

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

032903

「電」擊「污」散

學校名稱：高雄市立五福國民中學

作者： 國二 謝東諭	指導老師： 陳佳琪 余尚芸
---------------	---------------------

關鍵詞：電動力技術、污泥、自製儀器

摘要

本研究利用電解反應技術來探討含水污泥脫水之效率，由於處理污泥的成本往往過高，而電解反應脫水能有效降低其成本。一般帶濾式機械設備脫水後含水量通常超過 50%，且裝置龐大十分耗電。而我們利用簡易的裝置，以小型電解反應進行實際脫水，在 18-36v 的電壓下，進行 2hr 脫水處理，其脫水效果目前可達到 31.3~45.1%。而在含有重金屬的電解液中也都能達到 30-40% 的脫水效果。最後我們改以垂直式的脫水裝置，其在陰極脫水效果更能達到 40~50%，值得進行後續污泥脫水的研究。

壹、研究動機

近年來由於科技進步，環保意識抬頭，工廠每年產生的大量廢水在排放至河川前，都需進一步處理，其中包括淨化過程中產生大量沉澱之污泥，還有不同的溶劑清洗儀器及設備而造成之污泥。

通常污泥的含水量很高，並含有許多物質，造成處理的困難度。而含水量之多寡直接影響到污泥處置之成本與後續焚化處理之效率。如果能提昇污泥電解脫水的效能，可大大降低處理成本，進而解決污染的可能性。日前也參觀了鳳山自來水廠，瞭解污泥處理過程及其「點石成金-淨水污泥再利用」的計畫，希望提昇電解脫水後污泥的經濟效益。課本也提到，電解會分解水，那是否可以利用電解反應來達到電解脫水效果，因此開始進行相關的研究...

貳、研究目的

本研究主要目的為探討利用小型模場之電解反應技術，提昇污泥水份移除效率及處理過程所發生之電動力現象，並針對此模場處理情形進行效益分析。

- 一、自製設計電解反應裝置。
- 二、在不同的酸鹼度下，探討電解反應脫水效果。
- 三、在不同的電解時間下，探討電解反應脫水效果。
- 四、在不同電解槽長度下，探討電解反應脫水效果。
- 五、在不同電壓大小下，探討電解反應脫水效果。
- 六、電解反應裝置在電解過程中，探討其電流的變化情形。
- 七、在不同的重金屬電解下，探討電解反應脫水效果
- 八、改成垂直式裝置，探討電解反應脫水效果。

參、實驗藥品及器材

一、器材

自製電解反應模組、電源供應器、烘箱、天平、切割器、鐵盤、夾子、電線、土壤樣品、海綿、鋁箔、濾紙、濾布、石墨電極、燒杯、滴管、塑膠管、量筒、石蠟模、絕緣膠帶。



圖 1 所用設備裝置及器材用品

二、藥品

矽膠、凡士林、NaOH、HNO₃、NaNO₃、Mg(NO₃)₂、Na₂SO₄、Mg SO₄、Al(NO₃)₃、Na₃PO₄、Cu(NO₃)₂、Fe(NO₃)₃、Ni(NO₃)₂、Zn(NO₃)₂。

◆◆文獻探討◆◆

一、污泥的產生

臺灣工業污泥產量日益增加，根據經濟部工業局 99 年全國廢棄物產量統計資料顯示，有機、生物及無機廢棄污泥年產量已達 200 萬公噸，其中，工業廢水處理廠所產生之有機污泥之年產量達 60 萬公噸。另外，臺灣目前擁有厭氧消化槽之都市污水處理廠每年產生之污泥量約 10 萬公噸，依據環保署資料顯示，廢(污)水處理廠污泥處理設備約佔總工程建造費的 20-35%；操作費方面，污泥處理/處置費用約佔 40%，且污泥處理所造成之操作維修及污泥設備操作不當引起廢(污)水處理系統發生故障，可能佔廢(污)水處理廠所有操作問題 50%以上，故污泥處理與處置已成為重要之環境議題，處理經費通常都需要幾億元以上。

二、污泥的含水情形

表一 污泥含水情形

水型態	所佔百分比(%)
空隙水(自由水)	75%
毛細水(間隙水)	20%
吸附水(表面水)	2%
內部水(胞內水)	3%
全部	100%

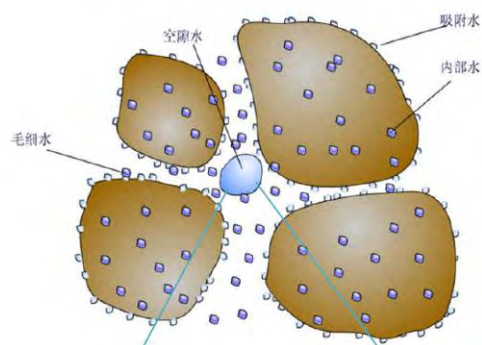


圖 2 污泥含水示意圖

根據文獻，污泥約含有 75%的自由水或可排水 (Free or Drainable Water)、20%的間隙水(Interstitial Water)、2%的表面水(Surface Water)、3%的胞內水或內部水(Bound Water)。

表二 污泥含水的影態、作用力及名稱

結合型式	作用力及作用現象	分類名稱
化學	離子：水合作用。 分子：結晶作用	胞內水、內部水、結合水(化學鍵結)
物理	氫鍵、吸附、溶合作用、滲透作用、膠體	表面水、結合水(物理吸附)
機械	毛細現象、毛細凝聚	毛細水、間隙水、固定水(束縛或黏附)
非結合	表面凝聚、沒被毛細作用影響的水	自由水、空隙水

三、污泥水分去除方法

1. 污泥脫水重要性

污水經過沉澱處理後會產生大量的污泥，雖然經過機械濃縮及消化處理，但是污泥體積仍相當大，固體含水率也相當高，只有經過脫水處理，提高污泥餅的含固率，才能夠減少污泥堆置的佔地面積，提高污水處理的經濟性。

污泥脫水已受環保法規要求，根據事業廢棄物儲存清除處理方法及設施標準規定：污泥之中間處理需要將無機性污泥脫水或乾燥至含水率 85% 以下，以方便有機性污泥以熱處理法處理。

2. 污泥處理流程(以自來水廠為例)

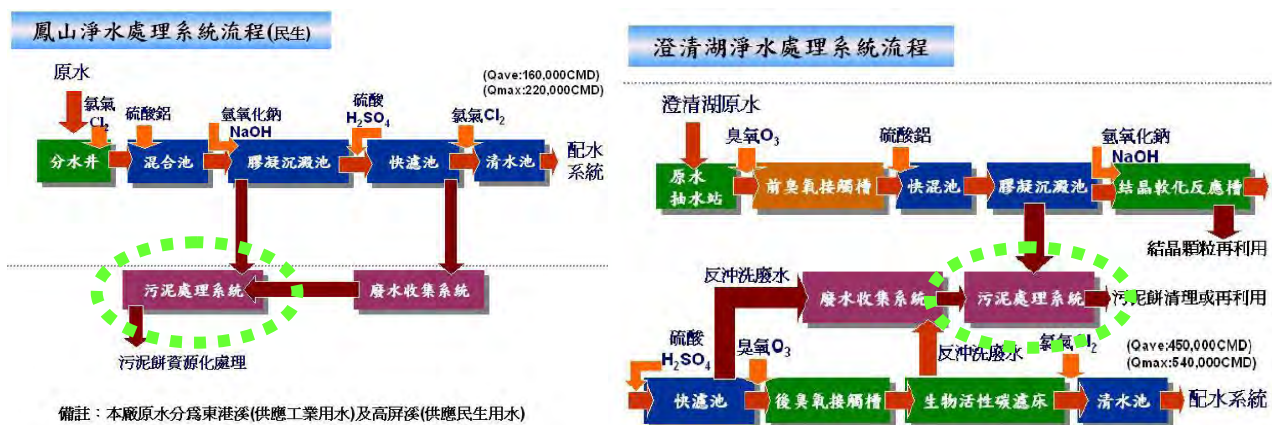


圖 3 民生用水淨化過程中需使用土壤脫水的情形

目前常見的機械處理方法：均需要加入混凝劑(典型使用的調理劑包括有機聚合物、石灰和氯化鐵)。包含要攪拌混合離子或擠壓，必需考慮的因素有：(a)pH 值、(b)污泥的表面電荷、(c)GT 值(調理強度 G 以及延時 T 值，調理劑的作用是減少或消除顆粒間的排斥力，如此顆粒才能夠凝聚在一起，藉以提高脫水的效率。(d)顆粒大小(e)可壓縮性(f)溫度等...，而本實驗希望以簡易電場輔助式脫水裝置，來簡化以上程序。

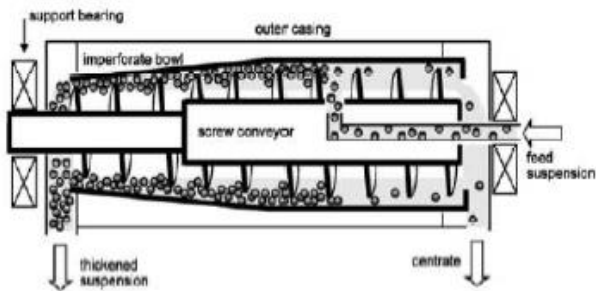
3.常見的污泥脫水方法比較

表四 不同污泥脫水方法的優缺點比較

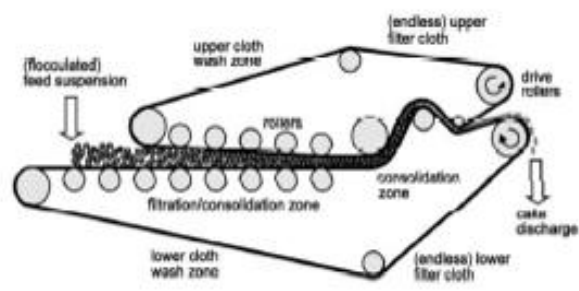
脫水法	操作	優點	缺點	平均脫水率
日曬法	均勻平放在太陽下	只需平鋪及回收的程序，花費較少	場地大，時間太長，有天氣問題，易造成大量臭味，空氣污染問題	35%
(1)離心式	轉動承筒產生離心力	需較小空間、無味道問題	推動軸與承筒可能會受污泥侵蝕、由無機調理劑形成之垢層無法藉離心推進移出、維修較複雜	22%
(2)板框壓濾式	將污泥置入兩塊濾布之間，通過壓力排出污泥中的水分	較高的電解效果	污泥產量慢且低、無法連續排泥。機器高投資成本。濾布消耗大	37%
(3)帶濾式	污泥置入兩層濾布，經一連串的壓力滾輪	除壓過濾法外，能產生較乾的污泥餅	濾帶清洗及壽命，及濾布消耗大，易造成臭味	24%
(4)電場輔助式	在閉密容器中，兩極通電電解	電解效果佳，同時可去除壤中部分有毒物質，操作簡單，成本低	電極需另外處理	57%

4.相關儀器裝置

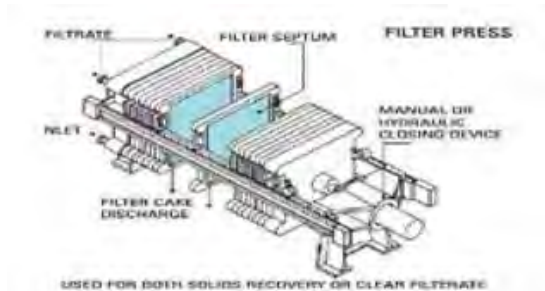
(1)離心式



(3)帶濾式



(2)壓濾式



(4)電場輔助式

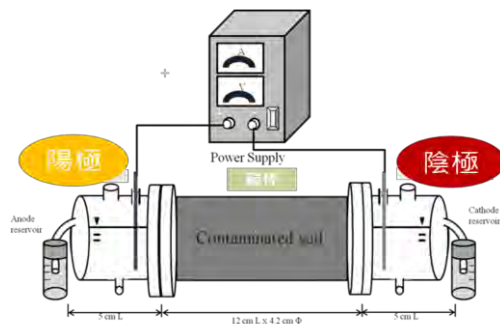


圖 4 各裝置示意圖

5. 電場輔助式脫水原理

電解反應法係在欲處理孔隙介質(如污泥或土壤)施加直流電壓，經由電場的作用所產生之**電滲透流**及**離子遷移效應**而將水帶出，進而達到移除污染物或污泥脫水的目的，電壓坡降及處理時間為影響脫水效率之重要操作參數。

6. 污泥處理後的高價值性(取自自水水介紹影片：點石成金-淨水污泥再利用)

早期都是以掩埋方式處理，當脫水效力高達 85% 以上時，有效提高污泥的再製能力，能夠有效應用於紅磚、輕骨材料、培養土、無筋混泥土，創造新的經劑再利用價值。

 <p>污泥曬乾床 透過陽光曝曬去水分</p>		 <p>CLSM 控制性低強度 回填材料</p>
<p>污泥</p>	<p>紅磚</p>	<p>輕骨材料</p>
 <p>培養土</p>		
<p>培養土</p>	<p>無筋混泥土</p>	

圖 5 脫水土壤進行其他創造新經劑及再利用價值

肆、實驗流程

一、本實驗設計裝置：(自製電解反應模組)

實驗裝置係於固定寬、高為 12、12 公分，改變不同的長度之小型壓克力，先將耐酸鹼尼龍濾布鋪設於模場內，防止污泥體坍塌，模場底部架設一層石墨電極碳棒網，此石墨電極碳棒網係由八支等長之石墨電極碳棒，以等距離平鋪於模場底部，再置兩支約 20 公分之電極棒於兩端與之連接而組成。施加 12 ~ 36V 直流恆定電壓，進行 2 小時電解反應試驗，模場底部(負極端)設有孔口以收集電滲透液。

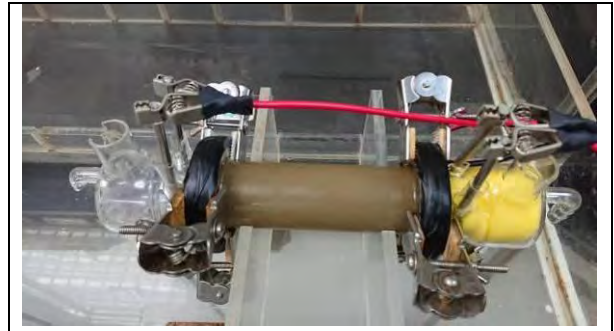


圖 6 儀器裝置圖

二、實驗設計原理：

電解反應法係在欲處理孔隙介質(如污泥或土壤)施加直流電壓，經由電場的作用所產生之電滲透流及離子遷移效應而將水帶出，進而達到移除污染物或污泥脫水的目的，電壓坡降及處理時間為影響脫水效率之重要操作參數。



圖 7 電源供應器



圖 8 電解槽



圖 9 整個電解反應脫水裝置



圖 10 烘箱

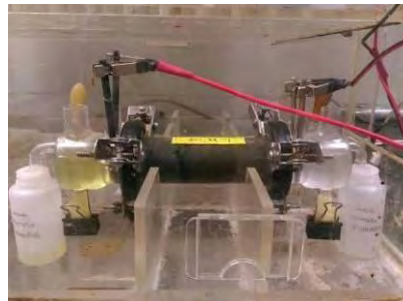


圖 11 脫水情形



圖 12 土壤推送器

(三)儀器設計與操作方式：

- 1.反應槽初步以壓克力板為材質，其大小配合常用的石墨棒的大小，方便進行電解反應。
- 2.在反應槽底部等距離依反應槽長度平鋪放置 8 隻適當長度石墨電極碳棒，形成石墨電極碳棒網，並利用另外兩隻接電源放至兩極的石墨棒，組成主要通電裝置。
- 3.乾燥的土壤秤重，加水及電解質後進行攪拌，讓土壤含水率達 80%，符合一般污泥的初始含水率。
- 4.利用濾紙包覆一端，加上凡士林，防止土壤孔隙中的水滲出。
- 5.一邊加入鋁箔紙及濾布，減少濾布與裝置的摩擦，並方便固定土壤。



圖 13 乾燥土壤稱重



圖 14 濾紙包覆一端



圖 15 加入鋁箔方便固定土壤

- 6.開始填土，並計算加入的重量。
- 7.放入濕海綿與石墨電極，再用 silicone 緊密黏接，再用石臘膜將接合處纏繞完全。
- 8.以黑色膠帶密封儀器多餘孔洞。



圖 16 開始填土計算重量



圖 17 加上 silicone 及石臘膜

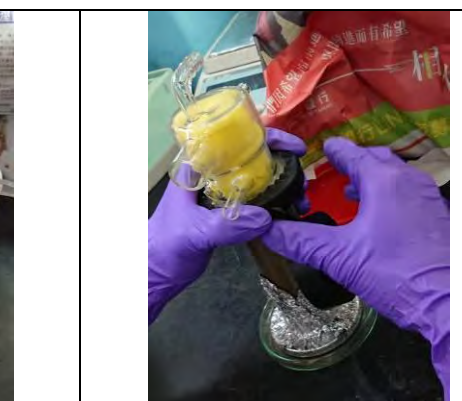


圖 18 黑色膠帶密封儀器

9.重覆步驟 4-8，封閉另一端。

10.將電線(金屬夾)連接石墨電極，開啟電源供應器進行實驗。



圖 19 封閉另一端



圖 20 電解完成

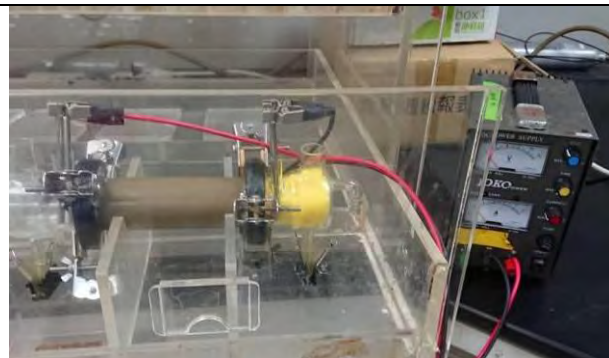


圖 21 連接石墨電極開啟電源



圖 22 陰極收集的電解液

11.取出完成實驗後土壤，並分成 8 塊(+、A、B、C、D、E、F、-)。

12.秤重並加入等比例的水重後，測量其 pH 值。

13.最後將全部土壤放入烘箱烘乾 24 小時。



圖 23 土壤切塊

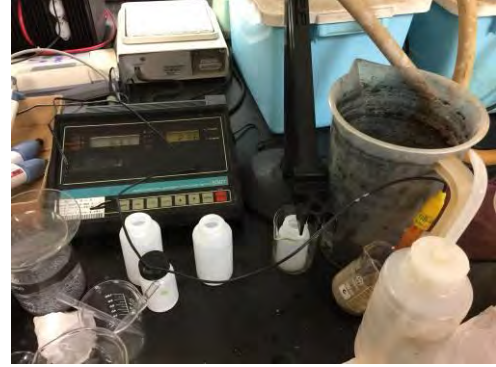


圖 24 測量其 pH 值



圖 25 土壤烘乾前的情形



圖 26 土壤烘乾後的情形

測量方法：將土壤樣品置於 105°C 的烘箱內，烘乾 24 小時至恆重(通常至少 8 小時以上)，計算土壤樣品烘乾前後的質量。

含水率 = $[(\text{土壤溼重} - \text{土壤烘乾重}) / (\text{土壤溼重})] * 100\%$ 。

伍、實驗結果與討論

實驗一：自製設計電解反應脫水裝置

一、實驗步驟：

建立自製儀器：第一代方型反應槽及第二、三代圓型反應槽。

(一)第一代方型反應槽

- 1.利用塑膠瓶剪出方型反應槽 20cm，左右脫水槽 5cm，並組成脫水裝置。
- 2.在負極放入海棉，並於正負極均放入碳棒。
- 3.中間反應槽先不放入碳棒。
- 4.取硝酸鈉取 0.85 克配製 100mL 後，再取 1mL 配製至 1L 後，並從溶液中取 880 克與土壤混合均勻，配出含水率 80%的土壤中(220 克土壤與 880 克水均勻混合)
- 5.將土壤混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電 4 小時。
- 6.重覆上述步驟，在反應槽底部先放入碳棒 4 及 8 根，再裝填土壤後密封後，兩極加入碳棒進行通電，並比較其電解效率。

(二)第二代圓型反應槽

- 1.利用塑膠瓶剪出圓型反應槽 20cm，左右脫水槽 5cm，並組成脫水裝置。
- 2.依上述第一代反應步驟(2)-(6)重覆操作，並比較其電解效率。

(三)第三代反應槽

- 1.建立玻璃圓型反應槽及左右脫水槽等器材，組成脫水裝置。
- 2.依上述第一代反應步驟(2)-(6)重覆操作，並比較其電解效率。



圖 27 儀器相關材料

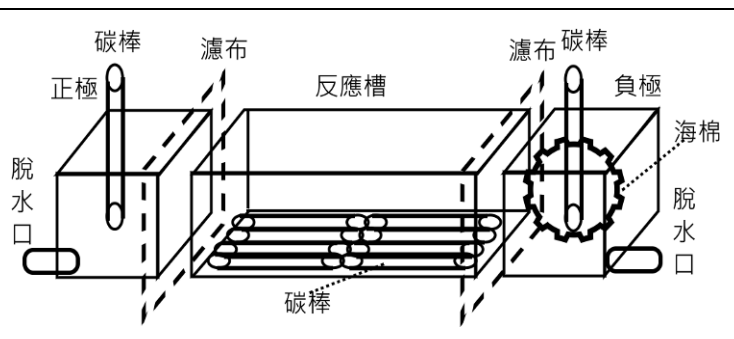









圖 28 反應槽設計示意圖

		
<p>圖 29 反應槽+濾布</p>	<p>圖 30 脫水槽+海棉+碳棒</p>	<p>圖 31 反應槽加入混合泥土</p>
		
<p>圖 32 第一代儀器--方型反應槽裝置</p>	<p>圖 33 第二代儀器--圓型反應槽裝置</p>	
		
<p>圖 34 第三代儀器相關材材裝置</p>	<p>圖 35 第三代儀器--圓型玻璃反應槽裝置</p>	

二、實驗結果討論：

(一)目的：建立土壤電解裝置，並探討碳棒數量對電解的影響。

(二)實驗結果：

表五 不同儀器及石墨棒對裝置電解效能的影響

脫水比例		電解方式		
		第一代儀器	第二代儀器	第三代儀器
碳棒數量	0	49.5%	53.7%	57.1%
	4	53.8%	61.4%	63.5%
	8	58.3%	67.3%	71.7%

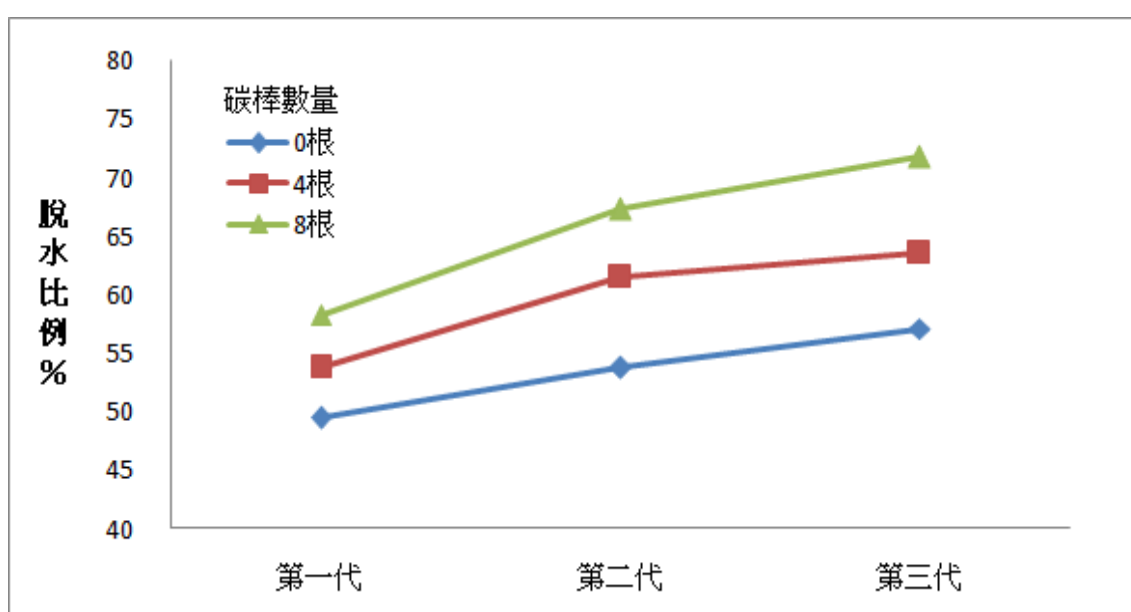


圖 36 不同儀器及石墨棒對裝置電解效能的影響

(三)實驗討論：

- 1.儀器經初步測試，反應槽底部是否放置石墨電極碳棒網其效果差異很大，放置石墨電極碳棒網會增加電滲透流，會有助於裝置的電解效果，有助於將水份移除。
- 2.圓底的儀器有助於電解脫水效能的增加，其原因可能是方型的底部水流動的效果較差，而利用玻璃所製作反應槽，可減少水份因裝置材質因素，造成排水效果降低。
- 3.利用玻璃所製作的反應槽，在電解過程中可以減少儀器表面因電解而造成的破壞，且本儀器玻璃裝置經初步測試有良好的電解效果，因此以第三代裝置來進行後續的實驗處理。

實驗二：電解反應脫水裝置在不同的酸鹼度下，探討其脫水情形。

一、實驗步驟：

- 1.算出含水率 80%所需的含水重(在 220g 土壤中加入 880 克的水溶液並攪拌均勻混合)。
- 2.取 0.4 克 NaOH 配製 100mL 後，再取 1mL 配製至 1L 後，並從溶液中取 880 克與土壤混合均勻，配成 pH=10 的溶液。
- 3.以 73%硝酸取 0.86 克配製 100mL 後，再取 1mL 配製至 1L 後，並從溶液中取 880 克與土壤混合均勻，配成 pH=4 的溶液。
- 4.取硝酸鈉取 0.85 克配製 100mL 後，再取 1mL 配製至 1L 後，並從溶液中取 880 克與土壤混合均勻，配成 pH=7 的溶液。
- 5.裝入 8 隻碳棒，依照實驗流程方式，將混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電。
- 6.以 24v 固定電壓，電解槽長度固定為 30 cm，進行電解 4 小時。
- 7.利用土壤推送器將電解完成的土壤推出並分堆。
- 8.利用 pH 計測其 pH 值。
- 9.放進烘箱 24 小時，並記錄烘乾前後土壤的重量
- 10.計算上述電解反應脫水情形。

表六 反應參數

變因	電壓	時間	碳棒數量	反應槽長度	溶液種類
數值或類別	24v	4 小時	8 隻	30cm	NaOH、HNO ₃ 、NaNO ₃ (不同酸鹼值)

二、實驗結果討論：

- (一)目的：我們先利用不易沉澱的金屬，同時在負極也不易產生金屬析出物質作為電解質，探討在不同酸鹼度下，其脫水的效果。

(二)實驗結果：

表七 不同電解質下的電解效能及電極之 pH 值

溶液種類	NaOH	HNO ₃	NaNO ₃
陽極脫水 pH 值	8.1	4.3	5.1
陰極脫水 pH 值	12.3	7.9	11.2
脫水比例	68.2%	65.7%	64.9%

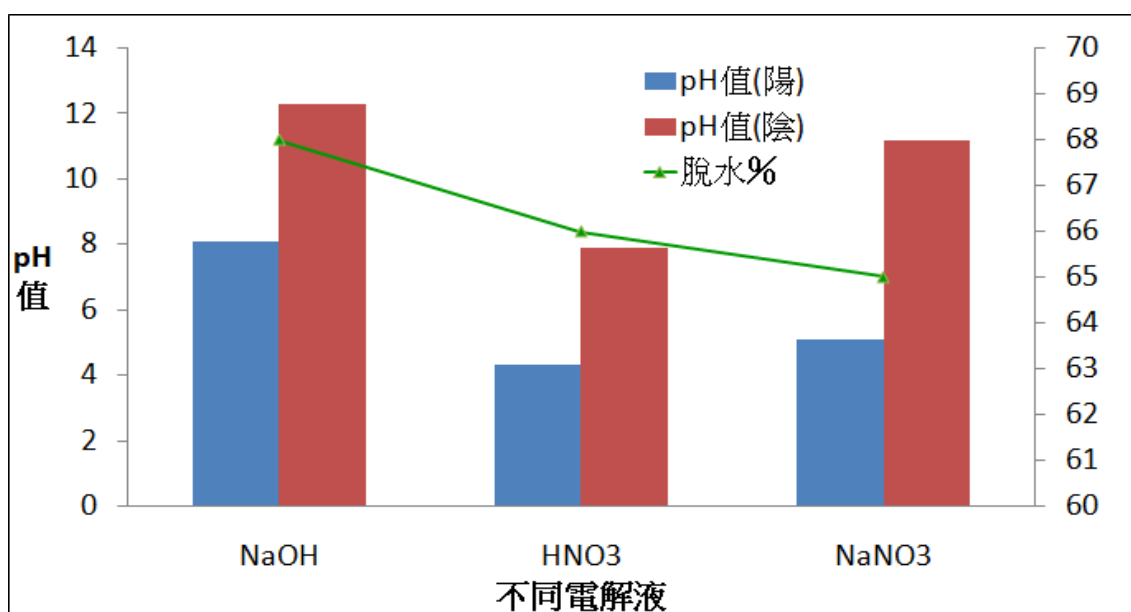


圖 37 不同電解質下的電解效能及電極之 pH 值

(三)實驗討論：

- 1.在電解過程中，土壤的酸鹼會產生變化，靠近正極會有酸性產生，靠近負極會有鹼性產生。其兩極產生方程式： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (陽極)， $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)} + 2\text{OH}^-$ (陰極)，實驗結果也發現不同酸鹼值對於水份的去除效果會有所不同。
- 2.結果亦顯示正極與負極會造成酸鹼值不同，正極易產生酸性，而負極易產生鹼性與之後要處理的重金屬可能會產生沉澱，造成電解反應的阻力，因此需要處理每一份土壤的 pH 值變化情形其中我們電解是由陽極往陰極方向脫水，越靠近陰極，電解脫水效果越好。
- 3.另外發現電解脫水是由正極往負極方向進行，越靠近負極，電解脫水效果越好。
- 4.實驗結果證明可以利用本實驗裝置，得到良好的電解脫水效果，在 4 小時下均可以達到 60%脫水效果。

實驗三：電解反應脫水裝置在不同的電解時間下，探討其脫水情形。

一、實驗步驟：

- 1.取硝酸鈉取 0.85 克配製 100mL 後，再取 1mL 配製至 1L 後，並從溶液中取 880 克與土壤混合均勻，配成 pH=7 的溶液。
- 2.裝入 8 隻碳棒，依照實驗流程方式，將混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電。
- 3.以 24v 固定電壓，電解槽長度固定為 30 cm，分別進行電解 2、4、6、8 小時。
- 4.利用土壤推送器將電解完成的土壤推出並分堆。
- 5.利用 pH 計測其 pH 值。
- 6.放進烘箱 24 小時，並記錄烘乾前後土壤的重量
- 7.計算上述電解反應脫水情形。

表八 反應參數

變因	電壓	時間	碳棒數量	反應槽長度	溶液種類
數值或類別	24v	2、4、6、8 小時(不同時間)	8 隻	30cm	NaNO ₃

二、實驗結果討論：

(一)目的：為了探討電解反應脫水的效果，是否會隨著時間有所影響，並找出最佳反應時間。

(二)實驗結果：

表九 不同電解時間下的電解效能及電極之 pH 值

電解時間(小時)	0	2	4	6	8
陽極脫水 pH 值	7	6.7	5.1	4.8	4.5
陰極脫水 pH 值	7	8.7	11.2	11.7	12.1
脫水比例	0%	38.5%	64.9%	72.6%	76.8%
每小時脫水效果	0	19.25%	16.225%	12.1%	9.6%

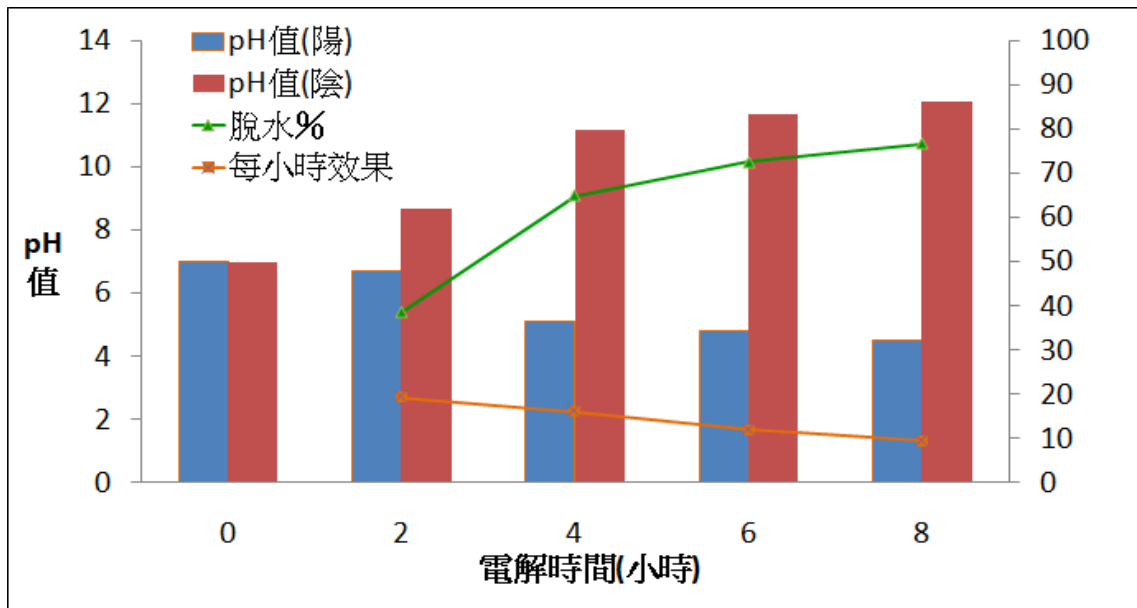


圖 38 不同電解時間下的電解效能及電極之 pH 值

(三)實驗討論：

- 1.我們發現以不同時間進行脫水，隨著時間越長，脫水效果越好。
- 2.在脫水過程中，兩極會產生氫氣及氧氣，未來可以利用裝置，收集兩極的氣體進一步利用，減低能量的使用，更加環保。
- 3.隨著時間增加，正極之 pH 值越低，越趨向酸性；相反的負極之 pH 值越高，越趨向鹼性。
- 4.數據顯示電解時間隨著時間越長，可得到較佳的效果，但以 2 小時已經有相當好的效果，其電解比例雖然較低(只有 38.5%)，但每小時電解效果達 19.25%為最高，且已經可以有效偵測出電解脫水的成效(脫水 30%以上)。因此，後續的實驗以 2 小時為進行電解的時間。

實驗三四：改變電解反應脫水槽長度，探討其脫水情形

一、實驗步驟：

- 1.用碳棒做為電極，依實驗二方法配製 NaNO_3 土壤混合液，並放置裝置內進行電解。
- 2.裝入 8 隻碳棒，依照實驗流程方式，將混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電。
- 3.以 24v 固定電壓，不同長度 **15cm**、**20cm**、**25cm**、**30cm** 的反應槽，進行電解 2 小時。
- 4.利用土壤推送器將電解完成的土壤推出並分堆。
- 5.利用 pH 計測其 pH 值。
- 6.放進烘箱 24 小時，並記錄烘乾前後土壤的重量
- 7.計算上述電解反應脫水情形。

表十 反應參數

變因	電壓	時間	碳棒數量	反應槽長度	溶液種類
數值或類別	24v	2 小時	8 隻	15、20、25、30cm(不同長度)	NaNO_3

二、實驗結果討論：

(一)目的：探討不同長度脫水槽對電解反應脫水效果的影響，並探討如果進行大量的電解反應脫水效果是否會有所影響，並找出最佳效益的脫水裝置。

(二)實驗結果：

表十一 不同電解時間下的脫水比例及總脫水效益

脫水槽長度	15cm	20cm	25cm	30cm
脫水比例	55.8%	52.1%	46.3%	38.5%
土壤含量 (cm^3)	15*12*6	20*12*6	25*12*6	30*12*6
總脫水效益 (相較於 30cm)	0.725	0.902	1.002	1

p.s.總脫水效益：相同土壤脫水時，每單位電力所可以脫水的效果。

舉例：取 150cm 長度的土壤，25cm 可脫水其中 46.3%，但需使用 6 次。

取 150cm 長度的土壤，30cm 可脫水其中 38.5%，但需使用 5 次。

假設每 cm 含水 w ，即脫水效果：

(1)25cm 裝置 = $150w * 46.3\% / 6$ 次。

(2)30cm 裝置 = $150w * 38.5\% / 5$ 次。

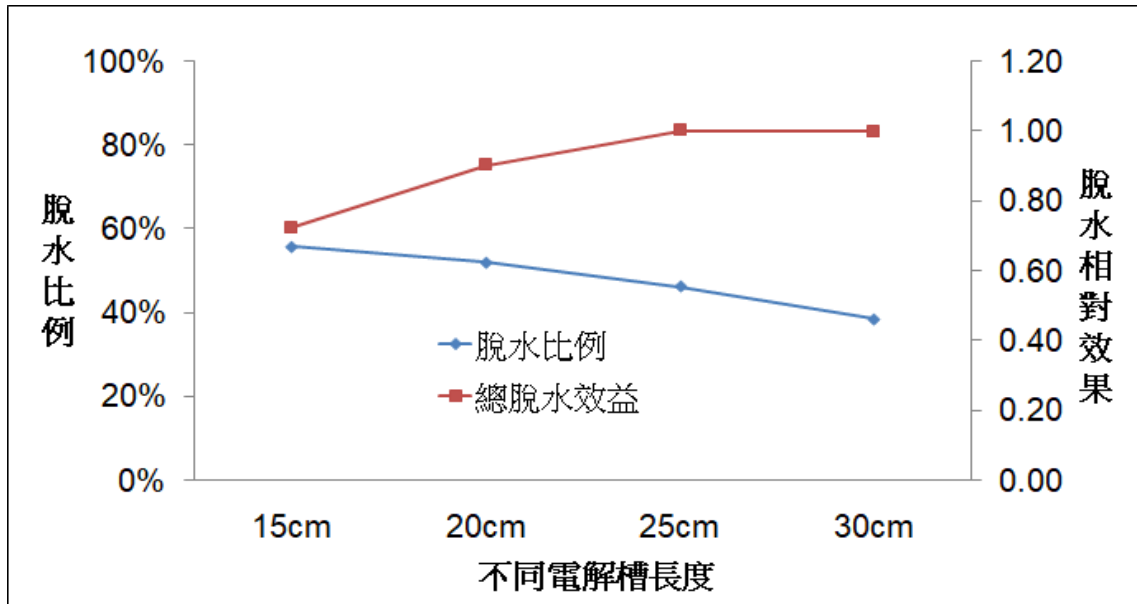


圖 39 不同電解時間下的脫水比例及總脫水效益

(三)實驗討論：

- 1.我們發現脫水槽長度越短，其脫水效果越好。
- 2.然就總電解效益而言(假設實驗中電解液及單位時間的用電量均相同)，15、20、25cm 分別為 30cm 的 0.725、0.902、1.002 倍，由結果得知，電解槽在 25cm 時其電解反應的效果最佳，因此我們採用 25cm 做為我們後續的實驗長度。

實驗四五-1：電解反應脫水裝置在不同電壓大小下，探討其脫水情形。

一、實驗步驟：

- 1.用碳棒做為電極，依實驗二方法配製 NaNO_3 土壤混合液，並放置裝置內進行電解。
- 2.裝入 8 隻碳棒，依照實驗流程方式，將混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電。
- 3.以 12v、18v、24v、30v、36v 不同電壓，對電解槽長度 25cm 電解 2 小時。
- 4.利用土壤推送器將電解完成的土壤推出並分堆。
- 5.利用 pH 計測其 pH 值。
- 6.放進烘箱 24 小時，並記錄烘乾前後土壤的重量
- 7.計算上述電解反應脫水情形。

表十二 反應參數

變因	電壓	時間	碳棒數量	反應槽長度	溶液種類
數值或類別	12v、18v、24v、30v、36v (不同電壓)	2 小時	8 隻	25cm	NaNO_3

二、實驗結果討論：

(一)目的：探討在不同的電壓下對電解反應脫水效果的影響。

(二)實驗結果：

表十三 不同電壓下不同部位的電解情形

區塊 電壓 大小	+%	A%	B%	C%	D%	E%	F%	-%	平均 %
12v	20.1	20.8	21.3	22.8	23.9	24.1	25.3	26.2	23.1
18v	22.1	26.1	29.8	32.8	34.2	36.2	37.1	39.4	32.6
24v	23.8	33.8	38.4	41.7	42.6	45.3	46.2	48.5	40.7
30v	24.5	35.3	40.8	46.2	48.8	51.4	52.2	54.7	45.1
36v	24.7	38	41.8	47.5	52.2	57.1	58.3	59.9	48.2

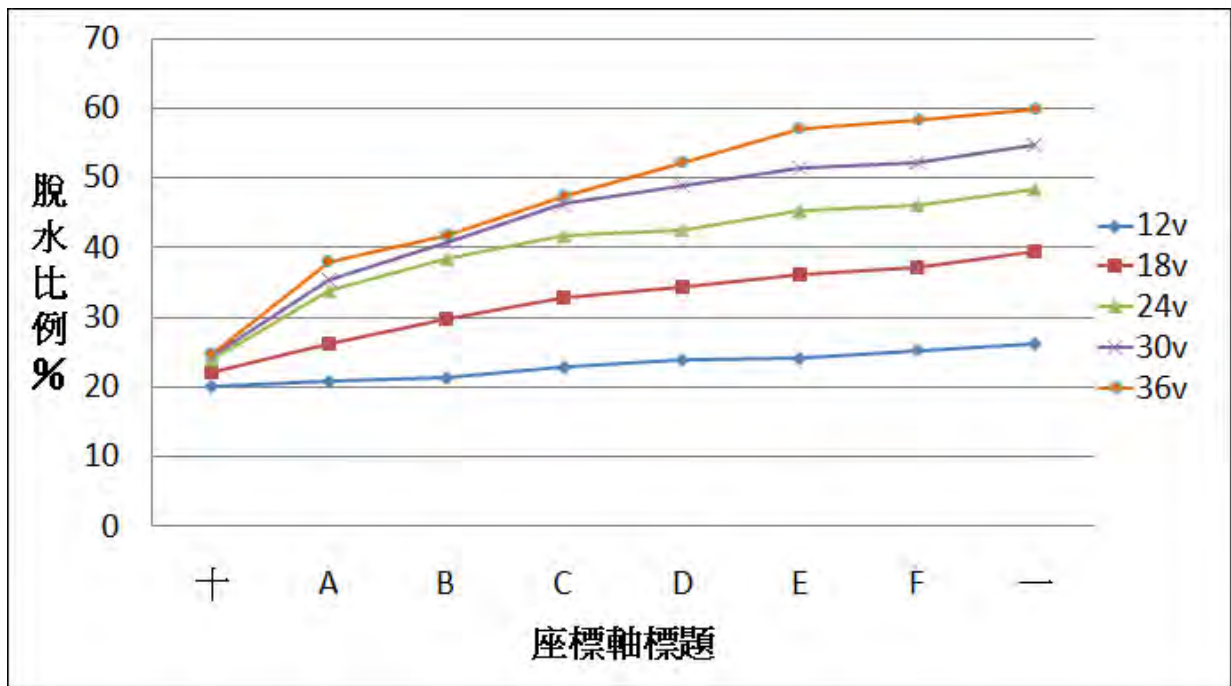


圖 40 不同電壓下不同部位的電解情形

表十四 不同電壓下不同部位的酸鹼性及平均電解情形

電壓(V)	12v	18v	24v	30v	36v
脫水效果	22.8	31.3	38.5	42.3	45.1
pH 值	8.7	9.3	9.6	10.8	11.3

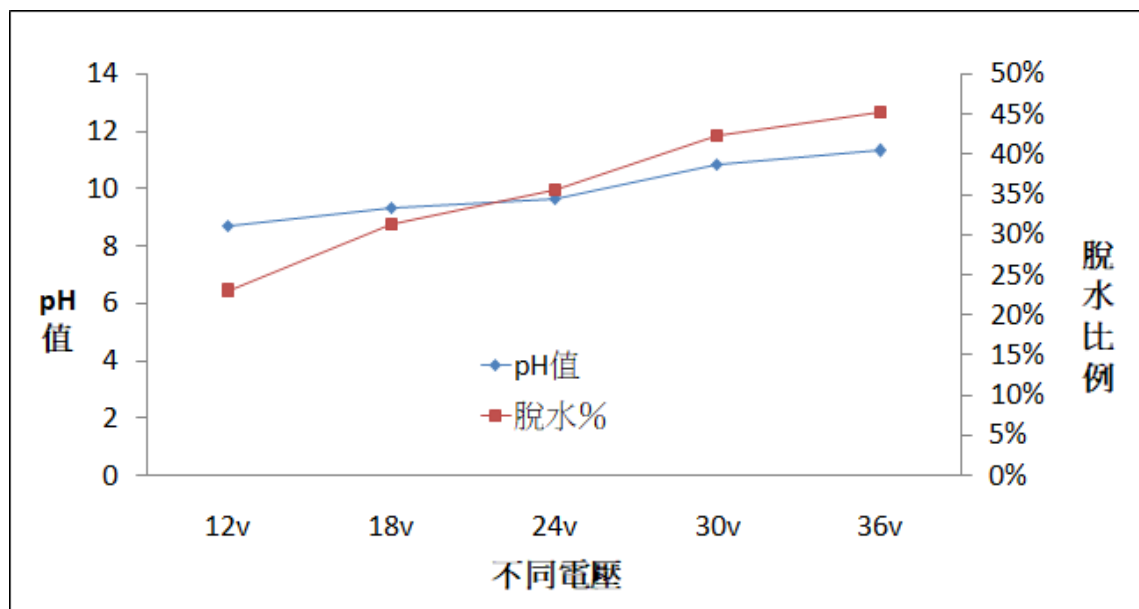


圖 41 不同電壓下不同部位的酸鹼性及平均電解情形

(三)實驗討論：

- 1.在不同電壓下，我們發現，隨著電壓越大，其電解脫水的效果越明顯。
- 2.在距離電極不同遠處，其電解脫水的效果也不盡相同，而電解會由正極往負極方向移動，越偏向負極，其電解脫水效果越好。
- 3.電壓越大，電解效果越佳，且電解後的 pH 值明顯偏高，這表示 pH 越大越有利電解脫水效果。

實驗五-2 電解反應脫水裝置在電解過程中，其電流的變化情形

一、實驗步驟：

- 1.用碳棒做為電極，依實驗二方法配製 NaNO_3 土壤混合液，並放置裝置內進行電解。
- 2.裝入 8 隻碳棒，依照實驗流程方式，將混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電。
- 3.以 24v、30v、36v 不同電壓，對電解槽長度 25cm 電解 2 小時。
- 4.利用土壤推送器將電解完成的土壤推出並分堆。
- 5.利用 pH 計測其 pH 值。
- 6.放進烘箱 24 小時，並記錄烘乾前後土壤的重量
- 7.計算上述電解反應脫水情形。

表十五 反應參數

變因	電壓	電流	時間	碳棒數量	反應槽長度	溶液種類
數值或類別	24v、30v、36v	總功率變化	2 小時	8 隻	25cm	NaNO_3

二、實驗結果討論：

(一)目的：探討在電解過程不同的電壓下對其電流變化的影響。

(二)實驗結果：(電流： mA/cm^2)

表十六 不同電壓下，其電流隨時間變化情形

時間(分) 電壓大小	0	20	40	60	80	100	120	總 IV
24v	4.3	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	67.2
30v	8.1	7.2	6.9	6.4	5.8	4.7	3.8	192
36v	9.7	8.3	7.1	6.7	6.5	5.1	4.3	241.2

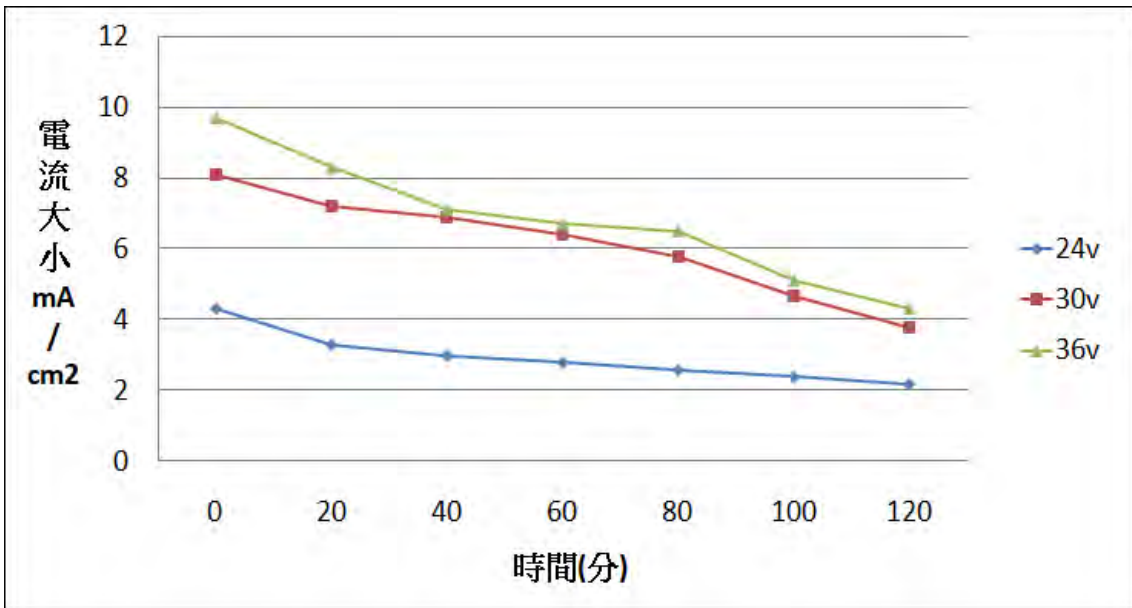


圖 42 不同電壓下，其電流隨時間變化情形

表十七 不同電壓下，用電值與其單位用電的電解效果

電壓	24v	30v	36v
脫水效果	38.5	42.3	45.1
總 IV 值	67.2	192	241.2
單位用電脫水效果	0.573	0.220	0.187

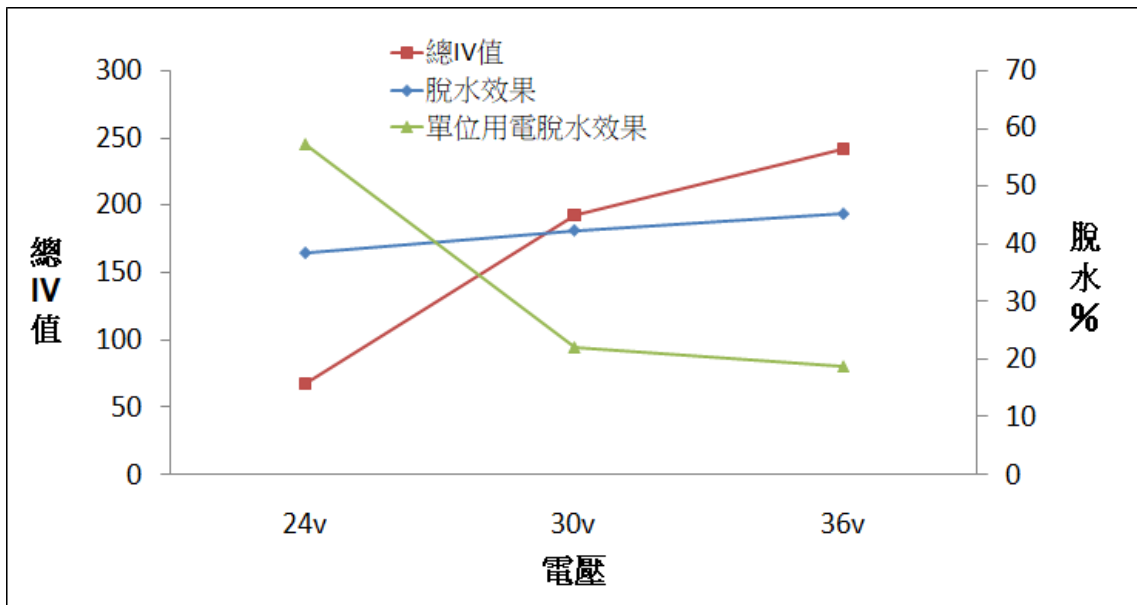


圖 43 不同電壓下，用電值與其單位用電的電解效果

(三)實驗討論：

- 1.實驗電壓越大，其相對的電流就越高。
- 2.20V 以下的電解脫水效果較差，所以不進行探討。本實驗以 24V、30V、36V 電壓下進行電流變化測量，其中發現，電壓高其電解脫水效果好，但相對的電流大，這樣功率消耗也較多，經比較後發現在 24V 的電壓下，其電解脫水效率相對較好。經查資料發現，電流會透過溶質或是間隙水兩個途徑進行電解，所以電流大小不正比於電解脫水效益。
- 3.經計算後發現，以 24V 為最佳的電解脫水效益。

實驗六：電解反應脫水裝置在常見的重金屬鹽類電解質下，探討其脫水效果。

一、實驗步驟：

- 1.配製不同金屬鹽類的 0.01M 溶液(分別測試 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$)，並與土壤混合配製含水率 80%的混合液。
- 2.裝入 8 隻碳棒，依照實驗流程方式，將混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電。
- 3.以 24 v 固定電壓及 25 cm 的 U 形槽進行電解 2 小時。
- 4.利用土壤推送器將電解完成的土壤推出並分堆。
- 5.利用 pH 計測其 pH 值。
- 6.放進烘箱 24 小時，並記錄烘乾前後土壤的重量
- 7.計算上述不同鹽類電解反應脫水情形。
- 8.在陰極極棒稱重，並計算出重金屬吸附的量。

表十八 反應參數

變因	電壓	時間	碳棒數量	反應槽長度	溶液種類
數值或類別	24v	2 小時	8 隻	25cm	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$

二、實驗結果討論：

(一)目的：探討不同種類的單一重金屬的水合效果對於脫水效果的影響。

(二)實驗結果：

表十九 不同金屬離子存在下，其金屬析出、電解比例及 pH 值的變化關係

金屬種類 電壓大小	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$
脫水效果	37.7%	32.3%	36.7%	33.2%	34.7%
陰極金屬析出量	0.03%	0.63%	0.04%	0.29%	0.11%
pH 值	9.4	7.6	8.3	7.8	8.6

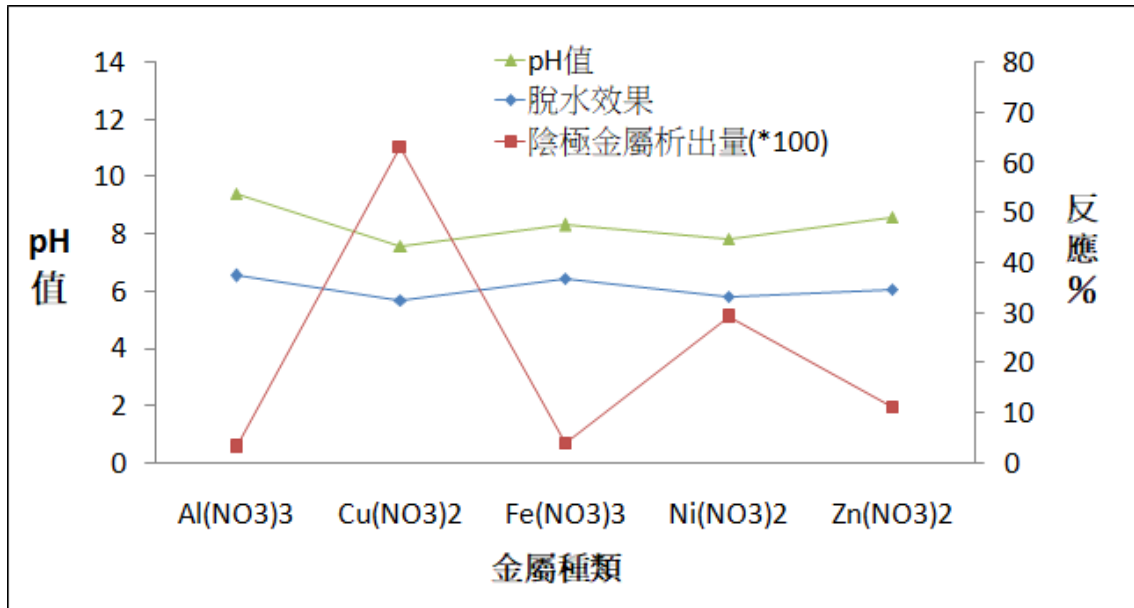


圖 44 不同金屬離子存在下，其金屬析出、電解比例及 pH 值的變化關係

(三)實驗討論：

- 1.負極石墨棒在電解時易吸附部分金屬，此時溶液由於正極仍會電解水，造成溶液的酸鹼值會偏一些酸性。
- 2.由於負極易析出金屬，電解的效果相對較差，主要是金屬離子在水溶液中會產生電雙層，而金屬離子偏正電，而正極電解產生 H^+ ，過量的正電會降解電滲透率，導致往負極的電解脫水效果變差。
- 3.因此在進行含有不同金屬鹽類污泥電解時，需考量酸鹼值。

實驗七：電解反應脫水裝置由水平式改成垂直式，探討其脫水效果。

一、實驗步驟：

- 1.用碳棒做為電極，依實驗二方法配製 NaNO_3 土壤混合液，並放置裝置內進行電解。
- 2.裝入 8 隻碳棒，依照實驗流程方式，將混合液裝進儀器中，密封後兩極加入碳棒，並進行通電。
- 3.將儀器放置的角度分別改為為 0° 、 30° 、 60° 、 90° 。
- 4.以 24 v 固定電壓及 25 cm 的 U 形槽進行電解 2 小時。
- 5.利用土壤推送器將電解完成的土壤推出並分堆。
- 6.放進烘箱 24 小時，並記錄烘乾前後土壤的重量
- 7.計算上述電解反應脫水情形。

表二十 反應參數

變因	電壓	角度	時間	碳棒數量	反應槽長度	溶液種類
數值或類別	24v	0° 、 30° 、 60° 、 90°	2 小時	8 隻	25cm	NaNO_3

二、實驗結果討論：

(一)目的：探討增加陰極方向垂直重力效果，對於脫水效果的影響。

(二)實驗結果：

表二十一 儀器在不同角度下的電解情形

垂直角度 脫水效果	0 度	30 度	60 度	90 度
脫水效果	36.2%	37.9%	40.8%	45.8%

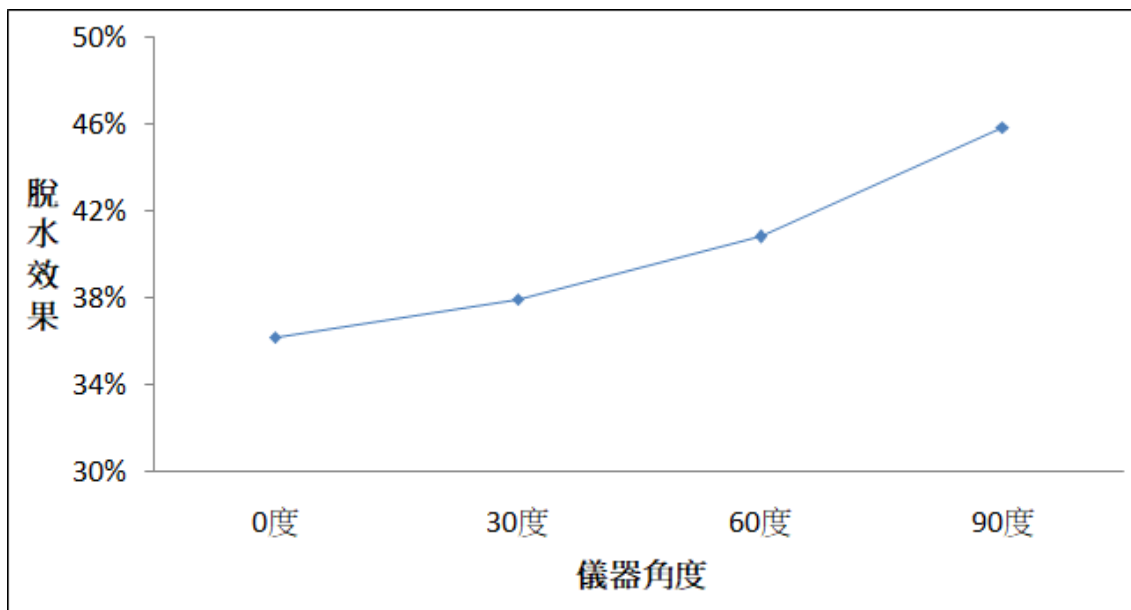


圖 45 儀器在不同角度下的電解情形

(三)實驗討論：

- 1.在電解過程中，溶液內部會因為通電而形成電滲透流，在逐漸電解過程中，因水量減少，電量增加，造成電流減少的趨勢，形成越來越不易電解的形式。因此我們利用重力的因素，降低此效應，讓電解的效果增加。
- 2.結果發現，負極隨著角度的增加，其電解效果也有顯著的增加。

陸、結論

- 一、本實驗透過放置石墨電極碳棒網的電滲透裝置，有助於水份移除，且兩極會產生酸鹼物質，造成正極與負極端污泥有被酸化或鹼化現象，也造成電解脫水效果的差異，其結果為呈鹼性的負極效果較佳。
- 二、利用電解反應裝置，以 18-36V 電壓操作 2 小時，土壤電解可達到 31.3~45.1%，其用電消耗極少，證明此方法有效去除土壤中水份。雖然隨著時間越長，電解有明顯增加的現象，但每小時電解脫水效果則以 2 小時為最佳，可達 19.25%效能。
- 三、電解槽長度越短，其電解脫水效果越好。而考慮總量的電解脫水效果，其中以 25cm 時電解槽有最佳的電解脫水效益。
- 四、越大電壓其電解脫水效果越明顯，而在距不同電極遠近處，其電解脫水效果也不盡相同，而電解會由正極往負極方向移動。電解後的 pH 值明顯偏高，這表示 pH 越大越有利用電解脫水效果。
- 五、電壓高其電解脫水效果好，但相對的電流也愈大，功率消耗也較多，經比較後發現在 24V 的電壓下，其單位用電電解脫水效率相對較好，可達 75.3%。經查資料發現，電流會透過溶質或是間隙水兩個途徑進行電解，所以電流大小不正比於電解脫水效益。
- 六、在重金屬電解液下，負極易析出金屬，對於電解的效果相對較差，除酸鹼值會影響外，金屬離子在水溶液中的正電雙層，也導致往負極的電解脫水效果變差。
- 七、在電解過程中，水分逐漸減少，亦造成電流減少，電解脫水效果會逐漸變差，此時可利用重力控制有效改善此一現象，隨著負極角度的增加，其電解脫水效果可從 36.2%提昇至 45.8%，有顯著的增加。

柒、參考資料

- 1.陳旻聰(民 101)。利用電動力輔助板框式壓濾脫水系統處理不同生物污泥之研究。國立中山大學環境工程研究所碩士論文。高雄市。未出版。
- 2.陳信宏(民 97)。淨水廠廢水處理單元之成效與廢水回收再利用及現場污泥脫水之研究-以鳳山場為例國立中山大學環境工程研究所碩士在職專班碩士論文。高雄市。未出版。
- 3.翁誌煌等(民 89)。利用電動力技術進行污泥脫水之初步研究。第十屆下水道研討會論文集。國立中央大學。
- 4.袁菁等(民 90)。以小型模場電動力技術提昇生物污泥脫水之研究。第十一屆下水道研討會論文集。國立中央大學。
5. YouTube。2016 年 9 月 13 日。【台灣自來水公司】點石成金-淨水污泥再利用。網址：
<https://www.youtube.com/watch?v=xDOiAZQu2fc>
6. YouTube。2012 年 6 月 4 日。嘉義縣擴大縣治污水處理廠。網址：
<https://www.youtube.com/watch?v=w5D0dnhv7ko>
7. YouTube。污泥也能發電和燒磚 乾淨又環保。網址：
https://www.youtube.com/watch?v=_Z1VtwBzuVQ

【評語】 032903

本作品參考相關電動力污泥脫水技術研製電解反應裝置，探討土壤電解脫水之效果，期望取代傳統廢水處理廠中之污泥脫水，惟文獻中已多次報導本技術，且報告中有許多段落與文獻雷同。實驗內容陳述邏輯性佳，並得到較佳的電解反應條件，但實驗中僅探討一種離子濃度(0.01M)的影響，宜進一步研究電解脫水與金屬離子濃度的關係。內文雖清楚顯示電解脫水之最佳條件(電解槽長度、電壓大小、電解時間)，但由於電解槽長度要短，電解脫水的效果才會好，因而影響污泥脫水之應用可能。

摘要

本研究利用電解反應技術來探討含水污泥脫水之效率，由於處理污泥的成本往往過高，而電解反應脫水能有效降低其成本。一般帶濾式機械設備脫水後含水量通常超過50%，且裝置龐大十分耗電，對於含重金屬污泥，需進行二次處理。本實驗利用簡易的裝置，以小型電解反應進行實際脫水，在18-36V的電壓下，進行2小時脫水處理，其脫水效果目前可達到31.3~45.1%。而在含有重金屬的電解液中也能達到30-40%的脫水效果，並能在電極棒析出金屬。最後我們改以垂直式的電解脫水裝置，其在陰極脫水效果更能達到40~50%，值得進行後續污泥脫水的研究。

壹、研究動機

近年來由於科技進步，環保意識抬頭，工廠每年產生的大量廢水在排放至河川前，都需進一步處理，其中包括淨化過程中產生大量沉澱之污泥，還有不同的溶劑清洗儀器及設備而造成之污泥。

通常污泥的含水量很高，並含有許多物質，造成處理的困難度。而含水量之多寡直接影響到污泥處置之成本與後續焚化處理之效率。如果能提昇污泥電解的效能，可大大降低處理成本，進而解決污染的可能性。日前參觀了自來水廠，瞭解污泥處理過程及「點石成金-淨水污泥再利用」的計畫，希望提昇電解後污泥的經濟效益。課本也提到，電解會分解水，那是否可以利用電解反應來達到電解脫水效果，因此開始進行相關的研究...

貳、研究目的

本研究主要目的為探討利用小型模場之電解反應技術，提昇污泥水份移除效率及處理過程所發生之電動力現象，並針對此模場處理情形進行效益分析。

- 一、設計電解反應裝置。
- 二、在不同的酸鹼度下，探討電解反應效果。
- 三、在不同的電解時間下，探討電解反應效果。
- 四、在不同電解槽長度下，探討電解反應效果。
- 五、在不同電壓大小下，探討電解反應效果。
- 六、電解反應裝置在電解過程中，其電流的變化情形。
- 七、在不同的金屬離子電解下，探討電解反應效果。
- 八、改成垂直式裝置，探討電解反應效果。
- 九、探討底泥種類對於電解脫水之影響。

參、實驗藥品及器材

- 一、器材：
自製電解反應模組、電源供應器、pH計、烘箱、天平、切割器、鐵盤、夾子、電線、土壤樣品、海綿、鋁箔、濾紙、濾布、石墨電極、燒杯、滴管、塑膠管、量筒、石蠟模、絕緣膠帶。
- 二、藥品：
矽膠、凡士林、NaOH、HNO₃、NaNO₃、Al(NO₃)₃、Cu(NO₃)₂、Fe(NO₃)₃、Ni(NO₃)₂、Zn(NO₃)₂。



圖1 所用設備裝置及器材用品

肆、相關知識

- 一、污泥處理問題
根據統計資料顯示，臺灣目前擁有厭氧消化槽之都市污水處理廠每年產生之污泥量約10萬公噸，而處理經費通常都需要幾億元以上，故污泥處理與處置已成為重要之環境議題。污泥脫水需要將無機性污泥脫水或乾燥至含水率85%以下，以方便有機性污泥以熱處理法處理，只有經過脫水處理，提高污泥餅的含固率，才能夠減少污泥堆置的佔地面積，提高污水處理的經濟性。

二、污泥的含水情形

水型態	百分比(%)
空隙水(自由水)	75%
毛細水(間隙水)	20%
吸附水(表面水)	2%
內部水(胞內水)	3%
全部	100%

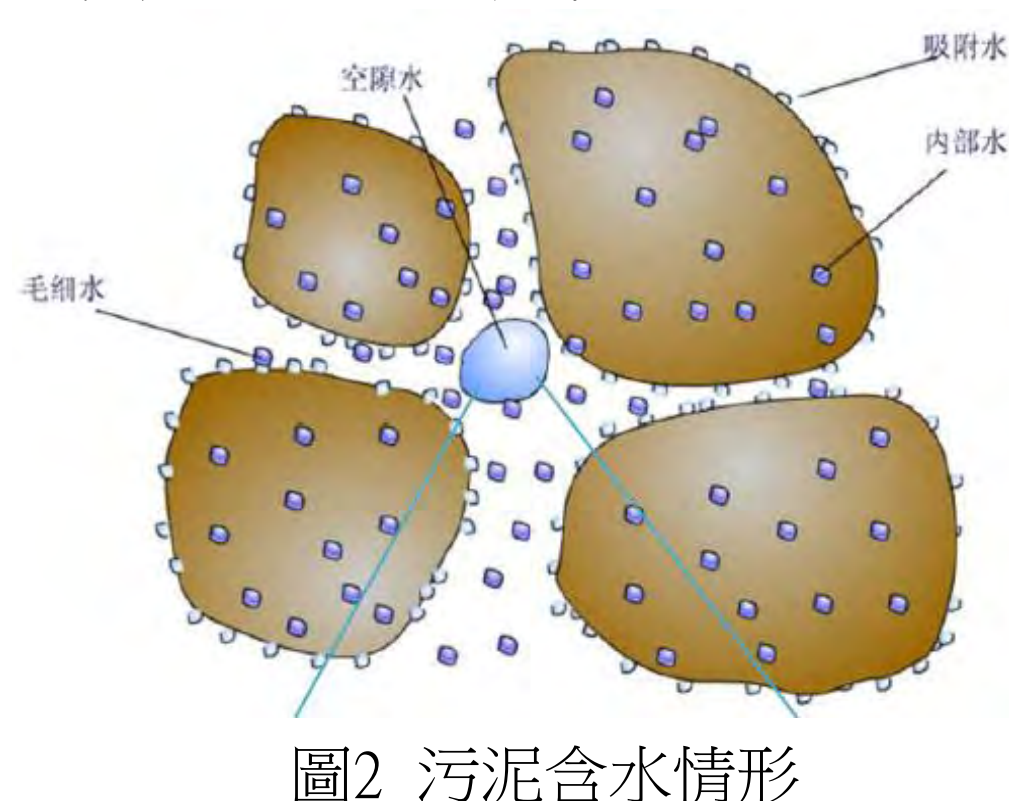
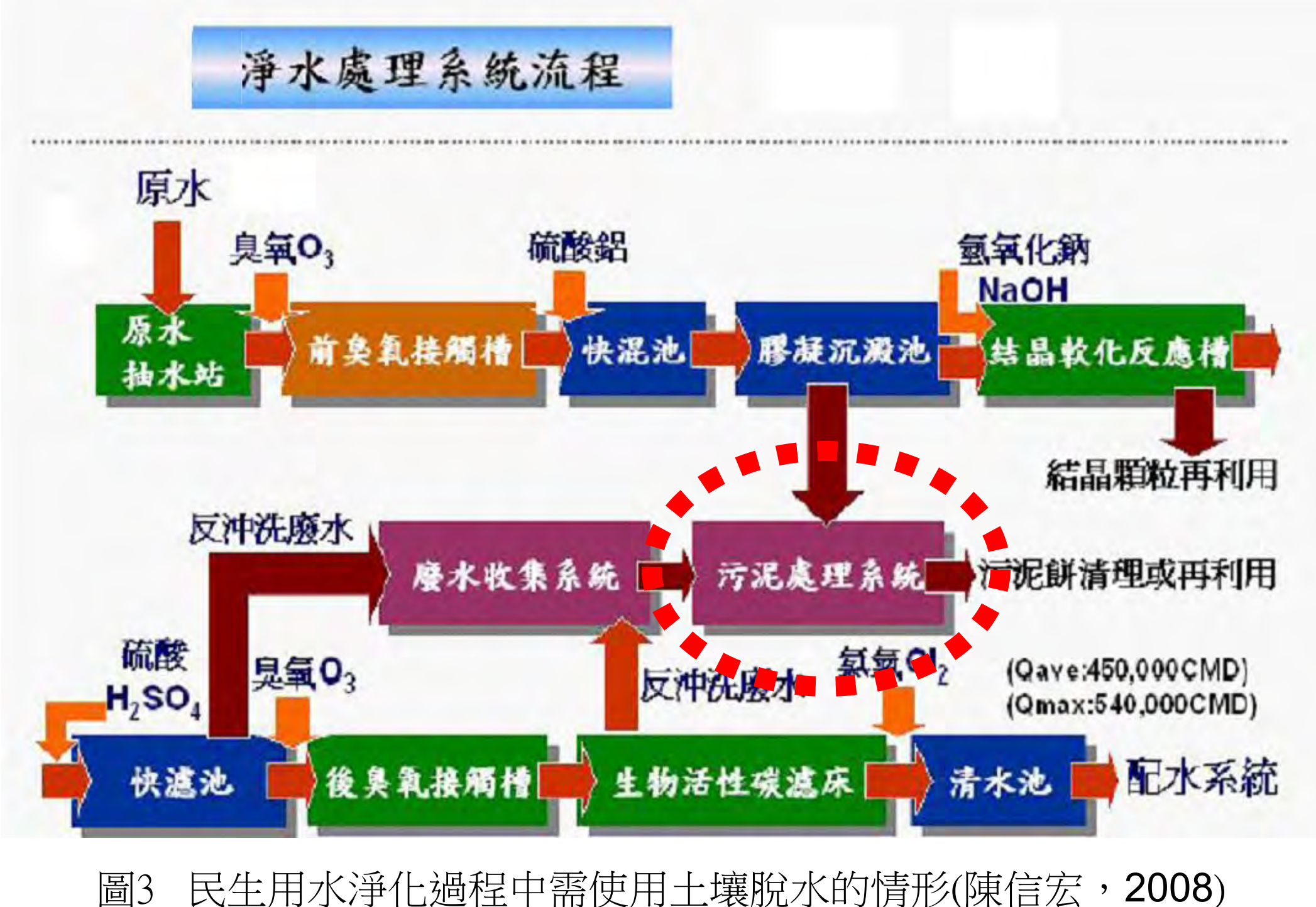


圖2 污泥含水情形

三、污泥脫水流程



四、電場輔助式脫水原理

電解反應法係在欲處理孔隙介質(如污泥或土壤)施加直流電壓，經由電場的作用所產生之電滲透流及離子遷移效應而將水帶出，進而達到移除污染物或污泥脫水的目的，電位坡降及處理時間為影響脫水效率之重要操作參數。

五、含水率測量及計算

將土壤樣品置於105°C的烘箱內，烘乾24小時。計算土壤樣品烘乾前後的質量，含水率%=[(土壤溼重-土壤烘乾重)/(土壤溼重)]*100%。



圖4 土壤烘乾前的情形



圖5 土壤烘乾後的情形

伍、實驗結果與討論

實驗一 設計電解脫水裝置與實驗模組

一、實驗裝置與初步測試結果

(一)實驗結果：

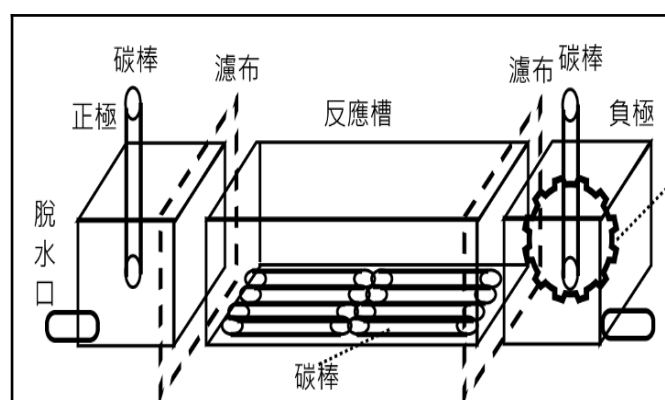


圖6 電解槽設計示意圖

圖7 儀器相關材料1

圖8 儀器相關材料2



圖9 第一代(方形)



圖10 第二代(圓形)

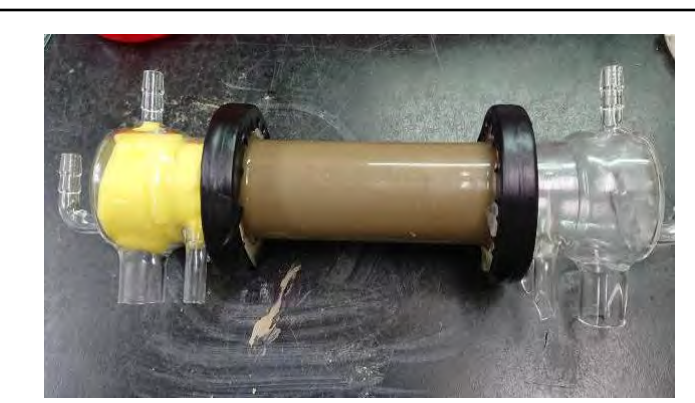


圖11 第三代(玻璃)

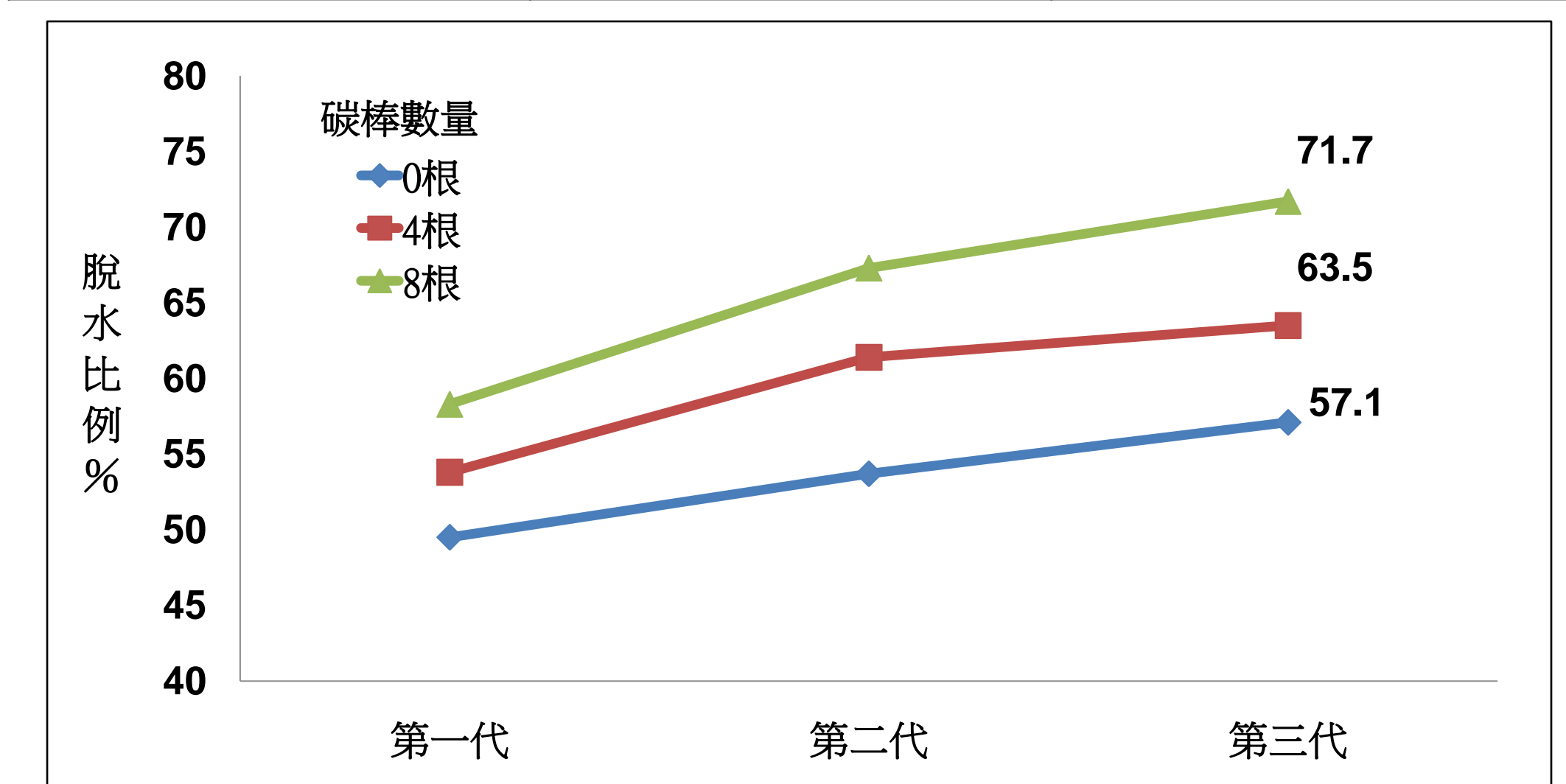


圖12 不同儀器及石墨棒對裝置電解效能的影響

(二)實驗討論：

- 1.電解槽底部放置石墨電極棒會增加電滲透流，有助於水份移除，且數量愈多，其脫水比例也愈高。
- 2.圓底電解槽的儀器，有助於底部水的流動，脫水效能優於方型電解槽。而玻璃材質在電解過程中可減少儀器表面因電解過程所造成的破壞。

二、自製電解反應模組



圖13 土壤推送器

圖14 土壤切塊

圖15 儀器裝置示意圖

圖16 檢測pH值

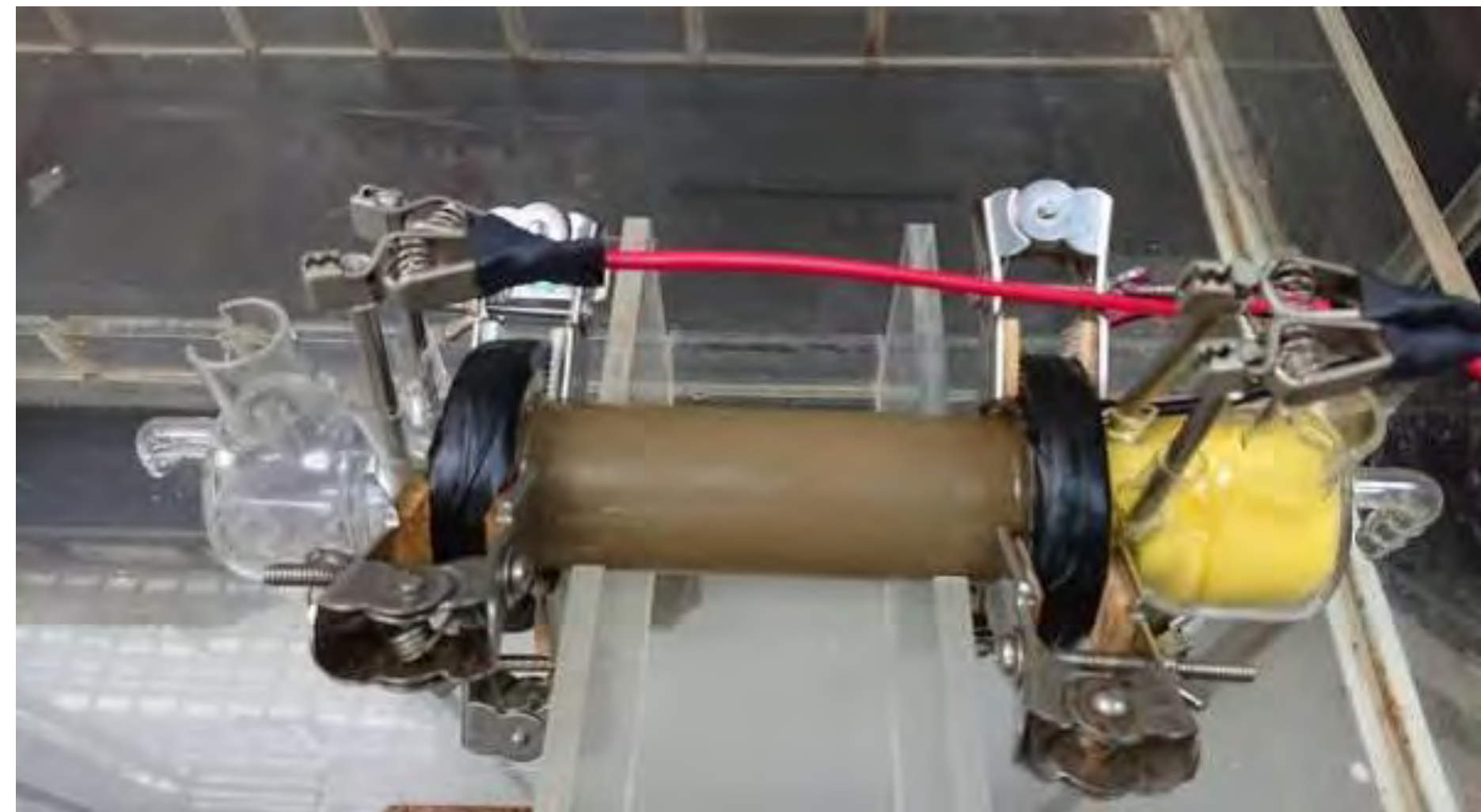


圖17 儀器實際裝置圖

實驗操作流程：

1. 電解槽以玻璃為材質，其大小配合常用的石墨棒的大小，方便進行電解反應。
2. 在電解槽底部等距離平鋪放置8支約電解槽一半長的石墨電極棒，形成石墨電極碳棒網，並與電解槽兩端分別接電源兩極的石墨棒相互連接，組成主要通電裝置。
3. 乾燥的土壤秤重，加水及電解質後進行攪拌，讓土壤含水率達80%，符合一般污泥的初始含水率。
4. 兩邊加入濾紙、鋁箔及濾布，方便固定土壤。
5. 利用鋁箔紙包覆二端，減少濾布與裝置的摩擦，並防止土壤孔隙中的水滲出。
6. 開始填土，並計算加入的重量。
7. 放入濕海綿與石墨電極，以矽膠緊密黏接。
8. 最後用石蠟膜、黑色膠帶密封接觸孔洞，將接合處纏繞完全。
9. 將電線連接石墨電極，開啟電源供應器進行實驗。
10. 取出完成實驗後土壤，分成8塊 (+、A、B、C、D、E、F、-)。
11. 秤重並加入等比例的水重後，測量其pH值。
12. 最後將全部土壤放入烘箱烘乾24小時，並稱重。

實驗二 電解裝置在不同的酸鹼度下，探討其電解情形

(一)實驗結果：

變因	電壓	時間	碳棒數量	電解槽長度	溶液種類
數值或類別	24V	4小時	8支	30cm	NaOH、HNO ₃ 、NaNO ₃ (不同酸鹼值)

pH值	+	A	B	C	D	E	F	-
NaOH	6.4	6.8	7.9	9.3	10.2	11.1	11.8	12.3
NaNO ₃	5.1	5.6	6.1	7.0	7.3	7.8	10.3	11.2
HNO ₃	4.3	4.5	4.8	5.2	5.7	6.3	7.1	7.9

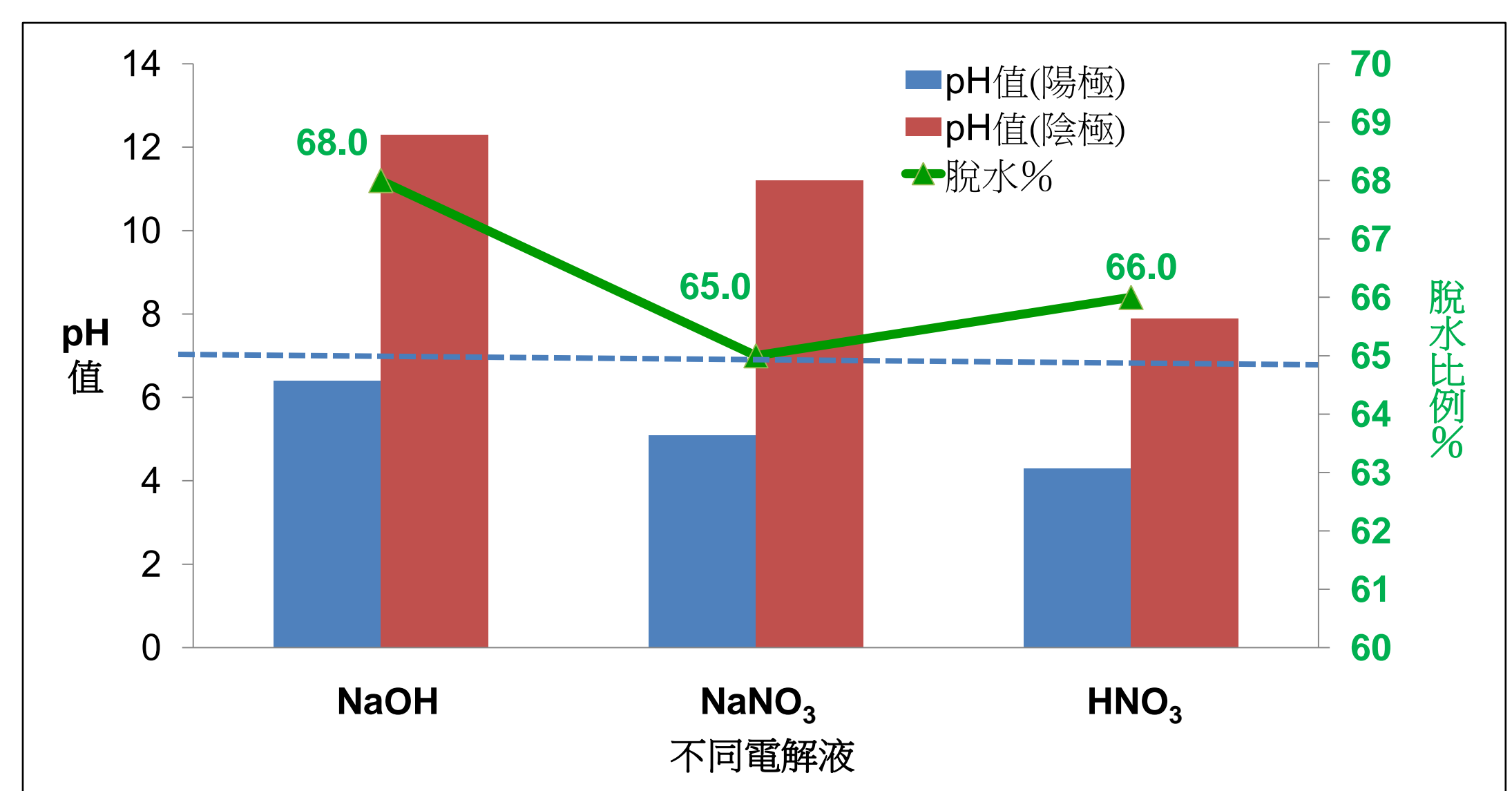


圖18 不同電解質下的電解效能及電極之pH值

(二)實驗討論：

1. 在電解過程中，靠近陽極會有酸性產生，靠近陰極會有鹼性產生。其兩極產生方程式： $2H_2O \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^-$ (陽極)， $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-$ (陰極)。
2. 實驗結果發現，電解脫水是由陽極往陰極方向進行，不同酸鹼值對於水份的去除效果會有所不同。
3. 利用本實驗裝置，在4小時下均可以達到60%脫水效果。

實驗三 電解裝置在不同的電解時間下，探討其電解情形。

(一)實驗結果：

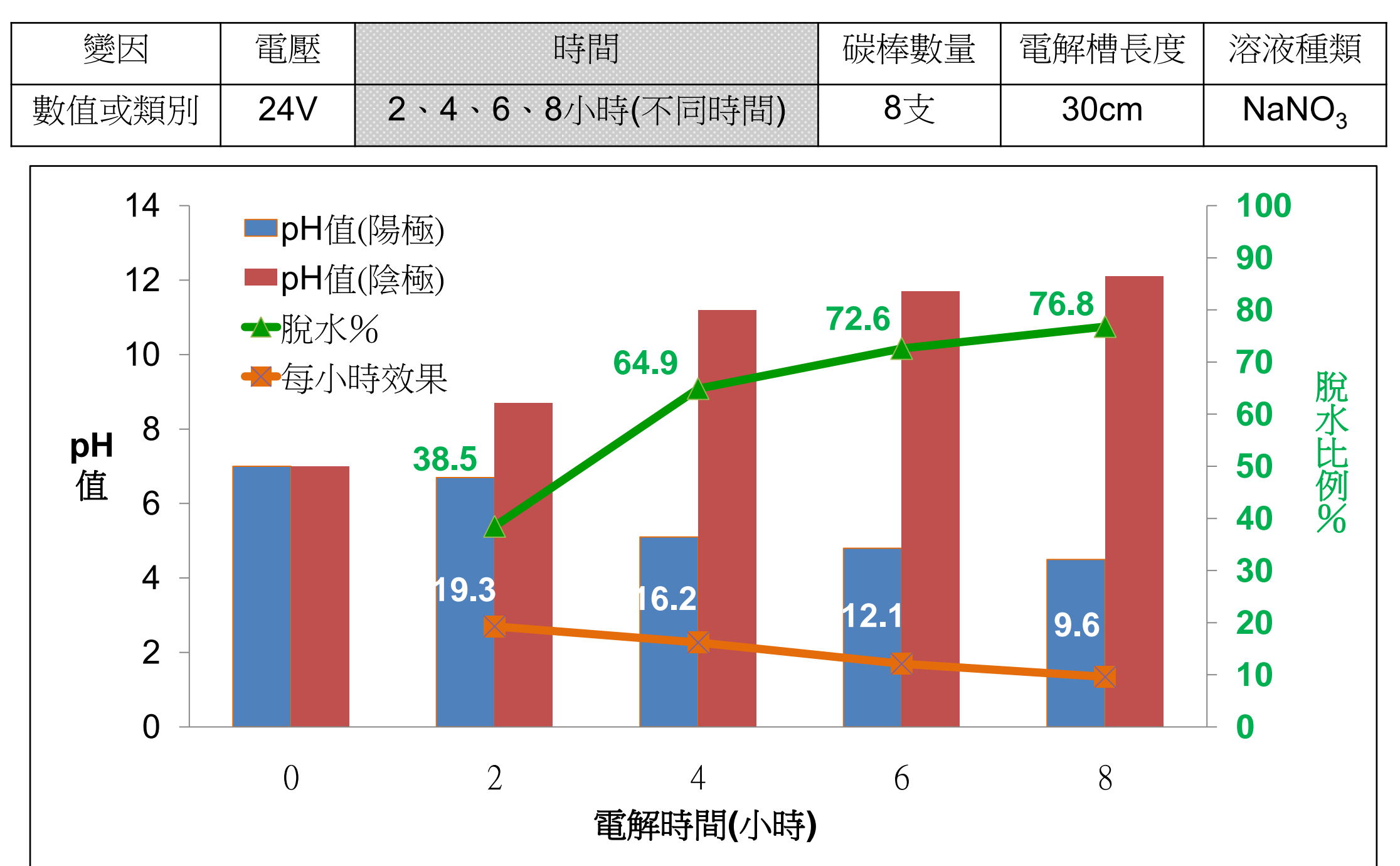


圖19 不同電解時間下的電解效能及電極之pH值

(二)實驗討論：

1. 數據顯示，電解隨著時間越長，脫水總效果越好。脫水在2小時已可達良好的效果(脫水比例為38.5%)。其中轉換成每小時電解則可達19.25%為最高。
2. 在脫水過程中，兩極會產生氫氣及氧氣，未來可以利用裝置，收集兩極的氣體進一步利用，可增加能量的使用，更加環保。

實驗四 改變電解槽長度，探討其電解情形

(一)實驗結果：

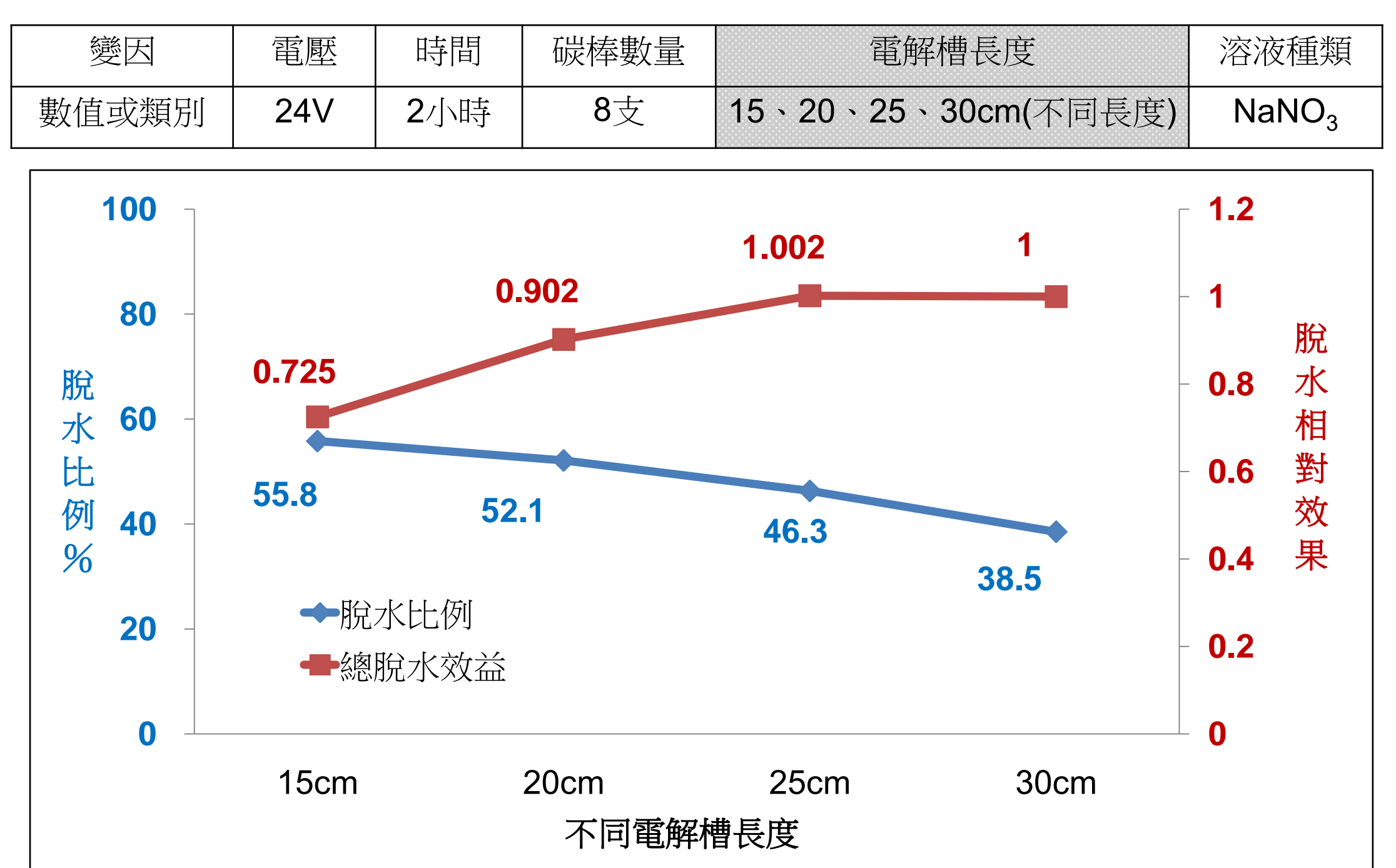


圖20 不同電解時間下的脫水比例及總脫水效益

(二)實驗討論：

1. 實驗結果發現電解槽長度越短，其單位時間的脫水效果越好，但處理量會較少。
2. 就總電解效益而言(假設實驗中進行大規模電解範圍下，進行小模組，並均勻等分切割下，其中每組單位在相同電解時間時，其用電量均相同)，結果得知在25cm有最佳效益達1.002倍(以30cm為參考值)。

實驗五 電解裝置在不同電壓大小下，探討其電解情形。

(一)實驗結果：

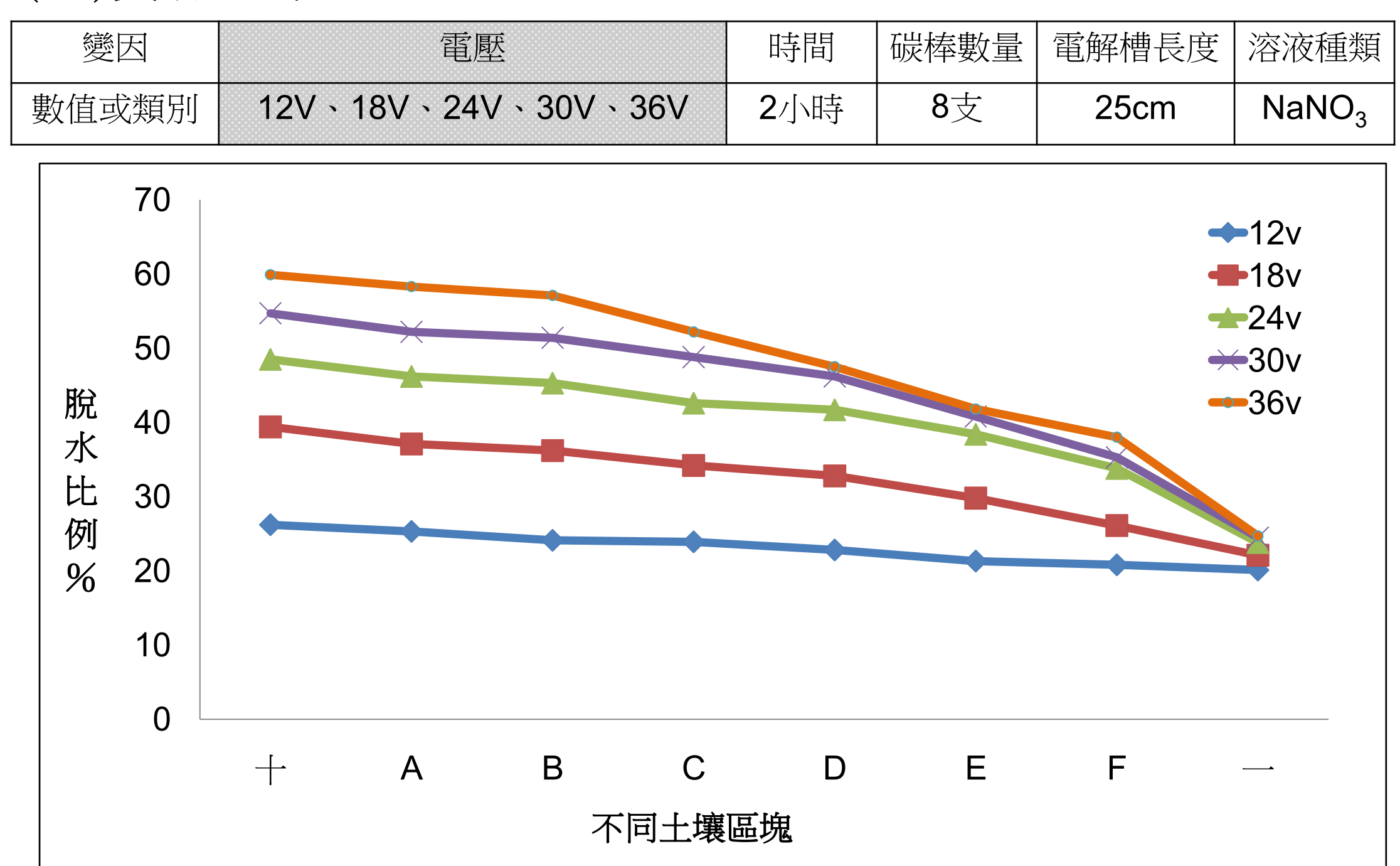


圖21 不同電壓下不同部位的脫水效果

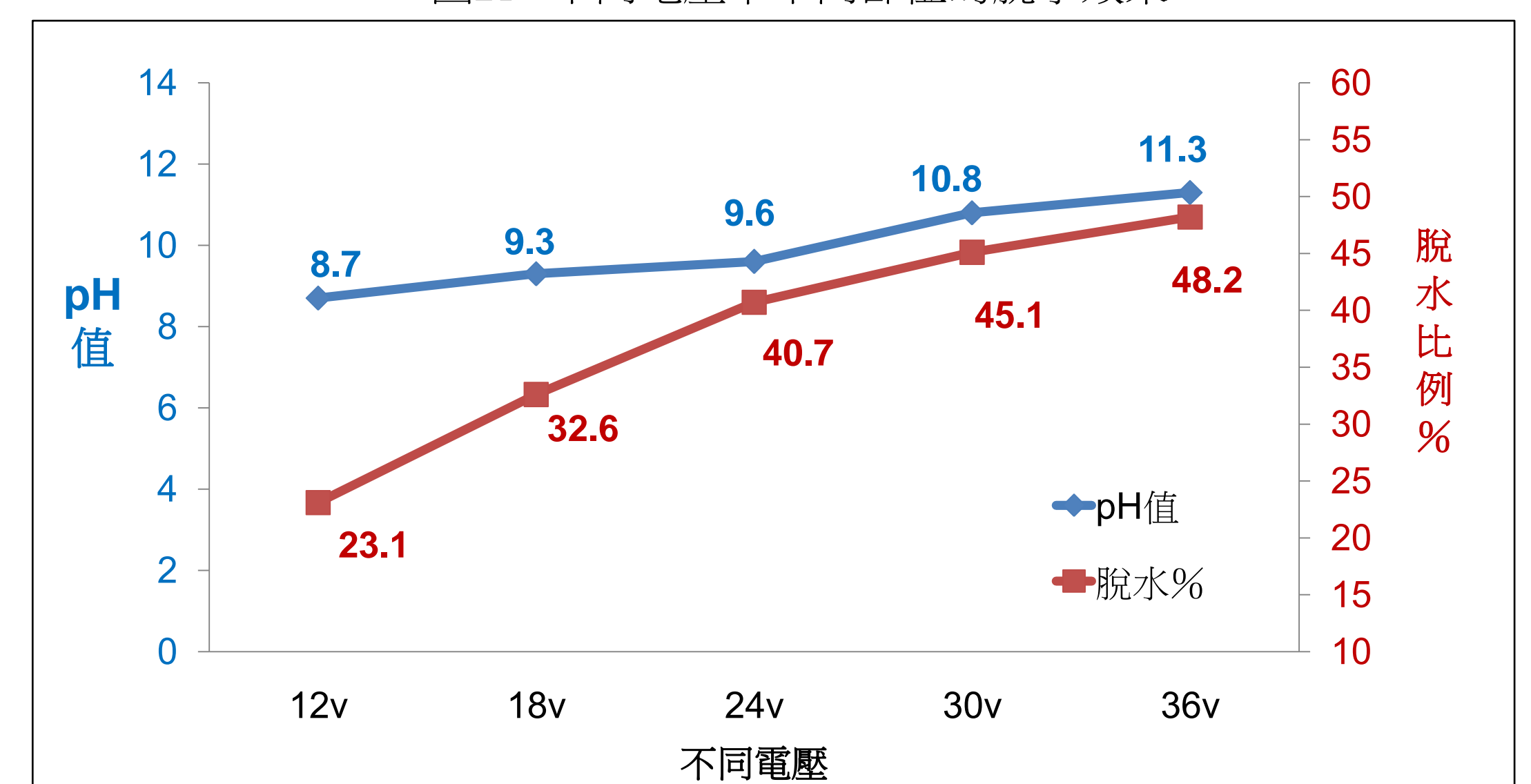


圖22 不同電壓下泥土的pH值及脫水效果

(二)實驗討論：

- 1.實驗結果發現，隨著電壓越大，其電解脫水的效果越明顯。
- 2.在距電極不同距離，每個區塊土壤的脫水效果也不同。因在電場中土壤中的水份會由陽極往陰極方向移動，所以靠近陽極，其土壤脫水效果越好。所以要得到較佳的脫水土壤，以靠近陽極處的土壤為佳。

實驗六 電解裝置在電解過程中，其電流的變化情形

(一)實驗結果：

變因	電壓	電流	時間	碳棒數量	電解槽長度	溶液種類
數值或類別	24V、30V、36V	總功率變化	2小時	8支	25cm	NaNO ₃

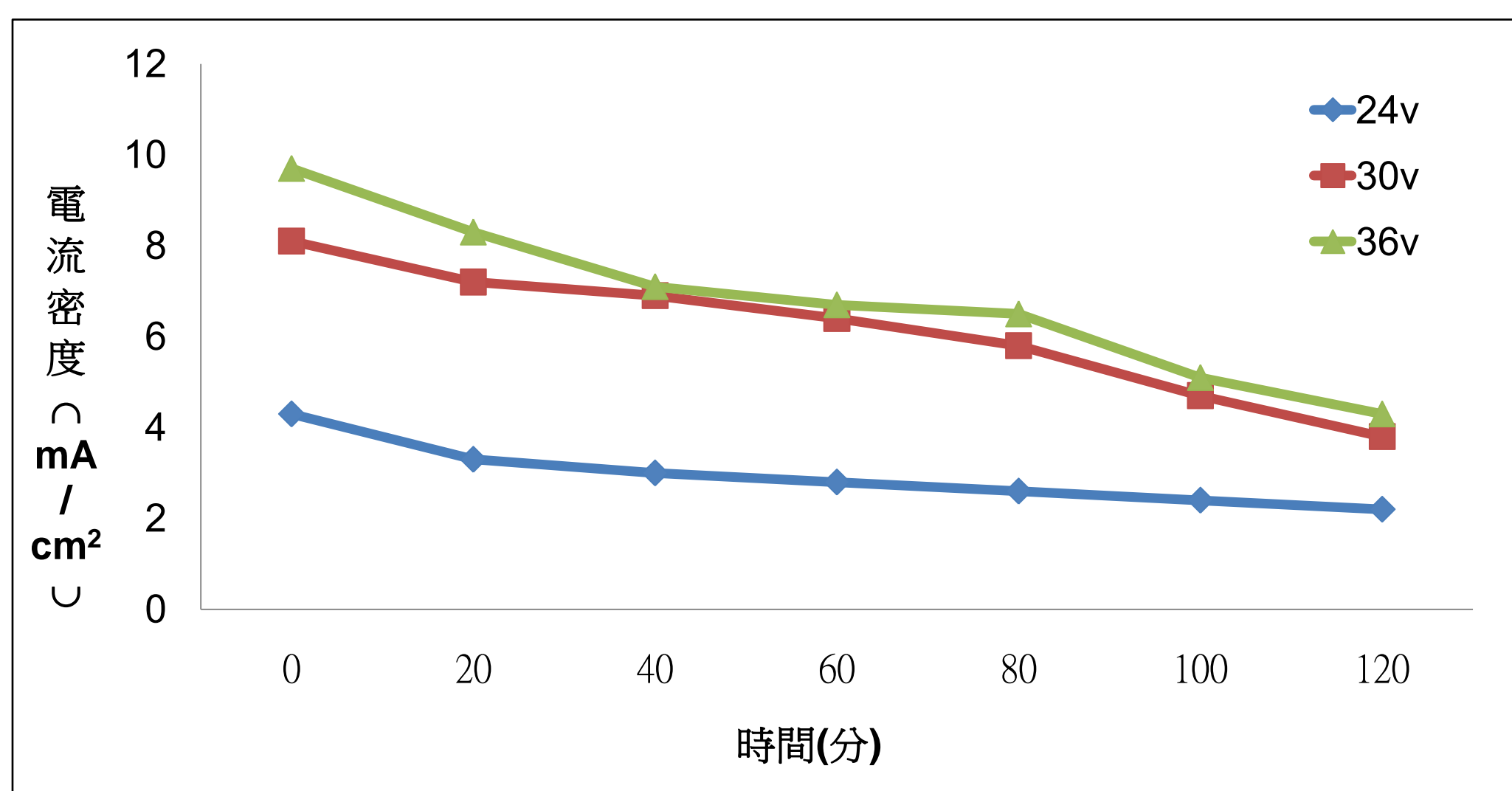


圖23 不同電壓下，其電流隨時間變化情形

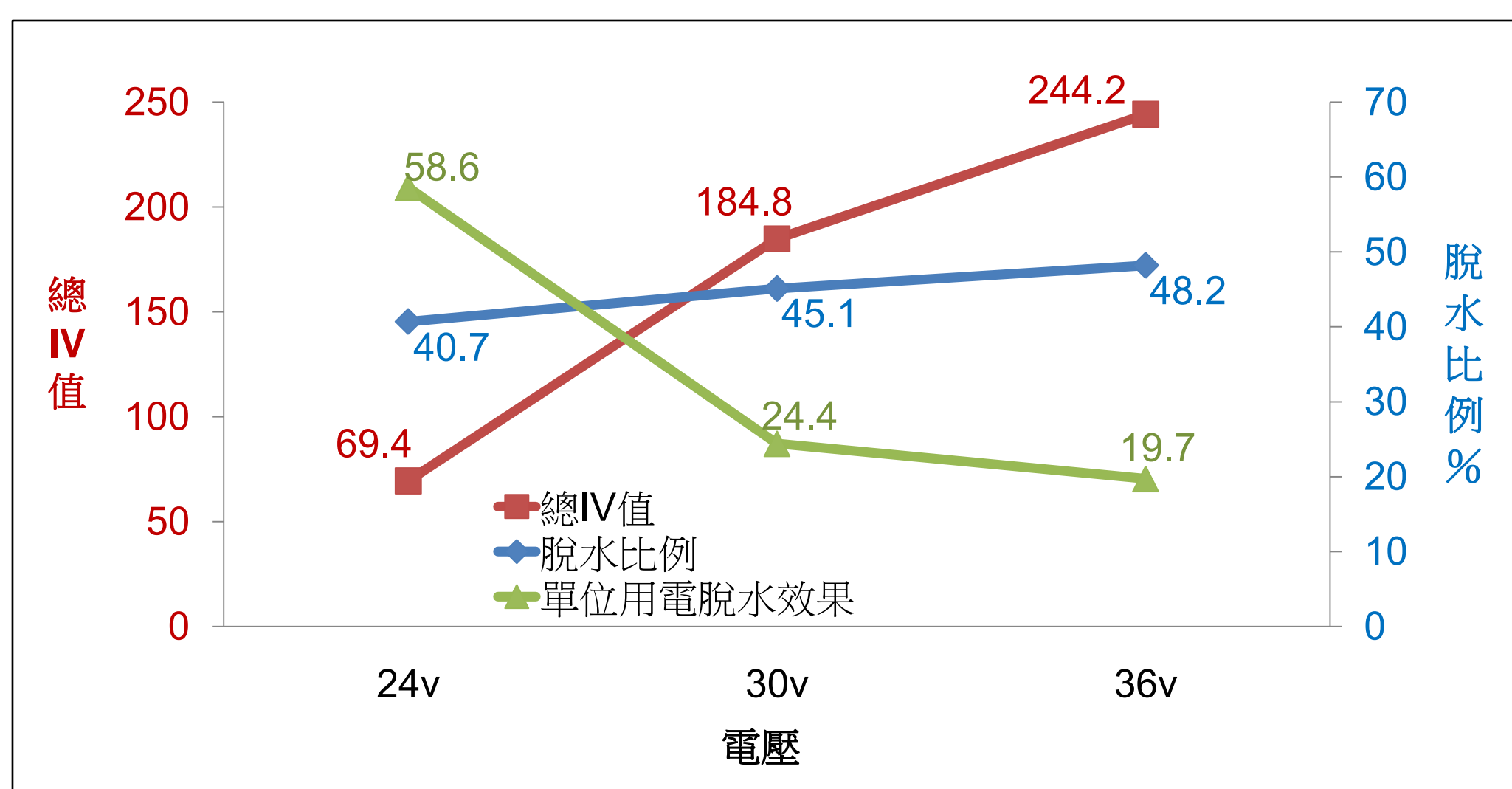


圖24 不同電壓下，用電值與其單位用電的電解效果

(二)實驗討論：

- 1.實驗結果得知，在18V以下電解脫水效果差，故不進行探討，所以能利用電解脫水的電壓是24V以上。
- 2.以24V、30V、36V電壓進行電解脫水，其電壓越大時，單位時間之脫水效果好。然相對之下，其電流就越高，所以消耗功率也較大。實驗得知在24V的電壓下，每單位用電的電解脫水相對效率較好。

實驗七 電解裝置在常見的金屬離子溶液下，探討其電解效果

(一)實驗結果：

變因	電壓	時間	碳棒數量	電解槽長度	溶液種類
數值或類別	24V	2小時	8支	25cm	Al(NO ₃) ₃ 、Cu(NO ₃) ₂ 、Fe(NO ₃) ₃ 、Ni(NO ₃) ₂ 、Zn(NO ₃) ₂

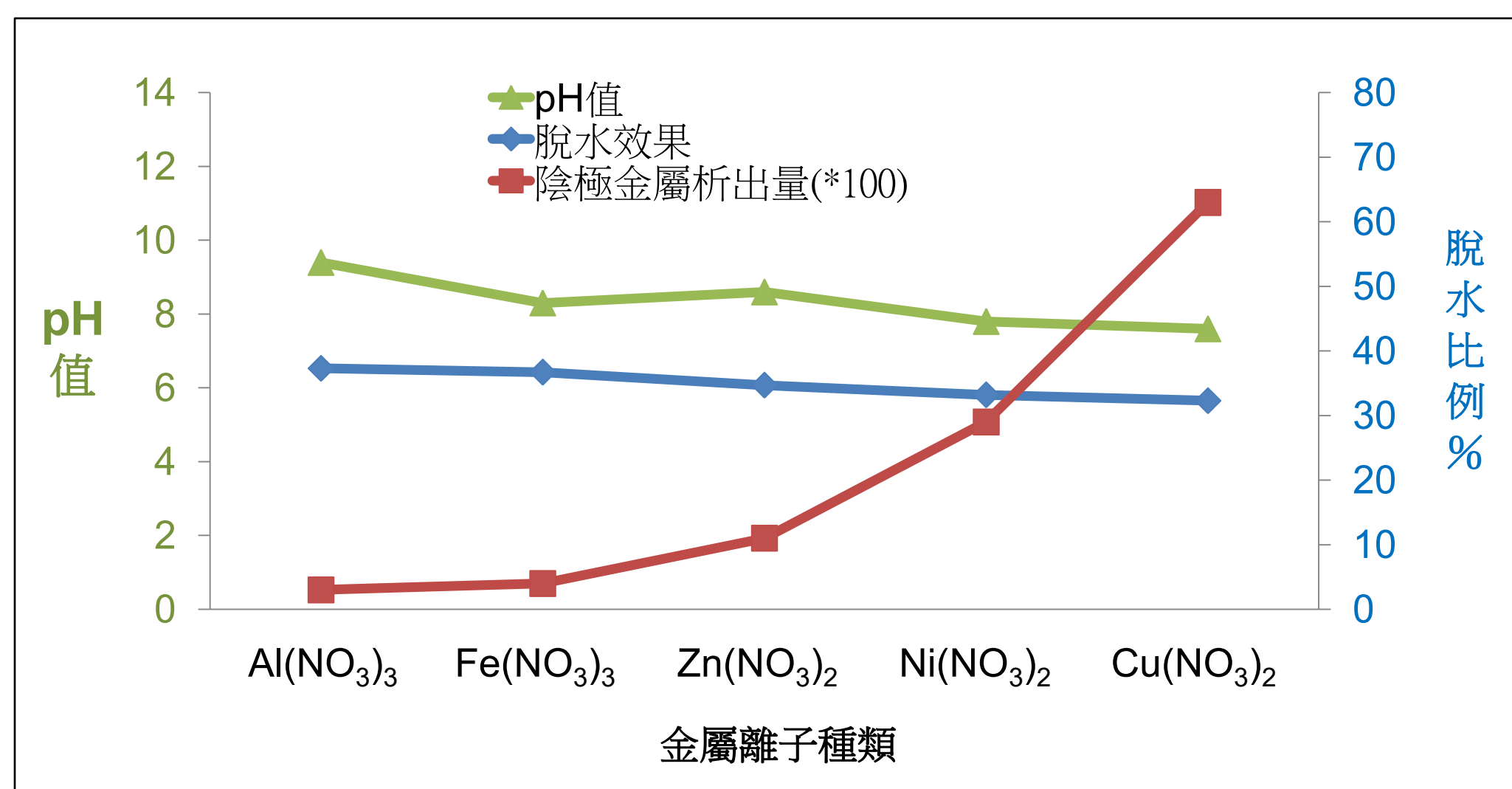


圖25 不同金屬離子存在下，其金屬析出、電解比例及pH值的變化關係

(二)實驗討論：

- 1.在電解脫水時，陰極石墨棒能電鍍析出部分金屬，而陽極產生酸性溶液，土壤整體的pH值會下降。
- 2.析出金屬以銅離子為最多，推測可能是銅的活性較小，而越易析出金屬的金屬離子，其脫水效果也較差，推測可能是產生酸的緣故，但土壤溶液也不宜鹼性太強，土壤溶液偏鹼可能讓金屬沉澱更不易脫水。

實驗八 電解裝置由水平式改成垂直式，探討其電解效果

(一)實驗結果：

變因	電壓	角度	時間	碳棒數量	電解槽長度	溶液種類
數值或類別	24V	0°、30°、60°、90°	2小時	8支	25cm	NaNO ₃

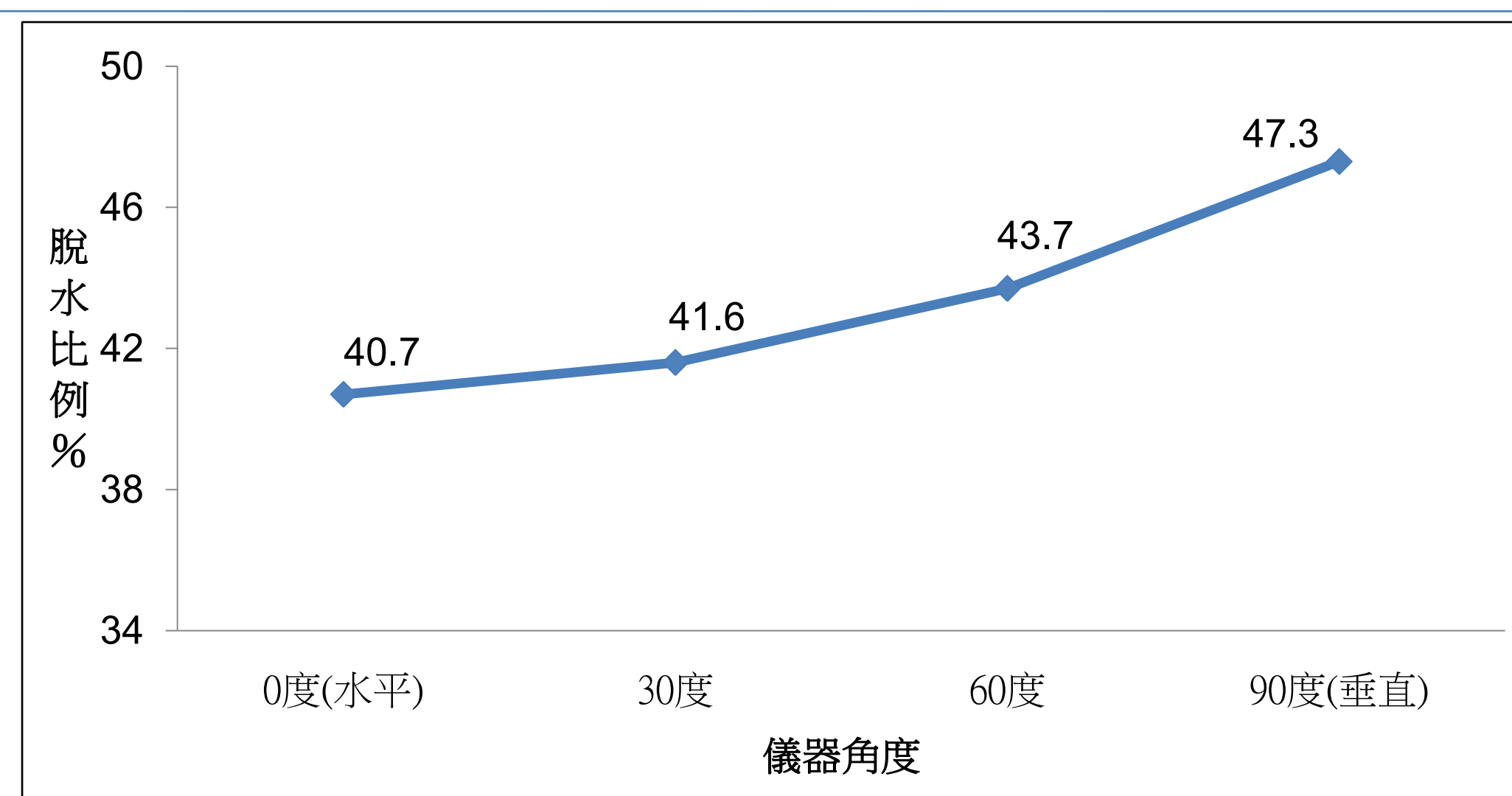


圖26 儀器在不同角度下的電解情形

(二)實驗討論：

- 1.裝置由水平式改為垂直式，其脫水效果可以透過重力的因素讓儀器隨著陰極角度的增加，其電解脫水效果也有顯著的增加。
- 2.本儀器為密閉裝置，方便以垂直方式進行實驗。

實驗九 探討底泥種類對於電解裝置進行電解脫水之影響

(一)實驗結果：

變因	電壓	時間	碳棒數量	電解槽長度	溶液種類
數值或類別	24V	2小時	8支	25cm	不同底泥



圖27 A區(海洋)底泥



圖28 B區(工業)污泥

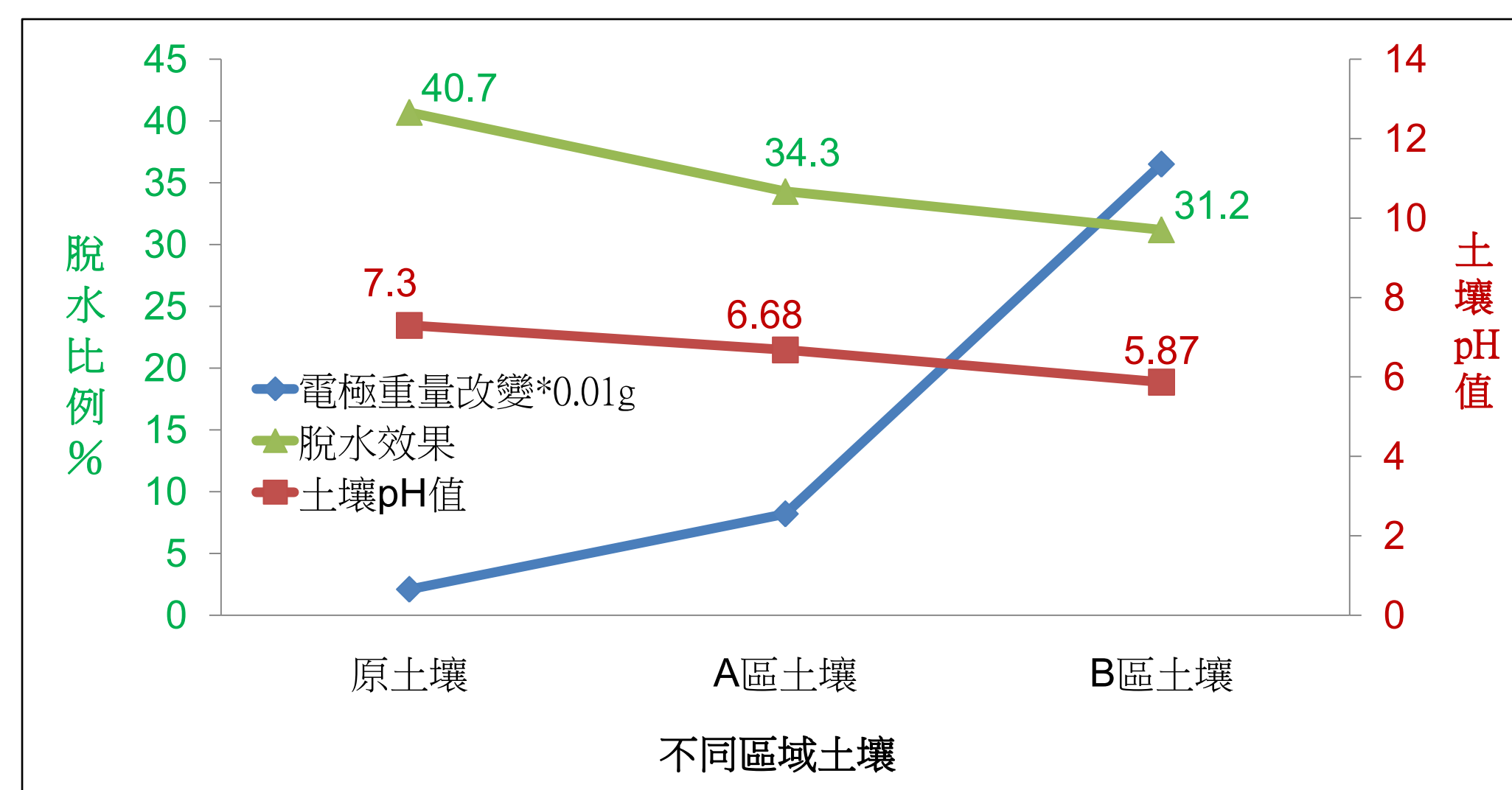


圖29 儀器在不同底泥下的電解情形

(二)實驗討論：

1. A區(海洋)底泥主要成分為微量金屬(鋅、鉻、銅等)及其他有機質物質為主，其脫水效能為34.3%。
2. B區(工業)污泥主要成分為較高濃度的金屬(銅、鎳)為主，其脫水效能為31.2%。

陸、結論

綜合以上實驗，得到以下幾點結論：

- 一、利用自製簡易且小型電解裝置，探討電場輔助脫水技術的效益，讓這個台灣尚未大量普及的脫水技術，進行優化及深入的探討。
- 二、此裝置儀器的優點有：儀器消耗成本低、儀器小型易清潔與維修、直流電用電量少、實驗過程能吸附重金屬不必經二次處理，以及有高效率脫水效果。
- 三、實驗脫水效率最大化的實驗參數：底部加入8根碳棒、實驗時間2小時、電解槽長度25公分以及24V的實驗電壓具有最高的脫水效率。
- 四、最後利用實際污泥進行實驗，發現也有相當良好的脫水效果。
- 五、比較傳統式脫水：板框式脫水以兩塊濾板為一組，將多組濾板組合以大量脫水；本儀器在電場輔助脫水方面可以將多組儀器交錯排列組合，擁有處理大量污泥的能力。希望可以讓電場脫水技術更普遍的出現在自來水廠裡。

柒、參考文獻

1. 林英智等。國中自然與生活科技三下。第一章 電的應用。出版地點：康軒文教事業出版社。
2. 陳曼聰(2012)。利用電動輔助板框式壓濾電解系統處理不同生物污泥之研究。國立中山大學環境工程研究所碩士論文。高雄市。
3. 陳信宏(2008)。淨水廠廢水處理單元之成效與廢水回收再利用及現場污泥電解之研究-以鳳山場為例國立中山大學環境工程研究所職專班碩士論文。高雄市。
4. 袁菁等(2001)。以小型模場電動技術提昇生物污泥電解之研究。第十一屆下水道研討會論文集。國立中央大學。
5. 翁誌煌等(2000)。利用電動技術進行污泥電解之初步研究。第十屆下水道研討會論文集。國立中央大學。
6. YouTube。2016年9月13日。【台灣自來水公司】點石成金-淨水污泥再利用。網址：<https://www.youtube.com/watch?v=xDOiAZQu2fc>
7. YouTube。2012年6月4日。嘉義縣擴大縣治污水處理廠。網址：<https://www.youtube.com/watch?v=w5D0dnv7ko>
8. YouTube。污泥也能發電和燒磚 乾淨又環保。網址：https://www.youtube.com/watch?v=_Z1VtwBzuVQ