

吞雲吐霧—生質柴油雲化之探討

名次：第三名

學校名稱：中西區建興國中

作者：楊峻承、柯威廷、周科霖

指導教師：楊志鴻、吳采縈

摘要

本研究採用鹼催化轉酯化法進行生質柴油的製作，使用的原料油有廢食用油、豬油、大豆油，醇類為甲醇及乙醇、催化劑氫氧化鈉，探討的變因包含不同油類、不同醇類、以及催化劑的不同用量，對生質柴油製作中生成率的影響。接著採用十字觀察法及自製透光性測量儀器來對我們自製不同油類的生質柴油的雲化狀況進行檢測，也進一步測量各國採用石化柴油與生質柴油不同體積比的混和油的雲點，觀察其雲化現象是否與 100%生質柴油有所不同。

實驗結果顯示，甲醇與大豆油的生成率最佳，另外以甲醇進行轉酯化反應所生成的生質柴油生成率在三種不同油類都比乙醇高，而製造生質柴油時，廢食用油和豬油比大豆油需較多的氫氧化鈉進行催化。本研究測量出 100%生質柴油雲點約在零度左右，在台灣冬天山區溫度零度上下的使用會有安全疑慮，實驗發現石化柴油體積:生質柴油體積 90:10 和 80:20 的 B10 生質柴油及 B20 生質柴油的雲點會降至零下十度左右，可以突破生質柴油車在低溫使用時的限制。

壹、研究動機

我們上理化課「能量」這課時，老師有提及石化燃料蘊藏有限，終將耗盡，各國都積極尋找再生能源來替代，石化燃料中的汽油、柴油所產生的污染物會造成空氣污染，再生能源之一的生質柴油可以減少硫化物、一氧化碳的排放，也能夠為日益嚴重的「石油危機」帶來契機。近來社會上爆發許多食安問題，其中有使用廢食用油加工製成黑心豬油事件，廢食用油的管控與再製受到極大關注，而使用廢食用油做為生質柴油原料的經濟效益，可以減低不肖商人廢食用油製成黑心油的動機。我們在網路上看到生質柴油的製作方法，並不會太難，也不需要太昂貴的材料或儀器，便想自己動手做做看，又在文獻中看到低溫時生質柴油會雲化，造成容易堵塞汽車油路的限制，所以想更進一步實驗不同油類所製成生質柴油的雲化狀況，以及目前國際上使用石化柴油添加生質柴油對雲化的影響。

貳、研究目的

- 一、研究甲醇與乙醇與不同油類(植物油、動物油、廢食用油)製成生質柴油的生成率。
- 二、研究催化鹼(氫氧化鈉)用量對不同油類製成生質柴油的催化效果。
 - (一) 以甲醇為反應物時氫氧化鈉用量對不同油類製成生質柴油的影響。
 - (二) 以乙醇為反應物時氫氧化鈉用量對不同油類製成生質柴油的影響。
- 三、探討不同油類所製成生質柴油的雲點。
 - (一) 以十字法觀察不同油類所製成生質柴油的雲點。
 - (二) 用自製透光性測量儀器測量不同油類所製成生質柴油的雲點。
- 四、探討石化柴油加上不同比例生質柴油後的雲化狀況。

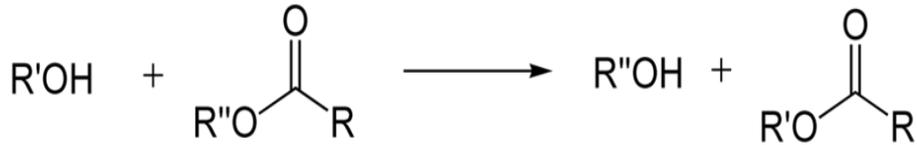
參、文獻探討及研究方法

一、生質柴油 (Biodiesel)

生質柴油是利用植物油、動物性油脂，或回收食用油為原料，經過轉酯化反應及中和、水洗及蒸餾等純化程序生產出來的油品，主成分是脂肪酸酯，生質柴油因由動、植物油脂製成，具有能源再生性、生物可分解性與低污染性，可減少空氣污染，性質與柴油接近，可以直接使用在柴油引擎上，不需更改任何引擎設計與設備。100%生質柴油的缺點是使用在汽車上馬力降低5-7%，且低溫會雲化阻塞油路，目前各國多採用石化柴油與生質柴油以不同體積比混合使用，從B2和B20(98:2到80:20體積比)不等，研究顯示B20生質柴油碳氫化合物、一氧化碳排放可降低12%-20%。

二、轉酯化作用 (Transesterification)

轉酯化作用是指油脂與醇類在某比例下混合反應產生出另一種酯類的過程。如下圖：



生質柴油轉酯化以不同油類與醇類(如甲醇、乙醇)反應生成，反應過程需要催化劑，常見的催化劑有鹼類(如氫氧化鈉或氫氧化鉀)、酸類(如硫酸)，第三種方法是酵素觸媒，但因酸因較易腐蝕金屬，因此反應器要用耐腐蝕性的材料，而經過處理的酵素成本較高，且反應較慢，所以本研究我們採用鹼製成的轉酯化方法。

三、油類

我們查詢過目前國內 CNS 豬油酸價標準：一般豬油酸價 2.0、精製豬油酸價 1，業界對植物原油的酸價規定必須小於 4、大豆原油小於 3。本實驗取不同種類的動物油、植物及廢食用油做為製造生質柴油的原料油，植物油中我們採用日常食用油大豆油為植物油脂的代表，其顏色為淡黃色，清澈透明，無沉澱物，含飽和脂肪酸、單元及多元不飽和脂肪酸等。動物油則使用大廠牌的水煮豬油，以 100% 豬隻脂肪提煉而成，水煮法較一般油炸法具有顏色較白、飽和脂肪酸較低、單元及多元不飽和脂肪酸較高、油質較佳特點。廢食用油則採用政府認證回收廢食用油的機構所回收的廢食用油來進行實驗，我們有訪問該家工廠其廢食用油的來源包括夜市、小吃攤、學校及家用廢油等等，其成分包含動物油、植物油、澱粉、其他雜質及少許水分等，由廢油機構回收後已經初步沉澱、過濾去除雜質，酸價為 5。

四、雲化

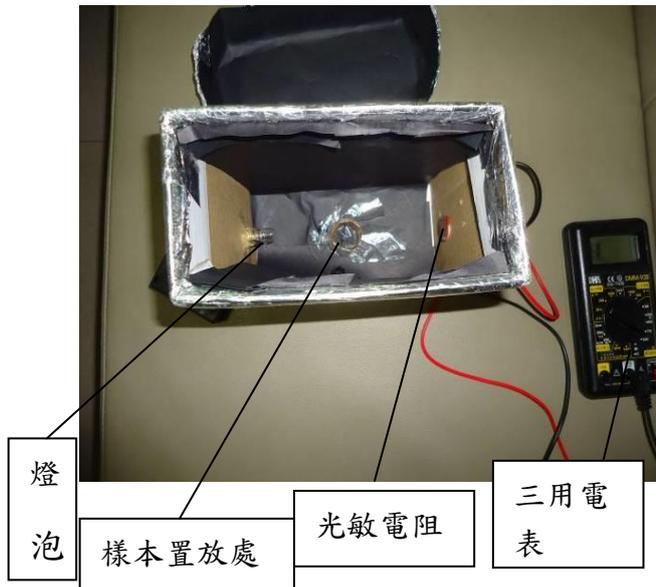
如同雞湯、紅燒肉放到冰箱冷藏，油脂會凝結成白色黏稠狀形成混濁的外觀，對於生質柴油而言就叫做「雲化」(cloud)，產生凝結的溫度稱作「雲點」或「霧點」(cloud point)，生質柴油的雲化會影響柴油車的行駛。本研究將自製的生質柴油樣本降溫以探討生質柴油在何溫度開始雲化，也探討目前國際中使用石化柴油為基底油添加不同比例生質柴油雲點變化。

五、自製透光性測量儀器原理

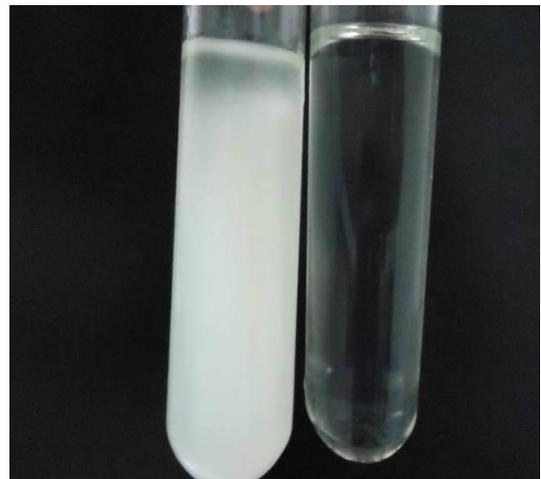
光敏電阻是一種特殊的電阻，簡稱光電阻，又名光導管。其電阻和光線的強弱有直接關係。光強度增加，則電阻減小；光強度減小，則電阻增大。當有光線照射時，電阻內原本處於穩定狀態的電子受到激發，成為自由電子。所以光線越強，產生的自由電子也就越多，電阻就會越小。

本研究利用三用電表、光敏電阻、燈泡以及不透光紙盒自製儀器，利用樣

本透光性的改變影響電阻大小，可量化生質柴油雲化後的白色黏稠的混濁外觀程度進而檢測出雲點的溫度。



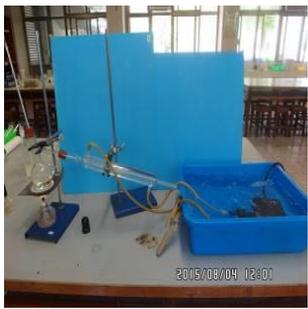
燈泡
樣本置放處
光敏電阻
三用電表



生質柴油雲化前後外觀變化

肆、研究設備及器材

<p>甲醇、乙醇 氫氧化鈉、醋酸</p>	<p>不同的油類</p>	<p>分液漏斗、支架</p>	<p>電子磅秤</p>
<p>量筒、試管、燒杯</p>	<p>Ph 計</p>	<p>磁石攪拌器</p>	<p>電磁爐與鍋子</p>

			
蒸餾裝置	自製光敏電阻盒	冰桶	冰塊與鹽

伍、研究過程與結果

一、生質柴油製作流程

			
氫氧化鈉與醇類混合攪拌至完全溶解	油加熱至60°C，將醇鹼溶液加入油類	維持溫度並以磁石攪拌器攪拌	靜置分液漏斗分離粗油及甘油
			
以醋酸中和，直到Ph計的數值為7	將水加熱以1:1的比例進行水洗2次	水洗後分離，加以蒸餾直到沸騰	蒸餾後即是生質柴油成品

二、研究過程與結果

實驗一 探討甲醇、乙醇與不同油類所製成的生質柴油對生成率的影響。

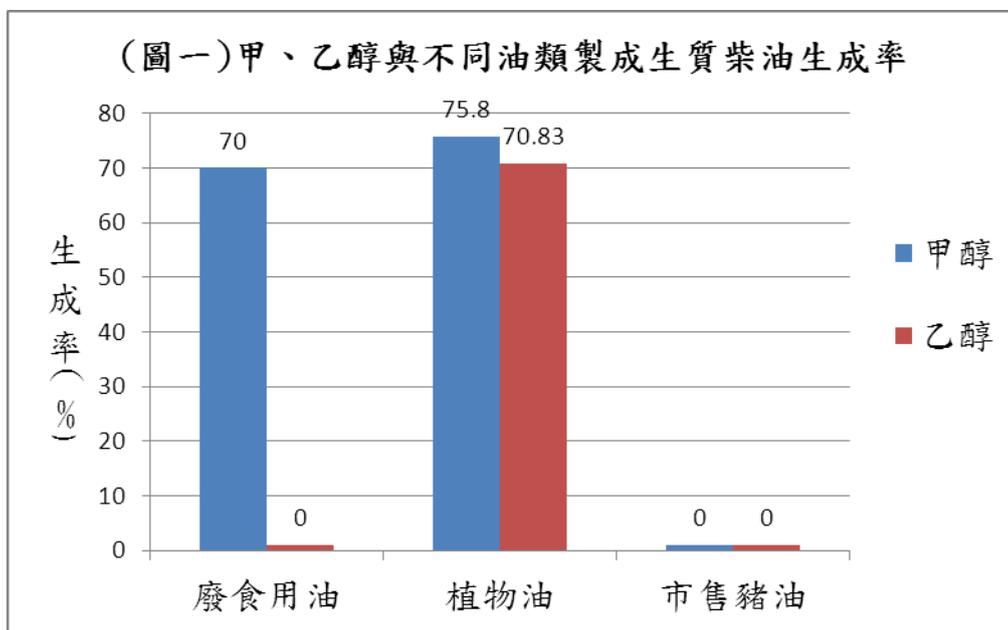
【實驗步驟】

1. 調配甲醇 20ml 與氫氧化鈉 0.35g 混合液 3 杯，攪拌 10 分鐘至完全溶解。
2. 將大豆油、廢食用油、市售豬油 100ml 隔水加熱至 60°C，將甲醇加氫氧化鈉溶液倒入油中用磁石攪拌器攪拌 20 分鐘倒入分液漏斗靜置 1 天。

- 分餾後再分別以醋酸中和，並以 1:1 的比例進行水洗 2 次，水洗後蒸餾，加以蒸餾直到沸騰，測量最終生成體積。
- 調配乙醇並以相同步驟及比例進行實驗。
- 計算自製生質柴油之生成率，本實驗中生成率定義= $(\text{蒸餾後生成油的體積} / \text{原油} + \text{醇類的體積}) \times 100\%$ 。

【實驗結果】

油類 \ 醇類		油類		
		廢食用油	植物油	豬油
醇類	生成率(%)			
甲醇		70	75.8	失敗
乙醇		失敗	70.83	失敗





甲醇、乙醇加不同油類製做的生質柴油

【發現與討論】

1. 由(表一)得知植物油、市售豬油、廢食用油在甲醇及氫氧化鈉 0.35 克所製成的生質柴油中，以植物油生成率最高為 75.8%，在乙醇及氫氧化鈉 0.35 克所製成的生質柴油中，也是以植物油生成率最高為 70.83%。
2. 以甲醇、市售豬油在製作過程中凝結成果凍狀即是「皂化」，以乙醇為原料時廢食用油、市售豬油，也凝結成果凍狀，因此豬油及廢食用油在甲醇、乙醇及不同用量的氫氧化鈉的條件下需進一步的分析。
3. 發現整體上甲醇製作出的生質柴油產率比乙醇的還多。

實驗二-(一) 研究氫氧化鈉用量對甲醇+不同油製作生質柴油的影響

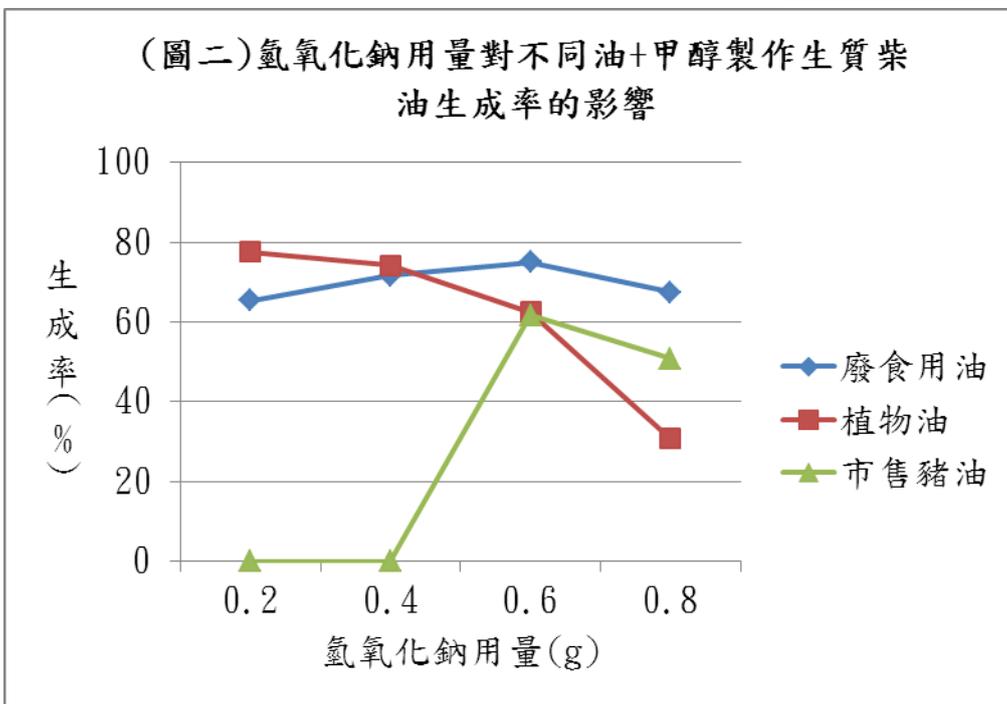
【實驗步驟】

1. 調配甲醇 20 ml 與氫氧化鈉(0.2g、0.4g、0.6g、0.8g)混合液，攪拌至溶解。
2. 將廢食用油、植物油和市售豬油 100ml 放置電磁爐上隔水加熱至 60°C。將醇鈉溶液倒入油中，使磁石攪拌 20 分鐘後倒至分液漏斗靜置 1 天。
3. 分餾後再分別以醋酸中和，並以 1:1 的比例進行水洗 2 次，水洗後以蒸餾裝置分離，直到沸騰，測最終生成體積，並計算生成率。

【實驗結果】

(表二) 不同用量的氫氧化鈉與三種油類+甲醇製成生質柴油的生成率				
氫 化 鈉(g)	油類	廢食用油	植物油	豬油
	生成率(%)			

0.2	65.43	77.5	失敗
0.4	71.67	74.1	失敗
0.6	75	62.5	61.67
0.8	67.5	30.83	50.83



廢食用油生質柴油成品

植物油生質柴油成品

豬油生質柴油成品

【發現與討論】

1. 廢食用油在甲醇及不同用量的氫氧化鈉所製成的生質柴油中，以氫氧化鈉 0.6 克所製成的生成率最高 75%，其次是 0.4 克的氫氧化鈉製成生成率為 71.67。
2. 植物油在甲醇及不同用量的氫氧化鈉所製成的生質柴油中，以氫氧化鈉 0.2 克所製成的生成率最高 77.55%，其次是 0.4 克氫氧化鈉製成生成率為 74.1%。推論植物油在甲醇 20ml 及氫氧化鈉 0.2 克的用量之下，所製成的生質柴油生成率最高，但氫氧化鈉用量增多時生成率依次遞減。
3. 豬油在甲醇及不同用量的氫氧化鈉所製成的生質柴油中，以氫氧化鈉 0.6 克所製成的生成率最高 61.67%，其次是 0.8 克氫氧化鈉製成生成率為 50.83%，其餘皆皂化失敗。
4. 從(圖二)比較中發現氫氧化鈉 0.2 克時，植物油的生成率最多。氫氧化鈉 0.4 克，植物油和廢食用油的生成率差不多且最高，在氫氧化鈉 0.6 克，廢食用油的生成率最多，氫氧化鈉 0.8 克，廢食用油的生成率最多。廢食用油豬油需催化鹼用量較多，植物油則不需太多催化鹼。

實驗二-(二) 研究氫氧化鈉用量對乙醇+不同油製作生質柴油的影響

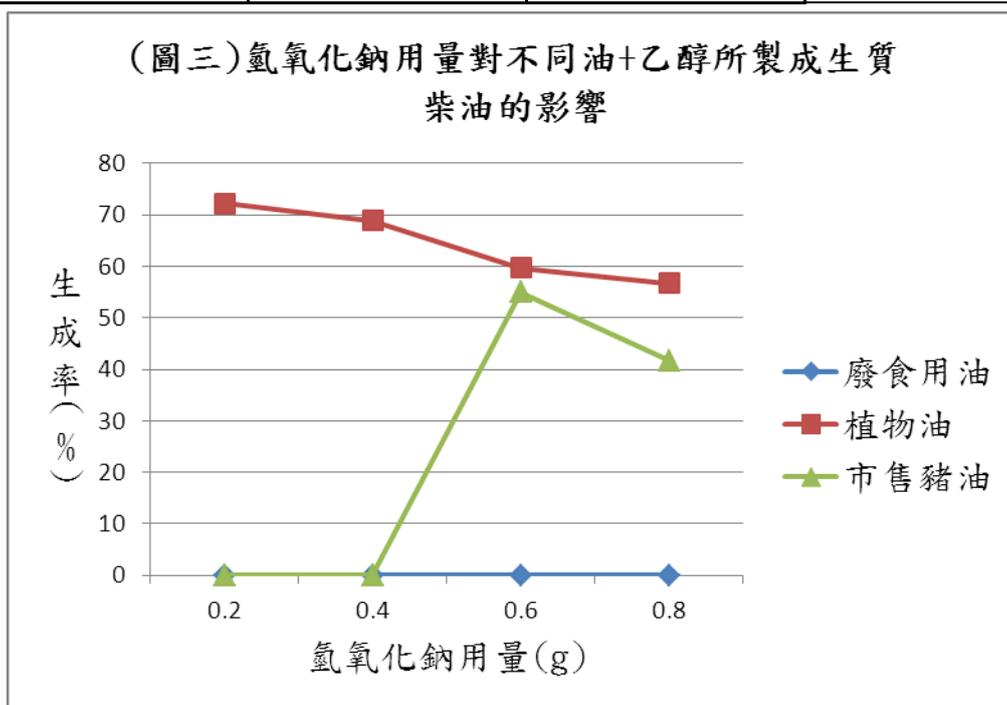
【實驗步驟】

1. 調配乙醇 20 ml 配上氫氧化鈉(0.2g、0.4g、0.6g、0.8g)混合液攪拌至溶解。
2. 將廢食用油、大豆油、豬油 100ml 各 4 杯放置電磁爐上隔水加熱至 60°C。
3. 將乙醇加氫氧化鈉溶液倒入廢食用油用磁石攪拌器攪拌倒入分液漏斗靜置。
4. 分餾後再分別以醋酸中和，並以 1:1 的比例進行水洗 2 次，水洗後蒸餾直到沸騰，測最終生成體積，並計算生成率。

【實驗結果】

(表三) 不同用量氫氧化鈉與三種油類+乙醇製做生質柴油的生成率				
氫 化 鈉(g)	油類	廢食用油	植物油	市售豬油
	生成率(%)			
0.2		失敗	72.23	失敗

0.4	失敗	68.89	失敗
0.6	失敗	59.66	55
0.8	失敗	56.73	41.67



不同用量的氫氧化鈉與三種油類+乙醇製作生質柴油的成品
(上左廢食用油、上右植物油、下圖豬油)

【發現與討論】

1. 廢食用油和乙醇與不同用量氫氧化鈉所製成的生質柴油中皆皂化，我們將作用時間及反應溫度增加為 65°C 到 70°C (不超過乙醇沸點) 單就廢食用油做實驗，

卻仍然失敗。

2. 在植物油為原料中，以氫氧化鈉 0.2 克所製成的生成率最高為 72.23%，其次是 0.4 克氫氧化鈉製成生成率為 68.89%，且氫氧化鈉用量愈高生成率依次遞減。
3. 豬油所製成的生質柴油中，以氫氧化鈉 0.6 克所製成的生成率最高 55%，其次是 0.8 克的氫氧化鈉製成生成率為 41.67%，其餘氫氧化鈉用量不足皆失敗。
4. 由(圖三)比較，豬油需較多催化鹼，植物油則不需太多催化鹼。

實驗三-(一) 以十字法觀察不同油類所製成生質柴油的雲點

【實驗步驟】

1. 利用國中課本硫代硫酸鈉加鹽酸實驗十字法觀察油品在不同溫度雲化情形。
2. 用油性簽字筆在紙上畫一十字，將待測油品先在室溫(26°C)透過油往下看十字並記錄下來，油品雲化成白色混濁外觀，透光性變差看不到十字。
3. 以鹽加冰塊 1:3 的比例配置，將冰塊降溫。
4. 將自製不同原料的生質柴油各取一樣本置入冰塊中，直到溫度下降到 10°C、5°C、0°C、-4°C、-8°C、-12°C 時分別取出放置在十字紙上觀察並記錄下來。

【實驗結果】

(○表示看得到十字、未雲化；x表油品雲化透光性變差，看不到十字)

(表四) 不同生質柴油在不同溫度下能否觀察到十字的記錄

油品	溫度°C						
	26°C	10°C	5°C	0°C	-4°C	-8°C	-12°C
(大豆油+甲醇)之生質柴油	○	○	○	○	x	x	x
(大豆油+乙醇)之生質柴油	○	○	○	○	x	x	x
(廢油+甲醇)之生質柴油	○	○	○	x	x	x	x
(豬油+甲醇)之生質柴油	○	○	○	x	x	x	x
(豬油+乙醇)之生質柴油	○	○	○	x	x	x	x
石化柴油	○	○	○	○	○	○	○



將食鹽倒入冰塊中降溫

放置不同油類生質柴油樣本

十字觀察法

【發現與討論】

1. 油品雲化成混濁白色外觀看不到十字，(廢油+甲醇)生質柴油、(豬油+甲醇)、(豬油+乙醇)生質柴油 0°C 看不見十字，表示雲化，故 0°C 是其雲點。
2. (大豆油+甲醇)、(大豆油+乙醇)生質柴油在 -4°C 才遮住十字，表示 -4°C 是其雲點，雲點比動物油及廢食用油低。
3. 石化柴油在過程中未出現遮住十字的情形，表示溫度已降至 -12°C 仍未雲化，此為對照組。
4. 由以上實驗後發現十字法是用眼睛觀察，雖也是個很值得參考的方法，但無法量化，為了尋求更精準量化的方法，我們在以下實驗設計了一個可以量化的方法。

實驗三-(二) 用自製透光性測量儀器測量不同油類所製成生質柴油的雲點

【實驗步驟】

1. 製作透光性測量儀器：

- (1) 將紙盒、蓋子內部皆貼上黑紙，外部皆貼上鋁箔紙可以反光，成為不透光的箱子，紙盒中間做一個可放試管的圓柱支架。
- (2) 紙盒一端嵌入燈泡，電池連接在外，另一端裝上光敏電阻，外部再接上三用電表，連接口縫隙再用黑紙補強。自製的透光性測量儀器如以下照片
- (3) 利用燈泡光源穿透紙盒中間油品的光愈弱，光敏電阻的電阻愈大特性，記錄待測油品在不同溫度下電阻的數值，進而判斷待測油品雲化狀況。



透光性測量儀器內部



透光性測量儀器外觀

2. 以鹽加冰塊 1:3 的比例配置，將冰塊降溫，將待測油品裝入試管置入冰塊中，溫度從室溫 26°C 起測量再降溫至 10°C 、 5°C 、 0°C 、 -4°C 、 -8°C 、 -12°C 。
3. 達溫度將外部霧氣擦乾，置於測量儀器圓柱支架，讀取三用電表電阻之數值。

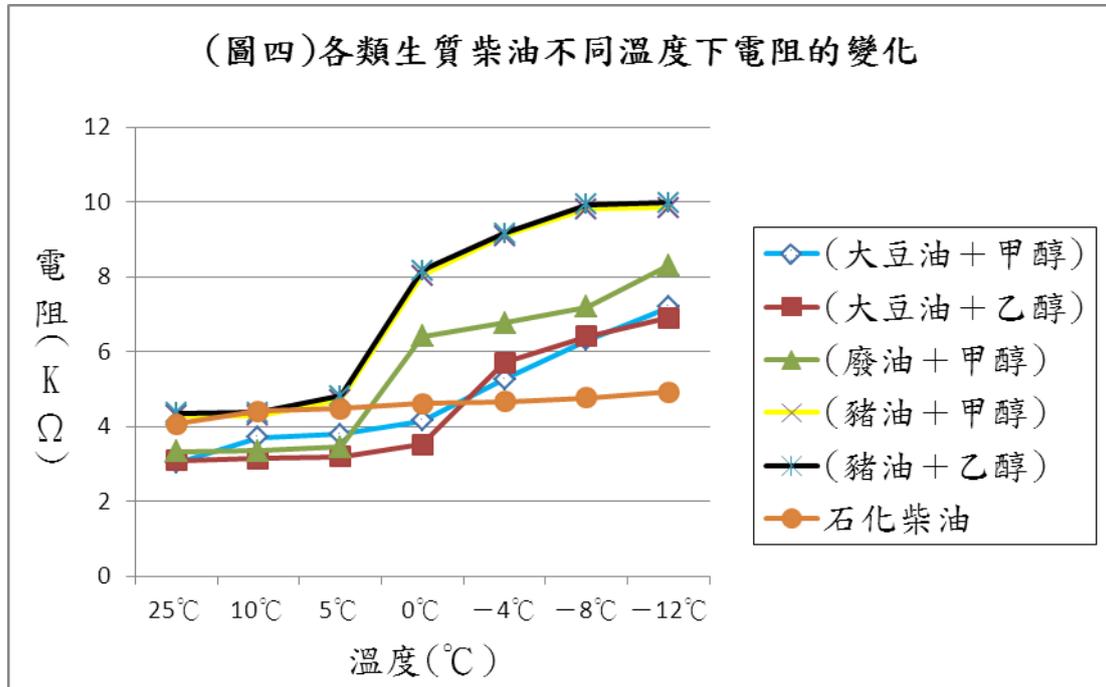
【實驗結果】

(同一樣品油中電阻大幅增加用紅字表示，顯示油品雲化，黑字表示未雲化)

(表五) 自製透光測量儀器測量各類生質柴油在不同溫度下的電阻數值

油 品	溫度(°C)						
	26°C	10°C	5°C	0°C	-4°C	-8°C	-12°C
(大豆油+甲醇)之生質柴油	3.02	3.70	3.80	4.15	5.26	6.31	7.20
(大豆油+乙醇)之生質柴油	3.10	3.15	3.20	3.52	5.70	6.40	6.90
(廢油+甲醇)之生質柴油	3.33	3.34	3.45	6.40	6.77	7.19	8.30
(豬油+甲醇)之生質柴油	4.28	4.29	4.72	8.03	9.09	9.80	9.85
(豬油+乙醇)之生質柴油	4.35	4.37	4.81	8.17	9.15	9.92	9.97
石化柴油	4.06	4.40	4.48	4.62	4.67	4.77	4.92

(圖四)各類生質柴油不同溫度下電阻的變化





將油品試管置入透光性測量盒中



持續降溫至要測量的溫度

【發現與討論】

1. 由以上實驗得知，發現光敏電阻所顯示的電阻數字有很大的增加時，剛好是十字法所觀察到的雲化現象，也表示在雲化時油品會變成白色混濁外觀導致透光性降低，光變弱造成測量出的電阻增加。
1. 由圖中看出(廢油+甲醇)、(豬油+甲醇)、(豬油+乙醇)生質柴油在 0°C 電阻急速增加，雲點為 0°C 。
2. (大豆油+甲醇)、(大豆油+乙醇)生質柴油在 -4°C 電阻大幅增加，表示油品在 -4°C 開始雲化。
3. 對照組石化柴油直到 -12°C 尚未雲化，我們持續降溫發現在 -15°C 至 -18°C 才開始雲化。

實驗四、探討石化柴油加上不同比例生質柴油後的雲化狀況

【實驗步驟】

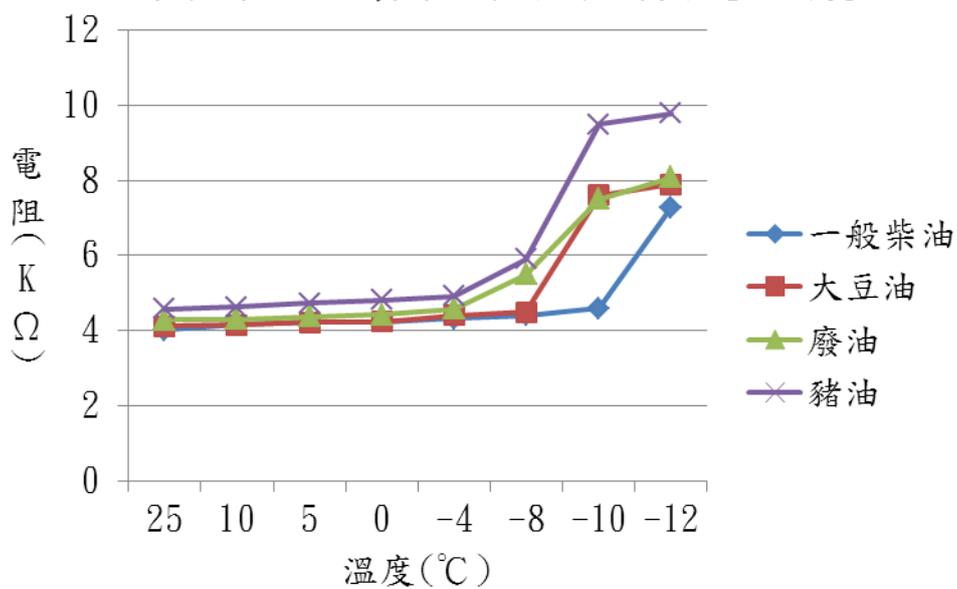
1. 我們想研究目前國際上常使用的從 B2 到 B20(石化柴油生質柴油體積比 98:2 到 80:20)不等比例配置的生質柴油它們的雲化狀況，本實驗取 B10 及 B20 為代表來做雲化觀察。
2. 到加油站購買石化柴油和自製的廢食用油、植物油、豬油生質柴油各以 90:10(B10)的體積比混合。
3. 以鹽加冰塊 1:3 的比例配置，將冰塊降溫，將待測油品裝入試管置入冰塊中，溫度從室溫 26°C 起測量，再將油品降溫至 10°C 、 5°C 、 0°C 、 -4°C 、 -8°C 、 -10°C 、 -12°C 。
4. 達溫度將外部霧氣擦乾，置於自製透光儀器圓柱支架，讀取三用電表電阻的數字。
5. 將以上比例 90:10(B10)改為 80:20(B20)並重複以上步驟，進行實驗。
6. 將一般石化柴油(不添加生質柴油)降溫至 10°C 、 5°C 、 0°C 、 -4°C 、 -8°C 、 -10°C 、 -12°C 。觀察雲點做為對照組。

【實驗結果 B10】

(表六)石化柴油:生質柴油 90:10 在不同溫度下電阻

溫度(°C) \ 電阻(KΩ)	油類			
	一般柴油	大豆油	廢油	豬油
25	4.02	4.12	4.28	4.57
10	4.16	4.15	4.30	4.62
5	4.22	4.22	4.38	4.73
0	4.24	4.24	4.43	4.81
-4	4.32	4.41	4.58	4.92
-8	4.40	4.50	5.50	5.90
-10	4.60	7.60	7.50	9.50
-12	7.28	7.9	8.08	9.78

(圖五) B10生質柴油在不同溫度下電阻的變化

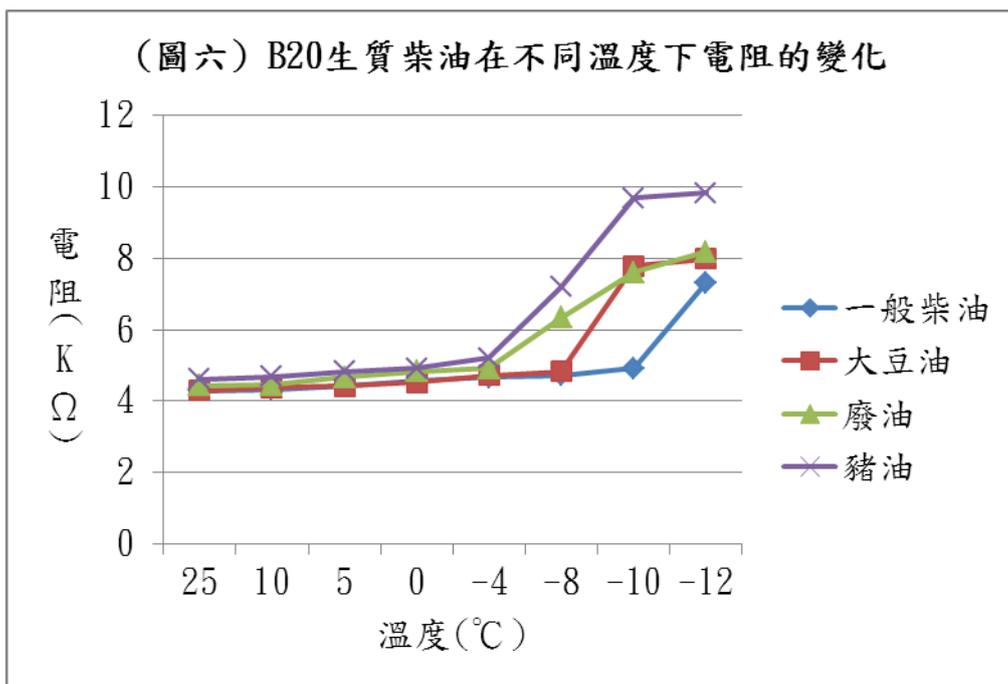


【實驗結果 B20】

(表七) 石化柴油:生質柴油 80:20 不同溫度下電阻變化 (紅字表示雲化)

溫度(°C) \ 電阻(KΩ)	油類			
	一般柴油	大豆油	廢油	豬油
25	4.29	4.3	4.43	4.62
10	4.32	4.39	4.45	4.68
5	4.43	4.41	4.66	4.83
0	4.56	4.52	4.83	4.92
-4	4.67	4.73	4.92	5.2
-8	4.73	4.83	6.34	7.2
-10	4.92	7.78	7.61	9.68
-12	7.32	7.99	8.18	9.82

(圖六) B20生質柴油在不同溫度下電阻的變化





配置 B10 和 B20 生質柴油



B10 和 B20 生質柴油降溫前後外觀變化(左圖室溫、右圖雲化後)

【發現與討論】

1. 從本實驗照片看出油品雲化會變成白色混濁外觀導致透光性降低，光變弱造成透光儀器測量出的電阻數值大幅上升，未雲化前電阻也會有些微小的變動，但都只在小數點的部分小幅改變，有可能油品試管遇冷產生霧氣影響。
2. B10 實驗中，大豆油、廢油、豬油都在 -10°C 時開始雲化，而一般柴油在 -12°C 時才雲化。
3. 由 B20 的實驗中發現，廢油、豬油在 -8°C 時開始雲化，大豆油 -10°C 時雲化。
4. B20 時不同類油樣本平均電阻比 B10 的都略大些，顯示生質柴油加的份量較多，所以在雲化時，透光性較差。

陸、結論

- 一、甲醇與乙醇與廢食用油、植物油、動物油三種油類製成的生質柴油中，都是以植物油為原料油生成率最高。
- 二、豬油及廢食用油在製作生質柴油過程中要注意氫氧化鈉的用量，開始用 0.35g 時失敗，後調整為 0.6g 便成功了，也顯示這兩種油游離脂肪酸較多，需要較多的催化劑去完成轉酯化反應。
- 三、三種原料油以甲醇製作出的生質柴油生成率皆比乙醇高，且甲醇的成本比乙醇低，所以若是學生自己製作生質柴油時選擇甲醇較好。

- 四、我們的實驗證明自製的生質柴油雲點是在攝氏 0°C 到 -4°C 之間，若汽車使用 100% 生質柴油，台灣山區冬天平均溫約在零度上下，100% 的生質柴油無法在此低溫使用，若是阻塞油管恐會引起行車安全。
- 五、據實驗發現一般石化柴油與生質柴油體積比 90:10 時，雲點落在 -10°C 左右；80:20 時，雲點在 -8°C 至 -10°C ，從 100% 零度就雲化，到零下十度才會雲化，對原來生質柴油在低溫中無法安心使用的限制有很大的突破，所以 B10 和 B20 生質柴油不但可以減低人類對石化柴油的依賴，降低硫化物、一氧化碳排放外，對 B100 生質柴油低溫使用的缺點也可以克服。

柒、參考資料

- 一、康軒文教(2014)。3-1 反應速率。國中自然與生活科技第四冊。
- 二、翰林出版社(2014)。3-4 能量:再生能源。國中自然與生活科技第五冊。
- 三、鄧遠祥(2013)。「明列子在生質柴油上的應用」。全國 53 屆中小學科展。
- 四、吳佩學、楊奇峰、施英隆(2011)。「以廢食用油製造生質柴油的影響參數實驗探討」。大葉大學環境工程學系。
- 五、沈胤亨。「生質柴油製程簡介」。台灣大學化學工程研究所。