অ্যামোনিয়ার তড়িৎরাসায়নিক সংশ্লেষণঃ একটি কার্বন মুক্ত জ্বালানী

অঙ্কু গুহ

(গ্র্যাজুয়েট স্টুডেন্ট, টিআইএফআর হায়দ্রাবাদ)

Translation: Sudeshna Patra

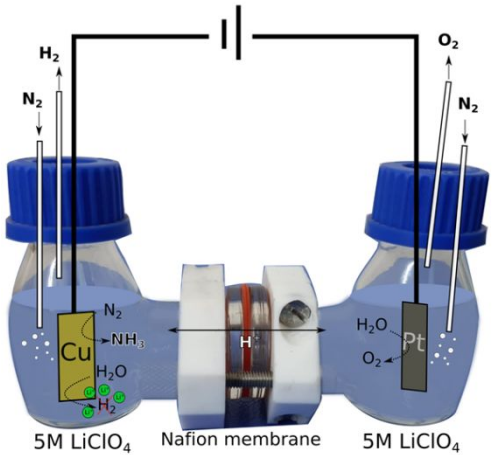
হিসেব করা হচ্ছে যে এই শতাব্দীর মধ্যভাগে বিশ্বজনসংখ্যা ৯.৮ বিলিয়ন স্পর্শ করবে। এর ফলাফল হিসাবে শক্তি এবং খাদ্য দুইয়েরই প্রয়োজনীয়তা বৃদ্ধি পাবে। শক্তির জন্য আমরা মূলত জীবাশ্ম জ্বালানী যেমন কয়লা, তেল এবং প্রাকৃতিক গ্যাসের ওপর নির্ভরশীল, যেগুলোর মজুদ সীমিত। জীবাশ্ম জ্বালানীর অত্যধিক ব্যবহার প্রচুর পরিমাণে কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত করে, কার্বন ডাই অক্সাইড একটি গ্রিন হাউস গ্যাস যেটির বিশ্ব উষ্ণায়নে অবদান রয়েছে।

কার্বন ডাই অক্সাইড নিঃসরণকারী শক্তি উৎসগুলির ওপর নির্ভরশীলতা কম করতে বিজ্ঞানীরা সৌরশক্তি, হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল বা জ্বালানী কোষ প্রভৃতি নবায়নযোগ্য শক্তির উৎস বিকাশে সচেষ্ট হয়েছেন। জলের তড়িৎ বিশ্লেষণ করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করা যায় যা ফুয়েল সেল বা জ্বালানী কোষে দহন এবং তড়িৎ বিশ্লেষণের মাধ্যমে শক্তি সরবরাহ করে। কার্বন ডাই অক্সাইড মুক্ত শক্তি উৎস প্রাপ্তির জন্য এটি অন্যতম আশাপ্রদ উপায় যেখানে উপজাত হিসেবে একমাত্র জল উৎপন্ন হয় যা পরিবেশ বান্ধব। যাই হোক, হাইড্রোজেন একটি খুবই অগ্নিদাহ্য গ্যাস। হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল প্রযুক্তির বানিজ্যিকীকরণে এর সংরক্ষণ, এর পরিবহণ বাধা হয়ে দাঁড়িয়েছে। এই সমস্যার সমাধান হতে পারে যদি হাইড্রোজেনকে অ্যামোনিয়া রূপে সঞ্চয় করা যায়। অ্যামোনিয়া ওজন হিসেবে শতকরা ১৭.৬ ভাগ হাইড্রোজেন ধারণ করে। আবার অ্যামোনিয়ার আয়তনগত দিক দিয়ে শক্তি ঘনত্ব তরল হাইড্রোজেনের দ্বিগুন। অ্যামোনিয়া থেকে সহজভাবে হাইড্রোজেন নিষ্কাশন পদ্ধতি একটি দাহ্য জ্বালানীর সংরক্ষণ এবং পরিবহণে বানিজ্যিকভাবে কার্যকর সুযোগকে উপস্থাপন করে।

কিভাবে পর্যাপ্ত পরিমাণে অ্যামোনিয়া মজুদ করা যায়? ১৯০৯ সালে ফ্রিজ হেবার আবিষ্কার করেন যে নাইট্রোজেনকে খুব উচ্চ চাপে (২৫০ বারের কাছাকাছি) আর তাপে (ওই ৩৫০ ডিগ্রি সেলসিয়াসের আশেপাশে) লৌহ অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করিয়ে কৃত্রিমভাবে অ্যামোনিয়ায় পরিণত করা যায়। কার্ল বস এই প্রক্রিয়াটির বানিজ্যিকীকরণ ঘটান। এখনো পর্যন্ত হেবার বস প্রক্রিয়াই হল এমন একটি ব্যবসায়িক ভাবে জুতসই প্রক্রিয়া যা বাতাসের নাইট্রোজেনকে অ্যামোনিয়া রূপে আবদ্ধ করে। হেবার বস প্রক্রিয়া কয়লা এবং প্রাকৃতিক গ্যাসের ষ্টীম রিফরমেশনে প্রাপ্ত হাইড্রোজেনকে ব্যবহার করে (কার্বন ডাই অক্সাইডকে ছেড়ে)। উচ্চ চাপ আর তাপের অতিরিক্ত চাহিদা আরও বেশী জীবাশ্ম জ্বালানীর দহন এবং আরও বেশী কার্বন ডাই অক্সাইড নিঃসরণে সাহায্য করে। হেবার বস প্রক্রিয়া পৃথিবীর প্রাকৃতিক গ্যাসের শতকরা ৫ ভাগ ব্যয় করে এবং সমস্ত কার্বন ডাই অক্সাইড নিঃসরণের শতকরা ১ ভাগ মুক্ত করে আর এইভাবে এটাকে বানিয়ে তোলে অন্যতম মলিন শিল্প প্রনালী। সেইজন্য অ্যামোনিয়া তৈরি করার একটি পরিবেশ বান্ধব পদ্ধতি একান্তভাবে কাম্য।

তাপশক্তি দিয়ে নাইট্রোজেন-নাইট্রোজেন বন্ধন ভাঙার (যেমনটা হেবার বস পদ্ধতিতে দেখানো হয়) পরিবর্তে অন্যান্য বিকল্পও আছে, উদাহরণস্বরূপ বলা যায় বিক্রিয়ক পূর্ণ দ্রবণে তড়িৎ বিভব চালনা করা। এই পদ্ধতিটি

তড়িৎরাসায়নিক ভাবে একটি ছোট অণুর জারণ বা বিজারণ ঘটাতে পারে। অ্যামোনিয়া উৎপাদন করতে জলীয় তড়িৎবিশ্লেষ্যে নাইট্রোজেনের তড়িৎরাসায়নিক বিজারণ খুব সম্ভবত একটি ভালো বিকল্প হতে পারে। কিন্তু আসলে এই পদ্ধতিটা কি? নীচের ছবিটিকে ভিজুয়াল সরঞ্জাম হিসেবে ব্যবহার করে আমি এই পরীক্ষাটি ব্যাখ্যা করার চেষ্টা করছি। এই পদ্ধতিতে একটি দুকুঠুরি যুক্ত এইচ সেল (ইংরেজি এইচ অক্ষরের মত দেখতে) ব্যবহার করা হয়। দুটো কুঠুরিতে (যেগুলো একটি প্রোটন বিনিময় ঝিল্লি দ্বারা আলাদা করা থাকে) আলাদা আলাদা প্রক্রিয়া সঙ্ঘটিত হয়। তড়িৎবিশ্লেষ্যে দ্রাব্য নাইট্রোজেন চালু করতে ওয়ার্কিং ইলেকট্রোডে নাইট্রোজেনকে ফিডিং গ্যাস হিসাবে ব্যবহার করা হয় এবং প্রোটনের উৎস হিসাবে জল ব্যবহৃত হয়। নাইট্রোজেন আর জলের বিজারণে হাইড্রোজেন গ্যাসের সঙ্গে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়। জলীয় মাধ্যমে এই হাইড্রোজেন নিঃসরণ বিক্রিয়া হল নাইট্রোজেনের কাঙ্ক্ষিত তড়িৎরাসায়নিক বিজারণের পথে প্রধান প্রতিদ্বন্দ্বী বিক্রিয়া। অন্য কক্ষে জল জারিত হয়ে অক্সিজেন তৈরি হয়।



অ্যামোনিয়া উৎপাদনের পরীক্ষামূলক সংস্থাপন

উদ্গত অ্যামোনিয়া তড়িৎবিশ্লেষ্যে মূলত দ্রবীভূত অ্যামোনিয়াম হিসাবে বর্তমান থাকে। নাইট্রোজেনের অ্যামোনিয়ায় তড়িৎরাসায়নিক বিজারণ চারপাশের স্বাভাবিক অবস্থাতেও করা যায় যেটা এই পদ্ধতিকে একটি আকর্ষণীয় বিকল্প হিসাবে উপস্থাপিত করেছে। এছাড়াও নবায়নযোগ্য তড়িৎ উৎস যেমন বায়ু, সৌরশক্তি এসব ব্যবহার করেও তড়িৎ বিভবের প্রয়োজনীয়তা মেটানো যায়। যাই হোক, এই পদ্ধতিটির নির্দিষ্ট কিছু অসুবিধা আছে, যেমন (১) নাইট্রোজেন খুব স্থিতিশীল এবং এর পরমাণুর মধ্যে বন্ধনকে ভাঙতে অনেক উচ্চ শক্তির প্রয়োজন হয়, (২) অ্যামোনিয়ার সাথে সাথে হাইড্রোজেন গ্যাসের উৎপাদন, (৩) জলে নাইট্রোজেন গ্যাসের অদ্রাব্যতা।

এইসব সমস্যাগুলোর সমাধান করতে ১৯৯৪ সালে সুনেতো এবং তার সহকর্মীরা অন্যতম আশু উদ্যোগ নিয়েছিলেন। তাঁরা হাইড্রোজেন নিঃসরণ বিক্রিয়াকে এড়াতে টেট্রাহাইড্রোফিউরানে (একটি অ-জলীয় তড়িৎবিশ্লেষ্য) লিথিয়াম পারক্লোরেট ব্যবহার করেছিলেন আর প্রোটন উৎস রূপে ইথানল ব্যবহার করেছিলেন। তাঁরা সফলভাবে শতকরা ৫৭.৭ ভাগ শক্তি দক্ষতা অর্জন করেছিলেন (শক্তির যোগান এবং উৎপাদনের অনুপাত)। এই পদ্ধতিটির একটি মুখ্য অসুবিধা এই যে এই পদ্ধতিতে উচ্চচাপের (৫০ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ) প্রয়োজন হয়েছিল।

আমাদের লক্ষ্য ছিল স্বাভাবিক তাপে আর চাপে বাতাসের নাইট্রোজেন ব্যবহার করে জলীয় তড়িৎবিশ্লেষ্যে অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণ করা। নাইট্রোজেনের তড়িৎ রাসায়নিক বিজারণের জন্য আমরা আদর্শ তড়িৎঅনুঘটক হিসেবে তামাকে বেছে নিয়েছি। তামা অন্যতম সস্তা ধাতু যা আকরিকের মধ্যে অনেক উচ্চ ঘনত্বে বর্তমান থাকে। উপরন্তু তামা ব্যবহার করলে হাইড্রোজেন নিঃসরণ বিক্রিয়াও কম পরিমাণে হয়।

এখন যে প্রধান চ্যালেঞ্জগুলো বাকি থাকল সেগুলো হল নাইট্রোজেন পরমাণুর মধ্যের সুস্থিত বন্ধনকে ভাঙা আর জলীয় তড়িৎবিশ্লেষ্যে নাইট্রোজেনের দ্রাব্যতা। প্রথম সমস্যার সমাধানে আমরা লিথিয়াম পারক্লোরেটের গাঢ় জলীয় দ্রবণকে তড়িৎবিশ্লেষ্য হিসাবে ব্যবহার করেছি। লিথিয়াম আয়ন নাইট্রোজেনকে আকর্ষণ করে, ফলস্বরূপ দুটো নাইট্রোজেন পরমাণুর মধ্যেকার দূরত্ব বাড়ে এবং নাইট্রোজেন অণুকে বিভক্ত করতে কম বিভবের প্রয়োজন হয়।

যেখানে আগের বেশিরভাগ কাজই তড়িৎঅনুঘটকের রদবদল ঘটানোয় বিশ্বাসী ছিল সেখানে এটা অন্যতম প্রথম প্রতিবেদন যেখানে তড়িৎবিশ্লেষ্যের অদলবদল করা হয়েছে। সঠিক রূপে বিক্রিয়া সম্পন্ন করতে একটি বিস্তীর্ণ পরিসরের বিভব এবং লিথিয়াম আয়নের গাঢ়ত্বের পরিবর্তন নিয়ে পরীক্ষানিরীক্ষা হয়েছে। অবশেষে আমরা তুলনামূলকভাবে কম 'অতি বিভবে' (-০.৬ ভোল্ট রিভারশিবেল হাইড্রোজেন ইলেকট্রোডের সাপেক্ষে) শতকরা ১২.১ ভাগ শক্তি দক্ষতা অর্জন করতে সমর্থ হয়েছি (যখন গতানুগতিক নাইট্রোজেন বিজারণ বিক্রিয়ার সঙ্গে তুলনা করা হয়, -০.৩৫ ভোল্ট রিভারশিবেল হাইড্রোজেন ইলেকট্রোডের সাপেক্ষে)।

আমরা একনাগাড়ে ১৯ ঘন্টা ধরে নাইট্রোজেন বিজারণ সম্পন্ন করেছি এটা দেখতে যে তামা অনুঘটক একই শক্তি দক্ষতা বজায় রেখে এবং অনুঘটকের কোন দীর্ঘস্থায়ী অদলবদল না ঘটিয়ে বিক্রিয়া চালিয়ে যেতে পারে কিনা। আমরা লক্ষ্য করেছি যে উদ্গত অ্যামোনিয়ার পরিমাণ সময়ের সাথে রৈখিক ভাবে বাড়ে এবং অন্য কোন নাইট্রোজেন ঘটিত উপজাত পদার্থ যেমন হাইড্রাজিন সনাক্ত হয়নি। এটা নিশ্চিত করে যে আমাদের তড়িৎরাসায়নিক নাইট্রোজেন বিজারণ পদ্ধতিটি অত্যন্ত নির্বাচনশীল এবং টেকসই।

যদিও স্বাভাবিক অবস্থায় নাইট্রোজেন বিজারণে শতকরা ১২.১ ভাগ শক্তি দক্ষতা অর্জন করা যায় তবুও বানিজ্যিকীকরণের থেকে এটা এখনও অনেক দূরে। এছাড়াও অ্যামোনিয়ার তড়িৎরাসায়নিক সংশ্লেষণের পুঙ্খানুপুঙ্খ পদ্ধতি জানা বাকি আছে। সবমিলিয়ে, লিথিয়াম পারক্লোরেটের মত সহায়ক তড়িৎবিশ্লেষ্য ব্যবহার করে অ্যামোনিয়ার তড়িৎরাসায়নিক সংশ্লেষণের ধারণা ভবিষ্যতে নতুন বিক্রিয়ার (যেগুলো স্বাভাবিক তাপ ও চাপে অ্যামোনিয়ার সংশ্লেষণ ত্বরান্বিত করতে পারে) পরিকল্পনা করতে প্রয়োজনীয় অন্তর্দৃষ্টি প্রদান করে।

ছবিঃ পিক্সা বে