

台灣小型雨水回收系統經濟效益之研究

王仁俊^{1*} 張麗蓉¹ 李孫榮² 余光昌² 甘其銓² 楊奇儒³ 張翊峰¹

¹嘉南藥理科技大學觀光事業管理系
²嘉南藥理科技大學環境工程與科學系
³嘉南藥理科技大學環境資源管理系

摘要

本文以教育部補助設置雨水回收完工滿一年以上共 62 校次之永續校園為對象，得有效樣本 23 例。82%學校肯定雨水貯留再利用系統，85%學校特別製作專屬教案，以落實基層教育。在回收效益方面，每千元之工程投資經費，平均每年能回收水量 2.43M³。在設備維護費方面，平均每年僅佔初期投資工程費之 0.26%。在經濟效益方面，平均回收年限為 19 年。在貯留系統設計方面，多數樣本在廣闊回收水源、加大集雨面積、貯槽容量等方面，仍有改進空間。本文針對雨水回收系統，以年雨量、集雨面積、貯槽容量及工程經費等變數，分別建立貯留系統之年回收水量及投資報酬效益的複迴歸預估模型，其重相關係數分別達 .843 及 .820。期本文能供設計者或使用考者考量設備、設施或使用條件時之參酌，亦能為缺水的台灣、人均日用水超高的台灣，謀求一線解決的生機。

關鍵字：永續校園、水資源再利用、雨水貯留、經濟效益分析

*通訊作者：嘉南藥理科技大學觀光事業管理系

Tel: +886-6-2664911#6616

E-mail: jck4928@ms39.hinet.net

壹、緒言

一、不透水化的都市造成水患頻仍

全球都市土地面積約僅佔地表 3%，但卻居住了全球近 50%人口(Braimoh and Onishi, 2007)，且據聯合國 2009 年時之推估，2020 年居住在都會區的人口將達到 54%，而 2030 年更達 59%(United Nations, 2009)。而在台灣，約 78%的人口擠在僅佔全國近 13%土地之都市計畫土地(行政院主計處，2002)，在全球競相都市化的過程中，許多農地或林地變更為建地，對自然環境變遷產生許多深遠的影響，例如：水資源分配議題(Hasse and Lathrop, 2003; Hasse and Nuissl, 2007)、地表逕流議題(Lin et al., 2007; Weng, 2006; Whitford et al., 2001)。

而農地或林地變更為建地之後，地表不透水率提昇，台南市整體不透水率 32.98%(林憲德等，2008)；台

中市整體不透水率 47.7%，若僅考慮都市已開發地區之不透水率，其值則高達 72.2%(林子平等，2005)。經濟發展伴隨大幅增加的建地面積，在北台灣更是驚人，以臺北-桃園地區為例，在 1990-2006 年期間，建地面積增加 393 平方公里，而建地佔地表覆蓋率從 1990 年 18.5%大幅提昇至 2006 年為 29.3%(黃書禮等，2008)。台灣主要都市之地表不透水率遠高於國際主要都市(林憲德，2003)。而都市快速發展且土地逐漸不透水化的結果，以台北縣汐止地區為例，從 1980 年不到 7 萬人口，1986 年即超越計畫人口 8 萬人，至 2000 年時已達 16 萬人(台北縣統計要覽，2002)，90 年代之後，淹水區域已從過去的下游低窪地區，轉而集中於新開發區域及市中心區域(陳海立，2004)。類似的情形在臺北盆地同樣是 90 年代

之後，淹水的區域亦轉移至盆地周圍的新興開發區域(陳亮全、陳海立，2007)。

二、台灣面臨的水資源困境

台灣雨水充沛，年均雨量逾 2500mm，溫暖潮濕多雨的近熱帶典型海島氣候是重要原因，然台灣地狹人稠，平均每人每年僅能分配到 4400 立方公尺左右的雨水，僅約全世界平均值的六分之一(United Nations, 2010)。再者，台灣的地形陡峭，亦增加集水的困難度，以致於不斷上演缺水危機。然而在此條件下的台灣，我們的用水量仍然高居不下，台灣國民之每人每日用水量平均為 274 公升(經濟部水利署，2008)，該數據遠高於先進國家，德國每人每日平均用水量只有 145 公升，英國伯明罕市的用水量為 150 公升，新加坡也大約在 140 公升左右，日本僅為 127 公升，可見國內自來水耗量之劇。此原因與國內長期以來的低水價政策有關，目前台灣開發水源每度自來水的成本為 25 元，但供水平均價格僅約 10 元左右(內政部建築研究所，2009)，嚴重違反自由經濟市場機制，使用者僅需負擔部分費用，多數費用卻由全民埋單，連帶許多節水機制呈現難以推動的窘境。

三、研究目的

台灣的國土空間發展及其計畫，在面對永續發展的任務挑戰下，必須從過去土地最大利用的方向，轉型到以環境保護、自然保育與人文環境維護的方向(曾梓峰、陳子文，2007)。水資源再利用係屬「資源循環」一節，而資源循環更是永續校園發展之實質面向之一(江哲銘，2001)，同時教育部亦將水資源循環名列永續校園規劃設計要項之一(教育部，2006)。改造校園環境成為具有社區特質的公共空間及環境教育基地，追求生態化校園環境的營造與維護及永續建築技術的落實與應用，已為校園鄰近社區之共同意識(江哲銘，2002；2003)。水資源短缺的台灣，貯留雨水或中水再利用不但為資源節流，且集水及貯水區如同許多散佈的小水庫，助益於緩降暴雨洪峰，並減緩都會區之水患。本文透過實設學校基地案例之調查分析，探討其經濟效益、效能、水量、用途、管理與維護等議題，希望藉此推展至更高層級的都市空間規劃，以供公部門擬定相關政策參酌。

貳、材料及方法

一、研究範圍與取樣

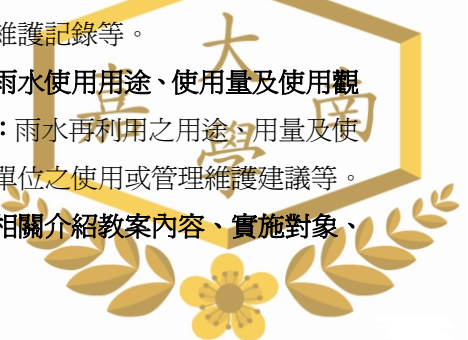
在選樣上，以教育部自 2002 年起推動「永續校園推廣獎勵與改造計畫」，截至 2009 年止，共補助之 736 校次(國小 571、國中 73、高中 46、大學 46)為範圍，而申請計畫中包含有雨水回收再利用計畫項目的案例，在 2004~2009 年期間共計 62 校次(教育部，2010)。選取案例考量原則包括：行政區域、雨量分區、學校規模、水資源再利用方式等，設定案例需完工 1.5 年以上，部分案例因缺乏水量計量設施、工程圖面或詳細預算項目、系統上設有自來水或地下水補注者，均予以刪除，最後通過篩選的樣本為 28 例，再篩除部分同一氣候分區過多的案例之後，共得有效樣本 23 處。各樣本資料詳表 1。

二、案例基礎資料調查

為確實反映各樣本學校雨水貯留設施現況，並對接受訪視學校能有更具體了解，本文首先以填寫問卷方式為之，同時委請教育部行文各學校，並由各校之財產保管負責人填寫問卷，由本文先彙整問卷不足或有疑義之處，先請各校補齊確認之後，再排定時間親自訪視各校之雨水貯留設施現況，執行現場調查之時間為 2008 年 2 月至 8 月間，重複確認資料及現場複檢期間為 2008 年 10 月至 2009 年 6 月。

問卷調查項目包括：

1. **學校基本資料調查**：包含地址、海拔、校地面積、建築物規模、總使用人數、聯絡人等。
2. **雨水貯留設施設置基本資料**：設置日期及經費(含工程細項預算)、雨水集水面積、貯槽容量、設置位置及相關設施圖說、過濾或消毒設備、回收水量計量設施等。
3. **雨水貯留設施管理、操作及維護調查**：操作管理單位及負責人員、年度維護計畫、定期水質檢測、操作及維護記錄等。
4. **雨水貯留設施雨水使用用途、使用量及使用觀感暨意見調查**：雨水再利用之用途、用量及使用頻率、使用單位之使用或管理維護建議等。
5. **雨水貯留設施相關介紹教案內容、實施對象、**



實施頻率及成效調查：實施介紹教案目的，實施介紹項目、實施對象、實施時間及頻率、實施人數，實施成效自評等。

表 1：雨水貯留再利用調查樣本分佈

案例編號	行政分區	雨量分區* ¹	學校人數* ²	案例編號	行政分區	雨量分區* ¹	學校人數* ²
NH01	基隆市○○國小	高	133	ML03	雲林縣○○國小	低	324
NH02	宜蘭縣○○國小	高	442	ML02	彰化縣○○國小	低	489
NM01	台北市○○國小	中	1480	SL01	嘉義縣○○國小	低	1426
NM02	台北市○○國小	中	1280	SL03	台南縣○○國小	低	157
NM04	台北縣○○國小	中	194	SL04	台南縣○○國小	低	1209
NM05	台北縣○○國小	中	324	SL05	屏東市○○國小	中	106
NL01	桃園縣○○國小	低	136	SM01	嘉義縣○○國小	中	365
NL02	桃園縣○○國小	低	158	SM03	高雄縣○○國小	中	80
NL03	桃園縣○○國小	低	244	SM06	屏東縣○○國小	中	186
NL04	苗栗縣○○國小	低	474	EM02	台東縣○○國小	中	114
MM01	南投縣○○國小	中	92	EM03	台東縣○○國小	中	108
				ES01	金門縣○○國中	低	164

*¹：係建築物雨水貯留技術規範定義之氣候分區，「高」代表年雨量 3001mm 以上，「中」表年雨量 2001~3000mm，「低」表年雨量 2000mm 以下。

*²：學校人數含學生人數及教職員人數。

三、案例資料彙整統計及分析

透過樣本學校基本資料彙整，根據雨中水貯留系統設置現況及成效，對應設計條件之統計變項，建立貯留系統效能評估相關因子變數群組，以相關分析求取與依變數(回收水量、投資報酬效益)關連性較高的

變數群，再經由逐步迴歸分析漸次解析對依變項最具解釋能力的變數群組，藉此建構貯留系統之回收水量預測模型及探討經濟效益分析之投報效益預測模型。各項統計解析成果彙整如後。

參、結果及討論

一、樣本學校之雨水貯留系統基本設施

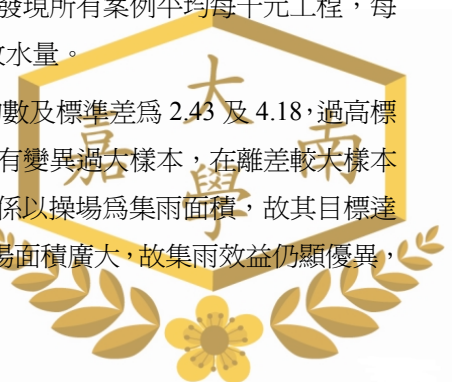
23 例樣本中有 22 例以屋頂面集水。在過濾設備方面，完全無過濾設施者為 11 例，僅以簡易沉澱池為之者 3 例，設置過濾設施者為 7 例，而以濕地河道為過濾淨化設備者為 2 例，亦即約僅有 52% 案例對於回

收水進行不同程度之水質處理。在回收水用途方面，所有案例皆將綠地噴灌列為用途之一，但卻也有 11 案例僅將回收水用於綠地噴灌，而不作為其他用途，在積極用途沖廁方面，僅有 3 個案例採用。詳表 2。

二、雨水貯留系統回收水量之效能分析

本文將集雨面積全年所能收集之全部雨量的 70% 設定為收集水量目標值(日本雨水工作小組，2008)，探討雨水回收設施效能，結果發現達成目標率平均為 34.76%，亦即僅留住全年雨量的 24.33%。在經濟效益方面，由於多數學校在申請補助經費時，皆將許多綠美化工程項目併案申請，故本文仔細析離各校工程經費明細，只計算實際用於雨水回收系統之設備系統費用，以更真確解析投資報酬。在投報效益方面，本文以每投資千元之工程費用每年所能創造之回收水量作為衡量基準，結果發現所有案例平均每千元工程，每年創造 2.43M³ 回收水量。

23 樣本之平均數及標準差為 2.43 及 4.18，過高標準差說明統計上存有變異過大樣本，在離差較大樣本解釋方面，NH02 係以操場為集雨面積，故其目標達成率雖低，但因操場面積廣大，故集雨效益仍顯優異，



其每千元工程費每年能創造 21.03 M³ 之回收水量，遠高於其餘案例。而 23 例中，有 19 例設操場，然只有 NH02 將操場納入集雨範圍，殊為可惜。SM06 係回收水投報率最低案例，與多數案例的設計相仿，將屋頂面集水收入地下混凝土貯水槽，然其每千元工程費每年卻僅能創造 0.65M³ 的回收水量，一方面係因所在地測點年雨量 1750mm 偏低，再者，其使用用途僅限於貯水槽附近約 90M² 綠地，用途及用量皆明顯偏低，導致投報率偏低，類似情形亦發生於 NL04、SL04、SM03 等案例，皆是因用途寡且頻率低，而導致用水量及投報效益偏低。詳如表 3。

針對各項設計變數進行相關分析(表 4)，結果發現回收水量與集水面積、貯水槽容量、系統設備費等均呈現顯著相關。而在投報效益方面，其與回收水量、集水面積、貯槽容量等均呈現顯著相關。利於後續籌組回收水量與投報效益之預測模型。

三、雨水貯留系統之操作與維護

本文所調查對象均完工 1.5~5 年，各樣本亦皆能正常運轉，尤其回收系統負有重要的教育宣導意義，多數學校均樂意執行。有 76% 的管理人推薦採用雨水回收再利用系統。以上數據係為 2008 年至 2009 年初之親訪結論，而 2009 年八八風災肆虐之後，南部多數地區停水 6~10 天，設有雨水回收系統的學校，姑不論經濟效益為何，至少沖廁水源無虞，成了他校欣羨對象，南部原有 2 例不推薦採用雨水回收再利用系統，後於複查訪問時，反而都持正面態度強力推薦。

在管理或維護上，多數學校均由總務處負責，但未訂管理維護計畫，而衍生維護經費的學校，有 2 例為貯水設施清洗、2 例為抽水機浦檢修、3 例為更換機浦，機浦故障的原因都係因間隔一段時日未使用，可見越常抽用回收水，不但能空出蓄水空間、增加蓄水與用量，更能確保系統不受水垢之擾而能正常運作，而電力系統及電裝部品為維護重點。如以本文全數 23 例平均完工 3.6 年計算，平均每年維護成本約佔總工程費用之 0.26%，略低於過去文獻曾建議編列總工程

費之 1% 作為每年維護費用(李士哇、林敏朝，2002) 相仿。

四、雨水貯留系統之回收水量與投資報酬效益預測

本文以 23 例雨水回收樣本，以雨水回收水量及投報效益為二個單獨構面，以表 4 所列之變數為自變數，進行多元逐步迴歸分析，以求取最具代表性解釋構面依變數的自變數群組，而理論上越多自變數組成的變數群，對於依變數的解釋能力越高，但過多的變數其中易包含解釋能力較低的變數，需適度篩除，故本文在變數群組之選擇原則上，設定排除變數之顯著性大於 0.05 者，由分析結果(表 5)可發現，二個構面之自變數群組 R 平方為 0.871 及 0.853，亦即二組變數群組能分別預測二個依變項之 87.1% 及 85.3% 的變異量，該數據非臻完美，肇因於少數殘差過大之特異樣本，但數值仍在可接受範圍，而公式整體之顯著性則均為 $.000 < .05$ ，說明其間存有無法棄卻之迴歸關係。兩個依變項構面之解釋變數均為四項，所有變項之顯著性均低於 0.05 (t 值介於 3.36-6.32)。另根據多元迴歸之未標準化係數，二構面之多元迴歸公式如式(1)及(2)，整體公式調整後之 R 平方為 0.843 及 0.820，說明公式應有一定之信賴程度。在影響回收水量的變數群方面，以貯水槽容量及集雨面積影響最大，二者對於回收水量之聯合解釋量達 76.4%；而在投資報酬效益方面，則以集水面積影響最高，其對投報效益之解釋量達 69.4%，另該構面之工程經費標準化係數為負值，公式(2)之投報效益同樣呈現數極微小之負值，說明如果工程經費過高，反造成投報效益略降。事實上許多工程皆有類似現象，工程經費過高，反而容易招致效率不彰，本文即為一例。然而依本文公式多元複迴歸公式的精神而言，工程經費高，貯槽的容量及集水面積也會跟著增加，這兩項變數之聯合正面貢獻遠大於工程經費招致之微量負面貢獻。



表 2：樣本學校之雨水貯留系統基本設施

案例 編號	所在地年雨量 (mm) ^{*1}	設 備 型 式	過濾設備	回收水用 途 ^{*2}	回收水量 (M ³ /年)
NH01	4145	屋頂集水→二樓白鐵水塔	過濾器	A	90
NH02	3230	操場綠地雨水收集→人工濕地→生態池	25M 溼地河道	A.B.C.D	1220
NM01	2787	屋頂集水→不銹鋼簡易過濾槽→二樓不鏽鋼水塔	過濾網	A.B	300
NM02	2787	屋頂集水→二樓不鏽鋼水塔	無	A.C.D	245
NM04	2787	屋頂集水→二樓不鏽鋼水塔	無	A	604
NM05	2787	屋頂集水→生態溪流→地下混凝土貯槽	10M 生態河道	A.C.D	528
NL01	2787	屋頂集水→一樓不鏽鋼水塔	無	A.B.C.D	160
NL02	2787	屋頂集水→一樓不鏽鋼水塔	過濾器	A.C.D	312
NL03	2787	屋頂集水→三樓不鏽鋼水塔	無	A	350
NL04	1714	屋頂集水→不銹鋼簡易過濾槽→二樓不鏽鋼水塔	過濾器	A	210
MM01	2471	屋頂集水→過濾→PVC 桶	過濾器	A.B.F	61
ML02	1789	屋頂集水→筏基→抽取→地下一樓不鏽鋼水塔	沈澱池	A.B	460
ML03	1853	屋頂集水→地下貯水槽(沈澱)→抽水→一樓不鏽鋼水塔	沈澱池	A	220
SL01	1853	屋頂集水→筏基→馬達加壓至操場澆灌及廁所沖廁	過濾網	A.B.E.G	1118
SL03	1750	屋頂集水→二樓不鏽鋼水塔	無	A	65
SL04	1750	屋頂集水→一樓不鏽鋼水塔	無	A	360
SL05	2471	屋頂集水→地下混凝土貯水槽	無	A	322
SM01	1853	屋頂集水→一樓不鏽鋼水塔	沈澱池	A.B	165
SM03	1999	屋頂收集→一樓不鏽鋼水塔	無	A	56
SM06	1750	屋頂集水→二樓不鏽鋼水塔	無	A	43
EM02	1906	屋頂集水→二樓不鏽鋼水塔	無	A.F.G	310
EM03	1906	屋頂集水→一樓不鏽鋼水塔	無	A	42
ES01	1001	屋頂集水→地下室混凝土貯槽	過濾水槽	A.G	204

^{*1}：採 1990~2000 年，台灣地區 14 個測站降雨量（鄭政利、高靜儀，2002），其中北桃以台北為代表，竹苗以新竹為代表，中彰以台中為代表，雲嘉以嘉義為代表，外島以澎湖為代表。

^{*2}：A:綠地噴灌，B:防塵或降溫灑水，C:景觀池補注，D:濕地補注，E:消防補注，F:菜園噴灌，G:沖廁。



表 3：樣本學校之雨水或中水貯留系統經濟效益分析

案例編號	所在地年雨量 (mm)	集雨面積最大雨水回收量之 70% ^{*1}	達成率 ^{*2}	回收水量 (M ³ /年)	集水面積 (M ²)	貯水槽容量 (M ³)	工程總經費 (元)	實際用於雨水回收系統之設備費(元)	每千元工程費每年回收水量 (M ³ /千元)
NH01	4145	606	14.84%	90	209	3	115,000	52,000	1.73
NH02	3230	9496	12.85%	1220	4200	175	120,000	58,000	21.03
NM01	2787	1846	16.26%	300	946	10	260,000	115,000	2.61
NM02	2787	1405	17.44%	245	720	10	240,000	98,000	2.50
NM04	2787	1272	47.48%	604	652	15	720,000	564,000	1.07
NM05	2787	989	53.38%	528	507	68	700,000	580,000	0.91
NL01	2787	390	41.01%	160	200	5	576,000	60,000	2.67
NL02	2787	597	52.26%	312	306	6	850,000	380,000	0.82
NL03	2787	1404	24.93%	350	1170	15	1,100,000	275,000	1.27
NL04	1714	1440	14.59%	210	1200	20	1,500,000	310,000	0.68
MM01	2471	86	70.53%	61	50	1.12	100,000	28,000	2.18
ML02	1789	679	67.77%	460	542	300	750,000	230,000	2.00
ML03	1853	1144	19.23%	220	882	10	216,499	216,499	1.02
SL01	1853	1564	71.47%	1118	1206	306	160,000	160,000	6.99
SL03	1750	784	8.29%	65	640	10	2,000,000	64,000	1.02
SL04	1750	695	51.83%	360	567	15	1,980,129	435,886	0.83
SL05	2471	957	33.66%	322	781	15	567,500	281,760	1.14
SM01	1853	1014	16.27%	165	782	10	360,000	205,000	0.80
SM03	1999	84	66.70%	56	60	3	83,000	83,000	0.67
SM06	1750	441	9.75%	43	360	10	360,000	66,000	0.65
EM02	1906	2802	11.06%	310	2100	15	260,000	260,000	1.19
EM03	1906	213	19.67%	42	160	5	73,000	40,000	1.05
ES01	1001	350	58.23%	204	500	31	203,203	186,074	1.10

^{*1}：依據「把雨水留下來—雨水利用百寶箱，日本雨水工作小組，2008。」建議可將集雨面積可能蒐集之雨水量目標值，設定為集雨面積全年總收集雨量之 70%。

^{*2}：將前述^{*1}之集雨面積全年總收集雨量之 70%設定為目標達成值，探討雨中水回收設施之目標達成能力。

表 4：雨水貯留系統設計變數之相關分析

雨水回收系統設計各項變數之相關分析		所在地年雨量(mm)	達成率	回收水量	集水面積	貯水槽容量	雨水回收系統費	投報效益
所在地年雨量(mm)	Pearson 相關	1.000	-0.174	0.186	0.146	-0.111	-0.022	0.309
	顯著性(雙尾)	---	0.426	0.395	0.507	0.614	0.920	0.152
達成率	Pearson 相關	-0.174	1.000	0.206	-0.364	0.403	0.264	-0.099
	顯著性(雙尾)	0.426	---	0.345	0.088	0.056	0.223	0.654
每年回收水量	Pearson 相關	0.186	0.206	1.000	0.707**	0.731**	0.255	0.765**
	顯著性(雙尾)	0.395	0.345	---	0.000	0.000	0.240	0.000
集水面積	Pearson 相關	0.146	-0.364	0.707**	1.000	0.355	-0.032	0.833**
	顯著性(雙尾)	0.507	0.088	0.000	---	0.096	0.886	0.000
貯水槽容量	Pearson 相關	-0.111	0.403	0.731**	0.355	1.000	-0.003	0.499*
	顯著性(雙尾)	0.614	0.056	0.000	0.096	---	0.991	0.015
雨中水回收系統費用	Pearson 相關	-0.022	0.264	0.255	-0.032	-0.003	1.000	-0.269
	顯著性(雙尾)	0.920	0.223	0.240	0.886	0.991	---	0.215
投報效益 (每千元工程費年回收水量)	Pearson 相關	0.309	-0.099	0.765**	0.833**	0.499*	-0.269	1.000
	顯著性(雙尾)	0.152	0.654	0.000	0.000	0.015	0.215	---

*：在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著。

**：在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。



表 5：雨水回收水量及投報效益影響變數群之多元逐步迴歸分析

依變項：回收水量構面						
選出的變項順序	多元相關係數 R	決定係數 R ²	增加解釋量 ΔR	F 值	淨 F 值	標準化迴歸係數
貯水槽容量	.731	.535	.535	24.135	24.135	.581
集水面積	.874	.764	.229	32.342	19.401	.482
工程經費	.916	.838	.074	32.805	8.730	.276
當地雨量	.933	.871	.033	30.423	4.605	.186
依變項：投資報酬效益構面						
選出的變項順序	多元相關係數 R	決定係數 R ²	增加解釋量 ΔR	F 值	淨 F 值	標準化迴歸係數
集水面積	.833	.694	.694	47.637	47.637	.693
工程經費	.868	.753	.059	30.482	4.772	-.241
貯水槽容量	.895	.801	.048	25.478	4.575	.278
當地雨量	.923	.853	.052	26.012	6.299	.233

雨水回收系統全年預估回收水量 (M³) =

$$-210.81 + 2.02 \times \text{貯水槽容量}(M^3) + 0.17 \times \text{集雨面積}(M^2) + 0.00052 \times \text{工程經費}(\text{元}) + 0.085 \times \text{年雨量}(mm) \dots (1) \quad R^2=0.843$$

投報效益 (M³/千元)(每千元工程費每年所能創造之回收水量) =

$$-3.006 + 0.0034 \times \text{集雨面積}(M^2) - 6.35 \times 10^{-6} \times \text{工程經費}(\text{元}) + 0.013 \times \text{貯水槽容量}(M^3) + 0.0015 \times \text{年雨量}(mm) \dots (2) \quad R^2=0.820$$

其中：貯水槽容量需 ≤ 集雨面積(M²) × 年雨量(mm) ÷ 1000

五、雨水貯留系統之經濟效益分析

表 6 為雨水貯留系統之經濟效益分析，按維護費用本文乃依據 23 例之平均維護費用佔總工程費用之 0.26%，以估計各案例之維護費用，在水費計價方式，分別以每度水價 10 元(消費者支付成本)及 35 元(國家整體資源考量，另含水源開發成本每度 25 元)推算每年純益及回收年限。於水價設定為 10 元時，成本回收年限為 76 年；而設定為 35 元時，則成本回收年限可大幅降低至 19 年。該數值略低於過去單純著重於理論回收年限之相關文獻(翁彩瓊，2006；廖明誠，2006)。

六、雨水貯留系統應用於都市空間之效益

本文另從都市空間規劃角度，探討雨水貯留之效益。根據衛生法規規定回收水體不得從事與人體接觸之用途，該部分用途每人每天約需 70 公升(經濟部水利署，2008)，本節探討在限定的都市土地範圍內，以

其自身之土地範圍為集雨面積，評估在一般條件假定下，能否滿足非與人體接觸用水之需求。本文續以每千人口需要 10 公頃土地面積之假設前提下，並以台中市之已開發區域不透水率 72.2% 為參數(林子平等，2005)，亦即本文設定集雨面積為 7 公頃，千人口非接觸人體用水之年需水量為 25,550M³，按本文 23 案例之貯水槽與集雨面積之比例，可得貯水槽體積約為 2,200M³，並依據每千人之需水量乘上本文投報效益平均每千元工程經費每年得 2.43 M³ 水量之比例，得工程經費約需 10,514,000 元，在台灣平均年雨量為 2,500mm 之條件下，以本文之迴歸方程式計算，得全年貯水量為 21,813 M³，約為需水量之 85%，亦即可提供全區非接觸人體用水之 85%。亦即潔淨水源的部份仍由自來水公司供應，而雜用水則由社區集水供應，如此約可減緩自來水需求之 30%。回收水之貯水槽體及淨化設備可設置於公園或停車場之地下，社區活動中心等建築物之筏式基礎，以就近供用社區用戶。在節能減碳方面，就近供用取水約可比自來水公



司配送每度水節電 0.54 度(王仁俊等, 2009; 2007; 2005), 換算每千人社區每年節電 13,088 度, 相當於二氧化碳減量 8,324 公斤, 此外節水部分等同緩降自來水產出之二氧化碳排放 4,232 公斤, 也相當於 837M² 喬木林地或 1,674M² 之灌木林地或 2,511 M² 之公園綠

地每年可吸付之二氧化碳量(計算基準參考綠建築解說與評估手冊, 2009), 按一般重劃區, 如其公園面積比例約佔全區面積 7%, 則前述公園綠地面積約為全區公園面積之 36%。

表 6：雨水回收系統投資報酬回收效益表

案例編號	系統設備費(元)	回收水量 (M ³ /年)	每年維護費用 ^{*1}	每年節水費(每度水費 9 元)	每年純益 ^{*2}	回收年限 ^{*3}	每年節水費(每度水費 33 元)	每年純益 ^{*4}	回收年限 ^{*5}	
NH01	52,000	90	135	900	765	67.99	3150	3015	17.25	
NH02	58,000	1220	151	12200	12049	4.81	42700	42549	1.36	
NM01	115,000	300	299	3000	2701	42.58	10500	10201	11.27	
NM02	98,000	245	255	2450	2195	44.64	8575	8320	11.78	
NM04	564,000	604	1466	6040	4574	123.32	21140	19674	28.67	
NM05	580,000	528	1508	5280	3772	153.76	18480	16972	34.17	
NL01	60,000	160	156	1600	1444	41.55	5600	5444	11.02	
NL02	380,000	312	988	3120	2132	178.24	10920	9932	38.26	
NL03	275,000	360	715	3600	2885	95.32	12600	11885	23.14	
NL04	310,000	210	806	2100	1294	239.57	7350	6544	47.37	
MM01	28,000	61	73	610	537	52.12	2135	2062	13.58	
ML02	230,000	460	598	4600	4002	57.47	16100	15502	14.84	
ML03	216,499	220	563	2200	1637	132.25	7700	7137	30.33	
SL01	160,000	1118	416	11180	10764	14.86	39130	38714	4.13	
SL03	64,000	65	166	650	484	132.34	2275	2109	30.35	
SL04	435,886	360	1133	3600	2467	176.71	12600	11467	38.01	
SL05	281,760	322	733	3220	2487	113.27	11270	10537	26.74	
SM01	205,000	165	533	1650	1117	183.53	5775	5242	39.11	
SM03	83,000	56	216	560	344	241.14	1960	1744	47.59	
SM06	66,000	43	172	430	258	255.42	1505	1333	49.50	
EM02	260,000	310	676	3100	2424	107.26	10850	10174	25.56	
EM03	40,000	42	104	420	316	126.58	1470	1366	29.28	
ES01	186,074	204	484	2040	1556	119.57	7140	6656	27.95	
平均回收年限 ^{*6}						76.33	平均回收年限 ^{*6}			19.10

*1：雨水回收案例以 23 例之全年維護費用平均佔總工程費之 0.26%計之。

*2：每年純益 = 每年節水費(每度 10 元) - 每年維護費。 *3：回收年限 = 系統設備費/每年純益^{*2}。

*4：每年純益 = 每年節水費(每度 35 元) - 每年維護費。 *5：回收年限 = 系統設備費/每年純益^{*4}。

*6：平均回收年限係以所有案例之總系統設備費除以所有案例之每年總純益得之。

誌謝

本文承蒙教育部鼎力支持, 得以順利完成, 特此申謝。

參考文獻

1. 日本雨水工作小組(2008), 「把雨水留下來—雨水利用百寶箱」, 廖朝軒、劉冠廷、蔡耀隆編譯, 台北: 詹氏書局。
2. 內政部建築研究所(2009), 綠建築解說與評估手冊 2009 更新版, 臺北: 內政部建築研究所。



3. 王仁俊、荆樹人、林瑩峰、張翊峰(2009),「嘉南藥理科技大學校園中水再利用暨空調自動控管節能計畫」,內政部營建署協同研究報告,臺北:內政部營建署。
4. 王仁俊、荆樹人、林瑩峰、張翊峰(2007),「嘉南藥理科技大學校園水資源整合再利用計畫」,內政部營建署協同研究報告,臺北:內政部營建署。
5. 王仁俊、荆樹人、林瑩峰、李得元、張翊峰(2005)。「嘉南藥理科技大學人工溼地綠建築改善示範計畫」,內政部營建署協同研究報告,臺北:內政部營建署。
6. 江哲銘(2003),「永續校園示範案輔導團計畫」,台北:教育部。
7. 江哲銘(2002),「綠校園指定案例篩選建立計畫」,台北:教育部。
8. 江哲銘(2001),「永續綠色健康學校校園環境教材建立計畫」,台北:教育部。
9. 李士畦、林敏朝(2002),慈濟之建築物雨水利用工程規劃與設計實例,「中華水資源管理學會季刊」,第4卷,第2期。
10. 林子平、何友鋒、楊鴻銘(2005),都市地表不透水率之預估與分析:以台中市為例,「都市與計畫」,第32卷,第3期,第333-353頁。
11. 林憲德、呂罡銘、孫振義、劉正千、何明錦(2008),應用衛星遙測與影像分類技術估算台南市地表不透水率,「都市與計畫」,第35卷,第2期,第123-139頁。
12. 林憲德(2003),「熱濕氣候的綠色建築」,臺北:詹氏書局。
13. 黃書禮、張力方、陳佑樺、王思樺(2008),「全球環境變遷與都市周邊土地使用改變對都市生態經濟系統影響之研究 NSC96-2415-H-305-012-MY3」,台北:行政院國家科學委員會。
14. 翁彩瓊(2006),「校園雨水再利用貯量設計模式之研究-以台北市國小為對象」,台灣大學土木工程學研究所博士論文。
15. 教育部(2006),「永續校園規劃設計管理手冊」,台北:教育部。
16. 教育部(2010),「永續校園全球資訊網」,歷年補助名單查詢, http://www.esdtaiwan.edu.tw/index_c_context.asp?Display=Script&ScriptFile=select_map_year.htm, (2010年9月2日)。
17. 陳亮全、陳海立(2007),易致災都市空間發展之探討:以臺北盆地都市水災形成為例,「都市與計畫」,第37卷,第1期,第143-165頁。
18. 陳海立(2004),「人文易致災因子對都市水災影響之研究—以台北縣汐止地區為例」,台灣大學建築與城鄉研究所碩士論文。
19. 曾梓峰、陳子文(2007),景觀計畫於國土空間規劃所扮演之角色,「都市與計畫」,第34卷,第3期,第219-240頁。
20. 經濟部水利署(2008),台灣自來水公司統計年報,「節約用水資訊網」, <http://www.wcis.itri.org.tw/Case/rate.asp>, (2010年10月10日)。
21. 廖明誠(2006),「建築雨水利用之降雨分區與節水潛力評估研究」,臺灣科技大學建築系博士論文。
22. Braimoh, A. K. and Onishi, T. (2007). Spatial determinants of urban land use change in Lagos, Nigeria, *Land Use Policy*, 24(2): 502-515.
23. Hasse, D. and Nuissl, H. (2007). Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy?
24. Hasse, J. E. and Lathrop, R. G. (2003). Land resource impact indicators of urban sprawl, *Applied Geography*, 23(2-3): 159-175.
25. Lin, Y. P., Hong, N. M., Wu, C. F., and Verburg, P. H. (2007). Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in Northern Taiwan, *Landscape and Urban Planning*, 80(1-2): 111-126.
26. Weng, Q. H. (2001). Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS, *Environmental Management*, 28(6): 737-748.
27. Whitford, V., Ennos, A. R., and Handley, J. F. (2001). City form and natural process: Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK, *Landscape and Urban Planning*, 57(2): 91-103.
28. United Nations. (2010). Water resources: long term annual average, *ENVIRONMENTAL INDICATORS Water*, <http://unstats.un.org/unsd/ENVIRONMENT/waterresources.htm>, (Oct. 12, 2010)
29. United Nations. (2009). *World Urbanization prospects: The 2009 Revision*, New York: United Nations.



Research on the Economic Efficiency of Small-Scale Rain Water Harvesting System in Taiwan

Jen Chun Wang^{1*} Li Zone Chang¹ Sun Rone Li² Kuang Chung Yu² Chi Chuan Kan²
Chi Ru Yang³ Yih Feng Chang¹

¹Department of Tourism Management,
²Department of Environmental Engineering & Science,
³Department of Environmental Resources Management,
Chia-Nan University of Pharmacy and Science,
Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

ABSTRACT

This research is intended to investigate the validity and economic efficiency of small-scale rain water reuse system. The subjects are 62 sustainable schools subsidized by Ministry of Education for more than one year, and total 23 of them become valid samples. On the whole, 82% of the schools confirm the reuse system of rain water system. 85% of the schools had the specialized teaching program based on water resources reuse system to carry out the basic education. As for the rain water reuse efficiency, average annual reuse amount is 2.43M3 per thousand NTD construction cost. In terms of the maintenance cost, the average annual cost of rain water use is 0.26% of the initial construction cost. In terms of economic efficiency, the cases of rain water reuse can regain the investment within 19 years. In terms of system design, most subjects need to improve in many perspectives, such as widening recycled water, enlarging catchment area and containers. In the end of the research, 2 multiple regression equations were set between reuse water quantity and investment reward efficiency in terms of annual rainfall, catchment area, container quantity and construction cost. The R² is 0.843 and 0.820. It is hoped that this research can provide equipment and installation references of rain water harvesting system to designers. The reuse of rain water is one of the key strategies in dealing with the water shortage in Taiwan.

Keywords : Sustainable Campus, Water Resources Reuse, Rain Water Harvesting, Economic Efficiency

Analysis

*Correspondence: Department of Tourism Management, Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.
Tel: +886-6-2664911#6616
Fax: +886-6-2666111
E-mail: jck4928@ms39.hinet.net

