

廢車拆解之環境衝擊與碳足跡分析

李清華^{1*} 施辰宣¹ 黃于睿¹ 黃梓倫¹ 林媚雯¹ 王進益² 呂恬萱³

¹大葉大學 環境工程學系

515006 彰化縣大村鄉學府路 168 號

²中華民國廢機動車輛回收處理商業同業公會全國聯合會

408018 台中市潭子區民族路二段 301 巷 2 之 7 號

³國立台中教育大學科學教育及應用學系環境教育與管理碩士班

403514 台中市西區民生路 140 號

*chl@mail.dyu.edu.tw

摘要

本研究為了解廢棄車輛於現場拆解階段所造成之環境衝擊影響與碳足跡，乃針對目前國內廢車拆解廠的現行拆解作業流程進行實地盤查，收集拆解過程所需耗用的能資源，並利用 Simapro 8.1 中之「ECO-Indicator 95」方法，來進行環境衝擊影響評估，另亦透過 Simapro 8.1 中之「IPCC 2001 GWP 100a」來進行碳足跡分析。又因現行廢車拆解作業（傳統拆解）所得之最終廢車空車殼進入粉碎場後，會產生大量廢車粉碎殘餘物（Auto Shredder Residue, ASR），故本研究規劃於前端廢車拆解廠進行精細拆解作業（包括人工精細拆解與怪手精細拆解），以將廢車中非金屬物質予以先行拆除，來降低後端粉碎廠之 ASR 產生量。本研究之環境衝擊評估結果顯示：廢車傳統拆解、人工精細拆解與怪手精細拆解之統一化環境衝擊值依序分別為 17.849 mPt、17.932 mPt、35.438 mPt，另碳足跡分析結果顯示：傳統拆解、人工精細拆解與怪手精細拆解之碳排放量依序分別為 4.87 kg CO₂ eq、5.26 kg CO₂ eq、9.63 kg CO₂ eq。

關鍵詞：廢棄物，車，拆解，環境衝擊，碳足跡

Scrap Car Dismantling Process on Environmental Impact and Carbon Footprint

CHING-HWA LEE^{1*}, CHEN-HSUAN SHIH¹, YU-RUI HUANG¹, TZ-LEUN HUANG¹, KIMBERLY HANNAH T. LIM¹, JIN-YI WANG², TIEN-HSUAN LU³

¹Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 515006, Taiwan, R. O. C.

²National Federation of Waste Motor Vehicle Recycling and Disposal Business Associations of the Republic of China

No. 2-7, Ln. 301, Sec. 2, Minzu Rd., Tanzi Dist., Taichung City, 408018, R. O. C.

³Master Program of Environmental Education and Management, Department of Science Education and Application,

National Taichung University of Education

No. 140, Minsheng Rd., West Dist., Taichung City 403514, Taiwan, R. O. C.

*chl@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

In order to understand the environmental impact and carbon footprint caused by the on-site dismantling of abandoned vehicles, this research analyzes the current dismantling process of domestic scrap vehicle dismantling plants and the accumulated energy consumed in the dismantling process. This is done with the application of “ECO-Indicator 95” method in Simapro 8.1 to conduct environmental impact assessment, while the “IPCC 2001 GWP 100a” in Simapro 8.1 is used to conduct carbon footprint analysis. Apart from the carbon footprint analysis, the large amount of scrap car crushing residue (Auto Shredder Residue, ASR) produced from the current scrap car dismantling operation (traditional dismantling) at the crushing yard is also addressed. Therefore, this research is to focus on the front-end scrap car. More to the point, the dismantling plant conducts fine dismantling operations include manual fine dismantling and mechanical fine dismantling to initially remove the non-metallic substances in scrap cars so as to reduce ASR at the back-end crushing plant. The environmental impact assessment results of this study show that the unified environmental impact values of the traditional dismantling of scrap cars, manual fine dismantling, and mechanical fine dismantling are 17.849 mPt, 17.932 mPt, and 35.438 mPt, respectively. The carbon footprint analysis results show that : The carbon emissions of traditional dismantling, manual fine dismantling and mechanical fine dismantling are 4.87 kg CO₂ eq, 5.26 kg CO₂ eq, 9.63 kg CO₂ eq, respectively.

Key Words: waste, car, dismantling, environmental impact, carbon footprint

一、前言

根據我國環保署統計資料顯示，台灣於 111 年度汽車輛的報廢數約有 34 萬輛 [1]。每輛廢車中約含有 70~75%具回收價值之金屬 [7]，現行國內廢車回收商主要拆除廢車中有價之零組件材質（即所謂傳統拆解），再將剩餘空車殼直接送往廢車粉碎廠 [2]，經粉碎分選後，廢車中多數金屬物質被回收再利用，而剩餘 20~25%的非金屬物質稱之為廢車粉碎殘餘物（Auto Shredder Residue, ASR）[7]，因 ASR 不具回收價值，需另行最終處置，若可於前端廢車拆解廠進行廢車精細拆解（包括人工精細拆解與怪手精細拆解），將高熱值廢棄物（前後保險桿、中控儀錶板、車門內版、地毯+車頂棚、座椅泡棉）與玻璃拆除，應可大幅降低廢車粉碎廠中 ASR 的產生量。

2015 年，聯合國通過《巴黎協定》和《永續發展目標》（SDGs），從 2019 年開始，全球各國陸續宣布實施碳中和政策。目前已有超過 130 個國家宣布推動「淨零碳排」。我國已宣示「2050 淨零轉型是全世界的目標，也是臺灣的目標。」，這些宣示和政策旨在引領我們朝向更環保和永續發展的方向前進 [3]。由於廢棄物的回收再利用可以減少溫室氣體排放，而廢車拆解回收對我國推動「淨零碳排」有相當助益，故本研究將以生命週期評估方法（Life Cycle

Assessment, LCA），探討廢車拆解過程所造成之環境衝擊影響與碳足跡。生命週期評估是一種有完善系統性的國際標準化方法，用於評估特定產品、服務或活動在其整個生命週期內的對環境的影響。執行評估的四大步驟分別為，目標、範圍界定、生命週期影響評估以及生命週期影響闡釋。這種方法不僅考慮了產品在製造和使用過程中的環境影響，還包括了材料的開採、生產、運輸、使用和處理等過程。LCA 被廣泛應用於產品設計或優化製造過程，以減少環境影響與資源消耗。LCA 分析常需借助商用軟體來進行，Simapro 軟體為其中常用之商用軟體 [4, 6, 8-11]。

為了解廢車拆解過程中對環境之影響，本研究於國內廢車拆解廠進行實廠能資源耗用盤查，再利用 Simapro 軟體中之 Eco-Indicator 95 與 IPCC GWP 2001 100a 方法，評估與計算各種廢車拆解方式之環境衝擊影響與碳足跡。

二、研究方法

本研究實地前往國內廢車拆解廠（廠 A）進行現場盤查分析，以瞭解目前國內廢車拆解廠之傳統拆解以及本研究規劃之人工精細拆解與怪手精細拆解作業，於現場拆解過程所需之能資源耗用量，包括柴油消耗量、電力消耗量、氧氣消耗量與乙炔消耗量。並利用生命週期評估方法，探討國內廢汽車拆解廠現行傳統拆解方式亦或採用精細拆解方式對環

環境衝擊嚴重性與碳排放量多寡。本研究彙整廢車傳統拆解與精細拆解現場拆解階段盤查所得之能資源耗用量，並利用 Simapro 8.1 軟體中之「ECO-Indicator 95」與「IPCC 2001 GWP 100a」方法，進行廢車傳統拆解與精細拆解於現場拆解階段之環境衝擊評估與碳足跡分析。

其中「ECO-Indicator 95」方法包括：溫室效應、臭氧層破壞、酸化、優養化、重金屬、致癌物、冬季煙霧、夏季煙霧、農藥、能源損耗及固體廢棄物 11 項評估指標，當環境衝擊指標數值越大則表示對環境衝擊影響越大。使用「IPCC 2001 GWP 100a」計算碳足跡（單位： $\text{kg CO}_2 \text{e/q}$ ）時，本研究採用我國行政院經濟部能源局 110 年度所公告電力碳足跡係數（ $0.509 \text{ 公斤 CO}_2 \text{e/度}$ ）[5]，取代軟體內建之電力資料庫，以獲得符合我國之環境衝擊與碳足跡計算結果。另由於 Simapro 8.1 軟體中缺乏乙炔的碳足跡係數，故本研究選擇化學結構相近之甲烷進行替代。

三、結果與討論

本研究藉由 LCA 之評估方法，評估廢車傳統拆解與精細拆解於現場拆解階段之環境衝擊影響與碳排放量。首先針對目前國內廢車拆解廠傳統拆解流程與精細拆解流程進行現場拆解階段所需之能資源耗用量盤查收集，並將 LCA 分析中之一「功能單位」(Functional Unit) 定義為「一台車」，本研究將依此「功能單位」來計算廢車拆解廠現場拆解階段平均 1 功能單位之能資源耗用量，再應用至 Simapro 8.1 軟體，進行環境衝擊評估與碳足跡分析。本研究之成果如下：

(一) 不同廢車拆解方式

根據本研究於前端廢車拆解廠現場調查與規劃（為了減少廢車粉碎廠 ASR 產生量，國內廢車拆解廠之各種拆解（傳統拆解、人工精細拆解與怪手精細拆解）流程介紹如下：

根據本研究現場實證拆解結果，國內現行傳統廢車拆解之作業流程圖繪於圖 1。根據圖 1 可知，傳統拆解方式，先將電瓶、輪胎、液體（水箱水、汽油、機油）等零組件卸除，再將引擎相關零組件（引擎、傳動軸、避震器、觸媒等）分離，另剩餘之空車殼（鐵、座椅、塑膠內裝、玻璃、電線），送至廢車粉碎廠。現場傳統廢車拆解為 1-2 人作業，拆車過程使用之工具包括叉車、氣動電鑽、手動螺絲起子、破壞剪、榔頭等。

另為了減少廢車粉碎廠 ASR 產生量，本研究根據現場實證拆解結果規劃之廢車人工精細拆解之作業流程繪於圖

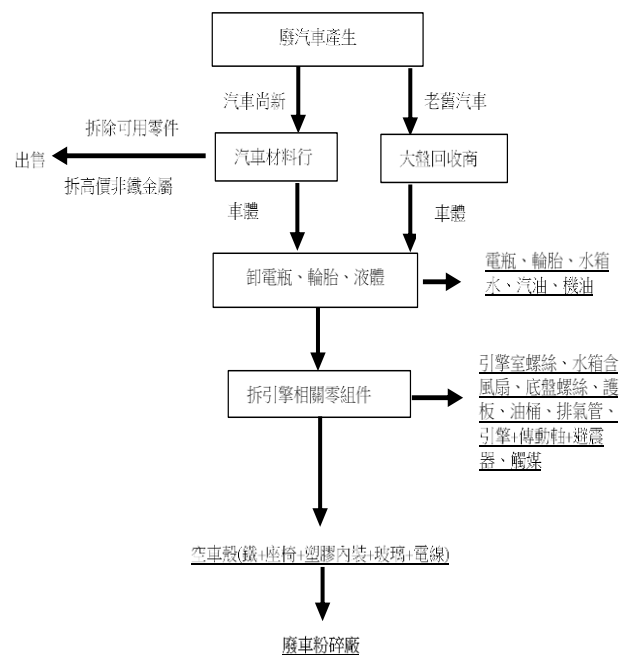


圖 1. 廢車傳統拆解流程圖

2。根據圖 2 可知，人工精細拆解方式的前置步驟與傳統拆解方式相同（如圖 1），前置拆解完成後，再針對剩餘之空車殼（鐵、座椅、塑膠內裝、玻璃）車內內裝進行人工精細拆解，將車內座椅、大燈、尾燈、保險桿、車門內板、中控儀錶板等零組件予以拆除，並將座椅泡棉、座椅外皮、座椅鐵架子予以分離，以獲得含雜質量較低之最終空車殼，作為電弧煉鋼廠之煉鋼原料。現場人工精細拆解為 1-2 人作業，拆車過程使用之工具包括叉車、氣動電鑽、手動螺絲起子、破壞剪、榔頭等，與傳統廢車拆解相同。

另為了減少廢車粉碎廠 ASR 產生量，除了人工精細拆解外，本研究根據現場實證拆解結果規劃之怪手（鳥嘴夾）精細拆解，其作業流程繪於圖 3。根據圖 3 可知，怪手（鳥嘴夾）精細拆解方式的前置步驟與傳統拆解方式相同（如圖 1），前置拆解完成後，再進行此拆車剩餘之空車殼（鐵、座椅、塑膠內裝、玻璃）車內內裝怪手（鳥嘴夾）精細拆解，將車內座椅、大燈、尾燈、保險桿、車門內板、中控儀錶板等零組件予以拆除，並將座椅泡棉、座椅外皮、座椅鐵架子予以分離，以獲得含雜質量較低之最終空車殼，以作為電弧煉鋼廠之煉鋼原料。現場怪手精細拆解為 1-2 人作業，拆車過程使用之工具包括鳥嘴夾怪手、叉車、氣動電鑽、手動螺絲起子、破壞剪、榔頭等。

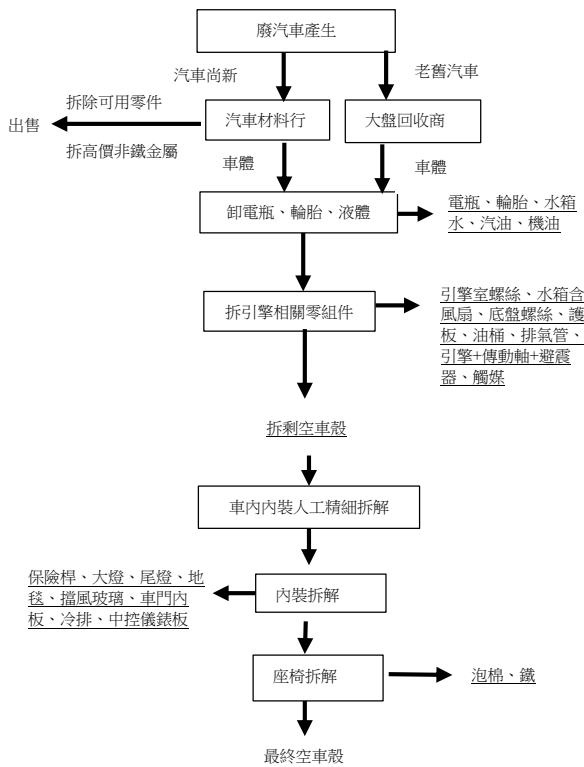


圖 2. 廢車人工精細拆解之作業流程圖

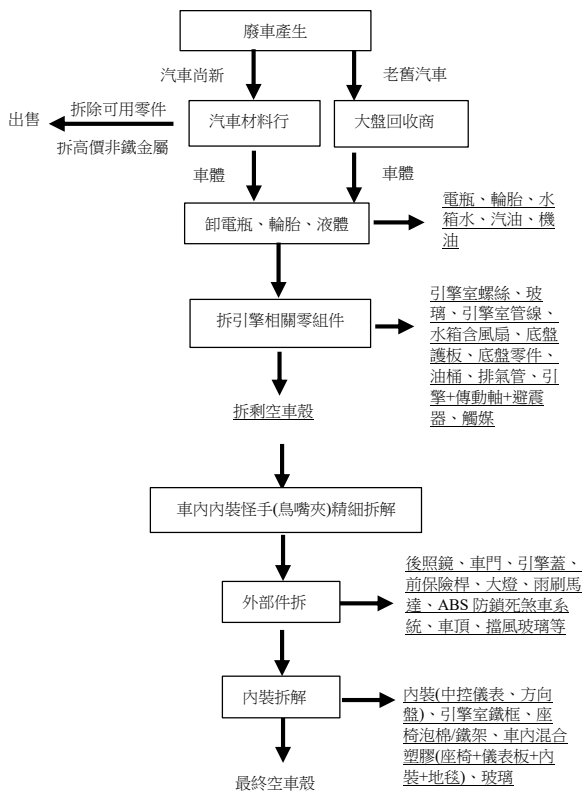


圖 3. 廢車怪手（鳥嘴夾）精細拆解之作業流程圖

表 1. 每輛廢車在不同拆解方式於現場拆解階段之能資源耗用盤查結果

能資源耗用 拆解方式	柴油 (公升/車)	電 (度/車)	氧氣 (公升/車)	乙炔 (公升/車)
傳統拆解	4	3	0.822	0.517
人工精細拆解	4	4.5	0.822	0.517
怪手(鳥嘴夾)精細拆解	9.26	3	0.822	0.517

(二) 不同拆解模式之能資源耗用調查結果

本研究根據現場盤查拆解廠所提供之營運資料，可計算廢車傳統拆解與精細拆解於現場拆解階段，每拆解一台車之能資源耗用量（如柴油消耗量、電力消耗量、氧氣消耗量與乙炔消耗量等），本研究現場盤查所得之能資源耗用調查結果如表 1 所示。根據表 1 可知，以傳統拆解方式拆解一輛車，其柴油消耗量為 4 公升，電力消耗量為 3 度，氧氣消耗量為 0.822 公升，乙炔消耗量為 0.517 公升。另以人工精細拆解方式拆解一輛車，其柴油消耗量為 4 公升，電力消耗量為 4.5 度，氧氣消耗量為 0.822 公升，乙炔消耗量為 0.517 公升。另以怪手（鳥嘴夾）精細拆解方式拆解一輛車，其柴油消耗量則為 9.26 公升，較傳統拆解高，電力消耗量為 3 度，氧氣消耗量為 0.822 公升，乙炔消耗量為 0.517 公升。

(三) 不同拆解模式之特徵化與統一化環境衝擊值

根據本研究盤查廢車傳統拆解與精細拆解於現場階段，拆解一台車所需之能資源耗用量結果（如表 1），經 SimaPro 「Eco-Indicator 95」方法分析，可分別獲得 11 項環境衝擊指標之「特徵化」環境衝擊值與「統一化」環境衝擊值。計算結果如下所述：

根據 SimaPro 「Eco-Indicator 95」方法分析所得每輛廢車傳統拆解現場階段之特徵化環境衝擊值如表 2 所示，每輛廢車人工精細拆解現場階段之特徵化環境衝擊值亦列於表 2，而每輛廢車怪手（鳥嘴夾）精細拆解現場階段之特徵化環境衝擊值亦列於表 2。根據表 2 結果得知，溫室效應指標之特徵化環境衝擊值最高為怪手（鳥嘴夾）精細拆解（9.14 kg CO₂），臭氧層破壞指標之特徵化環境衝擊值最高為傳統拆解與人工精細拆解（6.13E-6 kg CFC11），酸化指標之特徵化環境衝擊值最高為怪手（鳥嘴夾）精細拆解（0.107 kg SO₂），營養化指標之特徵化環境衝擊值最高為怪手（鳥嘴夾）精細拆解（0.0155kg PO₄），重金屬指標之特徵化環境衝擊值最高為怪手（鳥嘴夾）精細拆解（0.000165kg Pb），致癌物指標之特徵化環境衝擊值最高為怪手（鳥嘴夾）精細拆解（7.05E-

7kg B(a)P)，農藥指標之特徵化環境衝擊值最高為怪手(鳥嘴夾)精細拆解(9.95E-12 kgact.subst)，夏季煙霧指標之環境衝擊值最高為怪手(鳥嘴夾)精細拆解(0.00838 kg C₂H₄)，冬季煙霧指標之環境衝擊值最高為為怪手(鳥嘴夾)精細拆解(0.0681 kg SPM)，能源損耗指標之環境衝擊值最高為怪手(鳥嘴夾)精細拆解(839 MJ LHV)，而固體廢棄物指標之環境衝擊值於傳統拆解、人工精細拆解與怪手(鳥嘴夾)精細拆解皆相同(2.98E-7kg)。

另根據 SimaPro 「Eco-Indicator 95」方法分析所得每輛廢車傳統拆解現場階段之統一化環境衝擊值如表 3 所示，由此表可知，溫室效應指標之統一化環境衝擊值為 0.867 mPt，臭氧層破壞指標之統一化環境衝擊值為 0.662 mPt，酸化指標之統一化環境衝擊值為 5.38 mPt，優養化指標之統一化環境衝擊值為 1.22 mPt，重金屬指標之統一化環境衝擊值為 7.31 mPt，致癌物指標之統一化環境衝擊值為 0.297 mPt，冬季煙霧指標之統一化環境衝擊值為 1.6 mPt，夏季煙霧指標之統一化環境衝擊值為 0.513 mPt，農藥指標之統一化環境衝擊值為 1.14E-7 mPt，能源損耗指標之統一化環境衝擊值為 0 mPt，固體廢棄物指標之統一化環境衝擊值為 0 mPt。整體而言，傳統拆解於現場階段之環境總衝擊值合計為 17.849 mPt。

表 2. 三種拆解方式拆解每輛廢車於現場拆解階段之特徵化環境衝擊值

環境衝擊值 環境指標	單位 (unit)	傳統拆解	人工精細拆解	怪手(鳥嘴夾)精細拆解
溫室效應 (Greenhouse)	kg CO ₂	4.58	4.97	9.14
臭氧層破壞 (Ozone layer)	kg CFC11	6.13E-6	6.13E-6	1.42E-5
酸化 (Acidification)	kg SO ₂	0.0605	0.0605	0.107
優養化 (Eutrophication)	kg PO ₄	0.00934	0.00934	0.0155
重金屬 (Heavy metals)	kg Pb	7.95E-5	7.95E-5	0.000165
致癌物 (Carcinogens)	kg B(a)P	3.23E-7	3.23E-7	7.05E-7
農藥 (Pesticides)	kg act.subst	4.4E-12	4.4E-12	9.95E-12
夏季煙霧 (Summer smog)	kg C ₂ H ₄	0.00367	0.00367	0.00838
冬季煙霧 (Winter smog)	kg SPM	0.0301	0.0301	0.0681
能源損耗 (Energy resources)	MJ LHV	388	388	839
固體廢棄物 (Solid waste)	kg	2.98E-7	2.98E-7	2.98E-7

而每輛廢車人工精細拆解現場階段之統一化環境衝擊值亦列於表 3，由此表可知，溫室效應指標、臭氧層破壞指標、酸化指標、優養化指標、重金屬指標、致癌物指標、冬季煙霧指標、夏季煙霧指標、農藥指標、能源損耗指標、固體廢棄物指標之統一化環境衝擊值依序為 0.95 mPt、0.662 mPt、5.38 mPt、1.22 mPt、7.31 mPt、0.297 mPt、1.6 mPt、0.513 mPt、1.14E-7 mPt、0 mPt、0 mPt。整體而言，傳統拆解於現場階段之環境總衝擊值合計為 17.932 mPt。

另每輛廢車怪手(鳥嘴夾)精細拆解現場階段之統一化環境衝擊值亦列於表 3，由此表可知，溫室效應指標之統一化環境衝擊值為 1.75 mPt，臭氧層破壞指標之統一化環境衝擊值為 1.53 mPt，酸化指標之統一化環境衝擊值為 9.5 mPt，優養化指標之統一化環境衝擊值為 2.03 mPt，重金屬指標之統一化環境衝擊值為 15.2 mPt，致癌物指標之統一化環境衝擊值為 0.648 mPt，冬季煙霧指標之統一化環境衝擊值為 3.61 mPt，夏季煙霧指標之統一化環境衝擊值為 1.17 mPt，農藥指標之統一化環境衝擊值為 2.59E-7 mPt，能源損耗指標之統一化環境衝擊值為 0 mPt，固體廢棄物指標之統一化環境衝擊值為 0 mPt。整體而言，怪手(鳥嘴夾)精細拆解於現場階段之環境總衝擊值合計為 35.438 mPt。

表 3. 三種拆解方式拆解每輛廢車於現場階段之統一化環境衝擊值

環境衝擊值 環境指標	(單位: mPt)		
	傳統拆解	人工精細拆解	怪手(鳥嘴夾)精細拆解
溫室效應 (Greenhouse)	0.867	0.95	1.75
臭氧層破壞 (Ozone layer)	0.662	0.662	1.53
酸化 (Acidification)	5.38	5.38	9.5
優養化 (Eutrophication)	1.22	1.22	2.03
重金屬 (Heavy metals)	7.31	7.31	15.2
致癌物 (Carcinogens)	0.297	0.297	0.648
農藥 (Pesticides)	1.14E-7	1.14E-7	2.59E-7
夏季煙霧 (Summer smog)	0.513	0.513	1.17
冬季煙霧 (Winter smog)	1.6	1.6	3.61
能源損耗 (Energy resources)	0	0	0
固體廢棄物 (Solid waste)	0	0	0
合計 (Total)	17.849	17.932	35.438

綜合比較傳統拆解、人工精細拆解以及怪手（鳥嘴夾）精細拆解於現場階段之環境衝擊大小，可知無論採用何種拆解方式，皆以重金屬指標之統一化環境衝擊值最高，酸化指標之統一化環境衝擊值次之，能源耗損指標與固體廢棄物指標之統一化環境衝擊值最低。而怪手（鳥嘴夾）精細拆解之環境總衝擊值（35.438 mPt）> 人工精細拆解之環境總衝擊值（17.932 mPt）> 傳統拆解之環境總衝擊值（17.849 mPt），且怪手（鳥嘴夾）精細拆解之環境總衝擊值約為傳統拆解與人工精細拆解的兩倍。

（四）不同拆解模式之碳足跡

本研究以表 1 之能資源耗用量盤查結果，以「IPCC 2001 GWP 100a」方法，計算三種拆解方式之碳排放量，其計算結果如表 4 所示。

每輛廢車於傳統拆解現場階段、人工精細拆解階段以及怪手精細拆解階段之碳排放量依序為 4.87 kg CO₂ eq、5.26 kg CO₂ eq、9.63 kg CO₂ eq。經上述各廢車拆解方式之碳足跡係數計算結果得知，其拆解每輛廢車之碳足跡由高到低依序為，怪手（鳥嘴夾）精細拆解（9.63 kg CO₂ eq）、人工精細拆解（5.26 kg CO₂ eq）以及傳統拆解（4.87 kg CO₂ eq）。

四、結論與建議

本研究將傳統拆解定義為，拆解人員於廢車拆解廠現場使用工具拆解車輛外部零件，如引擎、水箱、電瓶、輪胎等。並將人工精細拆解定義為，由於傳統拆解未拆除高熱值物件，故人工精細拆解則是將傳統拆解剩餘車殼中殘留之塑膠零件、座椅、泡棉、玻璃等以人工方式進行拆除。另怪手（鳥嘴夾）精細拆解定義為，由於傳統拆解未拆除高熱值物件，故鳥嘴夾怪手精細拆解則是將傳統拆解剩餘車殼中殘留之塑膠零件、座椅、泡棉、玻璃等，以鳥嘴夾怪手方式進行拆除。

根據本研究實地盤查廢車拆解廠，可得到以傳統拆解方式拆解一輛廢車，其柴油消耗量為 4 公升，電力消耗量為 3 度，氧氣消耗量為 0.822 公升，乙炔消耗量為 0.517 公升。若以人工精細拆解方式拆解一輛廢車，其柴油消耗量為 4 公升，電力消耗量為 4.5 度，氧氣消耗量為 0.822 公升，乙炔消耗量為 0.517 公升。另以怪手（鳥嘴夾）精細拆解方式拆解一輛廢車，柴油消耗量為 9.26 公升，電力消耗量為 3 度，氧氣消耗量為 0.822 公升，乙炔消耗量為 0.517 公升。

本研究以能資源耗用量數據進行環境衝擊影響評估分

表 4. 三種拆解方式現場階段拆解每輛廢車之碳足跡

拆解方式	單位 (Unit)	碳足跡
傳統拆解	kg CO ₂ eq	4.87
人工精細拆解		5.26
怪手（鳥嘴夾）精細拆解		9.63

析，可知各廢車拆解方式於現場拆解階段之統一化環境衝擊值由高到低依序為：怪手精細拆解（35.438mPt）、人工精細拆解（17.932 mPt）以及傳統拆解（17.849 mPt）。而碳足跡分析結果顯示，三種拆解方式產生之碳排放量由多至少依序為：怪手精細拆解（9.63 kg CO₂ eq）、人工精細拆解（5.26 kg CO₂ eq）以及傳統拆解（4.87 kg CO₂ eq）。

誌謝

本研究感謝行政院環境保護署 111 年度第 2 次補助應回收廢棄物回收處理創新及研究發展計畫（EPA-111-XA21）以及中華民國廢機動車輛回收處理商業同業公會全國聯合會提供經費補助支持。

參考文獻

1. 行政院環保署（112 年 3 月 6 日），資源回收網，112 年 7 月 1 日，取自 <https://recycle.epa.gov.tw/Project/Motorcycle>.
2. 李清華、施辰宣、王進益、黃于睿、黃梓倫、林媚雯（民 112），廢汽車拆解調查與分析，科學與工程技術期刊，19(1)，35-45
3. 國家發展委員會（民 1111），臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明，台北。
4. 許金鐘（民 100），不確定條件下廢汽車拆解優選模式之建立，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。
5. 經濟部能源局（111 年 7 月 22 日），110 年度電力排碳係數，112 年 7 月 1 日，取自 https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.a_spx?menu_id=20850
6. Björklund, A. and G. Finnveden (2005) Recycling revisited - life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, 44(4), 309-317.
7. Cossu, R. and T. Lai (2015) Automotive shredder residue (ASR) management: An overview. *Waste Management*, 45, 143-151.

-
8. Franchetti, M. and P. Kilaru (2012) Modeling the impact of municipal solid waste recycling on greenhouse gas emissions in Ohio, USA. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 107-113.
 9. Manfredi, S., D. Tonini and T. H. Christensen (2011) Environmental assessment of different management options for individual waste fractions by means of life-cycle assessment modelling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 995-1004.
 10. Michaud, J. C., L. Farrant, O. Jan, B. Kjær and I. Bakas (2010), *Environmental benefits of recycling–2010 update*. Waste and Resources Action Programme, Banbury, UK.
 11. Turner, D. A., I. D. Williams and S. Kemp (2015) Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 186-197.

收件：112.07.10 修正：112.08.01 接受：112.08.16