Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

بسمه تعالی

روش حفاظت کاتدی در پیشگیری وحفاظت سازه های دریایی

دکتر محمد حسن‌رامشت - مدیرعامل شرکت خانه

چکیده:

ازسالهای اولیه قرن بیستم ،استفاده ازبتن مسلح بعنوان یک انتخاب درساخت پروژه های ساختمانی مطرح‌گردید. استحکام ،عمر مفید وسهولت دراجرا وهمچنین اقتصادی بودن آن (درمقایسه باسازه های فولادی بویژه پس ازجنگ جهانی دوم وکمبودآهن)باعث گردید تاکاربردهای فراوانی برای آن تعریف ودرساخت اکثر سازه هابویژه اسکله های دریائی بکار گرفته شود.در بسیاری از این کاربردها،تسلیحات فولادی بتن بدون ایجاد هرگونه مشکلی کاملا"بادوام باقی می مانند مع الوصف کاملا"مشهود است که تغییرات شرایط محیطی می تواند منجر به خسارات قابل توجهی در اثر خوردگی فولادها در برخی از سازه هاوساختمانهای بتنی گردد.

منشاء پیدایش مشکلات ناشی از خوردگی رامیتوان عمدتا" دوعامل آلودگی در اثرکلر(حمله کلر به پوشش محافظی که در اثرمحیط قلیائی بتن بر روی فولادهای داخل بتن ایجاد میگردد) و همچنین کربناسیون *(carbonation)*بتن دانست .

درصورتیکه محیط قلیائی داخل بتن که در اثر هیدراته شدن سیمان بوجود می‌آید وباعث جلوگیری ازخوردگی ومحافظت از فولادهای بتن مسلح می گردد،در اثر عواملی همچون آلودگی به نمک (وحمله یون های کلر)ازبین برود،تسلیحات فولادی بتن در معرض خوردگی قرار خواهند گرفت .

گرچه میزان خوردگی در پاره ای ازمواقع کم وقابل اغماض است لیکن مواردی نیز وجود دارد که خوردگی باسرعت زیاد صورت گرفته ودرمدت زمان کوتاهی موجب آسیب به سازه ونتیجتا"ضرر وزیان های جدّی وغیرقابل جبرانی گردیده است .

فاکتورهای اصلی که میزان خوردگی راکنترل می کنند عبارتنداز:

مقدار رطوبت ،در دسترس بودن اکسیژن ،نفوذ پذیری بتن ومقدار آلودگی (به کلر)

زیرا انی عوامل درحقیقت تعیین کننده شرایط الکتروشیمیائی هستند که باعث شروع جریان خوردگی می گردد.برای متوقف ساختن ویاجلوگیری ازخوردگی ،می توان باعبور یک جریان کوچک ($d.c$)در فولادها باعث شد تادرهیچ قسمت ازتسلیحات فولادی امکان دستیابی به پتانسیل الکتریکی لازم برای خوردگی متحقق نگردد.

امروزه این روش به نام حفاظت کاتدی تسلیحات فولادی بتون مسلح در سازه های دریایی که درمحیطی خورنده از نظر وجود یون کلر- سیکل های تروخشک - دما ورطوبت بالا میباشند بعنوان یک روش تثبیت شده مطرح وقوانین ودستور العملها ی مربوط به آن در استانداردهای بین المللی تبیین شده است .

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه:

بتن مسلح به دلیل داشتن استحکام لازم، عمر مفید نسبتا"بالا وسهولت در اجرا ومهمتر ازهمه اقتصادی بودن آن‌سبب شده تا کاربردهای فراوانی برای آن تعریف ودر ساخت اکثر سازه هابویژه اسکله های دریائی به کار گرفته شود در بسیاری از این کاربردها، سازه های بتون آرمه و تسلیحات فولادی داخل بتن بدون ایجاد هرگونه مشکلی کاملا"با دوام باقی می مانند دلیل این امر نیزوجود محیط قلیائی داخل بتن است که در اثر هیدراته شدن سیمان بوجود می آید وباعث روئین شدن سطح آرماتورها می گردد.اما با رسوخ و حضور یون کلر دربتن لایه روئین سطح آرماتور از بین رفته وپدیده خوردگی آغاز می شود.

منشاء پیدایش خوردگی دراین سازه هارا می توان عمدتا"دو عامل آلودگی در اثر کلر (حمله کلر به پوشش محافظی که در اثر محیط قلیائی بتن بروی فولادهای داخل بتن ایجاد می گردد)وهمچنین کربناسیون (*Carbonation*) بتن دانست.

سازه های دریائی بنا به کاربرد آنها می تواند باغوطه وری وتماس با آب دریا وهمچنین برخورد امواج دریا درمعرض آلودگی به کلر واقع شوند.ساختمانهائی نیز که تا ساحل دریا فاصله چندانی ندارند از آلودگی کلر مصون نبوده وگاهی سازه ها در اثر بادهائی که ازناحیه دریا وزیده می شود وحاوی کلر است مورد حمله قرار می گیرند.

در بسیاری ازمناطق حوزه خلیج فارس وجود کلر در آبهای زیرزمینی باعث آلودگی شدید پی ها والمان های سازه‌هایی که در یک متری ویا بالاتر از سطح زمین قرارگرفته‌اند شده است .

محافظت کاتدی تسلیحات فولادی بتن درمحیط های آلوده به کلر،اولین بارتوسط (*Davy Humphry*)قبل ازآنکه استفاده ازبتن مسلح کاملاً فراگیری شده باشددرسال ۱۸۲۴پایه گذاری گردید.وی این روش رابرای جلوگیری ازخوردگی وزنگ زدگی کشتیهای سلطنتی انگلستان بکاربرد امروزه این تکنولوژی کاملاًتثبیت ودر طول سی سال گذشته کاربرد آن برای جلوگیری ازخوردگی درفولادهای داخلی بتن مسلح وهمچنین ترمیم درازمدت سازه هائی که دراثرآلودگی به کلردستخوش زنگ خوردگی شده اندبخوبی تبیین شده است وقوانین‌ودستورالعمل های مربوط به آن دراستانداردهای بین المللی درخصوص استفاده فولاد در خاک و آب‌دریاآمده‌است .

علیرغم وجود برخی ازمشکلات دربکارگیری این متد،این تکنیک درحال گسترش وتوسعه سریع بوده ودرحال حاضراکثریت سازه ها درنقاط مختلف جهان بااین متد محافظت می گردد و به عنوان یک روش اقتصادی درجلوگیری ومتوقف ساختن خوردگی دربسیاری ازانواع سازه ها بویژه سازه های دریائی که درمعرض آلودگی کلر هستند ولی هنوزآسیب کلی ندیده‌اند پیشنهاد می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

اصول اولیه زنگ خوردگی (*corrosion*)

خوردگی تسلیحات داخل سازه های بتن آرمه یک پروسهٔ الکترو شیمیائی است که باانتقال یون های مثبت سطح فولادباقطب دیگریعنی کاتدویاآندکه ازنظرپتانسیل باآنهامتفاوت است صورت می پذیرد.دراین رابطه محیط بتن نیزبه عنوان الکترولیت عمل خواهد کرد.بعبارت دیگرترکیب یون های Fe^{++} و $(OH)^{-}$ تولید ماده‌ای رنگی وجامد بنام زنگ راخواهد نمودکه بترتیبی که درادامه خواهد آمد بسرعت باعث ازبین رفتن عمر مفید و دوام و در پاره ای از مواقع فروریختن سازه میگردد.

خوردگی تسلیحات فولادی درسازه های بتنی

بتن حتی هنگامیکه رسماً خشک است مقادیر متنابهی آب در خود دارد در نتیجه فولادهای تقویت کننده موجود در بتن بطور بالقوه در معرض خوردگی است لیکن در اکثر شرایط سیمان پرتلند برای فولادهای داخلی شرایطی را فراهم می‌سازد که از نظرخوردگی در مصونیت خواهند بود. در واقع محیط بتن بطور طبیعی از زنگ‌خوردگی فولادها جلوگیری می‌نماید.دلیل این امرنیز عبارتست از:

۱ - وجود محیطی قلیائی که *PH* درآن حدوداً (*12.63 13.5*) می باشد و حتی با وجود رطوبت واکسیژن، فولادها درحالت غیرفعال ازنظرزنگ زدن (*Passive*) باقی می مانند.

۲- پوشش سیمانی روی تسلیحات (*Cover*) نقش سپری رادارد‌که فولادهاراازعوامل خارجی مخرب ،مصون می‌دارد.بدیهی است میزان حفاظت ازتسلیحات دربتن تابعی ازکیفیت بتن ،عمق وضخامت پوشش (*Cover*) و همچنین اجرای مناسب سازه های بتنی می باشد.

کیفیت از بین رفتن لایهٔ محافظ

عوامل زیادی رامی توان نام برد‌که در از بین‌بردن این حفاظ مؤثر می باشند و به اتفاق آنهازنگ زدن فولادها آغاز می‌گردد. دو عامل مهم واصلی ازبین رفتن این حفاظ عبارتند از یونهای کلر و همچنین اکسیدکربن:

۱ - یون کلر(*Chlorid*)

۲ - اکسیدکربن

دراین رابطه نکته قابل توجه آنستکه باشروع زنگ زدگی درفولادها،ازآنجاکه این ماده حجمی حدود۴برابرحجم فولاد را دارا است لذاباعث ازبین رفتن باندوگیرش بین سیمان وفولادشده واین دوماده راکه درکناریکدیگردرسازه ها ی بتنی معنی یافته اند،جداساخته ولذادرپاره ای مواقع عواقب وخیمی ازجمله فروپاشی آن رادربرداشته است .

www.SID.ir

Archive of SID

لازم به ذکراست که درجریان ازبین رفتن گیرش ودرآمیختگی دوماده سیمان وفولادپوشش بتنی (*Cover*) که ازدیگرنقاط ازنظرضخامت کوچکتراست بصورت ورقه ورقه جداشده وتسلیحات کاملاًدرمعرض شرایط محیطی قرار می گیرند،طبیعی است که دراین حالت میزان فرسایش وسرعت آن افزایش یافته وتاازبین رفتن کامل ارائه خواهدیافت.

روش های شناسائی خوردگی

خوردگی رامی توان ثبت نمود و از طریق کشیدن پتانسیل الکترود و فولاد نسبت به الکترودموجوددرسطح بتن آن را دریافت .تحقیقات جدید نشان میدهدکه بهترین روش کشف مسائل آنستکه بدنبال تغییرات شدیدی بگردیم که درپتانسیل الکترود رخ میدهد.در هرحال روشهایی راکه میتوان نام بردعبارتنداز:

الف : بازبینی بصری (*Visual investigation*)

این امرحداقل کاری است که باید صورت گیرد و بابررسی مداوم درصورت مشاهدهٔ نشانه هائی مبتنی بر وجود زنگ خوردگی درمقام علاج آن برآئیم .

ب : بکارگیری چکش های مخصوص که بازدن به قسمتهای مختلف می توان ازداخل ووضع آن تاحدودی باخبرگردید.

ج :روشهای پیشرفته دیگری که میتوان میزان خوردگی را نیز بدست آورد که البته مستلزم دستگاههای نسبتاً"پیشرفته و بعضاً وجود کامپیوتر وبرنامه های تدوین یافته دراین زمینه می باشدازمهمترین این روشهامی توان :

۱ - روش *Linear Polarization Resistance*

۲ - روش *AC Impedance*

۳ - روش *Weight lost* و ... را نام برد.

www.SID.ir

Archive of SID

روشهای پیشگیری

قبل از ورود به این مبحث باید چند نکته راخاطرنشان ساخت ،نخست اینکه یک بررسی اجمالی ازنقطه نظراقتصادی نشان میدهد که در این رابطه نیز علاج واقعه را قبل از وقوع باید نمود چراکه روشهای شناسائی وتوقف و همچنین ترسیم زنگ خوردگی در سازه هایی که براثر بی توجهی ودر نظر نگرفتن شرایط لازم قبل از ساخت به آن دچار شده‌اند ، بسیار سنگینتر از هزینه هایی است که برای پیشگیری درآغاز موردنیاز است.لذامعقول است که مهندسین علاوه برتوجه ودقت درامرمحاسبات سازه‌ها،ازاین نظرتوجه‌لازم رامعطوف دارنداین امرمستلزم :

الف : شناسائی کامل شرایط محیطی که درآن سازه اجرامی گردد(اعم ازتغییرات درجه حرارت -میزان رطوبت - بارندگی و...بویژه هنگامیکه محل بنای سازه هانزدیک به دریااست .)

ب : شناسائی کامل ازخاک و ترکیبات داخلی آن ،از نقطه نظر وجود سولفات ها، مواد شیمیائی مخّرب، گوناگون جریان آب های زیرزمینی و...

ج :نوع استفاده ای که ازسازه پس ازساخت به عمل خواهدآمد(فرضاًبرای مخازن نگهداری موادشیمیایی، نفت ، گازمایع و...بایدتمهیدات لازم رادرنظرداشت .)

د : حسن اجرا و مطابقت داشتن کلیه مراحل ساخت با استانداردهای شناخته شده .

روشهای پیشگیری وکنترل خوردگی دربتن رابطورموجز می توان چنین دسته بندی نمود.

روشهای قبل ازساخت :

۱ - درنظرگرفتن شرایط جوی درهنگام ساخت وبکاربردن اضافه شونده های مناسب (*Admixtures*)(اعم‌ازکندگیرکننده ها- و یا تندگیرکننده ها)

۲ - استفاده مناسب سیمان باتوجه به شرایط محیط،خاک وترکیبات موجوددرآن مانندسیمان های ضدسولفاته و...(که انواع مختلف آن همراه باکاربردهای آن درکاتالوگ ها مشخص شده است).

۳ - دقت دراجرا،بگونه ای که محصول بدست آمده کاملاً بدون خلل و هرگونه منفذ غیرمتعارف باشد(بویژه‌توجه درعمق لازم پوشش (*Cover*) ودانسیتهٔ بتن)وهمچنین بکارگیری موادآب بندی کننده‌درسیمان .

۴ - نگهداری مناسب بتن درمدت حداقل ۲۸روزاولیه

۵ - جلوگیری ازهرگونه بروز و نشت الکتریکی (ازمدارهای برقی)به سازه که باعث بسرعت ازبین رفتن آن دراثرزنگ خوردگی می گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵ - رنگـها : درمـحیط هـای نـامناسب ازنـظرتأثیرات مـخرب بـربتن ،پـوشاندن فـلزداخـل بـتن بـارنگ (*Coating*)می تواندصورت گیرد.لازم به ذکراست که رنگهای معمولی نه تنها مفیدنیستندبلکه درمحیط قلیایی بتن بشدت ازبین رفته وباعث کم شدن گیرش بتن می گردند دراین.رابطه رنگهای مخصوصی وجوددارد‌که بکارگیری ازآنها توصیه میشود و یا رزین های (*Epoxy*) مناسب بااین امرکه ازطرف کمپانی های مختلفی به بازارعرضه شده است .

۶ - درشرایط بسیارنامناسب ،بویژه محیط های دریائی مانندپایه های پل و...گالوانیزه نمودن فولادهاامری لازم است آزمایشات متعددنشان داده است که گالوانیزه نمودن فولادهابسیارمناسب وبدون هیچگونه تأثیرمنفی هستند صـرفا"دراجـرا بایدکلیه میله هـاقبلاً عـملیات لازم مـانندخم شـدن و...روی آنهاصورت وسپس گالوانیزه گردند.

۷ - برای برخی ازسازه های بتن آرمه از رزین های (*Epoxy*) ویژه جهت پوشاندن سطح خارجی بتن ،برای جلوگیری ازنفوذ موادشیمیائی مخرّب استفاده می شود.(*Surface Treatment*)

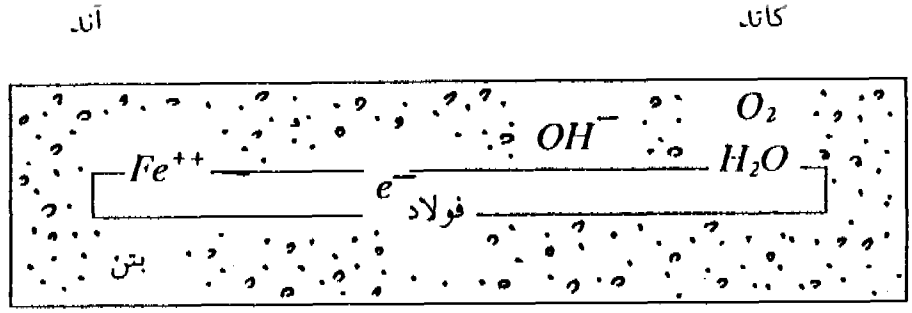
۸ - روش حفاظت کاتدی

کنترل ومهارخوردگی ازطریق محافظت کاتدی

از آنجاکه خوردگی یک واکنش الکتروشیمیائی است ، براثر عبور جریان الکتریسته از الکترولیت (مثل خاک ، آب ، محلولهای مختلف و یا بتن) ایجاد می گردد. این جریان الکتریکی بین سطوح فلزی که دارای اختلاف پتانسیل هستند بوجود می آید.

ایجاد اختلاف پتانسیل بر اثر عوامل متعددی است که میتوان موارد زیر را از مهمترین آنها نام برد:

- عوامل طبیعی ، مشخصات متالوژیکی ، غلظت نمک ، مقدار اکسیژن ، حرارت ، سرعت حلالیت و میزان ناخالصی فلز . لیکن باید توجه داشت که علت اساسی خوردگی همان واکنش الکتروشیمیائی است که با ایجاد جریان درآند ، عبور جریان از الکترولیت و جمع شدن جریان در کاتد خاتمه می یابد در شکل (۱) کیفیت ایجاد پیل خوردگی در بتن بصورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل (۱) پیل خوردگی ایجاد شده دربتن مسلح

www.SID.ir

Archive of SID

اگر یک جریان الکتریکی از خارج به پیل خوردگی متصل شود باعث تغییر پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) آند و کاتد می‌گردد. در صورتیکه با اعمال این جریان الکتریکی تغییر پتانسیل باعث گردد تا اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد صفر شود آنگاه هیچ جریان الکتریکی نخواهیم داشت که نتیجه آن توقف خوردگی است.در حقیقت تعریف محافظت کاتدی عبارتست از : تغییر پتانسیل کاتد و رسانیدن آن به پتانسیل آند. در سازه های بتنی بسته به غلظت کلرور ، اکسیژن و افزودنیهای شیمیائی دیگر ، اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد معمولاً درمحدوده ۲۰ تا ۵۰۰ میلی ولت تغییر می کند.

بنابراین جهت ایجاد حفاظت کاتدی ، به جریان الکتریسیته ای نیازمندیم که معمولاً مقدار آن جهت هرمترمربع از بتن مسلح درحد میلی آمپر است برای مثال انرژی موردنیاز جهت حفاظت کاتدی سازه بتن مسلحی با ۹۰۰ مترمربع مساحت برابر با انرژی موردنیاز جهت روشن کردن یک لامپ ۱۵۰ واتی است .

در سیستم حفاظت کاتدی اصل کلی محافظت ،براساس پائین آوردن پتانسیل فلزاست بنحویکه درحوزهٔمصونیت ترمودینامیک قرارگیرد.وقتی اکسیژن به فلزبرخوردمی کندمرتب به یونهای هیدروکسیل تبدیل شده وباپایین‌آوردن پتانسیل فلز،گرایش آب به تجزیه وتولید هیدروژن افزایش می یابد.نتیجتا"به منظورپایین آوردن این پتانسیل‌بایدجریان رابه فلز وصل کرد دراین رابطه دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الف : سیستم جریانهای مستقیم

دراین روش جریان لازم برای پایین آوردن پتانسیل فلزاز یک مولّداست .

ب : سیستم آندقربانی شونده :

دراین سیستم فلزی که فعالتراست (یعنی قابلیت خوردگی بیشتری دارد)خورده میشودودرواقع بااستفاده ازآن یک فلز دیگر قربانی سازهٔ موردنظرمی گردد. «استفاده ازاین سیستم درکشتی هابرای حفاظت ازبدنه وبویژه پروانه های جلو برندهٔ کشتی که دائماً در معرض محیط دریا و همچنین تلاطم های ناشی ازچرخش پروانه می‌باشد بسیارمشهوراست».

درمحیط های دریایی آلیاژ های روی و آلومینیوم بطورگسترده‌ای مورد استفاده هستند در حالی که منگنز را اغلب در خاک بکارمی برند (بویژه برای حفاظت ازلوله های نفت که در زیر خاک مدفون می‌باشند) چون پتانسیل کم آن اجازه میدهد مسافت های بیشتری راحفاظت نماید.

هنگامیکه یک سازه بشدت به یون های کلر آلوده گردد، روش محافظت کاتدی می تواند یک روش جلوگیری جدیدی راکه کاملاً با روش های قبلی متفاوت است ارائه نماید . چراکه قسمتی از سازه که آلوده (به یون کلر) شده است هنوز سالم است و آسیب ندیده و لازم نیست آن قسمت را از بدنه سازه جدا نمود. در روش های قبلی مرمت و بازسازی ، می بایست همه قسمتهای آلوده شده بتن راکه در مجاورت تسلیحات فولادی هستند

www.SID.ir

Archive of SID

جدا نمود . علیرغم اینکه آن قسمتها هنوز آسیب ندیده‌اند چرا که خوردگی در این مناطق به محض مرمت قسمتهای آسیب دیده آغاز خواهد شد . دلیل این امر آنستکه وقتی خوردگی در مجاورت مناطق آسیب دیده اتفاق می افتد باعث میشود تا یک محافظت کاتدی منطقه ای برای قسمت مجاور منطقه آلوده ایجاد نماید . اما پس از مرمت قسمتهای آسیب دیده ، مناطق آلوده که پتانسیل لازم برای خوردگی را در اثر آلودگی به کلر یافته اند ، شروع به خورده شدن می نمایند.

اما در روش حفاظت کاتدی صرفاً قسمتهای آسیب دیده را می بایست جدا و بازسازی نمود و لزومی به جداسازی قسمتهای آلوده به کلر نمی باشد.

مقایسه اقتصادی متد محافظت کاتدی و دیگر روشهای قبلی مرمت بستگی تام و تمامی ،به شرایط موجود هرسازه و منطقه ای که سازه در آن قرارگرفته است خواهد داشت.

در صورتیکه امکان دسترسی به قسمتهای آسیب دیده و آلوده جهت جداسازی ، مرمت و بازسازی آن وجود داشته باشد و بتوان این امر را بسهولت انجام داد و همچنین تیم کارشناسی موجود باشد روش اصلاح و بازسازی منطقه ای ممکن است اقتصادی تر باشد ، لیکن هنگامیکه دستیابی به قسمت‌های آسیب دیده سازه مشکل باشد و لازم باشد که تعمیر و مرمت سازه بگونه‌ای انجام گیرد که تامدت زمان نسبتاً طولانی مشکل آفرین نباشد ، متد محافظت کاتدی نسبت به دیگر روشها مرجح خواهد بود. و از نظر قیمت ، ارزان تر از روشهایی است که در آن قسمتهای آسیب دیده سازه تخریب و قسمتهای آلوده شده نزدیک به فولادها نیز همگی جدا و مجدداً جایگزین می گردند.

گرچه در آمریکا و دیگر کشورهای جهان برای جلوگیری از خوردگی درعرشه بتنی پلها برای عمر مفید حدوداً ۲۰ سال و برای دیگر سازه ها(برای مدت زمان کمتر) از این روش کمک گرفته میشود ولیکن میتوان گفت این تکنیک هنوز یک متد نسبتاً جوان بوده که در هر موردخاص می بایست مشکلات و مسائلش مورد بررسی قرار گرفته و حل و فصل گردد.

مسئله ای که در بکارگیری این تکنیک در همه کاربردها میتوان ذکر کرد بکارگیری و نصب آندهای دائمی است که میبایست دارای دوام و عمر مفید مطلوب باشند.

مسئله دیگر نیز طراحی یک سیستم صحیح جهت تامین جریان الکتریسته لازم برای محافظت تسلیحات فولادی است بگونه ای که علیرغم وجود تفاوت موجود در مقاومت بین سطح بتن و لایه های مختلف فولاد این مولد بتواند جریان لازم را تامین نماید.

آندهای موجود در فرم های گوناگون و از مواد مختلفی ساخته میشوند از جمله رنگهای الکتریسته *(Conductive Paints)* را میتوان نام برد که ازگرافیت ساخته شده اند و برای ساختمانها و پارکینگهای اتومبیل استفاده میشوند.نوع دیگر شبکه های ساخته شده از سیم های مقاوم در مقابل خوردگی می باشند. در بعضی

www.SID.ir

Archive of SID

موارد ورقه های فلزی *(Precious Metal)* و یا *(Sheathed)* با پلیمرهای هادی الکتریسیته که توسط آستر سیمانی پوشیده شده اند مورد استفاده قرار میگیرند.

از انواع دیگر میتوان آندهای *(Discrete)* که در فرم ورق و یابشکل سیم هستند را نام برد . این نوع آندها را میتوان در داخل و یا بر روی سطح بتن نصب نمود.

طراحی یک سیستم حفاظت کاتدی بایدمتناسب باشرایطی که در فولادها وجود دارد باشد، این شرایط باتوجه به عواملی همچون پوشش بتن *(Cover)* ،میزان رطوبت ، مقاومت *(Resistivity)* و همچنین در دسترس بودن اکسیژن متغیر است.

طراحی یک سیستم صحیح مستلزم انجام آزمایشات دقیقی است که باید بر روی سازه انجام گیرد . از جمله باید مناطق داخلی بتن که ورقه میشوندتشخیص داده شوند، پیوستگی الکتریکی در فولادها کنترل گردد، پتانسیل الکترودها و عمق پوشش *(Cover)* در بتن دقیقاً محاسبه شود. آنگاه سیستم حفاظتی باید در چند منطقه تقسیم گشته و مقدار متناسب و صحیحی از جریان در فولادها توزیع گردد. هنگامیکه این عمل انجام گرفت ، سیستم حفاظت کاتدی نیازمند به ثبت و مانیتورکردن مستمر خواهد داشت تا در قسمتهای مختلف سازه حفاظت لازم برای جلوگیری از خوردگی دائماً کنترل شود.

این مسئله را میتوان با قراردادن نیم پیل *(Half - cells)* و دستگاه ثبت کننده اتوماتیک اندازه گیری پتانسیل در داخل بتن انجام داد.

محافظت بیش از حد *(Over Protection)* بعضی از مناطق سازه که باعث تولید هیدروژن می گردد غیرقابل اجتناب بوده و بناچار در عمل باید تصاعد هیدروژن را تا حدودی پذیرفت. بدیهی است در صورتیکه کنترل بخوبی صورت گیرد ، و سیستم حفاظت کاتدی نیز بطور صحیح طراحی شده باشد تصاعد هیدروژن به حداقل مقدارکاهش یافته و وجود آن باعث صدمه و زیان نمی گردد.

در نهایت باید به این حقیقت توجه داشت که در مورد بتن پیش تنیده ، متد حفاظت کاتدی نباید اعمال گردد. زیرا در اثر وجود هیدروژن، فولادها بحالت ترد و شکننده درآمده و خطر شکستن و پاره شدن کابلهای فولادی در سازه پیش تنیده بسیار زیاد خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

طراحی و نصب سیستم حفاظت کاتدی

در دو دهه اخیر از روش حفاظت کاتدی با آندهائی از جنسهای مختلف استفاده شده است در این میان روش استفاده از آند مشبک تیتانیوم در حفاظت کاتدی بسیار اقتصادی است .

در این سیستم فلز پایه در آند مشبک ، تیتانیوم که یکی از عناصر مقاوم و پایدار در برابر پدیده خوردگی می باشد انتخاب شده است . علیرغم شکنندگی آن قدرت تحمل تنش کششی نسبتاً زیاد (بیشتر از MPa ۰/۲۴) کم بودن وزن مخصوص از محسنات آن بشمار میرود.

دارابودن ضریب استنباط حرارتی $k/^{-6}$۱۰×۸/۷ که حدوداً برابر با ضریب انسباط حرارتی فولاد و بتن است باعث میگردد با تغییر درجه حرارت تنشهای حرارتی در آن ایجاد نشود .

عمر آند نیز یکی از عوامل بسیار مهم در طراحی سیستم حفاظت کاتدی است زیرا این سیستم باید حدوداً ۲۰ تا ۴۰ سال بر عمر سازه بتن مسلحی که مورد حفاظت قرارگرفته است بیفزاید.

اولین مرحله برای احیای سازه بررسی سطح آن است که شامل بررسی کیفیت بتن ، درصد پوسته شدن سطح بتن ، هوازدگی میزان ترکهای موجود در آن می باشد همچنین مشخصاتی مثل مقدار یون کلرور موجود در بتن کربناته شدن به PH بتن ، مقاومت الکتریکی بتن ، ضخامت پوشش روی آرماتور نیز لازم است . با اندازه گیری پتانسیل آرماتورهای سطحی بتن نسبت به الکترود مبنا و همچنین معاینه دقیق آرماتورها میزان خوردگی آنها تعیین شود.

پس از مشخص شدن وضعیت سازه ، قبل از نصب شبکه آندی و سیستم حفاظت کاتدی باید تمامی قسمتهای مورد نیاز سازه تعمیر شوند تعمیر سازه شامل تخریب و برداشتن لایه خراب بتن ، بازرسی دقیق و کامل آرماتورهای نمایان ، تعویض کامل قسمت خرده شده آرماتورهائی که شدیداً خورده شده اند یا بر اثر خوردگی قطع شده اند و متصل کردن آرماتورهای قطع شده به یکدیگر در این رابطه اتصال الکتریکی آرماتورها و اجزای فلزی داخل بتن به یکدیگر بسیار با اهمیت بوده بایستی دقیقاً بررسی شوند در مرحله پایانی سازه تعمیرشده توسط یک لایه بتن مناسب پوشیده میشود برای محاسبه شدت جریان لازم برای حفاظت کاتدی و تعیین سطح آرماتورهای موجود در واحد سطح بتن مسلح ، نقشه های اجرائی سازه نیز مورد نیاز خواهد بود سپس نوع آند مشبک مورد استفاده در سیستم حفاظت کاتدی مشخص میگردد.آخرین مرحله مشخص کردن تعداد میله های پخش کننده جریان در آند مشبک ومشخص کردن و تعداد سطوح آندی (جهت انجام بهتر حفاظت کاتدی هرسطح بزرگ به چند سطح کوچکتر تقسیم میشود) جهت بهینه کردن سیستم و اقتصادی کردن آن.

طرز عمل در نصب آند مشبک و میله های پخش کننده جریان بدین ترتیب است که نخست شبکه آندی را باز کرده و مستقیماً بر روی سطح بتنی پهن می کنند سپس توسط بستهای پلاستیکی که توسط چکش در

www.SID.ir

Archive of SID

سوراخهای سطح بتن کوبیده میشوند آن را برروی سطح بتن محکم می نمایند آند مشبک راکه انعطاف پذیر و سبک وزن است ($0/2-0/1 kg/m^2$)در محل به اندازه و شکل مورد نیاز برش میدهند شبکه آندی را در تمامی محلهای تماسش با میله توزیع کننده جریان به آن جوش داده و بدینترتیب اتصال الکتریکی شبکه آندی با میله توزیع کننده جریان برقرار میشود میله های توزیع کننده جریان در خارج آن به سیمهای برق سیستمهای برق سیستم حفاظت کاتدی متصل می شوند برای جلوگیری از ایجاد متصل کوتاه بین شبکه آندی با آرماتورها و دیگر ملحقات فلزی سازه باید کنترل شدند.

شبکه آندی نصب شده توسط یک لایه که دارای مقاومت الکتریکی کمتر از ۵۰۰ اهم - متر است روکش میشود.ملاک روکش را میتوان به روش های گوناگون از جمله پاشیدن ملات یا روشهای معمولی ملات کشی بر روی سطح بتنی انجام داد.خوب چسبیدن پوشش روی آند مشبک به سطح سازه بسیار مهم است و اگر پوشش روی شبکه آندی از سطح بتن جدا شود دیگر جریانی نمی تواند عبور کند و اگر این جدائی درسطح وسیعی اتفاق بیافتد آرماتورهای آن منطقه دیگر حفاظت نخواهند شد.

جهت حفاظت کاتدی و برای تولید جریان $D.C$ باولتاژ یا جریان ثابت نیاز به یکدستگاه منبع تغذیه $D.C$ می باشد.

تعیین ولتاژ و جریان مورد نیاز یک سیستم حفاظت کاتدی بستگی به عواملی نظیر ، حرارت و رطوبت (عوامل محیطی) ، وضعیت سازه (مقدار یون کلرور و آب موجود در بتن) خواهد داشت .

قدرت مورد نیاز برای حفاظت کاتدی یک سازه با توجه به شدت جریان کم و ولتاژ کار پائین آن حدود ۰/۰۱وات بر مترمربع از سطح سازه است که از نظر اقتصادی بسیار مقرون بصرفه میباشد.

نتیجه گیری:

۱ - سازه های دریائی بسته به کاربردشان بدلیل مجاورت با دریا در معرض آلودگی کلر هستند . در صورتیکه این سازه‌ها از بتن مسلح ساخته شده باشند با رسوخ یون کلر و از بین رفتن لایه محافظ آرماتورها دچار خوردگی شده که نهایتاً باعث فروپاشی سازه میگردد.

محافظت کاتدی تسلیحات فولادی بتن در محیط های آلوده به کلر بعنوان یک روش اقتصادی در جلوگیری و متوقف ساختن خوردگی مطرح و در حال گسترش و توسعه است.مقایسه اقتصادی متد حفاظت کاتدی و دیگر روشهای مرمت نشان میدهد که این روش بسیار اقتصادی و مقرون‌بصرفه‌است.

۲ - روش محافظت کاتدی یک روش جلوگیری جدیدی است که با روش های قبلی کاملاً متفاوت است در روشهای قبلی مرمت و بازسازی می بایست بر روی همه قسمتهای آلوده شده بتن که در مجاورت تسلیحات

www.SID.ir

Archive of SID

فولادی هستند اعمال نمود(علیرغم اینکه آن قسمتها هنوز آسیب ندیده اند) لیکن در روش محافظت کاتدی صرفاً قسمتهای آسیب دیده را می بایست جدا و بازسازی نمود و لزومی به جداسازی قسمتهای آلوده به کلر نمی باشد.

۳ - محافظت بیش از حد بعضی از مناطق سازه که باعث تولید هیدورژن می گردد غیرقابل اجتناب و در عمل بالاجبار وجود تصاعد هیدروژن را تا حدودی باید پذیرفت . بدیهی است در صورتیکه کنترل بخوبی صورت گیرد و سیستم حفاظت کاتدی نیز درست طراحی شده باشد تصاعد هیدروژن به حداقل مقدار کاهش یافته و وجود آن باعث صدمه و زیان نمی گردد.

۴ - متد حفاظت کاتدی برای محافظت بتن پیش تنیده نباید اعمال گردد. چراکه اثر وجود هیدروژن فولادها را بحالت ترد و شکننده در خواهد آورد. و خطر شکستن و پاره شدن کابلها در سازه های پیش تنیده بسیار زیاد است.

۵ - در طراحی سیستم حفاظت کاتدی عمر آند یکی از عوامل مهم و تعیین کننده است درمیان آندهای موجود استفاده از آند مشبک تیتانیوم بدلیل داشتن محسنات ویژه آن پیشنهاد میگردد .

۶ - طراحی سیستم صحیح حفاظت کاتدی مستلزم انجام آزمایشات دقیقی است و نیازمند به ثبت و مانیتور کردن مستمر خواهد داشت .

۷ - امروزه روش حفاظت کاتدی تسلیحات فولادی بتن مسلح در سازه های دریائی که در محیطی خورنده از نظر وجود یون کلر - سیکل های ترو خشک - دما و رطوبت بالا می باشند بعنوان یک روش تثبیت شده مطرح و قوانین و دستورالعمل های مربوط به آن در استانداردهای بین المللی تبیین شده است.

منابع :

1. Apostolos , John A. , Cathodic Protection of Reinforced Concrete Using Metallized Coatings and Conductive paint Caltrans Laboratory Report , Transportation research Board , Jon . 1984.

2 . Brown , R.P. , Kessler , R.j , Corrosion Prevention of Reinforcing Steel in Concrete Exposed to Marine Environments , Research Quarterly Progress Report, Florida Dot Project C-19-79 , 1981 .

www.SID.ir

Archive of SID

3 . Brown , Robert P., Kessler , Richard J. ,A New Concept in Cathodic Protection of Steel in Concrete - The Use of Conductive Materials , Paper No . 179 , NACE , Corrosion/83 , April 1983 .

4 . Brown , RebertP., Powers , Rondney G., Update on the Use of Conductive Materials for Cathodic Protection of Steel in Concerte , Paper No . 164 , NACE , Corrosion/85 , March 1985.

5 . Cathodic Protection , Corrosion Science , Materials Selection , U.K. Corrosion 86 , Advance Copy , Institution of Corrosion Science , Birmingham (1986).

6 . Hoar , T.P. , Mears , R.B. and Rothwell , G.P. , Corrosion Science , Vol . 5(1965) P.279.

7 . R.A.Barnhart , FHWA Position on Cathodic Protection System , US Department of Transportation , Federal Highway Administration Memorandum , April 23 , 1982 .

www.SID.ir

Archive of SID

Cathode Protection Method to Safeguard Maritime Structures

M. H. Ramesht – CEO at Housing Corporation

Abstract

Since the beginning of the 20th century, implementation of armed concrete was suggested as a choice in construction projects. The features of high strength, long lifespan, ease of implementation and also being economic (compared to steel structures especially after world war two and the lack of iron) has caused the armed concrete to have a vast application range. In most of these application cases, the steel armature of concrete were durable with no problem, so it is obvious that the change in environmental conditions can create serious damages caused by the erosion of steel in some concrete structures and constructions. If the alkaline environment created within concrete because of cement hydration that protects the steels within the armed concrete from erosion fades because of salt pollution (and chloride attack), the steel armature of concrete will face erosion. These factors in fact determine the electrochemical conditions that start the erosion process. In order to stop or prevent the erosion from happening, a low current can be passed through the steel so that the electrical potential needed for erosion can be obtained in no parts of the steel armature. Today, this method is known as the cathode protection of the steel in armed concrete used for maritime structures within an erosive environment, because of the existence of chloride ion, dry and wet cycles, high levels of humidity and temperature. This method is considered as a proved strategy and its instructions and principles are explained in international standards.

Keywords: cathode protection; armed concrete; maritime structures

www.SID.ir