

۴. سیستم پوشش نواری برای محافظت از خوردگی خطوط لوله

نیاز به محافظت از خطوط لوله های زیرزمینی از خوردگی از حدود ۶۰ سال پیش شروع شده است. تکامل پوشش های محافظ خطوط لوله با استفاده از آسفالت، زغال سنگ شروع شده و تا نوارهایی سرد که با نفوذ پیوندهای اپوکسی همراه است و اخیراً به سیستم سه لایه رسیده است. سیستم نوار سرد اعمالی، که یکی از دو سیستم پوششی برجسته در آمریکاست در خطوط لوله ی حامل نفت، گاز و آب جدید یا بازسازی شده استفاده می شود. ساختار اصلی آنها فراهم کردن حفاظت از خوردگی طولانی مدت برای اجزای زیرزمینی به خوبی محافظت مکانیکی است. که در ادامه به ترکیب، عملکرد و مزایا و کاربردهای این روش می پردازیم [۱، ۵، ۶].

۴-۱ تاریخچه

نوارهای PE اولین بار برای خطوط لوله ی صنعت نفت و گاز در سال ۱۹۵۰ به دلایل حفاظت از خوردگی طولانی مدت درون زمین معرفی شد. این نوارها اولین بار در محل با تکنیک Over-the-Ditch که بعدها به کاربردهای in-plant در محل گسترش یافت و اعمال گردید. از زمان اولین کاربرد این تکنولوژی برای کاربردهای خطوط اصلی پیشرفت های زیادی کرده و در حفاظت جوش خطوط لوله به خوبی بازسازی خطوط لوله ی قدیمی تر بکار گرفته شد. امروزه PE پیشرفت های بیشتری برای حفاظت از خطوط لوله انتقال دهنده و قابل حمل آب داشته است. قطر لوله ها در این کاربردها می تواند در محدوده ی ۱۴۴-۲۴ اینچ باشد [۱].

۴-۲ کاربرد

۴-۲-۱ نفت، گاز و آب

خطوط لوله ی انتقال دهنده و توزیع کننده ها به عنوان بخش ضروری در زیر بنای جهان می باشند. فعالیت سازه ها افزایش بی سابقه ای در چند سال اخیر را براساس درخواست و رشد جمعیت داشته است. در سالهای اخیر، بیش از ۱۰۷۰۰۰ مایل از خطوط لوله ی نفت خام و گاز طبیعی (به استثنا آب) در حال ساخت، برنامه ریزی و در دست مطالعات جهانی بوده که رشد ۱۷/۸٪ ای از سال ۲۰۰۷ داشته است. دقت در ساخت خطوط لوله می بایست بسیار بالا باشد. بطور مثال، برخی از خط لوله انتقال گاز با قطر ۴۲ اینچ از ویومینگ تا اروگون (۶۸۰ مایل) حدود ۲ بیلیون دلار تخمین قیمت خورده است بنابراین محافظت از اموال ارزشمند در مقابل خوردگی، چالشی تکنیکی را بیان می کند. پوشش ها باید عملکرد طولانی مدت را برای ماندگاری نشان دهند: [۱، ۸، ۹]

۱. چسبندگی یکپارچه

۲. حفاظت مکانیکی تحت نیروی زیاد خاک

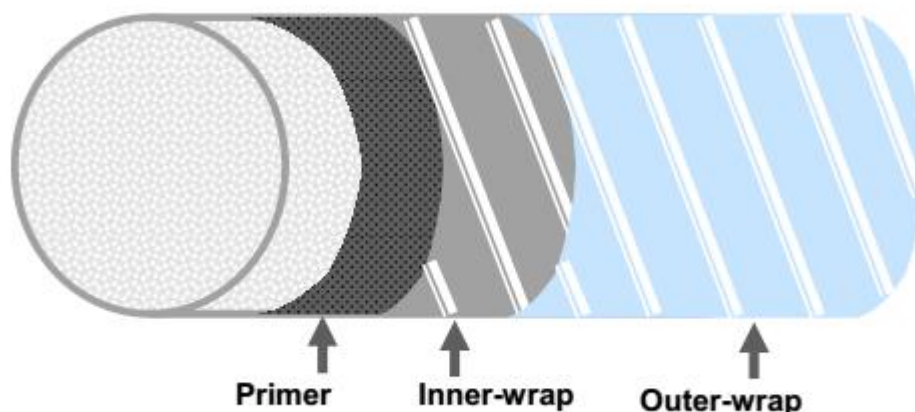
۳. حفاظت کاتدی

۴. مقاومت به تنش خاک و تراوایی کم گاز و رطوبت

در دمای کاری خطوط لوله توقع عمر پوشش مورد استفاده حدود بیش از ۳۰ سال می باشد.

۳-۴ سیستم نواری سرد اجرا

اجزای سیستم نواری کل شامل اعمال مستقیم آستری به سطح لوله و پیچیدن لایه نواری داخلی که مانع خوردگی شده و پیچیدن نوارهای خارجی جهت حفاظت مکانیکی می باشد. (شکل ۱-۵) [۸،۹]



شکل ۱-۵- شماتیک سیستم پوشش نواری

۳-۴-۱ آستری

آستر جزئی جدا نشدنی از سیستم نوار سرد اعمالی می باشد، که شامل لاستیک بوتیل، ممانعت کننده از خوردگی تنشی و سایر افزودنی هایی که سبب ایجاد چسبندگی خوب به سطح لوله بلاست شده، می باشد. این اجزا به طور معمول در ماده زمینه ی حلال با تبخیر بالا پراکنده شده و در ضخامت کنترل شده ای در سطح لوله ی ماسه زده شده اسپری می شود و اجازه خشک شدن کافی به منظور اعمال لایه نوار داخلی داده می شود. آنها همچنین توسط لاستیک بوتیل فرموله شده و بر سطح لوله با استفاده از تجهیزات اسپری مخصوص اعمال می شود.

پشت بند لایه های داخلی و خارجی شامل نوارهای پلی اتیلن (PE)، نوارهای کولتار و نوارهای ژل نفتی می باشند. پشت بند PE براساس تقاضای پوشش برای کاربردهای خاص بر روی لوله فرموله می شود و یا برای کاربردهای خاص بعنوان پوشش نهایی استفاده می شود. ترکیب محصولات PE لایه های ضد خوردگی متفاوت از لایه مقاوم در برابر آسیب های مکانیکی می باشد. بطور کل لایه ضد خوردگی دارای دانستیه کم و متوسط با ترکیب PE می باشد. در حالی که لایه مکانیکی نیازمند استفاده از ترکیبات PE با دانستیه بالا و پایین به طوری که بیشترین استحکام مکانیکی، بالاترین چقرمگی و بیشترین مقاومت به ترک زایی تنش را داشته باشد، می باشد. فرمول معمول شامل PE دانستیه بالا و پایین، آنتی اکسیدان و ممانعت کننده های UV و رنگین سازها می باشند.

۴-۳-۳ چسب

چسبندگی در هر دو لایه نوار براساس الاستومرها می باشد. لاستیک بوتیل (BR) بطور برجسته ای بعنوان مخالف سایر الاستورها بکار می رود. ساختار مولکولی BR شامل سطوح غیراشتباع کم که سبب مشخصات منحصر به فرد شیمیایی و مقاومت به رطوبت، پایداری حرارتی و تراوایی گاز و هوازگی و همه خواص ضروری مورد نیاز برای عملکردهای طولانی مدت در زیر زمین می باشد.

علاوه بر BR، فرمول های شامل نفت، پرکننده ها، آنتی اکسیدانها، بیوسید و رنگین سازها هم مورد استفاده قرار می گیرند. موادی که سبب ایجاد پیوندهای عرضی می شوند نیز در مواقعی که مقاومت طولانی مدت در برابر تنش بیش از اندازه خاک و حرارت متناوب (تا ۱۲۵ درجه سانتیگراد) نیاز است، به کار برده می شود.

عملکرد چسب ها به همراه آستر در اتصالات سبب تشکیل پیوندی قوی به نمونه ی فولادی، محافظت از خوردگی و عملکرد طولانی مدت می شود. لوله ها می بایست مقاومت به جدایش کاتدی بالا، مقاومت به تنش برشی بالا و مقاومت در برابر تنش خاک را متحمل شوند. فرمول چسب های مختلف براساس نوع سطح اعمالی، استفاده می شوند. به طور مثال سطح لوله فولادی و لایه PE پشت بند ضد خوردگی و لایه پشت بند با مقاومت مکانیکی می باشد. هر لایه از سیستم نواری PE می بایست با استفاده از چسب با ترکیب خاص جهت دستیابی به چسبندگی مناسب در هر سطح مشترک لایه ها، به کار برده شود [۸،۹].

۴-۴ فرآیندهای ساخت

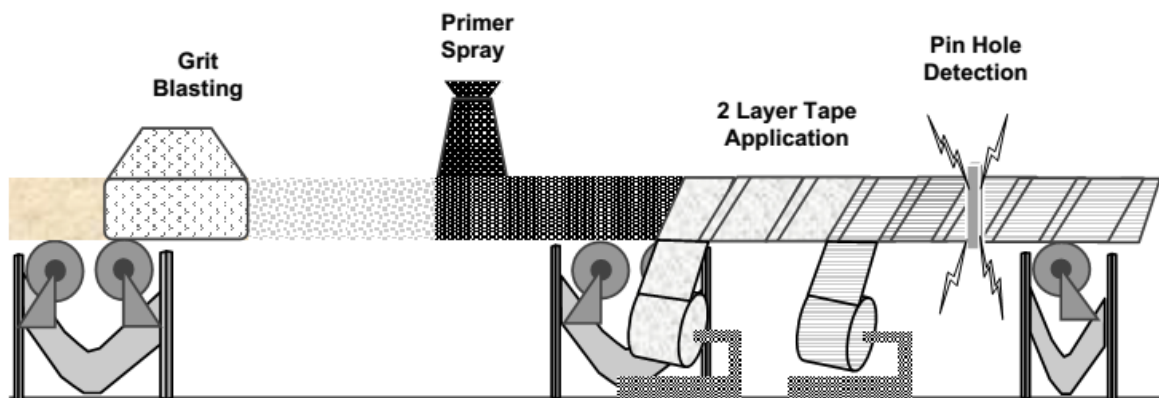
پشت بندهای PE توسط فرآیندهای فشاری یا کواکستروژن تولید می شوند که رزین های پلی اتیلن با افزودنی های مخلوط شده و برای تشکیل ورقه ها و فیلم های PE پردازش می شوند. فرآیند فشاری سبب ایجاد زنجیره های مولکولی پلی اتیلن با جهت گیری مشخص و تشکیل فیلم PE می شود. این جهت گیری ها برخی کاربردهای خاصی را ایجاد می کند که مزایای مرتبط به نقطه تسلیم فیلم PE وقتی تحت تنش و کشش در حین کاربرد لوله را هم در بر دارند.

کواکستروژن سبب ایجاد جهت گیری نشده و خواص کششی متفاوت برای کاربردی مختلف در حین کاربرد در لوله ها بوجود می آورد. بعد از تولید و اعمال چسب به پشت بند PE یا فیلم، محصولات به سمت غلتک های اصلی نورد شده و به صورت بسته هایی مطابق با کاربرد آن در صنعت بریده شده و بسته بندی می شوند [۸،۹].

۴-۵ اعمال نوار بر لوله

فرآیند پوشش دهی لوله شامل مراحل زیر می باشد: (شکل ۱-۸)

- خشک کردن و تمیز کردن با استفاده از بلاست ماسه جهت از بین بردن پوسته ها و اکسیدها
- شستشو توسط فسفریک اسید و خشک کردن (اگر لازم باشد)
- اسپری آستر و خشک کردن
- ایجاد پوشش داخلی متناوب و حلزونی (مارپیچ) با استفاده از صحت کنترل کشش
- ایجاد پوشش خارجی متناوب و حلزونی (مارپیچ) با استفاده از صحت کنترل کشش
- شناسایی نقاط معیوب
- بریدن در هر دو انتهای لوله



شکل ۱-۷- مراحل اعمال پوشش نواری

مراحل بالا با استفاده از جزئیات مشخص برای مطابقت با صنعت انجام گرفته و استاندارد کاربردی تولید کنندگان نوار تحت نظارت بازرسان تضمین شده می باشد. بطور مثال، مرحله ماسه زنی نیازمند رسیدن به تمیزی مشخص برای آستر / پوشش داخلی به منظور دستیابی به چسبندگی مورد نیاز می باشد [۸،۹].

به مواردی همچون خشک کردن آستر، ضخامت، کشش نوار، دما و کنترل هم پوشانی در میان بسیاری از شرایط کاربردی مورد نیاز باید حین انجام کار دقت شود. هر دو لایه نوار با کشش پیشنهادی برای اطمینان از کاربرد لوله و اطمینان از مطابقت خوب در همپوشانی و رسیدن به چسبندگی مکانیکی، شیمیایی سیستم پوشش به لوله اعمال می شود.

در اعمال نوارها توسط ابزار ماشینی با استفاده از کشش، باید گلوئی شدن پوشش کمتر از ۲٪ ایجاد شود. این کشش سبب ایجاد آب بندی (درزگیری) شده و یا جریان چسب در هم پوشانی درزها، سبب ایجاد چسبندگی مکانیکی پوشش به نمونه می شود [۸،۹].

۴-۶ تجهیزات اجرایی و روش های تست

همانطور که بیان شد، سیستم نیاز به عملکردی طولانی مدت در زمین دارد (بیش از ۳۰ سال). بنابراین پارامترهای طراحی، پیرسازی گرمایی طولانی مدت، تست های زیرزمینی و در معرض محیط خاک بسیار خورنده قرار گرفتن، اولین مرحله بحرانی برای ارزیابی هر محصول جدید جهت رسیدن به عملکرد طولانی مدت می باشد. ابتدا پوشش داخلی باید پیوندی پیوسته با چسبندگی دائم با آستر و مقاومت به جدایش کاتدی، به خوبی پیوند با خود در نواحی همپوشانی ایجاد کند. دوم اینکه پوشش خارجی باید با پوشش داخلی و با خود پیوند برقرار کرده

و استحکام مکانیکی را جهت مقاومت به آسیب در حین حمل و حین آسیب نفوذی سنگ تحت نیرو را ایجاد کند.

سایر نیازها شامل در معرض UV بودن لوله های پوشش دار حین نگهداری در محوطه، انعطاف پذیری در دمای کم تا ۴۰- درجه سانتیگراد و داکتیلیتی و انعطاف پذیری خوب حین خمش در بازه دمایی وسیعی می باشد. ابعاد نوارهای های داخلی و خارجی با توجه به استاندارد IPS-M-TP-310 و IPS-M-TP-311 در جدول ۴-۱ آورده شده است [۱۰، ۱۱].

جدول ۴-۱- استاندارد ابعاد نوار (معمولی)

طول نوار	عرض نوار	قطر لوله
۶۰ متر و ۱۲۰ متر	۱۰۰ میلیمتر	۱۰۰ میلیمتر و کمتر
۶۰ متر و ۱۲۰ متر	۲۳۰ میلیمتر	۱۵۰ تا ۳۰۰ میلیمتر
۶۰ متر و ۱۲۰ متر و ۲۴۰ متر	۳۰۰ میلیمتر	۳۵۵ تا ۶۱۰ میلیمتر
۶۰ متر و ۱۲۰ متر و ۲۴۰ متر	۳۰۰ یا ۴۶۰ میلیمتر	۶۶۰ میلیمتر و بیشتر

۴-۷ نصب در محل

سیستم پوشش نواری PE برای بازسازی لوله، با استفاده از "Line travel" سنتی یا روش Over-The-Ditch بعنوان روشی که اکیداً در محل ایجاد می شود، اعمال می شود. این روش امروزه نسبت به دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۰ کمتر استفاده می شود. برای سازه های جدید، لوله های پوشش دار برای نصب به سایت منتقل شده که بخش اتصال آن در ابتدا جوش داده شده و بلاست ماسه انجام می شود. سپس پوشش نواری با دست پیچیده شده و یا آستر انقباضی قبل از دفن آن در زمین اعمال می شود. این مراحل نیاز به توجه خاصی برای جلوگیری از آسیب به پوشش که سبب نیاز به تعمیر و سبب کاهش سرعت پیشرفت فرایند می گردد را دارد [۸، ۹].

۵-۳ روش های پیچیدن نوار به دور خط لوله

بطور کلی پیچیدن نوار به دور خط لوله به ۳ روش زیر امکان پذیر است:

✓ روش دستی

✓ روش نیمه اتوماتیک

✓ روش اتوماتیک

۵-۳-۱ روش دستی

در این روش نوار پیچی توسط خود شخص انجام می شود (شکل ۱-۸). از این روش برای نوار پیچی خطوط با قطر خیلی کم و نوارهای با عرض کم استفاده می شود. شایان ذکر است که در این روش دقت کافی وجود ندارد و هم از نظر نیروی کشش و هم درصد همپوشانی ناهمگنی وجود دارد. در خطوط انتقال فقط در مکان هایی که امکان استفاده از دستگاه های اتوماتیک و نیمه اتوماتیک ندارد (زانوها، سه راهی ها و ...)، از روش دستی استفاده می کنند. خوردگی اسپیرال از پیامدهای عمده این نوع نوارپیچی می باشد [۷، ۱۵].



شکل ۱-۸- روش دستی نوارپیچی خط لوله

۵-۳-۲ روش نیمه اتوماتیک

در این روش حلقه نوار روی دستگاه بسته می شود و توسط اپراتور دستگاه به دور خط لوله می چرخد. از دو نوع دستگاه در این روش استفاده می شود:

۱- دستگاه دور خط لوله را احاطه کرده و سپس توسط نیروی دستی دستگاه به دور خط لوله می چرخد و به سمت جلو پیش می رود (شکل ۱-۹). این نوع دستگاه از نظر نیروی کششی و درصد هم پوشانی

یکنواختی مناسبی دارد اما نیروی زیادی برای چرخاندن دستگاه به دور لوله نیاز است. همچنین سرعت چرخش دستگاه روی کیفیت نوارپیچی بسیار تاثیرگذار می باشد.

۲- نوع دیگر دستگاه به گونه ای می باشد که دستگاه بسیار کوچک است و خود دستگاه را باید هم به دور خط لوله چرخاند و هم در امتداد خط لوله به جلو برد (شکل ۱-۱۰). هنگام استفاده از این دستگاه دقت بالایی مورد نیاز است زیرا کیفیت کار کاملاً به دقت و مهارت اپراتور بستگی دارد. به دلیل حمل آسان و هزینه کم از این دستگاه در مناطقی که قطر لوله کم است و دقت زیادی مورد نیاز نیست، استفاده بسیاری می شود.

از مزایای این روش ارزان قیمت بودن دستگاه، عدم استفاده از برق و سوخت، وزن کم و روش استفاده ساده می باشند. دقت کم در سرعت پیشروی، درصد هم پوشانی، پیوستگی پوشش و نیروی کشش نوار نیز از معایب این روش می باشد [۱۶، ۱۷، ۱۸].



شکل ۱-۹- دستگاه نوارپیچ نیمه اتوماتیک



شکل ۱-۱۰-۱- دستگاه نوارپیچ نیمه اتوماتیک کوچک

۳-۳-۵ روش اتوماتیک

در این روش حلقه نوار در محل های مورد نظر روی دستگاه قرار می گیرند، سپس تنظیمات دستگاه برای ایجاد درصد هم پوشانی دلخواه و سرعت پیشروی و کشش نوار مناسب انجام می شود. پس از انجام تنظیمات دستگاه روشن شده و بطور کاملاً اتوماتیک و بدون دخالت اپراتور عملیات نوار پیچی را انجام می دهد (شکل ۱-۱۱). سرعت بالای نوارپیچی و دقت در نیروی کشش نوار و درصد هم پوشانی از ویژگی های منحصر بفرد این روش است، که برای خطوط لوله با قطر زیاد قابل استفاده می باشد. مصرف سوخت، وزن زیاد و هزینه زیاد از معایب آن می باشد. در مواردی همچون خطوط انتقال زیرزمینی که خوردگی باعث بروز مشکلات زیادی می شود، استفاده از این دستگاه توصیه می شود زیرا پیوستگی، یکنواختی و کیفیت نوار پیچی در این روش بسیار بالا می باشد [۱۶، ۱۷، ۱۸].



شکل ۱-۱۱- دستگاه نوارپیچ اتوماتیک