

Επιδιορθώσεις Οπλισμένου Σκυροδέματος από Κονιάματα με Αναστολείς Διάβρωσης

Γ. Μπατής, Ε. Ρακαντά

Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π, Τομέας Επιστήμη και Τεχνική των Υλικών

Α. Ρούτουλας,

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, Τμήμα Φυσικής Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών

D. Rosignoli

Technochem S.A.

Λέξεις κλειδιά: Διάβρωση, επισκευές, κονιάματα, τεχνική SG

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει την δράση των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης ως προς την παρεμπόδιση της διάβρωσης του δομικού χάλυβα σε ινοπλισμένα επισκευαστικά κονιάματα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν δοκίμια από επισκευαστικά ινοπλισμένα τσιμεντοκονιάματα με και χωρίς αναστολέα διάβρωσης και εξετάστηκε η συμπεριφορά τους ως προς την διάβρωση με επιταχυνόμενες δοκιμές διάβρωσης Strain Gauge (SG). Πιο συγκεκριμένα έγινε εφαρμογή ανοδικής φόρτισης στα δοκίμια ινοπλισμένων και μη κονιαμάτων με αναστολέα διάβρωσης σε περιβάλλον διάβρωσης χλωριόντων και καταγραφή των αναπτυσσόμενων εφελκυστηκών τάσεων στην περιοχή γύρω από την επιφάνεια του χάλυβα λόγω της δημιουργίας των προϊόντων διάβρωσης. Επίσης για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των αναστολέων διάβρωσης μετρήθηκε η πυκνότητα ρεύματος που δημιουργείται από το γαλβανικό στοιχείο που αναπτύσσεται μεταξύ των επισκευασμένων περιοχών και μη. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ικανοποιητική αναστολή της διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα στην περίπτωση των ινοπλισμένων επισκευαστικών κονιαμάτων. Η παρουσία δε των πολυμερικών ινών στα κονιάματα παρεμπόδισε την επιπλέον δημιουργία μικρορωγμών με συνέπεια την μείωση της διάβρωσης.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

Η υψηλή αλκαλικότητα του διαλύματος των πόρων του σκυροδέματος (pH 12,5-13) προκαλεί παθητικοποίηση του οπλισμού στο σκυρόδεμα λόγω της δημιουργίας ενός αρκετά συνεκτικού και συμπαγούς οξειδίου στην επιφάνεια του χάλυβα (Fe_2O_3 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Gonzalez, J.A. et.al., 1990, Suryavanshi, A.K. et.al, 1998.)

Επίσης το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο/ φράγμα μεταξύ του περιβάλλοντος και του οπλισμού αποτρέποντας την είσοδο των διαβρωτικών στοιχείων στην επιφάνεια του οπλισμού. Παρόλα αυτά το σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο πορώδες υλικό το οποίο επιτρέπει την είσοδο διαβρωτικών στοιχείων στην μάζα του. Η διάχυση του διοξειδίου του άνθρακα ή των χλωριόντων στην μάζα του οδηγεί στην ρήξη του παθητικού στρώματος στην επιφάνεια του χάλυβα με αποτέλεσμα την έναρξη της διάβρωσης του οπλισμού. Ο ρυθμός διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος εξαρτάται τόσο από την ποιότητα του σκυροδέματος (όπως πορώδες βαθμός ενυδάτωσης, χημική σύσταση) αλλά και από τον σχεδιασμό της όλης κατασκευής όπως πάχος επικάλυψης οπλισμών. Ο χρόνος έναρξης της

διάβρωσης εξαρτάται από παράγοντες όπως μικρορηγματώσεις του σκυροδέματος, συγκέντρωση χλωριόντων, πάχος επικάλυψης των οπλισμών (Kouloumbi, N., et.al., 1995). Σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος οι οποίες έχουν υποστεί φθορές λόγω διάβρωσης του οπλισμού, η επισκευή των διαβρωμένων περιοχών τους, πραγματοποιείται από μια σειρά νέων έτοιμων τσιμεντοκονιαμάτων που διατίθενται ευρέως στο εμπόριο δηλαδή κονιάματα με μηδενική συρρίκνωση. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από πολυμερικές ίνες και συνήθως περιέχουν αναστολέα διάβρωσης. Στην περίπτωση αυτή όμως δημιουργούνται τοπικά γαλβανικά στοιχεία μεταξύ των περιοχών του οπλισμού εντός του επισκευαστικού κονιάματος και των περιοχών στο παλιό σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα την έναρξη της διάβρωσης των γειτονικών περιοχών (Bjegovic, D.et.al., 1999., Bjegovic, D.et.al., 1997). Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση της συνδυασμένης χρήσης αναστολέων διάβρωσης σε επισκευαστικά ινοπλισμένα και μη κονιάματα σαν μέθοδος προστασίας του Ο.Σ. Η χρήση των διαχεόμενων αναστολέων διάβρωσης στις επιδιορθώσεις κατασκευών Ο.Σ. ως μέθοδος προστασίας προσφέρει ικανοποιητική αναστολή της διάβρωσης λόγω της εύκολης διάχυσης του στην μάζα του σκυροδέματος και της δημιουργίας ενός μονομοριακού παθητικού στρώματος στην επιφάνεια του χάλυβα

Η τεχνική Strain Gauge χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την παρακολούθηση και αποτίμηση του ρυθμού διάβρωσης. Με την τεχνική SG μετρώνται και καταγράφονται οι εφελκυστηκές τάσεις που δημιουργούνται στην περιοχή γύρω από τον οπλισμό στην μάζα του σκυροδέματος. Η ανάπτυξη των εφελκυστηκών τάσεων οφείλεται στην δημιουργία προϊόντων οξείδωσης στην επιφάνεια του χάλυβα (Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , $FeO(OH)$) τα οποία καταλαμβάνουν μεγαλύτερο μοριακό όγκο από αυτό του Fe. Για την καταγραφή των εφελκυστηκών τάσεων χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες οι οποίοι και εγκιβωτίστηκαν στη μάζα των δοκιμών σκυροδέματος κατά την διάρκεια κατασκευής τους (Routoulas, A.et.al., 1999., Balouch, S.U.et.al., 1999, Colombo, G., 1986.).

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

2.1 Υλικά

Για την κατασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Πόρτλαντ (OPC), του οποίου η χημική σύσταση δίνεται στον πίνακα 1 και δύο έτοιμα επισκευαστικά ινοπλισμένα κονιάματα. Ως αδρανή χρησιμοποιήθηκε άμμος λατομείου γνωστής κοκκομετρικής διαβάθμισης $250\mu m < d < 4mm$ μέση διάμετρος της άμμου ήταν $250\mu m < d < 4mm$. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη χάλυβα S220 ονομαστικής διαμέτρου Φ10 και μήκους 100mm και χάλυβας S500s Tempcore ονομαστικής διαμέτρου 12mm (Φ12) και μήκους 100mm. Η χημική σύσταση των χάλυβων Ο.Σ. δίνεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση % τσιμέντου Πόρτλαντ (OPC).

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	$CaO_{(f)}$	LOI
20.67	4.99	3.18	63.60	2.73	0.37	0.29	2.414	2.41	2.52

Ως νερό ανάμιξης των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε νερό από το δίκτυο ύδρευσης της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Η κύρια δραστική του αναστολέα διάβρωσης που χρησιμοποιήθηκε (INHIB-M) είναι οι αλκαλοαμίνες και προστέθηκε στο νερό μίξης των δοκιμών κατά την διάρκεια της κατασκευής τους. Η δοσολογία και η χρήση του διαχεόμενου αναστολέα διάβρωσης έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρίας. Οι διαχεόμενοι αναστολείς διάβρωσης επιδρούν τόσο στην ανοδική όσο και στην καθοδική περιοχής της δράσης δημιουργώντας ένα προστατευτικό φιλμ στην επιφάνεια του χάλυβα το οποίο λειτουργεί ως ένα φυσικό φράγμα εμποδίζοντας την υγρασία και το

οξυγόνο να έρθει σε επαφή με τον οπλισμό. Ο αναστολέας διάβρωσης διαχέεται δια μέσο των πόρων του σκυροδέματος τόσο στην υγρή όσο και στην αέρια φάση.

Πίνακας 2. Χημική σύσταση % δομικού χάλυβα τύπου S500s Tempcore.

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>V</i>	<i>Mo</i>
0.18	0.99	0.047	0.023	0.15	0.09	0.09	0.21	0.002	0.021

Κατασκευάστηκαν δύο κατηγορίες δοκιμίων. Η πρώτη κατηγορία δοκιμίων περιλαμβάνει δοκίμια με συμβατική τσιμεντοκονία (χρήση τσιμέντου πόρτλαντ) με και χωρίς αναστολέα διάβρωσης, ενώ στην δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιήθηκε επισκευαστικό ινοπλισμένο τσιμεντοκονίαμα δύο συστατικών (ρητινούχα ταχύπηκτα κονιάματα περιέχοντα ίνες πολυαιθυλενίου) στο οποίο περιέχεται προκαθορισμένη ποσότητα πτητικού αναστολέα διάβρωσης MCI (Migrating corrosion inhibitor). Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή η προτεινόμενη κατανάλωση των επισκευαστικών τσιμεντοκονιαμάτων προδιαγράφεται σε 2kg/m².mm πάχους επίστρωσης.

2.2 Κατασκευή δοκιμίων

Στην παρούσα εργασία τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν είχαν διαστάσεις 80mm μήκος 80mm πλάτος και 100mm ύψος. Κάθε ένα από αυτά τα δοκίμια περιείχε τέσσερις οπλισμούς τοποθετημένη σε απόσταση 2,5cm από την βάση και πλευρικά του δοκιμίου. Χάλκινα καλώδια συνδέθηκαν στο πάνω μέρος των οπλισμών (εκτός κονιάματος) για την διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών μετρήσεων και στην συνέχεια επικαλύφθηκαν με εποξειδική ρητίνη έτσι ώστε να προστατευτούν από την ατμοσφαιρική διάβρωση. Τα δοκίμια των χάλυβων πριν την σκυροδετήσει τους στα δοκίμια τσιμεντοκονίας, καθαρίστηκαν με διάλυμα υδροχλωρικού οξέος με αναστολέα διάβρωσης έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν οξειδία από την επιφάνεια τους ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό και στην συνέχεια εμβαπτίστηκαν σε ακετόνη και ζυγίστηκαν με ακρίβεια τέταρτου δεκαδικού ψηφίου (ISO/DIS 8407.3). Οι αναλογίες των υλικών των οποίων χρησιμοποιήθηκαν και οι κωδικές ονομασίες των δοκιμίων δίνονται στον Πίνακα 3.

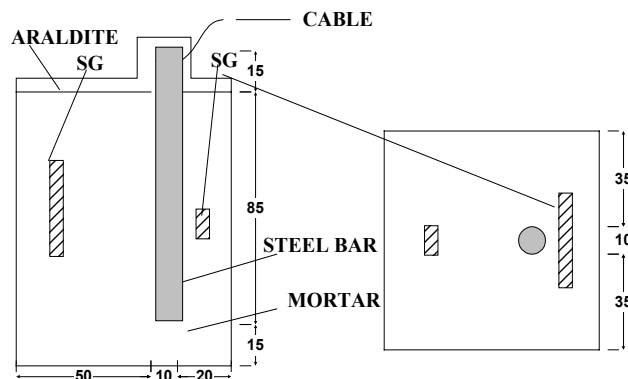
Τα δοκίμια της επιταχυνόμενης διάβρωσης (ανοδική φόρτιση τεχνική S.G) οπλίστηκαν με έναν οπλισμό τύπου S220, ονομαστικής διαμέτρου 10mm. Στο Σχήμα 1 παρατίθεται λεπτομερή απεικόνιση της μορφής των δοκιμίων.

Όλα τα δοκίμια κονιάματος τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ωρίμανσης υπό σταθερές συνθήκες (T=20°C και RH=98% σχετική υγρασία) για 24h και στη συνέχεια εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον 3,5%κ.β. NaCl.

Πίνακας 3. Κατηγορίες πειραματικών δοκιμίων – χημική σύσταση κονιαμάτων (κ.β)

Κωδική ονομασία	Τσιμέντο OPC	Άμμος	Νερό	Αναστολέας διάβρωσης M	Παρατηρήσεις
SGO	1,0	3	0,5	--	--
SGM	1,0	3	0,5	0,01	--
SG38	--	--	--	0,01	Δοκίμια κατασκευασμένα από έτοιμο επισκευαστικό κονίαμα
SGS	1,0	3	0,5	--	3,5% υδατικό διάλυμα NaCl αντί για νερό μίξης
SGSM	1,0	3	0,5	Ψεκαζόμενος αναστολέας M	3,5% υδατικό διάλυμα NaCl αντί για νερό μίξης

Στον Πίνακα 3 δίνονται οι αναλογίες των υλικών και οι κωδικές ονομασίες των δοκιμών που κατασκευάστηκαν προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα του αναστολέα διάβρωσης ως μέθοδος προστασίας και να εκτιμηθούν τα γαλβανικά στοιχεία τα οποία δημιουργούνται από την επαφή νέου με παλιό οπλισμό.



Σχήμα 1. δοκίμια επιταχυνόμενων δοκιμών διάβρωσης SG. Διαστάσεις δοκιμών SG σε (mm).

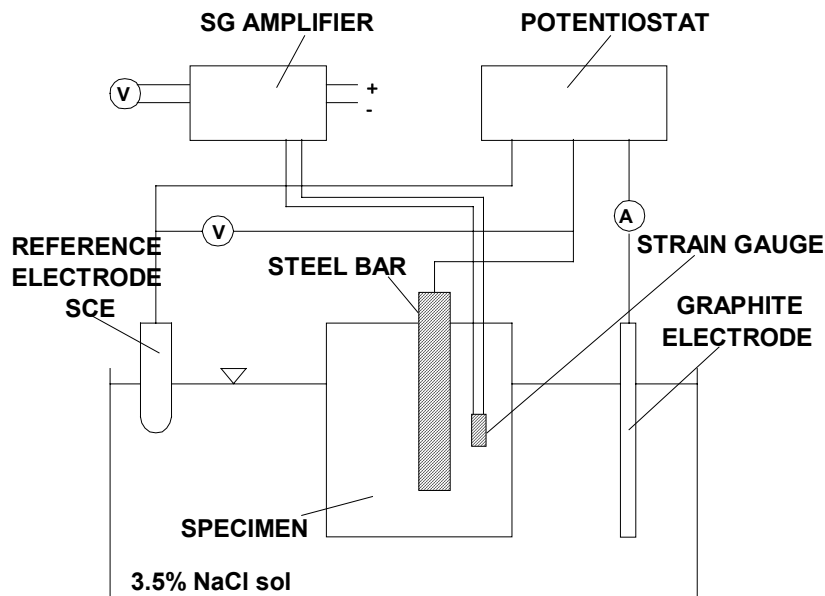
3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι αισθητήρες SG που χρησιμοποιήθηκαν για τις επιταχυνόμενες δοκιμές διάβρωσης ήταν τύπου KM-30-120 της KYOWA, οι διαστάσεις και η θέση τους εντός των δοκιμών παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Σε κάθε δοκίμιο επιταχυνόμενης διάβρωσης εγκιβωτίστηκαν δύο αισθητήρες. Ο πρώτος αισθητήρας (οριζόντια τοποθετημένος στη γειτονιά του οπλισμού) καταγράφει την τάση διόγκωσης που προκαλείται στο δοκίμιο από την αθροιστική επίδραση της διάβρωσης και άλλων παραμέτρων που μεταβάλλουν τον όγκο των δοκιμών. Ο δεύτερος αισθητήρας αντισταθμίζει τις παραμέτρους μεταβολής του όγκου των δοκιμών πλην της διόγκωσης του οπλισμού (κάθετα τοποθετημένος και μακριά από τον οπλισμό).

Για την επιτάχυνση του φαινομένου της διάβρωσης στα δοκίμια Ο.Σ. τα όποια βρίσκονταν μερικώς εμβαπτισμένα σε διάλυμα 3,5%κ.β. NaCl εφαρμόστηκε σταθερή ανοδική φόρτιση 1, 1,5 και 2,5V, για μεγάλο χρονικό διάστημα (ημέρες). Υψηλότερη φόρτιση της τάξεως των 3, 4,5, 6, και 7,5V εφαρμόστηκε στα δοκίμια για την εκτίμηση της αντίστασης τους ως προς την διάβρωση. Η πειραματική διάταξη συμπεριλάμβανε ποτενσιοστάτη για την εφαρμογή της ανοδικής φόρτισης, SG γέφυρα- ενισχυτή μέτρησης της επιμήκυνσης των SG και ψηφιακό πολύμετρο μέτρησης δυναμικού και έντασης διερχόμενου ρεύματος. Στο Σχήμα 2 δίνεται η απεικόνιση της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε.

Η εφαρμογή του ανοδικού ρεύματος στα δοκίμια από τον ποτενσιοστάτη στο ηλεκτρόδιο εργασίας πραγματοποιήθηκε δια μέσω βοηθητικού ηλεκτροδίου διαστάσεων 80 x 100 x 20mm ενώ για την εκτίμηση / μέτρηση της διαφοράς δυναμικού του ηλεκτροδίου εργασίας χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρόδιο αναφοράς κεκορεσμένου καλομέλανα SCE.

Πριν την εφαρμογή της ανοδικής τάσης στα δοκίμια τα όποια ήσαν μερικώς εμβαπτισμένα σε διάλυμα 3,5%κ.β. NaCl για κάθε SG μετρήθηκε το αρχικό δυναμικό έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι αρχικές τιμές των SG_{T_0} και SG_0^* . Μετά την εφαρμογή της ανοδικής φόρτισης στα δοκίμια Ο.Σ. σε καθορισμένο χρόνο (t), μετρήθηκε και καταγράφηκε ως προς το χρόνο καθημερινά, το εξωτερικό δυναμικό του SG ενισχυτή για κάθε SG (SG_{T_t} , SG_t^*).



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση της εργαστηριακής διάταξης ελέγχου διάβρωσης με την τεχνική SG.

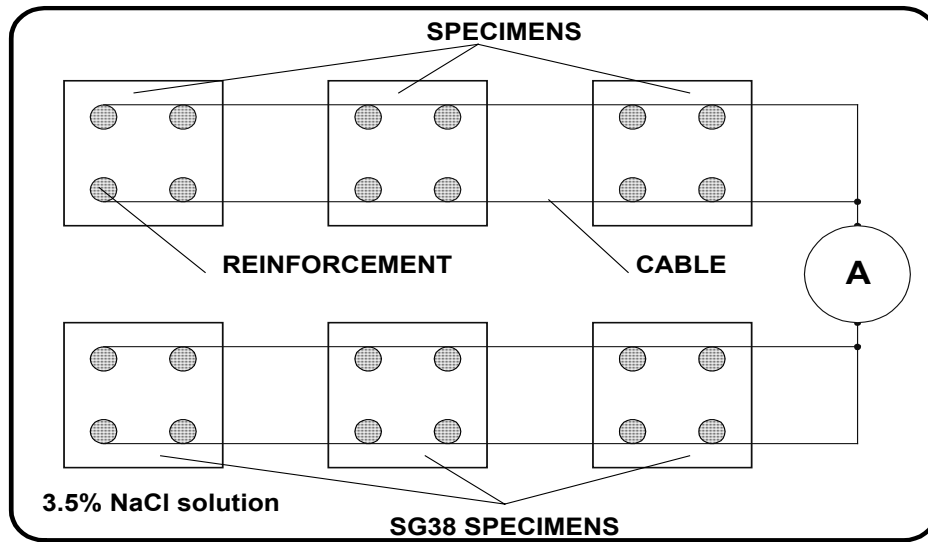
Η διαφορά $(SGT_i - SG_i^*) - (SGT_o - SG_o^*)$ αντιστοιχεί στην τάση διόγκωσης των τσιμεντοκονιαμάτων η οποία προκαλείται από την δημιουργία των προϊόντων διάβρωσης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των S Gauges είναι τα ακόλουθα: αντίσταση 120Ω, δείκτης S.G. 1.8), της γέφυρας Wheatstone: 0,1Ω μεταβολή αντίστασης δημιουργεί 600mV τιμή δυναμικού στα SG. Εξ' αιτίας όλων των παραπάνω τεχνικών χαρακτηριστικών της πειραματικής διάταξης το 1mV SG ισοδυναμεί σε 0,94μ strain.

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας επιταχυνόμενη διάβρωση ακολούθησε θραύση των δοκιμών Ο.Σ. και σταθμικός προσδιορισμός της απώλειας μάζας των χαλύβδινων οπλισμών. Επίσης για την διερεύνηση της δράσης των αναστολέων διάβρωσης και των ινοπλισμένων κονιαμάτων έναντι της διάβρωσης προσδιορίστηκε το πορώδες των τσιμεντοκονιαμάτων με την βοήθεια της πορισμετρίας υδραργύρου Hg (Carlo Ebra, Mod. Milestone 2000).

Προκειμένου να προσδιοριστεί το ρεύμα διάβρωσης) το οποίο δημιουργείται μεταξύ δύο ανόμοιων περιοχών στην κατασκευή Ο.Σ. (επισκευασμένη και μη μακρό γαλβανικό στοιχείο) κατασκευάστηκε πειραματική διάταξη για την μέτρηση των γαλβανικών ρευμάτων. Η διάταξη συμπεριλάμβανε την ένωση και ηλεκτρική συνέχεια σε σειρά τριών δοκιμών της πρώτης κατηγορίας (δοκίμια αναφοράς) με τρία δοκίμια από κάθε κατηγορία 2-5. Οι κατηγορίες των πειραματικών δοκιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των μακρό γαλβανικών ρευμάτων είναι οι ακόλουθες:

1. Δοκίμια τσιμεντοκονίας χωρίς προσθήκη αναστολέα διάβρωσης (SGO)
2. Δοκίμια τσιμεντοκονίας με προσθήκη αναστολέα διάβρωσης (SGM)
3. Δοκίμια τσιμεντοκονίας περιέχοντα 3,5%κ.β. NaCl στο νερό μίξης αυτών (SGS)
4. Δοκίμια τσιμεντοκονίας περιέχοντα 3,5% κ.β. NaCl στο νερό μίξης αυτών και εμποτισμένα εξωτερικά με διαχεόμενο αναστολέα διάβρωσης (SGSM)
5. Δοκίμια κατασκευασμένα με έτοιμο επισκευαστικό κονίαμα (SG38)

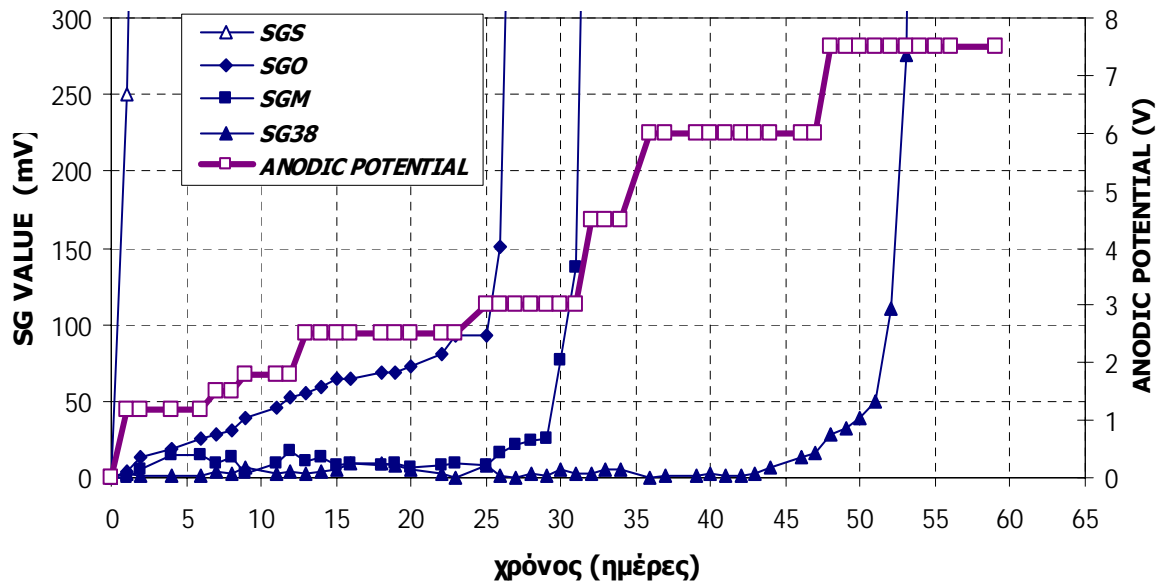
Στο Σχήμα 3 δίνεται η πειραματική διάταξη μέτρησης και εκτίμησης των μακρό-γαλβανικών ρευμάτων δημιουργούμενων από την επαφή δύο διαφορετικών κατηγοριών τσιμεντοκονιάματος. Η όλη πειραματική διάταξη βρισκόταν μερικώς εμβαπτισμένη σε διάλυμα 3,5%κ.β. NaCl.



Σχήμα 3: πειραματική διάταξη μέτρησης γαλβανικών ρευμάτων διάβρωσης

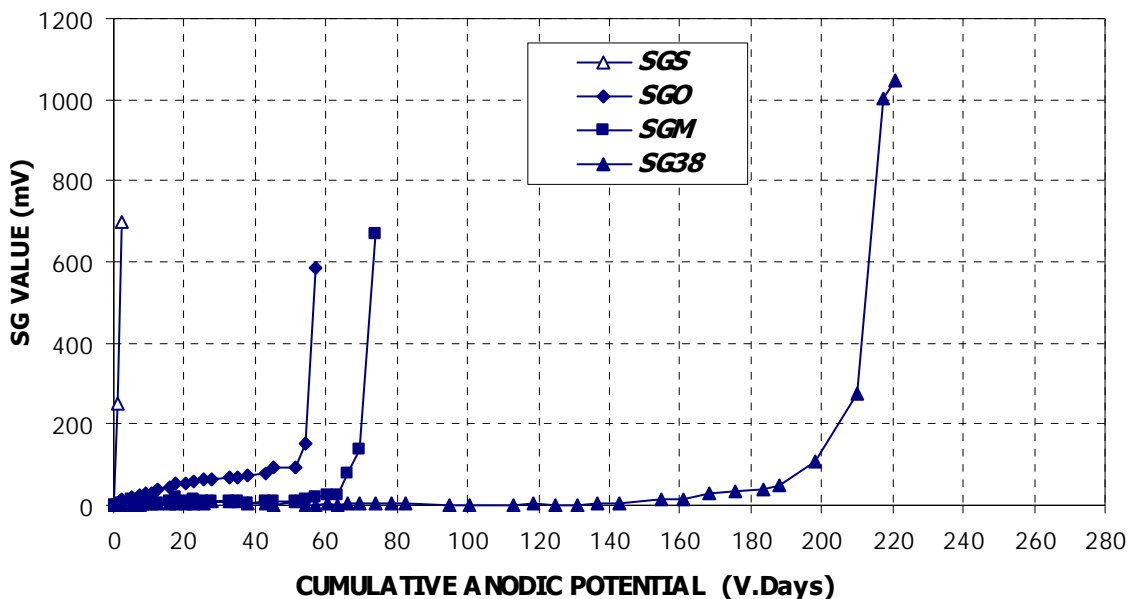
4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τεχνικής SG για όλες τις κατηγορίες των δοκιμών απεικονίζονται στα Σχήματα 4 & 5. Τα δοκίμια SGS, SGSM, έχοντα στη μάζα του σκυροδέματος χλωριόντα (3,5%κ.β. στο νερό μίξης αυτών) εμφάνισαν ραγδαία διόγκωση και κατά συνέπεια ρηγμάτωση της τσιμεντοκονίας τους λόγω διάβρωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα 1 ημέρας από την εφαρμογή της ανοδικής φόρτισης.



Σχήμα 4. Τιμές SG ως προς τον χρόνο και τον τύπο των δοκιμών

Κατά την διάρκεια εφαρμογής της ανοδικής φόρτισης και κατά τις πρώτες 20ημέρες διαπιστώνεται σχετικά μικρός ρυθμός διόγκωσης των δοκιμίων SG και ραγδαία αύξηση στο τελικό στάδιο (25^η ημέρα), λόγω θραύσης του δοκιμίου, που προκαλείται από την διάβρωση των οπλισμών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολοίπων δοκιμίων, σε όλη την πορεία της ανοδικής φόρτισης, με εξαίρεση το τελικό στάδιο, δε φαίνεται διαφοροποίηση στο ρυθμό διόγκωσης, δηλαδή της ταχύτητας διάβρωσης. Πιθανή εξήγηση του μικρού ρυθμού διάβρωσης των δοκιμίων είναι η παρουσία του αναστολέα διάβρωσης ως πρόσμικτο στη μάζα των τσιμεντοκονιαμάτων του οποίου ο μηχανισμός δράσης του είναι η δημιουργία ενός συμπαγούς, σταθερού μονομοριακού στρώματος/φιλμ στην επιφάνεια του οπλισμού. Η έναρξη της διάβρωσης για τα δοκίμια SGM γίνεται την 27^η ημέρα και η θραύση την 30^η. Για τα δοκίμια SG38 παρατηρείται έναρξη της διάβρωσης την 45^η ημέρα ενώ η θραύση αυτών την 50^η ημέρα. Στο σχήμα 6 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων SG συναρτήσει της συνολικής εφαρμοζόμενης ανοδικής φόρτισης όπου παρατηρείται ρηγμάτωση και τελική θραύση των δοκιμίων SGS, SG, SGM, SG38 στις 2, 55, 72 και 200V day, αντίστοιχα. Είναι προφανές, ότι τα δοκίμια της 1^{ης} κατηγορίας (δοκίμια αναφοράς) SGO παρουσιάζουν την μικρότερη αντοχή στη διάβρωση συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα δοκίμια των άλλων κατηγοριών. Επιπρόσθετα παρατηρήθηκε εξαιρετικά υψηλή αντοχή ως προς την διάβρωση στα δοκίμια τα οποία είχαν κατασκευαστεί από έτοιμα επισκευαστικά ινοπλισμένα κονιάματα SG38. Επίσης συγκρίνοντας το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την έναρξη της διάβρωσης ως την θραύση των δοκιμίων των κατηγοριών SGM και SG38 πιστοποιείται υπεροχή ως προς αντοχή στην διάβρωση των δοκιμίων από ινοπλισμένα τσιμεντοκονιάματα (SG38- χρόνος θραύσης 5 ημέρες έναντι των 3 ημερών που παρουσιάζουν τα δοκίμια SGM).



Σχήμα 5. Τιμές SG συναρτήσει της ανοδικής φόρτισης και κατηγορία πειραματικών δοκιμίων

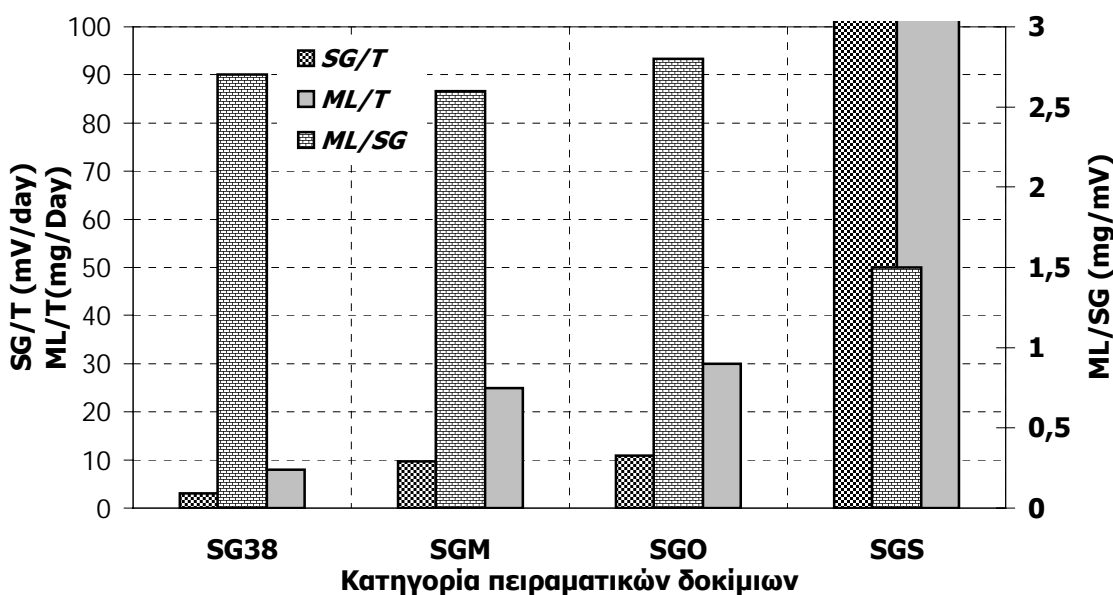
Ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις SG και τον σταθμικό προσδιορισμό της απώλειας μάζας των οπλισμών παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 5 και στον Πίνακα 4.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού διάβρωσης των SG σε mV/V days και του ρυθμού απώλειας μάζας των χαλύβδινων οπλισμών σε

mg/day για όλες τις κατηγορίες πειραματικών δοκιμών και πιστοποιεί ότι η επιμήκυνση των αισθητήρων SG οφείλεται στον σχηματισμό προϊόντων διάβρωσης προσκληθείσα από την διάβρωση των οπλισμών.

Πίνακας 4. Συγκριτικός πίνακας τιμών SG και απώλειας μάζας των οπλισμών

Κατηγορία δοκιμών	Απώλεια μάζας (mg)	Ρυθμός SG πριν την θραύση των δοκιμών (mV/day)	SG (mV)	Ανοδική φόρτιση (V days)	Χρόνος διάβρωσης (ημέρες)	Ρυθμός διάβρωσης (mg/dm ² day)
SGS	750	250	750	2	2	1364
SGO	750	10.9	600	55	25	109
SGM	746	9.7	700	72	30	90.4
SG38	429	3	1100	220	52	30

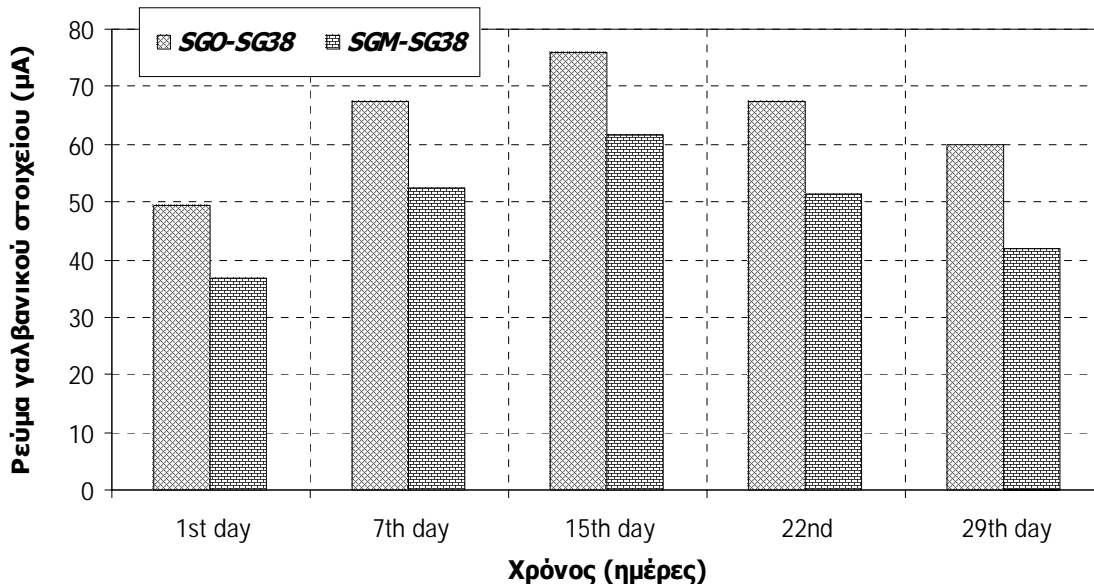


Σχήμα 5. Απώλεια μάζας – Τιμές SG συναρτήσεως για κάθε κατηγορία πειραματικών δοκιμών

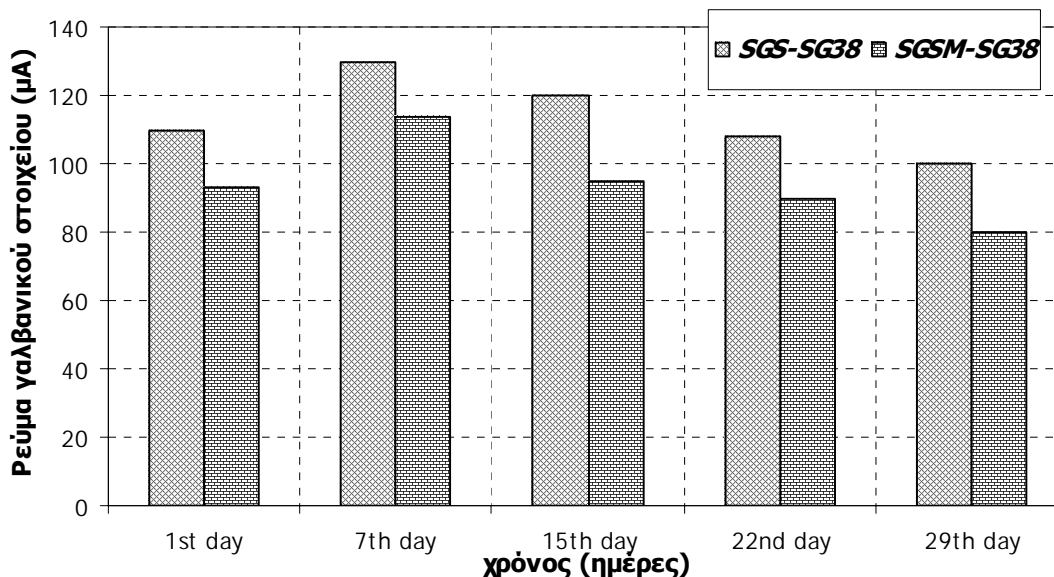
Ο ρυθμός διάβρωσης των δοκιμών SGO (χωρίς αναστολέα διάβρωσης) κάτω από συνθήκες ανοδικής φόρτισης ήταν 109mg/dm² day. Ενώ η χρήση του αναστολέα διάβρωσης M στα δοκίμια μείωσε τον ρυθμό διάβρωσης σε 90,4mg/dm² day. Ο αναστολέας διάβρωσης M είναι οργανικός και κατατάσσεται στους μικτούς αναστολείς διάβρωσης (δράση τόσο στην ανοδική όσο και στην καθοδική περιοχή) ο οποίος προσροφάτε φυσικά στην επιφάνεια του χάλυβα σχηματίζοντας ένα συμπαγές μονομοριακό στρώμα το οποίο εμποδίζει την δράση των διαβρωτικών στοιχείων στην επιφάνεια του χάλυβα. Επίσης η χρήση των ιών με την ταυτόχρονη παρουσία του αναστολέα διάβρωσης μείωσε σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό διάβρωσης σε 30mg/dm² day.

Η ποροσιμετρία Hg έδωσε αποτελέσματα ολικού πορώδους 10,9% και 13,55%-13,67%-13,34% στα δοκίμια SG38, SGO, SGM και SGS αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το συνολικό πορώδες των ινοπλισμένων τσιμεντοκονιαμάτων είναι μικρότερο από των άλλων, ενώ δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά στο πορώδες των δοκιμών SGO, SGM και SGS. Από τις μετρήσεις ποροσιμετρίας δεν παρατηρείται μεταβολή του πορώδους με την προσθήκη του αναστολέα διάβρωσης, ενώ το χαμηλό

πορώδες που εμφανίζεται στα δοκίμια SG38 είναι κύριος παράγοντας για την μείωση του ρυθμού διάβρωσης αυτών.



Σχήμα 6. Ρεύμα μακρό – γαλβανικού στοιχείου συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια SGSM & SGS



Σχήμα 7. Ρεύμα μακρό – γαλβανικού στοιχείου συναρτήσει του χρόνου για τα δοκίμια SGM & SGO

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των μακρό-γαλβανικών ρευμάτων που δημιουργούνται μεταξύ δύο ανόμοιων περιοχών (οπλισμοί εντός επισκευαστικού κονιάματος SG38 και κοινού SGO) ότι τα δοκίμια με αναστολέα διάβρωσης παρουσίασαν κατά 25% χαμηλότερο γαλβανικό ρεύμα διάβρωσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα από τις μετρήσεις της απώλειας μάζας των οπλισμών

αυτών βρέθηκε ότι η διάβρωση μειώθηκε κατά 30%. Η απώλεια μάζας των οπλισμών είναι χαμηλότερη στα δοκίμια που χρησιμοποιείται αναστολέας διάβρωσης σε σχέση με αυτή των οπλισμών στα δοκίμια αναφοράς (SGO). Η μεταβολή αυτή των ρευμάτων οφείλεται πιθανά στη δράση του αναστολέα διάβρωσης και στην μεταβολή της αντίστασης των τσιμεντοκονιαμάτων (χρήση ινοπλισμένων τσιμεντοκονιαμάτων, δοκίμια SG38). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατίθενται στο Σχήμα 6 & 7. Από την σύγκριση των διαγραμμάτων προκύπτει ότι σε όλες τις περιπτώσεις, όταν στο υπάρχον κονίαμα χρησιμοποιείται αναστολέας διάβρωσης επέρχεται μείωση του ρεύματος των γαλβανικών στοιχείων (χάλυβας - επισκευάστηκα κονίαμα/ χάλυβας – απλό κονίαμα) της τάξεως 20-25%, από ότι στο υπάρχον κονίαμα χωρίς αναστολείς.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Σε όλες τις κατηγορίες των δοκιμίων όπου γίνεται χρήση αναστολέα διάβρωσης και επισκευαστικών ινοπλισμένων κονιαμάτων εμφανίζεται μείωση του ρυθμού διάβρωσης των οπλισμών συγκριτικά με αυτήν των δοκιμίων αναφοράς χωρίς προσθήκη αναστολέα διάβρωσης και χρήση τσιμέντου OPC.
- Ο συσχετισμός των μετρήσεων SG και απώλειας μάζας οπλισμών λόγω διάβρωσης δίνει τα ίδια (συγκριτικά) αποτελέσματα για όλες τις κατηγορίες των πειραματικών δοκιμίων.
- Τα δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν από ινοπλισμένο κονίαμα και αναστολέα διάβρωσης παρουσίασαν εμφανώς καλύτερη συμπεριφορά έναντι της διάβρωσης παρουσία χλωριόντων. Αυτό οφείλεται στην ταυτόχρονη ενίσχυση του παθητικού στρώματος προστασίας επιφανειακά του οπλισμού λόγω του μηχανισμού δράσης των αναστολέων και στην μείωση του πορώδους και αύξησης της συνοχής λόγω της ύπαρξης των ινών.
- Στη διαδικασία επισκευής του σκυροδέματος που περιλαμβάνει την χρήση αναστολέων διάβρωσης τόσο στο επισκευαστικό κονίαμα όσο και στο περιβάλλον κονίαμα συντελεί σε αυξημένη αντιδιαβρωτική προστασία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς εκφράζουν τις ευχαριστίες τους στην εταιρεία SINTECNO A.E. και TECHNOCHEM S.A. για την διάθεση των υλικών παρασκευής των επισκευαστικών κονιαμάτων.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Balouch, S.U. and Granju, J.-L. 1999. Corrosion of Different Types of Steel Fibers in SFRC and Testing of Corrosion Inhibitors. Proc. of the Int. Conf. On Infrastructure Regeneration and Rehabilitation Improving the Quality of Life through Better Construction, eds. R.N. Swamy, Sheffield Academic Press: Sheffield: pp. 735-747.
2. Bjegovic, D., Ukrainczyk, V., Ukrainczyk, B., Miksic, B. 1997. Compatibility of Repair Mortar with Migrating Corrosion Inhibiting Admixtures. National Association of Corrosion Engineers Conference., paper No 183, New Orleans.
3. Bjegovic, D. and Miksic, B. 1999. Migrating corrosion inhibitor protection of concrete. Materials Performance. 38(11): pp. 52-56.
4. Colombo, G., 1986. Automazione Industriale. Vol. 4. Torino: Dott. Giorgio.
5. Gonzalez, J.A., Molina, A., Otero, E., Lopez, W. 1990. On the Mechanism of Steel Corrosion in Concrete: the Role Oxygen Diffusion. Magazine of Concrete Research. 42 (159): pp. 23-27.

6. Kouloumbi, N., Batis, G., Pantazopoulou, P. 1995. Efficiency of Natural Greek Pozzolan in Chloride Induced Corrosion of Steel Reinforcement. *Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP*, 17(1): pp. 18-25.
7. Routoulas, A., Batis, G. 1999. Performance Evaluation of Steel Rebars Corrosion Inhibitors with Strain Gauges. *Anti-Corrosion Methods and Materials*. 46 (4): pp. 276 -283.
8. Suryavanshi, A.K., Swamy, R.N., McHugh, S. 1998. Chloride penetration into reinforced concrete slabs. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 25(10): pp. 87-95