

## 貳、材料與方法

### (一) 研究樣區環境概述

#### 1. 大甲溪地理位置

大甲溪發源於臺中縣和平鄉，雪山山脈的雪山與中央山脈的南湖大山之間，經梨山、佳陽、德基、谷關、白冷、馬鞍等聚落，流入東勢鎮後，逐漸進入平地，後流經石岡鄉、豐原市、后里鄉、神岡鄉、外埔鄉、清水鎮、大甲鎮及大安鄉，最後注入臺灣海峽。大甲溪的發源地海拔超過 3,500 公尺，河川坡度陡急，平均坡降為 2.6%。主流長度共 124 公里，流域面積 1,236 平方公里，平均流量約 52.88 cms，水量均勻且豐沛致使其單位河長蘊藏水力高居全台河川首位，為台灣水質源最豐富的河川，亦為水力發電的重心。目前有德基水庫、青山壩、谷關壩、天輪壩、馬鞍壩、石岡壩等提供用水及水力發電。

#### 2. 石岡壩與附設魚道

石岡壩位於大甲溪下游，行政區隸屬台中縣石岡鄉（圖 1），為大甲溪綜合開發計畫中最下游的水庫，啟用於 1977 年 10 月，庫區的集水區面積合計 1,061 平方公里。其主要功能在於調節上游德基、青山、谷關、天輪、馬鞍各電廠發電尾水與河流水資源，每日經由石岡壩調配之水源約 200 萬公噸（經濟部中區水資源局 2007）。供應大台中地區之公共、工業、農田灌溉用水與台中港船舶用水，與中部地區的經濟發展有著密不可分的關係。

1999 年 9 月 21 日發生芮氏規模 7.3 的集集大地震，石岡壩因受車籠埔斷層穿越影響，造成石岡壩壩體第十六至第十八道閘門隆起斷裂、溢洪道閘門及輸水隧道受到嚴重受損，調節蓄水功能遭受破壞。歷經一年多，在中區水資源局的全力搶修復建下，於 2000 年底完成穩定壩體的硬體工程，恢復引水及蓄水功能。在石岡壩的修復工程中，保存三個受損閘門作為地震教育的活教材。且為了大甲溪自然生態保育，因應地方保育團體、學界人士及民意代表之訴求，特別在復建時於右岸第十六道閘門處增設一座魚道 (fishway) (座標為 120°46'8.9"N，24°16'57"E)，於 2001 年底完工。此魚道屬於「水池階段式 (Pool and Step or Pool and Weir Type)」(圖 2)，供洄游生物使用。此魚道的設置目的，是希望讓大甲溪中游自天輪以下河段整個形成暢通的生物廊道 (曾 2006)。

## (二) 採集時間與方法

### 1. 採集地點

採集地點為石岡壩魚道內，工作人員由魚道下方往魚道上方採集（圖 2），採集在魚道各階正進行上溯及下游的魚類與蝦蟹類。由於魚道出口有堵塞的現象，不採計魚道最上方休息池內的生物，以排除因無法游出魚道而常住在魚道上游處閘門內的生物。

### 2. 採集時間與方法

自 2006 年 1 月開始，每月採集一次，至 2006 年 12 月共採集 10 次，7 月與 11 月未採集。選定的採集時間避開特別的氣候條件，例如趕在颱風前，或是在颱風離開一個禮拜後，以避免重大的氣候條件影響採集資料。

魚道內生物採集皆使用電魚法 (electrofishing method) 採集（農授漁字第 0941218558 號、府農育字第 0940195696 號許可）。由工作人員穿著涉水褲，背負台製直流電 12 伏特蓄電池電魚器，調整合適的電壓，使生物個體昏厥，喪失逃逸能力，之後立即對昏厥的魚類與甲殼類進行量測。放入量魚盆紀錄與測量生物種別 (species)、個體數量 (individual) 與其出現的位置，對於魚類個體記錄其標準體長 (standard length)、全長 (total length)，蝦類則記錄其頭胸甲長 (carapace length)。測量完畢後，於個體甦醒時放回魚道下游處。

而測量個體體長、全長的工具為自製量魚盆，在方形塑膠盆中固定 30 公分不銹鋼鋼尺，利用鋼尺測量。

在魚道各階以時間為努力量標準，每階採集約 1.5 分鐘。除了持電魚器的工作人員有網子蒐集生物之外，在下一階魚道由另一位工作人員在潛孔處放置手抄網，以免有漏網之魚。

在魚道內採集生物之前，利用水質測定儀 (YSI Environment Monitoring Systems 600R Multi-Parameter Water Quality Monitor) 進行測定。收集水溫 (water temperature)、pH 值 (pH value)、導電度 (Conductivity)、溶氧 (dissolved oxygen) 等資料，以作相關分析。儀器採集使用前，皆以標準步驟校正；而量測時，放置在量測環境中，等待量測值穩定後再行記錄，避免誤差值產生。

### 3. 石岡壩營運操作資料分析

2006 年 1 月開始至 2006 年 12 月為止，依石岡壩管理中心所提供之石岡壩

運轉綜合月報表資料，計算進水量、放流量等相關數據後進行分析與討論。

### (三) 統計分析方法

#### 1. 豐度、歧異度與均勻度之計算

為了將收集到魚類與蝦蟹類種類、數量分析數值化，以供比較石岡壩魚道內每月生物群聚結構，與生物利用魚道洄游的情形。採用目前應用最為廣泛之豐度 (Richness index)、歧異度 (Diversity index) 與均勻度 (Evenness index) 三種指標，比較各月採集的族群結構。

豐度即指某一時間或地點所捕捉到之種類數 (S) 與個體總數 (N)，若此兩值高則表示某時間或某地點之物種多樣性較高，若兩值低則表示環境變壞或受週期性變動影響 (林與梁 1996)。

歧異度指數指不同物種間數量接近的程度，採用 Shannon-Wiener index ( $H'$ ) (Washington 1984)，其公式為：

$$H' = - \sum (P_i * \log P_i) \quad P_i = n_i / N$$

$P_i$  為某地點或時間下第  $i$  種生物之個體數  $n_i$ ，除以該地點或時間之總個體數  $N$  之比率。 $\log$  可以取 2、e 或 10 為底數運算，唯計算出來的單位不一樣，分別為 nit、bit 及 dit，在此皆以底數 10 為準。

均勻度指數  $J'$  (Pielou 1966)，由歧異度指數衍生而來，其公式為：

$$J' = H' / H_{\max} \quad H_{\max} = \log S$$

$H'$  為歧異度指數， $S$  為該地點或時間下所捕獲的生物種類數。

#### 2. 環境因子相關性分析

直線迴歸分析 (linear regression analysis) 乃是將研究的兩變數以一個數學模型連結起來，藉此瞭解相依變數 (dependent variable) 與獨立變數 (independent) 兩者之間的存在關係 (association) (沈 2002、2003)。本研究使用 Microsoft EXCEL 軟體進行分析，計算直線迴歸線之方程式，以最小平方法可以求出決定係數  $r^2$  (coefficient of determination)。決定係數可以衡量迴歸模型中自變數與應變數間的相關程度 (沈 2002、2003)，因而可了解環境因子與物種組成或數量之關係。其公式如下：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}$$

$r$  為相關係數， $r^2$  即為決定係數， $\bar{x}$  為所有  $x_i$  之平均值， $\bar{y}$  為所有  $y_i$  之平均值。

### 3. 體長頻度分布

此方法最早由丹麥生物學家 Petersen 應用魚群長度頻度 (size frequency) 分布法分析綿鯢 (*Zoarces viviparus*) 的年齡組成。本方法的原理為：同一水體、同一世代的魚往往在相同或相近的外界環境條件下生活，大部分個體的生長率相似。因此，不同世代的魚即具有明顯不同的長度範圍。於是就可以通過測定大批漁獲物，點畫出其體長頻度分布圖來分析其年齡組成與成長 (殷 1998)。由於本研究在電魚採集時常發現魚類尾鰭有受損現象，在此選用標準體長作為長度頻度分布圖的基準。

本研究將石岡壩魚道內以電魚法採集到的生物，佔全年個體數大於或超過 1% 以上者 (由於其數量較多較有討論上的意義)，依不同物種個別計算，求得不同種類各月份的體長頻度分布圖。將每個月在魚道內發現的生物種類、數量與體長頻度進行分析，可瞭解在全年中某物種在特定時間是否有大規模利用魚道溯游，以及不同體長的族群加入情形。

### 4. 相似度比較

相似度係數用於比較樣站間物種的相似程度。Sorensen 相似性係數 (Sorensen's Similarity Coefficient; SSC) 為求法最簡單，應用最廣的一種，由樣區中有無各種物種來計算 (Krebs 1999)，其計算公式為：

$$S = \frac{2a}{2a + b + c}$$

$a$  為 A 樣站與 B 樣站皆有出現的種數， $b$  為只有出現在 A 樣站的種數， $c$  為只有出現在 B 樣站的種數， $S$  為相似度係數， $S$  值變動的範圍在 0~1 之間，表示由完全不相似至完全相似。

由於 Sorensen 相似性係數可能受取樣次數、樣本大小所影響，而 Percentage 相似度係數 (Percentage Similarity Coefficient; PSC) 可減少因兩樣站間單一物種所佔比例高低與樣本大小所造成的影響 (林與梁 1996; Krebs 1999)，其計算公式為：

$$PSC = 1.0 - 0.5 \sum_{i=1}^s (|P_{ix} - P_{iy}|)$$

$P_{ix}$  與  $P_{iy}$  分別為第  $i$  種物種在  $x$  或  $y$  樣區中所佔的比例，PSC 為相似度係數。

PSC 值越高表示相似程度越高。

#### (四) 引用資料

本研究部分引用曾 (2006) 的採集資料。該研究採集時間為 2005 年 7 月至 2006 年 6 月 (與本研究重疊的時間為 2006 年 1 月至 6 月)，該研究每月採集一次，採集地點為石岡壩上游約 1 公里處的長庚橋，石岡壩副壩下與石岡壩下游約 1 公里處的埤豐橋。時間、地點與本研究相近，且調查方法使用電魚法以及施放蝦籠，與本研究方法類同。引用資料為長庚橋、副壩下、埤豐橋 3 個樣站的生物種類數與數量，引用這份資料有助於探討生物洄游情形與石岡壩魚道對洄游生物的影響。