تخریب میکروبی پلی یورتان ، پلی استر پلی یورتان

و پلی اتر پلی یورتان

مهندس حسین کوهی

مدیر توسعه محصولات شرکت رسام پلیمر نامی

به‌طور كلي اكثر پلاستيک‌هاي مصنوعي (به‌عنوان مثال پلي‌اتيلن و پلي‌استايرن) زيست تخريب‌پذير نيستند اما پلي يورتان ها (PUR) به ويژه برپايه پلي‌استر پلي ال به عنوان مواد آسيب‌پذير در برابر حمله ميكروبي شناخته شده و از نقطه نظر مواد مهندسي پلي‌استر PUR چندان مفيد در نظر گرفته نمي‌شدند. اما در سال‌هاي اخيرآلودگي محيط زيست توسط زباله‌هاي پلاستيكي به يک موضوع جدي تبديل شده است و PUR بر پايه پلي‌استر به دليل تجزيه زيستي آن مورد توجه قرار گرفته است.

براي استفاده از پلي‌استر PUR به عنوان پلاستيک زيست تخريب‌پذير، علاوه بر مطالعه شيمي مواد PUR، مطالعات روي ميكروارگانيسم‌هاي تجزيه‌كننده، مسيرهاي تجزيه و آنزيم‌هاي درگير در اين فرآيندها ضروري هستند. اطلاعات در مورد آنزيم‌هاي تجزيه‌كننده PUR براي سنتز و ارزيابي PUR زيست تخريب‌پذير نوين مفيد است و بررسي ژن‌هاي درگير (توسط واكنش زنجيره‌اي پليمراز) براي ارزيابي توزيع ميكروارگانيسم‌هاي تخريب‌كننده PUR در محل دفع مورد نياز است. متاسفانه، اكثر مطالعات روي تخريب ميكروبي PUR از ديدگاه مهندسي مواد براي جلوگيري از تخريب زيستي انجام گرفته و از نظر مكانيسم‌هاي بيوشيميايي و فيزيولوژيكي درگير در فرآيند تخريب ارزيابي‌هاي چنداني نشده است.

به‌تازگي، ويژگي‌هاي يک آنزيم تجزيه‌كننده پلي‌استر، ژن رمزگذاري اين آنزيم و ساختارهاي منحصر بفرد آن توسط آكوتسو و نومرا گزارش شده است. اين آنزيم تجزيه‌كننده PUR داراي ساختار خاصي است كه آن را قادر مي‌سازد بسترهاي جامد آبگريز را تجزيه كند. اين ساختار مشابه در ساير آنزيم‌هاي تجزيه‌كننده پلي‌استرها نيز مشاهده مي‌شود.

PUR با ساير ماكرومولكول‌ها از اين جهت متفاوت است كه ويژگي‌هاي فيزيكي وشيميايي آن به انواع پلي‌ال و پلي ايزوسياناتي كه به عنوان مواد خام براي سنتز آن استفاده مي‌شود، بستگي دارد. بنابراين مقايسه فعاليت تجزيه ميكروارگانيسم‌هاي مختلف تجزيه‌كننده PUR دشوار است. زيرا PUR انتخاب شده براي آزمايش تجزيه زيستي توسط هر محقق متفاوت است.

فرآيند تخريب مولكولي را مي‌توان تقريبا به تجزيه پيوندهاي يورتان و تخريب بخش‌هايي از پلي‌ال، كه اجزاي اصلي تشكيل دهنده PUR هستند، تقسيم كرد. و تجزيه‌پذيري PUR تا حد زيادي تحت تاثير ساختار شيميايي بخش پلي‌ال(نوع پلي‌استر يا نوع پلي‌اتر) است. اگرچه در حال حاضر، بيشتر PUR مورد استفاده در صنعت بر پايه PUR پلي‌اتر است، اما در سال‌هاي اخير PUR بر پايه پلي‌استر به دليل زيست تخريب پذيري مورد توجه قرار گرفته است.

پيوندهاي يورتاني هم در PUR بر پايه پلي‌استر و هم در PUR بر پايه پلي‌اتر وجود دارد. يافته‌هاي ماتسومورا و مارتي به خوبي مشخص كرده است كه تركيبات يورتاني با جرم مولكولي كم را مي‌توان توسط برخي ميكروارگانيسم تحت واكنش استراز كاتاليز هيدروليز كرد.

از سوي ديگر، اطلاعات كمي در مورد تخريب پيوندهاي يورتان در PUR وجود دارد. اگرچه برخي گزارش‌ها از هيدروليز پيوند يورتان در طي تجزيه ميكروبي وجود دارد (فيليپ و جانسن)، اما هنوز مشخص نيست كه آيا پيوندهاي يورتان در PUR مستقيما هيدروليز مي‌شوند يا به دنبال تجزيه به تركيبات با جرم مولكولي كم از بين مي روند. بنابراين براي نتيجه‌گيري مطمئن در مورد تجزيه مستقيم پيوندهاي يورتاني توسط ميكروارگانيسم‌ها به مطالعات سيستماتيک بيشتري نيازمند هستيم.

پلي‌استر PUR داراي پيوندهاي استري زيادي است كه در برابر هيدروليز آسيب‌پذير هستند. بنابراين تصور مي‌شود كه تخريب پلي‌استر PUR عمدتا به دليل هيدروليز پيوندهاي استري است. با توجه به تجزيه زيستي پلي‌استر PUR، قارچ‌ها عوامل موثر شناخته شده‌اي در اين زمينه هستند.

به منظور ارزيابي تجزيه‌پذيري ميكروبي PUR، داربي و همكاران حدود ۱۰۰ نوع PUR را سنتز كردند و تجزيه‌پذيري آنها را توسط هفت نوع قارچ آزمايش كردند. اين اولين مطالعه سيستماتيک در مورد تخريب PUR توسط ميكرو ارگانيسم‌ها بود. آنها گزارش كردند كه PUR زماني كه يک زنجير جانبي در بخش پلي‌استرپلي‌ال آن قرار دارد، در برابر تخريب مقاوم هستند و همچنين فرآيند تخريب بي‌تاثير از نوع ايزوسيانات بكاررفته نيست. پاتيرانا و همكاران همچنين برخي از قارچ‌هاي تخريب‌كننده پلي‌استر PUR را غربال كردند. تخريب PUR توسط اين قارچ‌ها مستلزم افزودن چندين ماده مغذي آلي(مانند ژلاتين) است. در حال حاضر، هيچ گزارشي در مورد قارچ‌هاي تجزيه كننده PUR وجود ندارد كه بتواند از PUR به عنوان تنها منبع كربن استفاده كند.

اگرچه گزارش‌هاي نسبتا كمي در مورد باكتري‌هاي تجزيه كننده PUR وجود دارد، اما هر دو باكتري گرم مثبت و گرم منفي به عنوان تجزيه كننده PUR گزارش شده‌اند. كي و همكاران پس از ۲۸ روز از دفن قطعات پلي‌استر PUR در خاک، ۱۵ نوع باكتري را از قطعات مربوطه جدا كردند. از اين ميان، كرينوباكتريوم‌هاي b6 و b12 و آگلومران‌هاي انترباكتر b7 بيشترين فعاليت تخريبي را نسبت به PUR نشان دادند و براي مطالعات بيشتر انتخاب شدند. پس از كشت ۲ هفته‌اي، كاهش وزن و كاهش استحكام كششي در PUR مشاهده شد. تخريب PUR توسط اين باكتري‌هاي مستلزم افزودن مكمل مواد مغذي آلي مانند عصاره مخمر است و موجودات زنده نمي‌توانند از PUR به عنوان تنها منبع كربن استفاده كنند.

همچنين آناليز مواد تجزيه شده توسط طيف ft-ir نشان داد كه تخريب عمدتا توسط فرآيند هيدروليز پيوندهاي استري ايجاد مي‌شود. آنها به اين نتيجه رسيدند كه PUR به عنوان يک ماده مغذي توسط ميكروارگانيزم‌ها مورد استفاده قرار نمي‌گيرد، بلكه در نتيجه متابوليسم مشترک تخريب مي شود.

باكتري سويه كومامونـاس اسيدووارانس tb-35، كه توسط ناكاجيمو و كامبي جدا شد، يک باكتري گرم منفي است و گزارش شده است كه مي‌تواند از پلي‌استر PUR به عنوان تنها منبع كربن استفاده كند.

اگرچه پلي‌استر PUR نسبتا به راحتي توسط ميكروواركانيسم‌ها تجزيه مي‌شود، پلي‌اتر PUR در برابر حمله ميكروبي نسبتا مقاوم است. داربي و كاپلان انواع مختلفي از پلي‌اتر PUR و پلي استر PUR را سنتز كردند و تجزيه‌پذيري آنها را بررسي كردند. آنها گزارش دادند كه پلي‌اتر PUR به ندرت مستعد تخريب ميكروبي است. فيليپ نتايج مشابهي را از باكترهاي خاک گزارش كرد. يانسن و همكاران گزارش دادند كه برخي از انواع پلي‌اتر PUR توسط استافيلوكوكوس اپيدرميديس سويه KH-11 تجزيه مي‌شوند اما تخريب توسط اين سويه بسيار آهسته پيش مي‌رود. مقاومت نسبي پلي‌اتر PUR در برابر تخريب ميكروبي به دليل مكانيسم تخريب آن است كه شامل دپليمريزاسيون exo-type است در حاليكه تخريب پلي‌استر PUR از نوع دپليمريزاسيون endo-type است.