

我國製造業節能績效與多重效益評估—應用LMDI 因素分解法

李堅明^{1*} 蔡含昱² 洪悅容³ 潘子欽⁴ 黃啟峰⁴ 林杏秋⁵

摘要

節能具有多重效益(multiple benefits)，已成為全球推動能源轉型(energy transition)，因應氣候變遷的首要無悔策略(no regret strategy) (IEA, 2014)。本研究應用對數平均數迪式指數法(Logarithm Mean Divisia Index, LMDI)，評估我國製造業效率效果(或節能量)及節能投資規模，檢視製造業節能績效。再依據IEA (2015)多重效益評估方法，分別評估製造業2014年與2015年的節能多重效益(multiple benefits)。研究結果顯示，近11年(2005-2015)，製造業的效率效果已累積達成39%，或累積減少約1,526萬公秉油當量(LOE)，相當於2016年整體製造業最終能源消費量4,265萬公秉油當量的36%。據此，獲得製造業推估存在節能多重效益，包括能源安全、溫室氣體減量、減緩每人負擔進口能源成本及就業創造等，可以支持政府獎勵補助企業節能投資與活動的合理性。

關鍵詞：製造業，能源效率，多重效益，對數平均數迪式指數法

JEL分類：Q21, Q25, Q28

1. 前言

能源效率(energy efficiency)已成為因應全球暖化(global warming)與氣候變遷(climate change)之最重要能源轉型(energy transition)策略。國際能源總署(International Energy Agency)在2017指出，全球於2060年達到碳中和(carbon neutral)，能源效率要貢獻34% (約貢獻300億噸CO₂e減排量)，可見節能對減緩全球暖化的重要性。節能投資是能源效率提升的最主要策略，依據IEA (2017)統計顯示，全球2016年能源投資總額約1.7兆美元，其中，能源效率投資約2,500億美元，相較於2015年，約增加9%，可

見全球節能動能將持續成長。環保署已於2017年11月23日公布我國「第一階段溫室氣體國家管制目標」(環保署，2017)，並制定2020年國家溫室氣體排量減排2% (相較於2005年)及製造業能源密集度下降43% (2025年相較於2005年)及50% (2030年相較於2005年)，可知，建立適當的能源效率評估方法，檢視與追蹤能源效率績效，已成為達到國家階段管制目標的最重要策略之一。

最終能源消費(Final Energy Consumption, TFC)影響因素相當多，例如經濟活動、產業結構、能源效率、能源價格、生活型態及天氣型態改變等，因此，傳統能源效率衡量，僅比較

¹ 國立臺北大學自然資源與環境管理研究所 教授

² 國立臺北大學自然資源與環境管理研究所 碩士生

³ 國立臺北大學自然資源與環境管理研究所 研究助理

⁴ 工業技術研究院綠能與環境研究所 資深研究員

⁵ 工研院綠能所 管理師

*通訊作者電話: 02-86741111#67335, E-mail: cmlee@mail.ntpu.edu.tw

收到日期: 2018年04月03日

修正日期: 2018年08月08日

接受日期: 2018年08月22日

兩期之能源密集度變化，缺乏考量經濟活動與產業結構等因素變化，從而，將低估或高估真實的節能績效。爰此，IEA (2015)將最終能源消費變化，分解(decomposition)為三個效果，分別活動效果(activity effect) (反映GDP (國內生產毛額Gross Domestic Product, GDP)變化引起的總最終能源消費變化)、結構效果(structure effect) (反映經濟結構改變引起的總最終能源消費變化)及效率效果(efficiency effect) (反映能源密集度改變引起的總最終能源消費量變化)等三項。再應用對數平均數迪式指數(Logarithm Mean Divisia Index, LMDI)權重計算方法¹，評估IEA國家1990年的節能效果，獲得節能效益已累計達到5.7兆美元，相當於日本或德國的一年GDP總值。本研究目的，即是引用上開方法評估我國製造業的真實節能績效，並與傳統衡量方法比較。

Ang *et al.* (1994, 1997, 1998, 2003, 2004, 2005)最早應用LMDI權重法將能源消費因素分解為生產、結構及密度效果，引起文獻歡迎，並廣泛應用能源消費變化(例如Boyd *et al.*, 1998; Na and Lee, 2008; Jin and Hwang, 2009a; Baležentis *et al.*, 2011; González *et al.*, 2014a; Zhang *et al.*, 2011; Kim, 2017)及溫室氣體排放變化(例如Lee and Oh, 2006; Liu *et al.*, 2007; Han and Shin, 2007; Jin and Hwang, 2009b; Oh *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2012; Jeong and Kim, 2013; Tian *et al.*, 2013; González *et al.*, 2014b; Ren *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2014)。在國內也有相關研究應用LMDI於節能等問題的評估，例如梁啟源等(2014)評估臺灣2007年至2011年間，工業部門能源效率每年平均提升5.41%；黃鈺愷(2014)分析臺灣在不同發展階段之能源消費與密集度變化關係；工研院產經中心(2015)評估影響我國能源密集度的關鍵因素；張四立(2017)分析臺灣

整體能源效率效果等。可知，LMDI因素分解方法，相當成熟，並已普遍應用於區域、國家及部門能源消費與溫室氣體排放變化特性分析。

提高能源效率具有多重效益(multiple benefits) (IEA, 2014)，包括：節省能源成本、降低溫室氣體減量、提高國家能源安全及創造就業等，已成為國家經濟發展的首要動能(first fuel)。然而，節能投資受到融資資金成本高及回收期(payback)長等影響²，限制企業節能投資誘因(Micale *et al.*, 2015)。因此，國際先進國家思考節能獎勵誘因機制，激勵企業節能投資動能，例如日本以直接補助方式，促進企業節能投資(鍾俐娟，2016)；德國政府則利用租稅減免及低利貸款措施，獎勵企業節能投資(黃啟峰與劉子衍，2015)；歐盟推動節能白色權證(white certificate)，保留企業節能量，並可交易，提高企業節能動能(Giraudet and Finon, 2014)。我國促進產業升級條例第26條，已將節能列為政府得補助的項目，然而，節能補助具爭議性，如何建立節能補助合理性的學理基礎，支撐政府的節能補助政策。爰此，評估我國製造業節能投資衍生的外部效益，支援政府研擬節能獎勵誘因機制政策擬定，這就構成本研究目的二。

綜合上述，本研究首先利用LMDI因素分解方法，釐析出製造業的真實節能量(扣除活動與結構效果)，據此，再評估節能多重效益。相關內容安排如后：第一節本研究前言；第二節我國製造業節能潛力及節能規模評估；第三節我國製造業節能多重效益評估；第四節為結語。

2. 我國製造業節能潛力與節能投資規模評估

本節將參考IEA (2015)最終能源消費因數

¹由於拉氏指數法(Laspeyres Index)及算術平均迪氏指數法(Arithmetic Mean Divisia Index, AMDI)將存在殘差項，影響分析結果的可信賴性。然而，LMDI則可將殘差值消除，提高LMDI的適用性(Ang *et al.*, 1998)。

²依據李堅明(2017)針對我國約3,000家能源大用戶的調查，顯示，企業期望的節能投資回收年約3年以下。

分解方法，檢視我國製造業節能績效。

2.1 衡量公式

本研究應用對數平均數迪式指數(LMDI)，衡量公式如下：

$$\Delta E_{tot} = E_t - E_0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int} \quad (1)$$

其中， E_t 為第 t 期能源消費量； E_0 為基期能源消費量； ΔE_{tot} 為第 t 期相對於基期之能源消費總變動量； ΔE_{act} 為活動效果之能源消費變動量； ΔE_{str} 為結構效果之能源消費變動量； ΔE_{int} 為能源密集度(或效率)效果之能源消費變動量。有關活動效果、結構效果及密集度效果之定義如下：

$$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E_i^t - E_i^0}{\ln E_i^t - \ln E_i^0} \ln\left(\frac{Q_i^t}{Q_i^0}\right) \quad (2)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E_i^t - E_i^0}{\ln E_i^t - \ln E_i^0} \ln\left(\frac{S_i^t}{S_i^0}\right) \quad (3)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E_i^t - E_i^0}{\ln E_i^t - \ln E_i^0} \ln\left(\frac{I_i^t}{I_i^0}\right) \quad (4)$$

其中， E_i^t 為第 i 產業第 t 期能源消費量； E_i^0 為第 i 產業基期能源消費量； Q_i^t 為第 i 產業第 t 期GDP； Q_i^0 為第 i 產業基期GDP； S_i^t 為第 i 產業第 t 期之附加價值占比(Q_i^t/Q)； I_i^t 為第 i 產業第 t 期之能源密集度(E_i^t/Q_i^t)。

2.2 製造業近11年(2005-2015)能源消費與附加價值變化趨勢

2.2.1 製造業近11年(2005-2015)能源消費變化趨勢

我國製造業及能源密集產業近11年(2005-2015)總能源消費趨勢，如表1所示。由表1可知，化材業、電子業及金屬基本業是三大最主要的能源密集產業。另，近11年來，八大能源密集產業的能源消費呈現消長現象，其中，電子業的能源消費量成長速度最快，年均成長約4.78%，其次分別為金屬製品業約增長1.36%、化材業約增長0.62%、金屬基本品業約增長0.45%；然而，紡織業能源消費大幅下降，約下降6.31%、造紙業約下降1.88%、非金屬礦業約下降1.23%及塑膠製品業約下降0.03%。

表1 我國製造業能源密集產業歷年(2005-2015)能源消費量

單位：千公秉油當量

| 年度 | 製造業 | 化材 | 電子 | 金屬基本 | 非金屬礦物 | 紡織 | 金屬製品 | 造紙 | 塑膠製品 |
|----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2005 | 39,169 | 10,695 | 6,474 | 5,697 | 3,616 | 3,013 | 1,496 | 1,586 | 1,411 |
| 2006 | 40,764 | 11,486 | 7,073 | 6,027 | 3,667 | 2,770 | 1,537 | 1,559 | 1,443 |
| 2007 | 42,470 | 12,833 | 7,617 | 6,029 | 3,518 | 2,630 | 1,569 | 1,553 | 1,455 |
| 2008 | 40,799 | 11,748 | 8,068 | 5,749 | 3,370 | 2,318 | 1,532 | 1,446 | 1,382 |
| 2009 | 38,013 | 11,518 | 7,682 | 4,981 | 2,955 | 2,011 | 1,320 | 1,331 | 1,326 |
| 2010 | 42,419 | 12,489 | 8,644 | 6,157 | 3,209 | 2,111 | 1,587 | 1,408 | 1,444 |
| 2011 | 43,504 | 12,121 | 9,157 | 6,482 | 3,626 | 1,943 | 1,647 | 1,466 | 1,429 |
| 2012 | 42,865 | 11,867 | 9,342 | 6,222 | 3,492 | 1,830 | 1,633 | 1,473 | 1,400 |
| 2013 | 43,832 | 12,076 | 9,794 | 6,502 | 3,571 | 1,770 | 1,666 | 1,447 | 1,416 |
| 2014 | 43,513 | 11,633 | 10,216 | 6,392 | 3,233 | 1,696 | 1,742 | 1,444 | 1,435 |
| 2015 | 42,656 | 11,376 | 10,331 | 5,958 | 3,194 | 1,570 | 1,712 | 1,312 | 1,407 |
| 年均成長率(%) | 0.86 | 0.62 | 4.78 | 0.45 | -1.23 | -6.31 | 1.36 | -1.88 | -0.03 |

資料來源：經濟部能源局(2017)。

2.2.2 我國製造業歷年(2005-2015)實質附加價值趨勢分析

我國製造業及能源密集產業近11年(2005-2015)實質GDP趨勢，如表2所示。由表2可知，電子業、化材業及金屬基本業的GDP分列前三名，比照表2，可以發現附加價值與能源消費具有正向關係。另，近11年來，八大能源密集產業的附加價值呈現消長現象，其中，電子業的能源消費量成長速度最快，年均成長約9.61%，其次分別為非金屬礦物業約增長7.38%、金屬基本品業約增長5.07%、化材業約增長4.72%及造紙業約增長0.16%；然而，紡織業約下降1.64%及塑膠製品業約下降0.77%。

2.3 製造業歷年能源密集度變化分析

能源密集度是國際間用來衡量一個國家整體能源使用效率的指標。它所代表的是生產過程中，產出每一單位國內生產毛額(GDP)所需要消耗的能源，計算方式是以能源的總消費量，除以國內生產毛額。我國製造業及能源密集產業歷年(2005-2015)能源密集度趨勢，如

表3所示。由表3可知，整體製造業能源密集度由2005年的12.19 LOE/千元新臺幣，下降至8.1 LOE/千元新臺幣，年均下降率約4.01%，此外，大部分能源密集產業(包括電子業、化材業、金屬基本業、非金屬礦業、紡織業及造紙業等)的能源密集度均呈現下降趨勢，顯示，節能努力的成效，然而，少部分產業(包括金屬製品業及塑膠製品業)的能源密集度則呈現上升趨勢。

2.4 製造業因素分解分析說明

近11年(2005-2015)來，整體製造業之最終總能源消費之因素分解效果，如表4及圖1所示。由表4及圖1可知，活動效果為151%，顯示近11年來，製造業產能擴大是造成最終能源消費增加的主要驅動力，然而，效率效果達到61%(抑或累積節能39%(相較於2005年))，成為抑制整體製造業最終能源消費增長的最重要穩定力量。歸納能源密集度下降原因，包括產業界在過去的11年的節能努力、政府節能政策的驅動、及產品高單價，提高產業附加價值等因素。此外，結構效果為97%，顯示製造業已朝

表2 我國製造業近11年(2005-2015)附加價值變化趨勢

單位：百萬臺幣

| 年度 | 製造業 | 化材 | 電子 | 金屬基本 | 非金屬礦物 | 紡織 | 金屬製品 | 造紙 | 塑膠製品 |
|----------|-----------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| 2005 | 2,632,428 | 219,005 | 964,494 | 187,473 | 68,468 | 128,414 | 217,748 | 53,111 | 104,265 |
| 2006 | 2,832,766 | 232,236 | 1,091,823 | 203,149 | 73,934 | 123,790 | 221,938 | 52,591 | 96,325 |
| 2007 | 3,198,856 | 276,870 | 1,245,230 | 214,892 | 85,143 | 127,656 | 230,447 | 57,096 | 98,970 |
| 2008 | 3,212,264 | 249,631 | 1,329,992 | 205,920 | 86,959 | 117,759 | 220,570 | 51,949 | 90,054 |
| 2009 | 3,131,574 | 290,097 | 1,335,867 | 201,843 | 92,098 | 104,624 | 179,005 | 48,600 | 77,026 |
| 2010 | 3,841,281 | 316,423 | 1,688,355 | 247,751 | 119,286 | 121,983 | 231,476 | 51,282 | 91,453 |
| 2011 | 4,102,224 | 287,800 | 1,909,971 | 235,973 | 136,613 | 115,017 | 249,925 | 48,509 | 94,483 |
| 2012 | 4,254,944 | 321,489 | 2,084,642 | 242,326 | 146,477 | 110,054 | 233,302 | 50,164 | 96,472 |
| 2013 | 4,327,147 | 351,112 | 2,105,382 | 310,114 | 151,889 | 113,543 | 234,002 | 51,329 | 96,921 |
| 2014 | 4,680,518 | 337,469 | 2,382,819 | 325,154 | 144,247 | 112,330 | 241,545 | 54,002 | 99,515 |
| 2015 | 4,668,067 | 347,392 | 2,415,447 | 307,532 | 139,532 | 108,888 | 228,635 | 53,973 | 96,515 |
| 年均成長率(%) | 5.90 | 4.72 | 9.61 | 5.07 | 7.38 | -1.64 | 0.49 | 0.16 | -0.77 |

資料來源：主計處(2016)國內各業生產毛額(93SNA)－1981Q1~2015Q4實質金額。

表3 我國製造業歷年(2005-2015)密集度

單位：LOE/千元臺幣

| 年度 | 製造業 | 化材 | 電子 | 金屬基本 | 非金屬礦物 | 紡織 | 金屬製品 | 造紙 | 塑膠製品 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 2005 | 12.19 | 48.84 | 6.71 | 30.39 | 52.82 | 23.46 | 6.87 | 29.88 | 13.54 |
| 2006 | 11.87 | 49.46 | 6.48 | 29.67 | 49.60 | 22.38 | 6.93 | 29.65 | 14.98 |
| 2007 | 11.16 | 46.35 | 6.12 | 28.06 | 41.32 | 20.61 | 6.81 | 27.20 | 14.71 |
| 2008 | 10.78 | 47.06 | 6.11 | 27.92 | 38.76 | 19.69 | 6.95 | 27.85 | 15.36 |
| 2009 | 10.30 | 39.70 | 5.75 | 24.68 | 32.08 | 19.22 | 7.37 | 27.38 | 17.21 |
| 2010 | 9.51 | 39.47 | 5.12 | 24.85 | 26.90 | 17.31 | 6.86 | 27.45 | 15.79 |
| 2011 | 9.21 | 42.12 | 4.79 | 27.47 | 26.54 | 16.90 | 6.59 | 30.23 | 15.13 |
| 2012 | 8.78 | 36.91 | 4.48 | 25.68 | 23.84 | 16.63 | 7.00 | 29.36 | 14.51 |
| 2013 | 8.83 | 34.39 | 4.65 | 20.97 | 23.51 | 15.59 | 7.12 | 28.19 | 14.61 |
| 2014 | 8.19 | 34.47 | 4.29 | 19.66 | 22.41 | 15.10 | 7.21 | 26.74 | 14.42 |
| 2015 | 8.10 | 32.75 | 4.28 | 19.38 | 22.90 | 14.43 | 7.49 | 24.32 | 14.59 |
| 年平均 成長率(%) | -4.01 | -3.92 | -4.40 | -4.40 | -8.02 | -4.74 | 0.87 | -2.04 | 0.75 |

資料來源：本研究。

表4 製造業近11年(2005-2015)TFC因素分解效果趨勢

| 年度 | 總能源消費 | 活動效果 | 結構效果 | 效率效果 |
|------|-------|------|------|------|
| 2005 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 2006 | 104% | 107% | 99% | 98% |
| 2007 | 108% | 118% | 100% | 91% |
| 2008 | 104% | 117% | 97% | 91% |
| 2009 | 97% | 114% | 101% | 82% |
| 2010 | 108% | 134% | 99% | 75% |
| 2011 | 111% | 141% | 94% | 77% |
| 2012 | 109% | 144% | 96% | 70% |
| 2013 | 112% | 146% | 101% | 65% |
| 2014 | 111% | 153% | 96% | 62% |
| 2015 | 109% | 151% | 97% | 61% |

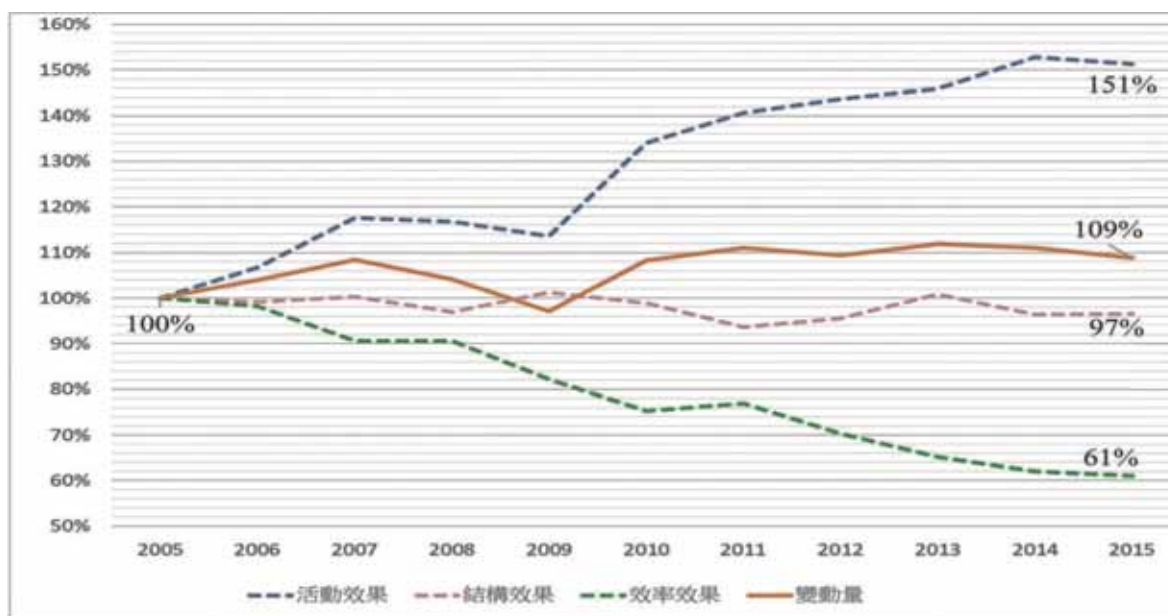
資料來源：本研究。

向低能耗結構轉型，亦是扮演抑制最終能源消費的輔助角色。上述分析，可以解釋我國整體製造業近11年來，能源密集度累積下降33.5% (如表3所示)之原因。

若以2005年為基準年，我國製造業近11年(2005-2015)已累積減少約1,526萬公秉油當量

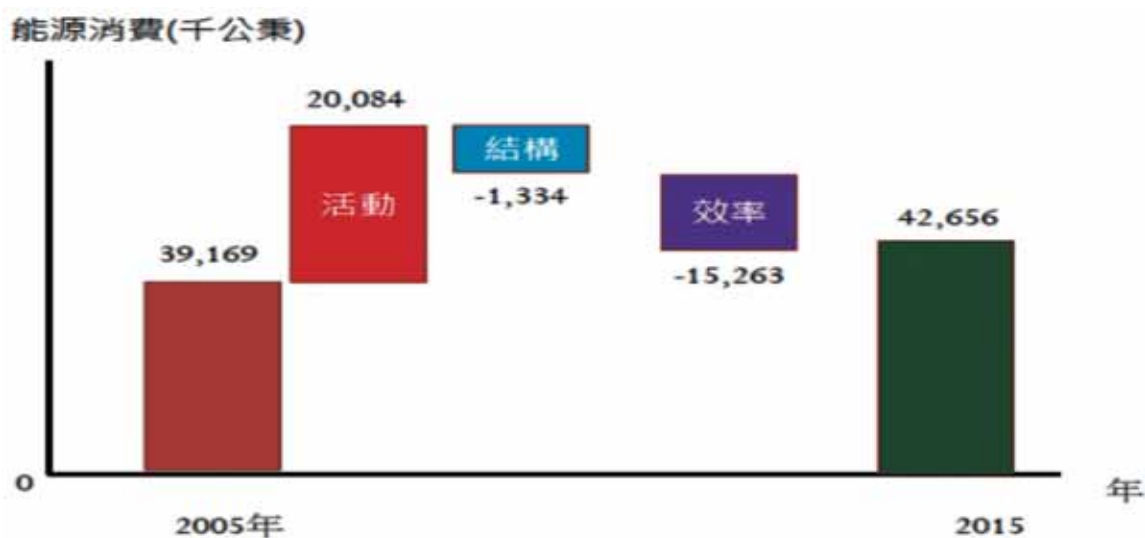
(如圖2所示)，相當於2016年整體製造業最終能源消費量4,265萬公秉由當量的36%。若彙整近四年(2012-2015)的節能效果，詳如圖3所示。由圖3可知，四年節能效果分別為289.9萬公秉(2012)³、181萬公秉(2013)、160.3萬公秉(2014)及51.4萬公秉(2015)，節能效果遞減，隱含政府

³2012年節能效果係指相較於2011年的節能量，依此類推，因此，四年節能量可以累加。



資料來源：本研究。

圖1 臺灣製造業總最終能源消費因素分解效果變化趨勢



資料來源：本研究。

圖2 近11年(2005-2015)製造業累積節能效果

需要有額外的激勵政策。合計已累計減少682萬公秉油當量的總能源消費。

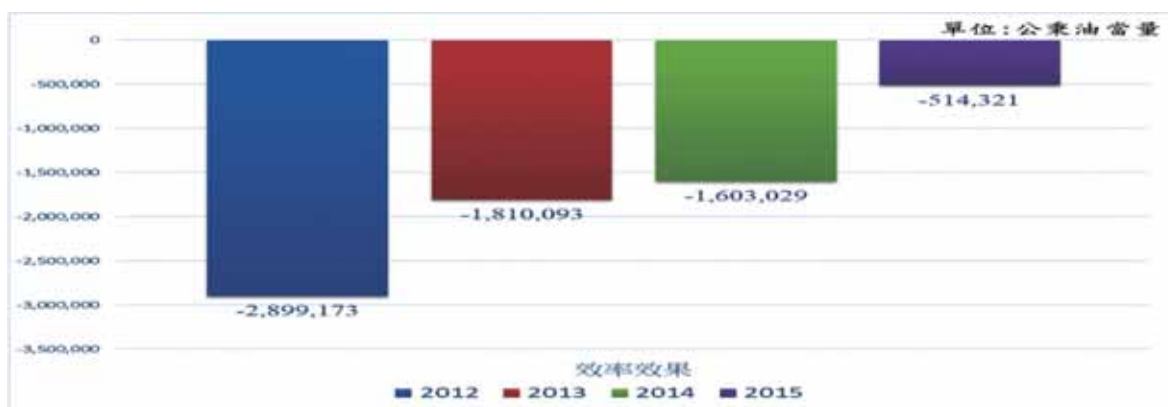
3. 節能多重效益評估

上一節依據LMDI方法，分別獲得2014年及2015年之效率效果的節能量為1,603,029千公秉油當量及514,321千公秉油當量。本節將進

一步以IEA (2015)「能源消費迴避量」(Avoided Energy Consumption, AEC)觀念，評估國家能源安全、就業及二氧化碳排放迴避等多重效益。相關效益分述如下：

3.1 國家能源安全效益

依據IEA (2015)能源效率市場報告之國家能源安全效益(beneficial to national energy



資料來源：本研究。

圖3 近4年(2012-2015)製造業因素分解效率效果變化趨勢

security)計算，如式(5)所示：

$$MV = AEC \times EP \quad (5)$$

其中， MV 為節能市場價值(Market Value, MV)； AEC 為能源消費迴避量(Avoided Energy Consumption, AEC)； EP 為平均能源價格 Energy Price, EP)。由於2014年我國製造業節能(能源消費迴避量)為1,603.029千公秉油當量，2015年我國製造業節能(能源消費迴避量) 514,321千公秉油當量。為計算節能市場價值(MV)，必須求算2014年及2015年平均能源價格如下：

3.1.1 我國平均能源價格計算

我國能源型態包括煤及煤產品、石油產品、天然氣及電力等四種型態，以下分述各項能源型態價格：

1. 煤及煤產品價格

由於燃煤價格是以公噸計量，如表5之第1欄，本研究再利用表6之轉換係數0.654，轉為千公秉油當量計價單位，如表5之第2欄，獲得

2014年燃煤價為3,457,493元/千公秉油當量及2015年燃煤價為2,899,596元/千公秉油當量。

2. 石油產品價格

由於我國汽油種類合計12種類，因此，在計算石油產品價格，先透過表6乘上不同轉換係數將公升轉為公秉油當量，如表7所示，獲得2014年平均石油產品價為24,034,619元/千公秉油當量，2015年平均石油產品價為18,208,926元/千公秉油當量。

3. 天然氣價格

我國天然氣消費包括工業用戶、公用氣體燃料事業、合格汽電共生系統用戶及發電用戶，計量單位為立方公尺，如表8之第2與第3欄。因此，透過表6之轉換係數，將立方公尺轉為公秉油當量，如表8之第4與第5欄所示，獲得2014年平均天然氣價格為21,848,324元/千公秉油當量，2015年平均天然氣價格為10,936,442元/千公秉油當量。

4. 平均電價

由於電價以度計價，如表9之第2欄所示。

表5 2013-2015年平均燃煤價格

| 年度 | 燃煤價格(元/公噸) | 燃煤價格(元/千公秉油當量) |
|------|------------|----------------|
| 2014 | 2261.20 | 3,457,493 |
| 2015 | 1896.34 | 2,899,596 |

資料來源：台灣電力公司(2016)。

註：美元兌換新臺幣匯率分別為：2014年30.368元；2015年31.898元。

表6 各項能源轉換公秉係數

| 項目 | 轉換係數 |
|------------|-------|
| 燃煤 | 0.654 |
| (液化石油氣)LPG | 0.737 |
| 車用汽油 | 0.866 |
| 煤油 | 0.944 |
| 柴油 | 0.933 |
| 低硫燃料油 | 1.066 |
| 天然氣 | 0.889 |
| 電價格 | 0.248 |

資料來源：經濟部能源局 (2016)。

表7 2013-2015年平均石油價格

| 汽油種類 | 2014價格 | 2015價格 | 2014價格 | 2015價格 |
|------------|--------|--------|------------|------------|
| 單位 | (元/公升) | (元/公升) | (元/千公秉油當量) | (元/千公秉油當量) |
| 液化石油氣(LPG) | 12.89 | 11.26 | 17,485,078 | 15,278,652 |
| 98汽油 | 28.5 | 23.4 | 32,883,350 | 26,998,961 |
| 95汽油 | 26.5 | 21.4 | 30,575,747 | 24,691,358 |
| 92汽油 | 25 | 19.9 | 28,845,044 | 22,960,655 |
| 酒精汽油 | 26.5 | 21.4 | 35,946,825 | 24,691,358 |
| 煤油 | 29.5 | 22.6 | 31,236,764 | 23,930,537 |
| 超級柴油 | 23 | 17.4 | 24,642,945 | 18,642,923 |
| 高級柴油 | 23 | 17.4 | 24,642,945 | 18,642,923 |
| 甲種船用油 | 16 | 10 | 16,921,131 | 10,921,110 |
| 乙種船用油 | 10.87 | 5 | 11,655,041 | 5,655,020 |
| 低硫鍋爐用油 | 21.53 | 14 | 20,185,619 | 13,123,652 |
| 低硫燃料油 | 20.01 | 20.01 | 18,758,788 | 12,968,969 |
| 平均 | | | 24,034,619 | 18,208,926 |

資料來源：經濟部能源局 (2016)。

表8 2013-2015年平均天然氣價格

| 天然氣 | 2014 | 2015 | 2014能源價格 | 2015能源價格 |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|
| 單位 | 元/立方公尺 | 元/立方公尺 | 元/千公秉油當量 | 元/千公秉油當量 |
| 工業用 | 19.42 | 10.43 | 21,847,762 | 11,732,279 |
| 公用氣體燃料事業 (瓦斯公司) | 19.00 | 9.96 | 21,372,320 | 11,203,596 |
| 合格汽電共生系統 用戶 | 18.66 | 9.59 | 20,989,869 | 10,787,398 |
| 發電用戶 | 20.61 | 8.91 | 23,183,344 | 10,022,494 |
| 平均 | 21,848,324 | 10,936,442 | | |

資料來源：經濟部能源局 (2016)。

表9 2013-2015年電價

| 年度 | 電價格(元/度) | 電價格(元/千公秉油當量) |
|------|----------|---------------|
| 2014 | 3.07 | 12,379,032 |
| 2015 | 2.93 | 11,814,516 |

資料來源：經濟部能源局 (2016)。

本研究蒐集能源統計手冊提供的2013-2015年各年電價，再透過表6之轉換係數，轉換為千公秉油當量計價之2014年電價為12,379,032元/千公秉油當量，2015年電價為11,814,516元/千公秉油當量，如表9之第3欄所示。

5. 平均能源價格

平均能源價格係指如式(6)所示。由於各項能源年度消費占比不同，本研究再蒐集各項能源消費量占比，如表10所示，作為計算各年能源價格的權重，獲得2014年能源價格水準為16,432,842元/千公秉油當量，2015年能源價格水準為13,517,074元/千公秉油當量如表11所示。

3.1.2 國家能源安全效益評估

依據前文計算，我國製造業2014年節能量1,603.03千公秉油當量，再乘上平均能源價格16,432,842元/千公秉油當量，獲得我國製造業節能之國家能源安全效益約為263.42億元，

而製造業2015年節能量514.32千公秉油當量，再乘上平均能源價格13,517,074元/千公秉油當量，獲得我國製造業節能之國家能源安全效益約為69.52億元如表12所示。

3.2 減緩每人進口能源負擔效益評估

我國製造業節能之減緩平均每人進口能源負擔效益計算，如式(7)所示。可知，能源進口依賴度、節能效益及人口數，是影響製造業節能之減緩進口能源負擔效益的關鍵因子。

$$\text{減緩每人負擔進口能源成本} = \text{進口依存度} \% \times \text{MV} / \text{人口} \quad (7)$$

我國2013-2015年平均能源進口依賴度為98%，2014每人能源進口成本負擔約84,509元、2015每人負擔能源進口成本約50,571元如表13所示。依據前文計算，2014年節能效益約263.42億元、2015年節能效益約69.52億元，除

表10 2013-2015年能源消費比例

| 年 | 燃煤 | 石油產品 | 天然氣 | 電力 |
|------|-------|--------|-------|--------|
| 2014 | 8.33% | 38.54% | 3.22% | 49.91% |
| 2015 | 8.43% | 38.84% | 3.36% | 49.37% |

資料來源：經濟部能源局 (2016)。

表11 2013-2015年平均能源價格

| 年份 | 2014 | 消費佔比 | 2015 | 消費佔比 |
|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| 燃煤 | 3,457,493 | 8.33% | 2,899,596 | 8.43% |
| 石油產品 | 24,034,619 | 38.54% | 18,208,927 | 38.84% |
| 天然氣 | 21,848,324 | 3.22% | 10,936,442 | 3.36% |
| 電力 | 12,379,032 | 49.91% | 11,814,516 | 49.37% |
| 平均能源價格 | 16,432,842(新臺幣/千公秉) | | 13,517,074(新臺幣/千公秉) | |

資料來源：經濟部能源局 (2016)。

表12 我國製造業2014與2015年國家能源安全效益比較

| 項目 | 2014年 | 2015年 |
|------------------------|------------|------------|
| 能源效率節能量(千公秉油當量) | 1,603.03 | 514.32 |
| 平均能源價格(新臺幣元/千公秉油當量) | 16,432,842 | 13,517,074 |
| 節能效益金額(新臺幣億元)－國家能源安全效益 | 263.42 | 69.52 |

資料來源：本研究。

表13 製造業節能之減緩每人能源進口成本負擔效益表

| 項目 | 2014年 | 2015年 |
|-----------------|------------|------------|
| 進口能源依存度(%) | 98% | 98% |
| 人口數量 | 23,433,753 | 23,492,074 |
| 平均每人負擔能源進口值(元) | 84,509 | 50,571 |
| 減緩每人負擔進口能源成本(元) | 1,102 | 290 |
| 減緩後每人負擔進口值(元) | 83,406 | 50,281 |

資料來源：戶政司(2016)、經濟部能源局(2016)；本研究整理。

表14 2014年與2015年平均單位初級能源排放因子

| 年度 | 二氧化碳排放總量 (單位：公噸) | 製造業總能源消費 (單位：公秉油當量) | 單位初級能源排放因子 (公噸/公秉油當量) |
|------|---------------------|------------------------|--------------------------|
| 2014 | 121,264,301 | 43,512,522 | 2.79 |
| 2015 | 119,984,002 | 43,656,386 | 2.75 |

資料來源：經濟部能源局(2016)；本研究整理。

以人口數，再乘上進口依存度98%，可獲得減緩每人負擔能源進口成本約1,102元(2014年)與290元(2015年)，如表13所示。雖然減緩金額有限，但我國製造業能源消費高達約37%，為高消費部門，透過製造業能源效率政策，未來可減緩國家能源安全依存度，亦是能源多重效益重要一環。

3.3 二氧化碳迴避量效益

經由前文計算，工業部門節能量約160萬公秉油當量(2014年)與51萬公秉油當量(2015年)，再利用式(8)，可以估算製造業單位能源消費之二氧化碳排放量，亦即排放因子(Emission Factor, EF)，再經由式(9)可以計算製造業節能的二氧化碳迴避量。

$$\text{初級能源排放因子} = \text{工業部門二氧化碳排放總量} / \text{工業部門總能源消費} \quad (8)$$

$$AC = APEC(j) \times EF(CO_2/j) \quad (9)$$

本研究分別計算製造業2014年的二氧化碳排放因子為2.79公噸/公秉油當量，及2015年二氧化碳排放因子為2.75公噸/公秉油當量，如表14所示。再將排放係數乘上2014年節能量(約160萬公秉油當量)，可以獲得4,472,451萬公噸二氧化碳迴避量，及2015年節能量(約51萬公秉油當量)，可獲得1,440,099公噸二氧化碳迴避量，如表15所示。

3.4 就業量創造效益評估

為計算就業效益，本研究參考IEA(2014年)「掌握能源效率多重效益」(Capturing the

表15 製造業二氧化碳迴避量

| 年度 | 2014年 | 2015年 |
|----------------|-----------|-----------|
| 能源效率節能量(公秉油當量) | 1,603,029 | 514,321 |
| 二氧化碳迴避量效益(噸) | 4,472,451 | 1,440,099 |

資料來源：本研究。

Multi Benefits of Energy Efficiency)研究報告，建立製造業節能之就業量創造效益，如式(10)及(11)所示。

$$\text{工作機會} = (\text{節能金額} \times \text{投資回收期} / \text{百萬歐元}) \times 27 \text{個(年)} \times \text{人均所得倍數} \quad (10)$$

$$\text{影響勞動力占比} = (\text{工作機會平均} / \text{勞動力人口平均}) \times 100 \quad (11)$$

依據IEA (2014)研究報告顯示，百萬歐元的能源效率投資，約可創造27個年工作機會

(Wade *et al.*, 2000)。因此，依據式(10)，本研究分別設定回收期為2-3年情境(李堅明，2017)，可以推估2014年節能投資約526.85億元(2年回收期)及790.27億元(3年回收)，2015年節能投資約為139.04億元(2年回收期)及208.56億元(3年回收)，如表16所示。本研究再以2017年4月13日之匯率32.22進行轉換(如表17所示)，獲得百萬歐元相當於3,222萬元新臺幣，再乘上臺灣與歐盟的人均所得差異倍數(如表18所示)進行兩國所得調整，可以獲得2014年約可創造2.4-8.1萬全職工作機會，2015年約可創造0.6-2.3萬全職

表16 節能投資市場規模

| 年度 | 當年回收期(新臺幣) | 2年回收期(新臺幣) | 3年回收期(新臺幣) |
|------|----------------|----------------|----------------|
| 2014 | 26,342,338,711 | 52,684,677,422 | 79,027,016,133 |
| 2015 | 6,952,101,500 | 13,904,203,000 | 20,856,304,500 |

資料來源：本研究。

表17 歐元匯率轉換為

| 時間 | 歐元匯率 |
|-----------|--------|
| 2014/1/17 | 40.967 |
| 2015/1/16 | 36.757 |
| 2016/1/15 | 36.832 |
| 2017/4/14 | 32.222 |

資料來源：本研究。

表18 人均所得差異倍數

單位：新臺幣(元)

| 國家 | 2014年 | 2015年 |
|----|---------|---------|
| 臺灣 | 599,007 | 623,535 |
| 歐盟 | 837,720 | 853,830 |
| 倍數 | 1.39 | 1.36 |

資料來源：本研究、行政院主計總處(2016)。

工作機會，如表19所示。進而，再參考2014年與2015年之我國勞動力人口數，如表20所示，可獲得製造業節能，在2014年約可提升0.21%-0.70%就業率，在2015約可提升0.06%-0.2%就業率。可見，節能有助我國就業市場發展。

綜上分析可知，本研究設定兩種情境，分別為回收期2年及回收期3年，再依據回收期公式，分別推估節能投資與就業量。由於是兩種不同(或獨立)情境，因此，本研究僅呈現兩種情境結果，並沒有隱含回收期愈長，創造就業效果愈大之意含。

4. 結 語

節能具有多重效益，已成為全球推動能源轉型，因應氣候變遷的首要無悔策略(IEA, 2014)。本研究應用對數平均數迪式指數法(Logarithm Mean Divisia Index, LMDI)，評估結果顯示，近10年(2005-2015)，製造業的效率效果已累積達成39%，成為抑制製造業最終能源消費成長的最重要因子。據此，本研究評估製造業多重節能效益，彙整如表21所示，可以支撐政府獎勵補助企業節能投資與活動的合理性。

表19 就業量創造效益

單位：(人)

| 年度 | 2014年 | 2015年 |
|---------|--------|--------|
| 當年投資回收期 | 24,132 | 6,945 |
| 兩年投資回收期 | 53,793 | 13,862 |
| 三年投資回收期 | 80,525 | 23,768 |

資料來源：本研究。

表20 我國近五年(2013-2015)勞動力統計表

| 年度 | 勞動力人口(人) | 就業率創造(%) |
|------|------------|-------------|
| 2014 | 11,535,000 | 0.21 - 0.70 |
| 2015 | 11,638,000 | 0.06 - 0.20 |

資料來源：本研究、行政院主計總處(2016)。

表21 我國製造業節能多重效益評估

| 節能效益 | 2014年 | 2015年 |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 減少能源成本(能源安全)(億元) | 263.42 | 69.52 |
| 節能投資(億元) | 526.9 - 790.3 | 139.0 - 208.6 |
| 減緩每人負擔進口能源成本(元/人) | 1,102 | 290 |
| 二氧化碳迴避(百萬公噸CO ₂) | 4.47 | 1.44 |
| 就業創造(萬人/年；%) | 2.4-8.1 (或提升約0.21 - 0.70) | 0.6-2.3 (提升約0.06 - 0.20) |

註1：2014年平均能源價格16,432,842元/千公秉油當量；2015年平均能源價格13,517,074萬元/千公秉油當量。

註2：回收期以2-3年計算。

註3：減緩每人負擔進口能源成本計算詳見公式(3)。

資料來源：本研究。

本研究主要應用IEA的評估方法，將能源消費拆解成三個效果，包括活動、結構與密集度效果。其中，導致密集度效果的因子，包括生產技術進步、規模經濟、節能技術進步、節能管理及高單價導致附加價值擴大等因素。本研究僅納入節能投資因子，這構成本研究的限制。另，本研究在評估節能投資的就業創造效果，應用「效益移轉方法」，直接引用文獻資料(1百萬歐元節能投資約可創造27個全職工作)，這亦是本研究在估算就業創造的限制。

誌 謝

作者感謝財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所提供研究經費。

參考文獻

工研院產經中心，2015。影響我國能源密集度之關鍵因素，財團法人工業技術研究院。

內政部戶政司，2016。中華民國人口統計季刊。

主行政院計處，2016。國內各業生產毛額(93 SNA)—1981Q1~2015Q4實質金額。

台灣電力公司，2016。燃煤採購，經營資訊。

李堅明，2017。我國工業節能行為調查與節能市場評估，財團法人工業技術研究院綠色能源研究所委辦專案研究計畫。

張四立，2017。2017年臺灣環境品質與能源效率評析，中技社。

梁啟源、鄭睿合、田佳芬與林杏秋，2014。臺灣工業部門能源效率變動因素分析及政策建議，經濟前瞻，第152期，第40-47頁。

黃啟峰與劉子喬，2015。德國工業能源效率政策發展與借鏡，臺灣經濟金融月刊，第五十一卷，第八期，第26-40頁。

黃鈺愷，2014。臺灣經濟發展各階段之能源消費與密集度變動之分析，國立臺灣大學農業經濟學研究所學位論文，國立臺灣大

學。

經濟部能源局，2016。能源統計手冊。

經濟部能源局，2017。能源統計月報。

鍾俐娟，2016。他山之石：日本工業節能設備補助機制的啟示，財團法人工業技術發展研究院。

環保署，2017。第一期溫室氣體管制目標。

Ang, B. W. and S. Y. Lee, 1994. Decomposition of Industrial Energy Consumption: Some Methodological and Application Issues. *Energy Econ.*, 16, 83-92.

Ang, B. W. and K. H. Choi, 1997. Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method. *Energy J.*, 18, 59-73.

Ang, B. W., F. Q. Zhang and K. H. Choi, 1998. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators Through Decomposition. *Energy*, 23, 489-495.

Ang, B. W., F. L. Liu and E. Chew, 2003. Perfect Decomposition Techniques in Energy and Environmental Analysis. *Energy Policy*, 31, 1561-1566.

Ang, B. W., 2004. Decomposition Analysis for Policy Making in Energy: Which is the Preferred Method? *Energy Policy*, 32, 1131-1139.

Ang, B. W., 2005. The LMDI Approach to decomposition analysis: A practical guide. *Energy Policy*, 33, 867-871.

Baležentis, A., T. Baležentis and D. Streimikiene, 2011. The Energy Intensity in Lithuania during 1995-2009: A LMDI Approach, *Energy Policy*, 39, 7322-7334.

Boyd, G. A., D. A. Hanson and T. Sterner, 1998. Decomposition of Changes in Energy Intensity - A Comparison of the Divisia Index and Other Methods, *Energy Econ.*, 10, 309-312.

- Giraudet, L.G. and D. Finon, 2014. European experiences with white certificate obligations: A critical review of existing evaluations, HAL archves-ouvertes.fr.
- González, P. F., M. Landajo and M. J. Presno, 2014a. Multilevel LMDI Decomposition of Changes in Aggregate Energy Consumption. A Cross Country Analysis in the EU 27. *Energy Policy*, 68, 576-584.
- González, P. F., M. Landajo and M. J. Presno, 2014b. Tracking European Union CO₂ Emissions Through LMDI Decomposition. The Activity Revaluation Approach, *Energy*, 73, 741-750.
- Han, T. and W. Shin, 2007. Decomposition of CO₂ Emissions in the Manufacturing Sector. *Environ. Resour. Econ. Rev.* 16, 723-738.
- IEA, 2014. Capturing the Multi Benefits of Energy Efficiency.
- IEA, 2015. Energy Efficiency Market Report 2015.
- IEA, 2017. Energy Efficiency 2017.
- Jeong, K. and S. Kim, 2013. LMDI Decomposition Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the Korea Manufacturing Sector, *Energy Policy*, 62, 1245-1253.
- Jin, S. H. and I. C. Hwang, 2009a. A Study on the Characteristics of Local Energy Consumption by Using Index Decomposition Analysis. *Environ. Resour. Econ. Rev.*, 18, 557-586.
- Jin, S. H. and I. C. Hwang, 2009b. An Index Decomposition Analysis of Local Greenhouse Gas Emission Characteristics: Focusing on Energy Sector. *Environ. Policy*, 17, 101-128.
- Kim S., 2017. LMDI Decomposition Analysis of Energy Consumption in the Korean Manufacturing Sector, *Sustainability*, 9, 202, 1-17.
- Lee, K. and W. Oh, 2006. Analysis of CO₂ Emission in APEC countries. *Energy Policy*, 34, 2779-2787.
- Liu, L., Y. Fan, G. Wu and Y. Wei, 2007. Using LMDI Method to Analyze the Change of China's Industrial CO₂ Emissions from Final Fuel Use: An Empirical Analysis. *Energy Policy*, 35, 5892-5900.
- Micale V., M. Stadelmann and L. Boni, 2015. Energy Saving Insurance: Pilot Progress, Lessons Learned, Replication Plan, The Lab.
- Na, I. and S. Oh, 2008. The Change Factor Analysis of Energy Efficiency of the Industrial Sector. *Environ. Resour. Econ.*, 17, 255-286.
- Oh, I., W. Wehrmeyer and Y. Mulugetta, 2010. Decomposition Analysis and Mitigation Strategies of CO₂ Emissions from Energy Consumption in South Korea. *Energy Policy*, 38, 364-377.
- Ren, S., H. Yin and X. Chen, 2014. Using LMDI to Analyze the Decoupling of Carbon Dioxide Emissions by China's Manufacturing Industry, *Environ. Dev.* 9, 61-75.
- Tian, Y., Q. Zhu and Y. Geng, 2013. An Analysis of Energy-Related Greenhouse Gas Emissions in the Chinese Iron and Steel Industry. *Energy Policy*, 56, 352-361.
- Wade, J., V. Wiltshire and I. Scrase, 2000. National and Local Employment Impacts of Energy Efficiency Investment Programmes: Final Report to the Commission April 2000 Volume 1: Summary Report, Association for the Conservation of Energy, London.
- Wang, W.W., M. Zhang and M. Zhou, 2011. Using LMDI Method to Analyze Transport Sector CO₂ Emissions in China, *Energy*, 36, 5909-5915.
- Xu, J., T. Fleiter, W. Eichhammer and Y. Fan, 2012. Energy Consumption and CO₂ Emissions in China's Cement Industry: A Perspective

- from LMDI Decomposition Analysis, *Energy Policy*, 50, 821-832.
- Xu, S., Z. He and R. Long, 2014. Factors That Influence Carbon Emissions Due to Energy Consumption in China: Decomposition Analysis Using LMDI, *Appl. Energy*, 127, 182-193.
- Zhang, M., H. Li, M. Zhou and H. Mu, 2011. Decomposition Analysis of Energy Consumption in Chinese Transportation Sector. *Appl. Energy*, 88, 2279-2285.
- Zhao, M., L. Tan, W. Zhang, M. Ji, Y. Liu and L. Yu, 2010. Decomposing the Influencing Factors of Industrial Carbon Emissions in Shanghai Using the LMDI Method. *Energy*, 35, 2505-2510.

The Assessment of Multiple Benefit of Energy Saving on Manufacture Sector in Taiwan

Chien-Ming Lee^{1*} Han-Yu Tsai² Yue-Rong Hong³ Tze-Chin Pan⁴
Chi-Feng Huang⁴ Hsin-Chiu Lin⁵

ABSTRACT

Energy efficiency has its multiple benefits and becomes a no regret strategy for launching energy transition to respond to climate change internationally (IEA, 2014). This study applies the way of Logarithm Mean Divisia Index (LMDI) to assess the performance of energy efficiency on manufacture sector in Taiwan. Moreover, this research evaluates the multiple benefits of energy saving investment in 2014 and 2015 respectively. The results show that the total energy saving has accumulated about 15,260 kLOE in the last ten years (2005-2015), and accounts for 36% share of the total amount of final energy consumption in 2016. This study provides the rationality of energy efficiency investment supporting policy on manufacture sector by the Taiwanese government.

Keywords: Manufacture Sector, Energy Efficiency, Multiple Benefits, LMDI

JEL Classification: Q21, Q25, Q28

¹ Professor, Institute of Natural Resource and Environmental Management, National Taipei University.

² Master Student, Institute of Natural Resource and Environmental Management, National Taipei University.

³ Assistant, Institute of Natural Resource and Environmental Management, National Taipei University.

⁴ Senior Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

⁵ Administrator, GEL, ITRI.

*Corresponding Author, Phone: +886-2-8674-1111#67335, E-mail: cmlee@mail.nptu.edu.tw

Received Date: April 3, 2018

Revised Date: August 8, 2018

Accepted Date: August 22, 2018