

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：出席國際會議)

「參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會」 出國報告

服務機關：中油公司煉製研究所

出國人職稱：機械工程師

姓名：謝進安

出國地區：美國

出國期間：91 年 5 月 18 日至 5 月 27 日

報告日期：91 年 8 月 16 日

「參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會」出國報告

摘要

此次奉派參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會，主要目的除了在於了解目前世界最新之磨潤技術開發應用、潤滑油品質、添加劑等之最新發展趨勢及應用技術，及與各地專家實地討論，並順道拜訪 Oronite 添加劑公司，以掌握各大油公司相關工業用潤滑油產品開發、配方發展資訊及最新趨勢。未來環保型潤滑油在經濟方面及環境親合力的規範方面將必須尋求一個平衡點，天然酯類應用上受到高溫及低溫的限制，作業條件較溫和；而合成酯類可應用於較高性能之液壓系統。因應未來齒輪油市場需求及齒輪系統應用的精進，齒輪系統應用上將趨向更高負荷、更高溫度、齒輪油具更長換油週期及更低價格，因此，齒輪油性能表現上亦將須有所改善提昇。

「參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會」出國報告

目次

一、 出國目的	1
二、 出國行程	1
三、 報告內容	1
(一) 參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會	2
1. 環保型液壓油	2
2. 工業齒輪油	8
(二) 拜訪 Oronite 公司	14
四、 心得與建議	16
五、 參考文獻	17

「參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會」出國報告

一、 出國目的：

此次奉派參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會，主要目的除了在於了解目前世界最新之磨潤技術開發應用、潤滑油品質、添加劑等之最新發展趨勢及應用技術，及與各地專家實地討論，並順道拜訪 Oronite 添加劑公司，以掌握各大油公司相關工業用潤滑油產品開發、配方發展資訊及最新趨勢。

二、 出國行程：

此次奉派出國時間自 91 年 5 月 18 日至 5 月 27 日共計 10 日，主要行程如下：

日期	地點	工作內容
91/5/18	台北 - 休士頓	啟程
91/5/19		
	休士頓	參加 2002 年 STLE 年會
91/5/23		
91/5/24		
	舊金山	拜訪 Oronite 公司
91/5/25		
91/5/26		
	舊金山 - 台北	返程
91/5/27		

三、 報告內容：

此次奉派參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會，並順道拜訪

Oronite 公司，了解目前世界最新之磨潤技術開發應用，及工業用潤滑油品質、添加劑等之最新發展趨勢及應用技術。以下報告即分別介紹此次參加年會及拜訪添加劑公司內容、心得建議。其中參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會報告，將以年會上所發表與工業潤滑油產品研發及性能有關之環保型液壓油及工業齒輪油等論文內容為主，包括產品趨勢、性能測試及添加劑技術等。茲將本次參加年會內容整理如下：

(一) 參加 2002 年 STLE 磨潤工程師學會年會

1. 環保型液壓油

各種用途使用過之潤滑油中，依德國統計，其中約 47% 為舊油收集起來、28% 於循環系統中損耗掉、6% 在引擎中燒掉、8% 於潤滑過程消耗掉、另 11% 由工廠自行處理掉。而由於環境污染的事實、公眾環保意識抬頭及政府法規限制等因素，使得潤滑油對環境的影響日益受到重視。

一般所稱環保型潤滑油通常包含下列要求：具快速生物分解性、對人體無毒性、對魚類無毒性及對細菌無毒性等。而其評估方式需要：生物分解性試驗及環境毒性試驗等。生物分解性試驗包括：水質試驗 CEC L 33-A-94 (針對舷外 2T 引擎機油或篩檢試驗) OECD 301 6-ASTM D 5864-ISO 9429 (水中 CO₂ 或 O₂ 量評估) 及土壤試驗 AFNOR method (CO₂ 釋放量)；環境毒性試驗包括：水生物毒性試驗 (OECD 201 及 203) 土壤毒性試驗 (OECD 207 及 208) 細菌毒性試驗 (ISO 10712) 及其他毒性試驗 (OECD 401、404、405 及 406) 等。而環保型潤滑油的簡單定義可以：水質危害等級 < 1 及具快速生物分解性，在德國潤滑油對水質的潛在危害以水質危害等級 (WKG) 區分，WKG 3：對水質非常危害、WKG 2：對水質有危害、WKG 1：對水質輕微危害，另非水質危害物質不再分類。一般潤滑基礎油對水質危害等級有，白

油 (DAB): WKG 1、礦物油 (<5% aromatics): WKG 1、礦物油 (>5% aromatics): WKG 2 礦物油(含潛在致癌物質): WKG 3、礦物油含添加劑 (not water miscible): WKG 2、礦物油含添加劑 (water miscible): WKG 3、 polyakylenglycols : WKG 1、 natural esters : 非水質危害物、 synthetic esters : 非水質危害物。

快速生物分解性潤滑油之基礎油可分成兩大類：水溶性基礎油及非水溶性基礎油。水溶性基礎油包含 polyglycols , PEG 不僅不具生態毒性且分子量 600-800 之 PEG 具快速生物分解性(>90% in 21 days), 同時具良好氧化穩定性、良好高溫及低溫特性、更具有良好混合潤滑特性, 惟其為水溶性與礦物油並不相容, 另與某些軸封材質亦可能不相容。非水溶性基礎油包括合成酯類及天然酯類, 合成酯類範圍相當廣, 可分成五類：mono esters、esters of dibasic acids、polyol esters、complex esters 及 glycerine esters 等。合成酯類的特性與其化學結構相關, 化學結構高度分支者：具優異低溫及低溫流動特性、高水解穩定性, 惟低 VI 及低生物分解性；結構線性度高者：具高 VI 及高生物分解性；結構飽和度低者：具優異低溫特性及有限氧化穩定性；結構飽和度高者：具優異氧化穩定性及高熔點。天然酯類潤滑油主要如：椰子油、橄欖油、葵花油、油菜子油等, 因通常含有非飽和酸, 其氧化穩定性較為有限, 非飽和程度越高, 其氧化穩定性就越差, 但可得較佳之低溫流動性。天然酯類亦可作為生產合成酯類之原料。

針對不同類型基礎油所作生物分解性試驗 (CEC-L-33-A-94) 結果顯示, polyethyleneglycols、某些合成酯及天然酯類其生物分解性較礦物油為佳, 惟除了化學結構影響生物分解性外, 某些因素亦會影響, 如黏度。低黏度礦物油及 PAO 其 CEC 生物分解性試驗可達 80%, 而氫裂礦物油之生物分解性較溶劑精煉礦物油為佳。分子量較低之 PEG 生物分解性亦較高分子量者為佳。另外必須注意不同生物分解性試驗其結果亦可能不同。

對環境毒性試驗而言，蔬菜油、合成酯通常都較礦物油為佳，另潤滑油使用過後其生態毒性特性通常會較劣化，其中以對蔬菜油的效應較不明顯，而合成酯及礦物油使用後之生態毒性劣化較為明顯。

各國及各機構對環保型產品各有其標示，例如，在德國有 RAL 機構頒示環保標章 'blue angel'，每次期限 3 年，欲獲得此標示需評估：產品生態毒性特性、產品性能、產品製程及設備等項。瑞典 SP 機構自 1997 年開始將推薦液壓油列入 the Eco-label for hydraulic fluids。在德國目前 VDMA 協會建立一套高性能環保型液壓油等級標準，預期未來可能成為 DIN 標準，其分類為，HTPG：polyethylene glycols 為基礎；HETG：以天然油脂為基礎如菜子油；HEES：以合成酯為基礎；HEPR：以 PAO 為基礎。以環保型液壓油而言，合成酯及天然酯組成之液壓油最受重視，而 polyglycol 則使用較少。

一般液壓系統所使用的液壓泵浦型式主要有：齒輪式、活葉式及活塞式等。這些泵浦的摩擦機構分別為，齒輪式：嚙合齒面及軸承；活葉式：活葉與轉子或定子的接觸面或接觸端及軸承；活塞式：活塞環及軸承。其中通常以活葉式對液壓油有最高之磨耗保護需求。液壓油至少需符合下列基本要求：以最少損耗傳輸動力、運動件間表面潤滑、金屬件之防腐蝕保護。

依據 DIN 51524 之高性能液壓油 (HLP) 需符合一些特性，如對金屬面磨耗及抓傷保護及氧化穩定性方面。在磨耗方面至少需符合 FZG (DIN 51354) 失敗負荷 10 級以上、活葉泵浦磨耗試驗 (DIN 51389) 環重量損失 < 120mg、活葉重量損失 < 30mg。而一般環保型液壓油在磨耗方面亦必須至少符合 HLP 的標準。氧化穩定性方面，DIN 51587 試驗方法係針對礦物油而訂，其他基礎油除 polyglycol 外並不適用。由於天然酯之氧化穩定性遠較礦物油

基為差，因此，天然酯組成之液壓油只適用於較低作業溫度，而合成酯類因具有較佳之氧化穩定性，因此，可適用於較高之作業溫度。所以，酯類液壓油之氧化穩定性試驗方法採 DIN 51554 與礦物油測試方法不同，而天然酯液壓油測試溫度較合成酯類為低，不同測試條件所得結果無法直接相互比較。

環保型液壓油與礦物油各項特性之比較如下表。其中可見在某些特性方面甚至超越礦物油基液壓油，如環境毒性、生物分解性、潤滑性及揮發性等方面。

	礦物油		PAO	PIO	Diesters	Polyol esters	菜子油
	石蠟基	VHVI					
低溫特性	4	4	6	6	6	10	2
高溫特性	2	4	10	8	8	6	4
VI	4	6	6	6	10	8	8
揮發性	2	4	6	6	6	10	6
潤滑性	4	4	2	2	8	8	8
添加劑溶解度	8	8	4	4	10	10	8
生物分解性	2	2	2	2	8	10	10
環境毒性	2	2	4	4	8	8	10

註：2 poor, 4 fair, 6 good, 8 very good, 10 excellent

液壓油為了要達到德國' blue angel' 環保標示，在基礎油組成、生物分解性、添加劑毒性及含量上尚需符合下列限制：需不含任何水質危害等級達 WGK 3 成份、基礎油生物分解性至少 80%、添加劑生物分解性至少 20%、高毒性添加劑物質含量<1mg/l、毒性添加劑物質含量<100mg/l 等。

德國 VDMA 高性能天然酯 (HETG) 及合成酯 (HEES) 液壓油規範雖尚未被標準化，其最低規範要求如下：

	HETG 22	HETG 32	HETG 46	HETG 68
黏度等級	ISO VG22	ISO VG32	ISO VG46	ISO VG68
黏度 @0 , min	300	420	780	1400
(cSt) 40 , max	24.2	35.2	50.6	74.8
min	19.8	28.8	41.4	61.2
100 ,min	4.1	5.0	6.1	7.8
流動點,	-	-	-	-
閃火點,	165	175	185	195
氧化穩定性,110 ,72h,黏度增加 % @40 , max	20	20	20	20
FZG, failure load,		10	10	10

min				
活葉泵磨耗試驗				
環, mg, max	120	120	120	120
活葉, mg, max	30	30	30	30

	HEES 22	HEES 32	HEES 46	HEES 68
黏度等級	ISO VG22	ISO VG32	ISO VG46	ISO VG68
黏度 @0 , min	300	420	780	1400
(cSt) 40 , max	24.2	35.2	50.6	74.8
min	19.8	28.8	41.4	61.2
100 ,min	4.1	5.0	6.1	7.8
流動點,	-21	-18	-15	-12
閃火點,	165	175	185	195
氧化穩定性,110 ,72h,黏度增加 % @40 , max	20	20	20	20
FZG, failure load, min		10	10	10

活葉泵磨耗試驗				
環, mg, max	120	120	120	120
活葉, mg, max	30	30	30	30

高性能合成酯液壓油已有相當多被使用在環境敏感度較高的地方，如建築工程機械設備、伐木器械等處，有經驗顯示其性能與礦物油基液壓油相當；而菜子油液壓油亦有使用於農耕及伐木業等方面，經驗顯示其作業時間雖然可達礦物油的水準，惟其作業溫度需保持在相當低的水平約 55-70 左右，因此，所受負荷需較低且油箱油量需較大。

為了保護我們所生活的環境，具環境親和力的潤滑油的使用未來將益行重要，公眾環保意識的抬頭及政府立法限制將更強化此種趨勢。潤滑油的環境方面議題重點將強調在對健康的危害及對水質的危害方面。除了要滿足技術規範方面的要求外，毒物方面及工業醫藥方面的知識將對環保型潤滑油的添加劑配方技術有重要影響。未來環保型潤滑油在經濟方面及環境親合力的規範方面將必須尋求一個平衡點，當然，在毒性、健康危害及生態保護方面有疑慮的潤滑油產品將勢必漸被排除應用。天然酯類如菜子油由於受到高溫及低溫應用的限制，其液壓系統實機應用將以一次潤滑（loss lubrication）方式為主，且作業條件較溫和；而合成酯類將以循環潤滑（circulation lubrication）為主，且可應用於較高性能之液壓系統；至於 polyglycol 作為液壓油用途之重要性則相對較低。

2. 工業齒輪油

齒輪設計上需考慮項目包含：齒輪幾何形狀、齒輪運動及力學、材質、熱處理、製造方法、潤滑劑及潤滑特性、環境因素等。

其中潤滑油的選擇及潤滑應用之重要性不亞於材質及熱處理的選擇。

齒輪的破損型態依 AGMA (American Gear Manufacturers Association)分類可分成 20 種破損型態，歸納為幾大項：磨損、表面疲勞、塑性流及斷裂等。又或者可大致區分為非與潤滑相關之破損及與潤滑相關之破損，前者包括過負荷及彎曲疲勞，後者則包括赫茲應力疲勞(Hertz fatigue，或孔蝕(pitting))、磨損(wear)及抓傷(scuffing)等。孔蝕及抓傷會導致齒面惡化並產生振動負荷，進而造成嚙合齒彎曲疲勞而破壞，而孔蝕及抓傷都是與潤滑相關之破損。

孔蝕是齒輪齒面常發現的破損型態，這是由於齒面上高赫茲應力及週期負荷之故。如欲延長齒輪組孔蝕壽命，就需保持齒面承受較低接觸應力，並使用較高強度材質及採用較高潤滑油比油膜厚度。調整齒面幾何型態，如直徑、齒寬、齒數及壓力角等可改善齒面接觸應力；合金材質及表面熱處理的選用可得較高齒面強度及硬度，齒面滲碳處理可得較硬表面，因此，有較佳之防孔蝕保護，惟其較昂貴且表面須經研磨；適當潤滑比油膜厚度的選擇需考慮齒面彈液動潤滑(elasto-hydrodynamic lubrication)模式，一般建議包括選用正確黏度及高壓力 - 黏度係數之適當冷卻及乾淨之適量潤滑油。

齒輪組的磨損主要包括：黏附、刮損及拋光等。一般中度黏附磨損指齒面氧化層及磨合期時的磨損，另許多齒輪組由於實際作業限制，必須在邊界潤滑的條件下作業，而使磨耗無可避免，尤其是在高負荷及低速 ($<30\text{m/min}$) 作業條件下。一般使用高黏度潤滑油對低速黏附磨損最為有效，亦可大幅降低磨耗率，而硫磷添加劑對於非常低速 ($<3\text{m/min}$) 齒輪反而不利，會有較高磨耗率。刮損通常由潤滑油污染物中之堅硬粒子所造成，因此潤滑

系統必須注意維護及定期監測滑油粒子以保持系統之乾淨，循環潤滑系統中使用約 3 micro m 過濾器可大幅提昇齒輪壽命，而油浴式齒輪組正常作業下至少約 2500h 或半年應更換潤滑油，對於較重要系統則應進行定期監測，如磨屑鐵相分析及滑油分析以確保滑油品質。另外，若潤滑油中之極壓添加劑活性太高，則可能導致齒面拋光。

抓傷 (scuffing) 系由於相對運動之齒面接觸點局部產生熔接並撕裂所造成，通常發生於邊界潤滑區域。抓傷很可能發生於新齒輪磨合初期，因此，通常新齒輪剛開始運轉之前 10h 應以半負荷運轉。Blok's 臨界溫度理論應是預測抓傷最好的理論之一，其認為當齒面最大接觸溫度達到某個臨界值時即會發生抓傷。不管作業條件如何，不含極壓添加劑之礦物油其臨界抓傷溫度為常數，此數值隨黏度增高而升高，大約介於 150-300 ；而合成油及含極壓添加劑之礦物油其臨界抓傷溫度為非常數，必須由模擬接近實際作業條件之試驗所獲得。一般極壓添加劑可藉由在金屬表面產生固態膜而防止抓傷的發生，如硫化鐵及磷化鐵具有較高之熔點，當齒面接觸溫度高時其添加劑反應率亦變高。使用高黏度潤滑油或齒面較光滑可以提昇油膜厚度，進而降低齒面摩擦熱，降低接觸溫度，可降低抓傷發生的機會。另適當冷卻潤滑油亦有類似效果。

Blok's 接觸溫度理論認為，當嚙合齒面於邊界潤滑作業條件下相互滑動時，其最大接觸溫度達到某個臨界值時即會發生抓傷。接觸溫度可以表示為 bulk 溫度及 flash 溫度之和。bulk 溫度為齒面進入嚙合區前的表面平衡溫度，在某些情況此溫度可能會較供油溫度高許多；而 flash 溫度為齒面經由嚙合過程時由於摩擦熱所產生接觸點局部且瞬時的溫度升，flash 溫度可以依 AGMA 2001-B88 公式計算，與摩擦係數、赫茲接觸應力及接觸寬度、熱接觸係數 (熱傳導係數、比熱等) 等有關。不含極壓添加劑或含

低濃度極壓添加劑之礦物油其臨界抓傷溫度為常數，此數值通常只隨黏度增高而升高，當然，含低濃度極壓添加劑之礦物油其臨界抓傷溫度要較不含極壓添加劑者為高。合成油通常配合使用滲碳硬化齒輪組，其臨界抓傷溫度為非常數，必須由模擬接近實際作業條件之試驗所獲得，含較高濃度極壓添加劑之礦物油其臨界抓傷溫度與作業條件之間的關係則仍有待進一步驗證，惟必須注意試驗結果與實際作業結果間的差異。

一般齒輪油之黏度標準有：SAE 標準、ISO 標準及 AGMA 標準。工業齒輪油黏度通常依據 ISO 工業用油黏度等級分類，或美國齒輪製造商協會 (AGMA) 齒輪油黏度等級分類如下表。SAE 齒輪油黏度分類標準如 SAE 90、SAE 140 等，專用於車輛變速及傳動齒輪系統。齒輪潤滑之推薦黏度與溫度、速度、負荷、齒輪型式及潤滑應用方法有關。高溫、低速、高負荷或撥濺潤滑 (splash) 需較高黏度；低溫、高速、低負荷或壓力潤滑 (pressure) 可用較低黏度。撥濺潤滑時，油需附著於齒上而被帶至嚙合齒面，故較黏油較易附著其上。壓力潤滑時，油被泵起並直接噴在一或多個嚙合齒面上，以確保有足夠油潤滑故可用較低黏度油。

R&O 齒輪油	EP 齒輪油	SUS@100	cSt@40	ISO VG
1	1EP	193-235	41.4-50.6	46
2	2EP	284-347	61.2-70.8	68
3	3EP	416-510	90-110	100
4	4EP	626-765	135-165	150
5	5EP	918-1122	198-242	220

6	6EP	1335-1632	288-352	320
7 comp	7EP	1919-2346	414-505	460
8comp	8EP	2837-3467	612-748	680
8A comp	8A EP	4171-5098	900-1000	1000

工業齒輪油品質及性能尚無國際通用品質標準分類，僅由 AGMA 及大用戶如美鋼公司(US Steel Corp.)等訂有品質規範如下表。車輛用齒輪油依其作業嚴重度，則有 API 作業性能分類為：GL-1、GL-2、GL-3、GL-4 及 GL-5 等。車廠可能依其需要而自訂外加的性能要求。而影響齒輪油及選用正確潤滑油的主要因素，包括：齒輪型式、齒輪轉速、減速比、運轉溫度、負荷大小、負荷性質及給油方法等。

試驗方法	R&O 油	極壓齒輪油
黏度, ASTM D88	AGMA 黏度等級	AGMA 黏度等級
黏度指數, min.	90	90
氧化穩定性, ASTM D943, hr, min.	1500 (AGMA 1,2) 750 (AGMA 3,4) 500 (AGMA 5,6)	
ASTM D2893, 黏度增加		10

% @ 100 , max.		
防銹性, ASTM D665, pass	B 法	A 法
防腐蝕性, ASTM D130	#1/120	#1/100
消泡性,ASTM D892, ml,max.	75-10	75-10
解乳化性, ASTM D2711	0.5% (max.)-2.0ml (max.)-30.0 (min.)	1.0% (max.)-2.0ml (max.)-60 (min.)
清潔度	不含污物及沈澱	不含污物及沈澱
極壓性, ASTM D2782, Timken OK load, lb, min. DIN 51-354 FZG, 級數, min.		60 11
添加劑, 25 micro m 過濾		EP 添加劑不失

正齒輪齒面上，兼具滾動與滑動運動，但油膜較易形成，又難擠失，一般使用普通齒輪油或純礦性潤滑油，只要黏度適當，品質優良，即可達成良好之潤滑效果。其他如螺旋齒輪、斜齒輪等情形亦同。蝸齒輪嚙合時，齒面上之滑動作用亦大，而且油膜易被擠散，故應採用對金屬表面黏著力極強之潤滑油。一般以複合型汽缸油較為理想。蝸齒輪箱用油，至少每年應換新一次，同時以低黏度機油沖刷潤滑系統，如運轉溫度較高，則應縮短換油週期。螺旋斜齒輪在運轉時，與蝸齒輪之作用極為相似，齒面間之滑動及擠散油膜之作用亦強。又由於此種齒輪傳導動力時，每齒面上均為點之接觸，故只能適用於低負荷之運轉。其特點為運轉平穩而無聲，而且不受齒輪軸心距離遠近之限制。此外，對線

雖稍欠準確，其影響不如蝸齒輪之嚴重。低負荷、低溫者，螺旋斜齒輪可用普通齒輪油潤滑；如果負荷較高，應採用多效齒輪油或極壓潤滑油潤滑。

（二）拜訪 Oronite 公司

討論有關工業用齒輪油之現況、未來發展趨勢及經驗交流，了解目前最新之齒輪油技術開發應用情形，包括產品趨勢、性能測試及添加劑技術等。

目前全球工業用齒輪油（不含車輛用齒輪油）市場據估計每年約消耗 747,000MT，其中亞太地區約佔 25%、北美地區約佔 23%、拉丁美洲地區約佔 12%、歐洲/中東/非洲地區約佔 40%。而亞太地區中，日本約佔了 23%、中國大陸約佔 20%、印度約佔 14%、南韓約佔 9%、台灣、印尼、澳洲及香港各約佔了 6%。

因應未來齒輪油市場需求及齒輪系統應用的精進，齒輪系統應用上將趨向更高負荷、更高溫度、齒輪油具更長換油週期及更低價格，因此，齒輪油性能表現上亦將須有所改善提昇。首先，因應齒輪系統承受更高負荷之要求，使得齒輪微孔蝕（micro-pitting）磨損的情形更常發現，因此，將導致某些製造商對齒輪油要求具抗微孔蝕的能力。另外，實務上使用者對油品簡化的要求，亦將使一種齒輪油應用於多種設備，使得對齒輪油性能要求將更為嚴苛。由於更高功率輸出密度的要求，將使作業溫度逐步提高，進而考驗齒輪油的氧化穩定性、熱穩定性及清潔度，而合成油的使用亦將會有進一步的需求。在某些場合，更長換油週期有其需求，使得齒輪油性能更面臨耐久性的要求，這也使合成油的應用更有機會。另外，延長使用週期後潤滑油使用中之污染物也可能增加，使得齒輪油在污染物環境中的性能亦同樣受到重視。使用者持續要求高品質、卻低價格齒輪油的壓力亦將衝擊齒輪油的開發。

因此，除了一般極壓型齒輪油強調的重負荷極壓特性、承載負荷能力、防銹、防腐蝕及抗氧化等性能之外，一種更高性能、高品級強調熱穩定性能及清潔度的極壓齒輪油，應更能符合嚴苛作業的需

求，如用於油霧給油潤滑系統或高溫環境中作業之齒輪油。而更進一步強調耐久性如高溫極壓保護、延長換油週期、極壓耐久性、消泡性能更持久之更高品級齒輪油，亦是齒輪油為因應未來更嚴苛作業條件所可能開發的方向。

四、心得與建議

1. 本公司於國內石油業界向居於領導地位，各項技術及資訊自勢必與世界石油界發展接軌，此次參加世界級的 STLE 磨潤工程師學會，難得與來自世界各大石油公司、添加劑公司、知名大學、研究機構的研究人員及學者共處一處，一同討論專業問題，並互相分享彼此心得與經驗，補充在工作崗位上的新動力，對知識的擷取及未來工作執行應更有助益。

2. 實地體驗世界級石油公司的研發實力及研究人員的工作態度，對未來工作更有啟發。

3. 公眾環保意識的抬頭及政府立法限制，使具環境親和力的潤滑油的使用將益行重要，潤滑油的環境方面議題重點將強調在對健康的危害及對水質的危害方面。除了要滿足技術規範方面的要求外，毒物方面及工業醫藥方面的知識將對環保型潤滑油的添加劑配方技術有重要影響。

4. 未來環保型潤滑油在經濟方面及環境親合力的規範方面將必須尋求一個平衡點，當然，在毒性、健康危害及生態保護方面有疑慮的潤滑油產品將勢必漸被排除應用。

5. 天然酯類如菜子油由於受到高溫及低溫應用的限制，其液壓系統實機應用將以一次潤滑方式為主，且作業條件較溫和；而合成酯類將以循環潤滑為主，且可應用於較高性能之液壓系統；至於 polyglycol 作為液壓油用途之重要性則相對較低。

6. 因應未來齒輪油市場需求及齒輪系統應用的精進，齒輪系統應用上將趨向更高負荷、更高溫度、齒輪油具更長換油週期及更低價格，因此，齒輪油性能表現上亦將須有所改善提昇。

五、參考文獻：

3. Bair, S., and Qureshi, F., ‘ Accurate Measurements of Pressure-Viscosity Behavior in Lubricants’ , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
4. Bair, S., Vergne, P., and Marchetti, M., ‘ The Effect of Shear-Thinning on Film Thickness for Space Lubricants’ , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
5. Bartz, W. J., ‘ Environmentally Acceptable Hydraulic Oils-Part I: Environmental Aspects and Acceptable Base Oils’ , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
6. Bartz, W. J., ‘ Environmentally Acceptable Hydraulic Oils-Part II: Tribological Properties and Practical Experience’ , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
7. Bormetti, E., Donzella, G, and Mazzu, A., ‘ Surface and Subsurface Cracks in Rolling Contact Fatigue of Hardened Components’ , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
8. Branagan, L. A., ‘ Static and Dynamic Characteristics of Highly-Tilted, Isothermal Hydrostatic Films’ , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
9. Brockwell, K., Dmochowaki, W., and DeCamillo, S., ‘ Effect of Oil Flowrate on the Steady-State Performance of Pivoted Shoe Journal Bearings’ , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
10. Chun, S. M., and Ha, D. H., ‘ The Effect of Aerated Oil

Considering Live Surface Tension on High-Speed Journal Bearing', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

11. Cioc, C., Cioc, S., Kahraman, A., and Keith, T., 'A Deterministic Elastohydrodynamic Lubrication Model of High –Speed Transmission Components', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

12. Cioc, S., Dimofte, F., and Jr. Keith, T. G., 'Computation of Pressurized Gas Bearings Using CE/SE Method', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

13. DeChiffre, L., and Belluco, W., 'Investigation of Cutting Fluid Performance Using Different Machining Operations', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

14. Etison, I., and Helperin, G., 'A Laser Surface Textured Hydrostatic Mechanical Seal', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

15. Ezugwu, E. O., Okeke, C. I., and Davor M., 'Effect of Coolant Type and Concentration in High Speed Machining of Aerospace Steel', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

16. Fang, J., Lacey, P., Pozebanchuk, M., and Gonsel, S., 'Measurement of Lubricant Quality Using Liquid Chromatography with Electrochemical Detection', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

17. Green, I, 'A Transient Dynamic Analysis of Mechanical Seals Including Asperity Contact and Face Deformation', STLE 57th

Annual Meeting, May, 2002.

18. Guichelaar, P., Etsion, I., Pride, S., and Folkert, K., 'Effect of Micro-Surface Texturing on Breakaway Torque and Blister Formation on Carbon-Graphite Faces in a Mechanical Seal', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
19. Guo, F., Wong, P. L., Yang, P., and Yagi, K., 'Film Formation in EHL Point Contacts Under ZEV Conditions', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
20. Houpert, L., 'Ball Bearing and Tapered Roller Bearing Torque: Analytical, Numerical and Experimental Results', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
21. Houpert, L., 'An Engineering Approach to Confidence Intervals and Endurance Test Strategies', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
22. Kauffman, R. E., and Ameye, J., 'Combining On-Site and On-Line Voltammetric Analyses to Better Understand the Different Degradation Mechanisms of Industrial Lubricants and Equipment-Part I : Joint Strike Fighter Engine', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
23. Kauffman, R. E., Wolf, J. D., and Moyer, S. C., 'Combining On-Site and On-Line Voltammetric Analyses to Better Understand the Different Degradation Mechanisms of Industrial Lubricants and Equipment-Part II : HMMWV Diesel Engine', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

24. Lu, Y., and Wright, M. A., 'Friction Transitions in Graphite/Binder Two Phase Composites', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
25. Ma, Z., Henein, N. A., Bryzik, W., and Glidewell, J., 'Cylinder Liner Surface Analysis During SI Engine Break-In', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
26. Molina, G. J., Furey, M. J., Ritter, A. L., and Kajdaz, C., 'Measurement of Triboemitted Charged Particle from Ceramics and Their General Significance in Tribology', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
27. Moraru, L., Keith, T., Dimofte, F., and Fleming, D. P., 'Dynamic Modeling of a Dual Clearance Squeeze Film Damper-Part I: Test Rig and Dynamic Model', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
28. Nelias, D., and Jimenez, A. T., 'A Simplified Model to Study EHL Film Collapse During Rapid Halting Motion', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
29. Ohba, H., Matsuyama, S., and Yamamoto, T., 'Effect of Shot Peening Treatment on Rolling Contact Fatigue Properties of Austempered Ductile Iron', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
30. Passman, F. J., and Rossmore, H. W., 'Reassessing the Health Risks Associated with Employee Exposure to Metalworking Fluid Microbes', STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
31. Rao, T. V. V. L. N., and Sawicki, J. T., 'Linear Stability Analysis

for a Hydrodynamic Journal Bearing Considering Cavitation Effects' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

32. Rivero-Diaz, I. V., and Ruud, C. O., ' Residual Stresses Patterns in 52100 Bearing Steel : Strain Hardening vs. Microstructural Transformation' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
33. Ryk, G., Kligerman, Y., and Etsion, I., ' Experimental Investigation of Laser Surface Texturing for Reciprocating Automotive Components' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
34. Salant, R. F., and Shen, D., ' Hydrodynamic Effects of Shaft Surface Finish on Lip Seal Operation' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
35. Sharma, S. C., Nagaraju, T., and Jain, S. C., ' Combined Influence of Journal Misalignment and Surface Roughness on the Performance of an Orifice Compensated Non-Recessed Hybrid Journal Bearing' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
36. Tang, C. F., and Lu, Y., ' Optimization of an Industrial Friction Material Formulation' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
37. Taylor, L. J., and Spikes, H. A., ' The Influence of ZDDP Antiwear Films on EHD Film Formation and Friction' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
38. Trulsson, U., ' A Case Study of Technical and Operator Acceptability Data Comparing A Mineral and a Natural Oil-Based Lubricant in a Metalworking Operation' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

39. Tung, S. C., and Gao, H., 'Tribological Investigation of Piston Ring Coatings Operating in an Alternative Fuel and Engine Oil Blend' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
40. Ventura, M., O' Donnell, A., Zygmunt, L., Porter, B., Steiger, G., and Brinkman, D., ' Effects of Cross-Flow Filtration and Tramp Oil Removal on the Components and Performance Properties of Metalworking Fluid' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
41. Vlcek, B. L., Hendricks, R. C., Zaretsky, E. V., and Savage, M., ' Comparative Fatigue Lives of Rubber and PVC Wiper Cylindrical Coatings' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
42. Wang, P., Jr. Keith, T. G., and Vaidyanathan, K., ' A Numerical Investigation of Cavitation Erosion/Peeling Effects on the Performance of Journal Bearings Subjected to Dynamic Loading' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
43. Wang, X., Kato, K., and Adachi, K., ' The Lubrication Effect of Micro-Pits on Parallel Sliding Faces of SiC in Water' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
44. Yamaguchi, E. S., Roby, S. H., Francisco, M. M., and Ruelas, S. G., ' Antiwear Film Formation by ZnDTP, Detergent, and Dispersant Components of Passenger Car Motor Oils' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
45. Yoshizaki, M., Hashimoto, T., and Kasamatsu, C., ' Effect of Abnormal Surface Layer on Tooth Surface Strength Increase of Gas Carburized Gears' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.

46. Zhu, D., 'Elastohydrodynamic Lubrication in Extended Parameter Ranges-Part I: Speed Effect' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.
47. Zou, Q., Liu, X., Meng Y., and Wen, S., ' Study of Flowing Characteristics of the Lubricant in Spiral Groove Bearings by Fluorescent Method' , STLE 57th Annual Meeting, May, 2002.