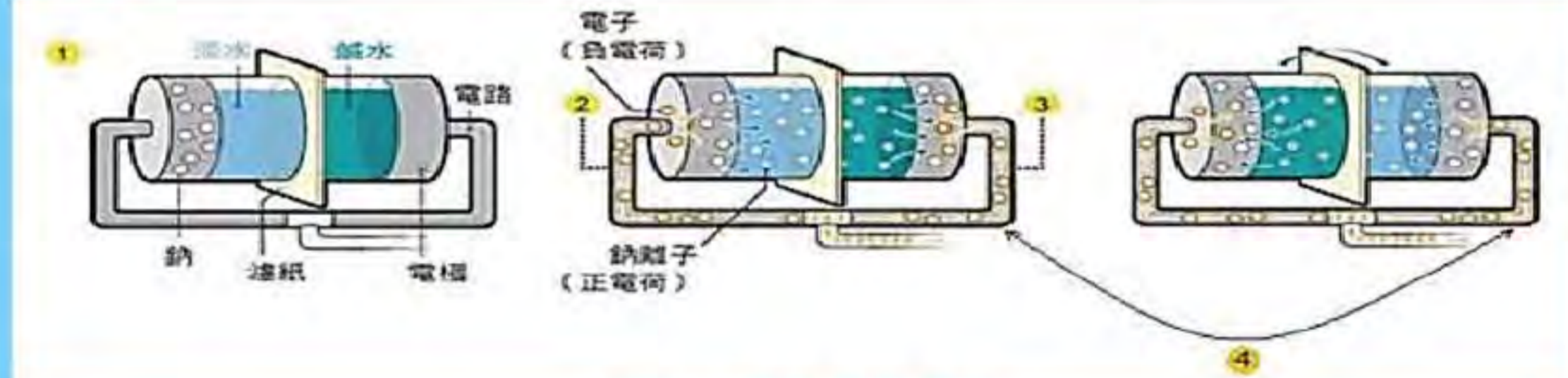


圖6、裝置運作原理

實驗：

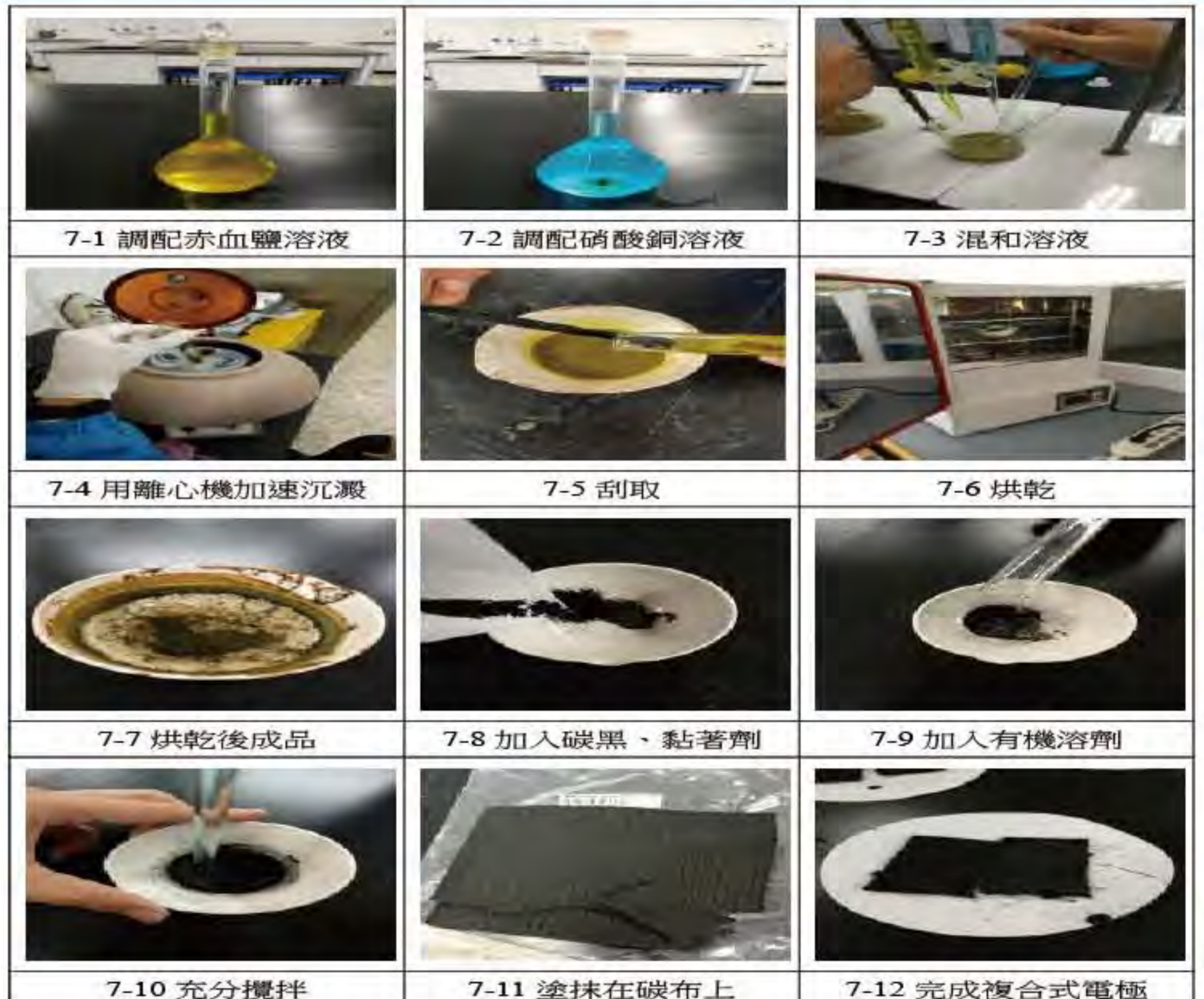


圖7、實驗過程之照片

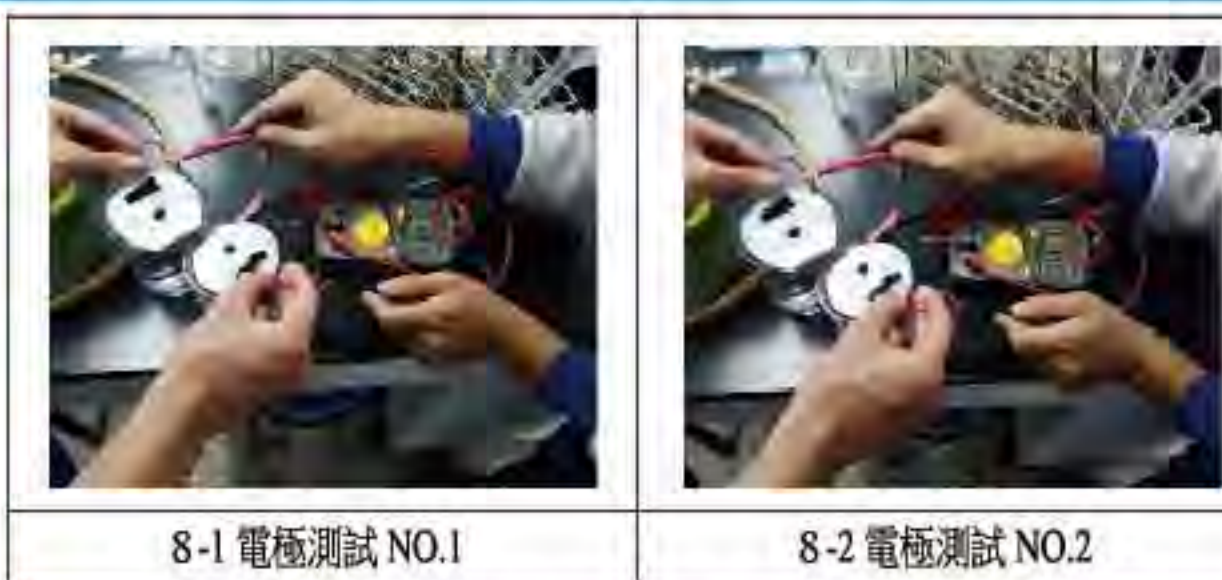


圖 8、測試自製電極



圖 9、實驗電極的過程

實驗(一) 電極製作：赤血鹽+硝酸銅

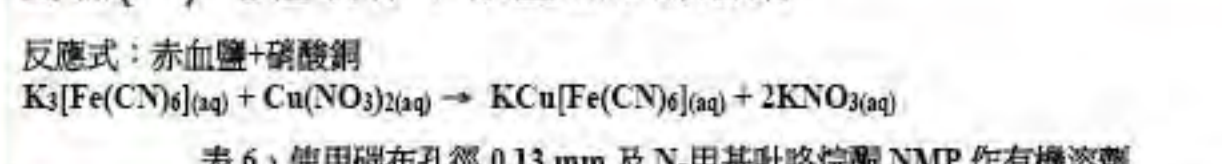


表 6、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 883 | 1032 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 861 | 927 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 847 | 891 |
| PEG | | | |

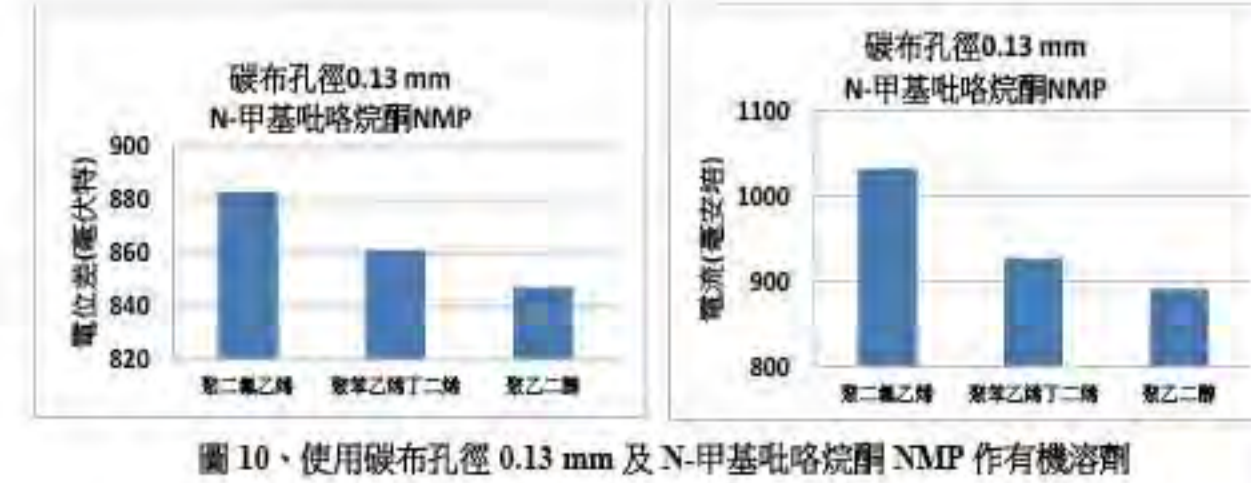


圖 10、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 7、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 889 | 1048 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 864 | 932 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 851 | 904 |
| PEG | | | |

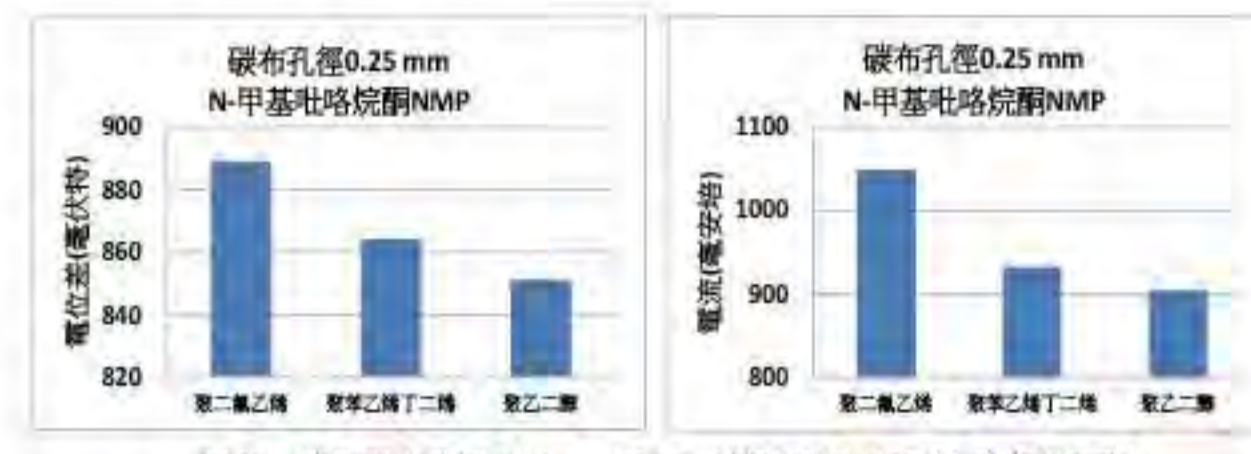


圖 11、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 8、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 893 | 1066 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 868 | 951 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 857 | 921 |
| PEG | | | |

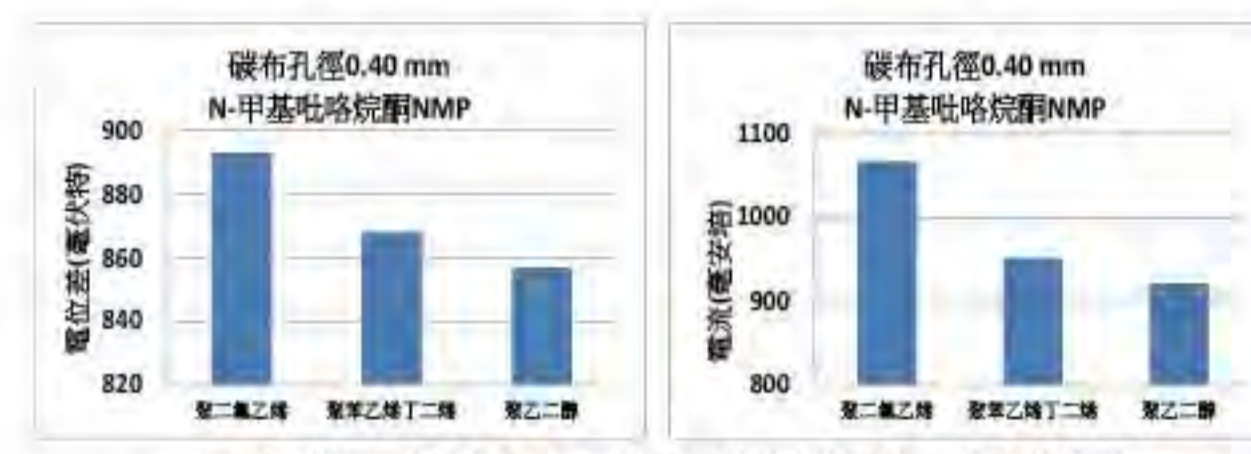


圖 12、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 9、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 903 | 1071 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 875 | 965 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 864 | 932 |
| PEG | | | |

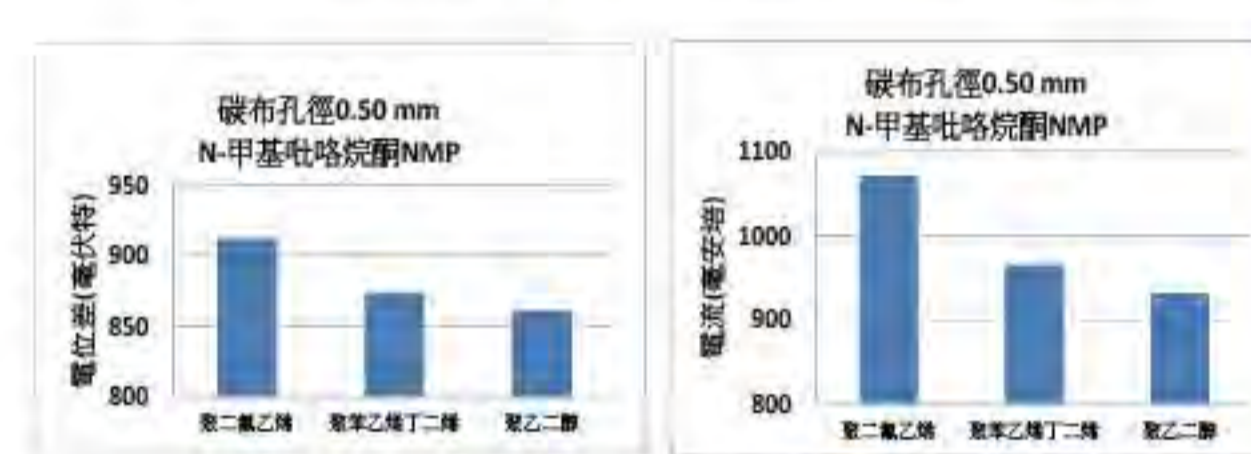
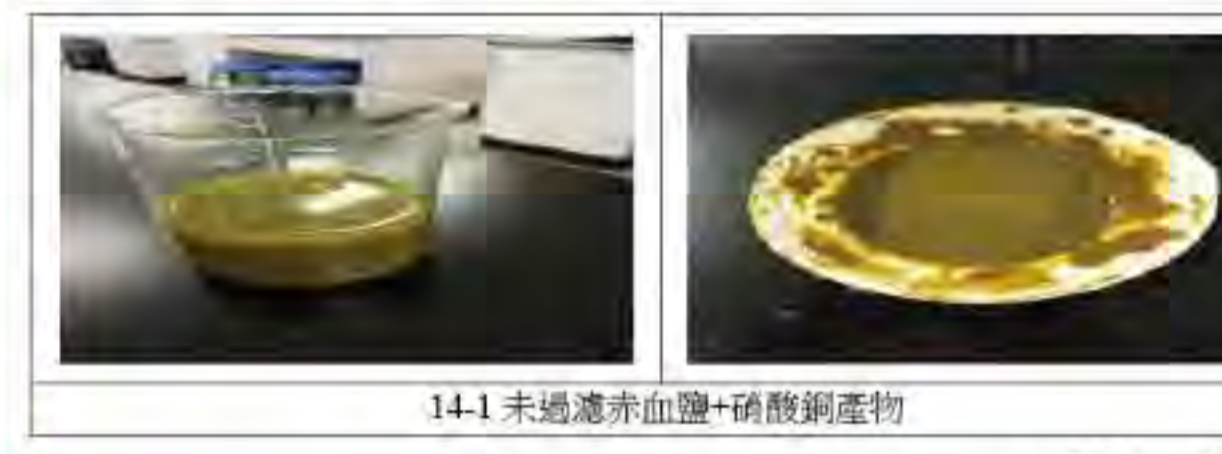
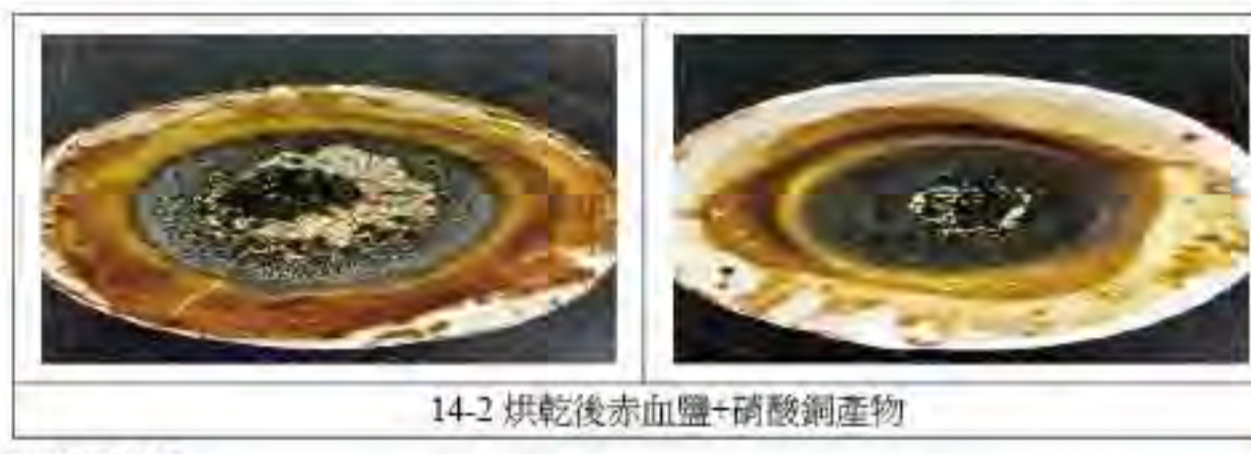


圖 13、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑



14-1 未過濾赤血鹽+硝酸銅產物



14-2 烘乾後赤血鹽+硝酸銅產物

圖 14、赤血鹽+硝酸銅產物

實驗(二) 電極製作：黃血鹽+硝酸銅

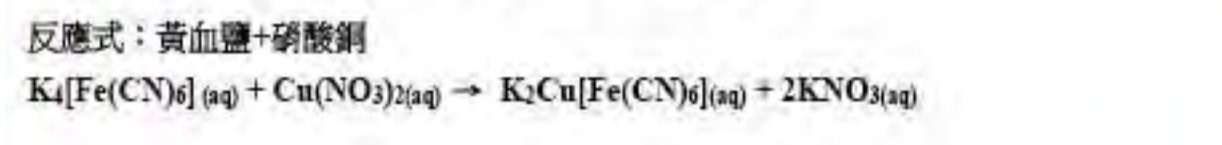


表 10、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 778 | 1028 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 751 | 912 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 734 | 884 |
| PEG | | | |

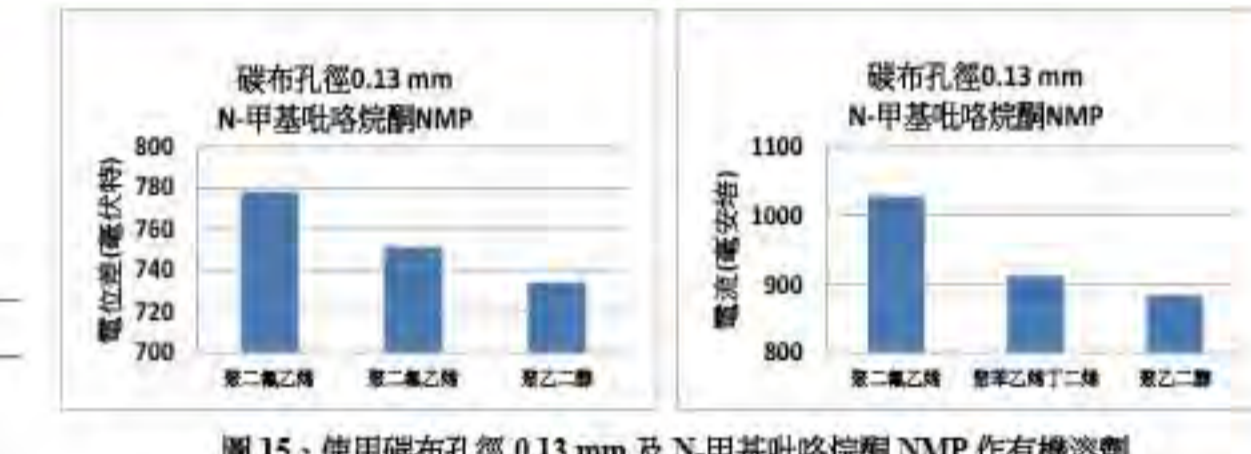


圖 15、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 11、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 776 | 1032 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 757 | 932 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 739 | 891 |
| PEG | | | |

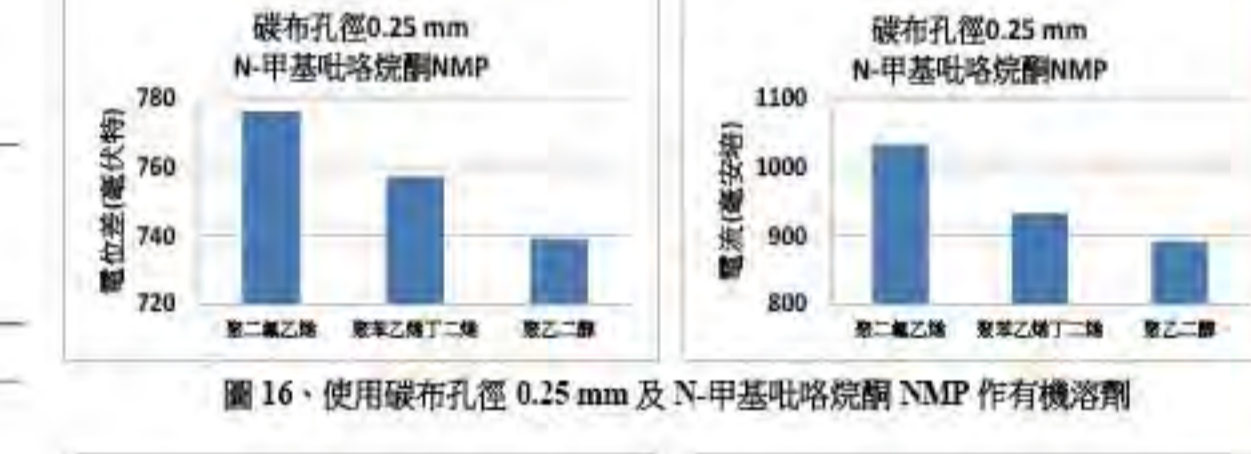


圖 16、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 12、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 782 | 1044 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 744 | 1029 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 743 | 966 |
| PEG | | | |



圖 17、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 13、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 790 | 1054 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 776 | 1033 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 749 | 1020 |
| PEG | | | |

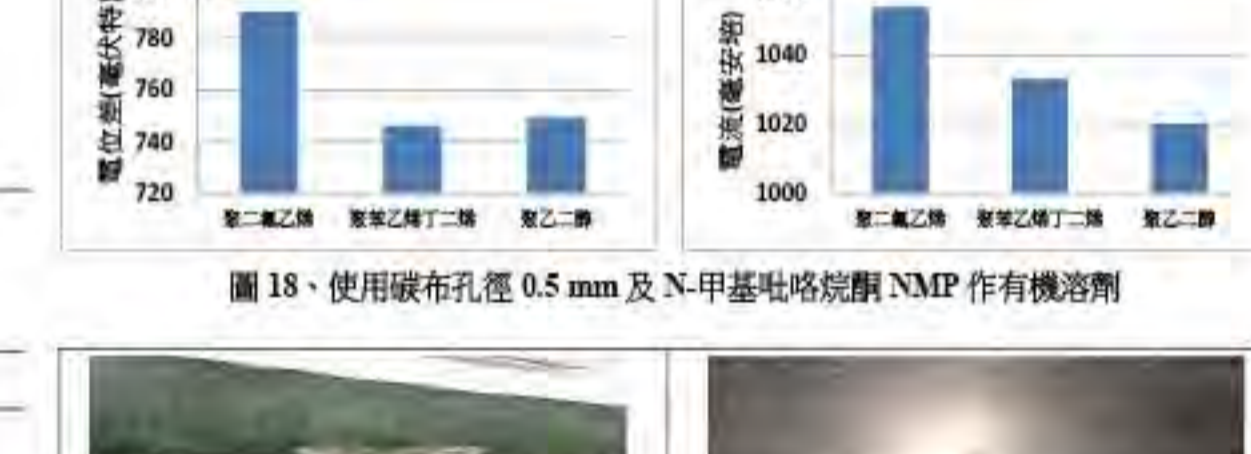
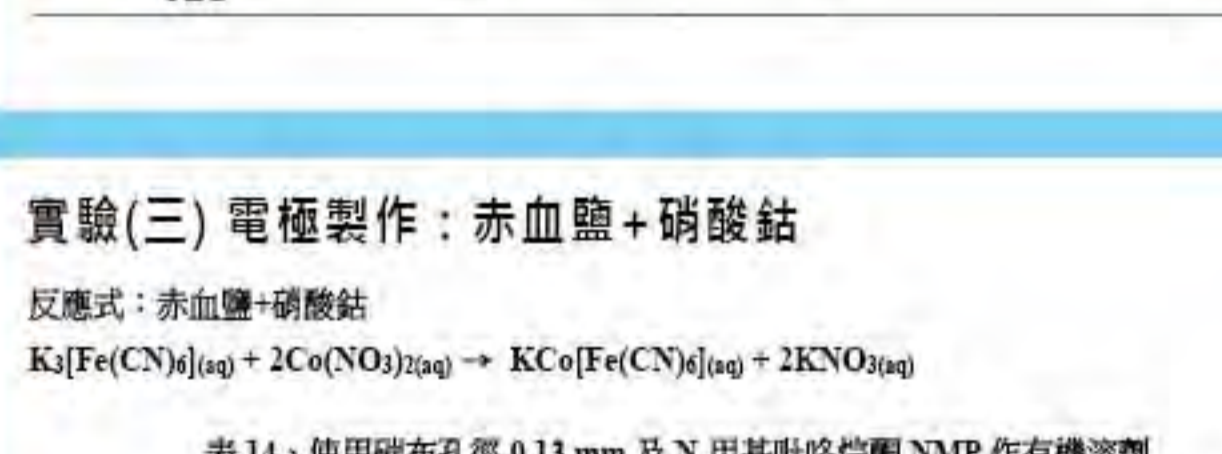


圖 18、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑



19-1 未過濾的黃血鹽+硝酸銅



19-2 黃血鹽+硝酸銅產物

圖 19、黃血鹽+硝酸銅產物

實驗(三) 電極製作：赤血鹽+硝酸鉍

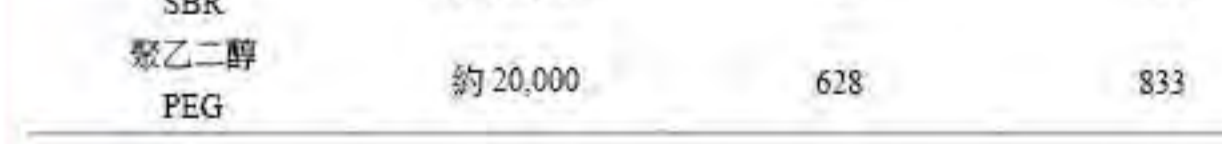


表 14、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 661 | 911 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 642 | 899 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 628 | 833 |
| PEG | | | |

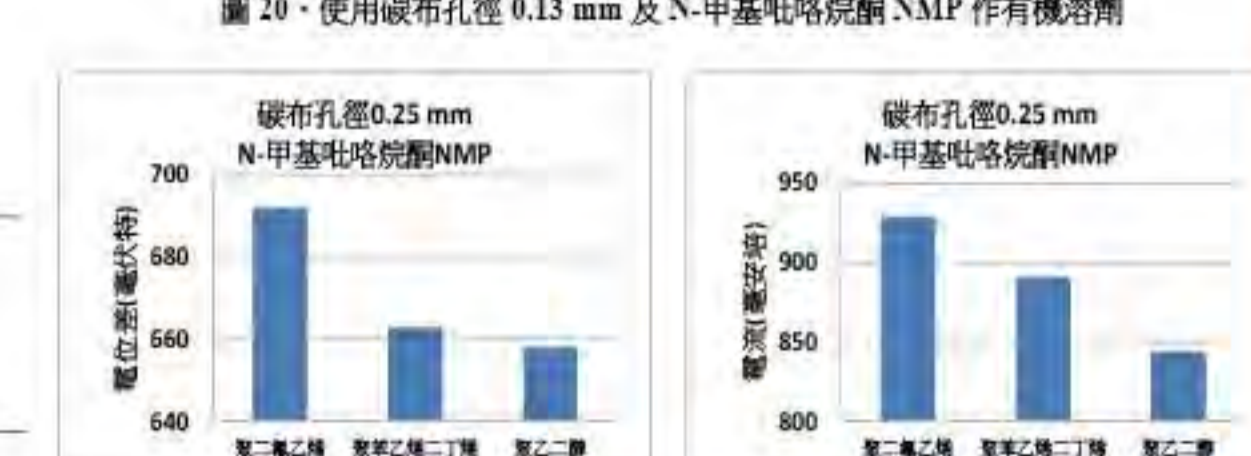


圖 20、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 15、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 692 | 929 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 663 | 891 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 658 | 844 |
| PEG | | | |

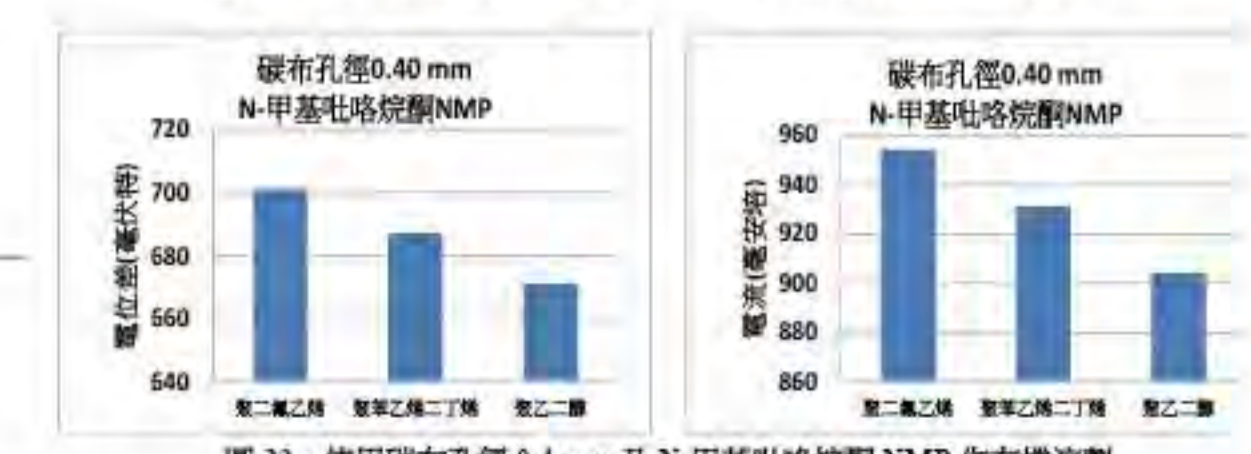


圖 21、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 16、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 701 | 954 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 687 | 931 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 671 | 904 |
| PEG | | | |

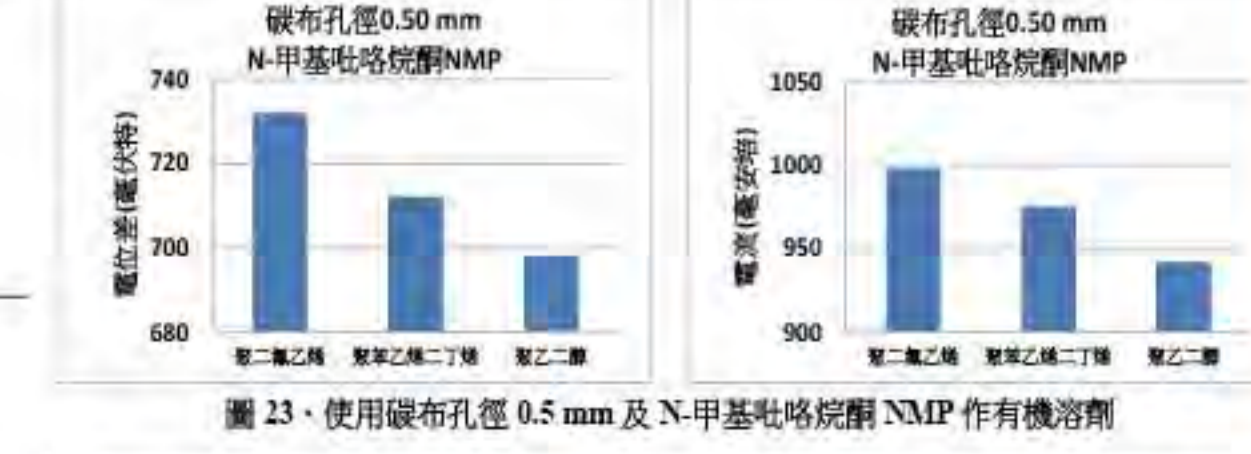


圖 22、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 17、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 732 | 998 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 712 | 975 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 698 | 942 |
| PEG | | | |

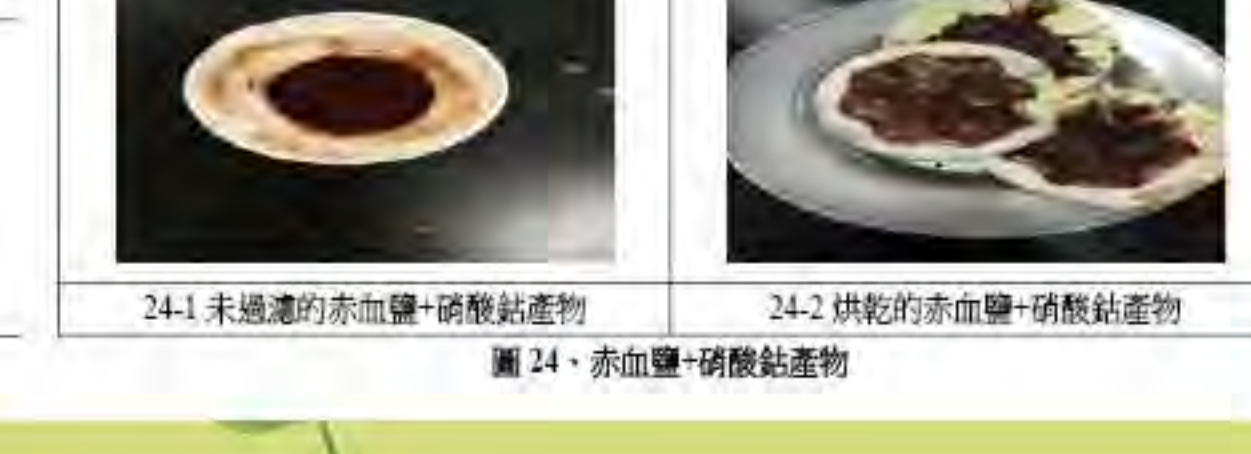


圖 23、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑



24-1 未過濾的赤血鹽+硝酸鉍產物



24-2 烘乾的赤血鹽+硝酸鉍產物

圖 24、赤血鹽+硝酸鉍產物

實驗(四) 電極製作：黃血鹽+硫酸銅

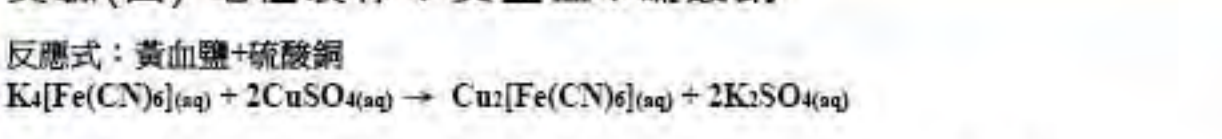


表 18、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 563 | 877 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 531 | 803 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 511 | 792 |
| PEG | | | |

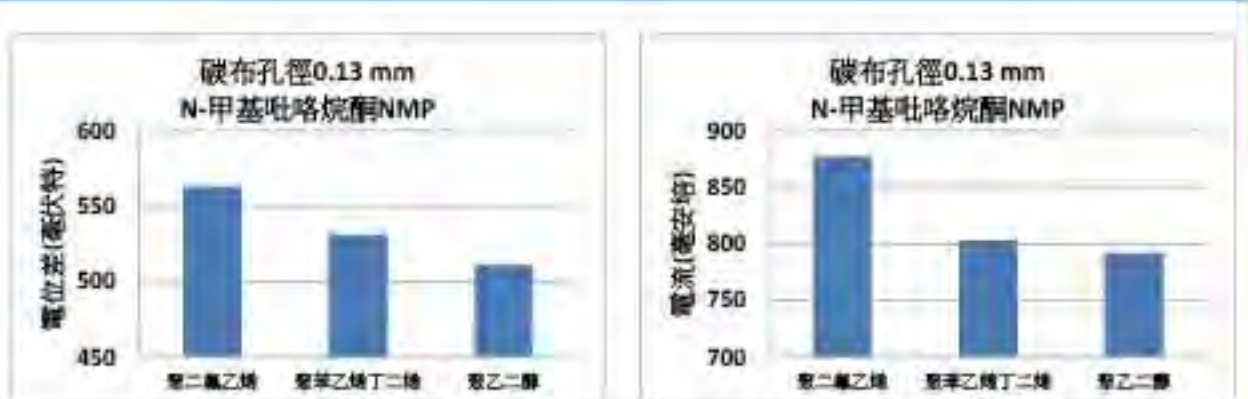


圖 25、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 19、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 566 | 879 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 529 | 807 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 518 | 794 |
| PEG | | | |

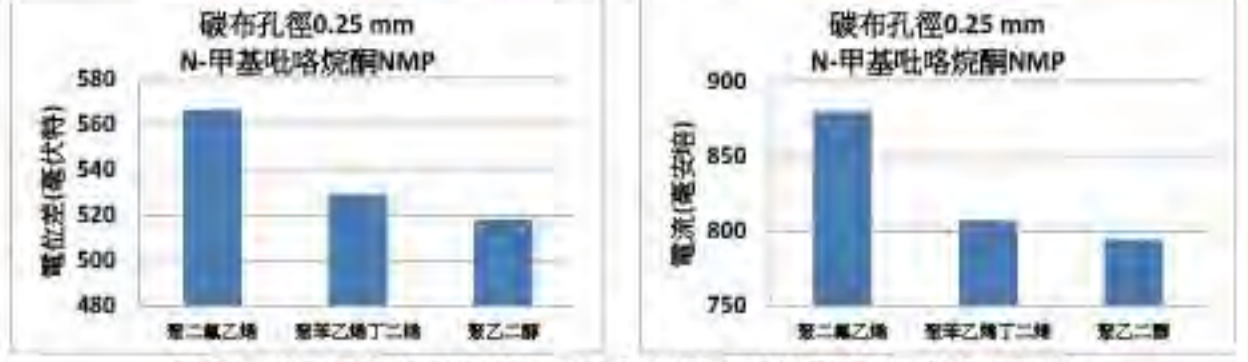


圖 26、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 20、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 571 | 833 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 534 | 812 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 516 | 799 |
| PEG | | | |

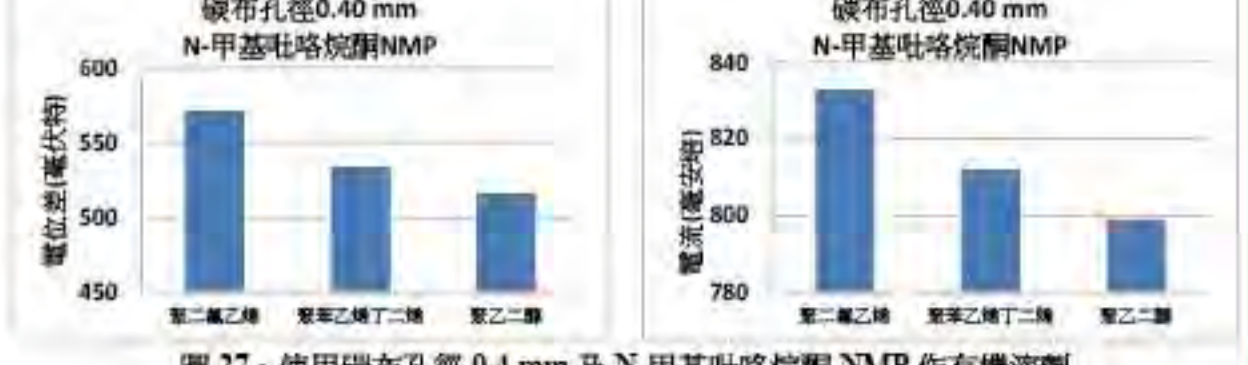


圖 27、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 21、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 575 | 887 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 539 | 816 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 521 | 806 |
| PEG | | | |

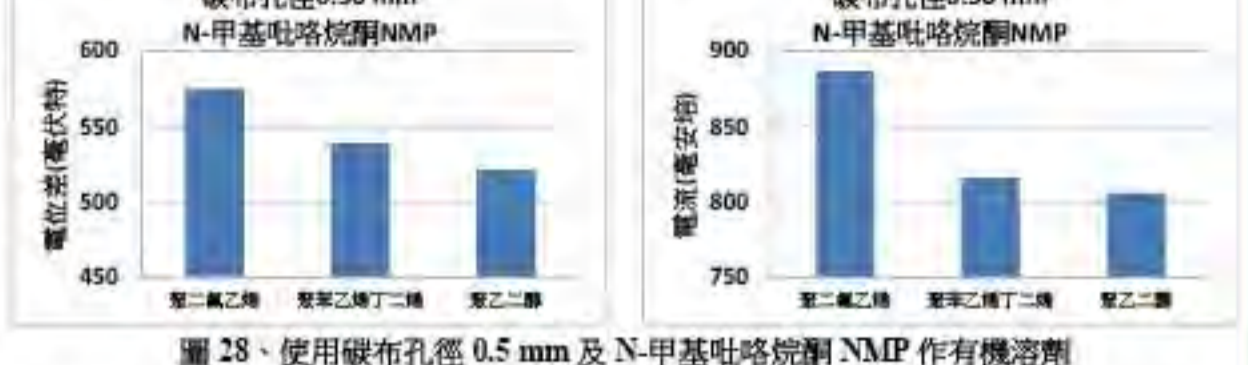
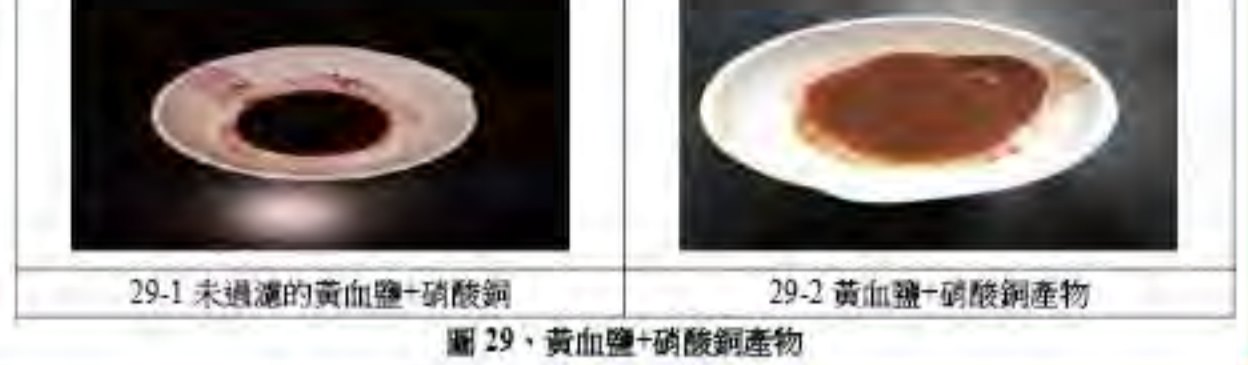


圖 28、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑



29-1 未過濾的黃血鹽+硫酸銅



29-2 黃血鹽+硫酸銅產物

圖 29、黃血鹽+硫酸銅產物

實驗(五) 電極製作：赤血鹽+氯化鎳

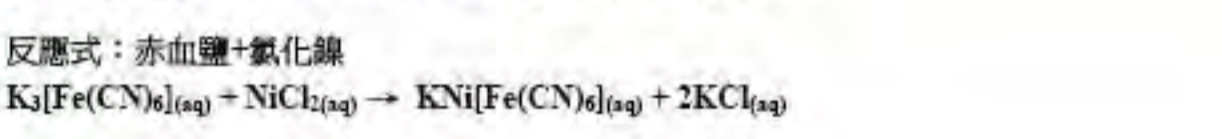


表 22、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 672 | 917 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 650 | 902 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 637 | 841 |
| PEG | | | |



圖 30、使用碳布孔徑 0.13 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 23、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 698 | 934 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 671 | 906 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 666 | 851 |
| PEG | | | |

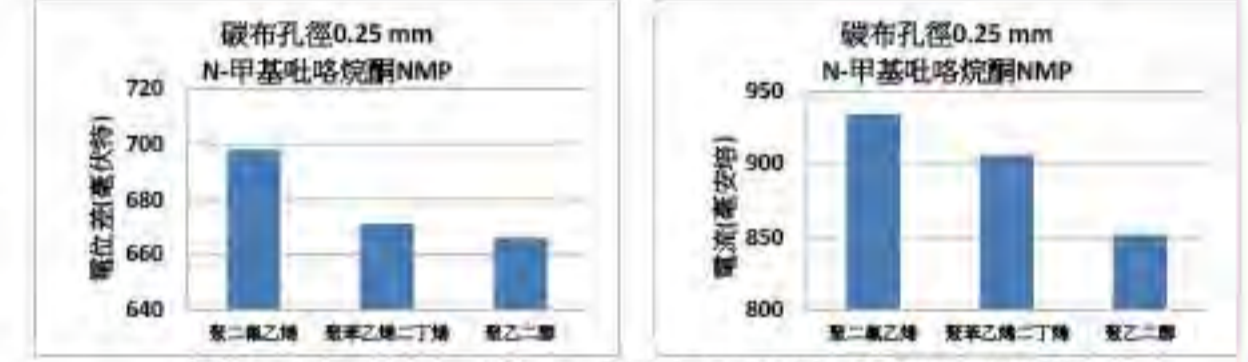


圖 31、使用碳布孔徑 0.25 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 24、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|---------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 709 | 961 |
| PVDF | | | |
| 聚苯乙烯丁二烯 | 約 100,000 | 691 | 939 |
| SBR | | | |
| 聚乙二醇 | 約 20,000 | 681 | 912 |
| PEG | | | |

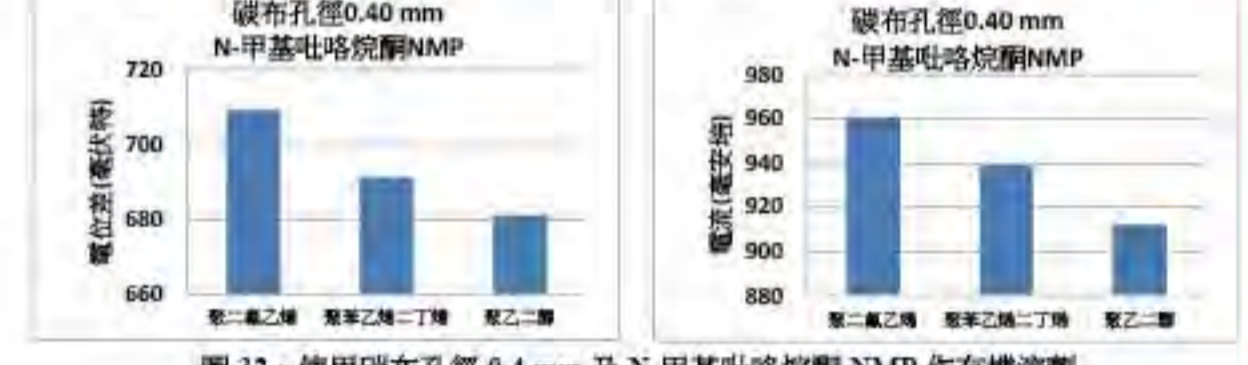


圖 32、使用碳布孔徑 0.4 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

表 25、使用碳布孔徑 0.5 mm 及 N-甲基吡咯烷酮 NMP 作為有機溶劑

| 種類 | 分子量(mm) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|-------|-------------|----------|---------|
| 聚二氟乙烯 | 約 1,000,000 | 735</ | |

柒、研究結果

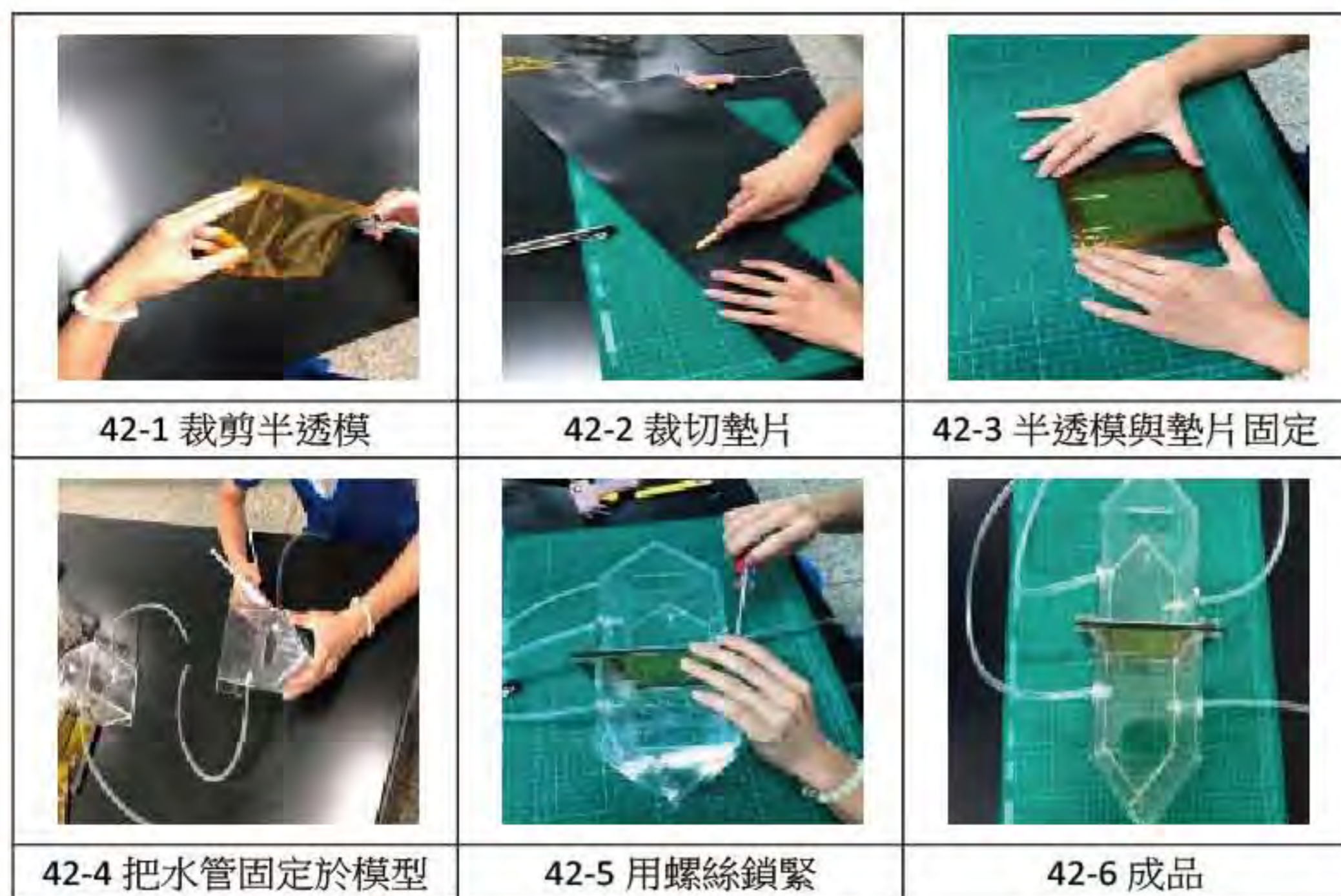


圖 42、模型製作流程照片

表 26、使用赤血鹽加硝酸銅製作的複合式電極對裝置進行實驗

| 裝置 | 時間(min) | 電位差(毫伏特) | 電流(毫安培) |
|-----|---------|----------|---------|
| 第一代 | 10 | 901 | 712 |
| | 20 | 899 | 664 |
| | 30 | 894 | 325 |
| 第二代 | 10 | 902 | 834 |
| | 20 | 900 | 645 |
| | 30 | 896 | 512 |
| 第三代 | 10 | 906 | 894 |
| | 20 | 901 | 764 |
| | 30 | 899 | 612 |



圖 43、使用赤血鹽加硝酸銅製作的複合式電極對裝置進行實驗



圖 44、第一代的實測結果

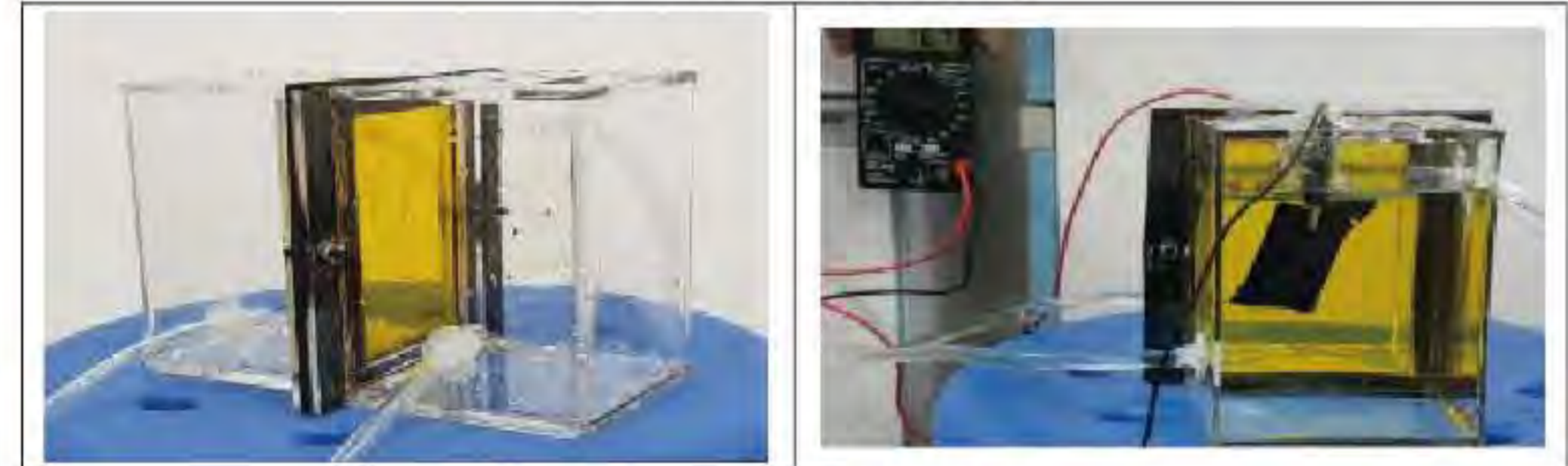


圖 45、第二代的實測結果

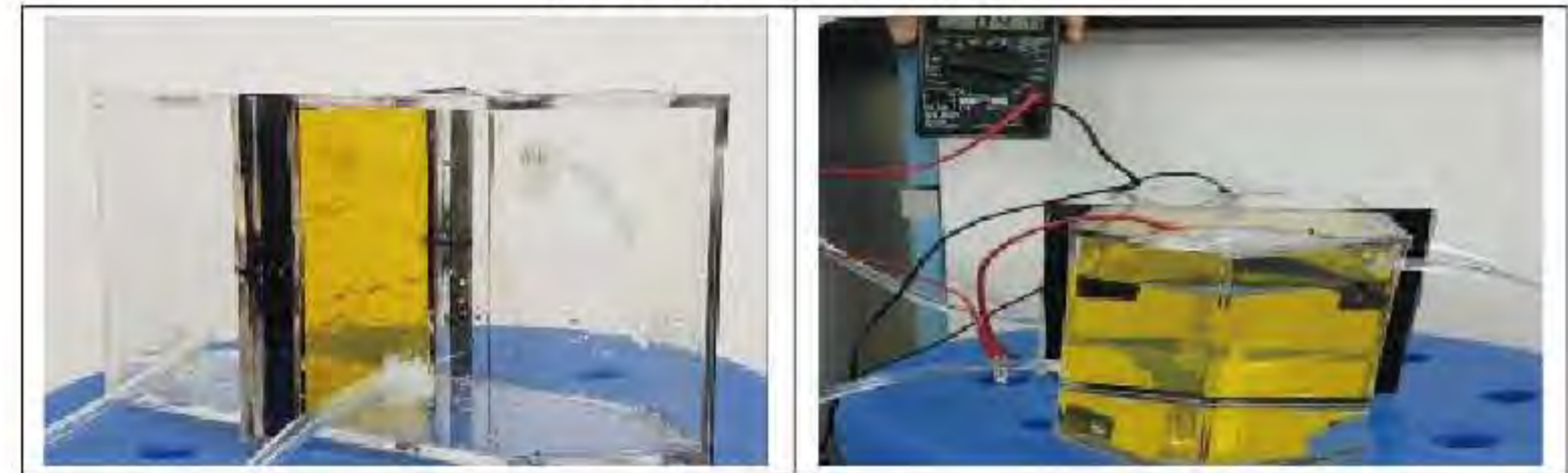


圖 46、第三代的實測結果

實驗(七) 討論三條河川出海口的濃差電池發電效率

表 27、三條溪流之特質

| 河川名稱 | 平均逕流量 (CMS) | 導電度 ($\mu S/cm$) | 回收效率 (%) | 電功率 (瓦特) | 電壓 (毫伏特) | 電流 (毫安培) |
|------|-------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| 濁水溪 | 149.29 | 1459 | 68% | 0.85998 | 839 | 1025 |
| 大甲溪 | 75.17 | 212 | 81% | 0.74005 | 779 | 950 |
| 曾文溪 | 9.69 | 607 | 75% | 0.63972 | 743 | 861 |

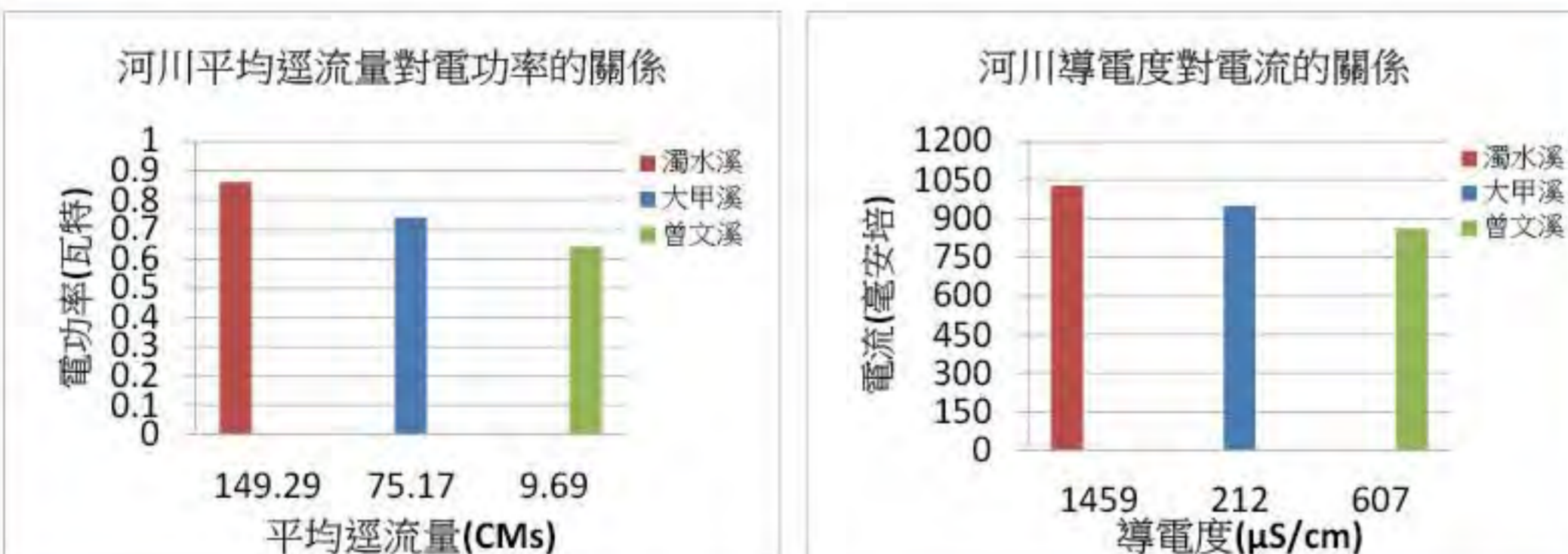


圖 47、河川實測結果關係圖



圖 48、台灣三條河川實地取水之照片

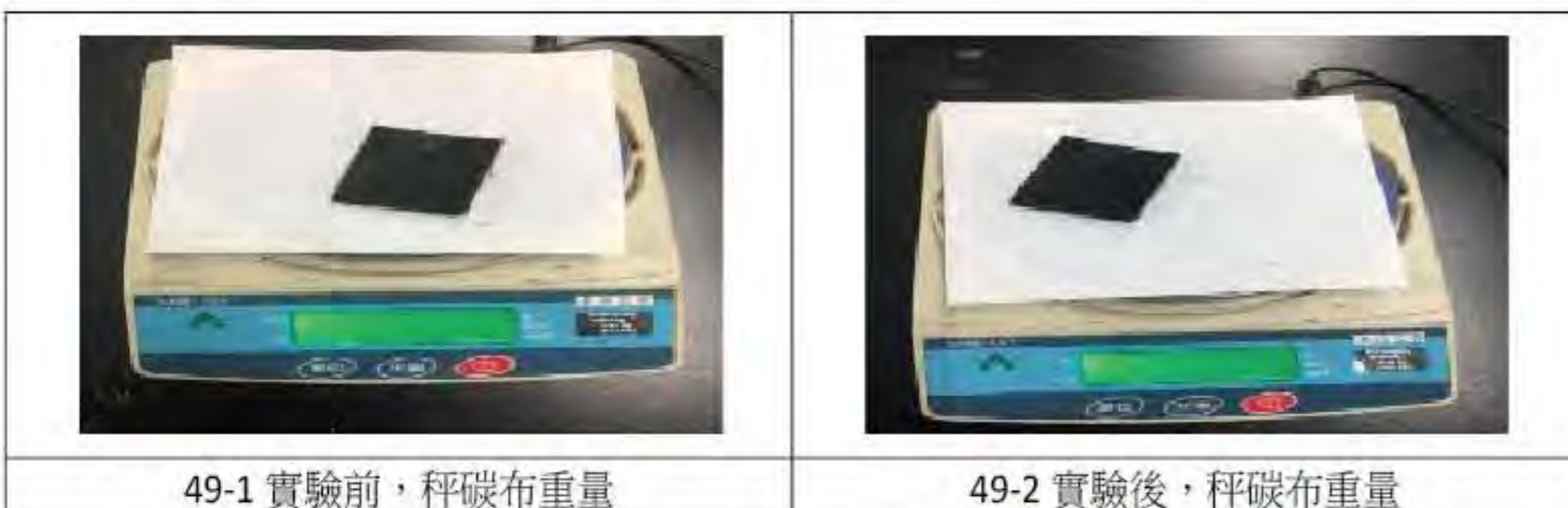


圖 49、計算河川量測後的回收率

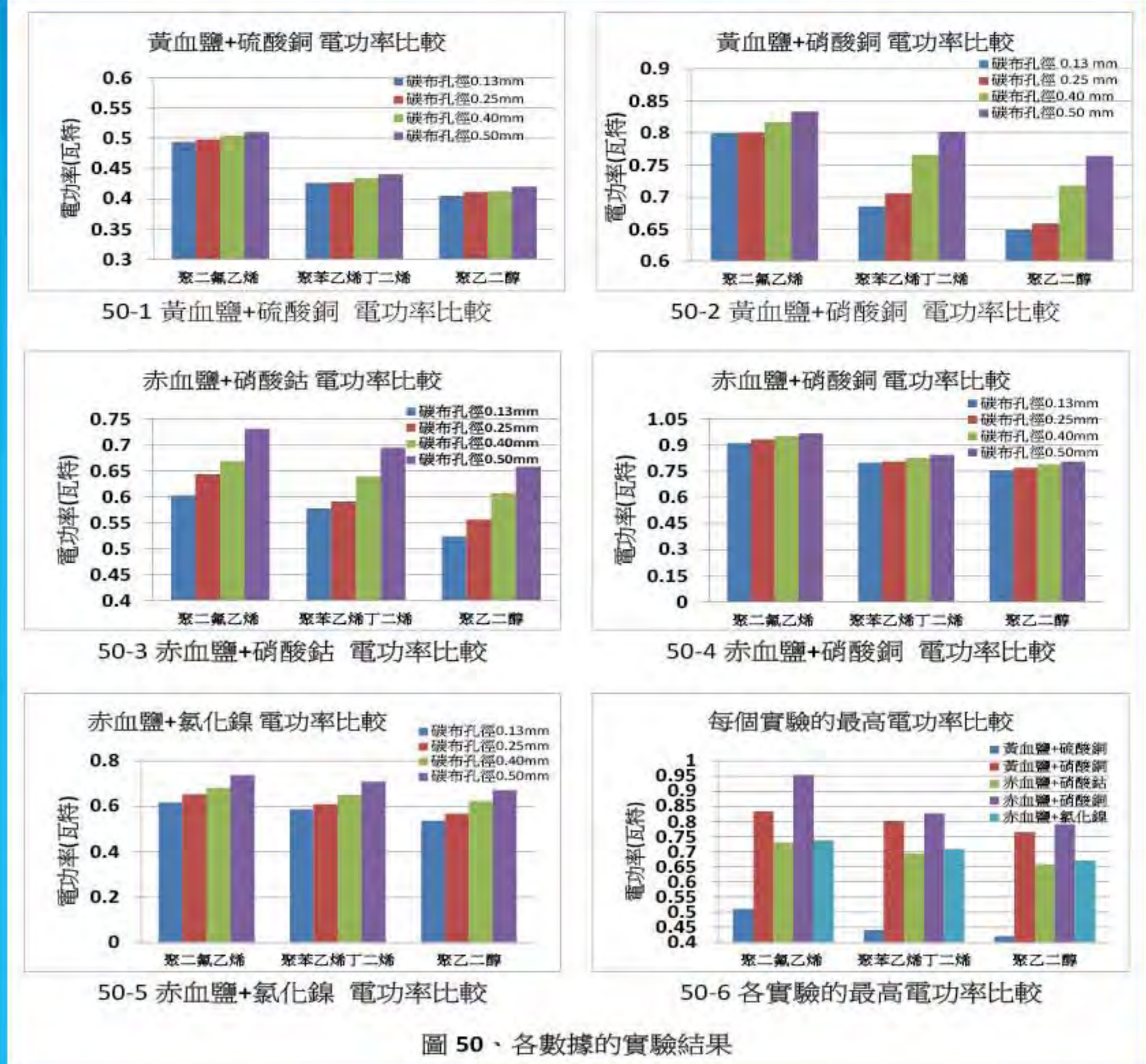


圖 50、各數據的實驗結果

捌、問題討論

在製作實驗一到實驗五的複合式電極後我們發現，六氰基鐵酸鈉，不管是在不同分子量還是不同碳布孔徑它所表現的電流及電壓都是最好的，其中又以赤血鹽與硝酸銅為最佳，但這畢竟只是在實驗室下的結果因此決定實地拿到附近的河川進行實驗，在這之前還進行了實驗六電池裝置的設計運用六邊形的結構我們的電極跟溶液能有最大的接觸面積且電子能透過外接電線被利用，最後進行了實驗七取濁水溪、大甲溪和曾文溪並進一步計算出裝置的電功率及複合式電極實際的回收效率。經過上述所有實驗針對以下幾點做了討論：

- 使用赤血鹽加硝酸銅與黃血鹽製作複合式電極時的差異
當赤血鹽溶於水之後會解離出鉀離子和亞鐵離子，而黃血鹽則是產生鉀離子與鐵離子，經過我們與老師的討論及上網查詢它們個別的特性後我們發現二價鐵在溶液的回收效率有15%，而三價鐵的只有3-8%，所以二價鐵比較容易被吸收，但因為三價鐵比較安定，不容易產生氧化還原和自由基的問題，所以還是比較常被拿來使用。在我們實驗過程中赤血鹽的效果比黃血鹽佳是因為黃血鹽溶於水後產生的亞鐵離子容易跟其他物質反應進而影響了本來該有的電壓及電流值。
- 不同分子量的黏著劑所造成的影響
黏著劑的分子量越大黏滯性也相對大但電阻也跟著大，在我們實驗中可以發現剛好相反分子量小的聚乙二醇測出的電流、是最小的，對於這點讓我們常困惑經過後續的研究發現聚二氯乙烯具有良好的耐化學腐蝕性、耐高溫性、耐氧化性、耐候性、還具有壓電性、介電性、熱電性等這種特殊的性質，且因為實驗中所使用的有機溶劑N-甲基-2-吡咯酮屬於極性有機溶劑容易與有重復結構的使其有較強極性的PVDF相混，且PVDF還能將其他實驗時用到的有機物形成共聚合物。而苯乙烯丁二烯、聚乙二醇這兩樣黏著劑雖然分子量相對於PVDF是較小的電阻理論上應該是較小的，但PVDF的其他特性是高於這兩者(如下圖放電後對有機物的黏滯性)所以後來測出的實驗數據較好。

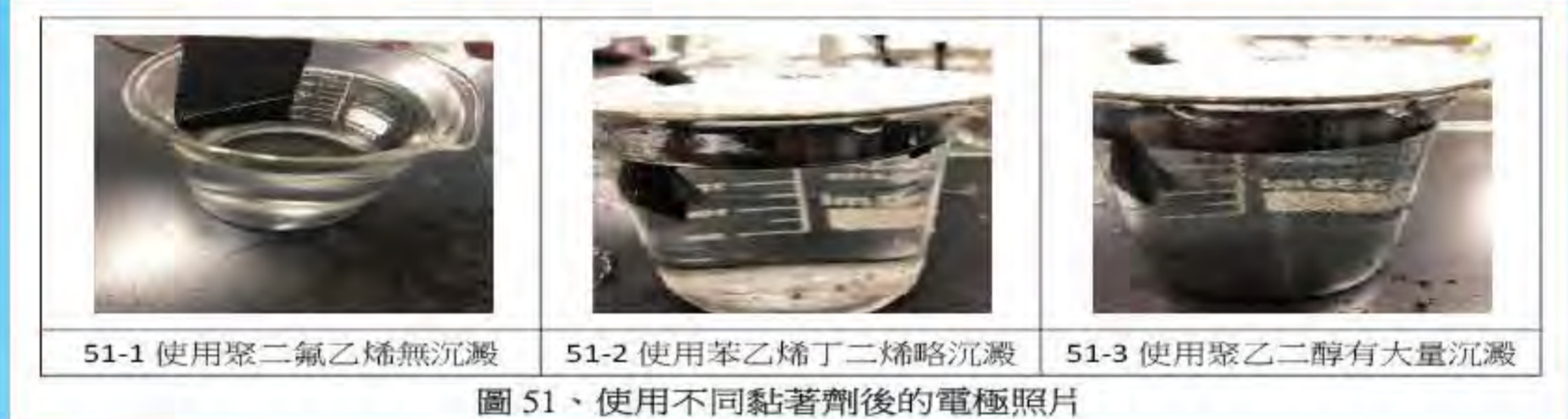


圖 51、使用不同黏著劑後的電極照片

- 三條河川的實地測量結果：
根據我們調查的河川資料與實驗結果，對各河川優缺點進行討論：
(1)濁水溪：在我們實地測量的實驗中濁水溪的逕流量是排名第一所產生的電功率也是最好的，但因為受到的污染最為嚴重以及本身泥沙含量很大因而導致電極回收效率並不理想。
(2)大甲溪：是我們觀察的實驗裡逕流量最小的，它的汙染也是這三條河川中汙染最少的，所以我們在實驗前推測大甲溪會是發電效率最好的河川，可是它的逕流量太小，使它的發電效率是三條河川裡最差的。實驗經過了一段時間後，發現它的發電效率並沒有隨著實驗時間增長而影響到電池的發電效率，因此在此推測著河川的汙染愈少，電池使用壽命就可以越久。
(3)曾文溪：是我們調查的實驗裡逕流量第二的，受到的汙染也是這三條河川中汙染次多，所以它的發電效率與能源往返率都是第二高的。
綜合實地測量的實驗數據發現，逕流量的多寡會影響河川的濃度差，濃度差影響了自製複合式電極的發電效率，河川本身的汙染則是間接或是直接的影響電池的回收效率。

玖、結論

- 由一到五使用不同材料去製作複合式電極的實驗可以知道赤血鹽加硝酸銅製作的複合式電極所發電的效率是最好的。
- 透過實驗四種不同碳布孔徑的實驗發現孔徑的大小對於電極所產生的電壓電流的影響不大。
- 透過改變不同的黏著劑我們發現，黏著劑的分子量雖然會對電極的電壓電流值有所影響但還是要對於黏著劑的特性做更進步的探討。
- 在製作電極裝作的實驗發現使用六角形與利用夾半透膜的方式來設置對於電極在其中所發電的效率是最好的。
- 再取實地的河川與海水回來進行實驗後我們發現各河川的受汙染的程度與回收率有極高的關係，電壓電流值則是與河川與海的濃度差有關。

拾、未來展望

現今能源缺乏的問題日益嚴重，找尋新的能源都成了各國首要的議題。在本次的實驗中用赤血鹽加硝酸銅所製作的複合式電極，發電的電功率達到了0.967113瓦特，在大甲溪的回收效率高達81%，跟市面上一次性的電池相比已經環保許多，但電壓、電流上還是略有不足，往後我們會在對於這方面的缺點做改良，讓它成為新一代的電池，也會著重在尋找有效維護電極的方法來增加自製電池的壽命並且去嘗試之前實驗過的5種複合式電極進行各種的組合(例如：黃血鹽製作的複合式電極+硝酸銅製作的複合式電極)，最後我們會再去檢測更多的河川，找出全台灣哪幾條河川比較適合使用濃差電池來發電，為台灣的再生能源能有所貢獻，讓保護環境與產生能源不在是不可能的。

拾壹、參考文獻

- 基礎化學(一) 第四張 化學與能源
- 選修化學(上) 電化學
- 專題報導海水滲透過濾-左右逢「源」
- 維基百科化學能
- <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8C%96%E5%AD%B8%E8%83%BD>
- 科學人 2017年第182期4月號河流變電池
<http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=newscan HYPERLINK>
- 藍色能源：混合水怎樣才能發電？
http://www.bbc.com/ukchina/trad/vert_fut/2015/06/150617_vert_fut_water_electricity
- Cubic Copper Hexacyanoferrates Nanoparticles: Facile Template-Free Deposition and Electrocatalytic Sensing Towards Hydrazine
<https://www.hindawi.com/journals/ijelc/2011/395724/>
- Self-assembled films of nickel hexacyanoferrate: Electrochemical properties and application in potassium ion sensing
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040609005021024>
- Cobalt Hexacyanoferrate as Cathode Material for Na+ Secondary Battery
<http://iopscience.iop.org/article/10.7567/APEX.6.025802/pdf>
- 博碩網：地理資訊系統應用於河川自然淨化處理技術之研究-以大甲溪及烏溪為例
<http://hdl.handle.net/11296/eqr759>
- 台灣經濟部水利署河川資訊