

بررسی فرآیند تولید بنزین آلکیلیت و مقایسه کاتالیست‌های اسیدی آن

رضا عروج - ضحی وطنی

معاونت منابع هیدروکربوری مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی

۱- چکیده

با توجه به لزوم افزایش ظرفیت تولید بنزین در کشور و رفع وابستگی به این ماده استراتژیک (تا حدود ۱۲۰ میلیون لیتر در روز)، استفاده از فرآیندهای مدرن و پیشرفته نظیر آلکیلاسیون در کنار فرآیندهای سنتی و پرهزینه همچون کراکینگ و هیدروکراکینگ (Plat former)، ضروری و غیر قابل اجتناب به نظر می‌رسد.

آلکیلاسیون عبارت است از واکنش یک الفین با یک ایزوپارافین. فرآیند آلکیلاسیون در واحدهای صنعتی به دو روش با استفاده از کاتالیست اسید سولفوریک و یا با استفاده از کاتالیست اسید هیدروفلوئوریک انجام می‌پذیرد. در حال حاضر در دنیا روش آلکیلاسیون با کاتالیست HF متداول‌تر نسبت به کاتالیست H_2SO_4 می‌باشد. یکی از مزایای استفاده از کاتالیست HF که کاربرد آن را بطور چشمگیری مورد توجه قرار داده است، کارکرد آن در شرایط دمایی محیط و عدم نیاز به سیکل سردسازی (تبرید) می‌باشد. همچنین آمیزش موثر HF و هیدروکربن‌ها، هزینه‌های ناشی از استفاده از تجهیزات ایجاد سطح تماس و منابع تأمین انرژی این تجهیزات را بطور کل از این فرآیند حذف می‌نماید. از دیگر مزایای استفاده از کاتالیست HF عدم هدردهی هیدروکربن بصورت ضایعات (مانند قیر)، کاهش نرخ مصرف اسید (تا حد ۱۰۰ به ۱) و امکان بازیابی آن در واحد می‌باشد که موجب کاهش هزینه بکارگیری واحدهای احیاء و بازیابی اسید

می‌گردد. به طور کلی با توجه به مزایای استفاده از کاتالیست HF در مقایسه با سایر روش‌ها و همچنین بکارگیری از آن در بسیاری از کشورها، به نظر می‌رسد که در راستای سیاست‌های جاری در زمینه خودکفایی در تولید بنزین، استفاده از روش آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست HF علاوه بر کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی موجب تولید بنزین مطلوب‌تر (عدد اکتان بالا، Reid Vapor Pressure (RVP) پایین و ...) می‌گردد.

کلمات کلیدی: آلکیلاسیون، کاتالیست اسیدی، هیدروفلوئوریک، بنزین آلکیلیت.

۲- مقدمه

در سال‌های اخیر نیاز فزاینده به مواد نفتی و لزوم فعالیت‌های پالایشگاهی جهت تأمین نیازهای کشور موجب شده است تا آگاهی از عملیات پالایش نفت بطور گسترده در سطوح مختلف احساس گردد. هدف پالایش آنست که از نفت خام رنج کاملی از فرآیندهای نفتی که جوابگوی نیاز کمی و کیفی بازار مصرف باشند، تولید شود.

روش‌های شیمیایی متعددی برای تولید بنزین وجود دارد ولی می‌توان مهمترین آنها را روش‌های کراکینگ کاتالیستی^۱، هیدروکراکینگ^۲، و آلکیلاسیون^۳ دانست. واحد صنعتی آلکیلاسیون اولین بار در سال ۱۹۳۸ تأسیس شد. در دهه ۱۹۳۰ گروهی از محققان شرکت U.O.P کشف کردند که ایزوآلکانها در حضور اسیدهای قوی در شرایط نسبتاً متوسط و ملایم با آلکن‌ها واکنش می‌دهند و هیدروکربن‌های اشباع شده به وجود می‌آورند. این روش تنها از طریق فعل و انفعال واکنش دهنده‌های سبک پارافینی ایزوبوتان با اولفینهای سبک مثل بوتنها در مجاورت اسیدهای مایع قوی (اسید سولفوریک و اسید هیدروفلوئوریک) انجام می‌شود.

روش آلکیلاسیون معمولاً با کیفیت‌ترین بنزین را در میان روش‌های دیگر تولید می‌کند. اگر چه آلکیل‌دار کردن در فشار و دمای بالا بدون نیاز به کاتالیزور میسر است، ولی تنها فرآیندهایی

¹ Catalytic Cracking

² Hydro-cracking

³ Alkylation

از اهمیت اقتصادی برخوردار هستند که در دماهای پایین‌تر و در مجاورت سولفوریک اسید و هیدروفلوریک اسید انجام می‌شوند. هر واحد صنعتی آلکیلاسیون از دو بخش واکنشی^۴ و تفکیک^۵ تشکیل شده است. اختلاف واحدهای آلکیلاسیون مربوط به بخش واکنشی آنهاست که با توجه به نوع کاتالیزور و سایر امکانات طراحی می‌شود. محصول فرآیند آلکیلاسیون عبارتند از بنزین آلکیلیت^۶ با عدد اکتان بالا و RVP پایین می‌باشد. در این مقاله به بررسی فرآیند تولید بنزین آلکیلیت با کاتالیست‌های اسیدی و مقایسه این کاتالیست‌ها پرداخته شده است.

۳- بررسی روش آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست اسیدی HF

آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست HF در حدود ۵۸ درصد از محصول بنزین آلکیلیت را در دنیا تهیه می‌کند. در فرآیند آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست HF تقریباً تمامی اسید مصرفی به فرآیند بازگردانی می‌شود و تنها مقدار بسیار اندکی از اسید در حین فرآیند هدر می‌رود. واکنش‌های جانبی بین اسید و ناخالصی‌ها باعث مصرف اسید در فرآیند می‌گردد. آلکیلاسیون HF تحت لیسانس دو شرکت مختلف فیلیپس (Philips) و U.O.P می‌باشد که دارای فرآیندهای متفاوت می‌باشند. (روش U.O.P متداول‌تر است).

روش U.O.P: فرآیند آلکیلاسیون با کاتالیزور اسید هیدروفلوئوریک توسط شرکت U.O.P، مطابق شکل (۱) می‌باشد. واحدهایی که با کاتالیزور اسید هیدروفلوئوریک به روش U.O.P کار می‌کنند، عمدتاً از قسمت‌های آماده‌سازی خوراک، واکنش‌ها، تفکیک برش‌های سبک و سنگین، احیاء اسید و احیا هیدروکسید پتاسیم تشکیل شده است. لازم به ذکر است خوراک اولفینی واحد آلکیلاسیون HF از واحد کراکینگ کاتالیزوری تأمین می‌شود. این خوراک قبل ورود به واحد آلکیلاسیون HF، از برج بوتان‌زدا و فرآیند مراکس (که جهت جداسازی مرکاپتانها بکار می‌رود) عبور می‌کند.

⁴ Reaction

⁵ Fractionation

⁶ Alkylate

داشته شود. وجود کاتالیست اسیدی در سیستم واکنش پلیمری اولفین‌ها را نیز فعال می‌کند که برای محدود کردن پلیمری، باید ایزوبوتان را اضافه بر مقدار لازم بکار برد.

قدرت اسیدیته معمولاً بین ۸۵ تا ۹۰ درصد جرمی اسید هیدروفلوئوریک می‌باشد. حفظ قدرت اسیدیته به عملکرد واحد روی خوراک برای زدودن آب و سولفور و عملیات احیاء اسید مربوط می‌شود. دو متغیر دیگری که بایستی مورد توجه قرار گیرد، زمان واکنش و فشار می‌باشد. فشار در این واحدها طوری تنظیم می‌شود که واکنشگرها و کاتالیزور HF در حالت مایع نگهداری شوند.

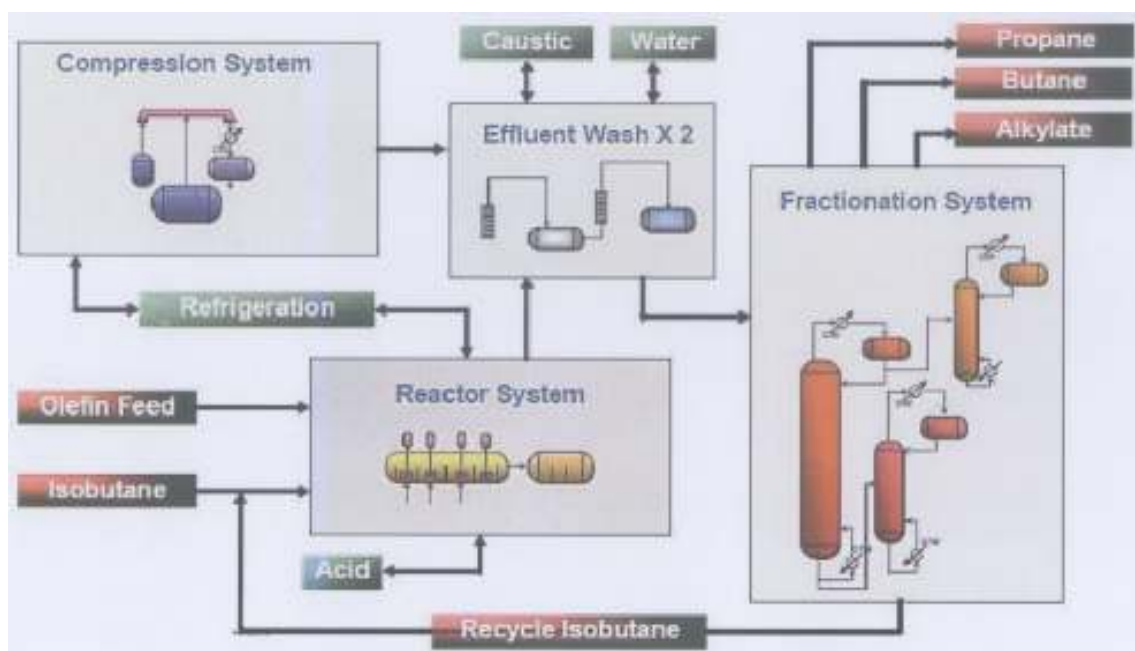
از آنجایی که HF خورنده می‌باشد بنابراین کنترل دقیق و نگهداری از تجهیزات و شرایط تماس با آن بایستی به طور دقیق در فرآیند آلکیلاسیون HF مدنظر قرار گیرد. کربن استیل یک ماده اولیه در شیرها و لوله‌هایی می‌باشد که این ماده در هنگام تماس با HF لایه مقاومی از فلئورید آهن تشکیل می‌دهد که در برابر خوردگی مقاوم است اما در صورتی که بنا به شرایطی در سیستم اسید، رطوبت وارد شود این شرایط باعث می‌شود که لایه‌های فلئورید آهن نرم و تکه‌تکه شده و باعث ایجاد پدیده Fouling و خوردگی در بافتها شود. یکی دیگر از پارامترهای مهم در خصوص نگهداری تجهیزات واحد دما می‌باشد، دما یک پارامتر مهم در کنترل سرعت خوردگی در تجهیزات کربن استیل و مونل می‌باشد.

۴- روش آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست اسیدی H_2SO_4

در روش آلکیلاسیون با اسید سولفوریک راکتورها با در نظر گرفتن امکانات تخلیه حرارت، طراحی می‌شوند. روش کلوگ و روش استراتفورد از جمله روش‌های آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست اسیدی H_2SO_4 می‌باشند.

روش کلوگ (Kellogg Method): ویژگی روش کلوگ مربوط به طرح راکتور و نحوه سرد کردن آن است. راکتور در این روش شامل چند مرحله بوده، هر مرحله مجهز به یک همزن مکانیکی است که مخلوط اسید هیدروکربن را به صورت آمولسیون درمی‌آورد. اسید و ایزوبوتان وارد مرحله اول راکتور شده و به ترتیب از مراحل بعدی عبور می‌کنند. خوراک اولفینی به جریان‌های مساوی بین مراحل تقسیم می‌شوند. هر مرحله در فشار مخصوص به خود عمل می‌کند تا دما در حد مطلوب حفظ شود. گازهای تبخیر شده اساساً پروپان و ایزوبوتان می‌باشند. این گازها فشرده و سپس مایع می‌شوند. قسمتی از این گازها پس از سرد کردن خوراک

اولفینی و قسمتی دیگر پس از حذف پروپان، به فرآیند بازگردانده می‌شوند. آمولسیون اسید- هیدروکربن خروجی از مرحله آخر راکتور در قسمت جداسازی به دو فاز اسیدی و هیدروکربنی تفکیک می‌شود. فاز اسیدی به سیستم بازگردان می‌شود و فاز هیدروکربنی پس از شستشو با سود و آب، به ستون بوتان‌گیر فرستاده می‌شود. از این ستون ایزوبوتان (برگشتی)، نرمال بوتان و فرآورده آلکیلیت بدست می‌آید. فرآیند واحد کلوگ در دمای 10°C و فشار ۱-۳ bar انجام می‌شود. شکل ۲ فرآیند آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیزور H_2SO_4 به روش کلوگ را نشان می‌دهد.



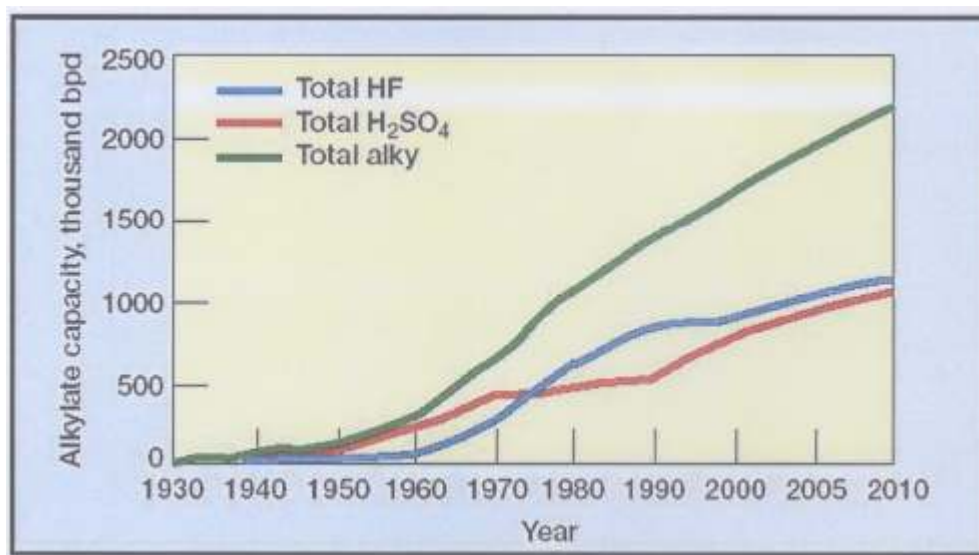
شکل ۲- فرآیند آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیزور H_2SO_4 به روش کلوگ

روش استرالفورد (Stratford Method): واحد آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیزور H_2SO_4 به روش استرالفورد در طی سال‌های ۱۹۳۰ مورد استفاده قرار گرفته است. راکتور مورد استفاده در این واحد بایستی توانایی اختلاط خوب بین اسید و هیدروکربن و همچنین توانایی حذف گرمای حاصل از واکنش از طریق سیکل تبرید جهت نگهداری دما بین 10°C تا 5°C را داشته باشد. واحد آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیزور H_2SO_4 به روش استرالفورد از یک راکتور تک مرحله‌ای استفاده می‌نماید. راکتور مجهز به همزنی است که مخلوط اسید و هیدروکربن را به گردش در می‌آورد. این فرآیند در دمای 10°C تا 7°C و فشار ۳bar انجام می‌شود.

۵- مقایسه روش‌های آلکیلاسیون با کاتالیست‌های اسیدی

در مقایسه روش‌های اسید سولفوریک و اسید هیدروفلوئوریک اقتصاد عامل تعیین کننده است ولی صرف نظر از پارامترهای اقتصادی، مزایا و معایب روش اسید هیدروفلوئوریک نسبت به روش اسید سولفوریک در زیر آرایه شده‌اند.

در حال حاضر در دنیا روش غالب در آلکیلاسیون شیوه HF است، هر چند در بسیاری از کشورها مانند ایالات متحده امریکا به دلیل تمهیدات زیست‌محیطی از این شیوه کمتر استفاده شده است (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه روش‌های آلکیلاسیون

جداول (۱) و (۲) میزان تولید بنزین به روش آلکیلاسیون را در مقایسه با سایر روش‌های متداول در جهان نشان می‌دهد. فاکتورهایی که در مقایسه روش‌های آلکیلاسیون HF و H₂SO₄ مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از ایمنی و موارد زیست‌محیطی، خوراک ورودی (نسبت ایزوبوتان به الفین)، هزینه تجهیزات جانبی شامل سیستم تبرید، عملیات بر روی محصول، تفکیک محصول، احیا اسید و هزینه و میزان مصرف کاتالیست‌های مایع HF و H₂SO₄، دمای واکنش در راکتور، نگهداری و تعمیرات، هزینه سرمایه‌گذاری.

جدول (۳) عدد اکتان (MON و RON) و فشار بخار (RVP) را برای بنزین آلکیلیت در مقایسه با روش‌های دیگر از جمله کراکینگ و هیدروکراکینگ نشان می‌دهد. جدول (۴) خواص بنزین آلکیلیت را در

روش آلکیلاسیون با کاتالیست HF و H₂SO₄ برای حالتی که خوراک الفینی بوتن/ پروپن یا بوتن باشد، نشان می دهد.

جدول ۱- مقایسه میزان تولید بنزین آلکیلیت با سایر روش ها در جهان

World Conversion Refinery Capacity Summary As of January 1,2001 (Thousand Barrels per Calendar Day)							
	North America	Europe	Asia - Pacific	South America	Middle-East	Africa	World
Crude Oil Distillation	19,969	21,227	16,163	5,412	5,315	1,544	69,630
Coking & Thermal Cracking	2,237	913	423	318	87	16	3,994
Catalytic Cracking	6,722	2,910	2,625	1,230	334	191	14,012
Hydro cracking	1,689	911	680	87	637	57	4,061
Catalytic Reforming	4063	3121	1708	332	552	220	9996
Alkylation	1275	253	118	99	29	28	1802
Poly/Dimer	85	67	20	13	5	7	197
Isomerization	696	434	66	56	57	19	1329
Oxygenate Conversion	134	63	26	26	4	0	253
Capacity Octane	10648	4734	3728	1635	1057	264	22066
Enhancement Capacity	6253	3935	1938	526	647	274	13573
Alkylation/FCC,%	19	9	4	8	9	15	13
Average FCC Capacity	51	35	31	38	28	13	41
Average Alkylation Capacity	12	6	3	9	15	2	9

جدول ۲: مقایسه میزان تولید بنزین آلکیلیت با کاتالیست HF نسبت به H₂SO₄ در جهان

World Alkylation Capacity, January 1,2001 (Thousand Barrels per Calendar Day)			
	H ₂ SO ₄	HF	Total
North America			
Canada	25.9	36.5	62.4
Mexico		120.8	120.8
United States	552.6	539.6	1092.2
Total North America	578.5	696.8	1275.3
Europe			
Western Europe	33.4	193.4	226.8
Eastern Europe	17.6	8.6	26.2
Total Europe	51.0	202.0	253.0
Asia- Pacific	80.4	37.2	117.6
South America	41.3	57.6	98.9
Middle East	5.6	23.5	29.1
Africa	0.0	27.9	27.9
Total World	756.8	1045.0	1801.8

جدول ۳- مقایسه عدد اکتان بنزین آلکیلیت با سایر روش‌ها

Gasoline	RVP (psi)	RON	MON
FCC C6	2	89	77
Alkylate	5	96	92
Reformate	3	98	87
C5- C6 Isomerate	14	85	82
Hydrocrackate	16	85	81

۶- مزایای و معایب روش آلکیلاسیون با کاتالیست اسیدی HF

مزایای استفاده از روش آلکیلاسیون HF را می‌توان به صورت زیر عنوان نمود:

- ۱- برخلاف واحدهای آلکیلاسیون H_2SO_4 واحدهای آلکیلاسیون HF نیاز به سیکل تبرید ندارند و در این واحدها از آب خنک کننده جهت حذف گرمای واکنش استفاده می‌شود.
- ۲- بطور کلی دمای خیلی پایین بازده بنزین را کاهش می‌دهد و موجب افزایش گرانیوی اسید شده و امکان آمیزش موثر مواد را کاهش می‌دهد. در آلکیلاسیون HF تأثیر دما کمتر است. واحدهای آلکیلاسیون با H_2SO_4 در دمای $45-50^{\circ}F$ کار می‌کنند. در صورتی که واحدهای آلکیلاسیون HF اغلب در دمای $100^{\circ}F$ ($38^{\circ}C$) انجام می‌شود.

جدول ۴- خواص محصول آلکیلیت را برای واحدهای آلکیلاسیون اسید هیدروفلوئوریک و اسید سولفوریک

Volume Yields per	HF Alkylation		H_2SO_4 Alkylation	
	FCC Propene/Butene	FCC Butene only	FCC Propene/Butene	FCC Butene only
Volume Olefin Isobutene Consumed	1.28	1.15	1.2	1.12
C5 plus Alkylate Product	1.78	1.77	1.72	1.72
Specific Gravity	0.693	0.697	0.693	0.697
RON-0	93.3	95.5	92	96
MON-0	91.7	93.5	90.4	94
RVP(PSI)	2.8	2.7	2.8	2.7
	HF Alkylation		H_2SO_4 Alkylation	

- ۳- در آلکیلاسیون H_2SO_4 واکنش اسید و هیدروکربنها به صورت آمولسیون انجام می‌شود که ایجاد امولسیون، سطح فعال در تماس بین ایزوبوتان و فاز اسید را افزایش می‌دهد و باعث مطلوب‌تر شدن واکنش آلکیلاسیون و کاهش واکنشهای جانبی می‌گردد. بنابراین برای واحدهای H_2SO_4 بایستی

تجهیزاتی مانند پمپ‌های امولسیون (Emulsion Pump) و همزمان‌ها استاتیکی (Static Mixer) در نظر گرفته شود. در حالیکه بخاطر حلالیت بالای ایزو بوتان در HF، نیازی به سیستم اختلاط در واحدهای آلکیلاسیون HF نمی‌باشد.

۴- خروجی از واحد آلکیلاسیون H_2SO_4 شامل مقادیر بسیار کوچک از سولفات‌های آلی (استر) می‌باشد که از محصول خروجی این واحد جداسازی نمی‌شود و موجب تشکیل رسوب (Fouling) در قسمت تفکیک محصول می‌گردد.

۵- کاهش سرعت فضایی موجب کاهش مقدار هیدروکربن‌های سنگین و افزایش عدد اکتان محصول و کاهش مصرف اسید می‌گردد. سرعت فضایی به صورت نسبت دبی حجمی اولفین به حجم اسید درون راکتور تعریف می‌شود. واحد آلکیلاسیون HF سرعت فضایی کمتری نسبت به واحدهای آلکیلاسیون H_2SO_4 دارند.

۶- قبل از ورود اسید به راکتورهای واحد آلکیلاسیون H_2SO_4 ، بایستی تجهیزاتی جهت حذف رطوبت در نظر گرفته شود. این امر موجب افزایش عدد اکتان آلکیلیت، کاهش سرعت خوردگی و همچنین کاهش مصرف اسید می‌گردد. بالا بودن نرخ خوردگی در واحدهای H_2SO_4 نسبت به واحدهای HF موجب افزایش هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری می‌گردد.

۷- نرخ مصرف اسید در فرآیند آلکیلاسیون H_2SO_4 بیشتر از نرخ اسید مصرفی در فرآیند HF می‌باشد که باعث هدر رفت زیاد اسید و افزایش هزینه‌های در حال گردش واحد می‌گردد.

۸- زمان تماس واکنشگرها که بصورت زمان اقامت خوراک تازه و جریان ایزوبوتان برگشتی درون راکتور تعریف می‌شود، برای واحدهای آلکیلاسیون HF کمتر از واحدهای آلکیلاسیون H_2SO_4 می‌باشد. در واحدهای آلکیلاسیون HF زمان تماس بین ۵ تا ۲۵ دقیقه می‌باشد. در صورتی که در واحدهای آلکیلاسیون H_2SO_4 زمان تماس بین ۵ تا ۴۰ دقیقه است.

۹- عدم نیاز به واحد احیاء اسید در روش HF باعث شده است واحدهای HF به طور معمول کوچکتر باشند و همچنین به دلیل مصرف کم HF، می‌توان بازیابی HF را در داخل واحد انجام داد. در روش آلکیلاسیون با H_2SO_4 به طور معمول باید در نزدیکی کارخانه یا واحد تولید H_2SO_4 موجود باشد. همچنین تجهیزاتی برای بارگیری و تخلیه اسید در واحدهای H_2SO_4 نیز بایستی در نظر گرفته شود.

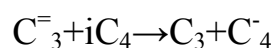
۱۰- در فرآیند آلکیلاسیون H_2SO_4 ، توربین و ژنراتورهایی برای تأمین برق موردنیاز راکتورها و کمپرسورها در نظر گرفته می‌شود. بیشتر هزینه‌های تولید در واحدهای آلکیلاسیون H_2SO_4 مربوط به هزینه بخار مصرفی، برق مصرفی و قیمت اسید مورد استفاده می‌باشد ولی در روش HF، بیشتر هزینه‌های تولیدی مربوط به بخار فشار بالا و همچنین سوخت مورد نیاز ریویلرها می‌باشد.

۱۱- از دیگر مزایای روش آلکیلاسیون HF، می‌توان به استفاده از راکتور ساده‌تر و کوچکتر، استفاده از مخازن جداسازی کوچکتر، انعطاف‌پذیری بیشتر شرایط عملیاتی اشاره نمود. از معایب روش آلکیلاسیون با کاتالیست اسیدی HF می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱- مسایل زیست محیطی از جمله عواملی هستند که ساخت واحدهای آلکیلاسیون HF را با مشکل مواجه می‌نماید. ساخت واحدهای آلکیلاسیون HF در ایالات متحده آمریکا با توجه به قوانین زیست‌محیط دشواری که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در نظر گرفته شده است را با مشکل مواجه کرده است، در صورتی که در کشورهای دیگر این قوانین سختگیرانه در خصوص ساخت واحدهای آلکیلاسیون HF وجود ندارد.

۲- خوراک قبل از اینکه به واحد آلکیلاسیون HF وارد شود، وارد برج اتان‌زدا و فرآیند مراکس جهت جداسازی مرکاپتانها می‌گردد. بنابراین هزینه اینگونه تجهیزات بایستی در نظر گرفته شود. همچنین در واحد HF علاوه بر احیا اسید، تجهیزاتی برای احیا KOH نیز بایستی در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که به نظر می‌رسد افزایش این هزینه‌ها در مقایسه با هزینه‌های ناشی از افزودن سیکل تبرید، تجهیزات ایجاد سطح تماس مانند پمپ‌های امولسیون و همزن‌ها، تجهیزاتی جهت جداسازی استرها، بازیابی اسید و هزینه ناشی از مصرف اسید و جمع‌آوری اسید و ... در واحد آلکیلاسیون H_2SO_4 مقرون به صرفه‌تر باشد.

۳- در روش آلکیلاسیون با کاتالیست HF پروپان از طریق واکنش‌های جانبی (انتقال هیدروژن) تولید می‌شود:



۴- این واکنش‌های جانبی تولید پروپان در واحدهای H_2SO_4 کمتر دیده شده است. بنابراین میزان پروپان تولید شده در واحد H_2SO_4 بسیار کمتر است. با توجه حجم پروپان تولید شده در واحدهای

آلکیلاسیون HF، قسمت پروپان گیر برای جداسازی این پروپان تولید شده از واکنش جانبی و کندانس کردن HF در فشار بالا کار می کند.

۵- بالا بودن نسبت ایزوبوتان مصرفی به الفین ها در واحد آلکیلاسیون با کاتالیست HF موجب افزایش ظرفیت برج های تفکیک محصول می گردد. در حالیکه که افزایش مقدار ایزوبوتان علاوه بر کاهش واکنش های جانبی (پلیمری شدن) موجب افزایش عدد اکتان محصول نیز می گردد.

هزینه واحد آلکیلاسیون با ظرفیت ۱۰ هزار بشکه در روز کاتالیست های HF و H₂SO₄ به شرح جدول (۵) می باشد.

جدول ۵: هزینه تجهیزات برای واحد آلکیلاسیون با ظرفیت ۱۰۰۰۰ بشکه در روز با کاتالیست HF و H₂SO₄

Equipment	HF Alkylation Cost, (\$1000)	HF Alkylation Cost, (\$1000)
Reactors	55	2,500
Columns	1,215	698
Vessels & Tanks	815	927
Heat Exchangers	799	1573
Furnaces	748	--
Pumps	219	270
Compressors	--	2,816
Total	3,850	8,784

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

در بین روش های مختلف تولید بنزین، روش آلکیلاسیون معمولاً بنزین با کیفیت مطلوب تری تولید می کند. در روش آلکیلاسیون بنزین آلکیت بر اساس واکنش ایزو پارافین ها و الفین ها تشکیل می شود. در حال حاضر در دنیا روش آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست HF روش متداول تری نسبت به روش آلکیلاسیون اسیدی H₂SO₄ می باشد. از جمله مزایای استفاده از کاتالیست HF در فرآیند آلکیلاسیون می توان به پایین بودن نرخ اسید مصرفی، عدم نیاز به واحد بازیابی اسید و سیکل تبرید، انعطاف پذیری شرایط عملیاتی، سادگی فرآیند به دلیل عدم نیاز به تجهیزاتی همانند همزن ها، پمپ های امولسیون، رطوبت زدا و ... امکان بازیابی کامل کاتالیزور در واحد، پایین بودن هزینه ثابت سرمایه گذاری و عملیاتی به دلیل استفاده از راکتور و مخازن

کوچکتر، پایین بودن نرخ خوردگی نسبت به کاتالیست H_2SO_4 و پایین بودن زمان اقامت خوراک درون راکتور اشاره کرد. با توجه به استفاده موثرتر از توانمندی‌های داخلی و سرمایه ایرانی و نیاز روز افزون کشور به بنزین مطابق با استانداردهای جهانی (عدد اکتان بالا، RVP پایین و ...) و همچنین با توجه به مزایای تولید بنزین به روش آلکیلاسیون با کاتالیست HF و تجربیات موجود در زمینه استفاده از اسید هیدروفلوئوریک، ساخت واحدهای آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست HF در توسعه و ارتقاء صنعت ملی موثر خواهد بود.

در حال حاضر فرآیند آلکیلاسیون HF به روش U.O.P در کارخانه تولید LAB (Linear Alkyl benzene) اصفهان انجام می‌شود. کارخانه تولید LAB ۱ که ماده اولیه مورد مصرف در صنایع شوینده را تولید می‌کند با سرمایه‌گذاری ۱۴۴ میلیون دلار برای ظرفیت ۷۵۰۰۰ تن در سال LAB از نفت سفید در جوار پالایشگاه اصفهان احداث گردیده است. روش تولید این کارخانه بر اساس لیسانس U.O.P به روش آلکیلاسیون با استفاده از کاتالیست HF می‌باشد.

۸- مراجع

- ۱- گیتی ابوالمحد، مبانی پالایش نفت، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
- 2- B. R. Shoh, **UOP HF alkylation process**, Handbook of Petroleum Refining Processes, ed., R. A. Meyers, McGraw-Hill book Co., New York, 1986.
- 3- S. I. Hommeltoft, **Isobutene alkylation recent developments and future perspectives**, Applied Catalysis A: General, 221(2001)421-428
- 4- C. Perego, P. Ingalling, **Recent advances in the industrial alkylation of aromatics: new catalysts and new processes**, catalysis today, 73 (2002) 3-22
- 5- **Alkylation for Motor Fuels**, SRI, Report 88B, 2001.
- 6- **The STRATCO ALKYSAFE™ Process: Low Cost Conversion/Expansion from HF to H2SO4 Alkylation**, J. Randall Peterson, STRATCO. Inc.
- 7- M. B. Simpson, and M. Kester, **Hydrofluoric acid alkylation**, 2007.
- 8- P. Kamienski, **Fuel Quality Trends and Technology Response**, WRA Central and Eastern European 6th Annual Roundtable. Bucharest, Romania, October 8, 2003.

- 9- R. A. Meyers, **Handbook of Petroleum Refining Process**, 2nd Edition, McGraw –Hill Publishing, New York, 1997.
- 10- J. Branzaru, **Introduction to Sulfuric Acid Alkylation Unit Process Design**, Stratco Inc. Publication, 2001.
- 11- **Motor –Fuel Alkylation with CDAlkySM Process Technology**, Scott W. Shorey, 2005
- 12- G. K. Chitnis, R. D. McGihon, A. Prasad, and Ch. M. Dean, **Sulfuric Acid Alkylation Technology**, 2009.