

حذف تولوئن از هوا با استفاده از خاصیت فوتوکاتالیستی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم پوشش

داده شده بر روی فوم فلزی نیکل

مسعود ریسمانچیان^۱، جعفر اکبری^۲، رضا کشاورزی^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: انتشار ترکیبات آلی فرار در هوای محیط‌های صنعتی و شهری سبب اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان و محیط زیست می‌شود. هدف از انجام این مطالعه، حذف تولوئن از هوا، به عنوان بارزترین آلاینده در بین VOCها، با استفاده از فناوری فوتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل بود.

روش‌ها: با استفاده از فرایند سل ژل، نانوذرات TiO_2 تهیه گردید و سپس بر روی فوم فلزی نیکل پوشش داده شد. با استفاده از آزمایشات XRD و SEM مشخصات مورفولوژی و زیرساختاری نانوذرات تعیین گردید. تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن در فاز گازی تحت تابش نور فرابنفش با تزریق نمونه از راکتور استاتیک به GC-FID اندازه گیری شد.

یافته‌ها: در این مطالعه ابتدا مشخصات فازی و ساختاری فوتوکاتالیست، تعیین گردید و سطح بهینه رطوبت نسبی برای انجام آزمایش، ۳۰٪ تعیین شد. سپس، مقدار جذب سطحی تولوئن حدود ۵۵٪ به دست آمد. در نهایت، پس از ثابت شدن غلظت تولوئن در راکتور، با استفاده از فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه ۵۵٪ از مقدار غلظت اولیه آن حذف شد.

نتیجه گیری: با استفاده از نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل، در دو مرحله جذب سطحی و تبدیل فوتوکاتالیستی بیش از ۸۰٪ تولوئن حذف گردید، به طوری که غلظت تولوئن از ۱۰۰ ppm به ۲۰ ppm رسید.

واژه‌های کلیدی: تولوئن، دی اکسید تیتانیوم، تبدیل فوتوکاتالیستی، فوم نیکل

ارجاع: ریسمانچیان مسعود، اکبری جعفر، کشاورزی رضا. حذف تولوئن از هوا با استفاده از خاصیت فوتوکاتالیستی نانوذرات دی

اکسید تیتانیوم پوشش داده شده بر روی فوم فلزی نیکل. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۳؛ ۱۰(۳): ۹-۴۸۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۲

۱. استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول)

Email: rismanchian@hlth.mui.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳. دانشجوی دکترا، گروه شیمی معدنی، دانشکده شیمی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

مقدمه

انتشار ترکیبات آلی فرار (VOCs) از صنایع مختلف و اتومبیل‌ها برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست خطرناک است (۱). تولوئن، یکی از مهم‌ترین ترکیبات آلی فرار (VOCs) می‌باشد که به طور گسترده‌ای در صنایع و حرفه‌های مختلف برای انحلال رنگ، لاستیک، چسب، مواد ضد عفونی کننده و واکنش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار

می‌گیرد. به دلیل سمیت بالا، احتمال سرطان‌زایی و باقی ماندن طولانی مدت این ماده در محیط، وجود تولوئن در هوا به عنوان یک خطر برای سلامت انسانی و آسیب به محیط محسوب می‌شود که حذف آن از هوای محیط‌های داخلی امری مهم و ضروری می‌باشد (۲). اخیراً، به منظور کنترل VOCها در محیط‌های داخلی، تکنیک‌های جدیدی از جمله تجزیه انتخابی VOCها، شامل روش‌های حرارتی،

فوتوکاتالیستی، شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی به عنوان فناوری‌های جایگزین گسترش یافته‌اند که به‌طور ویژه‌ای تکنیک‌های اکسیداسیون فوتوکاتالیستی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۳-۴). بدین منظور، اکسیداسیون فوتوکاتالیستی (PCO) اشعه ماوراء بنفش (UV-A) بر روی مواد نیمه‌هادی (به خصوص TiO_2) به عنوان یک تکنولوژی جدید و امیدوارکننده برای کنترل VOCها در نظر گرفته می‌شود (۵). در بین مواد نیمه رسانا، تیتانیوم دی اکساید (TiO_2) مؤثرترین فوتوکاتالیست می‌باشد که به دلیل پایداری فیزیکی و شیمیایی، ارزان بودن، بی اثر و غیرسمی بودن، و مقاومت در برابر خوردگی در مصارف فوتوکاتالیستی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶). براساس مطالعات گذشته، با استفاده از فرایند فوتوکاتالیستی TiO_2 می‌توان آلاینده‌های سمی و خطرناک را تخریب کرد و مواد بی‌خطرتر تولید کرد که عمده محصولات حاصل از این فرایند آب و CO_2 تشکیل می‌دهد (۷).

بهبود و بهینه‌سازی سطح TiO_2 به منظور مواجهه بیشتر سطح فوتوکاتالیست با آلاینده، همواره مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. در این مورد، تحقیقات بسیاری در مورد اصول اولیه و افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی تحت تابش نور فرابنفش یا مرئی انجام شده است (۸). بسیاری از مواد از قبیل شیشه (۹)، فولاد زنگ نزن (۱۰-۱۱)، آلومینای متخلخل (۱۲)، کربن فعال (۱۳-۱۴)، زئولیت (۱۵)، فوم سرامیکی (۱۶-۱۷) و سیلیکاژل (۱۸) به منظور بهبود فعالیت‌های فوتوکاتالیستی TiO_2 استفاده شده است. همه این مواد معایبی از قبیل فراهم کردن سطح ویژه کم و عبور نور کم دارند. اخیراً فوم‌های فلزی به دلیل سطح متخلخل یکنواخت و ساختار مشبک به عنوان زیرلایه TiO_2 در تبدیل فوتوکاتالیستی آلاینده‌ها پیشنهاد شده است (۱۹-۲۱). این مواد با ایجاد سیستم کاتالیزوری عالی متناسب با مشخصات دینامیکی گاز، امکان تماس کافی به منظور انجام واکنش‌های گازی در سطح فوتوکاتالیست را فراهم می‌کنند (۲۲)، همین امر مزایای قابل توجهی را در واکنش‌های فوتوکاتالیستی فاز گازی سبب می‌شود (۲۳). Xingfu Wang و همکاران از فیلم TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم فلزی آلومینیوم برای حذف

فرمالدئید از هوا استفاده کردند. نتایج حاصل از این آزمایش عملکرد عالی فوتوکاتالیست را در دمای اتاق نشان داد (۲۴). HU Hai و همکاران در دو مطالعه‌ی در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به بررسی عملکرد فوتوکاتالیستی فیلم‌های TiO_2 و $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ پوشش داده شده بر روی زیرلایه‌ی فوم نیکل در حذف استالدئید از هوا پرداختند. در این مطالعه مشخص گردید که فیلم‌های TiO_2 و $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ پوشش داده شده بر روی فوم فلزی نیکل عملکرد بالایی را برای حذف استالدئید از هوا نشان می‌دهند (۲۵-۲۶). همچنین Huang و همکاران از ترکیب TiO_2 و زیرلایه فوم فلزی نیکل به صورت تجزیه بر پایه پلازما در حذف تولوئن استفاده کردند. در این مطالعه همچنین تأثیر بخار آب بر فرایند تجزیه تولوئن با استفاده از این روش مورد بررسی قرار گرفت. این محققین راندمان بالایی را برای حذف تولوئن گزارش کردند، همچنین عنوان کردند که میزان بخار آب اثر منفی بر سیستم پلازما دارد و افزایش آن باعث کاهش راندمان حذف تولوئن می‌گردد (۲۷).

با توجه به ضرورت حذف آلاینده‌ها از محیط‌های داخلی و همچنین با توجه به کارایی بالا، کاهش مصرف انرژی و مزایای بی‌شمار دیگر فناوری فوتوکاتالیست‌ها، هدف از انجام این مطالعه، بررسی کارایی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم پوشش داده شده بر روی فوم فلزی نیکل در حذف تولوئن گازی بود. در این مطالعه سه مرحله تولید نانوذرات TiO_2 از محلول سل ژل، پوشش دهی آن بر روی فوم فلزی نیکل و کارایی فوتوکاتالیستی آن در حذف تولوئن از هوا مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله، راندمان تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن در شرایط بهینه متغیرهای عملیاتی در راکتور استاتیک طراحی شده ارایه شده است.

روش‌ها

مواد و مشخصات آن

به منظور تهیه محلول سل ژل، ۱۷/۵۹ میلی‌لیتر تیتانیوم ایزوپروپوکساید ($\text{Ti}(\text{OBu})_4$) و ۷/۹۵ میلی‌لیتر تری‌اتانول‌آمین (TEA) در ۷۰/۷۴ میلی‌لیتر اتانول خشک حل گردید. پس از یک ساعت هم زدن شدید محلول در دمای اتاق، محلول حاصل از اتانول خشک و آب دیونیزه به

فوتوکاتالیست به دست آمد. مراحل حذف تولوئن در دمای اتاق و سرعت چرخش $0.7^\circ/\text{s}$ فوت بر دقیقه هوا در داخل راکتور انجام شد. همچنین به منظور تعیین سطح بهینه رطوبت نسبی در حذف تولوئن، فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل، در ۵ سطح رطوبت نسبی ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۸۰ ($\pm 3\%$) مورد بررسی قرار گرفت. پس از تعیین سطح بهینه رطوبت نسبی و کنترل شرایط عملیاتی در راکتور، کارایی فوتوکاتالیستی نمونه در غلظت ppm ۱۰۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. به طوری که پس از ثابت شدن میزان غلظت در راکتور، این مقدار به عنوان غلظت پایه برای تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن در نظر گرفته شد. تغییرات غلظت تولوئن در فاز گازی، با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی با آشکارساز یونش شعله ای (GC-FID, VARIAN 3800, USA) اندازه گیری شد. به این صورت که بعد از روشن کردن منبع لامپ فرابنفش، به فاصله ۲۰ دقیقه مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از هوای راکتور به دستگاه GC-FID تزریق شد. سطح زیر پیک نشان دهنده مقدار غلظت تولوئن بود. دمای اینجکتور، ستون و شعله دستگاه GC-FID به ترتیب ۲۰۰، ۷۵ و ۲۵۰ درجه سانتی گراد بود و در آن از گاز حامل هلیوم استفاده شد (NIOSH method 2549).

یافته ها

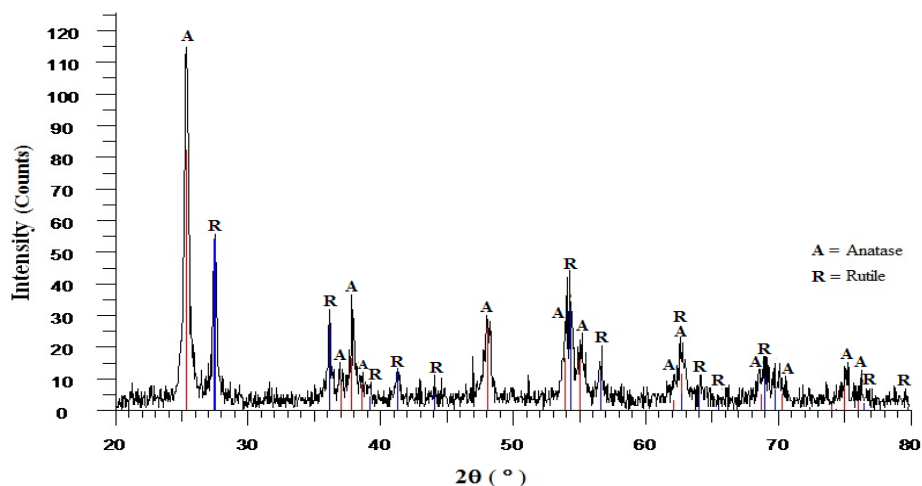
مشخصات مرفولوژی و ساختاری نانوذرات

نمودار ۱ الگوی XRD را برای نمونه TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل نشان می دهد. براساس الگوی XRD به دست آمده از نمونه، مشخص گردید که ساختار بلوری نمونه مورد نظر از هر دو فاز آناتاز و روتایل به نسبت ۶۱،۱٪ و ۳۸،۹٪ تشکیل شده که اندازه ذرات در این دو فاز به ترتیب ۱۸ و ۲۴ نانومتر بود. ساختار و مورفولوژی TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل در نمودار ۲ نشان داده شده است. این شکل الگوی SEM را برای نمونه مذکور نشان می دهد. براساس شکل ۳، پوشش دهی کامل سطح فوم نیکل توسط نانوذرات TiO_2 تهیه شده از محلول سل ژل مشخص است.

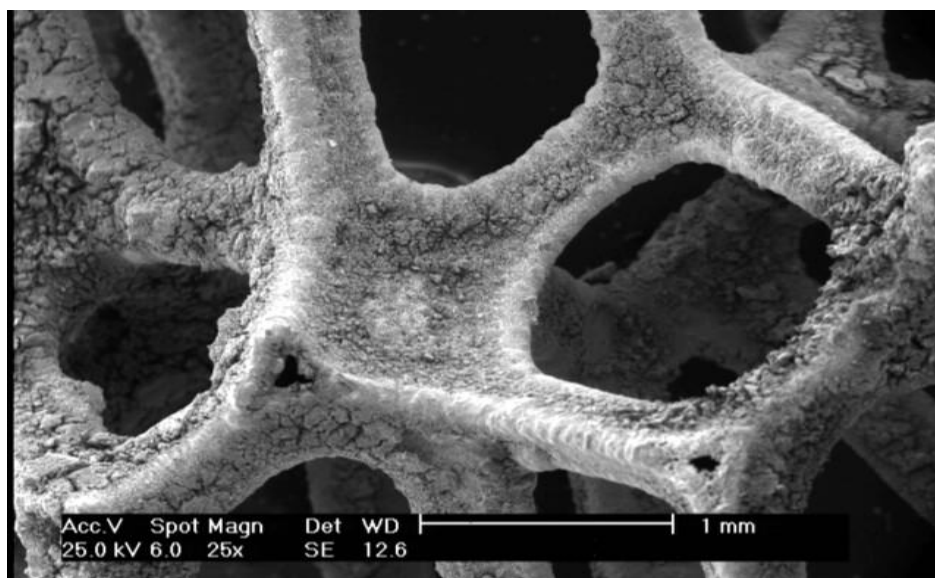
صورت قطره قطره به محلول در حال هم زده شدن اضافه گردید (۲۱). محلول به دست آمده به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق هم زده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در مکان تاریک نگهداری شد.

زیرلایه فوم فلزی نیکل با مشخصات؛ ضخامت 0.8 سانتی متر، قطر سلول ها 2 میلی متر، درصد تخلخل 70 درصد و میانگین منافذ در هر اینچ (PPI یا Pore per inch) برابر 30 (ساخت شرکت نانو پوشش فلز، ایران) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور پاکسازی فوم نیکل از آلودگی احتمالی، پس از قرار دادن آن به مدت 30 دقیقه در دستگاه التراسونیک، به مدت 15 دقیقه در دمای 550 درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس فوم نیکل داخل سل غوطه ور شد. پس از خشک شدن در دمای اتاق، به منظور کلسینه شدن، با برنامه ریزی دمایی در مدت 8 ساعت و 34 دقیقه، دمای کوره به 550 درجه سانتی گراد رسید و نمونه مورد آزمایش در این دما به مدت 45 دقیقه باقی ماند. سپس به منظور جلوگیری از ترک خوردن فیلم TiO_2 و همگن بودن سطح فوتوکاتالیست بر روی زیرلایه فوم نیکل، دمای کوره به تدریج به دمای اتاق رسید. جهت بررسی مرفولوژی سطح TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل، از آنالیز پراش پرتوهای ایکس (XRD) (Bruker, D8 ADVANCE, Germany, Wavelength: $1.5406 \text{ \AA}$ (Cu $K\alpha$), Voltage: 40 kV , Current: 40 mA) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (XL 30, Philips) استفاده شد.

در این مطالعه از یک راکتور استاتیک از جنس فولاد زنگ نزن به حجم 7500 cm^3 استفاده شد. نور UV-A از طریق یک پنجره کوارتز به مساحت 120 سانتی متر مربع به سطح داخل راکتور رسید. نمونه TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل، در داخل راکتور و در فاصله 6 سانتی متری از لامپ UV-A قرار گرفت، به طوری که شدت نور دریافتی از لامپ UV-A در سطح نمونه $11/6 \text{ W/m}^2$ بود. مقدار جذب سطحی تولوئن و همچنین تبدیل فوتوکاتالیستی آن در مراحل آزمایش به ترتیب طی 90 و 270 دقیقه مواجهه با نمونه



نمودار ۱. الگوی XRD نمونه نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل در دو فاز آناتاز و روتایل



شکل ۱. نمای میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح فوم نیکل پوشش داده شده توسط نانوذرات TiO_2

تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن توسط نانوذرات

TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل

تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن در راکتور استاتیک و در شرایط دمای اتاق و ۰/۰۷ فوت بر دقیقه سرعت چرخش

جریان هوا انجام شد. جذب سطحی تولوئن گازی پس از حدود ۹۰ دقیقه از تزریق به راکتور، به تعادل رسید. سپس مقدار غلظت اولیه تولوئن گازی برای پرتودهی مشخص گردید. براین اساس غلظت اولیه تولوئن در

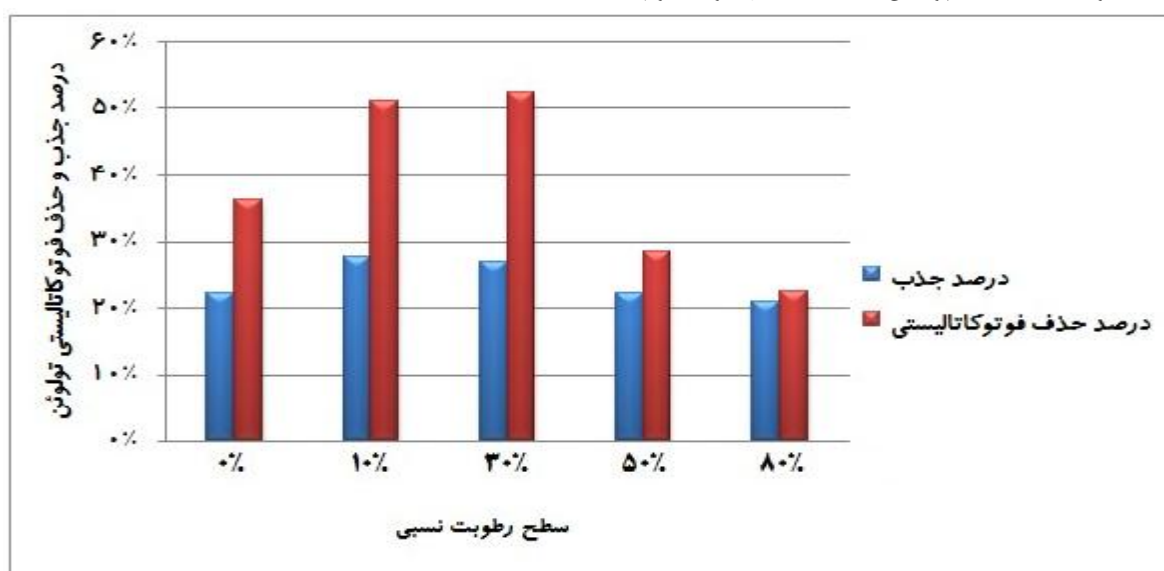
نیکل در مقایسه با سایر حالت‌ها در این سطح رطوبتی انجام شد. بعد از سطح ۳۰٪ بیشترین میزان تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن گازی به ترتیب در سطح‌های ۱۰٪، ۵۰٪، ۸۰٪ با مقادیر ۵۱/۱٪، ۳۶/۲٪، ۲۸/۴٪ و ۲۲/۴٪ بود. مقدار تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن در شرایط بهینه رطوبت نسبی، دمای اتاق و سرعت بهینه چرخش هوا در نمودار ۳ آمده است. این شکل، درصد تبدیل فوتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل را در مقایسه با حالت‌های مختلف متغیرهای تأثیرگذار نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که درصد حذف تولوئن در سایر وضعیت‌ها تقریباً ثابت و بدون افزایش می‌باشد. اما با حضور TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل و همچنین پرتودهی فرابنفش به سطح نمونه، حذف تولوئن افزایش چشم‌گیری داشته است. این شرایط تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن گازی را اثبات می‌کند.

سطوح رطوبت نسبی ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۸۰٪ به ترتیب ۷۷/۷، ۶۲/۴، ۷۳/۲، ۷۹ و ۷۷/۹ پی پی ام بود. همچنین غلظت اولیه آزمایش تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن در رطوبت ۳۰٪ و شرایط عملیاتی حدود ۴۵ پی پی ام بود. پس از تعیین مقدار غلظت، درصد راندمان حذف تولوئن با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

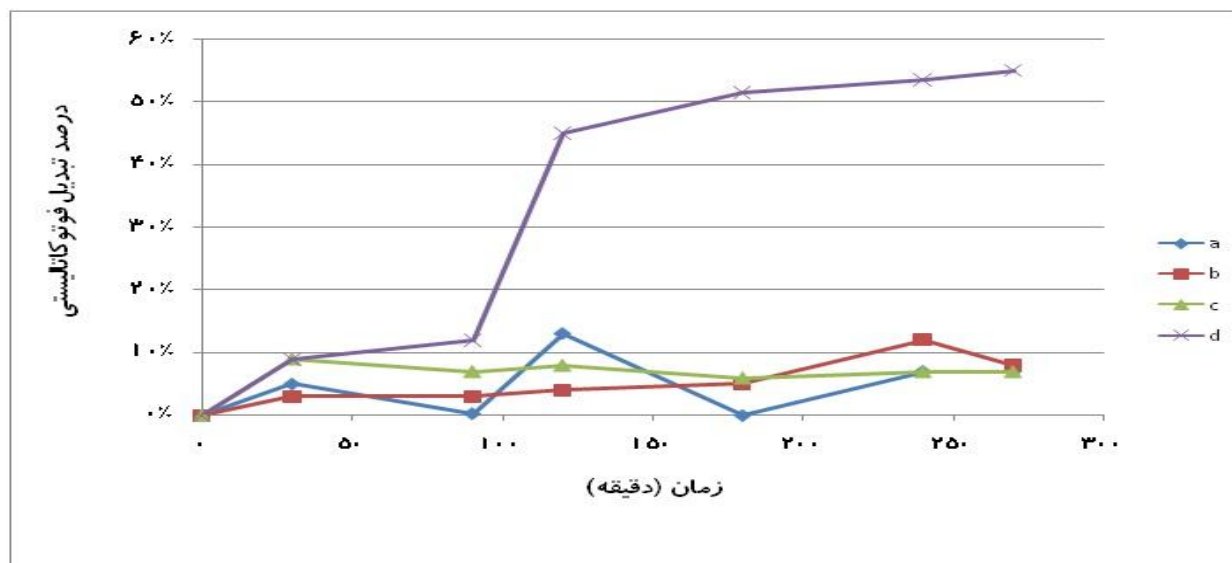
$$1. \quad \%R = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

۲. که در این رابطه، $\%R$ درصد تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن، C_0 غلظت اولیه، و C_1 غلظت ثانویه پس از واکنش فوتوکاتالیستی می‌باشد.

۳. نمودار ۲ مقدار جذب سطحی تولوئن گازی و همچنین تبدیل فوتوکاتالیستی آن را در سطوح رطوبت نسبی مورد بررسی بر حسب درصد نشان می‌دهد. براساس این نتایج، بیشترین درصد تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن در سطح رطوبت نسبی ۳۰٪ با مقدار ۵۲/۵٪ بود. این رطوبت به عنوان رطوبت بهینه در نظر گرفته شد و تست فوتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم



نمودار ۲. درصد جذب سطحی تولوئن در راکتور استاتیک و درصد تبدیل فوتوکاتالیستی آن توسط نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل در سطوح رطوبت نسبی



نمودار ۳. درصد تبدیل فوتوکاتالیستی تولوئن. غلظت تولوئن: ۱۰۰ ppm، رطوبت نسبی: ۳۰٪، دمای هوا: ۳۲ °C، سرعت چرخش هوا: ۰/۰۷ فوت در دقیقه (a) بدون حضور نمونه و بدون حضور UV-A؛ (b) بدون حضور نمونه و با حضور UV-A؛ (c) فوم بدون TiO_2 و با حضور UV-A؛ (d) پوشش داده شده بر روی فوم نیکل در حضور UV-A

کردند که فعالیت فوتوکاتالیستی این نسبت فاز از نمونه، کمی بهتر از نمونه فاز مخلوط تجاری TiO_2 (P25) می‌باشد (۳۳).

در حالی که مطالعات گذشته اثر افزایش سطح رطوبت نسبی بر میزان تبدیل فوتوکاتالیستی آلاینده‌ها را به صورت افزایش‌دهنده (۳۴) و بازدارنده (۳۵) فعالیت فوتوکاتالیستی گزارش کردند، در مرحله تعیین سطح پهنه رطوبت نسبی در مطالعه ما مشخص شد که افزایش سطح رطوبت نسبی می‌تواند اثر افزایشی و کاهشی فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه را داشته باشد. بدین صورت که افزایش رطوبت نسبی تا سطح خاصی (در این جا ۳۰٪) باعث افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه می‌گردد و با افزایش رطوبت نسبی بیشتر از این سطح، فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه به تدریج کاهش پیدا می‌کند (نمودار ۲). علت این امر را می‌توان به اشباع شدن سطح فوتوکاتالیست و کاهش مواجهه آن با آلاینده و در نتیجه کاهش میزان فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه نسبت داد.

مطالعات گذشته نشان داده‌اند برای مصارف فوتوکاتالیستی داشتن ترکیب دو فازی از TiO_2 نسبت به نمونه‌های تک فاز (آناتاز یا روتایل) بهتر و مناسب‌تر است و هر دو فاز در کنار هم فعالیت فوتوکاتالیستی بالاتری نسبت به هر کدام از فازها به صورت تنها دارند و علت این امر هم به اثر هم‌افزایی یا سینرژیستی بین دو فاز نسبت داده شده است (۲۸-۳۱). در این مطالعه، نمونه تهیه شده از محلول سل ژل ترکیبی از دو فاز آناتاز و روتایل به ترتیب به نسبت ۶۱/۱٪ و ۳۸/۹٪ بود. مطالعات گذشته ترکیب فاز را یک عامل خیلی مهم در بالا بودن کارایی فوتوکاتالیستی نمونه دانسته‌اند (۳۲). ترکیب فاز نمونه TiO_2 در مطالعه ما همسو با مطالعه Duan و Lei می‌باشد. این محققین در مطالعه‌ای در مورد همبستگی بین ترکیب فاز TiO_2 و فعالیت فوتوکاتالیستی آن عنوان کردند که مخلوط فاز ۶۰٪ آناتاز بهترین فعالیت فوتوکاتالیستی را در حذف فرمالدئید تحت نور فرابنفش نشان می‌دهد که این افزایش در مقایسه با نمونه حاوی آناتاز یا روتایل به تنهایی، کارایی بهتری را نشان داد. هم‌چنین این محققین گزارش

ماده آلاینده تأثیر بگذارد. اما اثبات دقیق این مسأله نیاز به انجام مطالعات بیشتری دارد. در نهایت، با استفاده از نمونه TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل، در دو مرحله جذب سطحی آلاینده و تبدیل فوتوکاتالیستی آن، مقدار ۸۰٪ ماده تولوئن از هوای راکتور حذف شد.

نتیجه گیری

در این مطالعه پس از تهیه نانوذرات TiO_2 از محلول سل ژل و پوشش دهی آن بر روی فوم فلزی نیکل، کارایی آن در حذف تولوئن از هوا مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج، سطح رطوبت نسبی تا سطح ۳۰٪ باعث افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه شد و بیشتر از این سطح، فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل به تدریج کاهش پیدا کرد. در سطح رطوبت بهینه (۳۰٪) و شرایط کنترل شده عملیاتی، پس از جذب سطحی ۵۵٪ تولوئن، در جریان تبدیل فوتوکاتالیستی مقدار ۵۵٪ آن حذف شد، به طوری که پس از مرحله جذب سطحی و تبدیل فوتوکاتالیستی، مقدار تولوئن از ۱۰۰ ppm به مقدار ۲۰ ppm کاهش پیدا کرد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه نتیجه یک پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای می باشد که تحت حمایت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به شماره طرح ۳۹۱۳۸۴ انجام گرفته است که بدین وسیله به خاطر حمایت های مالی و تجهیزات دستگاهی از دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (IUMS) تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین نویسندگان بر خود لازم می دانند از همکاری صمیمانه شرکت نانو پوشش فلز ایران تولیدکننده انواع فوم های فلزی تشکر نمایند.

در این مطالعه، بعد از جذب سطحی تولوئن مقدار آن از ۱۰۰ ppm به ۴۰ ppm کاهش پیدا کرد. این در حالی است که در مطالعات مشابهی که Hu و همکاران انجام دادند، مقدار آلاینده پس از جذب سطحی به ۷۰ ppm رسید (۳۶، ۲۱). در مطالعه ما، علاوه بر راکتور و شرایط عملیاتی آن، نوع ماده آلاینده مورد استفاده (تولوئن در مقایسه با استالدئید) و همچنین فرایند سل ژل متفاوت بود. همین امر می تواند بر مقدار جذب سطحی و فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه تأثیرگذار باشد که در نتیجه آن مقدار جذب سطحی ۵۵٪ ماده تولوئن به دست آمد. در مطالعه ما مشخص شد پس از جذب سطحی تولوئن، در نتیجه فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات TiO_2 پوشش داده شده بر روی فوم نیکل، مقدار آن از ۴۵ ppm به مقدار ۲۰ ppm کاهش پیدا کرد و راندمان ۵۵٪ بعد از ۲۷۰ دقیقه مواجهه تولوئن با نمونه ثبت گردید. براساس مطالعات گذشته مقدار جذب سطحی بر روی نوع ماده استفاده شده در واکنش فوتوکاتالیستی، تأثیر زیادی بر روی میزان واکنش دارد، و مشخص شده است که میزان واکنش بالاتر در مقادیر متوسط جذب سطحی به دست می آید و این امر هم به دلیل در دسترس بودن مقادیر بالای واکنش دهنده های جذب سطحی شده می باشد که می تواند به راحتی به سطح ذرات TiO_2 انتقال یابد (۳۷-۳۸). با بررسی مطالعه مشابه با مطالعه ما (Hu و همکاران (۲۱)، این محققین با استفاده از یک مرحله پوشش دهی TiO_2 بر روی فوم نیکل راندمان نزدیک به ۷۰٪ به دست آوردند و این در حالی بود که مقدار جذب سطحی آلاینده در این مطالعه ۳۰ ppm گزارش شد. در مطالعه ما مقدار ۵۵ ppm در نتیجه جذب سطحی آلاینده، از هوای راکتور حذف شد و با توجه به مطالب بالا، همین امر می تواند بر روی مقدار تبدیل فوتوکاتالیستی تأثیر بگذارد. بنابراین مقدار جذب سطحی آلاینده قبل از فعالیت فوتوکاتالیستی نمونه، می تواند بر روی تبدیل فوتوکاتالیستی

References

1. Fan H-Y, Shi C, Li X-S, Zhao D-Z, Xu Y, Zhu A-M. High-efficiency plasma catalytic removal of dilute benzene from air. Journal of Physics D: Applied Physics 2009; 42(22): 225105.

2. Zou X, Li X, Qu Z, Zhao Q, Shi Y, Chen Y, et al. Photocatalytic degradation of gaseous toluene over TiO composite nanotubes synthesized by sol-gel with template technique. *Materials Research Bulletin* 2012;47(2):279-84.
3. Kim SB, Hwang HT, Hong SC. Photocatalytic degradation of gaseous toluene over TiO₂-SiO₂ composite nanotubes synthesized by sol-gel with template technique. *Chemosphere* 2002;48(4):437-44.
4. Zhao J, Yang X. Photocatalytic oxidation for indoor air purification: A literature review. *Building and Environment* 2003;38(5):645-54.
5. Parmar GR, Rao N. Emerging control technologies for volatile organic compounds. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2008;39(1):41-78.
6. Tseng T.K., Lin Y.S., Chen Y.J., H C. A review of photocatalysts prepared by sol-gel method for VOCs removal. *International Journal of Molecular sciences* 2010;11:2336-61.
7. Palau J, Colomer M, Penya-Roja JM, Martínez-Soria V. Photodegradation of Toluene, m-Xylene, and n-Butyl Acetate and Their Mixtures over TiO₂ Catalyst on Glass Fibers. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2012;51(17):5986-94.
8. Colón G, Maicu M, Hidalgo M, Navío J, Kubacka A, Fernández-García M. Gas phase photocatalytic oxidation of toluene using highly active Pt doped TiO₂. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 2010;320(1):14-8.
9. Feng X, Shankar K, Varghese OK, Paulose M, Latempa TJ, Grimes CA. Vertically aligned single crystal TiO₂ nanowire arrays grown directly on transparent conducting oxide coated glass: synthesis details and applications. *Nano letters* 2008;8(11):3781-6.
10. Ohko Y, Saitoh S, Tatsuma T, Fujishima A. Photoelectrochemical anticorrosion and self-cleaning effects of a TiO₂ coating for type 304 stainless steel. *Journal of the Electrochemical Society*. 2001;148(1):B24-B8.
11. Yu JC, Ho W, Lin J, Yip H, Wong PK. Photocatalytic activity, antibacterial effect, and photoinduced hydrophilicity of TiO₂ films coated on a stainless steel substrate. *Environmental Science & Technology* 2003;37(10):2296-301.
12. Choi H, Stathatos E, Dionysiou DD. So gel preparation of mesoporous photocatalytic TiO₂ films and TiO₂/Al₂O₃ composite membranes for environmental applications. *Applied Catalysis B-Environmental* 2006;63(1):60-7.
13. Li Y, Li X, Li J, Yin J. Photocatalytic degradation of methyl orange by TiO₂-coated activated carbon and kinetic study. *Water Research* 2006;40(6):1119-26.
14. Zhang X, Zhou M, Lei L. Preparation of photocatalytic TiO₂ coatings of nanosized particles on activated carbon by AP-MOCVD. *Carbon* 2005;43(8):1700-8.
15. Tayade RJ, Kulkarni RG, Jasra RV. Enhanced photocatalytic activity of TiO₂-coated NaY and HY zeolites for the degradation of methylene blue in water. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2007;46(2):369-76.
16. Plesch G, Gorbár M, Vogt UF, Jesenák K, Vargová M. Reticulated macroporous ceramic foam supported TiO₂ for photocatalytic applications. *Materials Letters*. 2009;63(3):461-3.
17. Kim H, Lee S, Han Y, Park J. Preparation of dip-coated TiO₂ photocatalyst on ceramic foam pellets. *Journal of Materials Science* 2006;41(18):6150-3.
18. Pitoniak E, Wu C-Y, Londeree D, Mazyck D, Bonzongo J-C, Powers K, et al. Nanostructured silica-gel doped with TiO₂ for mercury vapor control. *Journal of Nanoparticle Research* 2003;5(3-4):281-92.
19. Huang H, Ye D, Leung DY. Abatement of toluene in the plasma-driven catalysis: mechanism and reaction kinetics. *Plasma Science, IEEE Transactions on* 2011;39(3):877-82.
20. YANG L-p, LIU Z-y, SHI J-w, HU H, SHANGGUAN W-f. Optimal film thickness of TiO₂ coated on foam nickels for the photocatalytic degradation of formaldehyde [J]. *China Environmental Science* 2007;3:029.

21. Hai H, Wen-jun X, Jian Y, Jim-wei S, Ming-xia C, Wen-feng S. Preparations of TiO_2 film coated on foam nickel substrate by sol-gel processes and its photocatalytic activity for degradation of acetaldehyde. *Journal of Environmental Sciences* 2007;19(1):80-5.
22. Pestryakov A, Lunin V, Devochkin A, Petrov L, Bogdanchikova N, Petranovskii V. Selective oxidation of alcohols over foam-metal catalysts. *Applied Catalysis A: General* 2002;227(1):125-30.
23. Yang L, Liu Z, Shi J, Zhang Y, Hu H, Shangguan W. Degradation of indoor gaseous formaldehyde by hybrid VUV and TiO_2 UV processes. *Separation and Purification Technology* 2007;54(2):204-11.
24. Wang X, Han F, Wei X, Wang X. Microstructure and photocatalytic activity of mesoporous TiO_2 film coated on an aluminum foam. *Materials Letters* 2010;64:1985-8.
25. Hai H, Wen-Jun X, Jian Y, Jian-Wei S, Wen-Feng S. Photocatalytic Activities of TiO_2 and $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Films Coated on Foam Nickel Substrates. *Journal of Inorganic Materials* 2007;22(2): 363-8.
26. Hu H, Xiao W, Yuan J, Shi J, He D, Shangguan W. High photocatalytic activity and stability for decomposition of gaseous acetaldehyde on $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ composite films coated on foam nickel substrates by sol-gel processes. *J Sol-Gel Sci Technol* 2008;45:1-8.
27. Huang H, Ye D, Leung DY. Plasma-driven catalysis process for toluene abatement: effect of water vapor. *Plasma Science, IEEE Transactions on* 2011;39(1):576-80.
28. Ohno T, Sarukawa K, Tokieda K, Matsumura M. Morphology of a TiO_2 Photocatalyst (Degussa, P-25) Consisting of Anatase and Rutile Crystalline Phases. *Journal of Catalysis* 2001; 203(1):82-6.
29. Deorsola FA, Vallauri D. Synthesis of TiO_2 nanoparticles through the Gel Combustion process. *Journal of Materials Science* 2008;43(9):3274-8.
30. Carp O, Huisman C, Reller A. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. *Progress in solid state chemistry* 2004;32(1):33-177.
31. Zhang Q, Gao L, Sun J, Zheng S. Preparation of long TiO_2 nanotubes from ultrafine rutile nanocrystals. *Chemistry Letters* 2002;31(2):226-7.
32. Hurum DC, Gray KA, Rajh T, Thurnauer MC. Recombination pathways in the Degussa P25 formulation of TiO_2 : Surface versus lattice mechanisms. *The Journal of Physical Chemistry B* 2005;109(2):977-80.
33. SHI L, WENG D. Highly active mixed-phase TiO_2 photocatalysts fabricated at low temperature and the correlation between phase composition and photocatalytic activity. *Journal of Environmental Sciences* 2008;20(10):1263-7.
34. Haibao Huang, Ye D. Combination of photocatalysis downstream the non-thermal plasma reactor for oxidation of gas-phase toluene. *Journal of Hazardous Materials* 2009;171 (1-3):535-41.
35. Sun DX, Chen S, Jong SC, Duan X, Zhu Z. Photocatalytic degradation of toluene using a novel flow reactor with Fe-doped TiO_2 catalyst on porous nickel sheets. *Photochem Photobiol.* 2005;81:352-7.
36. Hu H, Xiao W, Yuan J, Shi J, Shangguan W. $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ Composite Films Immobilized on Foam Nickel Substrate for the Photocatalytic Degradation of Gaseous Acetaldehyde. *International Journal of Photoenergy* 2008:1-8.
37. Takeda N, Torimoto T, Sampath S, Kuwabata S, Yoneyama H. Effect of inert supports for titanium dioxide loading on enhancement of photodecomposition rate of gaseous propionaldehyde. *The Journal of Physical Chemistry* 1995;99(24):9986-91.
38. Takeda N, Ohtani M, Torimoto T, Kuwabata S, Yoneyama H. Evaluation of diffusibility of adsorbed propionaldehyde on titanium dioxide-loaded adsorbent photocatalyst films from its photodecomposition rate. *The Journal of Physical Chemistry B* 1997;101(14):2644-9.

Removal of gaseous toluene by using of the photocatalytic activity of TiO₂ coated on foam nickel metal

Masoud Rismanchian¹, Jafar Akbari², Reza Keshavarzi³

Original Article

Abstract

Background: Release of volatile organic compounds (VOCs) in industrial and urban area have adverse effects on human health and environment. The aim of this study was removal of gaseous toluene, as the most of pollutants among VOCs, by using of TiO₂ nanoparticles coated on nickel foam substrate.

Methods: TiO₂ nanoparticles prepared by sol gel method and coated on nickel foam. Morphological and structural characteristics of photocatalyst was determined by XRD and SEM. Photocatalytic conversion of toluene in the gas phase under UV-A irradiation by injected of samples into the GC-FID was measured.

Findings: TiO₂ nanoparticles was obtained in anatase and rutile phase, respectively, 61.1% and 38.9%, with dimensions of 18 and 24 nm from the sol-gel solution and coated on nickel foam. After determined the optimal level of relative humidity, adsorption of toluene was determined about 55%. Finally, after constant toluene concentration in the reactor, by using of the photocatalytic activity 55% of toluene concentration was removed.

Conclusion: By using of TiO₂ nanoparticles coated on nickel foam, in two steps of adsorption and photocatalytic conversion, more than 80% of the toluene was removed, so that the concentration of toluene was 100 ppm to 20 ppm.

Key Words: Toluene, Titanium Dioxide (TiO₂), Photocatalytic Conversion, Nickel Foam

Citation: Rismanchian M, Akbari J, Keshavarzi R. Removal of gaseous toluene by using of the photocatalytic activity of TiO₂ coated on foam nickel metal. J Health Syst Res 2014; 10(3):480-9

Received date: 03.12.2013

Accept date: 22.01.2014

1. Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author) Email: Mohamadi.younes@gmail.com.
2. MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Isfahan university of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3. PhD. Student, Chemistry Department, Catalysis Division, University of Isfahan, Isfahan, Iran.