

जल से हरित हाइड्रोजन ईंधन के निर्माण हेतु कुशल एवं लागत प्रभावी उत्प्रेरक आईआईटी मुंबई के शोधकर्ताओं ने मॉलिक्यूलर प्रीकर्सर अभियांत्रिकी का उपयोग करके कोबाल्ट, निकल एवं ग्रेफाइट के संयोजन से एक कम लागत वाला तथा अत्यंत टिकाऊ उत्प्रेरक निर्मित किया है, जो जल को कुशलतापूर्वक हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन में विभाजित करता है, जिससे लागत प्रभावी हरित हाइड्रोजन ऊर्जा का मार्ग प्रशस्त होता है।



विद्युत् अपघटन की प्रतिनिधि छवि. श्रेय: गुब्बी लैब्स

भारत में कल्पक्कम, तमिलनाडु स्थित इंदिरा गांधी परमाणु अनुसंधान केंद्र में विश्व के पहले परमाणु ऊर्जा संचालित हाइड्रोजन उत्पादन संयंत्र का उद्घाटन किया गया। बिजली पर निर्भर रहने वाले अन्य संयंत्रों से अलग, यह नया संयंत्र हाइड्रोजन का उत्पादन करने के लिए परमाणु ऊर्जा से उत्पन्न ऊष्मा का उपयोग करता है। हाइड्रोजन का दहन स्वच्छ होने के कारण यह जीवाश्म ईंधनों के लिए अच्छा विकल्प है। हाइड्रोजन का ऊर्जा घनत्व उच्च होता है, जो पेट्रोल की तुलना में लगभग तीन गुना अधिक है, एवं इसके दहन से केवल जलवाष्प का उत्सर्जन होता है। तथापि, हाइड्रोजन प्रकृति में स्वतंत्र रूप से उपलब्ध नहीं होता एवं इसे जल जैसे स्रोतों से निष्कर्षित करना पड़ता है। विश्व भर के वैज्ञानिक जल के अणु को कुशलतापूर्वक विभाजित करके हाइड्रोजन प्राप्त करने की पद्धतियों की खोज में जुटे हैं।

एक महत्वपूर्ण सफलता प्राप्त करते हुए भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान (आईआईटी) मुंबई के शोधकर्ताओं ने एक अत्यधिक कुशल एवं कम लागत वाला उत्प्रेरक [विकसित](#) किया है जो हरित हाइड्रोजन के उत्पादन में उल्लेखनीय सुधार ला सकता है। इस शोध दल ने कोबाल्ट, निकल, फॉस्फेट एवं ग्रेफाइट को मिलाकर एक नवीन पदार्थ विकसित किया है जो जल से कुशलतापूर्वक हाइड्रोजन और ऑक्सीजन वायु का उत्पादन करता है।

विद्युत् अपघटन (इलेक्ट्रोलिसिस) जल के अणु को विभाजित करने की एक सरल पद्धति है, जिसमें जल में से विद्युत् धारा प्रवाहित करके इसे हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन में पृथक किया जाता है। यह विद्युत् धारा दो अभिक्रियाओं को प्रेरित करती है: कैथोड पर हाइड्रोजन उत्सर्जन अभिक्रिया, जो हाइड्रोजन गैस उत्पन्न करती है, एवं एनोड पर ऑक्सीजन उत्सर्जन अभिक्रिया, जो ऑक्सीजन गैस

का निर्माण करती है। यद्यपि, यह प्रक्रिया महत्वपूर्ण गतिकीय बाधाओं का सामना करती है, जिसके कारण इसे प्रारंभ करने के लिए अत्यधिक ऊर्जा की आवश्यकता होती है। इस ऊर्जा बाधा को ऐसे उत्प्रेरकों (कैटेलिस्ट) का उपयोग करके कम किया जा सकता है, जो स्वयं व्यय हुए बिना अभिक्रिया की गति को बढ़ा देते हैं।

वर्तमान में, इन अभिक्रियाओं के लिए प्लेटिनम, रूथेनियम एवं इरिडियम जैसी बहुमूल्य धातुओं को सर्वोत्कृष्ट माना जाता है। ये उत्कृष्ट धातुएं (नोबल मेटल्स) अत्यधिक प्रभावी हैं, किंतु साथ ही दुर्लभ तथा अत्यंत महंगी हैं एवं कठिन कार्य परिस्थितियों में समय के साथ क्षय होने लगती हैं।

आईआईटी मुंबई की शोधकर्ता एवं इस अध्ययन की मुख्य लेखिका डॉ. सावी चौधरी बताती हैं, “हमारा मुख्य उद्देश्य पूर्ण जल विभाजन के लिए पृथ्वी पर प्रचुर मात्रा में उपलब्ध एक कुशल एवं टिकाऊ उत्प्रेरक विकसित करना था।”

नया उत्प्रेरक विकसित करने हेतु शोधकर्ताओं ने ‘मॉलिक्यूलर प्रीकर्सर इंजीनियरिंग’ यानी आणविक पूर्वद्रव्य अभिकल्पित करने की तकनीक का उपयोग किया। यह एक ऐसी तकनीक है जिसमें अत्यधिक विशिष्ट अणुओं एवं धात्विक यौगिकों का निर्माण किया जाता है, जो अधिक जटिल पदार्थों के लिए पूर्वद्रव्य अथवा मूलभूत घटक के रूप में कार्य करते हैं।

डॉ. चौधरी के अनुसार, “मॉलिक्यूलर प्रीकर्सर तकनीक का दृष्टिकोण इसलिए लाभदायक है क्योंकि यह परिणामी पदार्थ की संरचना तथा समरूपता पर सटीक नियंत्रण प्रदान करता है, साथ ही अपेक्षाकृत अनुकूल परिस्थितियों में इसे सक्रिय उत्प्रेरक में परिवर्तित करने में सक्षम बनाता है।”

शोधकर्ताओं ने पहले कोबाल्ट एवं निकल फॉस्फेट के विशिष्ट धात्विक संकुलों (मेटल कॉम्प्लेक्स) का निर्माण किया। तत्पश्चात, उन्होंने इन संकुलों को ‘एक्सफोलिएटेड ग्रेफाइट’ नामक कार्बन की परमाणु जितनी पतली परतों के साथ मिलाया एवं इस मिश्रण का धीरे-धीरे तापन किया। जैसे ही ऊष्मा ने धात्विक संकुलों के कार्बनिक अंशों को विघटित किया, उसने संवाहक ग्रेफाइट की परत पर समान रूप से फैली हुई कोबाल्ट-निकल फॉस्फेट की एक पूर्णतः मिश्रित, अक्रिस्टलीय परत को पीछे छोड़ दिया। इसका अंतिम परिणाम एक द्वि-कार्यात्मक उत्प्रेरक के रूप में सामने आया जो जल-विभाजन अभिक्रिया के दोनों चरणों को एक साथ संपन्न करता है।

आईआईटी मुंबई के प्राध्यापक एवं इस अध्ययन के मार्गदर्शक प्रा. रामस्वामी मुरुगवेल टिप्पणी करते हैं, “कोबाल्ट एवं निकल का संयोजन हाइड्रोजन उत्सर्जन अभिक्रिया तथा ऑक्सीजन उत्सर्जन अभिक्रिया दोनों के प्रति द्वि-कार्यात्मक सक्रियता प्रदान करता है, जबकि संवाहक ग्रेफाइट का आधार आवेश (चार्ज) के परिवहन को बढ़ाता है एवं सक्रिय पदार्थ के कुशल उपयोग को प्रोत्साहित करता है।”

इस पदार्थ की अक्रिस्टलीय प्रकृति का अर्थ है कि इसके परमाणु क्रिस्टल की भांति व्यवस्थित न होकर अनियमित रूप से व्यवस्थित हैं। यह संरचना इसकी कार्यक्षमता को भी बढ़ाती है, क्योंकि इसकी अव्यवस्थित रचना अधिक पृष्ठ क्षेत्रफल का निर्माण करती है, जो हाइड्रोजन उत्सर्जन अभिक्रिया एवं ऑक्सीजन उत्सर्जन अभिक्रिया दोनों के लिए आदर्श संयोजन स्थल के रूप में कार्य करती है।

डॉ. चौधरी बताती हैं, “हमने प्रारंभ में अनुमान लगाया था कि ये संकुल क्रिस्टलीय फॉस्फेट पदार्थों का निर्माण करेंगे। इसके विपरीत, उत्कृष्ट समरूपता वाले एक अक्रिस्टलीय कोबाल्ट-निकल फॉस्फेट चरण का निर्माण हुआ। रोचक बात यह है कि अक्रिस्टलीय मिश्रित-धातु फॉस्फेट एवं एक्सफोलिएटेड ग्रेफाइट के संयोजन के परिणामस्वरूप विद्युत-उत्प्रेरकीय सक्रियता में उल्लेखनीय वृद्धि देखी गई।”

परीक्षण के समय, इस नए उत्प्रेरक ने कार्यक्षमता में कमी के बिना निरंतर 72 घंटों तक कार्य किया। तथापि, शोधकर्ताओं ने अवलोकन किया कि ऑक्सीजन उत्पन्न होने की अभिक्रिया के समय उत्प्रेरक की सतह में एक संरचनात्मक परिवर्तन हुआ, जिससे कुछ फॉस्फेट पृथक हो गए एवं ऑक्सीजन से समृद्ध नए धात्विक यौगिकों का निर्माण हुआ। तथापि, इस सतह पुनर्गठन ने उत्प्रेरक को क्षय करने के स्थान पर वास्तव में इसकी उच्च सक्रियता को बनाए रखने में सहायता की।

प्रा. मुरुगवेल का कहना है, “सतह का यह पुनर्गठन फॉस्फेट-आधारित उत्प्रेरकों की एक महत्वपूर्ण विशेषता को रेखांकित करता है। उत्प्रेरकीय परिस्थितियों में, इसकी सतह अधिक सक्रिय ऑक्सीहाइड्रॉक्साइड के प्रकारों में पुनर्गठित हो जाती है, जबकि आंतरिक फॉस्फेट संरचना इसके रासायनिक स्थायित्व एवं संरचनात्मक अखंडता को बनाए रखने में सहायता करती है।”

पृथ्वी पर प्रचुर मात्रा में उपलब्ध इस दृढ़ एवं शक्तिशाली उत्प्रेरक का विकास सतत ऊर्जा भविष्य को सशक्त बनाने हेतु सहायक हो सकता है। यह शोध महंगी उत्कृष्ट धातुओं पर निर्भरता समाप्त करता है एवं यह सिद्ध करता है कि प्रयोगशाला में सस्ते एवं अत्यधिक सक्रिय पदार्थों को निर्मित किया जा सकता है। अतः यह शोध विश्व को घरों, वाहनों तथा उद्योगों को ऊर्जा प्रदान करने के लिए लागत प्रभावी एवं उत्सर्जन रहित हाइड्रोजन ईंधन के उत्पादन के अधिक निकट लाता है। इससे भी अधिक महत्वपूर्ण बात यह है कि शोध दल का मानना है कि उत्प्रेरकों के निर्माण के लिए उपयोग की जाने वाली यह प्रक्रिया अधिक सटीक पदार्थों के उत्पादन में एक महत्वपूर्ण प्रगति दर्शाती है।

डॉ. चौधरी निष्कर्ष निकालती हैं, “हमारा मानना है कि इस कार्य का सबसे महत्वपूर्ण संदेश यह है कि मौलिकयूलर प्रीकर्सर अभियांत्रिकी उन्नत विद्युत-उत्प्रेरकों के विकास के लिए एक शक्तिशाली तथा बहुउद्देशीय मार्ग प्रदान करती है।”

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Engineering Amorphous Cobalt–Nickel Phosphate Nanostructures on Exfoliated Graphite: A Molecular Precursor-Driven Route to High-Performance Alkaline Water Splitting Catalysts
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1002/sml.202508598
List of all researchers with affiliations	Savi Chaudhary, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Meera P. Reghunath, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Vanita Madhukar Mohite,

	Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Anil Kumar, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. Ramaswamy Murugavel, Department of Chemistry, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India.
Email of researcher/s	Prof Ramaswamy Murugavel: rmv@chem.iitb.ac.in, Savi Chaudhary: savichaudhary.97@gmail.com
Writer name	Dennis C. Joy
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Gubbi Labs
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/Technology/Engineering/Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive/Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#Hydrogen, #SustainableHydrogenProduction, #ElectroCatalyst, #CobaltNickelGraphite.
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/in/savichaudhary

Funding information (Source: Research paper)	This work was supported by SERB, NewDelhi (CRG/2022/002406&SB/S2/JCB-85/2014)(RM), and PMRF and IIT Bombay research fellowship.
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai