

تشریح روش تبادل کاتالیزوری الکترولیز ترکیب شده (CECE) برای جداسازی تریتیوم از

پساب

حامد مجری فروشان^۱ و رضا ایزدی نجف آبادی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه فیزیک هسته‌ای و مدیر گروه فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد

Mejri70@yahoo.com

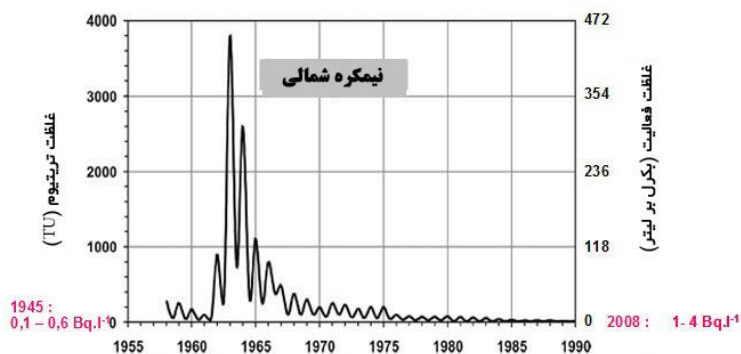
چکیده

ما به تشریح روش تبادل کاتالیزوری الکترولیز ترکیبی برای جداسازی تریتیوم از پساب می پردازیم. تریتیوم ایزوتوپی کمیاب، پر کاربرد و در صورت انتقال به محیط زیست خطرناک می باشد. سیستم تبادل کاتالیزوری الکترولیز ترکیب شده محتوی چهار زیر سیستم شامل: ستون تبادل کاتالیزوری، سلول الکترولیز، باز ترکیب کننده و تنظیف کننده می باشد. گاز هیدروژن تریتیومی به صورت مولکول هیدروژن - تریتیوم (HT)، از پایین ستون تبادل کاتالیزوری وارد ستون می شود و تریتیوم طی سیر مراحل تکمیلی فرآیند از آن جدا می شود.

کلمات کلیدی: تبادل کاتالیزوری، جداسازی، تریتیوم

۱. مقدمه

اولین عنصر شیمیایی جدول تناوبی هیدروژن است که دارای سه ایزوتوپ اصلی پروتیوم (هیدروژن معمولی) با فراوانی ۹۹.۹۸٪، دوتریوم با فراوانی ۰.۰۲٪ و تریتیوم که تنها ایزوتوپ پرتوزا عنصر هیدروژن است. تریتیوم در طبیعت طی واکنش های هسته‌ای خاصی به طور مدام تولید می شود ولی به دلیل داشتن نیمه عمر کوتاه مقدار آن بسیار ناچیز است اما به طور مصنوعی در طول بهره برداری از راکتورهای آب سبک و سنگین و همچنین آزمایش های هسته‌ای به همراه پرتوهای دیگر تشکیل و انباشته می شود و تشکیل آن از طریق شکاف اورانیوم، سوخت های شکافت پذیر دیگر و گیراندازی نوترون در دوتریوم صورت می گیرد.



نمودار ۱: میزان غلظت تریتیوم موجود در آب باران در نیمکره شمالی طی سال های مختلف

نمودار ۱ میزان غلظت تریتیوم موجود در آب باران در نیم کره شمالی را در طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد که این مقدار در سال ۱۹۶۳ به $470 \frac{Bq}{L}$ رسیده است که مقدار پس‌زمینه آن در حال حاضر ۱ تا $4 \frac{Bq}{L}$ می‌باشد.

مشکل جلوگیری از انتشار تریتیوم به محیط‌زیست بدون فن‌آوری مناسب برای مهار، استخراج و جمع‌آوری آن حل‌شدنی نیست. جداسازی تریتیوم با استفاده از روش مورد بحث به ما اجازه می‌دهد تا تریتیوم از آب آلوده استخراج شده و در موارد کاربردی از قبیل: راکتورهای گداخت، روش‌نایی اضطراری و غیره مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در طی استفاده از این روش می‌توان به استخراج هیدروژن معمولی پرداخت و به‌عنوان یک منبع سوخت از آن استفاده کرد.

۲. روش تبادل کاتالیزوری الکترولیز ترکیب شده

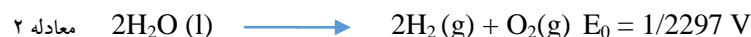
فرآیند تبادل کاتالیزوری الکترولیز ترکیب شده با استفاده از کاتالیزور ضدآب و با توجه به پارامترهای جدایی بالا و شرایط عملیاتی نزدیک به محیط یکی از جذاب‌ترین فرآیندها برای استخراج تریتیوم از آب است که مبتنی بر استفاده از تبادل هیدروژن / آب واکنش موازنه است (معادله ۱) که منجر به تولید آب تریتیومی مایع (HTO) می‌شود.

وقتی آب مایع (H_2O) با گاز هیدروژن تریتیومی (HT) اتصال برقرار می‌کند محصول واکنش به‌صورت ذیل می‌باشد:

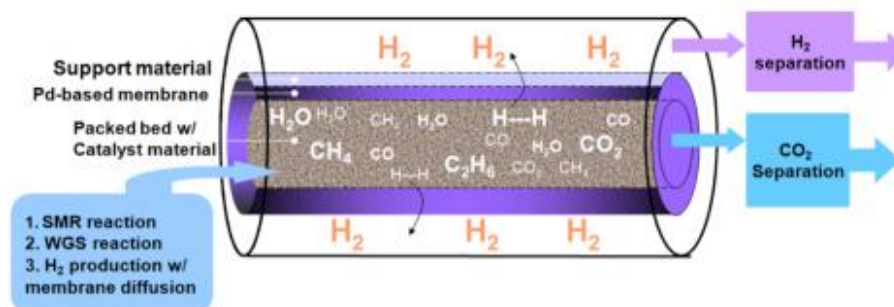
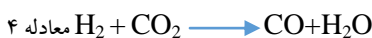


در این فرآیند برای اینکه در روند واکنش رشد قابل‌ملاحظه‌ای را شاهد باشیم به یک کاتالیزور نیازمندیم. این فرآیند نیاز به الکترولیز همه آب خوراک^{۱۰} به‌علاوه‌ی مقداری آب مقطر که برای زدودگی استفاده می‌شود دارد. (حدود ۱.۴ برابر جریان آب خوراک الکترولیز شده)

الکترولیز آب تریتیومی هیدروژن عنصری، هیدروژن تریتیومی و گاز اکسیژن را از هم جدا می‌کنند. (معادله ۲ و ۳) آب (H_2O) راحت‌تر از آب تریتیومی (HTO) الکترولیز می‌شود و باعث می‌شود میزان آب در طی فرآیند کم شده و باعث افزایش HTO در مایع الکترولیز می‌شود.



در روند تکمیلی فرآیند از یک عامل واکنش‌گشایی پالادیوم برای جدا کردن هیدروژن عنصری از آب استفاده می‌شود (شکل ۱) و هیدروژن عنصری موردنیاز را برای تبادل کاتالیزوری فراهم می‌کند. (معادله ۴) عامل واکنش‌گشایی پالادیوم یک روش مستقیم برای تولید ایزوتوپ هیدروژن نیست اما به تولید یک محصول خام بیش‌تر برای تصفیه‌ی هیدروژن توسط فرآیندهای جداسازی کمک می‌کند باین‌حال از در نظر گرفتن یک عامل کاهنده (منواکسید کربن) نباید چشم‌پوشی کرد که در سیر واکنش شیمیایی (جدا شدن هیدروژن از آب) اضافه شده است.



شکل ۱: فرآیند عامل واکنش‌گشایی پالادیوم برای جدا کردن هیدروژن

¹⁰ - Feed Water

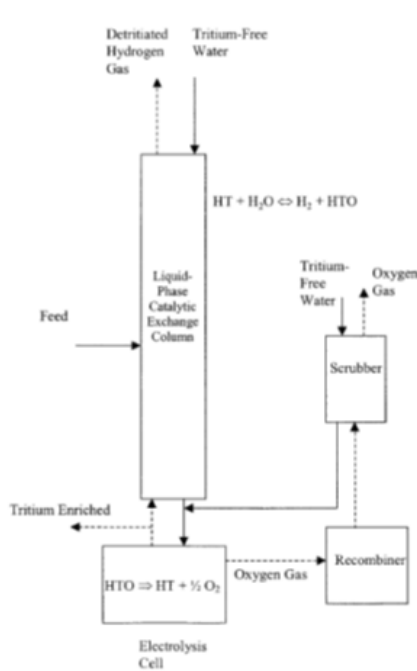
۳. اجزای سیستم

زیرسیستم های اصلی شامل: ستون تبادل کاتالیزوری، سلول الکترولیز، باز ترکیب کننده و تنظیف کننده می باشد.

- ۱- **ستون تبادل کاتالیزوری:** ستونی در فرآیند می باشد که با تخت های کاتالیزور بسته بندی شده و رشد قابل ملاحظه ای در سیر واکنش معادله ۱ ایجاد می کند.
- ۲- **سلول الکترولیز:** سلول الکترولیز باعث جداسازی عنصرها و ترکیب هایی می شود که باهم ترکیب شیمیایی دارند و قسمتی از این فرآیند می باشد که با گذراندن جریان الکتریکی از آب تریتومی، گاز هیدروژن تریتومی (HT) را از گاز اکسیژن (O₂) جدا می کند.
- ۳- **باز ترکیب کننده^{۱۱}:** قسمتی از این فرآیند است که گاز اکسیژن را با گاز هیدروژن ترکیب و موجب تشکیل دوباره آب از عناصر جدا شده ی آن می شود.
- ۴- **تنظیف کننده^{۱۲}:** تنظیف کننده برای حذف ذرات و آلاینده های گازی، نامطلوبی های مایع و همچنین برای از بین بردن بو استفاده می شود و در این فرآیند برای حذف آلاینده های گاز اکسیژن استفاده می شود.

شرح فرآیند

شکل نموداری از فرآیند تبادل کاتالیزوری الکترولیز ترکیب شده (شکل ۲) در زیر وجود دارد.



شکل ۲: فرآیند تبدالی کاتالیزوری الکترولیز ترکیب شده

¹¹ - Recombiner

¹² - Scrubber

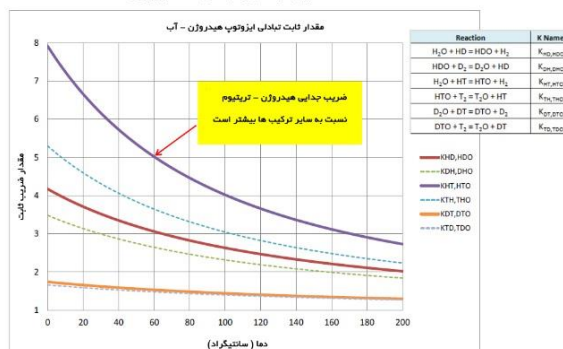
گاز هیدروژن از تصفیه کننده‌ی گاز قبل از ورود به ستون کاتالیزوری عبور می‌کند که این عبور گاز هیدروژن از تصفیه کننده‌ی گاز اولین عبور از یک بخار و یا مرطوب کننده است.

در ستون تبادل کاتالیزوری تریتیوم از هیدروژن پروتونی جدا می‌شود. گاز هیدروژنی که شامل مولکول‌های گاز با ترکیبات تریتیوم است از پایین ستون وارد شده و از طریق ارتفاع ستون کاتالیزوری بالا می‌رود. به‌طور کلی گاز هیدروژن تریتیومی قبل از ورود به ستون کاتالیزوری گرم می‌شود و به‌طور قابل توجهی به‌صورت هم‌زمان آب مقطر از منبع تصفیه شده‌ی آب از بالای ستون تبادل کاتالیزوری به پایین ریخته می‌شود.

هنگامی که گاز هیدروژن تریتیومی بالا می‌آید با آب مقطر در حال سقوط مواجه می‌شود و با آن واکنش نشان می‌دهد که این واکنش منجر به تولید آب تریتیومی (HTO) و آزاد شدن گاز هیدروژن (H₂) می‌شود. هیدروژن پاک شده از تریتیوم از بالای ستون تبادل کاتالیزوری تخلیه می‌شود و این هیدروژن خالص می‌تواند به‌عنوان یک منبع سوخت در نظر گرفته شود. در همان حال آب تریتیومی (HTO) از پایین ستون کاتالیزوری به سلول الکترولیز منتقل می‌شود.

سلول الکترولیز آب تریتیومی (HTO) را به‌صورت تفکیک شده‌ی گاز هیدروژن تریتیومی و گاز اکسیژن در می‌آورند. گاز هیدروژن تریتیومی از قسمت بالایی سلول الکترولیز خارج شده و به سمت ستون تبادل کاتالیزوری رفته و هیدروژن به‌وسیله عامل واکنش غشایی پالادیوم از تریتیوم جدا شده و ریزدانه‌های پالادیوم به‌طور غیرمستقیم سهمی در جدایی ایزوتوپ هیدروژن دارند و تریتیوم در این قسمت جمع‌آوری و غنی می‌شود و گاز اکسیژن برای ترکیب دوباره با گاز هیدروژن به سمت باز ترکیب کننده هدایت می‌گردد و گاز اکسیژن برای از بین رفتن آلاینده‌های گازی ناخالص به تصفیه کننده هدایت می‌شود و دستگاه تصفیه کننده برای تصفیه اکسیژن به آب بدون تریتیوم نیاز دارد. همان‌گونه که در نمودار ۲ مشاهده می‌کنید ضریب جدایی ایزوتوپ‌های هیدروژن با هم و در دماهای مختلف مقایسه شده و ضریب جدایی تریتیوم از هیدروژن نسبت به دیگر ایزوتوپ‌ها بیشتر و این ضریب با کم شدن دما افزایش می‌یابد در نتیجه این فرآیند از این جهت که در دمای نزدیک به محیط کارآمدتر است از مزایای استفاده از این روش است.

ضریب جدایی تبادل کاتالیزوری



نمودار ۲: ضریب جدایی ایزوتوپ‌های هیدروژن بر حسب دما

روند توسعه

به‌عنوان یک نقطه‌ی آغاز در روند حذف تریتیوم از پساب مایع از یک سیستم بازیابی تریتیوم در وزارت نیروی ایالات متحده استفاده شد که ظرفیت این سیستم دو لیتر در ساعت است.

یک دستگاه آزمایشی نوع CECE برای بازیابی تریتیوم از آب سبک ساخته شده بود و بیش از ۱۴ سال در ارتباط با راکتور فیوجن ژاپن عمل می‌کرد که ظرفیت این دستگاه ۳.۶ لیتر در روز بود.



توسعه فرآیند CECE موضوعی مطرح در سالهای اخیر بوده است شامل توسعه‌ی سلول‌های الکترولیزی که اخیراً آزمایش‌هایی مبنی بر استفاده از پلیمر الکترولیز / غشا که اندازه‌ی سلول را ۱.۳ برابر کاهش می‌دهد. کاربرد روی عامل واکنش پالادیوم نیز پیشرفت داشته است و به‌طور بالقوه اجازه می‌دهد سلول‌های الکترولیزی با استفاده از یک عامل کاهنده (زغال چوب) برای تقسیم هیدروژن از آب حذف شود.

منابع:

- رضا قلی پور. "اندازه‌گیری تریتم موجود در هوای تهران" آزمایشگاه فیزیک بهداشت دفتر پسمانداری هسته‌ای - سازمان انرژی اتمی ایران
Tritium and the environment - IRSN (2012) Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety
- D. J. Geniesse, G. E. Stegen, AREVA. (2009) Evaluation of Tritium Removal and Mitigation Technologies for Wastewater Treatment Prepared for the U.S. Department of Energy, Assistant Secretary for Environmental Management
- Mark S. Denton, Walter T. Shmayda . (2013) Advanced Tritium System for Separation of Tritium from Radioactive Wastes and Reactor Water in Light Water Systems
- Busigin, Ph.D., P.Eng, (2014) COMPARISON OF WATER-HYDROGEN CATALYTIC EXCHANGE PROCESSES VERSUS WATER DISTILLATION FOR WATER DETRITIATION
- I.A. Alekseev a., S.D. Bondarenko a, O.A. Fedorchenko a, T.V. Vasyanina a, K.A. Konoplev a, E.A. Arkhipov a, T.V. Voronina a, A.I. Grushko a, A.S. Tchijov a, V.V. Uborsky b. (2003) Heavy water detritiation by combined electrolysis catalytic exchange at the experimental industrial plant
a Petersburg Nuclear Physics Institute, Leningrad district, 188300 Gatchina, Russia
b JSC 'DOL', Moscow, Russia