INFLUENCE OF CARBONATION ON MOISTURE TRANSPORT PROPERTIES OF CONCRETE TREATED WITH WATERPROOFING CHEMICALS

LAV SINGH

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI
INDIA

APRIL 2025

INFLUENCE OF CARBONATION ON MOISTURE TRANSPORT PROPERTIES OF CONCRETE TREATED WITH WATERPROOFING CHEMICALS

by
Lav Singh
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Submitted
In fulfillment of the requirements of the degree of
DOCTOR OF PHILOSOPHY
to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI
APRIL 2025

Certificate

This is to certify that the thesis entitled "INFLUENCE OF CARBONATION ON MOISTURE TRANSPORT PROPERTIES OF CONCRETE TREATED WITH WATERPROOFING CHEMICALS", being submitted by Mr. Lav Singh, to the Indian Institute of Technology Delhi, for the award of the degree of 'Doctor of Philosophy' in Department of Civil Engineering is a record of the bonafide research work carried out by him under my supervision and guidance. He has fulfilled the requirements for submission of this thesis, which to the best of our knowledge has reached the requisite standard.

The material contained in the thesis has not been submitted in part or full to any other University or Institute for the award of any other degree or diploma.

Prof. Shashank Bishnoi
Professor
Department of Civil Engineering
Indian Institute of Technology Delhi

Place: New Delhi
Date: 28th April 2025

Acknowledgment

I would also like to take this opportunity to thank all those who helped me during my stay at IIT Delhi. First, I would like to express my sincere gratitude to my Ph.D supervisor Prof. Shashank Bishnoi for his valuable guidance and constant motivation throughout these years.

I would like to thank my Student Research Committee chairman Prof. R.R. Kalaga, Internal experts Prof. Gurmail Benipal and Prof. Sahil Bansal and external expert Prof. Rajesh Prasad for their insightful comments and encouragement. I want to thank IIT Delhi for providing me the scholarship that allowed me to pursue the Ph.D.

I would also like to take this opportunity to thank all my colleagues and the staff of Materials Research Laboratory and Concrete Structures Laboratory. I would like to thank Deepak, Vinesh, Manoj, Ganesh, Praveen for helping me out with the experiments. I also thank all my friends and colleagues for their continued support and guidance. Thanks to Satya, Sreejith, Aastha, Vishakha, Gopala, Amarpreet, Vineet, Anuj, Meenakshi, Lupesh, Mehnaz, Ashirbad, and Anwesa for their support.

Most importantly, I would like to thank my parents, wife Sanjana Singh and daughter Pravya Singh for their motivation and love throughout my life. This would not have been without their support and encouragement.

Lav Singh

Abstract

The imperative need for the adoption of low-clinker cements, driven primarily by the need to reduce CO_2 emissions from cement production, is accompanied by enormous durability challenges. Foremost among these challenges is corrosion of reinforcement, which is widely recognized as the most common form of deterioration of reinforced concrete structures. While chloride ingress remains the most common cause of corrosion, environmental carbon dioxide (CO_2) ingress, which leads to a process known as carbonation, is also a significant contributor. The alkaline environment created by cement is neutralized by this carbonation process. However, the carbonation of low-clinker cements, which release less CO_2 due to their raw material composition, has special characteristics. These cements have a lower ability to bind CO_2, allowing it to penetrate deeper into the concrete and lower the pH, reducing the protection of the steel reinforcement and initiating the corrosion process.

However, accelerated carbonation of concrete does not necessarily lead to a faster corrosion of reinforcement. This phenomenon depends on factors such as moisture and oxygen availability in the environment of the reinforcement. Blended cements, including those with reduced clinker content, exhibit slower moisture transport, which likely slows the rate of reinforcement corrosion. However, with carbonation, the transport rate increases significantly, making the reinforcement susceptible to accelerated corrosion and consequently shortening the service life of the structures.

This study attempts to explore some of the possible strategies to contain moisture penetration into carbonated concrete, thereby reducing the corrosion rate in low clinker cements that have inherently higher carbonation rates. The effect of these strategies on gas transport will also be investigated to determine the impact on oxygen availability in the vicinity of the reinforcement.

The research compares various blended cements categorised by their clinker content with ordinary Portland cement (OPC). Two of these cements are conventional cements with fly ash (PPC) and slag (PSC), while the others use combinations of fly ash and slag (composite cement) and a of limestone and calcined clay (LC^3). Various transport properties such as air permeability, sorption characteristics, water permeability, and permeable porosity are studied using standardized tests on mortars before and after carbonation, with and without the application of waterproofing agents. These waterproofing agents, categorized as crystalline and hydrophobic, are extensively studied by incorporation into the mortar mix and surface application on the specimens. The results provide insights into the mechanisms controlling the transport processes within the microstructure. It is found that the microstructure is affected by both the carbonation process and the presence of waterproofing compounds. However, it was observed that gas transport behaves differently than moisture transport.

In agreement with previous literature, it is observed that blended cements, especially those with a lower clinker content, carbonate faster, which is associated with increased moisture and gas transport. The application of waterproofing chemicals was found to affect transport properties to varying degrees, depending on factors such as the type of compound, application method, and cement type. While most of these compounds do not attenuate the rate of carbonation in the specimens, they significantly affect the transport properties. Hydrophobic chemicals lead to a more significant reduction in transport rates compared to crystalline compounds, especially in carbonated specimens.

In summary, this study highlights the potential of these waterproofing compounds as a relatively simple method of reducing moisture transport in carbonated concretes composed of low-clinker cements. This reduction in moisture transport can effectively match or exceed the rates observed in concretes made with OPC and promises comparable or longer service life for structures built with these sustainable, low-clinker cements. Upon the application of certain types of waterproofing compounds, moisture transport in blended cement mortars can be reduced to the similar on course levels as OPC mortars. These techniques promise to increase the service life of reinforced concrete structure built using blended cements.

सार

कम-क्लिंकर सीमेंट को अपनाने की अनिवार्य आवश्यकता, जो मुख्य रूप से सीमेंट उत्पादन से CO_2 उत्सर्जन को कम करने की आवश्यकता से प्रेरित है , के साथ-साथ भारी स्थायित्व चुनौतियां भी हैं। इन चुनौतियों में सबसे प्रमुख है सुदृढीकरण का क्षरण, जिसे व्यापक रूप से प्रबलित कंक्रीट संरचनाओं की गिरावट का सबसे आम रूप माना जाता है। जबकि क्लोराइड घुसपैठ संक्षारण का सबसे आम कारण बनी हुई है, पर्यावरणीय कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2) घुसपैठ, जो कार्बोनेशन के रूप में जानी जाने वाली प्रक्रिया की ओर ले जाती है, भी एक महत्वपूर्ण योगदानकर्ता है। सीमेंट द्वारा निर्मित क्षारीय वातावरण इस कार्बोनेशन प्रक्रिया द्वारा निष्प्रभावी हो जाता है। हालाँकि, कम-क्लिंकर सीमेंट के कार्बोनेशन में, जो अपने कच्चे माल की संरचना के कारण कम CO_2 छोड़ते हैं, विशेष विशेषताएं हैं. इन सीमेंटों में CO_2 को बांधने की क्षमता कम होती है , जिससे यह कंक्रीट में अधिक गहराई तक प्रवेश कर पाता है और pH कम कर देता है, जिससे स्टील सुदृढीकरण की सुरक्षा कम हो जाती है और संक्षारण प्रक्रिया शुरू हो जाती है।

हालाँकि, कंक्रीट के त्वरित कार्बोनेशन से सुदृढीकरण का तेजी से क्षरण नहीं होता है। यह घटना सुदृढीकरण के वातावरण में नमी और ऑक्सीजन की उपलब्धता जैसे कारकों पर निर्भर करती है। मिश्रित सीमेंट, जिनमें कम क्लिंकर सामग्री शामिल है, धीमी नमी परिवहन प्रदर्शित करते हैं, जो संभवतः सुदृढीकरण क्षरण की दर को धीमा कर देता है। हालाँकि, कार्बोनेशन के साथ, परिवहन दर काफी बढ़ जाती है, जिससे सुदृढीकरण त्वरित जंग के प्रति संवेदनशील हो जाता है और परिणामस्वरूप संरचनाओं का सेवा जीवन छोटा हो जाता है।

यह अध्ययन कार्बोनेटेड कंक्रीट में नमी के प्रवेश को रोकने के लिए संभावित रणनीतियों का पता लगाने का प्रयास करता है और इस प्रकार स्वाभाविक रूप से उच्च कार्बोनेशन दर के साथ कम क्लिंकर सीमेंट में संक्षारण दर को कम करता है। सुदृढीकरण के आसपास ऑक्सीजन की उपलब्धता पर प्रभाव निर्धारित करने के लिए गैस परिवहन पर इन रणनीतियों के प्रभाव की भी जांच की जाएगी।

शोध में विभिन्न मिश्रित सीमेंटों की तुलना साधारण पोर्टलैंड सीमेंट (OPC) से की गई है, जो कि उनके क्लिंकर सामग्री की विशेषता है। इनमें से दो सीमेंट फ्लाई ऐश (PPC) और स्लैग (PSC) वाले पारंपरिक सीमेंट हैं, जबकि अन्य फ्लाई ऐश और स्लैग (मिश्रित सीमेंट) के मिश्रण और चूना पत्थर और कैलक्लाइंड मिट्टी (LC^3) के संयोजन का उपयोग करते हैं। जलरोधी एजेंटों के आवेदन के साथ और बिना कार्बोनेशन से पहले और बाद में मोर्टार पर मानकीकृत परीक्षणों का उपयोग करके वायु पारगम्यता, सोखना विशेषताओं, पारगम्यता और पारगम्य छिद्र जैसे विभिन्न परिवहन गुणों का अध्ययन किया जाता है।

क्रिस्टलीय और हाइड्रोफोबिक के रूप में वर्गीकृत इन वॉटरप्रूफिंग एजेंटों का मोर्टार मिश्रण में शामिल करके और नमूनों पर सतह पर आवेदन करके बड़े पैमाने पर अध्ययन किया जाता है ।

पिछले साहित्य के साथ सहमति में, यह देखा गया है कि मिश्रित सीमेंट, विशेष रूप से कम क्लिंकर सामग्री वाले, तेजी से कार्बोनेट होते हैं, जो बढ़ी हुई नमी और गैस परिवहन से जुड़ा होता है। यह पाया गया है कि वॉटरप्रूफिंग रसायनों का उपयोग परिवहन गुणों को अलग-अलग डिग्री तक प्रभावित करता है, जो कि यौगिक के प्रकार, अनुप्रयोग विधि और सीमेंट के प्रकार जैसे कारकों पर निर्भर करता है। हालाँकि इनमें से अधिकांश यौगिक नमूनों में कार्बोनेशन की दर को कम नहीं करते हैं, लेकिन वे परिवहन गुणों को महत्वपूर्ण रूप से प्रभावित करते हैं। हाइड्रोफोबिक रसायन, विशेष रूप से कार्बोनेटेड नमूनों में, क्रिस्टलीय यौगिकों की तुलना में परिवहन दरों में अधिक महत्वपूर्ण कमी लाते हैं।

संक्षेप में, यह अध्ययन कम-क्लिंकर सीमेंट से बने कार्बोनेटेड कंक्रीट में नमी परिवहन को कम करने की अपेक्षाकृत सरल विधि के रूप में इन वॉटरप्रूफिंग यौगिकों की क्षमता पर प्रकाश डालता है। नमी परिवहन में यह कमी ओपीसी से बने कंक्रीट में देखी गई दरों से प्रभावी रूप से मेल खा सकती है या उससे अधिक हो सकती है और इन टिकाऊ, कम-क्लिंकर सीमेंट से निर्मित संरचनाओं के लिए तुलनीय या लंबी सेवा जीवन का वादा करती है।

Table of Content

List of Figures

List of Tables