

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

030823

『未來電池之星』：鋁—空氣電池

學校名稱：桃園縣立平興國民中學

作者： 國二 謝政達 國二 謝獻爵 國二 張鈞翔	指導老師： 周忠賢
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：鋁電池、氧化還原、空氣電池

## 摘要

本次科展的題目是鋁-空氣電池的探討研究製作，探討如何以生活中易取得之材料做出具有一般一次性電池之效能的鋁電池。在實驗的過程中延伸出探討孔隙度並附加孔隙度實驗，觀測卡片掀起之角度比較各種隔離膜材料孔隙度透氣性之大小及各種隔離膜在不同電解質溶液、濃度中的表現。

## 壹、研究動機

近年來，由於人們過度依賴石油而造成能源短缺，全球面臨能源危機，根據專家估計，石化燃料在 40 年之內將面臨枯竭！石油價格節節上升，嚴重影響大眾民生經濟，因此，我們為了因應這個狀況便尋找了各種電池的原理與構造，以開發替代性能源。研讀了相關的文獻資料後，我們發現對我們來說較為簡單且取得容易的是鋁電池，它具有**低成本**（主要原料電解質可取自海水、氧氣可由空氣中提供、鋁箔則可由資源回收來的鋁罐取得）、**低污染**（主要產物氫氧化鋁可做為提煉氧化鋁、媒染劑、淨水劑、中和胃酸的藥物等）。因此我們選定鋁-空氣電池為本次科展的題目。

## 貳、研究目的

1. 探討如何以生活中易取得之材料做出具有一般一次性電池之效能的鋁-空氣電池。
2. 探討不同電解質（ $NaCl_{(aq)}$ 、 $NaOH_{(aq)}$ ）及濃度下各種隔離膜的表現（電壓、電流與輸出功率）。
3. 找出適合用於鋁-空氣電池的隔離膜及能使鋁-空氣電池輸出最高電壓的隔離膜。
4. 尋找最佳濃度之電解質（ $NaCl_{(aq)}$ ）使鋁-空氣電池輸出最高的電壓。
5. 製作出具有一次性電池效能的鋁-空氣電池。

## 參、研究材料

鋁電池器材：塑膠軟墊、三用電表、鱷魚夾、電線、膠帶、雙面膠、鋁箔、食鹽水、各種隔離膜（餐巾紙、A4 紙、化妝棉、毛巾、不織布、手帕、紗布、報紙）

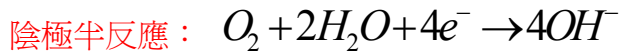
NaOH 水溶液、碳-氣體擴散層。

孔隙度實驗器材：車用充氣機、紅蓋塑膠罐、量角器、卡片、卡帶盒。

## 肆、研究過程和方法

### 一、鋁-空氣電池

(一) 運作原理：



1. 隔離膜在以食鹽水溶液 ( $NaCl_{(aq)}$ ) 完全潤濕後放入電池中，隔離膜內的食鹽水溶液也使陽極 (鋁箔)、陰極 (碳—氣體擴散電極) 潤濕。
2. 陽極的鋁先放出電子並接觸到水所解離出的氫氧根離子而反應成氫氧化鋁 ( $Al(OH)_3$ )。
3. 鋁放出的電子流經過小馬達，並使其轉動。
4. 電子流到達陰極，便使在氣體擴散層進入陰極溶於食鹽水溶液中的氧和水與電子反應成氫氧根離子。
5. 因此總反應式為： $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$

(二) 基本電學：

1. 電流：電子在導體內流動，即形成電流，一般電線內的導體是銅線。
2. 電流量：單位時間內流過某導體之電量，通常用 I 代替。
3. 電功率：通有電流載體所產生的能量，稱為電能，單位時間所消耗的電能，即為電功率，實用單位為瓦特 (W)，用公式表示如下：

$$P = I \times V \quad (V = \text{電壓, 常用的有 } 110V \text{ 和 } 220V ; I = \text{電流量})$$

## 二、實驗過程與步驟：

### 【實驗變因】：

1. 應變變因：電池輸出之電壓、電流。
2. 控制變因：鋁箔，陰極擴散層。
3. 操作變因：隔離膜之材質、電解質之濃度。

### (一) 製作鋁-空氣電池：

#### 1. 電池構造原理

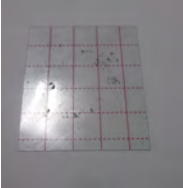
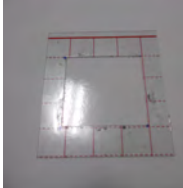
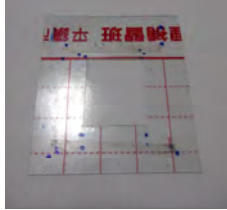
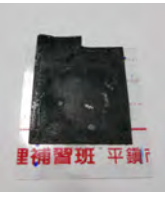

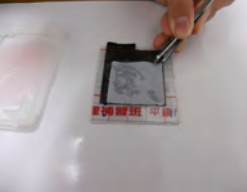



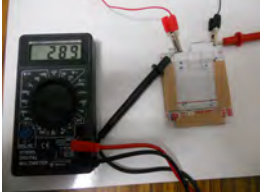

- (1) 陽極(鋁箔)：提供形成鋁離子所放出的電子。
- (2) 陰極(碳-氣體擴散電極)：
  - A. 一面具有疏水性，可讓氧氣進入。
  - B. 一面不具疏水性，可讓電解質水溶液進入反應。
- (3) 隔離膜(操作變因)：
  - A. 阻隔陰陽極
  - B. 含滲電解質水溶液
- (4) 電解質水溶液(食鹽水溶液)：

氯離子、鈉離子幫助氫氧根離子和鋁離子的傳遞  
(∵純水難導電，所以須加入電解質)

#### 2. 實驗步驟：

- (1) 切割外殼(塑膠軟墊)三片：
  - A. (6.5cm×7.5cm)一片(詳圖 1)
  - B. (6.5cm×7.5cm)一片，內部須各割下一長方形孔洞(2.5cm×3cm) (詳圖 2)
  - C. (6.5cm×7.5cm)一片，內部須各割下一長方形孔洞(4.5cm×4cm) (詳圖 3)
- (2) 將碳-氣體擴散電極切成長方形(5cm×6cm)，並於右上角剪下小長方形(2.5cm×1cm)的截角(詳圖 4)。
- (3) 將鋁箔切成長方形(5cm×7cm)，並於右上角剪下小長方形(2.5cm×1cm)的截角(詳圖 5)。

- (4)將(詳圖 2)之塑膠軟墊置於最下方，放上碳-氣體擴散電極(詳圖 4)，再放上將(詳圖 3)之塑膠軟墊。
- (5)用鑷子取出塑膠盒中泡食鹽水溶液的隔離膜，放於(詳圖 3)塑膠軟墊之孔洞中。
- (6)最後放上鋁箔並蓋上(詳圖 1)塑膠軟墊，並使用膠帶固定。
- (7)用鱷魚夾夾住陰、陽極並連上馬達。
- (8)串聯三用電表 A 測量電壓。
- (9)並聯三用電表 B 測量電流。 註：一開始須搓揉電池表面，使陰極含滲才可發電。

			
詳圖 1	詳圖 2	詳圖 3	詳圖 4
			
詳圖 5	步驟 4-1	步驟 4-2	步驟 5-1
			
步驟 5-2	步驟 6-1	步驟 6-2	步驟 6-3
			
步驟 6-4	隔離膜	觀測馬達	鱷魚夾
			
三用電表	三用電表 A	三用電表 B	組合全圖

(二) 測試隔離膜之孔隙度：

1. 將紅蓋塑膠罐上下各打一小洞，並在底部接上車用充氣機之軟管。
2. 將量角器用熱熔膠固定於卡片上。
3. 將一片膠帶中心打一圓孔，並把待測物平貼於膠帶上。
4. 將卡片一端以膠帶固定於紅蓋上。
5. 打開開關，觀測卡片掀起之角度便可比較孔隙度透氣性之大小。

 <p>(1) 孔隙度實驗器材：紅蓋塑膠罐、量角器、卡片、卡帶盒。</p>	 <p>(2) 孔隙度實驗器材：鉗子、熱熔膠。</p>	 <p>(3) 加熱鑄鐵。</p>	 <p>(4) 將紅蓋塑膠罐上下各打一小洞。</p>
 <p>(5) 將紅蓋塑膠罐上下各打一小洞</p>	 <p>(6) 將量角器用熱熔膠固定於卡片上。</p>	 <p>(7) 將一片膠帶中心打一圓孔。</p>	 <p>(8) 把待測物平貼於中心已打好一圓孔的膠帶上。</p>
 <p>(9) 將卡片一端以膠帶固定於紅蓋上。</p>	 <p>(10) 測試隔離膜之孔隙度，觀測卡片掀起之角度便可比較孔隙度透氣性之大小</p>		

## 伍、實驗結果與討論

### 一、鋁-空氣電池：

- (一) 我們一開始直接將電極與隔離膜層層堆疊，但會發生電解質溶液外洩與不好拿取的情形，因此我們便使用塑膠墊作為外殼，中心再切下一長方形作為外層氣體通道與內層陰陽極隔離膜接觸的部分。
- (二) 陽極我們固定鋁箔作為控制變因，因製作不易且試做失敗而購買商業性的碳-氣體擴散層作為實驗之用。
- (三) 在隔離膜測試的方面，我們使用生活中常見的化妝棉、餐巾紙、A4 紙、保鮮膜、報紙…等。原先有使用衛生紙，但泡水即爛，因而改用較厚，強度較強的餐巾紙及化粧棉等代替。

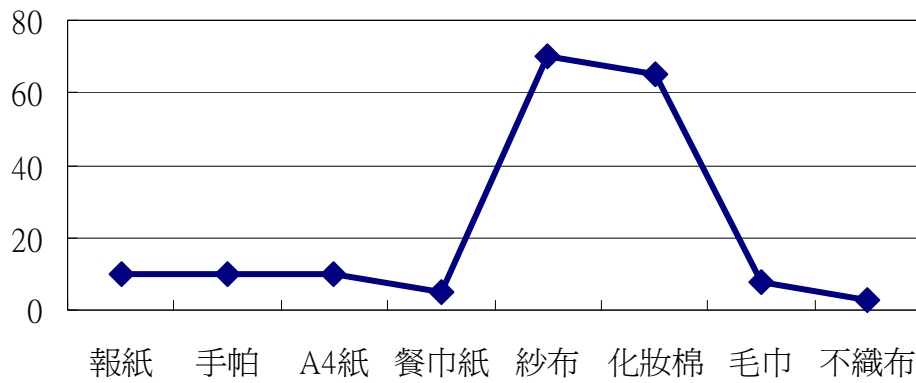
### 二、孔隙度：

- (一) 在測量孔隙度時，我們先使用小電風扇作為氣流來源，但因氣流太弱而改用吹風機。一開始我們使用『觀測乒乓球被透過待測驗物之氣流吹起之高度』的方法來測量孔隙度，但乒乓球卻只會在塑膠罐的紅蓋上打轉，因此才改用『觀測一端固定於塑膠罐的紅蓋上的卡片被風吹起的仰角』的方法來量測，然而吹風機卻因過熱保護裝置無法持續運作而停擺。最後改採車用充氣機，實驗才得以順利的進行。
- (二) 測試隔離膜之孔隙度結果：**【控制變因】**：食鹽水濃度= 20%

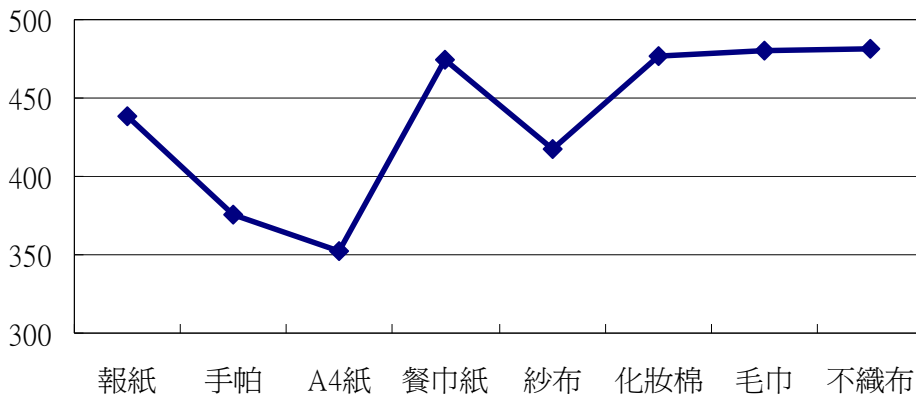
隔離膜材質	報紙	手帕	A4 紙	餐巾紙
揚起角度(度)	10	10	10	5
電壓 (mV)	437.80	375.40	352.60	474.00
電流 (mA)	23.00	26.50	25.06	23.84
輸出功率(mW)	10.07	9.95	8.84	11.30

隔離膜材質	紗布	化妝棉	毛巾	不織布
揚起角度(度)	70	65	8	3
電壓 (mV)	417.60	476.80	480.80	481.00
電流 (mA)	24.25	24.22	23.74	25.94
輸出功率(mW)	10.13	11.55	11.41	12.48

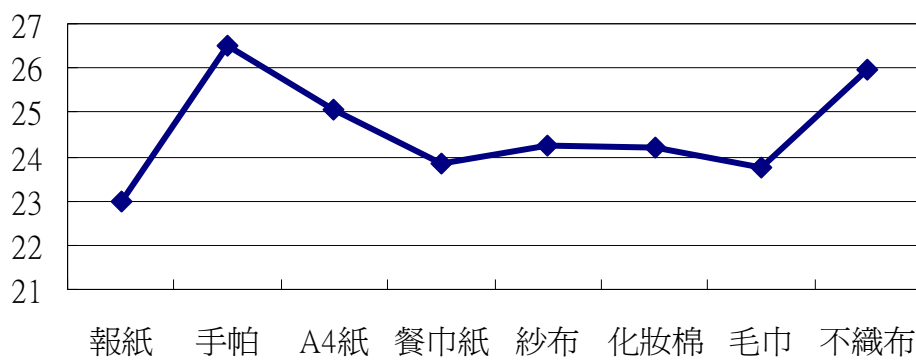
各種材質隔離膜揚起角度(度)



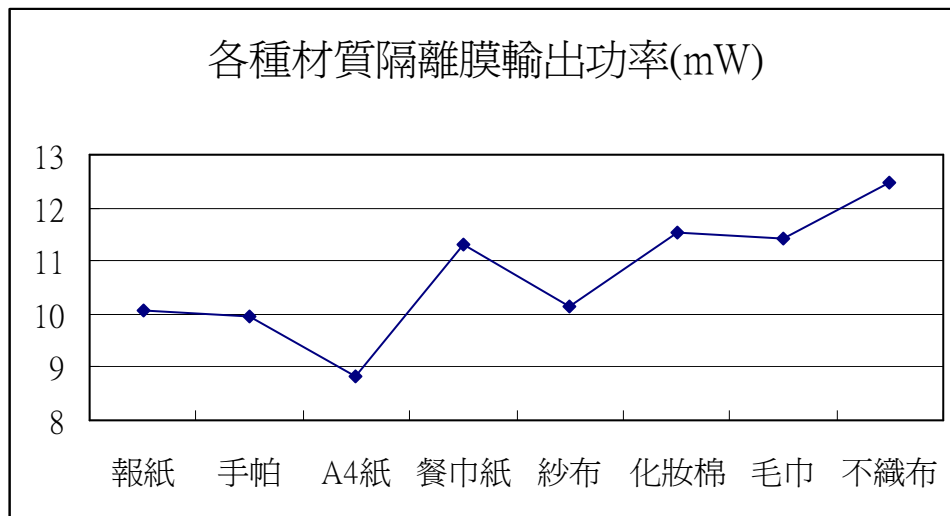
各種材質隔離膜輸出電壓 (mV)



各種材質隔離膜輸出電流 (mA)







【討論】：由孔隙度的實驗結果可得知：

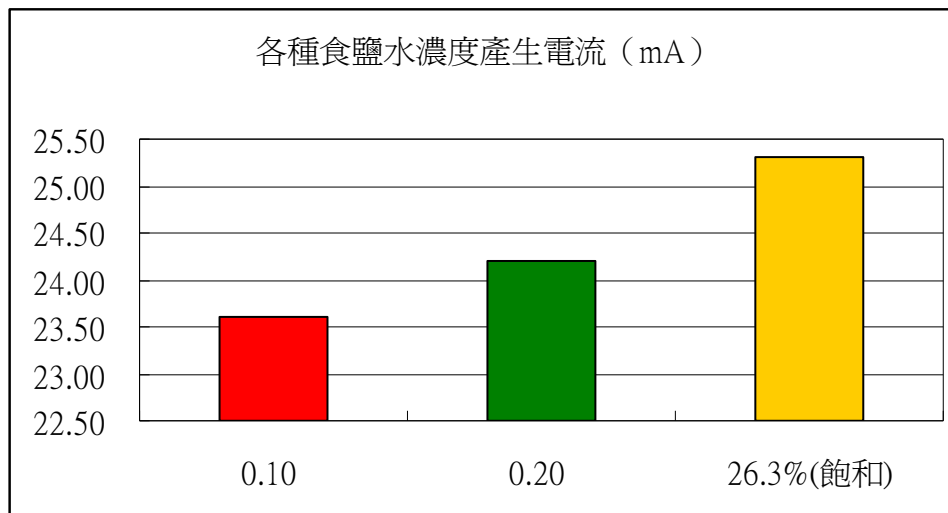
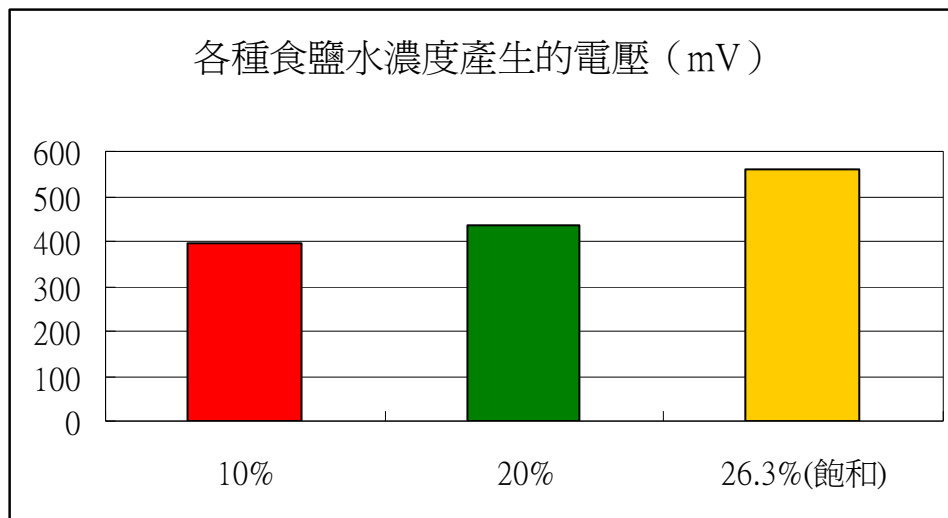
1. 孔隙度最好的是紗布，之後依次是化妝棉>手帕>報紙>毛巾>餐巾紙>不織布
2. 當食鹽水濃度相同時，產生電壓最高的是不織布，電流最高的是手帕，其次是不織布。
3. 我們推論：孔隙度最好的隔離膜材質，未必是能產生最大電流與電壓的隔離膜材質。
4. 由不同材質的隔離膜所產生的電壓結果可以發現，當隔離膜的材質厚度增加，則產生的電壓也隨著變大，有正相關的趨勢。
5. 而由不同材質的隔離膜所產生的電流結果可以發現：
  - (1) 容易在水中分解的隔離膜材質，其產生的電流較小。
  - (2) 而不易在水中分解的隔離膜材質，其產生的電流較大。
  - (3) 不易在水中分解的隔離膜材質中，吸水性較佳的隔離膜材質，其吸收的食鹽水溶液較多，因此產生的電流較大（如：手帕>不織布）。
  - (4) 紗布的孔隙度雖然最大，不易溶於水，但是吸水效果較差（孔隙大水分子吸附力弱容易漏水，因此吸水效果變差），因此產生的電流並非最大。
6. 在產生電壓與產生電流兩者方面表現俱佳及使用的方便性亦良好的隔離膜材質是化妝棉與不織布。使用不織布作為隔離膜可以產生最大輸出功率。

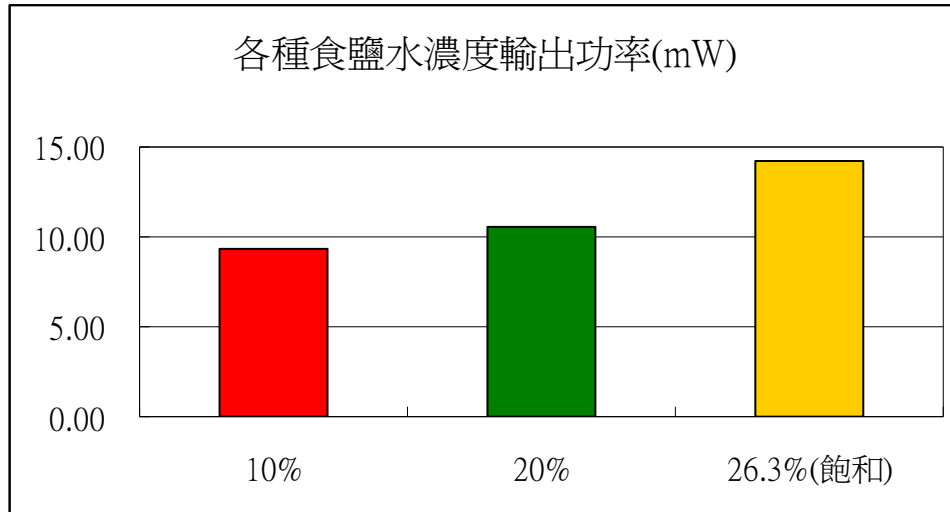
### 三、不同食鹽水濃度測試結果：

【控制變因】：化妝棉、化妝棉厚度及溫度（20°C）

【操縱變因】：食鹽水濃度

食鹽水濃度	10 %	20%	26.3%(飽和)
電壓 (mV)	396.00	435.00	560.00
電流 (mA)	23.60	24.20	25.30
輸出功率(mW)	9.35	10.53	14.17





【討論】：由孔隙度的實驗結果可知：

1. 化妝棉與不織布是較佳的隔離膜材質，此處我們選用化妝棉，作為實驗的隔離膜材質。
2. 由於食鹽水溶液所解離出的氯離子與鈉離子可幫助氫氧根離子和鋁離子的傳遞，所以食鹽水溶液的濃度愈高，解離出的氯離子與鈉離子的個數愈高，也就更能幫助氫氧根離子和鋁離子的傳遞，因此食鹽水溶液濃度高的鋁電池也就能輸出更高的電壓與電流及功率。
3. 此外，我們也發現鋁箔在長時間的使用下，會呈現一種特別的現象－「孔蝕」，即鋁箔會變成一洞一洞的孔洞，這便是鋁被消耗、溶至食鹽水中的最佳寫照，它也間接證明了我們的化學反應式是正確的。
4. 因此我們又設計了另一個實驗，就是將食鹽水 10%、20%、26.3%（20°C 時飽和食鹽水），隔離膜為化妝棉的鋁電池，分別連接上馬達 20 分鐘，觀察使用後陽極的變化。但結果發現食鹽水濃度最高（26.3%）的電池，鋁孔蝕的最為嚴重，因此鋁電池輸出電壓、電流有差距的原因是在單位時間內消耗的鋁較多的緣故。

【孔蝕現象】

10%的孔洞



20%的孔洞



26.3%的孔洞



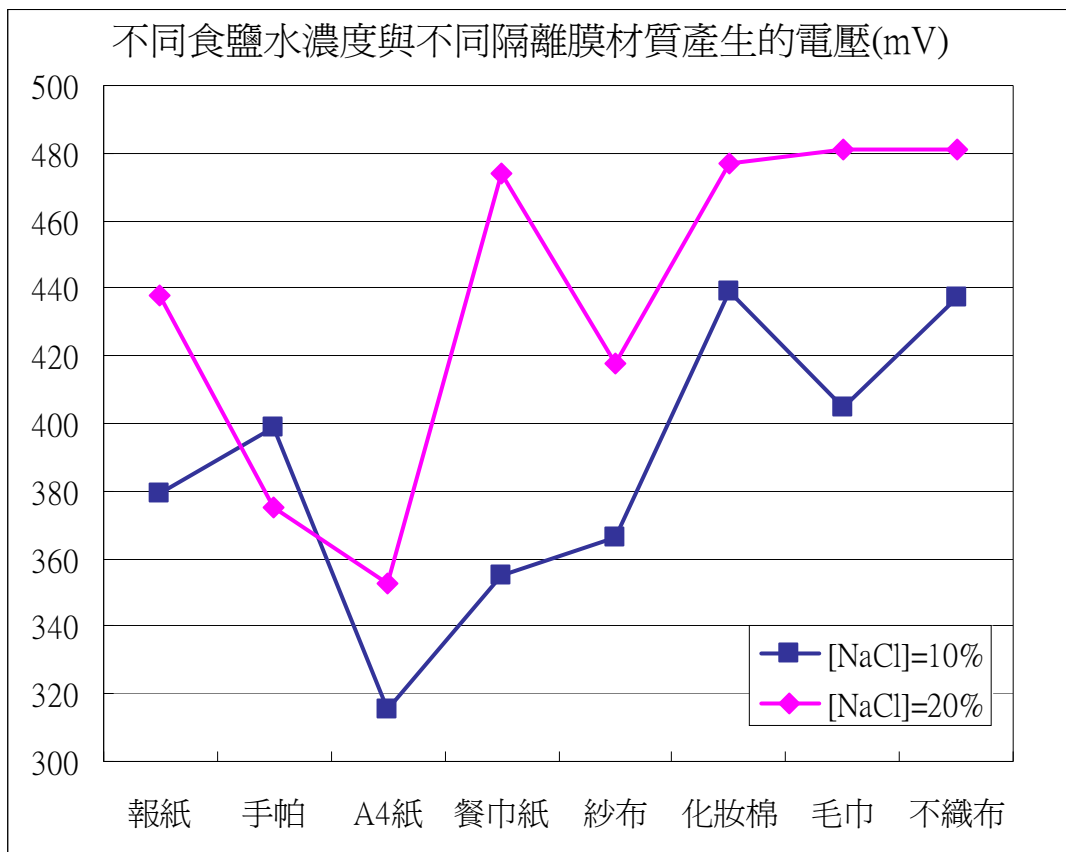
#### 四、不同材質與不同電解質濃度測試結果：

(一)【控制變因】：食鹽水

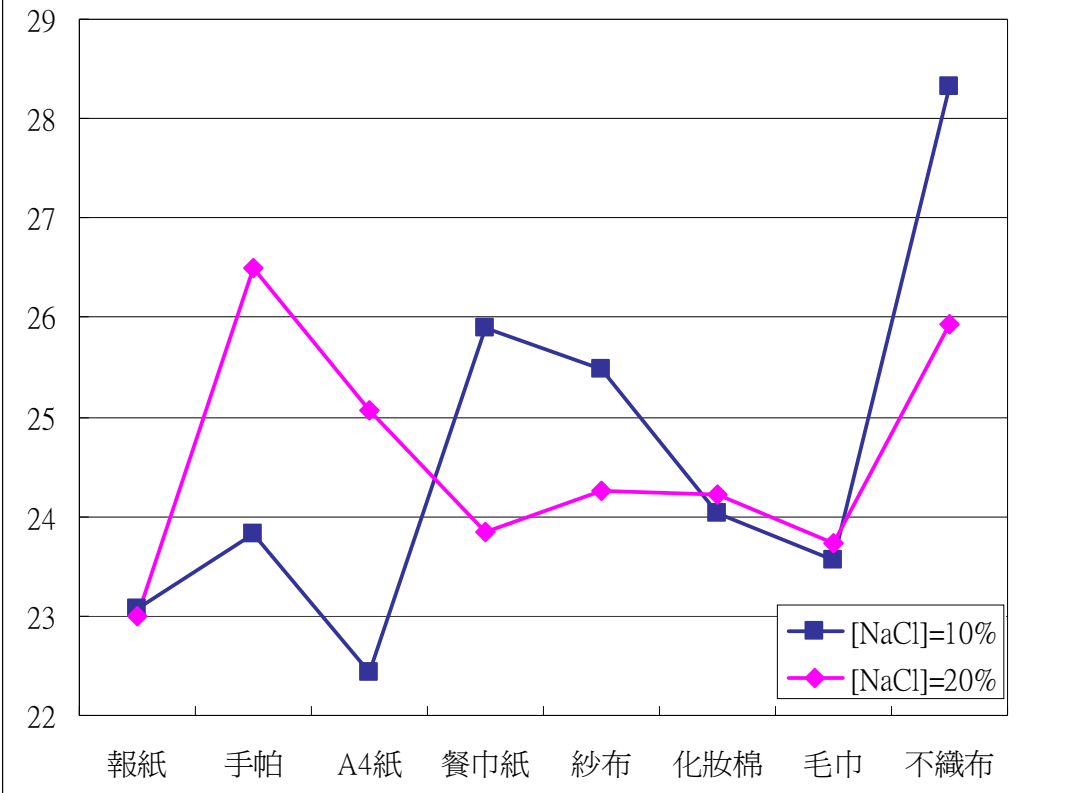
【操縱變因】：食鹽水濃度、各種材質隔離膜

食鹽水濃度	隔離膜材質	報紙	手帕	A4 紙	餐巾紙
10%	電壓 (mV)	379.00	398.80	315.60	355.00
	電流 (mA)	23.08	23.82	22.44	25.90
	輸出功率(mW)	8.75	9.50	7.08	9.19
20%	電壓 (mV)	437.80	375.40	352.60	474.00
	電流 (mA)	23.00	26.50	25.06	23.84
	輸出功率(mW)	10.07	9.95	8.84	11.30

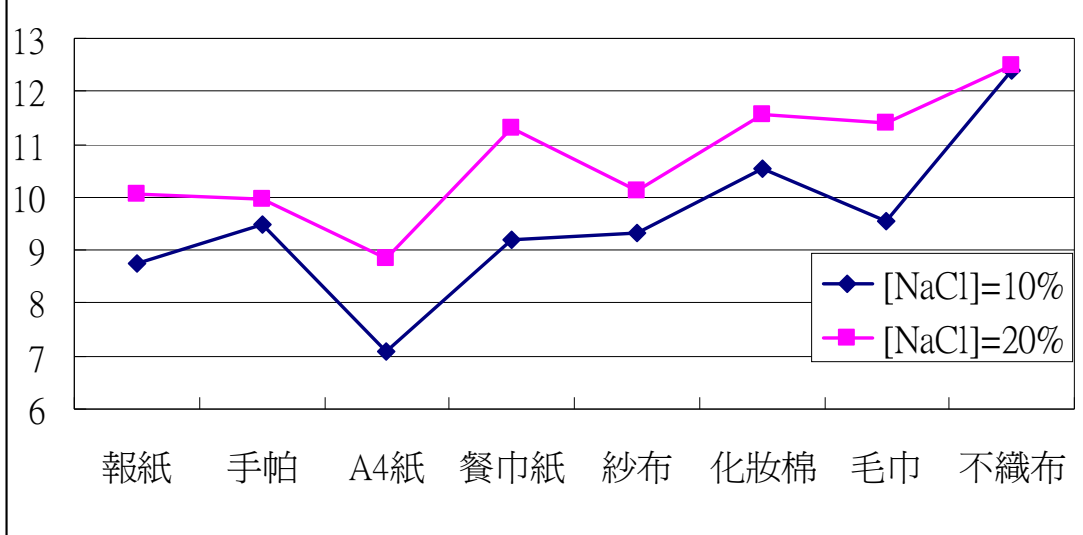
食鹽水濃度	隔離膜材質	紗布	化妝棉	毛巾	不織布
10%	電壓 (mV)	366.00	438.80	405.00	437.20
	電流 (mA)	25.48	24.04	23.56	28.32
	輸出功率(mW)	9.33	10.55	9.54	12.38
20%	電壓 (mV)	417.60	476.80	480.80	481.00
	電流 (mA)	24.25	24.22	23.74	25.94
	輸出功率(mW)	10.13	11.55	11.41	12.48



不同食鹽水濃度與不同隔離膜材質產生的電流(mA)



不同食鹽水濃度與不同隔離膜材質輸出功率(mW)



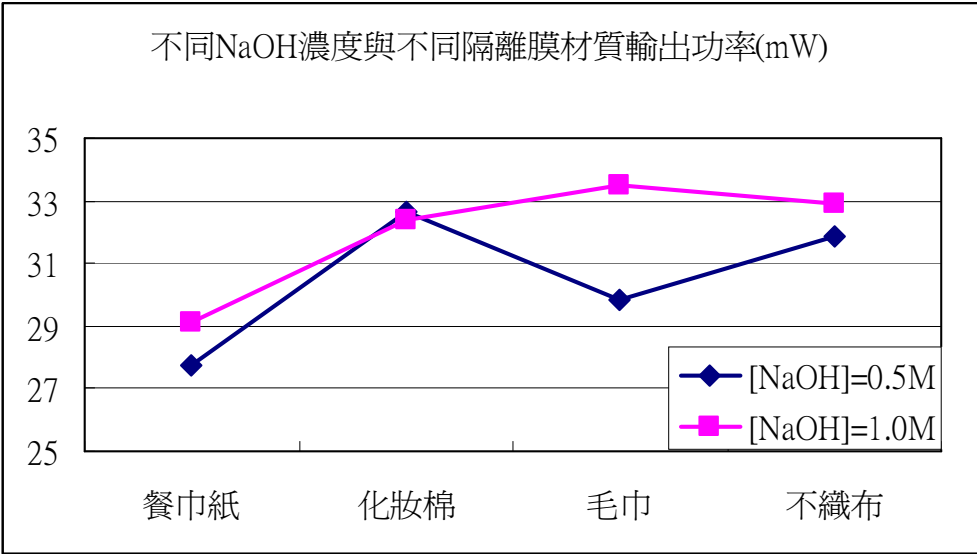
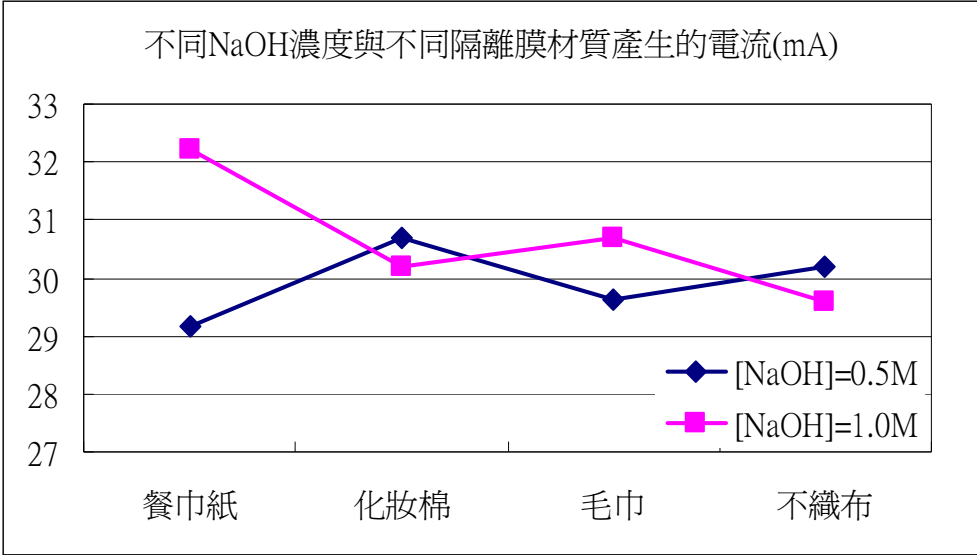
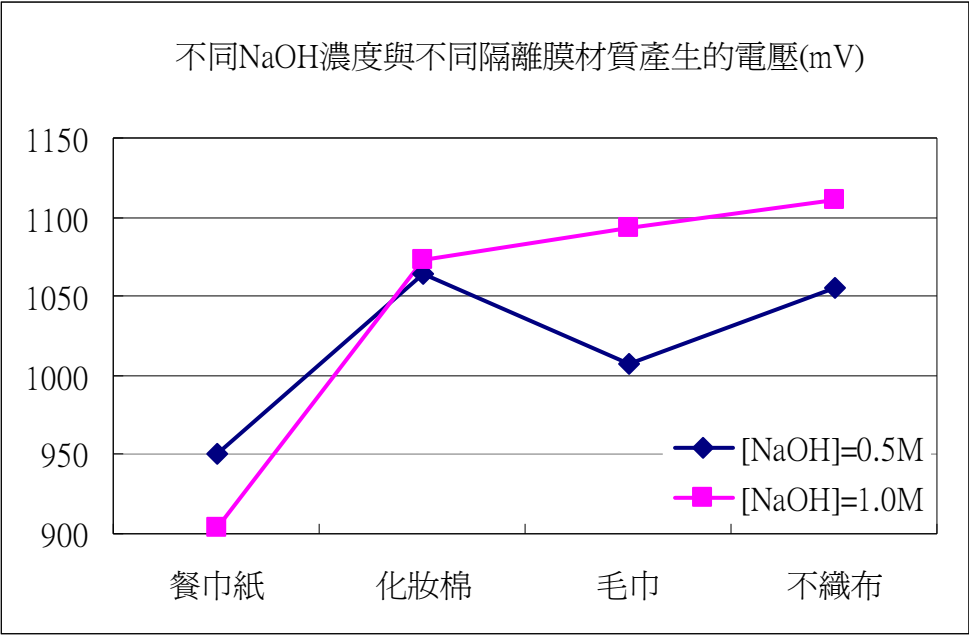
【討論】：由本實驗的結果可知：

1. 除了手帕與 A4 紙之外，不同的隔離膜材質產生的電壓皆是食鹽水濃度 20%高於 10%。
2. 而不同的隔離膜材質在不同食鹽水濃度下產生的電流並無明顯的規律性出現，
3. 濃度 20%的食鹽水電流高於濃度 10%的食鹽水電流的隔離膜材質有：手帕、A4 紙、化妝棉、毛巾。
4. 濃度 20%的食鹽水電流低於濃度 10%的食鹽水電流的隔離膜材質有：餐巾紙、紗布、不織布。
5. 我們推論：不同隔離膜所產生的電壓，和其厚度仍有正相關；至於產生的電流，在不同的食鹽水濃度的環境下，各種隔離膜纖維中的分子作用力不同，以致於電子在期間的傳遞速率與多寡不同而產生不規律的現象。而輸出功率方面，在不同的食鹽水濃度的環境下，使用不織布作為隔離膜仍有最大輸出功率。整體而言，食鹽水的濃度提高後，電池的輸出功率也增加。

(二)【控制變因】：NaOH 水溶液

【操縱變因】：NaOH 濃度、各種材質隔離膜

NaOH 濃度	紙類材質	餐巾紙	化妝棉	毛巾	不織布
0.5M	電壓 (mV)	950.20	1063.80	1007.00	1055.20
	電流 (mA)	29.18	30.70	29.64	30.20
	輸出功率(mW)	27.73	32.66	29.85	31.87
1.0M	電壓 (mV)	903.40	1073.00	1092.60	1111.20
	電流 (mA)	32.22	30.20	30.68	29.60
	輸出功率(mW)	29.11	32.40	33.52	32.89





【討論】：從不同食鹽水濃度的測試結果中，我們選出了 4 種產生電壓與電流表現較佳的隔離膜材料，分別是：餐巾紙、化妝棉、毛巾、不織布做為本實驗的探討對象。由本實驗的結果可知：

1. 在不同 NaOH 濃度下，除了餐巾紙之外，不同的隔離膜材質所產生的電壓，皆是 1M NaOH 高於 0.5M NaOH；而在不同 NaOH 濃度下，不同的隔離膜材質所產生的電流，1M NaOH 高於 0.5M NaOH 的有餐巾紙、毛巾，1M NaOH 低於 0.5M NaOH 有化妝棉、不織布。

2. 由不同隔離膜材質所產生的電壓結果亦可發現，所產生的電壓大小亦受隔離膜的厚度影響。

3. 整體而言：

(1) NaOH 的濃度提高後，電池的輸出功率也增加。

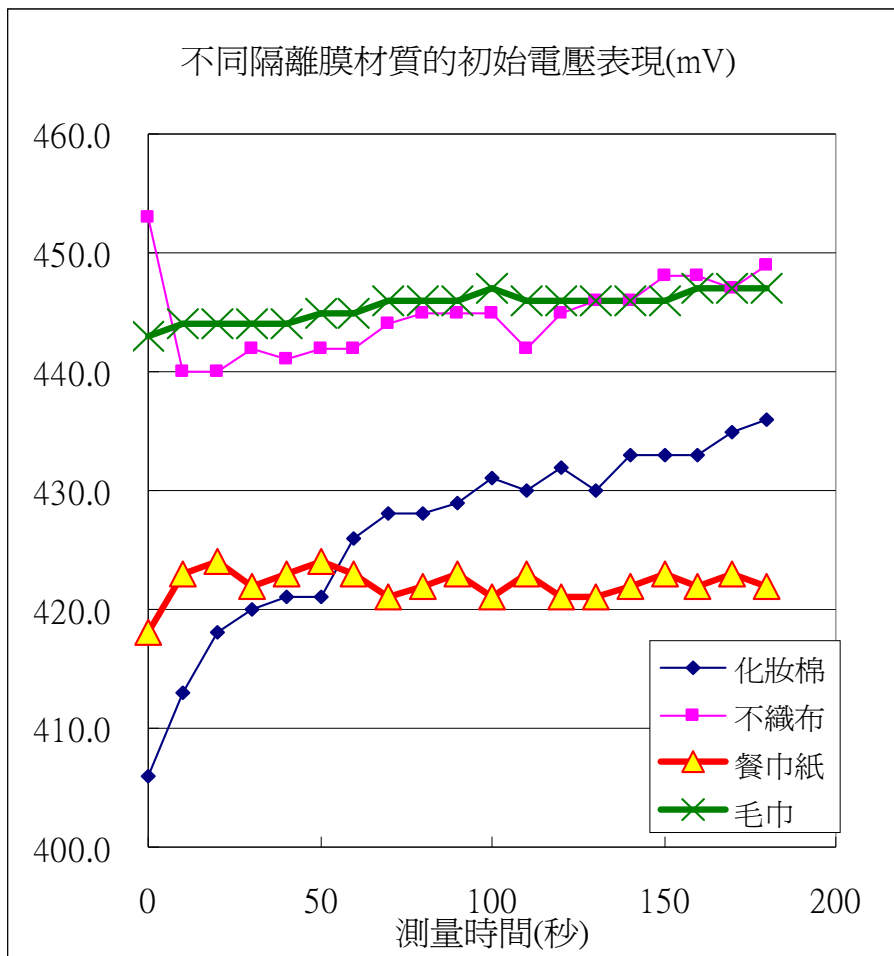
(2) 將食鹽水的濃度換算成莫耳濃度後發現：當食鹽水與 NaOH 濃度相同時，使用 NaOH 作為電解質水溶液，不論何種隔離膜材質，其產生的電壓與電流以及輸出的功率皆優於使用食鹽水做為電解質水溶液。此乃因使用 NaOH 水溶液可以提高水中（電池內）的氫氧根離子（ $OH^-$ ）的含量，使陽極釋放出的電子增加。

## 五、不同隔離膜材質的初始電壓、電流與功率表現：

(一)【控制變因】：食鹽水溶液及濃度（20%）      【操縱變因】：各種材質隔離膜

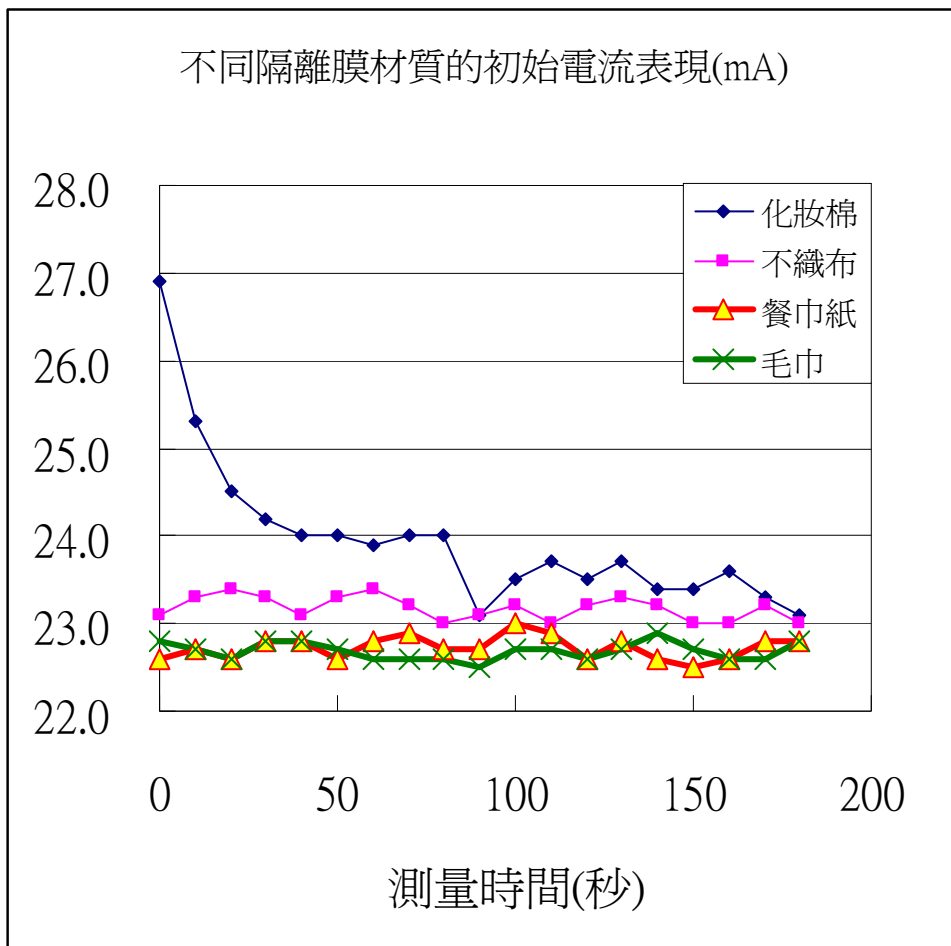
測量時間(秒)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
化妝棉 (mV)	406.0	413.0	418.0	420.0	421.0	421.0	426.0	428.0	428.0	406.0
不織布 (mV)	453.0	440.0	440.0	442.0	441.0	442.0	442.0	444.0	445.0	453.0
餐巾紙 (mV)	418.0	423.0	424.0	422.0	423.0	424.0	423.0	421.0	422.0	418.0
毛巾 (mV)	443.0	444.0	444.0	444.0	444.0	445.0	445.0	446.0	446.0	443.0

測量時間(秒)	100	110	120	130	140	150	160	170	180
化妝棉 (mV)	431.0	430.0	432.0	430.0	433.0	433.0	433.0	435.0	436.0
不織布 (mV)	445.0	442.0	445.0	446.0	446.0	448.0	448.0	447.0	449.0
餐巾紙 (mV)	421.0	423.0	421.0	421.0	422.0	423.0	422.0	423.0	422.0
毛巾 (mV)	447.0	446.0	446.0	446.0	446.0	446.0	447.0	447.0	447.0



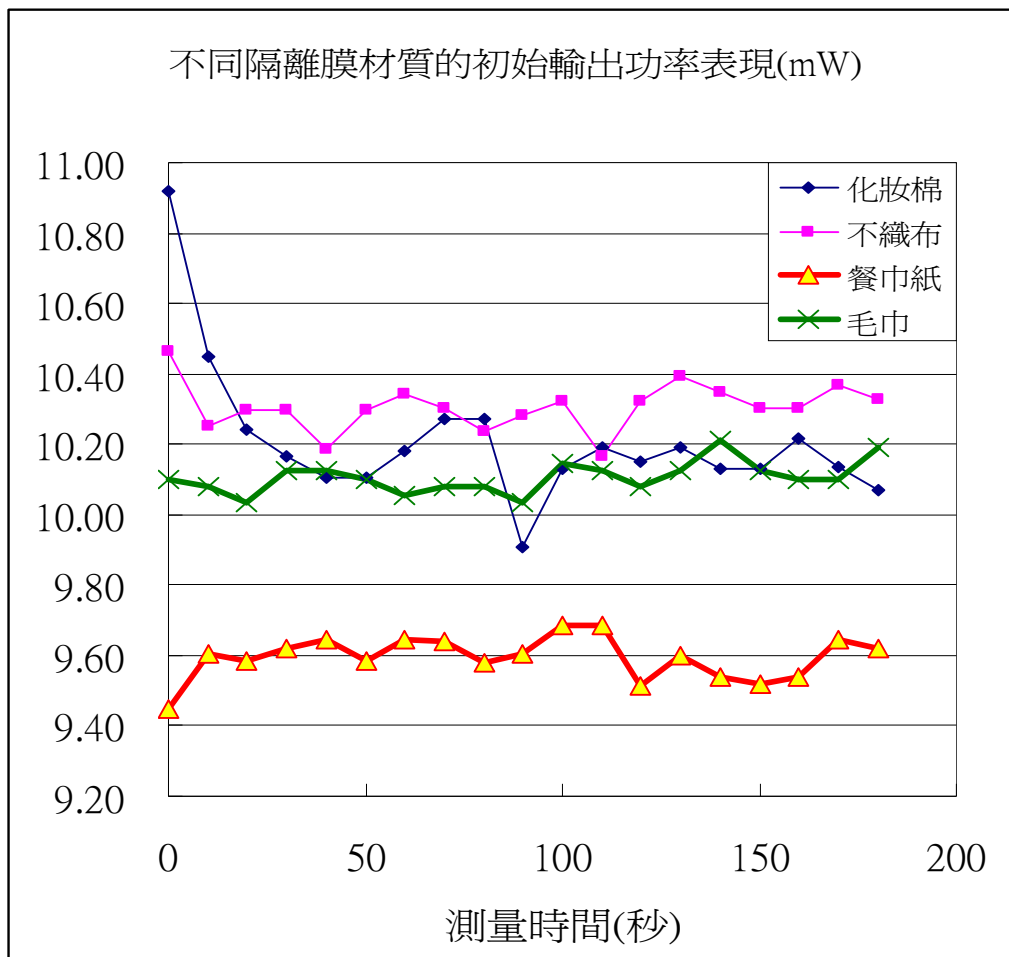
測量時間(秒)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
化妝棉 (mA)	26.9	25.3	24.5	24.2	24	24	23.9	24	24	23.1
不織布 (mA)	23.1	23.3	23.4	23.3	23.1	23.3	23.4	23.2	23	23.1
餐巾紙 (mA)	22.6	22.7	22.6	22.8	22.8	22.6	22.8	22.9	22.7	22.7
毛巾 (mA)	22.8	22.7	22.6	22.8	22.8	22.7	22.6	22.6	22.6	22.5

測量時間(秒)	100	110	120	130	140	150	160	170	180
化妝棉 (mA)	23.5	23.7	23.5	23.7	23.4	23.4	23.6	23.3	23.1
不織布 (mA)	23.2	23	23.2	23.3	23.2	23	23	23.2	23
餐巾紙 (mA)	23	22.9	22.6	22.8	22.6	22.5	22.6	22.8	22.8
毛巾 (mA)	22.7	22.7	22.6	22.7	22.9	22.7	22.6	22.6	22.8



測量時間(秒)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
化妝棉 (mW)	10.92	10.45	10.24	10.16	10.10	10.10	10.18	10.27	10.27	9.91
不織布(mW)	10.46	10.25	10.30	10.30	10.19	10.30	10.34	10.30	10.24	10.28
餐巾紙(mW)	9.45	9.60	9.58	9.62	9.64	9.58	9.64	9.64	9.58	9.60
毛巾(mW)	10.10	10.08	10.03	10.12	10.12	10.10	10.06	10.08	10.08	10.04

測量時間(秒)	100	110	120	130	140	150	160	170	180
化妝棉 (mW)	10.13	10.19	10.15	10.19	10.13	10.13	10.22	10.14	10.07
不織布(mW)	10.32	10.17	10.32	10.39	10.35	10.30	10.30	10.37	10.33
餐巾紙(mW)	9.68	9.69	9.51	9.60	9.54	9.52	9.54	9.64	9.62
毛巾(mW)	10.15	10.12	10.08	10.12	10.21	10.12	10.10	10.10	10.19



【討論】：從不同食鹽水濃度的測試結果中，我們選出了 4 種產生電壓與電流表現較佳的隔離膜材料，分別是：餐巾紙、化妝棉、毛巾、不織布做為本實驗的探討對象。由本實驗的結果可知：不同隔離膜材質製成的鋁-空氣電池，

- (1) 在初始電壓表現方面：毛巾和餐巾紙很快便達電壓平衡，能夠輸出穩定的電壓；而化妝棉則需較多的時間才能達到電壓平衡。
- (2) 在初始電流表現方面：餐巾紙、毛巾、不織布一開始的輸出電流便呈現穩定平衡狀態；化妝棉則是有下降趨勢，同樣需要較多時間才能達到電流平衡。
- (3) 在初始輸出功率表現方面：餐巾紙、毛巾、不織布一開始的輸出功率便呈現穩定平衡狀態；化妝棉則是有下降趨勢，同樣需要較多時間才能達到電流平衡。至於輸出功率大小依次為：不織布 > 化妝棉 > 毛巾 > 餐巾紙，和實驗四的推論相同。

## 陸、結論

我們從實驗結果中可得知：

1. 「隔離膜的孔隙度會影響輸出電壓和電流；且適當的孔隙度大小，可以增加隔離膜的吸水度，可以提升輸出的電壓和電流」。
2. 「實驗三中當食鹽水濃度為 30%時，有最大電壓與電流」
3. 「提高食鹽水濃度，便可提高鋁消耗的速率；提高鋁消耗的速率，便可使輸出的電壓電流提高」。
4. 「可用於實驗中的較佳隔離膜選擇是：不織布、化妝棉、毛巾」。
5. 不論在中性或鹼性環境中，其產生電壓與電流會隨著水溶液的濃度增加而增加的是毛巾。
6. 對於所使用的任一種隔離膜材質，當電解質溶液 ( $NaCl_{(aq)}$ 、 $NaOH_{(aq)}$ ) 的濃度增加時，其輸出的功率也隨之增加。
7. 相同濃度下，在鹼性的環境中，電池的輸出功率優於中性的環境。
8. 能夠快速提供穩定電壓與電流輸出，及有較大的輸出功率的是以不織布為隔離膜的鋁-空氣電池。

9. 使用市售化妝棉與濃度 26.3%的食鹽水及鋁箔，我們可以製作出最高電壓為 0.56V、最高電流為 25.3mA、最高功率為 14.17mW 的一次性鋁電池，此一次性鋁電池可驅動小型觀測馬達，證明其實際且可用。

## 柒、參考資料

- 1.燃料電池—原理與應用/衣寶廉 編著/五南出版
- 2.Conceptual Physics/Paul G. Hewitt

## 【評語】 030823

1. 利用氧化還原的原理進行電池原理探討，立意甚佳。
2. 對於已知的現象進行了系列的探討值得鼓勵。
3. 可針對各項變因背後的影响原理作進一步的探討與說明。