

Πειραματική Διερεύνηση Επίδρασης Αλκαλικότητας Σκυροδέματος στις Μηχανικές Ιδιότητες Ράβδων Ινοπλισμένων Πολυμερών από Γυαλί

Σωτήρης Δέμης

Λέκτορας Π.Δ. 407/80 Πανεπιστημίου Πατρών, sdemis@upatras.gr

Κύπρος Πηλακούτας

Καθηγητής Πανεπιστημίου Sheffield (The University of Sheffield), k.pilakoutas@sheffield.ac.uk

Εκτενής περίληψη

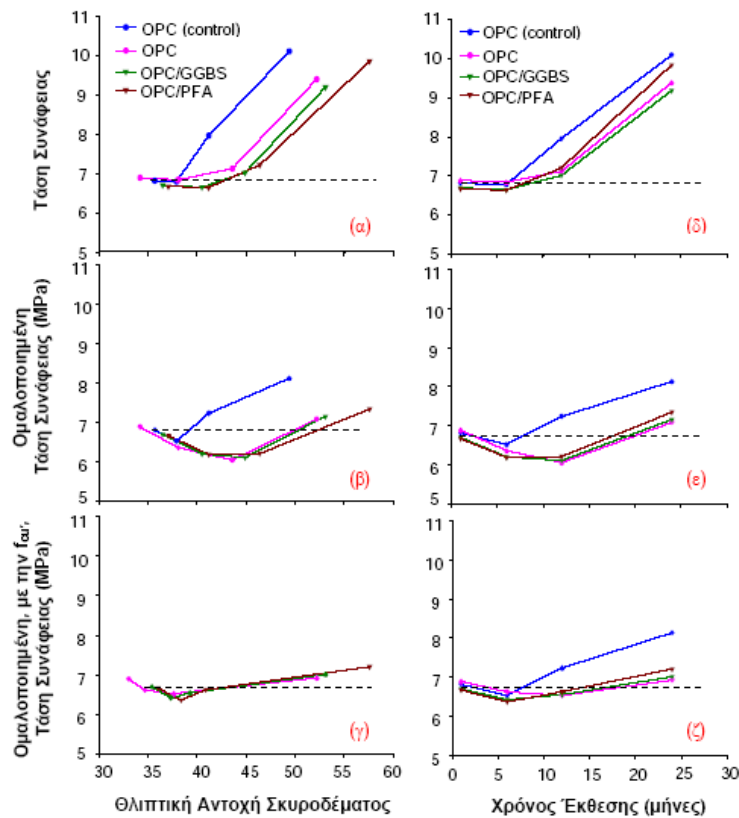
Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση της αλκαλικότητας σκυροδέματος στην ανθεκτικότητα ράβδων ινοπλισμένων πολυμερών από γυαλί (Γ-ΙΟΠ). Η επιστημονική κοινότητα συνηγορεί στο ότι το έντονα αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος αποτελεί ένα πολύ ισχυρό διαβρωτικό παράγοντα για τα υλικά αυτά (Karbhari and Chu, 2005; Yilmaz and Glasser, 1992). Οι κυριότεροι μηχανισμοί διάβρωσης επιγραμμικά μπορούν να ανακεφαλαιωθούν ως (Δέμης 2007): α) διείσδυση υγρασίας (ιόντων OH^-) με αποτέλεσμα υδρόλυση και εξασθένιση των δεσμών των πολυμερικών αλυσίδων των ΙΟΠ, εξασθένιση συνάφειας ίνας/ρητίνης, αποκόλληση ινών, β) επίθεση από αλκαλικά ιόντα (Ca^+ , Na^+) και από την ανάπτυξη των συστατικών της ενυδάτωσης στο σκυρόδεμα, και γ) επίδραση στρώματος $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και CaCO_3 στην επιφάνεια των ινοπλισμένων πολυμερών και διείσδυση ιόντων Ca^{++} στην διεπιφάνεια ανθρακονημάτων/ρητίνης. Πως όμως και σε ποιο βαθμό η αλκαλικότητα επηρεάζει τη συμπεριφορά των Γ-ΙΟΠ? Τυχών μείωση της αρχικής αλκαλικότητας του σκυροδέματος τι επιπτώσεις έχει στις μηχανικές τους ιδιότητες? Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα σχεδιάστηκε μία ενδεδειγμένη πειραματική διαδικασία. Αξίζει να αναφερθεί ότι όταν αναπτύχθηκαν τα σχετικά πειραματικά πρωτόκολλα, δεν υπήρχε κάποια ευρέως αναδεδειγμένη πειραματική διαδικασία εκτίμησης της ανθεκτικότητας στο σκυρόδεμα των ΙΟΠ.

Ράβδοι τετραγωνικής διατομής σπλισμού Γ-ΙΟΠ σε δοκίμια σκυροδέματος με τσιμέντα διαφορετικής αρχικής αλκαλικότητας (Portland και ποζαλονικά) εισήχθησαν σε θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης για χρονικό διάστημα έως 2 χρόνια. Ταυτόχρονα, ράβδοι Γ-ΙΟΠ εισήχθησαν σε χημικά διαλύματα εξομοίωσης του νερού των πόρων του σκυροδέματος με διαφορετικά pH χαρακτηριστικά της αλκαλικότητας του σκυροδέματος πριν και μετά τη δράση της ενανθράκωσης. Η εφελκυστική αντοχή των Γ-ΙΟΠ καθώς και η τάση συνάφειας τους με το σκυρόδεμα επιλέχθηκαν για να προσδιοριστούν τυχών μεταβολές στην συμπεριφορά τους σε επίπεδο μηχανικών ιδιοτήτων. Παράλληλα, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, και το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκαν πειραματικά σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ένας πλήρως αυτοματοποιημένος περιβαλλοντολογικός θάλαμος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε και προγραμματίστηκε για τις ανάγκες της ερευνητικής διαδικασίας. Για λόγους οικονομίας αλλά και ταχύτητας χρόνου λόγω του μεγάλου αριθμού των δοκιμών, όλες οι δοκιμές επιλέχθηκε να γίνουν με γυμνά δοκίμια στις δαγκάνες της εργαστηριακής μηχανής. Μέσω ανάλυσης και υπολογισμού των θλιπτικών τάσεων που εισάγουν οι δαγκάνες στη ράβδο, υπολογίστηκε η επίδραση τους στις τάσεις στον διαμήκη άξονα των Γ-ΙΟΠ μέσω του κριτηρίου Tsai-Hill. Εκτιμήθηκε ότι η εφελκυστική αντοχή των γυμνών δοκιμών είναι της τάξης του 90% της αντοχής των δοκιμών με προστατευτικά μέσα στα άκρα τους.

Η εφελκυστική αντοχή των ράβδων Γ-ΙΟΠ μετά από έκθεση τους στα αλκαλικά χημικά διαλύματα, μειώθηκε σημαντικά έως 41.6%. Η μείωση αυτή αποδόθηκε στην έντονη επίδραση των αλκαλικών ιόντων του διαλύματος στη διεπιφάνεια ινών/ρητίνης και πιο συγκεκριμένα στην υδρόλυση της ρητίνης λόγω ιόντων OH^- . Εξέταση μέσω ηλεκτρονικών μικροσκοπικών μεθόδων (SEM) έδειξε την κακή κατάσταση στην διεπιφάνεια καθώς και μερική αποκόλληση ράβδων/ινών. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο των Katsuki και Uomoto, τροποποιημένο κατάλληλα για τις ράβδους Γ-ΙΟΠ, υπολογίστηκε το βάθος της ζώνης δράσης των αλκαλικών ιόντων στη διατομή της ράβδου. Βρέθηκε ότι όταν η εφελκυστική αντοχή μειώθηκε κατά 41,6% η «χρήσιμη» (effective) διατομή της ράβδου είχε μειωθεί κατά 22,2%.

Η εικόνα διάβρωσης των ράβδων που αρχικά εκτιμήθηκε μέσω έκθεσης σε χημικά αλκαλικά διαλύματα, εξετάστηκε περαιτέρω μέσω έκθεσης δοκιμίων Γ-ΙΟΠ/σκυροδέματος σε επιταχυνόμενη ενανθράκωση. Η μεταβολή της τάσης συνάφειας των διαφορετικών τύπων τσιμέντου, με την ράβδο Γ-ΙΟΠ, απεικονίζονται στο Σχήμα 1δ. Η παρατηρούμενη αύξηση της τάσης συνάφειας οφείλεται στην δράση του περιβάλλοντος γύρω από την ράβδο, δηλαδή στην θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, τον μόνο παράγοντα που βελτιώνετε με τον χρόνο. Οι ομαλοποιημένες τάσεις συνάφειας, σε σχέση με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, απεικονίζονται στο Σχήμα 1ε. Παρατηρείται ότι τα ενανθρακωμένα δοκίμια συμπεριφέρθηκαν διαφορετικά από τα μη-ενανθρακωμένα. Σημαντικές μεταβολές στην τάση συνάφειας λαμβάνουν χώρα μετά από κάποια χρονική στιγμή από 6 έως 12 μήνες. Μελετώντας την μέση τιμή της ομαλοποιημένης τάσης συνάφειας σε σχέση με το αντίστοιχο βάθος ενανθράκωσης παρατηρείται ότι ανεξάρτητα από την αρχική αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, και τα τρία τσιμέντα παρουσιάζουν μειωμένη τάση συνάφειας κατά την αρχική εξέλιξη της ενανθράκωσης. Η αρχική μείωση, κοινή και στους 3 τύπους τσιμέντου δείχνει ότι είναι ανεξάρτητη από την αρχική αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Το συμπέρασμα αυτό μας εκπλήσσει μιας και έρχεται σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα θεωρίες περί αλκαλικής επίθεσης στα ινοπλισμένα πολυμερή (Δέμης, 2007). Φανερώνεται όμως ότι κάποια χημική διεργασία λαμβάνει χώρα.

Σε σχέση με τα μη-ενανθρακωμένα δοκίμια, η ενανθράκωση αύξησε την θλιπτική αντοχή των ενανθρακωμένων δοκιμίων κατά 15 %. Η αύξηση αυτή περιορίζεται μόνο στο μέρος του σκυροδέματος που έχει ενανθρακωθεί. Μιας και η τάση συνάφειας της ράβδου οπλισμού συνδέεται με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, η δράση της ενανθράκωσης μακριά από την ράβδο πρέπει να αφαιρεθεί. Υπολογίζεται λοιπόν μία καινούργια θλιπτική αντοχή (f_{cu}) των ενανθρακωμένων δοκιμίων και όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω επηρεάζει άμεσα την τάση συνάφειας των ινοπλισμένων πολυμερών. Ενώ αρχική αύξηση της θλιπτικής αντοχής δεν επηρεάζει την τάση συνάφειας, μετά από 12 μήνες επιταχυμένης ενανθράκωσης παίζει σημαντικό ρόλο (Σχήμα 1α). Όταν ομαλοποιηθεί η τάση συνάφειας σε σχέση με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, μετά την αρχική αύξηση της τελευταίας η τάση συνάφειας ελαττώνεται (Σχήμα 1β). Το φαινόμενο αυτό φανερώνεται κάποια χημική διεργασία. Όταν η τάση συνάφειας ομαλοποιηθεί σε σχέση με την νέα θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος η παραπάνω αναφερόμενη μείωση εξομαλύνεται (Σχήμα 1γ). Συμπεραίνεται ότι η αύξηση στην τάση συνάφειας των ινοπλισμένων πολυμερών οφείλεται στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος γύρω από την περιοχή της ράβδου ινοπλισμένων πολυμερών.



Σχ. 1 Σχέση μεταξύ θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος και τάσης συνάφειας Γ-ΙΟΠ.

Συνολικά, οι διαφορετικοί τύποι τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκαν παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά στην συνάφεια τους με την ράβδο υαλοπλισμένων πολυμερών, πριν η ενανθράκωση φθάσει την ράβδο, καθώς και μετά. Συμπεραίνεται λοιπόν, αντίθετα με τις διαπιστευμένες ενστάσεις, ότι η αλκαλικότητα του σκυροδέματος δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα ΙΟΠ και την συνάφεια τους με το σκυρόδεμα. Μέχρι η ενανθράκωση να φτάσει την ράβδο ΙΟΠ παρατηρήθηκαν μικρές αλλαγές στην συνάφεια του υλικού με το σκυρόδεμα. Όταν όμως η ενανθράκωση φτάσει και ξεπεράσει την ράβδο, δημιουργείται μια σχετικά σημαντική μείωση συνάφειας, που αποδίδεται στην εναπόθεση ρυστάλλων CaCO_3 στην επιφάνεια των ΙΟΠ. Οι κρύσταλλοι αυτοί επιτίθενται σε ορισμένα σημεία κατά μήκος της ράβδου, με αποτέλεσμα να διεισδύουν και να φτάνουν στο επίπεδο των ιών. Εν γένει, η επίδραση της ενανθράκωσης στην συνάφεια ΙΟΠ και σκυροδέματος κατά κάποιο τρόπο εξισορροπείται από την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, λόγω χρόνου και ενανθράκωσης (15 % αύξηση).

Βιβλιογραφία

- Δέμης, Σ. (2007) "Ανθεκτικότητα ινοπλισμένων πολυμερών από γυαλί στο σκυρόδεμα", Διδακτορική Διατριβή, Department of Civil & Structural Engineering, The University of Sheffield, Sheffield, UK.
- Karbhari, V.M. and Chu, W. (2005), " Degredation kinetics of pultruded E-glass/vinylester in alkaline media", ACI Materials journal, Vol. 102, pp. 34-4.1
- Yilmaz, V.T. and Glasser, F.P. (1992) "Chemical attack on alkali-resistant fibres in a hydrates cement matrix: characterization of corrosion products", J Non-Crystalline Solids, Vol. 151, pp. 236-244.