



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Departament d'Enginyeria Civil
Departamento de Ingeniería Civil

Έκθεση έρευνας σχετικά με την αντίσταση στη διείσδυση χλωριόντων σε τσιμεντοκονίαμα επεξεργασμένο με το προϊόν Komsol Controll Innerseal.

Mignel - Angel Climent

Τακτικός Καθηγητής Χημείας και Ανθεκτικότητας Τσιμέντου

Πανεπιστήμιο Αλικάντε Ισπανία

Νοέμβριος 2014

Tel. 96 590 3707 - Fax 96 590 3678
Campus de Sant Vicent del Raspeig
Ap. 99 E-03080 Alacant
e-mail: dic@ua.es
web: <http://dic.ua.es>

1. Στόχος της Έρευνας

Ο στόχος της έρευνας ήταν να εκτιμηθεί η σχετική αύξηση της περιόδου έναρξης της διάβρωσης του χάλυβα από χλώριο λόγω της χρήσης του προϊόντος Komsol Controll Innerseal, προκειμένου να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του οπλισμένου σκυροδέματος σε περιβάλλον με χλωριόντα.

2. Μεθοδολογία Πειράματος

Οι μέθοδοι δοκιμής αναφοράς για την αντοχή στη διείσδυση χλωριόντων είναι οι μη σταθερές δοκιμές φυσικής διάχυσης [1,2]. Παρόλα αυτά, λόγω του χρονοβόρου χαρακτήρα αυτών των δοκιμών διάχυσης [3] αποφασίστηκε στην παρούσα εργασία να χρησιμοποιηθούν επιταχυνόμενες μέθοδοι που βασίζονται στη μετανάστευση χλωριόντων με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου. Σκανδιναβικό πρότυπο NT Built 492.[4]. Επίσης, λόγω των αυστηρών απαιτήσεων του χρονοδιαγράμματος, αποφασίστηκε να εργαστούμε, σε αυτήν την προκαταρκτική έρευνα, με κονίαμα τσιμέντου Πόρτλαντ ως απλουστευμένο υλικό αντιπροσωπευτικό της συμπεριφοράς του σκυροδέματος. Η σύνθεση του δοκιμασμένου τσιμεντοκονιάματος είναι αυτή που περιγράφεται στον ακόλουθο πίνακα 1.

Σύνθεση του τσιμεντοκονιάματος Composition of the cement mortar	
Portland cement (g) CEM I/42,5 R (according to European standard EN-197-1)	350
Standard siliceous sand (g)	1350
Water/cement ratio	0.5

πίνακας 1

Η προετοιμασία των δειγμάτων δοκιμής είχε ως εξής:

- Το κονίαμα χύνεται σε κυλινδρικές μούφες (10 cm διάμετρο και 20 cm μήκος), και συμπιέζεται μηχανικά. Οι κύλινδροι του κονιάματος σκληρύνθηκαν επί 7 ημέρες σε υγρό θάλαμο ωρίμανσης σε θερμοκρασία (T) 20 C, και σχετική υγρασία (RH) 95 %.
- Μετά την σκλήρυνση, μικρότερα δείγματα δοκιμής (κύλινδροι των 10 cm διαμέτρου και 5 cm μήκους) κόπηκαν με χαλύβδινο διαμαντένιο δισκοπρίονο , χρησιμοποιώντας νερό ως ψυκτικό μέσο.
- Οι κύλινδροι απορρίφθηκαν κατά την κοπή των δειγμάτων. Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν οκτώ δείγματα.
- Τα δείγματα κονιάματος ξηράνθηκαν σε φούρνο στους 105 C μέχρι την συγκέντρωση της μάζας. Αυτό το βήμα εισήχθη για να επιτρέψει την γρήγορη απορρόφηση μετά την εφαρμογή του προϊόντος Komsol Controll Innerseal λόγω του σφιχτού χρονοδιαγράμματος δοκιμών.

- Ένα μέρος των δειγμάτων υποβλήθηκε σε επιφανειακή επεξεργασία με το προϊόν Controll Innerseal, σε μια από τις βάσεις του, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα παρέμειναν ανεπεξεργαστα (για να χρησιμοποιηθούν ως δείγματα αναφοράς για τους σχετικούς υπολογισμούς). Μετά τη θεραπεία με το προϊόν, όλα τα τέστ των δειγμάτων (επεξεργασμένα και μη επεξεργασμένα) διατηρήθηκαν υπό εργοστασιακές περιβαλλοντικές συνθήκες (περίπου T 25 C και RH 50%~60%) μέχρι τους αντίστοιχους χρόνους δοκιμών, που ήταν σε 7 ημέρες και 28 ημέρες μετά την εφαρμογή του προϊόντος.
- Πριν τη δοκιμή τα δείγματα διαποτίστηκαν με νερό σε κενό σύμφωνα με την σύσταση ASTM C-1202-97 standard.[5]. Οι δοκιμές διεξήχθησαν σύμφωνα με το σκανδιναβικό πρότυπο NT Build 492 [4].

3. Μαθηματικό μοντέλο για την αξιολόγηση της αύξησης της διάρκειας ΖΩΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η έρευνα αποσκοπεί μόνο σε μια σχετική αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των ακινήτων (επεξεργασμένο κονίαμα σε σχέση με μη επεξεργασμένο κονίαμα), θα πάρουμε τον συντελεστή μετανάστευσης χλωριόντων ως μια προσέγγιση για τη βασική παράμετρο μεταφοράς ιόντων μέσω του σκυροδέματος, η οποία είναι ο συντελεστής διάχυσης D.

Ο δεύτερος νόμος του Fick για την ημιπεριορισμένη διάχυση χωρίς κατεύθυνση σε ένα ομογενές μέσο, ελλείψει σταθεροποίησης της ουσίας που διαχέεται, είναι η ακόλουθη έκφραση [6]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Όπου C είναι η συγκέντρωση της ουσίας που διαχέεται, D είναι ο συντελεστής διάχυσης, t είναι ο χρόνος και x είναι η απόσταση από την εστία διάχυσης C στην περίπτωση του σκυροδέματος που εκτίθεται σε περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριόντα είναι το βάθος από την εκτεθειμένη επιφάνεια).

Η λύση της διαφορικής εξίσωσης (1) για την ειδική περίπτωση σταθερής συγκέντρωσης της ουσίας που διαχέεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος (C_s) και ο σταθερός συντελεστής διάχυσης είναι ο ακόλουθος:

$$C = C_s \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{Dt}} \right) \quad (2)$$

Όπου erf είναι η μαθηματική συνάρτηση ως συνάρτηση σφάλματος.

Η διάβρωση του χάλυβα από τα χλωριόντα ξεκινά όταν επιτευχθεί μια αρκετά υψηλή κρίσιμη συγκέντρωση χλωριόντων (C_c) στη ζώνη που έρχεται σε επαφή με τον χαλύβδινο οπλισμό, δηλαδή στο βάθος που ισούται με την κάλυψη του σκυροδέματος πάνω στο χάλυβα. (x=e). Έτσι ο χρόνος έναρξης της διάβρωσης, ο οποίος σε μια πρώτη συντηρητική προσέγγιση μπορεί να ληφθεί ως χρόνος ωφέλιμης ζωής, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$t = \frac{1}{D} \left(\frac{e}{\operatorname{inverf} \left(1 - \frac{C_c}{C_s} \right)} \right)^2 \quad (3)$$

Εαν η εφαρμογή του προϊόντος Komsol Controll Innerseal στο κονίαμα επιτρέπει τη μείωση του μεγέθους του συντελεστή διάχυσης D_c 1 (επεξεργασμένο κονίαμα με Controll Innerseal) τότε η σχετική αύξηση της διάρκειας ζωής, σε σχέση με την διάβρωση του οπλισμού από τα χλωριόντα, μπορεί να υπολογιστεί με την ακόλουθη έκφραση:

$$\frac{t_{CI}}{t_0} = \frac{D_0}{D_{CI}} \quad (4)$$

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών μετανάστευσης χλωριόντων, μαζί με την υπολογιζόμενη αύξηση της διάρκειας ζωής (που σχετίζονται με την διάβρωση του τσιμέντου από χλωριόντα) και που επιτυγχάνεται με την χρήση Komsol Controll Innerseal.

πίνακας 2

Time from product application	Reference mortar (non-treated)		Mortar treated with Komsol Controll Innerseal		Relative increase of service life
(days)	$D_0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	Mean value of $D_0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$D_{CI} \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	Mean value of $D_{CI} \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	t_{CI}/t_0
7	155.6	163.0	61.0	62.5	2.6
	170.4		64.0		
28	122.6	122.2	40.4	40.9	3.0
	121.8		41.3		

Ο πίνακας 2 δείχνει μάλλον υψηλές τιμές που βρέθηκαν για εμπορικά σκυροδέματα που χρησιμοποιούνται για κατασκευές κτιρίων και υποδομών.[7] Ωστόσο, το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι λόγω των απαιτήσεων του χρονοδιαγράμματος, τα δείγματα κονιάματος είχαν στεγνώσει πριν από την δοκιμή. Είναι γνωστό ότι αυτή η σοβαρή θεραπεία ξήρανσης (105 C) μπορεί να αυξήσει την πυκνότητα και ν'αλλάξει την κατανομή του μεγέθους των πόρων των τσιμεντοειδών υλικών και κατά συνέπεια τροποποιούν σημαντικά τις ιδιότητες μεταφοράς μάζας τους.[8]

Η πιο σημαντική παρατήρηση από τον πίνακα 2 είναι ότι η εφαρμογή του προϊόντος, Komsol Controll Innerseal, οδηγεί σε σημαντική αύξηση της αντίστασης του τσιμεντοειδούς υλικού στη διείσδυση χλωριόντων, όπως φαίνεται από την σημαντική μείωση των τιμών του συντελεστή μετανάστευσης χλωριόντων. Στην πραγματικότητα η υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής, σε σχέση με την έναρξη της διάβρωσης του

χαλύβδινου οπλισμού απο χλωριόντα, πολλαπλασιάζεται με έναν παράγοντα απο 2.6 και 3.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η επιφανειακή εφαρμογή του προϊόντος Komsol Controll Innerseal έχει αυξήσει σημαντικά την αντίσταση στη διείσδυση χλωριόντων ενός τσιμεντοκονιάματος, όπως φαίνεται από την σημαντική μείωση του συντελεστή μετανάστευσης χλωριόντων.

Ο υπολογισμός διάρκειας ζωής σε σχέση με την έναρξη διάβρωσης του χαλύβδινου οπλισμού απο χλωριόντα, μπορεί να πολλαπλασιαστεί με έναν συντελεστή μεταξύ 2.6 και 3.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1]CEN/TC 104 (2009).Δοκιμή σκληρυμένου σκυροδέματος , προσδιορισμός της αντίστασης του σκυροδέματος στα χλωριόντα , μονοκατευθυντική διάχυση.Τελικό σχέδιο Fr CEN/TS 12390-11.(Ευρωπαϊκές τεχνικές προδιαγραφές).

[2]ASIM (2004).

Τυποποιημένη μέθοδος δοκιμής για τον προσδιορισμό του συντελεστή διάχυσης χλωριόντων σε μείγματα τσιμέντου με διάχυση χύδην.Αμερικανικές δοκιμές και υλικά , Πενσυλβάνια USA.

[3]M.A. Climent G de Vera , JF.Lopez , E.Viqueria C.Andrade (2002).Μέθοδος δοκιμής για την μέτρηση των συντελεστών διάχυσης χλωριόντων μέσω μη κορεσμένου σκυροδέματος.

Μέρος 1.Η επίπεδη διάχυση της πηγής του οργάνου.

Έρευνα για το τσιμέντο και το σκυρόδεμα.32(7):1113-1123.

[4]Nordest (1999) NT Build 492.Σκυρόδεμα, κονίαμα και υλικά επισκευής με βάση το τσιμέντο: Συντελεστής μετανάστευσης χλωριόντων απο πειράματα μετανάστευσης μη σταθερής κατάστασης.

[5] ASTM (1997).Πρότυπη μέθοδος δοκιμής για την ηλεκτρική ένδειξη της ικανότητας του σκυροδέματος να αντιστέκεται στη διείσδυση χλωριόντων , (1202-97).Αμερικανική Ένωση δοκιμών και υλικών Πενσυλβάνια.

[6] Crank (1975).Τα Μαθηματικά της διάχυσης , 2η έκδοση.Τύπος Πανεπιστημίου της Οξφόρδης.Οξφόρδη Ηνωμένο Βασίλειο.

[7] A Boddy , E.Bentz MDA.Thomas, R.D.Hooton (1999).Επισκόπηση και μελέτη ευαισθησίας ενός πολυμηχανιστικού μοντέλου μεταφοράς χλωριόντων.Έρευνα για το τσιμέντο και το σκυρόδεμα , 29 (6) (1999) 827-837.

[8] T.C.Powers , L.E.Copeland , J.C.Hayes , H.M.Mann (1995).Διαπερατότητα της πάστας τσιμέντου Πόρτλαντ.Ένωση τσιμέντου Πόρτλαντ.Ένωση τσιμέντου Bulletin 53 , pp. 285-298 , Σικάγο Η.Π.Α.

Αλικάντε την 27η Νοεμβρίου 2014



Mignel - Angel Climent

Τακτικός Καθηγητής Χημείας και Ανθεκτικότητας Τσιμέντου.

(e-mail: ma.climent@ua.es)

Πανεπιστήμιο Αλικάντε Ισπανία