حفاظت در مقابل خوردگي به روش حفاظت كاتديك

رسول جمشيدي شركت پتروشيمي كرمانشاه

خـوردگي :خـوردگي عبـارت اسـت از انهـدام و فـساد و تغييـر و دگرگـوني در خـواص و مشخصات مواد (عمدتا"فلزات) به علت واكنش آنها با محيط اطراف البته بايد توجه داشت همه محيط ها خورنده هستند اما باشدت وقدرتهاي متفاوت.

پديده خوردگی تنوع گسترده اي دارد و خوردگي را نمي‌توان به طور كامل مهار كرد ولي ميتوان آن را به يك سيستم ديگر انتقال داده وعمر سازه را طولاني نمود كه براي جلوگيري از آن در هر شرايط خاص روش معيني مي‌بايست به كارگرفته شود.

كاربرد هاي مفيد خوردگي :

١) ماشينكاري شيميايي
٢) آندايز كردن آلومينيوم
٣) پيل هاي الكتروشيميايي

روشهاي جلوگيري از خوردگي :

١) انتخاب مواد (فلزات و آلياژها ، غير فلزات ، خالص كردن فلز)
٢) تغيير محيط خورنده (كم كردن دما ، كم كردن سرعت ، خارج كردن اكسيژن يا اكسيد كننده‌ها ، تغيير غلظت).
٣) كاربرد ممانعت كننده‌ها[1]
۴) طراحي (ضخامت ديواره ، مباني طرحي)
۵) حفاظت **كاتديك و حفاظت آندي**
۶) استفاده از انواع پوششها (پوششهاي فلزي و پوششهاي غير آلي ديگر ، پوششهاي آلي و...)

حفاظـت كاتـديك: حفاظـت كاتـديك بـه روش الكتروشـيميايي عمـل جـاري نمـودن جريـان الكتريسيته مستقيم (dc) بـه مرجعي كـه شرايط آن جهت خوردگي و تشكيل سلول الكتروشيميايي فراهم است مي باشد.

توابع مورد نياز براي حفاظت كاتديك : جهت انجام حفاظت كاتديك بايد سازه مورد حفاظت از نظر الكتريكي پيوسته باشد و در حجم كافي از الكتروليت قرار داشته باشد تا مسير توزيع جريان را بر روي استراكچر فراهم نمايد

پتانسيل مورد نياز جهت حفاظت كاتديك : هر فلزي كه در يك الكتروليت قرار گيرد با توجه به انرژي آزاد اتم هايش يك پتانسيل الكتروشيميايي مي پذيرد بنابراين براي جلوگيري از فعاليت آندي در واكنش الكتروشيميايي بايستي از الكترون دهي آن (فلز تحت حفاظت) جلوگيري شود .با توجه به اينكه الكترونها مي توانند تنها از سطحي با پتانسيل (منفي) بيشتر به يك سطح با

1- inhibitor

پتانسيل (منفي) كمتر حركت داشته باشند .اتصال فلز به منبعي كه الكترون منفي بيشتري داشته باشد ميتواند از خوردگي آن جلوگيري كند.

اندازه پتانسيل اندازهگيري شده مشخص ميكند سازه تحت حفاظت است يا نه. به وسيله تركيبي از تئوري خوردگي، تستهاي آزمايشگاهي و تجربي و از همه مهمتر تجربيات محلي كه روي سازه هاي مختلف به دست آمده اندازه پتانسيل سازه به الكتروليت داده ميشود. براي اندازهگيري اين اختلاف پتانسيل از يك ولتمتر با مقاومت بالا و يك الكترود مرجع كه در تماس با الكتروليت قرار گرفته است استفاده ميشود. براي سازههاي دفن شده الكترود مرجع مس/سولفات[1] مس بيشترين كاربرد را دارد و براي سازههاي غرق شده در آب الكترود مرجع نقره/كلرايد نقره[2] به طور معمول مورد استفاده قرار ميگيرد. در مواقع لزوم همچنين ميتوان از الكترود مرجعهاي ديگر نيز استفاده كرد.

پتانسيل اندازهگيري شده در خطوط لوله دفن شده " پتانسيل لوله نسبت به زمين"[3] ناميده ميشود و به طور كلي اين نتيجه اندازهگيري " پتانسيل سازه به الكتروليت"[4] ناميده ميشود

بيشتر معيارهاي مورد استفاده در مقدار پتانسيل سازه به الكتروليت در استاندارد RP- 01- 69 NACE آمده است با عنوان توصيههاي عملي براي كنترل خوردگي بيروني لولههاي دفن شده و يا شناور در آب[5].

نتيجه حفاظت زير حد استاندارد: اگر پتانسيل سازه از مقدار مورد نياز ، با اعمال حفاظت كاتديك و يا تركيبي با ديگر روشها كمتر باشد خوردگي بر روي سازه به هر ترتيب رخ خواهد داد و زماني نيز كه جريان حفاظت قطع شود خوردگي به رنج نرمال خود برميگردد.

نتيجه حفاظت بيش از حد استاندارد: علاوه بر خسارتها و خوردگيهاي شيميايي رخ داده بر روي آلومينيوم و سرب با اعمال ولتاژ بيش از حد اين ولتاژ بر روي ديگر فلزات نيز خسارتهايي به دنبال دارد. افزودن برخرابي آندها و مصرف توان الكتريكي بالا ، پتانسيل زياد باعث خراب شدن (باز شدن)[6] پوشش لوله، تردي هيدروژني[7] بر روي نوع خاصي از فولاد، بخصوص فولاد با استحكام بالا ايجاد ميكنند.

دو نوع سيستم حفاظت كاتديك وجود دارد :

۱- سيستم حفاظت كاتديك آندهاي فداشونده
۲- سيستم حفاظت كاتديك شدت جريان اعمالي

سيستم آندهاي فداشونده : در حفاظت با آندهاي فدا شونده خوردگي از سطح سازه به روي آند منتقل مي شود در اينجا آند مصرف مي شود كه در محاسبات طراحي و نصب در نظر گرفته مي شود و زماني كه آند مصرف شد به سادگي قابل تعويض است. عمر اين آندها معمولا" بين ۱۰ تا ۱۵ سال ميباشد كه به سايز و ميزان جرياني كه ازآن عبور مي كند بستگي دارد .

---

[1] - Copper/Copper sulphate reference electrode
[2] - Silver/silver chloride reference electrode
[3] - Pipe- to- soil potential
4- structure to electrolyte potential
1- Recommended practice for control of external corrosion on under ground or submerged piping system.
[6] -disbandment
3- hydrogen embrittlement

جنس آند : آندهاي فدا شونده از فلزات نسبتا" خالص مثل روي ، منيزيم ، آلياژ منيزيم يا آلومينوم ساخته مي شوند كه بسته به محل مصرف از يكي از آنها استفاده مي شود . در عمل از Backfill جهت پايين آوردن مقاومت اطراف و خروجي بهتر استفاده مي شود.

سيستم شدت جريان اعمالي : از ديدگاه حفاظت سازه سيستم شدت جريان اعمالي مشابه آندهاي فدا شونده است در اينجا الكترونها از طريق يك منبع تامين مي شوند و مدار از طريق خاك بسته مي شود در سيستم شدت جريان اعمالي جريان الكتريكي مستقيم يك اختلاف ولتاژ بين آند و سازه ايجاد مي كند مصرف آند در اينجا جهت تامين الكترون سازه نيست و الكترونها از طريق منبع تامين مي‌گردند. طراحي ، نصب ، تعميرات و نگهداري سيستم شدت جريان اعمالي در جلوگيري از خوردگي از آند فدا شونده موثرتر است.

جنس آند : آند در روش جريان اعمالي معمولا" از موادي انتخاب مي شود كه ظرفيت بالايي در عبور جريان به محيط را داشته باشد و خود كمترين خوردگي را داشته باشد. گرافيت [۱] و آهن سليكوني [۲] بيشترين استفاده را به عنوان آند در حفاظت كاتديك جريان اعمالي دارند.مواد ديگري كه به عنوان آند قابل استفاده اند مگنتيت[۳] ، پلاتينيوم[٤] و جديدا" سراميك با پوشش اكسيده [٥] مي باشند معمولا" در هنگام اجراي آند در خاك از مواد كربندار جهت پايين آوردن مقاومت الكتريكي آند استفاده مي شود با اين كار هم مقاومت اطراف آند كاهش پيدا مي كند و هم گازهايي كه در اطراف آند تشكيل مي شوند اجازه تخليه مي يابند.

روش طراحي كلي: اصول كلي طراحي براي هر دو سيستم آندهاي فدا شونده و جريان اعمالي يكسان است. ابتدا مقدار جريان حفاظتي محاسبه مي‌شود سپس بهترين روش اعمال جريان به سازه انتخاب مي‌شود. در بسياري از موارد مي‌توان هر دو روش آند فدا شونده و جريان اعمالي استفاده كرد.

در طراحي بايد موارد زير را در نظر داشت : دستور العمل‌ها و نقشه ها براى سازه كه بايد حفاظت شود ، نقشه هاى سايت ، بازبيني محلي ، آناليز آب ، مشخصات خاك ، موقعيت ديگر سازه‌هاي موجود در محل ، در دسترس بودن منبع AC ، جريان مورد نياز ، انتخاب سيستم شدت جريان اعمالى يا آند فدا شونده

جريان مورد نياز : بهترين روش مشخص نمودن جريان مورد نياز حفاظت سازه نصب و بهره‌برداري از يك سيستم حفاظت كاتديك موقت و اندازه‌گيري‌هاي واقعي جريان است. جهت طراحي سيستم حفاظت كاتديك براي يك سازه جديد مي‌توان از جداول ۱ و ۲ استفاده كرد. جدول ۱ جريان مورد نياز براي سازه‌هاي فولادي بدون پوشش را داده است. جدول ۲ جريان مورد نياز حفاظت سازه‌هاي فولادي پوشش‌دار را حاوي مي باشد. همانطور كه از جداول پيداست جريان حفاظتي براي سازه‌هاي پوشش‌دار نسبت به سازه‌هاي بدون پوشش كمتر است اين كاهش جريان حفاظتي هزينه‌ها را در مقايسه با ديگر روشهاي كاهش جريان حفاظتي بيشتر كاهش مي‌دهد.

---

[1]- graphit
[2]- high silicon cast iron
[3]- magnetite
[4]- platinum
[5]- oxide coated ceramic

جدول ١:

ENVIRONMENT	MILLIAMPERES PER SQUARE FOOT (mA/ft²)
Soil with resistivity <1,000 ohm-cm	6.0 - 25.0
Soil with resistivity 1,000 - 10,000 ohm-cm	3.0 - 6.0
Soil with resistivity 10,000 - 30,000 ohm-cm	2.0 - 3.0
Soil with resistivity >30,000 ohm-cm	1.0 - 2.0
Highly aggressive soil with anaerobic bacteria	15.0 - 40.0
Still fresh water	2.0 - 4.0
Moving fresh water	4.0 - 6.0
Turbulent fresh water	5.0 - 15.0
Hot fresh water	5.0 - 15.0
Still seawater	1.0 - 3.0
Moving seawater	3.0 - 25.0
Concrete	0.5 - 1.5

جدول ٢:

ENVIRONMENT	MILLIAMPERES PER SQUARE FOOT (mA/ft²)
Pipeline, epoxy or other high performance coating	0.001 - 0.005
Pipeline, reinforced coal tar	0.005 - 0.025
Pipeline, grease coating with wrapper	0.05 - 0.150
Pipeline, asphalt mastic 1/2" thick	0.001 - 0.005
Pipeline, old asphalt, or other deteriorated coating	0.05 - 0.35
Pipeline, old paint coating	0.10 - 0.30
Tank bottoms	0.05 - 2.0
Tanks for cold potable water	0.05 - 2.0
Tanks for cold seawater	0.05 - 4.0
Turbulent cold water or hot potable water tanks	0.30 - 3.0
Steel sheet piling fresh water side	0.10 - 1.5
Steel sheet piling seawater side	0.10 - 2.0
Steel sheet piling soil side	0.05 - 1.0

انتخاب روش جريان اعمالي يا آندهاي فدا شونده: انتخاب و استفاده از سيستم حفاظت كاتديك بستگي به دو مورد دارد: ١- هزينه ٢- عملي بودن. در بعضي مواقع هر دو سيستم در طراحي يك سيستم جهت انجام حفاظت بهينه در نظر گرفته مي‌شود. در بررسي‌هاي اقتصادي بايد عمر سيستم، هزينه بهره‌برداري، هزينه نگهداري و جايگزيني سيستم در نظر گرفته شود. به طور كلي براي سيستم‌هاي با جريان مورد نياز كم (0.5A و يا سازه با طول كمتر از ١٠٠ فوت) بيشتر از سيستم آندهاي فدا شونده استفاده مي‌شود و براي سازه‌هاي با جريان مورد نياز زياد(١A و بيشتر يا سازه‌هاي با طول بيشتر از ١٠٠ فوت) بيشتر از سيستم جريان اعمالي استفاده مي‌شود. از ديگر مزيات سيستم جريان اعمالي هزينه كم نگهداري و كاهش ميزان تداخل كه ناشي از جريان كم و فاصله كم آند به سازه است مي‌باشد. سيستم جريان اعمالي به طور كلي در جاهايي استفاده مي‌شود كه جريان مورد نياز بيشتر از جريان قابل تأمين به وسيله آندهاي فدا شونده باشد. اين امر ممكن است از مقاومت بالاي زمين ناشي شود كه باعث محدود شدن جريان خروجي آندهاي فدا شونده مي‌شود و يا به دليل جريان مورد نياز زياد سازه باشد كه ناشي از پوشش نامناسب سازه و يا بزرگ بودن سطح سازه است.

مهمترين مزيت سيستم جريان اعمالي نسبت به آند فدا شونده نبود محدوديت ولتاژ و عدم وابستگي به پتانسيل خوردگي فلز فعال(آند فداشونده) مي‌باشد. قابليت انتخاب پتانسيل اعمالي مناسب

و تنظيم ولتاژ پس از نصب سيستم به طراح و بهره‌بردار سيستم حفاظت كاتديك جريان اعمالي امكان انعطاف براي جبران‌سازي ولتاژ در شرايط مختلف محيطي را مي‌دهد. اين مزيت سيستم حفاظت كاتديك شدت جريان اعمالي به طراح اين اجازه را مي‌دهد تا محل بستر آندي را براي توزيع بهينه جريان حفاظتي با كمترين تداخل انتخاب كند. همچنين قابليت تغيير پتانسيل اعمالي در جريان اعمالي امكان حفاظت سازه‌هايي را كه در الكتروليت با مقاومت بالا قرار دارند و خروجي آند فدا شونده در آن محيطهاي محدود مي‌شود را مي‌دهد.

مهمترين مزيت بهره‌برداري از پتانسيل اعمالي متغير قابليت تنظيم سيستم به ازاي تغييرات مقاومت خاك، شرايط آند، شرايط سطح سازه (پوشش) و اضافه شدن سازه‌ي ديگر مي‌باشد.

تحليل فاكتورهاي طراحي: فاكتورهاي زير در طراحي هر نوع سيستم حفاظت كاتديك بايد در نظر گرفته شوند.

a) مقاومت آند به الكتروليت (خروجي آند فدا شونده): اين مورد شامل تعيين مقاومت خاك، تأثير فاصله و شكل اجراي آندها، جهت‌گيري و چينش آند و موقعيت نصب آند به سازه تحت حفاظت و سازه‌هاي ديگر موجود در محل است.

b) وزن آند براي تعيين عمر مورد نياز آند: اين مورد براي هر دو نوع سيستم خيلي مهم است. 1/Ayr در آند آهن سليكوني و 1bs/A.yr 2.5 براي آند گرافيتي مصرف معمول آند در سيستم جريان اعمال است.

c) استفاده از Backfill خاص در اطراف آند: از Backfill جهت بالا بردن بازده آند بايستي استفاده شود. زماني كه آند در آب غوطه‌ور است و يا در زير آب نصب مي‌شود نيازي به استفاده از Backfill نمي‌باشد.

d) تأثير تغييرات فصلي بر روي مقاومت الكتروليت ناشي ازتغييرات گذردهي در اثر رطوبت يا تغييرات سطح دريا.

e) مقاومت كابل: انتخاب سايز كابل بستگي به قيمت و تحليل هاي كابل صورت مي‌پذيرد.

f) آسيب‌پذيري فيزيكي

g) موقعيت سازه به سازه‌هاي متصل و اتصالات عايق.

h) تعداد، نوع و موقعيت مكانهاي تست براي تنظيمات اوليه و بازديدهاي دوره‌اي براي نگهداري.

i) امكانپذيري و هزينه‌هاي نگهداري.

مشخص نمودن مقدار مقاومت: مرحله بعدي در طراحي سيستم جريان اعمالي مشخص نمودن مقاومت مدار است. اين مقدار به فاكتورهاي زيادي بستگي دارد. در عمده سيستم‌ها مقاومت آند و يا گروه آندي (بستر آندي)[1] موردي است كه بايد در مقاومت كلي مدار كنترل شود اين فاكتور به سادگي با افزايش تعداد آندها كنترل مي‌شود (پايين آورده مي‌شود.). اين مورد تابعي از مقاومت خاك است. هزينه تعداد آندهاي مورد استفاده با هزينه منبع و ركتيفايري كه ولتاژ و جريان آن مشخص شده مقايسه مي‌شود و مورد مناسب‌تر انتخاب مي‌شود. مقاومت بستر آندي زير 2 ohms مقاومت مطلوبي خواهد بود. همچنين با بروز اشكال در اجراي سيستم مثل سيستم ارتباطي آندها مي‌تواند ولتاژ زيادي را حاصل كند كه بايد از وقوع آن تا حد امكان جلوگيري شود.

مشخص نمودن مقاومت الكتروليت :

خاك : بهترين روش تعيين مقاومت خاك در محل با استفاده از روش چهار پينه‌ي ونر[2] است. در اين روش جرياني از دو اكترود عبور داده مي‌شود و افت ولتاژ درون خاك ناشي از عبور

[1] -Anode bed
2-Wenner

جريان با يك جفت الكترود ديگر اندازه‌گيري مي‌شود. الكترودها بايد در يك خط راست باشند. ابزارهاي ويژه‌اي براي تأمين جريان و اندازه‌گيري افت ولتاژ به كار مي‌رود. براي كاهش اثر جريان‌هاي نشستي در محل و پلاريزاسيون در الكترودها از جريان AC استفاده مي‌شود و مقاومت خاك از مقدار نشان داده شده با استفاده از فرمول ذيل محاسبه مي‌شود.

a)معادله(۴-۴):

مقدار قرائت شده *(feet) فاصله بين پينها* 191.5=(ohms-cm) مقاومت

مقاومت اندازه‌گيري شده بر حسب اهم بر سانتي‌متر يا اهم بر سانتي‌متر مكعب نيز بيان مي‌شود.

مايعات: مقاومت مايعات مي‌تواند به روش چهار پينه ونر و يا جعبه خاك و يا با استفاده از روش اندازه‌گيري هدايت كه به طور خاص براي اندازه‌گيري هدايت محلول‌ها طراحي شده‌اند استفاده كرد.

يك روش ساده براي تخمين و بدست آوردن مقاومت آندهاي گرافيت با بلندي ۶۰ اينچ[1] كه به طور عمودي و در چاله به قطر ۸ تا ۱۰ اينچ و عمق ۱۰ فوت با Backfilled يا بصورت افقي در عرض ۱ فوت و با Backfilled پودر زغال و با درازاي كانال ۱۰ فوت و عمق ۶ فوت در زير آورده شده است. زماني كه براي پايين آوردن مقاومت از چند آند به طور موازي استفاده مي‌شود، ضريب تصميح بايد براي بدست آوردن مقاومت كلي مدار استفاده شود.

معادله (۲-۴):

$$R_v = Pf/537$$

$$R_h = Pf/483$$

R_v = مقاومت بستر آند عمودي

R_h = مقاومت بستر آند افقي

P= مقاومت خاك برحسب اهم بر سانتي‌متر

f= ضريب تصحيح براي تركيب آندها (f براي يك آند برابر ۱ و براي تعدادي آند از جدول ۵ به دست مي‌آيد.)

موازي نمودن آندها: روش معمول براي پايين آوردن مقاومت بستر آندي اتصال چندين آند به صورت موازي با يكديگر است.

در اينجا مقاومت گروه آندها كمتر از مقاومت آند تكي مي‌شود ولي براي محاسبه مقاومت معادل در اينجا از روابط معمولي مقاومت‌ها موازي استفاده نمي‌شود زيرا در اينجا آندها بر روي يكديگر تأثير مي‌گذارند. اگر آندها به صورت يك رديف موازي قرار گيرند مقاومت گروه آندها مي‌تواند تقريباً به وسيله فرمول زير به دست آيد.

معادله(۶-۴):

$$R_n = \left(\frac{1}{n}\right) R_v + P_s \frac{F}{S}$$

R_n : مقاومت معادل آند به الكتروليت براي گروه عمودي آندها با فاصله برابر و در يك رديف نسبت به نقطع مرجع دور (ohms)

N : تعداد آندها

R_v : مقاومت آند به الكتروليت براي آند تكي با نصب عمودي نسب به نقطه مرجع دور (ohms)

P_s : مقاومت الكتروليت (ohm- cm) با فاصله پين معادل S

S : فاصله آندها از يكديگر (Feet)

F : ضريب موازي از جدول زير

[1] -60- inch - long

مشخصات رکیتفایر و ولتاژ: با استفاده از مقاومت کلي مدار و جریان مورد نیاز سیستم ولتاژ رکتیفایر تقریباً با استفاده از قانون اهم محاسبه مي‌شود:

معادله:

$$V=IR$$

V : ولتاژ مورد نیاز
I : جریان مورد نیاز
R : مقاومت معادل مدار

به طور دقیقتر رکیتفایر و یا دیگر منابع علاوه بر در نظر گرفتن ولتاژ و جریان مورد نیاز به واسطه خرابي پوشش و همچنین فرسودگي منبع و خطاي طراحي انتخاب مي‌شود.

تداخل: جاري شدن جریان از مسیرهاي نامطلوب که باعث تسریع تخریب سازه‌هاي مجاور مي‌شود تداخل[1] نامیده مي‌شود. سازه‌هاي مجاور معمولاً سازه خارجي[2] نامیده مي‌شوند.

پیدا کردن تداخل: مسأله تداخل حفاظت کاتدیك به طور خیلي معمولي با اندازه‌گیري پتانسیل سازه به الکترولیت و با اندازه‌گیري جریان در طول سازه به وسیله اندازه‌گیري افت پتانسیل (IR) ایجاد شده به وسیله جریان جاري شده در مقاومت سازه مشخص مي‌شود.

تداخل را مي‌توان با روشهاي زیر کنترل نمود:

کنترل تداخل – انتخاب صحیح جایگاه بستر آندی
کنترل تداخل - اتصال مستقیم سازه تحت حفاظت و سازه خارجي
کنترل تداخل – اتصال همراه مقاومت سازه تحت حفاظت و سازه خارجي
کنترل تداخل – بوسیله استفاده از آند فدا شونده

[1] -interference
[2] -foreign structure