

रबक्रीट: निरुपयोगी टायर वापरून मजबूत आणि हरित काँक्रीट

रबर आणि काँक्रीटची विलक्षण जोडी, भक्कम आणि टिकाऊ बांधकामासाठी महत्वाची कशी आहे यावर एक सूक्ष्म दृष्टिक्षेप



आतील प्रतिमा: निरुपयोगी टायरचा चुरा आणि काँक्रीट पासून बनलेले रबक्रीट. श्रेय: पृथ्वेन्द्र सिंग

भारत जगातील स्वयंचलित वाहनांची तिसऱ्या क्रमांकाची बाजारपेठ आहे. त्यामुळे वर्षाकाठी २५ लाख मेट्रिक टन (MT) टायरची निर्मिती होते. ही वाढ [टाकाऊ टायर्सची वाढती संख्या](#) दर्शवते. ही एकूण नागरी घन कचऱ्याच्या १% असून वर्षाला २० लाख MT टायर्स भंगारात फेकले जातात. तसेच दरवर्षी UK, ऑस्ट्रेलिया, UAE यासारख्या देशांमधून, जेथे टायर्सची पुनःप्रक्रिया (रिसायकलिंग) प्रतिबंधित आहे, अतिरिक्त ८ लाख MT टायर्स भारतात आयात केले जातात. भारत जगातील सर्वात मोठा टायरची पुनःप्रक्रिया करणारा देश असून भारतात ८०० नोंदणीकृत पुनःप्रक्रिया केंद्रे आहेत. हा आकडा जगातील पुनःप्रक्रिया करणाऱ्या केंद्रांच्या ७०% आहे. शासनाने पुनःप्रक्रियेचे कडक नियम केले असूनही बरेच पुनःप्रक्रिया करणारे बेकायदेशीरपणे टायर जाळतात किंवा लँडफिल (कचरा भराव क्षेत्र) मध्ये फेकून देतात. फेकलेल्या टायर्सचे हे ढीग पर्यावरणाला कायमचा धोका असतात, लँडफिल व्यापून टाकतात किंवा जाळल्यावर विषारी धूर सोडतात.

ढिगाने जमा होणाऱ्या रबरी कचऱ्याची विल्हेवाट लावण्याचा एक उपाय म्हणजे काँक्रीटमध्ये रबराचा रिइन्फोर्समेंट एजंट (काँक्रीट सारख्या पदार्थांमध्ये मजबुती किंवा इतर गुणधर्म सुधारण्याकरिता मिसळले जाणारे पदार्थ) म्हणून पुनर्वापर करणे. जगातील संशोधक काँक्रीटमधील वाळू आणि रेती (खडी) यासारख्या नैसर्गिक घटकांऐवजी (अग्रीगेट: काँक्रीटमधील स्थूल पदार्थ) टाकाऊ रबराचे तुकडे (२५-३० मिमी आकाराचे) वापरण्याचे मार्ग शोधत आहेत. या तुकड्यांना वेसरब (WasRub) असे टोपणनाव दिले आहे. यातून तयार होणाऱ्या पदार्थाला रबक्रीट (RubCrete) म्हणतात. ही पद्धत त्रासदायक कचऱ्याचा सदुपयोग

करते आणि त्याचबरोबर सामान्यपणे काँक्रीटमध्ये वापरले जाणारे नैसर्गिक दगड आणि वाळू खाणीतून काढण्याची गरज कमी करते. परंतु योग्य मिश्रण मिळवण्यासाठी घटक पदार्थांची परस्परक्रिया, विशेषतः सूक्ष्म स्तरावरील परस्परक्रिया तंतोतंत समजून घेतली पाहिजे. भारतीय तंत्रज्ञान संस्था, (आयआयटी) मुंबईच्या संशोधकांनी स्थापत्य अभियांत्रिकी विभागातील प्रा. डी. एन. सिंग यांच्या मार्गदर्शनाखाली नवीन [अभ्यासात](#) नेमके हेच केले आहे.

पारंपरिक काँक्रीटमध्ये सिमेंट (बांधणारा घटक) आणि वाळू व खडी यासारखे ॲग्रीगेट एकत्र केले जातात. काँक्रीटची मजबूती सिमेंटचा लगदा आणि ॲग्रीगेट यांच्यातील बंधनावर मोठ्या प्रमाणात अवलंबून असते. हा सूक्ष्म जोड प्रदेश निर्णायक असून त्याला इंटरफेशियल ट्रान्झिशन झोन (आंतरपृष्ठीय संक्रमण प्रदेश) किंवा ITZ म्हणतात. हा मानवी केसापेक्षाही कमी रुंदीचा सूक्ष्म भाग असतो. सिमेंटच्या मुख्य भागापेक्षा किंवा खुद्द ॲग्रीगेटपेक्षा याचे गुणधर्म थोडेसे वेगळे असतात. रबक्रीटमध्ये काही नैसर्गिक दगड किंवा वाळू यांच्या जागी दगडापेक्षा खूप वेगळे वर्तन असणारे रबराचे तुकडे वापरले जातात. रबराच्या तुकड्यांमुळे रबक्रीट लवचिक, दाटपणा कमी असलेले, आणि अत्यंत जलविरोधी, म्हणजेच पाण्याला दूर लोटणारे असते.

आयआयटी मुंबईच्या संशोधकांनी रबक्रीट मधील ITZ समजून घेण्यासाठी रबराचे कण आणि आजूबाजूचे सिमेंट यातील सूक्ष्म जोड झूम करून तपशीलवार अभ्यास सुरू केले. पारंपरिक काँक्रीटशी तुलना करता रबराचे जलविरोधी वर्तन आणि केवळ उपस्थिती या ITZ मध्ये लक्षणीय बदल घडवू शकेल अशी त्यांना शंका होती. रबर जलविरोधी असल्याने सिमेंटचा लगदा रबराच्या कणांना चिकटणार नाही आणि रबराभोवती एक 'भित' तयार होईल. *“भित तयार होण्याच्या परिणामामुळे रबराच्या कणांजवळ सिमेंटच्या कणांचे समान वितरण होण्यास व्यत्यय येतो आणि त्यामुळे रबराच्या कणांभोवती सच्छिद्र प्रदेश तयार होतो,” आयआयटी मुंबईचे पीएचडीचे अभ्यासक आणि सदर नवीन अभ्यासाचे मुख्य लेखक पृथ्वेंद्र सिंग यांनी स्पष्ट केले.*

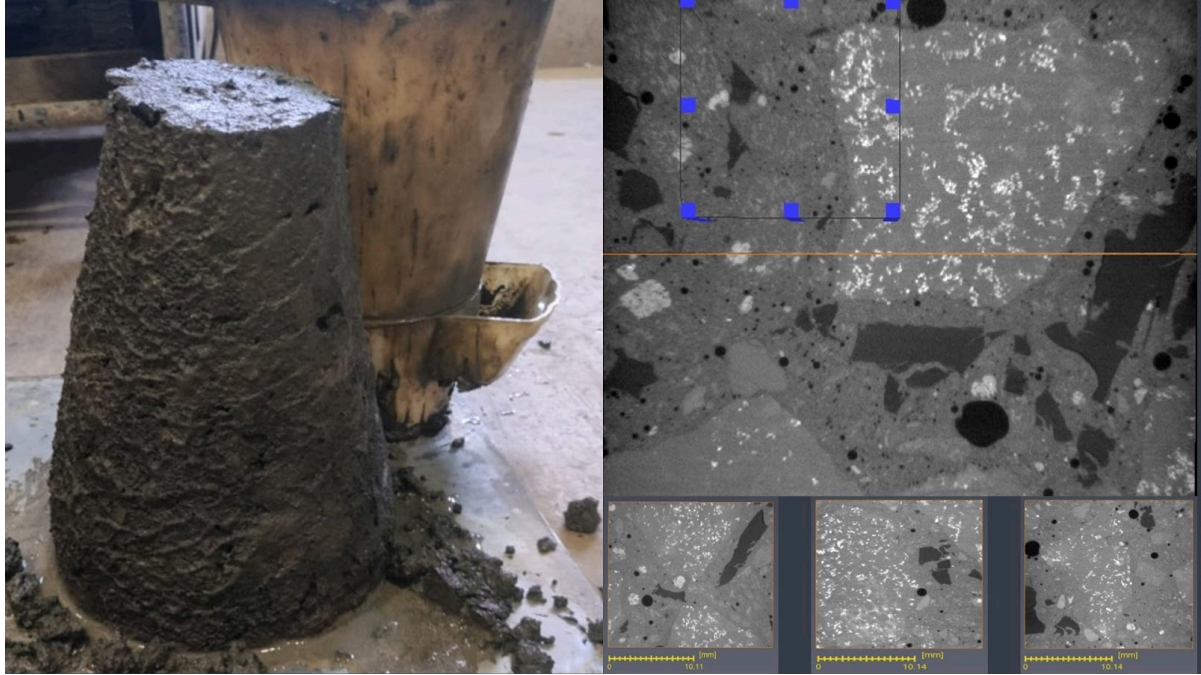
रबर त्याच्या पृष्ठभागावरील पाणी सुद्धा दूर लोटते, जे सिमेंटच्या सजलीकरणासाठी (हायड्रेट), रासायनिक क्रियेसाठी आणि टणक होण्यासाठी लागते. रबराच्या पृष्ठभागावर जमा होणारे हे पाणी रासायनिक क्रियेची तीव्रता कमी करते. म्हणून त्याला 'विरलीकरण परिणाम' (Dilution Effect) म्हणतात. आयआयटी मुंबईच्या गटाने भित तयार होणे आणि विरलीकरण यांच्या एकत्रित परिणामामुळे (Wall and Dilution Effect; WDE) रबराच्या कणांभोवती अधिक सच्छिद्र आणि संभवतः कमकुवत ITZ तयार होईल असा अंदाज वर्तवला. त्यामुळे रबक्रीट नैसर्गिक काँक्रीटपेक्षा अधिक नरम होईल. येथेच रबक्रीटचे आव्हान आणि संधी दडलेली आहे.

रबक्रीटच्या नमुन्यांवरील या परिणामाची तपासणी करण्यासाठी संशोधकांनी उपकरणांच्या एका संचाची योजना केली. त्यांनी रबक्रीटच्या तीन विशिष्ट भागांमधून (रबराच्या तुकड्याच्या जवळचा, नैसर्गिक ॲग्रीगेट जवळचा आणि मुख्य सिमेंटच्या लगद्यामधील) चूर्ण स्वरूपातील नमुने घेतले. त्यांनी सिमेंटच्या सजलीकरणाच्या क्रियेदरम्यान तयार झालेली विशिष्ट खनिजे आणि रासायनिक बंध, एक्स-रे डिफ्रॅक्शन (XRD) आणि फोरियर ट्रान्सफॉर्म इन्फ्रारेड स्पेक्ट्रोस्कोपी (FTIR) सारखी इमेजिंग तंत्रे वापरून शोधून काढले. त्यांना अपेक्षित असलेले काँक्रीटच्या सजलीकरणात तयार होणारे कॅल्शियम सिलिकेट हायड्रेट (C-S-H), काँक्रीटमधील प्राथमिक गोंद (चिकट पदार्थ), आणि कॅल्शियम हायड्रॉक्साइड (C-H) यासारखे

पदार्थ सापडले. तथापि रबराच्या जवळ घेतलेल्या नमुन्यांमध्ये अनॉर्थाइट सारख्या खनिजांचे वितरण आणि उपस्थिती भिन्न प्रमाणात आढळली.

संशोधकांनी संरचनेत किती पाणी अडकले आहे ते शोधण्यासाठी, तापमानातील बदलानुसार वस्तूच्या वजनात होणारे बदल मोजणारे थर्मोग्रॅव्हिमेट्रिक विश्लेषण (TGA) वापरले. त्यानंतर त्यांनी ITZ चा दृश्य आणि रचनात्मक स्वरूपात नकाशा मिळवण्यासाठी स्कॅनिंग इलेक्ट्रॉन मायक्रोस्कोपी (SEM) आणि एनर्जी डिस्पर्सिव्ह स्पेक्ट्रोस्कोपी (EDS) तंत्र वापरले. यामुळे त्यांना ITZ मधील छोटी छिद्रे, रासायनिक क्रिया न झालेले सिमेंटचे कण आणि सजलीकरणात तयार झालेले पदार्थ दर्शवणारी सूक्ष्म रचना दिसली.

संशोधकांच्या गटाने रबक्रीटचा टणकपणा आणि कडकपणा यांची सुद्धा नॅनोइण्डेन्टेशन नावाची प्रक्रिया वापरून नोंद केली. यामध्ये पदार्थाच्या पृष्ठभागावर, ITZ च्या एका बाजूपासून दुसऱ्या बाजूपर्यंत वेगवेगळ्या ठिकाणी हिऱ्याचे टोक असलेली सुई वापरून खाच केली आणि त्यासाठी लागलेल्या बलाची आणि विस्थापनाची नोंद केली. त्यानंतर त्यांनी काँक्रीटच्या अंतर्गत रचनेची उच्च रिझोल्युशन असलेली ३डी एक्स-रे प्रतिमा, एक्स-रे मायक्रो-कम्प्युटेड टोमोग्राफी (micro-CT) वापरून तयार केली. हे तंत्रज्ञान वापरून त्यांनी ITZ ची जाडी मोजली आणि त्यांच्या असे निदर्शनास आले की ती ३५ ते १२० मायक्रोमीटरच्या दरम्यान असून पारंपरिक काँक्रीटमध्ये सामान्यपणे दिसून येते त्यापेक्षा जास्त आहे. या पद्धतीमुळे त्यांना ITZ मधील हव्या असलेल्या विशिष्ट प्रदेशातील सच्छिद्रतेचे परिमाण मोजता आले, जे सुमारे ५.८% होते. ३डी प्रतिमेवरून असे दिसले की छिद्रे काहीशी एकमेकांना न जोडलेली आहेत.



डावीकडे: रबक्रीट तयार करताना. उजवीकडे: रबक्रीटची संरचना दाखवणाऱ्या स्कॅन प्रतिमा. श्रेय: पृथ्वेंद्र सिंग

WDE मुळे रबक्रीट मध्ये भिन्न ITZ तयार होतो याची चाचण्यांनी पुष्टी केली. नैसर्गिक अँग्रीगेट जोडाशी तुलना करता हा प्रदेश सूक्ष्म स्तरावर अधिक रुंद, जास्त सच्छिद्र आणि यांत्रिकदृष्ट्या कमकुवत असतो.

यावरून रबक्रीटची दाब सहन करण्याची शक्ती (कॉम्प्रेसिव्ह स्ट्रेंथ) पारंपरिक कॉंक्रीटपेक्षा कमी का असते हे स्पष्ट होते.

तरीसुद्धा ह्या कमकुवतपणातही आश्चर्यकारकरित्या एक फायदा आहे. वाढलेली सच्छिद्रता, विशेषतः काहीशा विस्कळीत छिद्रांचे जाळे, खाऱ्या पाण्यासारख्या अत्यंत क्षरणकारी (करोझिव्ह) पदार्थांसाठी एका क्लिष्ट, नागमोडी मार्गिकेसारखे काम करते. “सर्वात आश्चर्यकारक शोध म्हणजे रबरामुळे त्याचा सिमेंटशी असलेला लगतचा जोड कमकुवत होत असला तरी तो ITZ मध्ये विस्कळीत छिद्रांचे जाळे निर्माण करतो. त्यामुळे क्लोराईड, आर्द्रता इ. चा प्रवाह मंद होतो. जेथे रासायनिक प्रतिरोध मजबूतीपेक्षा जास्त मोलाचा आहे (उदा. तीव्र हवामान किंवा सागरी वातावरण) अशा ठिकाणी छिद्रांचे जाळे विस्कळीत असल्याच्या गुणधर्माचा फायदा होतो,” पृथ्वेंद्र यांनी सांगितले.

शिवाय, रबराच्या कणांची मूळची लवचिकता आणि थोडा कमकुवत ITZ, रबक्रीटच्या ज्ञात फायद्यांमध्ये योगदान देतात : कमी ठिसूळ असणे, आघाताच्या वेळेस जास्त ऊर्जा शोषून घेणे आणि श्रंतीमुळे (फटिंग) पडणाऱ्या भेगांना चांगला प्रतिरोध असणे. पृथ्वेंद्र यांच्या म्हणण्याप्रमाणे, “रबक्रीटच्या अवमंदन (डॅम्पिंग) आणि लवचिकता तसेच त्याचा पर्यावरणीय ताणांना (औष्णिक व रासायनिक) असणारा प्रतिकार यामुळे रबक्रीटला मजबूती प्राप्त होते. रस्त्यातील अटकाव आणि तापमानातील बदलांना सामोरे जाणारे रस्ते, क्लोराईडच्या शिरकावाशी सामना करणाऱ्या किनाऱ्यावरील अथवा सागरी संरचना आणि रेल्वे बफर किंवा भूकंप प्रवण संरचना यासारख्या आघात शोषून घेणाऱ्या प्रणाली (शॉक अ‍ॅब्सॉर्बिंग) या उपयोगांमध्ये रबक्रीटचा त्वरित फायदा होऊ शकतो.

या अभ्यासामुळे आपल्याला रबक्रीट आणि त्याचे विलक्षण गुणधर्म अत्याधुनिक तंत्रज्ञानाद्वारे तपशीलवार व विविध स्तरांवर समजून घेता येतात. आधीच्या अभ्यासातून जरी रबक्रीट कमी मजबूती आणि जास्त तन्यता यासाठी ओळखले जात होते तरी नवीन संशोधनातून त्याच्या गुणधर्मांचे अधिक अचूक, सूक्ष्म स्पष्टीकरण प्राप्त झाले आहे. तसेच रबरामुळे तयार झालेल्या विस्कळीत छिद्रांमुळे मिळणारा आश्चर्यकारक फायदा सुद्धा या संशोधनाने दाखवून दिला.

हा अभ्यास करणाऱ्या संघाला आता प्रत्यक्ष अनुप्रयोगांमध्ये रबक्रीट वापरायचे आहे. “आतापर्यंत थेट पर्यावरणीय बदलांना सामोरे न जाता आम्ही सूक्ष्मरचनात्मक वर्तनावर जास्त लक्ष केंद्रित केले होते. रबक्रीटला सागरी प्रदेशात, मीठ फवारणी कक्षात आणि गोठणाऱ्या-वितळणाऱ्या वातावरणात दीर्घकाळासाठी ठेवणे यासारख्या वास्तविक जगातील दीर्घकालीन चाचण्या करण्याची आवश्यकता आहे,” पृथ्वेंद्र यांनी संशोधनाच्या मर्यादा आणि भविष्यातील दिशा याबद्दल बोलताना सांगितले.

रबक्रीट जुन्या टायर्सच्या पुनःप्रक्रियेचा फक्त एक मार्ग नाही तर ‘स्मार्ट’ आणि अधिक टिकाऊ बांधकाम साहित्य बनवण्याचा एक संभाव्य मार्ग आहे. ते तीव्र परिस्थितीमधील आव्हानाला विलक्षणपणे अनुरूप आहे आणि पर्यावरणीय प्रतिकूलतेच्या पार्श्वभूमीवर हरित आणि मजबूत बांधकामासाठी उपयुक्त आहे.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Interfacial transition zone in rubberized concrete: A panacea for the extreme environmental conditions

VETTED / UNVETTED	Vetted
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140477
List of all researchers with affiliations	Prithvendra Singh , Devendra Narain Singh , Ajendra Singh Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai 400 076, India
Email of researcher/s	prithvendrasingh@gmail.com ; dns@civil.iitb.ac.in ; ajjusingh1989@gmail.com
Writer name	Dennis Joy
Transcreator name	Deepti Phatak
Credits to Graphic:	Prithvendra Singh
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	#Rubcrete, #WasteTyres, #SustainableConstruction
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	1. Rubcrete: A unique ‘handshake’ between rubber from shredded tyres and cement could be key to durable, sustainable construction. For more, visit <here> 2. RubCrete is not just a way to recycle old tyres, but a potential pathway to creating smarter, more sustainable construction materials for the challenges of extreme environmental conditions. Read on <link>
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	

VETTED / UNVETTED	Vetted
Social Media handles of researchers	
Funding information (Source: Research paper)	This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai