

計畫編號： SWCB-107-229

智慧化雨量計和水位計研發
R & D of Intelligent Rain and Water-level
Gauges

執行 單位：國立臺灣大學

執行 期間：107 年 2 月 09 日至 107 年 12 月 31 日

計畫主持人：臺灣大學 生物環境系統工程學系 黃宏斌 教授

研究 人員：黃胤瑄

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 107 年 12 月

(本報告內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

智慧化雨量計和水位計研發

摘要

為了提高防災專員觀測資料之準確度，以及加速雨量和水位資訊處理速度，發展經費低廉之智慧化土石流預警系統是刻不容緩的。經過理論分析、3D 列印、程式撰寫、儀器組裝、現場試驗和資料擷取分析等步驟後，本研究獲致以下幾點主要結論：

1. 研發完成之雨量水位計以市電供應為優先；沒有市電供應時，蓄電池配合太陽能亦可提供足夠電源。
2. 本產品於室內可以發揮精準之量測成果；在野外已經排除強降雨、蟲害和積水問題，目前正持續觀察，檢視有無其他問題出現，並且加以解決。
3. 由於宜蘭縣可發電時數為 2.55 小時，其發電量無法滿足雨量水位計之需求電量。因此，本產品仍舊以蓄電池電源為主要供應電源；太陽能為輔助電源。由於落差水頭不足，微水力發電目前尚無法提供足夠電源，雨天時仍舊以蓄電池電源為主。
4. 本產品之蓄電池配合太陽能可以擷取最大筆數達 635,184 筆紀錄，充分發揮臨時雨量水位計之資料擷取功能。

本產品具有記憶卡和無線傳輸兩種形式，除可充當臨時觀測站外，亦可呈現雨量和水位在最短觀測期間內之變動情形。

關鍵字：全球氣候變遷、極端降雨事件、土石流，預警，物聯網

R & D of Intelligent Rain and Water-level Gauges

Abstract

In order to enhance the data accuracy observed by disaster-prevention commissioner and to accelerate the processing speed of rainfall and water level, developing cheap intelligent pre-warning system of debris-flow is of great urgency. After the process of theoretical analysis, 3D print, programming, instrument assembly, field test as well as data logging and analysis, this study got the following principal conclusions:

1. The rainfall and water level gauge developed by this study is supplied priority by urban electricity, or the internal battery with solar energy could also provide enough power.
2. This product has a precisely measuring achievement indoors. In the field, this study has solved the problem of intensely rainfall, pest and water stagnant and explored continuously the other problem.
3. Restricted by the available hour for power generation in I-Lang County being only 2.55 hours a day, this amount of power is not satisfied the demand of general rainfall and water level gauge. Hence, the battery power is the main power while solar energy auxiliary one. For lack of water head, the micro-hydroelectric power cannot provide enough power currently; the main power is still the battery power in rainy days.
4. The power of battery and solar energy of this product can catch maximal 635,184 set of data to play a role of data logging as a temporary rainfall and water level station.

This product has two types of memory card and wireless transmission. In addition to be a temporary station, this product shows the variety of rainfall and water level during the shortest investigating period.

Keywords: global climate change, extremely rainfall event, debris flow, pre-warning, internet of things

目 次

目 次.....	I
表 次.....	III
圖 次.....	IV
第一章 緒論	1-1
第一節 研究背景	1-1
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 工作執行步驟.....	2-3
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-8
第四章 結果與討論	4-1
第一節 儀器設備	4-1
一、雨量計	4-1
二、水位計	4-3
三、程式撰寫	4-10
四、太陽能、微水力發電等替代電源之組裝、測試.....	4-10

五、微水力發電系統之外部防護系統研發	4-13
六、儀器組裝	4-14
七、室內校準	4-22
八、現場觀測	4-22
九、雨量、水位資料分析	4-37
十、檢討改進	4-40
十一、專利申請	4-42
第五章 結論及建議	5-1
第一節 結論	5-1
第二節 建議	5-2
第六章 參考文獻	6-1
附錄.....	附錄-1
附錄一、初審意見回覆辦理情形	附錄-1
附錄二、期初審意見回覆辦理情形	附錄-2
附錄三、期中報告書審意見回覆辦理情形	附錄-5
附錄四、期末報告書審意見回覆辦理情形	附錄-6

表 次

表 3-1	計畫甘特圖	3-1
表 3-2	國立臺灣大學研究成果臨時專利申請書	3-4
表 4-1	2014 年能源局補助設置太陽能系統之各縣市回報發電量相關資訊	4-11
表 4-2	雨量水位計安裝位置資訊	4-24
表 4-3	資料擷取日期及其筆數	4-37

圖 次

圖 4-1 3D 列印之傾斗側視圖.....	4-2
圖 4-2 3D 列印之傾斗正視圖.....	4-3
圖 4-3 梯形堰示意圖	4-5
圖 4-4 梯形寬頂堰側視圖	4-7
圖 4-5 太陽能板.....	4-11
圖 4-6 微水力發電機.....	4-13
圖 4-7 整體設備圖.....	4-15
圖 4-8 主要運算盒內部構造	4-16
圖 4-9 主要運算盒無線版本內部構造	4-17
圖 4-10 雨量元件構造圖	4-18
圖 4-11 雨量計內部元件圖.....	4-18
圖 4-12 組裝後之雨量水位計正視圖.....	4-19
圖 4-13 組裝後之雨量水位計側視圖.....	4-19
圖 4-14 雨量計內部構造圖.....	4-20
圖 4-15 太陽能板和超音波感測器.....	4-20
圖 4-16 儀器安裝示意圖	4-21
圖 4-17 遠端傳輸示意圖	4-22
圖 4-18 寒溪(番社坑溪)安裝位置.....	4-26

圖 4-19 寒溪(番社坑溪)儀器安裝近照	4-26
圖 4-20 寒溪(番社坑溪)儀器安裝遠照(一)	4-27
圖 4-21 寒溪(番社坑溪)儀器安裝遠照(二)	4-27
圖 4-22 碼崙安裝位置	4-28
圖 4-23 碼崙儀器安裝近照	4-28
圖 4-24 碼崙儀器安裝遠照(一)	4-29
圖 4-25 碼崙儀器安裝遠照(二)	4-29
圖 4-26 崩山湖儀器安裝位置	4-30
圖 4-27 崩山湖儀器安裝近照(上游側)	4-30
圖 4-28 崩山湖儀器安裝近照(下游側)	4-31
圖 4-29 崩山湖儀器安裝遠照(上游側)	4-31
圖 4-30 崩山湖儀器安裝遠照(下游側)	4-32
圖 4-31 小礁溪儀器安裝位置	4-32
圖 4-32 小礁溪儀器安裝近照	4-33
圖 4-33 小礁溪儀器安裝	4-33
圖 4-34 草湳儀器安裝位置	4-34
圖 4-35 草湳儀器安裝近照	4-34
圖 4-36 草湳儀器安裝	4-35
圖 4-37 得子口溪防砂壩儀器安裝位置	4-35

圖 4-38 得子口溪防砂壩儀器安裝近照.....	4-36
圖 4-39 得子口溪防砂壩儀器安裝遠照(一).....	4-36
圖 4-40 得子口溪防砂壩儀器安裝遠照(二).....	4-37
圖 4-41 得子口溪雨量水位資料(2018/10/04/15:52 起).....	4-38
圖 4-42 得子口溪雨量水位資料(2018/10/07/01:59 起).....	4-38
圖 4-43 得子口溪雨量水位資料(2018/10/08/02:54 起).....	4-39
圖 4-44 得子口溪雨量水位資料(2018/10/08/06:58 起).....	4-39
圖 4-45 得子口溪雨量水位資料(2018/10/08/14:38 起).....	4-40

第一章 緒論

為保育水土資源，因應全球氣候變遷，減免災害，藉由前瞻構想和新興技術，配合行政院生產力 4.0 之「建構完善的智慧防救災聯網平台及災時援救設備」，積極建立坡地災害防災應變機制之監測儀器研發和預警模式，以提高警戒發布之準確性，降低災害衝擊，並達到水土保持法賦予之立法目的。

第一節 研究背景

目前農業委員會水土保持局(以下簡稱水保局)係依據中央氣象局(以下簡稱氣象局)提供之預測和實際雨量，配合土石流警戒基準值，與協力機構之專家學者共同分析研判，適時發布土石流黃色和紅色警戒。當氣象局發布某地區之預測雨量大於土石流警戒基準值時，水保局將會發布該地區為黃色土石流警戒區，地方政府應進行疏散避難勸告；如果某地區實際降雨量已經達到土石流警戒基準值時，則水保局會發布該地區為紅色土石流警戒區，地方政府應勸告或強制其撤離，並作適當之安置。

此一發布程序實施以來，已經創下連續好多年颱風、豪雨事件無傷亡紀錄。雖然如此，為提高警戒發布之準確性，降低災害衝擊，下列事項仍然有必要加以深入探討：

一、降雨量突然超過預期並急速增加

這種情況發生時，黃色警戒和紅色警戒發布之時間間隔比預期縮短許多，水保局或地方政府如何在最短時間內分析研判，同時以最快時間通知當地所有民眾完成撤離。

二、防災專員觀測之降雨量大於氣象局發布之降雨量

當居住於附近沒有政府單位設置雨量站之地區，土石流防災專員(以下簡稱防災專員)會進行雨量觀測，當防災專員觀測到實際降雨量已經達到警戒值，且高於氣象局發布之降雨量時，水保局對於這些回傳訊息如何分析研判，並告知地方政府或防災專員該如何做明確之後續處置。

三、自動監測傳送資訊

目前之作法係防災專員於海上陸上颱風警報發布，且接獲水保局簡訊通知後才開始架設簡易雨量筒，因此他們不知道海上陸上颱風警報發布前之累積雨量，所通報之雨量並非當地實際累積雨量，既然沒有架設前之雨量累積速度資訊，自然也無從得知降雨強度增加或減弱之訊息，無法提高自我警覺意識。

再者，由於防災專員待命觀測期間，仍然持續降雨，因此，以其簡訊回傳起始值為零，每大於 50mm 回傳一次，作為防災專員所在位置的參考雨量，縱使不考慮在倒掉雨量筒內水量再繼續觀測時所

沒紀錄到的雨量，也無法與實際降雨時間和雨量紀錄值吻合，所以，不僅紀錄之累積雨量小於氣象局之累積雨量外，也不容易作為建置永久雨量站之參考依據。

由於目前之作法可能會降低預警效果，也有可能會壓縮疏散撤離時間，所以研發低成本且可自動觀測，並傳達精確訊息給防災專員之智慧化雨量計或水位計便成為本研究之執行目標。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

如果將尚在研發階段期間之不同類別、型式零件都請廠商開模製造，所需經費將會十分驚人，因此，以 3D 列印設計開發之各項零件，可以大量節省經費。本研究除了以 3D 列印小型雨量計外，並採購超音波水位感測器、微處理控制器和通訊系統晶片，以及太陽能板、微水力發電系統和電力儲存設施，撰寫程式自組智慧化雨量計和水位計，以達到精確、穩定供電和傳輸功能之要求。因此，工作執行方法包括探討自行研發與傳統式儀器間之功能、精準度差異；自行研發儀器在現場之表現；太陽能、微水力發電等替代電源之穩定性測試；微水力發電系統之外部防護系統研發，以及專利申請等。

一、自行研發與傳統式儀器間之功能差異

自行研發之雨量計必須具備紀錄雨量值之基本功能，除此之外，主要電源是市電時還可具備自動計算累積雨量值，以及比較累積雨量和土石流警戒值間之關係。

自行研發之水位計必須具備紀錄水位數值之基本功能，除此之外，如果主要電源是市電時，還可以比對警戒水位，並發出訊號。

二、自行研發與傳統式儀器間之精準度差異

自行研發之雨量計必須具備一定標準精準度之雨量紀錄。目標訂為和傳統式雨量計一樣，但是會因為相關配件材料不同而會產生不同誤差，初期擬將誤差值訂定小於 10%。

自行研發之水位計必須具備一定標準精準度之水位紀錄。目標訂為和直尺量測一樣，因為水波波動和角度問題，初期擬將誤差值訂定小於 5%，並以通過政府合格驗證單位之校驗為原則。

三、自行研發儀器在現場之表現

本年度將延續去年已經安裝於現場之儀器觀測，並檢視其現場表現，除必須解決目前已經發現之濕度和蟲害問題外，將會在本年度現場觀察中繼續發掘其他現場問題，並予以設法解決。

四、太陽能、微水力發電等替代電源之穩定性測試

沒有常流水之野溪，在平常時期可以利用太陽能發電並蓄存電力於蓄電設施內；在颱風時期則轉換微水力發電系統為供電主體。常流水野溪則規劃太陽能和微水力發電系統併聯發電。雖然在去年度已經發現發電能量和電源蓄存量之限制，經過檢討並且增加發電能量和增加蓄存量設施後，在現場也表現不錯。本年度將以目前這套自行設計之電源發電和蓄電系統在現場持續觀察，並在必要時改良效能。

五、微水力發電系統之外部防護系統研發

本年度將研發一套外部防護系統，提供安裝於野溪之微水力發電系統具有耐沖毀和耐撞擊等功能。

六、專利申請

由於自行研發之雨量計和水位計畢竟屬於初期之作品，為了保障研發人員可以繼續研發、改進此項產品，因此，本年度將依農委會相關規定申請相關專利。

第二節 工作執行步驟

為了達到本研究之計畫目標，本研究之工作執行步驟如下：

一、自製小型雨量計

二、組裝水位計

三、撰寫程式

四、太陽能、微水力發電等替代電源之組裝、測試

五、微水力發電系統之外部防護系統研發

六、儀器組裝

七、室內校準

八、現場觀測

九、資料分析

十、檢討改進

十一、專利申請

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

本研究之計畫甘特圖如下：

表 3-1 計畫甘特圖

工作項目	2~3月	4~6月	7~9月	10~12月
自行研發與傳統式儀器間之功能差異				
自行研發與傳統式儀器間之精準度差異				
自行研發儀器在現場之表現				
太陽能、微水力發電等替代電源之穩定性測試				
微水力發電系統之外部防護系統研發				
專利申請				
期中、期末報告				

依據工作計畫甘特圖，截至 11 月 15 日止，工作項目進度檢討如下：

1. 自行研發與傳統式儀器間之功能差異

自行研發之雨量計和水位計，經室內檢驗結果顯示，雨量計(0.5 mm)與傳統式雨量計間之功能並無差異。傳統式水位計(浮筒式或水壓式)之量測範圍都不一樣，本研究所研發之水位計量測範圍，在 3 cm~3.3 m 之間。目前現場測試成果尚稱滿意。

2. 自行研發與傳統式儀器間之精準度差異

自行研發之雨量計和水位計，經室內檢驗結果顯示，雨量計與

傳統式儀器間之精準度並無差異。

3. 自行研發儀器在現場之表現

雨量計和水位計已經安裝在現場，目前因為曾經發生強降雨、蟲害和積水等問題，而且已經一一克服外，資料筆數已經可以一次擷取達 635,184 筆。本研究將會繼續觀察自行研發儀器在現場之表現，並會持續回饋檢討改進。

4. 太陽能、微水力發電等替代電源之穩定性測試

太陽能、微水力發電等替代電源在室內測試後，其穩定性良好。但是因為宜蘭縣每日發電時數僅有 2.55 小時，本研究改裝較大面積之太陽能板，以便有更多發電量可供利用。微水力發電機裝置在溢洪口或固床工上，雖然可以避免泥砂淤埋，但是因為落差不夠，發電量無法滿足雨天之雨量水位計用電需求，建議留待未來針對颱風期間野溪水流動力之利用繼續做深入研究。

5. 微水力發電系統之外部防護系統研發

由於落差影響發電量，如果採用在上游構築攔水堰，配合攔污柵，藉由 PVC 管引水進入微水力發電機發電，雖然可以達到發電和防護功能；但是與本研究原先之研發目的有違，建議留待未來針對颱風期間野溪水流動力之利用繼續做深入研究。

6. 專利申請

目前已經先向校方提出研究成果臨時專利申請書(如表 3-2)，待研發之雨量計和水位計通過各項嚴謹之校驗，以及通過相關行政審核程序後，再正式申請專利。

表 3-2 國立臺灣大學研究成果臨時專利申請書

2018.07.16 版

國立臺灣大學 研究成果臨時專利申請表

※「臨時專利申請案」即美國 Provisional Application，請注意下述事宜：

1. 完成校內提案程序後，請務必於技術公開前，自行至下述網頁操作，以申請 Provisional Application(操作流程可參考本中心網頁 <http://ord.ntu.edu.tw/COI/download.aspx>(臨時專利申請 DIY)，規費一般為 USD 140)，操作完畢後即可獲得申請號與線上官方收據，可再向主計畫辦理核銷手續；
2. 申請網頁- <https://efs.uspto.gov/TruePassSample/AuthenticateUserLocalEPF.html>
3. 如之後欲申請「正式專利申請案」，為避免倉促作案影響品質，請於法定期限(「臨時專利申請案」的申請日起一年)之前 3 個月進行校內專利提案。

提案人 (發明人代表)	姓名及職稱：黃宏斌 教授 提案單位(系/所/中心)：生工系	
計畫 合作機構	行政院農委會水土保持局 (本申請案所屬之經費來源，如：科技部、經濟部、農委會等外部機構)	☐ 利用本校資源(無計畫) (所執行者為校內計畫，或無計畫)
計畫名稱 及編號	智慧化雨量計和水位計研發 (衍生本申請案之所有計畫，並附核定清單或製的書影本)	計畫主持人 簽章 _____
計畫合作 期限及金額	自 2018 年 2 月 9 日 至 2018 年 12 月 31 日；共新台幣 610,000 元整	
申請專利名稱	具有傾斗與超音波量測功能之智慧儀器 (此為向 USPTO 申請臨時專利申請案時所訂定之名稱)	
所附文件 (標示 * 者為 必須提供)	☒ *技術分類表(附件一)； ☒ *研究成果基本資料表(附件二) ☒ *經簽署之發明人專利申請權讓與同意書(即 Assignment，含中、英文版，附件三) ☐ 送至美國 USPTO 之技術文件(請勿提供機密資料) ☒ *Provisional Cover Sheet ☒ *計畫經費核定清單(科技部計畫)或研究計畫補助合約書影本(非科技部計畫)	
提案人：	(簽章)	提案日期：2018 年 11 月 13 日
案件聯絡人(□同提案人)：	徐鈺真 小姐	單位：水工所 電話：02-33663456 E-mail：jenny791024@gmail.com
敬 陳	系(中心)主任/所長 院長/校級中心主任	

研 發 處 (產學合作處中心)

研 發 長

附件一、技術分類表

本校案號：_____

(由處學合自院中填寫)

(請依技術本質勾選(可複選)或於其他(請自填)欄位填入適當類別；分類結果將置於網頁)

一階	二階	三階
生醫 農健	農業	☐ 植物種苗 ☐ 動物種苗 ☐ 生物農藥 ☐ 生物肥料 ☐ 抗病/蟲/逆境性 ☐ 生物整治 ☐ 品種權 ☐ 生物機電 ☐ 組織培養 ☐ 觀賞 ☐ 發酵 ☐ 基因轉殖 ☐ 糧食 ☐ 蔬菜 ☐ 天然物利用 ☐ 遺傳育種 ☐ 森林學 ☐ 獸醫學 ☐ 膳食補充劑與保健食品 ☐ 其他(請自填)
	醫療 器材	☐ 診斷與監測用器材 ☐ 體外診斷用器材 ☐ 手術與治療用器材 ☐ 輔助與彌補用器材其他類醫療器材 ☐ 疼痛管理器材 ☐ 低/非侵入性器材 ☐ 預防疾病與健康促進之設備及用品 ☐ 醫學影像分析 ☐ 骨替代材 ☐ 其他(請自填)
	篩選 平台	☐ 抗體 ☐ 生物晶片 ☐ 細胞分析 ☐ 組合式分子生物 ☐ 組合化學 ☐ 高通量藥物篩選技術(HTS) ☐ 蛋白質 ☐ 藥物篩選 ☐ 標靶藥物 ☐ 噬菌體展示技術 ☐ 其他(請自填)
	藥物	☐ 止痛藥 ☐ 麻醉劑 ☐ 血管生成 ☐ 消炎 ☐ 抗生素 ☐ 抗體 ☐ 抗癌 ☐ 抗真菌 ☐ antisense ☐ 抗病毒 ☐ 細胞凋亡 ☐ 細胞訊息 ☐ 中樞神經系統 ☐ 疾病模型 ☐ 藥物輸送 ☐ 生質 ☐ 基因治療 ☐ 質劑蒙 ☐ 免疫治療 ☐ 發炎 ☐ 新陳代謝 ☐ 天然物 ☐ 病原體 ☐ 胚胎 ☐ 前驅藥物 ☐ 蛋白質 ☐ RNAi ☐ 小分子藥物 ☐ 細胞 ☐ 疫苗 ☐ 病毒 ☐ 傷口癒合 ☐ 美容 ☐ 疼痛管理 ☐ 疾病防治 ☐ 幹細胞 ☐ 保健食品 ☐ 其他(請自填)
	基因 體學	☐ allele ☐ 生物資訊學 ☐ cDNA ☐ DNA ☐ 流行病學 ☐ EST ☐ 基因 ☐ 基因型 ☐ homologue ☐ isogene ☐ 基因庫 ☐ 微陣列/微陣列分析軟體 ☐ 藥物基因體學 ☐ 聚合酶 ☐ 多型性 ☐ 定位選殖 ☐ 蛋白質體學 ☐ 受體 ☐ RNA ☐ 標靶驗證 ☐ 基因轉殖動物 ☐ 其他(請自填)
	研究 工具	☐ 抗體 ☐ 細胞株 ☐ 色層分析 ☐ 細胞培養 ☐ 定向分子演化 ☐ DNA/RNA 定序 ☐ DNA/RNA 合成 ☐ 電泳 ☐ 酵素 ☐ 裝置 ☐ 表現系統 ☐ 雜交 ☐ 老鼠模式 ☐ 寡核苷酸合成 ☐ PCR 檢測 ☐ 蛋白質 ☐ 蛋白質定序 ☐ 蛋白質合成 ☐ 試劑 ☐ RNAi ☐ 光譜 ☐ 載體 ☐ 蛋白質定量工具 ☐ 其他(請自填)
	技術	☐ 抗體 ☐ 生物晶片 ☐ 顯影劑 ☐ DNA 探針 ☐ 造影成像 ☐ 分子標記 ☐ 放射性同位素 ☐ 檢測技術 ☐ 純化/萃取 ☐ 其他(請自填)
電資 通光	電子 光電	☐ 光資訊技術 ☐ 光電半導體技術 ☐ 平面顯示技術 ☐ 背光技術 ☐ 軟性電子技術 ☐ 光學技術(含鏡片材料) ☐ 電子及光電構裝技術 ☐ 矽基半導體技術 ☐ 電磁/光電訊號檢測 ☐ 奈米電子技術 ☐ 電子元件散熱技術 ☐ 其他(請自填)
	資訊 通訊	☐ 有線網路 ☐ 語音 ☐ 資訊安全 ☐ 監控 ☐ 網路網路電話相關技術(VoIP) ☐ Web 相關技術 ☐ 智慧型資訊系統 ☐ 無線通訊技術 ☐ 射頻辨識技術及應用(RFID) ☐ 環境控制與感知技術 ☐ 數位視/音訊與多媒體技術 ☐ 光通訊技術 ☐ 電子商務 ☐ 嵌入式系統技術 ☐ 異質整合系統、記憶體子系統 ☐ 處理器架構、編譯器技術 ☐ GPU 技術 ☐ 其他(請自填)
機能 材化	材料 化工	☐ 添加劑 ☐ 觸媒 ☐ 塗料/塗佈 ☐ 電化學 ☐ 石墨烯 ☐ 導電高分子 ☐ 塑料/聚合/複合材料 ☐ 化學/生物分析 ☐ 奈米材料 ☐ 半導體材料/製程 ☐ 物料改質 ☐ 超導體 ☐ 分散均勻化 ☐ 光學薄膜 ☐ 藥物製程 ☐ 有機合成 ☐ 純化/分離程序 ☐ 鐵磁性材料 ☐ 材料合成及精密成形 ☐ 軟磁材料 ☐ 鋼鐵材料 ☐ 其他(請自填)
	能源 環工	☐ 替代/生質能源 ☐ 燃料電池 ☐ 化學/生物分析 ☐ 高電功率 ☐ 碳氫化合物 ☐ 儲能 ☐ 節能減碳 ☐ 太陽能/電池 ☐ 海洋工程 ☐ 醫學/診斷/器械/儀器 ☐ 環境整治 ☐ 土木工程 ☐ 水利工程 ☐ 感測/量測方法/系統 ☐ 生醫材料 ☐ 其他(請自填)
	機械 儀器	☐ 機械元件/裝置/設備 ☐ 分析儀器 ☐ 光學/激光機器人 ☐ 顯微技術 ☐ 導航(GPS) ☐ 光譜儀 ☐ 超音波 ☐ 電腦輔助設計/檢測 ☐ 圖像處理 ☐ 環境感測/感應器 ☐ 生理訊號感測 ☐ 致動器 ☐ 微機電/元件/系統 ☐ 微控制 ☐ 手機支援輔助系統 ☐ 3D 積層製造 ☐ 其他(請自填)
其他 (請自填)		

附件二、國立臺灣大學研究成果基本資料表

提案日期：中華民國 107 年 11 月 13 日

本校系派：

(以產學合作權中心填寫)

一、專利名稱	中文：具有傾斗與超音波量測功能之智慧儀器 英文：Intelligent instrument with tipping-bucket and ultrasonic measuring features				
二、提案人	姓名	黃宏斌	服務單位	生工系	職稱 教授
	電話	02-33663456	e-mail	benhuang@ntu.edu.tw	
三、權利歸屬	☐ 臺大 ☒ 共有：與行政院農委會水土保持局共有，共有比例為 50 %：50 % (請填寫共有機構名稱) (臺 大 共有機構) ☐ 其他：				
四、申請案之公開狀態 (若本案已公開，請勿申請臨時專利)	※根據中華民國及美國專利法規定，凡案件於申請前已見於刊物或公開發表(含學位論文口試、學位論文電子全文及電子書目資料(含摘要)上網、學位論文章本全文上網、學術刊物發表、學術研討會發表、媒體報導、上課講習、公開演講、參加展覽會、競賽發表...等公開事項)，需於其事實發生後六個月內(若申請美國案為12個月內)提出申請方符合申請要件。 ☐ 是(請續填以下) ☐ 否，未來預計會公開(請續填以下) ☒ 否 請註明公開事實及日期(若有多次公開，請條列) (1) _____ (2) _____				
	※學位論文口試視同公開，若採取以下手段，則可能認為不算公開(1)口試會議不以網路公告(2)口試時聽眾不能自由進出，避免對不特定人士揭露技術(3)所有參加口試會議者(含口試者)簽署保密同意書(請提供影本一份)。 ※學位論文繳交提醒：論文電子全文、電子書目資料(含摘要)及紙本論文若於網路上或圖書館供人查詢或閱覽也算是公開，若欲採取保密措施需於(1)本校電子學位論文服務系統上傳論文電子全文時，於系統上勾選電子全文延後公開，並另行填寫「學位論文延後公開申請書」向圖書館申請(2)電子書目資料(含摘要)及(3)紙本論文延後公開(注意：若於公開後才向圖書館申請延後公開，則仍以原公開日期為公開日) ※為維持申請專利內容之新穎性，在申請前請盡量勿公開相關內容。若已公開或預計公開，請檢附已公開或預計公開之相關文件。				
五、建議檢索關鍵字	中文：傾斗、超音波、量測功能 英文：tipping bucket、ultrasonic、measuring feature				

六、發明人	※發明人欄位填寫說明：			
	(1)發明人超過五位時，請自行複製發明人欄位使用。			
	(2)發明人請填寫 <u>實際的發明人</u> ，參酌美國專利實務上的認定，所謂發明人必須是對發明概念之形成及至少一項申請專利範圍之標的有所貢獻之人，才能稱為發明人。美國專利法規定，若列名之發明人未有發明之事實，則不得取得專利；若發明人記載錯誤，且可證明有「欺瞞之意圖」，則此專利權無法主張權利（單純接受指示，依所設計之實驗完成實驗結果者、提出需求者、提出產品缺點者等無實質貢獻者，不能算是發明人）。			
	(3)未來收益分配之有功人員不限於此專利申請案所列之實際發明人。			
	※※提案人已確認以下之發明人名單真實正確。			
	提案人_____ (簽章) 年 月 日			
	1	姓名	(中文/英文) 黃宏斌/ HUANGHUNG-PIN	
		服務單位	國立臺灣大學	職稱 教授
		e-mail	benhuang@ntu.edu.tw	電話 02-33663456
	2	姓名	(中文/英文) 黃麗瑄/ HUANGYIN-HSIUAN	
		服務單位	國立臺灣大學	職稱 博士研究生
		e-mail	samuelhuang50207@hotmail.com	電話 0988 670 679
	3	姓名	(中文/英文)英文姓名需與護照一致	
		服務單位	請填寫成果產出當下之身分，若同時兼任 2 種身分者也請各別列出	職稱
		e-mail		電話
	4	姓名	(中文/英文)英文姓名需與護照一致	
		服務單位	請填寫成果產出當下之身分，若同時兼任 2 種身分者也請各別列出	職稱
		e-mail		電話
	5	姓名	(中文/英文)英文姓名需與護照一致	
		服務單位	請填寫成果產出當下之身分，若同時兼任 2 種身分者也請各別列出	職稱
		e-mail		電話

七、本申請案 所屬技術領域 別與可能應用 範圍	本申請案 所屬技術領域 可能應用範圍 (產業或產品)	(此欄位類似於技術說明表中的『市場與需求』) 水文觀測
	察本專利應用之可行性及潛在授權廠商： (1)本專利之技術與該國現有產品或技術之競爭性如何？ (2)依據本專利之產品或製程進入該國市場的可行性如何？ (3)若有任何公司曾與您接洽或詢問過相關技術，亦請提供。	
	國家/地區	應用可行性及潛在授權廠商建議（請列舉並以文字說明）
	中華民國	
	美國	
	其他	
	推薦廠商	(1) 廠商名稱 / 聯絡窗口：_____ 電話：_____； (2) 廠商名稱 / 聯絡窗口：_____ 電話：_____； (3) 廠商名稱 / 聯絡窗口：_____ 電話：_____。

第二節 計畫交付項目

本研究擬交付項目如下：

1. 完成研發智慧化雨量計和水位計
2. 智慧化雨量計和水位計具有足夠之精確度
3. 智慧化雨量計和水位計在現場之表現合乎要求
4. 校準太陽能、微水力發電等替代電源之穩定性
5. 完成研發微水力發電系統之外部防護系統
6. 專利申請

第四章 結果與討論

第一節 儀器設備

一、雨量計

市面上之商用雨量計價錢昂貴，而且許多計算、處理設備均封包起來，加上有智慧財產權之保護，很難拆開改裝。如果將尚在研發階段期間之不同類別、型式零件都請廠商開模製造，所需經費將會十分驚人，因此，以 3D 列印設計開發之各項零件，可以大量節省研發經費(如圖 4-1、4-2 所示)。

本研究目前之工作重點係著重在儀器之準確性，所使用之 3D 列印材料並不具耐久性，待研發成品經過各種測試和標準檢驗都合格後，未來將可交由廠商以耐久性材料開模大量製造，並考慮避雷設施，未來不需要再用 3D 列印零件。雖然如此，目前本研究利用 3D 列印之零件係雨量筒內之傾斗及其基座，不會受到太陽照射，到目前為止，還沒有需要更換之徵兆出現，正持續觀察中。由於所購置之 3D 列印機規格限制，所有零件之長度限制在 15 cm 以下，所以本研究之雨量筒承雨口採用 10 cm，系統操作係藉由承雨口蒐集雨水流進傾斗內，透過盛滿雨水之重量使傾斗左右傾倒雨水碰觸接點形成通路，再由微處理器計算傾倒數目。當雨量筒承雨口徑 100 mm 時，0.5 mm 降雨之一次傾倒雨量為 10 cc。其中，承雨口之面積為：

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3.1416}{4} 10^2 = 78.54 \text{ cm}^2 = 0.007854 \text{ m}^2$$

1. 因此，1 mm 計數之傾斗容量為：

$$V = 0.1 \times 78.54 = 7.854 \text{ cm}^3 = 7.85 \text{ cc}$$

2. 0.5 mm 計數之傾斗容量則為：

$$V = 0.05 \times 78.54 = 3.927 \text{ cm}^3 = 3.93 \text{ cc}$$

本研究採用 0.5 mm 傾斗設計。

雨量計算係透過傾斗對底座之敲擊，因為敲擊會對晶片產生電壓差，進而觸發單晶片機紀錄雨量訊號於主要運算盒中之 SD 卡中。此處單晶片機採用 low power library 的演算法，在未進行敲擊時都能將單晶片機的電流量降至微安培等級，進行敲擊時才恢復一般供電。

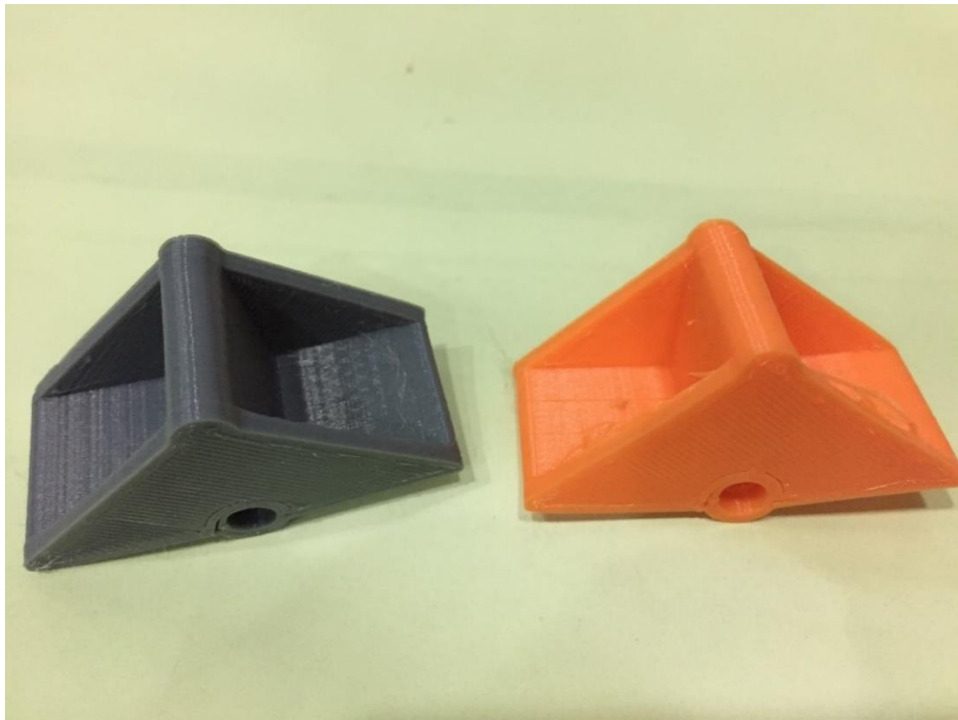


圖 4-1 3D 列印之傾斗側視圖

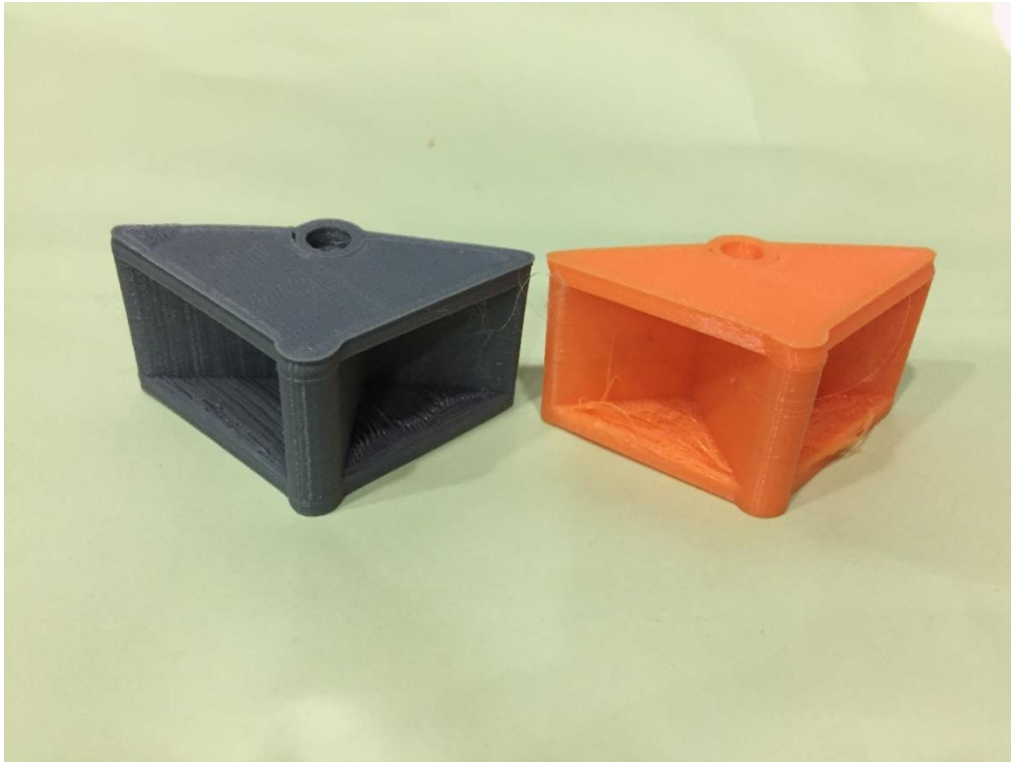


圖 4-2 3D 列印之傾斗正視圖

其中，小容量傾斗不容易記錄到強降雨；大容量傾斗則是不容易記錄到小降雨事件。雨量計之器差會隨著降雨強度增加而增加，在符合中央氣象局之 $\pm 3\%$ 條件下，承雨口徑 20cm，分辨力 1.0mm 雨量計可以記錄到 200mm/hr。本研究在確認處理系統能夠在現場順利運作後，即調整適當容量傾斗，以達到法規標準。

二、水位計

一般水壓式水位計經常被使用在一定水位以上或水位變化範圍小之流況，能夠量測自低水位到高水位，且水位變化範圍廣之水壓式水位計較為昂貴。因此，本研究採用 HC-SR04 超音波感測器作為觀測水位使用，其量測範圍自 3 公分至 3.3 公尺。超音波感測器係

量測超音波(40khz)自發射超音波至水面，並接收反射後之超音波，並計算發射和接收之間所經過時間。所得到之時間訊號會被轉成電流透過 4 線纜線傳至主要運算盒中。其中，超音波之速度係以聲音在空氣中之速度計算。當距離超過 3 m，以及感測器與水面間之夾角太小都會接收不到訊號。由於溫度會影響聲音傳播速度，每升高攝氏 1 度，音速會增加 0.6 m/s。在主要運算盒中具有溫度感測器，能透過修正公式進行超音波速度修正。因為音速在 0°C 之速度為 331.5 m/s，因此，必須在微處理器加上溫度感測器，並撰寫程式修正音速。

$$C = 331.5 + 0.6T$$

其中，C 為校正後之超音波波速度，而 T 為量測時之溫度。接著，正確之距離資訊會在代入下式求得：

$$d = \frac{t}{2C}$$

式中，t 為超音波感測器量測到之間隔時間，將其除上 C 就能得到超音波往返之總時間，而設備至水面之高度，d 為總時間之二分之一，故公式會再除上 2。最後，利用設備至水面之高度和總高 H，就能算出通過溢洪口或固床工之水深資訊 h，如下式所示。

$$h = H - d$$

目前設備中有自帶電源之時鐘模組，能夠精準記錄時間，故高度和時間資訊會以 txt 檔方式儲存進 SD 卡中。

超音波感測器之接收和反射在平整表面之表現比粗糙表面或震盪水面好，震盪水面會導致超音波產生雜訊，本研究會在取得資料後進行濾波，將雜訊清除。另外，感測器到微處理器間之線路長度為 1~2 公尺，沒有訊號衰減問題，所以沒有裝置強度補償或放大設施。

野溪構築之防砂壩、潛壩或固床工會造成水流自亞臨界流轉換成超臨界流，流況轉換間會存在臨界水深。如果能夠量測到臨界水深，即可計算得到所通過之流量。本研究之水位計係裝置於防砂壩、潛壩或固床工之溢洪口上，只要野溪水位均布且高於溢洪口高程，微處理器都可以記錄到訊號。

臨界水深可由福祿數求得：

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{Q}{A\sqrt{gA/T}} = 1 \rightarrow Q = \sqrt{\frac{gA^3}{T}}$$

同時，梯形銳緣堰公式

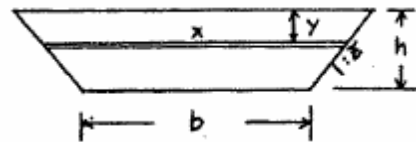


圖 4-3 梯形堰示意圖

$$V = \sqrt{2g \left(y + \frac{V_a^2}{2g} \right)}$$

$$dQ = VdA = \sqrt{2gy}x dy$$

依據相似三角形定理

$$\frac{\frac{x-b}{2}}{zh} = \frac{h-y}{h} \rightarrow \frac{x-b}{2zh} = \frac{h-y}{h} \rightarrow x = 2zh\left(\frac{h-y}{h}\right) + b \\ = 2z(h-y) + b$$

代入，得

$$Q = \int_0^h \sqrt{2gy}[2z(h-y) + b]dy = \sqrt{2g} \int_0^h [2z(h-y)y^{0.5} + by^{0.5}]dy \\ = \sqrt{2g} \left(\frac{4}{3}zhy^{1.5} - \frac{4}{5}zy^{2.5} + \frac{2}{3}by^{1.5} \right)_0^h = \sqrt{2g} \left(\frac{2}{3}bh^{1.5} + \frac{8}{15}zh^{2.5} \right) \\ = \frac{2}{15}[3b + 2(b + 2zh)]\sqrt{2gh}^{1.5} = \frac{2}{15}(5b + 4zh)\sqrt{2gh}^{1.5} \\ = \frac{2}{15}[3b + 2(b + 2zh)]\sqrt{2gh}^{1.5} = \frac{2}{15}(3b + 2b_u)\sqrt{2gh}^{1.5}$$

如果是矩形堰，則 $z=0$ ，再取 $g=9.8$ 時，有

$$Q = \frac{2}{15}(5b + 4zh)\sqrt{2gh}^{1.5} = \frac{2}{3}b\sqrt{2gh}^{1.5} = \frac{2}{3}\sqrt{2g}bh^{1.5} = 2.95bh^{1.5}$$

當流量係數為 0.6，有水土保持手冊之簡化公式：

$$Q = 0.6 * 2.95bh^{1.5} = 1.77bh^{1.5}$$

當梯形堰之 $z=1$ ，且 $g=9.8$ 時，有

$$Q = \frac{2}{15}(5b + 4zh)\sqrt{2gh}^{1.5} = \frac{2}{15}(5b + 4h)\sqrt{2gh}^{1.5} \\ = (2.95b + 2.36h)h^{1.5}$$

當流量係數為 0.6，有：

$$Q = (2.95b + 2.36h)h^{1.5} = (1.77b + 1.42h)h^{1.5}$$

當梯形堰之 $z=0.5$ ，且 $g=9.8$ 時，有

$$Q = \frac{2}{15} (5b + 4zh) \sqrt{2gh}^{1.5} = \frac{2}{15} (5b + 2h) \sqrt{2gh}^{1.5} \\ = (2.95b + 1.18h) h^{1.5}$$

當流量係數為 0.6，有：

$$Q = (2.95b + 2.36h) h^{1.5} = (1.77b + 0.71h) h^{1.5}$$

如果是梯形寬頂堰，有

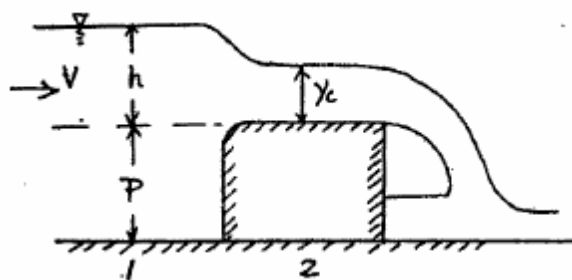


圖 4-4 梯形寬頂堰側視圖

$$\frac{V^2}{2g} + h = \frac{V_c^2}{2g} + y_c$$

水力深度(Hydraulic depth)：

$$D = \frac{(b + zy)y}{D + 2zy}$$

$$V_c = \sqrt{gD} = \left[\frac{(b + zy_c)gy_c}{b + 2zy_c} \right]^{0.5}$$

$$y_c = \frac{-(3 - 4mh) + \sqrt{(3 - 4mh)^2 + 40mh}}{10m} \quad \text{where } m = \frac{z}{b}$$

則梯形寬頂堰公式為

$$Q = \sqrt{gDA} = \left(0.5 + \frac{0.5}{1 + 2my_c} \right)^{0.5} (1 + my_c) \sqrt{gby_c}^{1.5}$$

如果是固定斷面之河床或是矩形箱涵時，因為動量沒有增減，

但是會有能量損失，因此有動量守恆關係。

$$F = \frac{D}{Dt} \int V \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int V \rho dV + \int V (\rho V \cdot n) dA$$

對於寬度為 b ；長度為 L ；上游水深、高程分別為 y_1 、 z_1 ；下游水深、高程分別為 y_2 、 z_2 之矩形箱涵而言，動量方程式可寫成

$$W \sin \theta + (P_1 - P_2) + \rho Q(V_1 - V_2) = F_f$$

其中，

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{2} \gamma b y_1^2 ; P_2 = \frac{1}{2} \gamma b y_2^2 ; Q = b \frac{(V_1 + V_2)}{2} \bar{y} ; W \\ &= \gamma b \bar{y} L ; \sin \theta = \frac{z_1 - z_2}{L} ; F_f = \tau_0 PL \end{aligned}$$

同時，

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2}{2} ; F_f = \tau_0 PL = \gamma R S_f PL = \gamma \frac{A}{P} S_f PL = \gamma b \bar{y} S_f L$$

代入動量方程式，得

$$\gamma b \bar{y} L \frac{z_1 - z_2}{L} + \frac{1}{2} \gamma b (y_1^2 - y_2^2) + \frac{1}{2} \rho b \bar{y} (V_1 + V_2) (V_1 - V_2) = \gamma b \bar{y} S_f L$$

各項除以 $\gamma b \bar{y}$ ，得

$$z_1 - z_2 + y_1 - y_2 + \frac{1}{2g} (V_1^2 - V_2^2) = S_f L$$

$$\rightarrow z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + S_f L$$

$$\rightarrow z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_f = S_f L = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} L = \frac{n^2 Q^2 P^{4/3}}{A^{10/3}} L = \frac{n^2 Q^2 (b + 2\bar{y})^{4/3}}{(b\bar{y})^{10/3}} L$$

$$z_1 - z_2 + y_1 - y_2 + \frac{1}{2g} (V_1^2 - V_2^2) = \frac{n^2 Q^2 (b + 2\bar{y})^{4/3}}{(b\bar{y})^{10/3}} L$$

$$Q^2 = [(z_1 - z_2) + (y_1 - y_2)] / \left[\frac{n^2 (b + 2\bar{y})^{4/3}}{(b\bar{y})^{10/3}} L - \frac{y_2^2 - y_1^2}{2gby_1^2 y_2^2} \right]$$

假設沒有能量損失時，則有

$$H = \frac{V^2}{2g} + y + z$$

對 x 微分

$$\frac{dH}{dx} = \frac{d(V^2/2g)}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{dz}{dx}$$

其中

$$\frac{dH}{dx} = -S_f, \frac{dz}{dx} = -S_0$$

而且

$$\begin{aligned} \frac{d(V^2/2g)}{dx} &= -\frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dy} \frac{dy}{dx} = -\frac{Q^2 T}{gA^3} \frac{dy}{dx} = -F_r^2 \frac{dy}{dx} \\ \frac{dy}{dx} &= \frac{S_0 - S_f}{1 - F_r^2} \end{aligned}$$

而曼寧公式有

$$\begin{aligned} S_f &= \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} = \frac{n^2 Q^2 P^{4/3}}{A^{10/3}} \\ \frac{dy}{dx} &= \frac{S_0 - (n^2 Q^2 P^{4/3} / A^{10/3})}{1 - (Q^2 T / gA^3)} \end{aligned}$$

因此，當野溪河段沒有防砂壩或固床工等產生跌水之橫向構造物，產生臨界水深時，則可以規則斷面的整流工程或護岸上下游各設置一具水位計，即可依上述公式求得流量。

三、程式撰寫

本研究在微處理器上燒錄之程式有兩大類：雨量計以降雨期間之傾斗傾倒數目計數，在計數同時記載時間。水位計則是啟動後就每隔 1 分鐘記錄一次水位。資料紀錄則規劃記憶卡和電腦硬碟兩種紀錄方式。

傳輸系統主要分有線和無線兩大類。有線系統係由傳輸線直接連結感測器和微處理器；無線系統則是藉由 XBee 晶片將資料傳到附近電腦；或是藉由 4G 網卡將資料傳到遠端電腦。

四、太陽能、微水力發電等替代電源之組裝、測試

能源裝置選用太陽能，主因是其環保且容易取得。本研究採用單晶太陽能板，其電壓為 6 伏特，瓦特數為 5.6 瓦特之規格，在日照充足狀況下，能產生 930 毫安培之電流，其實體圖如圖 4-5 所呈現。表 4-1 係 2014 年能源局補助設置太陽能系統之各縣市回報發電量平均值和日平均發電量知：每日發電時數，最高為彰化縣之 3.63 小時，最低為花蓮縣之 2.1 小時，本研究之現場樣區都位於宜蘭縣，每日發電時數為 2.55 小時。所以，蓄電池電力將成為主要電源。



圖 4-5 太陽能板

本研究電源可分市電和非市電兩部分，其中，如果觀測站接近社區，且距離不遠，則建議以穩定市電供應為主；當市電不易到達之狀況發生時，非降雨期間以蓄電池為主要電源；太陽能為輔，降雨期間或野溪有水流流動，且有足夠流量和落差時，則以微水力發電為輔。幸運的話，如果太陽能或微水力發電供應儀器操作所需電量後尚有多餘電量時，則將多餘電量儲存在蓄電池內；當太陽能或微水力發電不足以供應儀器操作所需之電量時，則以蓄電池供應為主。

表 4-1 2014 年能源局補助設置太陽能系統之各縣市回報發電量相關

資訊

縣市	年平均發電量	年度日平均發電量
	kWh/kWp	kWh/day/kWp
基隆市	897	2.46
台北縣市	958	2.63
桃園縣	1058	2.9
新竹縣	1113	3.05
苗栗縣	1209	3.31
宜蘭縣	931	2.55
連江縣	1148	3.15
台中縣市	1205	3.3
彰化縣	1324	3.63
雲林縣	1269	3.48
南投縣	1142	3.13
嘉義縣	1231	3.37
花蓮縣	767	2.1
金門縣	1140	3.12
澎湖縣	1271	3.48
台南縣市	1285	3.52
高雄縣市	1204	3.3
屏東縣	1147	3.14
台東縣	969	2.66

來源：經濟部能源局陽光屋頂百萬座

本研究採用之微水力發電機為 DB-368，如圖 4-6 所示。經過測試後，位於溢洪道或固床工上之微水力發電機由於高差不足，發電量太少，除非如同崩山湖樣區一樣，設置攔水堰，並安裝 PVC 管自上游引流至發電機發電。然而，這樣龐大之設置材料並非本研究創新之原始目的，因此，建議後續針對如何利用颱風期間野溪水流之動力發電持續研究，或研發產品。



圖 4-6 微水力發電機

太陽能板設置在微處理器之儀器箱上；微水力發電機則裝置於固定斷面河床或是防砂壩、潛壩或固床工之溢洪口上，不僅避免被砂石埋沒，在防止砂石沖毀設施保護下，即可發電。但是，會有落差不足，發電量不夠之缺點，有待未來持續研發。

由於水力發電電壓和太陽能板、電池供電電壓不同，因此，本研究增加一塊穩壓電路板，調整電壓後才進入處理系統，以免燒壞電子零件。

五、微水力發電系統之外部防護系統研發

依據前一年之安裝經驗，固定在野溪河床上之微水力發電系統會因為河床之沖刷、淤積導致流失、埋沒而失去其功能，本年度原

本規劃設計安置在防砂壩、潛壩或固床工之溢洪口上，雖然不容易被泥砂掩埋，卻發現因為落差不足而有發電量不夠之問題產生。如果比照崩山湖樣區，於上游設置攔水堰，再藉由 PVC 管引流至發電機，則設置材料費龐大，已經違反本研究原先研發本產品之目的，因此，如何利用颱風期間野溪水流動力發電之相關研究，有待主管機關之持續支持，再繼續深入研發。因此，微水力發電系統之外部防護系統研發部分，可以參考崩山湖樣區經驗，採用攔水堰配合攔污柵保護。

六、儀器組裝

本研究之儀器組裝主要分設備介紹和實際架設情形兩部分。設備介紹係從設備硬體和組成介紹到如何設置在樣區，最後介紹軟體如何演算和儲存。實際架設情形的部分則會呈現現場設置照片。

本研究之設備硬體主要由四個主體所構成，分別為水位偵測元件、主要運算盒、雨量元件和太陽能板，如圖 4-7 所示。

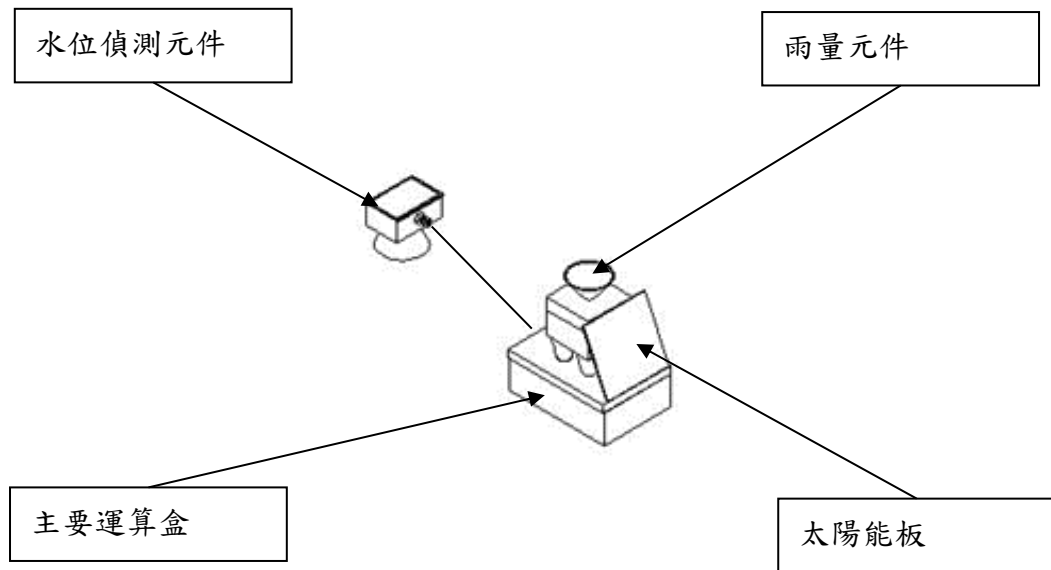


圖 4-7 整體設備圖

水位偵測元件主要是由超音波感測器、萬用盒和保護感測器的外罩所組成，其所用的超音波感測器之最大量測極限為 3.3 m，最小解析度為 3 mm。這個規格可以滿足且能運用在本研究所選定之各個現場樣區。

主要運算盒中大略配置如圖 4-8，左上方為偵測水位用之電路板，左下方為計算雨量用之電路板，右側為 6V10AH 鉛蓄電池。其中，偵測水位用之電路板主要由 Arduino nano 單晶片機、時鐘模組、溫度模組、數位安全卡(以下簡稱 SD 卡)適配器和連結超音波感測器端子所組成。

Arduino nano 單晶片機為本設備之主要運算處理單元。時鐘模組有自備水銀電池，能夠在短期沒電情況下依然能回報正確時間，提

供下次更換電池時，能夠直接使用。溫度模組之感測範圍在攝氏-55度到 125 度，此溫度範圍對於本研究現場溫度而言，十分充裕。而計算雨量用之電路板同樣由 Arduino nano 單晶片機作為運算核心，並用 SD 卡儲存資料。與水位計不同之處為其運作原理只需計算傾斗敲擊數，故只需搭配電阻在單晶片機右側即可。

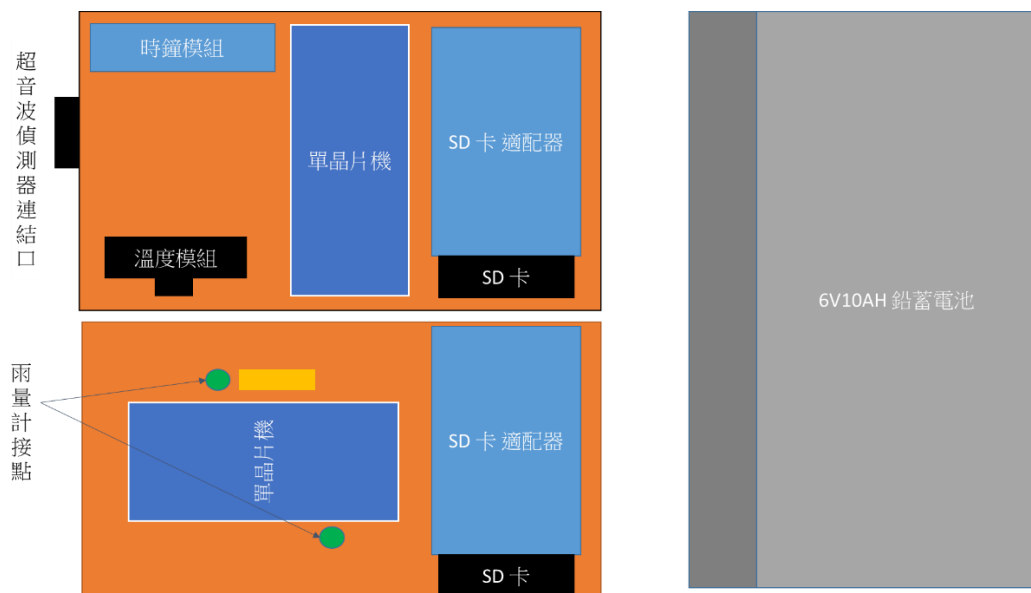


圖 4-8 主要運算盒內部構造

除了 SD 卡記錄外，本研究也同時發展無線版本，主要如圖 4-9 所示，左方為超音波感測器接口，將資料傳至位於中間區位之單晶片機，單晶片機透過右下之溫度模組進行校正，並偵測中下方之雨量計接口是否有反應，最後透過無線傳輸模組，傳至位於附近之 PC 電腦。因為無線模組所需電量較大，故以外部電源透過 USB 線提供電源。

本研究之資料存取方式共有三種，除了 SD 卡存取外，也有近距離無線傳輸和 GSM 遠端傳輸。本年度這三種資料擷取傳輸方式經現地試驗後，符合預期目標，目前正持續觀察中。

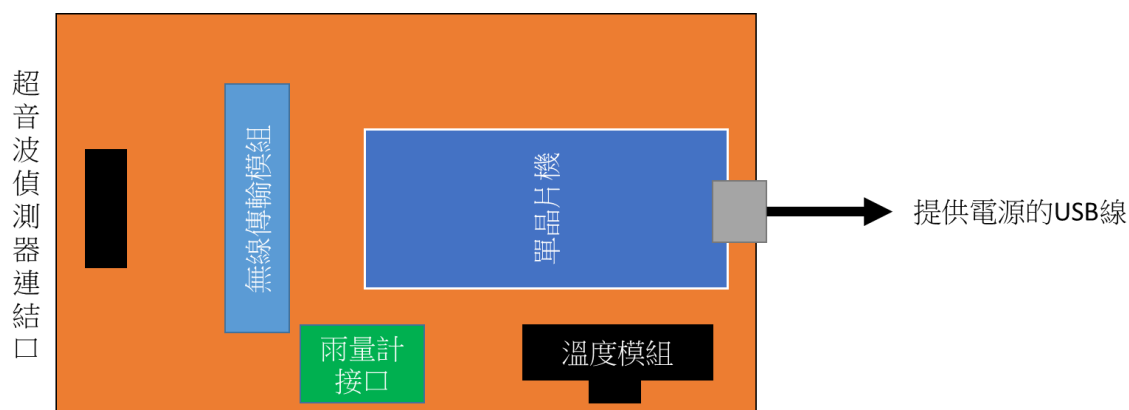


圖 4-9 主要運算盒無線版本內部構造

雨量元件是由漏斗、傾斗和基座所組成，如圖 4-10 所示。運作方式主要是透過漏斗將雨水聚集至傾斗，再透過重量產生扭矩使傾斗旋轉，撞擊底座。由圖 4-11 可以看到基座上有兩個洞，會在此處加上偵測撞擊部件，便能將傾斗撞擊底部之動作轉成電壓變化，如此單晶片機就能進行計數。另外，中間之支撐柱換成金屬柱並加上兩顆軸承，讓整體運作情況減少摩擦力所產生之誤差。

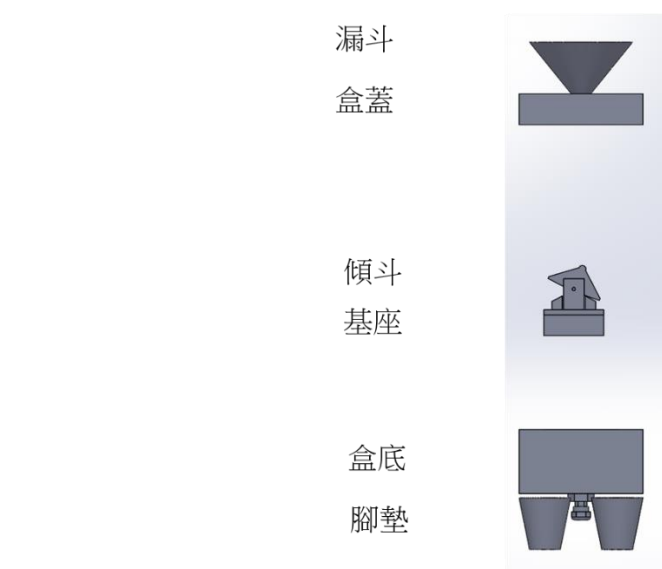


圖 4-10 雨量元件構造圖

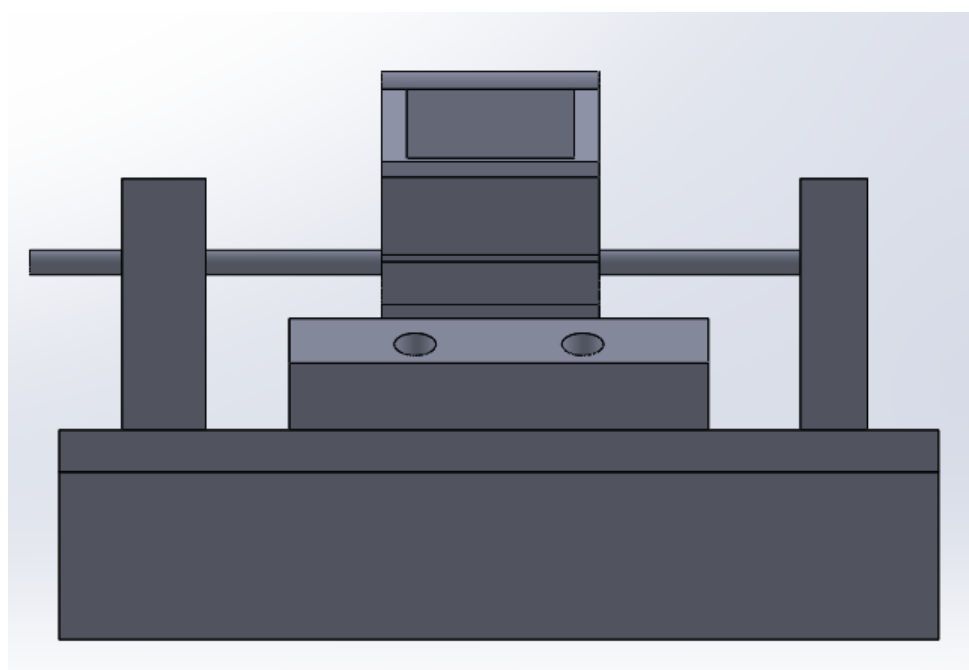


圖 4-11 雨量計內部元件圖

本研究目前暫時將雨量計和水位計整合在一起(如圖 4-12~4-15)，電源可以共用，因此，不需要分別供給電源。



圖 4-12 組裝後之雨量水位計正視圖

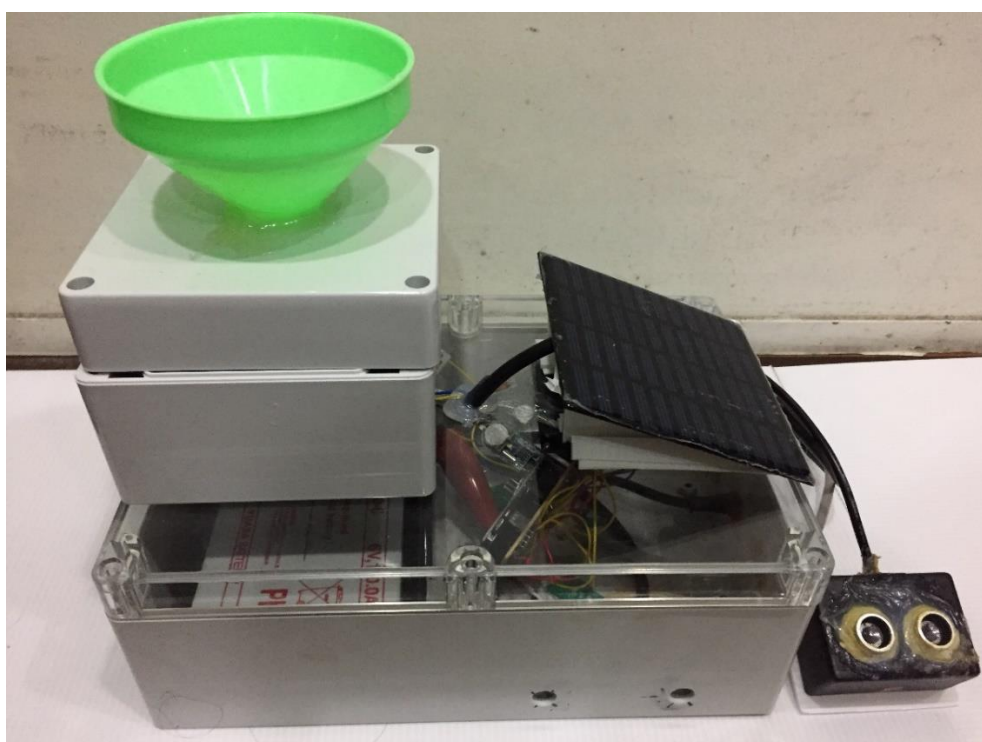


圖 4-13 組裝後之雨量水位計側視圖

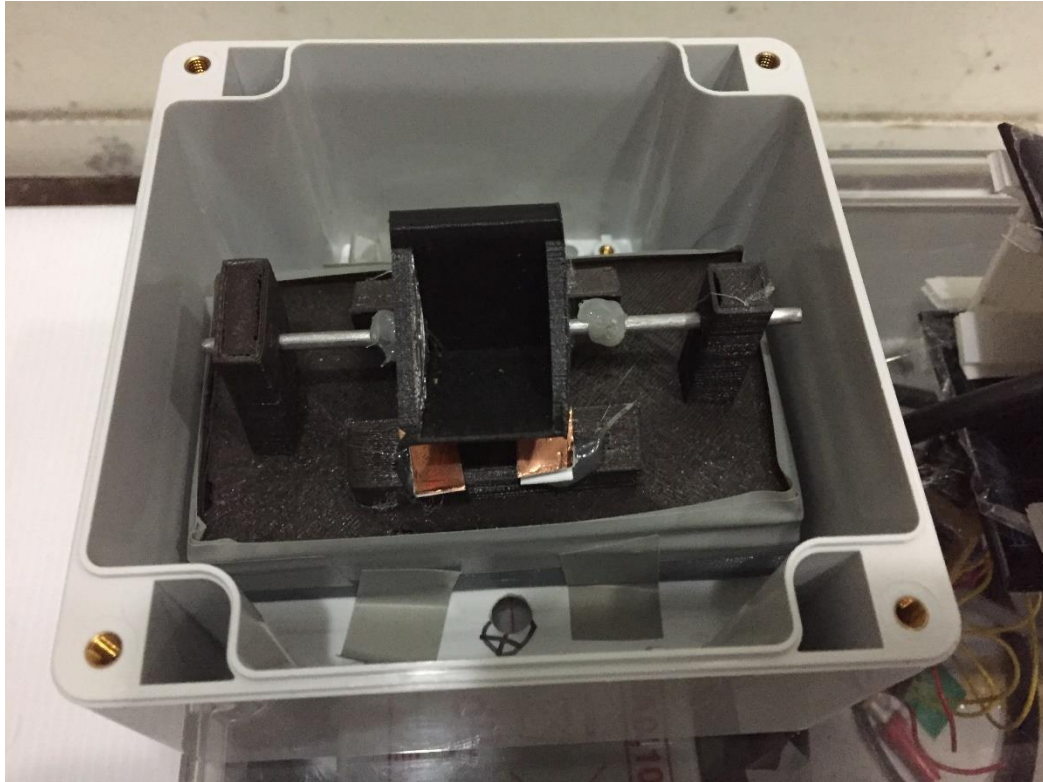


圖 4-14 雨量計內部構造圖



圖 4-15 太陽能板和超音波感測器

設備在樣區架設時之情況如圖 4-16 之示意圖所示，設備會裝設在溢洪口上，並用三隻符合現場溢洪口邊坡傾斜度之角鋼進行水位偵測元件之固定。於安裝儀器時需要確保水位偵測元件所發射或回收之超音波不會碰到溢洪口邊坡坡面，另外，也要調整水位偵測元件與溢洪口表面呈現垂直狀態，以便直接取得正確之距離訊號。

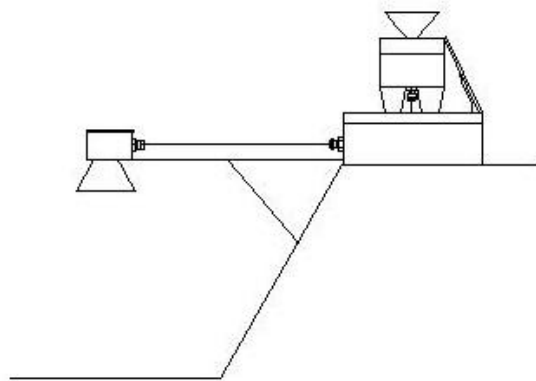


圖 4-16 儀器安裝示意圖

另外，在崩山湖樣區設置複數利用無線傳輸晶片以進行遠端資料傳輸，可以和位於附近民家之 PC 電腦進行雨量、水位資料之無線傳輸動作，如圖 4-17 所示。本研究目前係安裝兩組無線傳輸晶片將水位和雨量資訊分別傳至 PC 電腦，而電腦會透過使用者操作介面來記錄其時間、水位和雨量資訊，並以無線網卡將資訊回傳至位於台北基地之 PC 電腦。

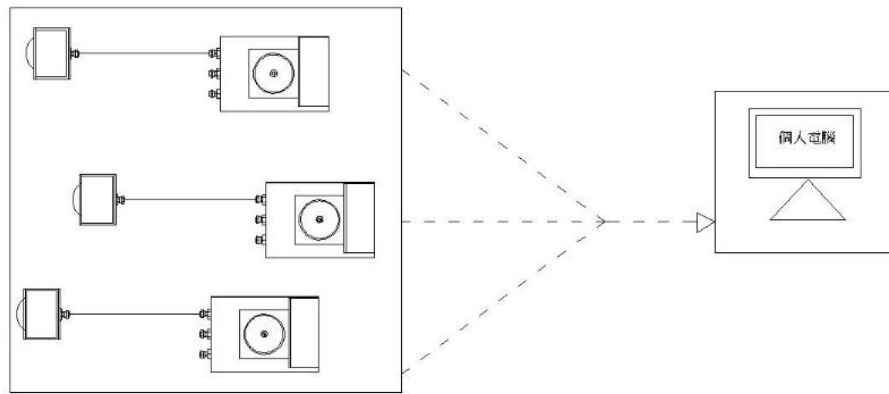


圖 4-17 遠端傳輸示意圖

七、室內校準

所研發之每具雨量計和水位計在現場安裝前，都會經過室內之雨量和水位檢驗，微處理器、記憶卡、溫度感測器、電源系統等也會經過試運轉評估。待一切都沒問題後，才會送往現場安裝。雖然如此，運送過程中因為路途顛簸也會有部分儀器失靈現象，因此本研究每次安裝作業都會多準備兩組雨量計和水位計備用，以便隨時可以遞補。

八、現場觀測

本研究所初步研發完成之雨量、水位計已經安裝於寒溪防砂壩(如圖 4-18~4-21)、碼崙二號防砂壩(如圖 4-22~4-25)、崩山湖箱涵(如圖 4-26~4-30)、小礁溪潛壩(如圖 4-31~4-33)、草湳潛壩(如圖 4-34~4-36)和得子口溪防砂壩(如圖 4-37~4-40)。由於崩山湖雨量水位

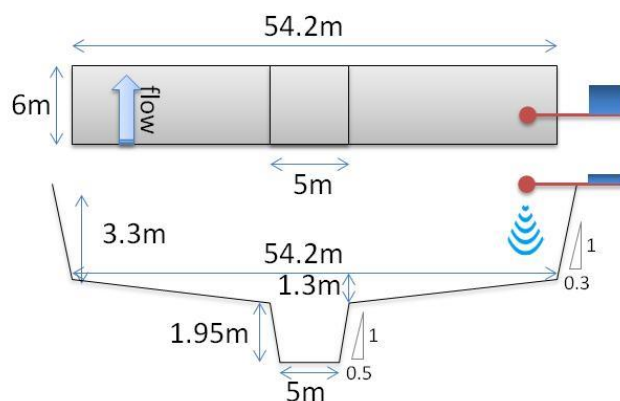
計之電源考慮使用傳統水力發電機，為配合水力落差和發電機安裝位置，崩山湖之雨量水位計，與其他現場不同，係安裝於橋梁箱涵上、下游處。相關溢洪口或箱涵斷面資訊如表 4-2 所示。

表 4-2 雨量水位計安裝位置資訊

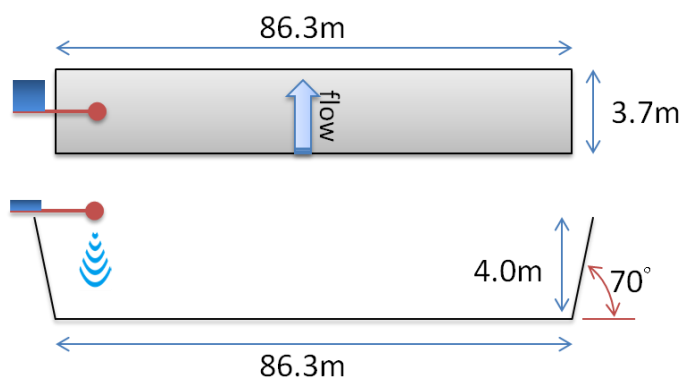
名稱

溢流口/箱涵斷面尺寸

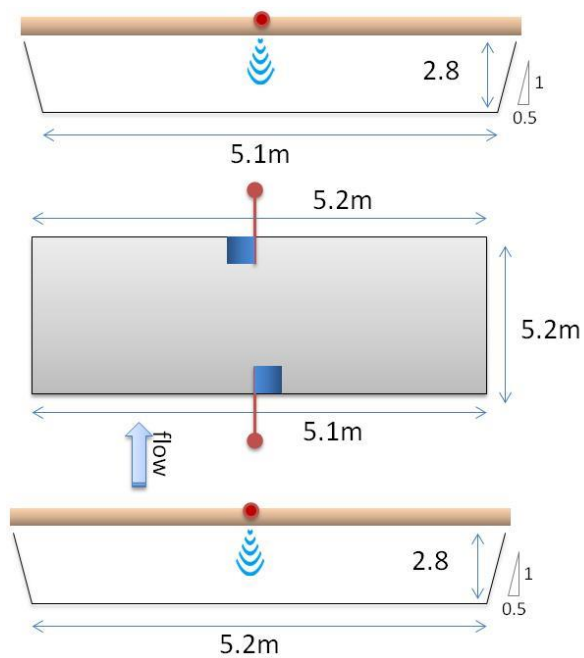
寒溪(集水面積：
1261.2 公頃)



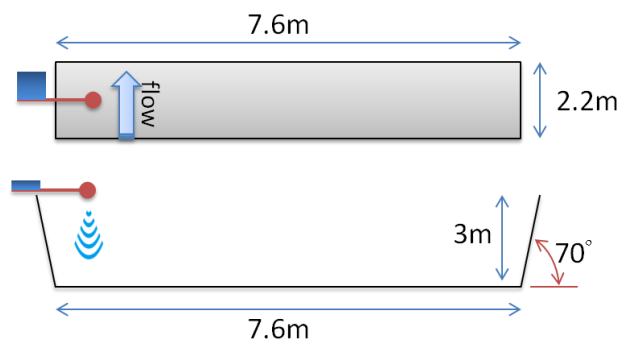
碼崙溪(集水面積：
2038 公頃)



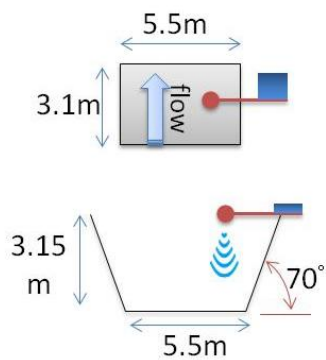
崩山湖(集水面積：
204.6 公頃)



小礁溪(集水面積：
348.9 公頃)



草湳(集水面積：
247.6 公頃)



得子口溪防砂壩(集水
面積：1168.5 公頃)

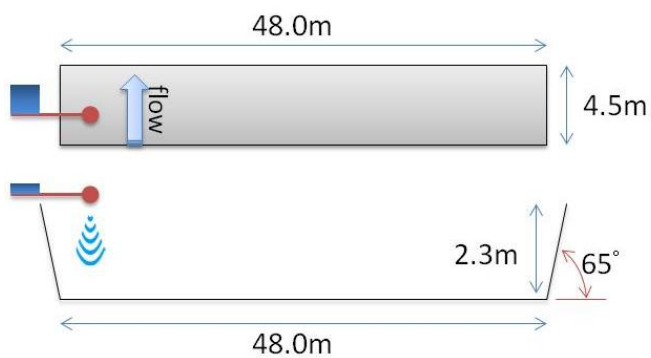




圖 4-18 寒溪(番社坑溪)安裝位置

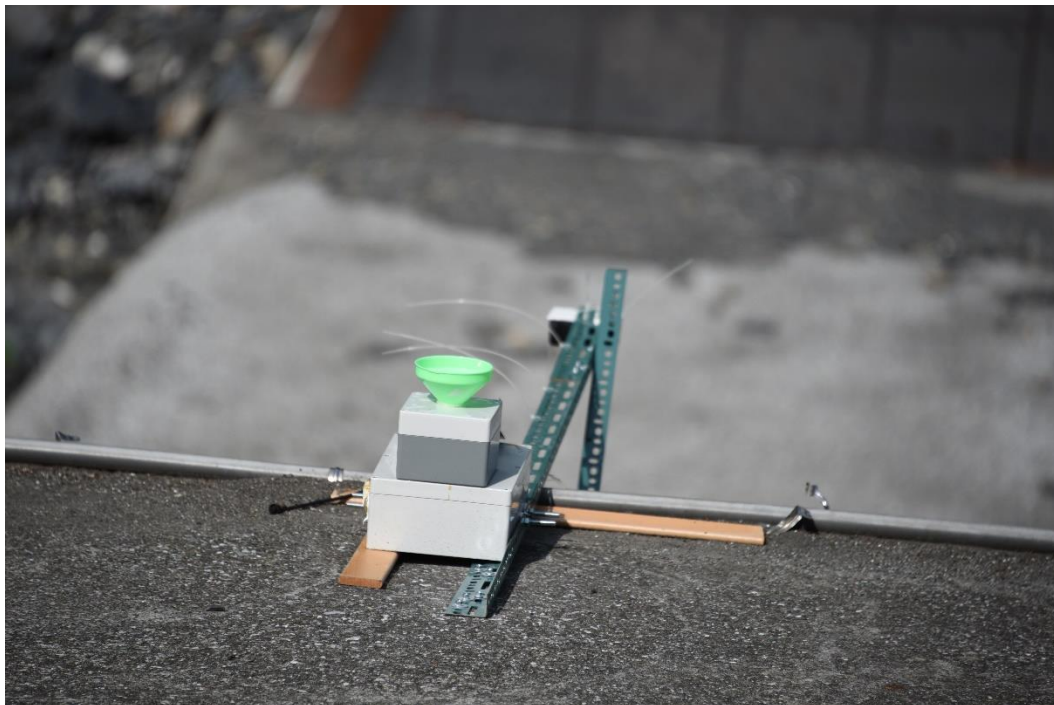


圖 4-1 寒溪(番社坑溪)儀器安裝近照



圖 4-20 寒溪(番社坑溪)儀器安裝遠照(一)



圖 4-2 寒溪(番社坑溪)儀器安裝遠照(二)



圖 4-22 碼崙安裝位置



圖 4-23 碼崙儀器安裝近照



圖 4-3 碼崙儀器安裝遠照(一)



圖 4-25 碼崙儀器安裝遠照(二)



圖 4-26 崩山湖儀器安裝位置



圖 4-27 崩山湖儀器安裝近照(上游側)

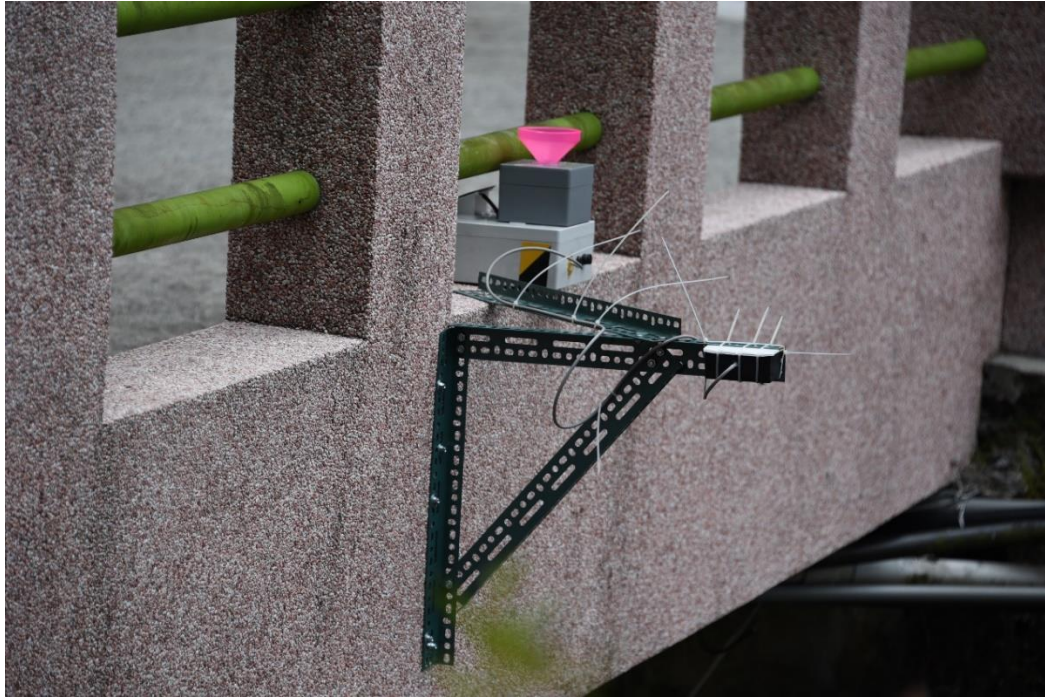


圖 4-28 崩山湖儀器安裝近照(下游側)



圖 4-29 崩山湖儀器安裝遠照(上游側)



圖 4-30 崩山湖儀器安裝遠照(下游側)



圖 4-31 小礁溪儀器安裝位置

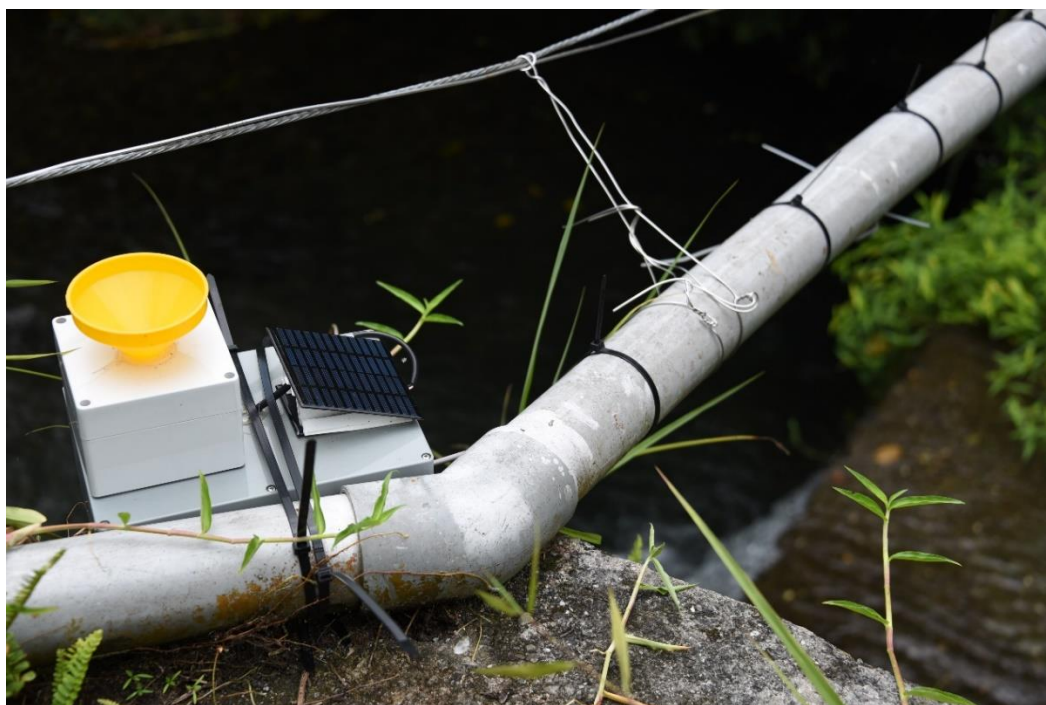


圖 4-4 小礁溪儀器安裝近照



圖 4-33 小礁溪儀器安裝

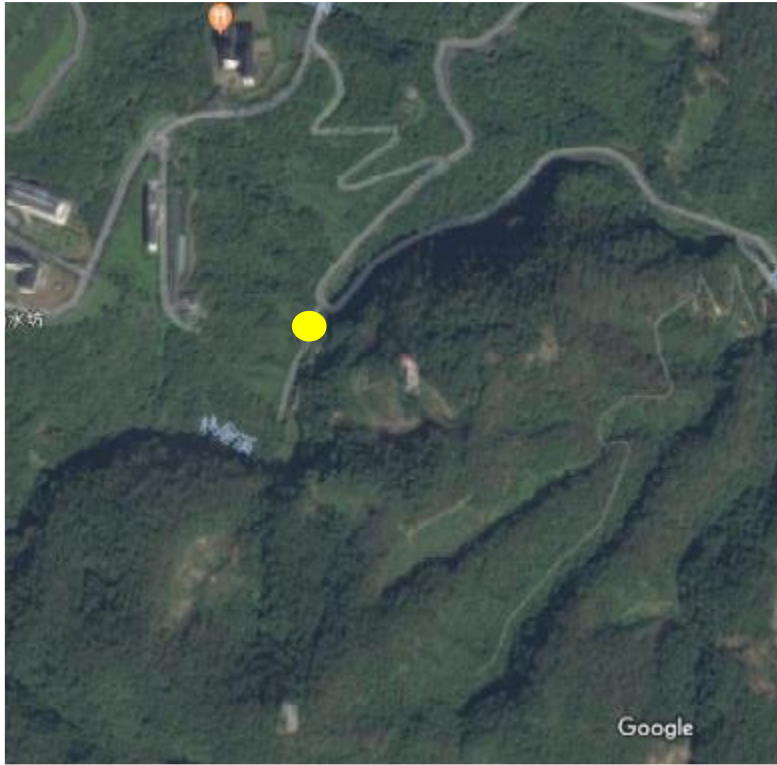


圖 4-34 草涌儀器安裝位置



圖 4-35 草涌儀器安裝近照



圖 4-36 草涌儀器安裝



圖 4-5 得子口溪防砂壩儀器安裝位置

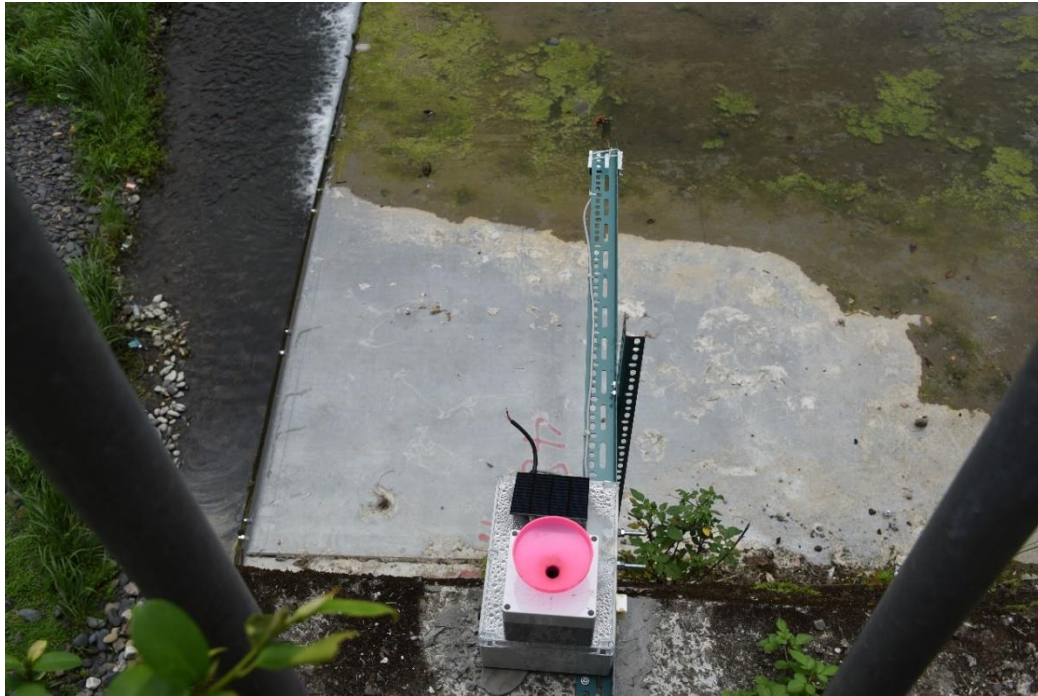


圖 4-38 得子口溪防砂壩儀器安裝近照



圖 4-39 得子口溪防砂壩儀器安裝遠照(一)



圖 4-6 得子口溪防砂壩儀器安裝遠照(二)

九、雨量、水位資料分析

一般水位計為了節省用電，大都採用一小時自動觀測一次為原則，本研究為瞭解一小時內之水位變化，採用觀測頻率最高之約 2 分鐘觀測一次之作法，亦即一小時觀測約 2,056 次。由於崩山湖之水力發電機操作尚不順暢，無法獲得雨量、水位資料外，其餘五個樣區解決強降雨、蟲害、積水等問題後，所獲得之資料數如表 4-3。

表 4-3 資料擷取日期及其筆數

站名	紀錄日期	筆數	紀錄日期	筆數
小礁溪	2018/7/12/21:00	275	2018/9/25 00:13	105
得子口溪	2018/7/13 14:15	28	2018/10/2 23:49	635,184
草湳	2018/7/12 22:33	134,272	2018/10/3 16:26	64
寒溪	2018/7/18 14:59	541,992	2018/9/29 21:39	469,391
碼崙	2018/9/4 02:52	115	2018/9/29/14:47	47,918

目前雨量水位資料尚在整理中，尚未濾波處理之資料如下：

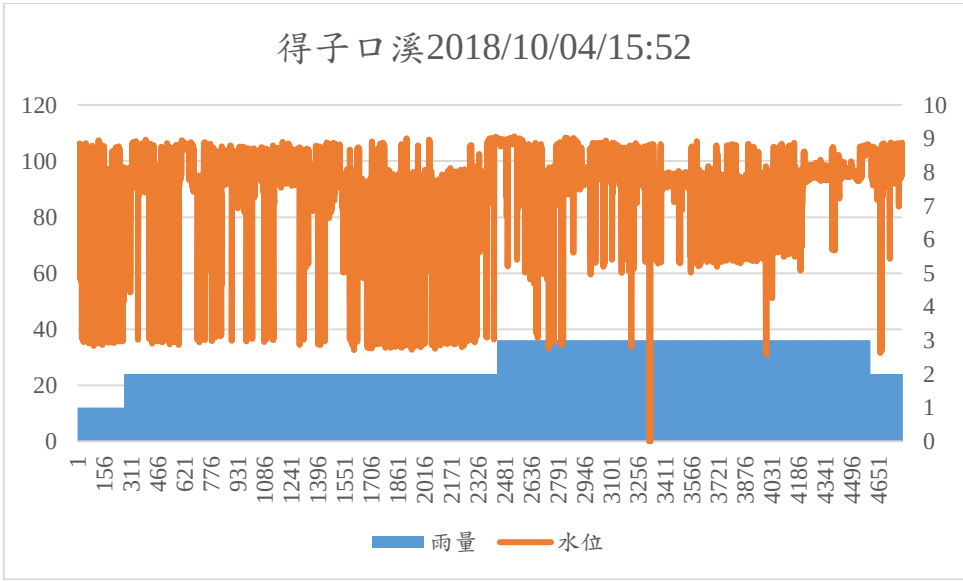


圖 4-41 得子口溪雨量水位資料(2018/10/04/15:52 起)

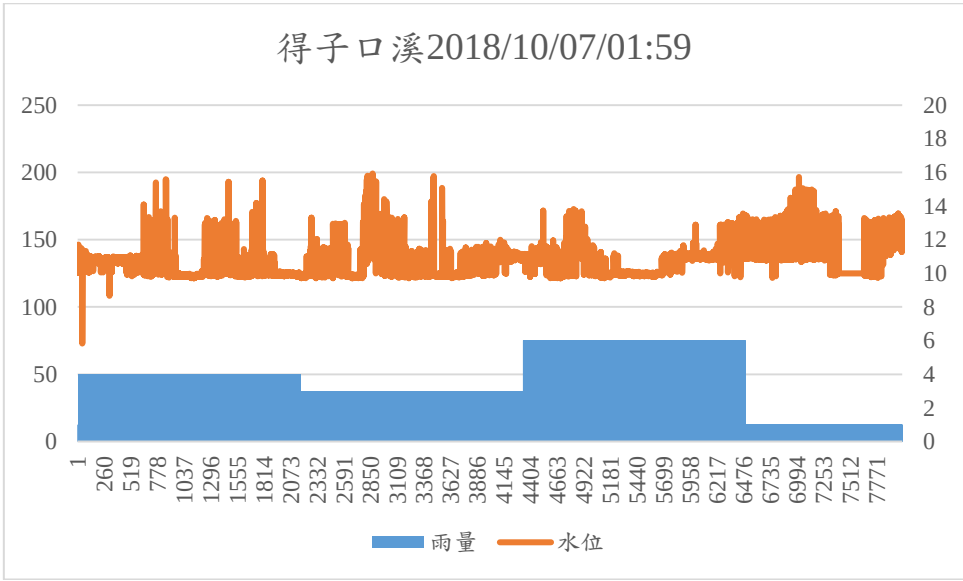


圖 4-42 得子口溪雨量水位資料(2018/10/07/01:59 起)

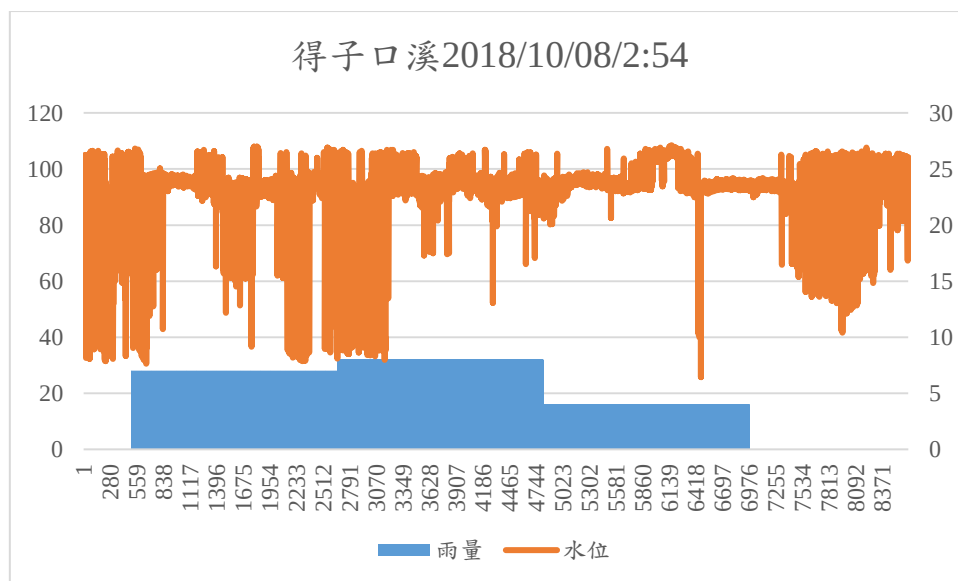


圖 4-43 得子口溪雨量水位資料(2018/10/08/02:54 起)

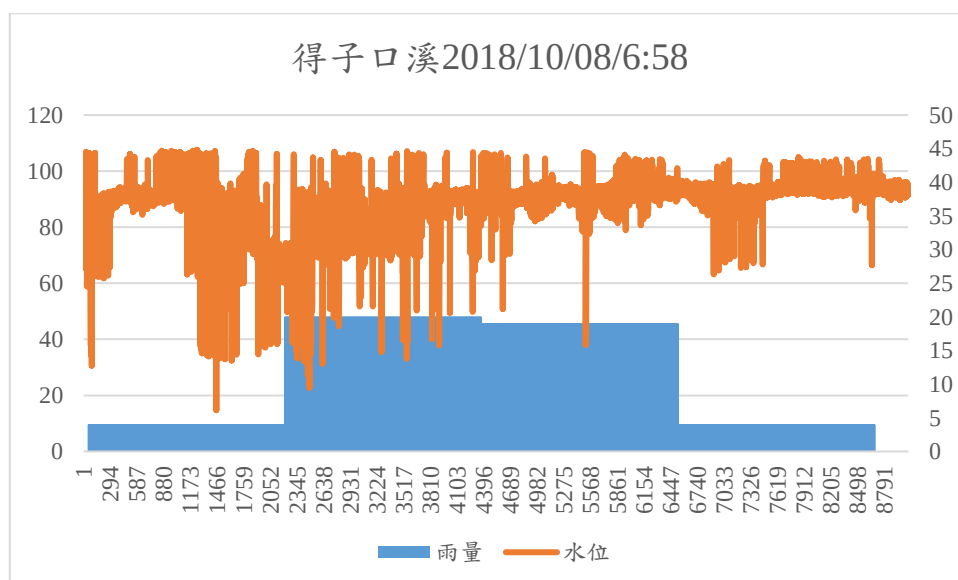


圖 4-44 得子口溪雨量水位資料(2018/10/08/06:58 起)

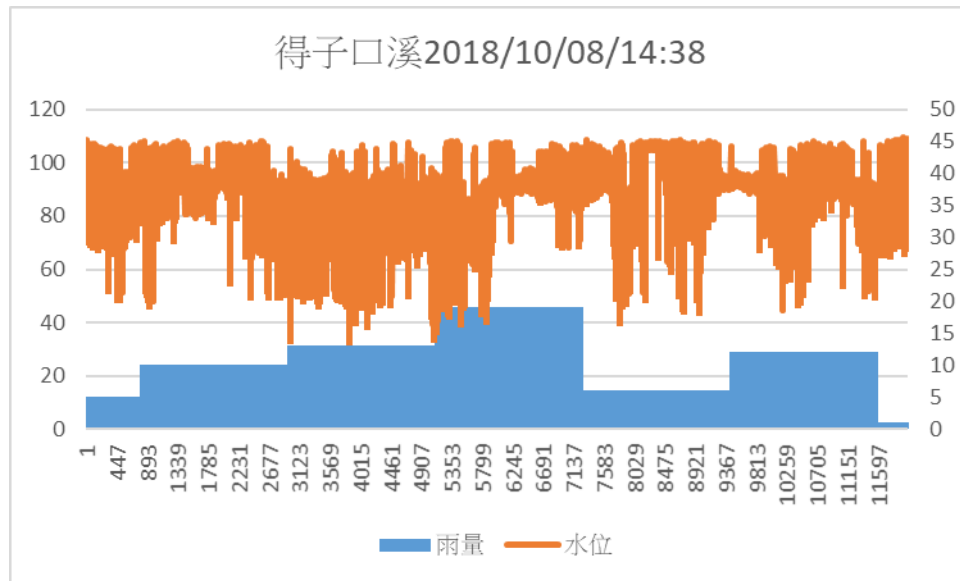


圖 4-45 得子口溪雨量水位資料(2018/10/08/14:38 起)

自圖 4-41~4-45 得知，超音波水位計所得到之水位會隨水面波動之波幅而變動，尤其是約 1,2000 個數據點繪在一張圖上，更顯得有點雜亂，未來經過濾波程序後將會有較清晰之線條出現。其中，每一個藍色長條圖代表一小時之雨量，非常明顯可以看出一小時內之水位是變動；而非固定的。因此，雨量和水位之最小觀測時間就顯得非常重要。

十、檢討改進

本研究所初步研發完成之雨量、水位計材料費用粗估分別為 7,100 元和 7,400 元(無線網卡版)，而且已經安裝於寒溪、碼崙、崩山湖、小礁溪、草湳和得子口溪防砂壩，到目前為止，所組裝之儀器於室內操作均無問題；雖然現場因為強降雨、蟲害、積水等問

題，造成資料擷取困難，本研究也一一克服，歸納發生過之問題以及相關之對策有：

(一)問題

1.雨量計漏斗在排水時，並未完全排至排水口，導致水會積在底座上，而底座有用來計數之感應銅箔，而積水會讓感應銅箔一直是高電位，造成單晶片機無法偵測電位變化，故有紀錄失敗之問題發生。

2.銅箔膠帶重複數次使用後會有老化，彈性疲乏現象，造成計數誤差。

3.小礁溪設備盒被小生物侵入，於內部築巢，嚴重影響儀器運作。

(二)對策

1.漏斗入口處增加濾網，避免小生物進入設備盒內。

2.擴大排水孔孔徑，順利排水，避免設備盒底積水。

3.將銅箔膠帶更換為微動開關，以精準計數。

本年度主要之維護項目集中在蟲害、機件受潮和端點接觸不良等問題，經過處理後，尚未出現新的維護項目。到目前為止，維護成本和頻率尚稱少量，目前正藉著野外安裝經驗，隨時回饋檢討改進儀器之可行性和準確性。

另外，本研究於旗山柴頭溪橋同時安裝研發之雨量計和水位計組和商業化雨量計、水位計，以探討其準確性和適用範圍。由於排定安裝日期前屢次遭逢南部大雨，且須等待水退後才能抵達溪床安裝儀器，因此，目前尚無相對應之雨量水位資料，希望於期末簡報前能夠獲得部分資料以供參考。

十一、專利申請

目前已經先向校方提出研究成果臨時專利申請書，待研發之雨量計和水位計通過各項嚴謹之校驗，以及通過相關行政審核程序後，再正式申請專利。

第五章 結論及建議

第一節 結論

經過理論分析、3D 列印、程式撰寫、儀器組裝、現場試驗和資料擷取分析等步驟後，主要成果如下：

1. 研發完成之雨量水位計以市電供應為優先；沒有市電供應時，蓄電池配合太陽能亦可提供足夠電源。
2. 雨量水位計於室內可以發揮精準之量測成果；在野外已經排除強降雨、蟲害和積水問題，目前正持續觀察，檢視有無其他問題出現，並且加以解決。
3. 由於宜蘭縣可發電時數為 2.55 小時，其發電量無法滿足雨量水位計之需求電量。因此，仍舊以蓄電池電源為主要供應電源；太陽能為輔助電源。由於落差水頭不足，微水力發電目前尚無法提供足夠電源，雨天時仍舊以蓄電池電源為主。
4. 雨量水位計之蓄電池配合太陽能可以擷取最大筆數達 635,184 筆紀錄，充分發揮臨時雨量水位計之擷取功能。
5. 雨量水位計具有記憶卡和無線傳輸兩種形式，除可充當臨時觀測站外，亦可呈現雨量和水位在最短觀測期間內之變動情形。

第二節 建議

由於落差水頭過低，微水力發電機目前尚無法直接應用於現場，建議未來可以針對颱風期間野溪水流動力之利用繼續深入研究。

為了保障研發人員可以繼續研發、改進智慧化雨量計和水位計，除了本年度將依農委會相關規定申請相關專利外，建議可以提供後續經費研發多功能之智慧化雨量計和水位計。

當智慧化雨量計和水位計通過各項官方測試後，建議農委會可以提供廠商大量複製，提供防災專員使用。

第六章 參考文獻

1. 王晉倫，土石流監測與防災資訊系統，國土資訊系統成果展示研討會論文集, III-1-1~III-1-9。中華民國內政部國土測繪中心，2003。
2. 文淵閣工作室，*用 LinkIt One 玩出物聯網大未來*，基峯資訊股份有限公司，2015。
3. 白乃遠、曾奕霖，*App Inventor 2 Android 應用開發實務*。博碩文化股份有限公司，2016。
4. 林博雄、張譯心、王璿瑋、李育棋、林連楓，不同季節降雨形態下傾斗式雨量筒與撞擊感測式雨量計之比較。103 年天氣分析與預報研討會。中央氣象局，2014。
5. 林博雄、張譯心、魏聰輝、李育棋，*傾斗式雨量筒與撞擊感測式雨量計之比較*。102 年地質與地球物理學術研討會大會手冊。中央地質調查所，2013。
6. 柯博文，*Raspberry Pi 最佳入門與實戰應用*。基峯資訊股份有限公司，2015。
7. 柯博文，*Arduino 互動設計專題與實戰*。基峯資訊股份有限公司。
8. 孫駿榮、蘇海永(民 104)。用 *Arduino* 全面打造物聯網。基峯資

訊股份有限公司，2015。

9. 陳亮全，*智慧聯網於防救災應用*。2011 年行政院智慧聯網產業發展策略會議。行政院，2011。
10. 蘇文瑞、張子瑩、陳宏宇，從資料整合與資訊加值的工作到智慧防災之實現與展望。國土及公共治理季刊。第三卷，第二期，44-52，2015。
11. 詹錢登、李明熹、郭峰豪，*以降兩因子進行土石流警戒值訂定*。行政院農業委員會水土保持局委託成果報告(計畫編號：94農科-11.5.2-保 S1)，2008。
12. 詹錢登，*土石流警戒值之訂定及應用*。氣象資訊在坡地災害之預警應用研習會。行政院，2012。
13. 廖泰杉，崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展國家實驗研究院儀器科技研究中心成果報告書。財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心，2013。
14. Bagree, R., Characterization and Design of a Readout Circuit for a Piezoelectric-based Acoustic Disdrometer. Location: M.S. thesis of Delft University of Technology, 2012.
15. Bishop, R.H., *Learning with LabVIEW 8*. Location: Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc., 2007
16. Molini, A., Field Inter-comparison of Rainfall Intensity Gauges. Location: Data Manager Report, 2007.

17. Salmi, A., Elomaa, L., kopsala, P. & laukkanen, E, *Piezoelectric Vaisala Raincap Rain Sensor Applied to Drop Size Distribution Monitoring*. Helsinki, FINLAND FIN-00421 P.O. Box 26, 2008.

附錄

附錄一、初審意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	有關研發成果之專利申請等，請依農委會相關規定辦理。	謝謝指教，遵照辦理。
二	有關自行研發之雨量計與水位計之精度校驗方式，請補充說明或提第三方驗證。	謝謝指教，如 2-1 頁說明。

附錄二、期初審意見回覆辦理情形

期初審查意見	回覆辦理情形
1. 請補充說明於現地如何利用微水利進行發電?	謝謝指教。將微水力發電機裝置於固定斷面河床或是防砂壩、潛壩或固床工之溢洪口上即可發電。如 2-9 頁說明。
2. 採用超音波水位計進行水位量測，是否考量水面振盪而造成較大的誤差，此外系統電路是否有強度補償功能。	謝謝指教。震盪水面會導致超音波產生雜訊，本研究會在取得資料後進行濾波，將雜訊清除。由於感測器到微處理器間之線路長度為 1~2 公尺，沒有訊號衰減問題，所以沒有裝置強度補償或放大設施。如 2-4 頁說明。
3. 圖 2-4 將水位計安裝於河岸，僅適用於全斷面洪流狀況，故建議考量安裝位置之妥適性。	謝謝指教。本研究之水位計係裝置於防砂壩、潛壩或固床工之溢洪口上，只要野溪水位均布且高於溢洪口高程，微處理器都可以記錄到訊號。如 2-4 頁說明。
4. 圖 2-5 顯示，降雨水位關係，這一種資料相當可貴，不僅可以回推集水區逕流係數，亦能取得集水區調蓄能力(降雨逕流的稽延時間及降雨逕流歷線)，故建議可以進行多種水文分析。	謝謝指教。未來蒐集足夠資料後，會依照委員建議進行相關研究。如 2-10 說明。
5. 請補充傳輸系統相關說明。	謝謝指教。傳輸系統主要分有線和無線兩大類。有線系統係由傳輸線直接連結感測器和微處理器；無線系統則是藉由 XBee 晶片將資料傳到附近電腦；或是藉由 4G 網卡將資料傳到遠端電腦。如 2-8 頁說明。
6. 建議本研究之成果，與已經研發成果，甚至商品化之產品的功能及成本做比較。	謝謝指教。本研究成果距離商品化尚有一段距離，但是會再接再厲，研發出便宜又精確之

	雨量水位觀測儀器。如 2-10 頁說明。
7. 用 3D 列印小型雨量計之優點為何？	謝謝指教。如果將尚在研發階段期間之不同類別、型式零件都請廠商開模製造，所需經費將會十分驚人，因此，以 3D 列印設計開發之各項零件，可以大量節省研發經費。如 2-1、2-3 頁說明。
8. 即使是氣象局所設之雨量站，亦常發生資料傳不出來或雨量站故障之情形，故建議本計畫應加強相關儀器的耐候性。尤其是放在戶外能否承受豪雨及長期日曬之考驗？建議提供本研究所開發的產品在使用上之限制條件，如落雷、耐久性等。	謝謝指教。本研究目前之工作重點係著重在儀器之準確性，所使用之材料並不具耐久性。待準確性達到需求標準後，將會以耐久性材料重新打造，並考慮避雷設施。如 2-3 頁說明。
9. 智慧化的監測設備之資料傳輸，是否為即時傳送。微水力發電對雨量計而言如何取得微水力發電之電源？	謝謝指教。本研究所規劃之傳輸方式為即時傳輸。規劃之雨量計和水位計係連結在一起，因此，微水力發電之電源可以同時供給雨量計和水位計使用。如 2-8、2-9 頁說明。
10. 雨量計之率定及校正及適用範圍輸出時間距離，請補充說明。	謝謝指教。目前規劃本研究所研發之雨量計和水位計組和商業化雨量計、水位計裝置在同一地點，以探討其準確性和適用範圍，必要時再予以率定和校正。輸出時間可以設定在處理程式內。另外，依據無線和有線型式而有不同距離限制。如 2-10 頁說明。
11. 安裝雨量計及水位計之選址及裝設位置，請補充說明。	謝謝指教。本研究之水位計係裝置於防砂壩、潛壩或固床工之溢洪口上。目前安裝於寒溪、碼崙、崩山湖、小礁溪、草湳和得子口溪防砂壩等 6 處。如 2-9 頁說明。

12. 紀錄器如能即時傳送，可確保資料之收集。	謝謝指教。本研究規劃資料紀錄有記憶卡和電腦硬碟兩種紀錄方式。如 2-8 頁說明。
13. 量測資料如何自動地傳到水保局或相關人員(如防災專員等)，頻率為何?計畫書未提及，建議再補充。	謝謝指教。藉由 XBee 晶片可以將資料傳到附近防災專員的電腦；或是藉由 4G 網卡將資料傳到遠端水保局相關人員的電腦。如 2-8 頁說明。
14. 現地設備常會遇到供電不足等環境嚴苛之挑戰，常流水區域除微水力發電外，亦可增加太陽能等天然發電之設備做為測試，並投入研發電力設備保護裝置，以解決嚴苛之現地條件所造成的設備毀損。	謝謝指教。本研究規劃電源為：平時以太陽能供電和蓄電，降雨期間水位增加時，以微水力發電取代。如 2-8 頁說明。
15. 研究所得之水位與雨量資料建議可與鄰近雨量站進行比較，有助於後續對於雨量與水位等關聯性進行進一步的分析。	謝謝指教。目前規劃本研究所研發之雨量計和水位計組和商業化雨量計、水位計裝置在同一地點，以探討其準確性和適用範圍。初步規劃安裝於旗山柴頭坑溪。如 2-10 頁說明。

附錄三、期中報告書審意見回覆辦理情形

期中報告書審查意見	回覆辦理情形
1. 本研究旨在開發高精度、高效率、低價格的智能化觀測儀器，並進行現地觀測分析比較和傳統儀器之差異，研發太陽能及微水利發電之替代能源供現地觀測儀器之使用。計畫目標具有創新性。	謝謝委員指導。
2. 本報告為計畫執行之期中報告，報告之說明宜以實際執行之進度及成果為主，或是說明遭遇之困難，及解決困難之方法。	謝謝委員指導。報告內容將大幅改進，增加實際執行之進度及成果，以及遭遇之困難與解決困難之方法。
3. 本期中報告之執行內容及成果以照片方式呈現為主，(第2-11頁至2-27頁)，建議增加文字或量測結果之圖表說明，用以儀器之精度，故障及適用性。	謝謝委員指導。報告內容將大幅改進，增加文字和量測結果之圖表說明，以說明儀器精度、故障及適用性。
4. 期中報告之摘要及結論應以已經完成之項目及重要成果為主要內容，而不是概念性的預期成果。摘要和結論幾乎一樣也是不適當的。	謝謝委員指導。摘要及結論內容將大幅改進，以已經完成之項目及重要成果為主要內容。
5. 本研究使用3D列印材料印製相關設施之零件，想法相當新穎，若能加入使用該材料之相關成本、耐用性及儀器穩定性，將更能說明材料選用之效益。	謝謝委員指導。報告內容將增列3D列印材料之相關成本、耐用性及儀器穩定性，並評估該材料選用之效益。

附錄四、期末報告書審意見回覆辦理情形

審查意見	回覆說明	對應章節
1.雨量計和水位計的資料存取是否考量以無線或自動遠端存取資料，即時獲得雨量和水位資料。	謝謝指教。本研究之資料存取方式有三種，除了SD卡存取外，也有近距離無線傳輸和GSM遠端傳輸。本年度這三種資料擷取傳輸方式經現地試驗後，符合預期目標，目前正持續觀察中。	P.4-17 頁
2.設備之維護成本與頻率為何？	謝謝指教。本年度主要之維護項目集中在蟲害、機件受潮和端點接觸不良等問題，經過處理後，尚未出現新的維護項目。到目前為止，維護成本和頻率尚稱少量，目前正持續觀察中。	P.4-41 頁
3.低成本的雨量與水位計，在防災應用上甚佳，建議可大力推廣。	謝謝指教。希望未來可以提供防災專員或民眾使用。	P.1-3 頁
4.水力發電如何保持電力、電壓穩定，可持續供電情況如何？	謝謝指教。水力發電電壓和太陽能板、電池供電電壓不同，因此，本研究增加一塊穩壓電路板，調整電壓後才進入處理系統，以免燒壞電子零件。	P.4-13 頁
5.3D 列印之件可靠、耐久性如何？是否須常常更換？(現場需考量太陽光長期照射)	謝謝指教。本研究利用3D列印之零件係雨量筒內之傾斗及其基座，不會受到太陽照射，到目前為止，還沒有需要更換之徵兆出現，正持續觀察中。	P.4-1 頁
6.雨量計適用強降雨之上限為何？	謝謝指教。小容量傾斗不容易記錄到強降雨；大容量傾斗則是不容易記錄到小降雨事件。雨量計之器差會隨著降雨強度增加而增加，在符合中央氣象局之 $\pm 3\%$ 條件下，承雨口徑20cm，分辨力1.0mm雨量計可以記錄到200mm/hr。本研究在確認處理系統能夠在現場順利運作	P.4-3 頁

	後，即調整適當容量傾斗，以達到法規標準。	
--	----------------------	--