

کوپلیمر شدن آزنوتروپ استیرن - آکریلونیتریل (SAN) به روش پلیمر شدن تعلیقی در فشار اتمسفری

Azeotropic Styrene-Acrylonitrile (SAN) Suspension Polymerization at Atmospheric Pressure

مهرسا امامی، مهدی نکومنش حقیقی*، فرزین هرمزی

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فنی و مهندسی، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۱/۲/۲۵، پذیرش: ۸۱/۸/۲۲

چکیده

کوپلیمر شدن تعلیقی استیرن - آکریلونیتریل (SAN) در فشار اتمسفری و دمای ثابت 75°C بررسی شد. ترکیب درصد مونومرها برای رسیدن به کوپلیمری با ترکیب آزنوتروپ، معادل ۳۰ درصد وزنی مونومر آکریلونیتریل در خوراک بدست آمد. سنتز انواع مختلف با متوسط جرم مولکولی متفاوت از کوپلیمر انجام گرفت و فرمولبندی مناسب انتخاب شد. برای اولین بار از مخلوط دو آغازگر لوریل پروکسید و بنزوئیل پروکسید بطور همزمان در کوپلیمر شدن SAN استفاده شد. اثر میزان غلظت عامل انتقال زنجیر نرمال دودسیل مرکاپتان بر جرم مولکولی کوپلیمر مطالعه و معلوم شد که برای انجام واکنش به طور همدم، نسبت ۰/۱ درصد وزنی از این ماده نسبت به وزن کل مونومرها از سایر غلظتها مناسبتر است.

(مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال پانزدهم، شماره ۶، صفحه ۳۷۹-۳۷۳، ۱۳۸۱)

واژه‌های کلیدی

کوپلیمر شدن تعلیقی، استیرن، آکریلونیتریل، مخلوط آغازگرها، آزنوتروپ

مقدمه

در زمره پرمصرفترین آنها قرار گرفته است [۱]. تولید صنعتی این رزین برای اولین بار در کشور آلمان گزارش شده است [۲] و در حال حاضر شرکتهای متعددی آن را تولید می کنند [۳].

کوپلیمر استیرن - آکریلونیتریل (SAN) از جمله رزینهای گرمانرم شفاف است که به دلیل دارا بودن خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، مقاومت خوب در برابر حلالهای شیمیایی و نیز قیمت ارزان نسبت به سایر کوپلیمرهای استیرن،

Key Words

suspension polymerization, styrene, acrylonitrile, initiators mixture, azeotrope

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه مورد استفاده.

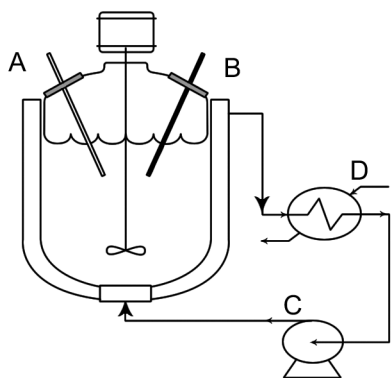
منبع تهیه و مشخصات	کاربرد	ماده
Chemische Fabrik Budenheim، قطر متوسط ذرات ۳ میکرون فلوکا	فاز پیوسته عامل تعلیق	آب مقطر تری کلسیم فسفات (TCP)
پتروشیمی تبریز، درجه خلوص ۹۸/۵٪ دارای ppm ۱۵ - ۱۰ بازدارنده	عامل فعال سطحی مونومر	سدیم آلکیل بنزوئیل سولفونات استیرن
پلی آکریل اصفهان، درجه خلوص ۹۸٪ دارای ppm ۳۰ - ۲۵ بازدارنده	مونومر	آکریلونیتریل
فلوکا، دارای ۵ درصد وزنی آب فلوکا، دارای ۲۵ درصد وزنی آب مرک	آغازگر آغازگر اصلاح کننده جرم مولکولی	دی لوریل پروکسید بنزوئیل پروکسید نرمال دودسیل مرکاپتان (n-ddm)

فسفات (TCP) و مخلوط دو آغازگر دی لوریل پروکسید و بنزوئیل پروکسید بررسی و برای اولین بار گزارش شده است. روشهای مختلفی برای پلیمر شدن تعلیقی SAN در مراجع موجود است. در اغلب موارد پلیمر شدن در فشار غیر اتمسفری و نیز بطور ناهمدمای (در طول پلیمر شدن) صورت می گیرد. تنها شرکت تورا تولید SAN را در فشار اتمسفری و در دمای ۷۵°C در نسبت آکریلونیتریل به کل مونومر مساوی ۲۵ درصد و با استفاده از ۰/۱ درصد وزنی مونومر از آغازگر آزوبیس ایزوبوتیرونیتریل (AIBN) و به میزان ۰/۵ درصد وزنی مونومر عامل تعلیق آکریل امید-متاکریلیک اسید گزارش کرده است [۵]. شرکتهای مختلفی از عامل تعلیق تری کلسیم فسفات، برای تولید

این رزین را می توان به کمک هر یک از سه روش کاپلیمر شدن امولسیون، تعلیقی یا جرمی تولید کرد [۱]. خواص محصول با توجه به روش پلیمر شدن متفاوت خواهد بود، بنابراین، براساس کاربرد رزین، روش پلیمر شدن انتخاب می شود. مهمترین کاربرد SAN در تولید کائوچوی مصنوعی آکریلونیتریل - بوتادی ان - استیرن (ABS) است و به دلیل اینکه محصول پلیمر شدن امولسیون برای این کاربرد مناسبتر خواهد بود، روش مهم تولید SAN روش پلیمر شدن امولسیون گزارش شده است [۴].

در اکثر موارد برای تولید SAN از روش پلیمر شدن امولسیون استفاده می شود، ولی به دلیل آنکه محصول این روش به شکل لاتکس بوده و برای جداسازی آن یک مرحله لخته سازی و سپس جداسازی لازم است و نیز به واسطه وجود مقادیر زیاد امولسیون کننده در مخلوط واکنش، محصول نهایی دارای درصد ناخالصی زیادی خواهد بود، بنابراین روش پلیمر شدن تعلیقی انتخاب شد. با استفاده از روش پلیمر شدن تعلیقی برای تولید SAN محصولی خواهیم داشت که به شکل ذرات کروی معلق در فاز آب است و جداسازی آن به کمک یک مرحله صاف کردن انجام می گیرد و محصول نهایی شفاف و عاری از ناخالصی است [۱]. علاوه بر این، در تمام کاربردهای SAN چه به عنوان ماده واسطه برای تولید ABS و چه به عنوان محصول نهایی می توان از آن استفاده کرد.

در این پژوهش، پلیمر شدن تعلیقی SAN در فشار اتمسفری و دمای ۷۵°C، در ترکیب آزوتروپ و با استفاده از عامل تعلیق تری کلسیم



- A : لوله نمونه برداری
B : حسگر دما
C : پمپ
D : گرمکن

شکل ۱- طرح کلی راکتور پلیمر شدن و ملحقات آن.

SAN استفاده کرده اند [۳].

در طول پلیمر شدن، کنترل دمای واکنش بطور دستی (با دقت 0.1°C)، از طریق رؤیت دمای داخل راکتور و تغییر مقدار مقرر دمای سیال جاری در جداره راکتور انجام می گیرد. واکنش ۷ ساعت ادامه می یابد، سپس با سرد کردن محتویات راکتور، پلیمر شدن متوقف می گردد. محصول نهایی که به صورت دوغابی از ذرات پلیمر در آب است، به کمک صاف کردن از آب جدا شده و در آون $70-80^{\circ}\text{C}$ خشک می گردد.

مثال تجربی

پلیمر شدن با نسبت کل مونومرها به آب مساوی ۳۰ درصد وزنی در دمای 75°C : ابتدا، مقدار ۵۶۰ گرم آب، ۴ گرم پودر تری کلسیم فسفات و ۱۰ گرم محلول ۰/۵ درصد وزنی سدیم آلکیل بنزوئیل سولفونات به راکتور منتقل می شود. از همزن با سرعت حدود ۲۰۰ دور بر دقیقه استفاده می شود و پس از تنظیم مقدار مقرر دمای سیال جاری در جداره راکتور، پمپ آن بکار می افتد. پس از رسیدن محتویات راکتور به دمای واکنش، مونومرها که در دمای یخچال نگهداری می شوند در همان دما توزین می گردند. میزان استیرین مصرفی ۱۶۸ گرم و میزان آکریلونیتریل مصرفی ۷۲ گرم است. سپس، از هر یک از دو آغازگر دی لوریل پروکسید و بنزوئیل پروکسید به میزان ۰/۶ گرم و از n-ddm به میزان ۰/۱۶ گرم توزین شده و در مونومرها حل می شود. مخلوط مونومرها، آغازگرها و اصلاح کننده جرم مولکولی بخوبی یکنواخت شده و سپس به راکتور منتقل می شود. پس از گذشت ۷ ساعت از زمان واکنش با نمونه برداری از محصول، در صورت جامد بودن دانه ها، واکنش با سرد کردن راکتور متوقف می شود.

تعیین خواص محصول

برای تعیین خواص محصول، ابتدا یک مرحله خالص سازی روی آن انجام می گیرد. خالص سازی با حل کردن محصول در THF و رسوبگیری آن در متانول صورت می گیرد. سپس، محصول خالص شده در آون $70-80^{\circ}\text{C}$ به مدت ۴ ساعت خشک می شود و برای آزمونهای بعدی مورد استفاده قرار می گیرد.

عمده آزمایشهای انجام شده روی محصول، تعیین محتوای آکریلونیتریل و نیز متوسط جرم مولکولی آن است. بطور کلی، خواص فیزیکی SAN به جرم مولکولی و محتوای آکریلونیتریل آن بستگی دارد. افزایش این دو پارامتر خواص فیزیکی محصول را بهبود می بخشد، اما باعث افزایش رنگ زرد محصول، کاهش قابلیت فراوری و از بین رفتن مقاومت گرمایی آن می گردد. شفافیت و قابلیت فراوری SAN را استیرین تأمین می کند [۱].

انتخاب دما و زمان واکنش، نوع و میزان آغازگرها، میزان اصلاح کننده جرم مولکولی، نسبت مونومرها به آب و نیز ترکیب مونومرها در خوراک بررسی شده اند و از لحاظ ترکیب درصد مونومرها در کوپلیمر و نیز متوسط جرم مولکولی، فرمول بهینه بدست آمده است.

تجربی

مواد

در جدول ۱ مشخصات مواد مورد استفاده و نیز کاربرد و منبع تهیه آنها خلاصه شده است. اشاره می شود که برای سنتز انواع مختلف با متوسط جرم مولکولی متفاوت از کوپلیمر، از مخلوط آغازگرهای دی لوریل پروکسید و بنزوئیل پروکسید استفاده شده است.

دستگاهها

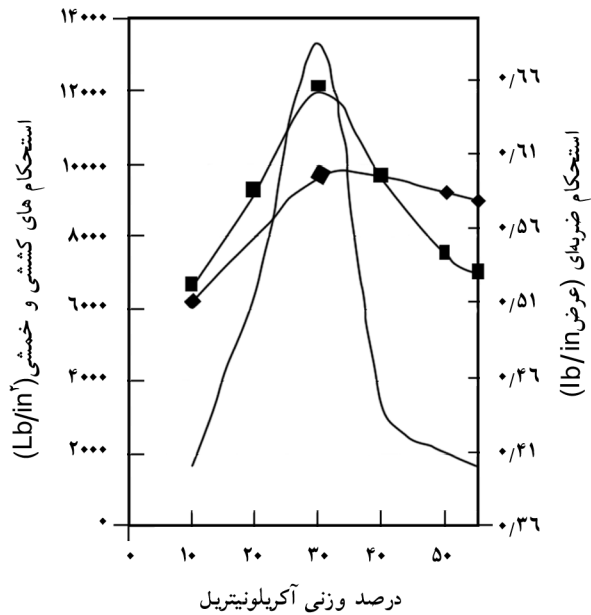
پلیمر شدن، در یک راکتور شیشه ای دو جداره یک لیتری، مجهز به همزن با دور قابل تنظیم، حسگر دما و رابط نمونه برداری انجام می گیرد. جداره راکتور متصل به یک حمام آب است که علاوه بر کنترل دمای آب، دارای پمپ برای گردش آب در جداره راکتور است. مشخصات راکتور پلیمر شدن در جدول ۲ خلاصه گردیده و در شکل ۱ طرح کلی تجهیزات مورد استفاده مشاهده می شود.

روشها

انجام پلیمر شدن، همانند سایر روشهای پلیمر شدن تعلیقی، براساس انتشار مخلوط مونومرها، آغازگرها و عوامل اصلاح کننده جرم مولکولی به کمک یک نیروی مکانیکی قوی در فاز پیوسته آب است [۶].

جدول ۲ - مشخصات تجهیزات اصلی مورد استفاده در آزمایشگاه.

وسیله	جنس	توضیح
راکتور دو جداره همزن	شیشه فولاد	حجم یک لیتر و $L/D=1/5$ سه پره خمیده با قطر معادل $1/3$ قطر راکتور و ارتفاع پره ها مساوی ۱cm
میله همزن	فولاد	قطر ۱cm
بافل	فولاد	۴ عدد با پهنای ۰/۸cm و زاویه 90°
حسگر دما		با دقت 0.1°C
گرمکن آب		با دقت 0.1°C



شکل ۲ - تغییرات خواص فیزیکی و مکانیکی کوپلیمر SAN با محتوای آکریلونیتریل آن: (-) استحکام ضربه‌ای، (+) استحکام خمشی و (-) استحکام کششی.

می‌گردد [۹]. بدین منظور با استفاده از مقدار ۰/۵ درصد وزنی از آغازگر نسبت به مونومرها، در دمای ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵°C پلیمر شدن انجام گرفت که تنها در مورد دمای ۷۵°C و زمان ۷ ساعت واکنش پلیمر شدن تا تبدیل بیشتر از ۹۵ درصد از مونومرها پیش رفته بود و متوسط جرم مولکولی گرانیروی سنجی محصول در حد قابل قبول بود.

تعیین ترکیب آزنوتروپ کوپلیمر

در کوپلیمر شدن رادیکال آزاد براساس ضریب فعالیت مونومرها نسبت به یکدیگر، یکی از مونومرها در طول واکنش تمایل بیشتری برای هوموپلیمر شدن نشان می‌دهد، بنابراین با گذشت زمان و یا مصرف یکی از مونومرها، ترکیب کوپلیمر حاصل تغییر می‌کند. ضریب فعالیت مونومر استیرن نسبت به آکریلونیتریل در فشار اتمسفری و دمای ۷۵°C، برابر ۰/۰۸ ± ۰/۴۱ و مونومر آکریلونیتریل نسبت به استیرن ۰/۰۱ ± ۰/۰۳ گزارش شده است [۴]. بنابراین، کوپلیمر استیرن - آکریلونیتریل در دسته کوپلیمرهای متناوب قرار می‌گیرد. در کوپلیمرهای متناوب تنها در ترکیب خاصی از مونومرها، ترکیب کوپلیمر در طول مدت واکنش ثابت مانده و برابر ترکیب اولیه مونومرها خواهد بود. این ترکیب، ترکیب آزنوتروپ نامیده می‌شود [۱۰].

ترکیب آزنوتروپ کوپلیمر SAN، برابر ۲۴ درصد وزنی از مونومر

تعیین ترکیب کوپلیمر

از آنجا که درصد نیتروژن در کوپلیمر، متناسب با درصد آکریلونیتریل موجود در آن است، با استفاده از معادله ۱ درصد آکریلونیتریل در کوپلیمر محاسبه می‌شود:

$$\%AN = \frac{\%N \times 53.04}{14} \quad (1)$$

که در آن %AN، درصد وزنی آکریلونیتریل در کوپلیمر و %N، درصد وزنی نیتروژن در کوپلیمر است.

تعیین متوسط جرم مولکولی

از آنجا که سریع‌ترین روش برای تخمین متوسط جرم مولکولی پلیمرهای خطی، روش گرانیروی سنجی است و با توجه به اینکه کوپلیمر SAN یک کوپلیمر خطی است، از این روش استفاده شده است. روش گرانیروی سنجی طبق استاندارد ASTM D ۷۵۸۲ [۷] با استفاده از گرانیروی سنج آبلهود با قطر لوله موین مساوی ۰/۵ میلی‌متر به وسیله حلال THF و در دمای ۲۵°C انجام گرفته است. ثابت مارک هوگینز برای محاسبه \bar{M}_v از قرار زیر است [۸]:

$$\eta = (2.16 \times 10^{-4}) \bar{M}_v^{0.67} \quad (2)$$

نتایج و بحث

هدف از انجام پلیمر شدن سنتز انواع مختلف کوپلیمر به لحاظ متوسط جرم مولکولی و با ترکیب آزنوتروپ بوده است. عوامل مؤثر بر جرم مولکولی کوپلیمر در دمای ثابت واکنش عبارتند از: میزان و نوع آغازگر، میزان و نوع عامل اصلاح کننده جرم مولکولی و از عوامل مؤثر بر ترکیب کوپلیمر می‌توان ترکیب اولیه خوراک مونومر را ذکر کرد. این عوامل بطور جداگانه بررسی شده‌اند که اثر هر یک بر خواص کوپلیمر ذکر خواهد شد.

انتخاب دمای واکنش

در پلیمر شدن تعلیقی SAN در فشار اتمسفری، پلیمر شدن در دمایی پایینتر از دمای جوش آکریلونیتریل (۷۷°C) انجام گرفت. در مورد پلیمر شدنی که با تجزیه گرمایی آغازگر شروع می‌شود، افزایش دما باعث افزایش سرعت واکنش و کاهش متوسط جرم مولکولی کوپلیمر

جدول ۳ - تغییرات درصد وزنی آکریلونیتریل در کوپلیمر با تغییر میزان آن در خوراک مونومر بر اساس داده های آزمایشگاهی.

درصد وزنی AN در خوراک مونومر	درصد تبدیل جرمی نهایی	درصد وزنی AN در کوپلیمر
۲۵	۹۷	۲۲
۲۷	۹۶	۲۱/۵
۳۰	۹۷	۲۵
۳۶	۹۷	۴۴

انحلال پذیری مونومر آکریلونیتریل در آب با افزایش درصد آکریلونیتریل در مخلوط مونومرها افزایش نشان می دهد [۱۱]. علاوه بر این، انحلال پذیری مونومر آکریلونیتریل در آب در شرایط متعارفی ۷۰ گرم بر لیتر گزارش شده است [۱۲].

تولید کنندگان مختلف SAN به روش پلیمر شدن تعلیقی، نسبت مونومر آکریلونیتریل به استیرن مصرفی را در خوراک اولیه مقادیر متفاوتی ارائه کرده اند. از جمله شرکت شیمیایی مونسانتو آن را ۲۴/۸ به ۷۵/۲ برای پلیمر شدن در دمای ۶۵°C تا ۸۵°C [۱۳] و برای پلیمر شدن در دمای ۱۰۵°C تا ۱۴۰°C این نسبت را ۲۷ به ۷۳ [۱۴] و شرکت تورای آن را ۲۵ به ۷۵ برای پلیمر شدن در دمای ۷۵°C گزارش کرده است [۵]. اما، اکثر شرکتها این نسبت را ۳۰ به ۷۰ پیشنهاد کرده اند [۱].

آکریلونیتریل گزارش گردیده است [۴]. در شکل ۲ تغییرات خواص فیزیکی و مکانیکی کوپلیمر SAN با تغییر مقدار آکریلونیتریل آن نشان داده شده است [۴].

همان طور که از شکل ۲ پیداست، بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی کوپلیمر در نسبت ۲۴ تا ۳۰ درصد وزنی از آکریلونیتریل بدست می آید که معادل با ترکیب آزنوتروپ کوپلیمر است [۴].

در پلیمر شدن تعلیقی، با توجه به اینکه مونومرها در فاز پیوسته که اکثراً آب است منتشر می گردند، انحلال پذیری مونومرها در آب باید مدنظر قرار گیرد. در مورد انحلال پذیری مخلوط مونومرهای استیرن و آکریلونیتریل در آب، مطالعاتی توسط نومارا و همکارانش [۱۱] انجام گرفته و نتایج آن در دمای ۵۰°C اعلام شده است. بر این اساس،

جدول ۴ - تغییرات متوسط جرم مولکولی گرانی سنجی در درصدهای مختلف از آغاز گرها و عامل انتقال زنجیر.

\bar{M}_V (g/mole)	عامل انتقال زنجیر (phm)	مقدار آغاز گر (phm)		شماره آزمایش
		بنزویل پروکسید	لوریل پروکسید	
۴۰۰۰۰۰	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۵	۱
۳۶۰۰۰۰	۰/۱	۰/۵	۰	۲
۳۲۴۰۰۰	۰/۲	۰/۵	۰	۳
۳۵۰۰۰۰	۰/۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۴
۲۴۴۰۰۰	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۵
۲۰۹۰۰۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۶
۴۰۰۰۰۰	۰/۱	۰/۱۲۵	۰/۳۷۵	۷
۳۲۸۰۰۰	۰/۲	۰/۱۲۵	۰/۳۷۵	۸
۱۷۸۰۰۰	۰/۳	۰/۱۲۵	۰/۳۷۵	۹
۴۶۷۰۰۰	۰/۱	۰	۰/۵	۱۰
۲۸۷۰۰۰	۰/۲	۰	۰/۵	۱۱

آمدن محصول جامد حاصل شد.

نتیجه گیری

فرمولبندی انتخابی برای سنتز انواع مختلف کوپلیمر استیرن - آکریلونیتریل با ترکیب آزنوتروپ از مونومرها در کوپلیمر، به روش پلیمر شدن تعلیقی به صورت زیر بهینه شد:

در فشار اتمسفری و در دمای 75°C ، در نسبت کل مونومرها به مواد مصرفی معادل ۳۰ درصد وزنی و نسبت مونومر آکریلونیتریل به کل مونومر مساوی ۳۰ درصد وزنی، نسبتهای مختلف از مخلوط آغازگرهای دی لوریل پروکسید و بنزوئیل پروکسید و عامل انتقال زنجیر نرمال دودسیل مرکاپتان مطالعه و متوسط جرم مولکولی کوپلیمرهای حاصل (انواع مختلف) مشخص شد.

مراجع

1. Straus E.S. and Geometta G., "Styrene Acrylonitrile (SAN) Resin Plastics", *Chemical Economics Handbook*; SRI, CEH Product Review, July 1998.
 2. Desai A., "Styrene Acrylonitrile (SAN)"; *Popular Plastics & Packaging*; SRI Reports, January. 1993.
 3. Chin Y.R., "ABS Resins", *Process Economics Program*; SRI, Supplement C, Menlo Park, May 1995.
 4. Muller R. G. and Hiraki I., "Styrenic Plastics", *Chemical Economics Handbook*; SRI Int. Report 20 A, Part 4, December 1972,
 5. Yabe H., "Suspension Polymerization of styrene-Acrylonitrile" *Japan Kokai*; **6**, 268, 804, March 28, 1987).
 6. Bikales M.; *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*; 2nd ed, John Wiley, New York, **16**, 443-444, 1985.
 7. Allen R. and Baldini N.; *Annual Book of ASTM Standards*; ASTM, **08:01**, D 7582, Philadelphia USA, 2000.
 8. Bikales M.; *Encyclopedia of Polymer Sci., and Engineering*; 2nd ed., John Wiley, New York, **1**, 426-465, 1985.
 9. Odian G.O.; *Principles of Polymerization*; 2nd ed. , John Wiley, New York, 1981.
۱۰. شهریار سجادی امامی، مبنای مهندسی واکنشهای پلیمریزاسیون، مرکز تحقیقات و توسعه علوم و تکنولوژی مواد پلیمری، ۱۳۷۳.

در سیستم پلیمر شدن انتخابی این پژوهش، درصدهای مختلف مونومر آکریلونیتریل در خوراک مونومر بررسی شد. نتایج به کمک تجزیه عنصری CHN بدست آمد (جدول ۳). همان طور که از جدول ۳ پیداست، ترکیب آزنوتروپ کوپلیمر در نسبت وزنی برابر ۳۰ درصد از آکریلونیتریل در خوراک مونومر بدست می آید.

کنترل متوسط جرم مولکولی کوپلیمر

برای دستیابی به انواع مختلف کوپلیمر با متوسط جرم مولکولی متفاوت، از آغازگرهای دی لوریل پروکسید و بنزوئیل پروکسید، به تنهایی و نیز ترکیبی از این دو آغازگر با درصدهای متفاوت استفاده شد. علاوه بر این از عامل انتقال زنجیر نرمال دودسیل مرکاپتان با درصدهای متفاوت برای کاهش متوسط جرم مولکولی استفاده گردید. عامل انتقال زنجیر، با کاهش متوسط جرم مولکولی کوپلیمر، موجب کاهش گرانروی توده در حال واکنش و به تبع آن، به تعویق افتادن زمان وقوع پدیده ژل می گردد [۱۰].

در کوپلیمر شدن استیرن و آکریلونیتریل، محدوده میزان عامل انتقال زنجیر مصرفی براساس میزان آغازگرهای مصرفی با ثابت نگه داشتن غلظت عامل انتقال زنجیر و تغییر دادن نسبت آغازگر بدست آمد.

میزان آغازگرهای مصرفی

در جدول ۴ تغییرات متوسط جرم مولکولی گرانروی سنجی با تغییر نسبت آغازگرها به یکدیگر و نیز تغییر میزان کل آغازگرهای مصرفی آورده شده است. همان طور که از جدول ۳ پیداست، متوسط جرم مولکولی مطلوب، در درصدهای مساوی از عامل انتقال زنجیر، در میزان ۰/۲۵ درصد وزنی از هر یک از آغازگرها بدست می آید.

میزان عامل انتقال زنجیر مصرفی

با توجه به اثر عامل انتقال زنجیر بر زمان وقوع پدیده ژل [۱۰]، افزایش عامل انتقال زنجیر به مونومرها، با مقادیر ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۲۵ درصد وزنی کل مونومر انجام گردید. با استفاده از میزان ۰/۲۵ یا ۰/۳ درصد وزنی از عامل انتقال زنجیر، پس از انجام ۷ ساعت واکنش محصول نهایی به شکل جامد نبود که حاکی از کامل نشدن واکنش است. نتایج حاصل از تغییر درصد عامل انتقال زنجیر در میزان آغازگر انتخابی در میزان تبدیل بیشتر از ۹۷ درصد از مونومرها در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به جدول ۴ مقدار عامل انتقال زنجیر مصرفی معادل ۰/۱ درصد وزنی مونومر انتخاب شد که در دمای 75°C کمترین متوسط جرم مولکولی از کوپلیمر پس از گذشت زمان ۷ ساعت از واکنش با بدست

11. Nomura M., "An Experimental Study on Saturation Swelling of Styrene-Acrylonitrile Copolymer Particles with Styrene and Acrylonitrile Monomers", *J. Polym. Sci.*; **32**, 2491-2498, 1994.
12. Greighton A.J. and Smith R.W.; *Aldrich Catalog Handbook of fine Chemicals*; Chemical Company, USA, 1988-1989.
13. Ogava N., "High-Nitrile Copolymers by Suspension Polymerization", *Japan Kokai*, **3**, 227, 306, 1991.
14. Tomono H., "Preparation of High Nitril Copolymers by Suspension polymerization with Prevention of Discoloration", *Japan Kokai*; **3**, 182, 511, 1991.