

Αναλυτική προσομοίωση διαβρωμένων δοκών ενισχυμένων σε κάμψη με σύνθετα υλικά FRP

Γαρυφαλιά Γ. Τριανταφύλλου

Υποψήφια Διδάκτωρ, Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ,
E-mail: gtriant@civil.duth.gr

Θεόδωρος Χ. Ρουσάκης

Επίκουρος Καθηγητής, Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ,
E-mail: trousak@civil.duth.gr

Αθανάσιος Ι. Καραμπίνης

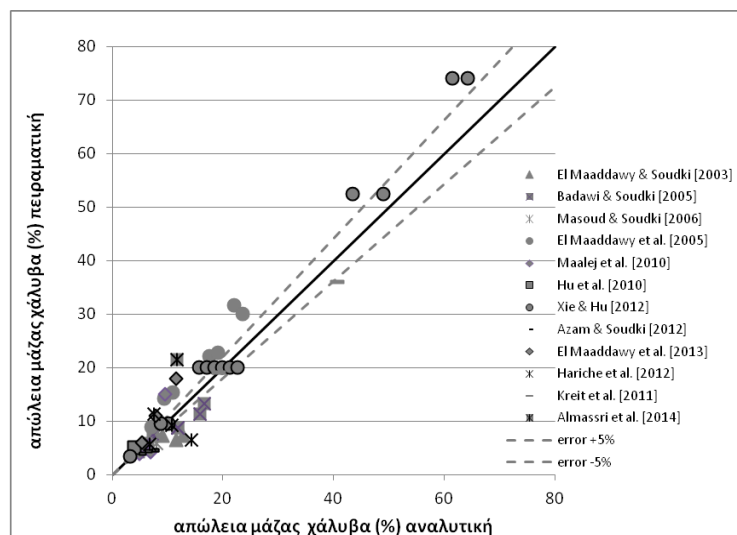
Καθηγητής, Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ,
E-mail: karabin@civil.duth.gr

Εκτενής περίληψη

Αρκετές κατασκευές που εκτίθενται σε συνθήκες περιβάλλοντος με έντονη υγρασία αλλά και σε παραθαλάσσιες περιοχές, παρουσιάζουν προβλήματα ανθεκτικότητας και ασφάλειας πολύ νωρίτερα από την προσδοκώμενη ζωή τους. Η διάβρωση του χαλύβδινου οπλισμού αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα υποβάθμισης των κατασκευών και έτσι κρίνεται απαραίτητη η αποκατάσταση, επισκευή ή και ενίσχυσή τους. Πολλές μελέτες αφορούν στην επίδραση της διάβρωσης του χάλυβα στην ικανότητα των κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Η διάβρωση οδηγεί σε απομείωση της διατομής του διαθέσιμου χαλύβδινου οπλισμού και της πλαστιμότητας, με αποτέλεσμα την πρόωρη αστοχία του χάλυβα (Andrade et al. 1991, Almusallam 2001). Επιπρόσθετα, η εξάπλωση των προϊόντων που προκαλούν διάβρωση έχει ως αποτέλεσμα την ρηγμάτωση του σκυροδέματος και την απώλεια συνάφειας μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος, με άμεση επιρροή στην καμπτική δυσκαμψία των στοιχείων. Εκτενής έρευνα έχει διεξαχθεί ώστε να μπορεί να προβλεφθεί ο βαθμός διάβρωσης σε όρους απώλειας μάζας του χαλύβδινου οπλισμού. Η εμφάνιση της αρχικής ρωγμής στην επικάλυψη του σκυροδέματος που προκαλούν τα προϊόντα της διάβρωσης, αποτελεί σημαντική ένδειξη για την κατάσταση των διαβρωμένων κατασκευών στο επίπεδο της λειτουργικότητας. Οι περισσότεροι ερευνητές μελέτησαν τις βλάβες λόγω διάβρωσης υπό επιταχυνόμενη διαδικασία με την εφαρμογή σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος στον εφελκόμενο οπλισμό. Στόχο αποτελεί η εμφάνιση ρηγματώσεων και η επίτευξη του επιθυμητού βαθμού διάβρωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα (Andrade et al. 1993, Liu and Weyers 1998). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ρωγμές λόγω διάβρωσης έχουν διερευνηθεί από τους Alonso et al. (1998) και είναι τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, ο βαθμός διάβρωσης και ο λόγος της επικάλυψης του σκυροδέματος προς της διάμετρο της ράβδου.

Η παρούσα έρευνα έχει ως στόχο την πρόταση αναλυτικού προσομοιώματος εκτίμησης του βαθμού διάβρωσης του χαλύβδινου οπλισμού πριν και μετά την ρηγμάτωση της επικάλυψης του σκυροδέματος. Η συνεχής εναπόθεση των προϊόντων λόγω διάβρωσης κοντά στην διεπιφάνεια σκυροδέματος-χάλυβα οδηγεί σε ανάπτυξη τάσεων λόγω διόγκωσης και κατά συνέπεια σε ρηγμάτωση στην επικάλυψη του σκυροδέματος. Συνολικά θεωρούνται τρία διαφορετικά στάδια. Η χαλύβδινη ράβδος και το σκυρόδεμα που περικλείει την ράβδο, το βάθος της επικάλυψης του σκυροδέματος, η

διάμετρος της ράβδου και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος αποτελούν παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στην θεώρηση. Κατά την διάρκεια του πρώτου σταδίου όπου υπάρχει εναπόθεση της σκουριάς, θεωρείται ότι τα προϊόντα λόγω διάβρωσης γεμίζουν την ζώνη του πορώδους γύρω από της ράβδο. Κατά το δεύτερο στάδιο, επιπρόσθετα προϊόντα σκουριάς ασκούν πίεση στο περιβάλλον σκυρόδεμα, η ακτινική τάση υπερβαίνει την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και έτσι η επικάλυψη του σκυροδέματος ρηγματώνεται. Στο τρίτο στάδιο, περεταίρω ακτινική διαστολή προκαλεί αύξηση του ανοίγματος της ρωγμής και κατά συνέπεια του εύρους αυτής. Τελικά, το ποσοστό της απώλειας μάζας του χαλύβδινου οπλισμού μπορεί να εκτιμηθεί έμμεσα από το εύρος της ρωγμής λόγω διάβρωσης. Οι προβλέψεις του αναλυτικού προσομοιώματος συγκρίνονται με πειραματικά αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Στο σχήμα 1 απεικονίζεται η σύγκριση της ποσοστιαίας απώλειας μάζας του χάλυβα όπως δίνεται από τα πειράματα της βιβλιογραφίας με την αντίστοιχη ποσοστιαία απώλεια μάζας όπως εκτιμάται από το προτεινόμενο αναλυτικό προσομοίωμα. Προκύπτει ότι η ποσοστιαία απώλεια μάζας του χάλυβα των πειραματικών αποτελεσμάτων συγκλίνει σημαντικά με τις αναλυτικές εκτιμήσεις του προσομοιώματος. Από το βαθμό διάβρωσης εύκολα υπολογίζεται η εναπομένουσα διατομή της ράβδου, υπό την θεώρηση πως η διάβρωση είναι ομοιόμορφη. Επομένως, μπορεί να υπολογιστεί η καμπτική ικανότητα διαβρωμένης δοκού από ωπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 1 Πειραματική απώλεια μάζας χάλυβα (%) έναντι αναλυτικής απώλειας μάζας (%).

Η χρήση ινωπλισμένων πολυμερών (FRP) στην ενίσχυση και αποκατάσταση στοιχείων από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έχει αποκτήσει ευρεία αποδοχή τα τελευταία χρόνια. Η ενίσχυση διαβρωμένων στοιχείων με σύνθετα υλικά FRP εξωτερικά επικολλούμενα (EBR), είναι πολύ δημοφιλής μέθοδος. Η ύπαρξη υφασμάτων FRP μειώνει τον βαθμό διάβρωσης του χαλύβδινου οπλισμού καθώς μειώνεται η διεϊσδυση χλωριούχων στο σκυρόδεμα, όπως αναφέρουν οι Soudki et al. (2007). Μια νέα και πρωτοπόρα μέθοδος ενίσχυσης έχει προσελκύσει αρκετούς ερευνητές και πραγματοποιείται μέσω ελασμάτων εγκοπής (NSM). Τα ελάσματα από σύνθετα υλικά εφαρμόζονται σε εγκοπές που έχουν ανοιχτεί στην επικάλυψη του σκυροδέματος. Η διαθέσιμη έρευνα για ενίσχυση

με ελάσματα εγκοπής σε στοιχεία που έχουν υποστεί διάβρωση του οπλισμού είναι αρκετά περιορισμένη. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες αποκατάστασης διαβρωμένων στοιχείων είναι η επισκευή του αποσαθρωμένου σκυροδέματος πριν την εφαρμογή των FRPs ή η απευθείας επικόλλησή τους στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Κατά την διάρκεια της επισκευής του υποστρώματος, μπορούν να εφαρμοστούν σημαντικές μέθοδοι ώστε να αποτρέψουν περεταίρω διάβρωση, όπως εφαρμογή αναστολέων διάβρωσης, καθοδική προστασία κλπ. Το προτεινόμενο προσομοίωμα εφαρμόζεται και σε δοκούς ενισχυμένες με σύνθετα υλικά της διεθνούς βιβλιογραφίας. Οι υπολογισμοί βασίζονται στην εκτίμηση της εναπομένουσας διαμέτρου της διαβρωμένης ράβδου. Επίσης, αξιολογούνται και πρόσθετες παράμετροι όπως η επισκευή του σκυροδέματος και οι συνθήκες φόρτισης των δοκών. Τα αναλυτικά αποτελέσματα για ενισχυμένες δοκούς συγκλίνουν ικανοποιητικά με τα αντίστοιχα πειραματικά.

Βιβλιογραφία

- Almusallam A. (2001), "Effect of degree of corrosion on the properties of reinforcing steel bars", *Construction and Building Materials*, 15:361-368.
- Alonso C., Andrade C., Rodriguez J., Diez J.M. (1998), "Factors controlling cracking of concrete affected by reinforcement corrosion.", *Materials and Structures*, 31(8):435-441.
- Andrade C., Alonso C., Garcia D., Rodriguez J. (1991), "Remaining lifetimes of reinforced concrete structures : effect of corrosion on the mechanical properties of the steel.", NACE, Cambridge, IK, pp 546-557.
- Andrade C., Molina F.J., Alonso C. (1993), "Cover cracking as a function of rebar corrosion: Part I- Experiment Test.", *Materials and Structures*, 26:453-464.
- Liu Y., Weyers R.E. (1998). "Modelling the time to corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures," *ACI Material Journal*, 95(6):675-681.
- Soudki K., El-Salakawy E., Craig B. (2007), "Behavior of CFRP Strengthened Reinforced Concrete Beams in Corrosive Environment.", *Journal of Composites for Construction*, 11:291-298.