भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 30 अंक (2) दिसम्बर 2022 पृ. 71-78
DOI: 10.56042/bvaap.v28i2.64950

सेल्फ-क्लीनिंग तकनीक : क्रियाविधि, वस्त्र उत्पादों में उपयोगिता एवं वर्तमान चुनौतियां

अणु मिश्रा
कालीन और वस्त्र प्रौद्योगिकी विभाग, भारतीय कालीन प्रौद्योगिकी संस्थान, भदोही 221 401 (उत्तर प्रदेश)

सारांश

सेल्फ क्लीनिंग (स्वतः-सफाई) की अवधारणा का हमारे दैनिक जीवन में व्यापक अनुप्रयोग है। मानव द्वारा उत्पादित किसी भी वस्तु में यदि सेल्फ क्लीनिंग की क्षमता विकसित है तो व्यावसायिक दृष्टि से उसकी बिक्री और उपयोगकर्ता के रूप में उसकी व्यापक स्वीकार्यता बढ़ सकती है। बिल्डिंग निर्माण, स्वास्थ्य क्षेत्र, एयरोस्पेस, परिवहन और वस्त्र जैसे अनेक उद्योगों में सेल्फ क्लीनिंग मैटेरियल्स का उपयोग दिन-प्रतिदिन बढ़ रहा है। प्रस्तुत शोध पत्र वस्त्रों के परिप्रेक्ष्य में सेल्फ क्लीनिंग के महत्व को दर्शाता है। वस्त्रों की सतह को अतिजलरोधी (सुपरहाइड्रोफोबिक) बनाकर सेल्फ क्लीनिंग मैटेरियल्स की कार्य पद्धति पर विस्तार से चर्चा की गई है। वस्त्रों में सेल्फ क्लीनिंग की क्षमता विकसित करने के लिए प्रकाश उत्प्रेरक की भूमिका भी विस्तृत ढंग से व्याख्या की गयी है। इसके अलावा, आलेख में वस्त्रों पर सेल्फ क्लीनिंग सामग्री के अनुप्रयोग के तरीकों और वर्तमान में मौजूद उनकी चुनौतियों पर भी चर्चा है।

Self-cleaning Technique: Working Mechanism, Utility in Textile Products and Existing Challenges

Anu Mishra
Department of Carpet & Textile Technology, Indian Institute of Carpet Technology, Bhadohi 221 401 (Uttar Pradesh)

ABSTRACT

The concept of self-cleaning has immense applications in our day to day life. Self-cleaning ability of a product promises its unique selling preposition in the market and ensures its wide acceptability among its end users. Self cleaning materials have got their applications in industry like building construction, healthcare, aerospace, transport and textiles. The present research paper compiles the importance of self-cleaning property in perspectives of textiles. The mechanism of working of self cleaning materials on superhydrophobic surface has been discussed in length. The role of photocatalysts to impart self-cleaning ability in textiles has also been elaborated. In addition to this, methods of application of self cleaning materials on textiles and their existing challenges are also discussed.

प्रस्तावना

विगत वर्षों में वैज्ञानिकों का एक बड़ा समूह सेल्फ-क्लीनिंग मैटेरियल्स की खोज एवं विकास में लगा है। हमारे दैनिक जीवन में उपयोगी अनेकानेक ऐसी वस्तुएं हैं, जिन्हें स्वच्छ रखने के लिए हम निरंतर प्रयासरत रहते हैं। अधिकांशतः इन वस्तुओं को स्वच्छ रखना हमारी आवश्यकता होती है, अन्यथा ये हमारे स्वास्थ्य, सुरक्षा अथवा कार्यक्षमता पर प्रतिकूल प्रभाव डाल सकती हैं। इन वस्तुओं पर सेल्फ-क्लीनिंग मैटेरियल्स की पतली पर्त चढ़ाकर हम न केवल इनके रख-रखाव एवं सफाई में लगने वाले नियमित खर्च को कम कर सकते हैं, बल्कि इनके सुचारू रूप से उपयोग करने की समय सीमा भी बढ़ा सकते हैं। यही नहीं, सेल्फ-क्लीनिंग मैटेरियल्स का प्रभावी उपयोग, आमतौर पर सफाई के दौरान प्रयोग होने वाले कैमिकल्स (उदाहरणार्थ साबुन, शैम्पू) और जल द्वारा निकट भविष्य में होने वाले पर्यावरण के नुकसान को भी कम करने में मददगार साबित हो सकता है[1]।

दिन-प्रतिदिन के उपयोग में आने वाले परिधानों एवं अन्य टेक्सटाइल से बने सामानों की सतह पर अवांछित तत्वों का जमाव एक आम समस्या है। ये जमाव धूल, गंदगी, पसीना,

स्मॉग, बैक्टीरिया और विभिन्न प्रकार के दाग आदि के रूप में हो सकते हैं। कपड़े की सतह पर यह जमाव उत्पाद के सौंदर्य मूल्य के साथ-साथ परिवेश की स्वच्छता दोनों को बुरी तरह प्रभावित कर सकता है। इसलिए, कपड़े पर जमा इन संदूषणों से दूर रखने के लिए नियमित रूप से ड्राई क्लीनिंग (विलायक सफाई) या जलीय धुलाई उपलब्ध समाधानों के रूप में रही है[2]।

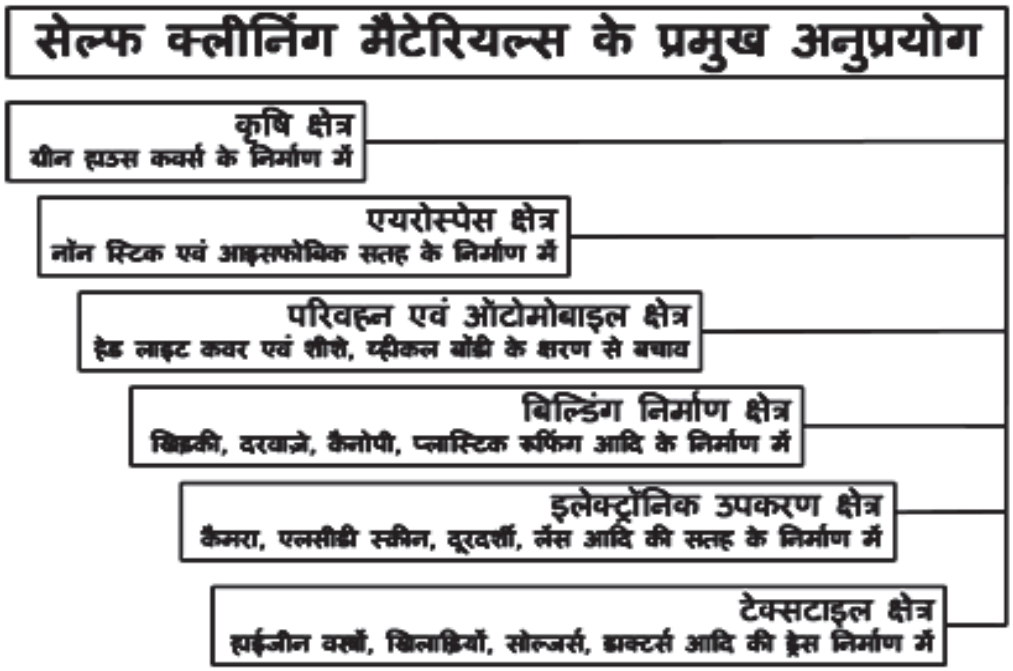
आम तौर पर, ड्राई क्लीनिंग की प्रक्रिया में तरल सॉल्वैंट्स जैसे परक्लोरोथिलीन (पीसीई) का उपयोग शामिल होता है, जिसे व्यावसायिक भाषा में 'पर्क' के नाम से जाना जाता है। पर्क एक क्लोरीनयुक्त हाइड्रोकार्बन है, जिसे पर्यावरण संरक्षण एजेंसी (ई.पी.ए.) द्वारा ''संभावित कैंसर कारक" के रूप में वर्गीकृत किया गया है। वस्त्रों के माध्यम से पर्क का शरीर में संपर्क कैंसर के साथ-साथ अन्य जटिलताओं बीमारियों जैसे केंद्रीय तंत्रिका तंत्र का अवसाद, यकृत और गुर्दे को नुकसान, स्मृति ह्रास, आंख, नाक या गले में जलन को आमंत्रित करता है। ड्राई क्लीनिंग में उपयोग किए जाने वाले अधिकांश अन्य रसायन (जैसे बेंजीन, केरोसिन, पेट्रोलियम और तारपीन) जहरीले और ज्वलनशील होते हैं। इसके अलावा, ड्राई क्लीनिंग अपने आप में एक महंगी प्रक्रिया है[3]।

टेक्सटाइल उत्पादों को किसी भी प्रकार के संदूषण से मुक्त रखने के लिए, जलीय धुलाई सबसे आम प्रक्रिया है। परन्तु इसमें बड़ी मात्रा में पानी के साथ-साथ डिटर्जेंट का उपयोग होता है। अधिकांश डिटर्जेंट्स में 35-75% फॉस्फेट लवण होते हैं। ये फॉस्फेट लवण जल प्रदूषण से संबंधित कई समस्याओं का प्रमुख कारण हैं। फॉस्फोरस की सांद्रता में क्रमिक वृद्धि से नदियों और झीलों में यूट्रोफिकेशन की समस्या भी उत्पन्न होती है, जो पूरे पारिस्थितिकी तंत्र पर प्रतिकूल प्रभाव डालती है। वस्त्रों की जलीय धुलाई की प्रक्रिया में डिटर्जेंट के उपयोग के अलावा, पानी की भारी खपत एक बड़ी और गंभीर चिंता का विषय है[4]।

सेल्फ-क्लीनिंग की अवधारणा बेहद दिलचस्प और वैज्ञानिक है, क्योंकि इसमें अनुप्रयोगों की विस्तृत श्रृंखला है। विभिन्न सामग्रियों की सेल्फ-क्लीनिंग क्षमता को समझने के लिए बड़ी संख्या में अध्ययन, अनुसंधान एवं विकास गतिविधियां की गई हैं। प्रमुख अनुप्रयोग के क्षेत्र, जहां सेल्फ-क्लीनिंग की बड़ी मांग हैं, चित्र 1 में दर्शाए गए हैं।

पिछले कुछ दशकों में, टेक्सटाइल के क्षेत्र में सेल्फ-क्लीनिंग तकनीक ने गंभीर ध्यान आकर्षित किया है। इसके दो मुख्य कारण है, दुनियाभर में ताजे जल निकायों का सिकुड़ना तथा कपड़े की धुलाई से होने वाला भारी जल प्रदूषण।

यूरोपीय बाजार में सेल्फ-क्लीनिंग वस्त्रों की 14 मिलियन मीटर/वर्ष से अधिक की भारी मांग रही है। यह मांग एशिया और प्रशांत देशों के बाजारों में भी बढ़ रही है। वस्त्रों में



चित्र 1 – सेल्फ-क्लीनिंग क्षमता के प्रमुख अनुप्रयोग क्षेत्र

सेल्फ-क्लीनिंग की क्षमता का विकास न केवल पानी और कैमिकल के बढ़ते उपयोग का नियंत्रण कर सकता है, बल्कि वस्त्रों की सफाई के दौरान उत्पन्न भारी अपशिष्ट के भार से पर्यावरण को भी बचाने में सहायक है[5,6]।

सेल्फ-क्लीनिंग का सिद्धांत

किसी भी प्रकार की ठोस सतह पर अवांछित तत्वों जैसे धूल, गंदगी, पसीना, बैक्टीरिया अथवा दाग-धब्बों के जमाव को रोकने के लिए सर्वप्रथम यह जानना ज़रूरी है कि वह ठोस सतह हाइड्रोफोबिक (जल-रोधी) है अथवा हाइड्रोफिलिक (जलस्नेही)। किसी भी ठोस सतह के हाइड्रोफोबिक अथवा हाइड्रोफिलिक होने का निर्धारण उसके संपर्क कोण के आकलन से होता है। 'संपर्क कोण' वह कोण है, जो ठोस सतह पर एक तरल बूंद (लिक्विड ड्रॉप) बनाती है। इसे ठोस सतह और तरल सतह के स्पर्श रेखा के बीच के कोण के रूप में परिभाषित किया जाता है। उदाहरणार्थ, यदि पानी की बूंद ठोस सतह के साथ संपर्क कोण बनाती है, जो 90^0 से कम है, तो ठोस सतह को 'हाइड्रोफिलिक' कहा जाता है। इसी तरह, यदि पानी की बूंद का संपर्क कोण 90^0 से अधिक है, तो ठोस सतह को 'हाइड्रोफोबिक' कहा जाता है। ठोस सतह के साथ लिक्विड द्वारा बनाया गया एक उच्च संपर्क कोण इंगित करता है कि लिक्विड इसे देर से भिगो पायेगा। इसके विपरीत, एक निम्न संपर्क कोण इंगित करता है कि लिक्विड, ठोस सतह को जल्द ही गीला कर देगा[7]।

चित्र 2 द्वारा संपर्क कोण के माध्यम से हाइड्रोफिलिक और हाइड्रोफोबिक सतहों को आसानी से समझा जा सकता है। हाइड्रोफिलिक और हाइड्रोफोबिक सतहों की परिभाषा को विस्तार देने से यह स्पष्ट हो जाता है कि यदि संपर्क कोण 0^0 तक पहुंचता है, तो ठोस सतह को पानी की बूंद को अवशोषित करने में कोई समय नहीं लगेगा और इसलिए ठोस सतह को 'सुपर हाइड्रोफिलिक' माना जा सकता है। इसी तरह, यदि जल संपर्क कोण व्यावहारिक रूप से 150^0 से अधिक है, तो ठोस सतह को 'सुपर हाइड्रोफोबिक' माना जा सकता है। सुपर हाइड्रोफिलिक और सुपर हाइड्रोफोबिक, दोनों सतहों में सेल्फ-क्लीनिंग की घटना को देखा जा सकता है[8]।

सुपर हाइड्रोफोबिक सतह परसेल्फ-क्लीनिंग की प्रक्रिया

सुपरहाइड्रोफोबिक सतह पर पड़ने वाली पानी अथवा किसी द्रव की बूंद लुढ़क कर सेल्फ-क्लीनिंग की प्रक्रिया प्रदर्शित करती है। पानी की लुढ़कती बूंदें, सतह पर पायी जाने वाली गंदगी और अन्य दूषित पदार्थों को अपने साथ समेटते हुए आसानी से सतह को अपने आप साफ कर देती है[9]। प्रकृति में अनेक ऐसे पौधों की पत्तियां, फूलों की पंखुड़ियां और पशुओं की त्वचा है, जिनमें यह असामान्य गुण पाया जाता है। प्रकृति से प्रेरणा लेकर बॉन विश्वविद्यालय के वनस्पति उद्यान में जैव विविधता के एक जर्मन प्रोफेसर विल्हेम बार्थलॉट ने कमल के पत्ते पर एक रोचक अध्ययन किया। बार्थलॉट ने यह समझने की कोशिश की कि कीचड़ भरे पानी से घिरे रहने के बावजूद भी दौरान कमल के पत्ते किस प्रकार साफ और प्रदूषण-मुक्त रहते हैं[10]।

कमल के पत्ते की सतह के विज्ञान और आकारिकी (टेक्सचर) की गहन जांच करने पर, यह पाया गया है कि पत्ती की सतह में एक बहु-परत आकारिकी होती है, जिसमें सूक्ष्म आकार की एक आधार परत और एक ऊपरी वैक्सी (मोम जैसी) परत होती है। इस प्रकार खुरदरापन और कम ऊर्जा वाली वैक्सी परत की

चित्र 2 – संपर्क कोण के आधार पर हाइड्रोफिलिक (जलस्नेही) और हाइड्रोफोबिक (जल-रोधी) सतहें

उपस्थिति का संयुक्त प्रभाव कमल के पत्ते की सतह पर सुपरहाइड्रोफोबिक और सेल्फ-क्लीनिंग गुण प्रदान करती है[11]।

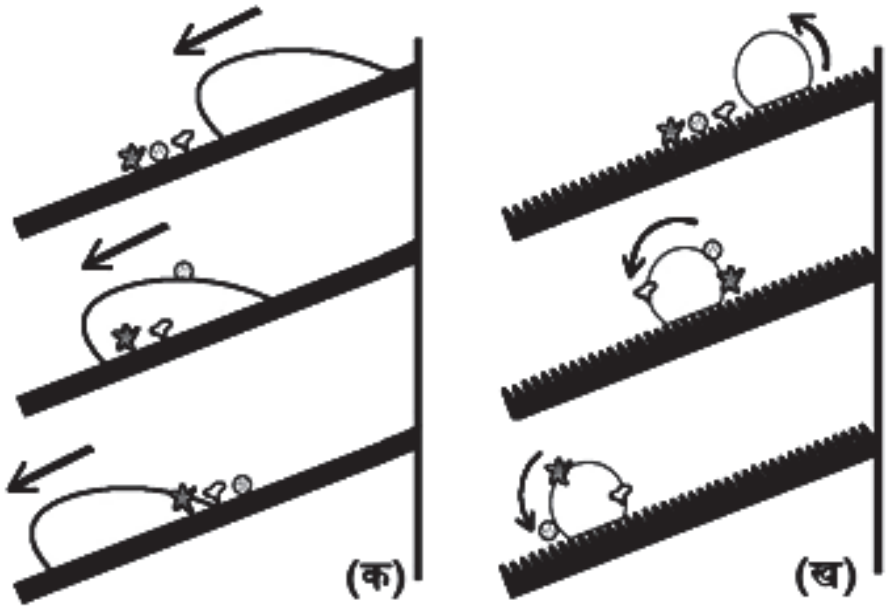
अल्ट्राथिन हाइड्रोफोबिक परत पानी के प्रति प्रतिकर्षण (रिपल्सन) रखते हुए एक उच्च संपर्क कोण (150 डिग्री) उत्पन्न करती है। इससे पानी की बूंद और पत्ती की सतह के संपर्क क्षेत्र में कमी आती है। साथ ही, सूक्ष्म आकार का खुरदरापन, सतह पर पानी की बूंदों के आसंजन को और कम कर देता है। इसलिए, पानी की बूंद गंदगी के कणों को इकट्ठा करने के बाद लुढ़क जाती है और अंततः बूंद, पत्ती की सतह से अलग हो जाती है। प्रकृति में उपलब्ध कमल की पत्तियों की यह विशेषता 'लोटस लीफ इफ़ेक्ट' कहलाती है। लोटस लीफ इफ़ेक्ट को चित्र 3 के माध्यम से समझा जा सकता है। चिकनी सतह की तुलना में, कमल के पत्ते की खुरदुरी सतह, लुढ़कते पानी की बूंदों द्वारा धूल और अन्य दूषित पदार्थों का अधिक आसानी से अपने साथ समेट लेती हैं और इस प्रकार पत्ते की सतह स्वतः साफ हो जाती है[12]।

वस्त्रों पर नैनोसंरचित कमल के पत्ते की नकल करके सुपरहाइड्रोफोबिक सतह बनाकर उनमें सेल्फ-क्लीनिंग की क्षमता प्रदर्शित कर सकते हैं।

सतह के खुरदरेपन के साथ-साथ, नैनो आकार की सुपरहाइड्रोफोबिक परत एक संतुलित उच्च संपर्क कोण के साथ सुपर हाइड्रोफोबिसिटी बनाती है। हालांकि, अच्छी सेल्फ क्लीनिंग क्षमता प्राप्त करने के लिए, वस्त्र की सतह पर जल-बूंदों की आसंजन प्रवृत्ति का निम्न स्तर भी होना चाहिए। इसके अलावा किसी सतह पर धूल कणों को साथ लेकर पानी की बूंद के लुढ़कने की प्रवृत्ति महत्वपूर्ण झुकाव कोण द्वारा निर्धारित की जाती है। क्रांतिक झुकाव (क्रिटिकल टिल्टिंग एंगल) कोण वह न्यूनतम कोण है, जिस पर एक निश्चित वजन की बूंद, सब्सट्रेट सतह के तल से नीचे खिसकना शुरू कर देती है। यह उल्लेख करना यहां उचित होगा कि एक उच्च संपर्क कोण सतह का मतलब यह नहीं है कि यह आवश्यक रूप से कम स्लाइडिंग कोण पर ही सेल्फ-क्लीनिंग करे[13]।

प्रकाश उत्प्रेरक (फोटोकै लिस्ट) मैटेरियल्स का उपयोग करके सेल्फ-क्लीनिंग की प्रक्रिया

सुपरहाइड्रोफोबिक सतह का निर्माण करने की तुलना में, फोटोकैटलिस्ट्स मैटेरियल्स का उपयोग करके वस्त्रों में सेल्फ क्लीनिंग गुण विकसित करना अब शोधकर्ताओं को अधिक आकर्षित करने लगा है। फोटोकैटलिस्ट्स में सूर्य के प्रकाश का उपयोग करके वस्त्र की सतह से दाग हटाने की क्षमता होती है। प्रकाश उत्प्रेरण का गुण रखने वाले उपयुक्त नैनोमैटेरियल्स, टेक्सटाइल की सतह पर मौजूद कार्बनिक संदूषणों को विघटित करने में सक्षम होते हैं। साथ ही, कपड़े की सतह पर इन प्रकाश उत्प्रेरक (फोटोकैलिस्ट) मैटेरियल्स का लेप कपड़े को जीवाणुरोधी भी बनाता है[14]।



चित्र 3 – क) चिकनी हाइड्रोफोबिक (जलरोधी) सतह पर बूंद द्वारा धूल कणों का पुर्नवितरण, ख) कमल की पत्ती के समान खुरदुरी हाइड्रोफोबिक सतह पर बूंद द्वारा धूल कणों को समेटना

प्रकृति में बड़ी संख्या में फोटोकैटलिटिक क्षमता रखने वाले सक्रिय अकार्बनिक पदार्थ मौजूद हैं। उनमें से, टाइटेनियम डाइऑक्साइड (TiO_2) सर्वाधिक लोकप्रिय है। इसकी प्रचुर उपलब्धता, सस्ती कीमत, पराबैंगनी प्रकाश (अल्ट्रावायलेट लाइट) को अवशोषित करने की क्षमता और कुशल फोटोकैटलिटिक गुण के कारण, विभिन्न अनुप्रयोगों में इसका उपयोग किया जाता है [15]।

सेल्फ क्लीनिंग के रूप में TiO_2 की स्वीकार्यता अब महज़ कांच या फर्श की टाइलों तक ही सीमित नहीं है, बल्कि सेल्फ क्लीनिंग की क्षमता विकसित करने के लिए इसका उपयोग वस्त्रों में भी किया जा रहा है।

आम तौर पर, TiO_2 नैनोकणों से उपचारित वस्त्र यूवी प्रकाश का उपयोग करके अपनी सतह पर जमा धूल, गंदगी और अन्य अवांछनीय अशुद्धियों को विघटित कर देता है। एक उपयुक्त ऊर्जा वाले अल्ट्रावायलेट (यूवी) प्रकाश को अवशोषित करके, फोटोकैटलिस्ट में उपस्थित इलेक्ट्रॉन अपने बैलेंस बैंड से निकलकर चालन बैंड में उत्तेजित होकर चले जाते हैं। परिणामस्वरूप, बैलेंस बैंड में तत्काल प्रभाव से एक साथ एक धनात्मक होल उत्पन्न हो जाता है। फोटो-उत्तेजित इलेक्ट्रॉन, वायुमंडलीय ऑक्सीजन, पानी या सतह पर मौजूद हाइड्रॉक्सिल समूह के साथ तेजी से प्रतिक्रिया करके सुपरऑक्साइड (•O2-), हाइड्रॉक्सिल (•OH) और हाइड्रो-पेरॉक्सी (HO2•) रेडिकल जैसे अत्यधिक सक्रिय रेडिकल उत्पन्न करते हैं। इस प्रकार, TiO_2 की फोटोकैटलिटिक गतिविधि का उपयोग करके, प्रतिक्रिया की एक श्रृंखला वस्त्रों की सतह पर मौजूद कार्बनिक प्रदूषकों या दागों का विखंडन कर देती है[16,17]। TiO_2 की प्रकाश उत्प्रेरण (फोटोकैटलिसिस) की क्षमता का सिद्धांत चित्र 4 में दर्शाया गया है।

प्रकाश उत्प्रेरक के द्वारा वस्त्रों में सेल्फ क्लीनिंग की प्रक्रिया के दौरान, कुछ अवांछनीय प्रतिक्रियाएं भी होती हैं। ऐसी ही एक प्रतिक्रिया विधिवत रूप से बने इलेक्ट्रॉन्स और होल्स के बीच का पुनर्संयोजन है। इलेक्ट्रॉन्स और होल्स के बीच का पुनर्संयोजन प्रकाश-उत्प्रेरण प्रक्रिया की दक्षता पर प्रतिकूल प्रभाव डालता है। इसके अतिरिक्त प्रकाश उत्प्रेरक की क्रिस्टलीय संरचना में दोष भी सेल्फ क्लीनिंग पर प्रतिकूल प्रभाव डालता है[18]।

TiO_2 + hv (पराबैंगनी प्रकाश)→ e- + h+

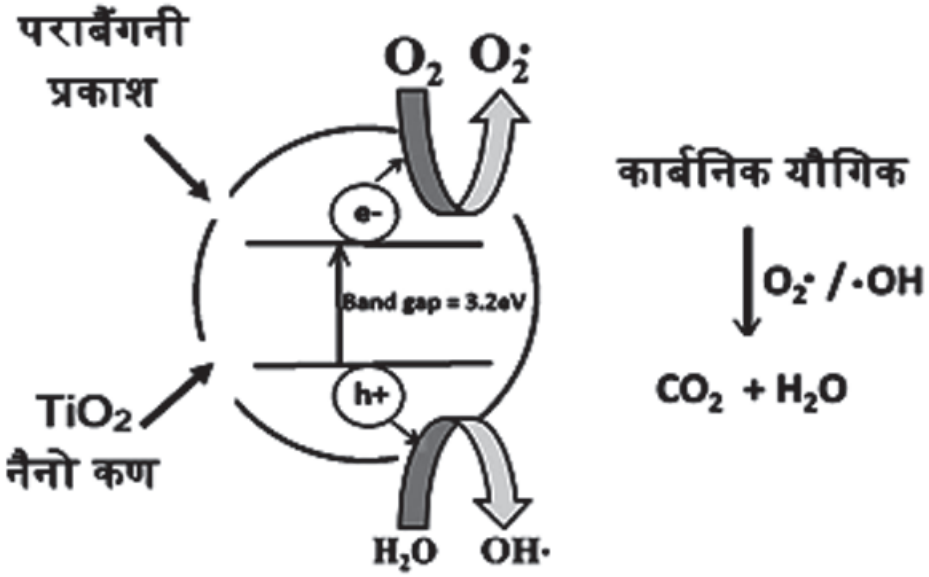
h+ + H_2O → •OH + H+

O_2 + e- → O_2•-

O_2•- + H^+ → HO_2•

इसलिए, TiO_2 में अच्छा फोटोकैटलिटिक गुण रखने के लिए उच्च सतह क्षेत्र और दोष मुक्त क्रिस्टल संरचना का संतुलन आवश्यक है।

TiO_2 नैनोपार्टिकल्स सूर्य के प्रकाश में मौजूद पराबैंगनी किरणों का उपयोग करके फोटोकैटलिटिक गतिविधि प्रदर्शित करते हैं। किन्तु पृथ्वी तक पहुंचने वाले कुल सौर प्रकाश में पराबैंगनी



चित्र 4 – TiO_2 द्वारा प्रदर्शित प्रकाश उत्प्रेरण की क्रियाविधि

प्रकाश का योगदान 5% से कम है। इसलिए, TiO_2 की फोटोकैटलिटिक गतिविधि को सौर स्पेक्ट्रा के दृश्य क्षेत्र में भी सक्रिय बनाने का प्रयास किया जा रहा है। चार्ज-वाहक इलेक्ट्रॉन्स और होल्स के पुनर्संयोजन को कम करने के लिए TiO_2 को अन्य अर्धचालकों अथवा उचित नोबेल धातुओं के साथ लोड किया जाता है। TiO_2 नैनोकणों की फोटो-प्रतिक्रिया को सौर स्पेक्ट्रा के दृश्य क्षेत्र तक विस्तारित करना भी एक महत्वपूर्ण चुनौती है। TiO_2 की क्रिस्टल संरचना में आयनों की डोपिंग द्वारा दृश्य-प्रकाश क्षेत्र में TiO_2 नैनोकणों की फोटो प्रतिक्रिया का विस्तार किया जाता है[19,20]।

फोटोकैटलिटिक रूप से सक्रिय स्व-सफाई वस्त्रों का विकास

वस्त्र की सतह पर फोटो-उत्प्रेरक फिक्सेशन (स्थिरीकरण) द्वारा वस्त्रों में स्व-सफाई की क्षमता विकसित करता है। TiO_2 को विभिन्न सतहों, जैसे- ग्लास, स्टेनलैस स्टील और सक्रिय कार्बन आदि पर आसानी से स्थिर किया जा सकता है। हालांकि, वस्त्र की सतह पर TiO_2 का फिक्सेशन तुलनात्मक रूप से कठिन है। TiO_2 कोटिंग के फोटोकैटलिटिक रूप से सक्रिय जमाव के लिए उच्च तापमान की आवश्यकता होती है। परन्तु टेक्सटाइल उत्पादों की तापरोधी क्षमता बहुत अच्छी नहीं होती, इसलिए वे लंबे समय तक उच्च तापमान को सहन करने में सक्षम नहीं होते। किन्तु कम तापमान वाली सोल-जेल प्रक्रिया के विकास द्वारा, वस्त्र पर TiO_2 नैनोक्रिस्टल का निर्माण और विकास संभव हो सकता था[21]।

TiO_2 एक अकार्बनिक मेटल ऑक्साइड है। इस कारण यह वस्त्र के साथ किसी प्रकार का रासायनिक बंधन बनाने असमर्थ है। अतः, TiO_2 नैनोपाउडर को चिपकाने वाले अथवा क्रॉस-लिंकर्स आदि की मदद से इसे वस्त्र पर लगाया जा सकता है। इन माध्यमों का उपयोग करके वस्त्र की सतह पर टाइटेनियम ऑक्साइड पाउडर को लेप करना वस्त्र के स्पर्श और अनुभव को प्रभावित करता है। कणों के आकार को नैनो रेंज तक कम करके, TiO_2 और वस्त्र सतह के बीच के समन्वयन को बहुत हद तक सुधारा जा सकता है। नैनो आकार के कण अत्यधिक सर्फस एरिया रखते हैं जोकि TiO_2 नैनोकणों और वस्त्र की सतह के बीच समन्वयन के लिए आवश्यक वांडरवाल बल को पोषित करता है[22]। वांडरवाल बलों के अलावा, TiO_2 नैनोकणों को अन्य विभिन्न तरीकों द्वारा वस्त्र से बंधित किया जा सकता है, जिनमें प्रमुख रूप से (अ) सहसंयोजक बंधन (ब) इलेक्ट्रोस्टैटिक इंटरैक्शन (स) हाइड्रोजन बॉन्डिंग (द) हाइड्रोफोबिक इंटरैक्शन आदि शामिल हैं।

सेल्फ-क्लीनिंग वस्त्रों के विकास में चुनौतियां

सेल्फ-क्लीनिंग वस्त्रों के विकास में मुख्य चुनौतियां कोटिंग की एकरूपता, स्थिरता और स्थायित्व रही है। सुपर हाइड्रोफोबिसिटी की अवधारणा के अनुरूप सेल्फ-क्लीनिंग सतह को डिजाइन करते समय, आमतौर पर सतह पर एक नैनोमेट्रिक स्केल का खुरदरापन विकसित किया जाता है। नियमित उपयोग करने से, ऐसे उत्पादों की सतह से यह बनावट समय के साथ-साथ खराब होने की सम्भावना होती है। कुछ मामलों में, ट्रीटमेंट के बाद भी वस्त्र और रासायनिक यौगिक के बीच मजबूत संबंध नहीं बन पाता। कभी-कभी, क्रॉस लिंकिंग के लिए उपयोग किए जाने वाले पॉलीमर में पर्यावरण के प्रति अच्छा प्रतिरोध नहीं होता। इसलिए बेहतर और टिकाऊ सेल्फ-क्लीनिंग प्रदर्शन प्राप्त करने के लिए, सुपर हाइड्रोफोबिक टेक्सटाइल सतहों के निर्माण में अधिक सतर्कता और शोध की आवश्यकता है।

प्राकृतिक रूप से उपलब्ध कमल के पत्ते की सतह के साथ कृत्रिम रूप से विकसित सुपर हाइड्रोफोबिक सेल्फ-क्लीनिंग सतह के स्थायित्व की तुलना करना मुश्किल है। ऐसा कहना इसलिए तर्कसंगत है क्योंकि जैविक प्रक्रिया के दौरान, कमल का पत्ता अपनी क्षतिग्रस्त सतह को पुनःउत्पन्न कर सकता है। कमल के पत्ते से भिन्न, इस प्रकार की मरम्मत कृत्रिम सतहों पर काम नहीं करती। यही कारण है कि कृत्रिम रूप से विकसित सुपरहाइड्रोफोबिक सतहों की स्थिरता और स्थायित्व के पहलुओं पर लगातार शोध चल रहे हैं[23]।

नए-नए मैटेरियल्स के उपयोग के साथ-साथ नयी-नयी प्रक्रियाओं के विकास के द्वारा, वस्त्रों में सेल्फ-क्लीनिंग की क्षमता अधिक प्रभावी ढंग से प्रदान की जा सकती है। प्रकाशित साहित्य से स्पष्ट है कि अकार्बनिक ऑक्साइडों के उपयुक्त मिश्रण द्वारा अथवा डोप्ड धातु आक्साइड का उपयोग करके दृश्य प्रकाश में भी वस्त्रों की सेल्फ-क्लीनिंग की जा सकती है। इस तरह के संशोधनों के साथ धातु ऑक्साइड का लेप, वस्त्रों में बहु कार्यात्मक गुणों (मल्टी-फंक्शनल प्रॉपर्टीज) को विकसित कर सकता है। उदाहरण के लिए, जिंक ऑक्साइड, सिल्वर ऑक्साइड या कॉपर ऑक्साइड के नैनो कणों को टाइटेनियम डाइऑक्साइड नैनोकणों के साथ-साथ लेप करके, टेक्सटाइल सब्सट्रेट में जीवाणुरोधी, अल्ट्रावायलेट अवरोधी क्षमता के साथ-साथ सेल्फ-क्लीनिंग गुणों का विकास संभव है[24]।

परिणाम

सेल्फ क्लीनिंग का गुण विकसितकरके परिधानों एवं वस्त्र निर्मित वस्तुओं को संदूषण मुक्त बनाया जा सकता है, जिससे

वस्त्रों के रख-रखाव में लगने वाले समय और धन दोनों को बचाया जा सकता है। इस तकनीक के उपयोग द्वारा कपड़ों की बारम्बार धुलाई नहीं करनी पड़ती। अतः धुलाई में लगने वाले कैमिकल्स और जल की बचत सुनिश्चित होती है। इस प्रकार यह तकनीक एक हद तक पर्यावरणीय की क्षति को रोकती है। इस तकनीक द्वारा वस्त्रों की सतह को संशोधित करके उनमें स्वतः-सफाई का गुण विकसित किया जाता है। संभावित विधियों में से एक तरीके द्वारा वस्त्र की सतह को कमल की पत्ती की भांति सुपरहाइड्रोफोबिक और अति सूक्ष्म खुरदरापन प्रदान किया जाता है। दूसरी विधि में प्रकाश उत्प्रेरण की क्षमता रखने वाले मैटेरियल्स को वस्त्र की सतह पर उपयोग करके धूल व प्रदूषण कारक पदार्थो के विखंडन से संभव है। हालांकि, दोनों विधियों की अपनी सीमाएं और चुनौतियाँ हैं। वस्त्र और संबंधित क्षेत्रों में इसके व्यापक अनुप्रयोगों के लिए इस तकनीक के विकास में व्यापक शोध अभी भी जारी है।

सन्दर्भ

1. Saad S R, Mahmed N, Abdullah M M A B & Sandu A V,. Self-cleaning technology in fabric: A review. In *IOP conference series: materials science and engineering* **133**(1) 012028). IOP Publishing 2016.
2. Vasiljevic J, Gorjanc M, Tomšic B, Orel B, Jerman I, Mozetic M, Vesel A & Simoncic B., 2013. The surface modification of cellulose fibres to create super-hydrophobic, oleophobic and self-cleaning properties. *Cellulose*, **20(1)**, 2013, pp.277-289.
3. US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, https://www.osha.gov/
4. Chislock M.F, Doster E, Zitomer R A & Wilson A E, Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge*, **4(4)** 2013, pp.10.
5. Alrumman S, Keshk S & El Kott A, Water pollution: source & treatment, *American Journal of Environmental Engineering*, 2016, pp.88-98.
6. Jiang X, Tian X, Gu J, Huang D & Yang Y, Cotton fabric coated with nano TiO_2-acrylate copolymer for photocatalytic self-cleaning by in-situ suspension polymerization. *Applied Surface Science*, **257**(20), 2011, pp.8451-8456.
7. Booth J E, 1970, Principles of textile testing, pp. 321-325.
8. Zhang X, Shi F, Niu J, Jiang Y & Wang Z, Superhydrophobic surfaces: from structural control to functional application. *Journal of Materials Chemistry*, **18**(6) 2008, pp.621-633.
9. Joshi M & Bhattacharyya A, Nanotechnology-a new route to high-performance functional textiles. *Textile Progress*, **43**(3), 2011, pp.155-233.
10. Zhang M, Feng S, Wang L & Zheng Y, Lotus effect in wetting and self-cleaning. *Biotribology*, 5, 2016, pp.31-43.
11. Lee H J & Michielsen S, Lotus effect: superhydrophobicity. *Journal of the Textile Institute*, **97**(5), 2006, pp.455-462.
12. Spaeth M & Barthlott W, Lotus-Effect®: Biomimetic super-hydrophobic surfaces and their application, In *Advances in Science and Technology* (Vol. 60, pp. 38-46), 2008 Trans Tech Publications.
13. Zimmermann J, Seeger S & Reifler F A, Water shedding angle: a new technique to evaluate the water-repellent properties of superhydrophobic surfaces. *Textile Research Journal*, **79**(17), 2009, pp.1565-1570.
14. Fujishima A, Zhang X & Tryk D A, TiO_2 photocatalysis and related surface phenomena. *Surface science reports*, **63**(12) 2008, pp.515-582.000
15. Daghrir R, Drogui P & Robert D, Modified TiO_2 for environmental photocatalytic applications: a review, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **52**(10) 2013, pp.3581-3599.
16. Pelaez M, Nolan N T, Pillai S C, Seery M K, Falaras P, Kontos A G, Dunlop, P S, Hamilton J W, Byrne J A, O'shea K & Entezari M H, A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications. *Applied Catalysis B: Environmental*, 125, 2012, pp.331-349.
17. Oturan M A & Aaron J J, Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications. A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **44**(23) 2014, pp.2577-2641.
18. Banerjee S, Pillai S C, Falaras P, O'shea K E, Byrne J A & Dionysiou D D, New insights into the

mechanism of visible light photocatalysis, *The journal of physical chemistry letters*, **5**(15), 2014, pp.2543-2554.

19. Grabowska E, Marchelek M, Klimczuk T, Trykowski G & Zaleska-Medynska A, Noble metal modified TiO_2 microspheres: Surface properties and photocatalytic activity under UV-vis and visible light. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 423, 2018, pp.191-206.
20. Butola B S, Garg A, Garg A & Chauhan I, Development of Multi-functional Properties on Cotton Fabric by In Situ Application of TiO_2 and ZnO Nanoparticles. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series E*, **99**(1), 2018, pp.93-100.
21. Behzadnia A, Montazer M, Rashidi A & Mahmoudi Rad M, Rapid sonosynthesis of N doped nano TiO_2 on wool fabric at low temperature: Introducing self?cleaning, hydrophilicity, antibacterial/antifungal properties with low alkali solubility, yellowness and cytotoxicity. *Photochemistry and photobiology*, **90**(6), 2014, pp.1224-1233.
22. Radeti M, Functionalization of textile materials with TiO_2 nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 16, 2013, pp.62-76.
23. Mishra A & Butola B S, Development of Cotton Fabrics with Durable UV Protective and Self cleaning Property by Deposition of Low TiO_2 Levels through Sol-gel Process, *Photochemistry and photobiology*, **94**(3), 2018, pp.503-511.
24. Wu D, Wang L, Song X & Tan Y, Enhancing the visible-light-induced photocatalytic activity of the self-cleaning TiO_2-coated cotton by loading Ag/AgCl nanoparticles. *Thin Solid Films*, 540, 2013 pp.36-40.