POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

Shahbaz Ahmad, Tahir Nawaz, Asghar Ali, Mehmet Fatih Orhan, Ayesha Samreen, Arunachala M. Kannan, An overview of proton exchange membranes for fuel cells: Materials and manufacturing. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47, 19086-19131, 2022.

https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.099

مروری بر غشاهای تبادل پروتون برای پیل‌های سوختی: مواد و ساخت

چکیده

پیل‌های سوختی غشای تبادل پروتون، با توجه به ماهیت عملیاتی کارآمد و پاک‌ترشان، دستگاه‌های تبدیل انرژی برای کاربردهای مختلف از جمله حمل و نقل محسوب می‌شوند. با این حال، هزینهٔ بالای ساخت اجزای سیستم پیل سوختی همچنان مانع اصلی پذیرش عمومی و تجاری‌سازی آنها است. استراتژی اصلی برای کاهش هزینهٔ پیل‌های سوختی که برای پذیرش عمومی آنها به عنوان منابع انرژی جایگزین در کاربردهای مختلف حیاتی است، کاهش هزینهٔ الکترولیت و کاتالیزور است. الکترولیت یکی از مهم‌ترین اجزای پیل سوختی است و سهم عمده‌ای در هزینه‌ها دارد (بیش از 500 دلار در متر مربع، برای سری‌های تجاری نفیون). نفیون به طور گسترده‌ای به عنوان الکترولیت در PEMها استفاده می‌شود، اما علاوه بر هزینه‌های بالا، مانند رسانایی کم پروتون، افت عملکرد در دمای بالا و نرخ عبور[1] سوختِ بالا، دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد. بنابراین، توسعه و ساخت غشاهای الکترولیتی کم هزینه و با عملکرد بالا و دارای رسانایی بالاتر (حدود $0/1\ S.cm^{-1}$) در محدوده دمایی گسترده‌تر، اولویت اصلی جامعهٔ علمی است. سال‌های اخیر شاهد تحقیقات گسترده‌ای در مورد آماده‌سازی، اصلاح، و خواص PEMهایی مانند غشاهای غیرنفیون (پلی‌ایمیدسولوفنه‌شده (SPI)[2]، پلی‌بنزیمیدازول (PBI)[3]، پلی‌استایرن، پلی‌فسفازن[4]، پلی‌آریلن‌اترکتون‌سولفونه‌شده (SPAEK)[5]، پلی‌اتراترکتون سولفونه‌شده (SPEEK)[6]، پلی‌آریل‌سولفون‌سولفونه‌شده (SPAS)[7]، پلی‌آریلن‌اترنیتریل‌سولفونه‌شده (SPEN)[8] و کامپوزیت‌های آنها با گنجاندن نانولوله‌های کربنی (CNT)[9] عامل‌دار، گرافن‌اکساید (GO)[10] به عنوان پرکننده، برای غلبه بر مشکلات آنها بوده‌ایم. این مقاله، بررسی جامعی بر مواد غشا و ساخت با تمرکز بر PEMها ارائه

---

[1] Fuel crossover
[2] Sulfonated Polyimide (SPI)
[3] Polybenzimidazole (PBI)
[4] Polyphosphazene
[5] Sulfonated Poly (arylene ether ketones) (SPAEKs)
[6] Sulfonated Poly Ether Ether Ketone (SPEEK)
[7] Sulfonated Poly (aryl sulfones) (SPAS)
[8] Sulfonated Poly (arylene ether nitrile) (SPEN)
[9] Carbon nanotubes (CNTs)
[10] Graphene oxide (GO)

می‌دهد. به طور خاص، این مقاله، ساز وکار اساسی درگیر در رسانایی پروتون، الزامات مهم، پس‌زمینهٔ تاریخی، فناوری‌های دیگر، انواع، مزایا و معایب، پیشرفت‌های فعلی، اهداف آینده و جنبه‌های طراحی مرتبط با اصول ترمودینامیکی و الکتروشیمیایی، پارامترهای ارزیابی سیستم و چشم اندازها را بررسی می‌کند.

نتیجه‌گیری و چشم انداز آینده

این بررسی، فناوری به‌روز غشا را با تمرکز بر تاریخچه، مواد و فرآیندهای ساخت غشاهای تبادل پروتون به طور خلاصه بیان می‌کند. مشخص کردن مزایا و معایب انواع غشاها به طور خلاصه شرح داده شده است که منجر به بررسی تازه‌ترین تحولات اخیر و ابتکارات، همراه با وضعیت بازار و چشم‌اندازها می‌شود. علاوه بر این، پیشرفت فعلی و اهداف آینده برای فناوری غشایی شناسایی شده است تا نفوذ پیل‌های سوختی را در بازار تسریع کند. همچنین، بررسی حاضر، سطوح طراحی، اصول ترمودینامیکی و الکتروشیمیایی و عوامل ارزیابی اجزا را نیز پوشش داده است تا به خواننده بینشی نسبت به جزئیات طراحی و ساخت فناوری غشایی به همراه مسیرهای جهانی برای آینده ارائه دهد به گونه‌ای که پیل‌های سوختی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

رشد سریع در اقتصاد H_2 یک نیروی قوی در سوق دادن جامعهٔ علمی به تجاری‌سازی پیل‌های سوختی برای کاربردهای مختلف است. هزینهٔ سیستم‌های پیل سوختی هدف قرار گرفته است تا در آینده‌ای نزدیک این هزینه‌ها تا 50٪ برای کاربردهای خودرو، از طریق الکتروکاتالیزورهای موثر و فناوری غشایی کاهش یابد. پیل سوختی غشای تبادل پروتون (PEMFC)[11] در حال حاضر یک فناوری به خوبی تثبیت‌شده در مقیاس آزمایشگاهی است، اما تجاری‌سازی آن با هزینهٔ نگهداری بالای کاتالیزورهای الکترود، غشاها و واحدهای کمکی برق با مشکل مواجه شده است. با این‌حال، این مشکل را می‌توان با انتخاب یک کامپوزیت کاتالیزور اقتصادی، با مواد فعال و بستر رسانا با مساحت سطح بالا (به عنوان مثال Fe-N-C) و غشا به همراه یک یونیمر[12] سازگار به حداقل رساند.

غشاهای اسیدپرفلوئوروسولفونیک[13] (نفیون) با رسانایی پروتون تا $0/1\ S.cm^{-1}$ امروزه بهترین غشاهای الکترولیتی برای پیل‌های سوختی در نظر گرفته می‌شوند. با این‌حال، غشاهای نفیون گران هستند (بیش از 500 دلار در متر مربع) و برخی مسائل جدی را به وجود می‌آورند که ضرورت یافتن انواع غشاهای جایگزین با رسانایی پروتون نسبتاً بالا احساس می‌شود. از هم‌اکنون، تمام غشاهای جایگزین از نظر یک مجموعه کامل از خواص مهم

---

[11] Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)
[12] Ionomer
[13] perfluorosulfonic acid membranes (Nafion®)

پایین‌تر از غشاهای نفیون رتبه‌بندی می‌شوند. می‌توان رسانایی را قربانی توسعهٔ غشاهای جایگزین بهتری نسبت به غشاهای نفیون نمود که از نظر پایداری حرارتی و قابلیت عملکرد در محدودهٔ عملیاتی وسیع‌تر (به عنوان مثال رطوبت نسبی کمتر از 30٪) با تورم کلی کمتر، عبور سوخت پایین‌تر و مهمتر از همه، هزینهٔ کمتری داشته باشند. با توجه به پتانسیل گستردهٔ مواد پلیمری، رویکردهای متعددی در حوزهٔ پلیمر برای توسعهٔ غشاهای جایگزین رسانای پروتون وجود داشته است. در میان آنها، غشاهای هیدروکربنی بر پایهٔ SPI، PBI، پلی‌استایرن، پلی‌فسفازن، پلیمرهای با زنجیره اصلی آروماتیکی سولفونه‌شده (SPAEK، SPEEK، SPEAS و SPEN)، پلیمرهای غیرسنتزی و کامپوزیت‌های بر پایهٔ CNTها، به طور گسترده‌ای در دستیابی به ویژگی‌های مکانیکی و شیمیایی مطلوب مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

ویژگی‌های متنوع مانند عملکرد شیمیایی GO یک بستر عالی برای کاوش در روابط ساختاری و عملکردی در غشاهای کامپوزیت پلیمری فراهم می‌کند. انواع مختلفی از صفحات GO توسعه یافته‌اند تا به عنوان غشاهای مستقل و جایگزین نفیون در پیل‌های سوختی PEM مورد استفاده قرار گیرند، اما بیشتر آنها همراه عبور متانول بالا، از پایداری حرارتی رنج می‌برند. برای غلبه بر این مشکلات، رویکردهای مختلفی برای تولید PEMهای نانوهیبرید بر پایهٔ GO عامل‌دار شده، با گنجاندن آنها در شبکه‌های پلیمری مختلف مانند نانوکامپوزیت‌های بر پایهٔ GO فلوئوروسولفونه‌شده (به عنوان مثال نفیون- GO) با خواص شیمیایی، حرارتی و مکانیکی عالی اتّخاذ شده است. بسیاری از خواص امیدوار کنندهٔ PEMهای بر پایهٔ GO- پلیمر گزارش‌شده در این مطالعه، آنها را به یک گزینه دلگرم‌کننده برای کاربردهای پیل سوختی PEM تبدیل می‌کند. با این‌حال، هنوز موارد خاصی درمورد GO به عنوان پرکننده مانند نسبت C/O، درجهٔ سولفوناسیون، درصد میزان آب و مقدار GO به عنوان پرکننده در شبکه‌های پلیمری مختلف وجود دارد که باید حل شود. تحقیق و توسعهٔ مواد کامپوزیتی بر پایهٔ گرافن، به طور گسترده‌ای در حال افزایش است و کامپوزیت‌های GO- پلیمر، کاربردهای تجاری متعددی را در صنایع متعدد و کاربردهای مرتبط با انرژی پیدا کرده‌اند. استفاده از مواد بر پایهٔ GO به عنوان پرکننده در نانوکامپوزیت‌های پلیمری، می‌تواند با انتخاب مناسب‌ترین گزینه برای شبکه پلیمری و GO عامل‌دار شده با پیوند کووالانسی، دوام و بازده پیل‌های سوختی PEM را افزایش دهد. این بینش‌ها، مسیرهای مهمی را برای توسعهٔ جایگزین‌های نفیون/ کامپوزیت‌ها برای پیل‌های سوختی فراهم خواهد نمود.