

產品服務系統應用於家電產品之減碳效益評估 -以洗衣機為例

林容瑋¹、胡憲倫²、黃慶耀³、蕭瓊茹^{1*}

¹國立台北科技大學環境工程與管理研究所 碩士生

²國立台北科技大學環境工程與管理研究所 教授

³國立台北科技大學環境工程與管理研究所 博士生

摘要

鑒於近年來全球暖化議題持續受到重視，節能減碳不能僅限於政策宣示，更應從產品或服務之生命週期觀點，結合永續管理模式落實節能減碳，進而達到永續社會的目標。近年來，為求降低能源資源的耗用與廢棄物的產生，產品服務系統(Product Service System, PSS)之概念，為企業經營創造出新的商業模式，並成為開發中國家邁向永續社會的一種利器。然而隨著工業化社會的發展，許多家電產品日趨普及，其中洗衣機於國內之普及率更高達 9 成以上，另外由於社會型態的改變，自助洗衣店也有逐年成長的趨勢，而這也是一種典型的PSS。緣此，本研究採用生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)來探討產品服務系統之減碳效益，選定家用洗衣機及自助洗衣機為比較研究的對象。研究假設在 360 戶之社區，於傳統家用買斷模式下共使用 360 台家用洗衣機，而在PSS情境的商用自助洗衣模式下共享 5 台商用洗衣機，透過LCA探討其生命週期之CO₂排放，並分別以家用洗衣機壽命之 7 年及商用洗衣機的 21 年為評估時間。研究結果顯示，在第一種 7 年和第二種 21 年的評估模式，隨著 360 戶住戶使用商用共享洗衣模式比例增加，其CO₂的排放總量皆會隨之減少。另外，本研究推估執行PSS之商用共享洗衣模式時，若家用洗衣機的家戶數與共享商用洗衣機比例為 11:1 以上時，PSS的減碳效益即會顯現。

關鍵詞：產品服務系統、生命週期評估、碳足跡、洗衣機共享、減碳效益

Carbon Reduction Assessment of Product Service System (PSS) Applied To Electrical appliances - A Case Study of Washing Machine

Rong-Wei Lin¹, Allen H. Hu¹, Ching-Yao Huang¹, Chiung-Ju Hsiao^{1*}

¹Department of Environmental Engineering and Management, National Taipei University of Technology, Taipei City, 106, Taiwan.

Abstract

Global warming has constantly been regarded as a major threat to sustainable development. Thus, reducing energy consumption and carbon emissions entails committed action through sustainable management practices based on a life cycle perspective. A product service system (PSS) is a new business model that has been adopted by many companies and is currently widely used in developed countries. And PSS can achieve not just economic benefits but also many environmental benefits such as carbon reduction. Currently, almost every household owns various types of appliances such as washing machines. Along with lifestyle changes, self-service laundries have become a prevalent PSS. This study investigates carbon emissions from traditional laundry practices (i.e., washing machines) and PSS mode (i.e., self-service laundries) by life cycle assessment. We compare the life cycle carbon emissions of a community with 360 households, each owning a washing machine, with those of commercial coin-operated laundromat with five self-service commercial washing machines. Two life span scenarios of washing by household's washing machine (i.e., seven years) and commercial coin-operated laundromat (i.e., 21 years) were considered for the comparison.

Results show that for the first scenario (i.e. 7 years) and the second scenario (i.e. 21 years) with 360 households in the use of commercial laundry mode share increase in the proportion, and the total carbon emissions will be reduced. In addition, the threshold ratio of the number of households (each owning a washing machine) to the number of commercial washing machines that can reflect the minimum value of carbon emissions from the PSS mode is 11:1.

Keywords: Product Service System, Life Cycle Assessment, Carbon Footprint, Washing machine sharing, Carbon reduction

一、前言

1.1 研究背景

世界正面臨著永續發展的挑戰，近百年來，因工業快速發展，人類為了追求經濟成長，大量使用化石燃料，造成二氧化碳等溫室氣體加速全球暖化、氣候變遷等，已危害及全人類生命。聯合國政府間氣候變遷專家小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)根據其調查結果堅信，人類活動導致氣候變暖證據的正確性至少達到90%[1]。而這些因溫室氣體引起的種種氣候極端現象，無論對於人類社會、產業、環境各方面均造成深遠的影響[2]。隨著全球暖化議題興起，節能減碳已蔚為一股風潮，各國政府、企業及消費者皆提出各自的政策與因應作為，針對其氣候政策目前已經研擬諸多措施，如聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)、京都議定書(Kyoto Protocol)及國際標準組織(International Organization of Standard, ISO)預計於2011年定案的ISO14067等，各國政府亦相繼訂定相關政策執行節能減碳，我國政府亦提出希望於2016到2020年間，將台灣二氧化碳排放量降低到2008年的情況。

另外，為了使地球能永續發展，世界各國政府針對其氣候政策亦研擬了諸多的措施與做法，而「碳標籤(Carbon Labeling)」作法為各國優先所要探討制定之規範，其目的是用以協助消費者，在綠色採購時有判斷的依據[3]，並使消費者做出對減緩溫室效益衝擊等對環境有益之選擇[4]。

碳議題所包含之層面廣闊，企業與政府於實際執行上需要耗費許多資源與人力，企業可藉此做為轉型時機，重新檢視其產品與組織層面[5]。企業欲開發永續性產品與達成永續企業之目標，可透過包含實體產品與無形服務之「產品服務系統(Product Service System, PSS)」概念，透過服務方式取代產品本身，該概念涵蓋了產品整個生命週期與組織考量，在能滿足消費者需求的前提下，透過減少產品的總生產量、促使產品環境化設計，利用產品與物料或零件的重覆使用及再製造，提高資源的使用效率、減少能、資源的消耗與廢棄物的產生，以達到去物質化(Dematerialization)[6]、去毒化(Detoxification)及去碳化(Decarbonization)的目標，進而降低產品(包含服務)生命週期中各階段對經濟、環境及社會面所產生的衝擊，邁向世界的永續發展。

1.2 研究動機與目的

對消費者來說，洗衣機在家庭中的普及率超過9成[7]、市場飽和度相當高，且與民眾日常生活息息相關。國內約在1980年代左右引進半自動的洗衣機器及廠商，開啟國內自助式自動洗衣風潮，國內廠商不僅引進國外機器，更成功導入國外的服務管理方式，以提高產業效率及產值，進一步影響國內的需求模式。自助式洗衣店的發展歸因於目前消費市場對於送洗的方便性與快速性要求增加，而消費者家中洗衣機的功能也逐漸由自助式洗衣機的便利性所取代，自助式洗衣機的市場變化如圖1所示。

碳社會的發展，提高資源生產力，創造能源、經濟與環境保護三個面向的正面發展，亦是邁入低碳社會的行動之一。在產品與服務並重的今日，許多產業轉型成產品服務系統的做法，為的就是提供消費者有更多永續性的選擇。

故本研究提出以生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)的觀點來評估一般家庭洗衣模式及自助洗衣模式之碳排放，透過針對目標產品之每一生命階段亦即為自搖籃到墳墓的各個階段進行評估，具體目標敘述如下：

- 根據生命週期評估的結果，得知洗衣機生命週期中的碳足跡。
- 依生命週期評估的結果及情境假設，探討產品服務系統案例之減碳效益。
- 利用生命週期評估的結果進行模擬，找出 PSS 達到減碳效益時，家用洗衣機及共享商用洗衣機的比例關係。
- 根據 PSS 案例之減碳效益，提供企業做為推行 PSS 的依據，並可藉此提供民眾選擇適合自己且對環境衝擊較低之洗衣模式。

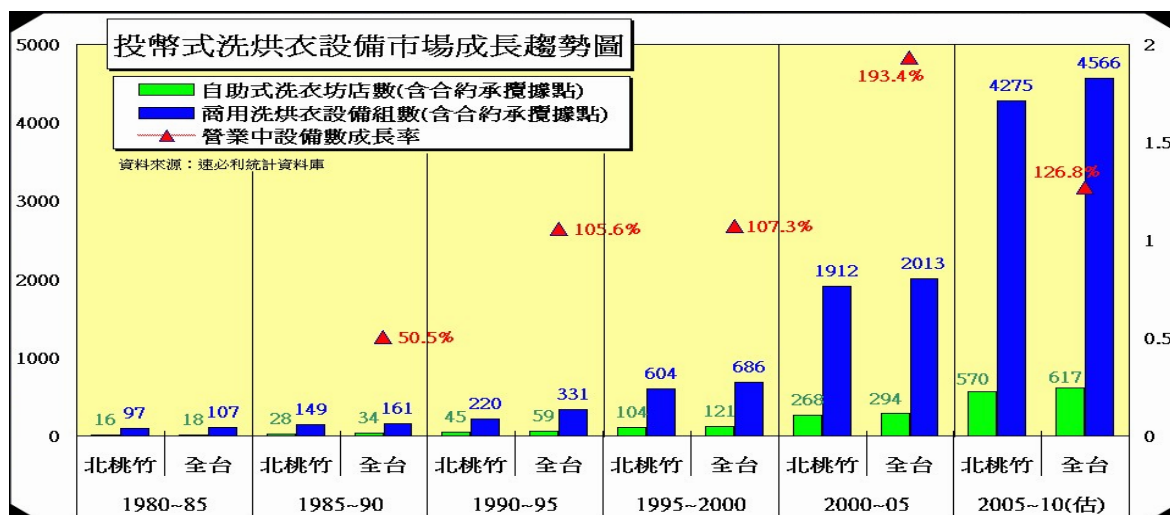


圖1 自助式洗烘衣設備市場成長趨勢圖[4]

二、文獻回顧

2.1 產品服務系統

由於工商業快速發展，造成已開發國家及開發中國家，以追求經濟的成長和發展為目標，但經濟的快速成長卻造成生態環境的破壞，負面的影響已超過自然本身的承載力。因此為了人類的永續未來，必需減少資源消耗，因而發展出去物質化的概念。Mont[8]指出，去物質化的概念中，是透過減少產品於生產及消耗中之物質流，而得到較低環境衝擊之成效。

隨著去物質化概念的發展，衍生出「整合性產品政策(Integrated Product Policy, IPP)」與「延長生產者責任(Extended Producer Responsibility, EPR)」，前者 IPP 於 2001 年歐盟提出「整合性產品政策的綠皮書(Green Paper on Integrated Product Policy)」，此政策目的在於減少產品生命週期各個環節可能產生的環境衝擊，並建立生產者與產品之相關利害關係人溝通管道，透過提升資源使用效率與減少能源消費方式，持續改善產品生命週期之環境績效[9-10]；EPR 概念則由瑞典經濟學者提出，其主要意涵為生產者對產品之責任應該要延長至產品生命週期各個階段[11]，以改善整體產品生命週期的環境衝擊，兩者皆是以去物質化為主要目的。

而 PSS 是一套結合去物質化、IPP 及 EPR 三者概念之創新經濟模式，Lamvik[12]認為 PSS 為永續發展的主要做法之一。Tukker[13]結合多位專家學者的研究，將 PSS 整理為三大導向，分別為產品導向(Product-oriented)、使用導向(Use-oriented)及結果導向(Result-oriented)，如圖 2 所示，三大導向中包含 8 種類別，越靠近圖的左端代表著主要是以產品(硬體)創造出價值，大多為有形的(tangible)產品，主要是銷售產品本身的功能性及附加的服務；越靠近圖的右端則是藉由服務(軟體)創造出價值，主要提供無形的(intangible)服務。

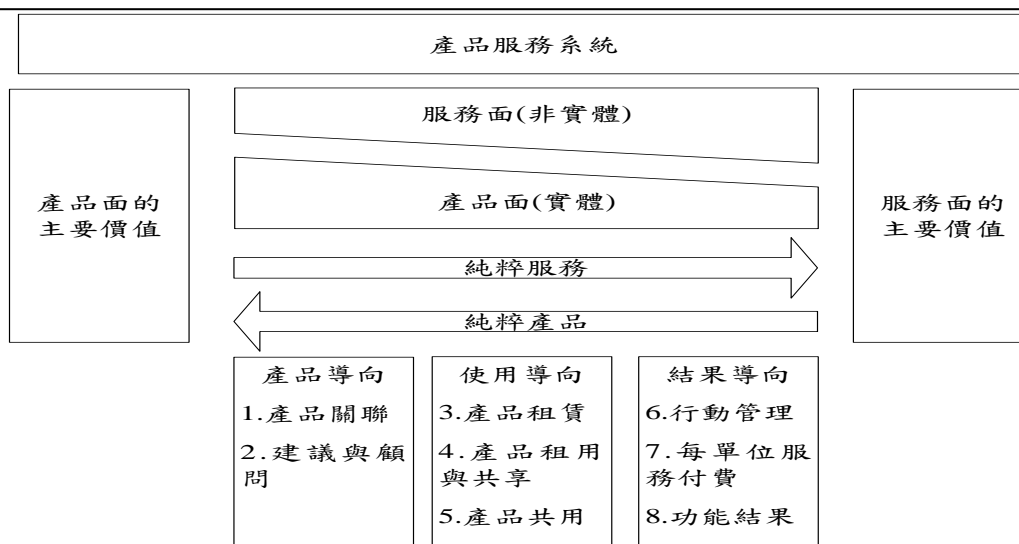


圖 2 產品服務系統之分類[13]

PSS是在產品所有權未移轉之情況下，提供他人使用產品，這種以「服務」取代產品販賣之概念行之已久，如自助洗衣，汽車租賃以及7-11的傳真機及影印機服務。而使用洗衣機來清洗衣服為目前世界上最普遍的家務之一，而洗衣機的功能也消耗許多用水、用電、洗滌劑以及處理時間。由於不同的洗衣習慣與方法及不同類型的洗衣機，也會使得資源的消耗增加。一般傳統家用洗衣機之交易模式為買斷，其架構示意圖如圖3，經由製造商製造後，組裝完成送至家電零售商進行販售，消費者到商場將產品買斷使用，消費者經由購買產品及獲取服務或者由維修者提供服務，直到產品不堪使用而棄置，由於洗衣機擁有權是屬於消費者，棄置則是由消費者自行處理。

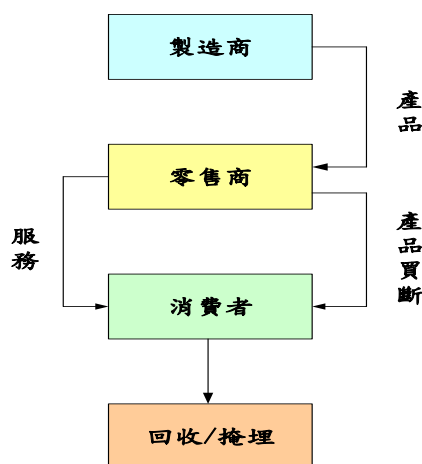


圖 3 產品服務系統之分類[13]

自助洗衣模式屬於 PSS 中的產品共享，藉由建立產品的共享的機制，則可提高產品的利用率，並能有效提升能源與原料的使用效率及降低產品生產的總量 [14]。Behrendt et al.[15]也認為「共同使用」洗衣與烘乾的方式，對於環境衝擊的影響較低。自助洗衣模式則為製造商提供洗衣機以及洗衣機管理的服務給服務供應商(自助洗衣店)，其再提供洗衣服務給消費者，而製造商最終會將洗衣機收回進

行處置，其架構示意圖如圖 4。

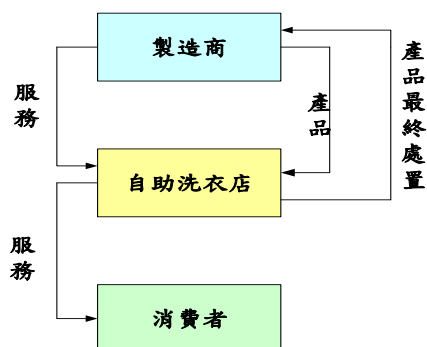


圖 4 創新 PSS 之自助洗衣模式[16]

陳玉萍[4]曾指出對家電業而言，願意改變傳統所有權式消費習慣的消費者之市場占有率過低，且市場接受度低，缺乏市場支持，企業很難推行下去。而學者 White[17]亦認為，要獲得市場的認同，是企業再實施PSS所面臨的阻礙之一。但對目前的環境來說，自助式洗衣機的便利性已逐漸取代消費者家中的洗衣機，而通常用戶多為單身上班族、住宿或租屋在外的學生等，他們會考慮預算及空間問題而使用自助式洗衣機，是自助式洗衣店的重要市場。自助洗衣概念也是讓PSS更貼近消費者的做法之一。

2.2 生命週期評估及應用於產品服務系統之環境效益

生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)為一種評估從搖籃到墳墓的環境衝擊方法，包括對產品完整生命週期的分析，從原料取得、製造、使用、運輸及棄置等階段來評估其產生的環境衝擊[18]。ISO於1992年制定ISO14000系列的環境管理標準，並於1997年訂定ISO14040，規範LCA的基本原則與框架。2006年，ISO修訂ISO14040與ISO14044以取代舊有規範。

根據ISO 14040系列的規範，生命週期評估分為下列四項，其原則與架構如圖5所示。生命週期評估屬於系統分析方法之一，其為對產品系統自原物料的取得到最終處置的生命週期中，投入和產出及前在環境衝擊之彙整與評估[19]，目前廣為討論的產品碳足跡，其概念就是計算產品的生命週期過程中，產品的單位碳排放量，於是在實際操作時需要大量的盤查數據，且運算過程十分繁雜，需配合計算軟體之使用以完成繁瑣的運算，以提供各種重要環境問題的客觀數據。而SimaPro軟體起源於1990年初由荷蘭的Pre公司所研發，是近年來在國際上相當普遍使用的生命週期評估模式軟體之一，軟體最大特色有：

- 整合不同單位的資料庫，將不同來源的資料分級儲存及可將分析結果以不同方式呈現，因此兼顧實用性與保密性；
- 該軟體資料來源清楚，各資料庫之間數據可以互相交換而不干擾；
- 選單式的指令讓使用者容易學習，可使用其他生命週期軟體所發展之資料，亦可將產品生命週期組合不同製程或產品的生命週期；
- 對於環境衝擊評估可利用不同的特徵化、標準化及權重的方法。

SimaPro最大優點在於使用者不需花過多時間瞭解生命週期評估的過程，便能以生命週期的觀念來設計產品，達到環境保護的目的[20]。

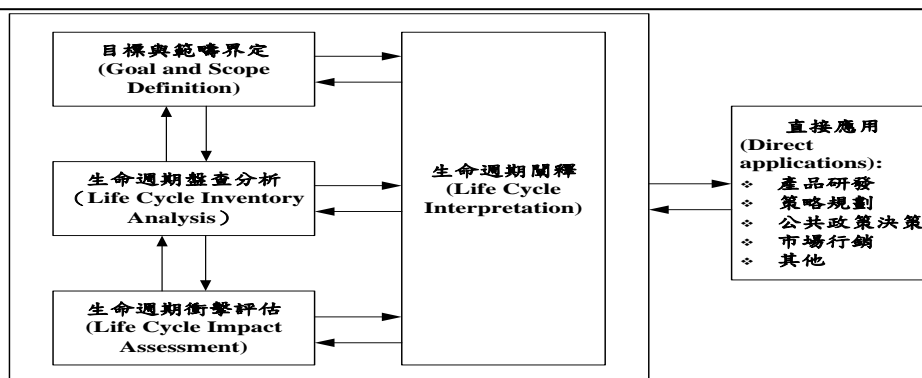


圖 5 ISO14040 原則與架構[19]

UNEP[31]將PSS中重要特性與產品生命週期結合，以表示出產品生命週期對PSS之影響，如圖6所示。Maeda[21]認為，將LCA的觀念導入PSS中，藉由生命週期對PSS的效益進行評估，可發展多樣化的服務傳遞方式，進而提升產業PSS之效益。而LCA目前大多應用於產品，主要探討產品在生命週期各階段對環境所產生之衝擊，並予以量化。Garcilaso et al.[22]利用簡化的LCA探討6台相同洗衣機用於6個家庭以及6個家庭共享一台洗衣機的方式對環境之衝擊與經濟效益，結果顯示傳統的洗衣模式與執行PSS概念之洗衣模式總環境的衝擊值分別為290 Pt與120 Pt(以Eco-Indicator 99衝擊值表示)。因此LCA對於PSS是一個具有彈性且功能強大的評估工具[23]。

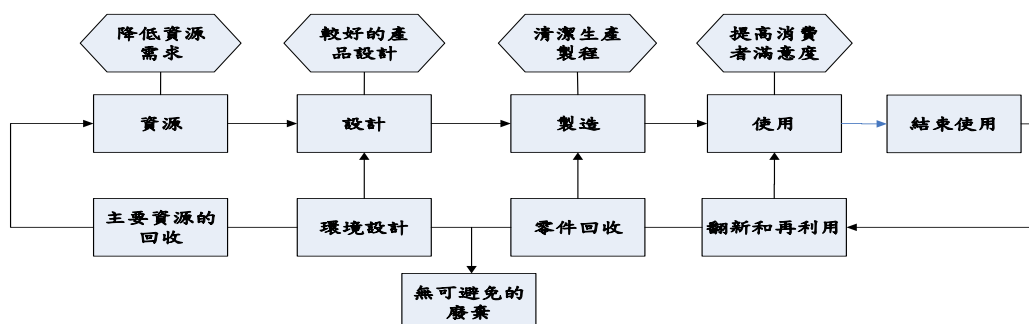


圖6 產品生命週期對產品服務系統之影響[18]

另外，PSS也具有減碳之效益。Tukker[24]指出，產品服務系統之居家消費有減少二氧化碳的潛在性，其提及居家消費的直接能源使用(化石燃料、電力取暖和照明等)與間接能源使用(家庭使用產品和服務帶來之生命週期)之衝擊。Sivarman et al.[25]利用生命週期評估比較分析傳統與電子商業模式的DVD租借，對能源、環境及經濟面的影響，其中傳統和電子商業的消費模式於每次租借3部DVD時，分別排放5.8與3.5公斤的二氧化碳。Weber et al.[26]利用生命週期評估比較傳統零售音樂CD及下載音樂或音樂服務的方法，對能源及氣候變遷所造成的影響，而研究顯示，傳統零售與數位下載每張音樂專輯的二氧化碳排放量分別為3200公克及400公克。相關文獻整理如表1。

由上述可得知，PSS的應用層面越來越廣泛，且具有改善環境的潛在性，亦存有減少二氧化碳排放的潛力，此種改進需要整個系統的創新(例如運輸系統)，將有助於低碳社會的發展，提高資源生產力，創造能源、經濟與環境保護三個面向的

正面發展，亦是邁入低碳社會的行動之一，也能讓企業的發展更為永續。

表 1 產品服務系統減少二氧化碳排放之潛力

案例	影響	與傳統商業模式比較的CO ₂ 潛在減少量	文獻來源
線上音樂下載服務	減少運輸距離及塑膠外殼使用	2800g/album	Weber et al.[26]
線上租借 DVD 服務	改變運送方式、減少運輸距離及塑膠外殼使用	2320g/次	Sivaraman et al.[25]
太陽能熱能服務	減少燃料的使用	100 tons /yr	Manzini and Vezzoli[27]
食品宅配服務	減少運輸距離、減少庫存	1.67 tons/cycle	Siikavirta et al.[28]

2.3 碳足跡

「碳足跡」一詞源自於Wackernagel[29]所提出之「生態足跡(Ecological Footprinting)」，其概念是將人類所消耗的各類重要物質，其生產過程所衍生各類型的環境衝擊，轉換成以面積表示，藉以與環境可承載量(既涵容能力)進行絕對性的比較。而產品碳足跡(Product Carbon Footprint)計算係以「完整生命週期」進行分析，包含上游的原料開採、產品製造、使用、最終廢棄處理以及回收階段，皆需納入「碳足跡」的計算範圍，如圖7所示。而要達成上述各個階段皆納入碳足跡計算之目的，則需應用國際上發展已久的「生命週期評估」方法，才能夠提升碳足跡計算的可信度與便捷性。

由於產品環境資訊揭露的趨勢已逐漸形成，國際標準組織(ISO)所公佈的第三類產品環保標章，又稱產品環境宣告(Environmental Product Declaration, EPD)，強調以LCA技術為基礎，並且需要經過第三者驗證，以提供完整的資訊揭露，因此具有強大的公信力，可作為廠商執行產品環境資訊揭露及碳足跡報告發展的重要參考。然而，建立EPD需依照該產品類別規則(Product Category Rule, PCR)的要求來執行數據的蒐集與宣告，故建立PCR之工作將顯得相當重要。

PCR為一組特定規則、要求與指引，為一個或多個產品類別所發展碳足跡宣告而制定之，在進行產品碳足跡計算時，需達到已審核通過並公告之PCR要求，若欲進行產品碳足跡計算之產品，且尚無相關之PCR可供遵守時，則該業者可依相關準則規範或是指引自行訂定。

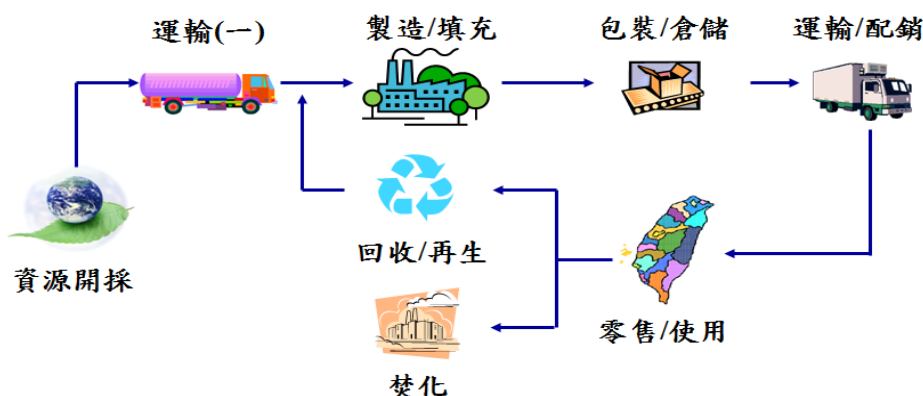


圖 7 產品碳足跡計算所包含完整的生命週期過程[4]

三、研究方法與內容

本研究針對國內某家電業所生產之家用洗衣機及國外進口之商用洗衣機為主軸，將洗衣機區分為數個部分，包括：機門組件、前板蓋組合、頂板組件、機體、洗衣槽組件、滾筒組件、電器零件與吸收衝擊材料等元件，且針對各元件蒐集相關的盤查資料。本研究將參考於環境與發展基金會網站中搜尋到台灣區電機電子工業同業公會與東元股份有限公司所擬定之供使用於準備「家庭用洗衣(Household washing machines)」產品環境宣告(EPD)之PCR，將其內容中較不符合實際狀況之情形進行修改，以利盤查分析結果能接近實際狀況。

最後配合SimaPro軟體，透過LCA進行碳足跡評估，進而瞭解目標產品之碳足跡，並探討洗衣機產品服務系統，於家庭及自助洗衣模式的比較，藉由生命週期概念瞭解兩種行為模式下的減碳效益評估。而本研究所採用的系統邊界為搖籃到墳墓的概念，即為B2C模式。

產品碳足跡衝擊評估的計算，本研究之計算方式為參考ISO14067-1的計算方式，為累積加總產品生命週期各階段的活動數據與碳排放係數之相乘積，計算公式為：

$$\text{活動碳足跡} = \sum(\text{活動數據}_i \times \text{排放係數}_f) \quad (1)$$

其中碳排放係數即為100年週期的溫室氣體特性因數，一般稱為全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)，係指相對於二氧化碳，個別溫室氣體在所特定時間(20年、100年或500年)內累積的輻射作用力。全球暖化潛勢表示個別溫室氣體在不同時間的暖化能力。本研究引用由IPCC所公告之2007 GWP 100a做為參考基準。

四、結果

本研究盤查數據蒐集包括產品耗用能資源、物質及產生污染等數據完成後，依序呈現以生命週期評估軟體計算過後，了解一社區360戶中傳統使用家用洗衣機與商用自助共享洗衣模式於整個生命週期的碳足跡結果。

4.1 研究目標及系統範疇

本研究選用執行傳統洗衣模式的標的產品為國內製造、符合經濟部能源局「節能標章」，屬頂開式漩渦型的10公斤洗衣容量的家用洗衣機，是一般家庭中常見的洗衣機類型；而執行PSS的標的產品為市面上常見於自助洗衣店之17公斤洗衣容量的商用洗衣機，為國外進口來台，如表2所示。

表 2 家用及商用洗衣機之基本資料

		
類型	家用洗衣機-漩渦型	商用洗衣機-滾筒型
洗衣容量(公斤)	10	17
使用壽命(年)	7	21
重量(公斤)	44.7	253

在洗衣機產品的生命週期系統邊界上，則考量了洗衣機生命週期的各個階段，產品經過各元件的製造與組裝、運輸、使用及棄置回收等階段，圖8及圖9分別代表傳統家用洗衣機買斷模式及社區住戶共享商用洗衣機的生命週期範疇。

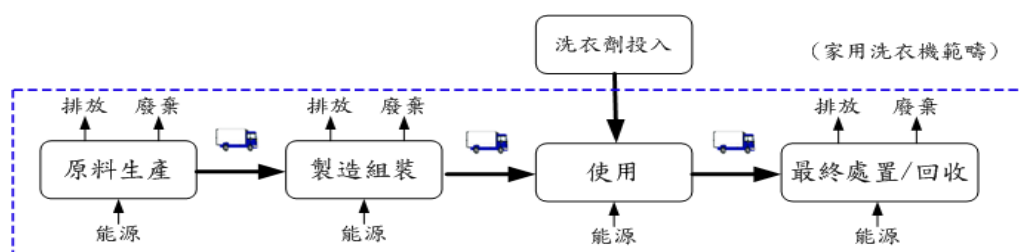


圖 8 家用洗衣機之系統範疇

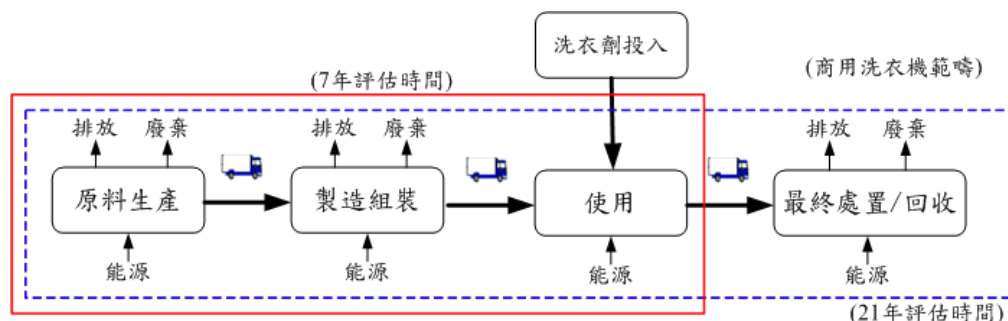


圖 9 商用洗衣機之系統範疇

4.2 功能單位與研究假設及限制

本研究採用之功能單位為家用洗衣機壽命之 7 年及商用洗衣機壽命之 21 年為評估時間。本研究根據資料來源顯示，在其社區規劃商用洗衣設備時，社區家戶數與商用洗衣機的數量的比皆約為 360：5，因此本研究假設一社區內有 360 戶住家，社區每戶住家各自擁有一台家用洗衣機，共計 360 台；另為執行產品服務系統之商用自助洗衣模式，提供 5 台商用洗衣機給住家共同使用。

研究個案限制方面，產品生命週期可分為原料取得、產品製造組裝、產品運輸、產品服務/使用、產品處理共五個階段。在使用階段由於本研究所選取的兩種洗衣機皆未具有烘衣及加熱水功能，故不予以考慮。此外，由於每個家庭使用洗衣劑(粉)的習慣、品牌也不同，因此亦不考慮洗衣劑的投入。在洗衣機款式方

面，有些商用洗衣機是使用天然氣而使其運作，且台灣自助洗衣店中廠商提供的機器種類繁多及過於複雜，住家使用的家用洗衣機亦是如此，故本研究假設分別使用同型號的家用和商用洗衣機做為研究情境的探討。而維修部分為了簡化，則假設在情境下家用與商用洗衣機皆為保養良好之情況。社區之共享商用洗衣機模式，假設其洗衣設備放置地點於社區中，故家戶若有需清潔之衣物，則無需運輸，只需人力步行投入。

4.3 傳統家用買斷與商用共享之7年碳足跡評估模式比較

探討使用7年的洗衣機，將傳統家用買斷模式與商用共享洗衣模式(尚未達到商用洗衣機的生命終點，故不考慮其廢棄階段的處置情形)相較之下，最主要的差異點在原料階段、製造階段及使用階段，如圖10所示。商用共享洗衣模式在原料階段的碳排放量小於傳統家用買斷模式，其原因為共享洗衣機能減少家用洗衣機的製造，達到去物質化，降低原物料的使用。製造階段則因為於傳統買斷模式下，須製造大量台數的家用洗衣機，因此碳排放量明顯高於商用共享洗衣模式。

傳統家用買斷模式與商用共享洗衣模式在生命週期各階段中的主要二氧化碳排放皆以使用階段為主，分別佔其生命週期中的37.4%及74.8%，主要原因為洗衣機於使用階段需要消耗較大量的電力能源，又以商用洗衣機更為明顯。

彙整前面的評估結果，得到於7年評估期間，得到傳統家用買斷模式與商用共享洗衣模式碳排放總量為155Kg-CO_{2e}與64.31Kg-CO_{2e}，傳統家用買斷模式之於商用共享洗衣模式有較高之二氧化碳排放量。

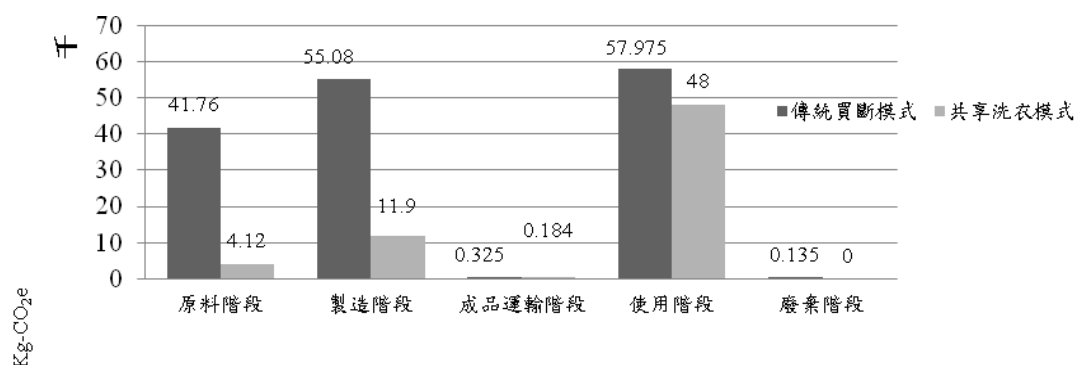


圖 10 傳統家用買斷模式與商用共享洗衣模式碳排放量比較(7年)

4.4 傳統家用買斷與商用共享之21年碳足跡評估模式比較

本節將針對5台商用洗衣機於其使用壽命內之碳排放量(納入廢棄階段)與家用洗衣機進行計算及比較，商用洗衣機之壽命為21年，為家用洗衣機使用年限的3倍，因此假設在21年中家用洗衣機將會經過2次的替換，故360戶住家總共使用了1,080台家用洗衣機。由以上計算及進行兩種模式之比較，可得結果如圖11所示，於21年的使用期間，傳統家用洗衣機買斷之洗衣模式碳足跡為465,830公斤當量，而商用共享洗衣模式之碳足跡則為160,532公斤當量。而商用共享洗衣模式在使用階段所排放的二氧化碳佔其全生命週期的89.9%，是為非常高的佔比，故考量商用洗衣機減少使用階段的碳排放，其商用洗衣機可採取高效率的馬達或選用對環境衝擊較低的材料。

商用共享洗衣模式於原料階段、製造階段、成品運輸、使用及廢棄階段，與傳統家用洗衣機買斷模式皆有較小的碳排放量，兩種模式之洗衣機使用階段的耗電量仍是影響碳排放量最主要的關鍵因素，但由於商用洗衣機使用年限可達 21 年，可降低洗衣機的汰換率，避免物質的開採和製造時的能資源消耗，以減少二氧化碳的排放。

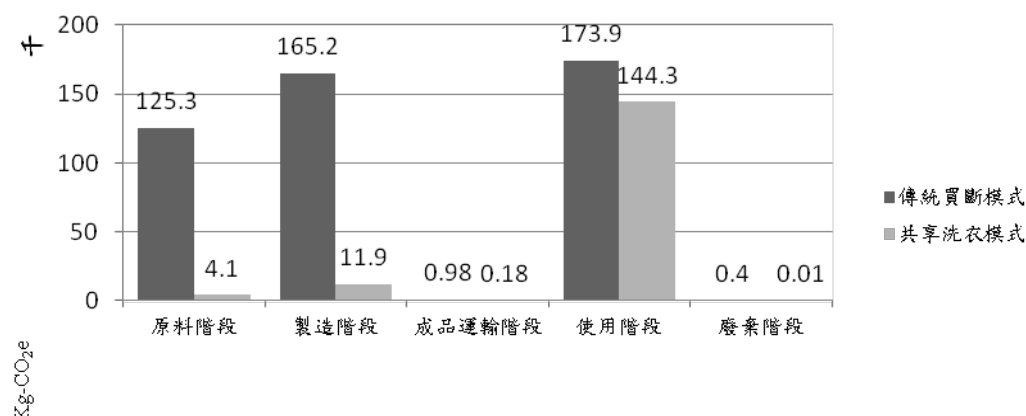


圖 12 統家用買斷模式與商用共享洗衣模式碳排放量比較(21 年)

4.5 家用洗衣機與商用洗衣機不同使用比例之比較

傳統家用買斷洗衣模式是每個家庭皆擁有一台洗衣機；商用共享洗衣模式則是由住戶或消費者共享數台商用洗衣機，但對於其兩種模式間何種的比例下可達 PSS 的減碳效益，在過去文獻上並未有相關的敘述，因此將於此節利用本研究所選取之目標產品進行 7 年生命週期的二氧化碳排放量模擬，找出 PSS 達到減碳效益時，家用洗衣機及共享商用洗衣機的比例關係。

本研究利用生命週期概念模擬家用洗衣機及商用洗衣機的最簡比例由 1：1 至 40：1，由比例關係可看出此兩種模式的二氧化碳排放量的趨勢皆因家戶數的增加而上升。而比較此兩種模式的比例如圖 13，由圖中可明顯看出，兩者交於一點，其意義為兩種模式於此比例下，其二氧化碳排放量相當，經過計算後此點約為 11 戶(10.89 戶)，圖中此交點的左邊顯示傳統家用買斷洗衣模式的二氧化碳低於商用共享洗衣模式，於此交點後商用共享洗衣模式的二氧化碳排放量則逐漸低於傳統家用買斷模式，故本研究認為於推行 PSS 之商用共享洗衣模式時，為達到其減碳效益，家戶數(家用洗衣機)與共享商用洗衣機的比例應為 11：1 以上。

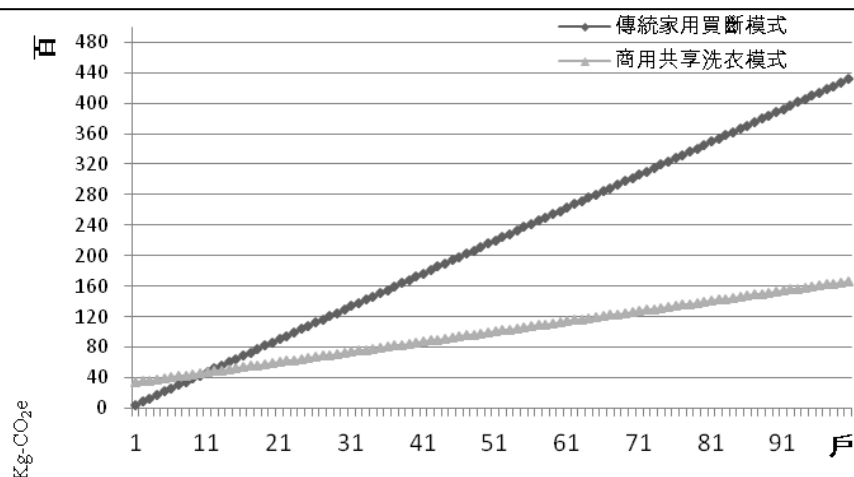


圖 13 使用不同比例洗衣機之 7 年總碳排放量模擬圖

五、結論與建議

於 7 年碳足跡的評估時間，傳統家用買斷模式分別於原料、製造、成品運輸、使用及廢棄五階段中，總碳足跡為 155,276 公斤當量，主要二氧化碳排放量是由使用階段所貢獻，佔整體生命週期的 37.4%；商用共享洗衣模式分別於原料、製造、成品運輸及使用四階段中，總碳足跡為 64,310 公斤當量，在使用階段的碳排放量比例為最高，佔整體生命週期的 74.8%。於 21 年碳足跡的評估時間，傳統家用洗衣機買斷之洗衣模式碳足跡為 465,830 公斤當量，商用共享洗衣模式之碳足跡則為 160,532 公斤當量，兩種模式皆以使用階段的碳排放量比例為最高，分別佔整體生命週期的 47.54% 與 89.9%。

另外，根據模擬結果，推行 PSS 之商用共享洗衣模式時，為達到減碳效益，其使用家用洗衣機的家戶數與共享的商用洗衣機的比例應為 11:1 以上，若使用家用洗衣機的家戶數與共享的商用洗衣機的比例小於 11:1 則較不適用於推行 PSS 之商用共享洗衣模式。

為了降低共享商用洗衣機使用階段的碳排放量，建議商用洗衣機製造商使用高效率的馬達，降低耗電量，改善二氧化碳排放量的衝擊現況。目前國內住宅大樓林立，正在新建的社區住宅不在少數，建議參照國外的做法，在社區內提供洗衣間，讓居民可共享洗衣機並藉此提倡環保意識，以減少原物料的消耗，降低二氧化碳的排放量與環境衝擊。

參考文獻

1. IPCC Mitigation of Climate Change Report (2007).
2. Proter, M. E., and Reinhardt, F. L. "A Strategic Approach to Climate, Harvard Business Review, Oct 01," Retrieved from <http://www.nyu.edu/intercep/lapietra/HBR-Climate.pdf> (2007).
3. Carbon Trust. "Carbon Trust, Product carbon 1.footprinting: the new business opportunity," (2008).
4. 環保署，綠色生活資訊網，取自 <http://greenliving.epa.gov.tw/GreenLife/>(2009)。
5. 王琴，建置產品服務化系統(PSS)之永續性績效評估工具，碩士論文，台北科技大學環境工程與管理研究所，台北市(2009)。
6. Bernardini, O., and Galli, R., "Dematerialization: Long-term trends in the intensity of use of materials and energy," Futures, **25**, pp. 431-448 (1993).

7. 行政院主計處，家庭主要設備普及率，取自 <http://www.dgbas.gov.tw/>，2011年。
8. Mont, O., "Clarifying the concept of product-service system," *Journal of Cleaner Production*, **10**, pp. 237-245 (2002).
9. CEC Green Paper on Integrated Product Policy "Brussels : Commission of the European Communities," (2001).
10. CEC Integrated Product Policy : Building on Life-Cycle Thinking. "Brussels : Communication from the Commission to the Council and the European Parliament," (2003).
11. Thorpe, B. and Kruszewska, L., "Strategies to Promote Clean Production – Extended Producer Responsibility," (1999).
12. Lamvik, T., "Key Factors for Product Service Systems," Nord Design Conference, Trondheim, Norway (2002)
13. Tukker, A., "Eight types of product service system : eight ways to sustainability? " Experiences from SusProNet, *Business Strategy and the Environment*, **13**, pp. 246-260 (2004).
14. James, P. and Hopkinson, P., "Service Innovation for Sustainability: A New Option for UK Environmental Policy?" Green alliance. Retrieved from <http://www.greenalliance.org.uk> (2002).
15. Behrendt S., Jasch C., Kortman J., Hrauda G., Pfitzner R., and Velte D., "Eco-Service Development : Reinvesting Supply and Demand in the European Union. Greenleaf Publication, Lyd," (2003).
16. Haapala, K. R., Brown, K. L., and Sutherland, J. W., "A Life Cycle Environmental and Economic Comparison of Product-Service Systems. *Transactions of NAMRI/SME*," **36**, pp. 333-340 (2008).
17. White, A. L., Stoughton, M. and Feng, L., "Servicizing: The Quiet Transition to Extended Product Responsibility," Boston: Tellus Institute (1999).
18. UNEP, "Life Cycle Assessment : What It Is and How to Do It," United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya (1996).
19. ISO "ISO 14040 : Environmental management - Life cycle assessment Principles and Framework. International Organization for Standardization ," (2006).
20. 余柏緯，以生命週期評估法進行 STN-LCD 製造業環境操作績效指標之建立研究，碩士論文，台中師範學院環境教育研究所，台中 (2004)。
21. Maeda, T. "Life Cycle Assessment of Internet Connection Services," *NTT Technical Review*, **3**, pp. 32-34 (2005).
22. Garcilaso, L., Jordan, K., Kumar, V., Hutchins, M., and Sutherland, J., "A Life-cycle Comparison of Clothes Washing Alternatives," *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*, **3**, pp. 423-428 (2007).
23. 劉猷志，台灣地區筆記型電腦產品服務系統的環境與經濟績效之研究，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，台中 (2010)。
24. Tukker, A., "The Potential of CO₂-reduction from Household Consumption by Product-service Systems – A Reflection from SusProNet," *The Journal of Sustainable Product Design*, **3**, pp. 109-118 (2003).
25. Sivaraman, D., Pacca, S., Mueller, K., and Lin, J., "Comparative Energy, Environmental, and Economic Analysis of Traditional and E-commerce DVD Rental Networks," *Journal of Industrial Ecology*, **11**, pp. 77-91 (2007).
26. Weber, C. L., Koomey, J. G., and Matthews, H. S., "The Energy and Climate

- Change Impacts of Different Music Delivery Methods," Final report to Microsoft Corporation and Intel Corporation(2009).
27. Manzini, E., and Vezzoli, C., "A strategic design approach to develop sustainable product service systems : examples taken from the environmentally friendly innovation Italian prize," *Journal of Cleaner Production*, pp. **11**, 851-857 (2003).
 28. Siikavirta, H., Punakivi, M., Kärkkäinen, M., and Linnanen, L., "Effects of E-Commerce on Greenhouse Gas Emissions – A Case Study of Grocery Home Delivery in Finland," *Journal of Industrial Ecology*, **6**, pp. 83-97 (2003).
 29. Wackernagel, M., and Rees, W.E., "Our Ecological Footprint - Reducing Human Impact on the Earth," New Society Publishers Gabriola Island, B.C., Canada (1996).