

淨零願景下化學產業減碳技術的發展方向

台灣亞太產業分析專業協進會 101 年認證產業分析師 劉致中

一、前言

化學產業貢獻了全球 1% 以上的 GDP (Oxford Economics, 2019)，消耗了全球初級能源產品總量的 30%，每日約消耗了全球石油需求的 14%(1,400 萬桶/日)、全球天然氣需求的 9%(約 3,150 億立方米/日)，是全球最大的初級能源產品使用產業，產業整體的碳足跡總量驚人。

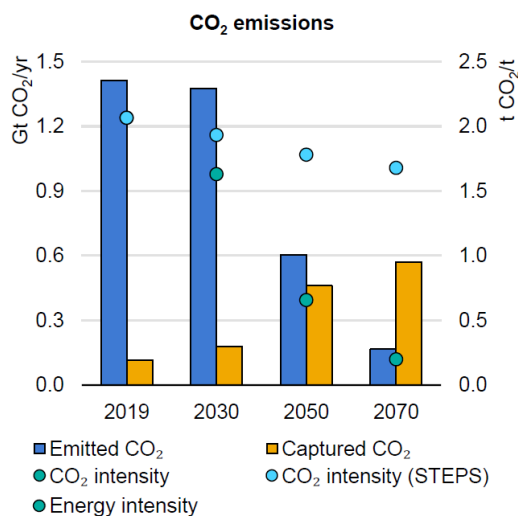
但化學產業約使用一半的石油、天然氣做為生產原料，因此產業碳足跡中約一半的碳足跡，最後進入了化學產業產出的最終產品中，而不是在生產過程中以燃燒或以其他方式排放至大氣中。因此化學產業使用初級能源產品的量雖高於鋼鐵和水泥行業，而溫室氣體排放量則低於鋼鐵和水泥行業，約佔工業排放總量的 16%。也因此化學產業要降低產業碳足跡須從兩個方向著手，一是降低生產製程的能耗，二是將從地底挖出作為原料使用的石油、天然氣等高碳量原料盡量回收循環利用，避免因燃燒處理廢棄化學品，而將其中的碳含量由固態變成氣態的二氧化碳逸散至大氣中，因而加劇溫室效應。

二、IEA 擘劃的化學產業減碳願景

IEA(國際能源總署)提出 2070 年全球化學產業可達到的減碳目標(如圖一)。2070 年時的化學產業由於業內大幅投資二氧化碳捕捉、封存、再利用技術(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)，二氧化碳捕捉能力由 2019 年的 0.13 Gt 提升至 2070 年的近 0.6Gt；仍存在的剩餘排放被電力和其它能源產業轉型的負排放所抵消。整體來說，產業總排放量下降了約 90%，從 2019 年的 1.4Gt CO₂ 下降至 2070 年的 0.2 Gt CO₂；排放強度(生產 1 噸化學品所產生的排放量)也下降了 90%。

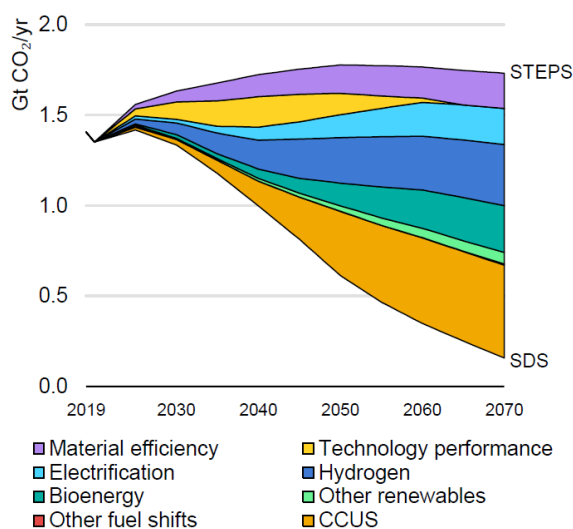
這些排放量的下降，由於(1)材料使用效率增加(Material efficiency)、(2)製程性能改進(Technology performance)、(3)設備電氣化(Electrification)、(4)生質料源(Bioenergy)使用增加、(5)綠氫原料(Hydrogen)使用增加、(6)CCUS 技術的廣泛推廣、(7)再生能源的使用(Other Renewable)、(8)低碳能源使用量增加(Other fuel shift)等因素，讓整體化學產業的 CO₂ 排放量大幅的下降能(如圖二)。

備註：STEPS(Stated Policies Scenario)現有政策下的 CO₂ 排放情景



資料來源：Energy Technology Perspectives 2020, IEA(2021)

圖一、2019~70 年間永續發展情境下全球化學產業的二氧化碳排放狀態



備註：SDS(Sustainable Development Scenario)永續發展情境

資料來源：Energy Technology Perspectives 2020, IEA(2021)

圖二、2019~70 年間永續發展情境下全球化學產業的 CO₂ 減排量

三、願景下搭配的減碳技術

「材料使用效率增加」主要透過廢塑膠的回收和再利用，減少從礦產原料生產初級化學品 (Virgin/Primary Chemical) 來提升材料使用效率，目前正在發展的回收技術包括：(1)化學解聚技術—使用化學品將聚合物分解成單體、(2)溶劑溶解技術—使用溶劑來純化和分離出與原始塑膠品質相當的聚合物、(3)熱裂解技術—利用高溫將混合廢塑膠轉化為液態碳氫化合物、(4)水熱法技術升級版—應用超臨界流體分解聚合物，這些技術回收的廢塑膠可在 SDS 情境中達到近 15% 的減排量。

「製程技術性能改進」可由(1)製程能源的使用效率由目前水平提升到可達到的最佳(適)水平、(2)製程間熱整合、(3)更新輔助設備和公用設施為最高效設備、(4)製程的智慧控制和監控、(5)設備預測性維護等作法，在減碳初期快速有效的達到減排效益。

「設備電氣化」與「增加綠氫原料使用」需搭配足夠的綠電。其中「設備電氣化」為將原先由燃燒煤炭產生蒸汽驅動的設備改由綠電驅動，「增加綠氫原料使用」是在既有的 C1 化學品與肥料產業製程中，使用綠氫做為原料進行甲醇與氨氣的合成，替代原先由煤或天然氣裂解大量產生 CO₂ 排放的製程。

SDS 情境的前期，生質料源對減排的貢獻很小，但到 2070 年，它將佔化學產業能源消耗的 10% 左右。目前業界在開發的生質料源技術包括：(1)生質料源氣化製氫技術(2)生質料源氣化製甲醇技術(3)生質料源製乙烯技術(4)木質素基的 BTX 生產技術，這些技術可以協助減少釋放地底挖出的碳源，讓化學產業的生產原料使用可循環的碳源。

CCUS 技術是最為廣泛討論的技術，目前在業界開發的 CCUS 技術有：(1)搭配既有甲醇製程的 CO₂ 化學吸附技術、(2)搭配既有甲醇製程的 CO₂ 物理吸附技術、(3)搭配既有氨製程的 CO₂ 化學吸附技術、(4)搭配既有氨製程的 CO₂ 物理吸附技術、(5)搭配既有大宗化學品製程的 CO₂ 化學吸附技術、(6)搭配既有大宗化學品的 CO₂ 物理吸附技術。

再生能源與低碳能源的使用則須配合能源產業的低碳技術，不再此多做敘述。

四、執行可能遭遇困境

由於下列的關鍵因素，讓全球化學產業的溫室氣體排放量被認為難以減少：

1. 石化產品製程的高溫需求—生產乙烯、丙烯、苯、甲苯、二甲苯的蒸汽裂解裝置(Steam Cracker)，和其他大型蒸餾設備需在接近 1,000°C 的溫度下運作，使用由綠電取代燒煤或天然氣來供應如此大量的熱量目前仍有技術困難度且昂貴(數個降低電氣化成本的計畫近期才開始執行)。其它搭配高溫製程的技術，如：二氧化碳捕捉、儲存與再利用技術(CCUS)和氫的生產技術目前仍尚未達到商業化階段。
2. 既有大型資本資產替換不易—蒸汽裂解裝置等上游設備非常巨大，建造成本亦高，通常使用 30 年以上的一些歐洲和美國的老設備，才有可能提早淘汰。由於須考慮到建造這

些設備的巨額投資(大型裂解裝置的成本約為 40 億美元)，未達攤提年限，將會產生巨大的成本損失。

3. 貿易競爭考量—大宗化學品及其衍生物的市場，其中許多產品可以具經濟效益的長距離運輸，具有國際性和高度競爭性。這使得生產國很難引入提高成本而不損害其出口的減碳措施，除非所有競爭者都這樣做。碳邊界調整措施(CBAM)也許可以提供一些保護，但在政治上會遭遇化學生產商的挑戰和阻撓。同時化學品國際供應鏈也非常複雜，通常跨越多個國家，因此在某一個司法管轄區採取的減碳措施，可能會對原料和產品市場產生連鎖反應。
4. 化石原料替代困難—為了將化學產業供應鏈的溫室氣體排放最小化，包括製造原料、化學品的使用與化學品生命終結後的處置所產生的溫室氣體排放都需考量。如要達到淨零目標，則：原料中的碳和氫成分都必須來自大氣或電解氫、使用後化學產品需全數回收、使用生質能源等。由當前的技術和生質能源的有限性來看，這是一個巨大的長期挑戰。

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>