

計畫編號：SWCB-111-068

農廢棄物綠色潤滑油再生技術應用計畫
**Development of Green Lubricant of
Reprocessing Technology from
Agricultural Waste**
(成果報告)

執行單位：國立虎尾科技大學

執行期間：111年01月18日至111年12月31日

計畫主持人：蔡逢哲 副教授

共同主持人：洪政豪 講座教授

國立虎尾科技大學 編印

中華民國 111 年 12 月

「本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考」

農廢棄物綠色潤滑油再生技術應用計畫

摘要

依據 2016 年政府所積極推動「循環農業政策」之「農業副產物
加值與循環再利用」，鼓勵國內農漁畜產業開發高質產品或優化其製
程，以達農廢減量、提升產值及循環經濟創造之目的。為此，透過本
案執行目標著重開發一套農業剩餘資源再處理技術及其實驗級設
備，以達到農業剩餘資源減量處理，並獲取其潤滑特性副產物。不同
於過去農業剩餘資源處理成生質柴油或生質汽油，本計畫期望研製產
出綠色生質潤滑油(Bio-lubricant)，經由碎化、微波、添加物、摻配、
理論與實驗改善其物理與化學性質，使之磨潤性質優於用於農機/工
具機的純礦物基之循環潤滑油(Circulating oil)並推廣應用以提升農
業產值，此技術亦可應用至其他農業剩餘資源。

經由物理與化學特性量測，發現提煉出的花生殼生質潤滑油的黏
度與含水量特性皆介於市售切削油與市售循環潤滑油之間。並且花生
殼生質潤滑油的摩擦係數與磨耗性能也皆優於市售循環油 R68，顯示
微波法提煉農業剩餘資源潤滑油技術具商業可行性，也符合潤滑油基
礎油性質要求；三體磨潤分析顯示在磨屑顆粒增大時，花生殼生質潤
滑油的磨潤性能逐漸下降，此特性可以作為生質潤滑油智慧監控品質
劣化之參考，我們也發現經過微波萃取後的炭化物去做表面與微元素

分析，與一般低氧燃燒之生物炭的成分元素大致相同，蘊含豐富碳(C)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、矽(Si)、氮(N)等元素，且成炭率極高，未來可短期：(1)再進一步機台調校，以提升其生產效率與性能，(2)依據生質潤滑油之製造成本分析，未來具有市場化潛力，(3)調整生質潤滑油抗氧化特性，使性能提高，(4)增加不同種類農業剩餘資材進行萃取與條件分析，(5)將炭化物進行土壤改質實驗。長期：(1)將技術配合政策設置儀器或廠商導入農村(2)農產業升級和農產品提升使農民可多角化經營(3)達到完全淨零目標

關鍵詞：農業剩餘資源、綠色潤滑劑、微波、磨潤

目次

摘要.....	I
目次.....	II
圖次.....	III
第一章 緒論	1
第一節 前言	1
第二節 潤滑油簡介	2
第三節 參考文獻	4
第二章 工作執行方法與步驟	6
第一節 工作執行方法	6
第二節 工作執行步驟	7
第三章 工作進度與交付項目	19
第一節 計畫甘特圖	19
第二節 計畫交付項目	20
第四章 結果與討論	22
第一節 黏度特性與含水量量測分析	22
第二節 初步生質潤滑油磨潤實驗分析	24
第三節 生質潤滑油 TAN 與 pH 值分析	27
第四節 生質潤滑油的運轉性能分析	28
第五節 炭化物表面與微元素分析	30
第五章 結論	32
第六章 未來發展與建議	34
參考文獻.....	37
附錄.....	40

圖次

圖 1-1	潤滑油可預防腐蝕.....	3
圖 1-2	切削油乳液.....	3
圖 1-3	史崔派克圖.....	4
圖 2-1	計畫流程圖.....	7
圖 2-2	煉製花生殼潤滑油微波設備示意圖.....	7
圖 2-3	架設於實驗室之微波設備機台實體圖.....	8
圖 2-4	治具與球對球示意圖.....	9
圖 2-5	四球式磨潤試驗機.....	9
圖 2-6	試件球對盤示意圖.....	9
圖 2-7	多功能磨耗試驗機(MTM2).....	9
圖 2-8	粒徑分析儀(Nanosight).....	10
圖 2-9	顆粒計數器(Pamas).....	10
圖 2-10	卡式水分測定儀.....	11
圖 2-11	電位差自動滴定儀.....	12
圖 2-12	恆溫油槽和奧斯瓦黏度管.....	13
圖 2-13	酸鹼值(pH)值測定儀.....	13
圖 2-14	三體接觸示意圖.....	15
圖 2-15	回歸方程式.....	15
圖 2-16	三體接觸模式.....	16
圖 2-17	預先分析之無磨屑的史崔派克結果圖.....	16
圖 2-18	界面二體與三體接觸種類.....	18
圖 3-1	計畫甘特圖.....	19
圖 3-2	微波乾燥萃取設備實體圖.....	20

圖 3-3	條件 1 萃取後花生殼.....	21
圖 3-4	條件 1 萃取油量.....	21
圖 3-5	條件 2 萃取後花生殼.....	21
圖 3-6	條件 2 萃取油量.....	21
圖 4-1	純水、花生殼油、市售循環油與市售切削油之黏度特性....	23
圖 4-2	純水、花生殼油、市售循環油與市售切削油之含水量特性..	23
圖 4-3	市售循環油與花生殼生質油之水分比較圖.....	25
圖 4-4	市售循環油與花生殼生質油在磨潤實驗之摩擦係數比較圖..	25
圖 4-5	市售循環油與花生殼生質油之磨痕寬度比較圖.....	26
圖 4-6	市售循環油之圓盤磨痕表面形貌圖.....	26
圖 4-7	市售循環油-2 之圓盤磨痕表面形貌圖.....	26
圖 4-8	花生殼生質油 A 之圓盤磨痕表面形貌圖.....	26
圖 4-9	花生殼生質油 B 之圓盤磨痕表面形貌圖.....	26
圖 4-10	花生殼油、市售循環油與市售切削油之 TAN 特性.....	27
圖 4-11	花生殼油、市售循環油與市售切削油之 pH 值特性.....	28
圖 4-12	不同磨屑顆粒大小下的真實接觸面積比變化.....	29
圖 4-13	不同磨屑顆粒大小下的油膜間隙變化.....	30
圖 4-14	不同機件轉速對真實面積的影響.....	30
圖 4-15	花生殼微波萃取後炭化物之微元素分析.....	31
圖 4-16	花生殼微波萃取後炭化物之表面輪廓檢測.....	31
圖 6-1	農業剩餘資材再處理流程圖.....	36

第一章 緒論

第一節 前言

依據 2016 年政府所積極推動「循環農業政策」之「農業副產物加值與循環再利用」，鼓勵國內農漁畜產業開發高質產品或優化其製程，以達農廢減量、提升產值及循環經濟創造之目的。為此，透過本案執行目標著重開發一套農廢棄物再處理技術及其設備，有效將每年約數千公噸農廢棄物減量處理，並獲取其潤滑特性副產物；中期目標則著重農廢棄物再處理製程技術改善，對副產物提升其品質，以作為其他農產業技術應用參考之一，擴展未來市場通路及競爭力；長期目標則以農廢棄物多元應用技術開發為主，所開發各項高質副產品除透過實體與虛擬通路行銷外，擬結合共享平台串聯上中下游廠商形成產業鏈，藉此強化國內農業於全球市場競爭力。

經由植物提煉之生質油，一般分為生質燃料油(汽油或柴油)與生質潤滑油，生質燃料油可以使用在內外燃機以代替傳統石油基汽油或柴油，雖然其可被環境分解但是因為內外燃機燃燒後亦有空氣污染與碳排問題，又礦物基汽油與柴油的單價低，因此生質燃料油的成本不易降低到足以與一般汽油與柴油競爭。生質潤滑油用在不同機件的潤滑，不用燃燒故無空氣汙染問題，並且可以被環境分解，再加上石油提煉之潤滑油單價高，以致生質潤滑油之成本具有競爭力，並且若能由農業剩餘資源提煉，更可以降低成本及減少處理剩餘資源的費用與燃燒空污。同時在 2050 年的淨排碳的環保要求下，各產業使用之潤滑油將揚棄傳統石油基潤滑油改用生質潤滑油是必然趨勢。

世界潤滑基礎油每年產量約 3000-4500 萬噸，然而卻有 50%-60%

的潤滑劑流入環境而造成環境汙染，雖然近年來，綠色加工與綠色機械一再被提倡也有一些研發績效，然而就磨潤工業而言，由於潤滑油主要來源是石油，如何減少石化能源之環境保護並兼顧碳排放，以永續經營地球，也是世界各國重視並積極改善的課題。若能依政府「循環農業政策」之目標，將潤滑油基礎油由農業剩餘資源提煉，不僅可以減少石化材料製成潤滑油對環境的影響，亦可減少農業剩餘資源之處理費用與空氣汙染，並且可以提供農業另一新型循環經濟產業以造福農家。

第二節 潤滑油簡介

潤滑油有天然礦物油(Mineral Oil)、動植物油(Fatty Oil)、合成油(Synthetic Oil)與乳液(Emulsion)四大類，以上述四種油需要基礎油與添加劑作混合，製成不同功能的潤滑油，添加劑主要用來增強或改善該潤滑油的性質，隨著環境變化，為了適應環境，而在潤滑油中添加不同的添加劑，使其適應該環境，添加劑也會隨著基礎油的不同產生變化，可能對某種潤滑油有影響的添加劑，但卻對另一種潤滑油無影響。目前市場上仍使用礦物油居多，動植物油由於性能及來源限制，現在除了一些特殊潤滑應用外，國際間正積極在推廣，如椰子油、葵花油和大豆油等，產業中經常把植物油作為添加劑使用；合成油是人工化學合成，雖然性能效果較佳，但因成本較高，較少使用。動植物油為世界上最早之潤滑油，但是由於性能收到限制比較少於工業使用。乳液則以上三種潤滑油加水混合使其增加其散熱功能。

潤滑油特性有以下 9 點：

- 1.控制磨擦
- 2.降低磨損
- 3.發散熱量
- 4.預防腐蝕(保護膜)
- 5.阻擋塵埃(過濾器或固體)
- 6.傳遞動力(液壓系統)
- 7.吸收徒震(阻尼)
- 8.封口作用(滑脂)
- 9.電器絕緣



圖 1-1 潤滑油可預防腐蝕



圖 1-2 切削油乳液

科學家史崔派克(Streibek)正式發表史崔派克圖(圖 1-3)，該圖說明了液體的潤滑狀態與潤滑性能的關係，史崔派克圖以荷賽數(Hersey number)與摩擦係數之間的非線性關係說明潤滑狀態，以比膜厚(λ) (Specific film thickness)來分別出三種潤滑境域， $\lambda < 1.5$ 時，為邊界潤滑，此時為固體表面的直接接觸，負荷主要由波峰表面膜(表面粗糙度)完全承擔，產生高摩擦力，摩擦係數幾乎為常數。在 $1.5 < \lambda < 3$ 時， λ 介於厚膜潤滑與邊界潤滑之間為混合潤滑，負荷主要由表面波峰與液體膜承擔。在 $\lambda > 3$ 時，為厚膜潤滑，油膜介於兩材料之間，將兩表面完全分開，摩擦係數隨荷賽數增加而緩慢上升，負荷全部由油膜承擔。磨耗實驗的潤滑境域狀態，磨擦與磨耗現象由高到低為，邊界潤滑>混合潤滑>厚膜潤滑，但最佳化位置也不是愈右邊愈好，最佳位置為如圖 1-3 圖中最佳區位置所示，如果在相同實驗轉速與負荷下，因為潤滑油品黏度高低會影響磨潤境域的變化，故潤滑油要有適當黏度。才能使機台達到平穩，減少磨損與摩擦的功能，以提高壽命與效率。

荷賽數:為黏度、轉速、負荷所組成。荷賽數公式為 $\eta N/P$

其中 η :流體動態黏度, N :轉速(rpm), P :負荷(N)

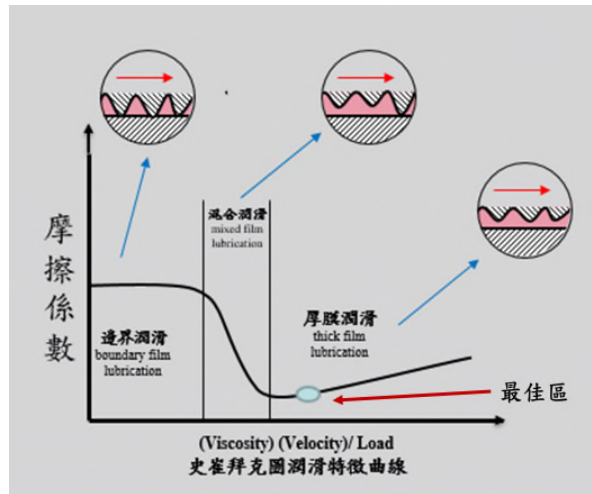


圖 1-3 史崔派克圖

第三節 參考文獻

生質潤滑油是在生質燃料油(bio-fuel)開發後近年較新研發的領域，1989 年 Steven[1]等人以堅果仁油(Argan Oil)及椰子油分別進行磨損試驗，證明了使用植物潤滑油的抗磨損能力優於礦物油。Asadauskas [2]等人以 AISI 52100 標準鋼球進行四球試驗機試驗，證明葵花油及蔥麻油能比礦物油有效降低磨損量。Masjuki [3]等人首先在 SAE 20W-50 之礦物潤滑油中加入 5%之棕欖油(POME)，經由四球式磨損試驗，發現有效降低摩擦與降低磨損量，即使在高溫的情況下也有相同效果。Bouaid [4]等人發現椰子油具有可發展成生物潤滑劑之成分。Minami [5]等人發現修改葵花仔油以高油酸 80%~90%(不飽和脂肪酸)組成的葵花仔油，可提供氧化穩定性，良好的低溫性質與潤滑性質，並證明含磷(Phosphorus)的植物油在邊界潤滑條件下，抗磨性能優於無添加劑的礦物油。2011 年 S. Syahrullail [6]等人在冷擠壓過程中加入棕欖油，顯示棕欖潤滑油比石蠟礦物油更具有良好的潤滑性能。2011 年 C.C Ting [7]等人將大豆油(Soybean oil)作成生物

潤滑油，發現環氧大豆潤滑油有較佳的黏度性質，可以用於發動機上，避免機器與接觸面之間的碰撞及提高效率。近期研究顯示現在生質潤滑油主要來源為植物油(Vegetable oil)較佳 [8]，2017 年至 2020 年重要回顧文章[9-12]總結它們的性質有優秀的黏度指數、低摩擦與低磨耗的基本特性，但是由於有大量不飽和脂肪酸(Unsaturated fatty acid)，以致有甚差的熱穩定性，雖然這幾年大量加入合成酯(Synthetic esters)提高氧化穩定性，但是仍未滿足產業需求。即使部分植物油有緊密堆積的極性羧基(Polar carboxyl group)，甚至可以用於邊界潤滑 [13]，但是抗壓力能力仍然未能達到產業需求標準。綜合而言，在國際糧食逐漸短缺的情形下，一般經濟作物的生質潤滑油從成本與糧食的考量仍有其缺陷，若能夠由植物的廢棄物提煉，將更具有環境、能源與成本三方面之優勢。惟植物廢棄物潤滑油除了有避免石油環境污染優點與降低成本外，仍有下列幾點缺點有待精進：1.植物性基礎油黏度太低。2.熱穩定不佳(抗氧化性不佳)。3.對高負荷等嚴苛條件，也是未來植物性潤滑有待克服之處。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

本計畫期望研製綠色生質潤滑油，經由碎化、微波、添加物、摻配、理論與實驗改善其物理與化學性質，使之磨潤性質優於用於農機/工具機的純礦物油之循環潤滑油(Circulating oil)並推廣應用以提升農業產值，此技術亦可應用至其他農業廢棄物，前期調整清洗、粉碎等前處理技術製程及微波操作條件與花生殼的條件(包含碎化程度、乾燥程度、含水量等)，並在重量轉化率大於 20 % 與抗氧化性取得平衡，故需要分析其微波各條件下的成分組成，然後未來添加抗氧化成分及抗高負荷的第三顆粒，並進行三體接觸理論分析，使其摩擦係數在可控制的低範圍內，並量測其高溫氧化性的變化，尤其微波裂解出抗氧化維生素 E(Antioxidant Vitamin E)與穀維素(Oryzanol)，並量測其物性或化性是否有變化；合成第三部分則是添加增稠劑使黏度與循環潤滑油相同，本計畫以工具機使用頻率很高的 68 cSt 為比較黏度，在添加潤滑劑過程中，同時需要注意避免油水分離現象。在進行合成的過程中，我們同時進行 R68 循環潤滑油的物性、化性與機械磨潤性能實驗，並比較其與花生殼油的差異。最後我們選擇適當成分組成的花生殼油進行磨潤實驗，若其性質優於 R68 潤滑油，未來進行工具機的實驗驗證，執行流程如圖 2-1 所示。

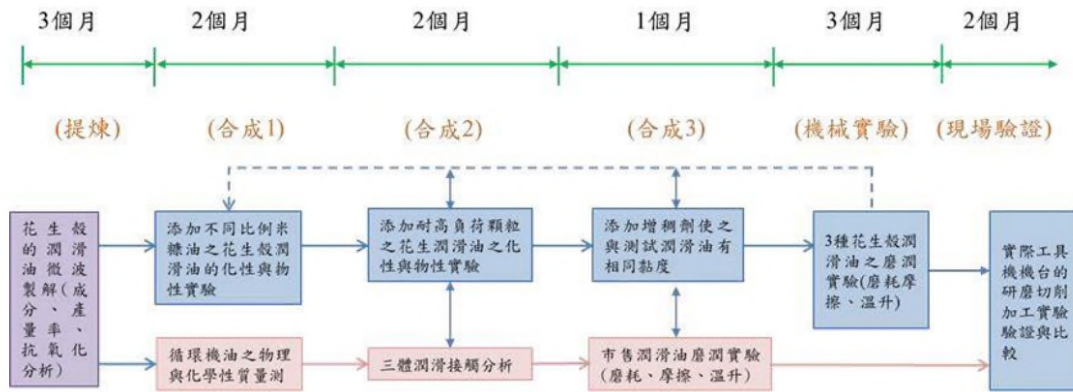


圖 2-1 計畫流程圖

第二節 工作執行步驟

(一) 前處理製程與生質潤滑油提煉製程

計畫之微波提煉設備，如圖 2-2 示意圖與圖 2-3 實體圖所示，將所收集之花生殼渣經過清洗、碎化、篩選、乾燥後，即可探討分析不同碎化程度、乾燥程度、含水量等條件下，最佳裂解提煉條件(包含流量、瓦特)，隨後再將提煉之潤滑油配合各式添加劑，如計畫內所述添加可降解增稠劑增壓奈米顆粒抗氧化劑，使之成為穩定潤滑油。

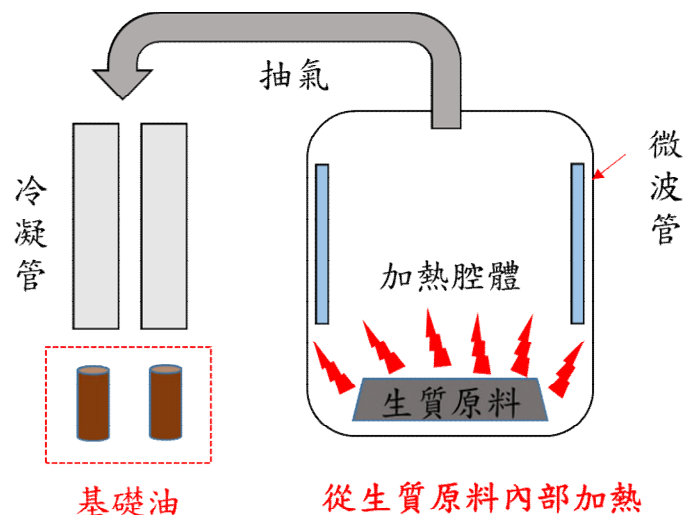


圖 2-2 煉製花生殼潤滑油微波設備示意圖

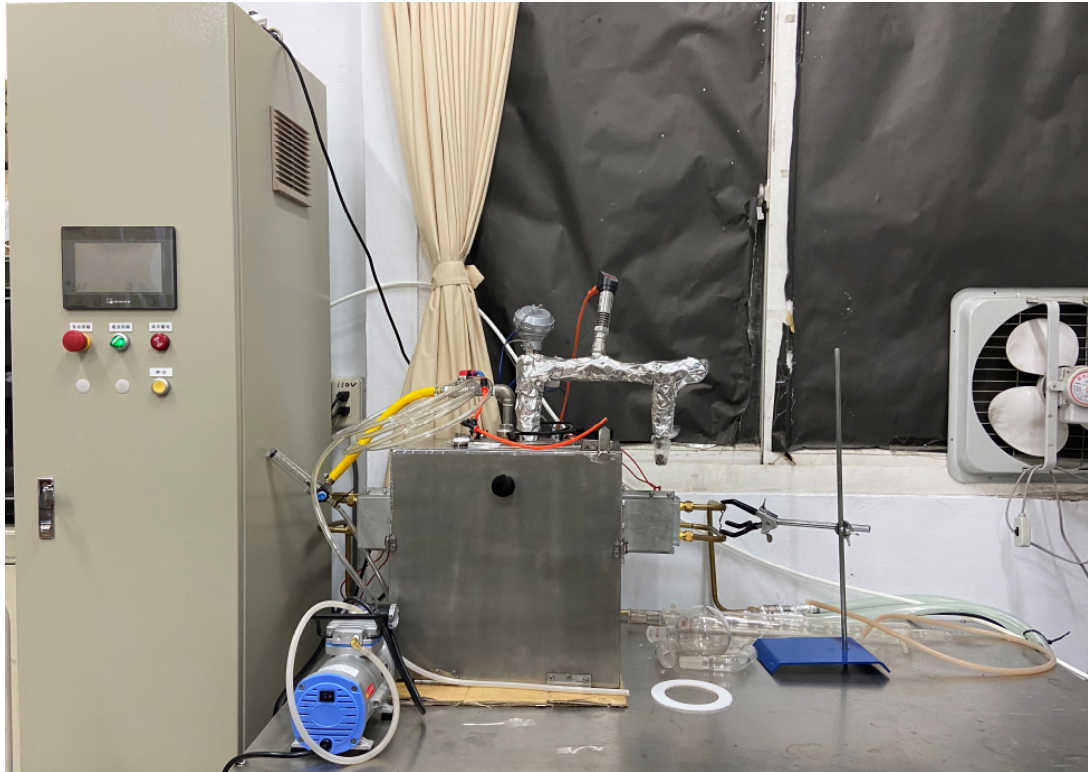


圖 2-3 架設於實驗室之微波設備機台實體圖

(二) 花生殼潤滑油磨潤試驗

四球式磨潤實驗機台的目的為試驗潤滑油、潤滑脂之抗磨耗能力(符合 ASTM D 2266、2783、4172、5183 之四球標準試驗規範)，本實驗機台負荷範圍為 10~800 *kgf*，誤差 ± 2 *kgf*，主軸轉速範圍為 20~2000 *rpm*，誤差為 ± 2 *rpm*；主要將三顆鋼珠放置實驗油槽內，一顆鋼珠放置上治具，如圖 2-4 所示，倒入潤滑油後，設定實驗條件(轉速、負荷、油溫、實驗時間等)，觸控面板將顯示設定參數，確認無誤後啟動機台，底部氣壓缸上升施加負荷至主軸之鋼球，當油溫到達設定值，主軸開始運轉，進行點接觸運動，如圖 2-4 所示。

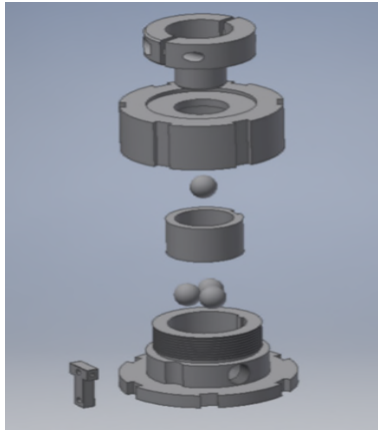


圖 2-4 治具與球對球
示意圖



圖 2-5 四球式磨潤試驗機

MTM2 多功能磨耗試驗機，如圖 2-6 與 2-7 所示，是可選擇大球對大盤模組、小球對小盤模組和 Pin-on-Disk 模組等，有較多選擇進行各類不同模式之磨潤實驗，更接近實驗所需條件環境，此機台可設定負荷範圍為 $0 \sim 75\text{ N}$ ，溫度範圍 $0 \sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，轉速最大至 4 m/s ，本次實驗是使用小球對小盤模組，實驗條件為速度 100 mm/s 、負荷 53 N (接觸壓力 1.5 GPa)、溫度 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 運轉時間 60 min 。

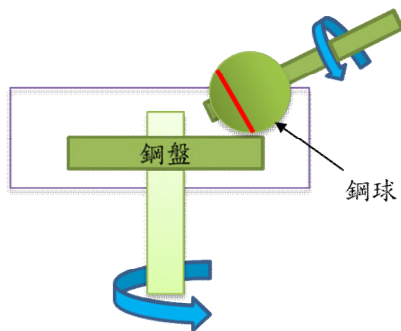


圖 2-6 試件球對盤示意圖



圖 2-7 MTM2 多功能磨耗試驗機

(三) 潤滑油物性與化性實驗

1. 顆粒大小與濃度實驗

磨屑顆粒大小與濃度不僅在三體潤滑分析是重要輸入參數，亦是

判斷元件或機台運轉好壞之重要指標，本計畫粒徑分析儀，如圖 2-8 所示，採用奈米顆粒跟踪分析(NTA)技術分析顆粒大小約 20nm 至 $1.5\mu\text{m}$ ，利用光散射和布朗運動的特性獲得液體懸浮液中顆粒的粒徑分佈和數量。雷射光光束穿過樣本室並沿該光束散射光的路徑穿過懸浮液中的顆粒，從而能夠通過裝有攝像頭的 20 倍放大顯微鏡輕鬆實現顆粒的可視化，並可以計算顆粒分布線與均方根平均顆粒大小。

顆粒計數器，如圖 2-9 所示，量測實驗中的粒徑分析儀分析粒徑大小與分佈，顆粒量測儀分析範圍由 $0.5\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 。顆粒計數系統採用內置式活塞泵可以對於無壓力樣品和壓力高達 420 巴的加壓系統向傳感器輸送恆定流速的樣品，主要用於油液和其它液體中固體顆粒污染度的測量。基於光阻塞原理設計製造的單一式顆粒計數系統，由於使用專門製造的傳感池並選擇精密光學元件，能夠保證高分辨率和準確性。



圖 2-8 Nanosight



圖 2-9 顆粒計數器

2.潤滑油水分量測

含水量為潤滑劑的劣化因子之一，本計畫中含水量使用日本 KEM 所生產之卡爾費休水分測定儀，如圖 2-10 所示，其原理是利用碘和甲醇存在的條件下，水和碘以及二氧化碳產生還原反應來偵測樣品的水分含量，用容量法測量時碘在溶液中是以碘分子的形式存在，庫倫法測定時，碘是以碘離子形式存在於陽極液中，經過電解才能產生碘離子，生成點離子之後用化學反應消耗碘分子，依靠電極檢測碘分子的消耗量，碘的消耗量和電荷的電量成正比，碘和水是 1:1 的反應可以推反應中的總電量計算出水的含量。

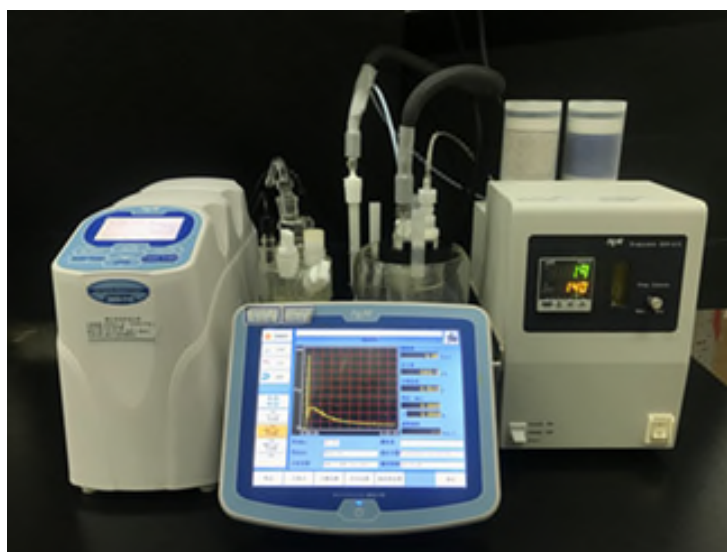


圖 2-10 卡式水分測定儀

3.潤滑油酸鹼度(TAN)量測

TAN 是潤滑劑氧化的重要指標之一本機台在磨耗與擦損實驗中的潤滑油劣化研究均分別使用之。本實驗之電位差滴定儀如圖 2-11

所示，在滴定反應中滴定劑加入反應槽中與反應物作用，依據反應物與滴定劑濃度的變化可求出當量點，進而算出反應物的含量。由 Nernst 方程式可知，物質濃度的變化與電位有一定關係。因此如在反應槽中裝置指示電極(Indicator electrode)來感應反應物或滴定劑的濃度，利用滴定試劑體積對溶液之電位作圖，可得一滴定曲線。如果電極反應是可逆且滴定反應是對稱時，則滴定曲線將具有 S 狀特徵性曲線，曲折點即是滴定終點。將此曲線微分可得一尖峰圖，斜率的最大值即滴定終點，並計算出潤滑油之總酸價值。



圖 2-11 電位差自動滴定儀

4.黏度量測

本實驗主要透過奧斯窩黏度計，如圖 2-12 所示，檢測潤滑油黏度(cSt)，首先設定檢測槽到達實驗指定溫度，將檢測油品倒入適用本油品黏度之奧斯窩黏度計尺寸，接著計算潤滑油通過黏度計內上方紅線至下方紅線流動秒數，依照不同號數之黏度管公式算出潤滑油黏

度；透過檢測潤滑油黏度變化是潤滑油劣化影響之因子，潤滑油黏度作為不同功能機台選用潤滑油種類參考依據，因此潤滑油黏度是重要特徵之一。

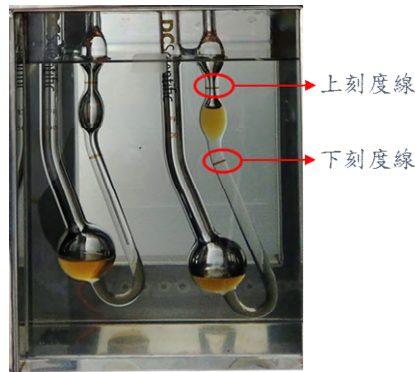


圖 2-12 恆溫油槽和奧斯瓦黏度管

5.pH 值量測

酸鹼度測定儀(pH-meter)是用來量測溶液 pH 值的儀器，如圖 2-13 所示。它的測量原理，是利用參考電極與指示電極所組成的組合式 pH 電極，將此電極浸泡在待測溶液中，當待測溶液的氫離子濃度不同時，電極的電位及隨之變化。以電位計測量電位，利用 E_m 與 pH 值之間的線性關係，測量待測溶液的 pH 值。



圖 2-13 pH 值測定儀

6. 熱穩定性實驗

將油脂 30g，油浴加熱 2h，溫度控制在 $170 \pm 5^\circ\text{C}$ ，測定碘價與過氧化值。此部分將由本校材料系之相關設備量測。

7. 成分分析檢測

計畫將借用其他貴儀中心設備進行 GC/MS 實驗以確定成份組成，以了解上述黏度穩定性、熱穩定性、酸價變化之原因。

(四) 建立含磨屑效應全潤境域潤滑摩擦模式，包含(1)厚膜(2)混合(3)邊界潤滑

1. 分辨含磨屑界面的負荷分配分析方法

在使用潤滑油摩擦模式之前，需要確定潤滑界面屬於何種潤滑境域。在三體潤滑情況下，總接觸負荷 W_t 有三種分量承擔，如圖 2-14 所示， $W_t = W_s + W_p + W_f$ ，其中 W_s 代表兩表面的接觸負荷， W_p 為表面與顆粒的接觸負荷， W_f 為潤滑油承受的負荷。本計畫將使用一般定義，當 $L_{ps} < 30\%$ 可視之厚膜潤滑， $L_{ps} > 90\%$ 可視為邊界潤滑 [14]。本計畫經由三體微接觸模式整合膜厚分析方式，可以得到負荷關係。

$$L_p = W_p / W_t ; L_{ps} = W_s / W_t ; L_{ps} = (W_s + W_p) / W_t$$

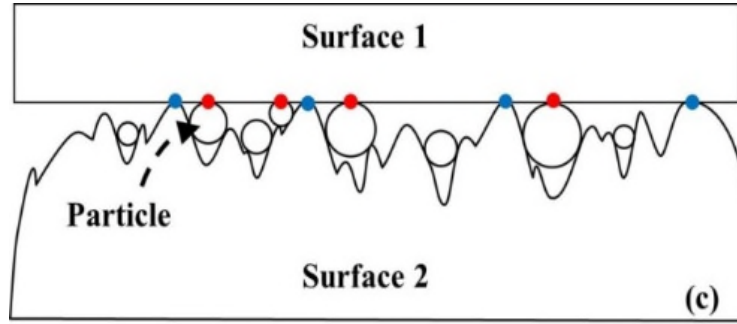


圖 2-14 三體接觸示意圖

其中流體負荷使用已建立完成的迴歸方程式(圖 2-15):

η 是潤滑劑黏度， h_c 是平均油膜厚度， μ_0 是環境潤滑劑粘度， u 是相對速度， F_t 是法向負荷， E_{ss} 是彈性係數， α 是壓粘係數， σ 是合成均方根粗糙度， κ 是橢圓率，其中 F 是法向負荷， E' 是有效彈性模數， R_x 是 x 方向表面的曲率半徑。參數 v 是表面的維氏硬度，參數 U 、 W 、 G 、 σ' 、 V 分別表示無因次量速度、負荷、材料、表面粗糙度、表面硬度。其中顆粒與表面之負荷可以用三體微接觸模式得到，如圖 2-16 所示。

$$H_c = 3.672W^{-0.045\kappa^{0.18}} U^{0.663\kappa^{0.025}} G^{0.502\kappa^{0.064}} (1 - 0.573e^{-0.74\kappa}) \\ \times (1 + 0.025\bar{\sigma}^{1.248} V^{0.119} W^{-0.133} U^{-0.884} G^{-0.977} \kappa^{0.081})$$

$$U = \frac{\mu_0 u}{E_{ss} R_x}, \quad W = \frac{F_t}{E_{ss} R_x^2}, \quad G = \alpha E_{ss}, \quad \sigma' = \frac{\sigma}{R_x}, \quad V = \frac{v}{E_{ss}}$$

圖 2-15 迴歸方程式

$$W_a = W_{s-p} + W_p = \frac{\pi H_{s1} H_{s2} \eta_a A_n}{H_{s2} + H_{s1}} \left[\frac{9\pi^2}{4} \left(\frac{H_{s1}^2}{E_{sa}^2} + \frac{H_{s2}^2}{E_{ss}^2} \right) \int_{d-h_e}^d x_a^2 \phi_a(x) dx + \int_d^{x_{\max}} x_a^2 \phi_a(x) dx \right]$$

$$+ \left(1 - \frac{\pi H_{s1} \eta_a}{H_{s1} + H_{s2}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x_a^2 \phi_a(x) dx \right) \times W_s$$

圖 2-16 三體接觸模式

其中， A_n 是視面積， H_{s1} 與 H_{s2} 分別是表面 1 與表面 2 之硬度， E_{sa} 是顆粒與表面之合成楊氏係數， E_{ss} 是兩表面接觸合成楊氏係數， d 是表面 2 平均波峰高度到表面 1 之距離， h_e 是表面 1 與表面 2 之間的最大距離， x_a 是平均顆粒直徑， $\phi_a(x)$ 是顆粒大小變化趨勢由高斯分佈表示， η_a 是單位面積顆粒密度， x_{max} 是最大顆粒直徑， W_s 是 ZMC 二體接處理論中的總接觸負荷。本計畫預先已完成二體接觸下之負荷比率的分析方法並應用至摩擦係數，並繪成史崔拜克圖如圖 2-17 所示，顯示本方法可行並且合理，未來我們只要將顆粒效應加入即可。

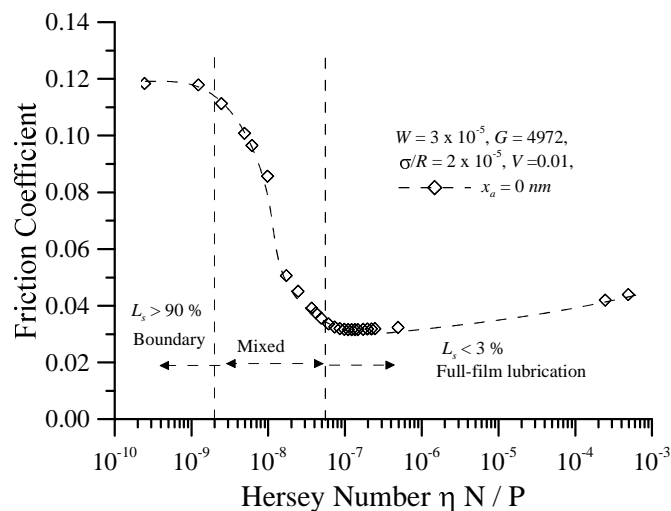


圖 2-17 預先分析之無磨屑的史崔派克結果圖

2.不同潤境域潤滑摩擦模式

本計畫乾摩擦下的摩擦係數考量的因子包含，兩表面間的轉輪摩擦、變形摩擦與犁耕摩擦，磨屑的黏附摩擦與變形與犁耕摩擦[15]，其潤滑摩擦公式可用下式表示：

$$\mu_{total} = \frac{[A_{s1s2}\tau_a + A_{s1s2}\tau_{s1s2} + A_{s1s2}\tau_a \times (\sigma/\beta)^2] + (A_{s1a}\tau_{s1a} + A_{s1a}\tau_a) + F_f}{F_{total}}$$

其中 F_f 為流體的摩擦力可由彈液動潤滑分析得之， A_{s1s2} 為兩表面之真實接觸面積 A_{s1a} 為顆粒與表面之真實接觸面積， β_0 是相關長度， τ_0 、 τ_a 、 τ_{s1s2} 和 τ_{s1a} 分別是粘著剪應力、黏附剪應力、表面之間變形剪應力、顆粒與表面之間變形剪應力，其中真實接觸面積 A_{s1s2} 與 A_{s1a} 如下式表示

$$A_t = A_{sa} + A_{ss-sa} = \frac{\pi H_{s2} \eta_a A_n}{H_{s2} + H_{s1}} \left[\frac{9\pi^2}{4} \left(\frac{H_{s1}^2}{E_{sa}^2} + \frac{H_{s2}^2}{E_{ss}^2} \right) \int_{d-h_e}^d x_a^2 \phi_a(x) dx + \int_d^{x_{max}} x_a^2 \phi_a(x) dx \right] + \left\{ 1 - \frac{\pi H_{s1} \eta_a}{H_{s1} + H_{s2}} \int_d^{x_{max}} x_a^2 \phi_a(x) dx \right\} \times A_{ss}$$

其中， A_{sa} 是顆粒與表面之真實接觸面積， A_{ss} 是 ZMC 二體接觸理論中的總接觸面積[16]。

在分析真實接觸面積與接觸負荷時，三體接觸必需分成 3 個接觸情形考慮，如下圖 2-18(b)(c)與(d)，圖 2-18(b)由於顆粒太小或濃度太少，以致接觸負荷僅是流體與表面承擔，圖 2-18-(d)剛好相反，顆粒太大或濃度太大。以致總負荷僅流體與顆粒承擔，圖 2-18-(c)則是總負荷由流體、顆粒與波峯共同承擔，當表面是 3 種接觸情形之一時，

其上面摩擦公式需要適當減少其摩擦分量。

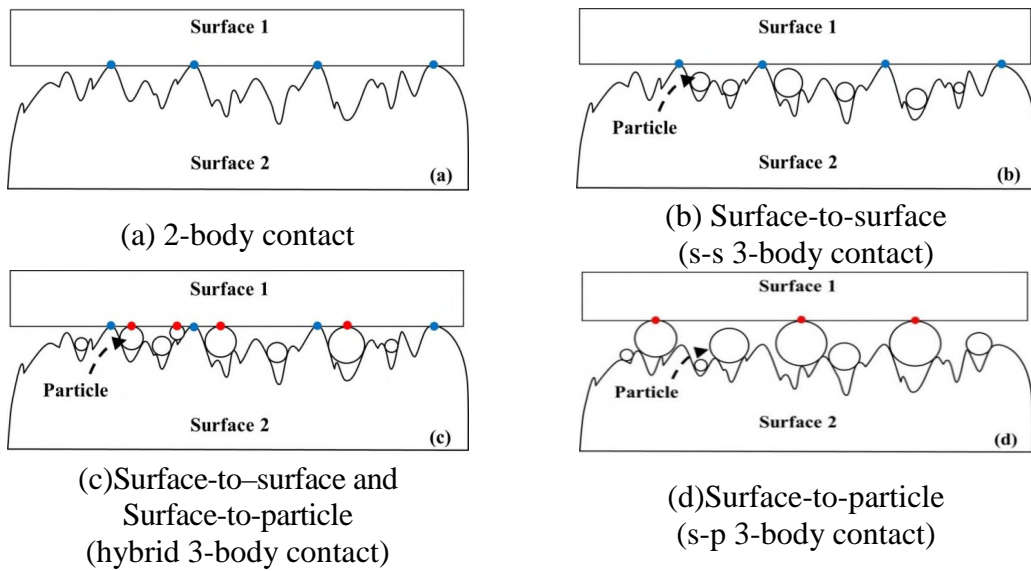


圖 2-18 界面二體與三體接觸種類

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

執行月份 工作內容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	累計 比重 (%)
農廢棄物前處理及微波煉製設備組裝	→												20
廢棄物前處理與基礎油微波提煉製程技術		→											40
生質潤滑基礎油物理與化學性質量測				→									50
耐壓特性實驗						→							55
抗氧化性實驗							→						60
黏度提升實驗								→					65
磨潤實驗									→				90
最佳製程條件實驗										→			95
驗證實驗與分析											→		100
累計百分比 (%)	5	15	25	30	40	45	50	60	80	85	90	100	

圖 3-1 計畫甘特圖

- (一) 1月-3月 農業剩餘資源前處理及微波煉製設備組裝
- (二) 2月-4月 農業剩餘資源前處理與基礎油微波提煉製成技術
- (三) 4月-5月 生質潤滑基礎油物理與化學性質量測
- (四) 6月 耐壓特性實驗
- (五) 7月 抗氧化性實驗
- (六) 8月 黏度提升實驗
- (七) 9月-10月 磨潤實驗
- (八) 10月-11月 最佳製成條件實驗
- (九) 11月-12月 驗證實驗與分析

第二節 計畫交付項目

一、計畫執行研究成果

(一) 花生殼微波乾燥萃取硬體建置

已完成微波乾燥萃取硬體設備建置，如圖 3-2 所示。

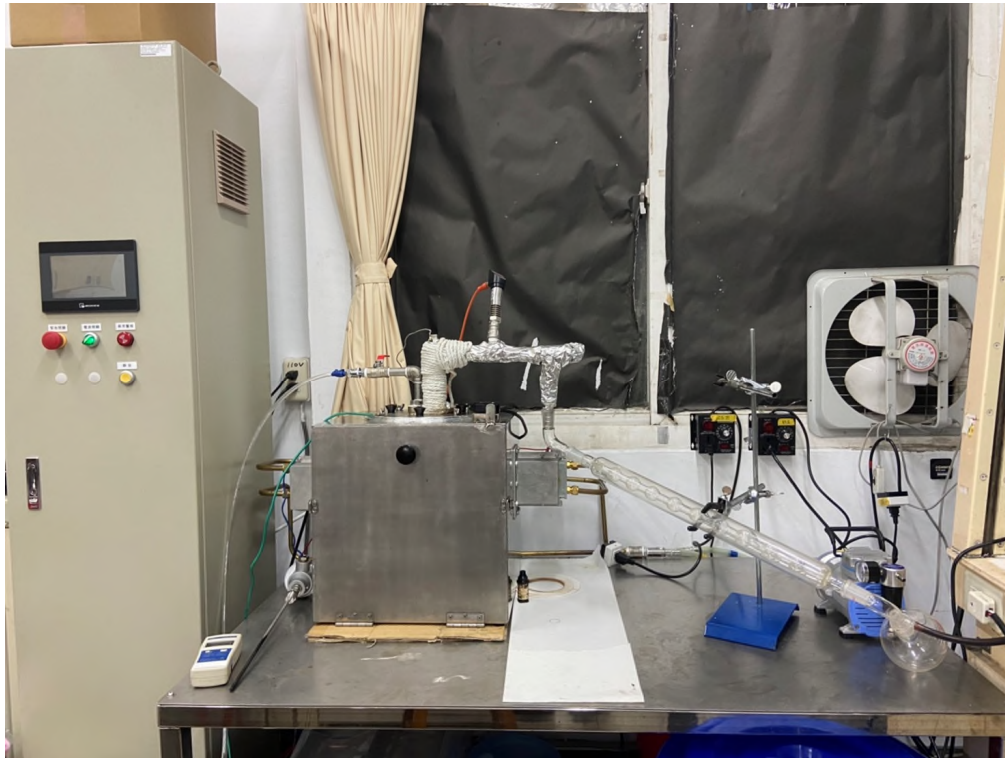


圖 3-2 微波乾燥萃取設備實體圖

(二) 微波乾燥萃取操作條件建立

已完成微波乾燥萃取操作條件建立，在乾燥條件下，使用 105 °C、壓力 1 kg/cm² 和時間 15 分鐘，可達到乾燥效果。萃取條件，使用 250 °C、壓力 0.95 kg/cm² 和時間 30 分鐘，可達到萃取效果。

(三) 花生殼微波乾燥萃取條件分析

初步條件使用 250 °C、壓力 0.95 kg/cm² 和時間 30 分鐘，雖可達到萃取效果，但發現花生殼萃取後並未完全萃取，基礎油量大約

100 c.c.，如圖 3-3 與 3-4 所示，後續將條件改至使用 450 °C、壓力 0.98 kg/cm² 和時間 25 分鐘後，發現花生殼外表狀態有比前次條件較為深色，基礎油量也增加至 220 c.c.，如圖 3-5 與圖 3-6 所示，表示後者條件有較佳的萃取效果。

(四) 基礎油特性檢測分析

目前將基礎油添加界面活性劑進行配方調整，調整至黏度 68 cSt 後，進行黏度、含水量、pH 值和 TAN 值分析，再進行磨潤高壓實驗，得知在磨潤方面下，花生殼生質潤滑油比市售循環油較佳，具有可行性與未來市場。



圖 3-3 條件 1 萃取後花生殼



圖 3-4 條件 1 萃取油量



圖 3-5 條件 2 萃取後花生殼



圖 3-6 條件 2 萃取油量

第四章 結果與討論

實驗級設備提煉的生質油油量有限，我們初步先將花生殼生質油 A 與 B 黏度調製成黏度 68 cSt 與市售循環油黏度相同後，再使用多功能磨耗試驗機進行使用磨潤實驗來比較市售循環油 R68 與花生殼生質油 A 與 B 的實驗前含水量、摩擦係數與磨痕寬度來進行比較磨潤性能差異。

第一節 黏度特性與含水量量測分析

圖 4-1 說明純水、花生殼生質油、市售循環油與市售切削油之黏度比較圖，圖上顯示花生殼生質油黏度為 12.82 cSt，其值介於市售切削油 1.23 cSt 與市售循環油 31.27 cSt 之間。因此其調整為循環潤滑油與切削油均可行。

圖 4-2 說明水、花生殼生質油、市售循環油與市售切削油之含水量比較圖，圖上顯示花生殼生質油含水量為 56.8%，介於市售切削油 86.0% 與市售循環油 0.003% 之間。顯示調整為切削油相當簡易，要提昇至循環油則需要再精緻處理。後續可以再進一步進行摻配不同比例之界面活性劑與增稠劑來達到商用油要求使用黏度，或是使花生殼生質油含水量增加，趨向於切削油方向做調整。

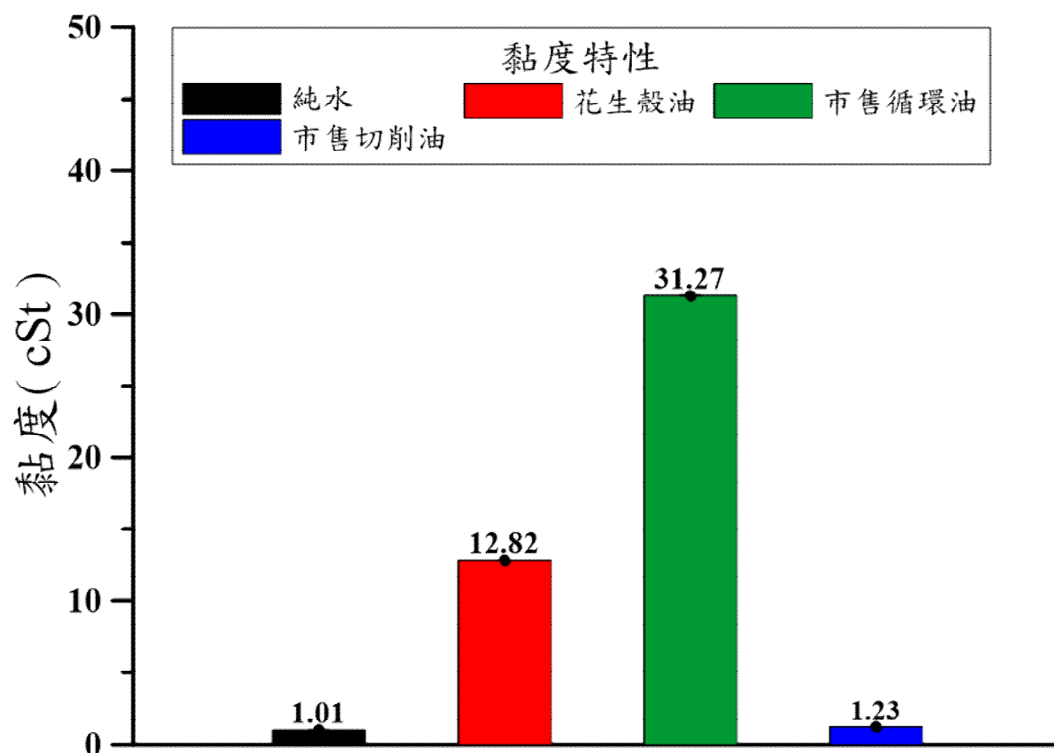


圖 4-1 純水、花生殼油、市售循環油與市售切削油之黏度特性

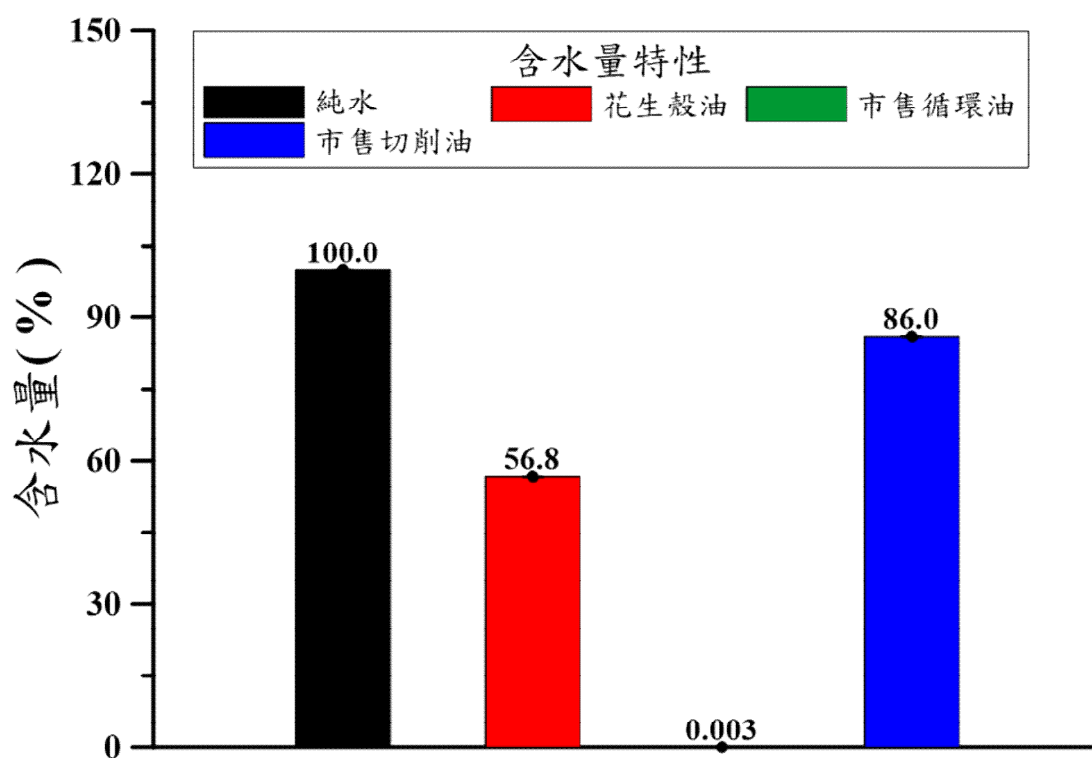


圖 4-2 純水、花生殼油、市售循環油與市售切削油之含水量特性

第二節 初步生質潤滑油磨潤實驗分析

圖 4-3 為市售循環油與花生殼生質油之水分比較圖，為我們要將生質潤滑油的黏度調成 68 cSt 與市售循環油 R68 黏度相同後，圖上顯示花生殼生質油 AB 摻配至黏度 68cSt 時，含水量為 19.24% 與 19.01%，並沒有與市售循環油 R68 含水量 0.003% 相同低含水量，反而有較高的含水量，油品特徵項是為較高含水量之水基潤滑油。

圖 4-4 為市售循環油與花生殼生質油進行磨潤實驗後之摩擦係數變化圖，圖上顯示花生殼生質油摩擦係數變化曲線皆優於市售循環油 R68 摩擦係數變化曲線，但在花生殼生質油 A 實驗時，發現 30 分鐘後有出現摩擦係數曲線有異常增加現象發生推測是磨耗顆粒或環境顆粒造成影響，再進行花生殼生質油 B 實驗時，發現摩擦係數相似，且沒有曲線異常增加的狀況發生，推測花生殼生質油不同階段所提煉的基礎油差異以致磨耗特徵不同造成磨屑而產生與後面本計畫將分析磨屑顆粒對花生殼生質潤滑油磨潤性能的影響。

圖 4-5 為市售循環油與花生殼生質油進行磨潤實驗後，圓盤試件上的磨痕寬度比較圖，圖上顯示市售循環油 R68 兩次磨痕寬度分別為 290.33 與 285.33 μm ，皆高於花生殼生質油 AB 磨痕寬度 150.00 與 147.67 μm ，表示在磨耗性能方面，花生殼生質油優於市售循環油 R68。

圖 4-6 至圖 4-9 為磨潤實驗後圓盤試件之表面形貌圖，發現圖 3-8 花生殼生質油 A 有較深的磨痕現象，與摩擦係數異常現象有相關。

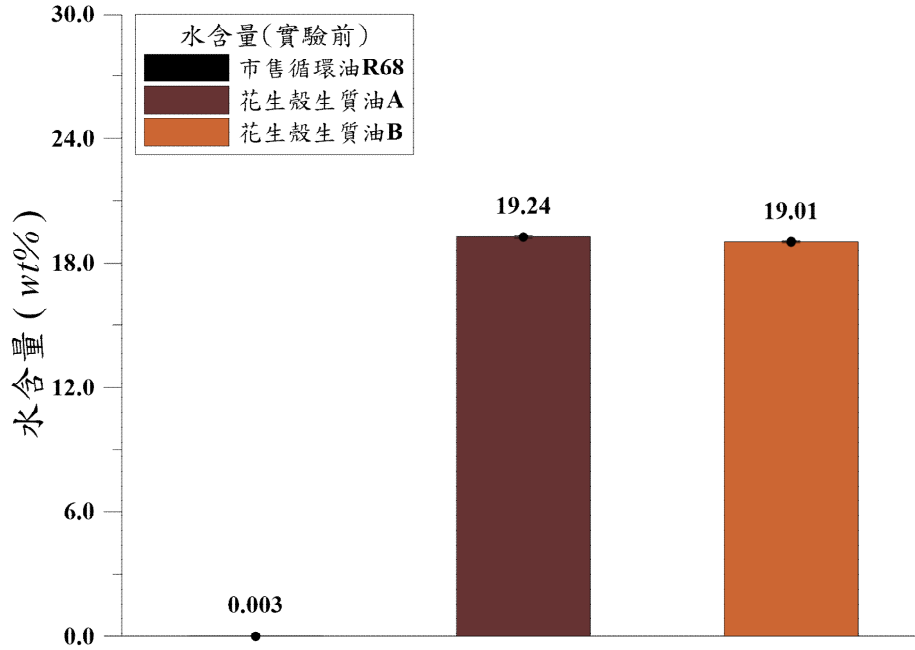


圖 4-3 市售循環油與花生殼生質油之水分比較圖

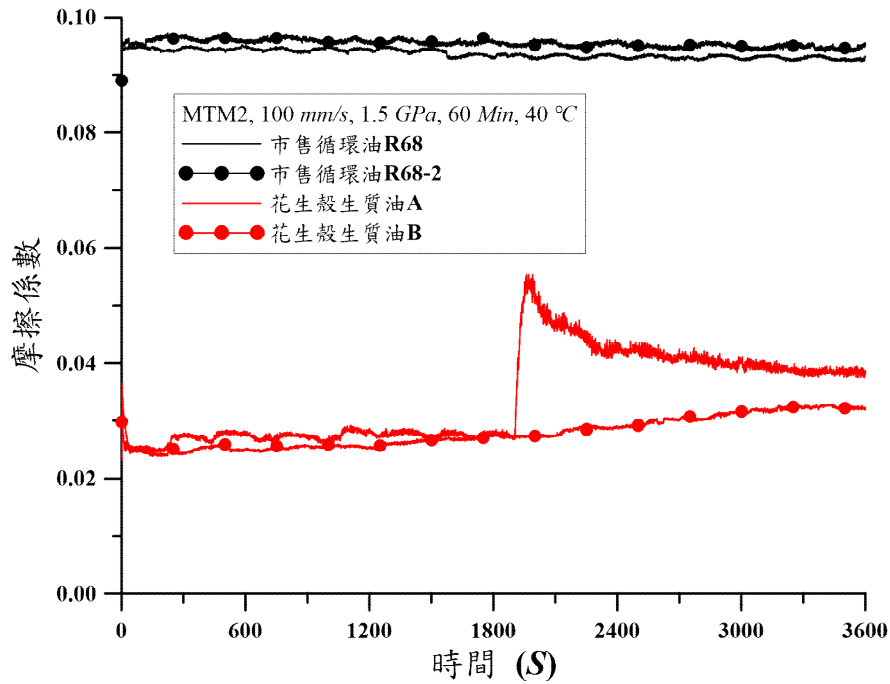


圖 4-4 市售循環油與花生殼生質油在磨潤實驗之摩擦係數比較圖

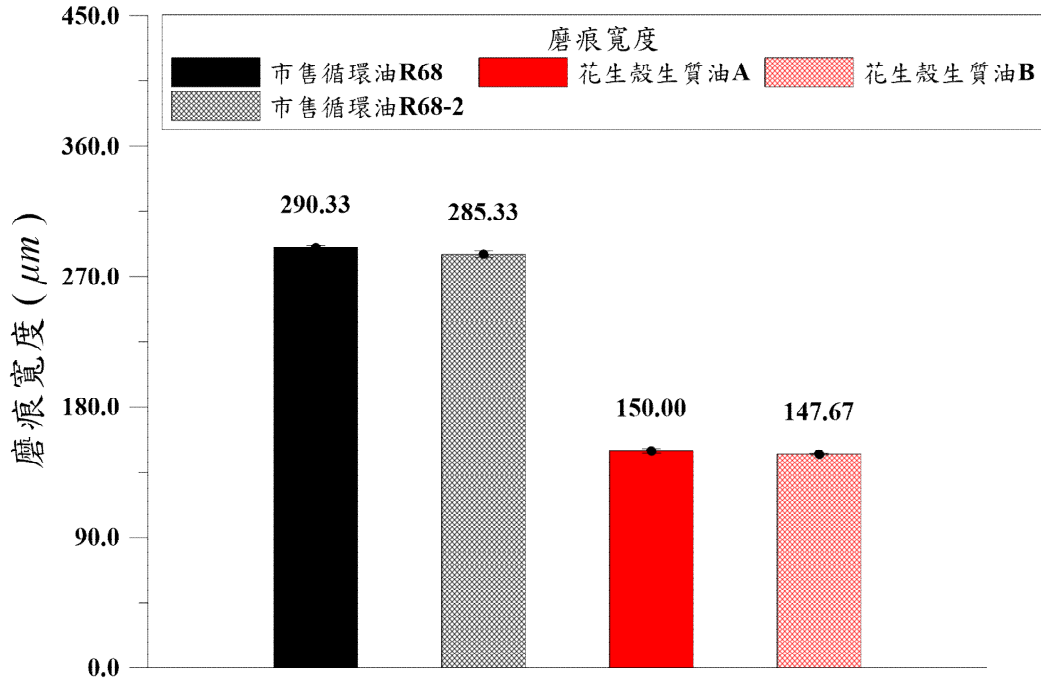


圖 4-5 市售循環油與花生殼生質油之磨痕寬度比較圖

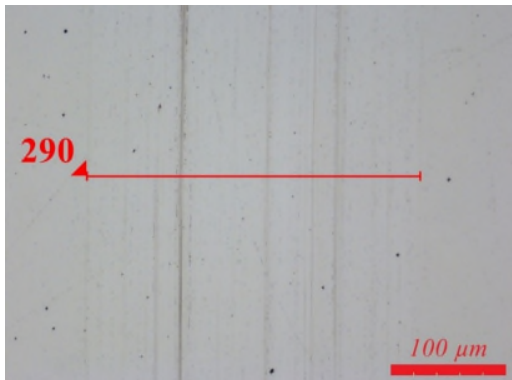


圖 4-6 市售循環油之圓盤磨痕表面形貌圖

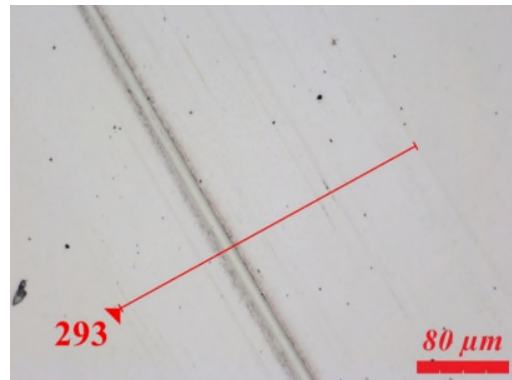


圖 4-7 市售循環油-2 之圓盤磨痕表面形貌圖

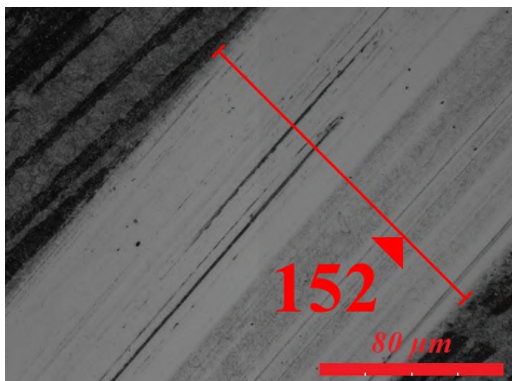


圖 4-8 花生殼生質油 A 之圓盤磨痕表面形貌圖

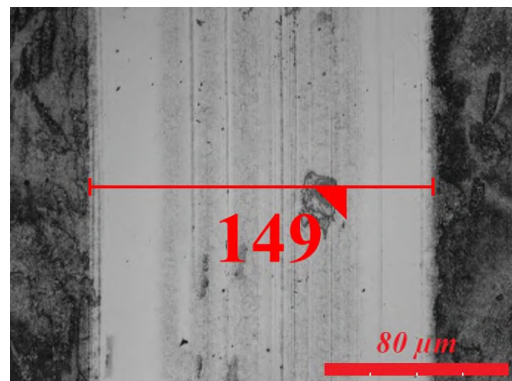


圖 4-9 花生殼生質油 B 之圓盤磨痕表面形貌圖

第三節 生質潤滑油 TAN 與 pH 值分析

圖 4-10 為花生殼油、市售循環油與市售切削油之 TAN 特性變化，圖上顯示萃取出來的花生殼油 TAN 值再 83.36 KOH/mg，遠大於市售循環油 0.05 KOH/mg 與市售切削油 7.23 KOH/mg，代表花生殼基礎油在未經過任何處理前的 TAN 值很高，也表示花生殼基礎油的抗氧化性能較差，其他市售循環油與市售切削油成分可能有添加瞭抗氧化之成份或是有添加其他界面活性劑來提高抗氧化性能。

圖 4-11 為花生殼油、市售循環油與市售切削油脂 pH 值特性，圖上顯示花生殼油的 pH 值為 4.12 低於市售循環油 5.00 與市售切削油 9.52，是為較酸性的油品。通過圖 4-10 與圖 4-11 發現花生殼油 TAN 值高對應它的 pH 值低，反之市售切削油 TAN 較低，但有較高 pH 值，呈現於鹼性，可能市售切削油內有添加抗菌、乳化與抑泡類等的界面活性劑使得市售切削油呈現於鹼性。

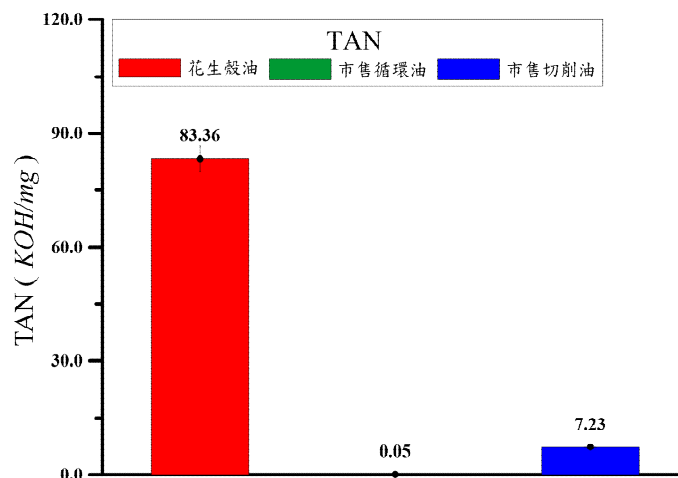


圖 4-10 花生殼油、市售循環油與市售切削油之 TAN 特性

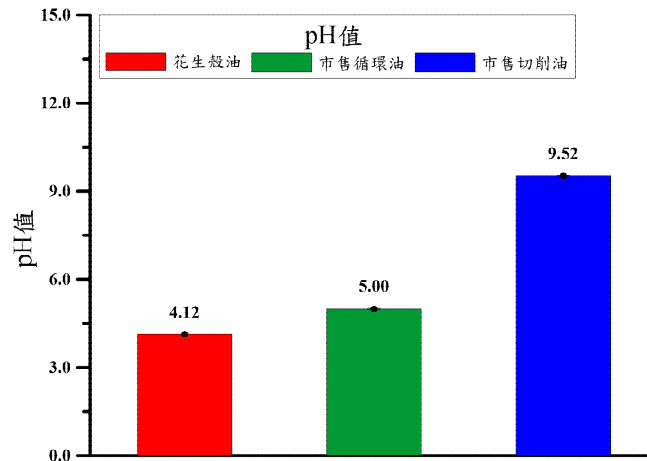


圖 4- 11 花生殼油、市售循環油與市售切削油之 PH 值特性

第四節 生質潤滑油的運轉性能分析

當機件進行潤滑時，隨著運轉時間增加其潤滑界面將逐漸產生磨屑或外來顆粒，並且磨屑顆粒會逐漸變大，以致影響機件之性能表現，以下說明基於三體磨潤理論分析之機件界面重要磨潤參數的變化。

圖 4-12 是發生潤滑油再 68 cSt 、試件表面粗度 $0.3 \mu\text{m}$ 、轉速 4 m/s 下的界面真實接觸面比的變化情形。在相同外加負荷下若真實接觸面愈小則其接觸壓力變大，易造成比較大的摩擦、磨耗與溫升，圖上發現在磨屑顆粒 100 nm 下，其真實面積與無磨屑顆粒一致，並未造成摩擦與磨耗的上升，原因為顆粒 100 nm 時，僅存在於機件粗度波峯間，故不影響其接觸面積，但是顆粒上升至 500 nm (綠色)與 1000 nm 時(紫色)時，在 7×10^{-6} 負荷以下，兩者 A_t^* 比無磨屑的情況小很多，以致將造成界面磨潤性能的不利影響，但在 7×10^{-6} 以上則綠色線往上

升，直到與無磨屑顆粒情況一致，代表此階段的具 500 nm 顆粒界面以由顆粒間的二體接觸進入混合三體接觸。當界面顆粒為 1000 nm 時，其進入三體接觸的臨界負荷較大，並且由於其顆粒曲率比表面粗度波峯較大，故在高負荷時，接觸面積反而大於無顆粒的界面。

上面圖 4-12 的情況可以由圖 4-13 再進一步確認，在圖上的藍色 ($X_a = 100 \text{ nm}$) 與黑色 ($X_a = 0$) 曲線其油膜間隙重合，但是在 7×10^{-6} 以下負荷則間隙的行程主要是顆粒與表面的接觸，以致在此時，其接觸面積才會如圖 4-12 一樣的減少，造成摩擦與磨耗的增加，這說明磨屑顆粒造成或潤滑元件很大的損傷，另外也說明界面間隙的變大並不一定造成機件界面的摩擦與磨耗減少。

圖 4-14 是不同機件轉速對真實接觸的影響(a)無顆粒(b)顆粒 500 nm(c)顆粒 1000 nm。與圖 4-12 比較圖上顯示不論顆粒大小、高負荷與高轉速下，其 A_t^* 下降至明顯，其摩擦、磨耗與溫升的不良影響並非只有速度，其真實接觸面積為另一個重要的影響因子。

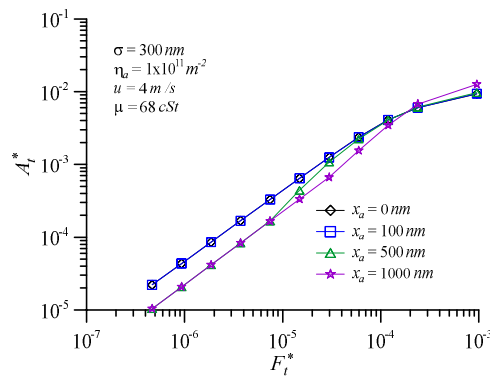


圖 4-12 不同磨屑顆粒大小下的真實接觸面積比變化

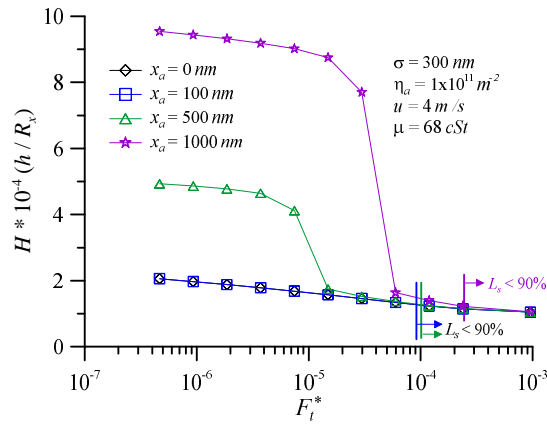
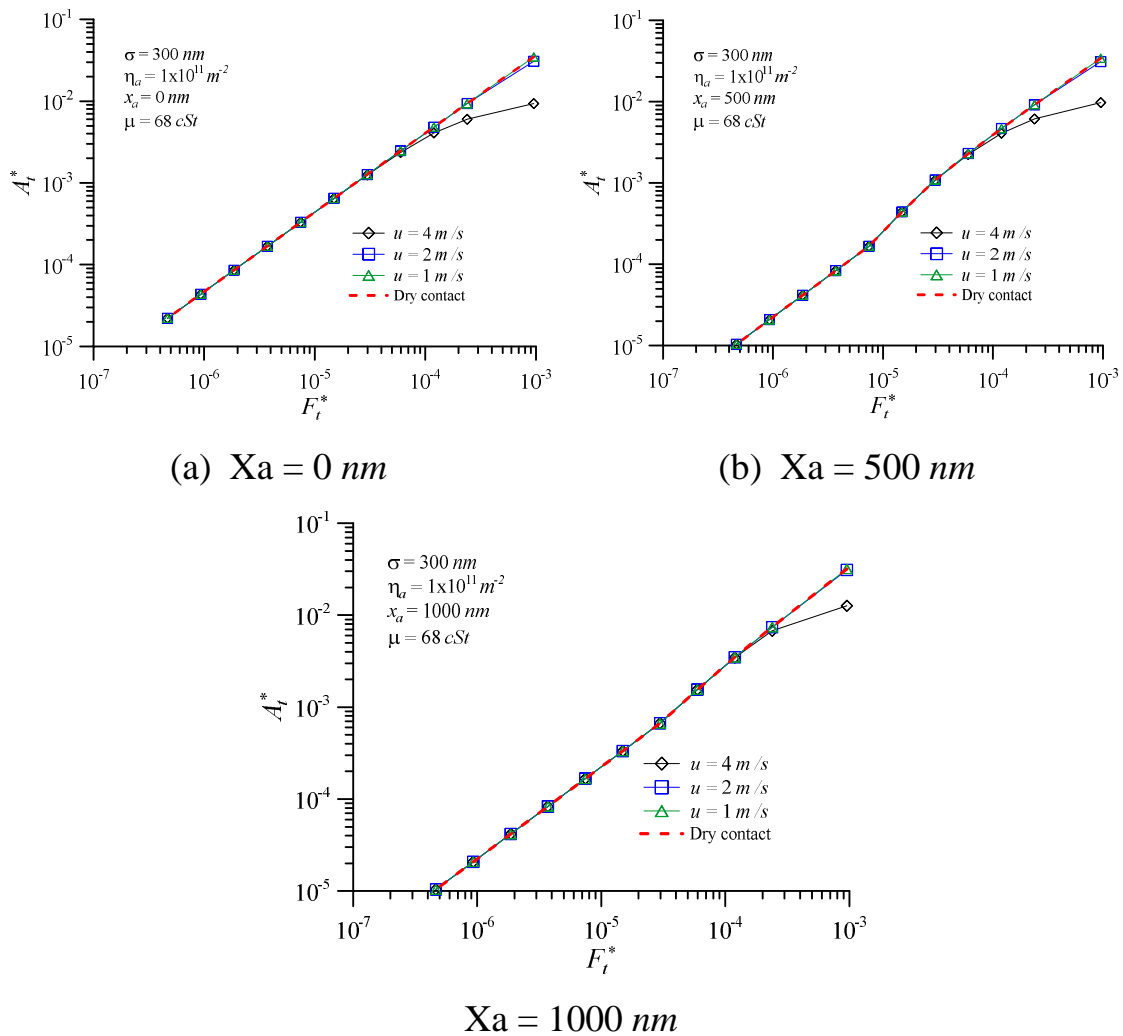


圖 4-13 不同磨屑顆粒大小下的油膜間隙變化



(a) $X_a = 0 \text{ nm}$

(b) $X_a = 500 \text{ nm}$

$X_a = 1000 \text{ nm}$

圖 4-14 不同機件轉速對真實面積的影響

第五節 炭化物表面與微元素分析

經由行政院農業委員會 2016 年文獻得知，生物炭組織成分容易

因原物料種類與製程不同而有所差異，普遍包含碳(C)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、矽(Si)、氮(N)等元素。其中鉀、鈣、鎂、矽可助於提供作物養分，以及提高抗病能力或作為有機農業鉀肥及酸性土壤改良等應用。

圖 4-15、4-16 分別為本案花生殼萃取後炭化物微元素分析及表面輪廓檢測，發現蘊含豐富碳(C)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、矽(Si)等元素，且相較於既有低氧燃燒生物炭技術其成炭率極高，同時無空污產生等疑慮，未來亦可將此副產物回饋至地方農業作為施肥與土壤改質之用，進而達到計畫“零”農業剩餘資材願景。

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	79.92	79.92	87.12	10.27
O	8	K-series	11.55	11.55	9.45	2.53
Mg	12	K-series	1.25	1.25	0.67	0.12
Al	13	K-series	0.74	0.74	0.36	0.08
Si	14	K-series	1.70	1.70	0.79	0.14
K	19	K-series	2.03	2.03	0.68	0.16
Ca	20	K-series	2.81	2.81	0.92	0.21
Total:			100.00	100.00	100.00	

圖 4-15 花生殼微波萃取後炭化物之微元素分析

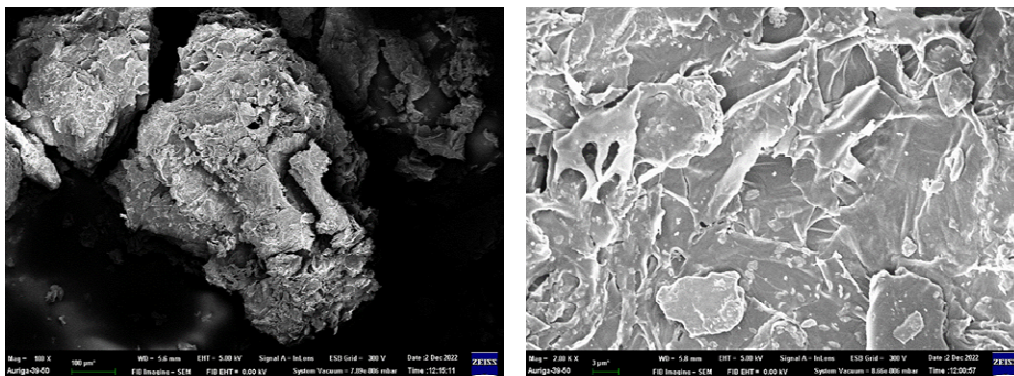


圖 4-16 花生殼微波萃取後炭化物之表面輪廓檢測

第五章 結論

本計畫先使用實驗室級農業剩餘資源再處理設備進行前處理作業，再使用微波法設備提煉出花生殼生質基礎油，進一步摻配添加劑使潤滑油達到所需黏度後，再進行生質潤滑油的物理、化學性質量測、磨潤高壓特性實驗與運轉性能分析，觀察其結果並整理，總結以下幾點：

- 1.經由脫水設備改裝，已完成建構一台實驗室級的農業剩餘資源再處理設備，且功能達到計畫要求。
- 2.使用微波法設備提煉花生殼生質油後，做簡單的黏度與含水量量測分析後發現介於市售切削油與市售循環油之間，表示微波法提煉潤滑油技術具一定可行性。
- 3.初步的比例摻配花生殼生質潤滑油，將黏度調整至黏度 68 cSt 後，再進行使用多功能磨潤試驗機之磨潤實驗，來比較市售循環油與生質潤滑油 AB 的差異，實驗後發現花生殼生質油的磨擦係數與磨痕寬度皆低於市售循環油，顯示花生殼生質潤滑油基礎油的摩擦與磨耗符合計畫目標要求，優化也持續進行中。
- 4.發現花生殼基礎油 TAN 值過高，高於其他市售循環油與市售切削油，代表在尚未經過其他處理的花生殼基礎油抗氧化性較差，未來可以添加抗氧化添加劑或其餘界面活性劑來改善。

- 5.在三體真實接觸面積分析上，當有小顆粒(100 nm)時，因顆粒較小僅存在於機件粗度波峯間，故不影響其接觸面積，此情況還處於二體狀態下，但顆粒大小增加至 500 nm 和 1000 nm 時，在 7×10^{-6} 負荷以下，兩者真實接觸比無磨屑的情況小很多，表示已進入三體狀態。
- 6.不論顆粒大小、高負荷與高轉速下，其真實接觸面積比下降至明顯，其摩擦、磨耗與溫升的不良影響並非只有速度，其真實接觸面積為另一個重要的影響因子。
- 7.經微波萃取之花生殼炭化物進行表面與微元素分析後，發現與既有低氧燃燒生物炭成分元素雷同，包含碳(C)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、矽(Si)等元素，且具一定多孔表面特性，同時成炭率極高，未來將可回饋至地方農業進行施肥與土壤改質之用，藉此達成本案農剩餘資材完全”淨零”目標。

第六章未來發展與建議

本案已完成計畫階段性成果，鑒於農剩餘資材種類多元，未來研究發展規劃如下所述：

(一)研發之軟硬體技術導入農社企進行應用

本計畫提煉技術已建立完成，在提升抗氧化性後，建議合作農企對象需要聯合 3 類企業(1)花生殼擁有者(2)願意進行生產生質潤滑油之農企(3)需要潤滑油之台灣各產業。對花生殼業界，除了原先太陽乾燥外需要再進行碎化以提升潤滑油量產率；在農企與機台業者之間則需要媒合，以使農企有足夠大的消費市場(以全球碳淨零對機台業者的環安要求下，有很大機會)，有益形成有利潤之生產鏈。

(二)持續對不同農剩餘資材進行萃取條件分析

針對農剩餘資材市場而言，個人認為稻稈是下一個有利於台灣農剩餘資材之有效應用的目標物，除了台灣稻稈剩餘資材產量大外，亦可以減少燃燒稻稈產生之空氣汙染。

(三)持續對不同基礎油特性檢測分析

在基本性質優化上，未來擬增加成份之分析，如氣相層析質譜儀(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)，以了解油中成份與磨潤性能的相關性。

(四)基礎油抗氧化特性分析

本計畫之生質潤滑油具有優秀之抗磨耗性、抗摩擦性及黏度性質已完全符合機台之需求，然而其抗氧化性則有待優化製程參數或摻配第三顆粒以達成其產業應用目標。

透過循序漸進實驗與分析，發現本案具有極高可行性，計畫以”技術”與”經濟”兩面向持續彙整重大亮點與成果，以利未來能有效導入至國內農產業應用與拓展，如下所示：

技術面向：

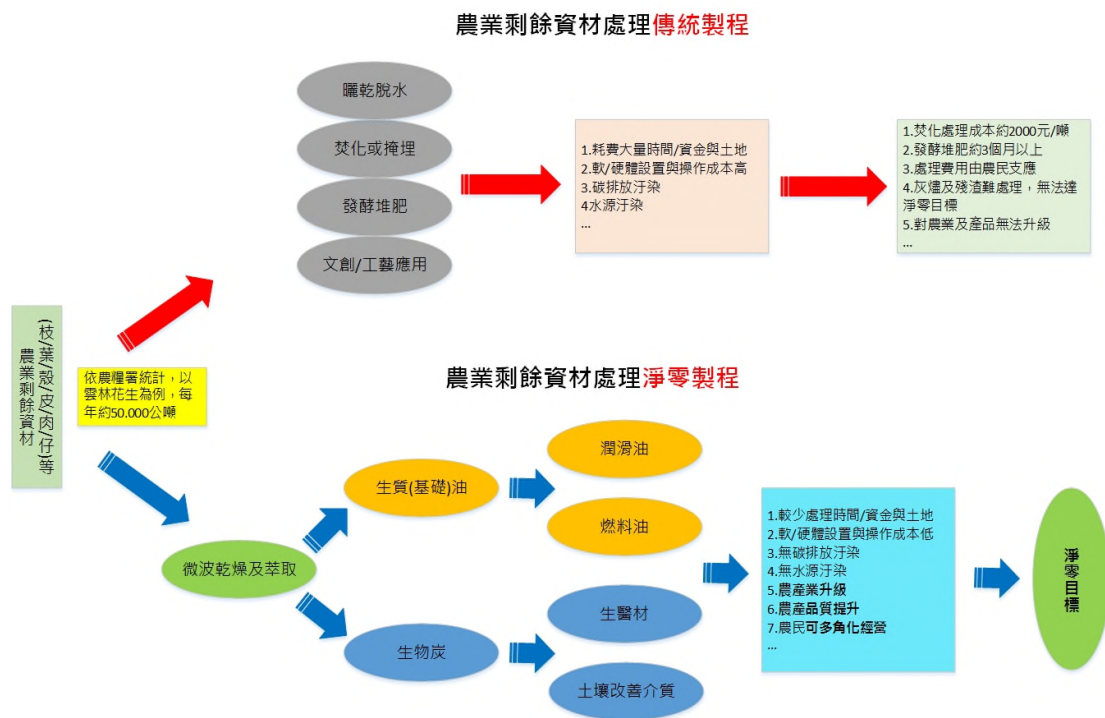


圖 6-1 農業剩餘資材再處理流程圖

經濟面向：

1. 單位花生殼資材量(每公斤或每公噸)處理時間？

在實驗級設備的條件下，若考慮微波乾燥、碎化與萃取時間，1 公斤處理約需 2 小時，估計若一台中型量產型機台(約 150 萬~200 萬)，其 1 公噸約需要 2 天。

2.基礎油單位萃取處理成本?

實驗級機台產出 1 公斤生質潤滑基礎油約需要成本 45 元(若使用量產型機台可降至 30 元)

3.基礎油未來應用與價格?

台灣潤滑油市場每年約 43 萬公噸，若僅估計切削油與研磨油市場，台灣每年約有 1075 公噸，市場容量相當大。一般市售礦物性切削油或研磨油其價格在 60~90 元/kg，國外進口生質切削油與研磨油其價格在 120 元/kg 以上。

4.導入農社企應用可行性與建置成本?

本設備的設備成本不高，僅需要有碎化機與微波量產化機台(估計約 150~200 萬，實驗室用的機台約 45 萬)

5. 單位花生殼產量可獲得多少基礎油產量?

1 公斤花生殼約可量產 0.2 kg 切削油以上。

參考文獻

1. O. O. Steven., 1989, “Tribological Properties of Some Vegetable Oils and Fats” , LubricationEngineering, pp. 658-690.
2. S. Asadauskas., J. M. Perez., J. L. Duda., 1997, “Lubrication Proportions of Castor Oil PotentialBasestock for Biodegradable Lubricants” , Lubrication Engineering, pp. 35-40.
3. H. H. Masjuki, M. A. Maleque, 1997, ” Investigation of the Anti-Wear Characteristics of PalmOil Methyl Ester Using a Four-Ball Tribometer Test” , Wear, Vol. 206, No. 1, pp. 179-186.
4. A. Bouaid, M. Martinez, J. Aracil, 2010, “Biorefinery Approach for Coconut Oil Valorisation : AStatistical Study” , Bioresource Technology, pp. 4006-4012.
5. I. Minami, H. S. Hong, Naresh C. Mathur, 1999, “Lubrication Performance of Model OrganicCompounds in High Oleic Sunflower Oil” , Journal of Synthetic Lubrication, Vol. 16, pp. 1-12.
6. S. Syahrullail, B. M. Zubil, C. S. N. Azwadi, M. J. M. Ridzuan, 2011, “Experimental Evaluationof Palm Oil as Lubricant in Cold Forward Extrusion Process” , International Journal ofMechanical Sciences, Vol. 53, pp. 549-555.
7. C. C. Ting, C. C. Chen, 2011, “Viscosity and Working Efficiency

- Analysis of Soybean OilBased Bio-Lubricants” , Measurement, Vol. 44, pp.1337-1341.
8. Reeves C.J., Siddaiah A., Menezes P.L., 2017, “Ionic liquids: A plausible future ofbio-lubricants” , Journal of Bio- and Tribo-Corrosion, Vol. 3(18), pp. 1-8.
 9. Gajrani K.K., Sankar M.R., 2017, “Past and Current Status of Eco-Friendly Vegetable Oil BasedMetal Cutting Fluids” , Materials Today: Proceedings, Vol. 4, pp. 3786-3795.
 10. Rao T.V.V.L.N., Rani A.M.A, Awang M., Baharom M., 2018, “An overview of research onbiolubricants in Malaysia and Japan for tribological applications” , Jurnal Tribologi, Vol. 18, pp.40-57.
 11. Cecilia J.A., Plata D.B., Saboya R.M.A., de Luna F.M.T., Cavalcante Jr. C.L., Enrique R.C.,2020, “An overview of the biolubricant production process: Challenges and future perspectives” ,Processes, Vol. 8(257), pp.1-24.
 12. Attia N.K., El-Mekkawi S.A., Elardy O.A., Abdelkader E.A., 2020, “Chemical and rheologicalassessment of produced biolubricants from different vegetable oils” , Fuel, Vol. 271, 117578, pp.1-6.
 13. Rao T.V.V.L.N., Rani A.M.A, Awang M., Baharom M., 2018, “An overview of research onbiolubricants in Malaysia and Japan for tribological applications” , Jurnal Tribologi, Vol. 18, pp.40-57.

14. Zhu D., Wang J., Wang Q. J., 2015, “On the stribeck curves for lubricated counterformal contacts rough surfaces” , *ASME Journal of Tribology*, Vol. 137, pp. 021501-1
15. Blok H., 1937, “Theoretical study of temperature rise at surfaces of actual contact under oiliness lubricating conditions” , *Journal of Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers General Discussion of Lubrication*, Vol. 2, pp. 222-235.
16. Zhao Y. W., David M. M., Chang L., 2000, “An asperity microcontact model incorporating the transition from elastic deformation to fully plastic flow” , *ASME Journal of Tribology*, Vol. 122, pp. 86-93.

附錄

附錄一、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	<p>商業可行性(花生)，花生農產具季節性，供貨源不穩會否影響企業投入本案商業模式。另是否有考量整體有形、無形商業成本(包括人員機台訓練、機具修繕等)?花生殼處理是否有時效性，避免產生副產品，如食物時間拉長會有黃麴毒性。</p>	<p>謝謝委員提供寶貴意見</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.本案為證明萃取技術可行性，本年度僅以花生殼為應用對象，未來勢必會有產生貨源不足之窘境，因此，團隊長期發展規劃即著重持續對於各種農業剩餘資材進行萃取條件分析，期望未來全面應用於各種農業剩餘資材萃取上，藉此，提供農民與應用產業或企業未來新興市場拓展之可能性。 2.目前團隊成本本年度著重考量微波萃取技術軟硬體部分，未來將會對於產業與企業應用進行更細部成本分析(包含人力培育、運輸、商品包裝銷售通路等)。 3.花生農民一般於花生採收

項次	審查意見	回覆辦理情形
		<p>後，多會先行透過日曬乾燥後，再進行脫殼作業，此時，花生殼已乾燥至含水率 10% 左右，因此不容易滋生黃麴等毒素。且本案農剩餘資材萃取技術，對於花生農民所提供之花生殼含水率多寡，皆會於萃取前進行乾燥與破碎製程，因此，並無有害毒素衍生之疑慮。</p>
2	<p>建議可與相關產業或企業進行產業化的製程考量或市場評估；若未來有機會應用於實務，宜就耐久性、高溫穩定性等性質再行加強了解。</p>	<p>謝謝委員提供寶貴意見</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 截至目前研究成果，足以證明本農剩餘資材萃取技術具一定可行性。未來團隊將更致力於各種農剩餘資材萃取條件分析，而對於往後產業或企業導入應用，則希冀政府部會媒合，以縮短技術導入磨合期，亦可有效應用至有實際需求之產業或企業上。 2. 本年度已完成萃取油品相關潤滑測試與初步成本分析，未來為有利於產業或企業的導

項次	審查意見	回覆辦理情形
		<p>入應用，團隊將更深入進行多元性質檢測與成本分析。</p>
3	<p>調查對象太過單一，設備投資成本過高將影響企業投資意願，且優於其他石化油品優點並未敘明；是否有針對市場需求做調查？市場上現有之潤滑油產量如何？足夠或不足應付需求嗎？本研究花生殼所產之潤滑油有何優越條件？</p>	<p>謝謝委員提供寶貴意見</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.本案今年係以萃取技術研發為目標，萃取對象則用於技術可行性分析為主，因此，本次實驗硬體成本易受技術研發過程影響，依據本年研發成果，未來硬體將可依農剩餘資材種類與產量進行客製化建置，藉此將可有效控管相關投資成本。 2.本案執行之初，係已對於台灣各式石化油品市場進行蒐集與評估，得知國內潤滑油市場需求每年約 43 萬公噸，若僅估計切削油與研磨油市場，台灣每年則約有 1075 公噸，由此可知，國內油品市場具一定規模，因此，本案所提農剩餘資材萃取技術及其性能分析

項次	審查意見	回覆辦理情形
		<p>結果，未來短期將可逐步取代市售市場石化油品，長期則可依各農剩餘資材萃取成果，可大幅成為各類油品應用產業選擇之一。</p> <p>3.本計畫所得之花生殼生質潤滑油，透過相關滑潤試驗，得知其抗摩擦與抗磨耗性能皆優於市售石化潤滑油產品，在全球推動環保理念下，生質油品著實有一定未來市場競爭力，但計畫亦發現生質油在抗氧化性能上尚為不足，此為團隊未來努力方向之一，希冀透過持續天然配方調整，有效提升生質潤滑油抗氧化性能。</p>
4	<p>今年度係以花生殼農業廢棄物做為研究材料，以此技術或設備還有哪些農業廢棄物如胡麻、太陽麻等豆類可來提煉潤滑油？另粹取時間需較長，於推廣運用時可思考</p>	<p>謝謝委員提供寶貴意見</p> <p>1.依造萃取技術來說，團隊評估其他種類農業剩餘資材亦可應用，但目前為達較佳萃取效率，萃取前仍需進行前處理製程，方能進行微波萃取步驟，</p>

項次	審查意見	回覆辦理情形
	如何縮短時間，以提升效益。	<p>未來團隊將針對各種農業剩餘資材進行微波萃取實驗(至於胡麻等豆類預估亦可以提煉潤滑油，惟磨潤特性是否佳需要實驗驗證，謝謝委員提供未來可行方向。)，以獲得各農剩餘資材萃取條件，以利提供產業操作與應用。</p> <p>2.目前團隊係以實驗室級設備進行微波萃取實驗，所獲得副產物萃取量雖受設備規模較小影響，但本案仍分析出最佳萃取條件，亦規劃出未來應用於產業之中型萃取設備構想，未來將可依照所得萃取條件稍作調整，相信即可有效降低製程時間，進而達到效益最大化之願景。</p>

項次	審查意見	回覆辦理情形
5	碳化物目前有投入農業實際使用？成效如何？	謝謝委員提供寶貴意見。 因計畫衍生之炭化物剛完成初步表面與元素檢驗，後續將進行實際農作物生長實驗，以觀察至農產業應用成效。