

## 廢棄物處理

# 廢車粉碎殘餘物衍生燃料(ASRDF)之試製

鄭明宜\*、傅從陽\*\*、劉家銘\*\*\*

戴華山\*\*\*\*

## 摘要

本研究係以廢機動車輛粉碎殘餘物(ASR)為原料，嘗試將其製成衍生燃料(ASRDF)。實驗結果顯示，經粉碎、混合、篩分等前處理程序所得之各層 ASR(底層除外)，其水份含量很低(<2%)，灰份亦低(<18%)，可燃份相當高(約 75%~85%)；重金屬含量方面，以鋅及銅較高，至於鉛則並無發現；元素組成以碳、氫、氧為主，氮及硫則含量偏低；熱值方面，各層 ASR 熱值均達 5,000 cal/g 以上，擠壓成 ASRDF 後，熱值降為 4,815 cal/g，比混合不分層 ASR 之熱值低了約 1,000 cal/g，其原因为 ASR 於擠壓過程產生碳化所致。此外，在 150°C、90~170 kg/cm<sup>2</sup> 條件下，可得最佳之 ASRDF 成型效果。綜合以上發現，可知 ASR 極具製造衍生燃料(ASRDF)之潛力。

### 【關鍵字】

1. 垃圾衍生燃料(Residue Derived Fuel，簡稱 RDF)

\*國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系學士

\*\*國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系學士

\*\*\*國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士班研究生

\*\*\*\*國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系副教授

## 一、前　　言

### 1.1 源起

台灣為一傳統能源缺乏的島嶼國家。據統計，目前有百分之九十五以上的能源是由國外進口，但如今面對全球能源日漸消耗殆盡的實際問題，大量依賴進口能源，已非長久之計。況且進口的能源大多是石油和煤碳等石化燃料，不但耗費了巨額外匯，而且使用這些石化燃料更會產生大量污染，其中又以造成全球溫室效應之二氧化碳所產生的影響最為嚴重。至於佔發電量三分之一的核能發電，除了核電廠本身的運轉安全性有爭議之外，核廢料的儲存也是一大問題<sup>[1]</sup>。基於此，乾淨、安全、無污染，且具自主性的再生能源實為一值得研究發展的方向。

根據交通部統計處資料<sup>[2]</sup>顯示，截至民國八十九年八月止，台灣地區平均每年約有 24 萬輛的廢汽車必須清除處理，而且數量有逐年上升之趨勢。若以廢機動車輛經粉碎並資源回收處理後，剩餘約 30% 之廢機動車輛粉碎殘餘物(Auto Shredder Residue, ASR)來看，台灣地區每年將產生為數可觀的 ASR；這些 ASR 必須依法進一步處理，以避免造成二次公害。然而因下列因素，致使 ASR 之處理仍面臨極大瓶頸：

- 1.送都市垃圾焚化廠處理，可能會產生廢氣及灰渣排放濃度過高等問題，不但使處理費用偏高，且隨時有被拒收之虞。
- 2.送垃圾掩埋場處理，將遭遇掩埋場飽和或 ASR 中廢塑膠等物質不易分解腐化等困境。

由於 ASR 中富含高熱值之塑膠、橡膠、海綿與泡綿等物質，若將欲棄置之 ASR 用來製成廢棄物衍生燃料，不僅可解決 ASR 處理上之問題，而且可將廢棄物能源化，可謂一舉數得。

### 1.2 ASR 的產生與組成

ASR 乃汽車於粉碎過程中，經空氣分離機所分離收集而得之輕質物，其主要由廢車中被粉碎之塑膠零件、泡棉座椅、玻璃、橡膠等物質所組成，除此之外，一些細小之金屬碎屑亦會混在 ASR 中。由於每座廢車粉碎廠之操作條件不同，且廢車來源不一，甚至有些廢車粉碎廠之進料除了廢車外，還包括電冰箱、洗衣機等廢家電或其

### 30 廢車粉碎殘餘物衍生燃料(ASRDF)之試製

他各種輕質雜鐵，因此不同廢車粉碎廠所產生之 ASR 不可能完全相同。

日本常見之 ASR 如表 1 所示<sup>[3]</sup>，根據表 1，ASR 中有機物(塑膠、橡膠、纖維)與無機物(玻璃、金屬、泥土等)之重量比大約為 51%：49%，若以體積比表示則為 87%：13%，而有機物中尤以塑膠類佔 53% 之體積比為最大宗。

表 1 ASR 組成(一)<sup>[3]</sup>

成份	重量(%)	體積(%)
塑膠	27	53
橡膠	7	4
纖維	17	30
其它 (玻璃、金屬、泥土等)	49	13

另一有關 ASR 組成分析之研究結果如表 2 所示<sup>[4]</sup>。表中顯示有機物(海綿與泡棉、布料與棉絮及塑膠)與無機物(玻璃、砂、粉塵及金屬)之重量比約為 74.8%：25.2%，與表 1 比較，可發現表 2 之 ASR 組成中，其有機物含量遠高於表 1 所記載者，由此可見不同來源之 ASR，其組成大不相同。

表 2 ASR 組成<sup>[4]</sup>

成分	重量(%)
海綿與泡綿	19.3
布料與棉絮	33.3
塑膠	22.2
金屬(> 12 Mesh)	6.1(Cu : 0.6%，Zn : 50%)
玻璃、砂、粉塵及金屬(< 12 Mesh)	19.1(Pb : 0.6%，Al : 7%，Fe : 6%)

### 1.3 廢棄物衍生燃料的分類

所謂廢棄物衍生燃料(Refuse Derived Fuel, RDF)，係指將廢棄物先經破碎，再以篩選機、磁選機及風力選別機等前處理設備將廢棄物分類成不可燃及可燃兩類。不可燃部份，將有價物質(如金屬、玻璃等)資源回收、無價物質(如土砂、石子、陶瓷等)則送至最終處理場處置。而剩餘之有機可燃物則因所含發熱量高，於是經均勻化後，被用來製作成 RDF，使成為一兼具環保及經濟效益之燃料。

RDF 因其處理後特性的差異可分成 RDF-1-7 等七類，表 3 即為 ASTM 對 RDF 的分類。不同類別的 RDF，因特性不同，應用的方式也會不同，導致熱能的利用效率有極大差異。RDF-1 係指一般都市廢棄物，從燃料的觀點而言，因其組成差異極大，無法穩定燃燒，若要回收熱能，僅能藉由各式焚化系統直接燃燒，再利用廢鍋爐由焚化廢氣中回收熱能，能源效率不彰。

RDF-2 及 RDF-3 係指一般廢棄物經進一步的破碎、分選等過程，將廢棄物中不可燃的部分予以分離回收，而將廢棄物中可燃的部分破碎成較均勻的大小。經如此程序所製成的廢棄物衍生燃料，可置於流體化床焚化爐(鍋爐)內燃燒，其燃燒時會較 RDF-1 穩定，能源回收的效率亦可較燃燒 RDF-1 的焚化爐為佳。

RDF-4 係廢棄物經由粉碎、研磨等過程製成粉體狀的燃料，因其粉狀的特性，可與燃煤混燒，直接應用於發電或蒸氣鍋爐，能源利用效率高，但因其製造過程較為複雜，所需的能源也較高，故目前實際應用的情形並不普遍。

RDF-5 係將廢棄物經破碎、分選、乾燥、混合添加劑及成型等過程所製成的固形廢棄物衍生燃料，其主要特性為熱值高(約為燃煤的三分之一)、易於運輸及儲存，在常溫下可儲存 6-12 個月而不會腐化，因此十分便於利用。可直接應用於的機械床式的鍋爐，流體化床鍋爐及發電鍋爐等作為主要燃料或與燃煤混燒。

RDF-6 及 RDF-7 係指由廢棄物衍生製成的液態及氣態燃料，可由特定廢棄物或固態衍生燃料經熱裂解等製造程序產生。若經適當的純化，熱值可有效提昇，增加利用的便利性<sup>[5]</sup>。本研究是以 ASR 為原料，嘗試將其製成 RDF-5，稱之為 ASRDF(Auto Shredder Residue Derived Fuel, ASRDF)。

表 3 ASTM 對 RDF 的分類<sup>[5]</sup>

類 別	定 義
RDF-1(MSW)	都市廢棄物直接作為燃料，但不含巨大垃圾
RDF-2(c-RDF)	廢棄物破碎成粗顆粒，亦能經磁選回收金屬 95wt% 通過 6-inch 篩
RDF-3(f-RDF)	廢棄物經過進一步破碎，並去除金屬、玻璃及其他無機物 95wt % 通過 2-inch 篩
RDF-4(p-RDF)	可燃物處理成粉狀 95wt% 通過 0.035-inch 篩
RDF-5(d-RDF)	可燃物壓密成柱狀、球狀、磚塊狀或其他形狀
RDF-6	可燃物處理成液狀(無分類標準)
RDF-7	可燃物處理成氣狀(無分類標準)

## 二、實 驗

### 2.1 實驗材料

以「綠化環保工程公司」所產生之廢機動車輛粉碎殘餘物為實驗之原料。綠化公司為南部地區目前唯一之廢機動車輛粉碎廠。

### 2.2 實驗設備

#### 1.粉碎機

廠 牌：天祥科學儀器公司。  
型 號：SA-200。

#### 2.搖篩機

廠 牌：東元電機公司。  
轉 速：1,720 rpm。

#### 3.混合機

廠 牌：天祥科學儀器公司。  
型 號：MR-50。

4.高溫爐

廠 牌 : CARBOLITE 。  
型 號 : PWF11/13 。

5.元素分析儀

廠 牌 : Thermo Quest 。  
型 號 : EA 1110 。

6.原子吸收光譜儀

廠 牌 : SHIMADZU 。  
型 號 : AA-2600 。

7.擠壓機

廠 牌 : 千利環保設備工程股份有限公司 。

8.熱值分析儀

廠 牌 : Parr/USA 。  
型 號 : Parr 1266 。

### 2.3 實驗流程及方法

本研究之實驗流程如圖 1 所示，實驗方法說明如下。

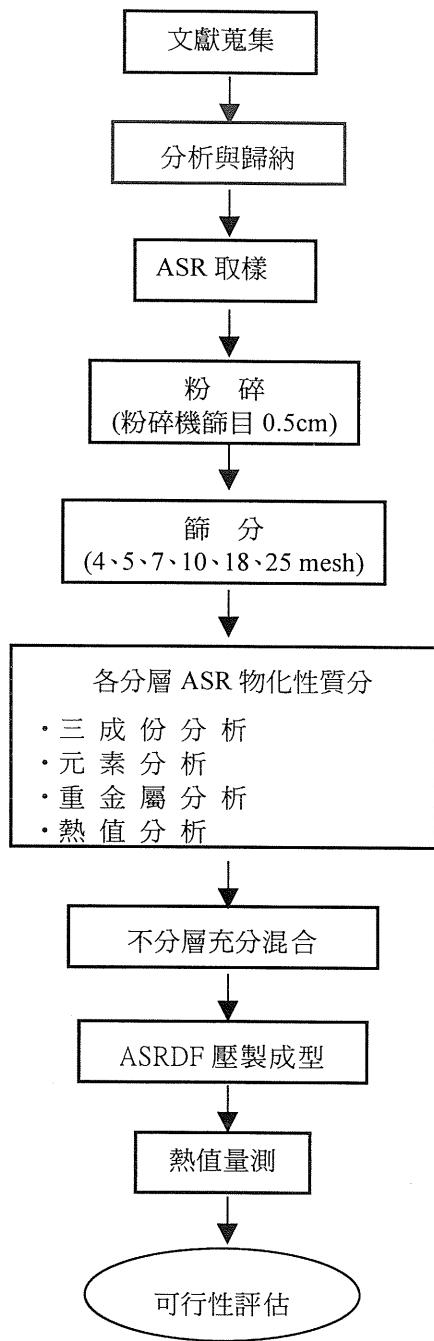


圖 1 實驗流程

### 1.ASR 粉碎

利用 4 刀，篩目為 0.5cm 及 0.8cm 篩網之粉碎機將 ASR 粉碎。

### 2.篩分試驗

將經過粉碎之 ASR 置於 4 mesh、5 mesh、7 mesh、10 mesh、18 mesh 及 25 mesh 篩目之篩網上搖篩 5 分鐘，取得不同粒徑之 ASR。

### 3.三成份分析

- (1)廢棄物中含水份測定法-間接測定法(NIEA R203.00T)
- (2)廢棄物中灰份測定方法-(NIEA R204.00T)。
- (3)廢棄物中可燃份測定方法-(NIEA R205.00T)。

### 4.重金屬分析

ASR 經濃硝酸及過氧化氫迴流消化後，稀釋至一定體積，以火焰式原子吸收光譜儀(波長 228.8nm)測定其總鋅、總鉛、總鎘、總鉻、總銅濃度。

### 5.元素分析

將待測物於  $1,423^{\circ}\text{K}$  的高溫下通入氧氣，使有機物完全氧化為二氧化碳、水和氮、硫的氧化物，再利用多孔性的銅網將氮氧化物還原成氮氣，剩餘的水、二氧化硫和二氧化碳分別以吸收管加以吸附。吸附後在不同溫度下脫附，利用熱導偵測器量測其濃度，分別計算出碳、氫、氮、硫的百分比。總量減去碳、氫、氮、硫的重量百分比即是氧的百分比。

### 6.熱值分析

以 Parr 1266 Calorimeter 測量尚未擠壓前之 ASR，逐層分析其熱值；擠壓成型後的 ASRDF 亦進行熱值的量測。

### 7.擠壓成型

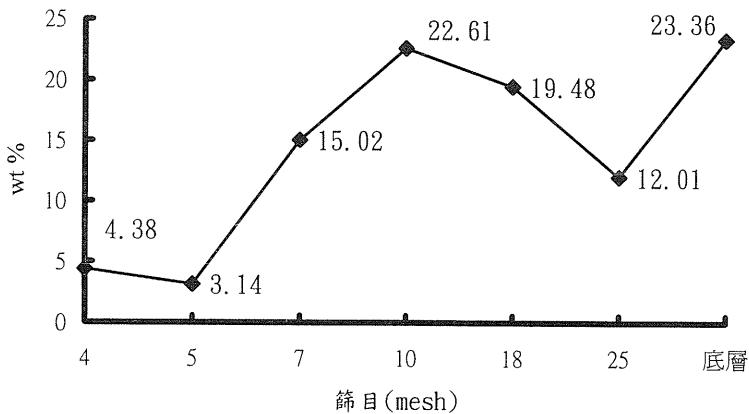
設定不同壓力及溫度條件，擠壓 ASR 成為 ASRDF，尋求最佳之擠壓條件。

### 三、結果與討論

#### 3.1 ASR 粉碎與篩選

ASR 經 0.5cm 及 0.8cm 篩目之粉碎機粉碎，再以篩選機依不同篩目篩選後之結果，如圖 2 和圖 3 所示。圖 2 中，ASR 之粒徑集中在 7~25 mesh 之間，合計達約 70wt%；而在圖 3 中，粒徑分佈之變化極大，並無規則可尋。

由於使用篩目 0.5cm 的粉碎機，可以得到較均勻之 ASR 粒徑分佈，因此本研究後續之實驗，皆以 0.5cm 篩目之粉碎機進行 ASR 粉碎工作。



\* 破碎機篩目規格為 0.5cm

圖 2 ASR 經標準篩篩選後各層粒徑分佈

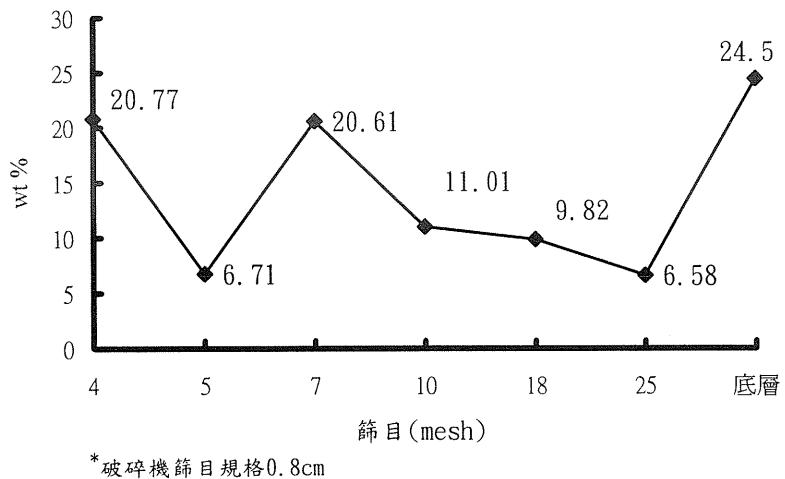


圖 3 ASR 經標準篩選後各層粒徑分佈

### 3.2 ASR 三成份分析

表 4 及圖 4 為 ASR 經標準篩選後，各層 ASR 之三成份分析結果。由表及圖中可清楚看出，各層 ASR 之水份含量都不超過 2%，顯示 ASR 的含水率相當的低，不像都市廢棄物之含水率達 15~40%，故 ASR 在貯存上相當穩定，不易發臭、滋生蚊蠅，造成環境衛生上的危害。

表 4 經篩選後各層 ASR 之三成份分析結果

篩目(mesh)	水份(%)	灰份(%)	可燃份(%)
4	1.36	13.64	85.02
5	1.33	15.60	83.06
7	0.87	15.99	83.13
10	1.05	18.34	80.62
18	1.25	20.96	77.79
25	1.35	22.41	76.25

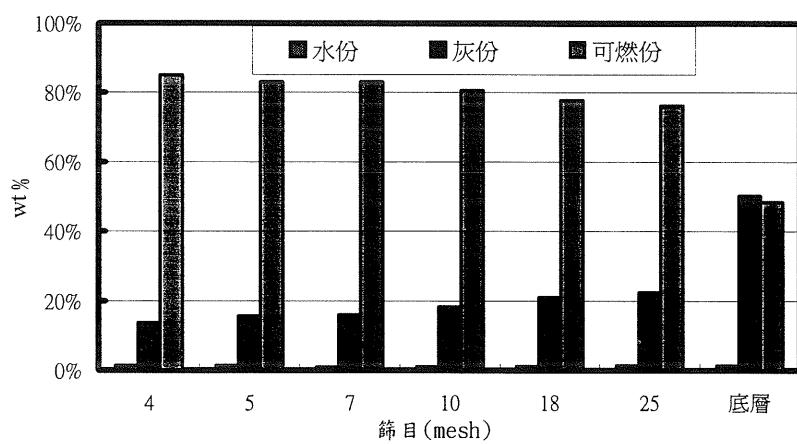


圖 4 經篩選後各層 ASR 之三成份分析

由表 4 亦可發現，篩目規格為 4mesh、5mesh、7mesh 與 10mesh 時，ASR 可燃份之比例都可達 80%以上；篩目規格為 18mesh 和 25mesh 時，可燃份所佔之比例亦都在 75%以上，各層的可燃份平均則高達 81%。此外，ASR 除水份低，可燃份高外，灰份亦低，平均在 18%以下。

底層所佔之重量百分比雖然高達 23.36%，但由於可燃份偏低，灰份過高，加上底層中殘餘大量的砂粒、石塊、汽車金屬烤漆、鐵鏽等無機物，所以將不列入本實驗後續之研究。

### 3.3 ASR 重金屬分析

廢機動車輛粉碎殘餘物以試藥級之濃硝酸及過氧化氫消化迴流後，利用原子吸收光譜法分析，其中各篩目 ASR 之重金屬含量如表 5 所示。由表可知，各層 ASR 之重金屬含量，以鋅及銅較高，其次為鎘及鉻，致於鉛則無發現。

表 5 經篩選後各層 ASR 之重金屬含量

單位:mg/Kg

金屬 篩目 (mesh)	總 Zn	總 Pb	總 Cd	總 Cr	總 Cu
4	0.20	N.D.	0.0020	0.0015	0.50
5	1.35	N.D.	0.0020	N.D.	0.30
7	1.10	N.D.	0.0055	0.0025	0.008
10	1.40	N.D.	0.0090	0.0030	0.115
18	1.20	N.D.	0.0030	0.0015	0.08
25	1.50	N.D.	0.0035	0.0025	N.D.

### 3.4 ASR 元素分析

由表 6 與圖 5 中可明顯看出，各層之 ASR，其 C、H、O、N、S。元素含量比較顯示，ASR 係以 C、H、O 為主要之元素組成，N 及 S 之含量則相當低，S 除 7mesh 及 18mesh 含有少量外，其餘皆不含 S，因此可推估由 ASR 製成之，燃燒時將不致造成嚴重的  $\text{NO}_x \cdot \text{SO}_x$  污染問題。

表 6 經篩選後各層 ASR 之元素分析

wt (%) 篩目 (mesh)	N	C	S	H	O
4	1.82	57.08	0.00	6.85	34.25
5	2.07	56.98	0.00	6.47	34.48
7	1.12	50.61	0.29	6.67	41.60
10	1.37	53.11	0.00	7.27	37.96
18	1.80	48.10	0.07	6.13	43.90
25	1.94	51.28	0.00	6.57	40.21

註 : O 之含量 (%) = 總量 - (N + C + S + H)

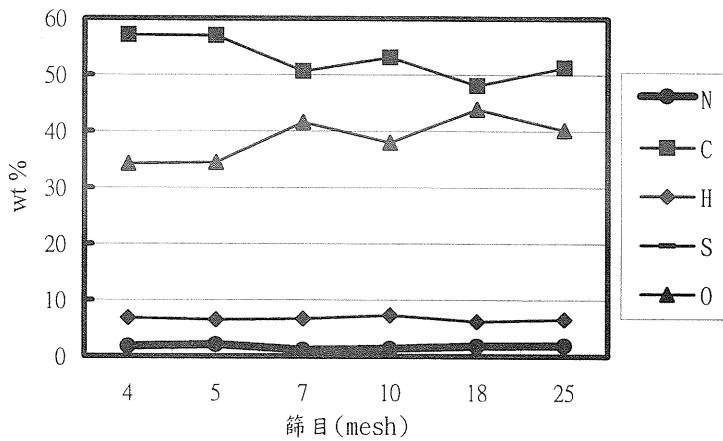


圖 5 經篩選後各層 ASR 之元素分析

### 3.5 ASR 热值分析

由表 7 可明顯的看出 ASR 在尚未擠壓前各層的熱值皆相當高，4~10mesh 各層的熱值皆高於 6,000cal/g，18mesh 與 25mesh 的熱值也都高於 5,000cal/g，而不分層(4~25 mesh 混合)的熱值亦可高達 5,856cal/g，而從圖 6 中可看出各層與不分層熱值之變化情形，其中以 7mesh 的熱值最高(6,586 cal/g)，而 25mesh 的熱值最低，但仍然在 5,000cal/g 以上，可見 ASR 的熱值都相當高，適合壓製成燃料棒。

表 7 ASR 據壓前各層與不分層的熱值

篩目(mesh)	熱值(cal/g)
4	6,080.17
5	6,078.68
7	6,586.11
10	6,326.58
18	5,700.79
25	5,028.70
混合不分層	5,856.25

註：混合不分層係指 4mesh 到 25mesh 混合之 ASR  
不包含底層部份

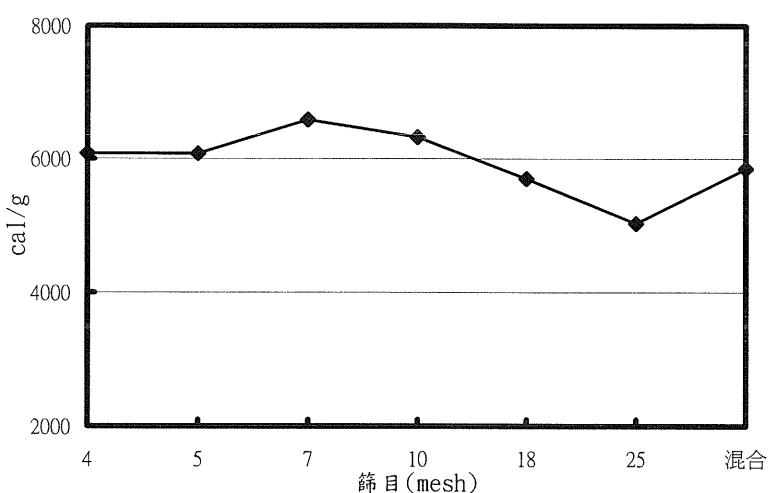


圖 6 ASR 據壓前各層與不分層的熱值比較

### 3.6 ASRDF 擠壓成型

以混合不分層的 ASR 為原料，在不同溫度( $100^{\circ}\text{C}$ 、 $130^{\circ}\text{C}$ 、 $150^{\circ}\text{C}$ 、 $180^{\circ}\text{C}$ )，及不同壓力( $90\text{kg/cm}^2$ 、 $120\text{kg/cm}^2$ 、 $150\text{kg/cm}^2$ 、 $170\text{kg/cm}^2$ 、 $190\text{kg/cm}^2$ )下擠壓 ASR，所得之 ASRDF 密度分析結果如表 8 所示，外觀則如圖 7 所示。由表 8 可知，ASRDF 密度與擠壓時所採用之溫度及壓力條件，並無明顯相關性，故無法以密度判斷其 ASRDF 擠壓效果是否良好。然從圖 7 之 ASRDF 外觀觀察，發現溫度在  $150^{\circ}\text{C}$ 、壓力在  $90 \sim 170\text{kg/cm}^2$  時，擠壓成型效果比其他組合佳，因此建議後續之 ASRDF 擠壓，可採  $150^{\circ}\text{C}$  及  $90 \sim 170\text{kg/cm}^2$  之擠壓成型條件。

表 8 不同溫度與壓力擠壓成型之 RDF 密度

單位: $\text{g/cm}^3$

$T(^{\circ}\text{C})$	90	120	150	170	190
$P(\text{kg}/\text{cm}^2)$					
100	1.49	2.10	1.34	1.32	1.31
130	1.31	1.03	1.21	0.98	0.95
150	1.01	1.27	1.12	0.99	1.03
180	1.14	0.99	1.02	1.07	1.10

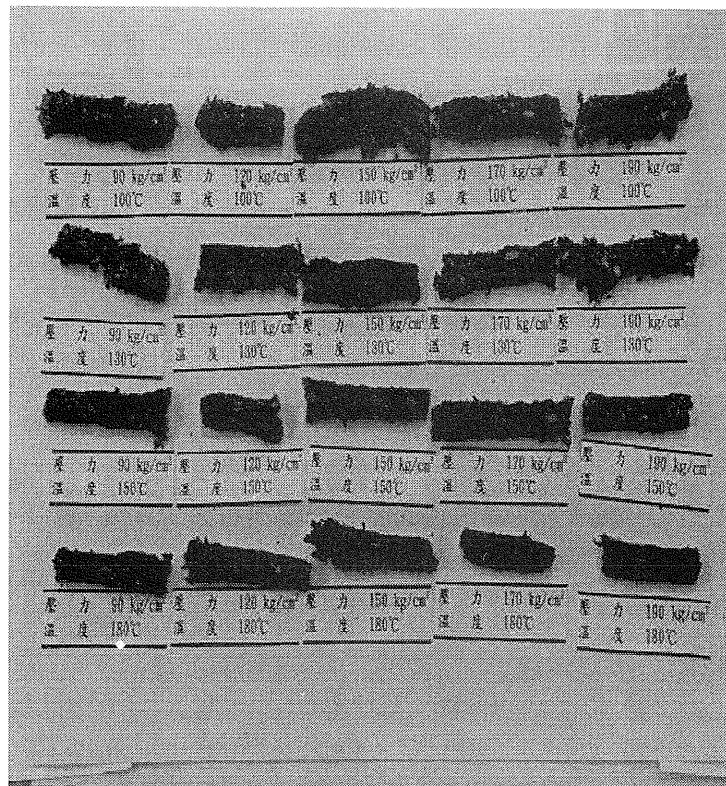


圖 7 不同溫度與壓力下擠壓成型之 RDF

### 3.7 RDF 热值分析

由熱值分析結果顯示，不分層之 ASR 挤壓成 RDF 後，其熱值較原來未擠壓前的 5,856 cal/g 降低約 1,000 cal/g，只有 4,815。其原因可能是 ASR 中富含之海棉、泡棉等易燃物質，當在高溫及高壓下，ASR 經過擠壓管時，產生剪力作用，造成 RDF 表面碳化所致<sup>[6]</sup>。

## 四、結論與建議

### 4.1 結論

本研究之目的係探討 ASR 資源回收製成燃料棒(ASRDF)的可行性，主要結論包括：

- 1.三成份與熱值分析結果顯示，ASR 可燃份及熱值均相當高，且灰份亦不高，適合製成 ASRDF。
- 2.ASR 之氮(N)、硫(S)及重金屬含量均低，故以 ASR 製成之 ASRDF，其燃燒應不致造成嚴重之二次污染問題。
- 3.ASR 之熱值分析發現，其擠壓前與擠壓後的熱值變化達 1,000 cal/g，原因可能為 ASR 經過擠壓管之剪力作用，造成 ASRDF 表面碳化所致。
- 4.設定不同溫度及壓力條件來擠壓 ASR，發現溫度 150°C、壓力 90~170kg/cm<sup>2</sup> 之擠壓效果比其他組合佳。

### 4.2 建議

未來之研究可朝以下幾個方向考慮：

- 1.發展常溫、常壓下之 ASRDF 成型技術，避免因擠壓造成之 ASRDF 表面碳化現象，導致熱值降低。
- 2.由於 ASR 是以泡棉、橡膠等物質為主要組成，因此 ASR 中可能有氯的成份存在，故發展 ASR 除氯技術，是未來值得深入研究之課題。
- 3.審慎考量 ASRDF 從原料、製作到成品完成所耗費的資源及其將帶來之益處，藉由能源及經濟效益的分析，評估 ASRDF 量產之可行性。

## 五、致謝

本研究部份經費由工研院能資所提供的謹此致謝。

## 六、參考文獻

- 1.呂錫民、邱錦松、唐震宸，“台灣再生能源發展狀況與潛力”，中國工程師學會刊，第七十二卷，第二期，p.22，民國 89 年 2 月。
- 2.“中華民國交通統計月報”，交通部統計處編印。
3. Mitsutaka Konno, "Car Recycling in Japan & Nissan Effort to Deal With Car Recycling"，第一屆廢汽車回收處理技術研討會，民國 81 年 12 月 6 日。
4. Robert J, Schmitt, "Automobile Shredder Residue-The Problem and Potential Solutions", Second International Symposium-Recycling of Metals and Engineered Material, pp.315~331, 1990.
- 5.葛家賢，”廢棄物能源利用” 厚生雜誌，第 11 期，pp.22~24，民國 89 年 8 月。
- 6.張聖正，”廢車粉碎殘餘物(ASR)製作廢棄物衍生燃料(RDF-5)之可行性研究”，國立高雄第一科技大學，碩士論文，pp.67~68，民國 90 年 7 月。