

應用永續發展概念及層次分析法評估永續產品之研究- 以中鋼公司的轉爐石為例

A study of applied sustainable development concept and Analytic Hierarchy process to evaluate the sustainable product - Taking the BOF slag of China Steel Corporation as example

黃義俊

國立高雄應用科技大學 企業管理系 教授

peterhun@cc.kuas.edu.tw

張維民

國立高雄應用科技大學 企業管理系碩士在職專班 研究生

2102335121@kuas.edu.tw

摘要

鋼鐵廠在煉鋼精煉過程所產生之副產物-轉爐石，常困擾鋼鐵業界的經營，從以往的研究發現只針對個別案例作應用說明，缺乏整體性評估。因此，本研究應用永續發展概念，並應用層次分析法建立轉爐石永續產品評估模式，再透過專家學者的問卷及利用 Expert Choice 軟體評選出轉爐石資源再利用的最佳永續產品型式。

本研究以鋼鐵廠轉爐石之應用為個案，從環境面、經濟面與社會面三個方向進行考量。以道路基底層、混凝土骨材、複合肥料、填海造陸、人工魚礁、瀝青混凝土骨材等六個案例進行評選。藉由 24 位業界專家與學者來進行評選，並以 Expert Choice 軟體分析發現，瀝青混凝土骨材這項轉爐石應用產品，不論是在環境面、經濟面、社會面都比其他應用產品更為優良。

關鍵字：轉爐石，永續產品，瀝青混凝土骨材，填海造陸，層次分析法評估。

Keywords: BOF Slag, sustainable product, aggregates for asphalt concrete, land reclamation, analytic hierarchy process.

1. 緒論

1.1 研究背景

鋼鐵產業一向被視為一個國家的戰略型產業，由於鋼鐵產業與其他產業的關聯性大，且為工業之母，舉世各國皆重視鋼鐵產業的發展，我國亦不例外，中鋼集團 2013 年粗鋼年總產能已達 1,550 萬公噸，在 2013 年世界各主要鋼鐵公司產量排名高居第 25 名，所產出的各種鋼材諸如鋼板、型鋼、鋼管、棒鋼、線材等已可 100% 供應下游產業的需求。

在鋼鐵生產製程中，須添加助熔劑(例如石灰石)，使與鐵礦石及焦炭中的雜質相結合而生成爐渣，自高爐排出冷卻所得之爐渣，稱之為高爐石，而自轉爐排出冷卻所得之爐渣，稱之為轉爐石，這些爐渣亦稱為副產物呈現量大而特性複雜的情形，以往此等副產物常被視為廢棄物，一般作為土木工程填方、填海造陸的圍堤背填、掩埋場便道級配、高鐵土建便道等用途。

1.2 研究動機

近年來由於溫室效應的影響造成全球氣候的巨大變遷，為了人類永續的發展，世界各國都在積極推動資源永續循環與節能減碳等相關政策，因此如何有效的處置廢棄物，使之成為有益綠色資源材料至為重要。轉爐石因受限於其膨脹特性等限制，以往常作為填海造陸圍堤背填、土木工程填方、掩埋場便道級配，其中絕大部分集中於工程填方與道路的應用，所以經濟上的成本回收並不是很明顯，大多是屬於解決轉爐石的處理問題，若能增加其應用的方式，則不但可以解決其處理問題，更可創造更大的經濟價值，基於上述的理由，本研究的目的主要是透過對轉爐石的特性以及目前各國利用情況的瞭解，提出對轉爐石資源化利用的幾種方案，分別對其進行探討研究，綜合比較出轉爐石資源化利用的永續發展最佳模式。

1.3 研究目的

本研究的目的主要是透過對轉爐石的特性和安定化處理以及目前各國最常利用的情況，提出對轉爐石資源化利用的幾種方案，分別對其進行研究，利用專家訪談、層次分析法綜合比較，算出各選擇方案的優先權重，最後再通過加權計算各選擇方案對最終目標的最終權重，以決定最終目標的最佳方案。本研究之目的具體敘述如下：

- (1) 蒐集各一貫化煉鋼廠之轉爐石資源化的應用案例。
- (2) 以永續發展的概念，發展轉爐石永續應用的模式。
- (3) 應用層次分析法評估轉爐石最佳資源化的方案。

1.4 研究流程

本研究之流程共分以下八個階段，首先確認研究背景與動機、確認研究目的與流程、相關文獻探討、建構研究架構、專家問卷訪談、整合問卷資料、檢定及分析結果、研究結論與建議，具體研究流程如圖 1.1

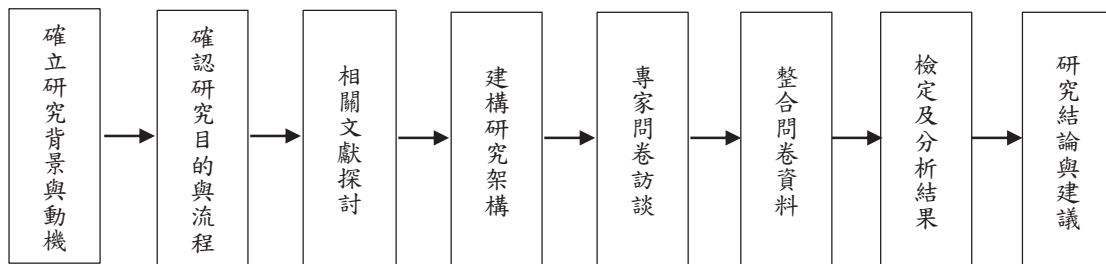


圖 1.1 研究流程

2. 文獻探討

2.1 產業分析

2.1.1 全球鋼鐵產業說明

鋼鐵具耐久性，可以重覆使用，節省天然資源等特性。鋼鐵的多功能性和可回收，帶來無數的創新應用。從產品生命週期的角度來看，節約的功能與效益，超過生產對環境造成的負面影響。鋼鐵在強度、可用性、可回收性的多功特性來看，都是材料界應用廣泛、歷史悠久、獨一無二的工業材料。鋼鐵產業屬於原料密集產業，歷經百餘年的演變，至今已是一種非常成熟的事業，也是國家的策略性基礎工業之一，它與其他產業的關聯性相當高，是運輸系統、基礎設施、建設、製造業、農業和能源等建設的材料供應中心；也是綠色經濟體系的核心，生產再生能源如太陽能、潮汐能和風能的主要材料，和經濟成長及環境責任緊密連結，是機械、電機、造船、建築、汽車、電器、五金等各類工業之基礎，也是國家建設的基礎工業；鋼鐵產業帶動下游工業的發展力量非常龐大，具有改善工業結構與促進整體經濟發展的功能，夙有「重工業之母」之稱，尤其是攸關一個國家的經濟穩定性與國防自主性，因此，鋼鐵產業的發展在各國政府都會受到高度的重視。

至2000年開始，中國大陸經濟開發迅速崛起，由於正在工業化及都市化且本身消費量龐大，鋼鐵需求量急遽攀升，甚至必須大量進口才能滿足需求，導致全球鋼鐵的需求大幅成長，因此各國包括中國大陸興起一窩蜂投資搶建新產線的熱潮，國際鋼協的全球粗鋼生產統計，至2012年全球粗鋼產量已達到15.59億公噸，較2011年成長1.44%。2013 年全球粗鋼產量首次突破16億公噸，達到16.07億公噸，較2012年成長3.0%。

因為在 2008~2009 年間有幾個國家陸續大幅擴充產能，導致全球產能過剩危機，尤其是中國大陸情況更為嚴重，它的國內產能擴充遠遠超過市場需求，加上國營企業跟隨政府政策而非市場規則，持續擴充產能，而老舊設備卻沒有完全被淘汰。目前已有超過 3 億公噸的過剩產能，過剩產能約占表面消費量 36%，而 2000 年僅占 19%，情勢日趨嚴峻，所以近年來中國大陸產能的增加速度，已明顯趨緩，主要因為中國大陸需求已接近飽和、產能亦嚴重過剩廠商經營獲利不佳所致。

2.1.2 台灣鋼鐵產業發展歷程與趨勢

(1) 產品定義與特性

粗鋼是指：「以各種鍊鋼方式生產的鋼水，經過鑄錠或連續鑄造方式所得的鋼胚錠，在台灣包括電爐、轉爐、

鑄鋼鋼水的生產方式。」

我國粗鋼生產因使用原料及設備不同，可分為以鐵礦砂為原料的高爐（Blast Furnace）煉鐵、氧氣轉爐（Basic Oxygen Furnace）煉鋼的一貫作業鋼廠（Integrated Plant），國內目前僅有中鋼與子公司中龍；即以廢鋼為原料的電爐（Electric Arc Furnace, EAF）煉鋼廠兩種，目前電爐煉鋼廠有東和、豐興、燁聯等18家廠商分布在全省各地，但主要大廠集中在南部地區。

其所生產之鋼液經過澆鑄或連鑄後，產品形式可包括扁鋼胚、大鋼胚、小鋼胚及鋼錠，等半成品稱為粗鋼，以及鋼板、條鋼、線材（盤元）、熱軋鋼捲片、冷軋鋼捲片、電磁鋼片、電氣鍍鋅鋼片、熱浸鍍鋅鋼片、鍍錫鋼片、彩色鋼片、鋼筋、型鋼、鋼管、不銹鋼熱軋鋼捲片和冷軋鋼捲片等成品稱為鋼材，而高爐煉鋼所生產扁鋼胚、大鋼胚、小鋼胚和鋼錠，是平板鋼、條鋼及其他成品的最上游原料。若以材質來分，其中九成為碳鋼，其餘為合金鋼與不銹鋼。

(2) 鋼鐵產業特質

鋼鐵產業建廠時間長，設備技術都非常的精緻，但投資回收慢，能源消耗又比其他的產業來的高。另外又有防制空氣汙染的問題、擴充廠房的土地問題，所以該產業的發展與上下關聯很大，必須仰賴其他產業如：電機、土木、運輸等工業的綜合支援，才能發揮其特性。可歸納條列出以下的特性：(1)資本/技術密集(2)能源密集(3)產業關聯性大(4)溫室氣體排放量高(5)屬內需型產業(6)原料仰賴進口

(3) 台灣鋼鐵產業的發展

1977年以前，台灣鋼鐵產業的結構，主要是以拆船以及電爐煉鋼為主，供應的產品計有鋼筋、盤元、棒鋼、及輕型鋼等，而平板類鋼品除少數來自再生廢船板外，多半以進口為主要原料。1971年，中鋼的一貫作業大煉鋼廠開始興建至1977年建廠完成，正式加入生產，供應鋼板、線材、機械結構用棒鋼等產品，使台灣鋼鐵業的生產結構改變，而鋼鐵的充足供應生產，是奠定我國成為全球性代工生產基地良好基礎的關鍵因素。

中國鐵股份有限公司，簡稱中鋼。成立於1971年，主要的工廠位於台灣高雄市臨海工業區，面積560公頃，總部則設於高雄市成功路集團大樓。從1977年12月第一階段建廠竣工開始，中鋼歷經1982年及1987年第二、三階段的擴建及1997年完工的第四階段擴建，2008年完成中龍鋼鐵公司股權百分之百持有，在台中龍井鄉進行中龍二期二階段的擴建，分別於2010年及2013年3月完成中龍第1及第2座高爐興建後，目前中鋼集團共計擁有高爐6座、轉爐8座，2013年粗鋼年總產能合計1,550萬公噸，在2013年世界各主要鋼鐵公司產量排名為25名。

中鋼集團產品主要為熱軋、冷軋、鍍面、鋼板、線材與條鋼。鋼品約38%外銷，62%內銷，國內市佔率逾百分之五十，為目前國內最大鋼鐵公司，且是唯一的一貫作業鋼鐵廠，主要外銷地區為中國大陸、日本與東南亞。國內另有普通鋼電爐廠15家，共計19座電爐，普通鋼電爐鍊鋼產能計1,134.3萬公噸，合計普通鋼產能2,684.3萬公噸。2013年台灣粗鋼產量為2,228.2萬公噸，在全球排名第12位，佔全球產量的1.39%，自給率為88.8%。

2.1.3 小結

鋼鐵產業一向被視為一個國家的戰略型產業，由於鋼鐵產業與其他產業的關聯性大，且為基礎工業，舉世各國皆重視鋼鐵產業的發展，我國亦不例外，在早期由於國內生產粗鋼產量過少，台灣一直是粗鋼的淨進口國，台灣約有將近一半粗鋼需求仰賴進口，近年來國內中鋼集團的中龍公司2座高爐陸續興建完工量產，加上東和桃園觀音廠汰舊換新及羅東鋼廠新增電爐，使得目前台灣每年的粗鋼進口量已降到281.8萬公噸。

儘管在煉鋼原料方面，一貫作業煉鋼廠所需之鐵礦砂及煉焦煤全部仰賴進口，而中鋼集團2013年粗鋼年總產能合計1,550萬公噸，在2013年世界各主要鋼鐵公司產量排名為25名，對於下游產業所需包括棒鋼、線材、鋼板、鋼管、型鋼等鋼材，國內的自給率幾乎都已超過100%，不僅是使我國成為全球性代工生產基地良好基礎外，並可供出口支援台商的全局佈局。

2.2 高、轉爐石

2.2.1 轉爐石之產生

在生產鋼鐵過程中，須添加助熔劑(例如石灰石)，使與脈石礦物(鐵礦石及焦炭)中的雜質相結合而生成爐渣，再藉爐渣比重較小的原理與鐵水分開，爐渣自高爐排出冷卻所得之固體物，稱之為高爐石(Blast Furnace Slag，簡稱BF)，而依冷卻方式的不同，又分為氣冷高爐石與水淬高爐石，通常冶煉一噸之鐵水即自高爐排出約300公斤之冷卻高爐石。而自轉爐排出冷卻所得之爐渣，稱之為轉爐石，轉爐石是鹼性氧化轉爐(Basic Oxygen Furnace, BOF)煉鋼一貫作業過程中的副產品，在鐵水經轉爐以氧氣吹煉脫除雜質煉成一噸鋼時，大約生產出130公斤之冷卻轉爐石。氧氣頂吹轉爐為轉爐煉鋼法的其中一種，主要是通過轉爐頂部的氧氣噴嘴把氧氣吹入爐內熔池，使鐵水冶煉成鋼的轉爐煉鋼法(Xue et al., 2006)，圖2-2-1所示即為高爐石及轉爐石的生產流程。

因為在煉鋼熔渣倒出時無法完全與鋼液分離乾淨，故轉爐石中常含有金屬氧化物；另外為了去除鋼液中的雜質，常加入過量的石灰，因此在吹煉完成後，轉爐石也常含有游離的石灰(f-CaO)或游離氧化鎂(f-MgO)，此兩者為轉爐石膨脹之主因。(劉國忠，2001)

2.2.2 轉爐石的特性

轉爐石是由多種礦物組成的固熔體，隨化學成分的變化而有所不同，其性質也和化學成分有著密切的關係，根據國內外許多文獻皆指出(王金鐘，2005；袁家偉，2007；Bagampadde et al., 1999；Noureldin et al., 1990；Xue et al., 2006)，轉爐石具有優良的物理、力學及工程性質，外型構造呈灰色，為多角、多孔的塊狀，且比重大、單位重高、磨損率低、健性佳、承載比大、硬度高、內摩擦角高，轉爐石為具有高度結構穩定性的高品質粒料，應用在瀝青混凝土粒料方面也展現出良好的績效。由於轉爐石是高溫熔煉下之產物，耐高溫，不受氣候變化影響，不含有機物、多氯聯苯、過氧化物、氰化物、易燃物、鹵素溶劑，安全性高是合格的資源化產品。

1. 轉爐石之物理性質

密度：轉爐石是由多種礦物組成的固熔物，隨化學成分的變化而有所不同，由於轉爐石金屬氧化物含量較高，密度較高爐石為大，一般約為 3.2~3.6kg/cm³ (Noureldin et al., 1990)。



圖2.1 轉爐石外觀

2. 轉爐石之化學性質

轉爐石的化學成分主要有CaO(約38~45%)、FeO(約15~30%)、SiO₂(約7~11%)、Al₂O₃、MgO等，與水泥生料所用的石灰石、黏土、鐵粉的主要成分相似。

轉爐石酸鹼值及重金屬溶出試驗：轉爐石酸鹼值及重金屬溶出試驗均低於有害廢棄物之法規值，如表2-2-3酸鹼值及金屬溶出試驗值。

區分	汞	砷	六價鉻	鎘	鉛	硒	PH
實測值	0.001	0.005	<0.05	<0.02	<0.4	ND	12.2
規範值	<0.2	<5	<2.5	<1	<5	<1	<12.5

3. 轉爐石之安定性

- (1) 酸鹼度：轉爐石之pH值約在 10~12.5 之間屬鹼性材料，主因是轉爐石含有游離氧化鈣(f-CaO)、氧化鎂(f-MgO)，與水化和後會產生氫氧化鈣(Ca(OH)₂)及氫氧化鎂(Mg(OH)₂)，這些氫氧化物為鹼性之主要來源。
- (2) 膨脹性：轉爐石含有游離氧化鈣(f-CaO)、氧化鎂(f-MgO)等活性礦物，游離氧化鈣(f-CaO)主要水化產物為氫氧化鈣(Ca(OH)₂)可使體積膨脹100~300%，氧化鎂(f-MgO)則為氫氧化鎂(Mg(OH)₂)，可造成體積膨脹率為77%。
- (3) 重金屬溶出：轉爐石為煉鋼過程中的副產品，當作為建築材料時，必須去評估轉爐石是否對環境所帶來的衝擊，轉爐石毒物特性溶出，各項重金屬溶出量皆遠低於管制標準（王金鐘，2005）。

2.2.3 轉爐石安定化處理

使用轉爐石最大疑慮為遇水後膨脹的可能性，主要原因係轉爐石含有f-CaO及MgO活性分子所致，故於加工生產階段需先進行安定化處理。傳統作法採用「熱渣潑地處理法」，將煉鋼過程產出之熱熔渣，溫度約1,200°C，直接倒置於平面場地靜置6-8小時，再經過2次噴水冷卻，每次靜置4-6小時，之後出料。

目前轉爐石係以最新「淺盤造塊水坑崩解處理法」安定化處理，如圖2-2-3，處理過程包含倒置淺盤、脫模、倒入冷水坑反應等，與傳統作法差異為將轉爐石熱熔渣倒置於淺盤鐵模，靜置約16小時直到塊渣表面溫度約300°C；中心溫度約600°C之後脫模，此步驟可藉由長時間靜置，安定化處理較完整，而且可將轉爐石集結成塊狀。之後再將塊狀轉爐石倒入冷水坑，持續澆水、熱悶與冷卻約10小時之後出料。如圖2.2所示

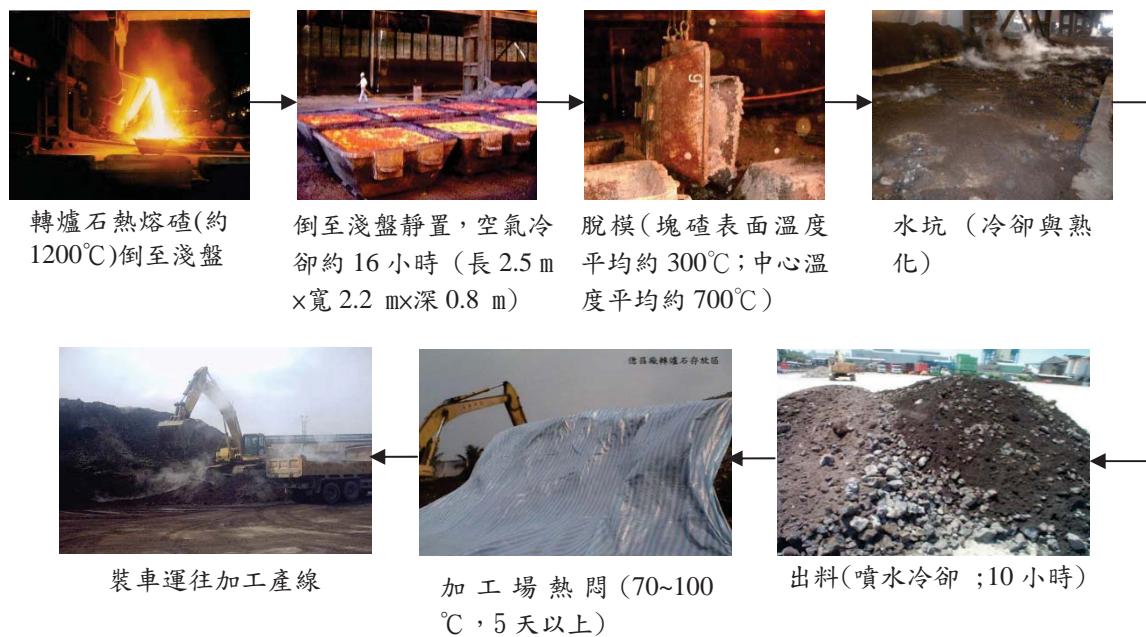


圖2.2 淺盤造塊餘熱自解法之作業流程

此步驟是將塊狀轉爐石熱熔渣藉由熱差效應於冷水坑中，自然崩解粉碎，這就是淺盤造塊水坑崩解處理法與傳統處理方式的差別所在，此製程可確保轉爐石熱熔渣安定化，產出之爐渣粒料呈現一致性塊狀型態，扁平率非常低，且具有100%破碎面。此外，此處理製程不用破碎，僅需重覆篩選與磁選工作，產出之爐渣粒料材質緻密，磨損率低，篩選過程也不需另外以水沖洗，可避免水污染問題。

2.2.4 轉爐石之資源化

轉爐石的物理特性為硬度高、抗壓强度高、透水性高、CaO 含量高；適合做為道路級配料、鋼鐵業副原料、水泥原料、混凝土骨材、肥料基材、土壤改良劑、土木及填地材料以及衛生掩埋場覆蓋材料等。世界各國轉爐石利用在德國以回收再利用、道路用及肥料為主，美國及蘇聯主要為道路用為大宗，法國以肥料為主，日本則以土木用、道路用及回收再利用為主。

總之，轉爐石是煉鋼過程中產生的副產物，其特性又與天然砂石相近，深具取代天然砂石應用於工程材料之潛力，因此對於轉爐石等煉鋼副產物經過資源化的處理後，若能再增加其應用的方向，不但可以創造其經濟價值，亦可再降低對環境衝擊的影響，達到資源活用、永續發展的目的。

2.3 永續發展

2.3.1 緣起與定義

永續發展 (sustainable development)，也有人翻譯為可持續發展，最廣為人知的定義為「能滿足當代需求，同時不損及未來世代滿足其需要的發展」。這個概念自 1987 年聯合國世界環境與發展委員會 (The world commission on environment and development, WCED) 在《我們共同的未來》中提出之後，二十餘年來，永續發展已成為人類社會最關注的環境議題之一。整體而言，就是環境、經濟與社會等三大主軸；唯有這三者的發展維持動態平衡，才能使人類社會達到永續發展的理想。而為了實現這樣的理想，世界各國紛紛制定各項政策與目標，並發展評估系統來衡量永續發展成果，並作為未來決策之導引。

目前最為大眾所熟悉的永續發展定義莫過於由挪威首相布倫蘭特 (Gro Harlem Brundtland) 夫人提出的「滿足當代需要，同時不損及未來世代滿足其需要之發展」 (World Commission on Environment and Development, 1987)。在這個廣泛的註釋下永續性等問題可解讀成環境衝擊對經濟活動和工業化經濟體的影響 (Erlich & Erlich, 1991)；確保在全球糧食安全 (Lal et al, 2002)；確保人類基本需求滿足 (Savitz & Weber, 2006)；並確保對不可再生養護資源 (Whiteman & Cooper, 2000)。從宏觀的觀點來看，說明了永續發展包含了公平性 (fairness)、永續性 (sustainability) 及共同性 (commonality) 三大原則。

Carter & Rogers (2008) 提出：「永續發展從微觀的經濟觀點來看，應同時考慮及平衡經濟、環境與社會的目標，在此前提下組織才會被視為永續發展」。因此永續發展目標的達成必須從環境、經濟及社會各層面一起努力，才能對環境和人類的依存關係找到平衡永續的福祉。永續發展只是一種過程與手段，透過「環境」、「經濟」與「社會」三個環環相扣的主軸，其間的互動與相互影響程度，是影響永續發展的程度與結果的重要因素。黃金山 (2001) 也主張，永續發展應以保護自然環境為基礎，鼓勵經濟發展以及全面提高生活品質為目的。生態、經濟和社會三方面的均衡發展和協調，是永續發展的三大要件，三者相互關聯不可分割。

2.3.2 企業社會責任與永續發展之關係

過去企業的責任是幫股東獲取最大的利潤，並將所賺取營利透過納稅機制履行其社會責任；今日企業社會責任的定義已逐漸由利己轉為利他，企業不單只是替公司謀求最大福利，也要滿足所有利益關係人的需求。黃振豐、許志豪 (2007) 即認為，永續發展是企業的目標之一，而達成永續發展目標的必要條件就是真誠的履行企業社會責任。

2.3.3 小 結

永續發展乃指「人類的發展能夠滿足當代的需求，且不致危及到我們的子孫滿足其需要的能力」。永續發展的重要精神在於追求社會、經濟與環境三面向的均衡發展，即：

1. 社會層面：主張公平分配，以滿足當代及後代全體人民的基本需求。
2. 經濟層面：主張建立在保護地球自然環境基礎上的持續經濟成長。
3. 環境層面：主張人類與自然和諧相處。

中鋼公司基於企業社會責任的關係，更要努力讓社會大眾正確瞭解轉爐石的資源化利用是符合法令規定，不會對環境造成任何不良影響，不僅不該被視為有害的事業廢棄物，更要積極地開發轉爐石資源化永續發展的用途，將轉爐石定位成為保護天然資源及對溫室效應對策有所貢獻的物質。

2.4 轉爐石資源化再利用

減少對自然資源之開採、資源循環使用零廢棄為目前世界各國之環保趨勢，從不浪費資源、節能、減碳的觀點來看，所有轉爐石製品皆可做為天然資源的替代材料，透過節省天然資源以及採取時耗費的能源，可對保護自然環境做出貢獻，事實上在採取天然礦石或砂石時，重型機具在自然的山脈、海底、河床到處開採，不僅會耗費大量的能源，並且排放二氧化碳，演變成嚴重破壞生態或自然環境的問題；但是轉爐石製品就不會發生上述的情況，因而在作為降低環境負荷的物質上獲得極高的評價。參考國外實際資源化的經驗，及經由技術上的評估，轉爐石資源化

再利用可以作為道路施工用的基、底層材料、瀝青混凝土骨材、複合肥料、人工魚礁、混凝土骨材(可控制低強度水泥製品)、填海造陸等用途。

- (1) 道路施工用基、底層材料：在日本從 1960 年就開始研究如何將鋼鐵爐石應用為道路用材料，並且相繼開發時效處理、粒度構成等重要的技術，不但制定設計施工指南，並且納入了瀝青鋪設綱要。
- (2) 瀝青混凝土骨材：轉爐石粒料為煉鋼過程之副產物，於 2010 年 12 月 CNS 國家標準公告「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」，轉爐石已被國家認定為資源產物，可合法做為鋪面材料替代品，若能大量推廣，一方面可以有效解決國內轉爐石處理及砂石短缺的問題，二方面可節省國家資源，以及改善環境相關問題。中鋼公司遂於 2012 年開始進行一連串南部各縣市的示範道路試鋪工程，如表 2.2 所示，評估結果均顯示添加轉爐石可改善瀝青混凝土之品質，有提升耐久性的成效。

表 2.2 101~102 年度執行之鋪設轉爐石 AC 鋪面示範道路一覽表

年度	項目	主辦單位	示範道路名稱	完工時程	鋪設長度	成效評估單位
101	1	屏東縣政府	屏 29 道路改善工程	2012.01.09 鋪設完成	500 公尺	義守大學
	2	台南市政府	台南市中華南路	2012.03.18 鋪設完成	250 公尺+1 路口	成功大學
	3	嘉義縣政府	嘉義縣鹿草鄉 1-1 外環道	2012.03.27 鋪設完成	631 公尺	高苑科大
	4	高公局 南工處	楠梓、大社南向 第二出口匝道 南州交流道旁 北上主線兩車道	2012.04.20 鋪設完成 2012.05.01 鋪設完成	300 公尺 200 公尺	成功大學
	5	高雄市政府	大業北路 (漢民路台機路至中鋼路路段)	2012.04.09 鋪設完成	547 公尺+1 路口	義守大學
102	6	高雄港 務公司	亞太路	2013.03.30 鋪設完成	226 公尺	義守大學

- (3) 複合肥料：高爐石含有肥料成份 CaO、SiO₂、MgO，作為「礦渣矽酸質肥料」(矽酸鈣肥料)使用於稻作。轉爐石也一樣，除了上述 3 種成分之外，更含有 FeO、MgO、P₂O₅ 等，可供包括稻作在內，旱田作物或牧草用，應用範圍相當廣。再加上利用爐石本身酸鹼度偏鹼性(PH10~12)的作用，也可充當土壤改良劑改善土壤的酸性。
- (4) 人工魚礁：煉鋼爐石對重金屬及油污等污染物有優良之吸附能力，而且其成分中含有矽、磷、鎂、鐵及鈣等對海洋生物有益之元素，而其中鐵與矽更是海藻成長上所需之營養成分，加上多孔質體，成為最適於藻類繁殖的材料，日本已有研究結果指出，若以特殊固結方式，如在轉爐石中添加一定比例之高爐細粉、混合劑及鹼刺激材料所製成的人工魚礁，能夠明顯增加海洋食物鏈中初級生產者藻類之數量，此種優異的使藻類著床、孕育的特性，不但能增加海洋生態系統中食物及營養之來源，還能藉由藻類固定空氣中二氧化碳之能力，減輕地球溫室效應。
- (5) 混凝土骨材：開發混凝土骨材主要的目的是利用轉爐石，破碎成 2 分 3 分 6 分的細粒料來取代天然的石砂，在使用混凝土設備進行混拌後，注入模板即可製成各種形狀的石塊，硬化後壓碎，也可製成各種大小不一的石材，適用於港灣工程的消波塊、護坡塊或石材替代材料。
- (6) 填海造陸：在台灣西部平原，人口密集，寸土寸金情形下，除了開山闢林的取地外，向海洋爭取土地發展(填海造陸)已經是一個趨勢，尤其對於山多平地少的國家，填海造陸是一個為發展製造平地的很有效方法。國際上不少沿海的國家或大城市，例如荷蘭、日本、香港、新加坡、高雄等，均採用此法製造平地，創造國土，

提供經濟發展所需土地資源。

基於，資源再生、永續發展之理念大家皆有，唯實際面對資源再生應用問題時，部份環保團體總以爐石會造成汙染為訴求，影響爐石資源化應用，本研究希望透過瞭解爐石類別、特性，以及先進國家對於爐石的資源化的管理與應用，期能使工程界以及政府工務單位對轉爐石有更深認識，在環境保護與經濟發展兼籌並顧下，積極的善盡企業社會責任。

3. 研究方法

3.1 層級分析法之介紹

層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 為 1971 年 Thomas L. Saaty (匹茲堡大學教授) 所發展出來，主要應用在不確定情況下及具有多數個評估準則的決策問題上。1973 年，Saaty 將 AHP 法應用在蘇丹運輸研究後，整個理論才趨成熟；其後在 1974 年至 1978 年間，經不斷應用修正及證明後，使得整個理論更臻完備。1980 年，Saaty 遂將此一理論整理成專書 The Analytic Hierarchy Process 出版後，使得分析層級程序法之理論更臻於完善。

層級分析法發展的目的，就是將龐大複雜的問題系統化，由不同的層面給予層級分解，並透過量化的判斷，覓得脈絡後加以綜合評估，以提供決策者選擇適當方案的充分資訊，同時減少決策錯誤的風險。進行本方法分析時，相關假設如下：

- (1) 系統可被拆解為許多種類或成分的層級式架構。
- (2) 同一層級中各要素均假設具獨立性。
- (3) 每一層級之要素和可用上一層級的要素作為評準，進行評估。
- (4) 各要素間之相對重要性評比可將絕對數直尺度轉換成比例尺度衡量。
- (5) 進行成對比較後，使用正倒置矩陣處理，推算出特徵向量做為權重。
- (6) 除了偏好關係需滿足遞移性之外，「優劣關係」、「強度關係」也要滿足遞移性。
- (7) 由於實際狀況之下要完全具遞移性不容易，因此容許一定程度的不具遞移性。但需通過一致性比率 (Consistency Ratio, C.R.) < 0.1 的門檻。
- (8) 所有出現在層級結構中的要素，其優勢程度大小，經由加權法則而求得。

3.2 層級分析法之執行步驟

利用 AHP 法進行決策問題的評估時，Zahedi(1986)整理成三階段的工作：

階段一：建立評估的層級結構

1. 解決問題的目標。
2. 如何達到目標的標的。
3. 決定標的之評估準則。
4. 擬定考慮的方案。

階段二：各層級成對比較矩陣

1. 建立成對比較矩陣。
2. 求取特徵質與特徵向量。
3. 一致性檢定。

階段三：整體層級權重的計算

本研究主要以問卷方式調查專家或決策者偏好判斷，所以應用 AHP 法處理較複雜的決策問題時，則 AHP 法的決策步驟程序如下：(鄧振源，2002)

1. 決策問題的界定
2. 決策群體的組成
3. 決策群體的組成
4. 層級結構的構建
5. 層級結構的構建
6. 建立成對比較矩陣
7. 計算特徵向量(Priority Vector)及最大特徵值(Maximized Eigenvalue)。
8. 求取一致性指標 C. I. (Consistency Index) 一致性比率 C.R. (Consistency Ratio)

9. 計算整體層級的一致性指標(Consistency Ratio of the Hierarchy, C.I.H.)、整體層級的一致性比率(Consistency Ratio of the Hierarchy, C.R.H.)
10. 整體層級的方案加權平均以決定最佳方案。

3.3 整體層級的方案加權平均以決定最佳方案

本研究透過問卷對一貫作業鋼鐵廠轉爐石資源再利用永續產品評估準則的相對重要程度進行評估，並探討資源再利用永續產品的排序，用以評估最佳之永續產品。評估準則以一貫作業鋼鐵廠轉爐石資源再利用評估因子實際狀況著眼，從經濟性、社會性及環保性三個層面進行考量，並就一貫作業鋼鐵廠轉爐石資源再利用常見之應用產品；道路基、底層材料、瀝青混凝土骨材、複合材料、人工魚礁、混凝土骨材、填海造陸等進行評選。轉爐石資源再利用永續產品評估選定之層次結構建立如下圖 3.1 所示。

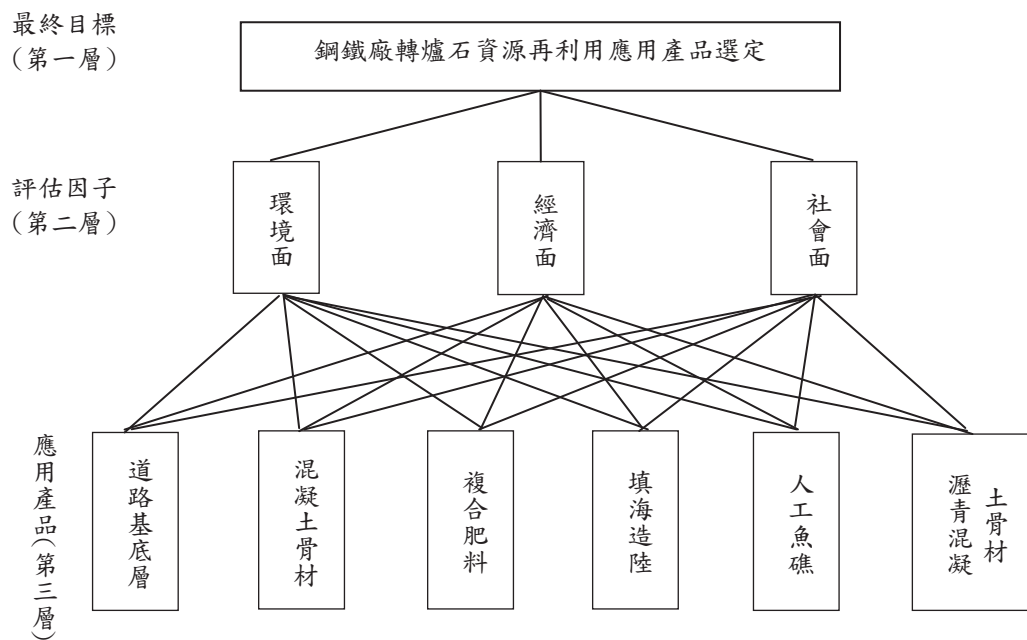


圖 3.1 鋼鐵廠轉爐石資源再利用應用產品選定之層次結構圖

3.4 建構成對比較矩陣

依據回收的問卷結果，建立成對比較矩陣，其主要目的在於評估同一層次中，決策者對兩個屬性之間相對重要性的判斷。換言之，就是將某一層級內的任兩個屬性以上一層級的屬性為評準，分別評估該兩個屬性對評準的相對貢獻度或重要性。

3.5 計算權重及一致性

對已經建立的成對比較矩陣數值進行綜合，算出特徵向量，將特徵向量標準化後，算出權重、評估出準則及各要素之間的重要性之優先順序。並透過雙向比較，分析變數間的關聯性，求得各一致性指標 C.R. 值(Consistency Ratio)，C.R. 值以小於 0.1 為佳，優先向量及權重值，得出方案之排序。其步驟如下：

- 步驟一：建立層次架構，將要分析之評估因子依高層至低層，依序建入該層次的要素，以建立起整體層次架構。
- 步驟二：建立專家問卷結果，將每一個專家問卷結果，依照所建立的層次架構，分別鍵入各層次的成對比較之名目尺度，建立出每個專家之各層次之成對比較矩陣。
- 步驟三：整合專家問卷，整合運算出整體專家之各層次成對比較矩陣，同時求得各一致性 I.R. 值，以鑒定比較矩陣是否具有的一致性。
- 步驟四：求取優先向量及權重值，整合運算矩陣後，可求取各層次之優先向量，以及各項要素於各層次內及占整體的權重值，即可得方案之排序。

4. 研究結果分析

4.1 AHP 分析結果

4.1.1 鋼鐵廠轉爐石資源再利用應用產品選定之「評估因子」成對比較矩陣與優先向量

表 4.1 鋼鐵廠轉爐石資源再利用之評估因子

評估因子	環境面	經濟面	社會面	優先向量(排序)
環境面	1.000	1.340	2.188	0.452 (1)
經濟面	0.746	1.000	1.744	0.345 (2)
社會面	0.457	0.573	1.000	0.202 (3)
一般性測試	Inconsistency=0.00046<0.1 符合一致性檢驗			

由表 4.1 可得知三個評估因子之重要程度排序最為重要的是環境面，其次是經濟面，最後則為社會面。綜合 24 位專家意見，由表 4.1 可得知三個評估因子的重要程度排序，第一名為環境面，占 45.2%；從圖 4-2-1 可看出專家們認為在鋼鐵廠轉爐石資源再利用評估因子，以環境面最為重要；再者是經濟面，占 34.5%，最後才是社會面，占 20.2%。

4.1.2 「環境面」評估因子成對比較矩陣與優先向量

表 4.2 「環境面」評估因子成對比較矩陣與優先向量表

環境面	道路 基底層	混凝 土骨材	複合 肥料	填海 造陸	人工 魚礁	瀝青混凝 土骨材	優先向量 (排序)
道路 基底層	1.000	1.210	1.379	0.469	0.915	0.309	0.119 (5)
混凝土骨 材	0.826	1.000	1.235	0.617	1.082	0.407	0.123 (4)
複合 肥料	0.725	0.810	1.000	0.446	0.634	0.369	0.096 (6)
填海 造陸	2.132	1.621	2.242	1.000	1.756	0.624	0.218 (2)
人工 魚礁	1.093	0.924	1.578	0.569	1.000	0.514	0.135 (3)
瀝青混凝 土骨材	3.237	2.458	2.711	1.602	1.946	1.000	0.309 (1)
一般 性測試	Inconsistency=0.0071<0.1 符合一致性檢驗						

本文中的「環境面」是泛指鋼鐵廠轉爐石在製作六項應用產品時，是以「環境保護」為基礎，控制污染、改善環境、維護生態系統完整，並兼顧天然資源的存量及承載力；且在節能、CO₂ 減量、廢棄物減量等環境指標上以生命週期來評估轉爐石之應用產品對環境帶來最小的衝擊。

由表 4.2 可得知，以「環境面」的角度出發，綜合 24 位專家意見所得，瀝青混凝土骨材占 30.9%，名列第一名，這說明六項應用產品在環境面上，瀝青混凝土骨材最為優勢；其次是填海造陸占 21.8%；第三為人工魚礁占 13.5%；第四為混凝土骨材占 12.3%；第五為道路基底層占 11.9%；最後則為複合肥料占 9.6%，表示複合肥料此產品在環境面最不具有優勢。

4.1.3 「經濟面」評估因子成對比較矩陣與優先向量

表 4.3 「經濟面」評估因子成對比較矩陣與優先向量表

經濟面	道路 基底層	混凝土骨 材	複合 肥料	填海 造陸	人工 魚礁	瀝青混凝 土骨材	優先向量 (排序)
道路 基底層	1.000	1.045	1.072	0.471	1.316	0.556	0.131 (4)
混凝 土骨材	0.957	1.000	1.461	0.428	1.008	0.668	0.132 (3)
複合 肥料	0.933	0.684	1.000	0.408	0.725	0.445	0.102 (6)
填海 造陸	2.122	2.334	2.453	1.000	2.472	1.949	0.305 (1)
人工 魚礁	0.760	0.992	1.380	0.405	1.000	0.441	0.116 (5)
瀝青混凝 土骨材	1.799	1.496	2.247	0.513	2.268	1.000	0.214 (2)
一般 性測試	Inconsistency=0.00908<0.1 符合一致性檢驗						

由表 4.3 可得知，以「經濟面」的角度出發，綜合 24 位專家意見所得，填海造陸占 30.5%，名列第一名，這說明六項應用產品在經濟面上，填海造陸最為優勢；其次是瀝青混凝土骨材占 21.4%；第三為混凝土骨材占 13.2%；第四為道路基底層占 13.1%；第五為人工魚礁占 11.6%；最後則為複合肥料占 10.2%，表示複合肥料此產品在經濟面最不具有優勢。

填海造陸在經濟面之所以能夠具有優勢，主要是能夠以最少的人力、物力與財力將轉爐石作全量的資源化，不僅解決原來因數量龐大而衍生的惱人處理問題外，並可為當地帶來許多新生土地的無限商機，所以轉爐石在填海造陸的產品應用具有極大的經濟效益。

4.1.4 「社會面」評估因子成對比較矩陣與優先向量

表 4.4 「社會面」評估因子成對比較矩陣與優先向量表

社會面	道路 基底層	混凝土骨 材	複合 肥料	填海 造陸	人工 魚礁	瀝青混凝 土骨材	優先向量 (排序)
道路 基底層	1.000	0.815	2.007	0.788	0.904	0.412	0.139 (5)
混凝 土骨 材	1.227	1.000	1.663	0.929	1.240	0.417	0.156 (3)
複合 肥料	0.498	0.601	1.000	0.519	0.599	0.376	0.090 (6)
填海 造陸	1.269	1.077	1.926	1.000	1.222	0.668	0.177 (2)
人工 魚礁	1.106	0.806	1.669	0.818	1.000	0.527	0.144 (4)
瀝青混凝 土骨材	2.425	2.400	2.658	1.498	1.898	1.000	0.295 (1)
一般 性測試	Inconsistency=0.00646<0.1 符合一致性檢驗						

由表 4.4 可得知，以「社會面」的角度出發，綜合 24 位專家已見所得，瀝青混凝土骨材占 29.5%，名列第一名，這說明六項應用產品在社會面上，瀝青混凝土骨材最為優勢；其次是填海造陸占 17.7%；第三為混凝土骨材占 15.6%；第四為人工魚礁占 14.4%；第五為道路基底層占 13.9%；最後則為複合肥料占 9%，表示複合肥料此產品在

社會面最不具優勢。

4.1.5 評估因子：總體評估

本研究將環境面、經濟面以及社會面三個評估因子結合，經相對權重運算後，得到總體評估對應六項應用產品進行評估，分析六項應用產品在整體評估上之排序權重值。結果如表 4.5

表 4.5 產品應用在總體評估上排序權重值分析

應用產品	道路基底層	混凝土骨材	複合肥料	填海造陸	人工魚礁	瀝青混凝土骨材
所占 權重值	0.127	0.133	0.097	0.240	0.130	0.273
排名	【5】	【3】	【6】	【2】	【4】	【1】

由表 4.5 可得知，以「總體評估」的角度出發，綜合 24 位專家意見所得，瀝青混凝土骨材占 27.3%，名列第一名，這說明六項應用產品在整體評估上，瀝青混凝土骨材最具優勢；其次是填海造陸占 24%；第三為混凝土骨材占 13.3%；第四為人工魚礁占 13%；第五為道路基底層占 12.7%；最後則為複合肥料占 9.7%，表示複合肥料此產品在總體評估上最不具優勢。

因為台灣是海島型國家，在天然資源方面先天上就比較缺乏，加上近年河川砂石資源逐漸枯竭，因此廠商與主管機關都在想盡辦法來尋求替代料源，而以轉爐石作為瀝青混凝土骨材來替代天然砂石，應用於道路鋪面公共工程上，不僅可以節省天然資源、保護生態，更可解決鋼鐵廠轉爐石的資源化問題，有利於國家整體利益。

5. 結論與建議

5.1 研究結論

1. 由 AHP 分析結果：第一為環境面，第二為經濟面，最後為社會面；從環境面來看：第一為瀝青混凝土骨材，最後為複合肥料；在經濟面：第一為填海造陸，最後為複合肥料；在社會面：第一為瀝青混凝土骨材，最後為複合肥料；在整體評估則第一為瀝青混凝土骨材，最後為複合肥料。
2. 由評估因子之影響：以道路基底層：第一為社會面，第二為經濟面，最後是環境面；以混凝土骨材：第一為社會面，第二為經濟面，最後是環境面；以複合肥料：第一為經濟面，第二為環境面，最後是社會面；以填海造陸：第一為經濟面，第二為環境面，最後是社會面；以人工魚礁：第一為社會面，第二為環境面，最後是經濟面；以瀝青混凝土骨材：第一為環境面，第二為社會面，最後是經濟面；以整體評估來說：第一為瀝青混凝土骨材，第二為填海造陸，最後為複合肥料。
3. 瀝青混凝土骨材、填海造陸綜合評估：由於轉爐石比重大能承受載重、硬度高抗磨損，又經軋製過程，具有扁平率低及破碎面大特性，因此近年來有許多轉爐石取代天然砂石做為瀝青混凝土骨材的實例與文獻，尤其是中鋼公司將煉鋼過程所產出的副產物轉爐石，應用在瀝青混凝土骨材的技術，不僅可以降低轉爐石後續處理成本，且可以有效解決大量轉爐石去化問題；同時增加砂石替代來源，避免天然砂石因過度開採，衍生出環境破壞的環保議題。

「填海造陸」是基於國內公有及民營掩埋場容量陸續達飽和，因而仿效日本在離岸一定距離外，興建海面處分場，其掩埋容積之使用期限長達 20~30 年，可作為填埋國內需填埋物質之最終處置之場所。其主要是接受營建剩餘土石、風災疏濬土石泥、港區淤澱淤泥等具安定填方土石及垃圾焚化灰渣、爐渣(碴)及下水道污泥灰渣等事業副產物，在填埋完成後，將依其所在位置與港務局土地規劃，逐步發展成碼頭、港灣與工業等用地，以達成「填海造陸」目的，創造新生國土，落實國內資源永續循環利用，創造更大資源邊際效益。

5.2 管理意涵

一般人大都會認為環保、經濟與社會是同等重要，彼此之間是環環相扣，但是往往許多決策者在衡量環保與經濟之間的重要性時，都會以「先經濟、後環保」的思考行為模式來處理，因此造成放任經濟發展、盲目追求成長，卻枉顧環保的衝擊與社會的回應，這種做法雖然不致立即造成嚴重後果，但是長久下來，人類還是得要面對大自然

的反撲，像近年因為石化的大量開採與使用，不僅已使地球的天然資源快速枯竭，同時也因二氧化碳的大量排放，導致全球溫室氣體效應，諸如氣候急遽變遷、人類健康危害(霾害)，甚至物種的消失，顯示出目前追求經濟發展的模式，已然影響人類永續發展的生存空間，誠如學者所說環境是一切的根本，沒有經濟與社會，環境依然存在(Lovelock, 1988)。所以管理決策者應該重新審思環境保護、經濟發展、與社會發展三者之間策略上的權重，排除種種不利因素、危害因子，才能繼續邁向永續發展的願景。因此本論文所討論的「轉爐石永續產品評估」希望透過一個系統化的機制，來整合業界專家與學者的智慧與建議，提出在環保、經濟與社會三者權衡考量下的最佳永續產品。

綜觀而言，本篇論文是針對鋼鐵廠轉爐石資源再利用來做探討，藉由層次分析法以探討評估永續產品的目標層級架構，並分析評估影響各評估因子與應用產品的權重，以找出最佳的永續產品，研究結果可以具體的應用在轉爐石去化的選擇決策上，也可以審思以往決策過程中，對於最佳去化的考量是否正確無誤？驗證過去在永續產品選擇的決策實務上，往往因為社會面因素導致決策明顯反差，本研究可以提供一個未來決策更理性的參考。目前實務上瀝青混凝土骨材是轉爐石資源再利用產物中，可達到最經濟、最環保的方法，這也與我們專家問卷AHP層次分析法的結論互相吻合。

5.3 研究貢獻

本論文透過文獻回顧，發現在轉爐石產品應用，以在工程領域的相關研究居多，但是以永續發展的概念評估轉爐石永續產品的研究實則有限，且在學術上針對轉爐石永續產品之應用目前仍多以環境工程、土木工程等技術面為主。為此，本論文即從這個方向出發，透過專家學者的意見，整合轉爐石目前在實務應用領域裡最常見的六個應用產品，分別在環境面、經濟面與社會面的範疇，探討各自的權重影響，此為本論文的貢獻之一；同時利用層級分析法及加權計算，實證分析出轉爐石資源再利用的永續產品最優模式，在整體評估中瀝青混凝土骨材拔得頭籌，填海造陸居次，這也是在相關領域當中，極少數利用系統化的層級架構分析，並藉由模式整合加總結果，確保決策考量的全面性，進而提供決策者評比的依據，此為本論文的貢獻之二。

參考文獻

1. 王金鐘，(2005)。轉爐石作為基底層材料及其工程特性之研究，成功大學土木工程系博士論文。
2. 黃隆昇，林登峰，林平全，許伯良，(2010)。「評估煉鋼爐石應用於瀝青混凝土之性質及現場鋪設成效」，中國工程師高雄會刊，18卷2期，頁47-55。
3. 袁家偉，(2007)。「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，桃園。
4. 劉國忠，(2001)。「煉鋼爐渣之資源化技術與未來推展方向」，環保月刊，第四期，十月號，頁117-118。
5. 鄧振源、曾國雄，(1989)。「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)」，中國統計學報，第27卷第6期，頁5-27。
6. 鄧振源、曾國雄，(1989)。「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(下)」，中國統計學報，第27卷第7期，頁1-20。
7. 鄧振源，(2002)。「計畫評估-方法與應用」，海洋大學運籌規劃與管理研究中心出版。
8. 吳萬益、林清河，(2001)。企業研究方法，華泰文化。
9. 黃淳銜、黃隆昇、林登峰、林平全，(2008)。「轉爐石資源化再利用作為道路鋪面材料之成效」，技術與訓練，33卷3期，頁36-44。
10. 黃隆昇、李永鍵、林登峰、李韋德、陳厚邑，(2009/10/8~9)。「評估轉爐石應用於瀝青混凝土試鋪道路成效-以高雄縣澄清路為例」，第十五屆鋪面工程學術研討會暨國際與兩岸鋪面專家高峰會議。
11. 中鋼集團爐，(2000)。石利用推廣手冊，高雄市。
12. 陳建旭、廖敏志、黃淳銜，(2012)。「應用轉爐石於國道開放級配摩擦層(OGFC)之評估」，技術與訓練，37卷2期，頁24-34。
13. 林志棟，(2006)。「轉爐石於道路工程之推廣及應用」，鋼鐵工業爐渣資源化再利用實務研討會，2006年08月。
14. 黃隆昇，(2012)。「轉爐石應用於改質瀝青混凝土」，技術與訓練，37卷2期，頁35-44。

15. 黃兆龍, (2010)。高性能混凝土理論與實務, 詹氏書局, 台北。
16. 陳亮全, (2007)。「易致災都市空間發展之探討;以臺北盆地都市水災形為例」, 都市與計畫, 34卷3期, 頁293-315。
17. 黃義俊, (2003)。「環保導向的價值觀與企業的綠色管理關聯性之實證研究」, 環境管理研究, 第四卷第2期, 頁17-59。
18. 黃振豐、許志豪, (2007)。「利害關係人與環境資訊揭露關聯性之探討」, 管理學域學術研討會論文集, 2007年05月08日。
19. 黃金山, (2001)。「二十一世紀台灣水資源永續經理的展望」, 第十二屆水利工程研討會論文集, 2001年07月。
20. Bagampadde, U., Al-Abdul Wahhab, H. I. and Aiban, S. A. (1999). "Optimization of Steel Slag Aggregate for Bituminous Mixes in Saudi Arabia", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol.11, No. 1, pp. 30-35.
21. Noureldin, A. S. and McDaniel, R. S. (1990). "Evaluation of Surface Mixtures of Steel Slag and Asphalt", *Transportation Research Record*, No.1269, pp.133-147.
22. Xue, Y., Wu, S. (2006). "Experimental Investigation of Basic Oxygen Furnace Slag Used as Aggregate in Asphalt Mixture", *Journal of Hazardous Materials*, Vol.138, No.2, pp.261-268.
23. Wu, S., Xue, Y., Ye, Q., and Chen, Y. (2007). "Utilization of Steel Slag as Aggregates for Stone Mastic Asphalt (SMA) Mixtures", *Building and Environment*, Vol.42, pp.2580 -2585.
24. HeribertMutz, D. I. (2007). "Production and Use of Blast furnace and Steel Slags in Europe", IISI 18th/20th Meeting, June.
25. Saaty, T. L. (1990). *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill.
26. Saaty, T. L. and Vargas, L.G. (1982). *The Logic of Priorities*, Boston: Kluwer-Nijhoff.
27. Saaty, T. L. (2008). "The analytic hierarchy and analytic network measurement process: Applications to decisions under Risks", *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, Vol. 1. pp.122-196.
28. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, New York, London: McGraw-Hill.
29. Erlich, P.R. and Erlich, A.H. (1991). *The population Explosion*, Touchstone, New York:NY.
30. Jennings, P.D. and Zandbergen, P.A. (1995). "Ecologically sustainable organizations: an institutional approach", *Academy of Management Review*, Vol.20 No. 4, pp.1015-1052.
31. Lal, R., Hansen, D.O., Uphoff, N. and Slack, S.A. (2002). *Food Security and Environmental Quality in the Developing World*, CRC Press, Boca Raton, FL.
32. Savitz, A.W. and Weber, K. (2006). *The Triple Bottom Line*, Jossey-Bass, San Francisco, CA.
33. Paul Shrivastava, (1995). "The role of corporations in achieving ecological sustainability", *Academy of Management Review*, Vol. 20 No. 4, pp.936-960.
34. Starik, M. and Rands, G. P. (1995). "Weaving an integrated web: Multilevel and multisystem perspectives of ecologically sustainable organizations", *Academy of Management Review*, Vol. 20 No. 4, pp.908-935.
35. Whiteman, G. and Cooper, W.H. (2000). "Ecological embeddedness", *Academy of Management Journal*, Vol. 43 No. 6, pp.1265-1282
36. Bertolini L, Carsana M, Cassago D, Curzio AQ, Colleparidi M. (2004). MSWI as hes as mineral additions in concrete, *Cem Concr Res*.
37. Meyer, C. (2009). "The greening of the concrete industry", *Cement & Concrete Composites*, Vol.31, pp.601-605.
38. Lovelock J. W. (1998). *The Ages of Gaia: A Biography of our Living Earth*, Oxford University Press.