

Polymerization
Quarterly, 2015
Volume 5, Number 4
Pages 84-91
ISSN: 2252-0449

A Review on Evolution of Polyethylene Pipes: Production Methods and Standards

Mahroo Khaleghi Moghaddam* and Meisam Shabaniyan
Department of Chemistry and Petrochemical Engineering,
Standard Research Institute (SRI), P.O. Box: 31745-139, Karaj, Iran

Received: 8 April 2015, Accepted: 31 December 2015

Abstract

Polyolefins, the most important groups of plastics, are widely used in the production of pipes, fittings and appliances. Properties and specifications of the plastics, particularly polyethylene, have constantly increased their industrial usage in an upward trend since their invention. There has been a growing increase in the use of polyethylene in the piping systems for water supply, drainage, etc in recent years. Naturally, this growth will continue, if the new technologies in materials, processes, and methods are adopted in the production and installation of these pipes and their fittings. Different grades of polyethylene materials depending on their types, application temperature and hydrostatic pressure tolerance come from the changes in density of the components or processing methods which diminish the problems associated with the old grades. In this paper, the evolution of the processes, characteristics of the modified types, their advantages, methods of production and evaluation of the products produced from these materials are discussed in detail based on the existing standards.

Keywords

polyethylene pipe,
bimodal distribution,
Ziegler-Natta,
standard,
production

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: m.khaleghi@standard.ac.ir

مروری بر سیر تکاملی ساخت لوله‌های پلی‌اتیلن: روش‌های تولید و استانداردها

ماهر و خالقی مقدم*، میثم شعبانیا

کرج، پژوهشگاه استاندارد، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، گروه پژوهشی پتروشیمی، صندوق پستی ۳۱۷۴۵-۱۳۹

دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۰، پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۱۹

روند رو به رشد استفاده از مواد پلاستیکی و به طور خاص پلی‌اتیلن در صنعت، حاصل خواص و مشخصات این مواد و کاربردهای آن‌ها بوده است. این موضوع باعث شده است، در مدت زمان کوتاهی که از عمر آن‌ها می‌گذرد، از پیشرفت چشمگیر در تولید و کاربری برخوردار باشد. طبیعی است، این رشد چشمگیر در حالتی ادامه می‌یابد که گذشت زمان شاهد استفاده از فناوری‌های جدید در تهیه مواد اولیه، فرایند ساخت و روش‌های اتصال و نصب این گونه لوله‌ها در صنعت باشیم. انواع مختلف مواد اولیه پلی‌اتیلن براساس نوع و دمای کاربرد آن‌ها و نیز درجه سختی و تحمل فشار موجودند که با تغییراتی در چگالی آمیزه یا فرایند تولید، در راستای رفع مشکلات دسته قبلی و کمک به صنعت فعلی تهیه می‌شوند. در این مقاله روند سیر تکاملی، مشخصات، روش‌های تولید انواع بهبود یافته، مزایای هر نوع و ارزیابی محصولات حاصل از این مواد، با نگرشی بر استانداردهای موجود به تفصیل ارائه می‌شود.

بسپارش
فصلنامه علمی-ترویجی
سال پنجم، شماره ۴
صفحه ۹۱-۸۴، ۱۳۹۴
ISSN: 2252-0449

چکیده



ماهر و خالقی مقدم



میثم شعبانیا

واژگان کلیدی

لوله پلی‌اتیلن،
توزیع دوقله‌ای،
زیگلر - نانا،
استاندارد،
ساخت

مقدمه

پلی اتیلن از مطرح‌ترین مواد اولیه در ساخت لوله‌های مصرفی شبکه‌های آب‌رسانی، فاضلاب، گازرسانی، زه‌کشی، سامانه‌های مایعات و فاضلاب صنعتی، شبکه‌های آبیاری تحت فشار و سامانه‌های آبیاری متحرک است که به دلیل دارا بودن هم‌زمان ویژگی‌های منحصر به فردی همچون مقاومت در برابر خوردگی، وزن کم، انعطاف‌پذیری قابل‌ملاحظه و ویژگی‌های هیدرولیکی بسیار عالی، در حال حاضر به عنوان راه حلی مقرون به صرفه و قابل اطمینان برای بسیاری از کاربردهای مربوط به خطوط لوله به شمار می‌رود. بررسی‌های زیادی روی لوله‌های پلی اتیلنی، در شرایط مختلف انجام گرفته است. نتایج نشان داد، عواملی مانند محل و دمای کاربرد، درجه سختی، مقدار تحمل فشار و تنش‌های محیط صنعت در کاربرد آنها مهم است. در راستای بهینه کردن خواص یاد شده و رفع مشکلات دسته قبلی، با تغییر در چگالی آمیزه یا فرایند تولید، نسل جدیدی از لوله‌های پلی اتیلنی در هر دوره زمانی تهیه شده‌اند [۱-۳].

بهبود عملکرد مورد انتظار برای لوله پلی اتیلن، در هر دوره زمانی شامل فرایندپذیری بهتر و مقدار خروجی بیشتر، انعطاف‌پذیری بهتر برای کلاف‌پیچی، مقاومت بیشتر در برابر رشد آرام ترک (SCG)، رشد سریع ترک (RCP) و فشار هیدروستاتیکی است.

نام‌گذاری انواع مختلف مواد و آمیزه در ساخت لوله‌های پلی اتیلن، بر اساس تعاریف استانداردهای ملی [۴]، بر مبنای حداقل مقدار استحکامی است که در دمای کارکرد 20°C و 50 سال پس از نصب و راه‌اندازی لوله انتظار می‌رود. البته به وزن مولکولی پلی اتیلن نیز اشاره دارد که برای انواع مختلف لوله، مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱- نام‌گذاری انواع مختلف مواد و آمیزه در ساخت لوله‌های پلی اتیلن [۴].

طراحی مواد (نام‌گذاری)	حداقل مقدار لازم*	
	فشار (bar)	استحکام (MPa)
PE 100	۱۰۰	۱۰
PE 80	۸۰	۸
PE 63	۶۳	۶/۳
PE 40	۴۰	۴
PE 32	۳۲	۳/۲

* پس از ۵۰ سال در دمای کارکرد 20°C .

تاریخچه لوله‌های پلی اتیلن

لوله‌های پلی اتیلن اولین بار در دهه ۱۹۵۰ میلادی به‌عنوان لوله‌های تحت فشار استفاده شدند که بر پایه پلی اتیلن کم چگالی با نام‌های PE 32، PE 40 و PE 63 بودند [۲،۳]. این نسل مستعد ترک‌برداری ناشی از تنش بودند. همچنین، نسبت به رشد سریع ترک، ضعیف بودند. ولی با تمام این مشکلات، این لوله‌ها نسبت به سامانه‌های فلزی سبک‌تر و حمل آن‌ها آسان‌تر بود و در معرض ریسک خوردگی نیز نبودند. با این حال، لوله‌های مزبور برای حصول کاربری مناسب، وزن و ضخامت زیادی داشتند که باعث ازدیاد هزینه تولید آن‌ها می‌شد [۲،۳].

برای رفع مشکلات مطرح شده در این دوره، از مواد با چگالی متوسط به نام E 80 استفاده شد. با افزایش چگالی مواد، لوله با ضخامت دیواره کمتر همراه با استحکام مناسب فراهم شد که این موضوع وزن کمتر و تحمل فشار بیشتری را در محصول نهایی سبب شد. همچنین با کاهش ضخامت دیواره، ظرفیت جریان نیز افزایش یافت که صرفه اقتصادی نیز به همراه داشت. با مشاهده اثر افزایش چگالی در رفع مشکلات این لوله‌ها، انتظار می‌رفت، افزایش بیشتر مقدار این ویژگی، بهبود بیشتر خواص را به همراه داشته باشد که PE 100 به صنعت تولید این لوله‌ها راه یافت [۲،۳،۵].

این محصول از نظر مشخصات فیزیکی و عملکردی، ویژگی‌های منحصر به فردی ایجاد کرد که با چگالی بیشتر و وزن و ضخامت کمتر قابلیت تحمل فشار بیشتری را نیز داشت. امروزه این نوع پلی اتیلن در تولید لوله استفاده می‌شود [۲،۳،۵]، ولی به علت کاهش فرایندپذیری آن و همچنین نیاز به کاربرد لوله در دماهای بیشتر و کاربردهای جدیدتر اصلاحاتی روی پلی اتیلن انجام گرفت [۳،۵،۶].

پلی اتیلن با مقاومت به دمای افزایش‌یافته (PE-RT) مطابق با تعریف‌های بین‌المللی، دسته‌ای از مواد پلی اتیلنی اصلاح شده برای کاربرد در دمای زیاد است. در این دسته، ساختار و بلورینگی پلی اتیلن پرچگالی اصلاح شد. این دسته با توجه به ساختار می‌تواند نسبت به سایر پلیمرهای سنگین پرچگالی تحمل گرمایی داشته باشد. اما، عواملی مانند مقاومت کم نسبت به خزش به علت ساختار جدید و مدت زمان تحمل فشار برای این نوع که ۲۰ سال است، استفاده از آن را محدود کرده است [۲،۷].

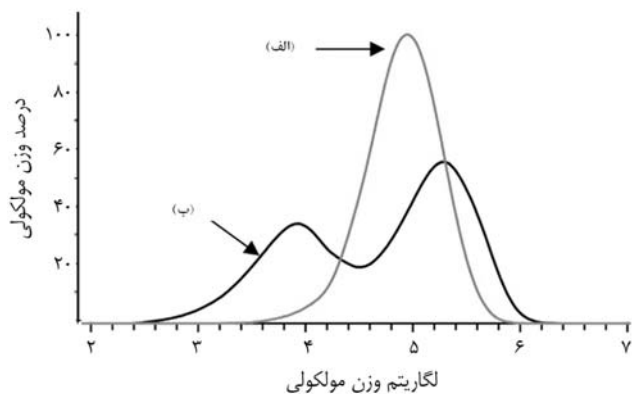
پلی اتیلن پرچگالی در جهت بهبود عملکرد به روش شبکه‌ای شدن و ایجاد پیوندهای عرضی در زنجیرهای آن نیز اصلاح شد. این پلیمر بود. این پلیمر دارای زمان مصرف است، یعنی از زمان تولید در کارخانه تولیدکننده تا لحظه مصرف در کارخانه

اختلاط با آن، در نهایت با دستگاه اکسترودر پودر تولیدی بخش پلیمر، محصول به دانه پلی اتیلن تبدیل می‌شود [۲،۹،۱۰]. از میان کاتالیزورهای استفاده شده در این صنعت، کاتالیزورهای زیگلر-ناتا به عنوان دسته مهمی از کاتالیزورهای صنعتی نقش به‌سزایی در تولید پلی‌اولفین‌ها دارند [۱۶-۱۰]. تکامل فناوری کاتالیزور و طراحی راکتور، اجازه تولید پلیمرهایی با کارایی افزوده را می‌دهد. همچنین در روش‌های مزبور، وزن مولکولی مدنظر با تنظیم دمای فعالیت کاتالیزور کنترل می‌شود. البته همیشه باید این نکته را در نظر داشت، عواقب بالقوه فاجعه‌بار شکست مواد، پذیرش هرگونه لوله‌های پلاستیکی آب یا گاز، علاوه بر عوامل تولید و فرایند، به استانداردهای محصول و استانداردهای عملکردی نیز مربوط است.

توزیع وزن مولکولی

در حین تولید پلی اتیلن، همه مولکول‌ها با طول مشابه و یک اندازه رشد نمی‌کنند و همیشه مخلوطی از وزن‌های مولکولی متفاوت ایجاد می‌شود. بنابراین، در تعیین وزن مولکولی مواد پلیمری، همواره میانگینی از آن به دست می‌آید.

وزن مولکولی پلیمر با اندازه مولکول آن ارتباط دارد و به عنوان مجموع وزن تمام اتم‌های تشکیل دهنده پلیمر بیان می‌شود. وزن مولکولی پلیمر خروجی از راکتور، اثر بسزایی بر چگونگی فرایندپذیری و خواص فیزیکی محصول نهایی آن دارد [۲،۱۷]. سامانه‌های پلی اتیلن با توزیع وزن مولکولی دوقله‌ای (bimodal) و چندقله‌ای (multimodal) از روش‌های بهبود خواص پلی اتیلن در تنظیم ساختار مولکولی است. در واقع با این توزیع که در شکل ۱ مشخص شده است، به دلیل وجود وزن‌های مولکولی کم می‌توان فرایندپذیری راحت‌تری را از مواد ایجاد کرد. وجود وزن‌های



شکل ۱- نمایش توزیع وزن مولکولی: (الف) یک قله‌ای و (ب) دوقله‌ای [۲۰].

مصرف‌کننده (تولید لوله پنج‌لایه یا تک‌لایه)، به دلایل ساختاری زمان مشخصی دارد. چرا که در ابتدا، این پلیمر از دسته پلیمرهای گرماترم است. با گذشت زمان در این پلیمر شبکه‌ای می‌شود، از این رو به مرور از حالت گرماترم به گرماسخت تبدیل می‌شود و در همین زمان کوتاه باید استفاده شود. این مشکل و حساسیت مستقیم به رطوبت هوا و هزینه زیاد تولید از محدودیت‌های این نوع پلی اتیلن است [۸،۹].

به این دلایل، نیاز به مواد پلی اتیلنی جدید با ترکیب مفید و متعادل‌کننده از خواص گرمایی، مکانیکی و فرایندپذیری، بدون نیاز به شبکه‌ای شدن افزایش یافت. در این راستا، سامانه‌های با توزیع مرکبی از وزن مولکولی ایجاد شد. برای درک بهتر چگونگی توزیع مولکولی، ابتدا لازم است تا به فرایند تولید این مواد به طور مختصر اشاره شود [۹].

فرایند تولید

در راکتور تولید پلی اتیلن، طی واکنش پلیمر شدن، اتیلن به عنوان مونومر، یک آلفا-اولفین (شامل اولفین با ۴ تا ۲۰ اتم کربن) نظیر ۱-بوتن، ۱-پنتن، ۱-هگزن، ۱-هپتن، یا ۱-اکتن یا یک دی‌اولفین غیرمزدوج (دارای ۶ تا ۱۸ اتم کربن) نظیر ۴،۱-هگزادیان به عنوان کومونومر برای تنظیم چگالی، هیدروژن برای کنترل جرم مولکولی یا طول زنجیر پلیمر، به طوری که طی واکنش مزبور زنجیر فعال به زنجیر خاتمه یافته تبدیل شود و کاتالیزور مناسب به همراه کمک کاتالیزور برای فعال‌سازی کاتالیزور، شرکت می‌کنند [۲،۹،۱۰].

کاتالیزور به همراه خوراک (اتیلن، هیدروژن، آلفا-اولفین) و هگزان (بستر محیط واکنش پلیمر شدن) وارد راکتورها می‌شود. واکنش پلیمر شدن در یک یا دو راکتور، بسته به نوع مورد نظر با موازی یا متوالی شدن راکتورها انجام می‌پذیرد [۱۰،۱۱].

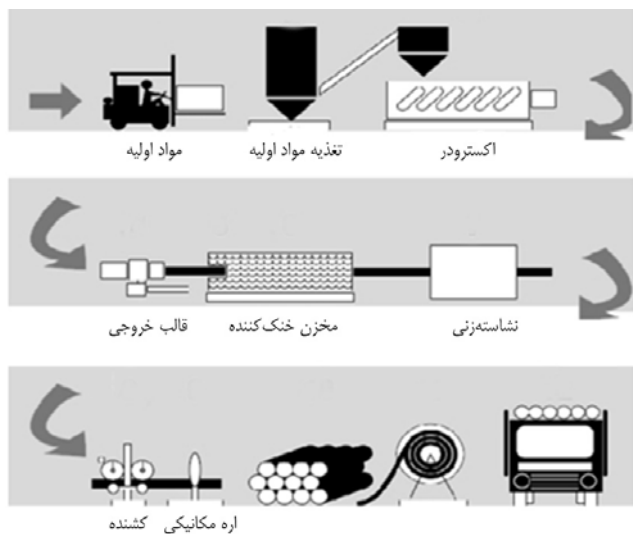
پس از راکتورهای اولیه، جریان تعلیق (ذرات جامد پلیمر معلق در هگزان) خروجی، برای انجام واکنش‌های نهایی وارد راکتور سوم می‌شود که مقدار تبدیل در خروجی راکتور به مقدار تقریبی ۹۹٪ می‌رسد. در ادامه، هگزان موجود در جریان تعلیق با دستگاه‌های مرکزگریز از محصول پودر پلیمر جداسازی شده و برای خالص‌سازی به ناحیه تقطیر ارسال می‌شود. پودر تر خروجی از مرکزگریز برای خشک‌سازی به خشک کن بستر سیال ارسال و پس از خروج از آن با سامانه انتقال پودر به بخش اکسترودر ارسال می‌شود تا از پودر به دانه تبدیل شود. در بخش اکسترودر با توجه به کاربرد محصول، پس از اضافه شدن افزودنی‌های مورد نیاز و

فاز ساکن انتخابی به این نام معروف شده است. در واقع، نوعی رنگ‌نگاری شویشی مایع - جامد است که با غربال کردن به وسیله ژل یا سایر مواد پرکننده الک، پلیمر به اجزای آن تفکیک می‌شود. در شکل ۲ مراحل این روش نشان داده شده است که در آن، اجزا بر اساس اندازه از هم جدا شده و منحنی توزیع جرم مولکولی ثبت می‌شود [۲۲-۲۴].

با دستیابی به این نوع پلی اتیلن انتظار می‌رود، ترکیبی از فرایندپذیری و خواص مکانیکی خوب با هم حاصل شود. ولی همان گونه که پیشتر اشاره شد، پذیرش هرگونه لوله‌های پلاستیکی آب یا توزیع گاز منوط به استانداردهای محصول و عملکرد مربوط است [۲۲-۲۴].

فرایند تولید لوله پلی اتیلن

فرایند تولید لوله‌های پلی اتیلن مطابق با شکل ۳ به روش اکسترودژن است. مواد اولیه به شکل گرانول به داخل دستگاه اکسترودر وارد شده و در اثر گرما ذوب می‌شود. سپس، مواد ذوب شده به وسیله پیچ به جلو رانده شده و پس از خروج از اکسترودر وارد قالب می‌شود. مواد پخت شده پس از خروج از سر قالب، وارد تنظیم کننده قطر (مخزن خلا) شده و با اعمال فشار مناسب شکل داده می‌شوند. سطح لوله به محض خروج از تنظیم کننده، با لایه‌هایی از جریان آب سرد خنک می‌شود. لوله پلی اتیلن تولید شده با دستگاه کشنده به تدریج از درون مخازن خلا و خنک کننده کشیده شده و با دستگاه نشانه‌زن، مشخصات فنی، تاریخ تولید، علامت استاندارد و نشان اختصاری نام شرکت روی آن ثبت می‌شود. سپس لوله‌ها، با دستگاه برش در مترهای مختلف و معین بریده می‌شوند.



شکل ۳- مراحل تولید لوله پلی اتیلن [۳۴].

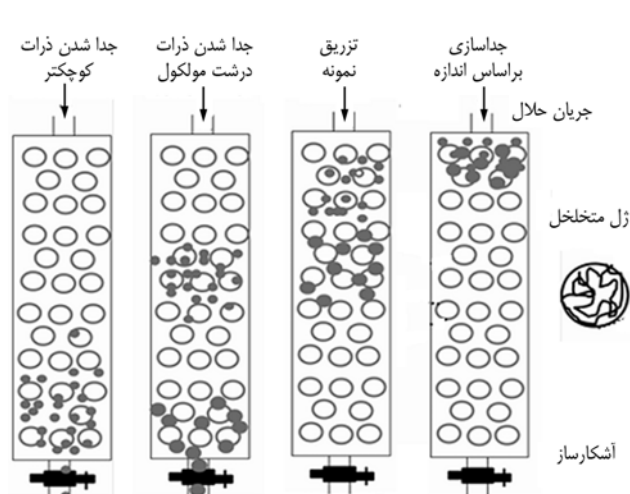
مولکولی زیاد، خواص مهندسی محصول نهایی را تضمین کرده و برابندی از خواص فیزیکی مکانیکی مطلوب با شرایط فراورش آسان را فراهم می‌کند [۲۰-۲۲].

برای تولید پلی اتیلن با توزیع چندقله‌ای (دو یا بیشتر) و داشتن چند وزن مولکولی با توزیع دلخواه در کنار هم، باید شرایط تولید و مواد تحت کنترل باشد. این کار با استفاده از کاتالیزور با یک یا چند موضع فعال در چند راکتور طی روند تولید یا کاتالیزورهایی با چند موضع فعال در یک راکتور واحد و به دنبال آن استفاده از انواع پلی اتیلن دارای گروه‌های قطبی، امکان پذیر است [۲۱].

شاخص شناسایی

ساده‌ترین، اما متداول‌ترین فن، در شناسایی ویژگی‌های ساختاری پلی اتیلن، رنگ‌نگاری اندازه طردی (size exclusion chromatog raphy, SEC) است. در این روش، جداسازی مولکول‌های پلیمر بر اساس اندازه قطعات و طول زنجیرهای پلیمری نمونه است. این روش به نام‌های فیلتر کردن ژل، تراوش ژل، ممانعت مولکولی و رنگ‌نگاری مولکولی نیز مشهور است. اساس این نوع رنگ‌نگاری بر جداسازی ذرات بر اساس اندازه‌های مولکولی آن‌ها استوار است. در این روش، مواد متخلخل به عنوان فاز ثابت استفاده می‌شود. با کنار هم قرار گرفتن این مواد، خلل و فرج‌های بسیار کوچک موقت ایجاد می‌شود که می‌تواند مولکول‌های کوچک را به طور موقت به دام اندازد. مولکول‌ها با اندازه بزرگ در فاز متحرک باقی می‌مانند و به سرعت از ستون شسته می‌شوند [۲۲-۲۴].

روش دیگری از این دسته جداسازی، رنگ‌نگاری ژل تراوایی (GPC) است. این روش بر اساس اندازه است که به علت نوع



شکل ۲- نمایش جداسازی ذرات بر اساس اندازه در روش GPC [۲۳].

می‌شود تا درصد خاکستر (مواد افزودنی) در نمونه اولیه معین می‌شود.

درصد مجاز کربن در لوله پلی اتیلن ۲ تا ۲/۵ درصد وزنی است که باید به طور یکنواخت در سراسر آن توزیع شده باشد. در مناطقی که تجمع کربن بیش از درصد مجاز باشد، تمرکز تنش به وجود می‌آید و لوله آسیب پذیر می‌شود. در حالتی که مقدار کربن کمتر از حد مجاز باشد، استحکام لوله در برابر تابش فرابنفش خورشید کاهش می‌یابد [۴،۲۷،۲۸].

آزمون کشش

با استفاده از دستگاه‌های تخصصی آزمایشگاهی، خواص مکانیکی لوله‌های پلی اتیلن از جمله خواص کششی را می‌توان مطابق با استاندارد ISO 6259 اندازه‌گیری کرد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمون، می‌توان چگونگی عملکرد محصول را در شرایط عملیات بررسی کرد [۲۹].

آزمون فشار هیدروستاتیک

این آزمون به منظور بررسی استحکام محصول در برابر فشارهای هیدروستاتیکی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره‌های ۱-۱۲۱۸۱ و ۲-۱۲۱۸۱ انجام می‌پذیرد. در این آزمون، نمونه‌های لوله پس از غوطه‌ور شدن در حوضچه آب با توجه به اندازه آن و نوع مواد اولیه در دمای ۲۰°C به مدت ۱۰۰ h یا ۸۰°C به مدت ۱۶۵ h ساعت یا ۸۰°C به مدت ۱۰۰۰ h، تحت فشار داخلی ثابت قرار داده می‌شوند [۳۰]. پیدایش هرگونه نقص در نمونه‌ها (ترکیدگی، بادکردگی، تورم موضعی، نشتی و ترک‌های مویی) به معنای مردود بودن محصول است.

آزمون فشار ترکیدگی

در این آزمون، مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۲۱۸۱، نمونه‌های لوله در حوضچه‌ای با دمای ثابت ۲۳°C شناور می‌شوند. سپس، لوله‌ها تحت اثر فشار داخلی افزایش یافته قرار می‌گیرند، به گونه‌ای که طی ۶۰ s تا ۷۰ s، دچار تورم و پس از آن ترکیدگی می‌شود [۳۰].

لوله‌ای که با مواد مرغوب و فرایند صحیح تولید شده باشد، دچار تغییر شکل پلاستیکی شده و باد می‌کند. سپس، به شکل نوک‌منقاری دچار ترکیدگی می‌شود. در این حالت، مقطع شکست عمود بر محور طولی لوله است. لوله‌ای که بدون بادکردگی دچار ترکیدگی یا شکاف طولی شود، غیرقابل مصرف است [۴،۳۰].

اکسترودرهای پیچی رایج‌ترین نوع هستند. سرعت و شکل پیچ انتخابی، معین‌کننده خروجی، سرعت اختلاط و فشار قالب اکسترودر است. در واقع، با پیچ، پلیمر متراکم، گرم، گاززدایی و ذوب می‌شود. از ابتدای ناحیه انتقال، عمق کانال پیچ به تدریج کاهش می‌یابد. این کاهش یکنواخت ابتدا هوا را به بیرون می‌راند و سپس مواد را متراکم می‌کند.

برای تولید لوله‌های پلی اتیلن از اکسترودرهای تک‌پیچ، استفاده می‌شود. روی پیچ مناطقی برای هدایت خوراک ورودی به داخل سیلندر، فشرده‌سازی، تهیه مذاب یکنواخت و پمپ کردن مذاب به داخل قالب تعبیه شده است.

کلیه مراحل تولید باید با دستگاه‌های کاملاً خودکار کنترل و بازرسی شود تا کیفیت محصول نهایی مطابق با استاندارد باشد [۲،۲۳].

محصول به دست آمده باید در کلیه مراحل تولید تحت کنترل و با استانداردهای موجود منطبق باشد [۲۵-۳۳].

آزمون‌های متداول استاندارد در بررسی عملکرد و کیفیت لوله

پلی اتیلن

شاخص جریان مذاب

در آزمون شاخص جریان مذاب (MFI) سرعت جریان ذوب مواد در دما و زمان ثابت، مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۶۹۸۰ اندازه‌گیری می‌شود تا از نتایج حاصل، چگونگی رفتار مواد در داخل اکسترودر بررسی شود [۴،۲۵].

این آزمون برای مواد اولیه و بررسی کیفیت مواد و نیز روی محصول انجام می‌شود. مقدار MFI محصول نباید بیشتر از ۲٪ با MFI ماده اولیه تفاوت داشته باشد.

تعیین چگالی

چگالی مواد اولیه و محصول مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۷۰۹۰، به روش شناورسازی با استفاده از ترازوی دقیق و سیالی، معین می‌شود. چگالی به دست آمده، معرف کیفیت فرایند تولید است [۴،۲۶].

تعیین درصد کربن

مقدار کربن در مواد اولیه و محصول نهایی مطابق با استاندارد ISO 6964 و 18553 معین می‌شود. بدین منظور، مقدار معینی از مواد اولیه، در کوره‌ای تا دمای ۸۰۰°C، در جو گاز نیتروژن خالص پیرولیز شده و مقدار کربن به‌جا مانده در اثر اکسیژن، سوزانده

انجام می‌گیرد. هدف از انجام این آزمون، تعیین مقدار پایداری گرمایی مواد است. مطابق با این استاندارد زمان تخریب پلی اتیلن نباید کمتر از ۲۰ min باشد [۳۳].

نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر روند رو به رشد استفاده از مواد پلاستیکی و به‌طور خاص پلی اتیلن، مرهون خواص و ویژگی‌های این مواد و اصلاح انواع متفاوتی از مواد اولیه آن بوده است. این کار باعث شده است تا در مدت زمان کوتاهی که از عمر آن می‌گذرد از پیشرفت چشمگیری در تولید و مقدار کاربری در صنایع مختلف برخوردار باشد. به‌عنوان مثال، تولید پلی اتیلن‌های چندقله‌ای و دوقله‌ای به علت دارا بودن خواص فرایندپذیری، عملکردی و مکانیکی مطلوب، رویکرد جدیدی در تولید لوله‌های پلی اتیلن است. افزون بر این، برای غلبه بر نگرانی‌های موجود در معایب کاربردی این لوله‌ها، توجه مداوم به استانداردهای محصول لازم است. با این حال، زمینه‌های پژوهشی زیادی در دستیابی به انواع اصلاح شده همواره لازم است.

مراجع

- Willoughby D., *Plastic Piping Handbook*, Mc Graw Hill, New York, 350-400, 2001.
- Peacock A., *Handbook of Polyethylene: Structures: Properties, and Applications*, CRC, Texas, 43-123, 2000.
- Standard Specification for High-Density Polyethylene (PE) Line Pipe, *Annual Book of ASTM Standard*, **08.04**, F2619, 2013.
- Plastics Piping Systems for Water Supply-Polyethylene (PE), INSO 14427, Iranian National Standards Organization, 2012.
- Scheirs J., Bohm L.L., Boot J.C., and Leever P.S., PE 100 Resins for Pipe Applications, *Trends Polym. Sci.*, **4**, 408-415, 1996.
- Patterson S.E. and Spalding M.A., *Molecular Design of High Density Polyethylene for Pipes*, ASCE, USA, 964-973, 2012.
- Standard Specification for Polyethylene of Raised Temperature (PE-RT) Plastic Hot and Cold-Water Tubing and Distribution Systems, *Annual Book of ASTM Standard*, **08.04**, F2769, 2010.
- Runyan G., Harrinton B., and Chapman B., Crosslinked Polyethylene Articles and Processes to Produce Same, *US Pat. 8,192,813*, 2003.
- Whelan T., *Polymer Technology Dictionary*, Springer Science and Business Media, London, 398-399, 1994.
- Schramm D., Quack W., Damen J., Cham P., Polyethylene Resin Having Multimodal Molecular Weight Distribution, Used as Hot Water Conduits, *US Pat. 7,250,473*, 2007.
- Alt F., Böhm L., and Gundert F., Modified Ziegler Catalyst, Process for Preparing it and Process for Preparing Poly-1-olefins in its Presence, *US Pat. 7,196,152*, 2007.
- Isam J., Heat Treatment of Ziegler-Natta Catalysts to Increase Activity in Solution Polymerization Process, *US Pat. 0,949,280*, 1998.
- Narayanrao T.Y., Modified Ziegler Natta Catalyst for Propylene Polymerization, *US Pat. 2,014,073*, 2012.

14. Clark J., The Polymerization of Alkenes, <http://www.Chemguide.co.uk>, Available in 7 Deceber 2014.
15. Shamiri A., Chakrabarti M.H., Jahan S., Kaminsky W., and Purushothaman V., The Influence of Ziegler-Natta and Metallocene Catalysts on Polyolefin Structure, Properties, and Processing Ability, *Materials*, **7**, 5069-5108, 2014.
16. Kaminsky W., *Advances in Polymer Science, Polyolefins: 50 Years after Ziegler and Natta, Polyethylene and Polypropylene*, Springer-Verlag, Berlin, 29-42, 258, 2013.
17. Nakatani H., Miyazaki K., and Terano M., *Ziegler-Natta Polymerization, Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*, Springer, Berlin, 1-5, 2014.
18. Hong-Wang S., Luan T., Xie B.H., Yang W., and Yang M.B., Rheological Behaviors and Molecular Weight Distribution Characteristics of Bimodal High-Density Polyethylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, **121**, 1543–1549, 2011.
19. Ning S., Wenzel M., and Alina A., Morphology of High-Density Polyethylene Pipes Stored under Hydrostatic Pressure at Elevated Temperature, *Polymer*, **55**, 3792–3800, 2014.
20. Gunseong L.A. and Youngjo K., Preparation of Polyethylene With Controlled Bimodal Molecular Weight Distribution Using Zirconium Complexes, *J. Ind. Eng. Chem.*, **18**, 429-432, 2012.
21. Knuuttila H., Lehtinen A., and Nummila-Pakarinen A., Controlled Material Properties, *Adv. Polym. Sci.*, **169**, 13-28, 2004.
22. Yulai Z., Li W., Haojie Y., Guanghui J., Chao L., Yongsheng C., and Muhammad S., Facile Preparation of Bimodal Polyethylene with Tunable Molecular Weight Distribution from Ethylene Polymerization Catalyzed by Binary Catalytic System in the Presence of Diethyl Zinc, *J. Polym. Res.*, **470**, 2-11, 2014.
23. Balke S.T., Hamielec A.E., LeClair B.P., and Pearce S.L., Gel Permeation Chromatography, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, **8**, 54–57, 1969.
24. Hong P., Koza S., and Edouard S.P., A Review Size-Exclusion Chromatography for the Analysis of Protein and their Applications, *J. Liq. Chromotogr. R. T.*, **35**, 2923–2950, 2012.
25. Plastics-Determination of the Melt Mass-flow Rate (MFR) and Melt Volume-flow Rate (MVR) of Thermoplastics-Part 1: Standard Method, INSO 6281-1, Iranian National Standards Organization, 2013
26. Plastics -Methods for Determining the Density of Non-cellular Plastics, INSO 7090, Iranian National Standards Organization, 2014.
27. Method for the Assessment of the Degree of Pigment or Carbon Black Dispersion in Polyolefin Pipes, Fittings and Compounds, ISO 18553, 2002.
28. Polyolefin Pipes and Fittings - Determination of Carbon Black Content by Calcination and Pyrolysis - Test Method and Basic Specification, ISO 6964,1986.
29. Thermoplastics Pipes - Determination of Tensile Properties, ISO 6259, 1977.
30. Thermoplastics Pipes, Fittings and Assemblies for the Conveyance of-Fluids-Determination of the Resistance to Internal Pressure, INSO 7090, Iranian National Standards Organization, 2011.
31. Thermoplastics Pipes - Longitudinal Reversion - Test Method and Parameters, ISO 2505, 2005.
32. Thermoplastics Pipes for the Conveyance of Fluids-Dimensions and Tolerances-Part 1: Metric Series, ISIRI 10610-1, Iranian National Standards Organization, 2008.
33. Plastics-Differential Scanning Calorimetry (DSC)-Part 6: Determination of Oxidation Induction Time (Isothermal OIT) and Temperature (Dynamic OIT), ISIRI 7186-6, Iranian National Standards Organization, 2010.
34. Infra structural pipes, <http://www.mega-therm.com>, available in 13 February 2013.