

群別：14.海事群

參賽作品名稱：廢食用油在船舶引擎之綠能應用

關鍵詞：廢食用油、燃油消耗率、廢氣排放濃度



目 錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、研究目標.....	2
肆、實驗用燃料.....	2
伍、研究方法與限制.....	4
陸、研究設備及材料.....	5
一、燃燒結果分析取樣設備.....	5
二、船模製作設備.....	6
三、船模製作材料.....	7
柒、船模製作與組裝.....	8
一、製作流程.....	8
二、船體製作.....	9
捌、引擎模組設計與實驗數據量測.....	13
一、引擎模組設計.....	13
二、實驗數據量測.....	14
三、組裝測試.....	14
玖、研究結果與討論.....	15
一、BSFC 比較.....	15
二、HC 濃度分析.....	16
三、CO 濃度分析.....	17
四、CO ₂ 濃度分析.....	17
拾、結論與建議.....	18
一、結論.....	18
二、建議.....	19
拾壹、參考資料及其他.....	20

壹、摘要

在全球長期耗用石化能源下，全球能源儲存量已列為警示，廢氣排放造成空氣、環境污染，更是刻不容緩須著手處理的問題。

本研究建造等比例縮小之海運船舶模型，再搭配單缸二行程汽油引擎為動力源，使用95無鉛汽油混合廢食用油甲酯生質燃料進行燃油消耗率、各廢氣排放濃度等試驗。由研究結果得知，添加廢食用油甲酯生質燃油混合燃料在各引擎轉速下，燃油消耗率和CO排放濃度差異上較95無鉛汽油低，HC因廢食用油甲酯生質燃油閃火點較95無鉛汽油高、單缸二行程引擎無進排氣門等因素，隨著廢食用油甲酯添加比例提高，有助長HC排放濃度的提升。最後建議試用多缸四行程引擎，改善HC濃度與引擎拉轉速過程中抖動等問題，以利生質燃油混合燃料在現有市售引擎的可行替代性。

貳、研究動機

對於職校生而言，較喜歡動手操作、創新、不拘泥束縛，因而在教學上較注重於務實致用，為培育學生結合理論與實務等能力，學生運用過去所學的專業知識與知能完成作品或成果，不僅培養學生統整、創新、問題解決能力與積極態度，也養成分工與協調工作之能力，以期發展產業或科技的用人需求以及團隊合作精神[1]。船舶航行時，運轉的推進主機與發電輔機皆因燃燒重油而排放廢氣，船用燃油燃燒生成包括NO_x、CO₂、smoke (微碳粒)等廢氣對大氣污染日漸嚴重，1997年議定書附增防止船舶造成大氣污染規則，2005年5月生效。根據統計，國際海運每年約8.4億公噸CO₂排放量，相當於全世界CO₂排放總量的3%，隨著世界各國貿易量的增加，船舶海運的排碳量會大幅增加，為管制船隻海洋運輸的CO₂排放量，2011年，IMO海洋環境保護委員會通過附則公約VI修正案，確定「新船能效設計指數」和「船舶能效管理計畫」兩項船舶能效標準強制性規定，IMO將要求造船業經由改用新碳檢排系統達到[2]。有鑑於此，對現有船舶主輔機不需

要重大改變設計及燃燒時較少CO、HC等廢氣排放的生質燃油便成為代替燃料的最佳選擇。現階段生質燃油技術成熟、具商業運轉能力、效益日漸提高，具有廢棄物回收及生產能源的功效，且可降低空氣污染及促進農業發展[3]。本研究建造等比例縮小之海運船舶模型，並以石化燃油與五種添加不同比例的廢食用油甲酯生質燃油(Waste Oil Methyl Ester，以下簡稱WOME)進行燃燒實驗，分析生質燃油燃燒對引擎性能之影響，有助提升引擎使用生質燃油的經濟效應與發展。

參、研究目標

在全球能源日趨短缺下，廢食用油回收再利用不僅有助於解決生質柴油來源的問題，也可以保障消費者避免使用回鍋油而對身體健康造成負擔，對能源幾乎仰賴進口的台灣而言可提供極大幫助[3]。生質燃油是由動植物油或廢食用油經由轉脂化而成的可再生能源。生質燃油做為液體燃料，具有保存、載運便利等優點，且可在自然環境中被生物分解，即使不慎洩漏也較不易污染海洋生態與水資源，另外，生質燃油的使用，可有效減少硫化物、微粒污染物、CO及HC等廢氣的排放。

肆、實驗用燃料

本實驗所使用的油品為中油石油公司所生產的95無鉛汽油(95 Unleaded Gasoline，以下簡稱95UL)和承德油脂股份有限公司提供的廢食用油甲酯(Waste Cooking Oil Methyl Ester，以下簡稱WOME)，油品特性如表4.1所示。試驗油品除了95UL外，另95無鉛汽油混合廢食用油甲酯生質燃油的混合燃料有B2、B4、B8、B10、B15。B2為2%廢食用油甲酯生質燃料混合98%95UL，其它比例依此類推調合，其調配方式依據中95UL和WOME之油品密度，以實驗所需總油量500c.c為基準計算各油品各別所需的重量，依照計算數值用電子秤精確量出所需兩種燃油的油量，其結果如表4.2所列。

表4.1 各燃油之主要性質比較表[4, 5]

項目 \ 燃油別	95 無鉛汽油	廢食用油甲酯
密度(g/ml)	0.7573	0.8639
動力黏度 (cSt@40°C)	--	3.07
閃火點(°C)	-48 ~ -33	177
自燃點(°C)	280 ~ 456	207
辛烷值	95	--
十六烷值	--	48.5
含硫量(ppm)	50	<0.01
含氧量(wt%)	2.7	11
熱值(kcal/kg)	10300	9500
芳香烴(vol%)	36	--
烯烴(vol%)	18	--

表 4.2 500C.C 95 無鉛汽油混合廢食用油甲酯燃料各別所需重量

B2	廢食用油甲酯	$500 \times 0.8639 \times 2\% = 8.639 \text{ g}$
	95 無鉛汽油	$500 \times 0.7573 \times 98\% = 371.077 \text{ g}$
B4	廢食用油甲酯	$500 \times 0.8639 \times 4\% = 17.278 \text{ g}$
	95 無鉛汽油	$500 \times 0.7573 \times 96\% = 363.504 \text{ g}$
B8	廢食用油甲酯	$500 \times 0.8639 \times 8\% = 34.556 \text{ g}$
	95 無鉛汽油	$500 \times 0.7573 \times 92\% = 348.358 \text{ g}$
B10	廢食用油甲酯	$500 \times 0.8639 \times 10\% = 43.195 \text{ g}$
	95 無鉛汽油	$500 \times 0.7573 \times 90\% = 340.785 \text{ g}$
B15	廢食用油甲酯	$500 \times 0.8639 \times 15\% = 64.7925 \text{ g}$
	95 無鉛汽油	$500 \times 0.7573 \times 85\% = 321.8525 \text{ g}$

伍、研究方法與限制

實驗方法係不改變實驗用二行程(2.2HP/41.5cc)原設計參數(如燃燒量、壓縮比、點火正時等)條件下，於各引擎轉速，即2400rpm、3000rpm、3600rpm、4200rpm、4800rpm、5400rpm、6000rpm、6600rpm，分數階段進行試驗，並量測燃油消耗率(Brake Specific Fuel Consumption，以下簡稱BSFC)。同時利用廢氣排放取樣分析儀器測得一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)、二氧化碳(CO₂)等廢氣排放濃度。

95UL、實驗用B2、B4、B8、B10、B15等六種燃料經引擎實機試驗所得的數據資料交叉分析，比較對引擎之性能、油耗以及各廢氣排放濃度等的差異。試驗過程中發現，隨著廢食用油添加比例的提升，引擎運轉不穩狀態會漸趨明顯，其對引擎機件壽命與量測所得數據會不甚理想，故研究限制廢食用油添加比例上限至15%。實驗用設備為建造一船舶模型擬真海上航行，採用日本小松ZENOA H G45L氣冷式二行程引擎，由與人力與經費有限而不易完成的考量下，故僅就單缸二行程汽油引擎所測得的數據進行分析討論。

陸、研究設備及材料

一、燃燒結果分析取樣設備

(一) 船模引擎

本實驗利用日本小松 ZENOAH BK4301 軟管割草機引擎作為研究用引擎，係二行程、41.5 c.c，G45L 氣冷式引擎，如圖 6.1。



圖 6.1 船模引擎

(二) 廢氣分析儀

本實驗採用三氣體廢氣分析儀(如圖 6.2)，採樣並量測引擎廢氣中之微粒污染物，其中管路須經過一濾芯過濾，採用連續式蒐集取樣並分析。



圖 6.2 廢氣分析儀

二、 船模製作設備

表 6.1 船模製作設備清單

項目	設備名稱	應用說明
1	尖嘴鉗	夾鑷物品
2	固定鉗	固定物品之用
3	線鋸機	切割木板
4	木工鎚	敲擊釘子或物品
5	剪刀、美工刀	剪裁紙或材料
6	鋼尺、捲尺	量測距離或長度
7	銑床、車床	機械加工
8	六角板手組	六角螺絲鬆、緊用
9	十、一字起子	鎖螺絲用
10	鑽床、虎鉗	鑽孔、固定欲加工材料
11	板手組	鎖螺絲用
12	攻牙器	工螺紋內、外徑
13	空氣壓縮機	清潔
14	手提電鑽	鑽孔
15	手提式砂輪機	切削大量材料
16	砂紙研磨機	細修批土或補土
17	三用電表	量測電路和電器
18	防水膠	船殼接縫防水
19	EVA 發泡材質	船艙船艙塑形、增加浮力
20	水桶	裝水
21	白膠	黏住兩個東西間的介質
22	游標卡尺	測量精密的距離
23	手機	查資料、拍照、錄影
24	釘槍	接合木板與木條

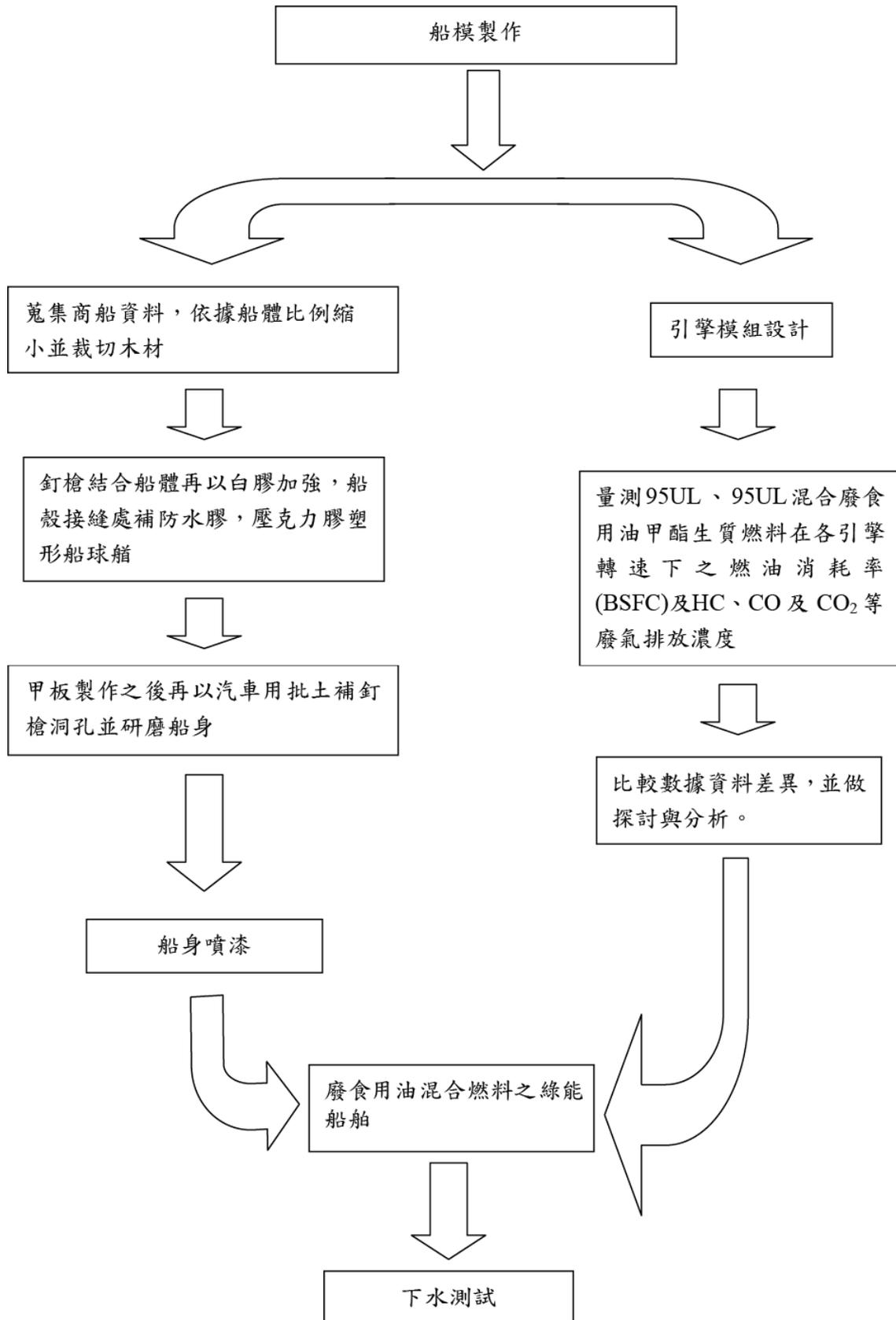
三、 船模製作材料

表 6.2 船模製作材料清單

項目	材料名稱	單位	數量	應用說明
1	AB 膠	罐	2	美化、補強、塑型
2	銅管	支	2	尾軸套、排氣管製作
3	強力膠	桶	1	接著 EVA 泡棉
4	墊片	塊	30	提高引擎座高度
5	硬化劑、補土	罐	5	補強、塑型、美化
6	巴爾沙木板	片	15	船骨材料
7	砂紙	張	25	研磨船身粗糙表面
8	角鋁	片	14	支架製作
9	鐵釘	支	150	固定船身結合
10	六角螺絲	支	12	把舵固定在船艙
11	螺絲、螺帽	支	10	支架裝配固定用
12	木條	支	20	船的外殼
13	引擎	顆	1	船模動力來源
14	LED 燈泡	顆	5	船舶用燈
15	三夾板	片	1	船模肋骨
16	電瓶	顆	1	儲存發電機發出電力
17	伺服馬達	個	2	控制船舵旋轉方向及阻風門
18	油漆	罐	12	船身外觀噴漆
19	水性壓克力膠	罐	3	接著與船球艙塑形
20	合泰合成木	面	1	絕緣及固定
21	鑽頭	支	7	鑽孔
22	油管	條	2	引擎燃油輸送
23	鋁板	塊	2	固定引擎
24	食用廢油	升	3	引擎潤滑油
25	電阻器	個	5	電阻
26	螺旋槳	個	1	船模推進
27	柳安木	條	2	龍骨和肋骨材料
28	汽車批土	罐	2	填補漏洞
29	汽油濾網	個	1	過濾汽油
30	油管環	個	3	固定油管

柒、船模製作與組裝

一、製作流程



二、船體製作

(一) 船模龍骨、底板

選定船圖，按照船圖尺寸縮放龍骨、底板，利用木工鋸刀裁切、切槽。確定水平、垂直度，船球首與龍骨一併製作，並用白膠與釘槍將龍骨和底板固定，最後於相連之細縫處塗上防水膠防水。如圖 7.1~7.2。



圖 7.1 研磨龍骨與船球艙



圖 7.2 底板完成圖

(二) 船模底板外圍、肋骨

底板外圍、肋骨製作方式與底板、龍骨類似。先將底板的外圍長度量出，並在彎折地方切槽，以便彎曲塑型。肋骨直接固定於底板外圍上，以加強底板外圍強度。如圖 7.3~7.4。



圖 7.3 固定底板外圍



圖 7.4 肋骨完成圖

(三) 船艙、船艙、船身塑型

船艙與船身的製做，乃先割出可配合肋骨與船身的長度的木板，再用白膠將木板黏貼肋骨上，並用釘槍固定於肋骨，最後縫隙處塗上防水膠防水。如圖 7.5~7.6。



圖 7.5 船艙釘上船皮



圖 7.6 船艙、船身完成圖

船艙部分，先以木條做出可鑲嵌的型狀，最後再用救生圈材質—EVA 發泡材質，塑造出船艙型狀鑲嵌於船艙，並以砂紙稍做修飾。如圖 7.7~7.8。



圖 7.7 EVA 發泡材質鑲嵌於船艙



圖 7.8 船艙完成作最後的修飾

(四) 壓克力膠與研磨

在船艙、船艙及底板塗上壓克力膠，在容易進水的地方塗上防水膠與壓克力膠，例如縫隙還有製作過程有小瑕疵的地方作修飾。可以加強防水。如圖 7.9~7.11。



圖7.9 易進水的縫隙塗上補土



圖7.10 船艙完成的狀況



圖7.11 船底與船殼

在船艙與船艙需鑽孔地方鑽孔，並利用壓克力膠修飾，例如尾軸與下錨地方。船球艙部分，以原本龍骨凸出木頭尾端為基底，用EVA發泡材質包覆後塗上壓克力膠，最後再用砂紙研磨。如圖7.12~7.13。



圖 7.12 尾軸凸出處



圖 7.13 船球艙塑型

(五) 甲板、船樓與上漆

將木板切削出甲板型狀，並在引擎裝設位置端開孔，再塑造出船樓與貨櫃外觀，最後上漆。如圖 7.14~7.16。



圖7.14 主甲板船樓圖



7.15 船模噴漆前



圖7.16 完成上漆

捌、引擎模組設計與實驗數據量測

一、引擎模組設計

將引擎裝置於引擎架上，並在引擎腳加裝橡膠墊予以減震；油箱至化油器此段燃油管路上加裝燃油過濾器與油耗量管，油門開度則利用油門線連結至機車油門連桿裝置，以利控制引擎轉速，如圖 8.1 所示。



圖 8.1 引擎模組

玖、研究結果與討論

如前面第肆點所述，以、B2、B4、B8、B10、B15 之廢食用油甲酯生質燃油混合燃料及 GS95 汽油等六種燃料作為實驗用油，於不改變原廠引擎參數設計之條件，並在引擎轉速 2400rpm、3000 rpm、3600 rpm、4200 rpm、4800 rpm、5400 rpm、6000rpm 及 6600 rpm 下測量燃油消耗率(BSFC)、廢氣排放濃度(CO、HC、CO₂ 之結果進行整理後分析比較如下：

一、BSFC 比較

如圖 9.1 所示係在 8 種引擎轉速 2400~6600rpm 時燃燒 95UL、B2、B4、B8、B10、B15 等六種燃料下 BSFC 值的變化關係。圖中顯示，隨著 WOME 添加比例的提高，BSFC 值在各引擎轉速下均比 95UL 低，其可能原因是由於 WOME 的熱值較高的關係。燃油經濟性係以每單位單程之油料體積計算。因此在質量的基礎上 WOME 熱值雖較 95UL 低(如表 5.1)，但因密度較高，故以體積為單位，WOME 仍有較高的熱值。另隨著引擎轉速的增加，B2、B4、B8、B10、B15 之 BSFC 值也同樣提升，此乃因轉速提升，燃燒時間縮短，相對燃油消耗量也隨之增加。此外，船舶航行時的引擎轉速大部分在低轉速情況下運轉，船舶使用生質燃油可減少對石化燃料的依賴程度，不失為替代能源上的一大考量。

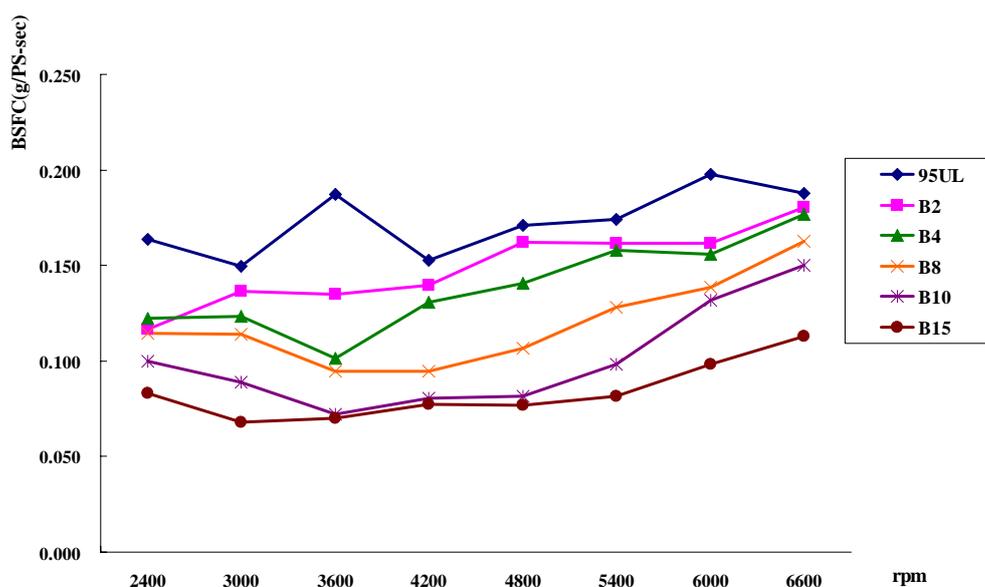


圖 9.1 95UL 與 95UL 混合 WOME 於各引擎轉速下之 BSFC 比較

二、HC 濃度分析

圖 9.2 所示 95UL、B2、B4、B8、B10、B15 等六種燃料，在引擎轉速 2400~6600rpm 下之 HC 濃度值分佈關係。從圖中可知，各引擎轉速下之 B2、B4、B8、B10 及 B15 的 HC 濃度均較 95UL 高，此原因係廢食用油甲酯生質燃油閃火點高出 95 無鉛汽油許多的關係，高閃火點意味著燃油霧化不易點燃或者燃油需大量的熱量才能產生足夠的霧化著火。火星塞若沒成功點燃汽油，壓縮空氣的溫度也無法使汽油自燃，故利用壓縮空氣使得高溫點燃生質燃油相對比較不會造成燃燒不完全。因此，本研究隨著 WOME 添加比例的增加比較不易被點燃，易發生無法完全燃燒現象，HC 廢氣排放濃度也就逐漸增加。

另外，隨著引擎轉速的增加，HC 廢氣排放濃度也逐漸提升，乃因實驗用引擎為二行程引擎，無、進排氣門，進排氣過程需靠掃氣完成，無法做到確實完全，轉速越高，燃燒時間越短，HC 排放濃度也隨之增加。

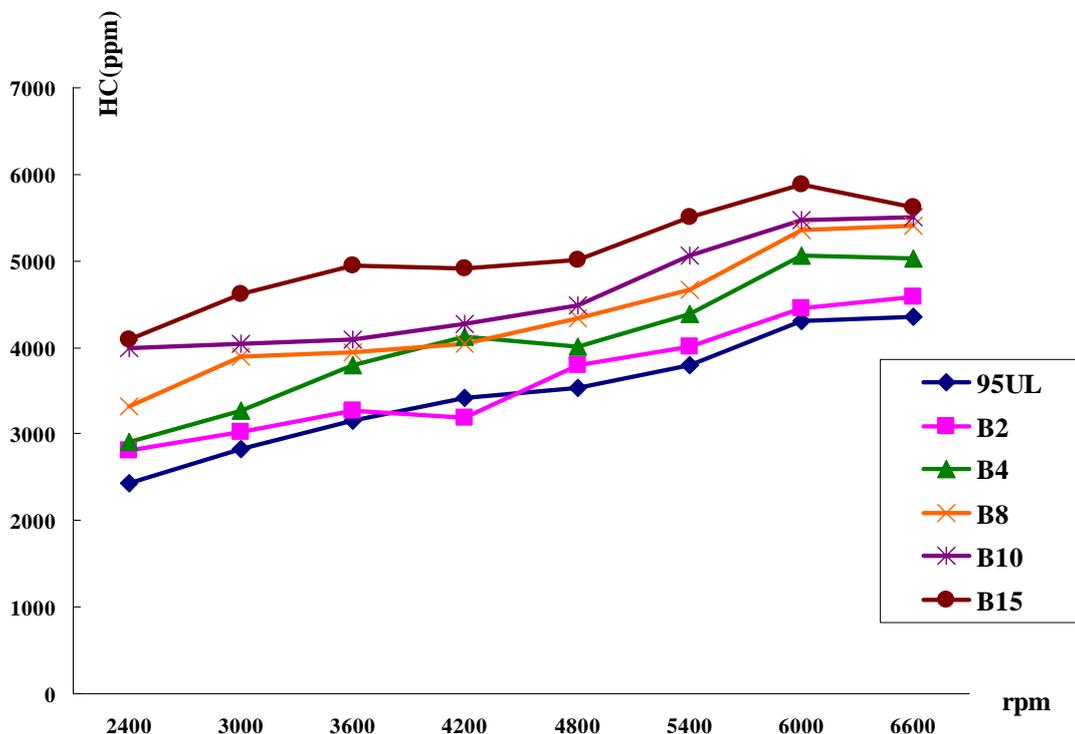


圖 9.2 95UL 與 95UL 混合 WOME 於各引擎轉速下之 HC 排放濃度比較

三、CO 濃度分析

如圖 9.3 所示，係 95UL、B2、B4、B8、B10、B15 等六種燃油於各引擎轉速下之 CO 排放濃度比較圖。95UL 含有芳香烴成分較高，使得各轉速下之 CO 排放濃度較 95 無鉛汽油混合廢食用油甲酯生質燃料高。此外，廢食用油甲酯生質燃油含氧量較 95UL 高，對改善排氣排放有相當大的幫助，故隨著廢食用油甲酯生質燃油添加比例的增加，於各轉速下，CO 的排放濃度逐漸下降。

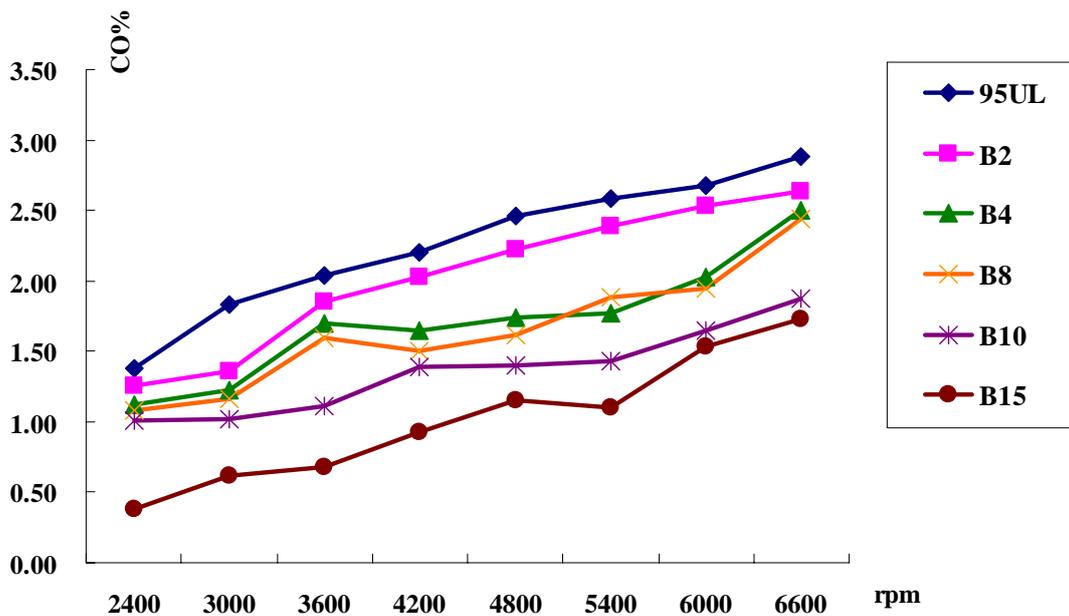


圖9.3 95UL與95UL混合WOME於各引擎轉速下之CO排放濃度比較

四、CO₂濃度分析

如圖9.4所示，為95UL、B2、B4、B8、B10、B15等六種燃油在各引擎轉速下CO₂排放濃度比較圖。CO₂是燃油完全燃燒所生成的產物，燃燒越完全，排放濃度越高。B2、B4、B8、B10、B15之CO₂排放濃度均較95UL高，此原因乃廢食用油甲酯生質燃油因十六烷值、含氧量及動力黏度均較95UL高的關係。如前述表5.1所示，高十六烷值具有良好的著火性，高動力黏度使燃油的貫穿力增加，有助油滴與空氣接觸面積增加，又含氧量高有助燃的效果，燃燒效率提升，致燃燒更完全，使CO₂排放濃度增加。

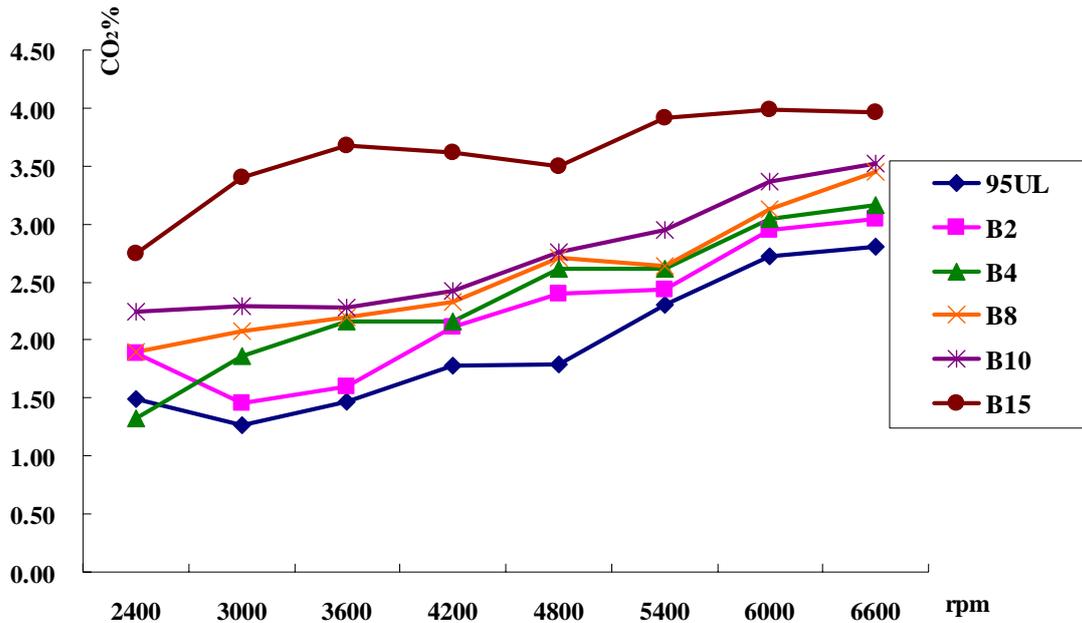


圖9.4 95UL與95UL混合WOME於各引擎轉速下之CO₂排放濃度比較

拾、結論與建議

一、結論

本研究利用95UL和生質燃油混合燃料B2、B4、B8、B10、B15等六種燃料，使用在市售單缸二行程火花點火汽油引擎，引擎轉速分別設定在2400rpm、3000rpm、3600rpm、4200rpm、4800rpm、5400rpm、6000rpm、6600rpm的狀態下，進行探討比較燃油消耗率、各廢氣排放濃度等差異。根據前章的結果，經分析後得到下列幾點結論與建議供參考。

- (一) 由WOME的熱值較高，故隨著WOME混合比例的提升，各引擎轉速下有較低的BSFC值。
- (二) 船舶海上航行大多在引擎低轉速之下運行，故WOME生質燃油混合燃料有助燃油經濟效益。
- (三) 因廢食用油甲酯生質柴油含氧量高，有助燃效益，又因有較高的十六烷值，著火性較佳，會使燃燒更完全，故隨著WOME的增加，在CO濃度排放的減量上會隨之更優。

(四) 廢食用油甲酯生質燃油有較高的動力黏度，促進油滴與空氣接觸機會，又高十六烷值與高含氧量，有助燃燒更完全，CO₂排放濃度在各引擎轉速下隨著WOME添加比例的增加有提高的現象。

綜合研究結果顯示，使用95UL混合廢食用油甲酯生質燃油，在單缸二行程汽油引擎中燃燒，BSFC和廢氣排放污染物的減量上，較95UL燃料優良，且能降低95UL中的硫、芳香烴以及稀烴等有毒致癌成分，可再次降低危害人類健康的有毒廢氣成分。因而廢食用油甲酯生質燃油混合在95UL中燃燒來降低空氣污染是可行的。

二、建議

本研究利用廢食用油甲酯生質燃油混合燃料B2、B4、B8、B10、B15，及95UL等六種燃料，在原引擎設計參數與結構下(如燃燒室形狀、點火正時、進氣歧管大小等)，進行燃油消耗率、各廢氣排放濃度等差異性比較。由實驗結果顯示，燃油消耗率在各引擎轉速下隨著WOME添加比例增加有降低現象、但仍存在些限制，比如本次採用的單缸二行程汽油引擎，隨著WOME比例的增加，HC隨之增加，且引擎拉轉速過程中頓挫情形更趨嚴重，建議往後可用多缸四行程引擎測試，利用動力重疊減緩不穩定現象，分析廢食用油甲酯生質燃油混合燃料對引擎性能輸出、耐用度等之影響。

拾壹、參考資料及其他

1. 莊桂芬，蔣士賢，實務導向教學策略對商科學生專題製作學習成效之研究，台北松山家商。
2. 黃道祥，華健，船運污染及防治之道，科學發展，2012，9月，477期。
3. 再生能源應用-生質柴油，<http://chem.kshs.kh.edu.tw/wecan/a03.pdf>。
4. 台灣中油股份有限公司，油品安全資料，
<http://new.cpc.com.tw/division/mb/product-more.aspx?PID=8>。
5. 承德油脂股份有限公司，<http://www.chantoil.com.tw/>。
6. 鄭文和，郭錦榮，船用內燃機(上冊)，台北：華香園出版社，1998。