

## 發展循環經濟，「築」台灣產業的未來

徐明華 | 高雄市政府經濟發展局技士

### 壹、前言

資源耗盡不再是科學家論文中的數字，而是開始倒數計時的沙漏，2010 年後出生的世代即將面臨的衝擊。知名管理顧問公司麥肯錫(McKinsey)研究指出，2025 年全球人口將新增 11 億、中產階級人數將達到 30 億，這些新增中產階級的消費需求將使得生產糧食、衣服、鋼鐵、塑膠等產品所需的原料需求遽增，大宗原料的供應匱乏將造成市場價格的震盪。若維持以往從線性思維與方式來生產產品，製程中大量的原物料耗損與產品生命週期終了後丟棄的廢棄物將暴增，環境的負荷將更為沉重，適合人類居住的空間將更形壓縮。同時更令人憂心的是，地球資源衰竭的速度將加快：原油將在 2046 年枯竭，而貴重金屬如銀、鎵、鋁等 22 種半導體、電子等高科技產業必需的元素，可用年限低於 50 年，若不積極改變產品生產與使用的思維，我們的下一代將面臨無原料可用，生活水平下滑的生活困境。

而高雄是台灣的生產重鎮，石化材料、鋼鐵、金屬扣件等產業均以高雄為中心進行發展，在未來極有可能在資源耗盡的情境下，許多家庭賴以為生的這些產業將會消失，因此如何擘劃產業未來的發展型態，同時因應產業未來發展的需求成為現今高雄城市發展最重要的課題。

高雄市境內多處設置工業區、加工出口區及產業園區，例如：大發工業區、仁大工業區、永安工業區、林園工業區、臨海工業區、鳳山工業區、楠梓加工出口區、前鎮加工出口區，以及本洲產業園區等。



圖 1 高雄市工業區分布圖

高雄市產業發展重心以基本金屬製造業、化學材料製造業、石油及煤製品製造業、金屬製品製造業、電子零組件製造業及批發業等六大產業。若就 100 年本市中各行業別之生產總額觀察，前 10 大中行業創造本市 7 成 1 之生產總額，其中前 6 大即貢獻 6 成 2 生產總額，創造 3 成之就業機會，係本市產業發展重心(表 1)。

表 1 100 年高雄市工商及服務業場所單位生產總額前 10 大中行業之經營概況

	年底場所單位數		年底從業員工人數		全年生產總額		主要生產行政區 (生產總額占 該業比率) (%)
	(家)	與 95 年底 增減比較 (%)	(人)	與 95 年底 增減比較 (%)	(百萬元)	占全國 該業比率 (%)	
總 計	151,480	6.29	874,939	4.41	3,925,560	-	
按「生產總額」排序前 10 大中行業							
基本金屬製造業	468	-1.06	27,164	1.94	658,305	43.37	小港區(61.87%) 橋頭區(12.65%)
化學材料製造業	220	15.79	16,043	26.55	629,667	29.04	林園區(52.05%) 仁武區(16.98%)
石油及煤製品製造業	29	-14.71	3,979	4.52	508,295	37.55	楠梓區(54.57%) 小港區(44.49%)
金屬製品製造業	3,891	14.34	47,528	6.48	234,258	20.41	岡山區(24.38%) 路竹區(12.02%)
電子零組件製造業	349	-7.18	51,293	-14.07	193,649	5.53	楠梓區(57.27%) 前鎮區(21.58%)
批發業	27,043	6.87	113,031	6.57	191,367	9.30	三民區(16.80%) 前鎮區(13.83%) 苓雅區(12.80%)
專門營造業	9,652	9.46	52,142	-11.60	117,755	15.54	三民區(12.92%) 鳳山區(11.94%) 前鎮區(11.25%)
零售業	37,856	-3.96	95,411	0.29	104,449	10.25	三民區(16.01%) 前鎮區(12.35%) 鳳山區(10.71%)
其他運輸工具及其零件製造業	310	-20.92	12,993	-13.52	79,160	23.45	小港區(34.88%) 三民區(26.68%)
電力及燃氣供應業	43	-14.00	4,111	0.96	78,206	12.38	永安區(28.51%) 小港區(16.16%) 鼓山區(13.83%)

根據 100 年工商及服務業普查資料觀察，其中狹義石化產業是高雄最主要產業(廠商家數為 142 家占全國石化業 1,000 家之 14.20%、高雄產業總家數之 0.09%、從業員工人數為 12,837 人占全國石化業 49,598 人之 25.88%、全高雄就

業人口之 1.47%、生產總額約 4,422 億元占全國石化業 1 兆 8,060 億元之 24.49%、高雄總產值之 11.27%)(表 2、表 3)。石化產業之經濟貢獻係以支援並帶動其他相關產業發展為主，以行政院主計處最新統計 52 部門產業關聯表，石化業向前關聯(對下游的影響)達 4.7，在向後關聯(對上游的影響)達 1.68，在各產業中分別居第二與第一位，102 年我國石化業產值為 1.92 兆元，占整體製造業產值(13.9 兆元) 13.8%，間接帶動產值為 7.29 兆，超過本業甚多，對於台灣整體經濟成長有巨大的貢獻。

表 2 100 年廠商家數與年底實際運用固定資產淨額

單位：家、百萬元

年度	100 年			
行業別	全國		高雄市	
	家數	運用固定資產淨額	家數	運用固定資產淨額
全國產業合計	1,246,278	27,440,445	151,480	3,568,582
製造業合計	162,612	9,064,964	13,827	1,443,857
紙漿、紙及紙製品製造業	3,675	136,620	224	11,004
印刷及資料儲存媒體複製業	9,777	89,610	732	6,300
石油及煤製品製造業	179	465,597	29	215,645
化學材料製造業	1,737	747,234	220	226,376
石油化工原料製造業	111	177,546	33	64,983
合成樹脂、塑膠及橡膠製造業	889	285,175	109	51,164
化學製品製造業	2,519	107,710	253	10,918
藥品及醫用化學製品製造業	564	84,826	54	4,135
橡膠製品製造業	1,796	66,303	151	2,838
塑膠製品製造業	11,349	219,153	640	17,372
石化產業	<b>1,000</b>	<b>462,721</b>	<b>142</b>	<b>116,147</b>
石化產業占製造業比例	0.61	5.10	1.03	8.04
石化產業占全国產業比例	0.08	1.69	0.09	3.25
化工產業	<b>31,596</b>	<b>1,917,055</b>	<b>2,303</b>	<b>494,589</b>
化工產業占製造業比例	19.43	21.15	16.66	34.25
化工產業占全国產業比例	2.54	6.99	1.52	13.86

資料來源：行政院主計總處，100 年工商及服務業普查。

表 3 100 年年底從業員工人數與全年生產總額

單位：人、百萬元

年度	100 年			
行業別	全國		高雄市	
	從業員工人數	生產總額	從業員工人數	生產總額
全國產業合計	8,017,072	29,422,674	874,939	3,925,560
製造業合計	2,730,002	16,856,059	265,935	2,703,890
紙漿、紙及紙製品製造業	49,453	219,362	4,282	23,887
印刷及資料儲存媒體複製業	57,263	120,829	3,572	7,640
石油及煤製品製造業	11,640	1,353,476	3,979	508,295
化學材料製造業	72,185	2,168,472	16,043	629,667
石油化工原料製造業	11,334	642,214	4,264	223,251
合成樹脂、塑膠及橡膠製造業	38,264	1,163,869	8,573	218,986
化學製品製造業	44,981	235,471	4,751	27,033
藥品及醫用化學製品製造業	25,027	87,900	1,340	3,770
橡膠製品製造業	36,100	126,331	2,246	5,194
塑膠製品製造業	128,421	446,744	9,256	34,802
石化產業	<b>49,598</b>	<b>1,806,084</b>	<b>12,837</b>	<b>442,238</b>
石化產業占製造業比例	1.82	10.71	4.83	16.36
石化產業占全国產業比例	0.62	6.14	1.47	11.27
化工產業	<b>425,070</b>	<b>4,758,585</b>	<b>45,469</b>	<b>1,240,289</b>
化工產業占製造業比例	15.57	28.23	17.10	45.87
化工產業占全国產業比例	5.30	16.17	5.20	31.60

資料來源：行政院主計總處，100 年工商及服務業普查。

高雄市的狹義石化產業是以台灣中油股份有限公司為中心(高雄廠五輕及林園廠三、四輕)提供石化原料，形成大社-仁武-林園石化中心的產業群聚。其中石化產業生產原料係由中油公司的高雄煉油廠及大林煉油廠生產提供，又以位於楠

梓區的高雄煉油廠為台灣中油最大生產基地。石化原料係仰賴地下管線輸送，將石化原料送往林園工業區及仁大工業區的石化中下游產業，石化產業群聚工業區之相關工廠份佈如下。

### 一、大社工業區

12 家廠商；11 家為石化相關廠商（90.91%）。化學材料製造業 9 家、化學製品製造業 2 家。

### 二、仁武工業區

37 家廠商；10 家為石化相關廠商（27.03%）。塑膠製品製造業 5 家、化學製品製造業 2 家、印刷及資料儲存媒體複製業 1 家、化學材料製造業 2 家。

### 三、林園工業區

31 家廠商；27 家為石化相關廠商（87.2%）。化學材料製造業 23 家、化學製品製造業 4 家、石油及煤製品製造業 1 家。

表 4 高雄主要石化工業區簡介

工業區	編定 完成時間	開發 完成時間	總面積 (公頃)	就業人口	年產值 (億元)
大社工業區	62.08	第一期：60 第二期：64	109.94	2,867	910
仁武工業區	59.06	60.02	21	2,385	220
林園工業區	62.06	64.12	403.26	5,115	2,523

資料來源：104 年度年報及各工業區簡介

備註：仁武、大社工業區面積 130.94公頃；區外石化廠面積約 150公頃（台塑仁武廠、台聚等）

高雄市狹義石化產業廠商所帶來的產值最為巨大，但其對於能源物料需求及環境影響也最為強烈，在未來極有可能資源耗盡與社會環保意識抬頭的情境下，許多家庭賴以為生的這些產業可能消失，因此如何擘劃產業未來的發展型態，同時因應產業未來發展的需求，成為現今產業發展同時兼顧環境永續的重要課題。



## 參、嗅到危機，各國提前循環經濟佈局

歐美先進國家意識到資源匱乏的急迫與嚴重性，認為「循環經濟」將是支撐下一世代經濟發展的主軸之一，從石化生產體系到一般工業區紛紛提前轉型布局。

### 一、石化生產體系轉型

德國 BASF 公司的 Ludwigshafen 生產園區積極提升生產效率並減少廢棄物料，並實施一體化物流系統減少運輸成本，將上游原料、中間產品在園區內直接轉換成高附加價值的終端產品，提升生產效率與產品價值，減少中間運輸次數及能源消耗，將生產園區賦予產品價值的極大化，同時對周遭環境影響的極小化。

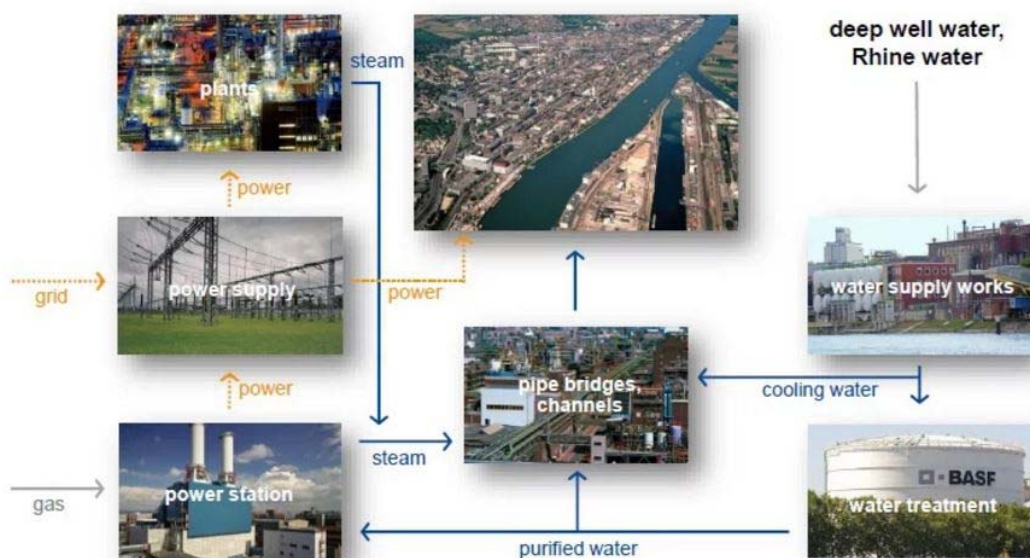


圖 2 BASF Ludwigshafen Site (圖片來源：BASF)

### 二、既有工業區的改變

丹麥的柯倫德堡(Kalundborg)工業區則從廠商間的副產品交換再利用開始，自發性的形成生態共生園區：煉油廠原先燒掉的瓦斯供應給水泥合板廠，火力發電廠則將蒸氣廢熱供應科倫德堡市、製藥化學工廠與煉油廠，火力發電廠抽海水做為冷卻之用，以減少自蒂瑟湖淡水之取用；此外，所生之熱海水則供應 57 處

陸上養殖漁業，使得養殖漁種得以終年四季生長，生產量與收益提高數倍；製藥化學工廠廢水處理後所剩廢污泥與養殖漁業之池底污泥則供應農家之田間肥料。火力發電廠之二氧化硫等硫化物在飄出煙囪前，先以碳酸鈣中和成硫酸鈣，並過濾收集作為水泥合板廠三分之二原料來源。製藥化學工廠製造胰島素產生之酵素副產物，則出售給養豬業當豬飼料。

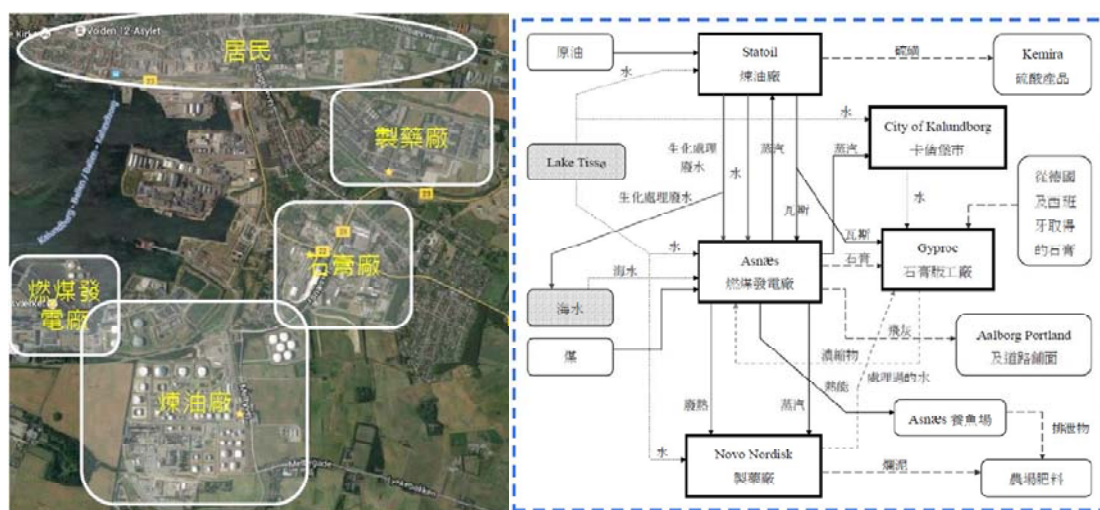


圖 3 丹麥科倫德堡工業區及資源循環圖(圖片來源：工業研究院)

日本北九州生態鎮則是將工業區內廢棄物，經中央複合回收中心回收後利用，能生產電力回供園區廠商，或製成可用材料出售。1997 年由傳統工業區轉型為生態鎮後，迄今有 400 個廠家進駐，計畫前六年創造約 13.4 億美金投資及 6,400 個工作機會(圖 4)。





圖 4 日本北九州生態城(圖片來源：工業研究院)

## 肆、高雄經驗、台灣驚艷

### 一、循環經濟模式

對於高雄的製造業來說，材料循環是主要的製造業物質流向，過去製造業經濟模式是線性生產：原料→零件→產品→服務提供→使用者(圖 4)。



圖 5 線性經濟模式

循環經濟的製造業是材料和產品都回到生產鏈中(圖 6)，在材料循環方面由開採製造原料→零件製造→產品製造→服務提供→使用者，但是使用過的材料經過修理、回復、再利用、再製造又重回到循環鏈上。

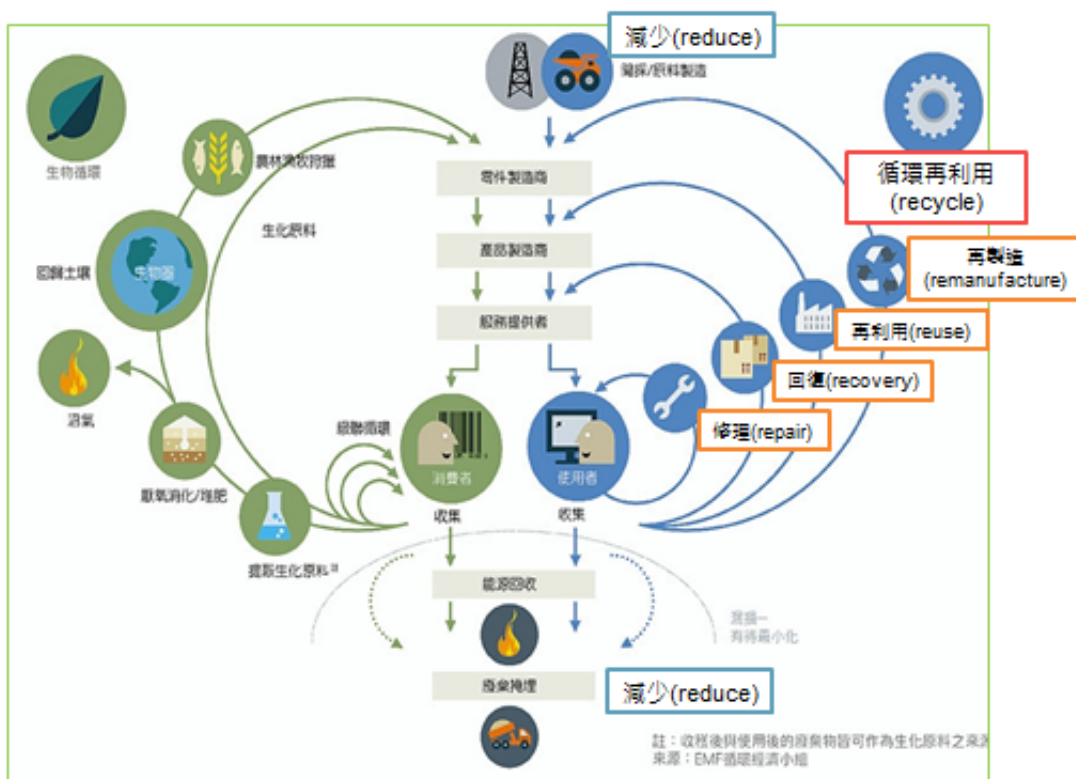


圖 6 循環經濟之物料流模式

資料來源：循環台灣基金會改編自 Ellen Macarthur Foundation 報告

由圖 6 Ellen Macarthur Foundation 循環經濟的架構可以看出，已經使用之產品有 6 種回到循環鏈的步驟(6 R)：

- (一)Recycle(循環再利用)，包括使用過的原料、零件、產品回到循環鏈上再使用。
- (二)Repair (維修)，產品有故障維修後回到使用者。
- (三)Recovery(回復)，使用過的產品回到產品服務商，經過檢修整理再度賣到使用者。
- (四)Reuse (再利用)，將使用過的產品拆解，可用的零件回到產品製造商，經過組合再度賣到產品服務商。
- (五)Remanufacture(再製造)，將使用過的產品之零件分解、純化、提高性能成為可用的材料，回到零件製造商生產合格零件，製造產品銷售。
- (六)Reduce(減少)，在材料循環鏈上無論原料生產、再製、廢棄物處理，都需要提高製程效率，減少原料使用、減少能源資源浪費、減少廢棄物排放。

## 二、高雄市循環經濟實例

高雄推動「循環經濟」概念是為因應高雄在地經濟發展與環境永續需求而來，希望將現有工業區中重工業生產廠商製程中所產生之可再利用副產品整合再運用，降低園區進駐廠商的生產成本，同時規劃將區內廠商生產製程中產出的廢熱、蒸氣回收利用，例如：將鋼鐵廠製程中剩餘的熱能，整合用於汽電共生進行發電，蒸汽提供給臨近廠家使用，減少原先為取得蒸汽，所燃燒的煤、天然氣或燃料油等消耗及汙染(圖 7)，運用高雄既有的廢水資源，經處理後供應區內廠商生產所需用水，有效節省廠商生產成本、降低廢棄物的排放、改善環境汙染問題，降低產業發展對於環境所來的衝擊。

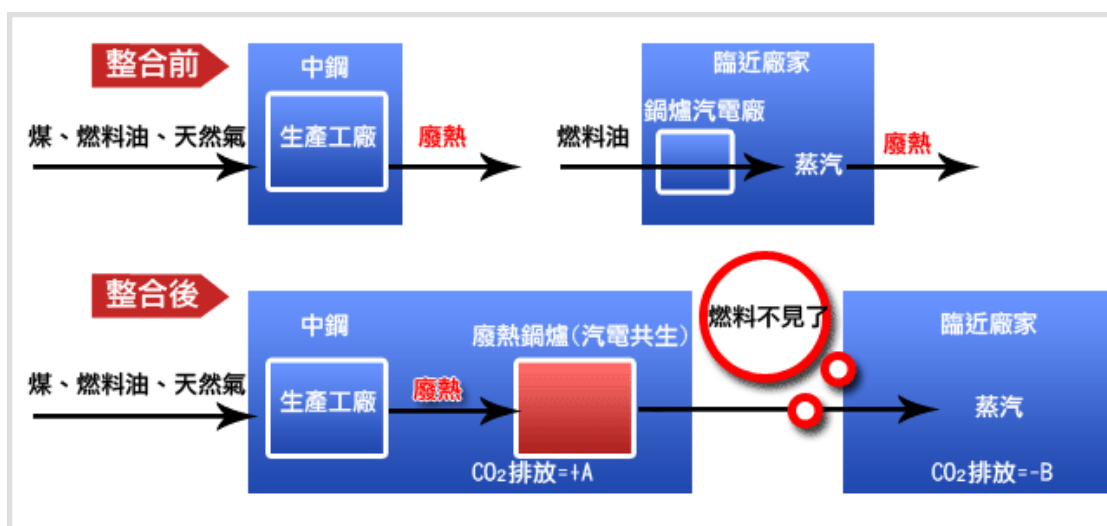


圖 7 熱能整合前後流程

而高雄臨海工業區內以「中鋼公司」、「中油公司」為核心之工業區能資源供應網就是典型的能源循環再利用的案例，中鋼公司將生產過程中所產生之廢熱及汽電共生廠產出的蒸汽，以及氧氣工場剩餘產能產出的氧氣、氮氣、氬氣等，計有 14 家廠商參與 11 種能源整合(圖 8)。鄰近工廠可降低蒸汽成本，亦可將燃油鍋爐關閉，消除燃油鍋爐的空污排放、工安問題及降低溫室氣體排放，提高工業區的整體能源效率等，創造多贏綜效。

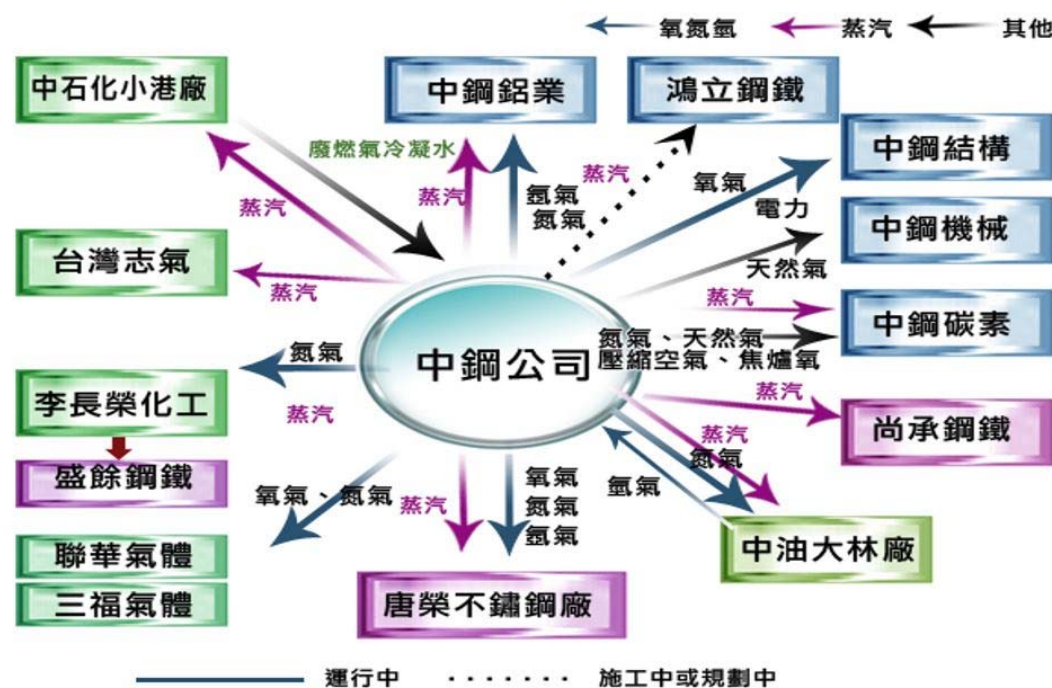


圖 8 以中鋼公司為核心的循環經濟圈示意圖

以中油公司大林廠為核心的循環經濟圈為例，中油公司利用中鋼公司煉鋼產生的蒸汽及高濃度氮氣作為全廠的熱能及製程吹管及絕氧之進料，志氣生產氮氣的副產品氫氧化鈉則可作為脫硫製程後處理酸鹼中和的原料，而中油重油裂解工廠所生產的氫氣可供應週遭鋼鐵廠製不鏽鋼時去雜質之用，另外是供應給中鋼混合一氧化碳作製程燃料氣之用。

長久以來，有關石化產業環境外部成本議題一直是眾所討論的焦點，而在環境面政府亦持續要求石化產業業者配合政策營造低碳產業結構主軸，推動化學材料業節能減碳及轉型升級，並融合政府資源循環再利用與石化高值化發展政策，發展綠色材料循環經濟產業。





圖 9 以中油公司為核心的循環經濟圈示意圖

## 伍、高雄市循環經濟的發展規劃

過去，高雄工業生產線性模式，讓能資源大量消耗及浪費，也造成環境汙染，無形中也讓企業付出較高的生產成本，你我都不願意看見的三輸局面，為了突破經濟發展與環境永續在天秤兩端的窘境，如何將既有工業區內工廠生產過程中產生之蒸氣、尾氣及廢水、廢熱，導引作為區內其他工廠的生產資源，一改過去「製造、生產、廢棄」的線性經濟模式，透過資源的妥善循環的方式再利用，既滿足經濟發展，又能兼顧環境保護的需求，發展「循環經濟」是經濟與環境共生、共存、共榮之道。

而高雄欲發展之「循環經濟」模式，其中「公共管線的構築」、「廢棄物資源化的適切管理與運用」、「資源物料循環平台」與「修改法令加速循環經濟的推動」是規劃的主要方向，未來更計畫將石化高值化生產製程效能納入管理，採每年輪

動檢討的方式，促使廠商不斷提升能資源的使用效能，達到在地產業永續發展規劃目標。

### 一、公共管線的構築

經由新加坡裕廊島的例子與國外舊有園區發展最終型態可知，在既有工業區內要實踐能源與資源的循環利用，須倚靠公共管線設施的串聯，建構公共管線，將能、資源循環再利用的每一工廠間，串聯起來，方可達到能、資源的「互通有無」、「高效率運用」、「經濟規模」與「降低取得成本」的功效，廠商也因為生產成本的有效降低而有較高的發展意願。

### 二、廢棄物資源化的管理與運用

目前，台灣的事業或家用廢棄物多由清運機構回收後，交給合法單位處理，多年來回收率高達 74%，但再利用的比例卻不高。尤其，台灣廢棄物回收處理廠雖多，但技術層次較低，比方說日本有能力將回收的生質汙泥精煉出貴重金屬再行轉賣，然而台灣回收廠僅能做到汙泥烘乾減量後掩埋。

高雄地區既有工業區所產生的製程廢棄物，依據環保署公佈的資料，為全台最大宗，如能藉由無害化技術進行處理，並建立完善的再利用管理機制，將這些廢棄資源充分再利用，不僅解決目前工業區廢棄物因處理成本過高或處理方式失當造成的去化不及問題，也可以降低廠商購買生產原料、取得土地與建設建築物的成本，達到節省政府在新園區開發的支出及培育循環相關產業的萌芽與成長。

### 三、資源物料循環平台

「資源物料循環平台」涵蓋產業內外或異業結合的循環資訊之環境建構，資源物料包含原料、產品、副產品、廢棄物料（物）與其他資材，循環機制包含從產品設計到減量、再利用與循環使用，也包含每個循環階段的使用效益與價值創造。

### 四、修改法令加速循環經濟的推動

能源使用與整合可能牽涉範圍包含污染排放管制、溫室氣體管理、資源回收再利用等法規，能源整合在溫室氣體排放計算上的問題，甚至可能還涉及道路與公共管線相關法規。



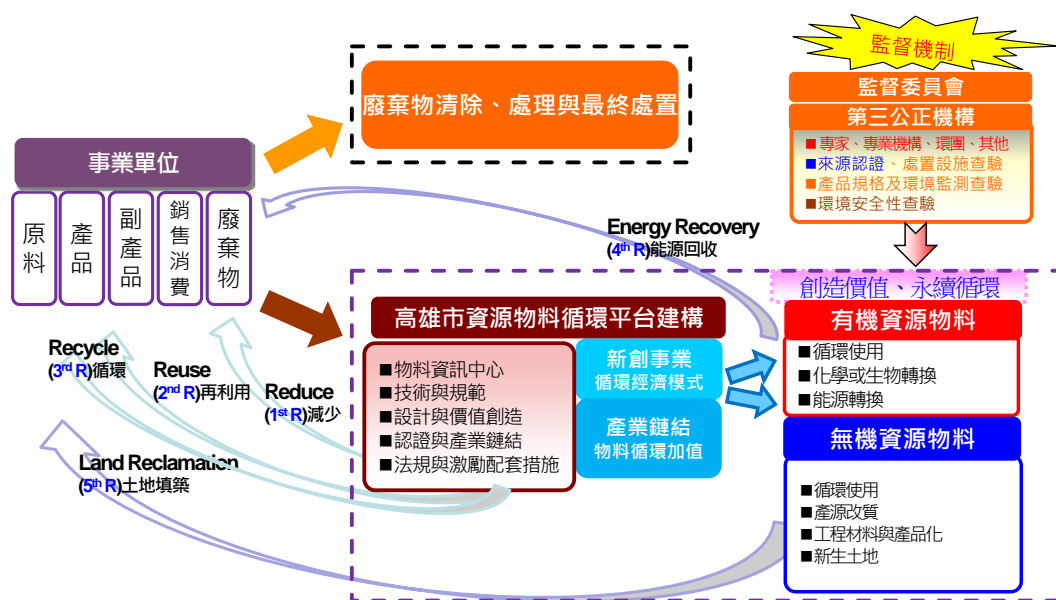


圖 10 物料循環平台機制建構概念

此外，根據廢棄物管理法規範，廢棄物跨廠利用不易。舉例來說，半導體產業製程中排出的硫酸，加氨後便成為肥料產品之原料硫酸銨，此一方式卻礙於現行法令無法用於製造肥料，因此目前業者的作法是先將原料外銷其他國家。另外，食品廠每日用來清洗容器的廢水達 500 噸且淨度高，如果能提供給隔壁的染整廠，就可為兩廠省錢又解決問題。

因此從盤點現行相關法規及從已推動的廠商，例如中鋼、台橡、國喬，了解法規在能源使用與整合上造成的阻礙。據以修改法令，排除未來可能遇到的阻礙。

## 陸、結語

蕞爾小島，台灣更應重視循環經濟

台灣戰略物資過於仰賴進口，是該正視的問題，尤其是支撐國家經濟重任的工業，更需積極轉型。台灣產業現行的生產模式多為線性生產，製程中產生的資源耗損都視為「萬不得已」的犧牲，頂多在製程終端回收部分堪用資源、或將廢棄物以合乎法規的方式處理，可惜的是，許多能再利用的珍貴資源、能重回製程

讓成本更精省的方法，都被忽略了。

綜觀全球生產循環園區的發展，多數由既有工業區轉型整合而來，原有工業區中的生產廠商排放的廢棄物，經適當處理變成另外一家公司的生產原料，是目前最常見的發展模式；新加坡的裕廊島雖不能說是完全為了循環經濟而發展的新園區，但其能源與資源透過公用管線的傳輸與分享，在某種程度上已經實踐了循環經濟的目標。

未來台灣的產業由原有的「線性經濟」走向「循環經濟」是必然的，但不可諱言，台灣工業區欲循先進國家模式，發展成綜合性循環經濟工業區，仍有許多關卡要突破。但樂觀地想，既知問題何在，就有解決契機。除了讓廢物變黃金，改變製程讓終端產物更易利用、甚至能開創商機，也是產業邁向循環經濟的致勝點之一。

有句話是這麼說的：「二十一世紀不該重蹈二十世紀的覆轍」。我們如果體認到下一代甚或在我們這一代就將面臨無資源可用的生活，為避免重返農林漁牧業的經濟生活，就要從現在開始改變！希望在未來，台灣的經濟發展與環境永續將不再是拉鋸與無交集的兩方，而是共生、共榮、共好的夥伴關係。

參考文獻 |

[1] 高雄市政府經濟發展局(2015)，從高雄氣爆事件探討石化管線的管理機制，城市發展半年刊，第十八期，10-12。

[2] 行政院主計總處，100 年工商及服務業普查，取自：[http://www.dgbas.gov.tw/ct\\_view.asp?xItem=35966&ctNode=3267](http://www.dgbas.gov.tw/ct_view.asp?xItem=35966&ctNode=3267)

[3] *Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs*(2014): Ellen MacArthur Foundation。

[4] 黃育徵（2017），循環經濟，台北：天下雜誌。

[5] 循環經濟基金會，循環經濟的概念，取自：<https://www.circular-taiwan.org/copy-of-new>

[6] 財團法人中技社(2015)，循環經濟發展趨勢與關鍵議題，專題報告，6，19-45。

[7] 工業技術研究院(2017)，循環經濟對化學與石化產業帶來的新機會與挑戰，專題報告，16-21。

[8] 張啟達(2016)，循環經濟對中小企業的商機，專題報告，22。