Archive of SID

طب نظامی
پاییز ۱۳۸۶، شماره ۹ (۳)
صفحات: ۲۲۳-۲۱۷

حذف تولوئن از هوا به‌وسیله خاصیت فوتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تحریک شده با اشعه ماورا بنفش

عباس رضائی[۱*] Ph.D، غلامحسین پورتقی[۲] M.Sc، علی خوانین[۳*] Ph.D،
رسول صراف ماموری[۴**] Ph.D، ابراهیم حاجی زاده[۵***] Ph.D، فیروز ولی پور[۶****] M.Sc

*آدرس مکاتبه: *دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، گروه بهداشت حرفه ای و محیط ، تهران، ایران*
*** دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی ، گروه سرامیک، بخش مواد ، تهران، ایران*
****دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، گروه آمار زیستی ، تهران، ایران*
*****دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، پژوهشکده طب رزمی، مرکز تحقیقات بهداشت نظامی، تهران،ایران*

چکیــده

مقدمه: تولوئن یکی از مواد شیمیائی پرمصرف در صنایع مختلف می باشد . استفاده گسترده از این ماده شیمیایی و اثرات زیان آور آن بر سلامتی انسان باعث گردیده است که تحقیقات مختلفی در جهت کنترل و کاهش بخارات آن از هوای محیط کار صورت گیرد. یکی از مصارف مهم تولوئن تولید تی ان تی (تری نیترو تولوئن) در صنایع نظامی و مهمات ساز ی می باشد. تولوئن به علل مختلف به ویژه در اثر تبخیر و در حین فرآیند تولید در هوای محیط کار منتشر می گردد .عوارض زیان آور بخارات تولوئن بر سلامتی انسان و به ویژه عوارض مزمن آن بر روی سیستم اعصاب مرکزی بیانگر اهمیت حذف بخارات تولوئن از هوای محیط کار و جلوگیری از تماس شغلی با آن می باشد.

روش کار: در این مطالعه نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (DEGUSA-P25) به عنوان کاتالیست تحت تابش اشعه ماورا بنفش قرار گرفته و به عنوان یک عامل فتوکاتالیستی قوی برای تخریب و تجزیه بخارات تولوئن استفاده گردیده است. نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با قرارگرفتن در معرض تابش امواج ماورابنفش بار الکتریکی مثبت و منفی ایجاد می نمایند که بر روی اکسیژن هوا و بخار آب تاثیر نموده و رادیکالهای اکسیژن و هیدروکسیل در محیط تولید می گردند. این رادیکالها باعث تجزیه شدن ترکیبات آلی شیمیایی و تبدیل آنها به مواد بی اثر و کم خطر از قبیل دی اکسید کربن می شوند. در این تحقیق جداره داخلی یک لوله شیشه ای با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به روش غوطه ورسازی پوشش داده شد و تحت تابش اشعه ماورا بنفش، بخارات تولوئن از آن عبور داده شد تا این بخارات تحت تاثیر خاصیت فتوکاتالیستی سیستم فوق قرار گیرند.

نتایج: در این تحقیق غلظتهای ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰و۴۵۰ppm از بخارات تولوئن از مسیر فتوکاتالیست عبور داده شد و باعث حذف کامل آن در سیستم گردید. همچنین مشخص گردید UV-A با طول موج ۳۵۶ نانومتر بیشترین کارایی را در ایجاد خاصیت فتوکاتالیستی در نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم چنانچه در معرض تابش امواج ماورا بنفش قرار گیرند خاصیت اکسید کنندگی و احیا کنندگی قوی پیدا می نمایند و می توانند برای حذف بخارات تولوئن به عنوان یکی از ترکیبات آلی فرار از هوا بکار گرفته شوند.

۱- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)
۲- دانشجوی دکتری بهداشت حرفه‌ای
۳- استادیار دانشگاه تربیت مدرس
۴- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
۵ - دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
۶-پژوهشگر مرکز تحقیقات بهداشت نظامی

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه گیری: تولید رادیکالهای فعال توسط فتوکاتالیست ها می تواند برای تجزیه ترکیبات آلی مختلفی بکار گرفته شود. افزایش دانسیته توان اشعه ماورا بنفش و همچنین استفاده از یک جاذب به عنوان بستر فتوکاتالیست می تواند در افزایش قدرت تجزیه کنندگی آن موثر باشد. نتایج این تحقیق برای حذف و کنترل سایر ترکیبات آلی فرار قابل تکرار می باشد. همچنین با توجه به مشابهت بخارات تولوئن از نظر خواص شیمیایی و عملکرد فیزیولوژیکی با برخی گازهای جنگی به ویژه گاز موستارد پیشنهاد می گردد حذف گازهای جنگی از جمله گاز خردل و چگونگی تخریب شدن آنها بوسیله فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم مورد بررسی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: فتوکاتالیست، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، تولوئن، اشعه ماورا بنفش

مقدمه

تولوئن به‌عنوان یک ماده شیمیایی حد واسط و حلال، در صنعت از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. این ماده با فرمول شیمیایی C7H8 یا C6H5-CH3 و با اسامی مترادف فنیل متان و متیل بنزن، مایع شفاف و بی‌رنگ بوده و در گروه هیدروکربن‌های آروماتیک با سرگروهی بنزن قرار دارد. با جایگزین نمودن یک گروه متیل به یکی از هیدروژن‌های بنزن می توان تولوئن را تولید نمود. برای سال‌های متمادی تولوئن از بنزن تولید شده در کارگاههای کک سازی و همچنین از تقطیر زغال سنگ به دست می‌آمد، لیکن در حال حاضر تقریبا" به طور کامل از نفت به دست می‌آید[۱]. تولوئن دارای ظرفیت حل کنندگی شبیه بنزن است و در بسیاری موارد جایگزین آن می‌شود. تولوئن در صنایع نظامی برای ساخت تی ان تی یا تری نیترو تولوئن و در صنایع شیمیایی به‌عنوان حلال در ساخت رنگ ، براق کننده‌های رنگ، لاک ناخن، لاک الکل، چسب پلاستیک، لاستیک، مواد چاپ کننده و چرم مصنوعی استفاده می‌شود. وسائط نقلیه، هواپیما، ریخت و پاش بنزن و سایر فرآیندهایی که در آنها تولوئن مصرف و یا تولید می شود[۲]، از منابع اصلی انتشار تولوئن به محیط هستند. به طور کلی تولوئن ممکن است از راه‌های مختلف مانند استنشاق، پوست و دستگاه گوارش جذب بدن شود، در این میان تماس از راه تنفس نسبت به سایر راه‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است[۳]. تحقیقات مربوط به تماس حاد با تولوئن نشان می‌دهد اثر بر حیوانات مختلف متفاوت بوده و به ترتیب خرگوش، خوکچه هندی، موش خانگی و موش صحرایی از حساسیت بیشتری برخوردارند [۴].مطالعات سم‌شناسی بر روی انسان، بر روی افرادی صورت گرفته است که به صورت داوطلب از طریق تنفسی در معرض تولوئن بوده‌اند و یا افرادی که به واسطه حوادث ناشی از کار یا مصرف نادرست حلال‌های حاوی تولوئن با این ماده مواجهه بوده‌اند. یکی دیگر از اثرات مهم بیماریزایی تولوئن اثر بر سیستم اعصاب مرکزی می‌باشد که به صورت بی‌حسی، تحریک همراه با احساس شعف و شادمانی و به دنبال آن به هم خوردن تعادل، لرزش، احساس وزوز در گوش، تار شدن دید، هذیان گویی، عدم قدرت درکنترل عضلات ارادی وتشنج و در نهایت کما می‌باشد[۵]. تماس حاد با تولوئن به مدت کوتاه تأثیر بر سیستم اعصاب مرکزی گذاشته و باعث سردرد، از خود بی خود شدن، تشنج، بیهوشی و مرگ می‌شود [۶]. تنفس و خوردن تولوئن بر سیستم اعصاب مرکزی اثر گذاشته و حتی می تواند باعث مرگ شود. حد آستانه مجاز شغلی[1] بخارات تولوئن در هوا ۵۰ppm برای ۸ ساعت کار روزانه اعلام شده است[۷]. با توجه به موارد فوق و اثرات زیان آوری که برای تولوئن ذکر گردید و احتمال خطر سرطانزائی آن و با توجه به کاربرد وسیع آن درصنایع مختلف و به منظور پیشگیری از آسیبهایی که ممکن است بر روی سلامتی کارگران ایجاد گردد لازم است روشهای مناسبی در جهت حذف و یا کاهش بخارات تولوئن در هوا بکار گرفته شود[۸] .

بکارگیری کاتالیستها به ویژه کاتالیستهایی از قبیل دی اکسید

[1] limit valueThreshold

www.SID.ir

Archive of SID

تیتانیوم جهت ایجاد خاصیت اکسید کنندگی در جاذبها در حال گسترش می باشد و تحقیقات زیادی در این مسیر به انجام رسیده است .علاوه بر آن روشهای دیگری نیز برای افزایش قدرت کاتالیستها قابل استفاده می باشد[۹] ، در این روشها با استفاده از تابش تشعشعات مختلف به ویژه اشعه ما وراء بنفش با تولید زوج الکترون و حفره بر روی دی اکسید تیتانیوم قدرت اکسید کنندگی آن را بالا می برند که به آن سیستم تجزیه نوری می گویند[۱۰]. سیستم تجزیه نوری شامل ذرات نیمه‌هادی است که در تماس نزدیک با محیط مایع و گاز قرار دارند. اساس و پایه فرآیند فتوکاتالیت UV/TiO_2 تحریک نوری نیمه هادی TiO_2 (به صورت جامد) بر اثر جذب اشعه الکترومغناطیس است. اولین مرحله در فرآیند فتوکاتالیتیک جذب اشعه UV در سطح ذرات TiO_2 همراه با تشکیل الکترون و حفره‌های حاصل از خارج شدن الکترونها است[۱۱]. این الکترونهای تشکیل شده قدرت احیاء خوبی داشته و باعث احیاء بعضی فلزات و اکسیژن محلول می گردند (به عنوان گیرنده الکترون عمل می‌کند) و متعاقب آن یون سوپراکسید $O_2^{\bullet -}$ تولید می شود که می‌تواند بعنوان اکسید کننده عمل کند. $e^- + o_2 \rightarrow o_2^{\bullet -}$.

حفره‌های ایجاد شده نیز پتانسیل اکسید کنندگی خوبی دارند و قادر به اکسید کردن اکثر مواد شیمیایی بوده و نیز توانایی اکسیدکردن H_2O و OH^- را برای تولید $OH^{\bullet}$ را دارند [۱۲]. نحوه عمل رادیکالهای فعال شده به شرح ذیل می باشد:

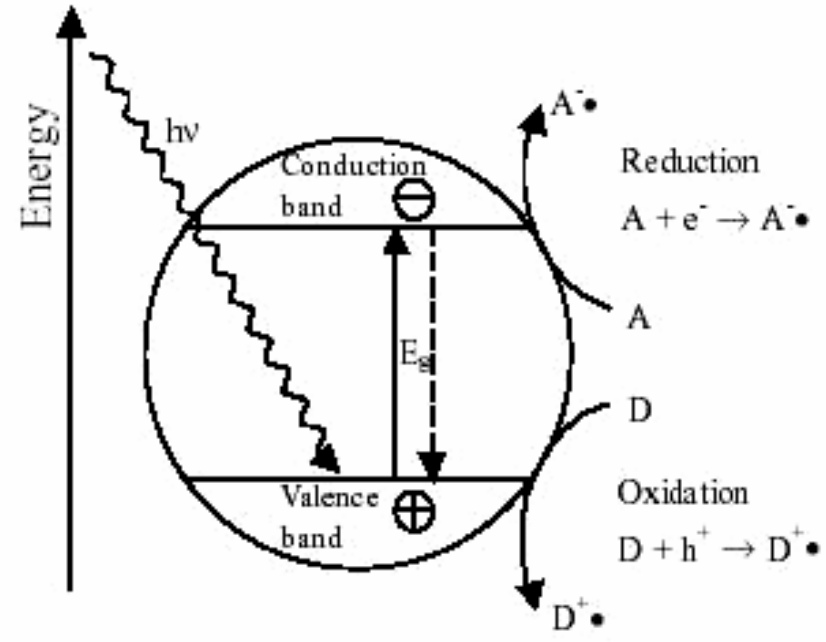
$$H_2O + h^+ \rightarrow {}^0OH + H^+$$

$$h^+ + OH^- \rightarrow {}^0OH$$

$$h^+ + R \rightarrow {}^0R$$

$$OH^0 + RH \rightarrow {}^0R + H_2O$$

$$h^+ + RH \rightarrow {}^0RH^+$$



شکل۱- شمائی از فرآیند اکسیداسیون و احیا فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم متعاقب تحریک با تابش اشعه ماورا بنفش

دی اکساید تیتانیوم یکی از موادی است که در سالهای اخیر به عنوان یک کاتالیست مورد توجه محققین قرار گرفته است. فتوکاتالیست مذکور با روشهای مختلف و در اندازه های مختلف و به ویژه در حد نانو ذره تولید و مورد استفاده قرار می گیرد

www.SID.ir

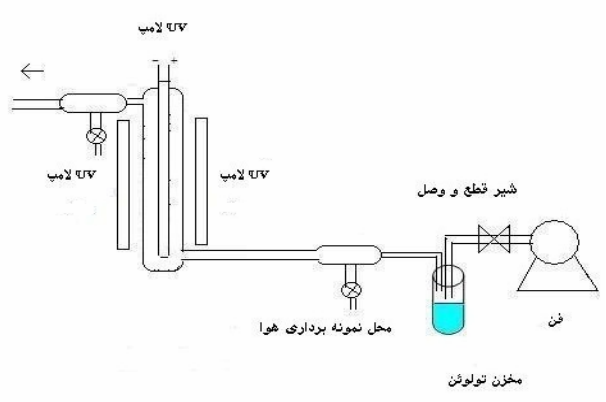
Archive of SID

[۱۳]. هدف از این مطالعه بررسی حذف بخارات تولوئن از هوا بوسیله خاصیت فتوکاتالیستس دی اکسید تیتانیوم در مقیاس نانوذرات پس از تابش اشعه ماورا بنفش بر روی آنها و آگاهی از شرایطی است که بتواند بیشترین کارایی را در سیستم فوق ایجاد نماید.

مواد و روش کار

به عنوان یک اصل فیزیکی، در اثر گرما غلظت بخارات موجود در سطح مایعات افزایش می یابد. در این تحقیق از این خاصیت برای تولید بخارات تولوئن در داخل یک ظرف حاوی تولوئن استفاده گردید. این بخارات در غلظت‌های ۳۵۰، ۲۵۰، ۱۵۰و ۴۵۰_{ppm} تولید گردید و با کمک جریان دائمی هوای دمشی که به وسیله یک فن ایجاد شده بود به سمت جداره داخلی یک لوله شیشه ای که دارای خاصیت فتو کاتالیستی بود انتقال داده شد. کاتالیست مورد استفاده در این تحقیق نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با میانگین قطر ۲۵ نانو متر بود که در سطح داخلی یک لوله شیشه ای به طول ۱۵ و قطر ۳ سانتیمتر پوشش داده شده بود. برای پوشش دادن جداره داخلی لوله ابتدا محلول ۵٪ دی اکسید تیتانیوم با استفاده از آب مقطر تهیه گردید و لوله به مدت یک دقیقه در داخل این محلول قرار داده شد و برای تثبیت آن به مدت ۱۰دقیقه در اجاق مایکروویو در دمای۱۲۰ درجه سانتیگراد با قدرت ۱۸۰وات قرار داده شد.

کلیه آزمایشات در زیر هود آزمایشگاهی در دمای ۲۵درجه سانتیگراد و در شرایط کنترل شده انجام گرفت. اشعه اولتراویوله با استفاده از یک عدد لامپ ماورا بنفش نوعA چهاروات در درون لوله و یک عدد لامپ چهل وات در بیرون لوله تامین گردید[۱۴]. اندازه گیری بخارات تولوئن با استفاده از دستگاه (فتوچک500) که با روش آشکار سازی یونها کار می کند انجام شد. کلیه اندازه گیریها قبل و بعد از ورود هوا به داخل سیستم پایلوت انجام گرفت و میزان اشعه اولتراویوله بوسیله دستگاه دیجیتال سنجش شدت اشعه اولتراویوله که میزان دانسیته توان تشعشعی امواج ماورا بنفش را نشان می دهد اندازه گیری شد. آزمایشات در غلظتهای مختلف بخارات تولوئن ،

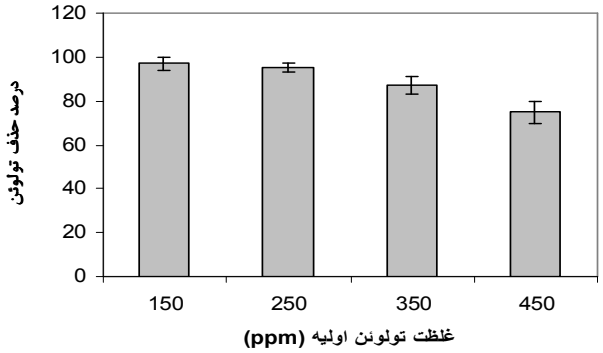


شکل ۲- طرح پایلوت سیستم فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم مورد استفاده برای حذف تولوئن

انواع مختلف لامپ اولتراویوله و همچنین در طول زمانهای مختلف انجام شد. میزان کاهش غلظت تولوئن در هر آزمایش ثبت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت .

نتایج

نتایج آزمایشات به عمل آمده در این طرح نشان دهنده کاهش غلظت بخارات تولوئن در اثر ورود آنها به سیستم فتوکاتالیست نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تحریک شده با تابش ماورا بنفش می باشد. نتایج آزمایشات مربوط به تاثیر سیستم فتوکاتالیست



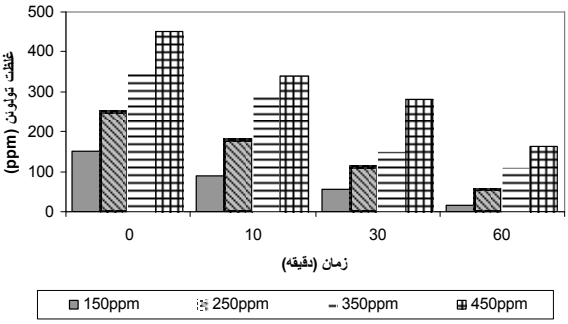
نمودار۱: درصد حذف غلظتهای مختلف گاز تولوئن در سیستم فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم

نانوذرات دی اکسلید تیتانیوم متعاقب تابش ماورا بنفش در حذف غلظتهای مختلف بخارات تولوئن در نمودار (۱) ارائه شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظتهای بالاتر از بخارات تولوئن نیاز به زمانهای بیشتری برای تجزیه دارند. ولی افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

زمان کاملا متناسب با افزایش غلظت نیست. برای مقادیر بالای غلظتهای مختلف تولوئن، نسبت به مقادیر پایین، مقدار افزایش زمان مورد نیاز برای فرآیند فتوکاتالیستی کمتر بود. نمودار(2) میزان کاهش غلظت بخارات تولوئن در طی زمانها و غلظتهای مختلف را متعاقب بکارگیری UV-A در سیستم فتوکاتالیست نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم نشان می دهد.



نمودار۲: کاهش غلظتهای مختلف گاز تولوئن در فواصل زمانی مورد آزمایش سیستم فتوکاتالیتیکی دی اکسید تیتانیوم

نتایج این تحقیق نشان داد که لامپ UV-A با دانسیته توان تابشی ۳۰۰میلی وات بر سانتی مترمتر مربع بیشترین تاثیر رادر افزایش قدرت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم دارد. بیشترین میزان کاهش غلظت تولوئن مربوط به بکارگیری همزمان تابش UV-A از داخل و خارج لوله به سیستم پایلوت فتوکاتالیست بود. هنگامی که لامپهای UVحذف گردیدند کاهش قابل ملاحظه ای در میزان بخارات تولوئن ایجاد نگردید. .برای مقایسه تفاوت عملکرد انواع لامپ ماورا بنفش از نظر بالا بردن کارایی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ،به طور جداگانه غلظتهای مساوی از بخارات تولوئن تهیه و در شرایط یکسان از مسیر تابش ماورا بنفش با منابع مختلف به فتوکاتالیست دی اکسید تیتانیوم عبور داده شد. نتایج حاصله نشان دهنده بیشترین توانایی درکاهش غلظت بخارات تولوئن در بکارگیری توام UV-A و UV-Cبوده است.

بحث و نتیجه گیری

حذف آلاینده های مختلف هوا از قبیل بنزن، تولوئن، فرمالدئید، اکسید های نیتروژن و همچنین حذف آلودگیهای میکروبی آب [۱۵] ، توسط دی اکسید تیتانیوم و سایر کاتالیستها که در تحقیقات جدید گزارش گردیده اند قابلیتهای گسترده فتوکاتالیستها را در جهت کنترل آلاینده ها آشکار نموده است.

بررسی نتایج حاصل از آزمایشات این تحقیق نشان می دهد که می توان از سیستم فوتوکاتالیست نانوذرات دی اکسید تیتانیوم تحریک شده با تشعشعات ماورا بنفش، غلظتهای مختلف بخارات تولوئن را کاهش داد. سایر محققین از جمله ییننگ و پنگای نیز نتایج مشابهی را گزارش نموده اند(۱۶). حاصل این تحقیق و سایر تحقیقاتی که تا کنون بر روی فتوکاتالیستها انجام شده است روشها و تکنیکهای مناسبی را که بتواند بالاترین بازدهی را از این سیستم بدست آورد مشخص می سازد. هونگ (۱۷) با اکسیژن رسانی به فتوکاتالیست توانست بازدهی آن را به مقدار قابل ملاحظه ای بالا ببرد. در این تحقیق مشخص گردید که برای بالا بردن بازدهی سیستم فتوکاتالیست روشهای دیگری نیز وجود دارد که یکی از آنها استفاده ترکیبی از لامپهای UV-A و UV-C می باشد. مقایسه عملکرد هر یک از تشعشعات UV-A و UV-Cنتایج متفاوتی را در بر داشته است و دلیل آن استفاده از انواع غیر یکسان از لامپهای فوق در جهت مقایسه تفاوتهای بازدهی آنها میباشد، به طوری که لی در تحقیق خود [۱۸]، بالا تر بودن کارائی تشعشعات UV-C و جی لونگ [۱۹] ، توانایی تشعشعات UV-A را مناسبتر گزارش نموده اند. آنچه که در ایجاد تحریک در فتو کاتالیستها اهمیت بیشتری دارد مقدار انرژی فتولیتیکی تشعشعات است که وابسته به دانسیته توان انرژی تابشی آنها می باشد. شیورا [۲۰]، در تحقیق خود برای بالا بردن میزان بازدهی سیستم فتوکاتالیست پیشنهاد کرده است که اگر از یک جاذب اولیه مانند زئولیت ویا کربن فعال به عنوان بستر فتوکاتالیست استفاده شود کارائی سیستم به مراتب بهتر خواهد بود. شارما [۲۱]و برخی دیگر از محققین [۲۲]، سسیستم فتو کاتالیست فوق را برای حذف گاز موستارد بکار گرفته اند و نتایج امیدوارکننده ای ارائه شده است که با تکرار آزمایشات فوق برای حذف گازهای جنگی بتوان از این سیستم

www.SID.ir

Archive of SID

برای ساخت سامانه تهویه در اتومبیلهایی که در مناطق جنگی تردد می کنند و همچنین تهویه مطبوع بیمارستانها و سایر مکانهای آلوده به گازهای جنگی استفاده نمود[۲۳] .این تحقیق مشخص نمود که می توان بخارات تولوئن و برخی دیگر از ترکیبات آلی فرار را با استفاده از تابش تشعشعات ماورا بنفش بر روی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به عنوان فتو کاتالیست کاهش داده و یا آنها را حذف نمود.همچنین بکارگیری یک جاذب مناسب با توجه به نوع آلاینده می تواند به کارائی این سیستم کمک نماید.

منابع

1- Anita P, Wilfried K. Exposure to toluene in the printing industry .Occup Env Med 2006; 6: 443–448.

2- Hajimiragha H. Levels of benzene and other volatile aromatic compounds in the blood of non-smokers and smokers. Inter Arch Occup Env Health. 1989; 61: 513–518.

3- Berna V, Wendel D, Erik T. Dermal exposure assessment to benzene and toluene using charcoal cloth pads. J Expo Anal Env Epi. 2005; 15: 47–50.

4- Has U. Developmental eurotoxicity after toluene inhalation exposure in rats. Neurotox Terato J. 1999; 21: 349-357.

5- Hougaard B. Effects of prenatal exposure to toluene on postnatal development and behavior in rats. Neurotox Terato J. 1993; 21: 241-250.

6- Foo S. Chronic neurobehavioural effects of toluene. British J Ind Med 1990; 47: 480-484.

7- American conference of governmental industrial hygienists (ACGIH).Threshold limit values for chemical substance and physical agents and biological exposure indices. 2005; 48.

8- Yin S, Li G, Hu Z . Symptoms and signs of workers exposed to benzene and toluene or the combination. Ind Health. 1987; 25: 113-130.

9- Pengyi Z, Juan L, Zhongliang Z. UV Photocatalytic Degradation of Toluene in the Gas Phase. Chem Lett J. 2004; 33:1242-1248.

10- Kazuhito H. TiO2-coated of gaseous organic compounds optical fiber bundles used as a photocatalytic filter for decomposition. J Photochem Photobio J. 2000; 36:111-116.

11- Yongsheng C, John C, Crittenden A. Preparation of a novel TiO2-based p-n junction nanotube photocatalyst. Env Sci Tech. 2005; 39: 1201-1208

12- Matsunaga T, Tomodam R, Nakajima T. Continuous-sterilization system that uses photosemiconductor powders. Appl Env Microbiol. 1988; 54: 1330-1333.

13- MengQin Z, Shouji U. Controllable crystalline nano-TiO2 by homogeneous hydrolysis with toluene-p-sulfonic Acid. J Am Ceram Soc. 2003; 88 168-171.

14- Hong J, Madhumita B. Application of ultraviolet photooxidation to remove organic pollutants in the gas phase. Sep Pur Tech J. 2000; 19: 11-20.

15- Benabbou AK, Derriche Z, Felix C, Lejeune P, Guillard C. Photocatalytic
inactivation of Escherischia coli Effect of concentration of TiO2 and microorganism, nature,and intensity of UV irradiation. Applied Catalysis. 2007; 257–263.

16- Pengyi Z, Juan L, Zhongliang Z. UV

www.SID.ir

Archive of SID

Photocatalytic Degradation of Toluene in the Gas Phase. Chem Lett J. 2004; 33:1242-1248.

17- Qi H, Sun DZ, CHI GQ. Formaldehyde degradation by UV/TiO2/O3 process using continuous flow mode.j Environmental Sciences,2007; 19:1136–1140.

18- Ao C, Lee S. Enhancement effect of TiO2 on activated carbon filter for the photo degradation of pollutants at typical indoor air level. Int Appl Catal J. 2003; 191-205.

19- Je-L, Chia-HL, Chyow-SC. Photodegradation Kinetics of Formaldehyde Using Light Sources of UVA, UVC and UVLED in the Presence of Composed Silver Titanium Oxide Photocatalyst(in press).

20- Ichiura H, Kitaoka T, Tanaka H. Removal of indoor pollutants under UV irradiation by a composite TiO2–Zeolite sheet prepared using papermaking. Chem Issu Tech 2003; 79-83.

21- Abha S, Amit Saxena, Beer S. degradation of sulphur mustard and its simulants on the surface of impregnated carbon systems. J Hazardous Materials. 2006; 133: 1-3.

22- Panayotov D, Kondratyuk P, Yates JT. Photooxidation of a mustard gas simulant over TiO2-SiO2 mixed-oxide photocatalyst: Site poisoning by oxidation products and reactivation. J Langmuir. 2004; 20: 3674-3678.

23- Michael L. Hichman, A. Anthony S. A Feasibility Study of the Destruction of chemical Weapons by Photocatalytic Oxidation. J Science & Gbbal ecurity. 1997; 6: 205 -237.

www.SID.ir