

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

080506

泡「湯」過後—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： 小六 江源輝 小五 王幸妤 小五 吳奕緯 小四 周芷妘	指導老師： 許淑蘭 吳秀容
---	-------------------------

關鍵詞：礁溪溫泉區地質構造、得子口溪溪水下滲量、
礁溪溫泉模擬裝置

作品名稱：泡「湯」過後-礁溪溫泉之探討

摘要：

本研究從地質組成之調查與實驗操作，探討礁溪溫泉之形成，了解礁溪溫泉區地底的原始溫泉，是順著四稜砂岩的節理和斷層湧出沖積扇，形成平地溫泉。

再經由得子口溪調查和測量活動中發現，得子口溪中、下游，因地底砂石、泥沙等沉積物的孔隙較大，溪水會滲到地底下再流到地勢較低的礁溪溫泉區內。經測量，最大的下滲量為 $0.338 \text{ m}^3/\text{s}$ ，下滲率為 0.2594 mm/s 。

再透過分析 2013 年礁溪監測井之資料，了解礁溪溫泉泉溫的特性後，設置「礁溪溫泉」模擬裝置，以進行抽取溫泉井之泉水實驗，藉此了解大量抽取溫泉是否會造成礁溪溫泉區泉溫下降。

最後，分析 2009 年~2013 年，礁溪溫泉區監測井之資料，以驗證上述「礁溪溫泉」模擬裝置抽水實驗的實驗結果，分析結果發現，礁溪溫泉區監測井，自 2012 年起，泉溫均有下降的情形。

壹、研究動機

礁溪溫泉之成因有三個因素，(一)高溫度梯度、(二)地質組成及(三)雨量豐沛。本研究將從地質組成之調查與實驗設計操作，探討礁溪溫泉之形成。再透過分析礁溪監測井之測量資料，了解溫泉的特性。最後製做礁溪溫泉模擬裝置，經由實驗設計操作以了解大量抽取溫泉的行為，對溫泉品質之影響，希望研究結果，對溫泉資源利用與永續經營提供參考、建議。

貳、研究場域綜合描述(請詳見附錄一)

參、研究目的

- 一、進行野外地質調查及實驗設計操作，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，探討得子口溪水下滲水量的變化及沉積層的構造，再由實驗設計操作驗證其沉積層的特性。
- 二、分析礁溪溫泉區監測井之泉溫資料，以了解泉溫的特性，做為「礁溪溫泉」模擬裝置之實驗設計。
- 三、以上述研究結果，製做「礁溪溫泉」模擬裝置，進行「礁溪溫泉」模擬裝置前實驗，收集實驗資料，調整模擬裝置的操作方式、程序等，使礁溪溫泉模擬裝置的性能達到預期效果，以利「礁溪溫泉」模擬裝置之實驗操作。
- 四、以「礁溪溫泉」模擬裝置探討，在不同溫泉井抽取溫泉後，溫泉井泉溫的變化。
- 五、分析礁溪溫泉區 2009~2013 年之年平均泉溫，並比較年平均泉溫變化的情形。

肆、研究方法

- 一、研究時間：自民國 102 年 9 月起至民國 103 年 3 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、下游沉積層的特性：從五峰旗開始，沿河床往下游方向，觀察記錄沉積層的特性。
 - (三) 運用流速計測量得子口溪不同河段的流量，(請詳見附錄三)。
- 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-準備一個 10cm*10cm*10cm 的立方體容器，在容器的側邊裝置一個止水閥開關，放入經設計切割的組合木塊(模擬四稜砂岩)，將容器填滿，木塊的數量有 4、6、8 塊三種不同的組合。實驗裝置如下圖：



(二) 實驗步驟說明-在容器中放入不同處理方式的木塊，將容器裝滿水並準備計時。計時開始時，打開止水閥開關，計時 10 秒後，關上止水閥開關，接著判讀量筒中從容器流出的流量，以得知不同處理方式之木塊的導水性。不同處理方式之木塊說明如下：

- 1 切有兩條對角線（模擬四稜砂岩節理）的木塊。
- 2 切有兩條對角線和垂直平分線（模擬四稜砂岩節理）的木塊。
- 3 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）的木塊。

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），模擬礁溪溫泉區的溫泉井。

再將模擬裝置的溫泉井依以下高度定義：

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



六、「礁溪溫泉」模擬裝置實驗設計操作：

以長管滴管抽取 A1（模擬溫泉井）深層水位溫泉 20c.c.後【註 1】，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。A2、B1、B2 之實驗操作以此類推。

【註 1】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。

伍、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

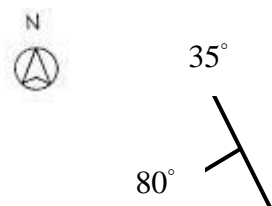
從該點的岩石露頭得知礁溪溫泉區的地層構造屬於四稜砂岩，其形成年代距今三千萬年前，後因菲律賓海板塊推擠而隆起。四稜砂岩屬於輕度變質砂岩，其組成的礦物有 90% 為石英，所以硬度很高，以莫氏硬度分類其硬度為 7。

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。

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 $70^\circ \sim 85^\circ$ 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，此斷層帶往下延伸到礁溪溫泉區即為**溫泉溝**。

(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：



實驗操作如下：

在容器中放入不同處理方式的木塊(模擬四稜砂岩)，將容器裝滿水並準備計時。計時開始時，打開止水閥開關，計時 10 秒後，關上止水閥開關，判讀量筒中從容器流出的流量，以得知不同處理方式之木塊的導水性。不同處理方式之木塊說明如下：

模擬四稜砂岩 A 方式：兩條對角切割線

模擬四稜砂岩 B 方式：兩條對角線+垂直平分切割線

模擬四稜砂岩 C 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 流 量	第一次	第二次	第三次	平均
A 方式	32c.c.	31c.c.	32c.c.	31.66c.c.
B 方式	58c.c.	60c.c.	58c.c.	58.66c.c.
C 方式	46c.c.	48c.c.	48c.c.	47.33c.c.

由上表之實驗結果得知：

- 1 A 處理方式流出的流量較少，B 處理方式流出的流量較多，因此可知節理越多，導水性越佳。
- 2 C 處理方式雖然比 B 處理方式多一條水平平分切割線，但流出的流量卻較 B 處理方式少，可知水平節理無利於導水性。

(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，可發現一處斷層和多組節理，且節理的傾角多為 70°~85°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，礁溪溫泉區地底較深部的原始溫泉，即是由這些四稜砂岩斷層、節理所形成的通道，湧出平原的沖積扇。

二、得子口溪上、中、下游沉積層的特性及得子口溪流量變化、下滲量/率之分析：

(一) 調查得子口溪沉積層特性

本研究關於得子口溪沉積層特性之觀察的地點有三處，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，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。
- 2 龍泉橋：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。
- 3 礁溪國中：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，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。

(二) 測量得子口溪溪水之流量

本研究關於得子口溪溪水流量之測量地點有五處(如下圖)，分別以該地點所在或鄰近位置的名稱命名：五峰旗（A）、礁溪老爺飯店（B）、龍泉橋測點一（C）、龍泉橋測點二（D）、龍泉橋測點三（E）。

各測點的斷面流速，如附錄二(以 2013/10/23 測量為例)，將測點的斷面流速如研究方法(三)-4，算出各測點的流量，茲將上述測點的流量分述如下。



表一：得子口溪測點流量表

測 點	日 期		
	2013/10/13	2013/11/02	2013/12/22
五 峰 旗 (A 點)	0.8505m ³ /s	1.214m ³ /s	0.7513m ³ /s
礁溪老爺飯店 (B 點)	0.7885m ³ /s	1.146m ³ /s	0.6863m ³ /s
龍泉橋測點一 (C 點)	0.715m ³ /s	1.072m ³ /s	0.6135m ³ /s
龍泉橋測點二 (D 點)	0.3855m ³ /s	0.7334m ³ /s	0.2847m ³ /s
龍泉橋測點三 (E 點)	0.09975m ³ /s	0.44152m ³ /s	無法測得

由上表可以得知：

- 1 以測量的日期來觀察，以 2013 年 11 月 2 日所測得的流量最多，2013 年 10 月 13 日次之，2013 年 12 月 22 日最少，且在 (E 點) 無法測得流量，因為該測點當天溪床上沒有溪水。
得子口溪在不同時間，測得不同的流量，本研究推測應是受降水量的影響。
- 2 以測量的地點來觀察，得子口溪溪水的流量由上游往下游遞減，也就是表示，上游流量較大，越往中、下游流量越小。

(三) 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，得子口溪不同流域的流量有明顯的變化，推測是溪水下滲到地底沉積層所致。由於沉積物的組成不同，因此，設計一沙箱，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	次 數			
	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。

(四) 分析得子口溪溪水下滲量/率

- 1 下滲量：由 (一)、(二)、(三) 之得子口溪地質調查、流量變化測量、沉積物滲透度實驗可了解，得子口溪溪水，會因為溪床沉積物間的孔隙而下滲到地底，故將得子口溪各測點測得之流量相減後 (測點 A-測點 B：AB 段；測點 B-測點 C：BC 段；測點 C-測點 D：CD 段；測點 D-測點 E：DE 段)，得到下表之數據。

表二：得子口溪溪水下滲量表

測 量 段 別	日 期		
	2013/10/13	2013/11/02	2013/12/22
AB 段	0.062m ³ /s	0.068m ³ /s	0.065m ³ /s
BC 段	0.0735m ³ /s	0.074m ³ /s	0.0728m ³ /s
CD 段	0.3295m ³ /s	0.3386m ³ /s	0.3288m ³ /s
DE 段	0.28575m ³ /s	0.29188m ³ /s	※m ³ /s

將上表的數據以無條件捨去法取至小數點第三位，得知在不同的測量時間，得子口溪各測點之溪水下滲量：

- (1) AB 段：介於 0.068~0.062 m³/s，下滲量最少。
- (2) BC 段：介於 0.074~0.072 m³/s。

(3) CD 段：介於 0.338~0.328 m³/s，下滲量最多。

(4) DE 段：介於 0.291~0.285 m³/s，下滲量僅次於 CD 段。

由此可知，得子口溪上游(AB、BC 段)溪水的下滲量較少，中、下游(CD、DE 段)溪水下滲量較多。

2 下滲率：本研究除了分析得子口溪溪水下滲量外，也欲了解得子口溪溪水的下滲率，故利用 Google Earth 軟體計算出各河段的面積，由 AB 段至 DE 段分別為 6790.32m²、4295.55m²、1270.06m²、1621.13m²，再將 AB 段、BC 段、CD 段、DE 段的下滲量平均值除之，即可得到各測點河段的下滲率，茲將各河段的下滲率以下表呈現：

測量河段	下滲速率
AB 段	0.0091mm/s
BC 段	0.0171mm/s
CD 段	0.2594mm/s
DE 段	0.1762mm/s

以 CD 段為例做說明，此河段的溪水以平均每秒 0.2594mm/s 的速率，下滲到此河段的地底，為測量河段中速率最快的。

(五) 討論：

1 從得子口溪的地質調查中可知，上游河床的地質構造為四稜砂岩岩盤，孔隙密實，溪水較不易下滲；中、下游則為砂石、泥等沉積物，經沉積物（礫石、砂石、泥土）滲透度之實驗驗證得知，因沉積物孔隙較大，所以滲透度較高，故與本研究從測量得子口溪溪水流量，而進行得子口溪溪水下滲量分析之結果相符，即為得子口溪中、下游溪水的下滲量/率，因沉積層的孔隙較大而比上游高。

2 如果以得子口溪 CD、DE 段的下滲率來探討，溪水以平均每秒 0.2594mm/s、0.1762mm/s 的速率，下滲到此河段的地底，然而這些下滲到地底的水流到底往何處去了呢？由宜蘭縣政府設置的監測井資料顯示（如表三），鄰近得子口溪之溫泉井中，大忠路監測井海拔高度比礁溪國小監測井的海拔高度高。因水會由高處往低處流，本研究據此推測，得子口溪 CD、DE 段下滲到地底的溪水，是流到地勢較低的沖積扇扇端，其中往北邊流動的下滲溪水就有可能進入礁溪溫泉區內。

三、分析礁溪溫泉區監測井之泉溫資料

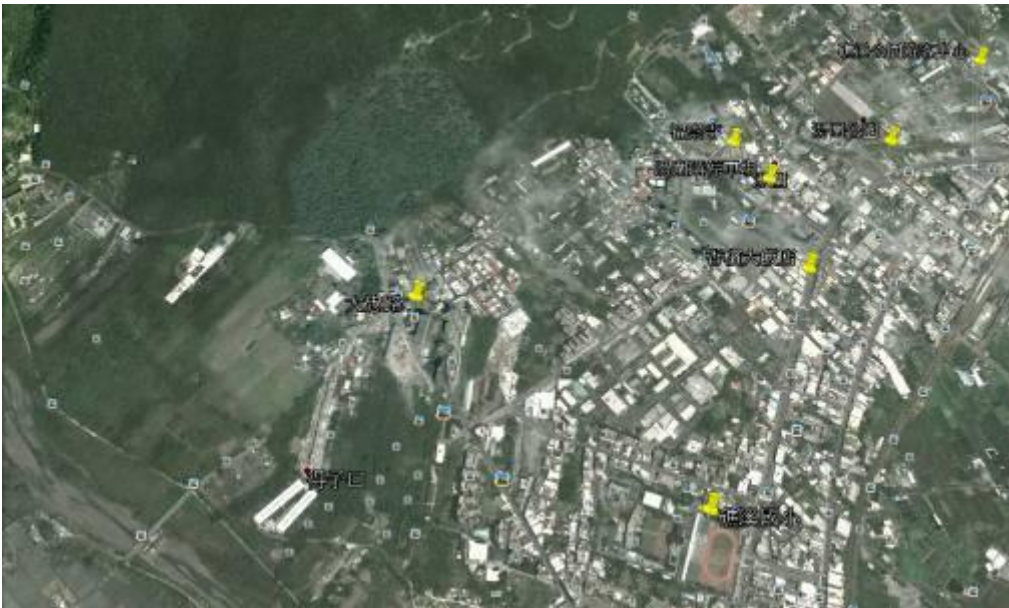
為了解礁溪溫泉區監測井泉溫性質，本研究根據宜蘭縣溫泉管理計畫(2010)，運用 2013 年 1 月至 12 月宜蘭縣政府監測之監測井資料，加以統計、分析、比較，茲將各監測井描述如下：

(一) 地理性質描述，如表三

表三：礁溪溫泉監測井資料表

井名	經度	緯度	海拔高度(m)	水位高度(m)
礁溪公園遊客中心	E121° 46.560'	N24° 49.867'	23.0	151
湯圍公園	E121° 46.417'	N24° 49.749'	9.3	100
福崇寺	E121° 46.166'	N24° 49.753'	18.0	60
湯圍溝停車場	E121° 46.240'	N24° 49.672'	18.0	100
香檳大飯店	E121° 46.285'	N24° 49.581'	5.0	60
礁溪國小	E121° 46.118'	N24° 49.027'	7.6	100
大忠路	E121° 44.290'	N24° 45.080'	22.0	60

將上表監測井之資料以 Google Earth 繪製的地圖呈現，如下圖：



(二) 泉溫性質描述，如表四

表四：礁溪溫泉區監測井 1 月~12 月之月泉溫與平均泉溫表

月份 監測井	1 月 °C	2 月 °C	3 月 °C	4 月 °C	5 月 °C	6 月 °C	7 月 °C	8 月 °C	9 月 °C	10 月 °C	11 月 °C	12 月 °C	平均 泉溫°C
礁溪公園遊客中心	25.813	25.611	26.387	26.204	26.822	26.603	26.772	26.819	26.888	26.905	25.093	25.976	26.324
湯圍公園	28.109	27.219	27.262	27.618	27.221	27.992	27.305	28.380	28.345	27.467	26.121	26.015	27.460
福崇寺	31.623	30.131	39.573	29.032	30.300	30.806	32.206	35.608	49.985	49.680	43.314	31.448	36.142
湯圍溝停車場	33.406	33.138	33.042	32.943	33.044	34.121	35.132	35.683	35.815	36.332	35.184	33.914	34.318
香檳大飯店	28.640	28.163	27.473	26.389	26.627	27.440	27.835	28.311	29.216	28.714	28.020	27.385	27.851
礁溪國小	25.485	25.781	25.941	25.938	25.712	26.524	26.832	26.765	26.832	26.496	26.026	25.973	26.192
大忠路	19.265	21.672	22.591	23.038	26.779	27.262	28.450	28.381	28.932	25.146	22.147	18.437	24.942

本研究探討的泉溫，是指上述監測井 1 月~12 月泉溫的平均值為依據，不討論監測井單月的泉溫性質，故將監測井 1 月~12 月的泉溫加以平均，得到平均泉溫(簡稱泉溫)。以下將監測井平均水溫與監測井之地理位置、水位高度加以分析、比較。

1 分析監測井泉溫與地理位置的關係

將監測井的平均泉溫與地理位置整理下表

監測井	地理位置	經度	緯度	平均泉溫°C
礁溪公園遊客中心		E121°46.560'	N24°49.867'	26.324
湯圍公園		E121°46.417'	N24°49.749'	27.460
福崇寺		E121°46.166'	N24°49.753'	36.142
湯圍溝停車場		E121°46.240'	N24°49.672'	34.318
香檳大飯店		E121°46.285'	N24°49.581'	27.851
礁溪國小		E121°46.118'	N24°49.027'	26.192
大忠路		E121°44.290'	N24°45.080'	24.942

將監測井之地理位置以 Google Earth 繪製的地圖呈現並標示平均泉溫，如圖一



圖一：監測井平均泉溫與地理位置關係圖

- (1) 標示◎為礁溪溫泉區溫泉溝的位置，從圖一可得知，鄰近溫泉溝之監測井，如：福崇寺、湯圍溝停車場、香檳大飯店測得的泉溫較高；反之，距離溫泉溝較遠之監測井如：礁溪國小、大忠路、湯圍公園、礁溪公園遊客中心測得的泉溫較低。
- (2) 標示*為得子口溪的位置，從圖一可得知，鄰近得子口溪之監測井，如：大忠路、礁溪國小測得的泉溫較低；反之，距離得子口溪較遠監測井如：福崇寺、湯圍溝停車場測得的泉溫較高。

2 分析監測井泉溫與水位高度的關係

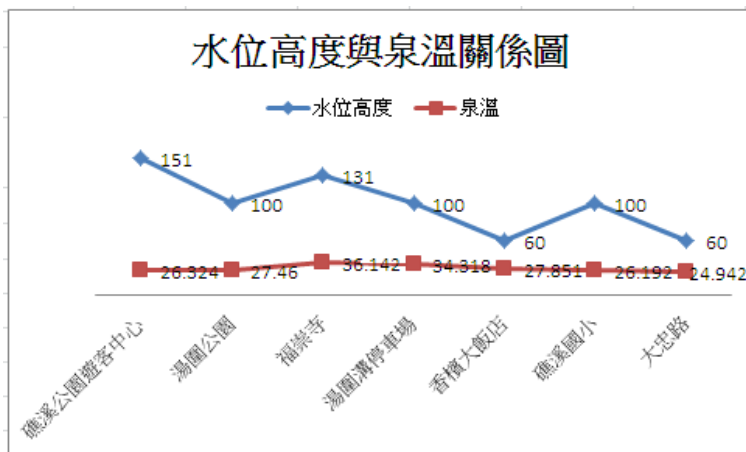
將監測井的平均泉溫與水位高度整理成下表

監測井 \ 水位高度	平均水位高度 m	平均泉溫℃
礁溪公園遊客中心	151	26.324
湯圍公園	100	27.460
福崇寺	131	36.142
湯圍溝停車場	100	34.318
香檳大飯店	60	27.851
礁溪國小	100	26.192
大忠路	60	24.942

將監測井之水位高度區分為三種高度：分別為 60 公尺、100 公尺、100 公尺以上，以分析監測井水位高度與泉溫的關係。

- (1) 60 公尺，如：香檳大飯店、大忠路監測井
- (2) 100 公尺，如：湯圍溝停車場、湯圍公園、礁溪國小監測井
- (3) 100 公尺以上，如：福崇寺監測井、礁溪公園遊客中心。

再將上表資料轉化成折線圖，如下圖：



本研究受限於取得監測井的數量過少，再加上監測井測得的泉溫又受到區域的影響(靠近溫泉溝或得子口溪)，因此無法建立泉溫與水位高度關係，但從原始溫泉量之多寡的因素去推測(林致遠，2007)，深層水位高度之監測井，原始溫泉量較多，測得泉溫較高；低層水位高度的監測井，原始溫泉量較少，則測得泉溫較低。

四、「礁溪溫泉」模擬裝置前實驗，(請詳見附錄二)。

五、以「礁溪溫泉」模擬裝置探討，在不同溫泉井抽取溫泉後，溫泉井泉溫的變化：

(一) 實驗操作：

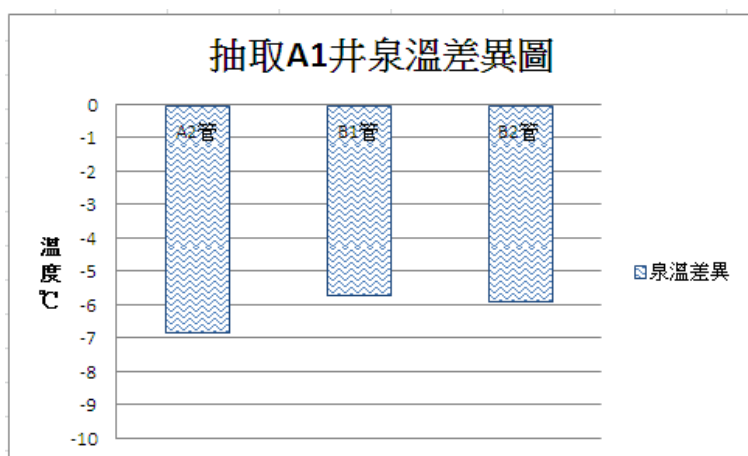
持續注入攝氏約 90 度的熱水(模擬溫泉)，且從溢流口溢出 1 分鐘後，再挹注集水區常溫水(模擬得子口溪下滲溪水)，計時 1 分鐘，停止挹注熱水及集水區常溫水。以長管滴管抽取 A1(模擬溫泉井)深層水位(24cm)的溫泉 20c.c.後，以溫度測量計測得 A2、B1、B2

(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三：「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。為了解各溫泉井在抽水後，泉溫的變化，故將各溫泉井，抽水後的溫度減去抽水前的溫度，再以長條圖呈現，稱之為”抽取○井泉溫差異圖”。

1 抽 A1 井

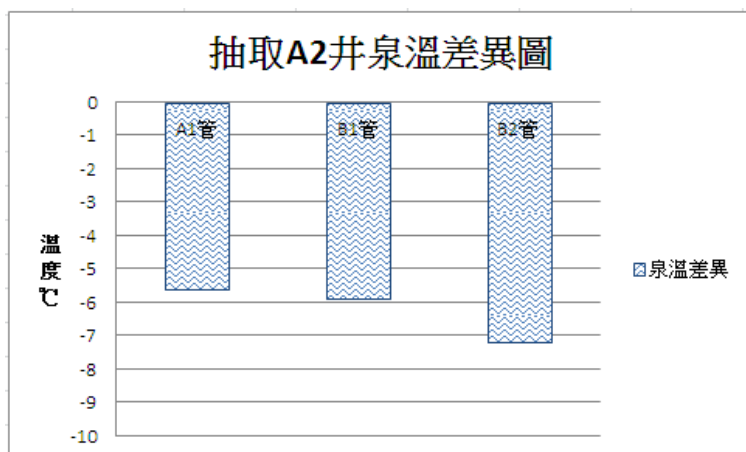
管子	A2	B1	B2
未抽取前溫度	61.0°C	47.9°C	45.3°C
抽取後溫度	54.2°C	42.2°C	39.4°C



A2 管中層水位的溫度下降幅度最大。

2 抽 A2 井

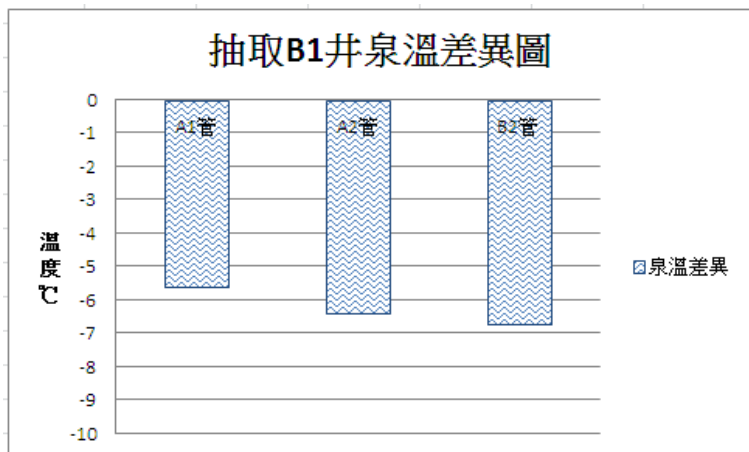
管子	A1	B1	B2
未抽取前溫度	61.5°C	48.2°C	44.9°C
抽取後溫度	55.9°C	42.3°C	37.7°C



B2 管中層水位的溫度下降幅度最大。

3 抽 B1 井

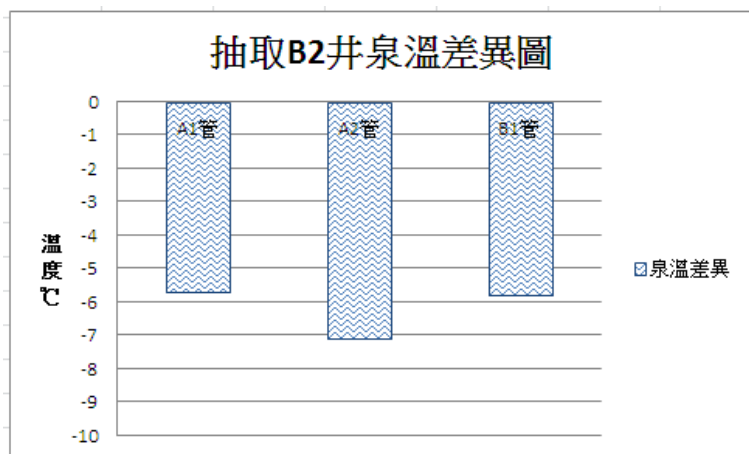
管子	A1	A2	B2
未抽取前溫度	61.7°C	60.8°C	45.0°C
抽取後溫度	56.1°C	54.4°C	38.3°C



B2 管中層水位的溫度下降幅度最大。

4 抽 B2 井

管子	A1	A2	B1
未抽取前溫度	62.0°C	60.9°C	48.0°C
抽取後溫度	56.3°C	53.8°C	42.2°C



A2 管中層水位的溫度下降幅度最大。

(二) 實驗結果

- 1 各抽取 A1、A2、B1、B2 (模擬溫泉井) 深層水位 20c.c.的溫泉後，使得 A1、A2、B1、B2 中層水位的泉溫均下降，且降幅均在 5°C~7°C 之間。
- 2 各抽取 A2、B2 (模擬溫泉井) 深層水位 20c.c.的溫泉，分別會讓 A2、B2 (靠近得子口溪) 的泉溫下降幅度更大，都超過 7°C。

六、分析並比較 2009 至 2013 年，礁溪溫泉區監測井泉溫變化的情形：

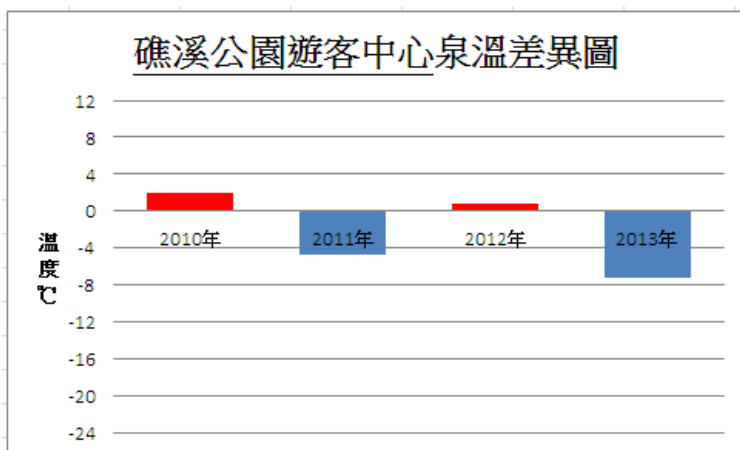
為分析、比較礁溪溫泉區監測井泉溫的變化，本研究根據宜蘭縣溫泉管理計畫(2010)，運用 2009~2013 年宜蘭縣政府監測之監測井資料，此資料的建立是由裝置在監測井上的溫度感測器，每日每 30 分鐘感測並記錄一筆泉溫。本研究將取得的資料以 EXCEL 軟體，依不同年份，將不同監測井的年平均泉溫整理成下表：

年 份 泉 溫 井 監 測	2009	2010	2011	2012	2013
礁溪公園遊客中心	35.387°C	37.435°C	32.722°C	33.505°C	26.324°C
湯圍公園	49.173°C	49.852°C	41.824°C	34.570°C	27.460°C
福崇寺	57.960°C	63.924°C	61.284°C	56.267°C	36.142°C
湯圍溝停車場	50.235°C	49.093°C	49.062°C	35.833°C	34.318°C
香檳大飯店	40.293°C	40.278°C	39.097°C	28.283°C	27.851°C
礁溪國小	尚未設置	36.620°C	36.441°C	34.571°C	26.192°C
大忠路	32.489°C	32.057°C	28.008°C	25.497°C	24.942°C

從上表的資料可得知：自 2009 至 2013 年，礁溪溫泉區各監測井之泉溫有逐年下降的情形。為了比較 2009~2013 年不同監測井的泉溫變化情形，再將上表年平均泉溫的資料，以當年的年平均泉溫減去上年度的年平均泉溫(如：當年若是 2010，就將 2010 的年平均泉溫減去 2009 年的年平均泉溫)，再以長條圖呈現，稱之為”地名泉溫差異圖”。

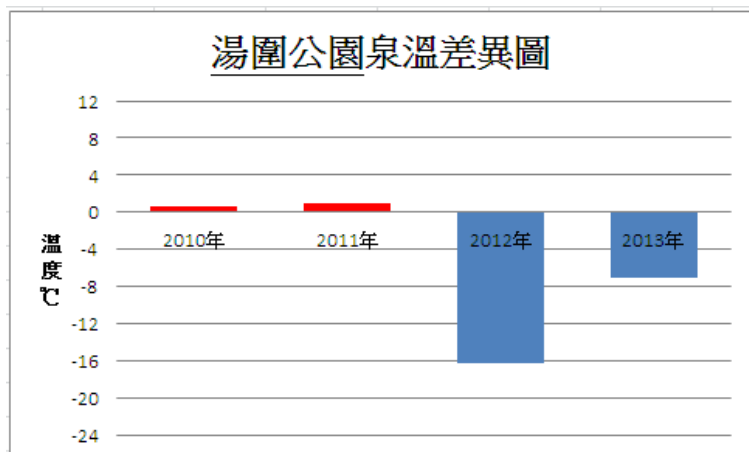
(一) 2009~2013 年，各監測井的泉溫差異圖：

1 礁溪公園遊客中心



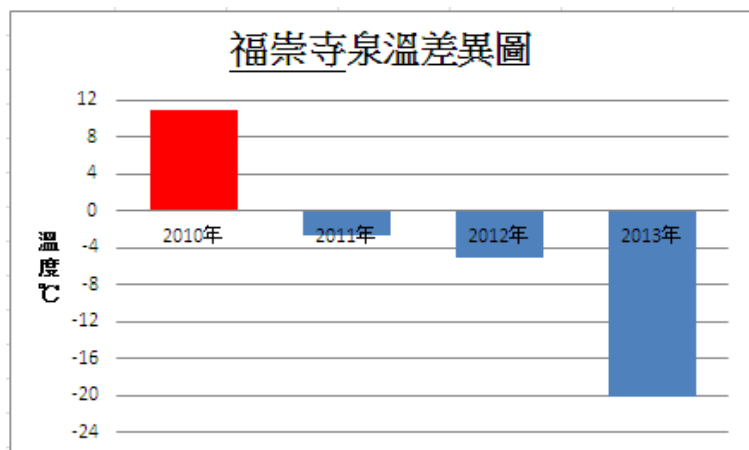
2010、2012 年的泉溫有微微上升，2011、2013 年的泉溫下降的幅度介於 4°C~7°C 之間。

2 湯圍公園



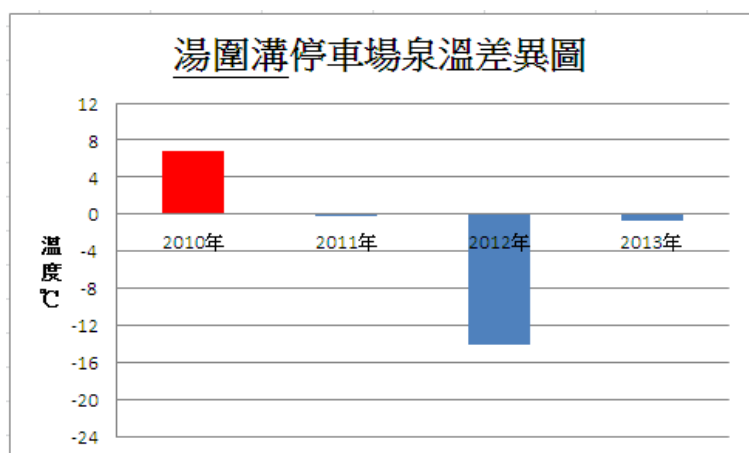
2010、2011 年的泉溫有微微上升，2012 年泉溫下降的幅度高達 16℃，2013 年也下降了 7℃。

3 福崇寺



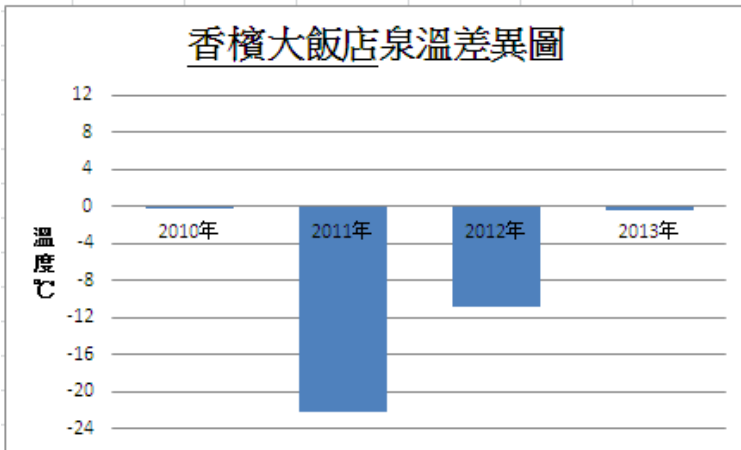
2010 年的泉溫上升 10℃，2011 年後的泉溫，逐年下降，2013 年的降幅高達 20℃。

4 湯圍溝停車場



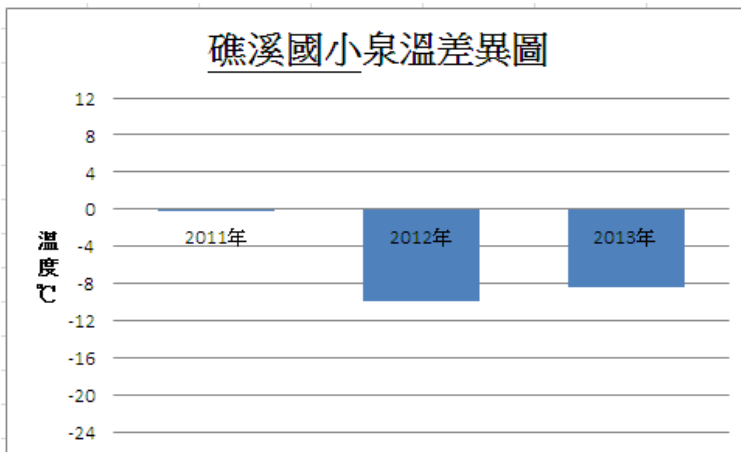
2010 年的泉溫上升 6℃，2012 年泉溫下降幅度有 14℃。

5 香檳大飯店



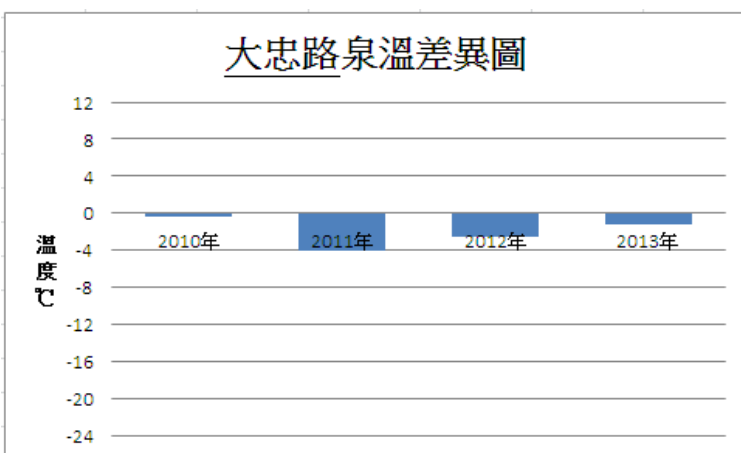
自 2010 年起，泉溫逐年下降，2011 年泉溫的降幅高達 22°C，2012 年的降幅也有 10°C。

6 礁溪國小



泉溫逐年下降，近兩年的降幅較大，分別為 9°C、8°C。

7 大忠路



泉溫逐年下降，2011 年的降幅較大，有 4°C。

(二) 討論

- 1 2010 年，大部份監測井的泉溫都有升高，如：礁溪公園遊客中心、湯圍公園、福崇寺、湯圍溝停車場。
- 2 從 2012 年起，除了礁溪公園遊客中心監測井外，所有監測井測得的泉溫均有逐年下降的情形，尤其是香檳大飯店測得的泉溫，下降的幅度高達 22°C。本研究推測：礁溪溫泉區的泉溫也和監測井測得的泉溫一樣，從 2012 年起都有下滑的情形。
- 3 靠近湯圍溝的監測井，如福崇寺、湯圍溝停車場、香檳大飯店，從 2012 年起，泉溫逐年下降且下降的幅度大於其他監測井；而靠近得子口溪的監測井，如：大忠路、礁溪國小，雖然泉溫從 2010 年逐年下降，但下降的幅度較其他監測井小。
- 4 2012 年來，礁溪溫泉區泉溫逐年降低，探究其原因，除了可能與降水量、溫度梯度等因素有關以外。是否也與大量抽取溫泉水有關呢？從本研究「礁溪溫泉」模擬裝置抽水之實驗實驗結果可知，抽取模擬溫泉的泉水，會導致得子口溪下滲溪水的挹助，而使得靠近得子口溪又低水位區域的泉溫降幅較大。但從分析 2009~2013 年監測井之泉溫得知，是靠近溫泉溝區域的泉溫下降的幅度較大，如：福崇寺、湯圍溝停車場、香檳大飯店監測井，與本研究所做的實驗結果不符。因此，是本研究的模擬實驗裝置無法反應泉溫降低的真實原因，或是有其他的因素導致泉溫下降呢？

陸、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）孔隙較大而下滲(最快下滲率為 0.2594mm/s)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) 從分析礁溪溫泉區監測井之泉溫資料可得知，礁溪溫泉的泉溫有區域性的差異性，越靠近溫泉溝之溫泉泉溫越高，反之，越低。另外，鄰近得子口溪之溫泉泉溫，因為受到較多得子口溪下滲溪水的挹注，所以泉溫較低；反之，距離得子口溪越遠，溫泉泉溫較高。除此之外，礁溪溫泉的泉溫亦有水位高度的差異性，受到原始溫泉量之多寡因素的影響，深層水位高度的泉溫較高，反之，則較低。
- (四) 從「礁溪溫泉」模擬裝置抽取溫泉之實驗可推測，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低層水位高度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。
- (五) 自 2012 年起，礁溪溫泉區各監測井之泉溫均有下降的情形，表示礁溪溫泉區的泉溫也和監測井測得的泉溫一樣，都有下滑的情形。從本研究「礁溪溫泉」模擬裝置抽水之實驗實驗結果可知，抽取模擬溫泉的泉水，會導致得子口溪下滲溪水的挹助，而使得靠近得子口溪又低水位區域的泉溫降幅較大。但從分析 2009~2013 年監測井之泉溫得知，是靠近溫泉溝區域的泉溫下降的幅度較大，與本研究所做的實驗結果不符。

二、建議

- (一) 從本研究「礁溪溫泉」模擬裝置的實驗中得知，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。
- (二) 溫泉是上天給予最寶貴的天然資源之一，為了讓此資源能永續利用、經營，政府單位除了如上述制定法規管理外，本研究建議，地方政府可以運用溫泉稅(103 年 1 月開始課徵，每 1 度溫泉水徵收 9 元)之經費，和學術單位合作，擬定保護礁溪溫泉研究計畫，除了長期監測溫泉的泉溫外，更應該探究泉溫變化的因素，才能確實保護溫泉這項資源永續利用。

柒、參考資料

林致遠 (2007 年 8 月 16 日)。礁溪溫泉學 (成因篇)。

<http://www.afartech.com.tw/LifeLongImg/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)

【評語】 080506

優點：

1. 研究主題能以自己生活環境做探索，是很好的題材。
2. 研究延續去年之研究，具科學研究之延伸性。

建議：

1. 對於滲透率的真正物理量定義要再釐清，以改進實驗設計。
2. 實驗設計要能與野外觀察相配合才有意義，如活動一的導水性實驗，說明是以觀察到的四稜砂岩的節理為實驗設計之依據，但實驗設計並未和所觀察到的現象有關。
3. 延續性的研究不宜把之前的研究結果大量放在新的研究報告中，應說明過去研究狀況，並說明此次研究中的新發現。