

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080506

「泉」讓你知道--礁溪溫泉之探討

學校名稱：宜蘭縣礁溪鄉四結國民小學

作者：	指導老師：
小六 謝承佑	許淑蘭
小六 吳予心	黃佑家
小四 吳奕緯	
小四 王幸妤	
小六 呂妍靚	
小六 陳盈蓁	

關鍵詞：礁溪溫泉、得子口溪、礁溪溫泉模擬裝置

作品名稱：「泉」讓你知道-礁溪溫泉之探討

摘要：

本研究經由調查活動，了解礁溪溫泉區之地層構造是由四稜砂岩所組成，四稜砂岩經地層變動擠壓，除了形成傾角多數為 60 度到 80 度的節理之外，也形成數條斷層。再透過實驗設計操作得知，節理越多且角度越大的四稜砂岩，其導水性越好。因此，地底的原始溫泉就順著四稜砂岩的節理和斷層湧出沖積扇，形成平地溫泉。

再經由得子口溪的野外調查活動中發現，得子口溪的中、下游，因地底有砂石、泥等沉積物，溪水會從地表沉積物下滲到地底，造成溪床乾涸。

結合礁溪溫泉和得子口溪地質調查及實驗設計操作的結果，本研究設置了「礁溪溫泉」模擬裝置以實驗探討之並依實驗結果推測礁溪溫泉區的溫泉泉溫變化情形。

壹、研究動機

好奇妹是班上的好奇寶寶，「為什麼…?」、「怎麼會這樣?」、「如果…，會變如何?」是好奇妹的口頭禪。

淡定哥博學多聞，天文地理無一不曉，是同學眼中的智多星，對於同學的疑難雜症，總是泰若自然應答。

這一天好奇妹遇見淡定哥。

好奇妹：「你說說看咱們礁溪什麼自然資源最寶貝？」

淡定哥：「這還要說，自然是溫泉。」

好奇妹：「你對礁溪的溫泉認識多少？」

淡定哥：「儘管問吧!我定知無不言、言無不盡。」

好奇妹：「台灣唯一的一處平地溫泉在哪裡？」

淡定哥：「這個簡單，就是我們礁溪溫泉嘛。」

好奇妹：「平地溫泉的特色是什麼，它和山區溫泉有何差別？」

淡定哥：「嗯~,這...這我不知道。」

好奇妹：「礁溪的地名從何而來？」

淡定哥：「我知道，因為咱們礁溪溪流的中、下游溪床呈現乾涸沒有溪水的現象，變成了乾溪，『乾溪』以台語來發音就是礁溪的讀音囉！」

好奇妹：「那礁溪溪流的中、下游為什麼會呈現乾涸的現象呢？」

好奇妹：「再者，礁溪溫泉使用者大量抽取溫泉，是否會因而導致溫泉資源面臨枯竭的問題呢？」

淡定哥終於無法再故作鎮定而激動的說：「天啊!淡定妹你哪裡來的這些怪問題，我怎麼從來都沒有想過，這可把我給考倒了，為了維護我智多星的名號，我們一起去找老師協助，做個以礁溪溫泉為專題的研究，你說好不好呀！」

好奇妹：「好啊！不過咱們得替我們的研究取個響亮的名號，就取名『泉.讓你知道』」

淡定哥：「好名稱，我給你按一個讚！走~我們去找老師吧！」

貳、研究目的

一、進行研究活動，以了解礁溪溫泉的成因：

- (一) 經由野外地質調查，探討礁溪溫泉區的地層構造，再由實驗設計操作驗證其地層特性。
- (二) 經由野外地質調查，探討得子口溪上游、中游、下游水量的變化及沖積扇，再由實驗設計操作驗證其沖積扇的特性。

二、依據上述研究結果，製做「礁溪溫泉」模擬裝置，透過模擬裝置實驗以推測礁溪溫泉區：

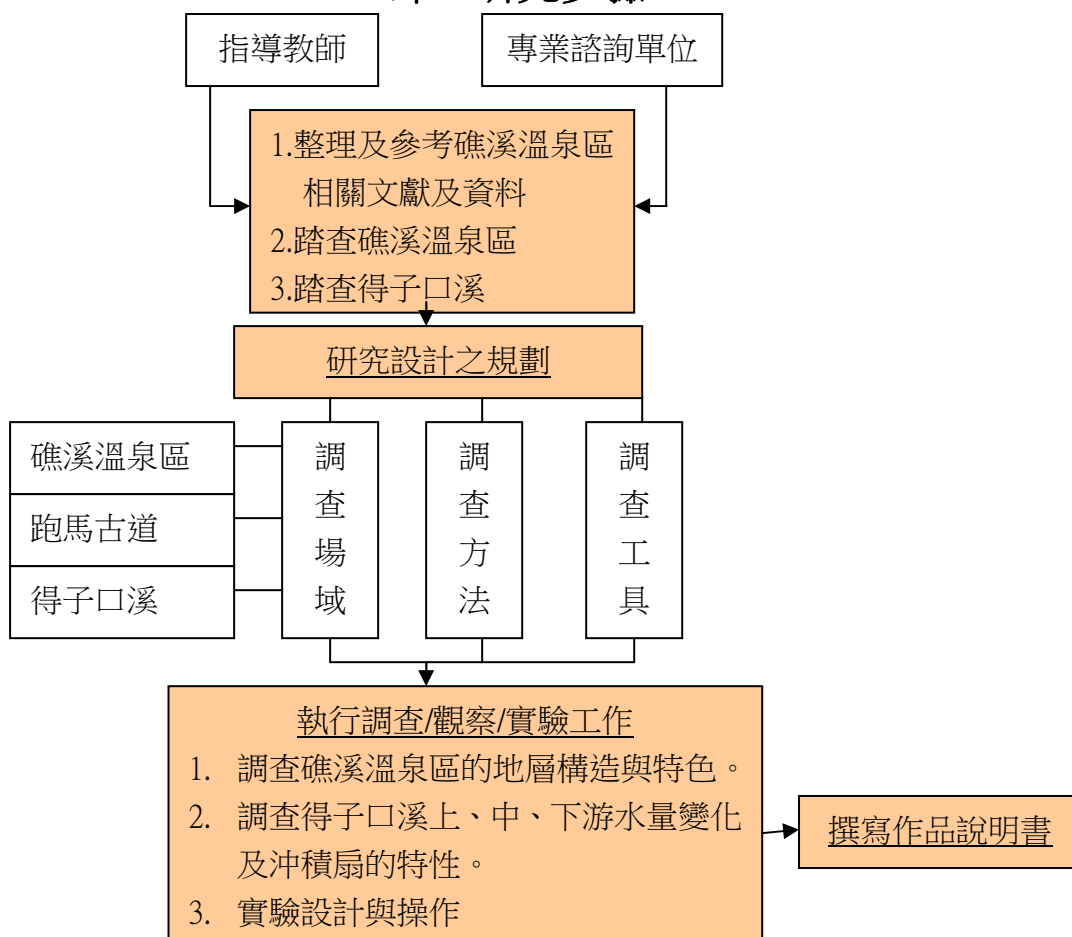
- (一) 不同溫泉井，不同水位高度之泉溫差異。
- (二) 不同溫泉井，在得子口溪下滲溪水挹注後，不同水位高度之泉溫差異。
- (三) 在不同溫泉井抽取溫泉後，溫泉井泉溫的變化。

三、藉由「礁溪溫泉」模擬裝置之實驗過程，製定「礁溪溫泉」模擬裝置之實驗操作標準流程。

參、研究工具及用途

編號	項目	數量	用途
1	google earth	1	野外地質調查後，將調查點定位用。
2	傾斜儀	1 台	測量跑馬古道四稜砂岩節理傾角角度。
3	捲尺 (100m)	1 捲	測量跑馬古道崩塌面的長與高、得子口溪沉積層的厚度。
4	戶外調查紀錄表	每生 1 份	野外地質調查用。
5	珍珠板 (10cm*10cm; 厚 0.7cm)	10 片	模擬四稜砂岩用; 驗證具節理的四稜砂岩有較高的導水度。
6	沙箱 (30*30*45cm)	1 只	驗證沉積物 (礫石、沙石、泥) 的滲透度。
7	礁溪溫泉模擬裝置 (65*28*45cm)	1 只	模擬礁溪溫泉用。
8	溫度記錄計 (感應式)	1 個	測量「礁溪溫泉模擬裝置」中溫泉井之泉溫。
9	碼表	1 個	進行「礁溪溫泉模擬裝置」實驗操作時，計時之用。
10	長管滴管	1 支	進行「礁溪溫泉模擬裝置」實驗操作時，吸取溫泉。
11	幫浦虹吸管	1 支	進行「礁溪溫泉模擬裝置」實驗操作時，導出常溫水。
12	實驗操作紀錄表	每次 1 份	實驗記錄用。

肆、研究步驟



伍、研究方法

一、研究時間：自民國 101 年 9 月起至民國 102 年 4 月止。

二、野外地質調查：請台灣大學博士後研究員江○○指導：

(一) 觀察並記錄礁溪溫泉區地層構造及特性：測量地層的走向和傾斜，以及岩石的節理密度。

(二) 觀察得子口溪上、中、下游水量變化的情形及沖積扇的特性：從五峰旗開始，沿河床往下游方向，一路觀察溪水水量的變化情形及沖積扇的特性。

三、驗證礁溪溫泉區地層特性-具節理的四稜砂岩有較高導水性之實驗設計：

(一) 實驗裝置說明-準備二個 10cm*10cm*10cm 的立方體容器，其中一個(甲容器)在底部的長和寬每隔 2cm 鑽一個洞，共鑽 16 個洞，每一個洞直徑約 0.5 公分。另一個容器(乙容器)則是在側邊開一個止水閥開關，放入 14 片 10cm*10cm 且厚約 0.7cm 的珍珠板(模擬四稜砂岩)，將容器填滿。兩個容器放置如下圖：



(二) 實驗步驟說明-在乙容器中放入不同處理方式的珍珠板，將甲容器放在乙容器上，並倒入 200c.c.的水，計時 20 秒並打開止水閥開關，時間到便將乙容器的止水閥開關關住，計算從乙容器流出的流量以得知不同處理方式之珍珠板的導水性。不同處理珠板說明如下：

- 1 未有切割線(模擬四稜砂岩節理)的珍珠板。
- 2 切有兩條對角線(模擬四稜砂岩節理)的珍珠板。
- 3 切有兩條對角線和垂直平分線(模擬四稜砂岩節理)的珍珠板。
- 4 切有兩條對角線、垂直平分線和水平平分線(模擬四稜砂岩節理)的珍珠板。

四、驗證得子口溪沉積層特性-沉積物(礫石、砂石、泥土)滲透度之實驗設計

(一) 實驗裝置說明-準備一個 30cm*30cm*45cm(高)的容器，並在側邊開一個止水閥開關。

(二) 實驗步驟說明-在容器中分次放入 15cm 高的礫石、沙石、泥，倒入 5 公升的水，計時 20 秒並打開止水閥開關，時間到便將容器的止水閥開關關住，計算從容器流出的流量以得知礫石、沙石、泥的滲透度。

五、製做「礁溪溫泉」模擬裝置：

(一)「礁溪溫泉-形成原因」模擬裝置製做說明

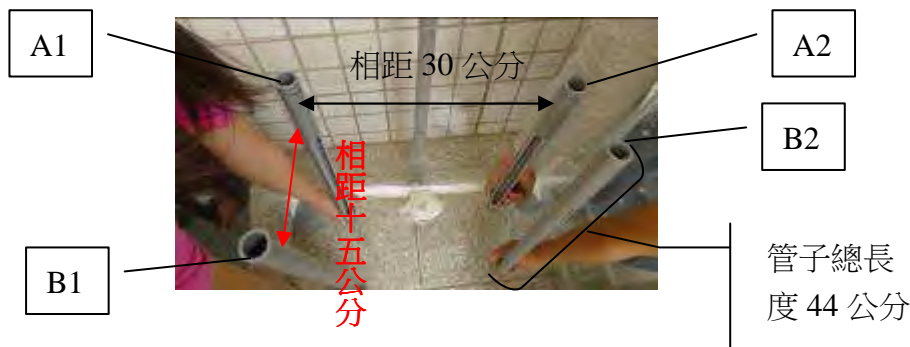
以壓克力板製做長、寬、高為 65 公分、28 公分、45 公分之長立方體容器，並在容器底部打一個洞，模擬溫泉的出水口(位在容器內側的中心點)，並在高 2 公尺的地方裝一個 12 公升的保溫桶，以水管連接到溫泉出水口，倒入攝氏約 90 度的熱水以模擬自出水口湧出的溫泉。在容器的底層到上層分別放置礫石、沙石和泥，模擬礁溪溫泉區的沖積扇。為

了模擬得子口溪水，在容器左側加裝集水空間，長、寬、高分別為 9 公分、28 公分、45 公分，並在集水區的容器壁上鑽了 32 個直徑 0.5 公分的小孔（有 4 欄，每一欄 8 個小孔），讓集水區的水可以滲透到容器的礫石層、沙石層及泥層，模擬得子口溪溪水下滲到沉積層的情形。



(二)「礁溪溫泉-溫泉井」模擬裝置製做說明

在上述容器中取四個點，分別為 A1、A2、B1、B2，A1、A2 設置於相距溫泉出水口 15 公分之兩側，且與溫泉出水口在同一水平線上。B1、B2 則設置在與 A1、A2 相距 15 公分且同一水平線上。在 A1、A2、B1、B2 四點上放置水管（管子總長 44cm，地表上長度 16cm，地表下長度 28cm；管子內徑 2cm），模擬礁溪溫泉的溫泉井。



六、「礁溪溫泉」模擬裝置實驗設計操作：

(一) 控制溫泉【註 1】，以溫度測量計測得 A1、A2、B1、B2（模擬溫泉井）不同水位高度的溫泉溫度

- 1 水位高度 24cm 的溫泉溫度（深層水位）。
- 2 水位高度 17cm 的溫泉溫度（中層水位）。
- 3 水位高度 10cm 的溫泉溫度（低層水位）。

(二) 控制溫泉和得子口溪溪水下滲溪水【註 2】，以溫度測量計測得 A1、A2、B1、B2（模擬溫泉井）不同水位高度的溫泉溫度

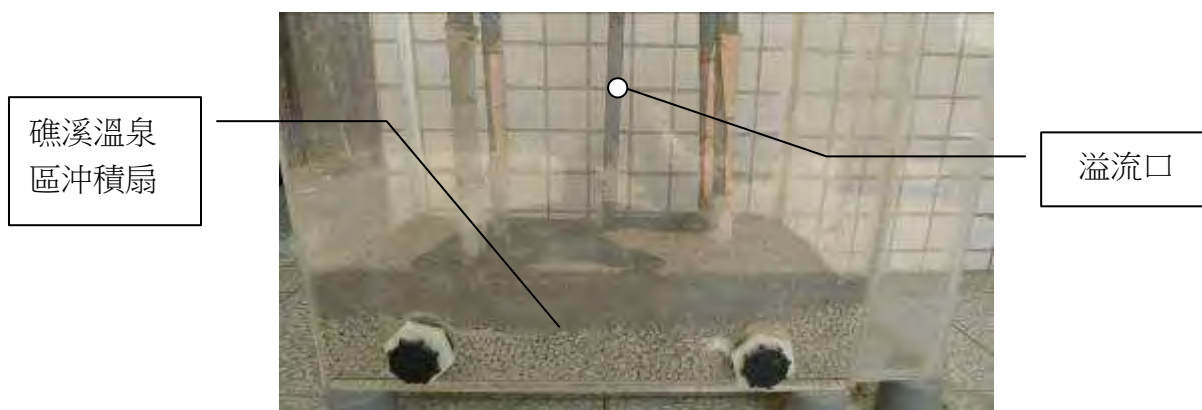
- 1 水位高度 24cm 的溫泉溫度（深層水位）。
- 2 水位高度 17cm 的溫泉溫度（中層水位）。
- 3 水位高度 10cm 的溫泉溫度（低層水位）。

(三) 控制溫泉和得子口溪下滲溪水：

- 1 以長管滴管抽取 A1（模擬溫泉井）深層水位溫泉 20c.c.後【註 3】，以溫度測量計測得 A2、B1、B2（模擬溫泉井）中層水位之溫泉溫度。
- 2 以長管滴管抽取 A2（模擬溫泉井）深層水位溫泉 20c.c.後，以溫度測量計測得 A1、B1、B2（模擬溫泉井）中層水位之溫泉溫度。

- 3 以長管滴管抽取 B1 (模擬溫泉井) 溫泉井深層水位溫泉 20c.c.後，以溫度測量計測得 A1、A2、B2 (模擬溫泉井) 中層水位之溫泉溫度。
- 4 以長管滴管抽取 B2 (模擬溫泉井) 溫泉井深層水位溫泉 20c.c.後，以溫度測量計測得 A1、A2、B1 (模擬溫泉井) 中層水位之溫泉溫度。

【註 1】持續注入攝氏約 90 度的熱水，讓熱水完全滲透於礫石、砂石、泥土層後，熱水會從溢流口溢出。以溫度測量計測量 A1、A2、B1、B2 (模擬溫泉井) 之泉溫，待 A1、A2、B1、B2 泉溫穩定，不再隨時間改變溫度時 (模擬裝置內的溫度達到穩定值)，測量 A1、A2、B1、B2 不同水位高度的泉溫。



【註 2】持續注入攝氏約 90 度的熱水 (模擬溫泉)，且從溢流口溢出 1 分鐘，再挹注集水區常溫水 (模擬得子口溪下滲溪水)，讓熱水及常溫水完全滲透於礫石、砂石、泥土層後，從溢流口溢出。以溫度測量計測量 A1、A2、B1、B2 (模擬溫泉井) 之泉溫，待 A1、A2、B1、B2 泉溫穩定，不再隨時間改變溫度時 (模擬裝置內的溫度達到穩定值)，測量 A1、A2、B1、B2 不同水位高度的泉溫。

【註 3】水管內徑 2 公分，地面下管子長度 28 公分，故管子內的水量最多約為 87.92c.c. ($1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 3.14 \times 28\text{cm} = 87.92\text{c.c.}$)，依實驗設計抽取管子內的水量為 20c.c.，約為管子內 22% 的水量。

陸、研究過程與討論

一、礁溪溫泉區的地層構造與特性：

(一) 調查礁溪溫泉區的地層構造與特性

礁溪溫泉區之地層構造，位於地表下，因此無從觀察，但礁溪溫泉區緊臨跑馬古道山區，與跑馬古道同屬相同之地層構造，故以跑馬古道為研究場域，探知礁溪溫泉區的地層構造與特性。本研究探查跑馬古道之三處地點，以台電的電線桿標號為標記，分別是地點一：五峰幹四右枝 13、地點二：五峰幹四右枝 15、地點三：五峰幹四右枝 24。

1 地點一之地層構造及特性描述

從該點的岩石露頭得知礁溪溫泉區的地層構造屬於四稜砂岩，其形成年代距今三千萬年前，後因菲律賓海板塊推擠而隆起。四稜砂岩屬於輕度變質砂岩，其組成的礦物有 90% 為石英，所以硬度很高，以莫氏硬度分類其硬度為 7。

		
講師在講解四稜砂岩特性	學生在觀察四稜砂岩特性	學生敲打四稜砂岩，體驗四稜砂岩硬度

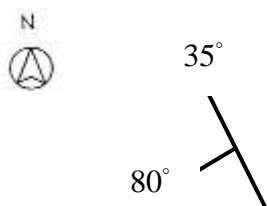
2 地點二之地層構造及特性描述

- (1) 透過觀察，該處四稜砂岩的節理非常發達，為探究該點的節理密度，以皮尺量出 20 公尺的距離，計數水平剖面的節理數，數得該點 20 公尺內的節理數為 18 條。
- (2) 另外，該點節理發達的另一個潛在證據為附近有一處崩塌面，崩塌面寬度約為 36 公尺，基於安全性考量沒測量高度。崩塌面形成的原因，推測為：該處節理密度較高，岩層容易受到風化而降低抗侵蝕力，因而產生崩塌現象。

		
講師在講解四稜砂岩受擠壓後容易產生節理	講師帶著學生練習數出該調查點的節理數	該調查點的大面積崩塌面

3 地點三之地層構造及特性描述

- (1) 以傾斜儀測量節理面傾角和走向，該點之四稜砂岩大部份節理面的傾角都在 70° ~ 85° 之間，走向多為北偏西 35° 朝南，以簡圖表示如下：



- (2) 該點附近有一塊大面積的崩塌面，推測也是因為多組節理發達，再受到長期風化侵蝕而造成的。
- (3) 崩塌面旁邊有一條沿斷層發育的山溝，深約 10 公尺，溝內的岩塊上有因岩脈斷層而產生的斷層擦痕，因此可以得知該點附近有一斷層帶。

		
講師說明該點上的斷層溝	斷層溝中四稜砂岩上的斷層擦痕	學生使用傾斜儀測量節理的傾面





(二) 驗證礁溪溫泉區地層特性-四稜砂岩導水性之實驗設計
實驗裝置如下圖：



乙容器填入不同處理方式（模擬四稜砂岩的節理）的 14 片珍珠板（模擬四稜砂岩），甲容器（底部有 16 個小孔）置於乙容器上並倒入 200c.c.的水，打開乙容器的止水閥開關，計時 20 秒，時間到時將乙容器的止水閥關住，測量乙容器流出的水量，以得知不同節理方式之四稜砂岩的導水性，不同節理處理方式如下：

- A 方式：無切割線
- B 方式：兩條對角切割線
- C 方式：兩條對角線+垂直平分切割線
- D 方式：兩條對角+垂直平分+水平平分切割線

實驗結果如下表：

處 理	次 數				平均	“水”開始流出的時間
	第一次	第二次	第三次	流量		
A 方式 	4c.c.	5c.c.	5c.c.	4.66c.c.	12.53 秒	
B 方式 	30c.c.	29c.c.	30c.c.	29.66c.c.	6.26 秒	
C 方式 	66c.c.	64c.c.	67c.c.	66c.c.	5.57 秒	
D 方式 	56c.c.	58c.c.	57c.c.	57c.c.	7.92 秒	

由表得知：

- 1 A 處理方式流出的流量最少；B 處理方式流出的流量次之；C 處理方式流出的流量最多，因此可知節理越多，導水性越佳。
- 2 D 處理方式雖然比 C 處理方式多一條水平平分切割線，但流出的流量卻較 C 處理方式少，可知水平節理無利於導水性。
- 3 另外，從“水”開始流出容器的時間也可得知，C 處理方式“水”開始流出來的時間最快，所以導水性最好，因此節理之角度越大，越有利於導水。

(三) 討論：

- 1 由調查活動可知，礁溪溫泉區的地層屬於四稜砂岩，四稜砂岩硬高度，受到擠壓容易形成斷層及節理。在地質調查的三個地點中，可發現二處斷層和多組節理，且節理的傾角多為 $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 之間。
- 2 在四稜砂岩導水性之實驗中發現，除了節理的數量會影響岩石的導水性外，節理的傾角越大導水性越佳，礁溪溫泉區的四稜砂岩節理發達且傾角大，故有利於形成溫泉的通道。
- 3 本研究推測地底較深部的原始溫泉即是由這些四稜砂岩節理所形成的通道，湧入平原的沖積扇。

二、得子口溪上、中、下游水量變化及沉積層的特性：

(一) 調查得子口溪水量變化及沉積層特性

本研究在得子口溪觀察的地點有三處，分別以該地點所在或鄰近的位置名稱命名：
五峰旗（上游）、龍泉橋（中游）、礁溪國中（下游），以下分述觀察結果。

- 1 五峰旗：位於得子口溪溪谷中，河道中有溪水，但水量不多，應是自今年以來降雨量稀少所致。該處地表之河床佈滿四稜砂岩的岩塊，應該是溪水水量充足時從山上搬運而下的，由此可以推測，該處附近的地底岩盤屬於四稜砂岩，岩盤不易滲水，故溪水沒有下滲的情形。
- 2 龍泉橋：河道中沒有溪水，從河道的兩側可觀察到不同時期的沉積物，經測量最高的沉積物達 2.8 公尺（如右圖）該處的沉積物，從顆粒大小的分佈和顏色，約可分為四個時期，每個不同時期的沉積物其岩石大小顆粒由下而上均是從大到小排列，層次分明。經溪水長年累月的堆積作用，推測河床至地底基盤也應有一定厚度的沉積物。從地表沉積物可觀察到，粗顆粒的礫石間有孔隙，因此推測該處的溪水應該會下滲到地表以下，故該處的河道上沒有觀察到溪水。
- 3 礁溪國中：河道中沒有溪水，從河道的兩側可觀察到不同時期的沉積物，經測量最高的沉積物約 80 公分（如右圖）。該處最高的沉積物，從沉積物顆粒大小的分佈和顏色，約可分為三個時期，該處河道上沒有溪水，經推測其原因也是因為溪水下滲到地表以下。



(二) 驗證得子口溪沉積層特性-沉積物(礫石、砂石、泥土)滲透度之實驗設計

從上述的調查活動中發現，得子口溪上、中、下游的水量有明顯的變化，推測是溪水下滲到地底沉積層所致，由沉積物的組成不同，因此，設計一沙箱(如右圖)，模擬得子口溪不同顆粒大小之沉積物，以了解不同顆粒大小沉積物的滲透情形。在沙箱內分別放置高 15 公分的礫石、砂岩、泥土後，倒入 3 公升的水，再計算 20 秒內從沙箱流出的水量。實驗結果如下：



沉積物	第一次	第二次	第三次	平均
礫石	418c.c.	412c.c.	412c.c.	412c.c.
砂石	118c.c.	119c.c.	117c.c.	118c.c.
泥土	64c.c.	67c.c.	67c.c.	67c.c.

由上表可知，礫石、砂岩、泥土在倒入水後，在 20 秒內流出的水量各不相同，分別為 412c.c.、118c.c.、67c.c.，從以上數據得知得知，礫石的滲透度最佳，砂石的滲透度次之，泥土的滲透度最差。

(三) 討論

- 1 從得子口溪的地質調查中可知道，得子水溪的中、下游，因地底有砂石、泥沙等沉積物，溪水會從沉積物滲到地底下，造成溪床乾涸，然而這些下滲到地底的水流到底往何處去了呢？因水會往低處流，本研究推測，得子口溪中、下游下滲到地底的水是流到地勢較低的沖積扇扇端，其中往北邊流動的水就有可能進入礁溪溫泉區內。
- 2 結合礁溪溫泉和得子口溪地質調查及實驗設計操作的結果，本研究提出一個假設：礁溪溫泉的泉水是由地底深部的原始溫泉經由四稜砂岩的節理往上湧入到沖積層後，再混合得子口溪下滲的溪水而形成的，故以下設置了「礁溪溫泉」模擬裝置以驗證並探討之。

三、「礁溪溫泉」模擬裝置實驗-以模擬裝置進行實驗，推測礁溪溫泉區的不同溫泉井，在不同水位高度之泉溫差異：

(一) 實驗操作

持續注入攝氏約 90 度的熱水(模擬溫泉)，讓熱水完全滲透於礫石、砂石、泥土層後，熱水會從溢流口溢出。以溫度測量計測量 A1、A2、B1、B2(模擬溫泉井)之泉溫，待 A1、A2、B1、B2 泉溫穩定，不再隨時間改變溫度時(模擬裝置內的溫度達到穩定值)，測量 A1、A2、B1、B2 不同水位高度之泉溫。

溫泉在 4 分 36 秒時完全滲透到沖積扇，且從溢流口溢出。分別在溫泉於溢流口溢出後 30 秒、1 分鐘、1 分鐘 30 秒，測量 A1、A2、B1、B2 水位高度 24cm 的溫泉溫度，其測量結果如下：

管子 溫度 時間	A1	A2	B1	B2
30 秒	64.7°C	63.5°C	59.8°C	58.9°C
1 分鐘	79.1°C	79.3°C	74.5°C	74.1°C
1 分鐘 30 秒	79.3°C	79.6°C	74.7°C	74.2°C

得知溢流口溢水 1 分鐘後，模擬裝置內的溫度達到穩定值，故進行以下之實驗操作：以溫度測量計測得 A1、A2、B1、B2 不同水位高度（分別為 24cm、17cm、10cm）的溫泉溫度，如表【一】

表【一】

管子 溫度 水位	A1	A2	B1	B2
水位高度 24 公分（深層水位）	79.3°C	79.3°C	73.5°C	73.1°C
水位高度 17 公分（中層水位）	75.5°C	75.6°C	72.1°C	71.8°C
水位高度 10 公分（淺層水位）	73.7°C	73.4°C	70.3°C	69.9°C

（二）實驗結果：

- 1 越靠近溫泉出水口的位置，如 A1、A2 其溫泉的溫度比 B1、B2 溫泉的溫度高。
- 2 水位高度越高，溫泉的溫度越高；反之，則溫泉的溫度越低。

（三）討論

透過「礁溪溫泉」模擬裝置實驗所做的推測：

- （1）由以上實驗裝置實驗可知道：溫泉從出水口湧出到沖積扇後，便散流到沖積扇各處，形成平地溫泉。越靠近溫泉出水口的溫泉井，溫泉的溫度越高，反之，溫度則越低。其次，不同水位高度的溫泉溫度亦有不同，溫泉井開鑿的越深（水位高度越高），測量/抽取到的溫泉溫度越高，反之，溫度則越低。因此，礁溪溫泉的泉溫有區域性及水位高度的差異性。
- （2）從平面或電子媒體對礁溪溫泉報導的內容中知道，一般民眾多認為這些年來礁溪溫泉的泉溫感覺上降低了很多，但一些大型飯店（溫泉經營業者）卻認為溫泉泉溫不但沒有下降，反而還上升。這些讓人眼花瞭亂、莫衷一是的報導內容，若經由實驗裝置的實驗結果來探討，就能得到一個合理的解釋：
 - ①從區域性探討：溫泉經營業者大多蓋在溫泉湧出口的附近，所以從溫泉井抽取出的泉水溫度會較高；一般民眾散居在平原區上，或許離溫泉湧出口較遠，因此，從溫泉井抽取出的泉水溫度會較低。
 - ②從水位高度探討：一般而言，溫泉經營業者，所開鑿的溫泉井較深，水位高度較高，所以抽取的溫泉泉溫較高。而一般居民所開鑿的溫泉井通常較淺，水位高度較低，所以

抽取的溫泉泉溫較低。

四、「礁溪溫泉」模擬裝置實驗設計-以模擬裝置進行實驗，推測礁溪溫泉區的不同溫泉井，在得子口溪下滲溪水挹注後，不同水位高度之泉溫差異：

(一) 實驗操作

持續注入攝氏約 90 度的熱水（模擬溫泉），且從溢流口溢出 1 分鐘後，分別挹注集水區常溫水（模擬得子口溪下滲溪水）30 秒、1 分鐘、1 分鐘 30 秒，測量 A1、A2、B1、B2（模擬溫泉井）水位高度 24cm 的溫泉溫度，其測量結果如下：

管子 溫度 時間	A1	A2	B1	B2
30 秒	67.8°C	60°C	55.1°C	52.2°C
1 分鐘	67°C	59.3°C	50.3°C	50°C
1 分鐘 30 秒	66.9°C	60°C	51°C	50.1°C

得知得子口溪溪水下滲 1 分鐘後，模擬裝置內的溫度達到穩定值，故進行以下之實驗操作：以溫度測量計測得 A1、A2、B1、B2 不同水位高度（分別為 24cm、17cm、10cm）的溫泉溫度，如表【二】

表【二】

管子 溫度 水位	A1	A2	B1	B2
水位高度 24 公分(深層水位)	66.9°C	60.6°C	51.1°C	50.5°C
水位高度 17 公分(中層水位)	63.7°C	60°C	47.2°C	45.1°C
水位高度 10 公分(淺層水位)	55.2°C	53°C	42.4°C	38.4°C

(二) 實驗結果：

測量 A1、A2、B1、B2 不同水位高度之溫泉井，可以發現：

- 1 A1、A2 和溫泉出水口距離相同，泉溫理應相差不大，但 A2 受到得子口溪下滲之溪水影響，不管任何水位高度的泉溫均比 A1 低。
- 2 B1、B2 和溫泉出水口距離相同，泉溫理應相差不大，但 B2 受到得子口溪下滲之溪水影響，不管任何水位高度的泉溫均比 B1 低。

(三) 討論：

透過「礁溪溫泉」模擬裝置實驗所做的推測：

- (1) 比較表【一】、表【二】測量 A1、A2、B1、B2（模擬溫泉井）之不同水位高度的泉溫

而推測：礁溪溫泉區不同水位高度的溫泉井，其泉溫均會受到得子口溪下滲溪水混合的影響，而使泉溫降低。

- (2) 礁溪溫泉區距離得子口溪較近的溫泉井，其泉溫會受到較多量的得子口溪下滲溪水影響，而使泉溫下降。

五、「礁溪溫泉」模擬裝置實驗設計-以模擬裝置進行實驗，推測礁溪溫泉區在不同溫泉井抽取溫泉後，溫泉井泉溫的變化：

(一) 實驗操作

持續注入攝氏約 90 度的熱水（模擬溫泉），且從溢流口溢出 1 分鐘後，再挹注集水區常溫水（模擬得子口溪下滲溪水），計時 1 分鐘，停止挹注熱水及集水區常溫水。以長管滴管抽取 A1（模擬溫泉井）深層水位（24cm）的溫泉 20c.c.後，以溫度測量計測得 A2、B1、B2（模擬溫泉井）中層水位（17cm）之溫泉溫度。A2、B1、B2 的實驗操作與 A1 相同，詳細實驗操作步驟請見附錄：「礁溪溫泉」模擬裝置實驗操作標準流程。

進行上述實驗操作，其結果如下：

1 抽 A1 井

管子	A2	B1	B2
未抽取前溫度	60.8°C	47.2°C	45.1°C
抽取後溫度	53.2°C	41.6°C	38.9°C

2 抽 A2 井

管子	A1	B1	B2
未抽取前溫度	62.9°C	48.4°C	44.6°C
抽取後溫度	49.6°C	40.5°C	37.5°C

3 抽 B1 井

管子	A1	A2	B2
未抽取前溫度	61.9°C	61.1°C	44.3°C
抽取後溫度	51.4°C	54.9°C	40.9°C

4 抽 B2 井

管子	A1	A2	B1
未抽取前溫度	62.5°C	60.7°C	48°C

抽取後溫度	53.1°C	53.5°C	39.3°C
-------	--------	--------	--------

(二) 實驗結果

- (1) 抽取 A1、A2、B1、B2 (模擬溫泉井) 深層水位 20c.c.的溫泉，使得 A1、A2、B1、B2 中層水位的泉溫均下降。
- (2) 抽取 A2、B2 (模擬溫泉井) 深層水位 20c.c.的溫泉，會讓 A2、B2 (靠近得子口溪) 的泉溫下降幅度更大。

(三) 討論

透過「礁溪溫泉」模擬裝置實驗所做的推測

- (1) 抽取礁溪溫泉區之溫泉井的泉水，會讓得子口溪下滲的溪水快速的補充到溫泉區的沖積扇中，而使得溫泉區的泉溫下降。
- (2) 從「礁溪溫泉」模擬裝置實驗設計-控制溫泉之實驗操作中得知，泉溫有水位高度的差異性，水位高度越高，泉溫越高；反之，則越低。因此，本研究大膽推測：如果開鑿的溫泉井越深(即抽取深層水位的溫泉井)，原始溫泉湧出沖積扇的量會變少，而使得「淺層」水位高度的泉溫降低。再從以上抽取溫泉井溫泉之實驗操作得知，抽取礁溪溫泉區之溫泉井的泉水，會讓得子口溪下滲的溪水快速的補充到溫泉區的沖積扇中，而使得溫泉區的泉溫下降。上述兩者交互作用下，將使得「淺層」水位高度的泉溫降得更低。

柒、結論與建議

一、結論

- (一) 礁溪溫泉區地底之岩盤為四稜砂岩，四稜砂岩因受到擠壓而形節理與斷層，所形成的節理，傾角多在 70~80 度間，當山區降雨時，因壓力的差別，有利於深層之原始溫泉從節理通道上升到較高的地層後，再湧出到沖積扇，形成平地溫泉。
- (二) 得子口溪中、下游的溪水，因沉積物(層)有孔隙而下滲到地底，又因地勢的關係而挹注到礁溪溫泉區之沖積扇，與原始溫泉於沖積扇混合後形成混合溫泉。
- (三) 從「礁溪溫泉」模擬裝置可推測，礁溪溫泉的泉溫有區域性及水位高度的差異性，越靠近溫泉溝之溫泉泉溫越高，反之，越低；水位高度越高的溫泉泉溫越高，反之，越低。
- (四) 從「礁溪溫泉」模擬裝置可推測，得子口溪下滲的溪水會影響不同水位高度的泉溫；越靠近得子口溪的溫泉井因受到較多量的下滲溪水，而使得泉溫降低。
- (五) 從媒體對礁溪溫泉泉溫迥異的報導中得知，一般民眾認為這些年來，礁溪溫泉的泉溫有逐年下降的趨勢；而有些溫泉業者卻宣稱，礁溪溫泉的泉溫非但沒有降低，反而較以往更高了。從本研究之「礁溪溫泉」模擬裝置實驗可得知，抽水時，深層水位的溫泉井溫度下降較小，淺層水位的井且位於冷水補注區較近的溫泉井，溫度下降較大，因此，不同地區或水位高度的泉溫變化不一樣，才產生如媒體報導的現象。是故，如果從「礁溪溫泉」模擬裝置的實驗結果推測，溫泉經營業者若將溫泉井開鑿越深，雖然可以取得較高溫之溫泉，可是卻使得原始溫泉湧出到沖積扇的量變少，再加上得子口溪下滲溪水的補注，將使得一般民眾開鑿的淺層水位溫泉井之泉溫降得更低。長此以往，對礁溪溫泉的溫泉資源將會有莫大的傷害。

二、建議

從本研究的「礁溪溫泉」模擬裝置的各項實驗中得知，過度開發礁溪溫泉將會使泉溫降低。自 2013 年七月一日起即將結束溫泉法的緩衝期，政府將以每日限抽 1 萬 4326 噸的溫泉水量來管制礁溪溫泉的開發。但從本研究「礁溪溫泉」模擬裝置的實驗中得知，溫泉井開鑿的深度亦會影響礁溪溫泉的溫泉資源。因此建議，溫泉之開發除了要做「量」的管制，也要做溫泉井「開鑿深度」的管理。

捌、參考資料

吳淑君（2012 年 3 月 19 日）。礁溪溫泉適合裝表收費。聯合報，地方版。

吳淑君（2012 年 3 月 19 日）。監測礁溪溫泉水利署要自己來。聯合報，地方版。

吳淑君（2012 年 3 月 19 日）。礁溪溫泉水溫起伏水利署監測。聯合報，地方版。

吳淑君（2012 年 3 月 19 日）。控管每日出水量礁溪溫泉保溫。聯合報，地方版。

林致遠（2007 年 8 月 16 日）。礁溪溫泉學（成因篇）。

<http://www.afartech.com.tw/LifeLonglmg/Photographers>。

宜蘭縣政府（2010）。宜蘭縣溫泉管理計畫。

宜蘭縣政府（2002）。礁溪溫泉資源調查監測與利用計畫報告書，工研院。

賈儀平（1998）。頭城地區四稜砂岩之水文地質特性及地下水流模擬。（計畫編號：NSC 88-2116-M-002-025）

羅建旺（2012 年 3 月 14 日）。保育礁溪溫泉宜縣要增井監測。聯合報，地方版。

玖、附錄

「礁溪溫泉」模擬裝置實驗操作標準流程

壹、加注攝氏 90 度熱水（每一桶 10 公升），另一桶熱水準備在旁邊，至熱水溢流 1 分鐘，關上熱水開關閥。

貳、測量並記錄四口井不同水位高度（24、17、10 公分）的泉溫。

溫泉實驗操作

貳、打開熱水開關閥，至熱水溢流 1 分鐘後（熱水持續加注），拿開集水區中側兩排的軟木塞（讓集水區常溫水滲流），計時 1 分鐘，同時關上熱水開關閥及抽出集水區的常溫水。

肆、測量並記錄四口井不同水位高度（24、17、10 公分）的泉溫。

溫泉加得子口溪
實驗操作

伍、打開熱水開關閥，讓熱水溢流 1 分鐘後（熱水持續加注），拿開集水區中側兩排的軟木塞（讓集水區常溫水滲流），計時 1 分鐘，同時關上熱水開關閥及抽出集水區的常溫水。

陸、先測量並記錄 A2、B1、B2 中層水位泉溫，在 A1 井抽取深層水位 20C.C.的水後，測量並記錄 A2、B1、B2 中層水位泉溫。

柒、打開熱水開關閥，讓熱水溢流 1 分鐘後（熱水持續加注），拿開集水區中側兩排的軟木塞（讓集水區常溫水滲流），計時 1 分鐘，同時關上熱水開關閥及抽出集水區的常溫水。

捌、先測量並記錄 A1、B1、B2 中層水位泉溫，在 A2 井抽取深層水位 20C.C.的水後，測量並記錄 A1、B1、B2 中層水位泉溫。

玖、打開熱水開關閥，讓熱水溢流 1 分鐘後（熱水持續加注），拿開集水區中側兩排的軟木塞（讓集水區常溫水滲流），計時 1 分鐘，同時關上熱水開關閥及抽出集水區的常溫水。

拾、先測量並記錄 A1、A2、B2 中層水位泉溫，在 B1 井抽取深層水位 20C.C.的水後，測量並記錄 A1、A2、B2 中層水位泉溫。

拾壹、打開熱水開關閥，讓熱水溢流 1 分鐘後（熱水持續加注），拿開集水區中側兩排的軟木塞（讓集水區常溫水滲流），計時 1 分鐘，同時關上熱水開關閥及抽出集水區的常溫水。

拾貳、先測量並記錄 A1、A2、B1 中層水位泉溫，在 B2 井抽取深層水位 20C.C.的水後，測量並記錄 A1、A2、B1 中層水位泉溫。

溫泉井抽水
實驗操作

【評語】 080506

1. 研究主題能以自己生活環境做探索。
2. 地下水之滲水實驗設計要改進。