

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

082904

「旗」待未來；「塑」造新能源

學校名稱： 高雄市旗津區旗津國民小學

作者： 小六 吳家芸 小六 夏瑜婕 小五 潘彥廷 小五 陳映均 小五 吳齊叡 小五 張清芳	指導老師： 郭育君
---	------------------

關鍵詞： 固體再生燃料、廢棄物資源化、循環經濟

摘要

校園鄰近海邊四周環海，長期與海共存共榮，現今海洋污染仍日益嚴重，過去行之有年的淨灘活動，展現對於愛護海洋環境行動與心意。除了落實ESG全球永續發展裡「E-環境永續」的目標，讓淨灘除海廢的活動，不再只是將海底塑膠污染轉成陸地上的空氣汙染外，而是能真正落實循環經濟的精神”讓污染源變成能源“別讓淨灘活動的用心變成二次污染的轉移。

將廢棄物轉製成SRF（Solid Recovered Fuel），運用在地資源為資材“轉廢為能”淨灘後塑料進行分類，與在地濱海植物透過破碎磁選，製成固體再生燃料取代燃煤、減少化石原料及燃料開採。並加以均質化形成單一性的燃料，同時也能解決農廢和海廢的問題，以循經濟的概念，取代過去線性經濟的慣性思維，可說一舉數得。

壹、前言

一、研究動機

目前全球有140多個國家承諾於2050年達成「淨零排放」的目標，各國也陸續提出宣示與行動，身為海島國家的我們，家鄉又緊鄰海邊，更不能置身事外。未來淨零排放不僅是國家的競爭力也是生存能力。

因學校地理位置特殊，西臨臺灣海峽、東側高雄第一港口，與海洋的聯繫就如同嬰兒臍帶般與母親緊連，重要且密不可分。同時，海洋資源在教學上的應用也是我們的一大優勢，除此之外，為培養學生愛海、知海、親海的素養，我們也發展了許多在地海洋特色課程。

海洋是大自然重要一環，孕育了許多生命，提供資源，許多人更是「靠海吃飯」，眼見著淨灘活動越來越受歡迎，但海洋廢棄物逐年倍增，嚴重威脅海洋生態，據聯合國統計，每年有800萬噸的塑膠垃圾進入海洋，到了2025年海洋中的塑膠就可能跟魚類一樣的多。於是，「我們一直再思考，如何減少海洋廢棄物負擔，並且還可為家鄉資源循環再利用，提高廢棄物的附加價值呢？」偶然一次環境教育課程淨灘活動結束，我們在努力分類淨灘回來後的垃圾之中，與老師和同學討論著這類話題，引發研究動機想要「塑」造新能源，展現對海洋廢棄物循環利用的具體行動。

二、研究目的

每次辛苦淨灘捨得海廢，若不能有效解決回收運用充其量也只是「把垃圾從海上搬回陸地」，對環境依舊是沈重的負擔。這些所謂的廢棄物（廢塑料、紙類、木材等）事實上，含有許多的能源或價值。透過一些前處理程序（例如，破碎、分選、乾燥、造粒）、均質化及後端空氣汙染防制設備（減少空氣中粉塵及臭味）轉換為燃料（產生能源）或有用的物質（循環使用），最終製成固體再生燃料SRF。還可降低都市垃圾焚化廠及處置負擔，並且還可減少部分石化資源和溫室氣體排放。

SRF不僅便利運用、容易存放，更能有效替代煤炭、焦炭等石化燃料。根據日本學者調查SRF的價格僅有煤炭的三分之一到四分之一，好處不止於此，同樣的熱能產出，CO₂的排放減少到石化燃料的三分之二，可說是一項具有經濟效益、廢棄物利用極大的高效能源，之所以好處多多，我們擬定了下列幾項問題來做研究：

研究一：海洋廢棄物總類分析

研究二：海洋廢棄物基本材料分析

研究三：SRF製作條件設定

研究四：SRF與無煙煤比較熱值

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



圖片來源：聯合國教科文組織

三、名詞解釋

(一) 固體再生燃料相關資料

1. 固體再生燃料（Solid Recovered Fuel，簡稱SRF）

是以非有害適燃性固體廢棄物經分選及均質化後依鍋爐或燃燒裝置之需求製造之回收燃料或輔助燃料。

(1) SRF組成

主要為廢棄物中之塑料與生質物（廢紙、木材與其他木質纖維廢棄物）。

(2) SRF燃燒特性

相較於燃煤其閃火點低、揮發份高、燃燒迅速。

2. 固體再生燃料效益

環境效益

- (1) 減少煤炭使用
- (2) 減少溫室氣體排放
- (3) 降低環境衝擊

經濟效益

- (1) 低燃料成本
- (2) 高能源效率
- (3) 其他效益

3. 固體再生燃料（SRF）應用考量與注意事項

- SRF料源：塑膠、橡膠、紙類、木材、纖維、汙泥
- 三成份：水份、灰份、可燃份
- 熱值、重金屬種類與含量
- 不同物料燃燒特性：燃點、需氧量、燃燒時間
- SRF製造：純化、乾燥、均質化、造粒

(二) 廢棄物資源化

將廢棄物轉製為SRF，主要就是從來自各方、可能混雜著各種物質的廢棄物中，分類出可燃燒的紙、塑膠或纖維等，並加以均質化、形成單一性質的燃料；而這些SRF再生燃料就可以配合專用的鍋爐或水泥窯使用，不必再燃燒煤、油或天然氣等燃料，真正使「垃圾變黃金」。

(三) 循環經濟

循環經濟是一個資源可恢復且可再生的經濟與產業系統，相較於線性經濟的產品「壽終正寢」的概念，循環經濟使用再生能源、拒絕使用無法再利用的有毒化學物質，重視資源使用效率 (resource efficiency)，設法以更少的資源來創造更多的價值，確保地球有限的資源能以循環再生、永續方式被使用。同時，循環經濟也是經濟與環境永續的共生思維，在經濟發展的同時兼顧環境永續與社會責任，最終達成永續發展 (sustainable development) 的目標。

(四) 乾、濕基









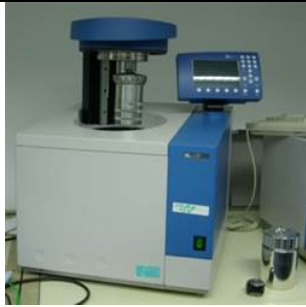
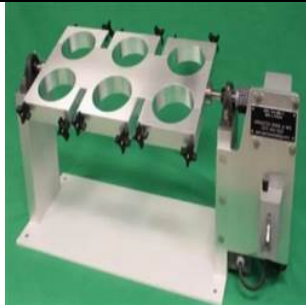






指以未經風乾含有總水分狀態之原始試樣為基準，表示其分析之結果。是資材含水率的表示方法之一，濕基標記法是以資材品質為基準計算的。

乾基就是不包括水的，濕基就是包含水的，這兩個概念通常用在測定或者描述含有水分資材的某種成份上，比如乾基百分含量就是把這種資材的水分烘乾後的定的結果，而濕基的就是直接測定的結果。

(四) 毒性溶出程序 (TCLP)

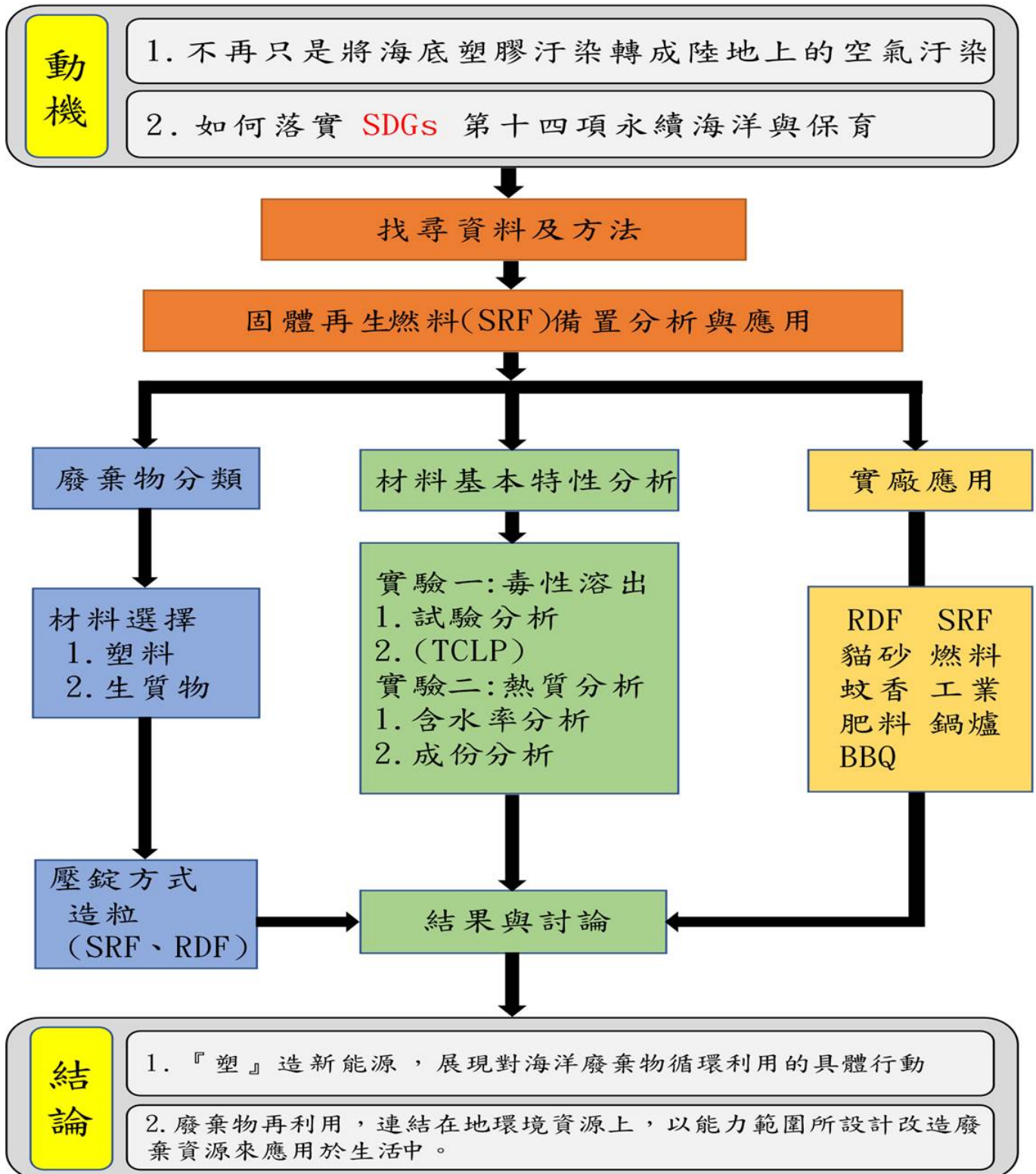
毒性溶出程序 (Toxicity characteristic leaching procedure, TCLP) 方法中表示，可以利用整體重金屬含量作為評估依據，用固體樣品 20 倍重的萃取液去萃取分析，假設 100% 都溶出，所得到的濃度比例將會是原固體樣品的 1/20 的濃度。直接測試原始的事業廢棄物固體，所得到的重金屬濃度的 1/20 如果低於事業廢棄物管理辦法的規定，就可以不需要進行毒性溶出程序 (Toxicity characteristic leaching procedure, TCLP)，俗稱 Rule of 20。這對於小型廢棄物處理掩埋場將可以節省大量的實驗室分析成本。

貳、研究設備及器材

海洋廢棄乾柴		海洋各類塑膠		各類紙類	
					
塑膠粒	塑膠片	再生燃料造粒	打錠器		
					
造粒機	彈式熱量計	TCLP毒物萃取裝置	大型破碎、粉碎機		
					
燃燒器	電子磅秤	國際淨灘記錄表	鋸刀	鐵鎚	
					

參、研究過程與結果討論

一、研究架構



肆、研究結果與討論

研究一：海洋廢棄物總類分析

實驗一：海洋廢棄物篩選

(一) 實驗目的：探討海洋廢棄物總類分析

(二) 實驗變因：

1. 操作變因：

1-1 生活型態

1-2 廢棄物來源

2. 控制變因：廢棄物對生態危害認知、環境教育。

3. 應變變因：觀察海洋廢棄物

			
<p>1.研究前擬定實驗並進行討論</p>	<p>2.規劃淨灘活動動線圖和注意事項</p>	<p>3.分工合作進行，撿拾海灘上的垃圾</p>	<p>4.沙灘上的雜草中也隱藏很多垃圾</p>
			
<p>5.各組將撿回來的垃圾進行分類和紀錄。</p>	<p>6.淨灘後，撿回來最多的是塑膠類。</p>	<p>7.收集、前處理廢棄物、分類和篩選同等大小。(以 P9 圖 1 為例)</p>	<p>8.整理後，分類將其進行破碎成塑膠粒備用。</p>

實驗一：海洋廢棄物篩選

(一) 使用材料：

手套、強韌剪刀、磁鐵、麻布袋、鋸子、手套、夾子、網袋、塑膠繩、黑色奇異筆。

(二) 步驟圖解詳細說明

1. 規劃淨灘活動，動員班級同學協助，分組紀錄
2. 使用器材
3. 回收認識塑膠物品
4. 回收物如何統計紀錄
5. 回收後再次細分類

			
<p>1. 淨灘後，檢回來的垃圾進行分裝。</p>	<p>2. 將淨灘撿拾回來的垃圾先初步分類不可燃之垃圾。</p>	<p>3. 將垃圾統一集中、整理，再進行第二次的分類。</p>	<p>4. 先將大型海洋廢棄物挑選出來。</p>
			
<p>5. 大家分工合作，將垃圾進行分類、篩選、剔除。</p>	<p>6. 將海洋廢棄物進分類（細項分類）。</p>	<p>7. 各組分別記錄垃圾品項和數量，資料統整並進行討論。</p>	<p>8. 彙整資料、統計垃圾品項，有些進行秤重紀錄。</p>

可回收 塑膠7大類

 <p>特色：透明、質輕、性強 常用於寶特瓶</p> <p>耐溫：85°C</p> <p>PET 聚乙烯對苯二甲酸酯</p>		 <p>特色：透明材質，常用於雞蛋盒、雨衣</p> <p>耐溫：60-80°C</p> <p>PVC 聚氯乙烯</p>	
 <p>特色：不透明或半透明，較LDPE堅硬，常用於牛奶罐、清潔用品</p> <p>耐溫：90-110°C</p> <p>HDPE 高密度聚乙烯</p>		 <p>特色：半透明材質，常用於豆漿罐、水桶、垃圾桶</p> <p>耐溫：100-130°C</p> <p>PP 聚丙烯</p>	
 <p>特色：不透明或半透明，常用於塑膠袋、塑膠膜</p> <p>耐溫：70-90°C</p> <p>LDPE 低密度聚乙烯</p>		 <p>特色：硬膠類塑膠，重擊易脆裂，常用於養樂多瓶、保麗龍</p> <p>耐溫：70-90°C</p> <p>PS 聚苯乙烯</p>	
 <p>特色：除前述六類，其餘可回收塑膠材質皆屬第七類。包含植物分解環保塑膠材質(PLA)、ABS樹脂、聚碳酸酯(PC)、壓克力等</p> <p>耐溫：PLA 約 50°C</p> <p>OTHERS 其他類</p> 			

P9圖1

海邊濱海植物（廢木材）

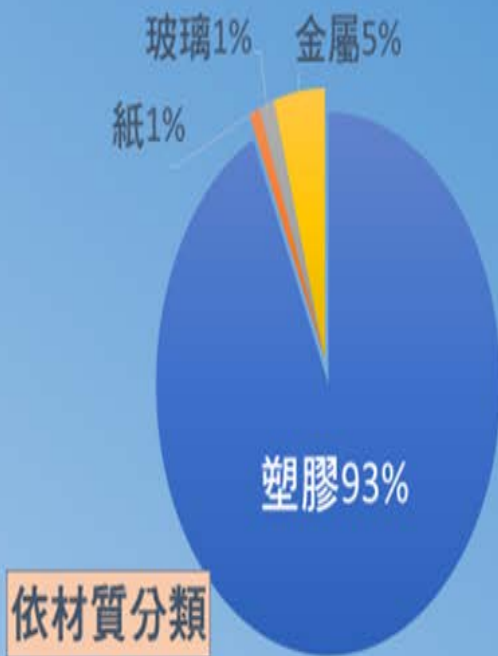
			
<p>1.海邊附近，撿拾修枝後廢棄濱海植物。</p>	<p>2.將修枝後資材，先進 行裁切、篩選備用。</p>	<p>3.再將收回來廢棄 物，進行分選、破 碎。</p>	<p>4.海邊的濱海植物 （廢木材）</p>
			
<p>5.集中收集，整理曬 乾備用。</p>	<p>6.採天然曝曬七~十四 天日。</p>	<p>7.曝曬後，裁切秤重 備用。</p>	

（三）實驗發現：

龐大的海洋垃圾中，大多數是跨海從大陸漂來的，但是也有部分是自己製造的。而我們發現有超過一半的海洋廢棄物，都是用完即丟的一次性商品，例如免洗具、飲料罐等等。在我們清理海邊垃圾的過程中，飲料蓋、吸管、食物包裝容器、塑膠袋、紙袋、免洗餐具、塑膠飲料瓶、玻璃飲料瓶、鐵鋁罐、繩子、輪胎等東西應有盡有，而這些從海邊撿回來的廢棄物也讓我們領悟了一件事，除了政府與企業的责任之外，每一個人都必須為海洋垃圾的污染負起責任，因為我們貪圖便利的行為，造就了龐大的海洋垃圾量。

2021台灣ICC淨灘行動

海洋廢棄物組成分析



- 由此圖可以了解到，再數據統計下，海洋廢棄物主要的材質都是以塑膠為主這也是因為塑膠無法被環境分解的特性所導致。

資料來源:愛海小旅行

P11圖2

(四) 綜合以上結果分析

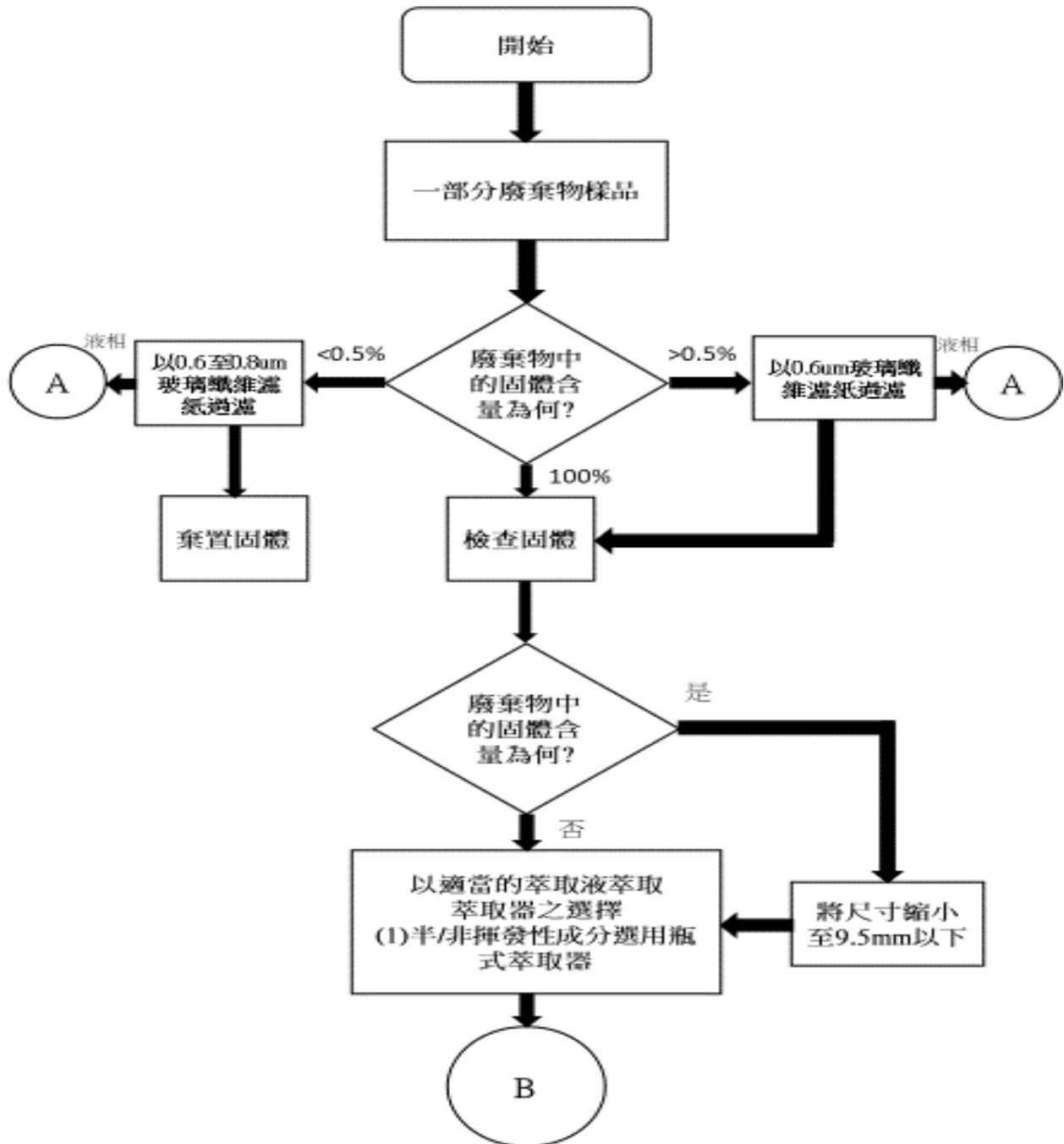
依照過去淨灘活動為例，海洋廢棄物組成物，若依照材質分類，塑膠占比為93%，其餘金屬為5%，玻璃為1%，紙類為1%，由此可知在海洋廢棄物部分占比最高為塑膠材質，因塑料材質無法被自然環境分解。

研究二：海洋廢棄物基本材料分析

實驗一：毒性溶出特性分析(TCLP)

(一) 使用材料：粉碎機、切割機、壓錠機、壓錠模具

(二) 方法步驟：



	Sample	Pb 鉛	Cd 鎘	Cr 鉻	Cu 銅	Zn 鋅
	塑膠	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
TCLP	紙類	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
(mg/L)	木材	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

ND:指not detector，表示濃度很低未檢驗出。

(三) 實驗發現：

TCLP方法研發的目的是確定液體、固體和城市垃圾中多項毒性指標的遷移性。TCLP作為美國最新的法定重金屬污染評價方法，是當前國際上套用最廣泛的一種生態風險評價方法。主要用於檢測固體介質或廢棄物中重金屬元素的溶出性和遷移性。毒性特性溶出程序(簡稱 TCLP)，本海洋廢棄物屬一般廢棄物重金屬檢測值皆為ND可做為資源化潛力。

實驗二：材料熱值分析、材料含水率、三成份分析

(一) 使用材料設備：烘箱、含水率分析、秤台

(二) 方法步驟：

將含氧氣彈筒水槽，置於恆溫且絕熱式之夾套中，點火燃燒後，物質所釋放之燃燒熱，由外圍水槽吸收，記錄水槽上升之溫度，乘上熱量計之熱當量，再除以試料重量即可得其乾基發熱量其他類廢塑膠及可燃性廢棄物之成分與熱值分析經實際取樣分析。

(三) 分析結果：

Sample	水分%	灰分% (乾基)	濕基低位			CI%(乾基)
			發熱量 (kcal/kg)	C%(乾基)	S%(乾基)	
塑膠	0.9	5.81	5330.21	47.22	0.21	12.96
紙類	2.31	0.14	3671.11	70.2	0.02	0
木材	1.54	0.7	7541.26	85.11	0.04	0

(四) 實驗發現：

常見三種廢棄物可燃性廢棄物樣品之三成份、發熱量及元組成比例如表所示。濕基低位發熱量介於3671~7541 kcal/kg；乾基含碳量最高為木材 85.11 %；乾基灰分最高為塑膠5.81 %；乾基含氯量最高為塑膠12.96 %；乾基含硫量最高為塑膠0.21 %。

(五) 綜合以上結果分析：

毒性特性溶出程序（簡稱 TCLP），本海洋廢棄物屬一般廢棄物重金屬檢測值皆為ND可做為資源化潛力，由成分分析可知皆為高熱值可資源化廢棄物，唯有廢塑膠中「氯」需要多研究如何去除，因為燃燒廢塑膠會有戴奧辛產生。

戴奧辛產生的來源，包括自然生成(如火山爆發、森林火災)，工業原料製程(如含氯酚類化合物的副產物、特定工業製程的燃燒排放，如工業高溫製程(如水泥窯爐、瀝青拌合廠、煉鋼廠、非鐵金屬熔融冶煉、鑄造廠等)、化學製造(如殺蟲劑、紙漿、造紙漂白、氯乙烯製造等)、電力與能源利用(如電廠燃油燃燒、車輛燃料燃燒等)，還有廢棄物焚化、及其他人為的燃燒行為(如露天燃燒、火災、抽煙等)。戴奧辛類多氯聯苯統稱「戴奧辛類化合物」，共有210多種之化合物。這些化合物皆具有兩個氧原子聯結一對苯環類，並與氯結合，是燃燒或製造含氯物質時，產生的無色、無味、毒性很強的脂溶性化學物質，會安定存在於動物脂肪內。

如上圖表示發現到燃燒塑膠類含有Cl (乾基)有12.96%，主因為廢塑膠為聚氯乙烯製品，在燃燒過程則會產生氯苯酚，形成戴奧辛副產物，然而使用SRF作為固體燃料，尾氣後端皆有污染防治設備，將戴奧辛去除。

研究三：SRF製作條件設定

實驗一：配比選定、顆粒狀造粒








(一) 使用材料：塑膠、木材、紙類、油類、鋸刀、鐵鎚、大型破碎機(粉碎)、造粒機

(二) 步驟圖解：

1. 木材處理流程

		
<p>1.將收回來廢棄物，進行分類。</p>	<p>2.將廢棄物進行分選。</p>	<p>3.將收回來大型廢棄物進行破碎。</p>
		
<p>4.進行分選、破碎後進入下一步</p>	<p>5.分選、破碎後，磨成粉狀。</p>	<p>6.前處後不同粒徑大小的顆粒、粉狀資材備用</p>

2. 塑料處理流程

			
<p>1. 淨灘後，先集中塑料再進行分類。</p>	<p>2. 淨灘後，撿回各類不同塑膠，準備造粒。</p>	<p>3. 依照不同塑膠材質進行造粒</p>	<p>4. 依照不同塑膠材質進行造粒</p>
			
<p>5. 依照不同粒徑大小塑膠粒備(粒狀顆粒)</p>	<p>6. 依照不同粒徑大小塑膠粒備用(片狀顆粒)</p>	<p>7. 依資材、配比不同，進行造粒。</p>	<p>8. 塑膠處理成功，進入造粒流程。</p>

	Sample	塑膠	紙類	木材
粗顆粒	A1-1	80%	10%	10%
	A2-1	60%	20%	20%
	A3-1	40%	30%	30%
	A4-1	50%	25%	25%

	Sample	塑膠	紙類	木材
粗顆粒 (含油)	A1-2	80%	10%	10%
	A2-2	60%	20%	20%
	A3-2	40%	30%	30%
	A4-2	50%	25%	25%

(三)發現問題：

根據配比不同外，我們也分別進行有（無）添加油料進行造粒，依造粒的部分：無添加油料，在造粒過程中，會因機器運轉熱度不夠很容易在擠壓過程阻塞造成出料不順，甚至，有些無法密實；但經過我們多次實驗調整資材配比後發現，有添加油料的，反而不容易阻塞，造粒後成品顆粒形狀也比較完整，更重要的是還可以當作潤滑劑，這樣在造粒過程中就比較不容易阻塞造粒孔，也比較容易出料，形狀也比較完整成形。顆粒愈大膠結性不佳，容易鬆散，需要添加額外膠結劑使其固化造粒。





熱值部分：也會因有（無）添加油料有所差異不同，這在後面研究四會再補充說明。

(四) 綜合以上實驗結果分析





1. 比較顆粒大小與有、無添加物（油）差異

粗顆粒（含油）

以下為各類資材和顆粒配比差異

			
1. 塑膠比例比較多，黏著性比較好，但色澤都偏暗。 塑膠80% 紙類10% 木材10%	2. 依資材、配比不同，略顯差異 塑膠60% 紙類20% 木材20%	3. 紙類和木材比例各30%，造粒成形後顆粒偏乾。 塑膠40% 紙類30% 木材30%	4. 色澤偏淡，無光澤度，有些顆粒無法成形。 塑膠50% 紙類25% 木材25%

細顆粒（含油）

			
1. 依照不同配比，外觀色澤略顯差異。 塑膠80% 紙類10% 木材10%	2. 依照不同配比，外觀色澤略顯差異。 塑膠60% 紙類20% 木材20%	3. 依照不同配比，外觀色澤略顯差異。 塑膠40% 紙類30% 木材30%	4. 依照不同配比，外觀色澤略顯差異。 塑膠50% 紙類25% 木材25%

粗顆粒（無油）

以下為各類資材和顆粒配比差異

			
塑膠80% 紙類10% 木材10%	塑膠60% 紙類20% 木材20%	塑膠40% 紙類30% 木材30%	塑膠50% 紙類25% 木材25%

細顆粒（無油）

			
塑膠80% 紙類10% 木材10%	塑膠60% 紙類20% 木材20%	塑膠40% 紙類30% 木材30%	塑膠50% 紙類25% 木材25%

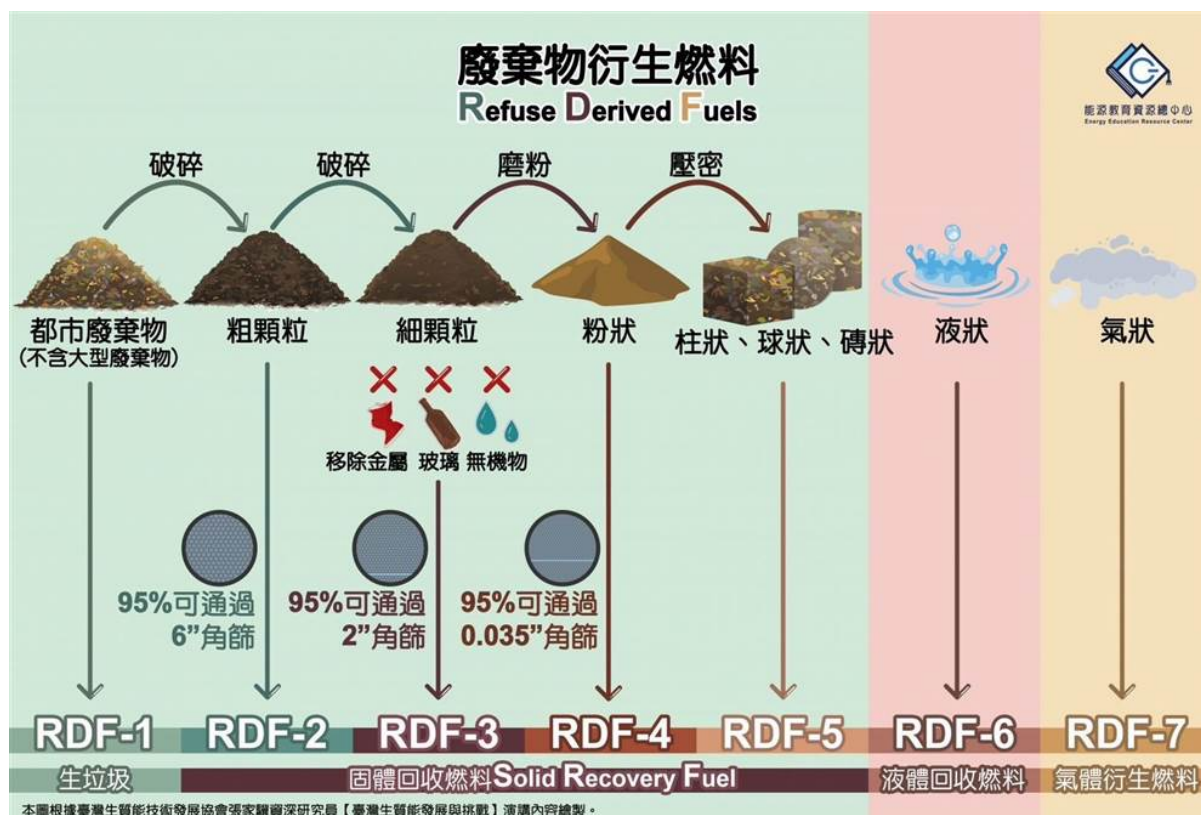
1. 比較不同外觀差異



如上圖示，外觀較油亮為造粒**成功**



如上圖示，外觀較為鬆散且無光澤造粒過程中容易**失敗**，因配比調整上不佳



圖片來源:台灣生質能技術發展協會張家驥資深研究員【台灣生質能發展與挑戰】演講內容繪製。

2. 不同能源應用上差異



廢棄能源化



燃料化



- ◆ 利用純化與均質化將非有害物適燃性**廢棄物製造**成為鍋爐或**燃燒裝置**之**燃料**
- ◆ 可處理高熱值適燃廢棄物
- ◆ 僅適用於非有害適燃性之廢棄物
- ◆ 須依後端使用需求製造



焚化



- ◆ 以利用燃燒方式將廢棄物減積、減量及安定化為主要目的，並於過程中回收熱能，發電進行熱利用
- ◆ 適用於所有含可燃成分廢棄物
- ◆ 操作彈性較低，適合處理高含水率、熱值較低之物種

實驗二：配比選定、粉狀壓錠

(三) 使用材料：塑膠、木材、紙類、油類、造粒機

(四) 分析配比：

	Sample	塑膠	紙類	木材
細顆粒	B1-1	80%	10%	10%
	B2-1	60%	20%	20%
	B3-1	40%	30%	30%
	B4-1	50%	25%	25%

	Sample	塑膠	紙類	木材
細顆粒 (含油)	B1-1	80%	10%	10%
	B2-1	60%	20%	20%
	B3-1	40%	30%	30%
	B4-1	50%	25%	25%

(三) 實驗發現：

粉狀顆粒較容易聚合成型，主要原因為粉狀顆粒比表面積較大，壓錠過程較易密合，因此不需要額外添加膠結劑，即可直接造粒成形，若要添加膠結劑亦可增加細顆粒熱值，另外，以塑膠為基底混入 10%、20% 木材及紙類，再加以探討熱值變化。

(四) 綜合以上實驗結果分析

粗顆粒比表面積越小，導致膠結性不佳，所以添加含油；顆粒愈大膠結性不佳，粉狀顆粒容易聚合，需要添加額外膠結劑用量較少，由此推斷SRF顆粒空氣流通率較佳燃燒效率好，粉狀SRF較緊密空氣流通率部佳燃燒效率較差。

1. 比較不同製造方法造粒成型態、孔隙率、燃燒完全之差異

使用三種海洋廢棄物(塑膠、紙類、木材)，進行探討造粒分析比較，結果如下表所示。

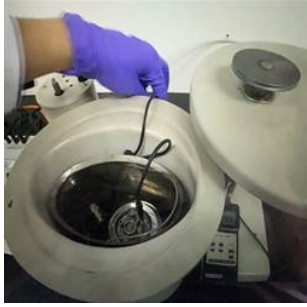
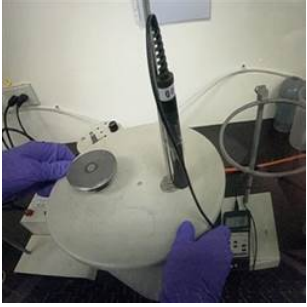
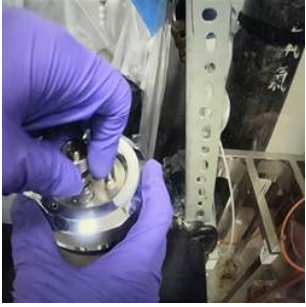

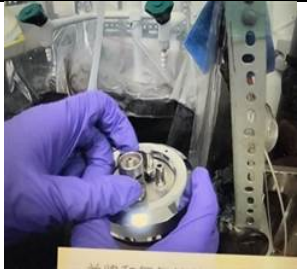


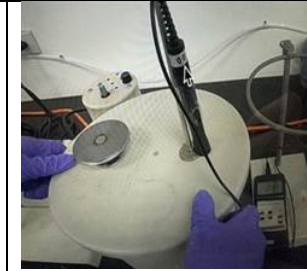
條件	項目	造粒成型態	孔隙率	是否燃燒完全
粗顆粒	塑膠	V	X	X
	紙類	V	V	V
	木材	X	X	X
細顆粒	塑膠	V	X	V
	紙類	V	X	V
	木材	X	X	V
粗顆粒 (含油)	塑膠	V	X	X
	紙類	V	V	V
	木材	X	X	X
細顆粒 (含油)	塑膠	V	X	V
	紙類	V	X	V
	木材	X	X	V

研究四：SRF與無煙煤比較熱值

實驗一：利用熱卡計熱容量之測量。

(一) 使用材料：無煙煤、配置 SRF

(二) 步驟圖解：

			
1.將氧彈筒至於熱卡計測量室上蓋，儀器開始測量時上蓋自動關閉，氧彈筒會進入熱卡計測量室內。	2.氧氣經由充氧裝置自動充填至氧彈筒中，直到設定壓力（30Bar）。	3.經由恆溫循環水槽與熱卡計連接的管路，將熱卡計之外水槽調整至設定溫度	4.恆溫循環水槽對內水槽注入足夠水量（約為1.5L）。
			
5.熱卡計之內水槽有恆溫攪拌裝置，確保水溫的均勻性。	6.外水槽之水溫被控制在固定的溫度。經由電子點火裝置將樣品完全燃燒。	7.在樣品被點燃後熱卡計之內水槽水溫持續上升並記錄，經由內水槽溫度上升度數可自動計算樣品之熱值。	8.試驗結束後，熱卡計測量室上蓋將自動開啟，並將內水槽之水洩回恆溫循環水槽。

	Sample	塑膠	紙類	木材	濕基低位發熱量 (kcal/kg)
粗顆粒	A1	80%	10%	10%	5122.17
	A2	60%	20%	20%	4830.67
	A3	40%	30%	30%	4217.18
細顆粒	B1	80%	10%	10%	5318.06
	B2	60%	20%	20%	4687.84
	B3	40%	30%	30%	4512.14
無煙煤	C1	0	0	0	7100

(五) 實驗發現：

樣品粗顆粒濕基低位發熱量介於 5122~4217 kcal/kg；樣品細顆粒濕基低位發熱量介於 5318~4512 kcal/kg，塑膠配比 80%則發熱量較高；然塑膠配比 40%則發熱量較低，另外發現粗顆粒 B2、B3 發熱量相當。

(六) 綜合以上實驗分析

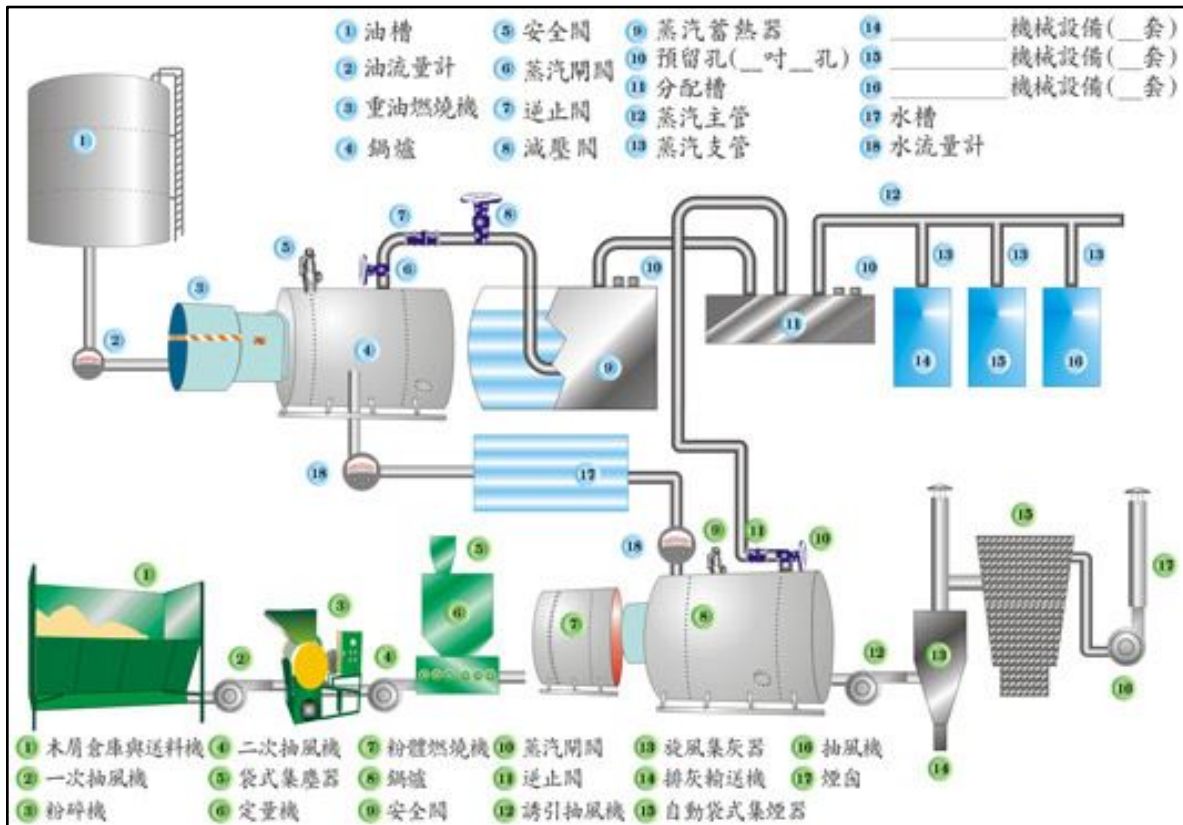
不管粗顆粒或細顆粒濕基低位發熱量介於4212~5318 kcal/kg，近無煙煤熱值，未來實廠應用可以混燒，則可以降低無煙煤亦可以達到資源轉換成能源之效益。

伍、結論

- 一、經由各項海洋廢棄物、濱海廢棄物資源化評估，是有可再利用性，其燃燒熱值皆大於4千卡。
- 二、另外由TCLP毒性溶出特性試驗，結果得知，各項海洋廢棄物、濱海廢棄物皆無重金屬，製成SRF無重金屬空氣污染。
- 三、由各項配比燃燒試驗得知，其燃燒熱值亦大於4千至五千大卡，可未來實廠應用，例如：燃燒鍋爐、垃圾焚化廠預熱使用。
- 四、本研究也可符合，環保署推廣「零廢棄」資源化應用課題，對未來消滅都市廢棄物、海洋廢棄物有極大誘因。
- 五、燃燒不同比例廢塑膠，經過本研究測試結果，其燃燒溫度皆大於800度，可經由裂解「戴奧辛」生成物，因此無空氣污染之虞
- 六、發現燃燒塑膠類含有Cl (乾基)有12.96%，主原因為廢塑膠為聚氯乙烯製品，在燃燒過程則會產生氯苯酚，形成戴奧辛副產物，然而使用SRF作為固體燃料，尾氣後端皆有污染防治設備，將戴奧辛去除。

七、戴奧辛危害

在台灣，自早期的米糠油事件、台南縣中石化安順廠的汙染事件，彰化線西的毒鴨事件、毒蚊香，到最近的戴奧辛毒鴨，戴奧辛汙染事件總是不定時的出現在媒體版面，汙染源大多來自高溫燃燒，如煉鋼後的爐渣汙染河川、土壤，進而造成一些農牧產品受汙染，最後讓我們吃下肚去。多氯戴奧辛、多氯呔喃、與戴奧辛類多氯聯苯統稱「戴奧辛類化合物」，共有210多種之化合物。這些化合物皆具有兩個氧原子聯結一對苯環類，並與氯結合，是燃燒或製造含氯物質時，產生的無色、無味、毒性很強的脂溶性化學物質，會安定存在於動物脂肪內。



照片來自：永順科技

八、戴奧辛處理技術：

活性炭吸附是國內目前對於戴奧辛之尾氣處理技術最常採用的方法，包括固定床式及噴注式，由於固定床式所需設置經費及操作技術層次較高，吸附床內若通風不足及溫度過高，會有火災之危險，因此較少有業者採用此方法，而噴注式活性炭先期所需設備相當簡單(但需搭配袋式集塵)，且理論上只要注入足夠的活性炭，即可確保符合空氣汙染規範之

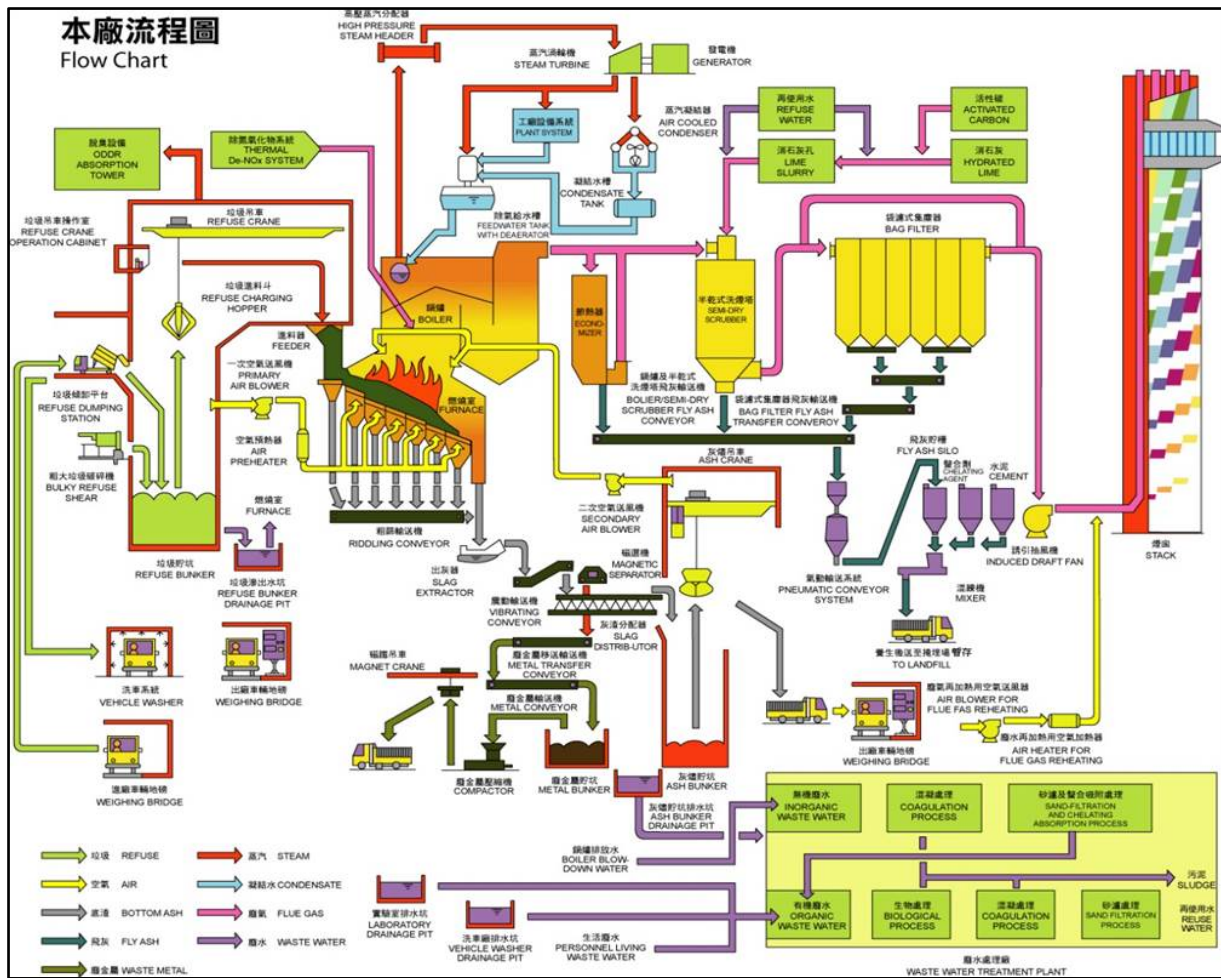
排放標準，因此也成為國內業者較常採用的戴奧辛防制技術。

然而活性碳吸附法只是將戴奧辛透過吸附機制附著在孔洞表面，並無實際將其分解破壞，甚至也會伴隨產生 De Novo 合成反應，催化形成戴奧辛，且對於操作經費而言，活性碳的消耗量是相當可觀(理論上大約50mg/Nm²)，因此站在整體對環境汙染減量的立場，採用活性碳吸附法去除戴奧辛並非良好的處理方法，因為只是將空氣汙染的問題轉化成廢棄物(有害)的二次汙染問題，並無真正降低戴奧辛之毒害。

目前環保署所公告之戴奧辛排放標準當中，把應用活性碳注入技術之相關要求納入法規，雖無強制用意，且只是呼應符合目前國內防制技術現況的需求，但恐會有影響民眾之疑慮。國外常用的處理戴奧辛技術為觸媒法，觸媒法是利用觸媒床提供活性位置，將戴奧辛於較低溫度下(200-300°C)氧化分解為CO、H₂O、HCL等化合物，可實際去除戴奧辛毒性，並無二次汙染的問題，就降低毒性風險而言，為較具積極意義之做法，國內目前僅有少數1-2個汙染源採用，但出現阻塞的問題待克服。

歐美及日本等先進國家對於觸媒法處理戴奧辛皆有相當良好及成熟的發展，包括觸媒床以及觸媒濾布的研發，皆有不錯的成績，然而國內多數業者對此處理技術的瞭解尚未普及，僅有少數廠商投入相關研發工作。

以日本而言在處理廢氣中戴奧辛汙染物多以觸媒焚化方式處理，幾乎很少採用活性碳吸附法，因為活性碳吸附的方式其實並沒有解決戴奧辛的問題，而只是把問題轉嫁到另一個層面。表一比較採用觸媒焚化及活性碳噴注吸附法處理戴奧辛之差異性，兩種技術雖各有優缺點，但對於環境的衝擊面而言以活性碳吸附法較大，希望對於國內業者未來在處理技術上的選擇能夠有不同的思考方向。



照片取自北投焚化爐網站

九、綜合結論：

本研究先以著重在廢棄物再利用，連結在地環境資源上，以能力範圍所設計改造廢棄資源來應用於生活中，學生必須對校園環境有所接觸進而有所感覺，才會對校園產生愛與尊重。

陸、參考文獻

1. 行政院環保署，2021，各事業廢棄物代碼申報流向統計年報，事業廢棄物申報及管理系統 <https://waste.epa.gov.tw/RWD/>。
2. 行政院環保署，2021，公告應回收廢物品及容器回收量統計，環保統計查詢網 <https://stat.epa.gov.tw/>。
3. 行政院環保署，2021，公告應回收項目，資源回收管理基金管理會資源回收網 <https://recycle.epa.gov.tw/Understanding/RecyclableItems>。
4. 全國法規資料庫，2019，公私場所固定汙染源燃料混燒比例及成分標準，
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0020124>。
5. 行政院。<https://www.ey.gov.tw/Page/448DE008087A1971/e1c153bb-9275-4581-b1e9-493b63bb692e>
6. 吳俊毅等 6 人 (2019)，高熱值衍生性燃料製造方法，中華民國發明專利，I664282，2019 年 7 月 1 日。
7. 羅時芳、吳周燕 (2017)，臺灣生質燃料產業趨勢分析，中華經濟研究院綠色經濟研究中心，經濟前瞻，第 174 期，p112-117。
8. 循環台灣基金會。<https://circular-taiwan.org>。
9. 生質能暨環保產業推動計畫，經濟部工業局，2018
10. 固體再生燃料(SRF)相關管理方式，環保署，2021
11. 固體再生燃料製造技術指引與品質規範，環保署，2019
12. 焚化廠基本資料，環保署-環境資料開放平臺，2022
13. 達清觀音 SRF 廠簡介，達清環保企業股份有限公司，黃俊哲，2019
14. 【潔能講堂】臺灣生質能發展與挑戰，張家驥，2020。

【評語】 082904

本作品使用淨灘之廢棄物製成固態燃料 SRF，對於環境保護及循環經濟思維出發的確十分重要，固態再物燃料的製作從進行廢棄物分類、壓錠造粒、毒性溶出試驗與熱質分析包含水率、成分分析的確實有進行實驗討論。報告內容海洋廢棄物篩選的篇幅過多，建議可以將製作出的材料進行二氧化碳排放量的評估，以增加研究目的-環境友善的說服力。摘要撰寫需要更精確而不是只寫一個大方向。整體上以塑膠垃圾回收產製固體燃料，兼具減廢和能源再利用對於小學生培養研究精神想法及態度值得鼓勵。

作品海報

生活與應用科學二

『旗』待未來；『塑』造新能源



研究一：海洋廢棄物總類分析

海洋廢棄物篩選



- (一) 實驗目的：探討海洋廢棄物總類分析
- (二) 實驗變因：1. 操作變因：1-1 生活型態 1-2 廢棄物來源
- 2. 控制變因：廢棄物對生態危害認知、環境教育。
- 3. 應變變因：觀察海洋廢棄物

一、淨灘後，撿回來的垃圾進行分裝。

二、將淨灘撿回來的垃圾先進行篩選後，先初步分類不可燃之垃圾

三、將垃圾統一集中、整理，再進行第二次的分類。

四、先將大型海洋廢棄物挑選出來。

五、大家分工合作，將垃圾進行分類、篩選、剔除。

六、將海洋廢棄物進分類（細項分類）。

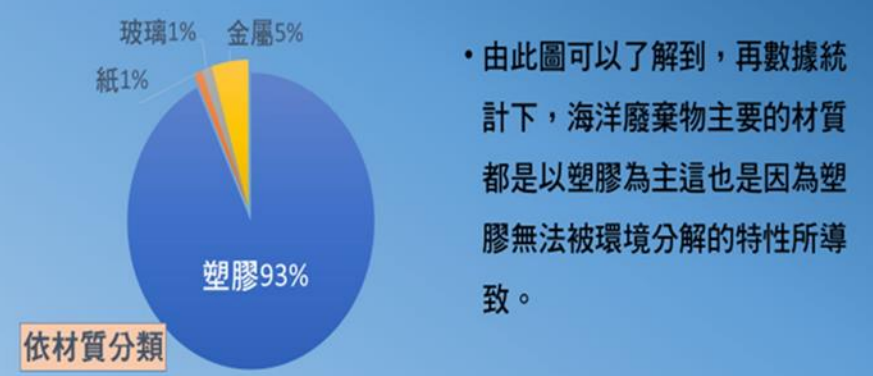
七、各組分別記錄垃圾品項和數量，資料統整並進行討論。

八、彙整資料、統計垃圾品項，有些進行秤重紀錄。

研究一：海洋廢棄物總類分析

實驗發現

2021台灣ICC淨灘行動 海洋廢棄物組成分析



由此圖可以了解到，再數據統計下，海洋廢棄物主要的材質都是以塑膠為主這也是因為塑膠無法被環境分解的特性所導致。

資料來源：愛海小旅行

實驗發現：龐大的海洋垃圾中，大多數是跨海從大陸漂來的，但是也有部分是自己製造的。而我們發現有超過一半的海洋廢棄物，都是用完即丟的一次性商品，例如免洗具、飲料罐等等。

研究一：海洋廢棄物總類分析

海洋廢棄物篩選

一、各組將撿回來的垃圾進行分類和紀錄。

二、淨灘後，撿回來最多的是塑膠類

三、收集、前處理廢棄物、分類和篩選同等大小。

四、整理後，分類將進行破碎、造粒

五、海邊的濱海植物（廢木材）

六、集中收集，整理曬乾備用。

七、採天然曝曬七~十四天日

八、曝曬後，裁切秤重備用

可回收 塑膠7大類

特色：透明、質輕、性強
常用於寶特瓶
耐溫：85°C
PET 聚乙烯對苯二甲酸酯

特色：透明材質，常用於雞蛋盒、雨衣
耐溫：60-80°C
PVC 聚氯乙烯

特色：不透明或半透明，較LDPE堅硬，常用於牛奶罐、清潔用品
耐溫：90-110°C
HDPE 高密度聚乙烯

特色：半透明材質，常用於豆漿罐、水桶、垃圾桶
耐溫：100-130°C
PP 聚丙烯

特色：不透明或半透明，常用於塑膠袋、塑膠膜
耐溫：70-90°C
LDPE 低密度聚乙烯

特色：硬膠類塑膠，重擊易脆裂，常用於樂多瓶、保麗龍
耐溫：70-90°C
PS 聚苯乙烯

特色：除前述六類，其餘可回收塑膠材質皆屬第七類。包含植物分解環保塑膠(PLA)、ABS樹脂、聚碳酸酯(PC)、壓克力等
耐溫：PLA 約 50°C
OTHERS 其他類

研究二：海洋廢棄物基本材料分析

實驗一 毒性溶出特性分析(TCLP)

	Sample	Pb鉛	Cd鎘	Cr鉻	Cu銅	Zn鋅
TCLP (mg/L)	塑膠	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	紙類	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	木材	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

實驗發現：TCLP方法研發的目的是確定液體、固體和城市垃圾中多項毒性指標的遷移性。本海洋廢棄物屬一般廢棄物重金屬檢測值皆為ND可做為資源化潛力。

研究二：海洋廢棄物基本材料分析

材料熱值分析、材料含水率、三成份分析

Sample	水分%	灰分%(乾基)	濕基低位發熱量 (kcal/kg)	C%(乾基)	S%(乾基)	Cl%(乾基)
塑膠	0.9	5.81	5330.21	47.22	0.21	12.96
紙類	2.31	0.14	3671.11	70.2	0.02	0
木材	1.54	0.7	7541.26	85.11	0.04	0

實驗發現：常見三種廢棄物可燃性廢棄物樣品之三成分、發熱量及元組成比例如表所示。濕基低位發熱量介於3671~7541 kcal/kg；乾基含碳量最高為木材 85.11%；乾基灰分最高為塑膠5.81%；乾基含氮量最高為塑膠 12.96%；乾基含硫量最高為塑膠0.21%。

研究二：海洋廢棄物基本材料分析

綜合以上結果分析：毒性特性溶出程序（簡稱 TCLP），本海洋廢棄物屬一般廢棄物重金屬檢測值皆為ND可做為資源化潛力，由成分分析可知皆為高熱值可資源化廢棄物，唯有廢塑膠中「氯」需要多研究如何去除，因為燃燒廢塑膠會有戴奧辛產生。

如上圖表示發現到燃燒塑膠類含有Cl(乾基)有12.96%，主原因為廢塑膠為聚氯乙烯製品，在燃燒過程則會產生氯苯酚，形成戴奧辛副產物，然而使用SRF作為固體燃料，尾氣後端皆有污染防治設備，將戴奧辛去除。

摘要

校園鄰近海邊四周環海，長期與海共存共榮，現今海洋污染仍日益嚴重，過去行之有年的淨灘活動，展現對於愛護海洋環境行動與心意。除了落實ESG全球永續發展裡「E-環境永續」的目標，讓淨灘除海廢的活動，不再只是將海底塑膠污染轉成陸地上的空氣汙染外，而是能真正落實循環經濟的精神，讓污染源變成能源，別讓淨灘活動的用心變成二次污染的轉移。

將廢棄物轉製成SRF (Solid Recovered Fuel)，運用在地資源為資材“轉廢為能”淨灘後塑料進行分類，與在地濱海植物透過破碎磁選，製成固體再生燃料取代燃煤、減少化石原料及燃料開採。並加以均質化形成單一性的燃料，同時也能解決農廢和海廢的問題，以循經濟的概念，取代過去線性經濟的慣性思維，可說一舉數得。

研究動機

目前全球有140多個國家承諾於2050年達成「淨零排放」的目標，各國也陸續提出宣示與行動，身為海島國家的我們，家鄉又緊鄰海邊，更不能置身事外。未來淨零排放不僅是國家的競爭力也是生存能力。為培養學生愛海、知海、親海的素養，我們也發展了許多在地海洋特色課程。

海洋廢棄物逐年倍增，嚴重威脅海洋生態，據聯合國統計，每年有800萬噸的塑膠垃圾進入海洋。「我們一直再思考，如何減少海洋廢棄物負擔，並且還可為家鄉資源循環再利用，提高廢棄物的附加價值呢？」偶然一次環境教育課程淨灘活動結束，我們在埋頭苦幹努力分類淨灘回來後的垃圾之中，與老師和同學討論著這類話題，引發研究動機想要「塑」造新能源，展現對海洋廢棄物循環利用的具體行動。

研究目的

每次辛苦淨灘捨得海廢，若不能有效解決回收運用充其量也只是「把垃圾從海上搬回陸地」，對環境依舊是沈重的負擔。這些所謂的廢棄物（廢塑料、紙類、木材等）事實上，含有許多的能源或價值。透過一些前處理程序（例如，破碎、分選、乾燥、造粒）、均質化及後端空氣污染防治設備（減少空氣中粉塵及臭味）轉換為燃料（產生能源）或有用的物質（循環使用），最終製成固體再生燃料SRF。還可降低都市垃圾焚化廠及處置負擔，並且還可減少部分石化資源和溫室氣體排放。

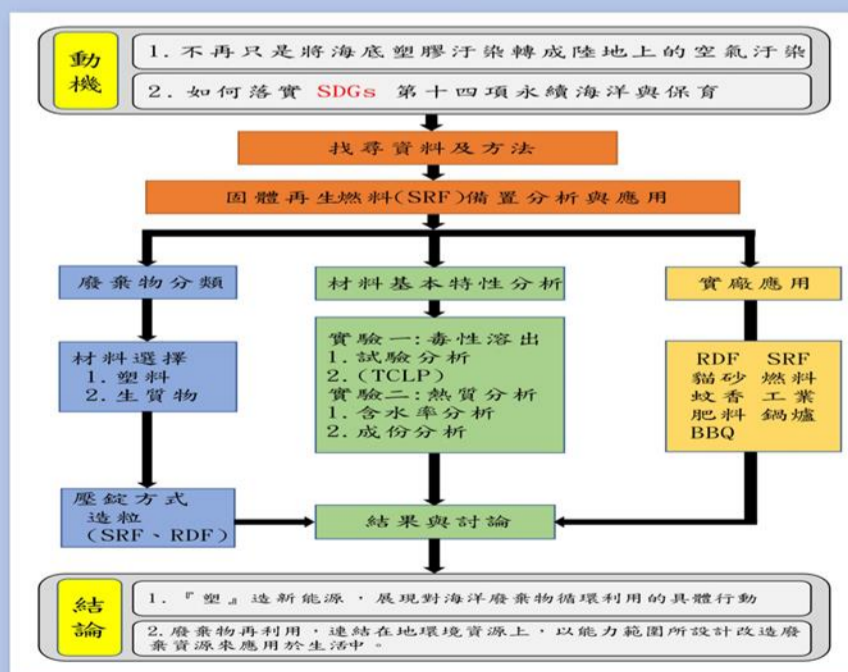
- 研究一：海洋廢棄物總類分析
- 研究二：海洋廢棄物基本材料分析
- 研究三：SRF製作條件設定
- 研究四：SRF與無煙煤比較熱值



研究設備及器材



研究過程與方法



研究結果與討論

條件	項目	造粒成型	孔隙率	是否燃燒完全
粗顆粒	塑膠	✓	×	×
	紙類	✓	✓	✓
	木材	×	×	×
細顆粒	塑膠	✓	×	✓
	紙類	✓	×	✓
	木材	×	×	×
粗顆粒 (含油)	塑膠	✓	×	×
	紙類	✓	✓	✓
	木材	×	×	×
細顆粒 (含油)	塑膠	✓	×	✓
	紙類	✓	×	✓
	木材	×	×	✓

比較不同外觀差異



不同能源應用上差異



研究三：SRF製作條件設定

實驗一：配比選定、顆粒狀造粒

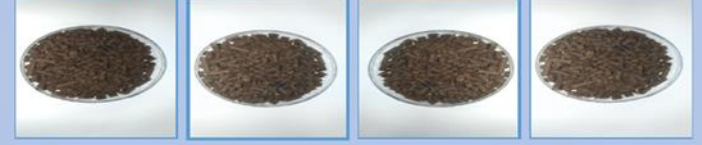
	Sample	塑膠	紙類	木材
粗顆粒	A1-1	80%	10%	10%
	A2-1	60%	20%	20%
	A3-1	40%	30%	30%
	A4-1	50%	25%	25%
(含油)	A1-2	80%	10%	10%
	A2-2	60%	20%	20%
	A3-2	40%	30%	30%
	A4-2	50%	25%	25%

	Sample	塑膠	紙類	木材
粗顆粒	B1-1	80%	10%	10%
	B2-1	60%	20%	20%
	B3-1	40%	30%	30%
	B4-1	50%	25%	25%
(含油)	B1-1	80%	10%	10%
	B2-1	60%	20%	20%
	B3-1	40%	30%	30%
	B4-1	50%	25%	25%

粗顆粒 (含油)



細顆粒 (含油)



粗顆粒 (無油)



細顆粒 (無油)



綜合以上結果分析：粗顆粒比表面積越小，導致膠結性不佳，所以添加含油；顆粒愈大膠結性不佳，粉狀顆粒容易聚合，需要添加額外膠結劑用量較少，由此推斷SRF顆粒空氣流通率較佳燃燒效率好，粉狀SRF較緊密空氣流通率部佳燃燒效率較差。

研究四：SRF與無煙煤比較熱值

實驗一：利用熱卡計熱容量之測量。

- 一、將氧彈筒至於熱卡計測量室上蓋，儀器開始測量時上蓋自動關閉，氧彈筒會進入熱卡計測量室內
- 二、氧氣經由充氧裝置自動充填至氧彈筒中，直到設定壓力 (30Bar)
- 三、經由恆溫循環水槽與熱卡計連接的管路，將熱卡計之外水槽調整至設定溫度
- 四、恆溫循環水槽對內水槽注入足夠水量 (約為1.5L)
- 五、熱卡計之內水槽有恆溫攪拌裝置，確保水溫的均勻性。
- 六、外水槽之水溫被控制在固定的溫度。經由電子點火裝置將樣品完全燃燒。
- 七、在樣品被點燃後熱卡計之內水槽水溫持續上升並記錄，經由內水槽溫度上升度數可自動計算樣品之熱值。
- 八、試驗結束後，熱卡計測量室上蓋將自動開啟，並將內水槽之水排回恆溫循環水槽。

研究四：SRF與無煙煤比較熱值

	Sample	塑膠	紙類	木材	濕基低位發熱量 (kcal/kg)
粗顆粒	A1	80%	10%	10%	5122.17
	A2	60%	20%	20%	4830.67
	A3	40%	30%	30%	4217.18
細顆粒	B1	80%	10%	10%	5318.06
	B2	60%	20%	20%	4687.84
	B3	40%	30%	30%	4512.14
無煙煤	C1	0	0	0	7100

綜合以上結果分析：不管粗顆粒或細顆粒濕基低位發熱量介於4212~5318 kcal/kg，近無煙煤熱值，未來實廠應用可以混燒，則可以降低無煙煤亦可以達到資源轉換成能源之效益。

陸、結論

一、海洋廢棄物總結

經由各項海洋廢棄物、濱海廢棄物資源化評估，是有可再利用性，其燃燒熱值皆大於4千卡。

二、毒性溶出特性分析 (TCLP)

另外由TCLP毒性溶出特性試驗，結果得知，各項海洋廢棄物、濱海廢棄物皆無重金屬，製成SRF無重金屬空氣污染。

三、探討不同方式配置SRF

由各項配比燃燒試驗得知，其燃燒熱值亦大於4千至五千大卡，可未來實廠應用，例如：燃燒鍋爐、垃圾焚化廠預熱使用。

四、SRF與無煙煤比較熱值

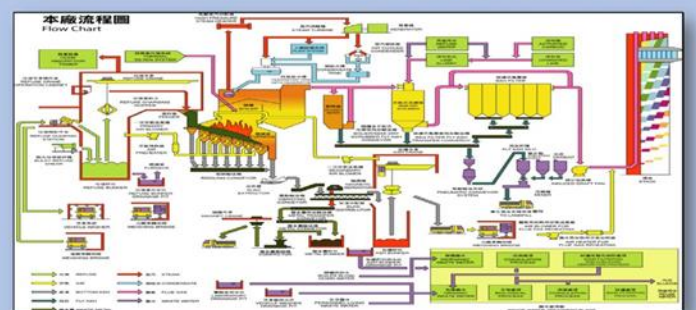
本研究也可符合，環保署推廣「零廢棄」資源化應用課題，對未來消滅都市廢棄物、海洋廢棄物有極大誘因。

五、戴奧辛危害

燃燒不同比例廢塑膠，經過本研究測試結果，其燃燒溫度皆大於800度，可經由裂解「戴奧辛」生成物，因此無空氣污染之虞。

六、戴奧辛處理技術：

發現燃燒塑膠類含有Cl (乾基)有12.96%，主因為廢塑膠為聚氯乙烯製品，在燃燒過程則會產生氯苯酚，形成戴奧辛副產物，然而使用SRF作為固體燃料，尾氣後端皆有污染防治設備，將戴奧辛去除。



七、綜合結論：

本研究先以著重在廢棄物再利用，連結在地環境資源上，以能力範圍所設計改造廢棄資源來應用於生活中，學生必須對校園環境有所接觸進而有所感覺，才會對校園產生愛與尊重。

柒、參考文獻

1. 行政院環保署，2021，各事業廢棄物代碼申報流向統計年報，事業廢棄物申報及管理系統 <https://waste.epa.gov.tw/RWD/>。
2. 行政院環保署，2021，公告應回收廢物品及容器回收量統計，環保統計查詢網 <https://stat.epa.gov.tw/>。
3. 行政院環保署，2021，公告應回收項目，資源回收管理基金管理會資源回收網 <https://recycle.epa.gov.tw/Understanding/RecyclableItems>。
4. 全國法規資料庫，2019，公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準，<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0020124>。
5. 行政院。<https://www.ey.gov.tw/Page/448DE00807A1971e1c153bb-9275-4581-b1e9-493b63bb692e>
6. 吳俊毅等 6 人 (2019)，高熱值衍生性燃料製造方法，中華民國發明專利，I664282，2019 年 7 月 1 日。
7. 羅時芳、吳周燕 (2017)，臺灣生質燃料產業趨勢分析，中華經濟研究院綠色經濟研究中心，經濟前瞻，第 174 期，p112-117。
8. 循環台灣基金會。<https://circular-taiwan.org>。
9. 生質能暨環保產業推動計畫，經濟部工業局，2018
10. 固體再生燃料(SRF)相關管理方式，環保署，2021
11. 固體再生燃料製造技術指引與品質規範，環保署，2019
12. 焚化廠基本資料，環保署-環境資料開放平臺，2022
13. 達清觀音 SRF 廠簡介，達清環保企業股份有限公司，黃俊哲，2019