

投稿類別: 自然科學

篇名:

「裏」「燃」讚—氫氧燃料電池電壓與電壓維持力之研究

作者:

劉芸如。花蓮縣立自強國民中學。八年七班。

劉芷安。花蓮縣立自強國民中學。八年七班。

指導老師:

紀博三老師

林慧貞老師

壹·前言

一、研究動機：

去年 2016 年的全民科學週有一組燃料電池小電風扇，沒有接觸過燃料電池的我們，看著老師用鱷魚夾夾住兩根碳棒，小風扇就轉了起來讓我們驚呼不已！但很可惜的，小風扇轉了不久就停了。滿懷著好奇心與疑問的我們，便開始著手研究讓燃料電池電壓增加與電壓維持力提升的方法。

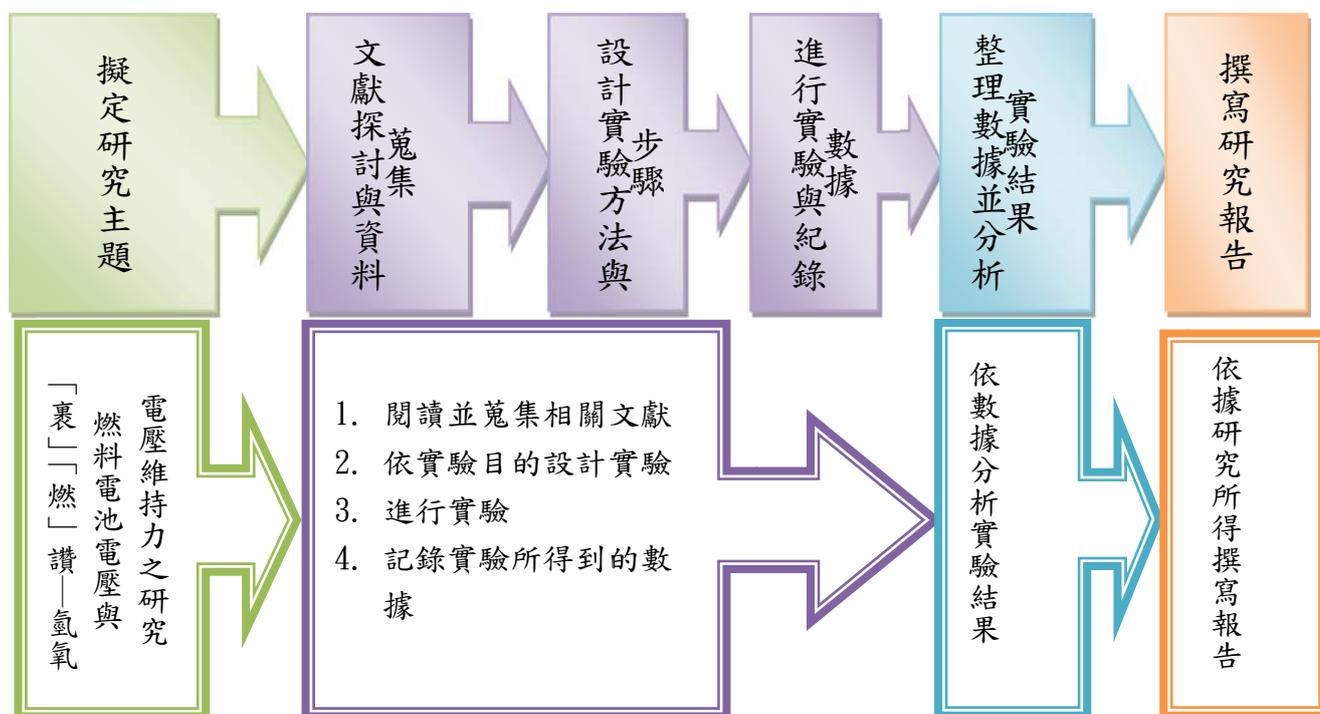
二、研究目的：

- (一)不同電解液對燃料電池電壓維持力之影響。
- (二)兩電極之間的距離對燃料電池電壓維持力之影響。
- (三)電極外不同材質之包裹物對燃料電池電壓維持力之影響。
- (四)電極外不同層數之包裹物對燃料電池電壓維持力之影響。
- (五)電解液不同溫度對燃料電池電壓維持力之影響。
- (六)電解液不同濃度對燃料電池電壓維持力之影響。

三、研究設備及器材：

- (一)實驗設備:碳棒、棉線、大指南針式三用電錶、量筒、電源供應器、電子秤、燒杯玻璃棒、塑膠杯、三腳架、酒精燈、溫度計、秤量紙、火柴、白色不織布、答案卡、白色薄不織布、白色防塵滅菌濾網、黑色濾網、刮勺、竹筷
- (二)實驗藥品:硝酸鉀、氫氧化鈉、碳酸氫鈉、溴化鉀

四、研究流程與架構：



貳·正文

一、研究準備：

(一)包裹碳棒：

1. 裁剪不同材質之布料或紙張成剛好符合包裹層數之大小。
2. 將布料包裹至碳棒外，並用棉線綑緊固定，如下圖(一)。



圖(一)包裹布料的碳棒

(二)調配電解液：

A、重量百分濃度

計算公式：重量百分濃度(%)=溶質質量/溶液質量 × 100%

1. 用電子秤測量不同濃度(分別為5%、10%、15%、20%)電解液所需溶質的重量。
2. 將溶質倒入燒杯中，並和相對的水量攪拌溶解。

B、莫耳濃度

計算公式：莫耳濃度(M)=溶質莫耳數(mol)/溶液體積(L)

1. 計算出各溶質的分子量：氫氧化鈉(NaOH)分子量約為40、硝酸鉀(KNO₃)約為101、溴化鉀(KBr)約為119、碳酸氫鈉(NaHCO₃)約為84。
2. 取所需溶質加入裝有約200毫升水的燒杯甲中，攪拌使其溶解。
3. 將燒杯內溶液倒入另一已標示400毫升刻度的燒杯乙中，並用水沖洗燒杯甲，沖洗液再倒入燒杯乙中。
4. 將水加入燒杯乙中，直到液體總體積至400毫升。

二、實驗步驟：

(一)不同電解液對燃料電池電壓維持力之影響

1. 調配電解液(硝酸鉀、氫氧化鈉、溴化鉀、碳酸氫鈉水溶液)各調配1莫耳濃度、400毫升，總共4種不同種類的電解液。
2. 將二碳棒各包裹白色不織布3層放入電解液中，二碳棒間的距離皆為6公分。
3. 將電源供應器以鱷魚夾接至二碳棒上，使用3伏特的直流電壓進行電解，時間為1分鐘。
4. 電解一分鐘結束後立即以三用電表測量電壓，之後每隔5分鐘測量電壓一次，持續觀察1小時。

(二)碳棒之間的距離對燃料電池電壓維持力之影響

1. 調配電解液(硝酸鉀、氫氧化鈉水溶液)各調配成5%、400毫升，總共2種不同種類的電解液。
2. 將碳棒包裹白色不織布3層放入電解液中，二碳棒中心點間的距離分別為6、5、4、3公分。
3. 將電源供應器以鱷魚夾接至二碳棒上，使用3伏特的直流電壓進行電解，時間為1分鐘。

「裹」「燃」讚—氫氧燃料電池電壓與電壓維持力之研究

4. 電解一分鐘結束後立即以三用電表測量電壓，之後每隔 5 分鐘測量電壓一次，持續觀察 1 小時。

(三)電極外不同材質之包裹物對燃料電池電壓維持力之影響

1. 調配硝酸鉀水溶液 15%、400 毫升作為電解液。
2. 分別將白色不織布、白色防塵蟎除菌濾網、黑色濾網、答案卡各 3 層包裹於碳棒外，再放入電解液中，二碳棒間的距離皆為 6 公分。
3. 將電源供應器以鱷魚夾接至二碳棒上，使用 3 伏特的直流電電壓進行電解，時間為 1 分鐘。
4. 電解一分鐘結束後立即以三用電表測量電壓，之後每隔 5 分鐘測量電壓一次，持續觀察 1 小時。

(四)電極外不同層數之包裹物對燃料電池電壓維持力之影響

1. 以 15% 硝酸鉀水溶液 400 毫升做為電解液。
2. 將碳棒包裹不同層數的白色不織布，分別包裹 6、3、2、1 層放入電解液中，二碳棒間的距離皆為 6 公分。
3. 將電源供應器以鱷魚夾接至二碳棒上，使用 3 伏特的直流電電壓進行電解，時間為 1 分鐘。
4. 電解一分鐘結束後立即以三用電表測量電壓，之後每隔 5 分鐘測量電壓一次，持續觀察 1 小時。

(五)電解液溫度是否會影響電壓維持力

1. 以 15% 氫氧化鈉水溶液 400 毫升做為電解液，但水溶液溫度分別各為 10°C、常溫、40°C。
2. 將二碳棒各包裹白色不織布 3 層放入電解液中，二碳棒間的距離皆為 6 公分。
3. 將電源供應器以鱷魚夾接至二碳棒上，使用 3 伏特的直流電電壓進行電解，時間為 1 分鐘。
4. 電解一分鐘結束後立即以三用電表測量電壓，之後每隔 5 分鐘測量電壓一次，持續觀察 1 小時。

(六)不同電解液濃度對燃料電池電壓維持力之影響

1. 調配電解液(硝酸鉀、氫氧化鈉、溴化鉀、碳酸氫鈉水溶液)各調配成 5%、10%、15%、20%，400 毫升，總共 16 種不同種類、濃度的電解液。
2. 將二碳棒各包裹白色不織布 3 層放入電解液中，二碳棒間的距離皆為 6 公分。
3. 將電源供應器以鱷魚夾接至二碳棒上，使用 3 伏特的直流電電壓進行電解，時間為 1 分鐘。
4. 電解一分鐘結束後立即以三用電表測量電壓，之後每隔 5 分鐘測量電壓一次，持續觀察 1 小時。

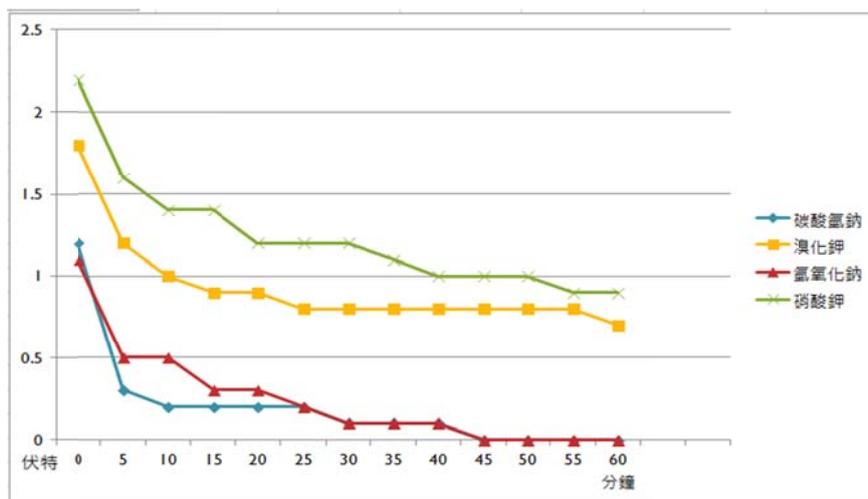
三、實驗結果

(一)使用不同電解液之電壓維持力

此實驗我們將不同溶質(硝酸鉀、氫氧化鈉、碳酸氫鈉、溴化鉀)調配成 1 莫耳濃度的電解液來進行研究。

實驗結果如下圖(二)：

「裏」「燃」讚—氫氧燃料電池電壓與電壓維持力之研究



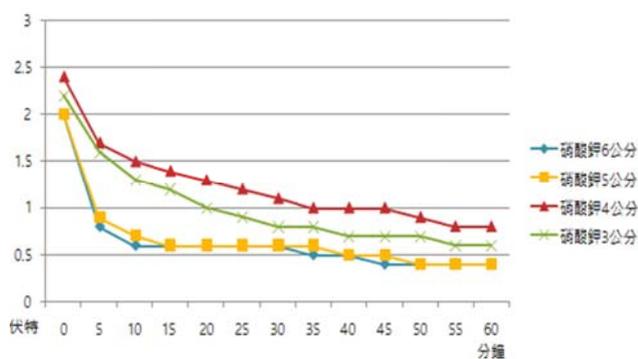
圖(二)不同電解液之電壓變化折線圖

研究結果發現：

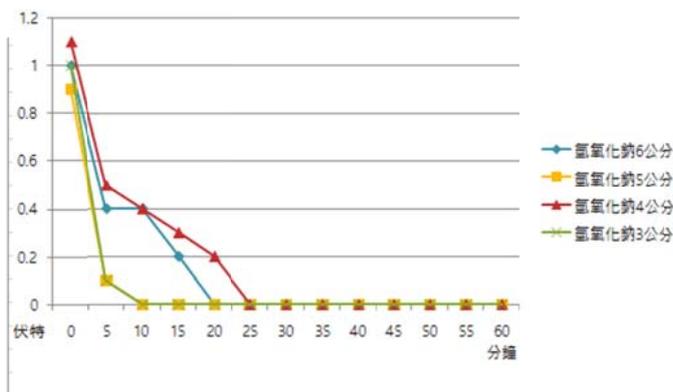
1. 初始電壓最優至劣排列為：硝酸鉀 > 溴化鉀 > 碳酸氫鈉 > 氫氧化鈉。
2. 電壓維持力最優至劣排列為：硝酸鉀 > 溴化鉀 > 氫氧化鈉 > 碳酸氫鈉。
3. 碳酸氫鈉的電壓維持力在 25 分鐘後會和氫氧化鈉相同。

(二)碳棒之間的距離是否會影響電壓維持力

此實驗之電解液分別使用了 5%硝酸鉀及氫氧化鈉水溶液來研究，距離 6、5、4、3 公分。實驗結果如下圖(三)~(四)：



圖(三)在 5%硝酸鉀溶液下，兩電極間不同距離之電壓變化折線圖



圖(四)在 5%氫氧化鈉溶液下，兩電極間不同距離之電壓變化折線圖

研究結果發現：

1. 初始電壓最優至劣排列為：
 - a. 硝酸鉀：4 公分 > 3 公分 > 5 公分 = 6 公分。
 - b. 氫氧化鈉：4 公分 > 6 公分 = 3 公分 > 5 公分。
2. 電壓維持力最優至劣排列為：
 - a. 硝酸鉀：4 公分 > 3 公分 > 5 公分 > 6 公分。
 - b. 氫氧化鈉：4 公分 > 6 公分 > 3 公分 > 5 公分。

(三)外層包裹不同材質布料之電壓維持力

此實驗之電解液為 15%的硝酸鉀水溶液，使用不同材質布料(白色不織布、白色防塵蟎除菌濾網、黑色濾網、答案卡、白色薄不織布)並包裹 3 層進行研究。

實驗結果如下圖(五)。

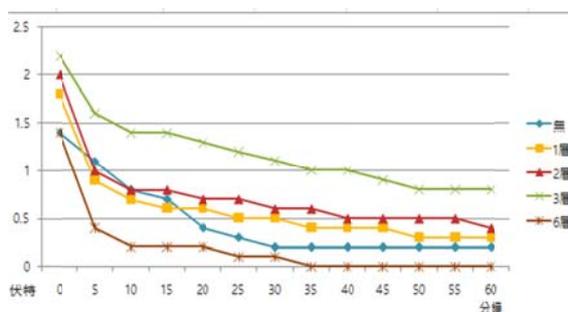
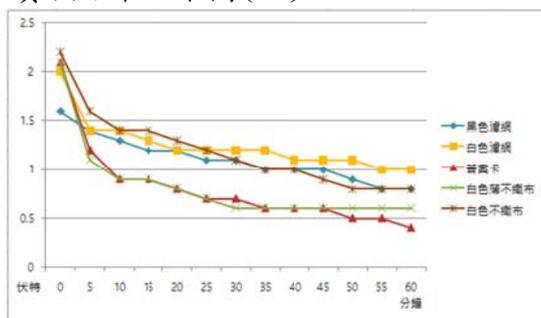
研究結果發現：

1. 初始電壓最優至劣排列為：白色不織布 > 白色薄不織布 = 答案卡 > 白色防塵蟎除菌濾網 > 黑色濾網。
2. 電壓維持力最優至劣排列為：白色防塵蟎除菌濾網 > 黑色濾網 > 白色不織布 > 白色薄不織布 > 答案卡。

(四)外層包裹不同層數布料之電壓維持力

此實驗之電解液為 15%的硝酸鉀水溶液，分別使用包裹 6 層、3 層、2 層、1 層以及無包裹布料的碳棒來進行實驗。

實驗結果如下圖(六)：



圖(五) 包裹不同材質布料之電壓變化折線圖

圖(六) 包裹不同層數布料之電壓變化折線圖

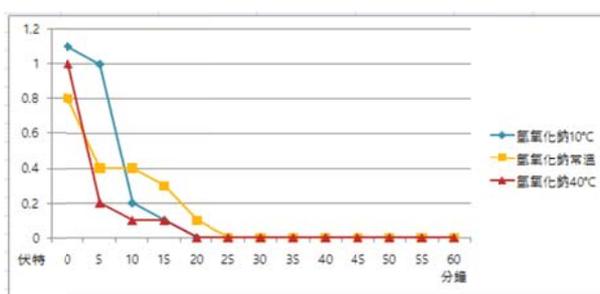
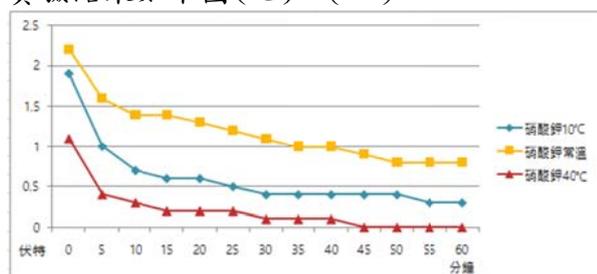
研究結果發現：

1. 初始電壓最優至劣排列為：3 層 > 2 層 > 1 層 > 無 = 6 層。
2. 電壓維持力最優至劣排列為：3 層 > 2 層 > 1 層 > 無 > 6 層。

(五)電解液溫度是否會影響電壓維持力

此實驗之電解液分別使用了硝酸鉀及氫氧化鈉 15%，溫度為 10°C、常溫、40°C 來研究。

實驗結果如下圖(七)~(八)：



圖(七) 15%硝酸鉀電解液在不同溫度之電壓變化折線圖

圖(八) 15%氫氧化鈉電解液在不同溫度之電壓變化折線圖

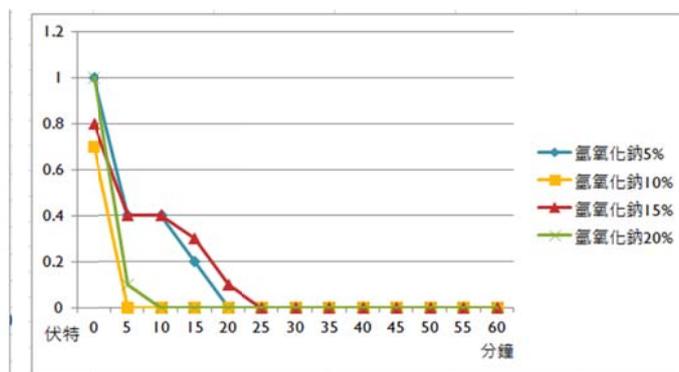
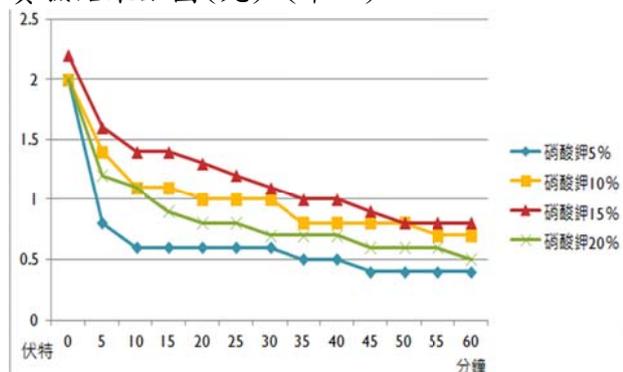
研究結果發現：

1. 初始電壓最優至劣排列為：
 - a. 硝酸鉀：常溫 > 10°C > 40°C。
 - b. 氫氧化鈉：10°C > 40°C > 常溫。
2. 電壓維持力最優至劣排列為：
 - a. 硝酸鉀：常溫 > 10°C > 40°C。
 - b. 氫氧化鈉：常溫 > 10°C > 40°C。

(六)不同電解液濃度對燃料電池電壓維持力之影響

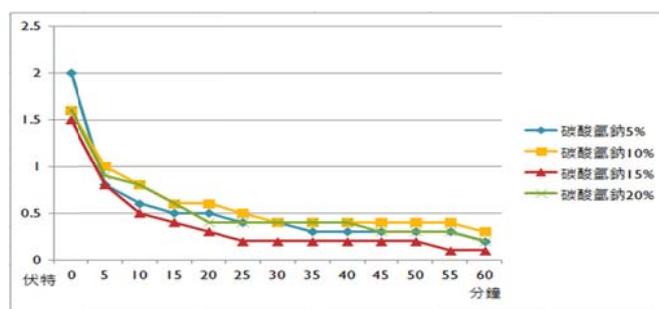
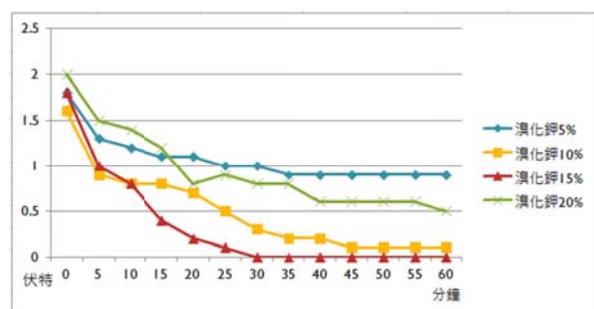
此實驗之電解液使用 4 種電解液（硝酸鉀、氫氧化鈉、溴化鉀、碳酸氫鈉水溶液）各調配成 5%、10%、15%、20% 來研究。

實驗結果如圖(九)~(十二)：



圖(九)硝酸鉀電解液不同濃度之電壓變化折線

圖(十)氫氧化鈉電解液不同濃度之電壓變化折線圖



圖(十一)溴化鉀電解液不同濃度之電壓變化折線圖

圖(十二)碳酸氫鈉電解液不同濃度之電壓變化折線圖

研究結果發現：

1. 初始電壓最優至劣排列為：
 - a. 硝酸鉀：15% > 20% = 10% = 5%。
 - b. 氫氧化鈉：5% = 20% > 15% > 10%。
 - c. 溴化鉀：20% > 15% = 5% > 10%。
 - d. 碳酸氫鈉：5% > 10% = 20% > 15%。

2. 電壓維持力最優至劣排列為：
- 硝酸鉀：15% > 10% > 20% > 5%。
 - 氫氧化鈉：15% > 5% > 20% > 10%。
 - 溴化鉀：5% > 20% > 10% > 15%。
 - 碳酸氫鈉：10% > 20% > 5% > 15%。

四、科學原理

由於氫氧燃料電池中碳棒具導電性及本身不起化學反應之特性，可作為水電解及燃料電池的電極。本實驗在水的電解及氫氧燃料電池放電的化學反應敘述如下：

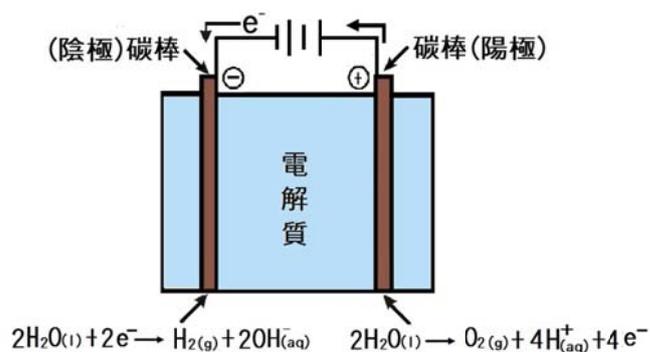
一、水的電解(對氫氧燃料電池充電)：電能→化學能

水電解的過程中，電極的陽極部分發生氧化作用(放出氧氣)，陰極部分則發生還原作用(放出氫氣)，兩極所產生的氣體體積比為1:2。因為溶有電解質的水溶液具有導電的特性，可促進電解反應的進行。

其化學反應式表示如下：



作用示意圖如下圖(十三)：



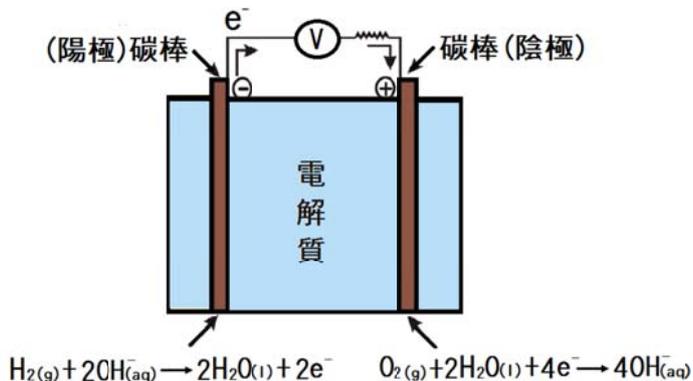
圖(十三)氫氧燃料電池充電之作用示意圖

二、氫氧燃料電池放電：化學能→電能

燃料電池的核心單元是由三個基本組件所構成：一個陽極，一個陰極，以及兩個電極之間的電解質。氫氧燃料電池藉由氫氣與氧氣的化學反應，將化學能直接轉變為電能，也就是一種水電解過程的逆向化學反應。電池的構造為多孔性碳棒，在陽極部分經過水電解後所產生的氫氣，陰極部分經過水電解後所產生的氧氣，並以水溶液作為電解質，其化學反應式表示如下：



作用示意圖如下圖(十四)：



圖(十四)氫氧燃料電池放電之作用示意圖

五、討論

(一)使用不同電解液之電壓維持力

此實驗在剛開始時是使用百分比濃度來比較，但在與師長的討論下發現分子有解離的問題，各溶質的原子量也不同，若單以相同克數的溶質來配置電解液，會造成電解液中解離出的離子數目不同而難以比較。此時學校課程也剛好教到「莫耳數」與「莫耳濃度」的概念，我們便嘗試使用莫耳濃度來做比較。我們比較使用重量百分濃度與莫耳濃度的結果差別：在初始電壓方面最優至劣排列為：

a. 百分比濃度：硝酸鉀 > 溴化鉀 > 碳酸氫鈉 > 氫氧化鈉。

b. 莫耳濃度：硝酸鉀 > 溴化鉀 > 碳酸氫鈉 > 氫氧化鈉。

在電壓維持力方面最優至劣排列為：

a. 百分比濃度：硝酸鉀 > 溴化鉀 > 碳酸氫鈉 > 氫氧化鈉。

b. 莫耳濃度：硝酸鉀 > 溴化鉀 > 氫氧化鈉 > 碳酸氫鈉。

百分比濃度和莫耳濃度比較後結果無差別，除了電壓維持力實驗莫耳濃度結果是氫氧化鈉比碳酸氫鈉優，但也僅限於實驗後 20 分鐘第 5 次測量。這說明改變電壓大小的關鍵在於溶質種類本身，與百分比濃度或莫耳濃度並無太大關係。我們認為燃料電池中的電解液功能純粹只是幫助導電，讓水的電解更容易進行，與溶液中的離子數目應該無較大的關係。這樣的推論也符合我們在「不同電解液的濃度對燃料電池電壓維持力之影響」的實驗結果：電解液的濃度越高，初始電壓與電壓維持力都不是最佳的。

(二)碳棒之間的距離對燃料電池電壓維持力之影響

第 53 屆（2013 年）臺灣中小學科學展覽會國小組化學科，由臺南市關廟區五甲國民小學陳嫻姿等所作之「Hold 住—解析石墨型燃料電池」，研究發現 2.5% 的氫氧化鈉在讀值 3~13 次（約 2~9 秒）下降趨勢略有不同，但其他部分的情形是相似一致，說明兩電極間的距離不影響電壓的變化。此實驗與本實驗結果不符合，本實驗中效果最佳的皆為 4 公分，其效果最佳與最差電壓（硝酸鉀 4 公分與硝酸鉀 6 公分）最大相差了 0.4 伏特，這說明若找出各溶液最佳的電極相差距離便可產生更大電壓。

(三)外層包裹不同材質布料之電壓維持力

我們認為電極外所包裹的布料能幫助吸附氫氣與氧氣。此實驗使用 5 種不同布料綑綁碳棒成相同層數作為電極，而實驗結果如下：

初始電壓最優至劣排列為：

白色不織布 > 白色薄不織布 = 答案卡 > 白色防塵蟎除菌濾網 > 黑色濾網。

電壓維持力最優至劣排列為：

白色防塵蟎除菌濾網 > 黑色濾網 > 白色不織布 > 白色薄不織布 > 答案卡。

此實驗結果不像其他實驗結果一看就能發現造成此結果的可能原因，我們討論了許久才發現導致實驗結果的原因。白色不織布、白色薄不織布、答案卡皆屬於構造較緊密結實的材質，而白色防塵蟎除菌濾網與黑色濾網相較起來較鬆散有空間。從實驗結果中便能看出，在初始電壓方面，較緊實的材質初始電壓較強，電壓維持力方面則是鬆散的材質較占有優勢。

(四)外層包裹不同層數布料之電壓維持力

實驗初始電壓與電壓維持力結果由優至劣皆為 3 層 > 2 層 > 1 層 > 無 > 6 層。結果說明增加適當層數布料包裹電極有助於電壓增加與電壓維持力提升，但過多的布料反而會阻礙碳棒與電解液接觸，使電壓與電壓維持力降低。

(五)調配硝酸鉀電解液時產生吸熱反應

硝酸鉀在溶於水的過程中會產生吸熱反應，造成溶液溫度降低於室溫之下，於是我們為此展開了電解液溫度是否會影響電壓的實驗。實驗後發現硝酸鉀與氫氧化鈉兩種電解液在溫度 40°C 時初始電壓最小，電壓維持力也最弱。這說明電解液不宜保持高溫，電壓與電壓維持力會變弱。

(六)燃料電池特色與優點

燃料電池是一種將化學能直接轉變成電能的裝置，不需充電，只要持續的補充燃料及氧化劑，即可連續運轉發電。燃料經電化學反應後產生電子，電子再經由電極及外線路流向另一電極與氧化劑反應，氧化劑接受電子後，產生反應，並由電池內的電解質傳導離子，形成電池運轉的迴路。燃料電池具有能量轉換率較高，電壓穩定，可持續供電的優點(吳萬隆&黃寶鈿，2005)。

本實驗以氫氣為燃料、氧氣為氧化劑，通過化合作用發電，此種燃料電池又叫再生性氫氧燃料電池(regenerative fuel cell, RFC)。氫和氧化學反應生成水蒸氣，不排放碳化氫、一氧化碳、氮化物和二氧化碳等污染物質，排出物是無污染的水。氫氧燃料電池排放出非常清潔的副產品，幾乎無污染且高效率。

氫氧燃料電池的燃料(氫氣)在陽極產生氧化反應，陰極則是氧氣進行還原反應。由於氫氧燃料電池具有無噪音、低污染、高效率及燃料可來自再生資源等優點，且最終副產品只有熱能與純水，不會對環境造成任何威脅並可應用於發電、汽車到個人電子產品等領域，而益顯重要，現已成為國際間競相發展之能源技術。

(七)電解液不同濃度對燃料電池電壓維持力之影響

從此實驗的結果看出，各電解液皆有其電壓與電壓維持力效果最佳的濃度，只有硝酸鉀在初始電壓與電壓維持力方面，皆以濃度 15% 產生最高電壓與最佳電壓維持力效果。

(八)溴化鉀水溶液電解後產生黃色物質

在電解溴化鉀水溶液後，發現有黃色物質沉澱在杯底，如圖(十五)，但我們不知道這是什麼物質，有待查驗解析。

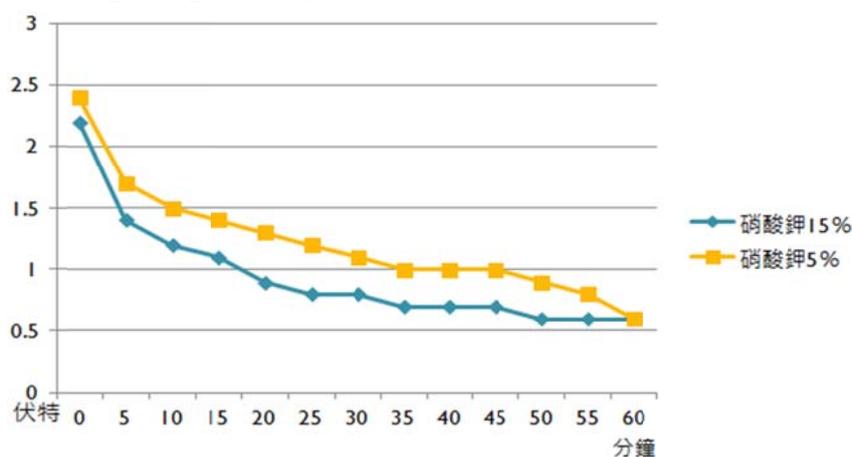


圖(十五) 有黃色物質沉澱在杯底

(九)綜合研判

結合上述的實驗結果，我們發現氫氧燃料電池最佳的構件條件應是硝酸鉀 15%、電極距離 4 公分、包裹 3 層白色不織布、溫度常溫，為初始電壓最高，電壓維持力最佳的。但我們在仔細比對與探討後發現，實際上初始電壓最高，電壓維持力最佳的燃料電池種類，卻是具備硝酸鉀 5%、電極距離 4 公分、包裹 3 層白色不織布、溫度常溫條件的燃料電池，兩者僅有濃度上的不同，兩者在電壓與電壓維持力的比較如圖(十六)。

「裹」「燃」讚—氫氧燃料電池電壓與電壓維持力之研究



圖(十六)5%與 15%硝酸鉀水溶液在電壓與電壓維持力之比較折線圖

兩者的電壓與電壓維持力其實相差不多，我們認為兩者的電壓數據仍在誤差範圍內，所以此結果也說明今後若要操作類似實驗，比起硝酸鉀 15%，更可以選擇硝酸鉀 5%，可藉此省下藥品量。

(九)本研究之特色

本實驗與相關科展實驗作品：第 53 屆 (2013 年) 臺灣中小學科學展覽會國小組化學科，由臺南市關廟區五甲國民小學陳嫚姿等所作之「Hold 住—解析石墨型燃料電池」相比，我們加入了在碳棒外層包裹布料的新穎變因，而研究結果也顯示出，在碳棒外層包裹適當層數布料之電壓與電壓維持力相較於無包裹布料的碳棒，效果更為提升。

參・結論

- 一、4 種溶液中電壓與電壓維持力總評由優至劣為：硝酸鉀 > 溴化鉀 > 碳酸氫鈉 > 氫氧化鈉。電壓與電壓維持力優劣與百分比濃度與莫耳濃度無太大關係，重點是溶質種類。
- 二、硝酸鉀與氫氧化鈉水溶液中碳棒最佳相隔距離為 4 公分。而相隔距離並無一定規律，各電解液有其最佳電極距離。
- 三、較緊實的布料初始電壓較強，較鬆散的布料電壓維持力較佳。
- 四、在碳棒外包裹適當層數布料有助於電壓與電壓維持力提升，太多布料有礙於碳棒與電解液接觸，導致電壓與電壓維持力降低。
- 五、電解液溫度過高有會使電壓與電壓維持力變弱。
- 六、各種電解液皆有其電壓與電壓維持力效果最佳的濃度。
- 七、氫氧燃料電池最佳的構件條件應是 15% 或 5% 硝酸鉀水溶液、電極距離維持在 4 公分、需包裹 3 層白色不織布、電解液的溫度常溫，為初始電壓最高，電壓維持力最佳的。

肆・參考資料

- 一、陳嫚姿，李盱芝，楊璉昕，陳欣佑，何婕妤，姚宏璋。2013。Hold 住—解析石墨型燃料電池。第 53 屆臺灣中小學科學展覽會國小組化學科科展作品。
- 二、吳萬隆，黃寶鈿。2005。簡易氫氧燃料電池的設計與教學應用。科學教育月刊，第 280 期，36~40 頁。