

應用臺灣TIMES模型評估我國能源效率管理制度 節能成效

何叔憶^{1*} 郭瑾璋² 周桂蘭³ 劉子衙⁴

摘 要

氣候變遷為目前全球面臨的挑戰，因而如何落實節約能源為各國擬定政策時所考量的重要議題，國際間針對各項耗能器具皆以推廣能源標章、能源效率分級標示和容許耗用能源基準等三大能效管理措施，以提升產品能源使用效率而達到能源消費量下降。根據經濟部能源局能源統計手冊，2012年我國能源消費量為111,536千公秉油當量，其中住宅部門能源消費量約佔10.88%，服務業部門能源消費量約佔11.04%，兩者合計佔21.92%，1991年至2012年年均成長率分別為3.06%及3.94%。鑑於住宅及服務業部門能源消費量隨經濟發展與生活水準增高而變動，因此在面臨國內外節能減碳的潮流與趨勢下，如何訂定並評估我國住宅與服務業部門的節能措施與成效為重要課題之一。因此，本研究參考國際能效管理策略及相關節能成效分析文獻，研析我國住服部門耗能設備技術發展與市場轉化趨勢，進而運用臺灣TIMES能源工程模型評估我國住宅與服務業耗能設備推行最低容許耗用能源標準、節能標章及能源效率分級標示等能效管理制度之節能成效。

關鍵詞：住宅與服務業部門、能源效率管理制度、臺灣TIMES模型、市場滲透率

1. 國際能源效率管理策略

世界各國目前積極推動能源效率分級標示、自願性能源標章及制定強制性最低能源效率標準(Minimum Energy Performance Standards, MEPS)等節能措施，並評估其節能減碳成效，本研究蒐整美國、歐盟及中國大陸推動能源效率管理措施的現況與成效，作為本研究評估國內能效管理措施對節能減碳貢獻度的參考。

1.1 美國

美國器具能源效率標示機制源自1975年制定之「能源政策與節能法案(The Energy Policy

and Conservation Act, EPCA)」，並針對電冰箱、洗衣機、空調機等耗能器具強制施行能源效率標示制度。而美國能源之星是自願性節能標章制度的一種，是美國環保署於1992年發起推動，節能產品涵蓋住宅、服務業及工業部門。由2010年能源之星執行成效年度報告中可知美國能源之星推動對節能減碳成效(2000-2010年)，2010年當年度節能2130億度電，而2000年節能590億度電，其十年間節能效益成長3.6倍。而2000-2010年累計約有35億個能源之星產品採購，其中有80%以上的公共部門使用能源之星，利用政府單位採購省能產品策略，促進能源之星產品之普及；分析報告中亦指出

¹工研院綠能與環境研究所 副研究員

²工研院綠能與環境研究所 資深管理師

³工研院綠能與環境研究所 研究員

⁴工研院綠能與環境研究所 正工程師兼副組長

*通訊作者, 電話: 03-5916400, E-mail: shuyiho@itri.org.tw

收到日期: 2013年09月23日

修改日期: 2013年10月15日

接受日期: 2013年10月29日

75%以上的消費者認為能源之星標示為產品選購的重要考量因素。

美國能源部(The Department of Energy, DOE)為負責開發研擬能源效率標準之政府機關，而DOE提出新研擬之能源效率標準制定通知(Notice of proposed rule, NOPR)，則須經美國行政管理和預算局(White House Office of Management and Budget, OMB)核准，新期能效標準始可實施。推動器具及設備能源效率管理標準強制制度可提供整體能源效率最低水平之改善。美國歐巴馬政府團隊過去兩年來錯失八項器具之既有或新增能源效率標準的截止期限，例如微波爐、商業冰箱及工業用馬達等，將導致額外的昂貴代價。而八項能效標準之延誤成本(累計至2013年2月份)將使民眾與企業損失節能效益37億美元及約39百萬噸之二氧化碳排放，因能源效率標準調整逾期而造成之額外成本仍持續累計中。

美國能源效率經濟委員會(American Council for an Energy Efficient Economy, ACEEE)與家電器具能效標準意識計畫(Appliance Standard Awareness Project, ASAP)分析其能效標準每逾期一個月，將導致消費者和企業損失節能效益3億美元並額外產生4.4百萬噸二氧化碳排放。而根據既有及新增之能效標準，若一典型家庭從1995至2040年間，每15年更新淘汰家庭主要能耗器具，僅購置符合最低能源耗用基準規範之產品，總計可省下超過18萬度電與20萬加侖水。

能源效率管理基準需考量技術進步空間、設備市場佔有率與廠商成本負擔等因素而適時進行更新擴增，以淘汰市場上低能效產品，提高消費者的總體經濟利益；能效管理基準若逾期更新，在產品壽命年限期間，將導致民眾與企業單位未得到基準更新後可有的節能效益，亦增加許多溫室氣體排放負擔。

1.2 歐盟

針對住宅與服務業部門，歐盟實施能源

標章制度、最低能源效率標準、建築物能源績效標準等措施與各項配合之經濟工具或財務誘因，以助達成節能減碳目標。而資訊及通訊技術(Information and communication technologies, ICT)設備使用的耗電占歐盟電力消費的8%，隨著ICT市場的擴大，相關設備的能源消費成長也隨之增加，因此，歐盟與美國於2000年12月簽署了一項「辦公設備能源效率標章計畫合作協定」(Agreement on the coordination of energy efficiency labeling programs for office equipment)，這項協定於2006年繼續延續第二期(五年一期)，並為歐盟能源之星計畫建立部分基礎。歐盟與美國能源之星合作協議的內容包括產品規格及註冊，自2000年簽署至今，產品規格已修訂三次，每次朝向更嚴苛的能源效率標準方向修訂。2008年歐盟為鼓勵能源之星的推動，歐盟政府採購設備的能源效率不能低於能源之星的標準，這項措施成為能源之星推動重要的助力。

歐盟能源之星執行成效評估報告指出，歐盟推動ICT產品能源之星的市場滲透成效，2008年上半年到2009年上半年，能源之星產品的市占率由45%上升至66%，年成長率約20%以上。而2009年下半年的市占率下降30%，其下降原因為受到規範效率基準修訂更為嚴格以及新式資通訊產品納入標章規範範圍之影響，但2010年下半年後ICT產品能源之星產品的市占率逐漸回升。報告中亦指出最近三年歐盟銷售辦公設備之ICT項目，若無配合能源之星相關推動計畫其總耗電約670億度電，但若加入能源之星推動計畫，估計可節能110億度電，節能率達16%，且同時節省電費18億歐元，及減碳3.7百萬公噸二氧化碳。若再考慮未來標章效率提升修訂的成效，則至2020年估計的節能率將高達30%以上。

1.3 中國大陸

近幾年由於經濟快速成長，中國大陸已成為世界最大的家用電器製造及消費國，尤

其都市地區的家電消費量每年以13.9%速度成長(1980-2007年)，為因應節能減碳的國際趨勢，中國大陸於1989年建立能源設備效率標準(Equipment Energy Efficiency Standards)，1997年通過節約能源法，將MEPS產品效率管制範圍擴大至30種，且節能標章產品也擴大至40種，產品範圍涵蓋住宅、服務業及工業。2005年制定強制性的能源效率分級制度，提供更詳細的節能資訊給消費者。

本研究從N. Zhou *et al.* (2011)可得知文獻中以LEAP模型(Long Range Energy Alternatives Planning)評估中國大陸住宅與服務業部門實施MEPS及節能標章制度之節能減碳潛力。此篇文獻情境模擬假設主要內容為：一是基準情境(Baseline)，將未來技術效率水準凍結在基準年；二是CIS情境(The Continued Improvement Scenario)屬於連續性效率改善模式，選定37種產品，假設2009年後，考量各產品技術能力限制下，MEPS能效規範基準每4-5年修訂一次規範標準，每次修訂能效提升幅度為5-10%；而BPS情境(The Best Practice Scenario)屬一次到位的效率改善模式，假設選定之11種產品於2014年度落實國際最佳可行效率技術(Best-practice efficiency)。結果顯示CIS情境累計的節能量為1,413百萬公噸煤當量，BPS情境為2,214百萬公噸煤當量，BPS情境的節能量較CIS情境高出801百萬公噸煤當量；且BPS情境的減碳量較CIS情境高出1,314百萬公噸CO₂。此外，在CIS與BPS兩種情境假設下，以空調產品節能貢獻度最高，於2030年貢獻度占比分別為25%及41%；CIS情境下節能貢獻度其次產品為電動馬達、熱泵熱水器、冰箱，BPS情境下則為冰箱、備用電源、電視及洗衣機。依計算結果此兩種模擬情境皆有節能減碳之貢獻，但須以持續性提升能效規範標準等策略輔佐，然而考量現行政策規劃，文獻中指出連續性效率改善模式落實可行性較高。

1.4 臺灣

經濟部能源局依據能源管理法規定，從1999年起逐步訂定我國用電器具容許耗能基準(Minimum Energy Performance Standards, MEPS)，器具須符合規定最低能源效率標準才可販售。推動容許耗用能源基準制度主要目的為淘汰市場上低效率、高耗能產品，以提高消費者的總體經濟利益，並促進廠商研發高能源效率產品。目前我國已公告15項產品之容許耗用能源基準，且跟隨冷氣機、電冰箱等產品技術發展可行性而修訂更嚴格產品能源效率基準。

為使消費者選購時可獲得更完整的產品資訊，政府陸續推動自願性節能標章制度及強制性能源效率分級標示，我國自2001年正式啟動「節能標章」認證機制，以促進業者生產高能源效率產品並引導消費者優先選用。一般而言，節能標章認證產品的能源效率較國家公告的最低能源效率標準(MEPS)高出10~50%，至目前為止，累計已通過認證的產品共計43種，由最初實施的「家電產品」，逐步擴展至「燃氣器具」、「交通工具」及「辦公設備」；共計361家品牌；7247款節能標章產品。而節能標章推動產品選定依據主要以日常生活普及率高且總能源耗量大者、國際能源標章積極推動項目、目前已存在能源效率提升技術卻尚未廣泛應用的市售產品，或是產品能源效率差異性較大者等為推動選定原則。

為了讓消費者更能清楚正確辨識省能產品，我國於2009年修正「能源管理法」第十四條，授權實施「能源效率分級標示」，為我國能源效率管理翻開了新的一頁。節能標章與能源效率分級標示最大的不同在於標章制度係由產品供應端切入，引導廠商生產高效能產品並自願性申請認證，屬於鼓勵性質；最低能源效率標準及能源效率分級標示制度則由法規面強制規範產品，目的是淘汰高耗能產品，並透過能源效率分級標示，清楚區隔產品耗能等級。目前國內已完成窗(壁)型及箱型冷氣機、電冰箱、除濕機、安定器內藏式螢光燈泡、燃氣台

爐及即熱式燃氣熱水器之規範。希冀藉由推動能源效率分級標示，引領消費者清楚辨識產品能源效率，強化對產品能源效率的重視，帶起一股綠色消費風潮。由此可知，我國對於能源效率標示已逐漸由自願性邁向強制性，為我國能源效率管理建立另一個新里程碑。

2. 我國能源效率管理措施節能效果評估

本研究主要針對住宅與服務業部門耗能設備探討能效管理措施之節能成效。此次研究將蒐整住宅與服務業部門之能效管理產品其最新修訂的能源效率基準，參考節能標章執行團隊之技術研究資訊，考量最低能源耗用基準、節能標章能效基準與能效分級標示基準的能效規範與市場銷售價格建置相關技術參數。實施能源效率管理措施後，執行單位考量規範產品之技術發展演進與市場趨勢，適時檢視能源效率標準之修正必要性，進而修訂更嚴格之能源效率基準。消費者可自由選購各種能效產品，但其採購或使用商品之能源效率將會影響至整體能源耗用量；本研究主要參考國際文獻，以滲透率函數推估國內節能標章產品以及能效分級前二級產品的市場佔有率，並依產品技術發展成熟度調整能源效率規範基準，建立MARKAL/TIMES模型情境模擬分析，探討能源效率管理措施推行對我國住宅與服務業部門之節能貢獻度。以下茲就評估模型、情境設計與模擬結果說明如下。

2.1 評估模型簡介

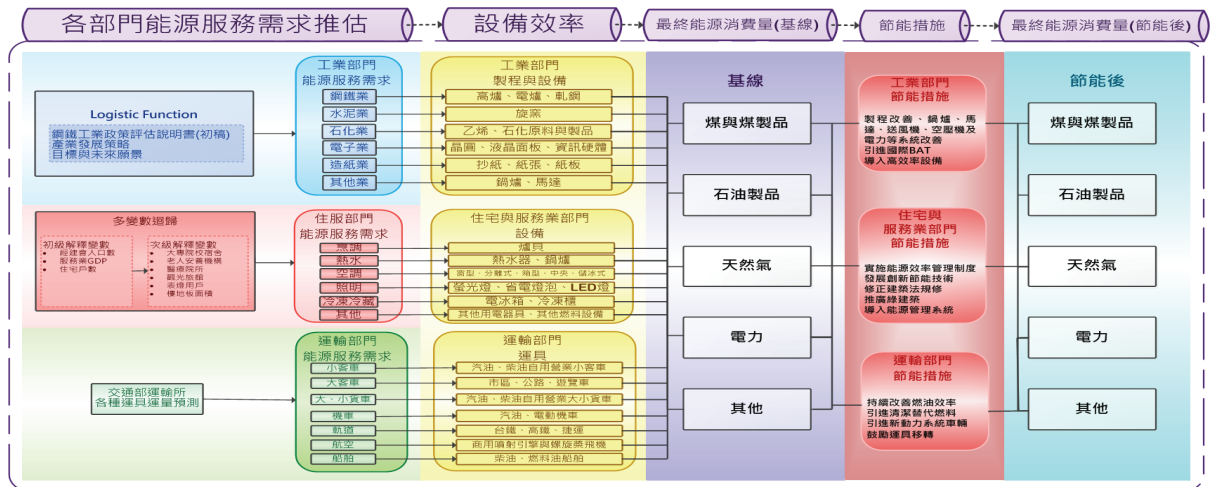
MARKAL模型(MARKet ALlocation)為能源系統分析工具，由國際能源總署(IEA)成立之能源技術系統分析研究計畫(Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP)所開發，初期ETSAP僅有16個OECD 國家參加，但經過近三十年的發展，目前MARKAL模型已被69個國家、約230個機構廣泛使用；因應現實模擬議題

日趨複雜，ETSAP於1996年起開始發展TIMES模型(The Integrated MARKAL-EFOM System)，兩模型基本架構皆為由下而上模式(bottom-up model)，且均具備豐富能源技術資料，將複雜的能源系統(全國、地區或部門)以線性規劃模式展現，而TIMES模型設定投入與產出關係部分則較具彈性。模型核心以能源服務需求(外生變數)為驅動力，透過線性規劃方法運算能源系統發展可能的情境與限制，滿足能源服務需求量下，以最低成本目標進行能源供需系統規劃。本研究應用之TIMES 模型，為工研院在能源局計畫支持下所引進發展之能源工程模型。工研院於1993年建立「臺灣MARKAL能源工程模型」，1994年開發完成「臺灣MARKAL-MACRO能源經濟模型」，而為提昇分析能力，自2007年開始積極引進TIMES模型，並於2010年完成臺灣TIMES模型本土化資料庫的建置；於1994至2013年間，應用「臺灣MARKAL/TIMES模型」建立了數種長期能源發展情景、規劃國內長期能源供需展望、分析溫室氣體減量策略、評估能源措施效益，並分析未來能源技術發展趨勢、新能源的應用潛力等議題，以提供相關決策之參考。

臺灣MARKAL/TIMES模型運算流程如圖1所示，首先依人口、產業發展與經濟成長趨勢等預測資料，推估國內最終消費者之需求，如鋼鐵業鋼胚產量、服務業冷房需求、住宅照度需求等。再以基準年既有的製程、設備及運具的技術效率與使用能源類別，估算各部門未來能源消費量基線。導入各部門節能措施後，藉由技術效率提昇、燃料別轉換等方式，以推估節能後之最終能源消費量。

2.1.1 住宅與服務業部門能源服務需求

本研究運用複迴歸模式推估我國住宅與服務業部門能源服務需求，進行住宅與服務業部門能源服務需求預測時，主要影響變數包括：經濟成長率、歷史用電統計數據、服務業



資料來源：工業技術研究院，臺灣TIMES模型。

圖1 臺灣MARKAL/TIMES能源工程模型運算流程示意圖

GDP、人口數、戶數、樓地板面積、旅館住宿人數、醫院住院人數、觀光旅遊人數及就學人數等，其餘考量參數尚包括單位面積照度需求、單位面積冷房能力、空屋率等，各能源服務需求推估模式考量之變數及參數整理如表1。

2.2 情境設計

本研究以國內能效管理產品技術資料庫為主，探討住宅與服務業部門能效管理產品平均效率提升幅度與市場滲透率等兩項重要參數。國內針對商業化初期產品或前瞻技術之市

場轉化率(產品效率提升幅度與市場滲透率)較少有基礎理論探討及實證應用等分析，因此，本研究依蒐整之國內能源效率規範資料庫，運用滲透率函數評估國內住宅與服務業部門高能效產品市場滲透潛力，研擬我國住宅與服務業部門耗能產品能源效率規範基準提升幅度，以MARKAL/TIMES模型分析其節能成效；惟因MARKAL/TIMES模型為能源工程模型，不易模擬行為面的策略，因此參考T.M.I. Mahlia (2004)及美國NEMS模型建立的方法論，作為本研究建立高能效產品轉化率的研究基礎，使模

表1 TIMES模型住宅與服務業部門能源服務需求分類與變數說明

能源服務需求	考量變數說明
空調	住宅部門：考量住宅存量及未來住宅戶數及住宅樓地板面積，且依單位面積之冷房負荷需求與平均每年操作時間等參數推估。 服務業部門：考量醫療保健、住宿餐飲、一般辦公/服務、批發零售及學校等場域所需之空調需求，並依據工商普查統計之樓板面積、未來樓板面積成長率、單位面積冷房負荷需求與平均操作時間等變數，推算服務業所需空調需求。
照明	住宅部門：考量住宅存量及未來住宅戶數及住宅樓地板面積，且依單位面積之照度需求與平均每年操作時間等參數推估。 服務業部門：考量醫療保健、住宿餐飲、一般辦公/服務、批發零售及學校等場域所需之照明需求，並依據工商普查統計之樓板面積、未來樓板面積成長率、單位面積照度需求與平均操作時間等變數，推算服務業所需照明需求。
烹調及熱水	主要影響變數為人口數、大專院校、老人安養、醫療院所及旅館等場所之住宿人數、GDP 成長率與服務業GDP。
冰箱	以人口數與人均冷凍冷藏內容積需求作為冰箱能源服務需求推估變數。

資料來源：工業技術研究院，臺灣TIMES模型。

型在滿足節能產品合理化擴散及最小成本下，評估能效管理措施與推行措施的節能成效。

2.2.1 能源效率提升

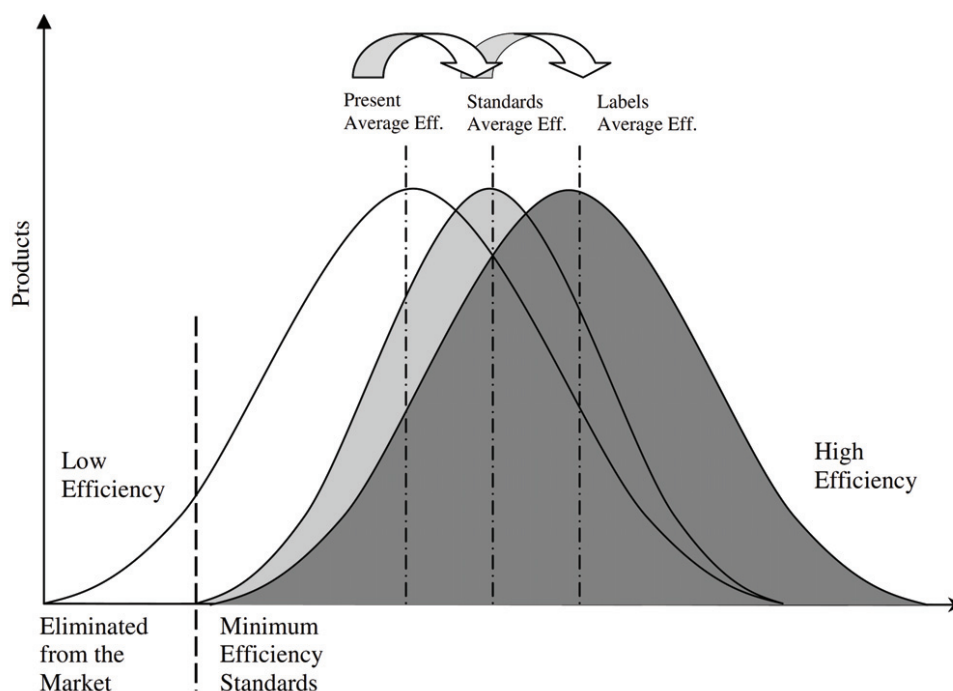
最低能源耗用基準(MEPS)與節能標章制度相繼推動，推行不同效率規範標準，會促使產品平均效率往更高效率提升，如圖2所示。本研究為分析未來能源效率管理措施之情境，參考以往修訂歷程，研擬下期最低能源耗用標準、節能標章與能效分級標示等能效規範基準，設計其修訂年份與效率提升等相關參數，探討提升產品能耗訂立標準對整體市場能源效率之影響。在能源效率基準訂立部分，技術效率發展趨勢將參考MACC減量成本曲線計畫之專家建議，以及美國能源之星、歐盟能源之星等先進國家之能源效率高標準等級，並考量我國市場與廠商的實際狀況，設定國內節能產品能效標準之進步幅度。

2.2.2 滲透函數應用

能源系統模型大多採用情境分析方式描繪

商業化初期產品或前瞻能源技術的市場滲透，主要是透過技術學習或經驗曲線呈現出產品或技術的市場成本競爭力而達成市場滲透的目的。另外，1979年Davies研究統計學中的擴散理論(diffusion theory)，提出S-shaped curves的市場擴散模式，爾後，Mansfield and Roger (1995)更深入研究探討消費者過去的經驗值及其他資訊對S-shaped curves的影響，也有更多的研究加入了不確定及風險因素來探討市場滲透變動過程。

而勞倫斯柏克萊國家實驗室(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)利用自行研發之模擬工具模擬住宅與服務業部門最低能源效率標準與節能標章產品之滲透率分布，主要以經濟驅動作為影響滲透率分布之因素，並以線性迴歸分析各項產品之家戶普及率與家戶所得、電氣化、城市化程度的連動關係，求得各項產品其影響滲透率因素的相關係數。為了使能源系統模型的市場滲透情境分析具有客觀的理論基礎，因此，本研究將參考美國NEMS模型中的市場滲透函數，應用於今年的研究主



資料來源：T.M.I Mahlia (2004).

圖2 最低能源效率標準及節能標章引進之市場效率演進

題，評估節能標章產品推動的市場滲透率，作為進一步能源工程模型模擬節能標章產品之節能減碳貢獻的分析基礎，茲將美國NEMS模型中的市場滲透函數說明如下：

$$Pen_{[t][y]} = \frac{MaxPen_{[t][y]} - \frac{1}{\frac{1}{MaxPen_{[t][y]} + e^{\alpha_t(y - CogHistYear - SimplePayBack_{[t][y])}}}}$$

註：Pen_{[t][y]}：產品市場滲透率/佔有率

MaxPen：新興產品/技術最大市場滲透潛力

Alpha(α)：控制市場滲透函數斜率

CogHistYear：可取得歷史資料值的最近一年度

SimplePayback：投資回收年數

資料來源：US EIA (2011), NEMS Model Documentation.

先由各項節能產品單位投資成本上的差異與提升能效後的節電費用，分析產品內部報酬率並計算產品投資回收年數，亦指以現金流量損益計算投資回收年數，再運用NEMS模型市場滲透函數公式，其公式計算比例為產品之市場佔有率。Peter Lund於2006年曾探討不同的新能源技術如何快速地滲透至市場，其中針對不同的新能源技術，運用長期蒐整之市場數據以擴散模型分析其滲透率，其中包含最終能源使用設備與新能源產業，文獻中提及最終能源使用設備，如冷凍冷藏設備與省電燈泡，其最大市場滲透潛力預估可達75%。由公式可得知產品市場滲透率受市場滲透最大潛力、產品價格、投資回收年數、產品市場滲透函數斜率等參數影響；其中產品市場滲透率越大，則市場占比則越高，意即較易進入市場，且於同類性質產品中較具市場競爭力。因滲透率公式參數其資料獲取性低，故本研究能效管理產品滲透率推估，將針對冷凍冷藏設備及照明設備的節能標章產品與能效分級1、2級產品進行節能減碳貢獻度分析。由沈維雄等人(2011)研究臺灣節能標章認證制度擴散速率可得知節能標

章標準若提升過高，則短期內廠商申請能源標章產品之數量將產生負面影響，則消費者可選購之節能標章產品數亦受限。另為符合國內市場與生產商之實際銷售情形，本研究參考工研院節能標章技術團隊相關分析資料如楊子岳等(2008)、高紹惠(2010)等文獻及國內相關研究報告如嚴萬璋(2001)、吳欣靜等(2010)，整理國內能效管理制度之更新頻率、能效提升幅度等相關數據，以設計相關情境與技術參數設定。

2.2.3 情境設計說明

各國因政府政策、民情、市場需要、制度推動時程的長短不同，在訂立能源效率管理措施上有所區別。一般而言，MEPS能效基準平均每四到五年更新一次，而以現行能效標準增加約5-10%為修訂幅度，國內訂立最低能源效率基準則以能源效率分布位於後段30-40%的產品，列為未通過MEPS規範的區隔標準。在訂立節能標章能源效率基準主要以市場現況之調查資料分析評估以20%~30%的產品能通過標準為準則，並參考國家標準與考量國內產品能源效率提昇之技術能力與成本負擔，其修訂基準頻率約三到四年更新一次。我國能源效率分級標示選定推動之產品則參考國際規範策略，主要依普及率高、耗能大、使用率頻繁、能源耗用或效率有明顯差異性者為選擇原則，且產品須有已公告之中華民國國家標準測試方法與最低容許耗能基準的規範。

住宅與服務部門主要節能減碳措施為提昇能源效率基準、導入高效率化設備及建築外殼改善，本研究參考國內MEPS、節能標章及能源效率分級標示等制度，設計妥善的市場轉化情境與合理的技術滲透率。本研究基準情境以現行MEPS基準為規範；而主要綜合情境模擬將涵蓋MEPS標準與標章產品、能效分級產品之未來能效規範研擬，並針對冷凍冷藏設備與照明設備其節能標章產品與能效分級1、2級產品，以滲透率函數合理化探討推動能效管理措施所帶來之節能成效，各設備相關技術參數如

表2所設計。

2.3 模擬結果分析

推動節能標章及能源效率分級標示制度，目的為引導消費者選購高效率產品，意謂消費者屬自願性購買高能效產品，而能效管理措施下的高能效產品其投資成本較高，因此節能標章或能效分級前二級產品進入市場的障礙，需要藉助外在環境壓力或利基因素的協助，才可有效引導消費者購買；但MARKAL/TIMES模型為能源工程模型，不易模擬分析消費者的行為面選擇。因此，本研究以照明與冰箱節能產

品為主，計算其現金流量損益與投資回本年數，合理推估屬於自願性購買的高能效產品市場佔有率，並階段性提高住宅與服務業設備能源效率標準至與世界先進國家同步，設計住宅與服務業部門各耗能設備技術參數如表2所示，探討國內能效管理措施市場發展滲透可行性及節能減碳成效分析。

2.3.1 空調節能措施

空調為住宅與服務業主要耗能設備，現行能源效率管理政策除強制性MEPS外，亦參考國外制度開放自願性節能標章認證制度及能源

表2 TIMES模型住宅與服務業部門能源服務需求分類與變數說明

TIMES模型住宅與服務業分類	基準情境	綜合情境-能源效率管理
空調	■ 各項技術維持在2010年水準	■ 依據現行冷氣機最低容許耗用能源效率基準，設定窗型及分離式冷氣機能源效率，且依2011年及2016年設定之無風管冷氣機能源效率基準(於民國100年及105年實施)，逐期提高能效基準，窗型冷氣於2030年COP達3.72，分離式冷氣達3.93。而節能標章及能效分級前二級產品將依MEPS能效提升趨勢，調整能源效率基準規範。 ■ 箱型冷氣依現行最低容許耗用能源效率基準設定COP為3.27，節能標章能源效率設為3.7，能效分級前二級產品設為3.9；於2030年MEPS規範基準提升至4.2，節能標章基準提升至4.5，而能效分級前二級產品提升至5.5。
照明		■ 依現行法規實施螢光燈管最低容許耗用能源標準。依螢光燈節能標章能源效率基準，搭配傳統式安定器效率提昇為88 lm/W，搭配電子式安定器效率提昇為90 lm/W；並逐期提高MEPS及節能標章能源效率規範基準。 ■ 省電燈泡2010年依照現行法規安定器內藏式螢光燈泡能源效率基準設定為60 lm/W，節能標章產品能效設為65 lm/W，於2011年導入能效分級前二級產品，能源效率設定為73 lm/W；並逐期提高MEPS、節能標章及能效分級之能源效率規範基準。
熱水		■ 依據燃氣熱水器節能標章能源效率基準，現行節能標章效率值為83.5%，而一般產品效率值為76%；則於2020年新修訂標章產品效率值至86%。
烹調		■ 依據烹調燃氣爐台節能標章能源效率基準，現行節能標章效率值為49%，而一般產品效率值為45%；則於2020年新修訂標章產品效率值至52%。
電冰箱		■ 依據最新電冰箱能源因數值標(實施日期為2011.01.01)，調昇一般冰箱能源因數值由14.7公升/千瓦小時/月至16.9之後將逐期提高能效基準，於2030年提升至19公升/千瓦小時/月。 ■ 依據電冰箱節能標章能源效率基準，現行節能標章能源因數值為16.1公升/千瓦小時/月，將依照冰箱MEPS能效提升趨勢調整節能標章能效基準，於2030年新修訂標章產品能源效率值至19.9公升/千瓦小時/月。

效率分級制度，促進民眾選購高效率產品。我國無風管空調機(冷氣機)每年平均銷售量約為100-120萬台間，其中分離式因具有靜音、安裝彈性較大等優點，市占率有逐年增加趨勢。經濟部能源局因應國際節能趨勢，於2006年已公告2011年及2016年冷氣機之MEPS，其中2011年國家標準約較2002年標準提升15%，2016年標準約較2011年再提升8-13%；綜合情境設計逐步提升MEPS之管制，促使冷氣機耗能下降，按2016年相較2011年之效率提升倍數推估2021、2026年MEPS能效標準提升趨勢，而節能標章能源效率基準及能源效率分級前二級產品亦照此倍數提升各項新期能源效率基準規範，以全盤性技術提升為考量以評估能源效率管理方案節能成效。

空調節能措施部分主要為階段性提升各項空調技術效率值，估算其節約能源效果，由圖3可得住宅空調2020年可節能457千公秉油當量，相對基準情境之節能率為16%，至2030年可節能1047千公秉油當量，相對基線節能率達33%，其基準情境空調耗能量2010年至2030年之年均成長率為1.0%，綜合情境為-0.9%；服務業部門空調至2020年可節能248千公秉油當量，相對基線節能率為4%，至2030年可節能718千公秉油當量，相對基準情境之節能率達8%，因服務業空調主要耗能設備以冰水主機為主，

而綜合情境假設則提升窗型機、分離式冷氣機之效率為設計內容，故其節能量略小於住宅部門，而基準情境空調耗能量2010年至2030年之年均成長率為3.5%，綜合情境為2.9%。

2.3.2 照明節能措施

國際上針對照明所採行之節能措施主要可分為能源效率階段性提升管理，白熾燈汰換計畫及推動白光LED進入一般照明市場。為降低生活中的能源耗用量，在螢光燈部分，政府積極推展節能標章制度，現行標準為2005年公告修訂之螢光燈效率基準，假設符合節能標章之螢光燈搭配傳統式安定器效率為88 lm/W，搭配電子式安定器之螢光燈管效率為90 lm/W，並於2020年提升節能標章能源效率管理基準，以探討其節能成效。同為螢光燈系列，目前T5燈管為商業化生產線中最為省電之產品，具有光效高、壽命長且其單一燈管瓦特數相對較低的優點，預計至2020年T5燈管比例占住宅照明約45%，但隨LED照明積極推廣，其後佔有率逐年下降。積極推動LED照明普及化政策乃係各國政策施針重點，參考2012年臺灣TIMES模型住商資料庫專家座談會意見以及工研院MACC技術資料庫，假設LED照明市佔率於2030年將可達三成。

因國內文獻未有能效管理產品市場滲透

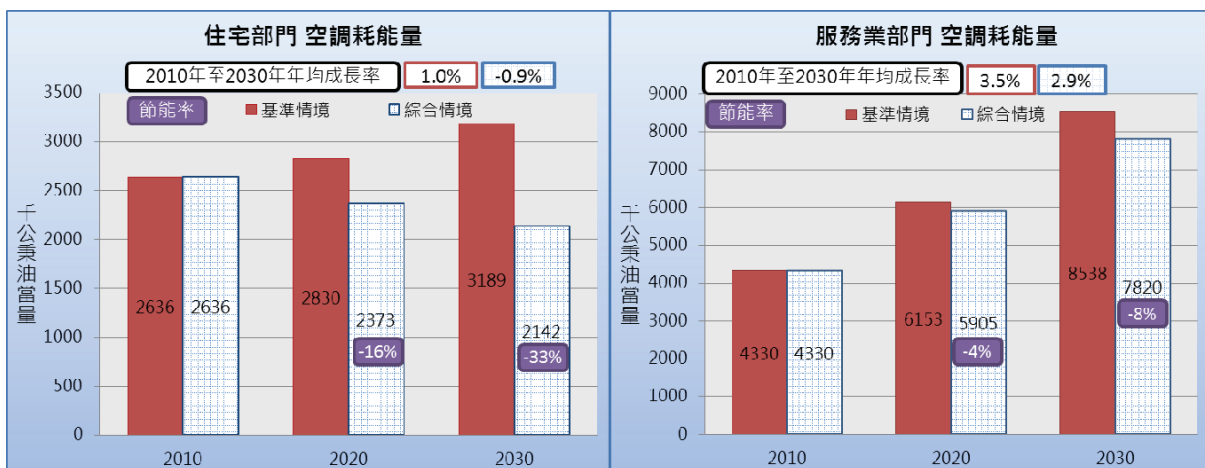


圖3 住宅與服務業部門基準情境與綜合情境其空調耗能圖

參數之相關研究，故本研究參考美國NEMS模型發表之滲透函數公式，且控制市場滲透函數斜率參數將引用Peter Lund於2006年發表之數據，文獻中針對住宅及服務業部門部分則探討照明系統與冰箱冷藏設備等兩種耗能設備的控制市場滲透函數斜率參數，故本研究配合國內能效管理措施，針對照明省電燈泡及冰箱兩種能效管理產品進行市場滲透率推估。而省電燈泡市場滲透規劃將根據客觀的理論基礎，並配合輸入參數之文獻完整性，運用市場滲透函數公式估算省電燈泡之市場占有率，其中控制市場滲透函數斜率之參數將引用Peter Lund於2006年發表之數據(控制市場滲透函數斜率設定為0.242)，再以國內省電燈泡單位投資成本上的差異與提升能效後的節電費用，分析產品內部報酬率並計算產品投資回收年數以得其市場佔有率，如圖4所示，以三階段提升省電燈泡能效管理標準，其中高能效省電燈泡與一般能效省電燈泡其投資成本差距些微，故推得之產品投資回收年數較短，若選購高能效省電燈泡可較快得到有效成本回收，且其市場滲透率亦較高。

總計照明節能措施可知住宅照明(如圖5)至

2020年預估可節能194千公秉油當量，相對基準情境節能率為15%；至2030年可節能513千公秉油當量，相對基準情境節能率達36%；而服務業照明耗能量至2020年可節能406千公秉油當量，相對基準情境節能率為11%；至2030年可節能1161千公秉油當量，相對基準情境節能率達24%。

2.3.3 熱水與烹調節能措施

目前國內外住宅與服務業熱水器包括高效率的傳統熱水器(液化石油氣熱水器、天然氣熱水器)、太陽能熱水器及熱泵熱水設備。本研究將針對住宅部門高效率傳統燃氣熱水器能源效率進行階段性提升管理；預計至2020年節能標章產品熱效率提升至86%，一般能效產品從75%提升至80%。而住宅熱水耗能量如圖6所示，其中住宅熱水至2020年可節能63千公秉油當量，相對基準情境節能率為2%；至2030年可節能79千公秉油當量，相對基準情境節能率達2%。

國內於2006年推動之燃氣台爐節能標章制度，實測熱效率需大於或等於45%，而2011年9月新公告之效率標準值為49%，情境規劃針對

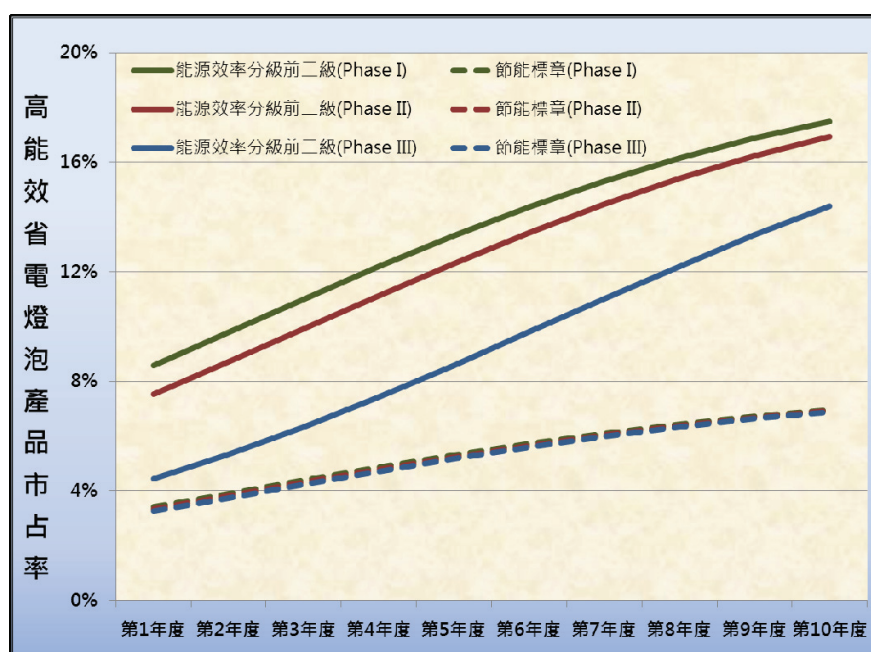


圖4 三階段能效提昇之推估市占率(高能效省電燈泡產品)

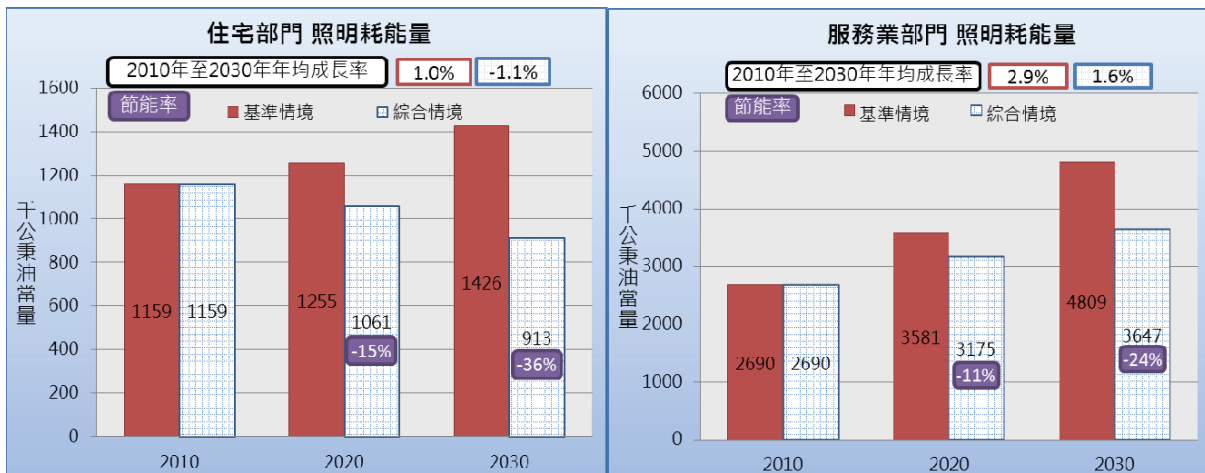


圖5 住宅與服務業部門基準情境與綜合情境其照明耗能量圖

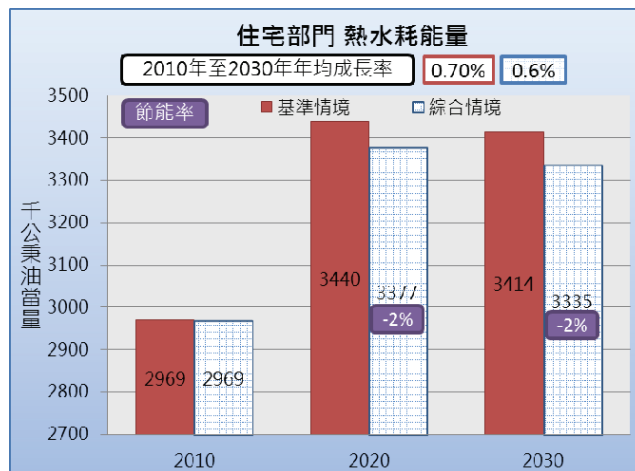


圖6 住宅部門基準情境與綜合情境其熱水耗能圖

高效率傳統瓦斯爐台能源效率進行階段性提升管理，預計至2020年節能標章產品熱效率提升至52%，一般能效產品從45%提升至49%。烹調耗能量如圖7所示，預計至2020年可節能79千公秉油當量，相對基準情境節能率為5%；至2030年可節能194千公秉油當量，相對基準情境節能率達12%。

2.3.4 冰箱節能措施

國內冰箱最低容許耗用基準第一階段於2000年公告，第二階段自2003年實施，因配合國內技術發展趨勢，2011年實施第三階段基準管理實施，其效率值較第二階段提升約60~70%。而情境設計亦針對節能標章與能源

效率分級標示之規範訂定效率值，配合技術發展趨勢且依最低容許耗用基準能源效率提升倍數，調昇標章產品及能效前二級產品之能源效率，針對冰箱節能標章與能效分級能效基準以十年為一期逐步提升能效管理策略之能源效率基準，並依照各階段之產品投資回收年數計算能效管理產品各階段之市場占有率，如圖8所示。

因滲透率公式參數文獻之完整性，故利用市場滲透函數公式估算冰箱設備其節能標章產品與能效分級前二級產品之滲透率，其中控制市場滲透函數斜率之參數將引用Peter Lund於2006年發表之數據(控制市場滲透函數斜率設定為0.389)，以冰箱產品之現金流量損益與投資

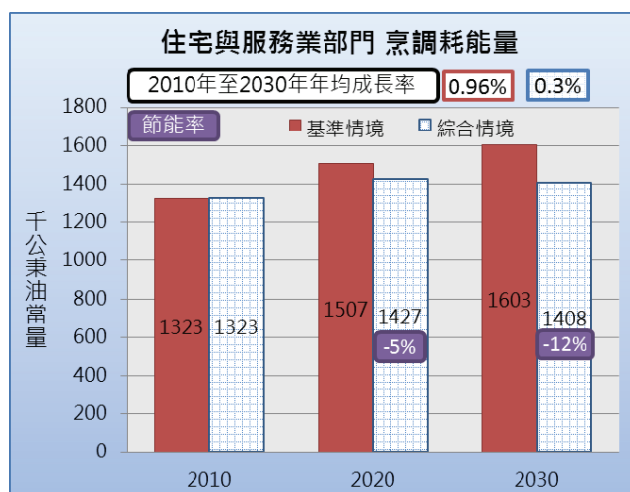


圖7 烹調產品其基準情境與綜合情境耗能圖

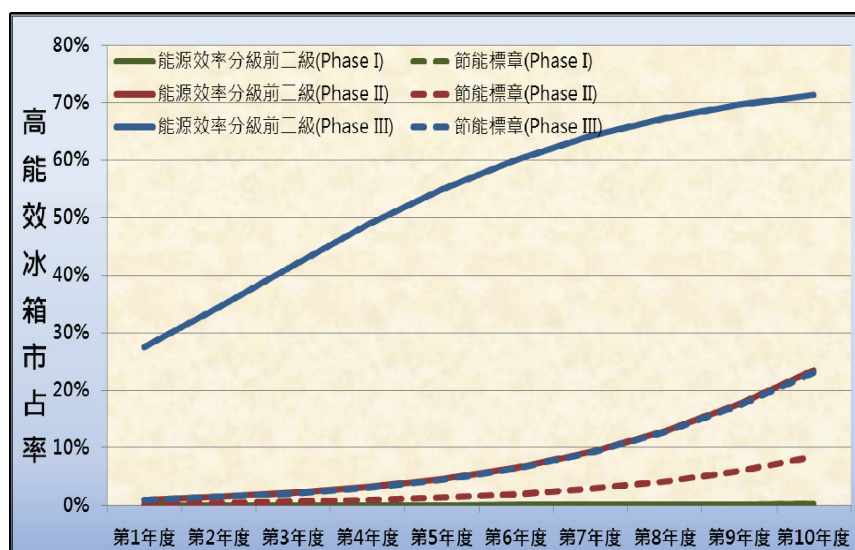


圖8 三階段能效提昇之推估市占率(高能效冰箱產品)

回本年數，合理推估屬於自願性購買的高能效產品市場佔有率，而冰箱投資金額較省電燈泡大，故其投資回本年數較長。

因能源效率階段性提升以及高能效冰箱佔比逐年提高等措施，冰箱總計之耗能量如圖9所示，預計至2020年可節能84千公秉油當量，相對基準情境節能率為11%；至2030年可節能156千公秉油當量，相對基準情境節能率達23%。

2.3.5 住宅與服務業部門節能成效分析

本研究運用TIMES模型針對住宅與服務業部門能源效率管理制度進行節能成效分析，並利用滲透率函數合理推估冰箱與省電燈泡高能效產品之市場佔有率。根據前述各項能源服務需求之節能措施，結果總計2030年住宅與服務業部門能源消費總節能量為4457千公秉油當量(如圖10所示)，相對基準情境之節能率為11%；其中各設備分別節能幅度，以空調節能貢獻比最大，2030年節能貢獻占39.6%，其次為照明與冰箱。

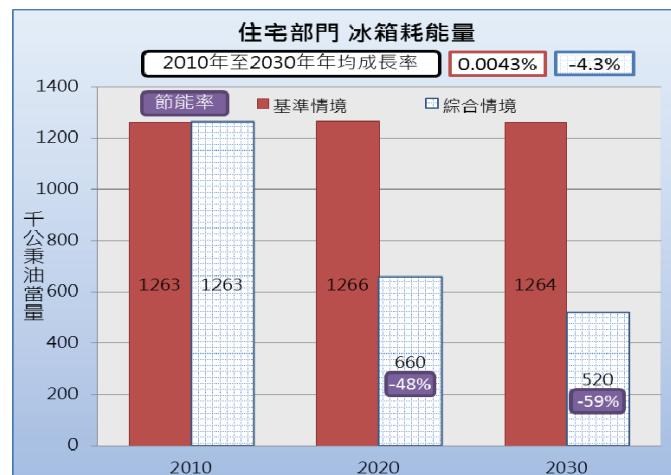


圖9 冰箱產品其基準情境與綜合情境耗能圖

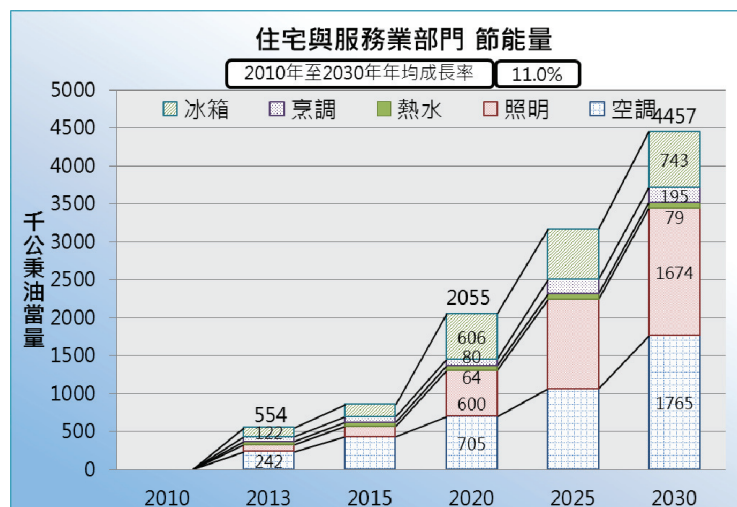


圖10 住宅與服務業部門節能量

3. 結論與建議

為評估能源效率管理措施的節能成效，本研究蒐集能效管理產品的市場滲透率函數文獻與各國推動能源效率管理措施的現況與成效資料，並運用臺灣TIMES模型分別以基準情境與綜合情境，針對國內住宅與服務業部門之能源效率管理制度逐步提升產品能源效率管理基準，利用滲透率函數合理推估冰箱與省電燈泡產品市場佔有率進行節能成效分析。結果總計2030年住宅與服務業部門能源消費總節能量為4,457千公秉油當量，相對基準情境之節能率為11%；其中以空調節能貢獻比最大，2030年節

能貢獻占39.6%，其次為照明與冰箱。此外，由於高效率產品滲透率的設定將影響節能成效的評估，本次研究針對滲透率函數參數設定多引用國外文獻資料，為估算更符合我國國情與高效率設備推動現況的市場滲透率，未來將持續蒐集國內相關統計分析數據，以提昇能源效率管理制度節能減碳貢獻度評估之合理性，進而顯現能源效率提升對節能的重要性。

參考文獻

高紹惠，2010，淺談能源效率分級標示，節能標章專題探討。

- 工業技術研究院，臺灣MARKLA/TIMES能源工程模型團隊，臺灣TIMES模型。
- 節能標章全球資訊網，2007，我國節能標章與他國能源效率基準之探討，節能標章專題探討。
- 節能標章全球資訊網，<http://www.energylabel.org.tw>。
- 經濟部能源局，2013，能源統計手冊，<http://www.moeaboe.gov.tw/>。
- 經濟部能源局，法規及行政規則-節約能源表，<http://www.moeaboe.gov.tw/>。
- 能源效率分級標示管理系統，<https://ranking.energylabel.org.tw/index.asp>。
- 沈維雄、蕭智同、陳依兌及白佳原，2011，臺灣節能標章認證制度擴散速率與影響因素之研究。
- 吳欣靜、陳中獎，2010，綠色消費的影響因素研究，環境與管理研究(11)。
- 嚴萬璋，2001，用電器具能源效率標章與標準推動之成效評估方法簡介，節能標章專題探討。
- 楊子岳、羅新衡，2008，節能標章制度及產品能源效率基準之探討，節能標章專題探討。
- 中華民國能源效率分級標示管理系統，<https://ranking.energylabel.org.tw/index.asp>。
- Andrew deLaski, 2013, Lost Savings from Obama's Delay on New Energy-Saving Standards Is \$3.7 Billion and Counting, ACEEE Blog.
- Appliance Standards Awareness Project, 2012, The Efficiency Boom: Cashing In on the Savings from Appliance Standards-Face sheet, ASAP.
- David O. Ward, Christopher D. Clarka, Kimberly L. Jensen, Steven T. Yena, Clifford S. Russell, 2011, Factors influencing willingness-to-pay for the ENERGY STAR label, Energy Policy.
- David Fridley, Gregory Rosenquist, Lin Jiang, Aixian Li, Dingguo Xin and Jianhong Cheng, 2001, Technical and Economic Analysis of Energy Efficiency of Chinese Room Air Conditioners, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Energy policy and planning consultants, 2009, Projected impacts of the equipment energy efficiency program to 2020, Australia.
- European Commission, 2011, The implementation of the ENERGY STAR program in the European Union in the period 2006-2010.
- James E. McMahon, Stephen Wiel, 2001, Energy-efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment, and Lighting, 2nd Edition, CLASP.
- McNeil, Michael A., 2008, Global potential of energy efficiency standards and labeling programs, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Michael A. McNeil and Virginie E. Letschert, 2010, Modeling diffusion of electrical appliances in the residential sector, Energy and Buildings.
- N. Zhou, David Fridley, Michael McNeil, Nina Zheng, Virginie Letschert, Jing Ke, Yamina Saheb, 2011, Analysis of potential energy saving and CO2 emission reduction of home appliances and commercial equipments in China, Energy Policy.
- Peter Lund, 2006, Market penetration rates of new energy technologies, Energy Policy.
- Rogers, E.M., 1995, Diffusion on Innovations. The Free Press, New York.
- Stephen Davies, 1979, The Diffusion of Process Innovations. Cambridge University Press, Cambridge.
- T.M.I Mahlia, 2004, Methodology for prediction market transformation due to implementation of energy efficiency standards and labels, Energy Conversion and Management.

T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki and I.A. Choudhury,
2002, Potential electricity savings by
implementing energy labels for room air
conditioner in Malaysia, Energy Conversion
and Management.

US EIA, 2011, NEMS Model Documentation.

US EPA, 2011, Energy Star and Other Climate

Protection Partnerships-2010 Annual Report.

Virginie E. Letschert and Michael A. McNeil,
2009, Material World: Forecasting Household
Appliance Ownership in a Growing Global
Economy, Lawrence Berkeley National
Laboratory.

The Application of TIMES Model in Assessing the Energy Conservation in Taiwan's Energy Efficiency Managements

Shu-Yi Ho^{1*} Ching-Wei Kuo² Kuei-Lan Chou³ Tzu-Yar Liu⁴

ABSTRACT

Since the climate change is the global challenge at present, how to realize the energy conservation measures becomes the most important topic when the government making strategic political decisions. In order to increase energy efficiency and decrease energy consumption, there are three kinds of energy efficiency managements such as popularizing energy labels, energy efficiency ratings and minimum efficiency performance standards.

According to the Energy Statistics Handbook, the total energy consumption in Taiwan is 111.53 million kiloliters of oil equivalent in 2012. When classified by consumer, the energy consumption for residential and services sectors was as follows: services sector, 11.04%; residential sector, 10.88%. The average annual growth rate of residential energy consumption over the period 1991 to 2012 was 3.06%, the average annual growth rate of services sector from 1991 to 2012 at 3.94%.

The energy consumption of residential and services sectors varies with the economic growth and the quality of life. When facing the current trend of the energy conservation and carbon reduction, the analysis method to evaluate the effects of energy conservation measures or policies would be the significant topics nowadays.

Therefore, this study refers to energy efficiency implementation literatures and market penetration documents to calculate the potential energy savings by implementing energy efficiency managements, such as minimum energy performance standards, energy labels and energy efficiency ratings for residential and services sectors in Taiwan. This analysis relies on a bottom-up model of the energy system based on the TIMES approach and uses Taiwanese data.

Keywords: Residential and services sectors, Energy Efficiency Managements, TIMES Model, Market penetration rate

¹ Associate Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories , Industrial Technology Research Institute

² Senior Administrator, GEL/ITRI

³ Researcher, GEL/ITRI

⁴ Principal Engineer, GEL/ITRI

* Corresponding Author, Phone: 886-3-5916400, E-mail: shuyiho@itri.org.tw

Received Date: Sep. 23, 2013

Revised Date: Oct. 15, 2013

Accepted Date: Oct. 29, 2013