

生質混合燃料對柴油引擎不同噴射壓力之影響

作者/王成堃 上尉

提要

國軍各類型工兵機械及輪型車輛皆以柴油引擎為主要動力來源，所以對於石化燃油的消耗及依賴程度非常之碩大；國內政府正積極推動發展生質柴油，等替代能源，以分散能源供給，並減少對石油的依賴，使用再生能源及替代能源將是未來國家競爭力的重要指標。因此本內容探討將高級柴油中添加 20%廢食用油甲酯的混合燃料(WOME20)能在不影響引擎性能的條件下，可獲得最佳之油耗及廢氣排放濃度的改善。由於柴油引擎燃料系統的燃料噴射壓力也會對引擎性能、油耗和廢氣排放濃度等有所影響，故本文以不同的柴油引擎燃料噴射壓力來探討其影響的程度。經實驗結果顯示，較原柴油引擎燃料噴射壓力(19.6MPa)低之燃料噴射壓力(15.7MPa)，在不影響引擎性能的條件下，能減低燃料消耗率 3.17%、煙度 3.64%及 HC 濃度 21.87%；另較原柴油引擎燃料噴射壓力(19.6MPa)高之燃料噴射壓力(24.5MPa)，除會影響引擎性能外，又增加燃料消耗率 1.01%以及煙度 33.25%和 HC 濃度 4.31%。

關鍵詞：生質柴油、柴油引擎、引擎燃料噴射壓力。

一、前言

由於各國過度使用石化類能源，造成地球生態環境的惡化，如溫室效應導致於全球暖化和氣候變遷嚴重影響生態。且又面臨未來石油能源枯竭的問題，因此，全球的環境污染問題及能源資源短缺的問題受到國際重視的議題，為延長石化能源的使用期限，很多國家都在研究生質燃料等替代能源，以分散能源供給，並減少對石油的依賴。

(一) 研究動機及目的

台灣的能源絕大部份仰賴進口，目前政府也積極推動能源多元化政策，尋找開發新能源及使用替代燃料，以減低對石油的依賴，因此近十年來生質能源的時代因應而生。生質柴油具有再生能源性質，且可直接使用不必變更目前引擎的設計，引擎性能不損失，並可以延長柴油的使用年限。據 2005 年推動國內生質燃料與能源作物論壇的估算，國內廢食用油之潛在產量為 15 萬噸/年，約可產製廢食用油甲酯生質柴油 12.2 萬噸/年。由此可見，利用廢食用

油製成生質柴油來紓解燃料能源的需求，是相當可行的方式。

(二)研究內容

參照能源局曾將委由工研院能源所研發的「B20」生質柴油，是以廢棄食用油製成生質油 20%混合 80%的高級柴油而成，並對柴油引擎性能、油耗及廢氣排放濃度等進行實驗。利用廢食用油脂回收製成生質柴油(簡稱 WOME)，加 20%WOME 生質柴油與 80%高級柴油的混合燃料(稱為 WOME20 混合燃料)，期望利用生質油的密度較石化柴油高，可提高噴射壓力的特性，在不改變原引擎設計下，只改變原柴油引擎燃料噴射壓力，來探討對引擎性能、油耗及廢氣排放濃度的關係。本實驗是以直噴式柴油引擎做為實驗，使用 WOME20 混合燃料，改變柴油噴油嘴的噴油壓力對引擎性能、油耗、廢氣排放和燃燒特性等各項特性的研究。

二、文獻探討

本文是以廢食用油製成生質柴油，使用於傳統的直噴式柴油引擎不改變任何機件設備，只改變噴油嘴的噴射壓力，來探討廢食用油所製成的生質柴油燃燒後，引擎的性能及油耗、黑煙、HC 等污染物的排放情況，因此，以下主要就生質柴油和柴油引擎兩部份的相關文獻來探討。

(一)生質柴油

生質柴油(bio-diesel)是由動植物油脂或其廢油，經由轉酯化反應後所生成之油脂(脂肪酸甲酯)，例如，若以廢食用油為提煉者，則稱為廢食用油甲酯生質柴油(waste fried oil methyl ester biodiesel)，它可直接使用或混合市售的高級柴油作為替代燃料，一般將 100%純生質柴油稱為 B100，20%生質柴油混合 80%高級柴油稱之 B20。完全不需修改任何原柴油引擎的機械設備即可直接給與使用。將生質柴油做為替代燃料，其所產生的二氧化碳可以與植物行光合作用所需要的二氧化碳來達成平衡，可有效減輕溫室效應的排放而抑制地球的溫暖化，陳介武(2005)^[1]。目前，環顧世界各國以歐洲所生產的生質柴油為全球之冠，其生產以應用於柴油引擎車輛，可以改善其空氣污染。表 2-1 所列為歐洲各國於 2005 年所生產生質柴油之產量(European Biodiesel Board 2006)。

註¹：陳介武，(2005)，「防制空氣污染面面觀-全球採用生質柴油，空氣清潔而保健康」生質能源應用與展望，第 7-8 頁。

表 2-1 近年歐洲各國生質柴油的產量(EBB,2006)

國家	2005 年產量(×1,000 公噸 / 年)
德國(Germany)	1669
法國(France)	492
義大利(Italy)	396
丹麥(Denmark)	133
捷克(Czech)	100
奧地利(Austria)	85
斯洛伐克(Slovakia)	8
西班牙(Spain)	73
英國(United Kingdom)	51
立陶宛(Lithuania)	7
瑞典(Sweden)	1
總計	3015

台灣將成為亞洲第一個推動全面使用生質柴油的國家，目前政府正積極推動發展生質柴油，我國在 2005 年全國能源會議通過推廣生質柴油的具體方案，其中提出生質柴油年產量於 2010 年將達到十萬公秉，2015 年將達到十五萬公秉的目標，此方案對國內的農業、能源業以及減少污染環境很有幫助。會後並成立「新能源及潔淨能源研究開發規劃小組」就再生能源、能源新利用及各種廢棄物的能源利用等進行評估，其中生質能在 2010 及 2020 年將分別佔再生能源總量之 52%及 45%，而生質能源中又以廢棄物能源利用最具價值。能源局也於 2005 年^[2]研擬「推動生質柴油具體行動草案」，邀請農委會、環保署、財政部等相關部門外，也邀請了中油、台塑公司共同召開協商會議，一起規劃建立跨部會生質柴油合作機制。95 年 3 月成立跨部會生質柴油合作機制，由農委會主導，雲嘉南地區十二個鄉鎮農會與台灣新日化公司簽約。農

註²：經濟部能源局，行政院農業委員會農糧署和工業技術研究院能源與資源研究所，(2005)，「推動國內生質燃料與能源作物論壇」會議資料。

委會輔助農民種植的能源作物,都將由台灣新日化公司收購,新日化公司收購後再將這些能源作物轉酯化用來生產生質柴油,以供銷國內市場。94年8月台南市環保局已使用生質柴油於43輛垃圾車上,目前全國已有台北、高雄等13個縣市環保局的垃圾車使用廢食用油所製成的生質柴油。又於2006年4月北高2市共有12輛生質柴油示範公車加入營運,接著在2007年2月高雄市政府更率先在全市的428輛公車使用「B2生質柴油」來落實政府的政策以確保地球環境永續發展。因此,生質柴油將成為未來重要的替代能源。

(二)生質柴油之特性

- 1.熱量在1號與2號石化柴油之間(徐明璋,2000)^[3]。
- 2.純生質柴油不含硫化物。
- 3.十六烷值(Cetane number)較高,介於50~55,此係表示燃燒效果的指數,此值愈高愈好(1號石化柴油為50,而2號石化柴油為42)。
- 4.含有約11%的氧,以致燃燒佳(石化柴油不含氧)。
- 5.閃火點(Flash point)較高,為120°C(石化柴油為52°C),可確保作業安全性。
- 6.無毒性:石化柴油含有致癌性多環芳香族碳氫化合物(PAH)及硝化多環芳香族碳氫化合物(n-PAH),然而生質柴油完全不含上述有毒成分。
- 7.比石化柴油可減少生命週期(Life cycle)的二氧化碳78%排放而有利於抑制地球溫室效應(Green house effect)。
- 8.具有生物可分解性而可避免污染環境(經由28天其分解率為95%)。
- 9.為無窮盡的可再生(Renewable)新能源,可利於空氣清潔。
- 10.可改善柴油引擎廢氣排放之品質,以一氧化碳為例,使用純生質柴油可減少48%,使用B20混合生質柴油減少12%。
- 11.分子較大,黏度較高,導致噴射效果不佳:生質柴油是由植物油脂所轉化,因此分子較大,約為石化柴油的4倍;黏度也較高,約為石化柴油的12倍,會影響噴射時程,導致噴射霧化效果較差。
- 12.揮發性較低,不易霧化,影響引擎運轉效率:生質柴油的揮發性比石化柴油低,在引擎內不容易霧化,與空氣的混合效果會較差,可能形成燃燒積炭,而使油脂黏在噴射器頭或蓄積在引擎汽缸內,影響其運轉效率。

註³: 徐明璋, (2000), 生質柴油的製備及其在柴油引擎上的可行性研究, 國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文, 第35-38頁。

13.冷車發動不易和點火延遲：由於生質柴油黏度、流動點較高，雖然比超級柴油潤滑度佳，卻容易產生冷車不易起動和點火延遲的問題。

14.氮氧化合物含量增多：生化柴油雖然能大量減少懸浮粒子，二氧化碳及不含硫成份，卻會使氮氧化物含量稍微上升，不過可以調整引擎噴射時程或添加觸媒改善。

通常生質柴油之製程如圖 2-1 所示，承德油脂股份有限公司(2005)。可由廢食用油與甲醇為反應物，在甲醇鈉做為觸媒的狀態下來進行酯交換反應而得，因酯交換反應後之生成物為甘油與酯質(生質柴油)的混合物，所以還須經由純化、水洗等階段後才能成為廢食用油甲酯生質柴油。

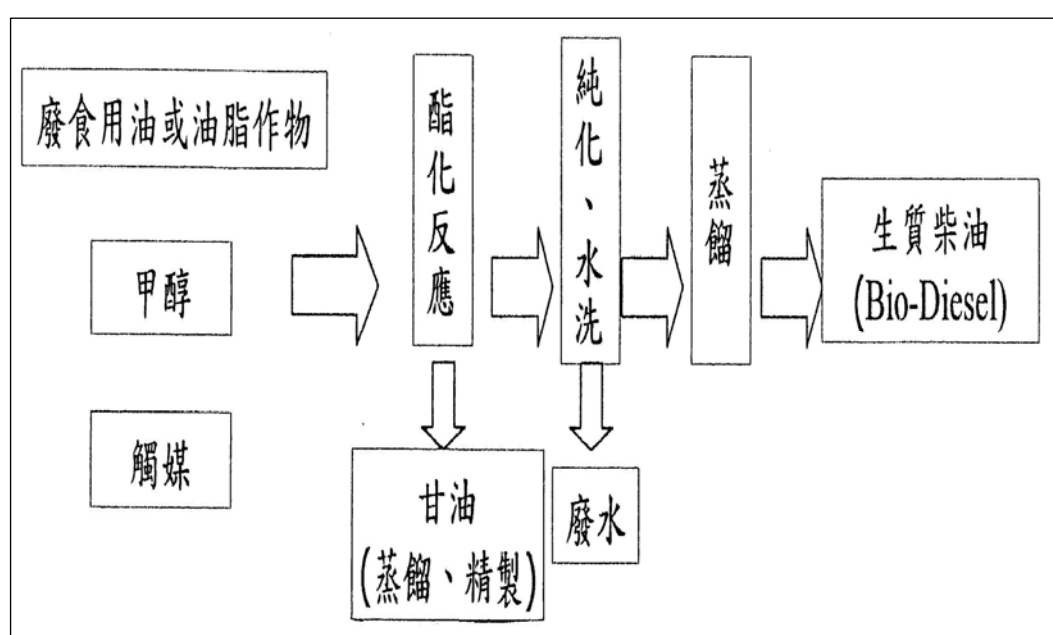


圖 2-1 生質柴油製造過程 (承德油脂股份有限公司，2005)

至於轉酯化反應(又可稱為酯交換反應)乃是經由脂肪或油脂(植物油或動物油)與醇類等反應物產生化學變化的過程，化學變化後的生成物即為甘油及酯質(即生質柴油)。由於整個轉酯化過程需要的反應速度較慢，且時間也較長，因此可添加催化劑(如甲醇鈉、氫氧化鈉、鹽酸等)來加速其反應，以提高製造生質柴油的效率，此催化劑的使用並不會改變酯化反應生成物的品質與產量。

就轉酯化反應中的催化劑(又稱觸媒)而言，可分為酸性、鹼性以及酵素三大類，其中酸性觸媒常見有硫酸(H_2SO_4)、鹽酸(HCl)等，而鹼性觸媒氫氧化鈉(NaOH)、氫氧化鉀(KOH)和甲醇鈉(CH_3NaO)等較常被使用。至於生物

酵素的使用，近年來亦逐漸取代酸或鹼來作為催化劑，此乃因酵素催化劑的穩定程度高，酯交換的轉換率也較一般的酸鹼催化劑強，並且在一般的常溫下即可直接進行酯交換的反應，但若目前要以酵素作為催化劑來大量生產生質柴油則成本要相對的提高。在成本及製程方式之考量下，本文乃以甲醇鈉(CH_3NaO)來作為酯交換反應的催化劑，其優點為製作過程較為簡單，成本也較低，酯化反應的轉換率亦可高達 90%^[4]。

(三)柴油引擎的燃燒過程

柴油燃料由噴射泵浦加壓形成高壓燃油，通過高壓油管到達噴油嘴，當燃料壓力到達所定之噴射壓力時，隨即噴入柴油引擎之燃燒室中，此時利用壓縮時所產生之高溫高壓空氣的擾動使燃油霧化混合燃燒(Alan Asmus 1988)^[5]。而此種著火燃燒過程，通常以燃燒室的壓力(P)與曲軸轉動角度(θ)所組成的 $P-\theta$ 圖(圖 2-2)來表之，此燃燒過程可分為四個時期：

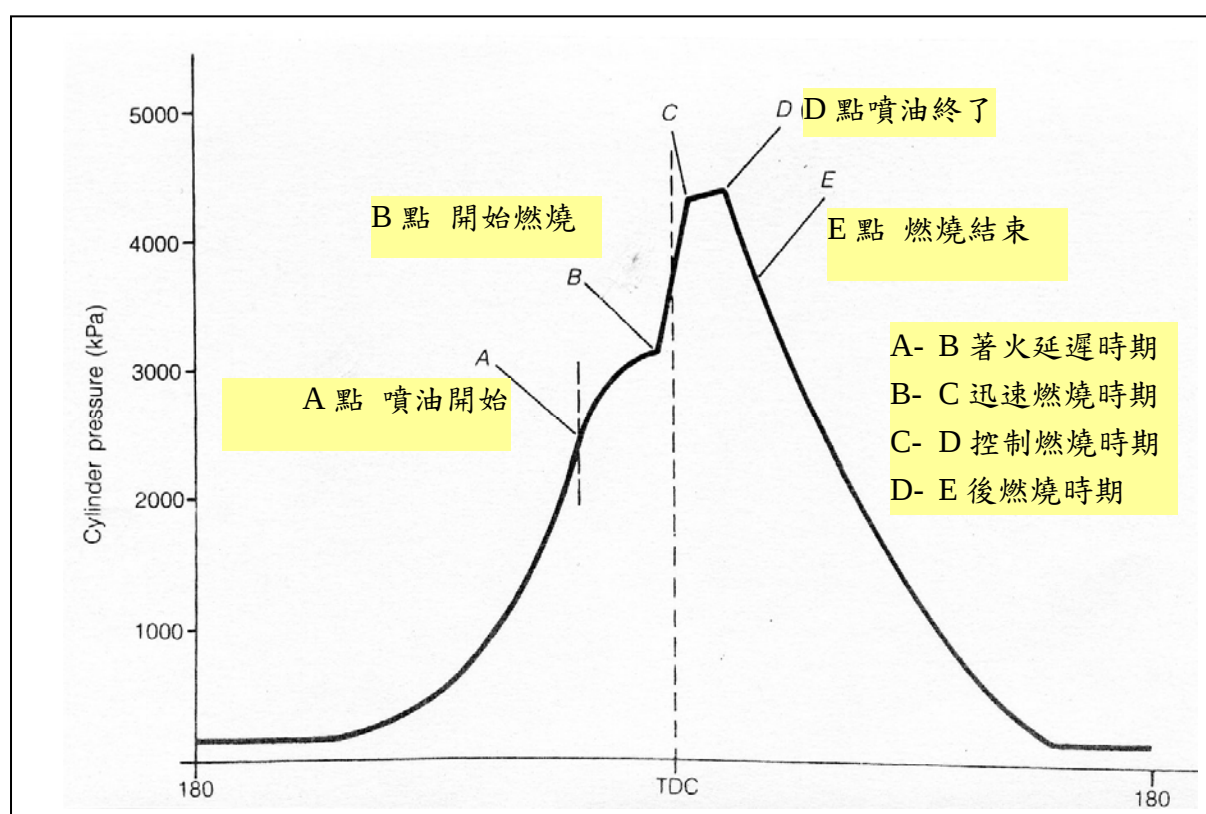


圖 2-2 柴油引擎燃燒過程 $P-\theta$ 曲線圖(Alan Asmus,2004)

1. 著火延遲時期(ignition delay period)

註⁴：生質柴油之製作過程，承德油脂股份有限公司，(2005)。

註⁵：M. Alam, J. Song, R. Acharya, A. Boehman and K. Miller,(2004), "Combustion and Emissions Performance of Low Sulfur, Ultra Low Sulfur and Biodiesel Blends in a DI Diesel Engine," SAE Technical Paper 2004-01-3024。

此時期如圖(圖 2-2)中 A—B 之間，燃油在壓縮即將到達完成上死點前噴入燃燒室中，A 點為噴油開始，B 點之後才開始著火燃燒。從開始噴油到著火開始燃燒前的這一段時間，一般通稱為著火延遲時期。此時期燃燒室內的空氣溫度因受壓縮而上升，燃油自 A 點開始噴出並無法立即著火燃燒，此時成霧化之燃油粒子仍為液態，之後在壓縮空氣中相互擾動與混合並吸收熱量，形成可燃之混合氣。混合氣溫度繼續上升當壓縮到達 B 點時混合氣開始燃燒。因此 A 到 B 點稱之為著火延遲時期。

2. 迅速燃燒時期(uncontrolled combustion period)

圖 2-2 中的 B—C 之間為迅速燃燒時期，在著火延遲時期之後，一部份之混合氣因達到自燃溫度，而開始著火燃燒發生火焰，此火焰會將已噴入之燃油混合氣和這段時間噴入之燃油點燃，使大量的燃油同時燃燒，此時汽缸中之溫度與壓力急遽升高。從燃油開始燃燒，到著火延遲期所累積之燃油完全燒完為止，這段時間因燃燒迅速，故亦稱之為迅速燃燒時期。

3. 控制燃燒時期(controlled combustion period)

此時期如圖(圖 2-2)中 C—D 之間，在迅速燃燒時期之後，燃燒室內皆是燃燒的火焰，因此過了 C 點之後所持續噴入燃燒室中之燃油將立刻被點燃著火而燃燒，此時壓力又再次的上升。因 C 與 D 之間的壓力上升可隨著噴油量的多寡而變化，且能受到控制，所以這段時期稱之為控制燃燒時期。

4. 後燃燒時期(after burning period)

如圖中(圖 2-2)D—E 之間為後燃燒時期，此階段已經噴入燃燒室中，但尚未燃燒之燃油，則繼續燃燒，直至這些燃油燒完為止。

(四) 柴油引擎燃燒與混合氣的形成

一般柴油引擎的燃燒時間極為短暫約 0.003~0.004 秒，而壓縮著火燃燒亦非常複雜，呈現一種不穩定與不均勻的三維燃燒過程(Alan Asmus 1988)。整個的燃燒過程是在活塞到達壓縮行程接近終了時約上死點前(BTDC)10°~15°之間，由噴油嘴將燃料噴入燃燒室內，此時液態的燃料從噴油嘴的噴孔噴出，而噴入燃燒室中的燃料呈液態、液/氣態和完全霧化之氣態油粒，此油粒同時吸收汽缸內的壓縮熱而汽化並與燃燒室內流動的空氣如渦流和擠流等混合而形成混合氣，但不能立即燃燒，因每一柴油粒子必須在高溫的空氣中吸熱，使溫度急速增高。當混合氣溫度達到柴油著火點(250°C~300°C，理論空燃比 14.3:1)時，即自行著火燃燒，故自燃料噴射至著火燃燒之間的一段壓縮著火延

遲即前述的著火遲延時期。又混合氣開始燃燒時，汽缸內的壓力急速上升，未燃燒的混合氣被壓縮及加熱，很快達到可燃極限後迅速燃燒。當活塞下行時噴油嘴仍持續噴油，一直到燃料全部噴入燃燒室內，這些燃料並持續重複著進行霧化、汽化、至與空氣混合形成混合氣達到著火而燃燒。另噴油嘴噴油結束後，燃燒室內剩下的空氣和燃燒中及已燃燒過的氣體混合也一直持續到整個燃燒與膨脹過程。

至於柴油的燃燒過程則決定於燃料的特性、引擎燃燒室的形狀、空氣及燃料的擾動與分佈、燃料噴射系統的設計、噴油嘴的噴射壓力及引擎運轉和負載等情況。對其燃燒過程，我們可藉由熱釋放率(heat release rate)的觀念來分析探討整個燃燒室內燃燒過程的情況。而熱釋放率的定義為燃料化學能以燃燒過程釋放出的速率，此熱釋放率可藉由汽缸壓力隨曲軸角度的變化數據計算出來，即造成量測的壓力所必須釋放出來的能量。燃燒模型定義出柴油燃燒的四個不同階段，每一階段各由不同的物理或化學過程控制著。

(五)柴油引擎的熱釋放率曲線與四個燃燒時期與的意義

圖2-3所示為直接噴射式柴油引擎的熱釋放率曲線，由圖中可知在壓縮行程即將結束之前，熱釋放率極小，通常可以忽略不計，但在著火遲延時期則會有少量的熱損失，其主要原因乃是因燃料的汽化吸熱及部份的熱傳到汽缸壁所致。在燃燒過程中，燃燒是以三個階段進行，在第一階段中，燃燒速率非常高，且只維持數度的曲軸轉角，對應於汽缸壓力迅速上升期。第二階段對應於熱釋放率逐漸減小的主熱釋放時期，只維持大約 40° 的曲軸轉角，燃料的總能量一般大約有80%在前兩個時期放出。第三階段對應熱釋放率圖的尾段部份，可以看出熱釋放率延緩到膨脹行程的一大部份，此時間的熱釋放率約佔燃料總能量的20%。

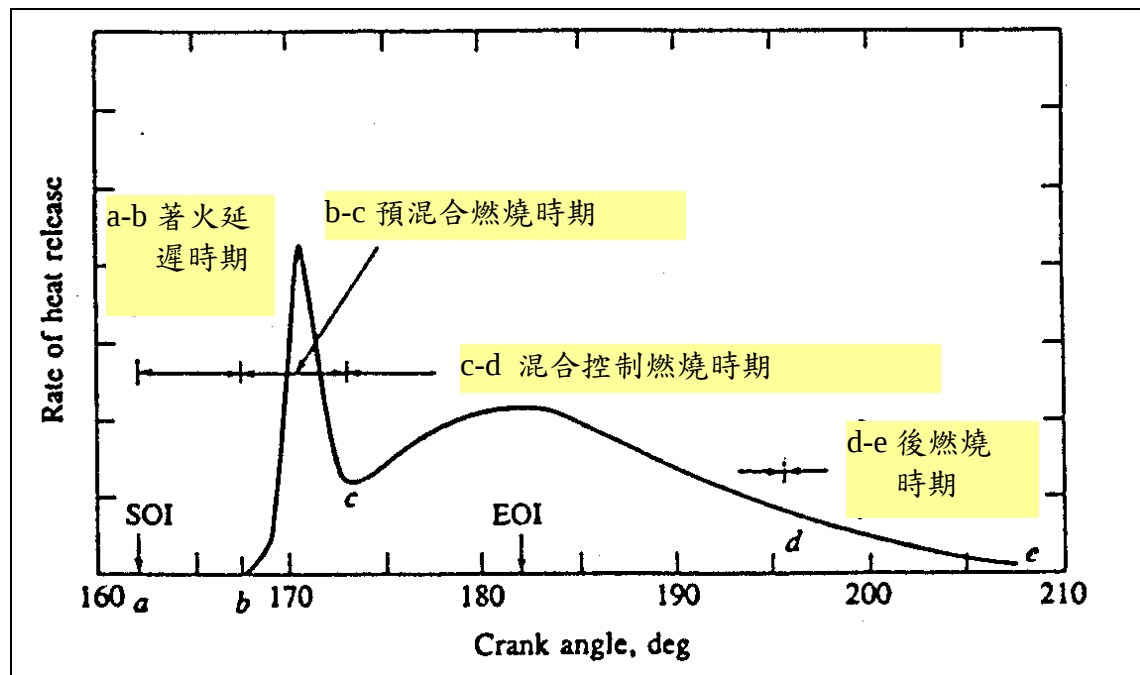


圖 2-3 直接噴射式柴油引擎的熱釋放率圖(John B,1988)

柴油燃料在引擎內的燃燒過程，依熱釋放率可分為四個燃燒時期：即著火遲延時期、預混合燃燒時期、混合控制燃燒時期和後燃燒時期(John B Heywood 1988)^[6]，其燃燒情形可以由熱釋放率及曲軸轉角之關係曲線來表之。

1. 著火遲延時期 (Ignition delay period)

圖 2-3 之 a-b 段為著火遲延時期，即柴油開始噴入燃燒室內至開始著火燃燒前的第一段時期，燃料初噴入燃燒室時，係冷的高壓液態，進入燃燒室後吸收被壓縮空氣的熱，使溫度升高而汽化，形成可燃的混合氣而開始燃燒，故在此時期有少量的熱能損失，此時期的長短因燃料著火點、噴射狀態、壓縮溫度和空氣的擾動等而有極大的影響。

2. 預混合燃燒時期(Premixed combustion phase)

如圖 2-3 的 b-c 段所示，此時期稱之為預混合燃燒時期，在著火遲延時期結束，完成準備燃燒，柴油與空氣混合到可燃極限內的混合氣在數度曲軸轉角內迅速燃燒。在燃燒時因壓力與溫度的升高使被加熱到可燃的其他混合氣也一起燃燒，形成此時期的高熱釋放率特性，燃燒速率的最初尖峰值的大小決定於著火遲延時期的長短，當著火遲延時期長則尖峰值高。此時期與引擎熱效率、振動、燃燒噪音及 NO_x 濃度的多寡有密切的關係。

3. 混合控制燃燒時期(Mixing-controlled combustion phase)

註⁶：John B. Heywood. , (1988) , “ Internal Combustion Engine Fundamentals ”Mcgraw-Hill Book Company, P.491-P.510。

圖 2-3 的 c-d 段為混合控制燃燒時期，此時期又稱之為擴散燃燒時期 (Diffusion burning Phase), 在著火遲延時期預混合的燃料與空氣一旦燒完後，其燃燒速率(熱釋放率)便是受到可燃混合氣速率的控制，而其包括整個過程；即液態燃料霧化、汽化、汽化燃料與空氣的混合、先前火焰的化學反應，此時期的燃燒速率主要是受之於汽化燃料與空氣混合過程的控制。在此時期內若適當的控制柴油的噴射量將可決定引擎馬力的大小。

4. 後燃燒時期(Late combustion phase)

後燃燒時期(圖2-3之d-e段)此時期熱釋放率持續在一個較低的情形下進入膨脹行程，其原因是可能油粒較大或未完全燃燒的柴油液滴及有一小部份的燃料能量形成黑煙和過濃燃燒的產物仍被釋放著。此時期燃燒室內的混合氣為非均勻混合，以增進更進一步的完全燃燒和少量分解形成的氣體，最後燃燒完成的動量較低，這可能是因為膨脹過程中燃燒室內燃燒氣體溫度下降的關係。

至於燃料噴射壓力的高低與熱釋放率之關係可如圖2-4所示，由於燃料噴射壓力的提高，使燃料噴射率增加，故於圖中顯示燃料噴射壓力愈高，則在整個燃燒過程中熱釋放率是增加的，其原因係燃料噴射壓力的提升改變燃料噴霧中燃料與空氣的混合比率，因此，增加了混合控制燃燒時期 (Mixing-controlled combustion phase) 的熱釋放率。

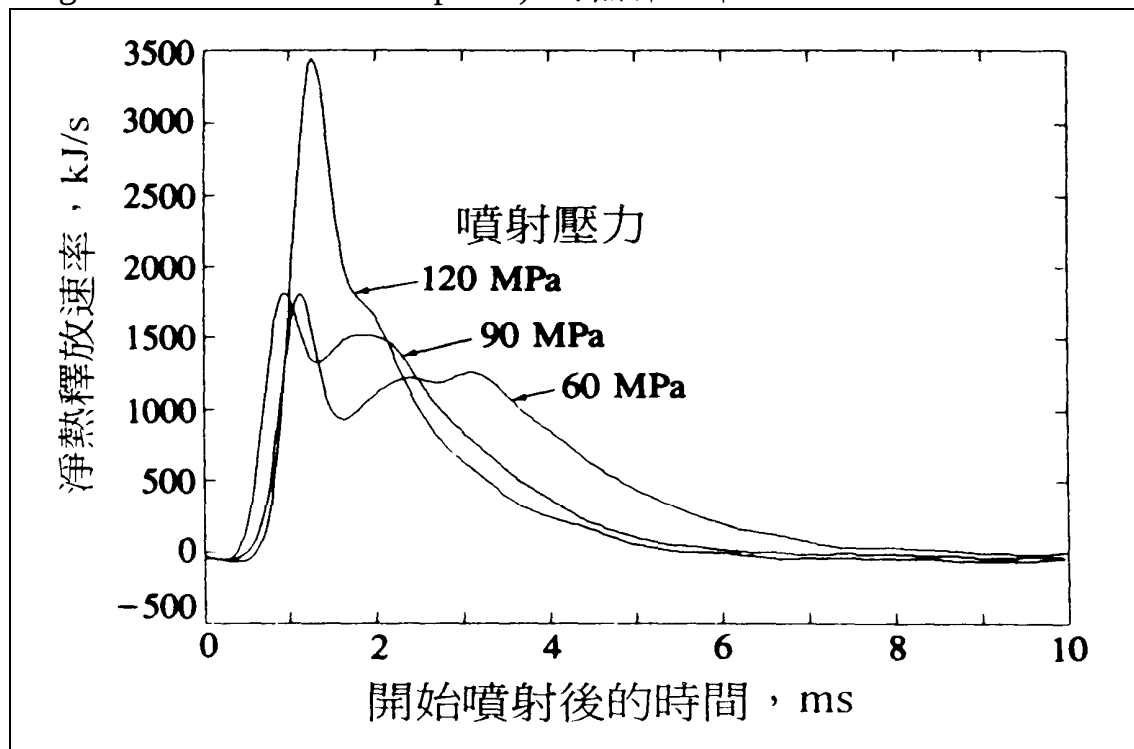


圖 2-4 燃料噴射壓力與熱釋放率關係圖(John B,1988)

由上述對生質柴油的研究及柴油引擎的效能說明，可知以當前的轉酯化技術所生成的生質柴油是無法 100%全部直接在柴油引擎上使用的，此乃因生質柴油中所含的不純物及可溶性有機物會嚴重的影響到柴油引擎的使用壽命，故必須以較低之比例混合在高級柴油中使用。而 20%生質柴油添加混合在高級柴油的 B20 混合燃料是所有添加混合比例中，能不影響原柴油引擎性能的前提條件下，又能較合理的減低油耗及 Smoke、HC 及 CO 等的廢氣排放濃度，雖 NO_x 濃度較高但以目前的技術是可完全克服的。此外，若使用 B20 混合燃料，當引擎的燃料噴射正時提前或延後時均會影響到原柴油引擎的性能及廢氣排放濃度增減等之異常變化，故燃料噴射正時不宜去改變。至於生質柴油的密度較高級柴油燃料高，會促使燃料噴射壓力的增加，又燃料噴射壓力的改變會影響到燃料噴射的開始和結束的時間以及噴油的持續時間。因此，本文將以 B20 混合燃料來探討燃料噴射壓力的改變對單汽缸直噴式柴油引擎性能及廢氣排放和燃燒等特性的影響。

三、結果分析

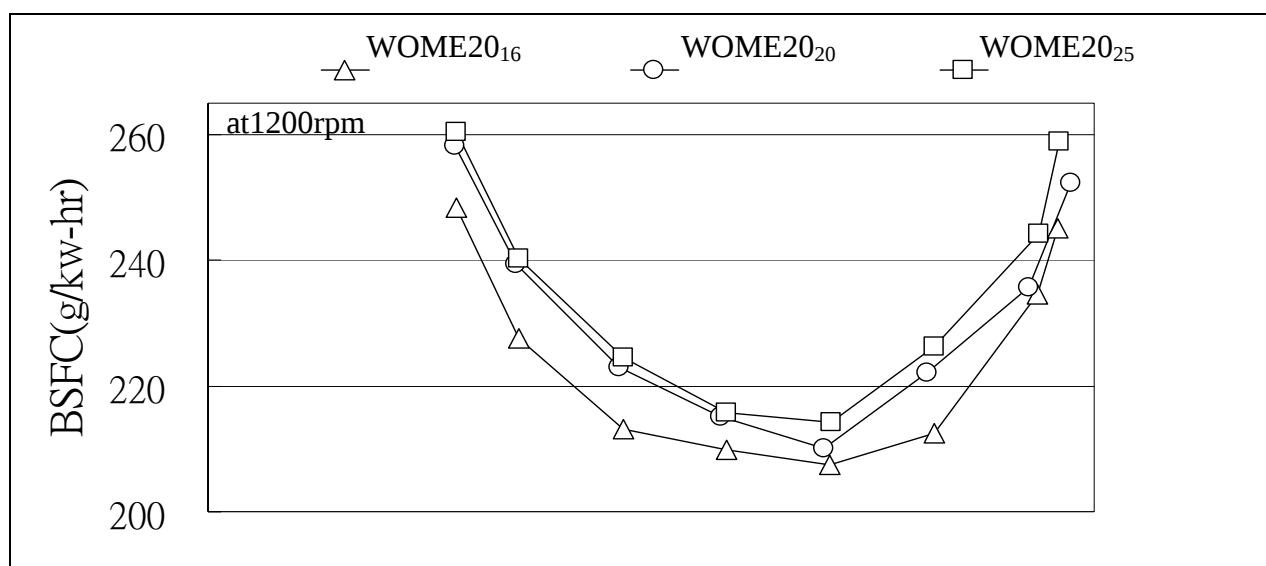
依據實驗結果分析，本文使用 20%廢食用油甲酯生質柴油(WOME20)及 80%高級柴油之混合燃料為實驗用油(由文獻 T.Basavaraja et al,2005 得知 B20 的混合比例最適合)^[7]，並在一單汽缸直噴式柴油引擎上採用三種不同燃料噴射壓力的噴油嘴，即較低的燃料噴射壓力 15.7MPa(WOME20₁₆)、原柴油引擎的燃料噴射壓力 19.6MPa(WOME20₂₀) 以及較高的燃料噴射壓力 24.5MPa(WOME20₂₅)的噴油嘴。以下就實驗結果所得在三種燃料噴射壓力下之三種指定引擎轉速 1200rpm、1800rpm 和 2400rpm 時，由最低扭力至最高扭力之各指定負荷等參數所得知，引擎性能如制動平均有效壓力(Brake Mean Effect Pressure, 縮寫為 BMEP)與燃料消耗率(Brake Specific Fuel Consumption, 簡稱 BSFC)、廢氣排放如黑煙濃度(Smoke 濃度)、碳氫化合物(HC 濃度)等之油耗關係，以及燃燒特性等作分析比較。

(一)燃料消耗率(BSFC)之比較

圖 3-1 為 WOME20 混合燃料在三種不同之燃料噴射壓力於三種指定引擎轉速 1200rpm、1800rpm 及 2400rpm 和在最高負荷至最低扭力下之制動平均有

註⁷：T. Basavaraja, R. P. Reddy and V. Swamy, (2005), "Effect of Injection Pressure on Emission Performance of Bio-diesel and its Blends," SAE Paper 26-30。

效壓力(BSFC)值與燃料消耗率(BMEP)的關係。由圖中結果可知，在三種不同的燃料噴射壓力時，以燃料噴射壓力較高的在引擎轉速 2400rpm 時之最高 BMEP 值較低，亦即 WOME20₂₅ 在引擎轉速 2400rpm 時的引擎性能較差。另由圖中也可發現 WOME20₂₅ 在不同的引擎轉速下之 BSFC 值也較高，此表示其耗油性較高，此乃因 WOME20₂₅ 燃料噴射壓力較高，且生質柴油密度較高級柴油燃料高，而促使燃料噴射壓力再增加的關係，導致燃料噴霧液滴碰撞及附著在燃燒室壁上造成燃燒不完全，因而造成引擎性能減低及油耗的增加之現象(R.Rosca 2005)。此外，由圖中實驗結果可知此三種燃料噴射壓力的 BSFC 值在指定三種不同引擎轉速之及八種不同負荷下皆以燃料噴射壓力較低的 WOME20₁₆ 有較低之情況，WOME20₂₀ 次之，而 WOME20₂₅ 最高。至於此三種燃料噴射壓力之燃料消耗率(BSFC)的相差率，於表 3-1 所示，又由表中得知 WOME20₁₆ 和 WOME20₂₅ 兩者的 BSFC 值與原柴油引擎燃料噴射壓力 WOME20₂₀ 相比較 BSFC 值，分別低約 3.17%和高約 1.01%左右，如表 3-1 所列。



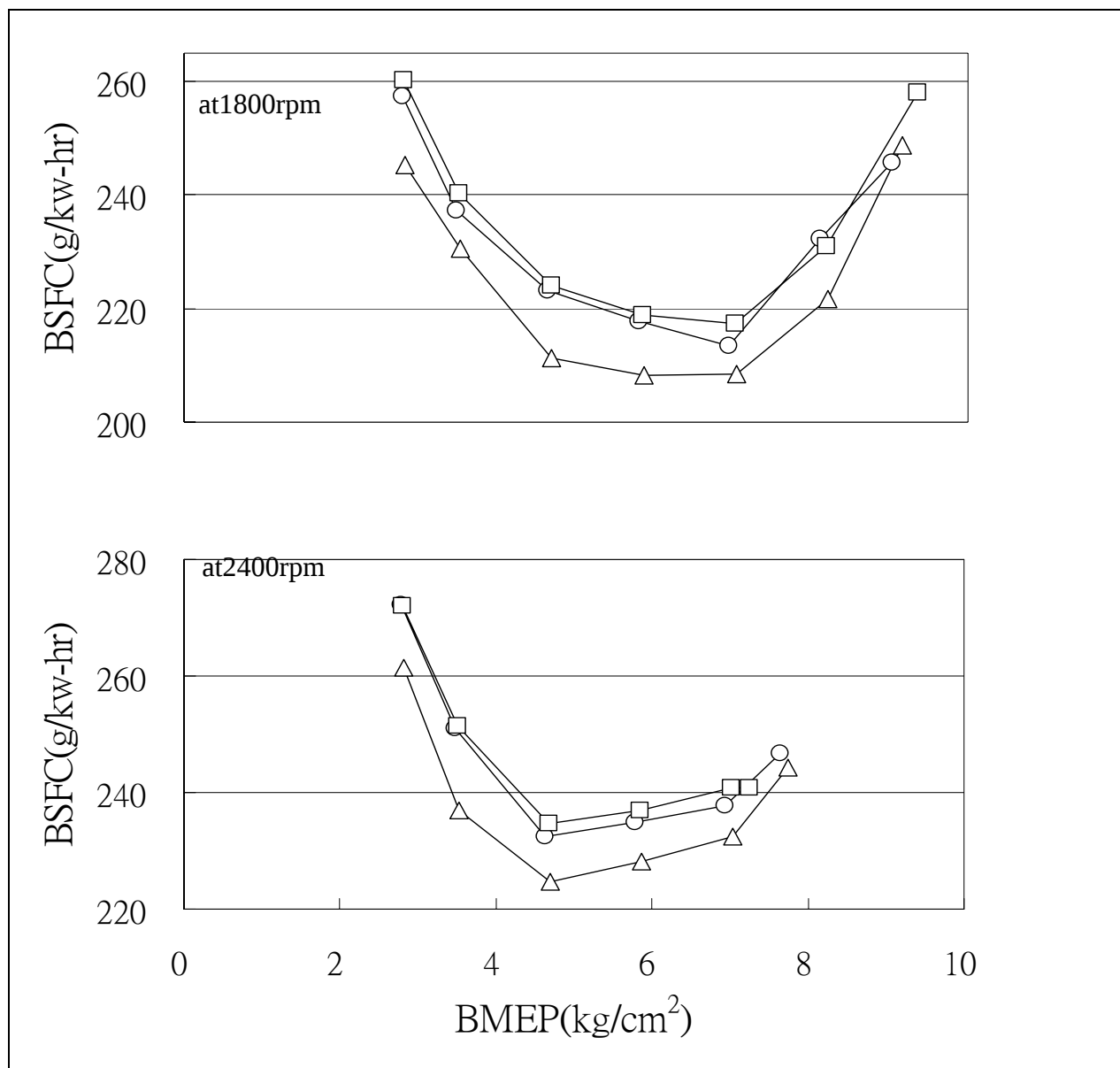


圖 3-1 各燃料噴射壓力之 BSFC 與 BMEP 的關係(資料來源：作者繪製)

表 3-1 三種燃料噴射壓力之 BSFC 的相差率(資料來源：作者繪製)

測試燃料 引擎轉速 引擎負荷	BSFC(g/kw-hr)平均值 (與 WOME20 ₂₀ 燃料相差率%)		
	WOME20 ₁₆	WOME20 ₂₀	WOME20 ₂₅
at 1200 rpm 各負荷	224.80 (-3.10%)	231.98	235.59 (+1.56%)
at 1800 rpm 各負荷	224.89 (-3.23%)	232.40	235.67 (+1.40%)
at 2400 rpm 各負荷	237.98 (-3.19%)	245.83	246.12 (+0.12%)
總平均值	229.22 (-3.17%)	236.74	239.13 (+1.01%)

(二)Smoke 濃度(黑煙)之比較

對於 WOME20 混合燃料在三種不同的燃料噴射壓力下之三種指定的引擎轉速 1200rpm、1800rpm 及 2400rpm 之各指定負荷下，BMEP 與 Smoke 濃度之皆佈關係，如圖 3-2 所示。經由比較圖中結果可發現，燃料噴射壓力較高的 WOME20₂₅ 有較高的 Smoke 濃度值，究此原因可能係由於燃料噴射壓力較高，以及生質柴油密度較高級柴油燃料高的特性所致，促使燃料噴射壓力再增加，使燃料噴霧油滴的貫穿力增強導致油滴碰觸附著在燃燒室壁上，造成燃燒不完全，因此使 Smoke 濃度值增加(Rosca、2005)。此外，由圖中三種不同燃料噴射壓力於三種引擎轉速之各負荷下，均可發現以燃料噴射壓力較低的 WOME20₁₆ 之 Smoke 濃度值較低，而 WOME20₂₀ 次之，WOME20₂₅ 較高。表 3-2 為三種不同燃料噴射壓力在三種引擎轉速之各負荷下燃燒後所產生之 Smoke 濃度值分析結果，由表中得知 WOME20₁₆ 和 WOME20₂₅ 就分別比 WOME20₂₀ 低約 3.64% 和高約 33.25%，如表 3-2 所列。

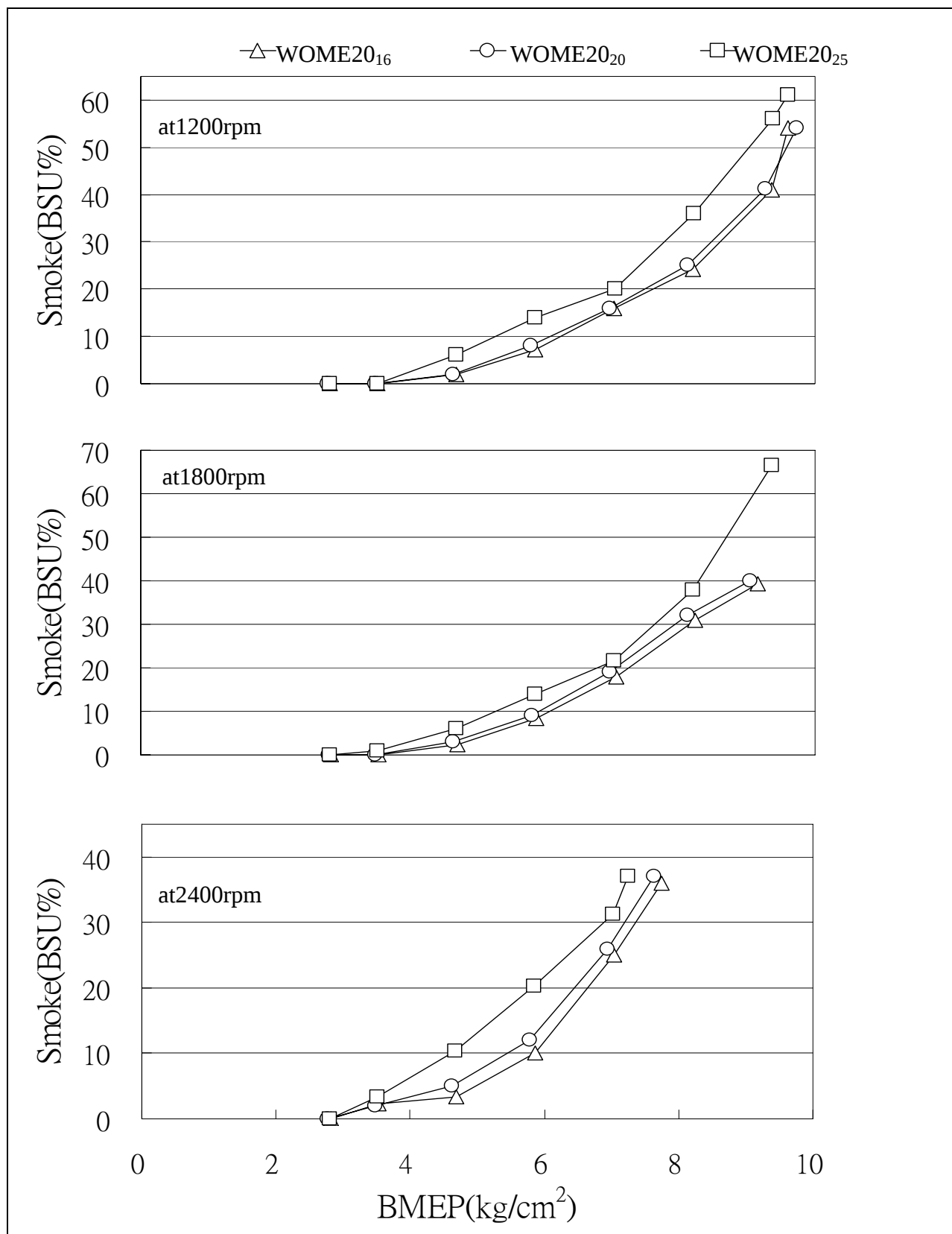


圖 3-2 各燃料噴射壓力之 Smoke 與 BMEP 的關係(資料來源：作者繪製)

表 3-2 三種燃料噴射壓力之 Smoke 濃度的相差率(資料來源：作者繪製)

測試燃料 引擎轉速 引擎負荷	Somke(%)濃度平均值 (與 WOME20 ₂₀ 燃料相差率%)		
	WOME20 ₁₆	WOME20 ₂₀	WOME20 ₂₅
at 1200 rpm 各負荷	18.08 (-1.16%)	18.29	24.13 (+31.92%)
at 1800 rpm 各負荷	14.13 (-3.98%)	14.71	21.03 (+42.91%)
at 2400 rpm 各負荷	12.77 (-6.59%)	13.67	17.03 (+24.63%)
總平均值	14.99 (-3.64%)	15.56	20.73 (+33.25%)

(三)碳氫化物(HC)濃度之比較

對於 WOME20 混合燃料使用三種不同之燃料噴射壓力在三種指定引擎轉速 1200rpm、1800rpm 和 2400rpm 時之各指定負荷下之實驗結果如圖 3-3 所示。由此三圖結果之比較得知 WOME20₂₅ 可能因燃料噴射壓力較高會使燃料噴霧碰撞及附著在燃燒室壁上，而造成過濃的混合氣無法燃燒完全，致使 HC 濃度值增加。在三種引擎轉速之各負荷下，燃料噴射壓力較高 WOME20₂₅ 皆有較高的 HC 濃度值，WOME20₂₀ 次之，而 WOME20₁₆ 的 HC 濃度值較低。此外若將 WOME20₁₆ 和 WOME20₂₅ 與原柴油引擎燃料噴射壓力 WOME20₂₀ 相互比較其 HC 濃度值的差異，則可得知 WOME20₁₆ 和 WOME20₂₅ 會分別低約 21.87%和高約 4.31%左右，其結果如表 3-3 所列。

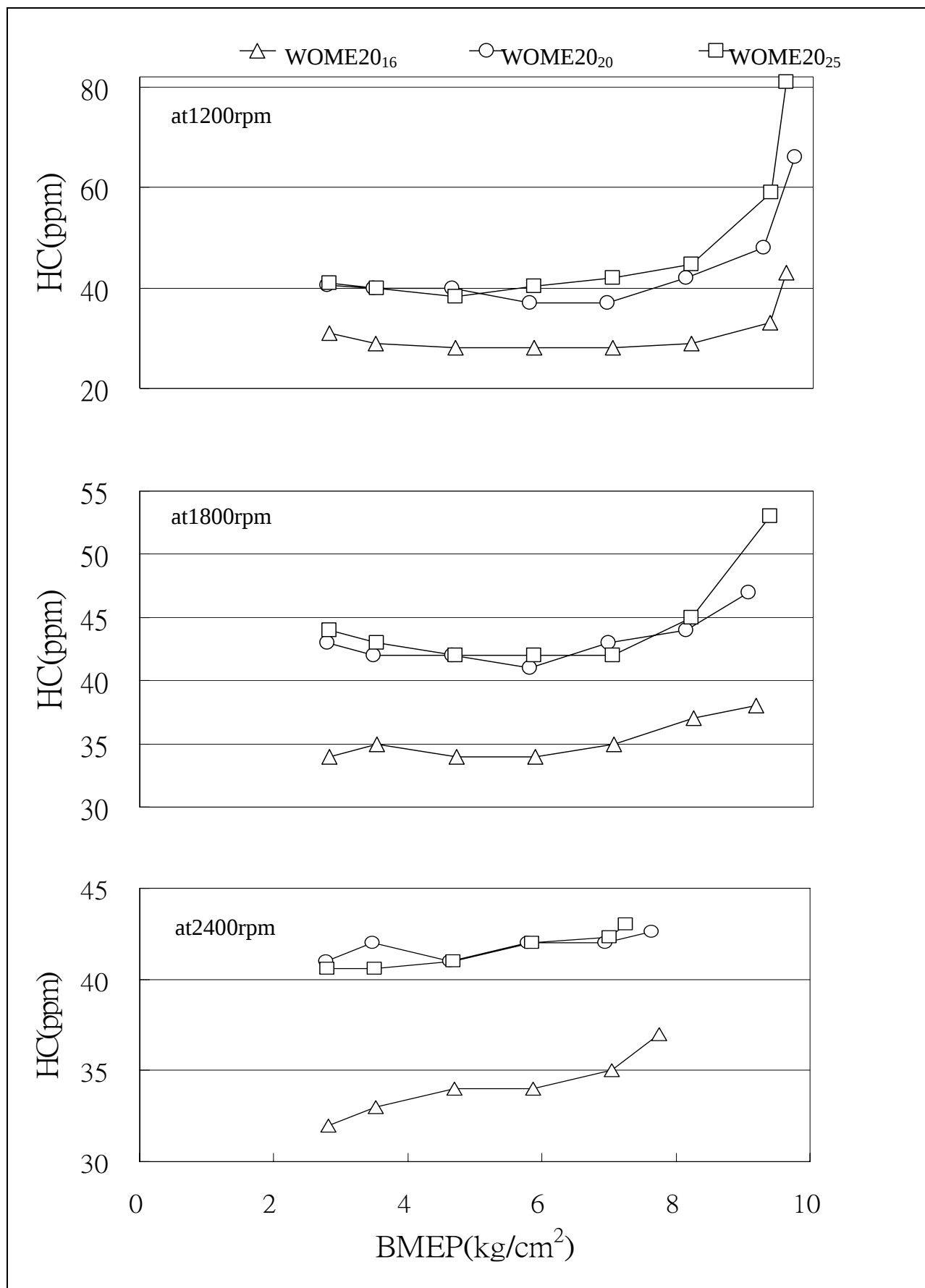


圖 3-3 各燃料噴射壓力之 HC 與 BMEP 的關係(資料來源：作者繪製)

表 3-3 三種燃料噴射壓力之 HC 濃度的相差率(資料來源：作者繪製)

測試燃料 引擎轉速 引擎負荷	HC(ppm)濃度平均值 (與 WOME20 ₂₀ 燃料相差率%)		
	WOME20 ₁₆	WOME20 ₂₀	WOME20 ₂₅
at 1200 rpm 各負荷	31.13 (-28.98%)	43.83	48.28 (+10.15%)
at 1800 rpm 各負荷	35.29 (-18.21%)	43.14	44.43 (+2.98%)
at 2400 rpm 各負荷	34.17 (-18.20%)	41.77	41.58 (-0.44%)
總平均值	33.53 (-21.87%)	42.91	44.76 (+4.31%)

四、結論與建議

(一)結論

國軍目前尚停留在使用柴油階段，對於生質柴油的使用尚未啟動開發；另外，生質柴油具有再生能源性質，且可直接使用，不必變更目前引擎的設計，引擎性能不損失，並可以延長柴油的使用年限及減少對空氣污染，由此可見，利用廢食用油製成生質柴油來紓解燃料能源的需求，是相當可行的方式，由實驗結果分析，本文大約可得到以下幾點結論：

1.生質柴油是無窮盡的可再生油，具備生物可分解性，能避免污染環境與石化柴油相容性良好，且安全性較石化柴油佳。

2.不需改變原引擎的設計和引擎改造的成本，在不影響引擎性能下，就能達成空氣品質改善，能使柴油引擎廢氣排放達到更嚴苛的第三期環保標準。

3.因生質柴油的密度較高級柴油高，促使燃料噴射壓力增加，在不改變原引擎設計下，使用燃料噴射壓力較低的 WOME20₁₆，在不影響引擎性能的要件下，能降低燃料噴油壓力，進而減少曲軸的驅動力及噴油泵機件摩耗，延長引擎使用壽命。

4.以美陸軍目前之研發計畫以 JP-8 燃料為研究重點為例，因其可供給直

昇機使用，亦可作為柴油引擎與燃氣渦輪機之燃料，由於通用性高利於簡化補給作業及具防火性，故美軍已考慮以 JP-8 燃料作為主要替代燃料，主要目的也是為提升軍用載具燃料經濟效益，與第三項結論不謀而合。

(二)建議

1.國內已開始推廣使用生質柴油的計畫，而國軍應響應政府推動生質柴油的使用，以減少對石化燃料的依賴，而且生質柴油的使用上可有效降低對空氣的污染及燃料的耗損率，雖然目前尚未訂定國家生質柴油的使用標準，但是此項能源替代計畫是一未來的潮流趨勢，故建議參考國內外生質柴油使用計畫，以滿足國軍未來建軍備戰之需求。

2.軍用柴油引擎由於任務特性、作戰環境、後勤補保等因素，而有其特殊性，然其基本構造、工作原理與商用引擎並無不同，加上各引擎製造商之市場考量，未來軍用引擎之發展趨勢，仍將以商民用引擎技術發展成果而調整其關鍵技術發展方向，兩者發展趨勢應為一致。

參考文獻

註釋

- [1] 陳介武，(2005)，「防制空氣污染面面觀-全球採用生質柴油，空氣清潔而保健康」生質能源應用與展望，第 7-8 頁。
- [2] 經濟部能源局，行政院農業委員會農糧署和工業技術研究院能源與資源研究所，(2005)，「推動國內生質燃料與能源作物論壇」會議資料。
- [3] 徐明璋，(2000)，生質柴油的製備及其在柴油引擎上的可行性研究，國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文，第 35-38 頁。
- [4] 生質柴油之製作過程，承德油脂股份有限公司，(2005)。
- [5] M. Alam, J. Song, R. Acharya, A. Boehman and K. Miller,(2004), “Combustion and Emissions Performance of Low Sulfur, Ultra Low Sulfur and Biodiesel Blends in a DI Diesel Engine,” SAE Technical Paper 2004-01-3024。
- [6] John B. Heywood. , (1988) , “ Internal Combustion Engine Fundamentals ”Mcgraw-Hill Book Company, P.491-P.510。
- [7] T. Basavaraja, R. P. Reddy and V. Swamy, (2005), “Effect of Injection Pressure on Emission Performance of Bio-diesel and its Blends,” SAE Paper 26-30。

參考資料

1. 梁乃文譯著，(1995)，「內燃機」(第二版)，文京圖書有限公司，P 223~229。
2. 周桂蘭，王振諧，張村品，吳榮華，李宏台，(2002)，「綠色能源-生質柴油國際發展現況」，能源季刊，第三十一卷，第一期，p 99。
3. 徐明璋，(2000)，生質柴油的製備及其在柴油引擎上的可行性研究，國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文。
4. 經濟部能源委員會，「新能源及潔淨能源研究開發規劃總報告」。
5. 吳友平，林雅芬，(2004)，「回收食用油轉製生質柴油之燃燒特性分析」，燃燒季刊，第一十三卷，第四期，p 11-18。
6. 承德油脂股份有限公司，(2005)，生物柴油（脂肪酸甲酯）。
7. 生質柴油之製作過程，承德油脂股份有限公司，(2005)。
8. 陳介武，(2005)，「防制空氣污染面面觀-全球採用生質柴油，空氣清潔而保健康」生質能源應用與展望。
9. 經濟部能源局，行政院農業委員會農糧署和工業技術研究院能源與資源研究所，(2005)，「推動國內生質燃料與能源作物論壇 會議資料」。

10. M. Alam, J. Song, R. Acharya, A. Boehman and K. Miller,(2004),
“Combustion and Emissions Performance of Low Sulfur, Ultra Low Sulfur
and Biodiesel Blends in a DI Diesel Engine,” SAE Technical Paper
2004-01-3024。
11. John B. Heywood. , (1988) , “ Internal Combustion Engine
Fundamentals ”Mcgraw-Hill Book Company, P.491-P.510。
12. T. Basavaraja, R. P. Reddy and V. Swamy, (2005), “Effect of Injection Pressure
on Emission Performance of Bio-diesel and its Blends,” SAE Paper 26-30。

作者簡介

王成堃，屏東縣人，民 63 年 11 月 22 日生。指職軍官 89-10 期、國立中興大學水土保持研究所碩士。曾任排長、保養官、副連長、教官，現任於陸軍工兵學校軍事工程組教官。