



ساخت و بررسی سیستم پلاسمایی حذف دوده آگزوز موتورهای دیزلی

محسن صادقی^۱؛ عباسعلی خدادادی^۱

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

شمس الدین مهاجرزاده^۲، یدا.. مرتضوی^۱، سعید شکراللهی

۱. دانشگاه تهران، صندوق پستی ۱۱۳۶۵/۴۵۶۳، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی،

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر، ماه ۱۳۸۳

آزمایشگاه کاتالیست و مهندسی واکنشها

۲. دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی برق و کامپیوتر

khodadad@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، حذف دوده خروجی از آگزوز موتورهای دیزلی، با استفاده از سیستم پلاسمایی سرد مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، یک سیستم پلاسمایی متشکل از الکترودهای صفحه‌ای (plate-plate)، با استفاده از صفحات فاقد روزنه و نیز صفحات مشبک ساخته شده و تحت جریان متقاطع و موازی گاز بررسی گردید. به منظور تعیین شرایط بهینه کاری سیستم فوق، یک سری از بررسیها به کمک گاز و دوده سنتز شده در آزمایشگاه صورت گرفته و سپس بازده سیستم نهایی در حذف دوده خروجی از آگزوز مینی بوس بدست آمد. بازده صفحات الکترودی مشبک به مراتب بالاتر از صفحات فاقد روزنه می باشد و با کاهش اندازه روزنهها بازده مذکور افزایش می یابد. همچنین راندمان حذف دوده با جریان متقاطع گاز در حدود دو برابر راندمان جریان موازی می باشد. بازده سیستم پس از مدت ۱۴min شروع به کاهش می کند. همچنین آزمایشات ابتدایی با الکترودهای استوانه ای (wire-tube) با ولتاژ ۹kV، بازده حذف دوده گاز آگزوز مینی بوس را بالاتر از ۹۰٪ و زمان جمع آوری آنرا بیش از ۲۵min نشان می دهد.

کلمات کلیدی: پلاسمای سرد، دوده، آگزوز، موتورهای دیزلی، الکتروده، صفحه، استوانه

مقدمه

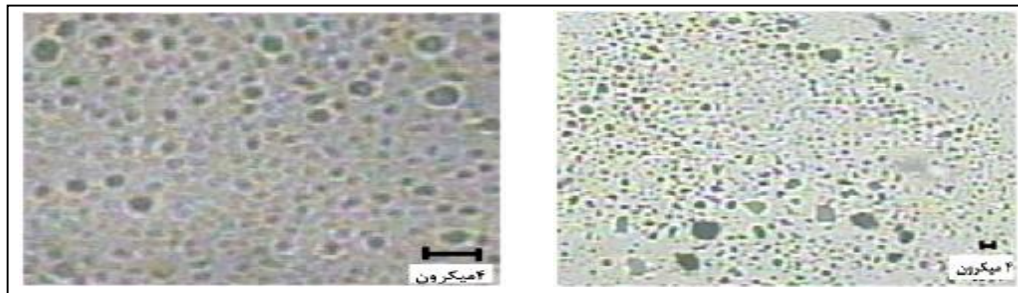
اگزوز موتورهای دیزلی علاوه بر گازهای آلاینده، دارای مقادیر قابل توجهی ذرات بسیار ریز می‌باشد که از احتراق ناقص سوخت حاصل می‌گردند. بیش از ۹۰٪ جرمی این ذرات دارای اندازه‌ای کمتر از ۲/۵ میکرون می‌باشند که توسط مواد سمی مختلفی همچون هیدروکربنهای پلی‌آروماتیک پوشیده شده‌اند. این ترکیبات امروزه بعنوان یکی از عوامل اصلی ایجاد بیماریهای خطرناکی همچون سرطان بشمار می‌روند [۱-۳]. عمده روشهایی که می‌تواند جهت کاهش آلاینده‌های ناشی از موتورهای دیزلی مورد استفاده قرار گیرد شامل بهبود عملکرد موتورها، بهبود کیفیت سوخت و نهایتاً حذف ذرات دوده اگزوز، قبل از انتشار در محیط می‌باشد [۴-۵].

به منظور حذف دوده اگزوز موتورهای دیزلی، روشهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است که یکی از آنها استفاده از سیستمهای پلاسمایی می‌باشد [۶-۸]. این نوع از سیستمها دارای افت فشار ناچیزی بوده و با بازدهی بسیار بالایی در محدوده وسیعی از اندازه ذرات، دما، فشار و غلظت دوده قابل استفاده می‌باشند [۹-۱۰]. دیگر سیستمهای موجود یا دارای بازده مناسبی در محدوده اندازه ذرات دوده ناشی از موتورهای دیزلی نبوده و یا آنکه ابعاد و اندازه آنها جهت نصب در خودروهای مذکور مناسب نمی‌باشد [۱۱]. سیستمهای متداولی همچون فیلترهای سرامیکی نیز بعلاوه غلظت بالای دوده ناشی از موتورهای دیزلی موجود در کشور ما، کارایی لازم را نداشته و علاوه بر آن افت فشار قابل توجهی ایجاد نموده و هزینه ساخت بسیار بالایی نیز دارند.

در این تحقیق حذف دوده خروجی از اگزوز موتورهای دیزلی با استفاده از سیستم پلاسمایی سرد مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور یک سیستم پلاسمایی متشکل از الکترودهای صفحه‌ای (plate-plate) با استفاده از صفحات فاقد روزنه و همچنین صفحات مشبک ساخته شده و تحت جریان متقاطع و موازی گاز مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین شرایط بهینه کاری، نخست یک سری از آزمایشات ابتدایی به کمک گاز و دوده سنتز شده در آزمایشگاه انجام شده و نهایتاً پس از اعمال تغییرات لازم به منظور افزایش بازده، یک نمونه نهایی با ساختاری مشابه نمونه آزمایشگاهی ساخته شد و بازده آن، بر روی گاز خروجی از اگزوز مینی‌بوس مورد بررسی قرار گرفت.

مشخصات ذرات دوده مورد استفاده

در آزمایشات اولیه، بمنظور انتخاب و بهینه سازی سیستمها، گاز و دوده سنتز شده بجای گاز و دوده اگزوز مورد استفاده قرار گرفت. ذرات کربن بلاکی که بدین منظور استفاده شد، دارای مقاومت ویژه‌ای در حدود 10^{10} اهم سانتیمتر می‌باشند. عکسبرداری میکروسکوپی و همچنین بررسیهای انجام شده با دستگاه Particle size analyzer قطر تقریبی این ذرات را در حدود $0.7-1.0$ میکرون نشان می‌دهد. شکل (۱) تصاویر میکروسکوپ نوری از ذرات کربن بلاک مورد استفاده را با بزرگنماییهای مختلف نشان می‌دهد.



(ب)

(الف)

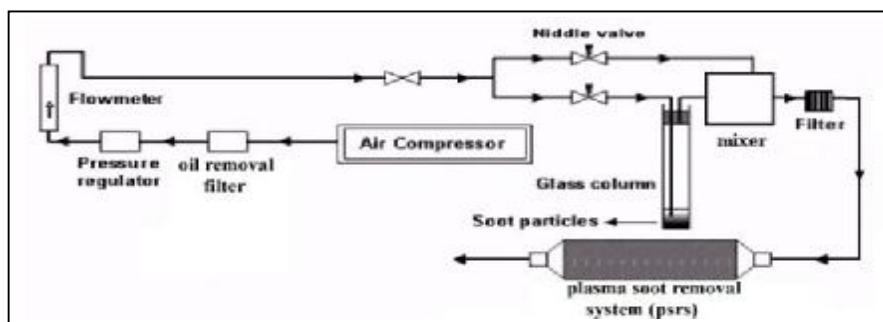
شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ نوری از ذرات کربن بلاک مورد استفاده

سیستم آزمایشگاهی

سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده جهت تولید دوده و گاز سنتز شده و همچنین کنترل غلظت آن در شکل (۲) نشان داده شده است. هوای خروجی از کمپرسور، پس از عبور از روتامتر و تعیین میزان جریان آن، توسط دو شیر سوزنی به دو شاخه با جریان متفاوت تقسیم می‌شود. شاخه اول با مقدار جریان مشخص، پس از ورود به محفظه محتوی ذرات کربن بلاک، مقداری ثابتی از این ذرات را با خود خارج ساخته و پس از مخلوط شدن با شاخه دوم هوا، وارد سیستم پلاسمایی می‌گردد. به منظور تعیین غلظت دوده خروجی از سیستم پلاسمایی، از یک محفظه سبک، شامل چندین لایه فیلتر سلولزی با قطر روزنه زیرمیکرون استفاده می‌گردد. با اندازه‌گیری تغییرات وزن این محفظه در یک محدوده زمانی معین، غلظت دوده خروجی تعیین می‌شود. ولتاژ مورد نیاز جهت انجام آزمایشات نیز توسط یک منبع تغذیه ولتاژ بالا که ولتاژ مستقیم پیوسته‌ای را در محدوده ۰-۱۵kV تولید می‌کند تامین می‌گردد.

به منظور تعیین بازده سیستم مذکور، غلظت دوده گاز خروجی یکبار با منبع تغذیه روشن (C_{on}) و یکبار با منبع تغذیه خاموش (C_{off}) تعیین گردیده و نهایتاً بازده بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد.

$$e = \left(1 - \frac{C_{on}}{C_{off}}\right) \times 100$$

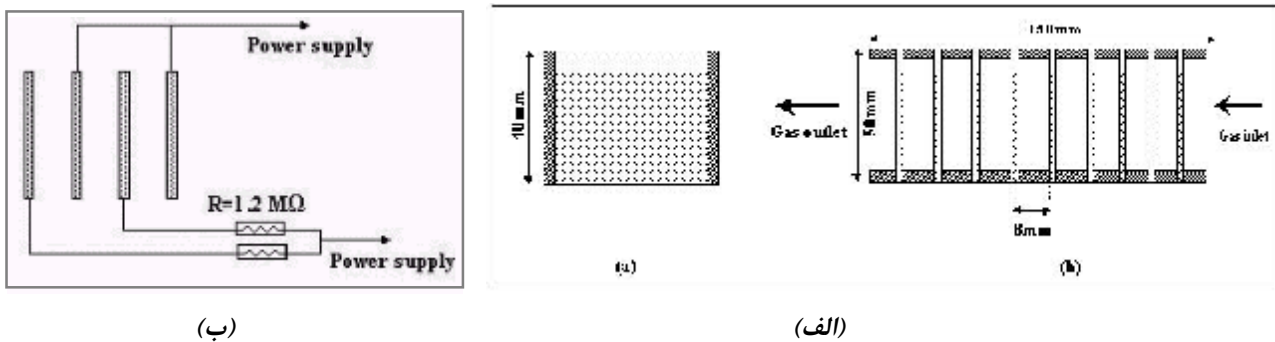


شکل ۲- نمایی شماتیک از سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده

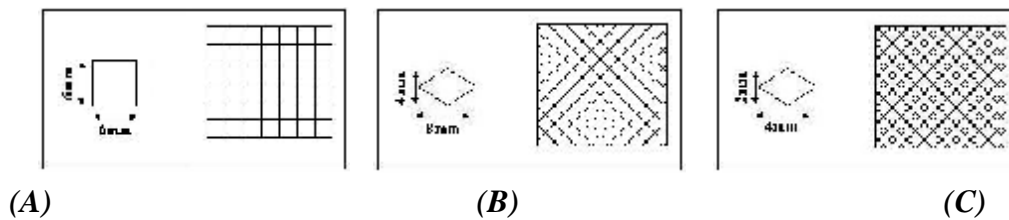
هر یک از آزمایشات جهت بررسی هر پارامتر خاص ۵ بار تکرار شده و نهایتاً میانگین حاصل از آنها بعنوان نتیجه کلی گزارش گردید. آزمایشات انجام شده قابل تکرار بوده و خطای نسبی حاصل از آنها در حدود ۲-۴٪ می‌باشد.

ساختار الکترودهای مورد استفاده

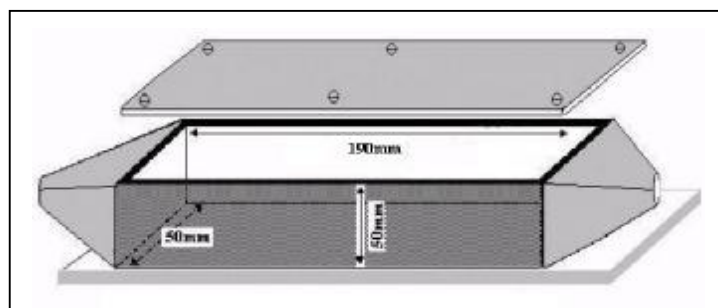
به منظور انجام آزمایشات، یک نمونه سیستم پلاسمایی، متشکل از الکترودهای صفحه‌ای (plate-plate) ساخته شد. این نمونه سیستم شامل ۱۶ الکترودهای صفحه‌ای به ابعاد 4×4 mm می‌باشد که با آرایش شکل (۳) (الف) در داخل یک محفظه قرار گرفته و به کمک سیستم الکتریکی شکل (۳) (ب) به خروجی مثبت و منفی منبع تغذیه متصل گردیده است. به منظور ساخت الکترودهای مورد نیاز، ۳ نوع صفحه مشبک فولادی با مشخصات هندسی شکل (۴) و نیز یک نوع صفحه فاقد روزنه (الکترودهای نوع D) استفاده گردید.



شکل ۳- الف: آرایش الکترودهی و ب: سیستم الکتریکی مورد نیاز در نمونه سیستم صفحه‌ای ساخته شده.



شکل ۴- مشخصات و شکل هندسی صفحات مشبک نوع A ، B و C



شکل ۵- شمای کلی و مشخصات هندسی محفظه نمونه سیستم پلاسمایی

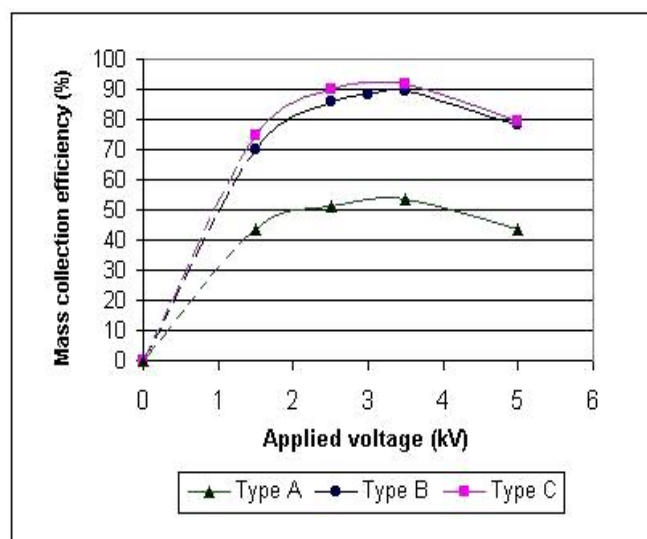
در این سیستم، گاز ورودی با دبی 40 lit/min و غلظت دوده 7 gr/m^3 به صورت متقاطع با الکترودها وارد سیستم پلاسمایی شده و دارای زمان اقامتی در حدود 0.36 ثانیه می‌باشد.

نتایج و بحث

بررسی تاثیر قطر روزنه الکترودها بر بازده سیستم پلاسمایی

به منظور بررسی تاثیر اندازه روزنه بر بازده نمونه سیستم پلاسمایی ساخته شده، ۴ نمونه الکترودها با استفاده از صفحات نوع D (فاقد روزنه) و همچنین صفحات مشبک نوع A، B و C (شکل ۴) ساخته شده و در یک مجموعه ۱۶ تایی به فاصله ۸mm از یکدیگر مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش انجام شده با نمونه الکترودها نوع D نشان داد این نوع از الکترودها در بالاترین ولتاژ اعمالی ممکن، دارای بازده پایینی در حدود ۲۰-۳۰٪ می‌باشند. شکل (۶) تغییرات بازده نمونه الکترودهای نوع A، B و C را بر حسب ولتاژ اعمال شده نشان می‌دهد. برای هر یک از نمونه الکترودهای مذکور، افزایش ولتاژ، افزایش بازده را به همراه دارد. برای الکترودهای نوع A این افزایش بازده چندان زیاد نبوده و نهایتاً بازده در ۳/۵kV به ۵۴٪ می‌رسد. در حالی که برای الکترودهای نوع B این مقدار ۹۰٪ و الکترودهای نوع C ۹۲٪ می‌باشد.

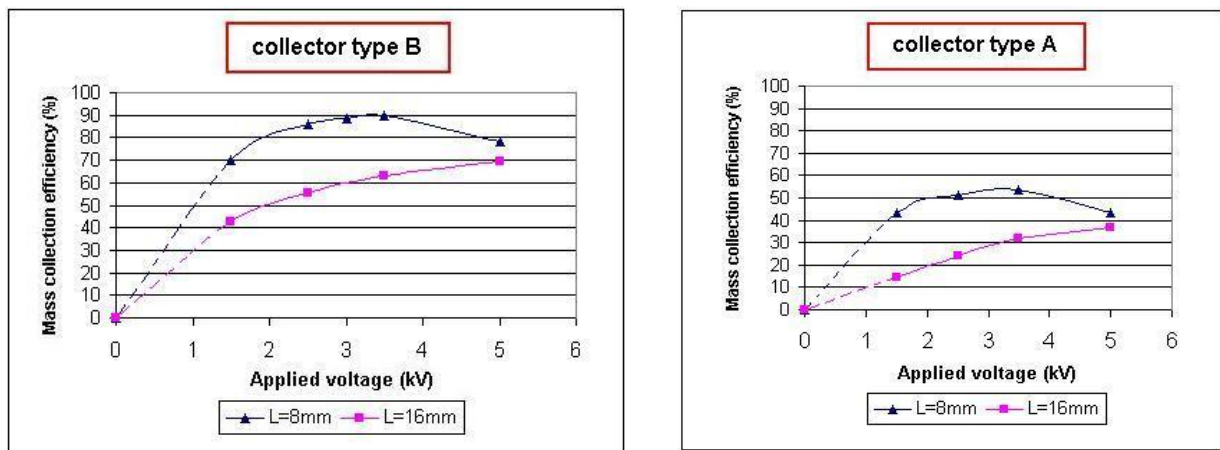
دلیل کاهش بازده الکترودهای نوع D می‌تواند مربوط به همگن بودن میدان الکتریکی بین الکترودها باشد، که یونیزاسیون، ایجاد هاله و نتیجتاً میزان برداشتن ذرات دوده را کاهش می‌دهد. در حالی که وجود روزنه در الکترودهای مشبک، منجر به ایجاد نقاط تیزی بر روی سطح بدنه می‌شود که باعث ایجاد یک میدان الکتریکی ناهمگن شده و می‌تواند یونیزاسیون گاز حامل را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که کاهش قطر روزنه‌های مذکور به افزایش بازده کمک می‌نماید. اگر چه کاهش قطر روزنه از یک حد معین، تاثیر چندان بر بازده حاصل از سیستم نداشته و در عوض افت فشار زیادی را سبب می‌گردد. لازم بذکر است که افزایش ولتاژ تا زمانی ممکن می‌باشد که منجر به ایجاد شکست الکتریکی نگردد. در صورت وقوع چنین پدیده‌ای، بازده شدیداً کاهش می‌یابد. اگرچه سیستم الکتریکی خاص تعبیه شده (شکل ۳ ب) از تاثیر شکست الکتریکی بین دو الکترودها، بر هاله موجود بین بقیه الکترودها جلوگیری نموده و از افت شدید بازده در ولتاژهای ابتدایی شکست می‌کاهد [۱۵-۱۲].



شکل ۶- تغییرات بازده الکترودهای نوع A، B و C بر حسب ولتاژ

بررسی تاثیر فاصله بین الکترودها بر بازده سیستم پلاسمایی

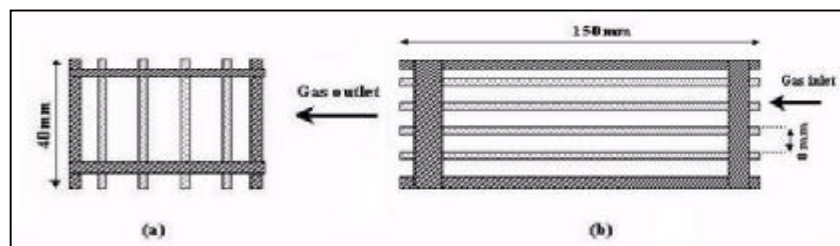
شکل (۷) بازده سیستم پلاسمایی ساخته شده را برای نمونه الکترودهای نوع A و B در فواصل مختلف الکترودی نشان می‌دهد. نتایج حاصل بیانگر آن است که با افزایش فاصله، بازده شدیداً کاهش می‌یابد و جبران این کاهش بازده، نیازمند اعمال ولتاژ قوی‌تری است. بطور مثال برای سیستم نوع B بازده در فاصله الکترودی ۸mm و ولتاژ اعمالی ۱/۵kV و همچنین فاصله الکترودی ۱۶mm و ولتاژ اعمالی ۵kV تقریباً یکسان است.



شکل ۷- تغییرات بازده نمونه الکترودهای نوع A و B بر حسب ولتاژ در فواصل مختلف الکترودی

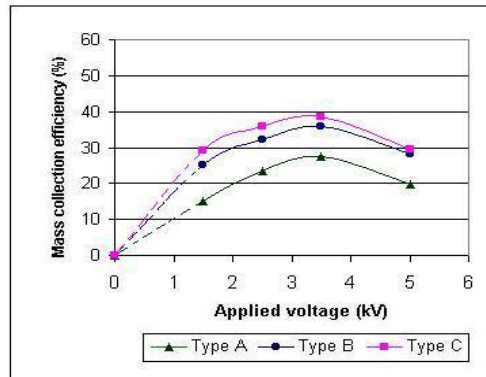
بررسی اثر نوع جریان گاز

به منظور بررسی اثر نوع جریان گاز ورودی، یک نمونه سیستم پلاسمایی مشابه شکل (۸) ساخته شد. در این حالت، جریان گاز بطور موازی با صفحات الکتروود وارد سیستم می‌گردد. سیستم مذکور متشکل از ۵ صفحه مشبک به ابعاد ۱۵mm × ۴ می‌باشد که به فاصله ۸mm از یکدیگر قرار گرفته‌اند. شکل (۹) بازده حاصل را



شکل ۸- آرایش الکترودی نمونه سیستم ساخته شده با جریان موازی گاز

برای الکترودهای نوع B نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است علیرغم آن که در سیستم مذکور، شدت میدان الکتریکی و فضای حجمی یونیزاسیون (فضایی که گاز در معرض میدان الکتریکی قرار می‌گیرد) بواسطه ابعاد، شکل هندسی و همچنین فاصله الکترودی یکسان، تقریباً مشابه نمونه سیستم جریان متقاطع می‌باشد لیکن بازده حاصل در این حالت بسیار پایین است.

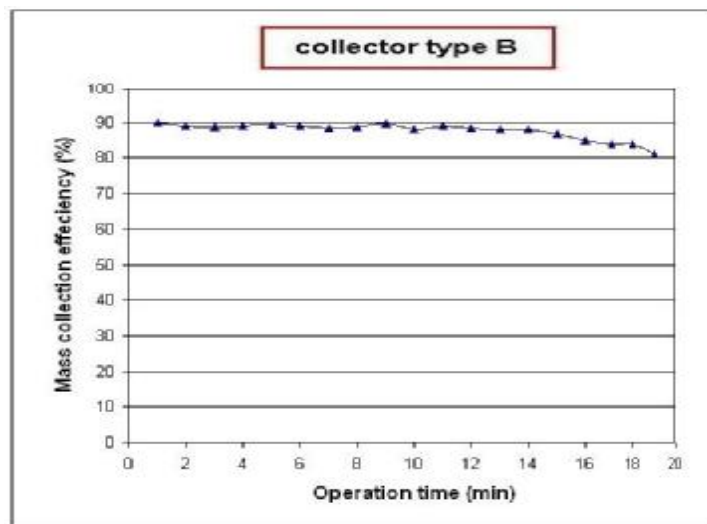


شکل ۹- تغییرات بازده نمونه الکترودهای نوع B بر حسب ولتاژ برای جریان موازی گاز

تاثیر زمان جمع آوری

شکل (۱۰) تاثیر زمان جمع آوری را بر بازده سیستم پلاسمایی ساخته شده، متشکل از الکترودهای نوع B نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است بازده سیستم مذکور تا زمان ۱۴min فقط دارای نوسانات جزئی بوده و تقریباً ثابت است. پس از این مدت زمان، بعلت کاهش شدت میدان الکتریکی در اثر تشکیل قشر دوده بر روی صفحات الکتروود و همچنین بروز پدیده Re-entrainment (ورود دوباره ذرات جمع شده به جریان گاز)، بازده کاهش یافته و فیلتر نیاز به بازیابی دارد [۱۶].

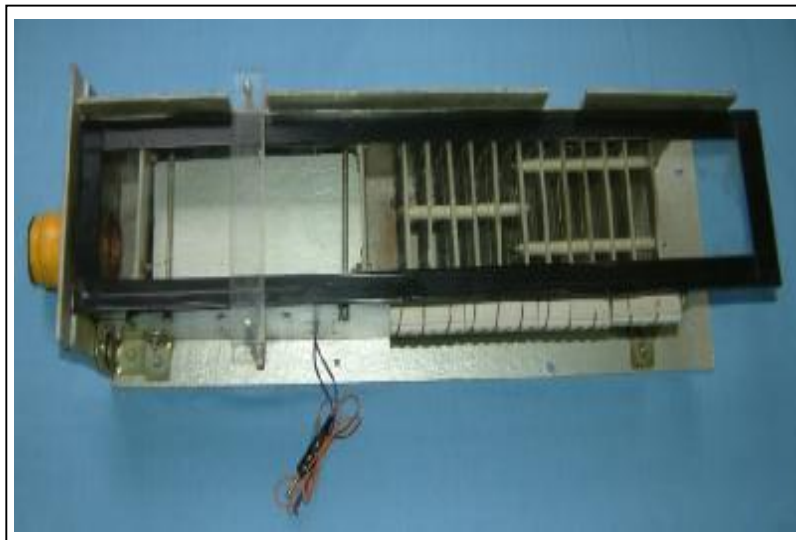
طراحی یک سیستم جهت بازیابی صفحات الکتروود، یکی از نیازهای اساسی جهت طراحی سیستم پلاسمایی مورد نظر می‌باشد. سیستم مذکور می‌بایست قابلیت بازیابی درجای الکترودهای مورد استفاده را دارا باشد. از آنجا که طراحی چنین سیستمی در حال انجام است، لذا توضیح بیشتر به مقاله بعدی موکول می‌گردد.



شکل ۱۰- تغییرات بازده سیستم پلاسمایی ساخته شده، متشکل از الکترودهای نوع B بر حسب زمان عملیاتی در ولتاژ اعمالی ۳/۵kV

نتایج آزمایشات انجام شده بر روی گاز خروجی از اگزوز موتورهای دیزلی

از آنجا که شرایط متفاوت گاز اگزوز واقعی از قبیل دما، رطوبت و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات دوده، می‌تواند باعث اختلاف محسوس نتایج حاصل از آن با نتایج آزمایشگاهی گردد، لذا ضروری است که بازده نمونه سیستم ساخته شده بر روی گاز خروجی از اگزوز موتورهای دیزلی نیز مورد بررسی قرار گیرد. انجام آزمایشات ابتدایی با نمونه سیستم واقعی ساخته شده، که از نظر ساختار کلی مشابه نمونه آزمایشگاهی می‌باشد، نشان داد که سیستم مذکور با فاصله الکترودی ۱۳mm تحت ولتاژ اعمالی ۶/۵kV دارای بازدهی در حدود ۶۵٪ می‌باشد و بازده مذکور پس از مدت زمان ۲۰min شروع به کاهش می‌کند. همانطور که گفته شد، یکی از علل اصلی کاهش بازده نسبت به نمونه آزمایشگاهی، می‌تواند مربوط به تفاوت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات دوده واقعی، مخصوصاً قطر ذرات مذکور در مقایسه با ذرات دوده مورد استفاده در آزمایشگاه باشد. شکل (۱۱) نمایی از سیستم پلاسمایی نهایی، جهت انجام آزمایشات بر روی گاز اگزوز واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- نمایی از سیستم پلاسمایی نهایی جهت انجام آزمایشات بر روی گاز اگزوز واقعی

علاوه بر سیستم پلاسمایی صفحه‌ای (plate-plate)، یک نمونه سیستم پلاسمایی با استفاده از الکترودهای استوانه‌ای (wire-tube) نیز ساخته شده و در حال بررسی است. آزمایشات ابتدایی با گاز اگزوز مینی بوس و با استفاده از این سیستم با قطر داخلی ۳۷mm تحت ولتاژ اعمالی ۹kV، دارای بازدهی بیش از ۹۰٪ بوده و پس از مدت ۲۵ min بازده آن شروع به کاهش می‌کند. لازم به ذکر است که آزمایشات مربوط به این سیستم هم اکنون در حال تکمیل است.

نتیجه گیری

در این تحقیق حذف دوده خروجی از آگزوز موتورهای دیزلی با استفاده از سیستم پلاسمایی سرد مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور یک سیستم پلاسمایی متشکل از الکترودهای صفحه‌ای (plate-plate) با استفاده از صفحات فاقد روزنه و همچنین صفحات مشبک ساخته شده و تحت جریان متقاطع و موازی گاز مورد بررسی قرار گرفت. جمع بندی کلی نتایج آزمایشات در زیر ارائه می گردد.

۱. در فیلترهای صفحه‌ای، الکترودهای مشبک دارای بازده بهتری نسبت به الکترودهای فاقد روزنه می‌باشند.
۲. در الکترودهای مشبک کاهش قطر روزنه‌ها به افزایش بازده کمک می‌کند.
۳. در این نوع از سیستمها، جریان متقاطع گاز با صفحات الکترو، دارای بازده بالاتری نسبت به جریان موازی گاز می‌باشد.
۴. یک نمونه سیستم پلاسمایی صفحه‌ای، متشکل از الکترودهای مشبک با اندازه روزنه 4×8 mm، فاصله الکترودی ۸mm، ولتاژ اعمالی ۳/۵kV و جریان متقاطع گاز ورودی، می‌تواند طی مدت زمان ۱۴ دقیقه بازده مطلوبی را در حدود ۹۰٪ تامین نماید و پس از این مدت نیاز به بازیابی دارد.
۵. نتایج آزمایشات ابتدایی با استفاده از سیستم استوانه ای بر روی گاز آگزوز مینی‌بوس نشان داد که بازدهی بیش از ۹۰٪ بوده و بعد از مدت ۲۵ دقیقه نیاز به بازیابی دارد.

منابع و مراجع

1. Oberdorster G., and Yu C. P., "The carcinogenic potential of inhaled diesel exhaust: particle effect? ", journal of Aerosols, Si-21: S397-S401, 1990.
2. Turri-Bladassarri Luigi, Battistelli Chiara L., Conti Luigi, "Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and biodiesel blend", journal of Science of the Total Environment, vol. 327, p. 147-162, 2004.
3. Siegmann K., Scherrer L., Siegmann H.C, "Physical and chemical properties of airborne nanoscale particles and how to measure the impact on human health", journal of molecular structure (Theochem), vol. 458, p. 191-201, 1999.
4. S.T. Gulati, in: A. Cybulski, J.A. Moulijn (Eds.), structured Catalysts and Reactors, Marcel Dekker, New york, 1998, pp. 510-541.
5. J.P.A. Neeft, Catalytic oxidation of soot, Ph.D Thesis, TU Delft, Delft, The Netherlands, 1995.
6. Chae J. O., "Non-thermal plasma for diesel exhaust treatment", journal of Electrostatics, vol. 57, p. 251-262, 2003.
7. Ciach Tomasz, Sosnowski Tomasz R., Podgorski Albert, "Efficient filtration methods for diesel aerosols", journal of Aerosol Science, vol. 26, suppl. 1, p. S723-S724, 1995.
8. Lin He, Gao Xiang, Luo Zhongyang, Cen Kefa, "Removal of NOx with radical injection caused by corona discharge", Fuel journal, vol. 83, p. 1349-1355, 2004.
9. H.J. White, Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley, Reading, Ma, 1963.
10. Oglesby S., Nichols G. B., Electrostatic precipitation, Marcel Dekker INC, 1978.
11. Gordon G., Peisakhov I., Dust collection and gas cleaning, Moscow, 1972.
12. K.H Yoo et al., "Charging and collection of submicron particles in two-stage parallel-plate electrostatic precipitators", journal of Aerosol Sci., vol. 27, p. 308-323, 1997.
13. Park Seok Joo, Kim Sang Soo, "Effects of particle space charge and turbulent diffusion on performance of plate-plate electrostatic precipitators", journal of Electrostatics, vol. 45, p. 121-137, 1998.
14. Jedrusik Maria, Gajewski Juliusz B., Swierczok Arkadiusz J., "Effect of the particle diameter and corona electrode geometry on the particle migration velocity in electrostatic precipitator", journal of Electrostatic, vol. 51-52, p. 245-251, 2001.
15. Miller J., Hoferer B., Schwab A.J., "The impact of corona electrode configuration on electrostatic precipitator performance", journal of Electrostatic, vol. 44, p. 67-75, 1998.
16. Takahashi Takeo et al., "Influence of gas velocity and electric field intensity on particle deposit and re-entrainment phenomena in an electrostatic precipitator", journal of Aerosol Science, vol. 29, suppl. 1, p. S481-S482, 1998.
17. Zhuang Ye, Kim Yong Jin, Lee Tai Gyu, Biswas Pratim, "Experimental and theoretical studies of ultra-fine particle behavior in electrostatic precipitators", journal of Electrostatics, vol. 48, p. 245-260, 2000.