

## برای دوده بیشتر در روغن موتور آماده شوید

آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) به اتخاذ و اجرای سیاست‌های سختگیرانه‌تر در مورد اکسیداسیون نیتروژن (NOx) و انتشار هیدروکربن موتورهای دیزلی سنگین مورد استفاده در کامیون‌ها و اتوبوس‌ها ادامه می‌دهد.

سیاست‌های زیست‌محیطی جدید که بر افزایش تداوم فشار بر انتشار دوده موتور معطوف شده است، خبرهای خوبی برای محیط‌زیست، اما خبر بدی برای روان‌کننده‌ها است. دوده باید به جایی غیر از محیط زیست (هوا) تخلیه شود. از آنجایی که رها کردن آن به هوا با بیماری‌های تنفسی مرتبط است، روان‌کننده باید به عنوان "سطل زباله" سیستم جمع‌آوری دوده تولید شده در طی عملیات احتراق عمل کند.

با توجه به اولویت مشخص و بلامنزاع حفاظت از کیفیت هوا و سلامت انسان، ما در کسب و کار مدیریت روانکاری باید مطمئن شویم که تأثیر این قانون جدید بر عملکرد موتور به حداقل می‌رسد. سازندگان بزرگ موتور خودروها یکی از دلایل عمده خرابی موتور را رسوب دوده و "لجن سیاه" می‌دانند.

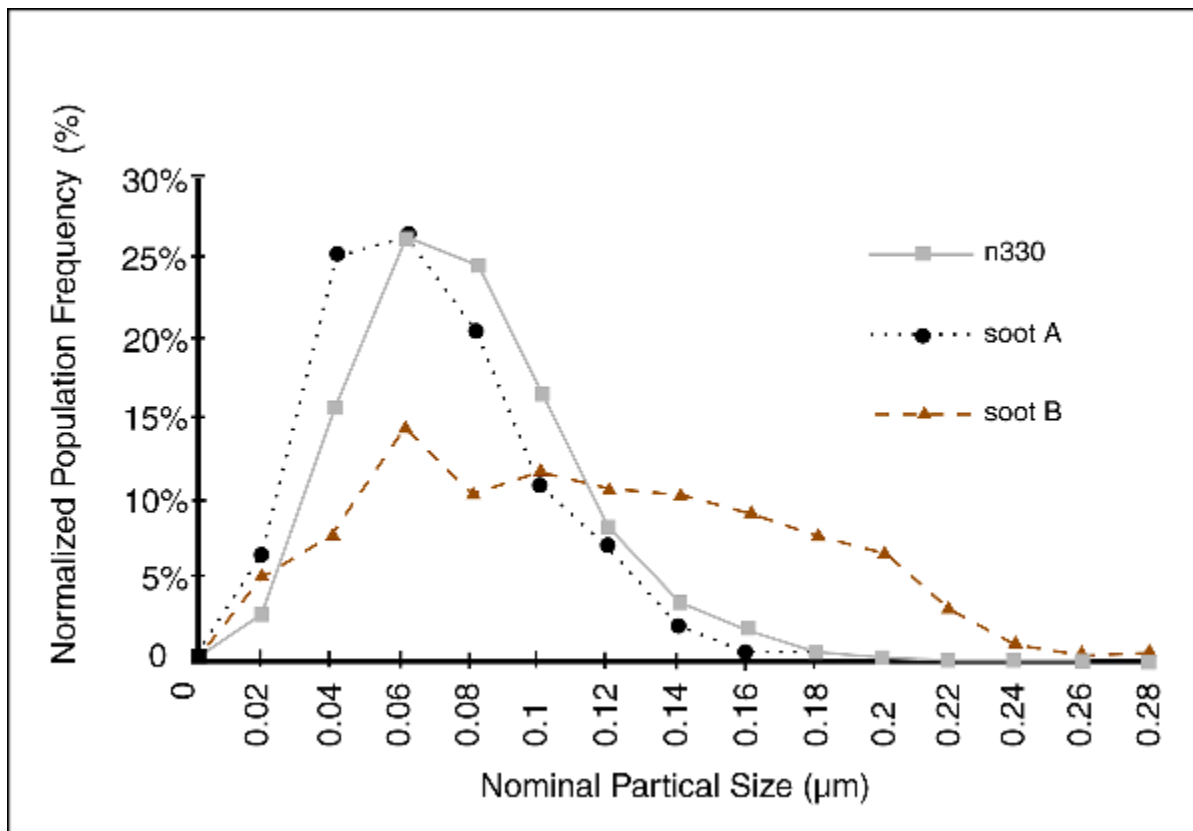
ما در آنالیز روغن باید تلاش کنیم اطلاعات مناسبی ارائه دهیم تا بتوانیم تصمیمات خوب و مطمئنی بگیریم و اطمینان حاصل کنیم که این آسیب مهم در عملکرد مطمئن موتور کنترل می‌شود.

برای موتورهای مدل ۲۰۰۴ و بعد از آن، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده EPA استانداردهای جدید سختی را برای کاهش انتشار NOx تا ۵۰ درصد در مقایسه با موتورهای مدل ۱۹۹۸ اعمال کرده است. EPA انتظار دارد که استانداردهای جدید پیش‌نشانگر، ازن را به میزان ۱.۱ میلیون تن در سال کاهش دهد، باران اسیدی و ذرات معلق را تا حدود ۴۳۰۰۰ تن در سال کاهش دهد.

در مجموع، این قانون به طور قابل ملاحظه‌ای آلاینده‌هایی را که تصور می‌شود باعث ایجاد یا تشدید اثرات طیف وسیعی از مشکلات سلامت ریوی و تنفسی می‌شوند، کاهش می‌دهد.

دوده که ۹۸ درصد از وزن کربن را تشکیل می‌دهد، در طی فرآیند احتراق تشکیل می‌شود و با دمیدن گاز حاصل از احتراق وارد موتور می‌شود. ذرات دوده شکل تقریباً کروی دارند و در محدوده اندازه ۰.۰۱ تا ۰.۰۵ میکرون قرار می‌گیرند، اما تمایل به تجمع و تشکیل ذرات بزرگ‌تر دارند.

تحقیقات در مورد ذرات دوده نشان می‌دهد که معمولاً توزیع اندازه در طول عملیات متفاوت است، اما به دلیل وجود حجم بالای ذرات کوچک به طور متوسط معمولاً حدود ۰.۰۷۸ میکرون هستند. دوده تولید شده در هنگام احتراق از طریق سیستم اگزوز موتور خارج می‌شود.



مقررات اخير در مورد محدود كردن انتشار NOx و دوده، منجر به استفاده از باز چرخاني مجدد گازهاي خروجي (EGR) شده است. برخي از توليدكنندگان موتورهاي ديزل توافقنامه‌اي را با EPA مبني بر معرفي فناوري جديد كنترل انتشار گازهاي خروجي EGR براي جلوگيري از انتشار گازهاي گلخانه‌اي تا اكتوبر سال ۲۰۰۲ امضاء کرده‌اند.

EGR اساساً انتشار گازهاي گلخانه‌اي را به محفظه احتراق باز مي گرداند و فرصتي چند گذري براي ورود دوده به روان كننده ايجاد مي كند. يك دريچه EGR مقدار گاز خروجي را تنظيم مي كند. در حالت خلاص، حدود ۷۰ درصد از گازهاي خروجي در حال چرخش مجدد است، در حالي كه تنها حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد در بارگذاري كامل Full Load به چرخش در مي آيد.

در حالي كه EGR به طور موثر انتشار NOx و دوده را در اتمسفر کاهش مي دهد، مي توان انتظار داشت كه مقدار دوده در روغن به طور چشمگيري افزايش يابد و باعث افزايش دما و گرانروي، مصرف ماده افزودني پراكنده كننده، ايجاد دوده، رسوب و سايش شود.

برای مقابله با تأثیر مقررات EPA بر روانکارهای موتور، زمان چرخه بین ارتقاء سطح کیفیت روغنهای موتور در حال کوتاه شدن است. API CH-4، جدیدترین ارتقاء کیفیت روانکار برای موتورهای دیزلی سنگین چهار زمانه کنترل شده با آلایندگی، در ۱ دسامبر ۱۹۹۸، تنها چهار سال پس از API CG-4، سلف خود، اعمال شد.

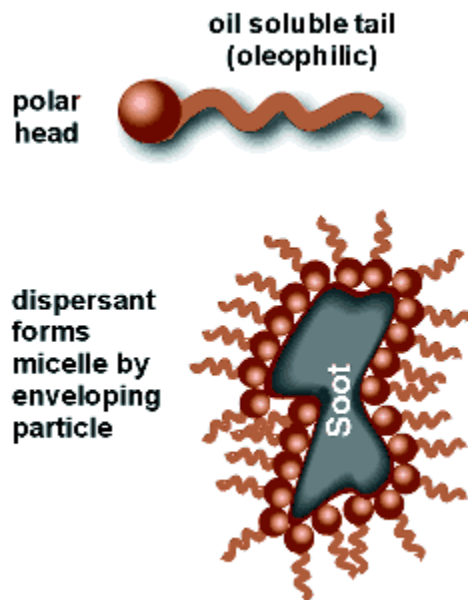
تولیدکنندگان موتور قبلاً رده پیشنهادی (PC-9) را برای صدور مجوز در ژانویه ۲۰۰۲ درخواست کرده بودند، که انتشار برنامه‌ریزی شده قبلی در سال ۲۰۰۴ را تسریع کرده و چرخه را به سه سال کاهش داده بود. چالشی که سازندگان روانکار با آن روبرو بودند، اختلاف نظر بین سازندگان موتور در مورد تست عملکردی روانکار است. در حال حاضر، هفت تست موتوری و شش تست رومیزی (Bench Test) برای سطح کیفیت PC-9 پیشنهاد شده است. این امر کیفی سازی روانکار را بسیار پرهزینه و زمانبر می کند.

علاوه بر EGR، عوامل عملیاتی متعددی بر میزان آلودگی دوده در موتور تأثیر می گذارند. زمان پاشش سوخت، طراحی محفظه احتراق، نوع موتور، راندمان تخلیه، محدودیت فیلتر هوا، نسبت هوا/سوخت، فشرده سازی هوای کم، خلاصی بیش از حد، لگد زدن و غیره همگی بر میزان تشکیل دوده تأثیر می گذارند. دوده با گاز خروجی به صورت دمشی وارد روغن می شود یا روی دیواره سیلندر رسوب می کند و متعاقباً توسط رینگ ها خراشیده می شود و در روغن رسوب می کند.

افزایش غلظت آلاینده دوده باعث ایجاد مشکلات مختلفی می شود که در جدول ۱ خلاصه شده است. افزایش مقدار دوده موجب فشار بر مصرف ماده افزودنی پراکنده کننده روغن از جمله موارد نگران کننده است. ذرات دوده به سمت یکدیگر جذب می شوند (توسط نیروهای واندروالسی)، تجمع می یابند و در هنگام برخورد، ذرات بزرگتری را تشکیل می دهند که خطر بیشتری را برای سیستم ایجاد می کند.

Effect	Mechanism
<i>Loss of dispersancy</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorptive removal of dispersant additive</li> </ul>
<i>Sludge formation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agglomeration of soot and sludge particles, sometimes with water</li> </ul>
<i>Loss of anti-wear performance</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorptive removal of anti-wear additive package</li> </ul>
<i>Deposits and oil-way blocking</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obliteration of oil passages by deposited soot and sludge</li> <li>• Increased viscosity</li> </ul>
<i>Increased viscosity</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colloidal suspension of soot particles</li> </ul>
<i>Filter plugging</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Removal of agglomerated soot particles – especially in the presence of water and/or glycol</li> <li>• Adsorptive deposition of soot particles on filter media</li> </ul>

همين نيروها باعث رسوب دوده بر روي سطوح داخلي موتور مي شود. وظيفه ماده افزودني پراكنده كننده اين است كه ذرات دوده را به صورت ريز تقسيم كرده و از سطوح دستگاہ جدا نگه دارد. افزودني با پوشاندن ذرات دوده در يك لايه عمل مي كند. سر قطبي مولكول پراكنده كننده به ذره مي چسبد و دم افزودني هاي "الئوفيليك" را به سمت بيرون هدايت مي كند تا به راحتی در روغن حل شود (شكل ۲ را ببينيد).

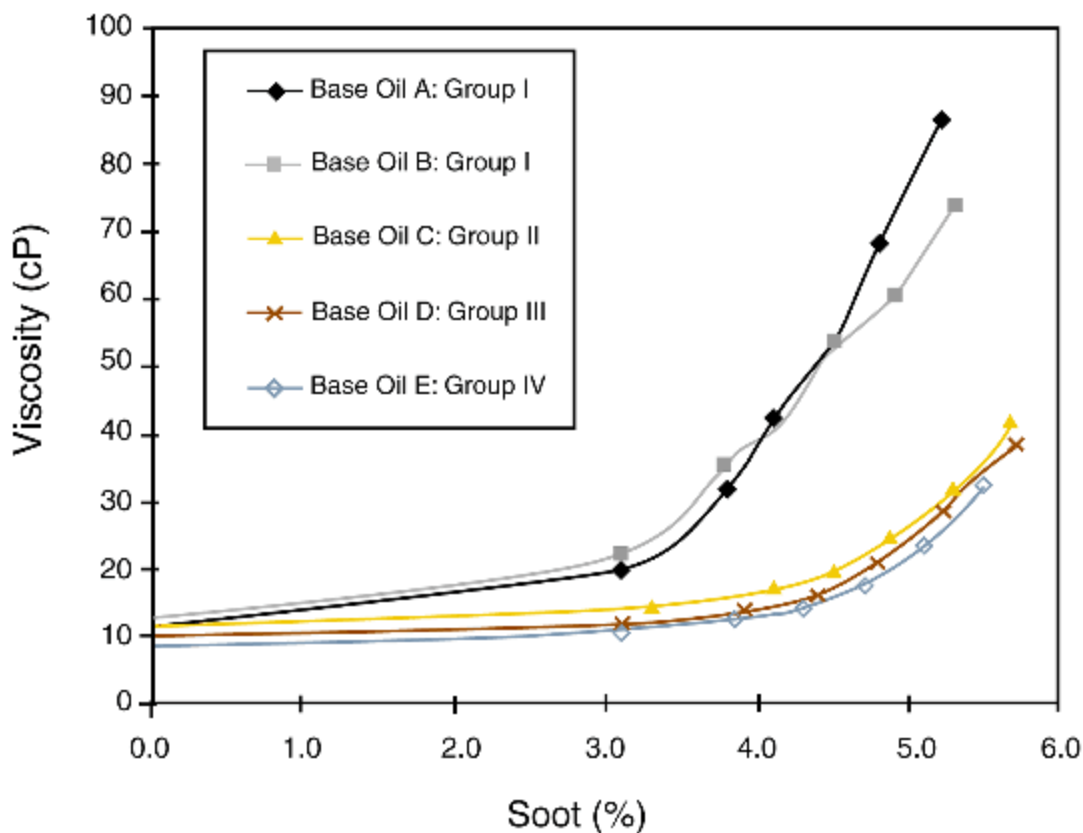


شكل ۲.

با احاطه کردن ذره و حل کردن دم آن در روغن، افزودنی پراکنده کننده، ذره دوده را در روغن معلق می کند و جلوگیری از تجمع آن با سایر ذرات دوده یا رسوب بر روی سطوح اجزای آن می کند. افزودنی پراکنده کننده محافظت یکباره را فراهم می کند. پس از اتمام افزودنی پراکنده کننده، خاصیت پراکنده کنندگی آن از بین می رود و موتور در معرض خطر قرار می گیرد.

به وضوح تحقیقات به این نتیجه رسیده است که دوده گرانیروی روغن را افزایش می دهد. افزایش گرانیروی منجر به بالاتر رفتن دما، هزینه پمپاژ و خطر فقدان روان کننده، به ویژه در هنگام راه اندازی می شود. شکل ۳ رابطه دوده/گرانیروی را برای روغن های پایه مختلف مشخص می کند.

### The Viscosity Effects of Different Base Oils Loaded with Soot



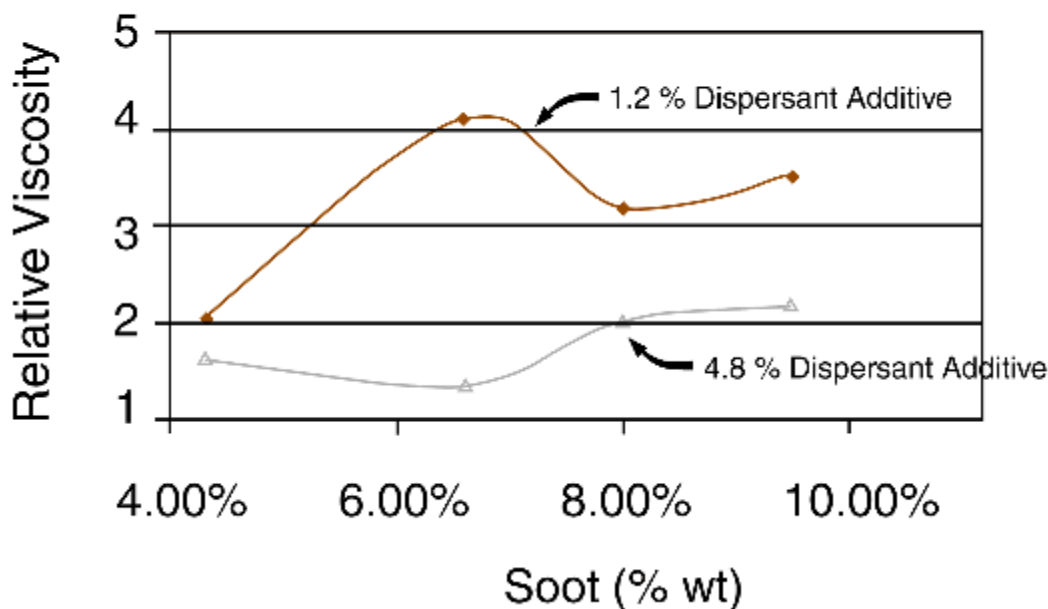
شکل ۳.

بر اساس تحقیقات به نظر می رسد روغن های پایه اشباع شده (گروه های ۲، ۳، ۴)، در برابر غلیظ شدن دوده بهتر از روغن های پایه یک با کیفیت پایین تر که حاوی مقدار بیشتری مولکول غیراشباع هستند، مقاومت می کنند.

این روغن های پایه گروه ۲،۳،۴ نسبت به روغن های پایه گروه یک دیرتر و کمتر افزایش گرانی را نشان می دهند.

تحقیقات انجام شده توسط یکی از شرکتهای تولید کننده ماده افزودنی لوبریزول نشان می دهد که غلظت پراکنده کننده نقش مهمی در کاهش اثر غلیظ شدن دوده ایفا می کند. شکل ۴ افزایش گرانی (که به صورت مضرب گرانی روغن پایه روغن نو(کارنکرده) در  $100 \text{ cSt}$  درجه سانتی گراد بیان می شود) نسبت متفاوت غلظت دوده برای روغن ها به ترتیب با ۱.۲٪ و ۴.۸٪ ماده افزودنی پراکنده کننده را نشان می دهد.

## Viscosity vs. Soot Level



شکل ۴. رابطه بین گرانی و سطح دوده

در تحقیقات دیگر، شرکت لوبریزول تاثیر مقادیر مختلف دوده را بر سایش اجزا ارزیابی کرده است. نتایج آنها نشان می دهد تا زمانی که عملکرد ماده پراکنده کننده خوب باقی بماند، افزایش مقدار دوده وارده لزوماً بر نرخ سایش تأثیر نمی گذارد.

محققان لوبریزول در مطالعه ای در مورد سایش یاتاقانهای غلتکی در موتورها با افزایش مقدار دوده دریافتند که میزان سایش یکنواخت نیست و به طور سیستماتیک با مقدار دوده مرتبط نیست. برعکس، آنها دریافتند که میزان ماده افزودنی پخش کننده به طور قابل توجهی بر سرعت تولید سایش اثر می گذارد.

در تحقیقات آنها، خراشیدگی علت سایش یاتاقانهای غلتکی شناسایی شده و با مواد پراکنده کننده دوده گره خورده بود. ظاهراً در این مطالعه حذف حمله اجزا خورنده و خراشیدگی ناشی از سایر ذرات را به عنوان عامل مؤثر احتمالی دانستند.

محققان لوبریزول به این نتیجه رسیدند که عامل سایش، تجمع و رسوب دوده ناشی از کم شدن ماده افزودنی پراکنده کننده به جای غلظت زیاد دوده است. در اینجا این سؤال مطرح می شود: آیا تحلیلگران روغن باید زمان تعویض روغن را بر اساس غلظت دوده یا میزان کارائی ماده افزودنی پراکنده کننده برنامه ریزی کنند؟ پاسخ احتمالاً هر دو است. ما باید تلاش خود را در جهت کنترل و نظارت بر میزان دوده افزایش دهیم تا مطمئن شویم، اما طبق گفته محققان لوبریزول، ما باید همزمان به اندازه گیری عملکرد ماده افزودنی پراکنده کننده در روغن نیز توجه داشته باشیم، پارامتری که معمولاً در برنامه آنالیز روغن موتور دیزل گنجانده نمی شود.

## اندازه گیری دوده و ماده افزودنی پراکنده کننده

تحقیقات لوبریزول ممکن است ما را به این نتیجه برساند که اندازه گیری دوده مهم نیست و تلاش ها باید کاملاً بر میزان ماده افزودنی پراکنده کننده متمرکز شود. این درست نیست. غلظت دوده، به ویژه تغییر غلظت، بسیار مهم است، زیرا نشانه کلی از سلامت فرآیند احتراق می باشد و نشأت غیر طبیعی گازهای حاصل از احتراق را مشخص می کند.

همچنین، زمانی که ماده افزودنی پراکنده کننده به میزان موثری وجود دارد، ولی مقدار دوده بسیار زیاد است، سایر آلاینده ها مانند آب و گلیکول می توانند به سرعت کارائی ماده افزودنی پراکنده کننده را بدون افزایش بار گذاری دوده از بین ببرند. هنگامی که تولید دوده زیاد است، از دست دادن ناگهانی ماده افزودنی پراکنده کننده منجر به تجمع سریع و رسوب دوده بر روی سطوح داخلی موتور می شود. آنالیزور باید این ارتباط را زمانی که هشدار حضور آب یا گلیکول در سیستم هایی که تولید دوده بالایی دارند، در نظر بگیرد.

در آینده نظارت بر وضعیت موتور دیزل به تمرکز بیشتر بر روی اندازه گیری غلظت دوده و عملکرد ماده افزودنی پراکنده کننده نیاز است. روش های رایج برای اندازه گیری عملکرد دوده و ماده افزودنی پراکنده کننده در زیر بررسی می شوند.

## اندازه گیری مقدار دوده تولیدی

اندازه گیری دوده را می توان با استفاده تعدادی از روشهای مختلف انجام داد. در زیر بررسی کلی هر کدام آورده شده است:

### ✓ آنالیز ترموگراویمتری (تجزیه تجلیل حرارتی)

این روش آنالیز به طور گسترده دقیق ترین تخمین غلظت دوده را به عنوان درصد وزنی ارائه می دهد. این آزمایش شامل حرارت دادن تدریجی نمونه در یک اتمسفر غنی از نیتروژن در طول زمان برای تبخیر اجزای فرار است تا زمانی که وزن نمونه کاهش یابد، که معمولاً در حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد رخ می دهد.

سپس، محیط نیتروژن با هوا جایگزین می شود و دما بیشتر افزایش می یابد و اجازه داده می شود روغن اکسید شده تا وزن دوباره تثبیت شود. سپس غلظت دوده با کم کردن وزن اجزای خاکستر فرار از وزن نمونه اولیه محاسبه می شود. در حالی که این تکنیک دقیق است، اما کاملاً یک روش آزمایشگاهی تحقیقاتی است و بسیار گران قیمت است و معمولاً حدود ۲۰۰ دلار برای هر آزمایش هزینه دارد.

### ✓ آنالیز مادون قرمز

آنالیز مادون قرمز برای اندازه گیری غلظت دوده بسیار مرسوم شده است. به نظر می رسد نتایج به خوبی با آنالیز ترموگراویمتری TGA همبستگی دارند و این تکنیک هزینه نسبتاً پایینی دارد، به ویژه با گسترش آزمایشگاه هایی که اکنون آنالیز مادون قرمز (FTIR) را انجام می دهند. در ضمن چندین ابزار با قیمت مناسب برای اندازه گیری دوده در محل آزمایشگاه موجود است.

اساساً دوده انرژی مادون قرمز را جذب می کند. بر خلاف بسیاری از پارامترهای اندازه گیری شده با FTIR، دوده یک تغییر پهنای باند در جذب ایجاد می کند (تغییر خط پایه). بنابراین، دستگاه FTIR به طور کلی دوده را در محدوده طول موج ۲۰۰۰ جستجو می کند. آن محدوده طول موج نسبتاً عاری از تداخل سایر ترکیبات نفتی یا آلاینده ها است که اندازه گیری دوده را نسبتاً آسان می کند.

تداخل های اولیه مربوط به این روش شامل افزایش نامتناسب جذب انرژی مادون قرمز با افزایش اندازه ذرات دوده است و سایر ذرات مانند خاک نیز انرژی مادون قرمز باند وسیع را جذب می کنند و در اندازه گیری دوده قابل تشخیص نیستند.

### ✓ تست نامحلول ها

این آزمایش شامل جداسازی مواد نامحلول از روغن پس از مخلوط شدن با حلال های مختلف مانند پنتان و تولوئن است. مواد نامحلول در پنتان یا تولوئن با سانتریفیوژ با سرعت بالا یا با فیلتر کردن روی صفحه فیلتر غشایی خارج می شوند. هنگامی که سانتریفیوژ می شوند، مواد نامحلول به عنوان جرم یا حجم اندازه گیری می شوند.



وقتی فیلتر شد، وزن فیلتر نو از ذرات فیلترشده در اثر جداسازی بر روی فیلتر باقیمانده، کم می شود تا وزن ذرات نامحلول تعیین شود. این تکنیک نسبتاً ارزان و بسیار خوب است. اشکال اصلی آن است که نه فقط دوده بلکه همه مواد نامحلول در این روش با هم اندازه گیری می شوند. همچنین، حلال انتخاب شده بر نتیجه تأثیر می گذارد. در صورت استفاده از پنتان، اکسیدهای آلی در اندازه گیری کل مواد نامحلول دربر گرفته می شوند. تولوئن اکسیدهای آلی را حل می کند.

### ✓ اندازه گیری خاموشی نور (LEM)

روش LEM، شامل تابش نور در فرکانس های مرئی و نواحی نزدیک مادون قرمز از میان یک جسم حاوی حجمی از روغن است. نور تیره شده توسط روغن، همزمان با افت ولتاژ در سطح جسم اندازه گیری می شود، ظاهراً نور دیده شده با غلظت دوده تغییر می کند. این تکنیک ساده، کم هزینه و نتایج کمی را ارائه می دهد. اشکال عمده در این واقعیت نهفته است که هر چیزی که نور را مسدود یا پراکنده می کند در محاسبه به عنوان دوده محاسبه می شود (به عنوان مثال، ذرات، آب، حباب های هوا، محصولات جانبی نامحلول حاصل از اکسیداسیون و غیره).

### ✓ روش آزمون لکه (بلا تر تست)

این روش فقط به یک یا دو قطره نمونه روغن روی کاغذ کروماتوگرافی استاندارد نیاز دارد. مواد نامحلول از روغن جدا می شوند و دوده را به سرعت شناسایی می کنند. علاوه بر این، کاغذ را می توان در حلال های مختلف رقیق کرد تا نشانه ای از نامحلول های مختلف موجود در نمونه را ارائه دهد. ظرافت روش بلا تر و سادگی آن رهگشا است، اما در تعیین کمیت غلظت دوده ناکام است. با این حال، یک آنالیزور با تجربه با تمرکز و تجربه کافی با چشم بخوبی می تواند غلظت دوده را تخمین بزند. اما با این حال، نمی توان به کمیت مقداری دوده گزارش شده اطمینان کرد.

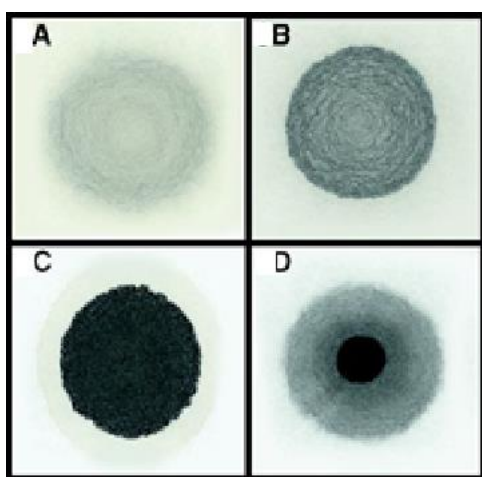
### اندازه گیری مقدار مواد افزودنی پراکنده کننده

بر خلاف اندازه گیری غلظت دوده که گزینه های متعددی وجود دارد، اندازه گیری کارائی مواد افزودنی پراکنده کننده، یک چالش واقعی برای تحلیلگر است. دو راه برای نزدیک شدن به این موضوع وجود دارد: می توان سعی کرد غلظت خود ماده افزودنی پراکنده کننده را اندازه گیری کرد، یا می توان عملکرد پراکنده کننده روغن را اندازه گیری کرد. برای تجزیه و تحلیل روتین روغن کارکرده، دومی راه حل بسیار امیدوارکننده تری ارائه می دهد.

(شکل A۵ را ببینید) در حالی که تست بلاتر محدودیت در اندازه گیری غلظت دوده دارد، ارزیابی عالی از کارایی پراکنده کنندگی روان کننده ارائه می دهد. روغنی که به درستی دوده و سایر مواد نامحلول را پخش می کند، یک بلاتر مدرج یکنواخت تولید می کند.

یک لکه نشان دهنده مقدار بالای دوده، اما حتی درجه بندی، نشان می دهد که روغن هنوز برای استفاده مناسب است، اما باید تحت نظر قرار گیرد (شکل B۵ را ببینید).

هنگامی که ماده افزودنی پراکنده کننده شروع به از بین رفتن می کند، مواد نامحلول شروع به تشکیل یک حلقه متراکم در قسمت بیرونی قطره جذب کننده روغن می کنند، همانطور که در شکل C۵ مشاهده می شود.



شکل ۵.

لکه A پراکنده کننده خوب،

لکه B مقدار دوده زیاد با پراکنده کننده حاشیه ای،

لکه C مقدار دوده زیاد همراه با از دست رفتن خاصیت پراکنده

کننده را نشان می دهد،

لکه D از دست رفتن کامل خاصیت پراکنده کننده را نشان

می دهد.

شکل D۵ مشخصه نقطه سیاه متراکم و حاشیه مشخص را نشان می دهد، وقتی روغن به طور کامل کارایی پراکنده کننده خود را از دست می دهد، تشکیل می شود. از منظر تعمیر و نگهداری، زمانی که حلقه شروع به تشکیل در اطراف بیرونی لکه روغن می کند، باید برنامه ریزی تعویض روغن انجام شود.

اگر اجازه تشکیل نقطه سیاه داده شود، وضعیت مشکل ساز خواهد شد، زیرا بخش پراکنده نشده دوده که روی سطوح رسوب کرده است با تعویض روغن خارج نخواهد شد. اغلب، چندین تعویض پشت سرهم در فواصل نزدیک برای تمیز کردن موتور لازم است. ضمناً، اگر کارایی پراکنده کننده با سرعت غیرمعمولی سریعاً کاهش یابد، باید سیستم احتراق و رینگ از نظر عملکرد مورد بررسی دقیق تری انجام گیرد.

با نگاه به آینده، برنامه های آنالیز روغن باید به طور فزاینده ای نظارت بر مقدار دوده و ماده افزودنی پراکنده کننده را شامل شود. حد مشخصی برای دوده ارائه نشده است. با این حال، به گفته یکی از کارشناسان صنعت، تولیدکنندگان روانکار باید مصرف کننده ها را از حد مجاز قابل قبول برای مقدار دوده آگاه کنند.

حد احتیاطی باید در حدود ۵۰ درصد نقطه بی فایده بودن تعیین شود. در حالی که عملکرد ماده افزودنی پراکنده کننده نقش فزاینده ای در درستی عملکرد روانکار در فرآیند نظارت بر وضعیت پیشگیرانه ایفا می کند، روند مقدار دوده نیز باید به دقت کنترل شود. اگر ماده افزودنی پراکنده کننده بطور ناگهانی در یک موتور تحت شرایط کاری سخت کاملاً مصرف شود، انباشتگی دوده به سرعت رخ می دهد و دیگر خیلی دیر شده است.

## نتیجه گیری

از آنجایی که طبق مقررات آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده EPA روغن موتور را مجبور می کند تا به عنوان "سطل زباله" فرآیند احتراق عمل کند، ما در صنعت آنالیز روغن باید بر کارایی ماده افزودنی پراکنده کننده و مقدار دوده نظارت دقیق تری برخوردار باشیم. برنامه آنالیز روغن موتور در آینده باید شامل اندازه گیری ترکیبی غلظت دوده همراه با اندازه گیری عملکرد ماده افزودنی پراکنده کننده باشد. اندازه گیری یکی یا دیگری کافی نیست، به خصوص اگر مجموعه شما به دنبال بالابردن فواصل زمانی تعویض روغن باشد. روش های جدید و بهبود یافته برای اندازه گیری غلظت دوده و عملکرد ماده افزودنی پراکنده کننده برای آزمایشگاه، انبار مخازن روغن و آنالیز روغن در محل مورد نیاز است تا از عملکرد مطمئن موتور تحت الزامات جدید انتشار آلاینده EPA اطمینان حاصل شود.

Nitro-Oxidation (NOx)

Exhaust Gas Recirculation (EGR)

U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

Thermogravimetric Analysis (TGA)

Light Extinction Measurement (LEM)

Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)