



بررسی تعمیر خطوط لوله گاز در حین بهره برداری با استفاده از روش Composite Wrap

احمد گمار

مدرس گروه تاسیسات مکانیکی دانشگاه ملی مهارت استان کرمانشاه

چکیده

خطوط لوله انتقال نفت و گاز در ایران قدمتی طولانی دارد، با گسترش صنعت نفت، تجهیزات و خطوط انتقال نفت و گاز در خشکی به شدت در معرض آسیب های مکانیکی ناشی از نیرو های خارجی و خوردگی محیطی قرار گرفته اند، به دلیل مشکلات بسیاری که روش های مکانیکی سنتی شامل تعویض لوله و جوشکاری در تعمیر خطوط لوله انتقال نفت و گاز ایجاد نموده اند، فناوری های مختلفی در تولید پوشش های کامپوزیتی جهت تعمیر لوله های انتقال نفت و گاز، جایگزین روش های مکانیکی سنتی گردیده اند، سیستم های روکش کامپوزیتی به عنوان یک روش تأیید شده به دلیل آن که نیاز به از سرویس خارج نمودن خط لوله ندارد، با استقبال بسیار زیادی در جهان روبرو شده است، در این مقاله علاوه بر معرفی تکنولوژی Composite wrap به نحوه کاربرد آن در صنعت گاز پرداخته شده است

واژه های کلیدی: پوشش کامپوزیتی، تعمیر، خطوط لوله، خوردگی، جوشکاری



مقدمه

در بیشتر کشورها برای انتقال مطمئن و مداوم و ارزان گاز طبیعی از لوله های سراسری انتقال با جنس آلیاژ فولادی استفاده می شود، ابعاد و فشار کاری و شرایط طراحی در استانداردها پیش بینی شده است، با توجه به وظیفه خطوط لوله های فولادی و قرارگیری آنها در شرایط مختلف محیطی روی جداره فلزی آنها اثرات متفاوتی می گذارد که با وجود اعمال پوشش و استفاده از حفاظت کاتودیک باز هم به مرور زمان این صدمات باعث کاهش ضخامت جداره لوله می شوند تا جایی که این امر منجر به کاهش ضخامت جداره از مقدار مطمئن و استاندارد خود می شود (Lee, 2006)، روشهای سنتی مورد استفاده برای تعمیر و بازسازی خطوط لوله شامل عملیات حفاری و خاکبرداری جهت دسترسی به لوله آسیب دیده و سپس تعویض قطعه مورد نظر و یا اعمال روکشهای فولادی در قسمت صدمه دیده موجبات هزینه های زیاد، صرف زمان طولانی و هم چنین لزوم قطع جریان عبوری از درون لوله خواهد شد، که این روشها را با چالش اساسی روبرو ساخته است، افزایش روز افزون نیاز به توسعه و ارائه یک روش قابل اطمینان و با دوام از میان روشهای تعمیراتی موجود که علاوه بر سرعت سریع و ایمن بودن، موجب کاهش هزینه های مربوط به تعمیرات گردد، خطوط لوله گاز طبیعی که نقش خود را در انتقال ایمن و کم هزینه انرژی پاک در سده اخیر به خوبی ثابت کرده و امروزه درصد زیادی از سید انتقال انرژی را به خود اختصاص داده است، به طوری که فقط توسط شرکت ترانس کانادا در سال ۲۰۱۷ بالغ بر ۲۵ درصد کل گاز طبیعی و ۲۰ درصد نفت خام از طریق خطوط لوله انتقال یافته است، این مقدار در گزارش شرکت جهانی انرژی که هرساله توسط بریتانیا منتشر می گردد، نشانگر ۶.۲ درصد رشد سالیانه می باشد

از این روی پر واضح است که حفظ یکپارچگی مکانیکی خطوط لوله گاز با انجام تعمیرات بهینه شده جهت حذف آثار قوی ترین عامل اضمحلال خطوط لوله حین بهره برداری (خوردگی خارجی) از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و یکی از عوامل تعیین کننده در هزینه های عملیاتی شرکت های بهره بردار خطوط لوله می باشد، در کشور ایران با توجه به شرایط اقلیمی کشور و تجمع این سیستمها در قسمت های جنوبی و غربی کشور که جزء محیط های مهاجم و آسیب رسان دسته بندی میشوند، اکثر مشکلات فعلی لوله های کشور ناشی از مساله خوردگی می باشد، فناوری پوشش های کامپوزیتی، رده ای از مواد پیشرفته هستند که در آنها از ترکیب مواد ساده به منظور ایجاد موادی جدید با خواص مکانیکی و فیزیکی بهتر استفاده شده است. اجزای تشکیل دهنده ویژگی خود را حفظ کرده، در یکدیگر حل نشده و با هم مخلوط نمی شوند، به دلیل آن که نیاز به از سرویس خارج نمودن خط لوله ندارد، با استقبال بسیار زیادی در جهان روبرو گردیده است، این فناوری عمده از طریق دو روش لایه گذاری دستی در محل تعمیر لوله ها و یا پخت کامل پوشش های کامپوزیتی انجام می پذیرد، این روش ها نیز در هنگام نصب جداره مشکلاتی را از قبیل عدم چسبندگی مناسب، کثیفی محل، نیارمندی به نیروی کاری متخصص و غیره به همراه دارد، از طرف دیگر به دلیل تنوع آب و هوایی محل عبور خطوط لوله انتقال نفت و گاز، ساخت پوشش های کامپوزیتی با قابلیت های کاربرد همزمان در محیط های تر و خشک و نصب سریع و آسان اهمیت آنها را افزایش داده است، که با استفاده از روش های لایه گذاری دستی در محل تعمیر لوله ها و یا پخت کامل پوشش های کامپوزیتی در محل کارخانه اجرا می شود (LVE, 2003)

تقویت با لایه های کامپوزیتی

در این روش از لایه های کامپوزیت با الیاف شیشه استفاده می شود، زاویه های الیاف و تعداد لایه ها با توجه به فشار، استانداردهای طراحی و مقدار و وسعت خوردگی در لوله محاسبه می شود، رزین مناسب نیز با توجه به شرایط شیمیایی و حرارتی محل برگزیده شده و به کار برده می شود، لایه های کامپوزیت به صورت پارچه هایی تهیه شده، در محل با رزین آغشته شده و به وسیله کارگران متخصص با زاویه های استاندارد، به روش پیچش روی لوله ای که سطح آن از پیش آماده شده پیچیده می شود. کلیه الیاف به کار رفته در ساخت ورقه های کامپوزیتی پلیمری در برابر عوامل محیطی و جوی به خوبی مقاوم هستند. پیشرفت قابل توجه در ساخت انواع رزین های پلیمری نیز باعث گسترش و توسعه موادی شده که می توانند بدون کاهش خواص، در دراز مدت عملکرد قابل قبولی داشته باشند، ویژگی دوام و راندمان دراز مدت مواد FRP منحصر به تعمیر خطوط لوله نبوده و در کلیه فعالیتهای عمرانی اعم از ساخت یا تعمیر سازه های مختلف حائز اهمیت است، به همین دلیل از شروع استفاده از این فن آوری در کاربردهای مرتبط با پایپینگ، مطالعات



مختلفی که شامل بررسی انواع شرایط حاد، مانند چرخه های ذوب، انجماد، تر و خشک شدن می شود، روی آنها انجام گرفته است، نتایج حاصل از کارهای آزمایشگاهی و میدانی انجام گرفته، تاثیر ناچیز شرایط محیطی بر خواص نهایی این مواد را نشان می دهد، که به علت استفاده از رزین ها کاملاً مقاوم شده اند، نتایج حاصل از مطالعات شبیه سازی، تستهای دینامیکی، خزش و هم چنین تستهای تسریع شده حاکی از عملکرد دراز مدت این فن آوری در تعمیر خطوط لوله می باشد در این روش، هزینه های مربوط به جوشکاری و قطع گاز در لوله حذف می شود همچنین قابلیت بازگرداندن لوله های خورده شده به وضعیت اولیه طراحی را دارا است، و از خوردگی آنها در آینده جلوگیری می کند خطوط لوله به هنگام تعمیر میتوانند در شرایط و فشار کاری معمولی خود، کار کنند و نیازی به قطع گاز نیست، هم چنین در این روش گاز به هدر نخواهد رفت، استانداردهای موجود در زمینه تعمیر لوله توسط کامپوزیت با توجه به مزایای فراوان استفاده از کامپوزیت ها در تعمیر خطوط لوله و همچنین گسترش روزافزون استفاده از آنها استانداردهای مختلفی در جهان در زمینه طراحی و بررسی کیفیت و خواص این مواد تدوین شده است، برخی از دستورالعملهای مورد استفاده در طراحی و نصب این روش تعمیری به شرح زیر میباشد همچنین در شکل ۱ عیوب قابل تعمیر به روش کامپوزیت و در شکل ۲ خواص مکانیکی نوارهای کامپوزیتی قابل مشاهده می باشد (فراهانی، ۱۳۹۷)

ISO/TS 24817: composite repair for pipe work ۱-

2. ASME B31.8S: MANAGING SYSTEM INTEGRITY OF GAS PIPELINES

3. ASME B31G: Manual for Determining the Remaining Strength of corroded pipelines

4. ASME PCC-2: Repair of Pressure Equipment and Piping

5. ASTM G8: Standard Test Methods for Cathodic Disbanding of Pipeline Coatings

Type of Defects	Applicability of Repair System
General wall thinning	Y
Local wall thinning	Y
Pitting	Y
Gouges	R
Blisters	Y
Laminations	Y
Circumferential cracks	Y
Longitudinal cracks	R
Through-wall penetration	Y
Y implies generally appropriate R requires extra consideration	

شکل ۱- عیوب قابل تعمیر به روش کامپوزیت



Specimens	Thickness, t (mm)	Hoop strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)
Glass	0.118	1500	74
Aramid	0.193	2100	120
Carbon	0.165	300	400

شکل ۲- خواص مکانیکی نوارهای کامپوزیتی

دوام خطوط لوله تعمیر شده بر پایه کامپوزیت

کلیه الیاف به کار رفته در ساخت ورقه های کامپوزیتی پلیمری در برابر عوامل محیطی و جوی به خوبی مقاوم هستند. پیشرفت قابل توجه در ساخت انواع رزین های پلیمری نیز باعث گسترش و توسعه موادی شده که می توانند بدون کاهش خواص، در دراز مدت عملکرد قابل قبولی داشته باشند، ویژگی دوام و راندمان دراز مدت مواد کامپوزیتی منحصر به تعمیر خطوط لوله نبوده و در کلیه فعالیتهای عمرانی اعم از ساخت یا تعمیر سازه های مختلف، حائز اهمیت است در جدول ۱ مقایسه بین روش های مختلف تعمیر خطوط لوله به روشهای مختلف قابل مشاهده می باشد

جدول ۱ مقایسه روش های مختلف تعمیر خطوط لوله به روش های مختلف

عیوب به وجود آمده در لوله فلزی	برش لوله و تعویض	نصب و جوشکاری	روش کامپوزیت
نیروی کار مورد نیاز	زیاد	کم	خیلی کم
مهارت مورد نیاز	خیلی مهم	متوسط	کم
جوشکاری	دارد	دارد	ندارد
تستهای غیر مخرب	دارد	دارد	دارد
تجهیزات سنگین	دارد	دارد	ندارد
هدررفت مواد	زیاد	خیلی کم	ندارد
افزایش عمر خط لوله	متوسط	کم	زیاد
هزینه	زیاد	متوسط	کم

بررسی روش های ترمیم با کامپوزیت

سیستم های کامپوزیتی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرند به سه دسته تقسیم می شوند که عبارتند از

۱- استفاده از نوار های کامپوزیتی پیش ساخته و اتصال در محل ترمیم

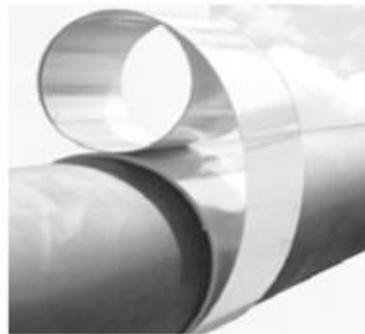
۲- روش لایه چینی تر از طریق اعمال و ساخت ورقه کامپوزیت

۳- روش های بدون نیاز به حفاری با استفاده از RTM

روش استفاده از نوار های کامپوزیتی پیش پخت شده



در این روش نوارهای کامپوزیتی ساخته شده و پخت شده در اطراف مقطع آسیب دیده روی سطح لوله به صورت پیاپی تا رسیدن به ضخامت مورد نظر روی یکدیگر پیچیده می شوند ، نوار های کامپوزیتی می توانند از جنس کامپوزیت الیاف شیشه یا رزین پلی استر باشد برای انجام تعمیر یک نمونه ی آسیب دیده، ابتدا حفاری تا رسیدن به محل نقص لوله انجام گرفته و پس از آماده سازی سطح لوله اعمال یک لایه چسب روی سطح لوله و سپس بین سطوح نوار کامپوزیتی، برای اتصال کامل آنها به یکدیگر و ایجاد یک روکش یکپارچه از اهمیت بالایی برخوردار است، در حقیقت این لایه ها عامل اصلی انتقال تنش از سطح لوله به ورقه های کامپوزیتی الیافی است که نقش اصلی در تحمل تنش را دارا می باشند ، در شکل ۳ تصویر نوارهای کامپوزیتی پیش ساخته قابل مشاهده می باشد



شکل ۳- نحوه قرار گیری نوارهای کامپوزیتی پیش ساخته روی سطح لوله

نوارهای کامپوزیتی مورد استفاده در این روش توسط دستگاه پالتروژن (Pultrusion) که یک فرآیند پیوسته است و برای تولید پروفیل های کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف (FRP) با سطح مقطع ثابت استفاده می شود، این نوار ها باید دارای حداکثر الیاف ممکن بوده تا استحکام کششی و مدول بالایی را ایجاد کنند برای کاربرد های تعمیراتی کاملاً مناسب می باشد ، با این روش میتوان لوله هایی که ۸۰ درصد از ضخامت دیواره های آنها در اثر خوردگی از بین رفته است را نیز تعمیر کرد ، حتی لوله هایی که در اثر خوردگی آسیب و سوراخ شده و دارای نشت می باشند را نیز میتوان با بکارگیری مواد اولیه مناسب ضد نشتی به خوبی با این روش تعمیر کرد ، با استفاده از این تکنیک، با توجه به اینکه هیچ نیازی به اعمال گرما و دمای بالا نبوده و کلیه مراحل در دمای محیط انجام می گیرد، امکان تعمیر خطوط لوله ی گاز بدون توقف جریان انتقال نیز فراهم می شود ، در شکل ۴ تصویری از سطح مقطع لوله فولادی تعمیر شده قابل مشاهده می باشد



شکل ۴ - سطح مقطع لوله فولادی تعمیر شده با کامپوزیت



روش لایه گذاری تر

در این روش لایه ی کامپوزیتی حاوی الیاف و ماتریس پلیمری روی لوله ی آسیب دیده ساخته شده و همه ی مراحل در مکان تعمیر، انجام می گیرد. پس از حفاری و دست یابی به لوله ی آسیب دیده، ابتدا سطح تمیز شده و سپس با استفاده از یک لایه رزینی حاوی پرایمر که معمولاً از جنس رزین اپوکسی است پوشش داده می شود در شکل ۵ مراحل تعمیر لوله آسیب دیده قابل مشاهده می باشد



شکل ۵ - مراحل تعمیر لوله آسیب دیده به روش تر

روش لایه گذاری دستی

روش لایه گذاری دستی شامل مراحل ذیل می باشد

۱- پاک سازی سطح کار رزین

۲- آماده کردن سیستم رزین، آغشته سازی کامل فایبر با روی، اعمال فایبر خیس روی سطح کار و پخت سیستم لمینیت پس از اعمال لایه ی اولیه، ورقه های الیاف که به صورت پارچه های بافته شده هستند به خوبی توسط رزین مناسب، آغشته یا خیس می شوند مرحله ی خیس شدن به صورت دستی یا با استفاده از یک دستگاه ساده ی دو غلتکی در محل انجام می شود، ۳- لایه خیس شده الیاف، اطراف قسمت آسیب دیده تا رسیدن به ضخامت مورد نظریه صورت دورانی یا مارپیچی بسته می شود ۴- در نهایت روکشی یکپارچه از جنس کامپوزیت با ضخامت دلخواه روی لوله ایجاد می شود

روش های بدون نیاز به حفاری با استفاده از RTM

در این روش رزین پلیمری با استفاده از فشار از طریق پمپ های مخصوص وارد لایه ها شده و پس از پخت و سفت شدن به همان شکلی که الیاف در آن قرار داده شده در می آید، از این روش در تعمیر آسیب دیدگی ها در خطوط لوله استفاده می شود و پس از تمیز کردن سطح داخلی لوله، یک تیوب از جنس الیاف تقویت کننده مورد نظر آماده شده و روی یک تیوب نرم و انعطاف پذیر درون لوله قرار می گیرد و سپس از طریق اعمال فشار هوا به تیوب لوله پیش ساخته شده توسط الیاف تقویت می گردد، با اعمال فشار اضافی روی تیوب می توان از خارج شدن حباب های احتمالی ایجاد شده درون لوله جلوگیری کرد، پس از زمان لازم برای پخت و سفت شدن رزین، یک لوله تقویت کننده به صورت داخلی درون لوله آسیب دیده ایجاد می شود که نقش اصلی لوله را ایجاد می کند، یکی از مزایای مهم و ذاتی فرایند RTM فشار مورد نیاز پایین، جهت تزریق رزین است. معمولاً در فرایندهای RTM، فشار تزریق رزین از ۶۹۰ کیلو پاسکال تجاوز نمی کند. در مجموع فرایندهای RTM در مقایسه با فرایندهای قالب باز دارای برتری های زیادی هستند که برخی از آنها عبارتند از، کمتر بودن میزان انتشار گازها و بخارهای سمی ناشی از عملیات پخت رزین، شرایط کاری تمیزتر، تولید قطعات کامپوزیتی دقیق تر، کیفیت خوب هردو سطح قطعه تولید شده و فرایند تولید سریع تر، فرایند RTM از محبوبیت خوبی در میان صنعتگران



برخوردار است، این محبوبیت بدلیل قابلیت بالای تولید قطعه با شکل دقیق و همینطور توانایی طراح در تقویت قطعه با قرار دادن تقویت کننده های الیافی در جهت دلخواه می باشد. جدول ۲ مزایا و معایب روش های مختلف قابل مشاهده می باشد (B. Fortner, 1999)

جدول ۲ مزایا و معایب روش ها نوارهای کامپوزیتی و روش لایه چینی

نوع روش	مزایا	معایب
استفاده از نوار های کامپوزیتی پیش ساخته و اتصال در محل ترمیم	کنترل جهت الیاف و درصد رزین و الیاف خواص مکانیکی بهتر و یکنواخت تر سرعت بالای اعمال پوشش کامپوزیتی کیفیت بهتر فرآیند	نیروی متخصص قبل از اعمال پوشش محدودیت اعمال بر روی نقاط دارای زاویه و شکل هندسی نامنظم و همچنین لوله های باسایز پایین
روش لایه چینی تر	امکان تغییر مقدار و طول پوشش کامپوزیتی در محل آسیب دیدگی - امکان استفاده در تعمیر لوله هایی با اشکال غیر منتظم، اتصالات، فلنچ ها و شیرها عدم نیازمندی به اندازه گیری های قبل از اعمال پوشش قیمت ارزان	شرایط محیطی و شرایط لوله موجب تغییر میزان رزین مصرفی، خواهد شد تماس مستقیم با توجه به اعمال رزین توسط فرد مصرف زیاد رزین با توجه به انجام به صورت دستی

کلیه الیاف بکار رفته در ساخت ورقه های کامپوزیتی پلیمری در برابر عوامل محیطی و جوی به خوبی مقاوم هستند پیشرفت قابل توجه در ساخت انواع رزینهای پلیمری نیز باعث گسترش و توسعه موادی شده که می توانند بدون کاهش خواص در دراز مدت عملکرد قابل قبولی داشته باشند ویژگی دوام و راندمان دراز مدت مواد FRP منحصر به تعمیر خطوط لوله نبوده و در کلیه فعالیت های عمرانی و صنعتی قابل استفاده می باشد (R. Mablenson, 2008)

نتیجه گیری

پوشش نوین کامپوزیتی اپوکسی/ الیاف شیشه به همراه پرایمر و چسب های قوی ساختاری با خواص منحصر بفرد، برای تعمیر نواحی آسیب دیده لوله خورده شده مورد استفاده قرار میگیرد و آزمونهای مختلف مکانیکی و فیزیکی بر اساس استاندارد مربوطه برای بررسی کیفیت پوشش کامپوزیت و داشتن ضوابط تعیین شده طبق استاندارد جهانی و منطقه ای انجام می شود، علت اهمیت کامپوزیت ها حجم بسیار بالای خطوط نفت و گازو عمر طولانی، به همراه ارزش بسیار بالای اقتصادی آنها، موضوع تعمیرات، نوسازی آنها را حائز اهمیت ساخته است، هزینه های بالای تعویض خطوط لوله و روشهای تعمیرات متداول سنتی که شامل تعویض بخش آسیب دیده و یا اعمال روکش جدید فولادی روی آنها می شود، باعث توجه جدی به استفاده از فن آوری های نوین در این زمینه گردید، سیستم های روکش کامپوزیتی به عنوان یک روش تأیید شده به دلیل آن که نیاز به از سرویس خارج نمودن خط لوله ندارد، با استقبال بسیار زیادی در جهان روبرو گردیده است در این مقاله به تشریح روش های مختلف و کاربرد آنها در پایپینگ پرداخته شده است



منابع :

D.G. Lee et al, Repair of under Ground Buried Pipes with Resin Transfer Molding, Composite Structure, 57, 2002, 67-77

L.V.D. Eide et al, Use of FRP Composites in Civil structural Application, Construction and Building Materials, 17, 2003, 389-403

ابوالفضل وروانی فراهانی، کامپوزی تنها و حل مشکل خوردگی ، نشریه فنی تخصصی شرکت ملی نفت ((اکتشاف و تولید)) شماره 87

B. Fortner, Mainline Mending, Civil Eng., May 1999, 42-5

R. Mablenon et al, Refurbishment of Steel Tubular Using Composite materials, Plast. Rubber 2008

Repair of Gas Pipelines during Operation using Composite Wrap

Ahmad Gomar

Ahmad Gomar, Department of Mechanical Installations, Technical and Vocational University of Kermanshah ,

Abstract

Oil and gas transmission pipelines have a long history in Iran. As the oil industry has witnessed massive development, offshore oil and gas transmission pipelines are subject to mechanical damage due to external forces and corrosion. Since traditional repair methods, e.g., pipe replacement and welding, impose many challenges on transmission pipelines, new technologies in the production of composite wraps have been introduced to replace traditional methods. Composite wrap systems are a validated technique that has been globally embraced as pipeline operation is not disturbed. This paper introduces composite wrap technology and discusses its application in the gas industry.

Keywords: Composite wrap, Pipeline repair, Corrosion, Welding