ایجاد تعادل بین پایداری و خلق ارزش در صنایع فولاد و معدن

تهیه‌کننده: واحد پژوهش و نوآوری (پژوهشکده فولاد)

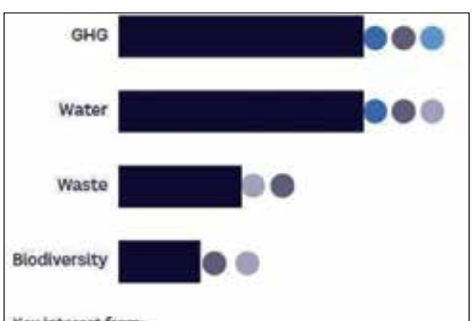
مقـــاله

صنایع فلزی و معدنی از جمله صنعت فولاد در دنیای امروز بر سر یک دوراهی پیچیده قرار دارند. از طرفی دولت‌ها و ذی‌نفعان این حوزه‌ها به دنبال افزایش تولید مواد خام صنعتی مورد نیاز برای گذار به انرژی‌های پایدار هستند و از طرفی صنایع تولیدی مرتبط با این محصولات را برای کاهش ردپای کربن تحت فشار قرار می‌دهند. در یک چنین فضای ناپایدار جهانی شرکت‌ها باید ضمن استفاده و بهره‌برداری از فرصت‌های ایجادشده، یک تعادل پایدار بین این دو هدف برقرار کنند تا برای کسب‌وکار خود ارزش بیشتری خلق کنند. تولید فلزات و معادن یکی از آلاینده‌ترین بخش‌های صنعتی در دنیا به شمار می‌روند.

صنایع در این بخش به شدت تحت فشارند تا ضمن کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای خود، مصرف ویژه آب را نیز کاهش دهند، سیستم‌های مدیریت مصارف را برقرار سازند، از جوامع زیستی و اقلیمی پیرامون خود محافظت کنند و از ایمن بودن و مناسب بودن شرایط محیط تولید اطمینان حاصل نمایند.

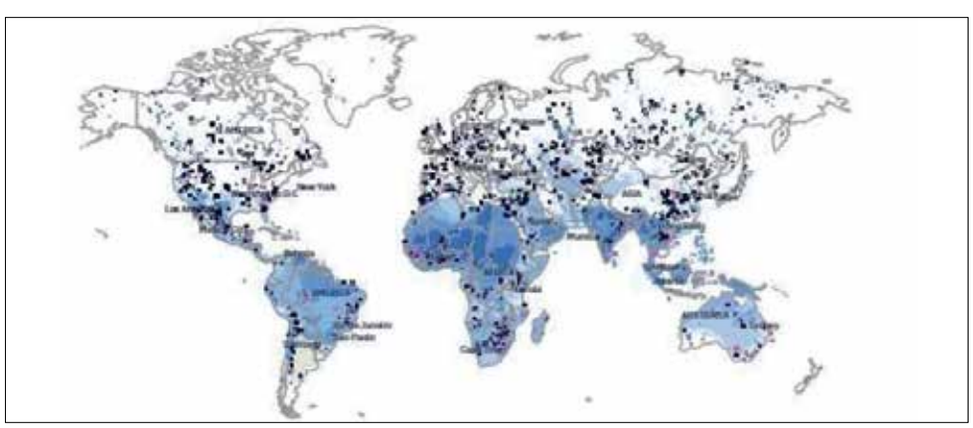
برای حصول اطمینان از اجرای تمام این موارد، قوانین و مقررات مربوطه در هر بخش در حال افزایش است. درعین حال گسترش صنعت معدن برای تولید مواد الزامی مورد نیاز برای گذار سبز (مانند لیتیوم، کبالت و گرافیت) امری ضروری است. این امر باعث تقاضای زیادی برای توسعه معادن جدید و افزایش سرمایه‌گذاری در این بخش شده است، هرچند زمان بازگشت سرمایه معمولاً طولانی و آینده بازار نامشخص باشد. حتی رشد پیش‌بینی شده می‌تواند در مناطق مختلف بسیار متفاوت یا ناپایدار گردد. مثلاً در سال گذشته تولید خودروهای برقی در ایالات متحده کاهش یافته و تولیدکنندگان باتری در این مناطق مجبور شدند از مواد گران‌تر و کمتر در دسترس مانند لیتیوم به سمت مواد معدنی به صرفه حرکت کنند. تمام این موارد تجویز نقشه‌های پایداری مؤثر را به امری پیچیده و مخصوص هر شرایط بدل کرده‌اند. اگر سازمان از تغییرات بازار عقب بماند، اعتبار و ارتباط آن با ذی‌نفعان خدشه‌دار می‌شود و اگر بیش از حد از بازار جلو باشد، تحت ریسک‌های تغییرات در الزامات و نیاز بازار قرار می‌گیرد. با شرایط فعلی جهان در زمینه‌های تغییرات قیمت انرژی، قوانین و مقررات متغیر و نامشخص، ملی‌گرا شدن صاحبان منابع و نهایتاً تغییرات اقلیمی صنایع تولید فلزات و معدن بیش از هر زمانی با فضای کسب‌وکار شکننده، ناپایدار و پیچیده روبه‌رو شده‌اند که تصمیم‌گیری‌های کلان و بلندمدت را به امری خطیر تبدیل کرده است. برای راهبری موفق در مقابله با این چالش‌ها نیاز به تغییرات استراتژیک در نحوه مدیریت سازمان است. باید از برآورد مفهوم گذار به پایداری به عنوان عامل ریسک دور شد، آن را به عنوان یک فرصت قلمداد کرد و به دقت اقدامات مناسب در این زمینه را اولویت‌بندی و انتخاب کرد.

برای بهره‌برداری از فرصت‌های ایجادشده حول گذار به پایداری شرکت‌ها باید رویکردهای فراگیری را در جهت ایجاد ارزش اتخاذ کنند. تعیین اهداف استراتژیک پایداری برای شرکت‌های فولادی و معدنی در مقیاس جهانی باید چندجانبه و کل‌نگر باشند؛ به طوری که نه تنها بر حوزه کربن‌زدایی تمرکز داشته باشند، بلکه بر دیگر جنبه‌های پایداری مرتبط با ذی‌نفعان نیز احاطه داشته باشند. درک این نکته مهم است که عناصر پایداری از نظر اهمیت برای ذی‌نفعان متفاوت است؛ به عنوان مثال، کاهش گازهای گلخانه‌ای یک نگرانی کلیدی برای دولت‌های غربی و سرمایه‌گذاران جهانی و همچنین برای مشتریان و تأمین‌کنندگانی است که به دنبال ردیابی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خود هستند. در مقابل، جوامع محلی بر تأثیرات مستقیم عملیات معدنی بر زندگی خود متمرکزند؛ بنابراین آن‌ها بیشتر نگران مصرف



آب، آلودگی، زباله و تهدید تنوع زیستی منطقه هستند. عدم رسیدگی به گروه دوم از موضوعات می‌تواند منجر به اختلال در عملیات روزانه در برخی از معادن، آسیب به اعتبار و یا از دست دادن مجوزهای عملیاتی شود. شکست در مدیریت ضایعات می‌تواند منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی و حتی فروپاشی سدهای باطله شود، مانند فاجعه سد برومادینیو، برزیل، در سال ۲۰۱۹. این حادثه باعث مرگ ۲۷۰ نفر و از دست دادن ۱۹ میلیارد دلار ارزش بازار برای اپراتور واله، از جمله ۷ میلیارد دلار جریمه و غرامت شد. برای تعیین اهداف مؤثر، شرکت‌ها باید فراتر از برنامه‌های بلندمدت حرکت کنند تا اهداف و ابتکارات موقت ایجاد کنند که پیشرفت را در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت نشان دهند، ضمن اینکه از جامع بودن اهداف اطمینان حاصل کنند و فراتر از انتشار گازهای گلخانه‌ای تا دیدگاه‌های محلی و جهانی را منعکس کنند.

برای ایجاد تعادل بین رعایت الزامات و فرصت‌ها، شرکت‌های فولادی و معادن باید رویکردی ارزش‌محور به پایداری اتخاذ کنند و در درجه اول بر ابتکاراتی تمرکز کنند که پایداری را افزایش و درعین حال به سود خالص شرکت کمک می‌کنند، مانند افزایش ارزش سهام‌داران با بهبود دسترسی به بودجه، حفاظت از درآمد، کاهش هزینه‌ها و کاهش ریسک. جزئیات این موارد بسته به مواد معدنی استخراج‌شده و ردپای کلی زیست‌محیطی شرکت متفاوت خواهد بود. شرکت‌ها هنگام تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام فناوری‌ها و فرایندها را به کار گیرند، باید بر پذیرش نوآوری داخلی تمرکز کنند و درعین حال بهترین شیوه‌ها را از همتایان خود در سراسر جهان کشف و تحلیل کنند. حوزه‌هایی که باید روی آن‌ها تمرکز کنند عبارت‌اند از: ابتکاراتی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ابتکاراتی برای بهبود تصفیه و مدیریت آب، ابتکاراتی برای بهبود مدیریت باطله‌ها و ضایعات، ابتکاراتی برای بهبود محیط زیست محلی. پس از انتخاب ابتکارات، اجرای آن‌ها باید در مقایسه با نقاط عطف کوتاه‌مدت و میان‌مدت پیگیری شود و با اهداف و آرمان‌های کلی پایداری مرتبط باشد. این امر سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا ضمن مدیریت ریسک و انطباق با قوانین، با کسب ضرایب بالاتر و حق بیمه سبز و جذب مشتریان/شرکا، ارزش ایجاد کنند. برای اطمینان از اجرای موفقیت‌آمیز طرح‌های پایداری، شرکت‌ها باید مدل عملیاتی خود را مورد بازنگری قرار دهند و یک رویکرد پایداری کارآمد را اتخاذ کنند که شامل فرایندهای دقیق، استراتژی‌های سازمانی و برنامه‌هایی برای بهره‌گیری از فرهنگ و استعداد باشد. ساختارهای سازمانی بالقوه از بسیار متمرکز تا کاملاً غیرمتمرکز متغیر است و شرکت‌ها باید بر اساس عواملی مانند سطح استقلال عملیاتی سایت‌ها، در دسترس بودن مهارت‌ها و شایستگی‌ها و هم‌افزایی‌های بالقوه بین واحدهای تجاری از نظر بهترین شیوه‌ها، راه‌حل خود را ایجاد کنند.



فولاد
شماره ۱۴۶۳ ◆ شنبه ۱۱ بهمن ۱۴۰۴ ◆ ۱۱ شعبان ۱۴۴۷ ◆ ۳۱ ژانویه ۲۰۲۶
MOBARAKEH STEEL GROUP

نوآوری‌های جدید در زمینه فناوری‌های گازهای صنعتی

مقـــاله

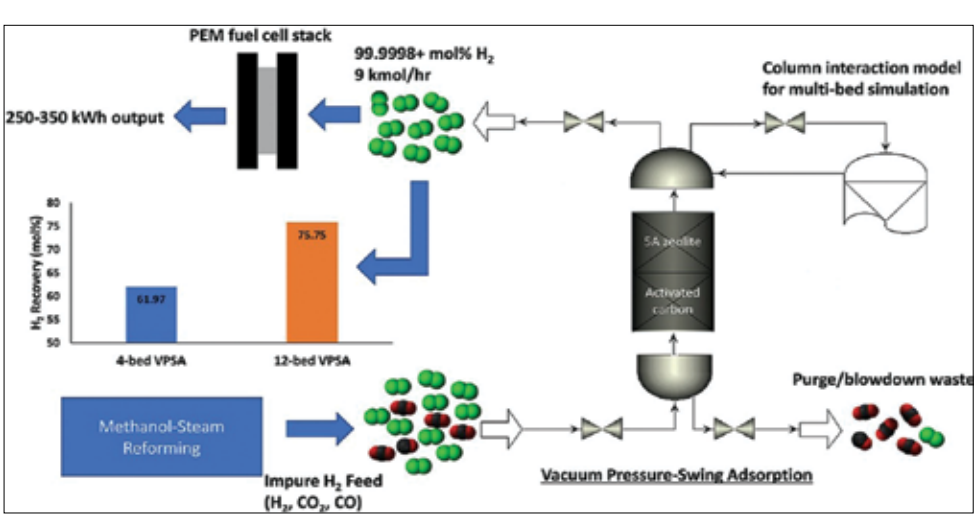
تهیه‌کننده: واحد پژوهش و نوآوری (پژوهشکده فولاد)

شرکت PKU Pioneer (مخفف شرکت فناوری پیشگام دانشگاه پکن است) در سال ۱۹۹۹ با هدف تبدیل شدن به یکی از رهبران جهانی در زمینه تحقیق و توسعه فناوری‌های لبه علم در زمینه جداسازی گازهای صنعتی راه‌اندازی شد. مهم‌ترین این فناوری‌ها شامل VPSA (فرایندهای جذب نوسان فشار خلأ) و PSA (فرایندهای جذب نوسان فشار) است. این شرکت در زمینه راه‌حل‌های کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی و حفاظت از محیط زیست تخصص دارد و همچنین در زمینه طراحی، مهندسی، ساخت و اجزای تجهیزات و سیستم‌های جامع در زمینه‌های فوق فعالیت می‌کند.

اعتقاد سازمانی PKU Pioneer این است که نوآوری پایه و اساس پیشرفت است. مأموریت آن پیشبرد کاربرد صنعتی فناوری‌های پیشرفته در زمینه‌های تخصصی شرکت است. این شرکت جزو اولین‌ها در چین بوده که فناوری‌های VPSA و PSA و همچنین راه‌حل‌هایی برای تصفیه گازهای خروجی صنعتی و بهره‌برداری از منابع را بررسی کرده است. این شرکت با همکاری دانشکده شیمی و مهندسی مولکولی در دانشگاه پکن، یک پلتفرم تحقیق و توسعه قوی ایجاد کرده است. این امر به آن‌ها امکان می‌دهد تا از یک تیم تحقیقاتی بسیار ماهر، با تخصص مهندسی گسترده و یک سیستم خدمات جامع برای رسیدگی به چالش‌ها در بخش‌های مختلف مانند آهن و فولاد، مواد شیمیایی، متالورژی غیرآهنی، شیشه، فایبرگلاس، سیمان، انرژی‌های نو و حفاظت از محیط زیست استفاده کنند. به عنوان مثال، PKU Pioneer اولین شرکت در جهان است که از فناوری تصفیه PSA CO برای جداسازی مونوکسید کربن از گاز کوره بلند، گاز خروجی کوره کاربید کلسیم و گاز خروجی کک سازی استفاده می‌کند. همچنین اولین شرکتی است که با موفقیت فناوری تولید اکسیژن از طریق VPSA و PSA را در بخش‌های صنعتی تقسیم‌بندی شده در این زمینه مانند باتری لیتیوم، خاکستر سودا و تولید اسیدسولفوریک به کار گرفته است.

یکی دیگر از فناوری‌های پیشرفته گازی، احتراق غنی شده با اکسیژن به عنوان یک فناوری توسعه دهنده راندمان بالای انرژی است. احتراق غنی شده با اکسیژن شامل استفاده از هوایی با محتوای اکسیژن بالاتر از ۲۱ درصد استاندارد است. این روش به طور قابل توجهی راندمان احتراق را افزایش داده و دمای شعله را افزایش می‌دهد و در عین حال نقطه اشتعال سوخت‌ها را پایین می‌آورد. همچنین واکنش‌های احتراق را تسریع می‌کند، مصرف انرژی را کاهش می‌دهد و احتراق کامل سوخت را ارتقا می‌دهد. در نتیجه، گازهای دودکش کمتری به وجود خواهد آمد، استفاده از گرما بهتر می‌شود و تولید مواد خطرناک کاهش می‌یابد. همچنین، این فناوری برای جذب دی‌اکسیدکربن مفید است و آن را به ابزاری ضروری برای صنایعی تبدیل می‌کند که هدفشان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در عین حال بهبود راندمان است. تطبیق‌پذیری احتراق غنی شده با اکسیژن یکی از بزرگ‌ترین نقاط قوت آن است. این فناوری به طور گسترده در بخش‌هایی مانند ذوب آهن و فولاد، متالورژی غیرآهنی، کوره‌های صنعتی و مهندسی حرارتی به کار می‌رود. کاربردهای خاص آن شامل آهن‌سازی کوره بلند، فولادسازی کوره قوس الکتریکی، ذوب مس و نیکل، کوره‌های شیشه و فایبرگلاس، کوره‌های سیمان، دیگ‌های بخار و موارد دیگر است. مقرون به صرفه بودن روزافزون تولید اکسیژن، استفاده از آن را در فرایندهای صنعتی گسترش داده است.

سه روش اصلی صنعتی برای تولید هوای غنی شده با اکسیژن وجود دارد: جداسازی برودتی هوا (cryogenic)، فناوری‌های VPSA و PSA و فناوری‌های غشایی. جداسازی برودتی هوا ۹۹.۶ درصد اکسیژن خالص تولید می‌کند که سپس با هوای محیط مخلوط می‌شود. فناوری‌های VPSA و PSA هوای غنی شده با اکسیژن با غلظت بین ۸۰ تا ۹۴ درصد تولید می‌کنند. فناوری‌های غشایی، هوایی با حدود ۳۰ درصد اکسیژن تولید می‌کنند. در میان این موارد، VPSA و PSA به دلیل کارایی و هزینه‌های عملیاتی پایین‌تر، سریع‌ترین توسعه را برای کاربردهای صنعتی داشته‌اند. این فناوری‌ها مزایایی مانند صرفه جویی در انرژی، پتانسیل کاربرد گسترده و هزینه‌های تولید اکسیژن کمتر را ارائه می‌دهند. برای مثال، در صنعت شیشه، مصرف گاز طبیعی می‌تواند از طریق احتراق غنی شده با اکسیژن، ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش یابد. در ذوب کوره بلند، هر ۱ درصد افزایش در نرخ غنی سازی اکسیژن می‌تواند دمای احتراق را ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد، ارزش حرارتی گاز زغال سنگ را ۳.۴ درصد افزایش دهد و تولید آهن مذاب را تقریباً ۴ درصد افزایش دهد. این ارقام تأثیر قابل توجه این روش را بر بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه نشان می‌دهند. در این فرایندها هزینه تولید اکسیژن یک عامل حیاتی است. فناوری‌های VPSA و PSA با هزینه تولید حدود ۰٫۳ کیلووات ساعت به ازای هر مترمکعب اکسیژن، یک مزیت رقابتی ارائه می‌دهند. برای روشن شدن موضوع، برای یک کارخانه اکسیژن با ظرفیت ۵۰۰۰ نیوتن مترمکعب در ساعت، کاهش هزینه‌های اکسیژن به میزان ۰٫۲ یوان به ازای هر مترمکعب می‌تواند سالانه تقریباً ۸٫۷۶ میلیون یوان (معادل ۱٫۷ میلیون یورو) در شرایط عملیاتی بهینه صرفه جویی کند. این امر سیستم‌های VPSA و PSA را برای صنایعی که به دنبال به حداکثر رساندن بهره‌وری هستند، بسیار جذاب می‌کند. این سیستم‌ها بسیار خودکارند و امکان عملیات ساده و بدون نیاز به مراقبت را فراهم می‌کنند. آن‌ها همچنین تنظیم بار انعطاف‌پذیری را ارائه می‌دهند که امکان تنظیم فوری ظرفیت بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد را فراهم می‌کند. این سازگاری به‌ویژه برای صنایعی که نیازهای تولیدی متغیری دارند مفید است، زیرا به بهینه‌سازی بازده اقتصادی و در عین حال تضمین ثبات عملیاتی کمک می‌کند.



فولاد
شماره ۱۴۶۴ ◆ شنبه ۱۸ بهمن ۱۴۰۴ ◆ ۱۸ شعبان ۱۴۴۷ ◆ ۷ فوریه ۲۰۲۶
MOBARAKEH STEEL GROUP

همکاری پیشگامانه شرکت فولادسازی Salzgitter در توسعه فناوری انرژی بادی پایدار

تهیه‌کننده: واحد پژوهش و نوآوری (پژوهشکده فولاد)

مقـــاله

بهره‌برداری از انرژی باد در خط مقدم گذار جهانی به منابع انرژی تجدیدپذیر قرار دارد و نقش محوری در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و مقابله با تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند. با این حال، رد پای زیست‌محیطی تولید توربین‌های بادی، به‌ویژه بخش ساخت برج‌های فولادی، به دلیل ماهیت پرانتشار کربن فرایندهای تولید فولاد، همواره مورد انتقاد بوده است. در یک همکاری پیشگامانه که در ژانویه ۲۰۲۵ اعلام شد، شرکت ENERCON تولیدکننده توربین بادی با تولیدکننده فولاد Salzgitter AG و سازنده برج TMGROUP همکاری کرد تا اولین برج فولادی با انتشار پایین برای توربین بادی مورد استفاده در خشکی در آلمان را توسعه دهد و به کار گیرد. این ابتکار نه تنها یک نقطه عطف مهم در مهندسی پایدار است، بلکه نشان می‌دهد همکاری بین صنعتی می‌تواند تلاش‌های کربن‌زدایی در زنجیره تأمین انرژی تجدیدپذیر را تسریع بخشد.

با ادغام فولاد با انتشار پایین‌تر، که اغلب «فولاد سبز» نامیده می‌شود، در زیرساخت توربین بادی، این همکاری بیش از ۷۰ درصد کاهش در انتشار CO_2 معادل (CO_2e) به ازای هر برج را به دست آورده و راه جدیدی برای راه‌حل‌های انرژی تجدیدپذیر دوستدار محیط زیست تعیین کرده است. در حالی که جهان با اهداف بلندپروازانه کربن صفر دست‌وپنجه نرم می‌کند، چنین پیشرفت‌هایی بر پتانسیل اصول اقتصاد چرخشی در تحول صنایع سنگین تأکید می‌ورزد.

ENERCON GmbH، یکی از پیشروهای تولید توربین‌های بادی خشکی با ظرفیت نصب‌شده جهانی بیش از ۳۰ گیگاوات است. این شرکت پیشگام فناوری توربین بدون گیربکس بوده و بر قابلیت اطمینان، کارایی و پایداری تأکید دارد. تعهد شرکت به کاهش تأثیرات زیست‌محیطی در هدف آن برای کاهش شدت انتشار غیرمستقیم ۴۰ درصدی تا سال ۲۰۳۰ مشهود است که با اهداف توافق سبز اروپا هم راستاست. برج‌های این شرکت که ارتفاعی بیش از ۱۵۰ متر دارند، اجزای حیاتی هستند که باید بارهای شدید را تحمل کنند، در حالی که مصرف مصالح را به حداقل برسانند. Salzgitter AG، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان فولاد آلمان است که در تولید ورق‌های سنگین برای کاربردهای سازه‌ای از جمله برج‌های توربین بادی تخصص دارد. با تولید سالانه بیش از ۷ میلیون تن فولاد، Salzgitter در خط مقدم کربن‌زدایی تولید فولاد از طریق برنامه SALCOS® قرار دارد. این برنامه هدف جایگزینی کوره‌های بلند سنتی با کوره‌های احیای مستقیم با استفاده از هیدروژن سبز و برق تجدیدپذیر را دنبال می‌کند و به دنبال کاهش ۹۵ درصدی انتشار CO_2 تا سال ۲۰۳۳ است. تخصص در تولید ورق‌های فولادی با استحکام بالا از ضایعات بازیافتی، آن را به یک بازیگر کلیدی در زیرساخت توسعه پایدار تبدیل کرده است. TMGROUP، بر قابلیت‌های تخصصی ساخت سازه‌های فولادی بزرگ مقیاس از جمله برج‌های توربین بادی تمرکز دارد.

نقش آن‌ها در جوشکاری دقیق، مونتاژ و تضمین کیفیت، تضمین می‌کند که برج‌ها استانداردهای ایمنی و عملکرد سخت‌گیرانه را برآورده سازند. مشارکت TMGROUP اهمیت فرایندهای پایین‌دستی را در تحقق مزایای مواد سبز برجسته می‌سازد. این سه شرکت زنجیره تأمین یکپارچه عمودی را تشکیل می‌دهند، این هم‌افزایی نه‌تنها نوآوری را تسریع می‌بخشد، بلکه قابلیت ردیابی و پاسخ‌گویی در گزارش‌دهی انتشارات گازی را تضمین می‌کند.

این همکاری برای تولید یک برج هیبریدی فولادی برای توربین بادی E-138 EP3 شرکت ENERCON رسمی شد؛ مدلی شناخته‌شده با توان نامی ۳.۵ مگاوات و قطر روتور ۱۳۸ متر که برای سایت‌های با باد متوسط بهینه‌سازی شده است. پروژه در مزرعه بادی Bruch در آلمان هدف‌گذاری و توربین در اواسط سال ۲۰۲۵ نصب شد. این سایت که بخشی از طرح توانمندسازی است، از طراحی برج بهره می‌برد که بازده انرژی را افزایش می‌دهد، در حالی که تأثیر زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. برج خود یک سازه هیبریدی است: بخش پایین از ورق‌های فولادی لبه‌دار تشکیل شده که به‌صورت چندضلعی شکل می‌گیرند و پایداری بیشتر و حمل‌ونقل آسان‌تر را فراهم می‌کنند، در حالی که بخش بالایی از لوله‌های فولادی مخروطی نوردشده برای کارایی آیرودینامیکی تشکیل می‌شود. این طراحی امکان ارتفاع هاب تا ۱۳۱ متر را فراهم می‌کند و امکان جذب باد بیشتر در مناطق جنگلی یا ناهموار را می‌دهد. کل برج بسته به تغییرات ارتفاع از حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ تن فولاد ساخته شده است. بخش‌های تکمیل‌شده برج پس از ساخت به سایت منتقل و با اتصالات پیچی مونتاژ شدند که جوشکاری در محل و انتشارهای مرتبط را به حداقل رساند. نصب در تابستان ۲۰۲۵ تکمیل شد و این برج اولین برج با انتشار پایین در آلمان و یکی از نخستین‌ها در اروپا به شمار می‌رود.

در قلب این نوآوری، تولید فولاد با انتشار پایین قرار دارد که Salzgitter از مسیر فرایند کوره قوس الکتریکی با استفاده ۱۰۰ درصدی از قراضه به‌عنوان خوراک استفاده می‌کند. قراضه در کوره قوس الکتریکی با برق ذوب می‌شوند که بخش زیادی از آن از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌گردد و شدت کربن را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. اسلب‌ها در شرکت تابعه تولید و سپس در آیزنبورگ به ورق‌های سنگین تبدیل می‌شوند. این ورق‌ها معمولاً ضخامتی بین ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر دارند و استحکام تسلیم بالایی مانند گرید S۳۵۵ML یا بالاتر نشان می‌دهند تا بارهای دینامیکی ناشی از نیروهای باد را تحمل کنند. ترکیب شیمیایی برای جوش‌پذیری و مقاومت در برابر خستگی بهینه‌سازی شده و کربن معادل پایینی برای جلوگیری از ترک خوردگی دارند. فولاد حاصل خواص مکانیکی یکسانی با انواع سنتی دارد: استحکام کششی ۵۶۰ تا ۶۳۰ مگاپاسکال، ازدیاد طول بیش از ۲۰ درصد و مقاومت ضربه در دمای منفی ۵۰ درجه سانتی‌گراد. این امر تضمین می‌کند که هیچ خللی در یکپارچگی سازه‌ای وجود نداشته باشد و برج مطابق استاندارد EN ۱۹۹۳-۱-۹ برای خستگی در سازه‌های بادی طراحی شده است. کاهش انتشار با استفاده از ارزیابی چرخه حیات (LCA) مطابق با استانداردهای ISO ۱۴۰۴۰/۱۴۰۴۴ و تمرکز بر تأثیرات از مبدأ تا مقصد محاسبه شده است. برج‌های فولادی سنتی حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم CO_2e به ازای هر تن فولاد منتشر می‌کنند، اما این فولاد سبز کمتر از ۳۰۰ کیلوگرم CO_2e به ازای هر تن به دست می‌دهد (معادل کاهش ۷۰ تا ۷۷ درصدی). پس از نصب، توربین تحت آزمایش‌های دقیق شامل تحلیل ارتعاشات و پایش نیروها با گیج‌های کرنش قرار گرفت. معیارهای عملکرد هیچ انحرافی از برج‌های استاندارد نشان نداد و تولید انرژی سالانه تخمینی ۱۰ تا ۱۲ گیگاوات ساعت (کافی برای حدود ۳۰۰۰ خانوار) دارد. از نظر اقتصادی، اگرچه قیمت فولاد سبز ۲۰ تا ۳۰ درصد بالاتر است، اما مقیاس‌پذیری و قیمت‌گذاری کربن می‌تواند هزینه‌ها را تا سال ۲۰۳۰ برابر کند. از منظر زیست‌محیطی، گسترش این رویکرد می‌تواند سالانه میلیون‌ها تن CO_2 را کاهش دهد.

فولاد
شماره ۱۴۶۵ ◆ شنبه ۲۵ بهمن ۱۴۰۴ ◆ ۲۵ شعبان ۱۴۴۷ ◆ ۱۴ فوریه ۲۰۲۶
MOBARAKEH STEEL GROUP

شتاب‌دهنده گذار صنعتی (ITA) برای کربن‌زدایی عمیق صنایع سنگین: تمرکز بر صنعت فولاد برزیل

مقاله

تهیه کننده: واحد پژوهش و نوآوری (پژوهشکده فولاد)

شتاب‌دهنده گذار صنعتی که با نام اختصاری ITA (Industrial Transition Accelerator) شناخته می‌شود، در جریان برگزاری کنفرانس تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۲۳ با حمایت مستقیم این کنفرانس، بنیاد بلومبرگ و برنامه تغییر اقلیم سازمان ملل متحد راه‌اندازی شد. این ابتکار یکی از پاسخ‌های مؤثر به یکی از دشوارترین چالش‌های کربن‌زدایی جهانی به شمار می‌رود؛ یعنی بخش‌های صنایع سنگین و حمل‌ونقل مسافت بالا که به دلیل وابستگی عمیق به سوخت‌های فسیلی و فرایندهای پرمصرف انرژی، کربن‌زدایی عمیق آن‌ها بسیار پیچیده و پرهزینه است. ITA به‌طور خاص بر روی رفع موانع مالی و سرمایه‌گذاری متمرکز شده است.

بسیاری از فناوری‌های نوظهور کم‌انتشار که قابلیت کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارند، در مرحله فعلی هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه عملیاتی بیشتری نسبت به فناوری‌های متداول مبتنی بر زغال سنگ، گاز طبیعی یا کک دارند. این اختلاف هزینه باعث شده حتی پروژه‌های بسیار امیدوارکننده نیز نتوانند به مرحله تصمیم نهایی سرمایه‌گذاری برسند و در نتیجه مقیاس‌پذیری آن‌ها در صنعت با تأخیر جدی مواجه شود.

این شتاب‌دهنده توسط سازمان Mission Possible Partnership اداره می‌شود؛ سازمانی غیردولتی و بین‌المللی که سال‌هاست بر کربن‌زدایی صنایع پرمصرف انرژی تمرکز دارد و اکنون دبیرخانه عملیاتی ITA را نیز بر عهده گرفته است. رویکرد ITA ترکیبی از حمایت مستقیم از پروژه‌های منتخب و تلاش برای بهبود کلی محیط سیاست‌گذاری و بازار است تا ریسک سرمایه‌گذاری کاهش یابد و زمان‌بندی رسیدن پروژه‌ها به مرحله تصمیم نهایی سرمایه‌گذاری یا FID کوتاه‌تر شود. بر اساس آخرین به‌روزرسانی ردیاب جهانی پروژه‌ها که توسط MPP در اواخر ۲۰۲۵ منتشر شد، روند اعلام پروژه‌های جدید و پیشرفت آن‌ها به سمت تصمیم نهایی سرمایه‌گذاری در بخش‌های کلیدی از جمله صنعت فولاد به شکل نگران‌کننده‌ای کند شده است. این کاهش در حالی رخ داده که برای هم‌راستا شدن با مسیر محدود کردن گرمایش جهانی به ۱.۵ درجه سلسیوس و رسیدن به وضعیت کربن خنثی تا حدود سال ۲۰۵۰، جهان به افزایش بسیار چشمگیر تعداد پروژه‌هایی نیاز دارد که طی یکی دو سال آینده به مرحله FID برسند. چرخه توسعه این پروژه‌ها معمولاً بین پنج تا دوازده سال طول می‌کشد؛ بنابراین هرگونه تأخیر در فاز اولیه می‌تواند کل برنامه زمانی کربن‌زدایی جهانی را به خطر بیندازد.

دو عامل اصلی بیشترین سهم را در این کندی داشته‌اند. عامل نخست، ضعف شدید تقاضای بازار برای فولاد، سیمان، مواد شیمیایی و سایر محصولات صنعتی کم‌انتشار است. بسیاری از پروژه‌های اولیه فولاد سبز بر این فرض بنا شده بودند که بازارهای پیشرو در اروپا، آمریکای شمالی و بخش‌هایی از آسیا به‌سرعت شکل می‌گیرند و مشتریان صنعتی بزرگ حاضر خواهند بود برای فولاد تولیدشده با هیدروژن سبز یا با روش‌های احیا مستقیم کم‌کربن پریموم قابل توجهی پرداخت کنند. قراردادهای بلندمدت خرید نیز به‌عنوان ابزار اصلی کاهش ریسک مالی در نظر گرفته شده بودند. اما در عمل، این تقاضا نه به حجم لازم و نه با درجه اطمینان کافی شکل گرفته است. بسیاری از خریداران بزرگ هنوز در مرحله آزمایشی یا تعهدات داوطلبانه باقی مانده‌اند و به دلیل عدم وجود الزامات قانونی یا مشوق‌های مالی قوی، تمایلی به انعقاد قراردادهای حجیم و بلندمدت نشان نداده‌اند. عامل دوم به واقعیت اقتصادی هیدروژن کم‌انتشار برمی‌گردد. بخش قابل توجهی از پروژه‌های احیا مستقیم آهن که در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ اعلام شدند، برنامه‌ریزی کرده بودند که ابتدا با گاز طبیعی کار کنند و سپس به‌تدریج به سمت هیدروژن سبز یا هیدروژن کم‌کربن حرکت کنند؛ اما کاهش هزینه تولید هیدروژن سبز بسیار کندتر از پیش‌بینی‌های اولیه رخ داد و هم‌زمان عرضه پایدار و ارزان هیدروژن در مقیاس صنعتی هنوز در بسیاری از مناطق جهان وجود ندارد. این دو عامل با هم باعث شد مدل‌های اقتصادی بسیاری از پروژه‌ها دیگر توجیه‌پذیر نباشد و یا نیاز به بازطراحی اساسی پیدا کند؛ در نتیجه تعداد زیادی از آن‌ها یا متوقف شدند یا به حالت تعلیق درآمدند.

در میان مناطق مختلف جهان، برزیل یکی از موقعیت‌های بسیار مطلوب برای ایفای نقش پیشرو در تولید آهن و فولاد کم‌انتشار را دارد. این کشور از ذخایر بسیار بزرگ و باکیفیت سنگ‌آهن برخوردار است. هم‌زمان پتانسیل انرژی تجدیدپذیر برزیل به‌ویژه در بخش خورشیدی و بادی در مناطق شمال شرقی بسیار بالاست و ظرفیت نصب‌شده تجدیدپذیر در سال‌های اخیر رشد سریعی داشته است. شبکه برق برزیل نیز که بیش از ۸۰ درصد آن از منابع کم‌انتشار به‌ویژه برق آبی تأمین می‌شود، بستر بسیار مناسبی برای تأمین برق پایدار و ارزان صنایع سنگین و همچنین تولید هیدروژن سبز از طریق الکترولیز فراهم می‌کند. نکته مهم دیگر، قیمت نسبتاً زیاد گاز طبیعی در بازار داخلی برزیل است که باعث می‌شود نقطه سربه‌سر اقتصادی بین گاز طبیعی و هیدروژن سبز زودتر از مناطقی مانند خاورمیانه یا آمریکای شمالی محقق شود. با وجود این مزیت‌های ساختاری، چالش‌هایی نیز وجود دارد. بسیاری از تولیدکنندگان سنتی فولاد برزیل هنوز دارای کوره‌های بلند با عمر مفید قابل توجه هستند و به دلیل هزینه‌های استهلاک پایین این دارایی‌ها و بازگشت سرمایه طولانی‌مدت، انگیزه کمی برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدیدتر نشان می‌دهند. از سوی دیگر پروژه‌های صنعتی سبز مانند واحدهای جدید احیا مستقیم آهن یا تولید HBI هنوز با سرعت کافی در حال توسعه نیستند و تعداد آن‌ها برای استفاده کامل از پتانسیل کشور کافی نیست. در این میان زیست‌توده به‌عنوان یک راه‌حل میان‌مدت مطرح است. جایگزینی بخشی از زغال سنگ کک‌شو با زیست‌توده در کوره‌های بلند موجود می‌تواند انتشار را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، اما این روش محدودیت‌های فنی دارد و نمی‌تواند به‌تنهایی به کربن‌زدایی عمیق منجر شود. علاوه بر این، منابع زیست‌توده باید با دقت تخصیص داده شوند، زیرا بخش‌هایی مانند تولید سوخت پایدار هوانوردی گزینه‌های جایگزین بسیار کمتری دارند و اولویت بالاتری برای استفاده از زیست‌توده محسوب می‌شوند.

دولت فعلی برزیل حمایت قابل توجهی از گذار سبز نشان داده است. وزارت توسعه، صنعت، تجارت و خدمات همکاری نزدیکی با برنامه ITA در برزیل برقرار کرده و این همکاری نشان‌دهنده درک عمیق از فرصت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی است که کربن‌زدایی می‌تواند برای برزیل ایجاد کند. یکی از مهم‌ترین پیشنهادهای ITA در سطح جهانی و نیز در برزیل، استفاده از ابزارهای سیاست‌گذاری تقاضامحور است. این سیاست‌ها شامل اعمال قیمت‌گذاری کربن با سطح کافی و قابل پیش‌بینی، طراحی مکانیسم‌های مرزی برای جلوگیری از نشت کربن، وضع استانداردهای عملکرد کربنی اجباری برای مواد اولیه و محصولات نهایی، ارائه مشوق‌های مالی برای خرید عمومی و خصوصی سبز و الزام به شفافیت کامل ردپای کربن از طریق برچسب‌گذاری است. در نهایت باید گفت که هرچند نوآوری‌های فنی در حوزه هیدروژن، احیای مستقیم، الکترولیز و جذب کربن پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند، اما بزرگ‌ترین مانع کنونی نبود تقاضای کافی، قابل اتکا و سودآور برای محصولات کم‌انتشار است. بدون سیاست‌های قوی و هوشمندانه تقاضامحور، حتی بهترین فناوری‌ها نیز نمی‌توانند از فاز آزمایشی عبور کنند و به تولید انبوه و اقتصادی برسند. دولت‌ها با ایجاد بازارهای اولیه، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و فعال‌سازی زنجیره ارزش سبز در مقیاس بزرگ می‌توانند این بن‌بست را بشکنند.