

水足跡評估之規劃與效益分析—以企業水資源管理為例

顏鳳旗¹ 張添晉¹ 陳峙霖² 林俊良² 甘其銓³ 萬孟瑋^{4*}

¹ 國立台北科技大學環境工程與管理研究所

² 國立成功大學產業永續發展中心

³ 嘉南藥理大學溫泉產業研究所

⁴ 嘉南藥理大學環境工程與科學系

摘要

台灣位處亞熱帶，年平均降雨量 2,510 公釐，是全球平均值的 2.6 倍，卻高居國際缺水排行榜第 18 名，加上近年來人口大幅增加及嚴重工業化的影響，使主要作為取水的河川、湖泊及水庫皆受到相程度的污染與破壞；相對的，可利用的水資源也相形減少；如果該年度氣象水文情況不佳，國內屢屢出現缺水危機。「水資源」對於邁向 21 世紀的台灣，更顯珍貴！

本研究針對 A 電子股份有限公司所生產之「軟硬複合板（Rigid-Flex Board）」，利用國際上認可之水足跡評估指標，建立一套適用於台灣企業的水足跡分析系統，並藉由企業現勘、用水資料盤查、用水平衡圖繪製與產品成本分析及規劃等方式，根據企業不同之用水型態進行分析，並探討水足跡對於企業經營之實質效益，以達到用水資源永續管理之目的。研究結果顯示：本產品大比例的用水為其原物料階段，且主要為使用於生產原物料之藍色水足跡。此外，研究結果亦揭露了企業產品的用水情形，產品的水足跡分析可以反應企業對水資源使用的影響。

關鍵詞： 水足跡、用水平衡圖、軟硬複合板、用水風險管理系統

*通訊作者：嘉南藥理大學環境工程與科學系

Tel:+886-6-266-0615

Fax:+886-6-366-2668

Email: peterwan@mail.chna.edu.tw

壹、緒言

台灣位處亞熱帶，年平均降雨量2,510公釐，是全球平均值的2.6倍，但由於地形起伏大、降雨集中，使得短而急促的河川，因逕流過快無法有效收集雨水，導致蓄水不易；實際上每人每年可用水資源只有全球平均值的1/6，高居國際缺水排行榜第18名（高宜凡，2010）。此外，數十年來經濟發展所帶來的不當開發及高度污染，加上人口大幅增加及嚴重都市化，使我們主要作為取水的河川、湖泊及水庫皆受到相程度的污染與破壞；相對的，可利用的水資源也相形減少。依據經濟部的統計資料顯示：台灣年總用水量約180 億立方公尺，由水庫提供的水量約43億立方公尺，而目前水庫有效容量只有19億立方公尺，僅佔全年用水量的11%，比日

本水庫有效容量的36%為低；如果氣象水文情況不佳，國內將出現缺水危機。（李素珍，2011）「水資源」對於邁向21世紀的台灣，更顯珍貴！

近年來，地球暖化所形成的氣候變遷，已然成為各國政府、企業與人民面臨的重要環境挑戰，亦是風險管理之顯學；再者，面對全球氣候變遷所形成的天然資源短缺及物種遷徙改變，企業經營亦面臨了複雜的供需問題，如：供應鏈的管理，及嚴峻的經營管理，如：降低成本及風險。因此，水資源管理已是現今企業於經營管理上必須慎重思考之準則，有效的水資源管理將可以提高公司的產業價值，並可大幅降低營運上潛在的風險。

「水足跡」（Water Footprint）是由Arjen Y.

Hoekstra於2002年提出的，其概念近似於Anthony Allan在1993年所提出的「虛擬水資源（Virtual Water）」，而「虛擬水資源」則是由「具涵水資源（Embedded Water）」衍生而來。Allan與Fishelson都曾在1990年代初期使用「具涵水資源」一詞：Fishelson認為具涵水資源乃指隱含在出口商中之水資源，Allan則延伸其意涵，定義虛擬水資源為：用於生產國際貿易產品的水資源；此外，Allan並認為一個國家或地區可藉由國際貿易輸入虛擬水量，解決國內水資源不足的問題。(周嫦娥等，2011)

「水足跡」之概念亦與一般民眾較為熟知的「碳足跡」（Carbon Footprint）相似，碳足跡是指因人類的行為或生產而製造的二氧化碳量。水足跡是代表消費者所購買的商品，在生產過程中消耗的用水量；其創造概念在於讓消費者瞭解「水」在生產線中的消耗量及其重要性，讓「水」作為成本的概念融入民眾的生活，使消費者做好水資源的管理。因此，水足跡於2002年被提出後，旋即受到國際社會的重視，未來，水足跡將和碳足跡一樣，成為產品的重要環境資訊標示。

周嫦娥等，2011指出：依據水足跡網絡（Water Footprint Network, WFN）2011年公佈的「水足跡手冊」（Water Footprint Manual），水足跡是淡水資源使用的一種指標，指的是消費者或生產者對淡水資源的直接和間接使用，其所衡量者為消耗性用水量（Consumptive Water Use）而不是傳統的取水量（Water Withdrawal）。以棉質襯衫生產為例：棉質襯衫生產階段之直接用水不多，而其間接用水乃指由棉花種植、採收、紡織至染整等製成棉布之生產步驟的水資源使用；和直接用水相較，棉質襯衫的間接用水量出甚多。棉質襯衫的生產有不同階段，各生產階段和最終消費可能發生在不同地點，對水資源使用有不同影響。例如：台灣並不生產棉花，可能從中國、印度等地進口原棉，經製成後再出口至歐美等地；而不同地區的水資源供需壓力又各不相同。因此，棉質襯衫的消費對全球水資源的影響必須由供應鏈追溯至原產地，才能進行完整的評估。簡言之，水足跡須衡量產品的生命週期，即由最終消費者、流通、製造和貿易等歷程，估計直接和間接用水者的用水量。(周嫦娥等，2011)

周嫦娥等，2011亦指出：水足跡和碳足跡不同的是，碳足跡僅衡量產品的二氧化碳排放當量、水足跡衡量水資源的使用狀況外，也須考慮將水污染處理至適當之水質標準等用水需求。因此，碳足跡僅單純考慮污染問題，水足跡則須同時考慮現有水質污染標準和水資源使用等雙重問題。

在國際間，許多企業及組織已開始制定如：產品水足跡計算標準等水資源管理工具，國際採購大廠及供應鏈管理平台，亦開始要求供應鏈廠商開始接露公司水資源管理狀況，如：CDP Water

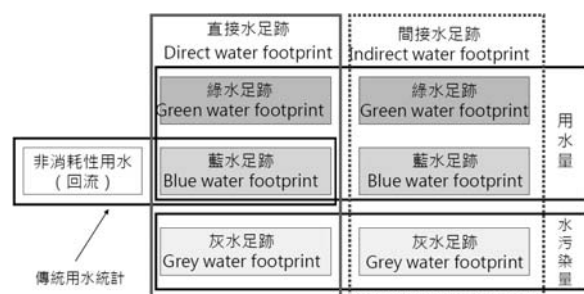
Disclosure、DJSI（道瓊永續指數）、Walmart Sustainability Index及Ceres AQUA GAUGE等。然而，台灣產業以出口為導向，在國際產品供應鏈體系具有關鍵地位，但是供應鏈體系廠商因多數屬中小企業，人才培育與資訊蒐集的能力普遍不足，在面對國際採購大廠與主要銷售通路要求揭露產品用水資訊上，有實質之執行困難與壓力。

爰此，本研究利用國際上認可之水足跡評估指標，建立一套適用於台灣企業的水足跡分析系統，並藉由企業現勘、用水資料盤查、用水平衡圖繪製與產品成本分析及規劃等方式，根據企業不同之用水型態進行分析，並探討水足跡對於企業經營之實質效益，已達到用水資源永續管理之目的。

貳、研究指標及方法

一、水足跡指標及計算式：

Water Footprint Network, 2011的水足跡手冊將水資源分為藍水、綠水和灰水三類：(1) 藍水是指新鮮的地面水和地下水，亦即河川、湖泊及含水土層之淡水；(2) 綠水為蘊藏在土壤中的雨水；(3) 灰水為使用過後被污染的廢污水。因此，水足跡包括：藍水足跡、綠水足跡及灰水足跡。藍水足跡為地面水和地下水之使用量；綠水足跡為土壤中雨水的用量（主要存在於農林產品中）；灰水足跡指在現有水質標準下，吸收污染物所需的淡水量，或將污染物稀釋至符合周邊水質標準所需的淡水水量。由此可知，水足跡衡量水資源耗用和水污染狀況，係從生態觀點描述消費者或生產者淡水資源之使用訊息。主要之水足跡範疇與藍水、綠水、灰水足跡的概念架構如圖1所示。(周嫦娥等，2011)



(Water Footprint Network, 2009)

圖1 水足跡組成圖

WFN水足跡手冊將產品水足跡定義為製造產品過程中所有直接和間接的淡水用量；即產品生產鏈所有步驟的耗水量和汙染量，各種產品（可能由農業、工業和服務業等不同產業生產）計算水足跡的步驟皆類似，如圖2所示。各產品之水足跡皆包括：藍水足跡、綠水足跡和灰水足跡。



圖2 各產品之水足跡計算式

1. 綠色水足跡計算式：

綠水是指降到地面的雨水入滲且蓄存在土壤含水層中，以蒸發散的形式由植被所利用的土壤水分，而產品綠水量是原料作物和森林生長過程中被吸收的有效雨量（張元馨，2011）。根據水足跡手冊（Hoekstra et al., 2011），作物生長期間消耗的綠水量計算概念如式（1）所示：

$$WF_{proc\ green} = Green\ Water\ Evaporation + Green\ Water\ Incorporation \quad (1)$$

式中： $WF_{proc\ green}$ 為製程綠水量（ m^3 ），*Green Water Evaporation* 為產品生長過程中透過作物蒸發散的有效雨量（ m^3 ），*Green Water Incorporation* 為蓄存於產品中之水量（ m^3 ）。

2. 藍色水足跡計算式：

藍水泛指為人類活動所取用之地表水或地下水，亦是一種消耗性使用指標。消耗性使用水資源包含水蒸發至大氣中短期內無法被人類使用、成為產品之一部分蓄存於產品中或水資源使用後未在估算期距內回到估算邊界內，其中，蒸發是藍水計算中最主要的项目（張元馨，2011）。根據水足跡手冊，產品製造消耗的藍水量計算如式（2）所示：（Hoekstra et al., 2011）

$$WF_{proc\ blue} = Blue\ Water\ Evaporation + Blue\ Water\ Incorporation + Lost\ Return\ Flow \quad (2)$$

式中： $WF_{proc\ blue}$ 為製程藍水量（ m^3 ），*Blue Water Evaporation* 為藍水蒸發量（ m^3 ），*Blue Water Incorporation* 為蓄存於產品中水量（ m^3 ），*Lost Return Flow* 為水資源使用後未在估算期距內回到估算邊界內的水量（ m^3 ）。

3. 灰色水足跡計算式：

灰水則是指產品製造過程中淡水資源受污染程度的指標，亦即吸收或淨化生產過程中產生的污染負荷，並使污染物濃度符合承受水體現有環境水質標準所需的水量（張元馨，2011）。根據水足跡手冊（Hoekstra et al., 2011），作物生長期間的灰水量計算概念如式（3）所示。

$$WF_{proc\ grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3)$$

式中： $WF_{proc\ grey}$ 為製程灰水量（ m^3 ）， L 為污染物負荷（ g ）， C_{max} 為水體最大可承受濃度（ g/m^3 ），一般以水質管制標準表示， C_{nat} 則為承受水體的自然背景濃度（ g/m^3 ），自然背景濃度是指未受到人類活動干擾時水體本身濃度，若排放物質為環境中不會出現的人造物質或自然背景濃度未知時則 $C_{nat} = 0$ 。

二、水足跡盤查暨輔導流程：

本研究針對目標商品，從原料、製造及成品等過程建立其生命週期，並實際訪查廠商，調查其相關製程之用水量，主要的盤查流程如圖3所示。



圖3 水足跡計算暨盤查步驟

本研究針對A電子股份有限公司所生產之「軟硬複合板（Rigid-Flex Board）」，通用產品如圖4所示。執行水足跡盤查輔導工作，盤查期程為：2010年度及2011年度。此外，本研究主要工作目標分為二大部份，分別為「現場資料盤查」及「輔導單位分析」；並依據各別角色規劃其工作項目，使其達到專業分工、協調溝通之目的，以順利達成工作目標，各項輔導規劃工作如圖5所示。

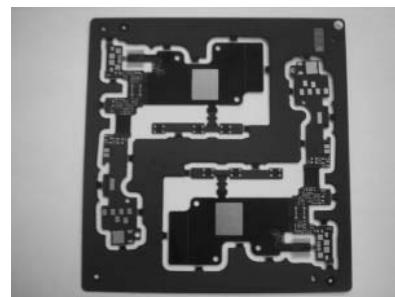


圖4 軟硬複合板（RF PCB）通用產品圖像



圖5 各產品水足跡輔導流程

三、水足跡盤查、計算及分析軟體：

本產品之水足跡盤查依據 Earthscan, The Water Footprint Assessment Manual (2011 Water Footprint Network) 進行相關盤查與計算。本產品在盤查過程中，收集數據時間範圍須涵蓋本產品生產期間所提供原物料的生產期程，並記錄於「水足跡活動數據清冊」；另外，本研究團隊所選擇使用的生命週期分析（LCA）軟體為 SimaPro 7.3.3 版，其資料庫為 7.3.3 更新版，內含 Ecoinvent 2.3 及 European Life Cycle Database (ELCD) v2.0，進行生命週期水足跡相關活動數據蒐集，並記錄於「水足跡盤查表」。

此生命週期評估軟體聯結 ECOINVENT 等環境資料庫，可供查詢各項原物料之生命週期活動數據，包含用水及水污染排放量資訊。選擇此軟體之主要原因在於：SimaPro 的評估方法與資料庫更新上皆驅於完整；而最大的特色為其於不同單位資料庫的整合能力，可將不同來源的資料分級儲存，並兼顧實用性與保密性。此外，藉由 Simapro 的分析可了解各產品於原料及製程之用水狀況、藍水、綠水、灰水等用水之佔比、資料庫來源及以水足跡系統分析之結果等。

參、結果與討論

一、系統邊界設定及用水平衡圖

因本研究產品之生命週期為 B2B，所以原料取得、製造即為本次盤查範圍。故用水資料依本產品之物料清單表，收集一階原料供應商之主要水資源投入量及廢水排放量，並代入相對應之排放係數，計算出各原料之生命週期虛擬水資源耗用，再彙整 A 公司製造本產品製程流程所產生的虛擬水資源耗用。其中製程表示 A 公司

可控制的邊界範圍，均收集水資源使用量及廢水排放等一級活動數據。

全廠用水平衡圖以自來水費單上的度數進行統計，前後區間則以當月水費單換算成每日後再乘以當月天數，做為 2010 年度及 2011 年度的資料；另外，井水資料則以廠內統計資料進行收集，製成用水平衡圖，如圖 6 所示。廠內主要用水來源有：產品製程、冷卻水塔散失、其他如員工生活用水、廠區園藝澆水等。（產品製程所使用之水用於產品沖洗）

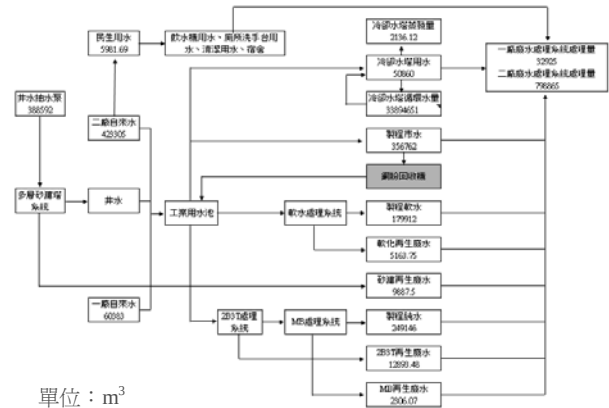
單位：m³

圖6 產品製造之水平衡圖

二、水足跡盤查分析

水足跡指標包含：綠色、藍色及灰色水足跡。本產品在製造階段及經盤查的一階供應商相關原物料後，在綠色水足跡部分並無耗用情形，所以本研究僅計算藍色及灰色水足跡，其中，灰色水足跡乃屬於虛擬水資源的耗用狀況。此外，本研究盤查以產品組成及包材與廢水處理藥劑列為主要內容；而包含：機台潤滑油劑、純水及軟水再生等耗材及輔助原料，與可剝膠、去殼剝膠及有機保焊處理（OSP）等製程用水，未列入本盤查範疇。

本研究經使用 LCA 軟體 SimaPro 7.3 進行生命週期各階段的水足跡計算時，配合下列方式進行虛擬水資源耗用計算作業：

1. 原料取得階段的藍色水足跡：主要原物料供應商及所有二階以上供應商，使用對應 LCA 軟體 SimaPro 7.3.3 中資料庫的用水量或收集相關產業文獻的用水量進行計算。
2. 原料取得階段的灰色水足跡：主要原物料供應商及所有二階以上供應商，使用對應 LCA 軟體 SimaPro 的廢水量或收集相關產業文獻的廢水量之 BOD 值進行計算，並因上游供應商無法逐一追溯至真正生產工廠之地域及海域，故 C_{max} 皆假設與本廠為同水域，並假設其 C_{nat} 為 0。

3. 製造階段的藍色水足跡：使用本廠生產用水量（包含自來水及井水）進行計算，分配方式為依廠內流量計統計盤查期間補充至純水系統之自來水量，最後再乘以該產品所佔之生產比例進行計算。
4. 製造階段的灰色水足跡：使用本公司水排放口之水質資料，計算排放至水體之灰色水足跡，最後再乘以該產品所佔之比例進行計算灰色水足跡，所使用之水體分類為依據「水區、水體分類及水質標準」，其分類為丙類（南坎溪）流域，並假設其 C_{nat} 為 0。

三、本產品水足跡結果研析

本研究經演算分析產生之水足跡結果表 1 所示，結果顯示：軟硬複合板之用水情形有高達 99.74 的水足跡是導因於該產品之原物料階段。此外，圖 7 亦深入說明了軟硬複合板於「原物料階段」及「製造階段」之藍色水足跡及灰色水足跡，結果顯示：在本產品之原物料階段，大比例的用水是使用於生產「原物料產品之地表或地下淡水等水資源。

表 1 軟硬複合板之水足跡彙整表

製程單位	綠水	藍水	灰水	總合	比例(%)
原物料階段	0.00	2.74	0.39	3.13	96.63
製造階段	0.00	0.03	0.08	0.11	3.37
總水足跡	0.00	2.77	0.47	3.24	100.00

水足跡單位： m^3 /每片軟硬複合板

本研究結果可清楚地顯示企業產品的用水情形，產品的水足跡分析可以反應企業對水資源使用的影響。估算水足跡可以提供企業水資源管理的重要訊息，尤其是從何處取得原料、於何處進行生產。此外，完整的產品水足跡資訊，亦可協助企業建立自產或採購等重要之決策依據。因此，在面臨 21 世紀全球水資源缺乏之挑戰下，建構產品水足跡分析，將有助於企業因應未來可能之缺水危機，並建立完善之用水風險管理。

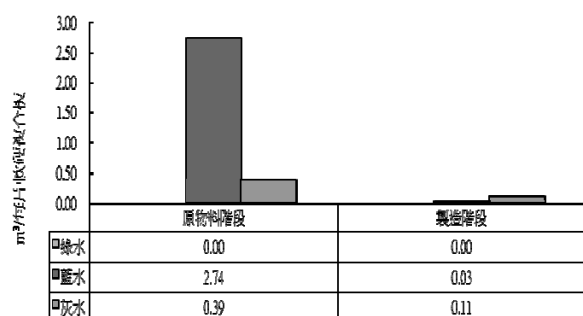


圖 7 軟硬複合板之個別水足跡分析圖

四、台灣目前推動水足跡之困難

本研究在進行企業盤查、輔導並建立水足跡分析時，亦發現台灣現行制度下，許多軟硬體上滯礙難行之處，茲將研析結果說明如下：

1. 本土化水足跡基線資料尚未建構：
原物料用水資料缺乏，需建立基礎原物料之水足跡資訊，以供下游製造業參考應用；目前，國家水質水體標準資訊僅承受水體之環境水質標準，各項水汙染指標之規範並不完整，於計算灰水足跡時常有引用資訊不足之疑慮。此外，綠水足跡之相關資料，目前也普遍缺乏，下游使用農業產品作為原物料之各項產品，尤其食品加工業等，於計算綠水足跡時，所需之各項資訊相對缺乏，僅能參考國外研究文獻，影響整體水足跡估算之數據品質。
2. 供應鏈資訊蒐集不易：
產品供應鏈上游資訊不足，企業盤查之執行成本需求較高，需有相當人力物力投入於供應鏈資料取得工作上。建議應著手建立本土化水足跡資料庫，以基礎原物料為出發點，採供應鏈擴散模式，逐步完成各項產品所需之公開水足跡資料庫，如此，則可提升國內產品於面對國外採購大廠及供應鏈管理台之各項要求，亦可增加國內產品之國際競爭力。
3. 同質性產品比較資訊不足：
目前，許多單位產品的耗水指標尚未建構，導致後續用水改善之分析缺乏比較依據，建議應建立豐富的產品用水資訊揭露之資料庫，方可設定產品水足跡之標準，進而作為產品用水改善之參考指標。
4. 面對國際趨勢潮流，需要政府資源積極協助：
因應國際趨勢及潮流，各大廠皆已開始重視水資源之應用，並已要求供應鏈提供相關的資訊。然而，產品水足跡為較新之觀念，廠商對於水足跡的掌握資訊並不完整，需有賴政府相關單位持續推廣與進行輔導，以因應國際競爭力之挑戰。爰此，可藉由辦理產品水足跡輔導人員訓練課程，厚植推動產品水足跡分析輔導品質與技術能量，達成技術推廣與經驗傳播之輔導效益。
5. 國內是否需針對水足跡估算原則和方法擬定準則：
由於目前計算水足跡所引用之準則為 WFN（Water Footprint Network），正式公告水足跡評估手冊，2011 年版本（The Water Footprint Assessment Manual），未來將會有 ISO 相關規範（ISO14046）；然而，目前 ISO 規範制定速度無法預期，建議國內可先參酌 WFN 所制定

之水足跡計算準則，擬定國內適用之水足跡計算規範，供國內使用，待 ISO 標準問世後，再行整合，如此方能滿足國際趨勢之各項要求。

肆、結論

本研究藉由文獻資料、企業現場盤查及電腦演算分析，完成了 A 電子公司所生產之「軟硬複合板 (Rigid-Flex Board)」的水足跡分析，結果顯示：本產品大比例的用水為其原物料階段，且主要為使用於生產原物料之藍色水足跡。此外，研究結果亦揭露了企業產品的用水情形，產品的水足跡分析可以反應企業對水資源使用的影響。

水資源是無可取代的！然氣候變遷及人口增加已成為水資源枯竭的最大隱憂；此外，水資源萎縮對企業所形成的風險將不小於石油耗竭的危機。因此，台灣若要維護水資源，可透過建立完善的水足跡管理資料及系統，提高水資源的使用效率，配合「節約用水」措施及提高「再生水利用率」等方式，將「缺水」從企業與人民的生活恐懼中移除！

參考文獻

李素珍 (2011)。除了碳足跡，人們也需關心水足跡。《酪農天地雜誌》，94，44-48。

周嫦娥、李繼宇、林惠芬與阮香蘭 (2011)。企業水資源管理新指標—水足跡。《工業污染防治》，117，175-199。

高宜凡與呂愛麗 (2010)。CSR 議題影響—水足跡改變台灣產業結構。《遠見雜誌》，第 285 期。

張元馨，(2011)，*臺灣農業水足跡之估算—以稻作生產為例*，國立臺灣大學碩士論文。

Allan, J.A. (2003). Virtual Water -the Water, Food, and Trade Nexus: Useful Concept or Misleading Metaphor?, *Water International*, 28(1), 4-11.

Guan, D., & Hubacek, K. (2007). Assessment of Regional Trade and Virtual Water Flows in China, *Ecological Economics*, 61, 159-170.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. & Mekonnen, M.M. (2011) *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Earthscan, London, UK.

The Scheme and Efficiency Analysis of Water Footprint Assessment—The Case Study of Rigid-Flex Board Company

Feng Chi Yen¹ Tien Chin Chang¹ Chih Lin Chen² Chun Liang Lin²
Chi Chuan Kan³ Meng Wei Wan^{4*}

¹ Institute of Environmental Engineering & Management, National Taipei University of Technology

² Industrial Sustainable Development Center, National Cheng Kung University

³ Institute of Hot Spring Industry,

⁴ Department of Environmental Engineering & Science,
Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

Abstract

Taiwan locates at the subtropical zone, where the annual rainfall is around 2,510 mm that is 2.6 times than global average. However, Taiwan is also at the eighteenth position of water shortage area among all the international countries. According to the growing population and serious industrialization in Taiwan, the water resource, such as rivers, lakes and reservoirs are seriously contaminated, where the clean water resources are decreased dramatically. The water shortage problem has drawn an enormous attention in Taiwan.

This study selected a Rigid-Flex Board Company (named as A company) to set up a water consuming risk management system using water footprint which is qualified by international society. This study mainly focused on establishing a water footprint simulation system of industrial companies in Taiwan. Some scientific methods were used in this study, including interviewing the selected company, collecting their water consuming data, investigating the water utilization balance table and planning the analysis scheme, where the real water consuming pathway of different company types were carefully examined by water footprint system. Thus, the results of this study indicated that high percentage of water consuming in A company was mainly on raw materials. The blue water footprint is the major contribution for the final product. Moreover, this study also illustrated the water utilization patent of selected company, which evidenced that the water footprint simulation could reflect the water resource which was obviously affected by different company types.

Keyword: Water Footprint, Water Utilization Balance Table, Rigid-Flex Board, Water Consuming Risk Management System

*Corresponding Author: Associate Professor of Environmental Engineering & Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

Tel: +886-6-266-0615

Fax: +886-6-366-2668

Email: peterwan@mail.chna.edu.tw