

# 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(一)科

第三名

032806

漏水報馬仔

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者：  國三 洪芃威  國二 紀沛昕  國二 曾慶娟	指導老師：  蔡名峯  黃瓊如
---	-----------------------------

關鍵詞：漏水感測器、智慧行動手機、沖水感測器

## 摘要

本研究旨在探究包含自動漏水檢測與智慧警示功能的新型馬桶漏水檢測裝置。模仿實際馬桶機構組成，自製馬桶供排水管路和沖水開關周邊機構實驗模型，透過實驗量測與數據收集、分析，最後選定作品內的供水管路組成、漏水感測器和沖水感測器。當馬桶發生漏水時，作品內的單晶片會先關閉裝置在進水管路上的電磁閥，停止繼續供水；再透過藍牙無線界面與簡訊分別通知在室內和室外的相關人員。藉由建立一套實驗室等級的作品實體雛型，在不同實驗條件下，對實體雛型進行各種參數測量、記錄和分析後得到重要實驗結果。實驗結果證實本作品不僅可以解決傳統馬桶漏水檢測方法費時費力、功能不足、量測儀器昂貴問題，且可滿足本作品預期的設計目標。

## 壹、研究動機

近年來，由於國內水資源的開發不易，政府才在全國各地積極推動省水器材的汰舊換新工作，例如將馬桶改採兩段式沖水。但若將馬桶換裝成為兩段式沖水器，此種作法僅止於使用馬桶時才會產生省水效果。而一般馬桶漏水現象卻不限於是否有無使用，其每日累積的漏水量與馬桶換裝成兩段式沖水器的總省水量相比，是有過之而無不及的。因此，政府在推動節約用水時，除了要加速省水器材汰換之外，更應該加強重視馬桶的漏水問題。



圖 1 台北市一般家庭不同用途的用水比例統計

圖 1 是台北自來水事業處針對轄下一般家庭用水主要用途別的用水比例由高而低依序排列的統計數據資料，圖 1 的資料清楚顯示馬桶沖廁用水量是一般家庭每日用水量最多的。國人除了每天用水量居高不下之外，全國的地下自來水管的漏水問題也是相當嚴重的，全年全台灣估計就漏掉約六億多噸，足足可以將石門水庫裝滿近 3 次之多；台北自來水事業處也曾統計過，每 5 座家庭馬桶中就會約有 1 座漏水，根據這份資料即可簡單推算出全國所有家庭馬桶的每年的總漏水量也會高達一億噸之多，相當於半個石門水庫的蓄水量。

在國中自然生活與科技二上 7-3 舒適安全便利窩單元中，既曾學習到一般家庭供水與污水排放系統的組成與工作原理。本研究既希望在一般家庭馬桶既有的機構組成基礎下，設計製作出一套具有馬桶漏水自動檢測與智慧警示功能的新型馬桶漏水檢測裝置，可以徹底解決國內極為嚴重的馬桶漏水問題，減少寶貴水資源浪費。









## 貳、研究目的

- 一、自製供排水管路實驗模型，選擇最佳供水管路和漏水感測元件。
- 二、自製沖水開關實驗模型，選擇沖水感測器最佳組合。
- 三、探討水流量感測器輸出脈波頻率與漏水種類的關係及其應用。
- 四、探討單晶片工作內容、流程和工作狀態指示燈顯示組合。
- 五、探討利用對馬桶沖廁動作同時重置單晶片的必要性和作法。
- 六、探討傳統馬桶漏水檢測的缺點和本作品漏水檢測的原理與作法。
- 七、探討在感知到馬桶漏水時，本作品通知“室內”住戶人員的作法。
- 八、探討在感知到馬桶漏水時，本作品通知“室外”住戶人員的作法。

## 參、研究設備及材料

### 一、研究材料

			
圖 1-1 繞線、繞線棒	圖 1-2 電磁閥	圖 1-3 電源供應器	圖 1-4 A、B 膠
			
圖 1-5 單心線	圖 1-6 麵包板	圖 1-7 電子零件	圖 1-8 藍牙模組

			
圖 1-9 馬桶水箱	圖 1-10 水管路接頭	圖 1-11 三通接頭	圖 1-12 三通接頭
			
圖 1-13 水流量感測器	圖 1-14 魔術氈	圖 1-15 沖水感測器	圖 1-16 模擬馬桶

## 二、實驗儀器設備

			
圖 2-1 可調溫烙鐵	圖 2-2 示波器	圖 2-3 三用電錶	圖 2-4 電源供應器
			
圖 2-5 信號產生器	圖 2-6 單晶片發展器 (PICkit 3)	圖 2-7 馬桶供、排水管路實驗模型	圖 2-8 沖水感測器實驗模型
			
圖 2-9 智慧型手機	圖 2-10 數位相機	圖 2-11 水平儀	圖 2-12 游標卡尺

## 三、自製實驗模型

本組希望利用實驗的方法找到馬桶機構組成與電子控制電路(盒)動作同步用最佳沖水感測器元件，以便於在使用者對馬桶進行沖廁時，也能同時重置電子控制盒內的單晶片軟體程式，隨使用者當下對作品實體雛型的工作模式設定之不同而回到對應的工作階段程式起始位置處重新執行。為此，本作品模仿了一般實際馬桶沖水開關周邊的機構組成，自製如圖 3 所示選擇最佳沖水感測器元件的實驗模型。相同理由，本組也模仿實際馬桶供、排水管路組成，自製如圖 4 所示選擇最佳供水管路組成和漏水感測器元件的實驗模型。



圖 3 模仿座式馬桶沖水開關周邊機構，自製提供選擇最佳沖水感測器元件的實驗模型

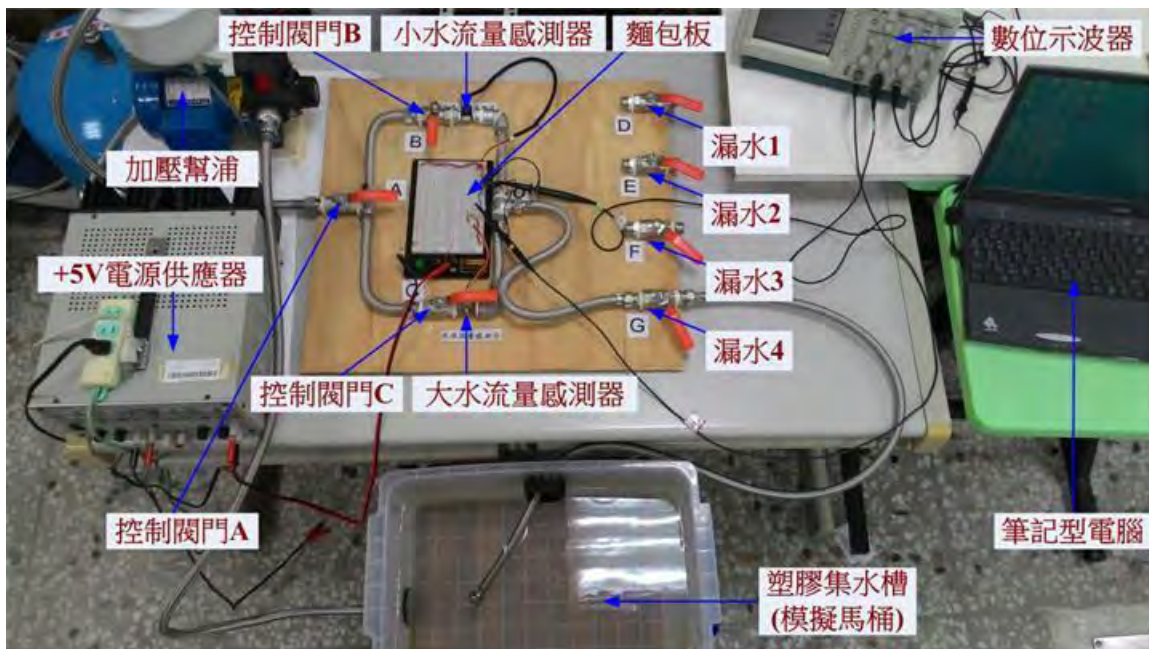
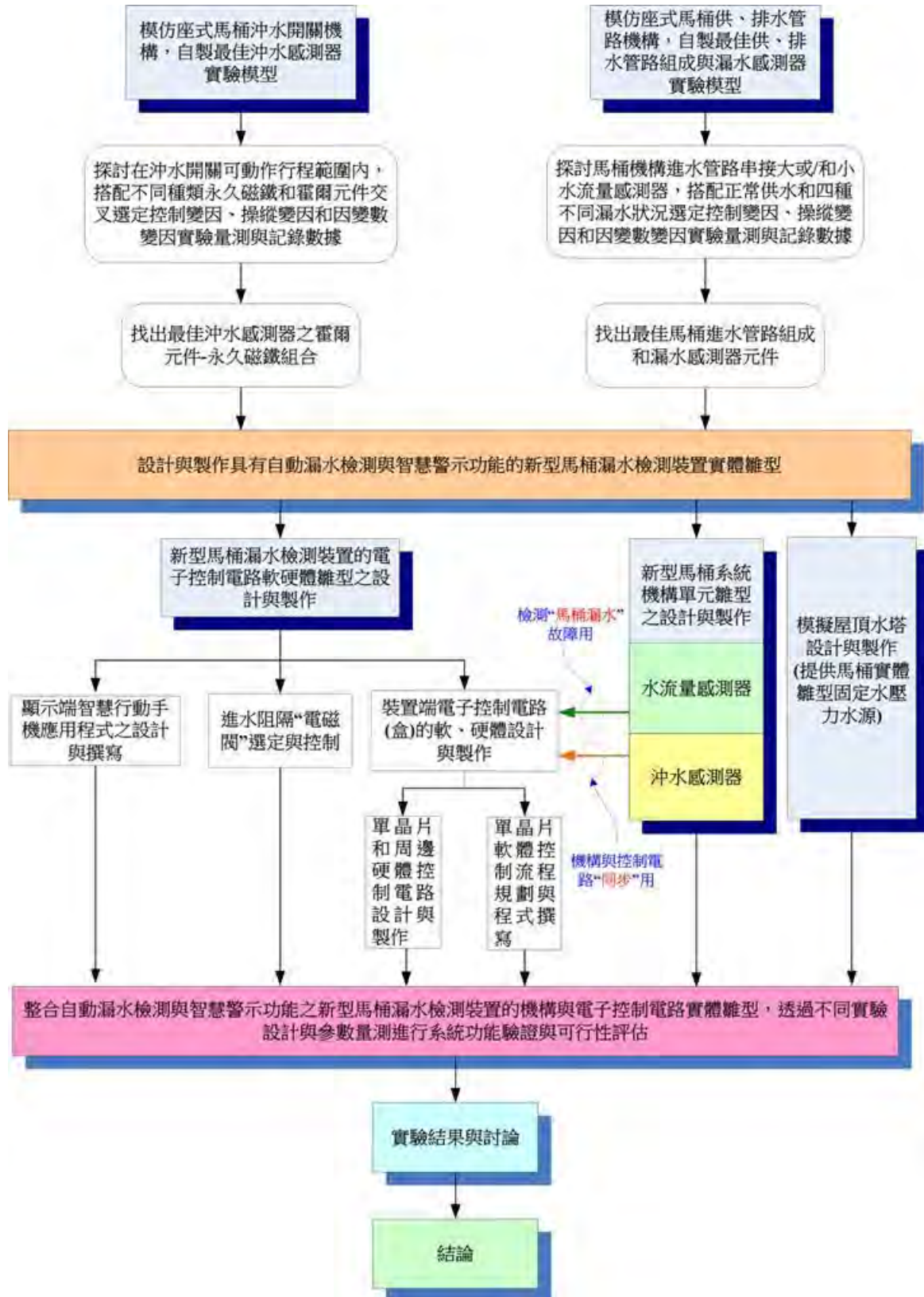


圖 4 模仿一般座式馬桶的供、排水管路機構組成，自製提供選擇最佳供水管路組成和漏水感測器元件的實驗模型

# 肆、研究過程與方法

## 一、研究流程與架構



## 二、新型馬桶漏水檢測裝置的機構和電子控制電路(盒)設計概念圖

本作品是以傳統座式馬桶機構組成作為新型漏水檢測裝置的發展基礎，大致上包含馬桶機構實體雛型和具有自動漏水檢測與智慧警示功能的電子控制電路實體雛型等兩個部份。其中馬桶機構實體雛型又可細分是由屋頂水塔(可提供馬桶固定水壓力的供水源)、馬桶水箱本體及其配件、進水管路、排水管路、塑膠收集水槽(模擬馬桶機構)、模擬漏水故障管路等六個子單元所組成，如圖6所示；電子控制電路實體雛型則是由水流量(漏水)感測器、沖水感測器、模擬漏水感測器、電磁閥、裝置端控制電路和顯示端控制電路等六個子單元所組成，如圖7所示。表1是本作品實體雛型的馬桶機構和電子控制電路重要組成零組件與其功能簡介。

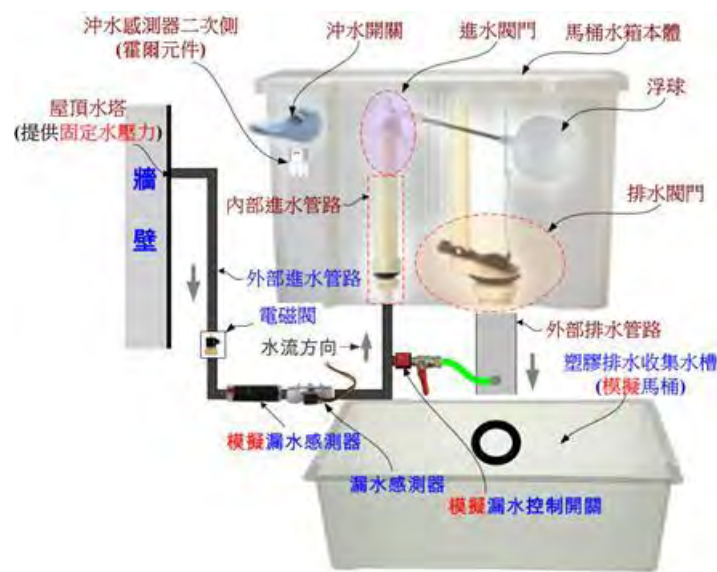


圖6 包含馬桶機構和電子控制電路的完整作品實體雛型的設計概念圖



圖7 電子控制電路實體雛型的設計概念圖

**表1 作品實體雛型的馬桶本體機構和電子控制電路重要組成零組件與其功能簡介**

馬 桶 本 體 機 構	1. 沖水開關:控制水箱橡膠排水閥門洩放，以便執行對馬桶進行沖刷。
	2. 進水閥門:受水箱浮球控制其閥門的開或關，決定供水源是否對水箱進行補水。
	3. 排水閥門:沖水開關控制其閥門的開或關，決定水箱儲水是否快速洩放沖廁。
	4. 水箱:儲存使用者完成一次沖廁所需的用水量。
	5. 浮球:飄浮在水箱水位上，控制進水閥門開或關，決定水箱是否補水。
	6. 凡而開關:調整凡而開關的開口角度，以使用於模擬馬桶的漏水程度。
	7. 塑膠材質集水槽:模擬實際馬桶，與模擬屋頂水塔組成循環供給水源。
電 子 控 制 電 路	8. 電磁閥:裝置在進水管路上的常開控制閥門，漏水時關閉，停止繼續供水。
	9. 沖水感測器:對馬桶沖廁，即重置單晶片，由永久磁鐵和霍爾元件組成。
	10. 水流量(漏水)感測器:串接在馬桶水箱的進水管路上，感測馬桶是否發生漏水。
	11. 模擬漏水控制電路:按下漏水控制開關，電路輸出脈波給單晶片，模擬作品漏水。
	12. 模擬漏水控制開關:按下開關與否，決定作品是否欲模擬發生漏水故障。
	13. 裝置端控制電路:感知馬桶發生漏水故障，關閉進水管路上的電磁閥，驅動兩個工作狀態指示燈亮起來，透過藍牙無線傳輸界面通知顯示端智慧行動手機。
	14. 顯示端控制電路:負責接收單晶片的漏水訊息，然後在智慧行動手機螢幕上以特定的圖案和特定聲響通知室內人員；亦可預先編輯連絡對象與連絡內容，亦可經由無線基地台和電信網路管道以簡訊方式通知室外人員。

### 三、自製馬桶供、排水管路機構的實驗模型

為了選定作品中之供水管路組成和選擇漏水感測器元件，本組模仿一般實際座式馬桶的供水管路機構，自製一個馬桶供、排水管路實驗模型，從製作材料準備到完成實驗模型的製作過程，如圖8所示。圖4就是放大後的完成實驗模型外觀照片。

透過改變圖4中每一個控制閥門的開或關就可以改變馬桶的供、排水管路連接組合，因此可模擬馬桶在正常供水與四種不同程度漏水情況(閥門D、E、F、G任一被打開代表的漏水量大小依序為D>E>F>G)和選擇以那一種元件擔任馬桶漏水檢測元件。為了實驗需要，故將圖4之馬桶供、排水管路實驗模型簡單區分為兩個控制階段:



- 1.改變圖4當中的控制閥門A~O的開或關即可變更串接在水箱進水管路上的是小水流量感測器或大水流量感測器或並接大和小水流量感測器，這個階段的可變因子共有三項；
- 2.改變圖4當中的控制閥門D~G的開或關，就可以決定供、排水路實驗模型是要模擬馬桶系統機構處在正常供水或其他四種不同程度的漏水狀態，這個階段的可變因子共有五項；



圖8 自製馬桶供、排水管路機構的實驗模型製作過程

依序調整實驗模型中在第1和第2階段中可變因子的不同組合，理論上應該會有 $3 \times 5 = 15$ 種可能的供、排水管路和漏水感測器組合。完成馬桶供、排水實驗模型在兩個控制階段的設定之後，然後送水試驗，再利用數位示波器測量串接在進水管線上的水流量感測器輸出脈波波形，並且記錄每一次實驗設定時的水流量感測器輸出脈波頻率的變化，藉此量測數據即可選定最佳新型馬桶漏水檢測裝置的最佳進水管路組成和漏水感測器元件。

#### 四、自製沖水開關周邊機構的實驗模型

為了選擇適合的霍爾元件-永久磁鐵對組成本作品的沖水感測器，本組模仿一般馬桶水箱與沖水開關周邊機構組成，自製了一個馬桶沖水感測器實驗模型。

圖9是典型傳統馬桶水箱和沖水開關周邊機構的幾何圖形，透過實際測量水箱和沖水開關兩個機構之間的幾何間距約有5mm左右(如圖9所示  $a_3 > a_2 > a_1$ )；沖水開關允許使用者透過按壓而轉動的角度範圍約有40度左右。

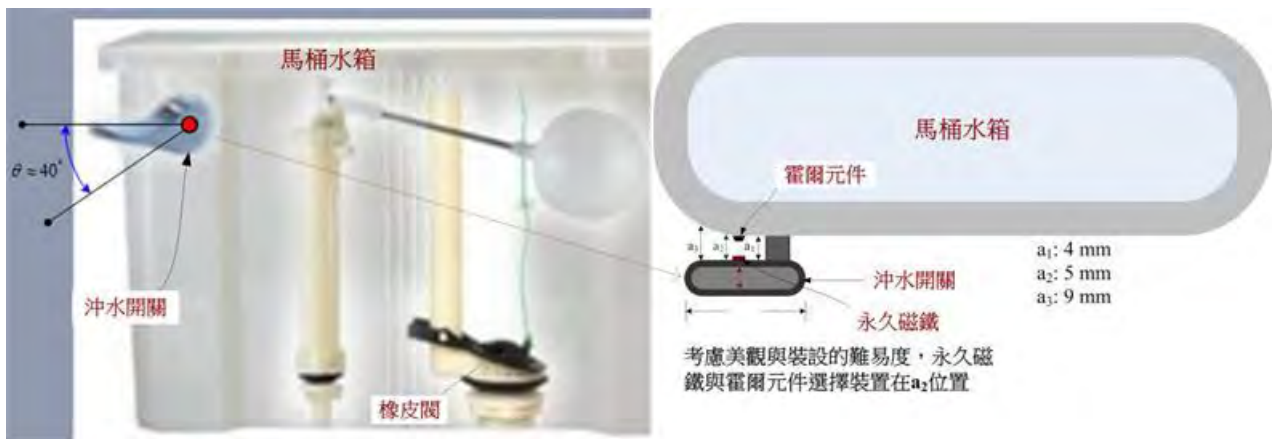


圖 9 實體雛型的馬桶水箱本體、沖水開關和沖水感測器的幾何配置示意圖

考慮本作品的製作成本和有限的裝置空間，本作品選擇由霍爾元件與永久磁鐵對組成沖水感測器，選擇裝置在圖 9 的  $a_2$  位置。霍爾元件被固定在水箱本體外側邊上；永久磁鐵則是固定在沖水開關把手內側面上，隨沖水開關被按壓而轉動不同的角度，永久磁鐵與霍爾元件的幾何相對位置也會改變，永久磁鐵施加在霍爾元件上的磁場強度也會隨之改變，連同影響霍爾元件輸出類比電壓的高低。



圖 10 (a)馬桶沖水感測器實驗模型的製作過程



圖 10 (b)選定且裝置在本作品實體雛型上的沖水感測器外觀照片

為選定本作品擔任沖水感測器的最佳霍爾元件-永久磁鐵組合，本研究首先模仿實際馬桶沖水開關周邊機構，自製了一個沖水感測器實驗模型，圖 10(a)就是它的製作過程與步驟。圖 10(b)則是在完成本作品實體雛型的沖水開關與水箱本體之間裝設經由圖 10(a)實驗模型而選定的最佳霍爾元件-永久磁鐵組合擔任沖水感測器的外觀照片。

## 五、自製可提供固定水壓力之模擬屋頂水塔

利用基本物理學定理，水壓力(P)=水高度(h) \* 水密度(d)，即可簡單計算出一般住宅屋頂儲水塔內的儲水對住宅各樓層的用水器具所形成的水壓力(P)是會隨住宅儲水位置到各樓層用水器具之間的垂直高度成正比例變化的。一般水用戶為了盡可能提高各樓層用水器具在其出水口的水壓力，都會選擇將整棟住宅的儲水塔特別設置在屋頂或最高樓層位置。圖 11(a)表示一般家庭從屋頂儲水塔到各樓層馬桶水箱之間的供水管路的設計概念圖；圖 11(b)則是完成後的作品實體雛型外觀照片。

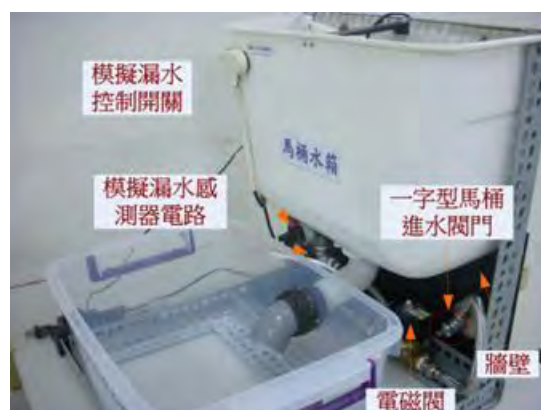


圖 11 (a)從供水源到馬桶水箱之間的设计概念圖 圖 11 (b)完成後的作品實體雛型外觀照片

## 六、設計和製作裝置端電子控制電路(盒)的硬體電路部份

本作品包含一組電子控制電路，若依電子控制電路不同電路部份的裝設位置不同，又可再細分為裝置端控制電路和顯示端控制電路，如圖 8 所示。裝置端控制電路是以一顆單晶片作為核心發展而成的，為了縮短與待測馬桶彼此之間配線距離，所以將兩個部份盡量裝配在一起，圖 12 就是裝置端的電子控制電路設計概念圖。圖 13 則是裝置端電子控制電路的製作過程。圖 14 是完成後的裝置端電子控制電路實體雛型外觀照片。



圖 12 裝置端電子控制電路的設計概念圖



圖 13 裝置端電子控制電路(盒)實體雛型的製作過程



圖 14 完成後的裝置端電子控制電路(盒)實體雛型外觀照片和各種燈號、開關意義說明

## 七、設計單晶片軟體工作流程圖、工作狀態指示燈顯示組合和通知室外住戶人員

### (一)單晶片軟體工作流程圖規劃

圖 15 是本作品裝置端電子控制電路(盒)內的單晶片軟體工作流程圖，規劃有水箱補水、工作狀態轉換和漏水檢測等三個工作階段與順序。

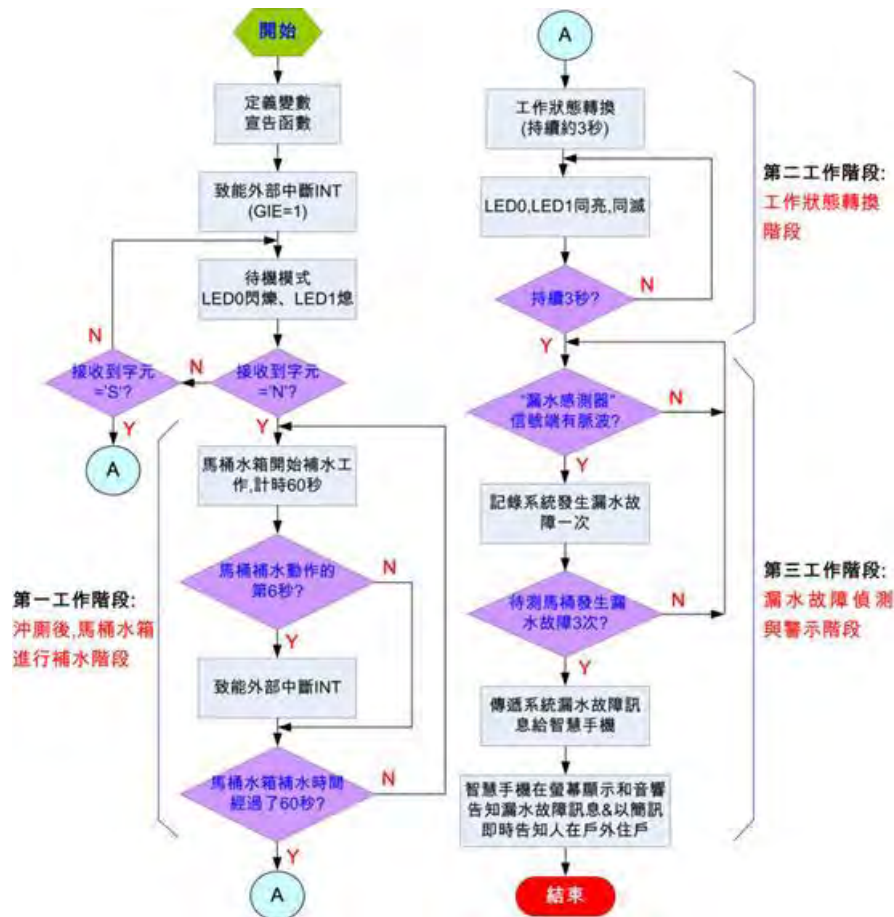


圖 15 電子控制電路(盒)內的單晶片軟體工作流程圖

每當使用者對電路執行斷電再重送電，都會重置單晶片，強迫單晶片程式重新回到待機狀態，等待使用者從智慧手機下達實體雛型進一步的操作模式。隨使用者對實體雛型的工作需要不同，本作品的動作規劃設有正常操作模式、簡單操作模式和待機模式等三種不同操作模式。當單晶片是因斷電再重送電而發生重置，單晶片軟體會自動回到待機模式執行；當使用者按下沖水開關而導致單晶片發生外部中斷時，作品單晶片軟體會自動回到產生外部中斷動作前智慧手機對其所下達的操作模式下繼續執行。

### (二)裝置端電子控制電路(盒)上的工作狀態指示燈顯示組合

本作品實體雛型不論是使用者按下沖水開關進行沖廁或裝置端控制電路由斷電狀態重新送電，都會重置單晶片的軟體程式。為提供馬桶使用者得以在系統執行過程中隨時可藉由目

視方式觀察電子控制電路(盒)上的工作狀態指示燈 LED0、LED1 顯示組合，只要對照表 1，就可以立即知道目前的系統工作狀態了。

**表 1** 電子控制電路(盒)上的工作狀態指示燈顯示組合及其代表的意義

系統操作模式	按下“沖水開關”，程式開始執行的位址	工作階段動作說明	LED0	LED1
待機模式	↑	等待智慧手機下達操作模式	亮	亮
正常模式 簡單模式	↑	馬桶水箱補水中 (設定持續工作-60秒)	亮	亮
		工作狀態轉換階段 (設定持續工作-5秒)	亮	亮
		無漏水故障，程式持續檢測	亮	亮
		漏水故障，程式停止執行	亮	亮

**(三)顯示端智慧行動手機以“簡訊”方式通知室外住戶人員的作法**

圖 16 是顯示端智慧行動手機軟體應用程式的執行內容與操作過程。在馬桶發生漏水時，智慧行動手機應用程式會在螢幕上立即以特定圖案與聲響告知室內住戶，也允許住戶在顯示端的智慧手機畫面上預先輸入連絡對象的電話和連絡內容；當系統發生漏水故障時，顯示端智慧手機就會以簡訊方式即時通知在室外的住戶人員瞭解家中馬桶發生漏水故障的訊息。



**圖 16** 顯示端智慧行動手機軟體應用程式的規劃與設計過程

## 八、設計與製作在馬桶進水管路加裝控制電磁閥

一般從馬桶發生漏水故障到用戶找到專人完成修復，勢必都會存在或長或短的延遲修復時間。每當馬桶發生漏水故障時，本作品設計在裝置端電子控制電路(盒)內的單晶片程式不僅規劃會立即驅動兩個工作狀態指示燈 LED0、LED1 亮起來，以便通知室內住戶人員最新系統工作狀態外；如圖 17 所示，本作品也同時設計單晶片透過由電晶體組成的放大電路驅動串接在馬桶進水管路上的電磁閥立即關閉，停止繼續供水給處於漏水狀態下的馬桶。

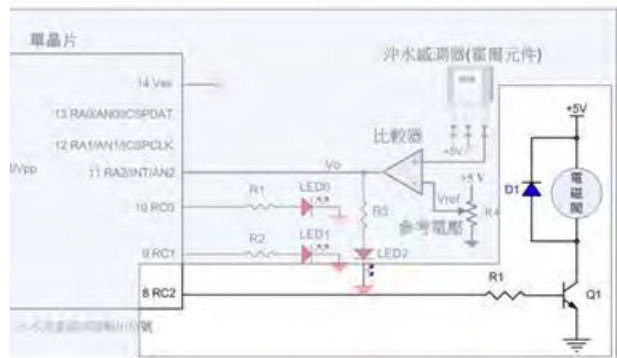
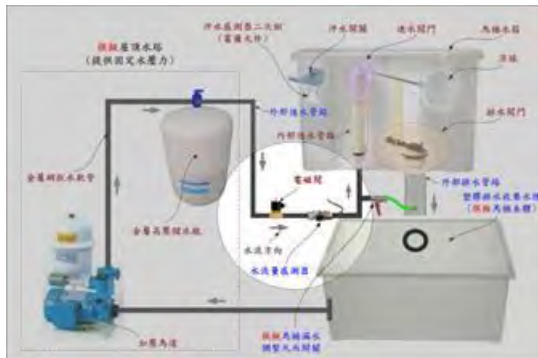


圖 17 (a) 在馬桶進水管路上串接一個電磁閥

圖 17 (b) 單晶片接腳經放大電路控制電磁閥

## 九、完成新型馬桶機構與電子控制電路實體雛型的整合組裝

圖 18 是本作品規劃、設計製作的馬桶機構實體雛型和電子控制電路實體雛型整合組裝的過程；圖 19 是完成整合組裝後的本作品實體雛型外觀放大照片。



圖 18 馬桶機構與電子控制電路實體雛型的整合組裝過程

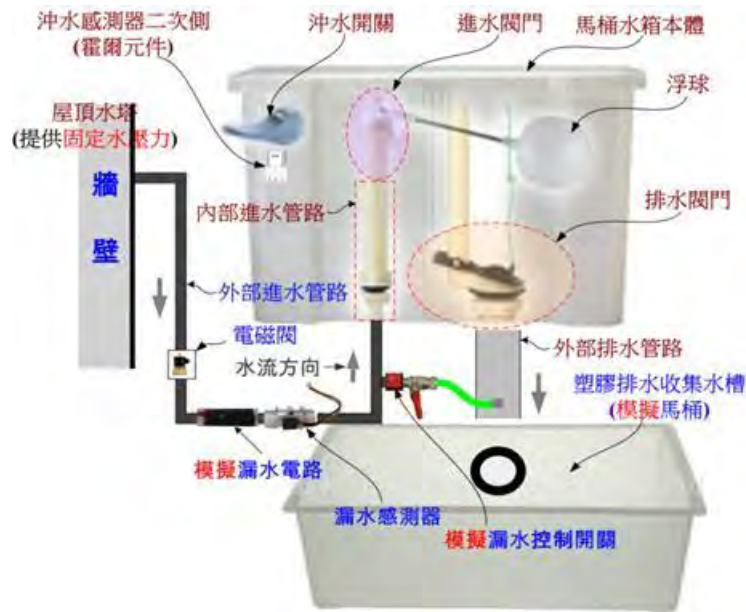


圖 19 完成馬桶機構和電子控制電路實體雛型整合組裝後的實體外觀照片

## 伍、研究結果與討論

### 實驗一:自製供排水管路實驗模型，選擇最佳供水管路和漏水感測元件

#### (一)繪製供、排水管路實驗模型與相關實驗的規劃

圖8是模仿實際馬桶的供、排水管路組成而設計且自製的供、排水管路實驗模型，透過調整圖中控制閥門A~G的開或關，可提供快速彈性改變供、排水實驗模型的管路組成，有利於不同實驗的管路元件設定與進行。

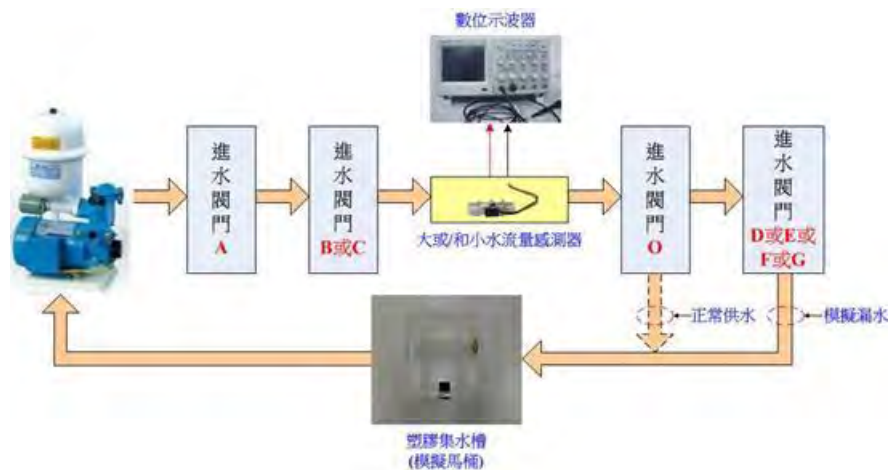


圖20 設定工作在不同供、排水條件下，代表供、排水管路組成的水閉迴路圖

圖20是一個可以代表圖4或圖8在不同馬桶供、排水管路組成或設定下的實驗模型水流閉迴路圖形。圖20清楚指出自製馬桶供、排水實驗模型的機構組成是由兩個因不同目的而設計



加入的可彈性改變機構所組成，分別簡單說明如下：

**第一個部份:**透過控制閥門B或閥門C的開或關，選擇當下實驗是以小水流量感測器或大水流量感測器或並聯大、小水流量感測器等三項中的那一個元件或組成作為實驗模型馬桶漏水感測器元件。

**第二個部份:**選擇將控制閥門O打開，且將控制閥門D~閥門G全關，模擬實驗模型即工作在正常供水狀態；若將控制閥門O打開，但選擇控制閥門D~閥門G之中的一個打開，其他都關閉，藉以模擬四種不同程度的馬桶漏水狀態。

實驗模型中的漏水感測器是被串接在馬桶水箱進水管路上的，故在馬桶不同漏水狀態下，最後實驗模型勢必都會使漏水感測器信號端輸出脈波波形和頻率值都會產生變化。本作品就是利用數位示波器測量儲存漏水感測器輸出波形和手寫記錄波形頻率值，提供選定最佳供水管路組成和漏水感測器元件所需的數據。

## (二)實驗和記錄水流量感測器信號端輸出的脈波頻率

依照(一)對不同實驗設定的規劃與設計，且透過調整控制閥門A~閥門G的開或關(參考圖8)，完成實驗模型的供、排水管路組成設定與選擇馬桶漏水感測用的漏水感測器目的。預估共需進行15種不同實驗設定才能含蓋所有的實驗。所有實驗均是以數位示波器測量水流量感測器信號端輸出脈波頻率作為應變的變因。

**表2** 在不同供排水組成下，水流量感測器的輸出信號波形與頻率測量與記錄

項目	供水狀態	供、排水管路連接器件	觀測輸出對象	頻率(Hz)
狀況 1	正常供水	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 C→大水流量感測器→控制閥門 O→塑膠集水槽→加壓馬達	大水流量感測器 (f <sub>i</sub> )	f <sub>i</sub> =86.22
狀況 2	模擬漏水 1	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 C→大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 D→塑膠集水槽→加壓馬達	大水流量感測器 (f <sub>i</sub> )	f <sub>i</sub> =78.74
狀況 3	模擬漏水 2	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 C→大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 E→塑膠集水槽→加壓馬達	大水流量感測器 (f <sub>i</sub> )	f <sub>i</sub> =81.97
狀況 4	模擬漏水 3	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 C→大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 F→塑膠集水槽→加壓馬達	大水流量感測器 (f <sub>i</sub> )	f <sub>i</sub> =75.19
狀況 5	模擬漏水 4	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 C→大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門	大水流量感測器	f <sub>i</sub> =51.82

		G→塑膠集水槽→加壓馬達	(f <sub>1</sub> )	
狀況 6	正常供水	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B→小水流量感測器→控制閥門 O→塑膠集水槽→加壓馬達	小水流量感測器 (f <sub>2</sub> )	f <sub>2</sub> =2119
狀況 7	模擬漏水 1	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B→小水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 D→塑膠集水槽→加壓馬達	小水流量感測器 (f <sub>2</sub> )	f <sub>2</sub> =2747
狀況 8	模擬漏水 2	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B→小水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 E→塑膠集水槽→加壓馬達	小水流量感測器 (f <sub>2</sub> )	f <sub>2</sub> =2906
狀況 9	模擬漏水 3	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B→小水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 F→塑膠集水槽→加壓馬達	小水流量感測器 (f <sub>2</sub> )	f <sub>2</sub> =2778
狀況 10	模擬漏水 4	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B→小水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 G→塑膠集水槽→加壓馬達	小水流量感測器 (f <sub>2</sub> )	f <sub>2</sub> =2128
狀況 11	正常供水	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B&C→小&大水流量感測器→控制閥門 O→塑膠集水槽→加壓馬達	小(f <sub>1</sub> )&大(f <sub>2</sub> )水 流量感測器	f <sub>1</sub> =76.9 f <sub>2</sub> =670
狀況 12	模擬漏水 1	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B&C→小&大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 D→塑膠集水槽→加壓馬達	小(f <sub>1</sub> )&大(f <sub>2</sub> )水 流量感測器	f <sub>1</sub> =73 f <sub>2</sub> =630
狀況 13	模擬漏水 2	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B&C→小&大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 E→塑膠集水槽→加壓馬達	小(f <sub>1</sub> )&大(f <sub>2</sub> )水 流量感測器	f <sub>1</sub> =67.2 f <sub>2</sub> =570
狀況 14	模擬漏水 3	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B&C→小&大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 F→塑膠集水槽→加壓馬達	小(f <sub>1</sub> )&大(f <sub>2</sub> )水 流量感測器	f <sub>1</sub> =66.4 f <sub>2</sub> =610
狀況 15	模擬漏水 4	加壓馬達→控制閥門 A→控制閥門 B&C→小&大水流量感測器→控制閥門 O→控制閥門 G→塑膠集水槽→加壓馬達	小(f <sub>1</sub> )&大(f <sub>2</sub> )水 流量感測器	f <sub>1</sub> =37 f <sub>2</sub> =210

(三)繪製在不同供、排水組成下，水流量感測器的輸出信號頻率曲線

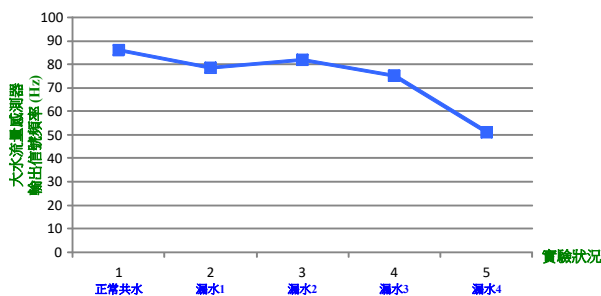


圖 21 (a)大水流量感測器對應不同供水狀況的輸出脈波頻率

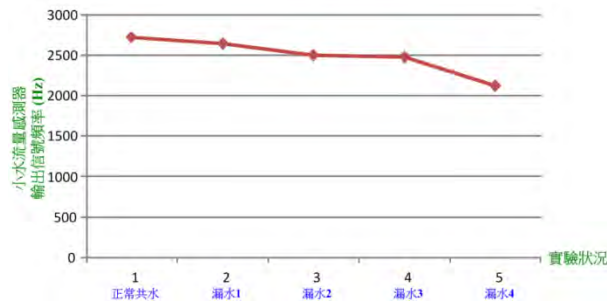


圖 21 (b)小水流量感測器對應不同供水狀況的輸出脈波頻率

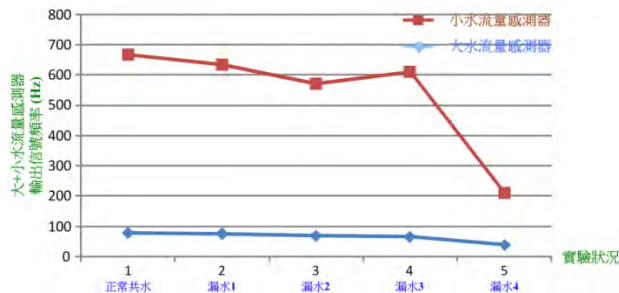


圖 21 (c)大+小水流量感測器對應不同供水狀況的輸出脈波頻率

## 二、討論

(一)在任何一種實驗用途供水狀態下，關閉閥門B且打開閥門C，表示供水管路只有串接大水流量感測器。圖21(a)指出的感測器信號輸出頻率約有30Hz的變化量，表示利用這個信號作為馬桶漏水判斷基準的話，是很可能產生漏水誤判的。

(二)在任何一種實驗供水狀態下，關閉閥門C且打開閥門B，表示表示供水管路只有串接小水流量感測器。觀察圖21(b)指出的感測器信號輸出頻率約有1000Hz變化量，表示利用這個信號作為馬桶漏水判斷基準的話，準確度是足夠的。

(三)如果供水量越少，既模擬微漏水狀況，圖21(c)指出大水流量感測器輸出脈波頻率幾乎不變，而小水流量感測器的輸出信號頻率變化範圍是很大的。

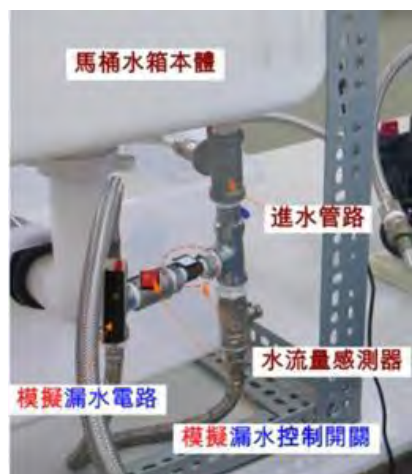


圖 22 安裝選定後的漏水感測器元件及最佳供水管路組成實體外觀照片

本作品依照圖21(c)的實驗結果，如圖22所示，在馬桶進水管路上只串接一個由小水流量感測器並聯一段管徑較小管路或水流量受控制管路，即可兼顧馬桶水箱的補水時間不致過長，又能自動感知馬桶有無發生微漏水(含)以上的故障。

## 實驗二:自製沖水開關實驗模型，選擇沖水感測器最佳組合

### (一)模仿實際馬桶沖水開關周邊機構，自製一個沖水感測器實驗模型

圖23是模仿座式馬桶沖水開關周邊機構組成而自製的沖水感測器實驗模型:






圖23 模仿一般座式馬桶沖水開關周邊機構的沖水感測器實驗模型

### (二)選擇組成沖水感測器的霍爾元件和永久磁鐵實驗樣本

- 1.選擇三種永久磁鐵作為實驗樣本:三種永久磁鐵的外觀照片如下圖所示；表3所列是這三種永久磁鐵實驗樣本的尺寸規格。

**表 3 永久磁鐵實驗樣本的尺寸規格**

磁鐵 參數	永久磁鐵:編號 1	永久磁鐵:編號 2	永久磁鐵:編號 3
厚度 (mm)	1.5	2 mm	1 mm
直徑 (mm)	12	10 mm	10 mm
外觀照片			

2. 選擇三種霍爾元件作為實驗樣本:表 4 是選定的三種霍爾元件實驗樣本的單價和靈敏度規格。

**表 4 霍爾元件實驗樣品的單價和靈敏度**

霍爾元件 參數	WSH138	WSH315	WSH136
單價 (元)	10	8	9
靈敏度 (mV/Gauss)	9	1.5	3

上面的實驗樣品選擇是依據一般實際馬桶沖水開關周邊機構的空間尺寸限制而選定的。相關實驗的控制的變因、操縱的變因和應變的變因分別規劃如下:

1.控制的變因: 霍爾元件WSH138、WSH315、WSH136等三項;

操縱的變因:沖水開關按壓的角度, 0~40度等九項;

應變的變因:沖水感測器信號腳輸出類比電壓。

2.控制的變因:永久磁鐵\_編號1、永久磁鐵\_編號2和永久磁鐵\_編號3等三項;

操縱的變因:沖水開關按壓的角度, 0~40度等九項;

應變的變因:沖水感測器信號腳輸出類比電壓。

依照(二)所規劃的不同變因實驗設計, 逐步旋轉沖水開關實驗模型的角度, 測量記錄沖水感測器(霍爾元件)信號端的輸出電壓值, 記錄結果如表5所示。

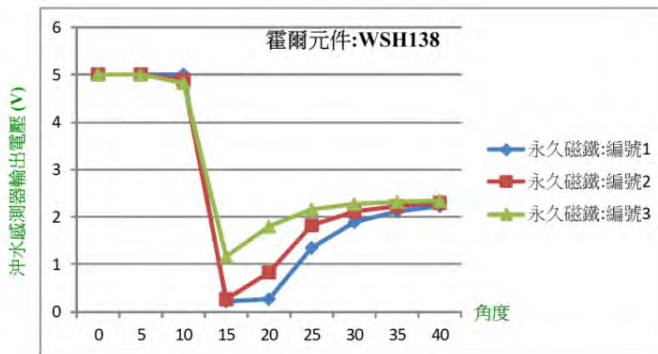
**表 5** 不同沖水開關按壓角度時，實驗記錄沖水感測器的輸出類比電壓值

磁鐵種類 \ 角度		0	5	10	15	20	25	30	35	40
WSH138	編號 1	5.00	5.00	5.00	0.23	0.27	1.35	1.90	2.11	2.23
	編號 2	5.00	5.00	4.90	0.27	0.82	1.82	2.11	2.24	2.30
	編號 3	5.00	5.00	4.83	1.16	1.79	2.17	2.28	2.31	2.36
WSH315	編號 1	5.00	5.00	1.89	2.02	2.23	2.34	2.37	2.38	2.39
	編號 2	4.95	4.94	4.72	2.09	2.17	2.30	2.35	2.37	2.38
	編號 3	4.01	3.68	2.37	2.30	2.36	2.38	2.39	2.40	2.40
WSH136	編號 1	5.00	5.00	5.00	1.16	1.90	2.22	2.30	2.34	2.38
	編號 2	5.00	5.00	1.62	1.84	2.17	2.31	2.37	2.39	2.40
	編號 3	4.97	4.65	2.50	2.22	2.32	2.38	2.40	2.40	2.40

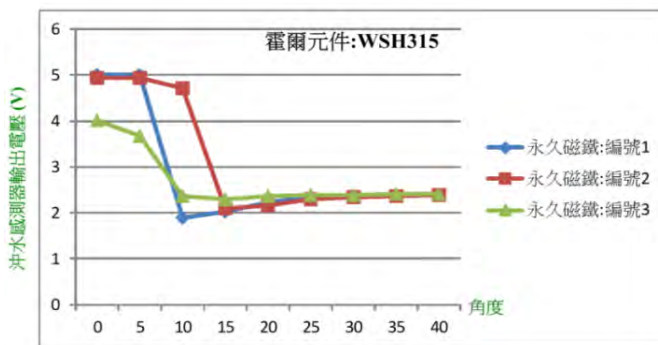
備註:霍爾元件的外加直流電源電壓為+5V

(三)繪製不同按壓沖水開關角度時，沖水感測器的輸出類比電壓曲線

根據表5所列的實驗量測數據，將同一個霍爾元件樣本對應三個不同尺寸永久磁鐵樣本的沖水感測器輸出類比電壓資料繪製成如下圖24(a)~ 圖24(c)三個曲線圖:



**圖 24 (a)** WSH138 霍爾元件對應不同永久磁鐵的輸出類比電壓



**圖 24 (b)** WSH315 霍爾元件對應不同永久磁鐵的輸出類比電壓

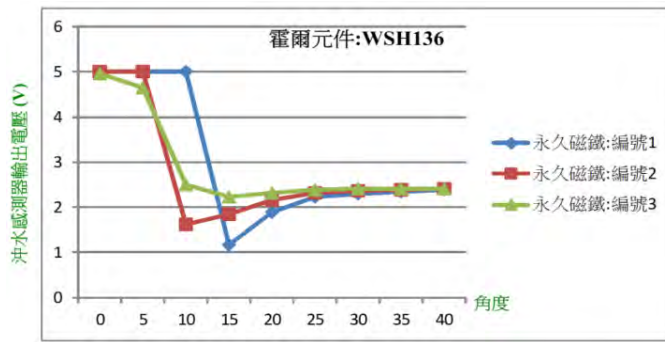


圖 24 (c) WSH136 霍爾元件對應不同永久磁鐵的輸出類比電壓

## 二、討論

(一)當沖水開關在0~10度轉動:圖24(a)指出設定以WSH138作為霍爾元件，三條曲線在這個區間都幾乎保持在+5V左右；對照圖24(b)和圖24(c)沖水感測器組合在此角度區間的輸出電壓出現了大幅度變化。由此推論，在此角度區間以WSH138組成的沖水感測器性能表現是優於其他兩個霍爾元件的。

(二)當沖水開關在10~25度轉動:WSH136和WSH315組成的沖水感測器的表現是很相似的，分別如圖24(b)和圖24(c)所示，在低電壓位置的輸出電壓都還在+1V以上。由此推論，在此角度區間利用WSH136和WSH315組成的沖水感測器表現是容易被混淆的或造成誤動作的。

(三)當沖水開關在25~40度轉動:圖24(a)~ 圖24(c)中的三條曲線表現是相當一致的，都是接近+2.5V。

綜合(一)~(三)點的討論，同時考慮性能、元件成本和體積尺寸等因素，本組選擇以WSH138霍爾元件搭配編號2永久磁鐵作為本作品的沖水感測器組合。

### 實驗三:探討水流量感測器輸出脈波頻率與漏水種類的關係及其應用

透過調整本作品實體雛型上負責模擬漏水種類的凡而開關開口大小(註:由於比賽現場規定展示作品不得包含水，所以暫時改用模擬控制開關控制模擬漏水電路取代，且漏水大小亦可由模擬漏水電路上的可變電阻調整)，就可輕易模擬馬桶發生小、中、大型的漏水故障狀況。

#### (一)測量水流量感測器的輸入水流量多寡與元件信號端輸出脈波頻率的關係

在整合之後的馬桶機構與電子控制電路實體雛型上模擬產生小、中、大型漏水故障種類，再配合利用數位示波器測量水流量感測器在不同馬桶漏水故障下的信號端輸出脈波頻率變化情形(註:這一作品功能暫時由模擬漏水電路上的可變電阻取代)，如圖25所示。

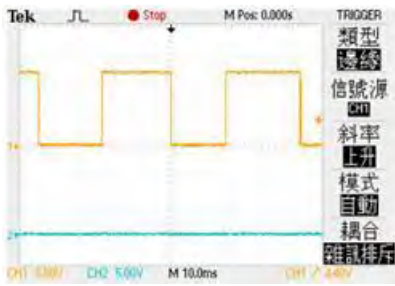


圖 25 (a)小漏水

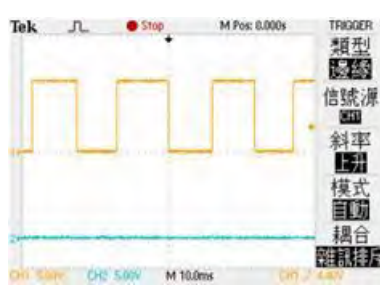


圖 25 (b)中漏水

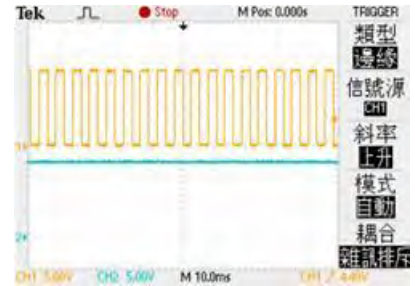


圖 25 (c)大漏水

## (二)在馬桶自動漏水檢測功能應用

當實體雛型無漏水但工作在水箱補水階段，水流量感測器雖有輸出脈波，數位示波器的通道2、通道3的工作狀態指示燈全熄，圖26(a)所示。當實體雛型工作在漏水檢測階段，水流量感測器信號端有輸出脈波，表示實體雛型已經發生漏水了，如圖26(b)所示，所以在數位示波器通道2、通道3的電壓都低準位轉為高準位，兩個工作狀態指示燈轉變為全亮。

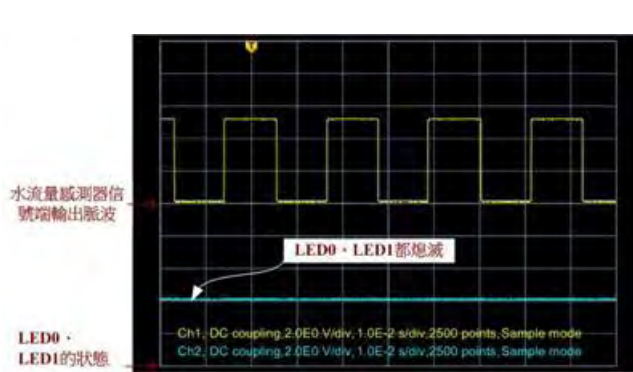


圖26 (a)漏水檢測(無漏水)

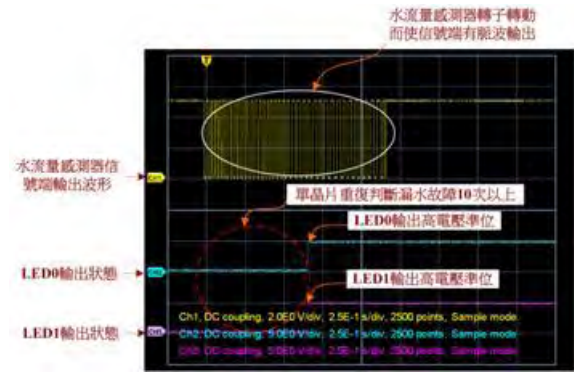


圖26 (b)發生漏水

## 二、討論

(一)水流量感測器信號端輸出脈波頻率值恆與單位時間流經水流量感測器的總水量是成正比例的。

(二)本實驗即在證實每當使用者對馬桶沖廁後，假如裝置端單晶片軟體工作階段是工作在漏水檢測階段，一旦水流量感測器信號端有輸出脈波，就表示馬桶實體雛型確實已經發生漏水故障(包括微漏水(含)以上的故障)。

### 實驗四: 探討單晶片工作內容、流程和工作狀態指示燈顯示組合

裝置端控制電路在重置過後，單晶片軟體程式就會回到水箱補水階段重新執行。觀察單晶片的程式是否按圖15的工作流程圖執行；同時以目視觀察兩個工作狀態指示燈LED0、LED1



顯示狀態組合和順序是否與表1內容與順序相符合。

(一)對馬桶進行沖廁動作，單晶片會被重置而程式強制重新回到水箱補水階段執行，且重新計時工作60秒，工作狀態指示燈LED0、LED1輪流亮，實體雛型動作與工作狀態指示燈顯示組合在這個階段的動作兩者是相符的。

(二)對照裝置端單晶片依序工作在第二和第三階段時，目視觀察工作狀態指示燈LED0、LED1的顯示組合和順序都與表1所列顯示組合是吻合的。

## 二、討論

(一)單晶片執行水箱補水階段和工作狀態轉換階段是不對馬桶進行漏水偵測的，換言之，在這兩個工作階段，對於水流量感測器信號端輸出脈波，實體雛型內的單晶片是不予理會的。

(二)透過在馬桶實體雛型上模擬發生微漏水(含)以上的故障，再以目視方式觀察裝置端工作狀態指示燈 LED0、LED1 顯示都全亮，表示裝置端電子控制電路內的單晶片是可以在漏水檢測階段感測到馬桶實體雛型已經發生漏水的事實。

(三) 裝置端控制電路上的兩個工作狀態指示燈的顯示組合與順序確實與馬桶實體雛型動作是互相對應的。

## 實驗五:探討利用對馬桶沖廁動作同時重置單晶片的必要性和作法

### (一)利用對馬桶沖廁同時重置單晶片的必要性

1.如圖 27(a)顯示的通道 1 波形所示，在馬桶實體雛型沖廁之後，漏水或水流量感測器因為供水源對馬桶水箱進行補水，導致漏水感測器的信號端會有脈波輸出，但實際上馬桶實體雛型是正常的，並無漏水故障發生。

2.如圖 27(b)顯示的通道 1 波形所示，當單晶片進入漏水檢測階段，如果這時馬桶實體雛型確實有漏水故障，如圖 27(b)顯示的通道 2 波形所示，輸出代表馬桶漏水的訊息。

3.按照馬桶實體雛型的設計，無論馬桶是因為沖廁而必須補水或者因馬桶漏水導致供水源必須對馬桶供水，兩者狀況都會導致水流量(漏水)感測器信號端輸出脈波。所以馬桶實體雛型必須設計一種方法區分水流量(漏水)感測器信號端輸出脈波是在何種原因下產生的，否則馬桶實體雛型可能會因此造成誤判的。

### (二)利用對馬桶沖廁同時重置單晶片的具體作法

- 1.在馬桶實體雛型的沖水開關位置附近裝置另外一個沖水感測器。
- 2.當使用者為了沖廁而按壓馬桶沖水開關，沖水感測器會同時被激發而輸出一個高準位電壓，如圖 27(b)的通道 1 波形所示。馬桶實體型既利用此一沖水感測器輸出的高準位電壓重置單晶片重新回到水箱補水階段執行，如圖 27(b)的通道 2 的水流量感測器信號端輸出波形。
- 3.為了提高抗干擾能力，沖水感測器信號端輸出電壓與參考電壓會先利用硬體比較器進行比較，若比較器輸出高電壓邏輯準位，此時這個高電壓邏輯準位被用來中斷單晶片，要求單晶片程式重新回到水箱補水階段執行。

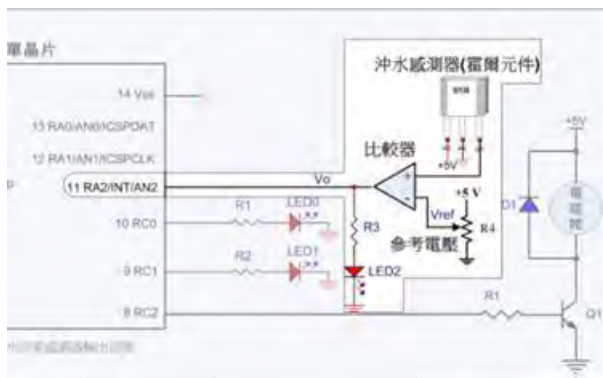


圖 27 (a)沖水感測器設計概念圖

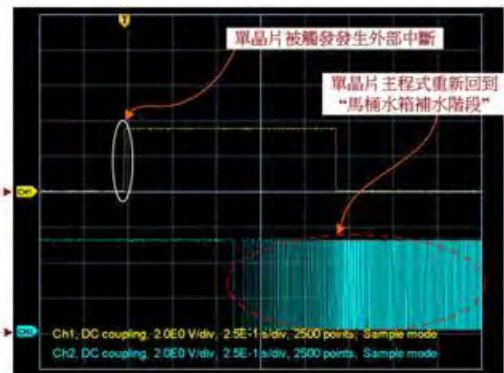


圖 27 (b)單晶片程式回到水箱補水階段執行

## 二、討論

當單晶片軟體執行漏水檢測階段，假如馬桶因不同等級的漏水故障而導致水箱需由供給水源經進水管路進行補水，恰好單晶片此時會開始讀取水流量感測器的信號端輸出，藉以判定馬桶實體雛型是否已經發生漏水故障。但是前題是馬桶的機構和裝置端單晶片的軟體程式動作必須是先經過“同步”或重置之初始化處理，否則上述馬桶被判定已經發生漏水就很可能只是一種“誤判”的結果而已。


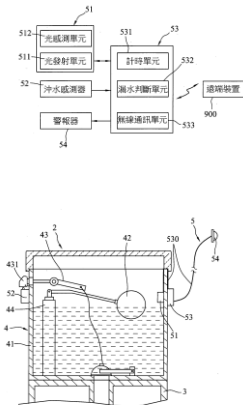
### 實驗六:探討傳統馬桶漏水檢測的缺點和本作品漏水檢測原理與作法

#### (一)傳統馬桶漏水檢測方法的缺點

茲將常用的傳統馬桶漏水檢測方法和優缺點簡單說明比較如表 6 所示:

表 6 傳統馬桶漏水檢測方法工作原理、優點和缺點比較

項目	檢測馬桶漏水方法	說明	圖示	優缺點

1	在水箱中加入數滴鮮艷試劑	<p><b>步驟 1:</b>在水箱內滴入數滴鮮艷試劑；</p> <p><b>步驟 2:</b>等待數分鐘；</p> <p><b>步驟 3:</b>目視馬桶內的水顏色是否與步驟 1 滴入之鮮艷試劑相同；若是，水箱漏水。</p>		<p><b>缺點:</b></p> <p>(1)需要靠人目視觀察；</p> <p>(2)無法及時獲悉漏水與否；</p> <p><b>優點:</b></p> <p>成本低</p>
2	人靠近馬桶用眼睛看和耳朵聽，判斷馬桶有無漏水	<p><b>步驟 1:</b>人靠近馬桶；</p> <p><b>步驟 2:</b>用耳朵聽和眼睛看是否有漏水或漏水聲。</p>		<p><b>缺點:</b></p> <p>(1)需要人就近「聽」和「看」；</p> <p>(2)無法及時獲悉有無漏水；</p> <p>(3)微漏水級別無法察覺；</p> <p>(4)易發生人為誤判；</p> <p><b>優點:</b></p> <p>無需設備或材料</p>
3	使用儀器「聽」，測試馬桶是否發生因漏水而有流水聲	<p><b>步驟 1:</b>利用沖水聲觸動偵測儀器起動；</p> <p><b>步驟 2:</b>偵測時間結束前，若儀器偵測到馬桶發生漏水，則輸出漏水信號，並觸發產生警報聲響。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 1</p>	<p><b>缺點:</b></p> <p>(1)儀器成本高；</p> <p>(2)微漏水級別無法偵測；</p> <p><b>優點:</b></p> <p>測試數據比較客觀</p>
4	使用光感測元件偵測水箱浮球位置	<p><b>步驟 1:</b>在水箱裝置光感測器，偵測浮球位置；</p> <p><b>步驟 2:</b>光感測器配合沖水開關觸發啟動控制器開始計時與偵測；</p> <p><b>步驟 3:</b>計時時間到前，未收到浮球回授訊號，表示馬桶已經漏水。</p>		<p><b>缺點:</b></p> <p>(1)光感測器成本高；</p> <p>(2)微漏水級別無法偵測到；</p> <p><b>優點:</b></p> <p>測試數據比較客觀</p>

## (二)馬桶漏水檢測的原理與做法

針對傳統馬桶漏水檢測方法普遍存在耗時費力、功能不足、或檢測設備昂貴等問題。本組同學透過廣泛搜尋網路和國內、外的相關雜誌書籍大量收集各種相關資料，並多次主動尋求指導老師提供專業上技術協助與作品製作意見指導。最後設計規劃了包括馬桶漏水自動檢測和智慧警示功能的新型馬桶漏水檢測裝置，其完成實體雛型的外觀照片如圖 19 所示。

## 二、討論

單晶片進入漏水檢測階段開始執行，之後，馬桶實體雛型會有下列三個可能動作：

(一)無馬桶漏水故障，單晶片程式持續執行漏水檢測階段；

(二)使用者按下沖水開關沖廁，重置單晶片程式回到水箱補水階段執行；

(三)馬桶發生漏水，導致水流量(漏水)感測器信號端輸出脈波觸發通知單晶片，單晶片開始關閉電磁閥和執行一系列的智慧警示動作。

### 實驗七:探討在馬桶漏水時，本作品通知“室內”住戶人員的作法

(一)如圖 28 所示，本作品藉由裝置端的單晶片串列埠接腳連接一片藍牙模組。

(二)預先完成裝置端電子控制電路(盒)內的藍牙模組要與本地端(室內)或顯示端的智慧行動手機的配對和連線動作，建立藍牙無線資料傳輸界面。



圖28 (a)包含藍牙模組之裝置端設計概念圖



圖28 (b)完成後裝置端控制電路外觀照片

(三)本地端智慧行動手機規劃顯示連線狀態、接收資料、是否發生漏水故障、漏水故障時的特定圖案和錄製特定音響等資料。

(四)在實體雛型上模擬發生漏水故障，觀察顯示端智慧行動手機畫面是否如下圖29畫面。



圖 29 漏水故障時，顯示端智慧手機螢幕顯示的警示畫面

## 二、討論

(一)大部份住宅，馬桶所在空間與一般居家活動空間通常是不同的，所以本作品裝置端控制電路通常必須就近安裝在馬桶附近，以便縮短線路配線。

(二)馬桶一旦發生漏水，裝置端控制電路會即刻透過藍牙無線資料傳輸界面將馬桶漏水故障訊息傳送給顯示端智慧行動手機。

(三)顯示端智慧行動手機可以根據個人喜好設計以特定圖案(適用於聽障)或和特定音響(適用於視障)對不同室內住戶人員提供通知與警示的目的。

### 實驗八:探討在馬桶漏水時，本作品通知“室外”住戶人員的作法

(一)在室內本地端或顯示端的智慧行動手機的應用程式(App)設計如圖 30(a)所示的人機操作界面；人機操作界面下方位置設計了兩個“文字框”供使用者隨時編輯設定馬桶漏水發生時，以簡訊連絡的對象電話與連絡資料內容。

(二)在本作品實體雛型上調整凡而開關大小模擬馬桶發生漏水，導致進水管路上的水流量感測器有脈波輸出。

(三)以目視觀察遠端(室外)住戶人的智慧行動手機螢幕上是否出現室內顯示端智慧行動手機預先編輯的簡訊內容或如圖 30(b)所示的簡訊訊息螢幕畫面。



圖 30 (a)室內智慧手機 1 螢幕規劃

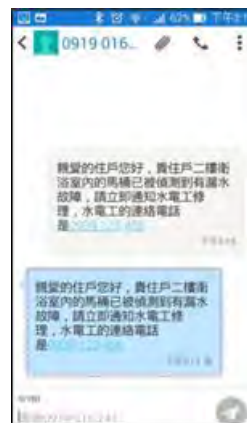


圖 30 (b)收到簡訊後的智慧手機 2 畫面

## 二、討論

(一)模擬本作品實體雛型發生馬桶漏水故障，裝置端電子控制電路(盒)上的兩個工作狀態指示燈全亮，顯示端智慧行動手機螢幕也顯示特定圖案與特定聲響。

(二)需要預先在顯示端智慧行動手機螢幕人界面上編輯好簡訊傳送對象的電話號碼和連絡資料內容，當漏水故障發生時，在第一時間即可透過電信公司的基地台與電信網路利用簡訊方式間接轉傳通知在室外的住戶人員。

(三)實驗證實在馬桶發生漏水時，本作品確實可立即以簡訊通知到室外人員。

## 陸、結論

綜合以上的實驗，本研究可以得到以下的結論:

- 一、本研究各挑選三個霍爾元件樣本和三個永久磁鐵作為實驗樣本。在自製沖水開關實驗模型在 0~40 度範圍轉動，以便實驗不同沖水感測器組合。因為 WSH138 霍爾元件具有 9 mV/Gauss 的高靈敏度與編號 2 永久磁鐵較薄厚度尺寸，所以這兩個元件的組合被選為本作品的沖水感測器組成元件。
- 二、選擇五種不同馬桶供排水狀況搭配三種不同漏水感測器組成 15 種不同的馬桶供排水組合。然後在自製供排水管路實驗模型上進行實驗。結果以小水流量感測器並接一段管徑可變的管路擔任馬桶供水管路組成和漏水感測器可以分辨出馬桶是否發生漏水狀況。
- 三、本作品一旦感測到馬桶發生漏水，電子控制電路內的單晶片立即命令串接在進水管路上的電磁閥關閉，停止繼續供水，此作法可有效避免水源浪費。
- 四、建立一套實驗室等級的作品實體雛型，透過對實體雛型進行實驗量測與數據記錄，再進行相關數據的定量和定性分析，最後可確定本作品實體雛型的功能與作法是可行的。
- 五、實驗結果的數據顯示本作品的作法確實可以完全克服傳統馬桶漏水檢測方法費時費力、功能不足和量測儀器昂貴的缺點，且滿足馬桶自動漏水檢測和智慧警示功能的設計目標。

## 柒、參考資料

- [1] 節約用水季刊第 24 期，“節約用水隱形殺手—馬桶漏水”。
- [2] 建築設備之節水方法，日本理工圖書(1995)。
- [3] 「國中自然與生活科技 2 上」，新北市：康軒文教事業，106 年 9 月再版，pp.218-219。
- [4] 工研院節水/王先登、王今方、林金梓、吳明鴻，省水器材協會/盛元禮，各級學校馬桶漏水實測調查分析，民國 91 年。

- [5] 台灣省自來水公司， <http://www.water.gov.tw>。
- [6] 台北自來水事業處， <http://www.water.gov.taipei>。
- [7] 邵立富， “馬桶變芯節水省心，”大眾商務， 2007 年 07 期， pp. 23-23。
- [8] 鐘一先，楊心淵， “生活科技教學活動之設計—省水馬桶，”生活科技教育， 第 31 卷， 第 7 期， 1998， pp. 25-30。
- [9] 張廣智，李俊德， “台灣地區節約用水推動之成效與展望，”第 12 屆海峽兩岸水利科技交流研討會， 2011 年 5 月， pp. 149-157。
- [10] 單晶片 PIC16F1823 資料手冊，<http://www.microchip.com/>.
- [11] 陳昭雄等編著，國中工藝第四冊，台北: 康和，頁 62-69，民國 80 年。
- [12] 經濟部水資源局，惜水、愛水、節水手冊。
- [13] App Inventor 官方網頁， <http://appinventor.mit.edu>.
- [14] HC-06 模組產品規格書，2011 年 12 月 5 日，<http://www.wavesen.com>.
- [15] 蔡宜坦 著，超圖解 App Inventor 2 手機程式設計教本，旗標出版股份有限公司，台北市， 2014 年 7 月出版。
- [16] 運算放大器 LM324 IC 資料手冊，  
<https://www.onsemi.cn/PowerSolutions/document/LM324>.
- [17] 霍爾元件 WSH138 IC 資料手冊，<http://www.winson.com.tw/Data%20Sheet/WSH138.pdf>.
- [18] 霍爾元件 WSH315 IC 資料手冊，<http://www.winson.com.tw/Data%20Sheet/WSH315.pdf>.
- [19] 霍爾元件 WSH136 IC 資料手冊，<http://www.winson.com.tw/Data%20Sheet/WSH136.pdf>

## 【評語】 032806

1. 該作品以節省水資源為出發點，將生活中較不容易發現之漏水問題透過設計裝置以無線方式告知民眾，有其發展之實用性。
2. 系統以單晶片作為漏水檢測核心平台，根據馬桶不同的排水狀態，進行 15 種漏水狀態偵測，整體考慮相當細緻。
3. 所使用的各類感應器與電路設計相當不容易，對參賽者學習成長有幫助。



記得有一年夏天接近中午時分，媽媽從郵差先生手中收到從自來水公司寄來的自來水費帳單，媽媽驚叫說：「怎麼要那麼多錢啊！」，全家人都被這突如其來的驚叫聲嚇了一大跳？事後經過我進一步了解之後，才知道原來是最近一期的自來水費特別高。後來，經水電師父檢查後確認是家裡有**馬桶出現漏水故障因而造成家裡水費暴增**。

由於國內水資源的開發不易，政府才在全國各地積極推動省水器材的汰舊換新工作，例如將馬桶改採兩段式沖水。但若將馬桶換裝成為**兩段式沖水器**就僅止於**使用馬桶時才會產生省水效果**。而**一般馬桶漏水**現象確是使用者**無論使用馬桶與否都是不會間斷的**，每日累積的漏水量與馬桶換裝成兩段式沖水器的總省水量相比，是有過之而無不及的。

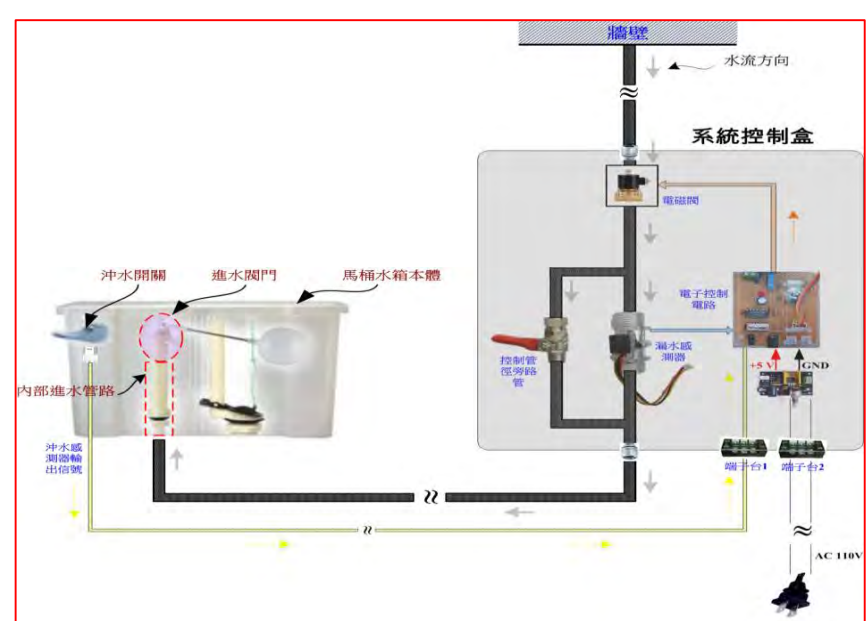
台北自來水事業處也統計過，在**台北市每5座家庭馬桶就約有1座漏水**，由此資料即可推算出**一般家庭馬桶每年的總漏水量就高達一億噸之多**，相當於半個石門水庫的蓄水量。

單據號碼	1503170830	Subtotal Water Fee	◎水費項目小計金額	\$445元
代繳金融序號	郵局存簿儲金	基本費	71.40元	
代繳帳號	*****651	用水費	373.60元	
用水種別	普通用水			
工作區	1363			
水表口徑	20			
本期繳費起始日	106/03/01			
下期繳費起始日	106/05/01			
本期抄表日期	106/02/13			1度=1000公升(1立方公尺)
下期抄表日期	106/04/12			

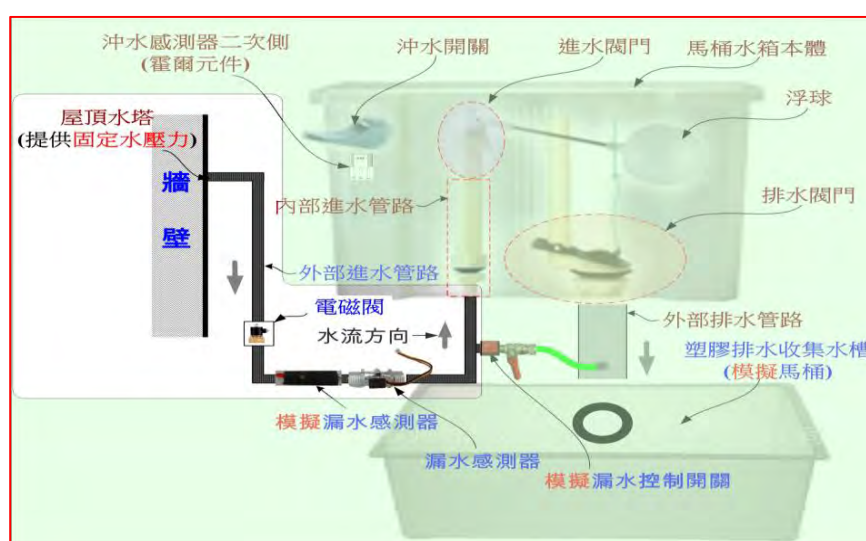
用水量級別	基本費	使用水量及累進單價				
水量及水價	-	一	二	三	四	五
用水量(立方公尺)	照下表計算	1~20	21~60	61~200	201~1,000	1,001以上
每立方公尺單價(元)		5.0	6.7	8.5	14.0	20.0
累進差額(元)		-	34.0	142.0	1,242.0	7,242.0

## 貳、研究目的

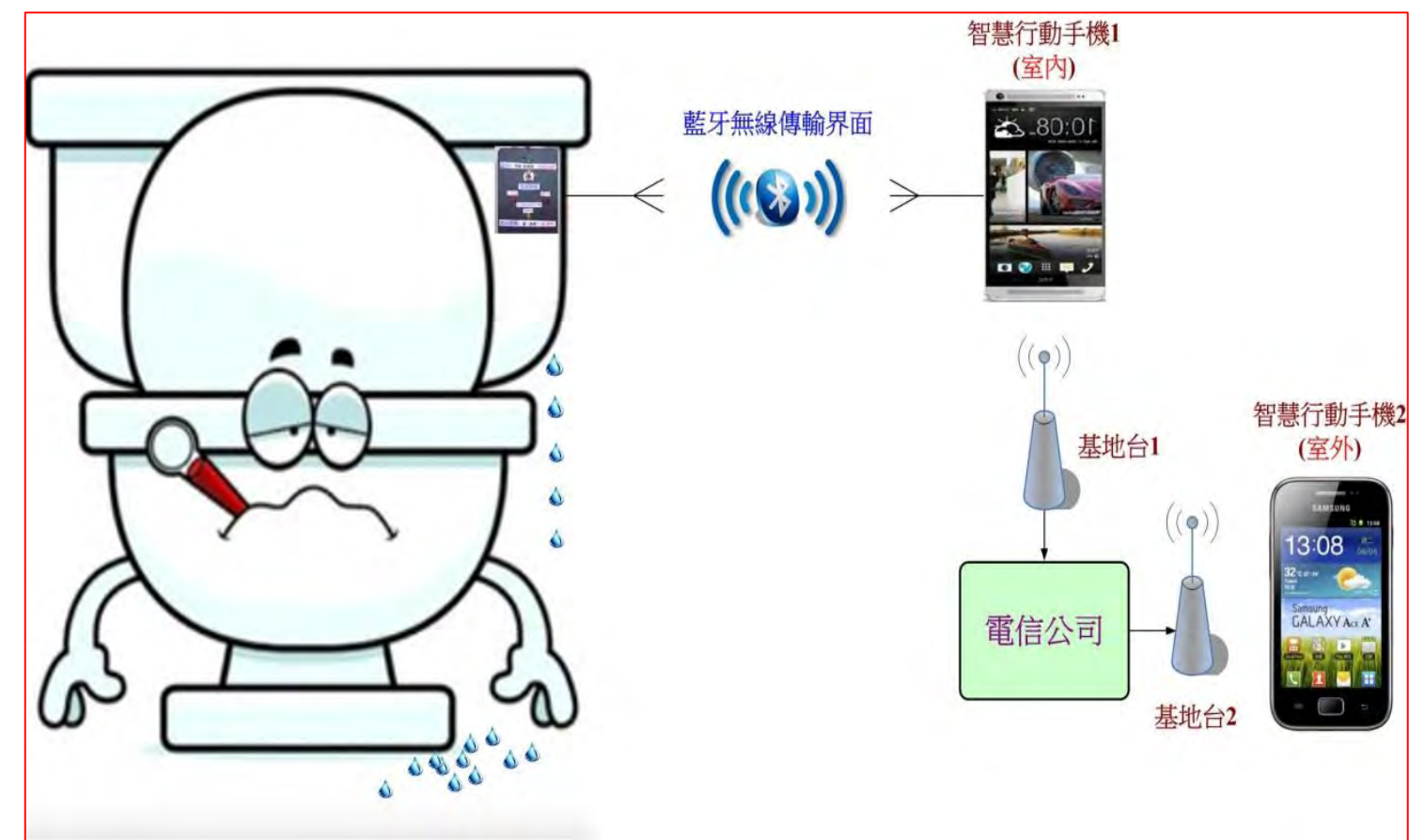
本研究旨在建立包含**自動漏水檢測與智慧警示功能**的。模仿實際馬桶機構組成，自製馬桶供水管路和沖水開關周邊機構實驗模型，透過實驗量測與數據收集、分析過程，最後選定本作品供水管路組成、漏水感測器和沖水感測器。當待測馬桶發生漏水時，檢測電路內的單晶片會先**關閉裝置在進水管路上的電磁閥**，停止供水；再透過**藍牙無線界面與簡訊**分別通知在**室內和室外的相關人員**，解決傳統馬桶漏水檢測方法**費時費力、功能不足、量測儀器昂貴**的問題。



原馬桶機構與本作品兩者關係的示意圖



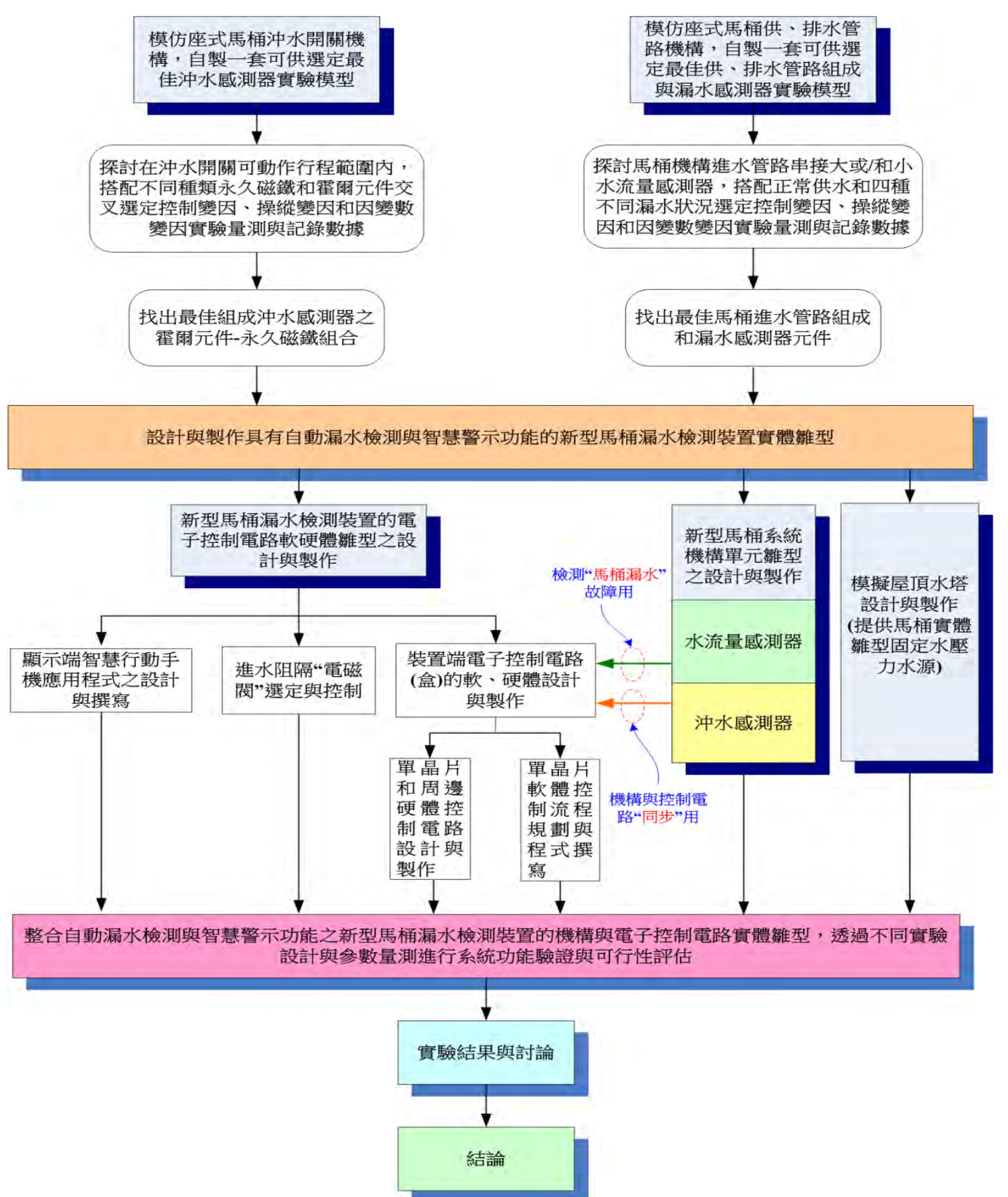
供水管路、電磁閥和實際與模擬漏水感測器在本作品實體模型的裝設位置安排



新型馬桶漏水自動檢測與智慧警示裝置的組成概念圖

## 參、研究過程與方法

### 一、研究流程與架構

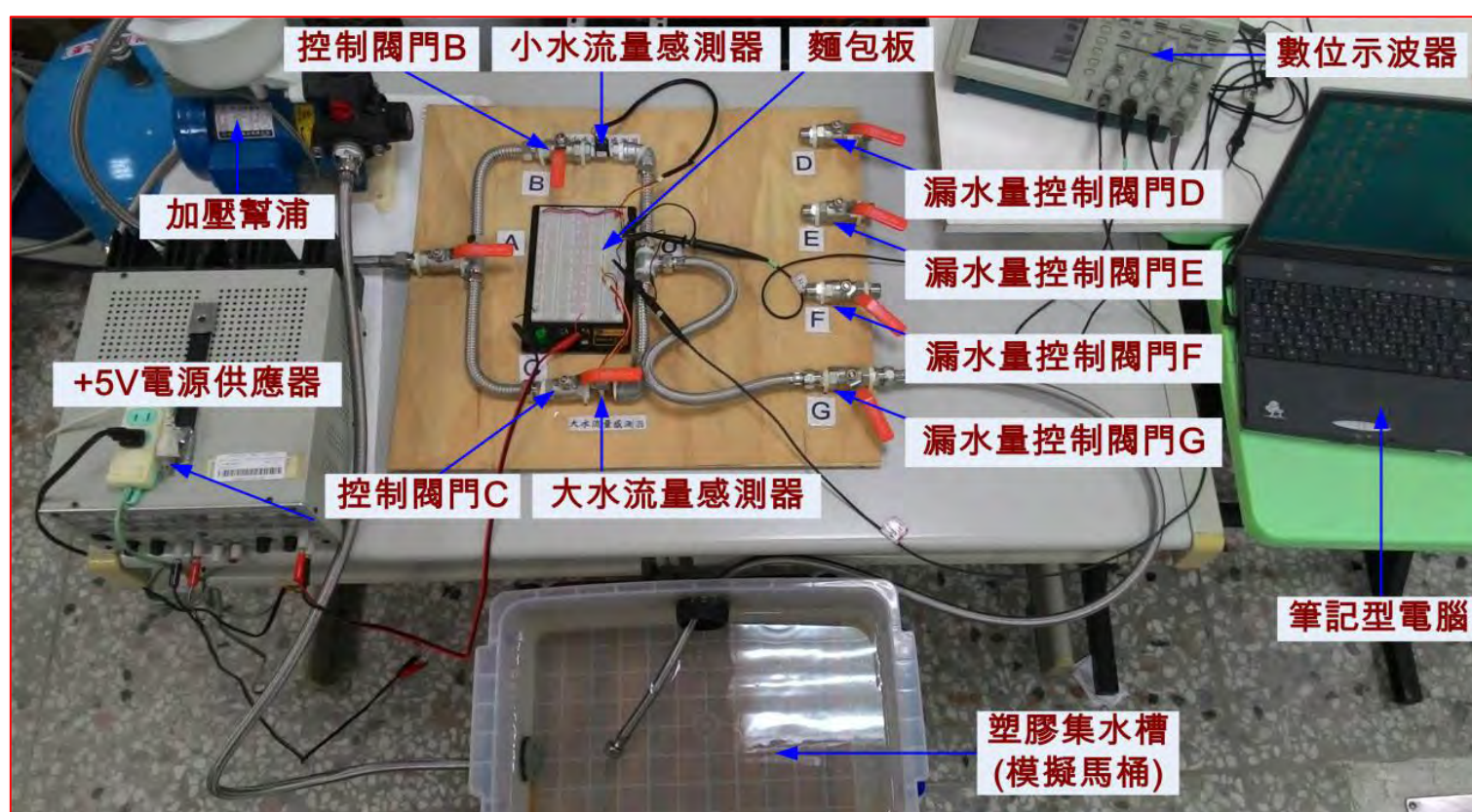


### 二、自製馬桶供、排水管路機構的實驗模型

為了設計出**最佳適合本作品之供、排水管路組成和漏水感測器元件**，本組模仿一般座式馬桶之供水管路機構，自製一套馬桶供、排水管路實驗模型，從製作材料準備到完成實驗模型製作的過程如下：



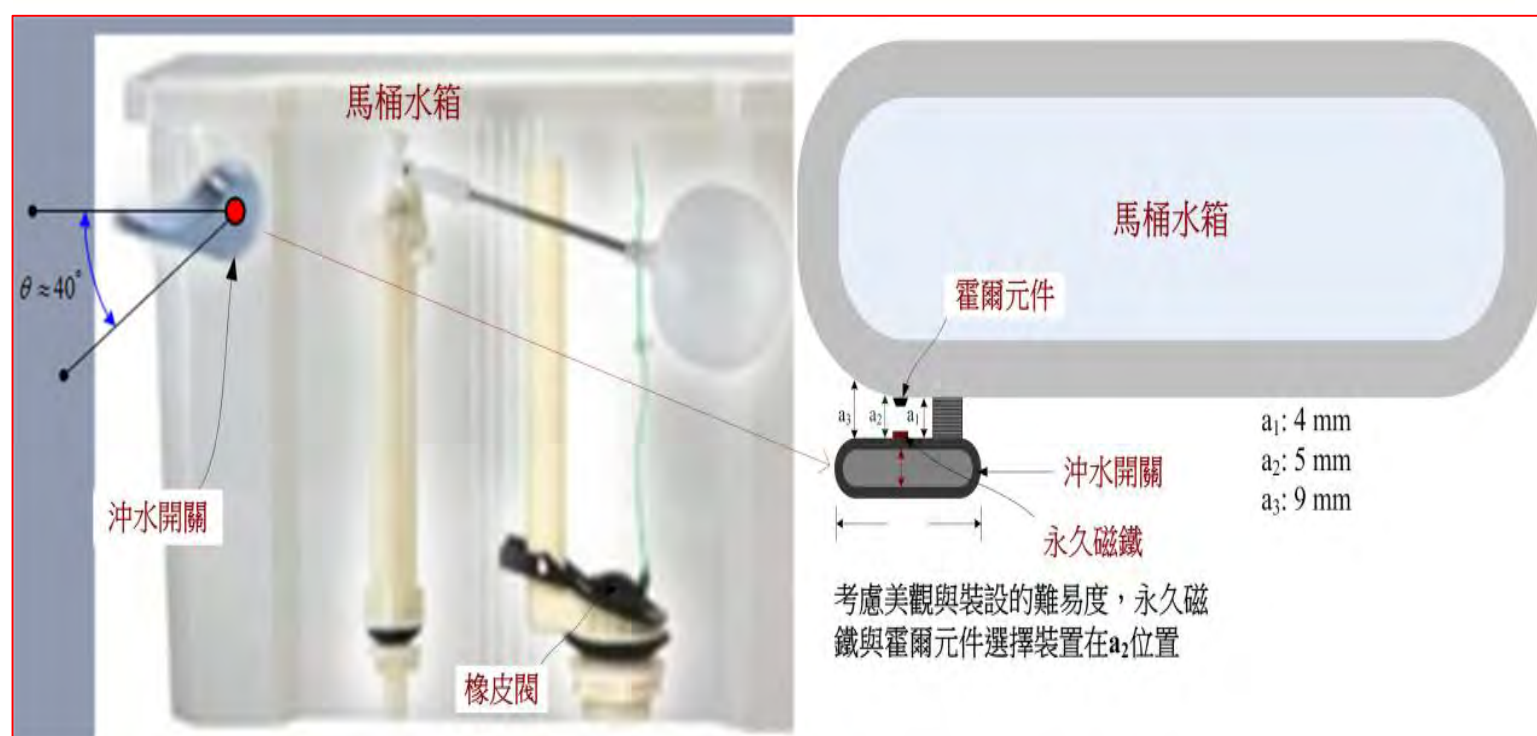
自製馬桶供、排水管路機構實驗模型的製作過程



完成後的馬桶供、排水管路機構實驗模型實體外觀照片

### 三、自製沖水開關和其周邊機構的實驗模型

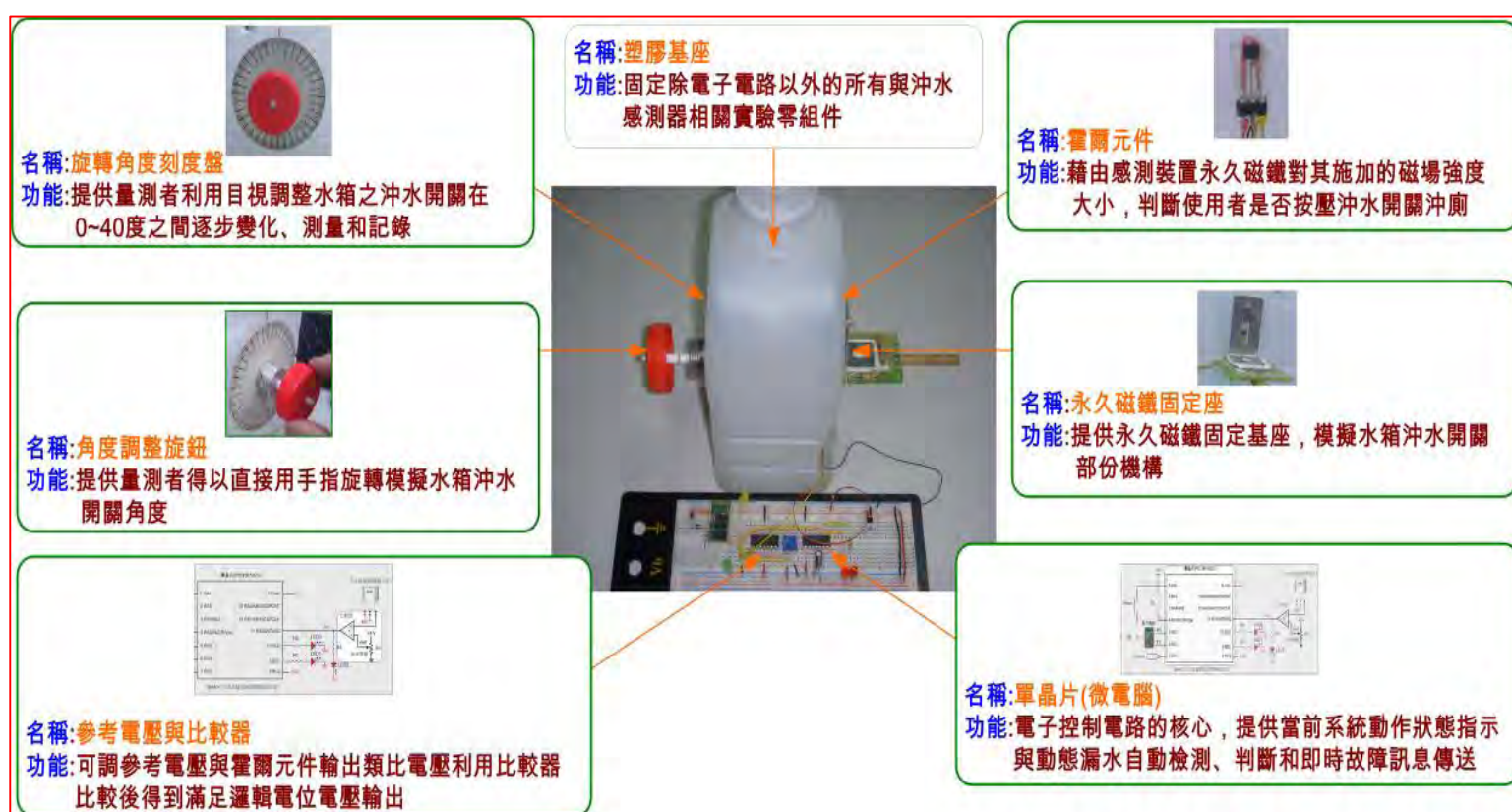
為了選擇適合的霍爾元件-永久磁鐵對組成本作品的**沖水感測器**，本組模仿一般馬桶水箱與沖水開關周邊機構組成，自製一套馬桶沖水感測器實驗模型。



馬桶水箱本體、沖水開關和沖水感測器之間的幾何配置示意圖



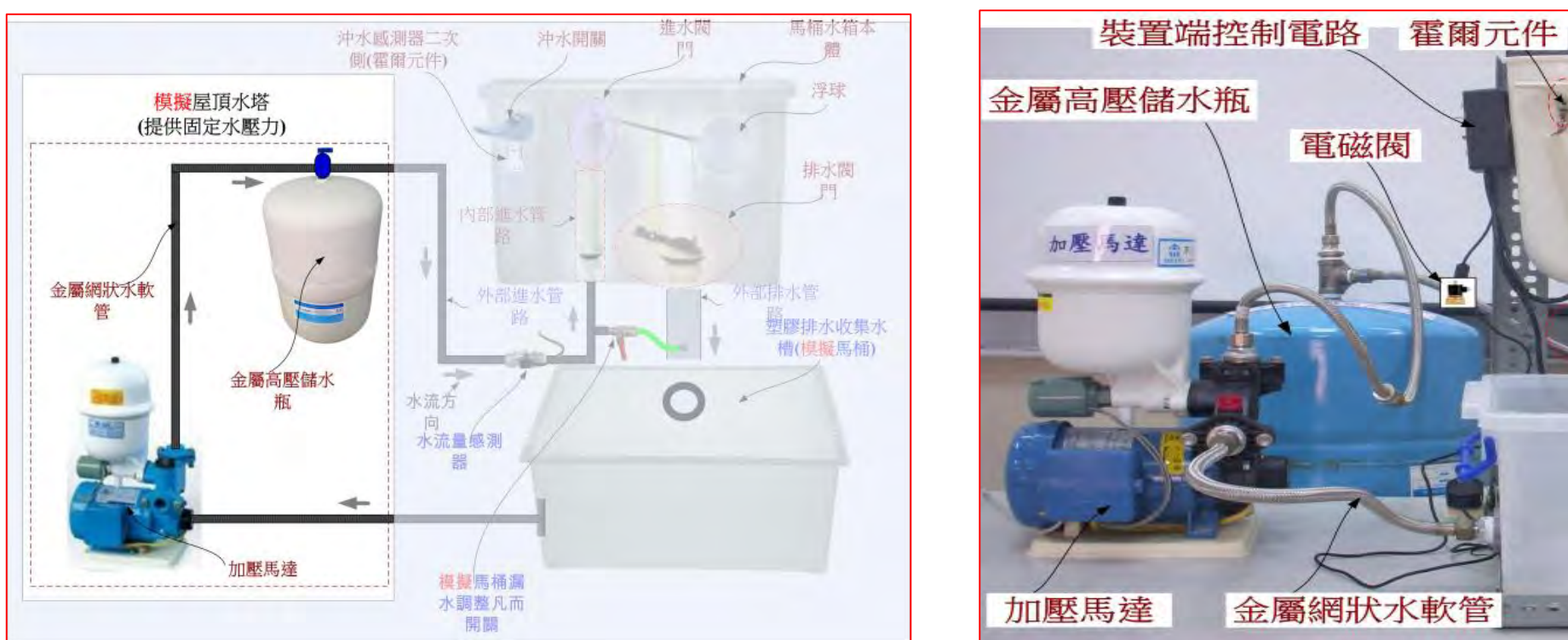
馬桶水箱沖水開關及其周邊機構的實驗模型製作過程



自製沖水開關周邊機構的實驗模型的製作過程

#### 四、自製可提供固定水壓力之模擬屋頂水塔

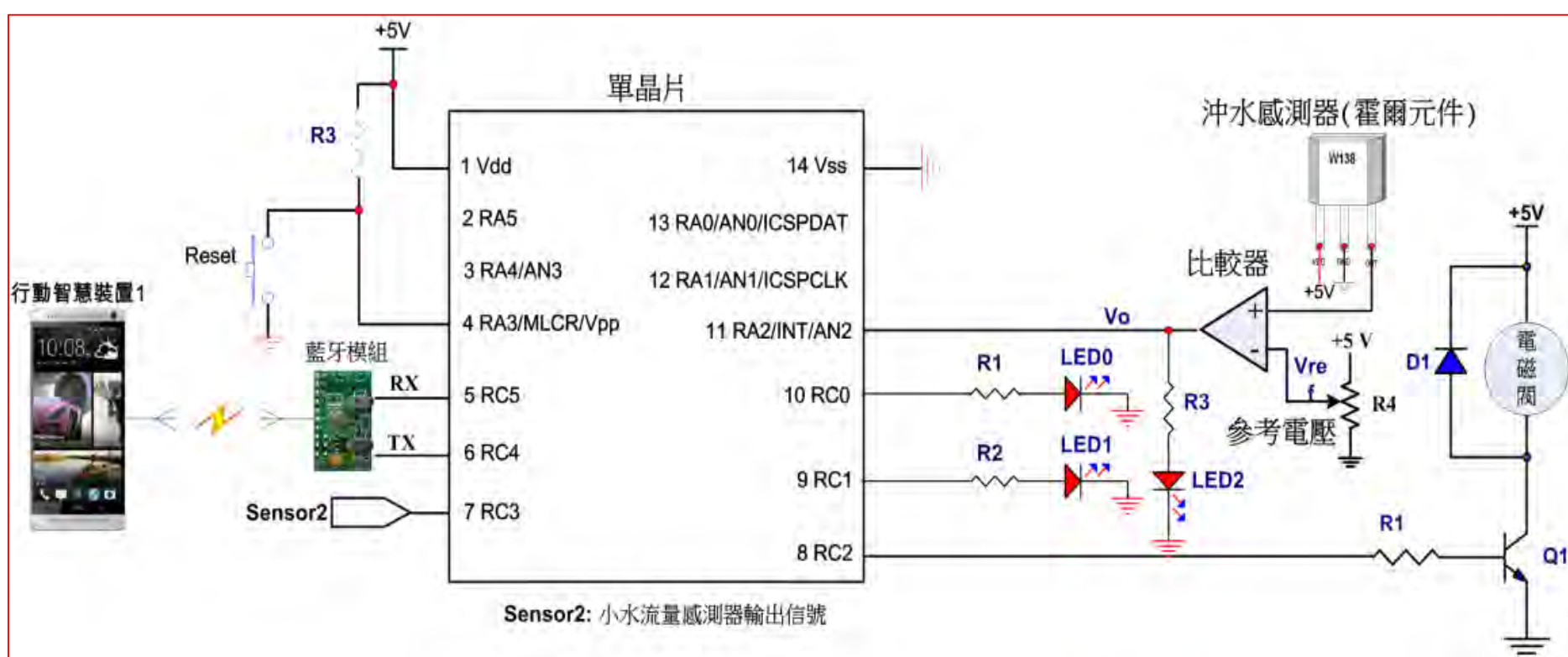
利用基本物理學定理，**水壓力(P)=水高度(h) \* 水密度(d)**，即可簡單計算出一般住宅屋頂儲水塔內的儲水對住宅各樓層的用水器具所形成的**水壓力(P)**是會隨儲水桶裝設位置到各樓層用水器具之間的**垂直高度成正比變化**。



可提供固定水壓力之模擬屋頂水塔的設計概念圖及完成後的實體雛型外觀照片

#### 五、設計和製作裝置端電子控制電路(盒)的硬體電路部份

本作品包含一組電子控制電路，若依電子控制電路裝設位置的不同，又可再細分為**裝置端控制電路**和**顯示端控制電路**。裝置端控制電路的硬體電路是以一顆14支接腳的單晶片為核心發展而成的，負責**馬桶漏水檢測**、**工作狀態顯示**和**故障時命令電磁閥關閉與無線故障訊息傳送**。



裝置端電子控制電路的設計概念圖



裝置端電子控制電路實體雛型的製作過程

#### 藍牙模組工作狀態指示燈：

- 指示外加電源是否正常
- 指示藍牙模組與智慧手機的連線狀態
  - 藍牙模組與智慧手機尚未連線  
綠色燈持續閃爍；
  - 藍牙模組與智慧手機連線  
綠色燈恆亮；

#### 沖水開關：

- LED2亮，按下沖水開關
- LED2熄，未按沖水開關

#### 電源開關：

- 往“上”切，打開電源
- 往“下”切，關閉電源

#### 單晶片工作狀態指示燈：

- 水箱補水階段  
LED0熄、LED1閃爍
- 工作狀態轉換階段  
LED0、LED1同亮同熄5次
- 漏水檢測階段  
LED0、LED1恆亮  
(馬桶已經發生漏水故障)  
LED0、LED1恆熄  
(持續檢測漏水故障)

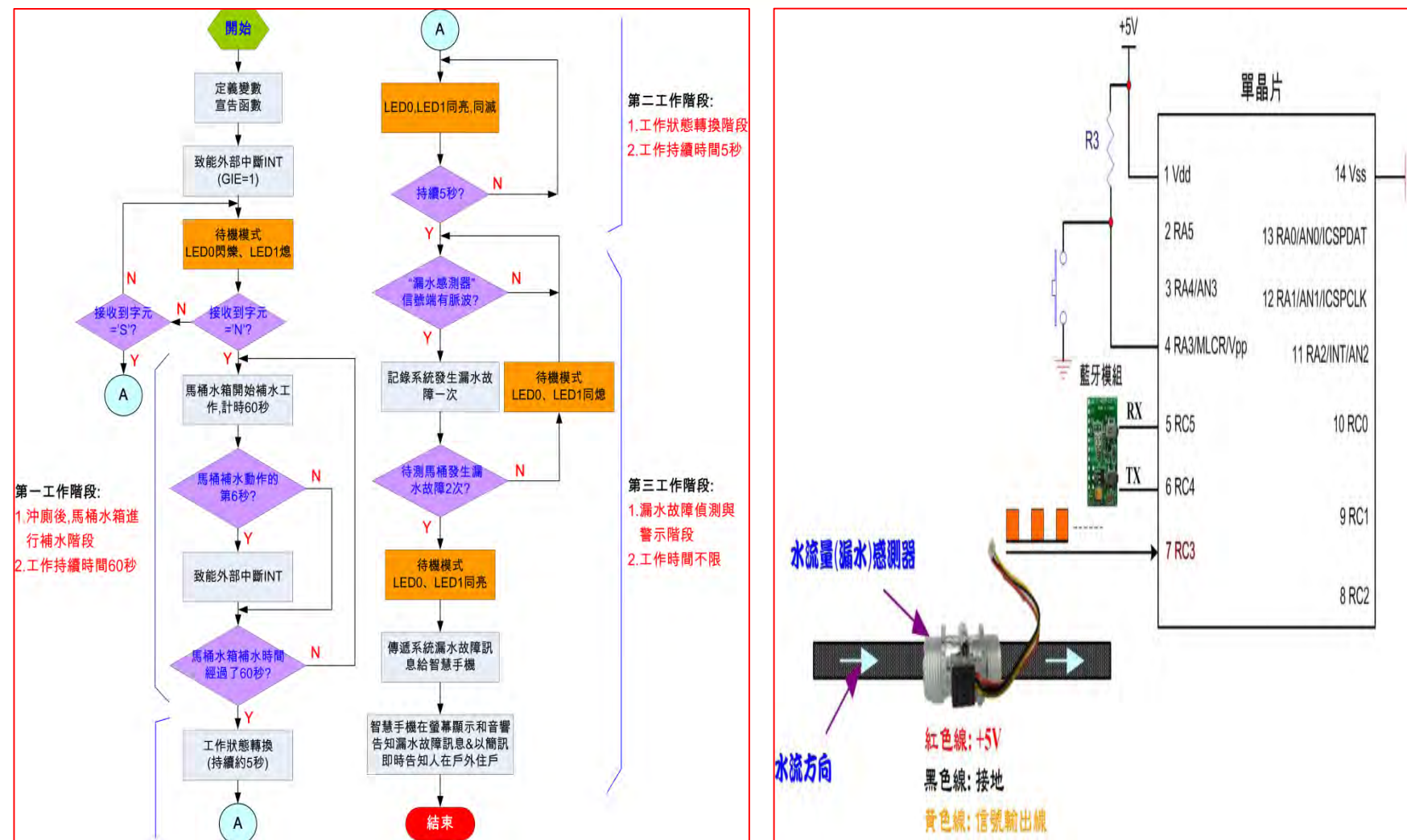
完成後的裝置端電子控制電路(盒)實體雛型外觀照片及相關燈號意義說明

系統操作模式	按下“沖水開關”，程式開始執行的位址	工作階段動作說明	LED0	LED1
待機模式	↑	等待智慧手機下達操作模式	熄	熄
正常模式	↑	馬桶水箱補水中 (設定持續工作: 60秒)	熄	閃爍
		工作狀態轉換階段 (設定持續工作: 5秒)	同亮	同亮
		無漏水故障→程式持續檢測 (不限時間)	同亮	同亮
簡單模式	↑	漏水故障→程式停止執行	同亮	同亮
		無漏水故障→程式持續檢測 (不限時間)	同亮	同亮

電子控制電路(盒)上的工作狀態指示燈顯示組合及其各別所代表的意義

#### 六、單晶片軟體工作流程圖、工作狀態指示燈顯示組合和通知室外住戶人員

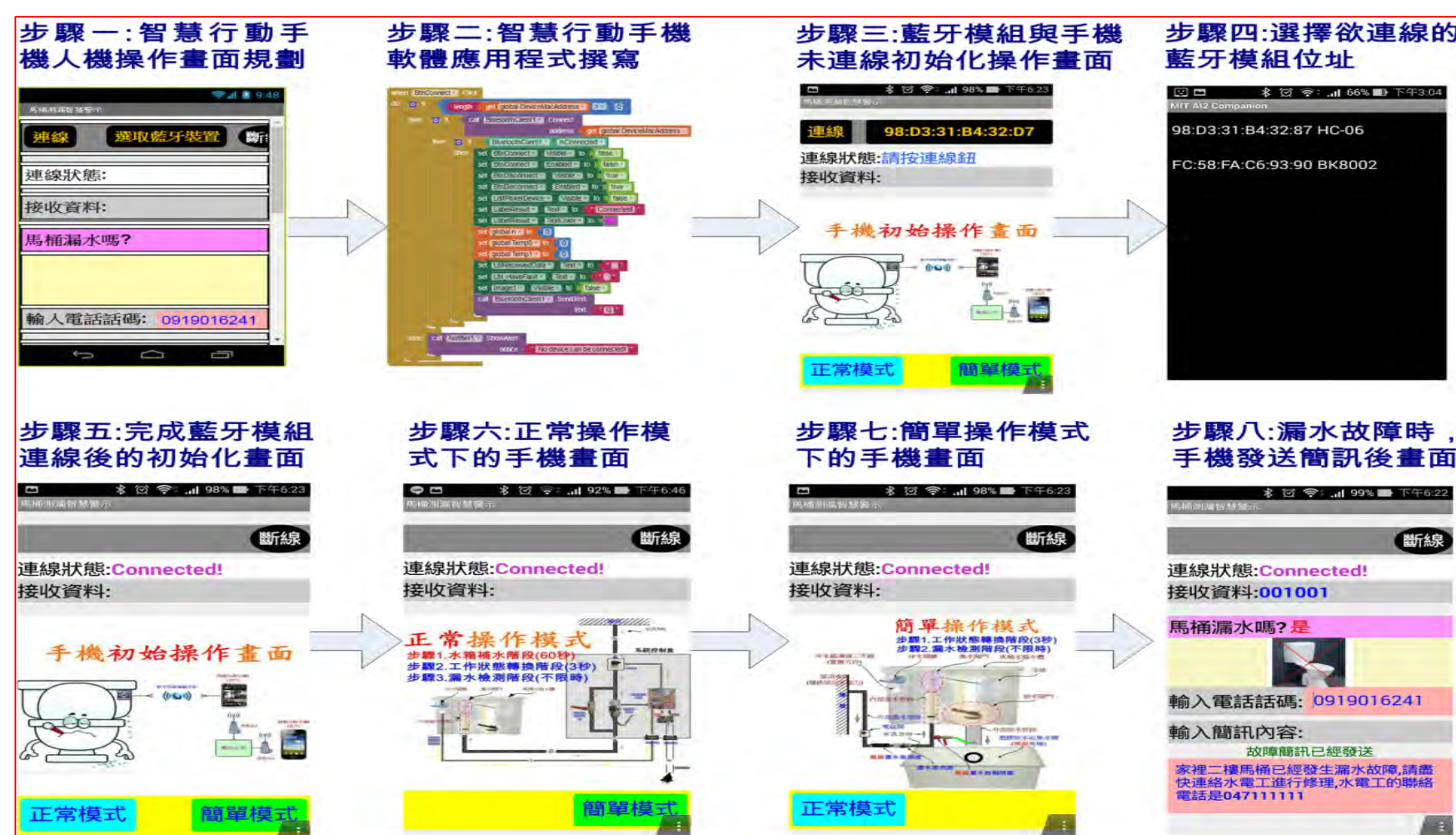
本作品裝置端電子控制電路內的單晶片軟體工作流程圖，規劃有**1.水箱補水**、**2.工作狀態轉換**和**3.漏水檢測**等三個工作階段與順序。每當使用者對馬桶沖廁或電路斷電再重送電，單晶片程式都會被重置，強迫單晶片重新回到水箱補水階段執行。當單晶片被重置後約**65秒**(水箱補水60秒，工作狀態轉換5秒)後，單晶片軟體程式就會自動進入漏水檢測階段。在**漏水檢測階段**，如果馬桶沒有發生漏水，則單晶片軟體程式就會持續重複執行漏水檢測階段的程式；相反的，若單晶片讀取到漏水感測器輸出脈波，表示馬桶已出現漏水，會立即中斷程式執行，LED0、LED1同時亮，並同時向顯示端智慧行動裝置傳送代表馬桶出現漏水故障的控制字元。



電子控制電路的單晶片軟體工作流程圖 模擬漏水感測器動作的示意圖

#### 七、顯示端智慧行動裝置應用程式開發

顯示端之智慧行動裝置應用程式係利用APP Inventor 2軟體撰寫，功能包含在馬桶發生漏水故障時立即在螢幕上以**特定圖案與聲響**告知室內住戶，也**允許**水用戶在顯示端的智慧手機畫面上**預先輸入**連絡對象的電話和連絡內容；在馬桶發生漏水第一時間也以**簡訊**方式通知在室外的住戶人員瞭解家中已經發生馬桶漏水故障的訊息。



顯示端智慧行動裝置應用程式(APP)的撰寫發展過程

#### 八、設計與製作在馬桶進水管路加裝控制電磁閥

一般從馬桶發生漏水故障到用戶找到專人完成修復，勢必都會存在或長或短的延遲修復時間。為了避免寶貴水資源浪費，所以每當馬桶發生漏水故障時，作品裝置端電子控制電路(盒)內的單晶片會透過由電晶體組成的放大電路驅動串接在**馬桶進水管路上的電磁閥立即關閉**，**停止繼續供水**給處於漏水狀態下的馬桶，**避免寶貴水資源浪費**。

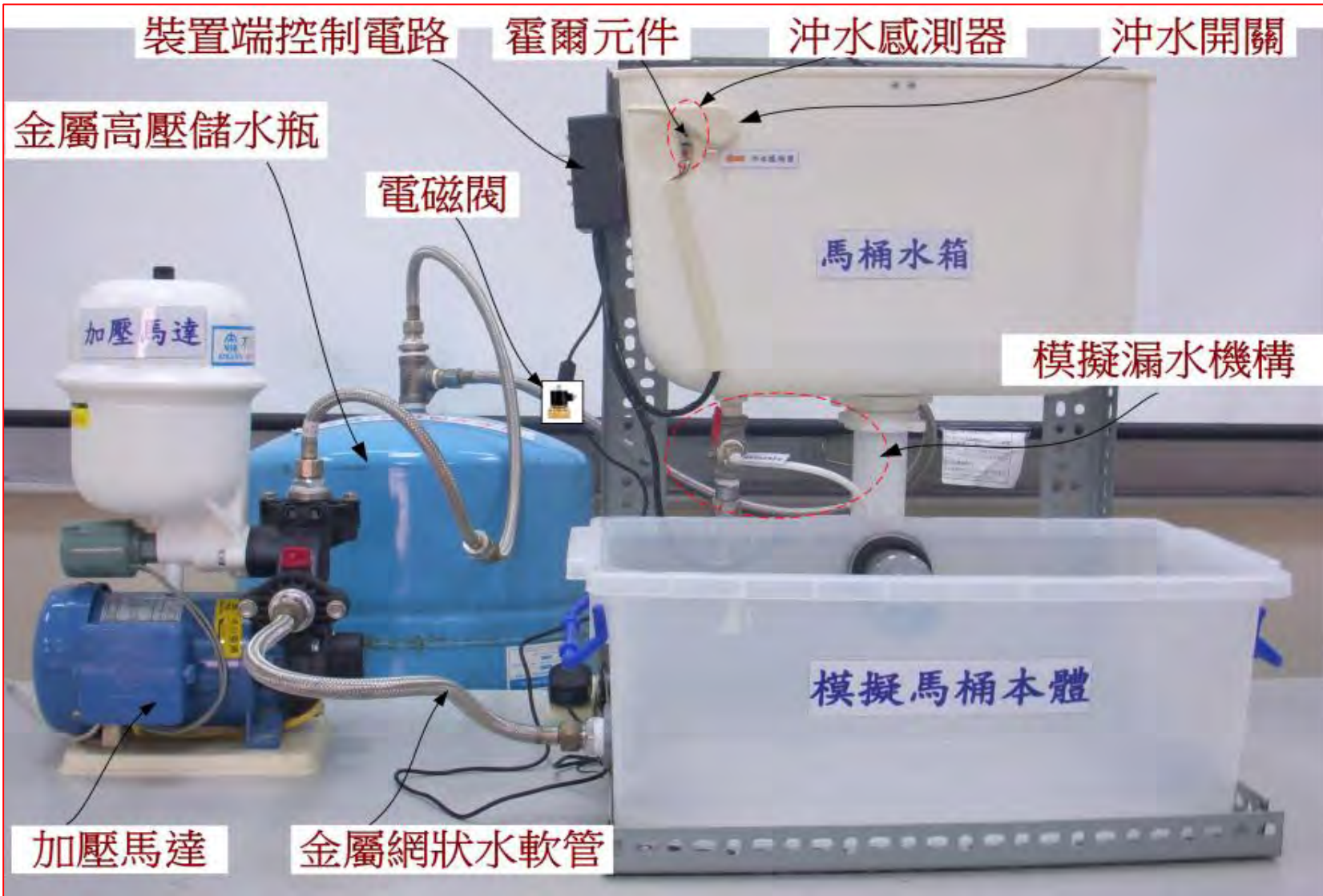


(a)在馬桶進水管路上串接一個電磁閥；(b)單晶片經放大電路控制電磁閥

#### 九、完成新型馬桶機構與電子控制電路實體雛型的組裝與整合



馬桶機構與電子控制電路實體雛型的組裝和整合過程

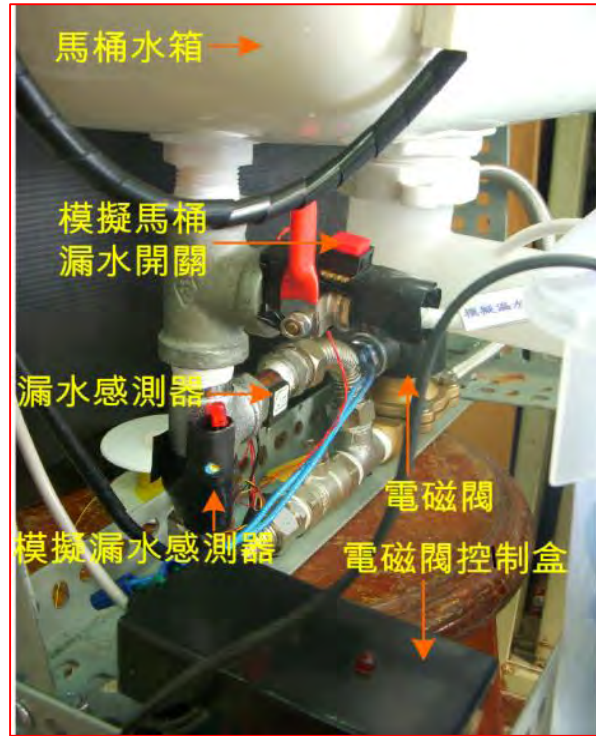


馬桶機構和電子控制電路實體雛型完成組裝和整合後的實體外觀照片

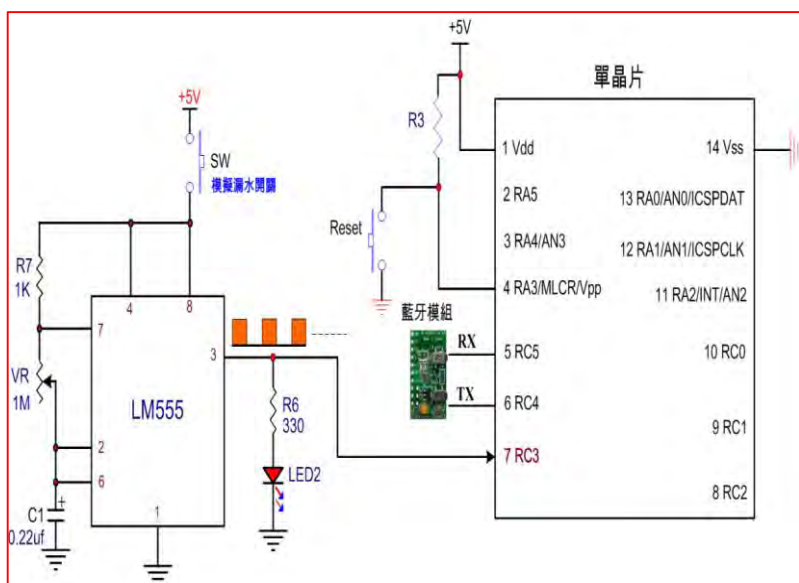
### 十、漏水感測器“模擬信號”的電路設計

但是因為比賽場所不允許在作品中使用水，故無法再以操作凡而開關方式模擬馬桶系統發生漏水事件，為了保留實體雛型還是可以模擬馬桶發生漏水事件，故在實體雛型中改以一個非穩態振盪電路取代原本模擬實體雛型發生馬桶漏水的方式。

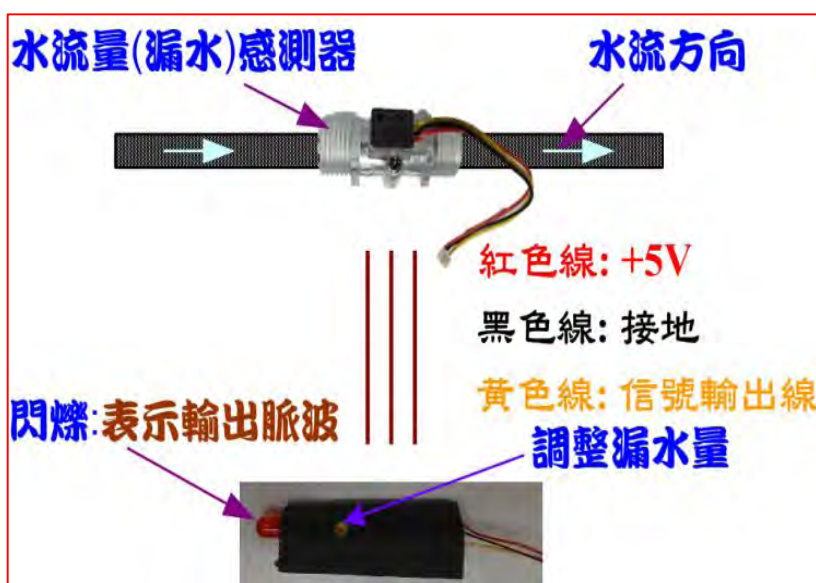
漏水感測器的工作原理為當有水經過感測器的內部管道時，漏水感測器即會在它的信號輸出腳輸出脈波(方波)，且該脈波輸出頻率恆與經過漏水感測器的單位水流量成正比，換言之，單位時間內流經漏水感測器的水流量越多，漏水感測器的信號輸出脈波的頻率就越高；相反的，漏水感測器的信號輸出脈波的頻率就越低。



模擬漏水感測器周邊機構組成外觀照片



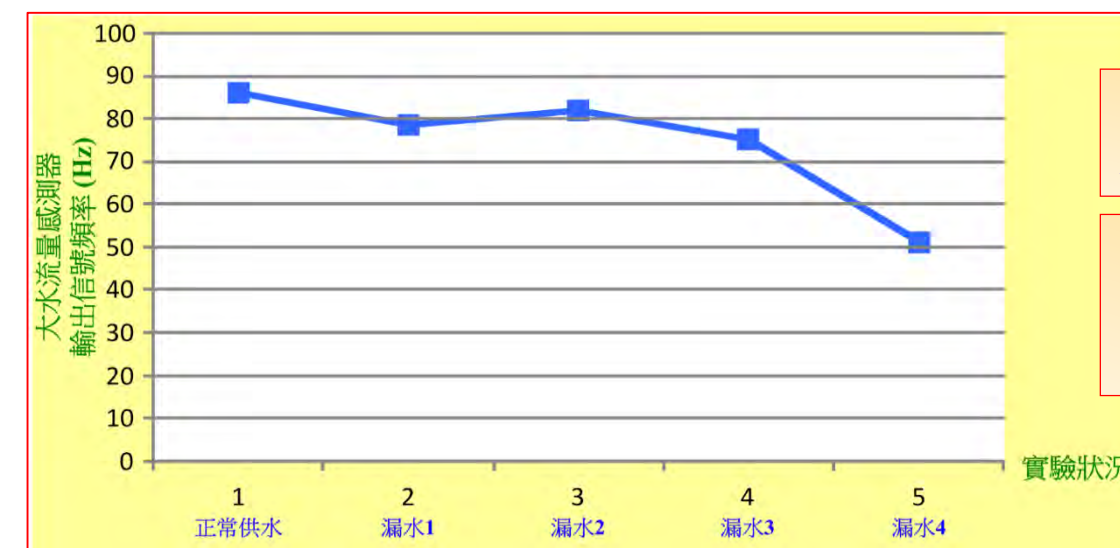
修改後的作品模擬漏水感測器單元



實體漏水感測器與模擬感測控制電路模組的外觀照片對比

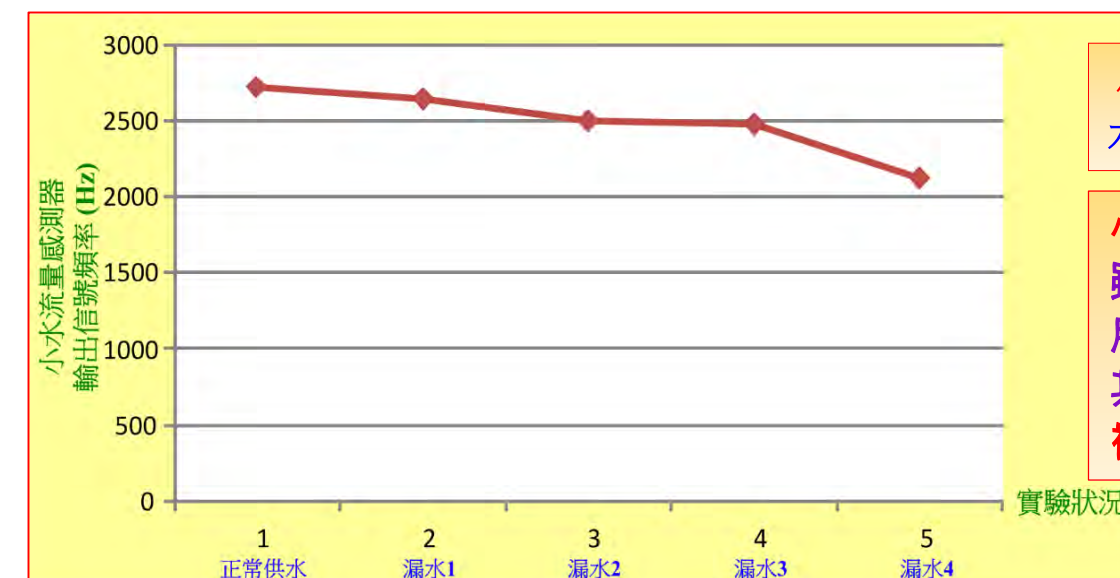
## 肆、研究結果與討論

### 實驗一、在不同供、排水，水流量感測器的輸出信號頻率曲線



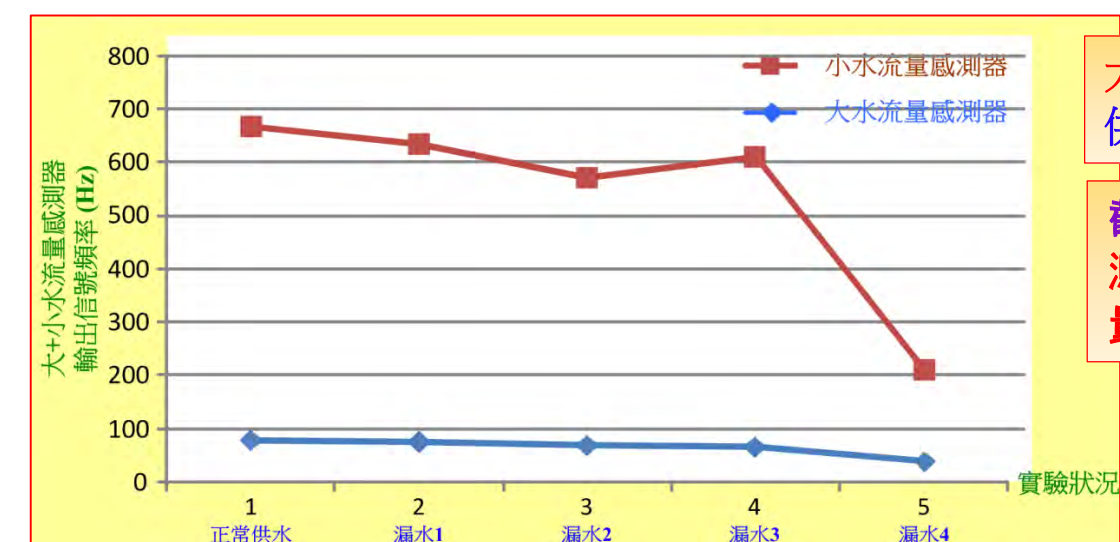
大水流量感測器對應不同供水狀況的輸出脈波頻率

大水流量感測器對應的頻率響應過窄，會導致無法檢測到微漏水



小水流量感測器對應不同供水狀況的輸出脈波頻率

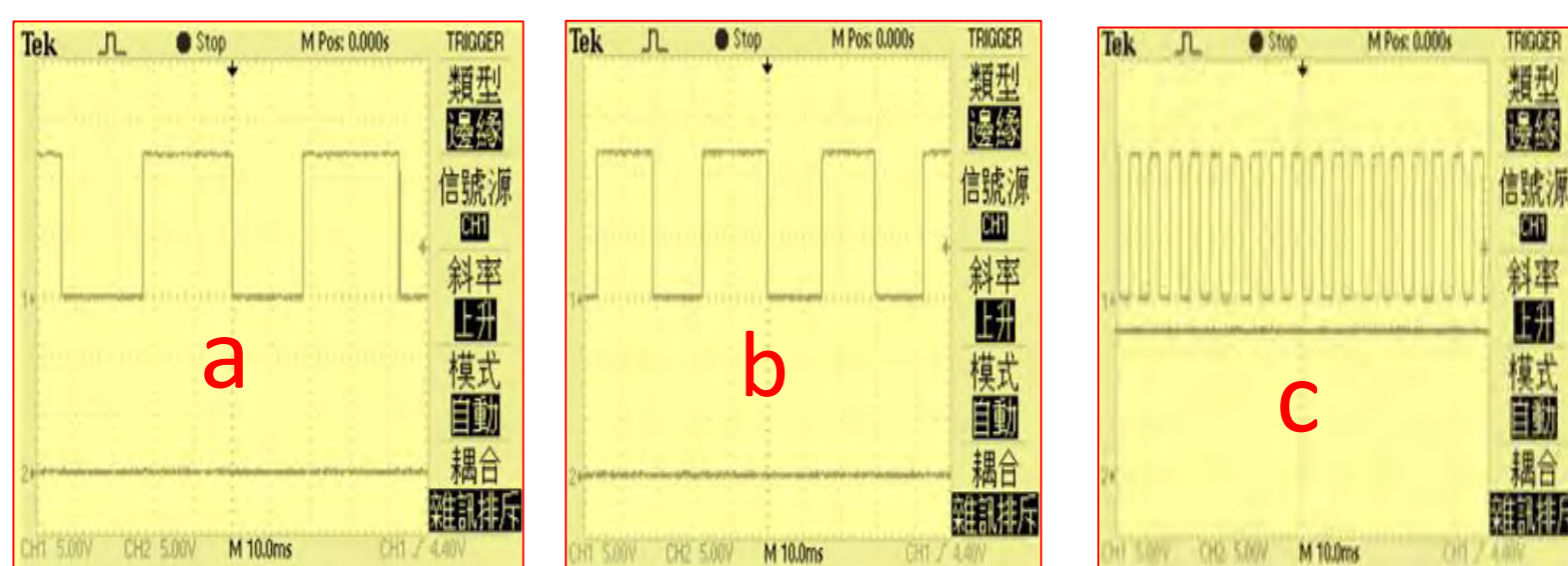
小水流量感測器的頻率響應雖可涵蓋全部漏水量，若只用單一小水流量感測器，因其管徑過小，勢必導致水箱補水時間被拉長



大+小水流量感測器對應不同供水狀況的輸出脈波頻率

截長補短，採用小水流量感測器+並接一條可改變水流量的管路=>組成供水管路

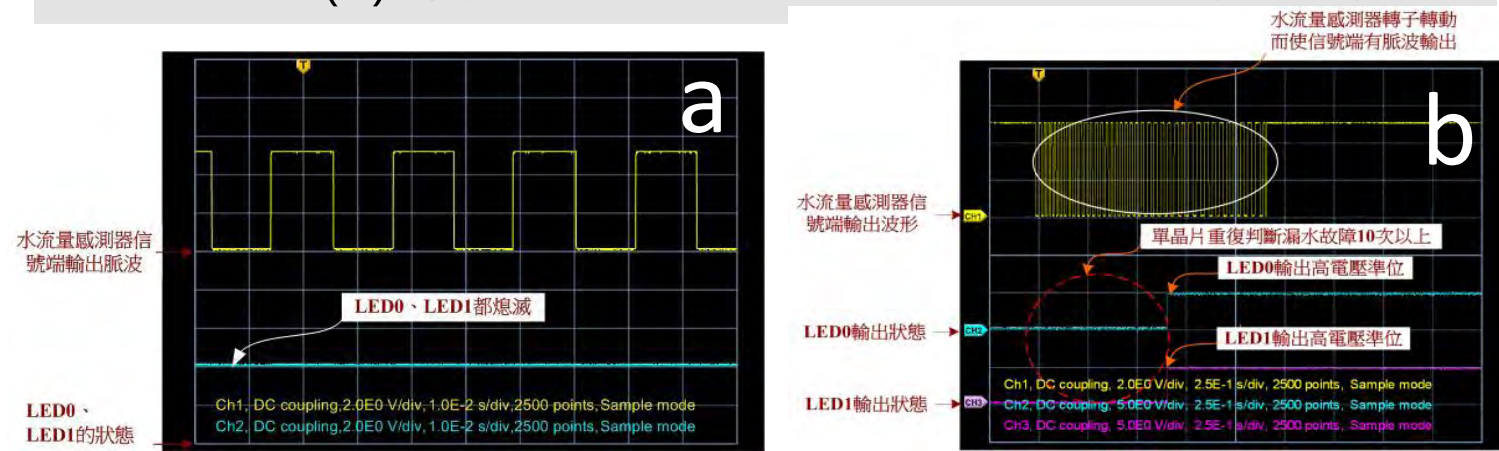
### 實驗二、探討水流量感測器輸出脈波頻率與不同漏水量之間的關係



實體雛型上模擬產生大、中、小漏水故障時，利用數位示波器量測水流量感測器信號端輸出波形(a)小漏水 (b)中漏水 (c)大漏水

### 實驗三、自動馬桶漏水檢測功能應用

本作品實體雛型工作在水箱補水和漏水檢測階段，配合利用數位示波器同時測量水流量感測器信號端輸出脈波電壓與工作狀態指示燈LED0、LED1的顯示狀態控制節點電壓。當實體雛型工作在水箱補水階段且無漏水，水流量感測器雖有輸出脈波，LED0、LED1等工作狀態指示燈全熄，如下圖(a)所示。當實體雛型工作在漏水檢測階段且有漏水，水流量感測器信號端也有輸出脈波，此時表示實體雛型已經發生漏水了，如下圖(b)所示，LED0、LED1等工作狀態指示燈全亮。



數位示波器量測水流量感測器信號端輸出、工作狀態指示燈驅動電壓準位，馬桶分別模擬工作在 (a)無漏水 (b)發生漏水

### 實驗四、探討在馬桶漏水時，本作品通知住戶人員的作法



發生馬桶漏水故障時，顯示端智慧行動手機螢幕顯示的畫面內容

### 實驗五、傳統馬桶漏水檢測方法的缺點

項目	檢測馬桶漏水方法	說明	圖示	優缺點
1	在水箱中加入數滴鮮豔試劑	<b>步驟1:</b> 在水箱內滴入數滴鮮豔試劑; <b>步驟2:</b> 等待數分鐘; <b>步驟3:</b> 目視馬桶內的水顏色是否與步驟1滴入之鮮豔試劑相同;若是，則水箱漏水		<b>缺點:</b> (1)需要靠人目視觀察 (2)無法及時獲悉漏水與否。 <b>優點:</b> 成本低
2	人靠近馬桶用眼睛看和耳朵聽，判斷馬桶有無漏水	<b>步驟1:</b> 人靠近馬桶; <b>步驟2:</b> 用耳朵聽和眼睛看是否有漏水或漏水聲。		<b>缺點:</b> (1)需要人就近「聽」和「看」。 (2)無法及時獲悉有無漏水。 (3)微漏水級別無法察覺。 (4)易發生人為誤判。 <b>優點:</b> 無需設備或材料
3	使用儀器「聽」，測試馬桶是否發生因漏水而有流水聲	<b>步驟1:</b> 利用沖水聲觸動偵測儀器起動; <b>步驟2:</b> 偵測時間結束前，若儀器偵測到馬桶發生漏水，則輸出漏水信號，並觸發產生警報聲響。		<b>缺點:</b> (1)儀器成本高。 (2)微漏水級別無法偵測。 <b>優點:</b> 測試數據比較客觀
4	使用光感測元件偵測水箱浮球位置	<b>步驟1:</b> 在水箱裝置光感測器，偵測浮球位置 <b>步驟2:</b> 光感測器配合沖水開關觸發啟動控制器開始計時與偵測 <b>步驟3:</b> 計時時間到前，未收到浮球回授訊號表示馬桶已經漏水		<b>缺點:</b> (1)光感測器成本高。 (2)微漏水級別無法偵測到。 <b>優點:</b> 測試數據比較客觀

## 伍、結論

- 本研究各挑選三個霍爾元件樣本和三個永久磁鐵作為實驗樣本。在自製沖水開關實驗模型在0~40度範圍轉動，以便實驗不同沖水感測器組合。因為WSH138霍爾元件具有9 mV/Gauss的高靈敏度需選擇編號2永久磁鐵具較薄厚度尺寸，所以這兩個元件的組合被選為本作品的沖水感測器組成元件。
- 選擇五種不同馬桶供排水狀況搭配三種不同漏水感測器組成15種不同的馬桶供排水組合。在自製供、排水管路實驗模型上進行實驗。結果以小水流量感測器並接一段管徑可變的管路擔任馬桶供水管路組成和漏水感測器可以分辨出馬桶是否發生漏水狀況。
- 本作品一旦感測到馬桶發生漏水，電子控制電路內的單晶片立即命令串接在進水管路上的電磁閥關閉，停止繼續供水，此作法可有效避免水資源浪費。
- 建立一套實驗室等級的作品實體雛型，透過對實體雛型進行實驗量測與數據記錄，接著進行相關數據的定量和定性分析，最後確定本作品實體雛型的設計作法是可行，且功能滿足需求的。
- 實驗結果的數據顯示本作品的作法確實可以完全克服傳統馬桶漏水檢測方法費時費力、功能不足和量測儀器昂貴的缺點，而且滿足馬桶自動漏水檢測和智慧警示功能的設計目標。

## 陸、參考文獻

- 節約用水季刊第24期，“節約用水隱形殺手—馬桶漏水”。
- 「國中自然與生活科技2上」，新北市：康軒文教事業，106年9月再版，pp.218-219。
- 台北自來水事業處，<http://www.water.gov.taipei>。
- 單晶片 PIC16F1823 資料手冊，<http://www.microchip.com/>。
- 蔡宜坦 著，超圖解App Inventor 2手機程式設計教本，旗標出版股份有限公司，台北市，2014年7月出版。