



Swagelok®

راهنمای انتخاب رگولاتور مناسب



تهیه و تنظیم: شرکت طاهای کیمیا تجهیز بر اساس اطلاعات شرکت Swagelok

www.tahakimia.ir

www.oilinst.ir



فهرست

۲.....	مقدمه
۲.....	چگونه رگولاتور مناسب انتخاب کنیم؟
۳.....	اصول اساسی رگولاتورها
۴.....	رگولاتورهای تک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای؟
۶.....	رگولاتورهای دیافراگمی
۸.....	رگولاتورهای پیستونی
۸.....	ناتوانی (Droop) و خزش (Creep)
۹.....	انتخاب متریال
۹.....	نتیجه‌گیری



مقدمه

این راهنما، یک آشنایی کلی با اصول حاکم بر عملکرد رگولاتورها و نحوه انتخاب رگولاتور مناسب (صرفنظر از برند) به پیشنهاد شرکت Swagelok می‌باشد.

چگونه رگولاتور مناسب انتخاب کنیم؟

رگولاتورها اجزایی هستند که به لحاظ تکنیکی در سطح بالایی می‌باشند و تغییرات مکانیکی ویژه‌ای را بر روی سیال عبوری اعمال می‌کنند. لذا هر زمان که به رگولاتور نیاز پیدا کردید، خواهشاً اینکار را نکنید که سریع یک رگولاتور انتخاب کنید و آن را نصب کنید و با یک حس مبهم بگویید که این کار خواهد کرد. حتی اگر به ظاهر اینطور به نظر برسد که رگولاتور درست انتخاب شده است در واقع ممکن است کاری که انجام می‌دهد آنی نباشد که شما فکر می‌کنید. انتخاب غیر تخصصی رگولاتور نتایجی مثل فشار خروجی نادرست و آلوده شدن سیال عبوری را به دنبال خواهد داشت.

در هر کاربردی با کوچکترین مخلوطی از گازها یا مایعات خورنده و یا شرایط محیطی آگرسو، بایستی رگولاتور Stainless Steel استفاده شود.

چندین نوع رگولاتور شامل Pressure-Reducing، Back-Pressure و Vaporizing وجود دارد. هر یک از این گروه‌ها می‌تواند به دیافراگمی یا پیستونی، تک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای دسته بندی شود. بعد از تعیین نوع مناسب رگولاتور برای کاربرد مد نظر، بایستی انتخاب درست متریاال برای اجزای اصلی مانند دیافراگم یا سیت پاپت مد نظر قرار گیرد.

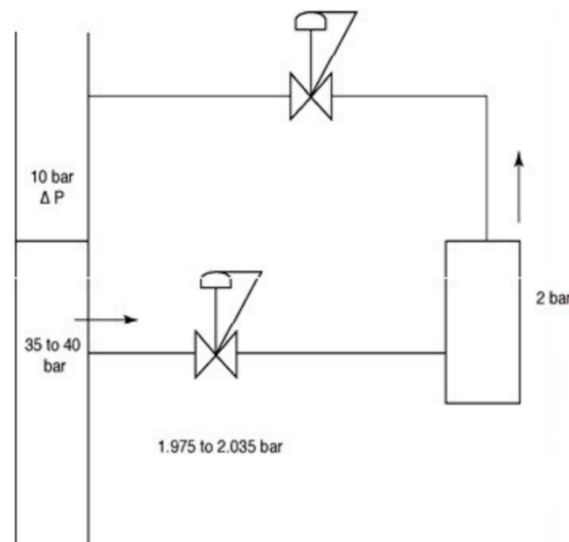
در مجموع، رگولاتورها دارای تنوع نوع، طراحی و متریاال ساخت بالایی هستند که انتخاب بین آنها بایستی با توجه به سیال عبوری، فاز، دما و فشار صورت گیرد.



اصول اساسی رگولاتورها

رگولاتورها فشار را کنترل می‌کنند و نقطه‌ی محوری بین سمت فشار بالا و فشار پایین هستند. در سمت فشار بالا، رگولاتور به طور مکانیکی افت فشار را به گونه‌ای کنترل می‌کند تا سمت فشار پایین تقریباً ثابت بماند. اکثر کاربردهای معمول نیاز به رگولاتور Pressure-Reducing دارد، یعنی فشار ورودی در معرض افت فشار کنترل شده به صورت مکانیکی قرار می‌گیرد و منجر به فشار نسبتاً ثابت در خروجی می‌گردد. در برخی موارد، عکس این فرآیند مورد نیاز است، یعنی رگولاتور Back-Pressure بایستی به کار رود تا فشار خروجی به طور مکانیکی کنترل گردد و فشار نسبتاً ثابتی در ورودی حفظ شود.

شکل ۱ سیستم آنالایزری را به همراه رگولاتورهای Pressure Reducing و Back-Pressure نشان می‌دهد. توجه کنید که رگولاتور Pressure-Reducing فشار بالایی (۳۵ تا ۴۰ بار) را از خط فرآیندی دریافت می‌کند و به فشار پایداری (۱/۹۷۵ تا ۲/۰۲۵ بار) تقلیل می‌دهد. در این کاربرد، نیاز است که سیستم آنالایزر در فشار ۲ بار باقی بماند. از طرفی در جایی که جریان به خط برمی‌گردد نوسان فشار بوجود می‌آید. لذا برای حفظ سیستم از این نوسانات، رگولاتور Back-Pressure به کار گرفته شده است.



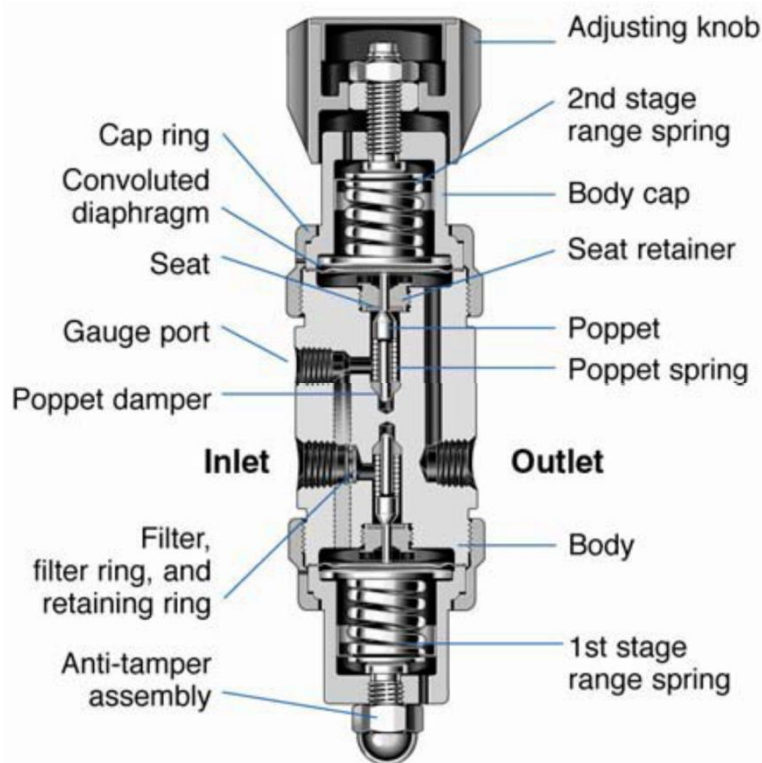
شکل ۱ - سیستم آنالایزر به همراه رگولاتورهای Pressure Reducing و Back-Pressure



رگولاتور Vaporizing در واقع همان رگولاتور Pressure-Reducing است همراه با سیستم گرمایشی که مانع از تغییر فاز می‌شود یا تک فازی شدن را تسریع می‌بخشد. المان گرمایشی الکتریکی یا بخاری بخشی از رگولاتور Vaporizing می‌باشد. در برخی موارد، افت فشار ناگهانی منجر به وقوع پدیده ژول-تامسون می‌شود بدین معنا که گاز با از دست دادن گرما دچار تغییر فاز کامل یا جزئی به سمت مایع شدن می‌گردد. در اینگونه موارد امکان مسدود شدن رگولاتور وجود دارد. رگولاتور Vaporizing با گرما دادن به نقطه افت فشار از تغییر فاز و انسداد جلوگیری می‌کند. در کاربردهای دیگر مثل دستگاههای کروماتوگرافی نیاز است مایع به بخار تبدیل شود که در این حالت رگولاتور با گرما دادن به مایع آن را تبدیل به بخار می‌کند.

رگولاتورهای تک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای؟

در اکثر کاربردهایی که فشار ورودی نسبتاً ثابت است، رگولاتورهای تک مرحله‌ای Pressure-Reducing کفایت می‌کند. در حالی که رگولاتورهای تک مرحله‌ای بیشتر تحت تاثیر پدیده‌ای همچون اثر فشار منبع (SPE) هستند، تغییرات فشار سمت بالا فاکتور تعیین کننده در انتخاب می‌باشد. SPE توانایی رگولاتور در تنظیم تغییرات سمت فشار بالا می‌باشد. در کاربردهایی که تغییرات سمت فشار بالا بزرگ می‌باشد، رگولاتور با SPE کمتر، سمت فشار پایین پایدارتری را تامین خواهد کرد. بنابراین به طور کلی رگولاتور تک مرحله‌ای وقتی که سمت فشار بالا پایدار باشد، فشار خروجی پایداری را نیز فراهم خواهد کرد. تغییرات فشار خروجی برای رگولاتور کیفیت بالای تک مرحله‌ای می‌تواند از رابطه $(X \cdot 0.1)$ تغییرات فشار ورودی = تغییرات فشار خروجی تخمین زده شود. در شکل ۱، فشار ورودی به میزان ۵ بار (۳۵ تا ۴۰ بار) تغییر می‌کند، لذا $X \cdot 0.1$ برابر با تغییرات فشار خروجی به میزان 0.5 بار می‌باشد. اگر فشار خروجی بر روی ۲ بار تنظیم شود و فشار ورودی از ۳۵ تا ۴۰ بار افزایش یابد، فشار خروجی از ۲ تا $1/95$ افت پیدا خواهد کرد. چنین رابطه معکوسی بین بالا رفتن فشار ورودی و افت پیدا کردن فشار خروجی مشخصه معمول رگولاتورهای تک مرحله‌ای است. بالا رفتن فشار ورودی موجب جمع شدن نشیمنگاه رگولاتور و کاهش سایز اوریفیس و نتیجتاً فشار خروجی می‌شود.

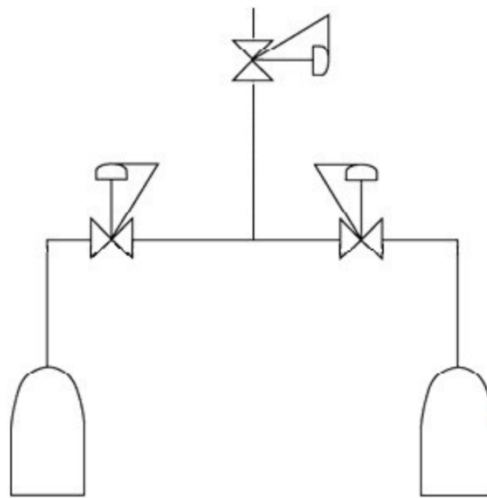


شکل ۲- رگولاتور دو مرحله‌ای

رگولاتور دو مرحله‌ای از دو رگولاتور تک مرحله‌ای سری شده و ترکیب شده در یک واحد تشکیل می‌شود (شکل ۲). رگولاتور اول سمت فشار بالا را به نقطه واسطی مابین فشار ورودی و فشار مطلوب می‌رساند. رگولاتور دوم فشار میانی را به فشار مطلوب کاهش می‌دهد. برای محاسبه تغییرات فشار خروجی برای رگولاتور کیفیت بالای دو مرحله‌ای، تغییرات در سمت فشار بالای ورودی در $0/0001$ ضرب می‌شود بدلیل آنکه هر رگولاتور تغییرات را به اندازه یک درصد کاهش می‌دهد ($0/0001 = 0/01 \times 0/01$). به عنوان یک نمونه برای رگولاتور دو مرحله‌ای، می‌توان سیلندر گاز را مثال زد که در فشار خروجی نسبتاً ثابتی تخلیه می‌شود. هنگامی که سیلندر به مقدار زیاد تخلیه می‌گردد، فشار در ورودی رگولاتور از ۱۷۵ به ۵ بار کاهش می‌یابد. در این مثال، تغییر در فشار ورودی ۱۷۰ بار است. اگر فشار خروجی مطلوب ۲ بار باشد، فشار خروجی برای رگولاتور دو مرحله‌ای از ۲ تا $1/983$ بار افت پیدا خواهد کرد. از طرف دیگر، در صورت استفاده از رگولاتور تک مرحله‌ای، فشار از ۲ تا $0/3$ بار کاهش خواهد یافت.



اگرچه کار کردن با یک رگولاتور دو مرحله‌ای در مقایسه با دو تا رگولاتور تک مرحله‌ای راحتتر است، اما در برخی کاربردها مثل جایی که دو سیلندر گاز یک نقطه را تغذیه می‌کنند، استفاده از دو تا رگولاتور تک مرحله‌ای نتیجه بهتر یا حداقل یکسانی را حاصل خواهد کرد (شکل ۳). در این کاربرد، یکی از سیلندرها تا وقتی که فشار آن به زیر نقطه مشخصی برسد، استفاده می‌شود، سپس سیلندر بعدی شروع به کار می‌کند. بعد از هر سیلندری یک رگولاتور تک مرحله‌ای قرار می‌گیرد. یک رگولاتور اضافه هم در نقطه ورودی به سیستم واقع می‌شود که نتیجتاً همیشه گاز از دو رگولاتور عبور می‌کند.



شکل ۳- استفاده از دو رگولاتور تک مرحله‌ای به جای یک رگولاتور دو مرحله‌ای

رگولاتورهای دیافراگمی

رگولاتورهای دیافراگمی به طور کلی حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات فشار، بویژه در کاربردهای فشار پایین، دارند. بسته به طراحی (Rating)، اینگونه رگولاتورها در فشارهایی تا حدود ۲۴۸ می‌توانند استفاده شوند. در یک رگولاتور دیافراگمی، دیافراگم فلزی نازکی با تغییرات فشار ورودی دچار خمش می‌گردد. این خمش موجب حرکت Poppet به داخل یا خارج از نشیمنگاه می‌شود. چنین عکس‌العملی باعث ثابت نگهداشتن فشار جریان پایین دست می‌گردد. هنگامی که فشار ورودی افزایش می‌یابد، دیافراگم به سمت بالا خم می‌شود و اجازه حرکت Poppet به سمت نشیمنگاه را می‌دهد. نتیجتاً اثر افزایش فشار ورودی



کاهش یافته و فشار خروجی ثابت تامین می‌گردد. زمانی که فشار ورودی افت پیدا می‌کند، نیروی روی دیافراگم کم شده و منجر به خمش آن به سمت پایین می‌شود. در نتیجه آن Poppet به سمت خارج نشیمنگاه حرکت کرده و جریان بیشتری را اجازه عبور می‌دهد که باعث پایداری فشار در خروجی می‌گردد. انعطاف پذیری دیافراگم برای عملکرد طولانی مدت آن بسیار حیاتی است. انعطاف پذیری از دو راه قابل تحصیل است. دیافراگم می‌تواند به صورت ورق سوراخداری با پوشش PTFE یا یک متریال فلکسیبل دیگر، باشد. در این طراحی، با سایش پوشش دیافراگم، نشتی اتفاق می‌افتد. طراحی جایگزین استفاده از دیافراگم موج دار بدون سوراخی است که با دادن انحناهای خاصی در حاشیه محیطی آن، انعطاف پذیری آن افزایش داده می‌شود.

شاید بهترین سیل برای رگولاتور دیافراگمی سیل فلز تو فلز باشد. در این طراحی، دیافراگم بر روی بدنه رگولاتور می‌نشیند و در جای خودش توسط مجموعه درپوش نگهداشته می‌شود، بدون اینکه از سیل الاستومری یا پلیمری استفاده گردد. سیل فلز تو فلز آبیندی قابل اتکائی را فراهم می‌کند و نسبت به تغییرات دمایی حساسیت کمتری دارد.

به منظور حفاظت از دیافراگم در برابر پارگی، بین دیافراگم و مجموعه درپوش، از دیسک ضد زنگ محکمی تحت عنوان Backing plate استفاده می‌شود. همچنین این دیسک، فشار یک شکلی را بر روی سطح دیافراگم اعمال می‌کند.

Poppet یک قطعه فوق العاده مهم در رگولاتور دیافراگمی است. Poppet شبیه قیف وارونه‌ای است که در بالا و پایین آن استم استوانه‌ای نازکی امتداد یافته است. Poppet از فولاد ضد زنگ گرید بالا ساخته می‌شود و برای فراهم ساختن آبیندی نشیمنگاه با دقت بالا، الکتروپولیش می‌گردد.

در رگولاتور Pressure-reducing، Poppet با فنر بارگذاری می‌شود و به صورت عمودی در کانال ورودی رگولاتور نگه داشته می‌شود در حالی که بالای آن در تماس ثابت با دیافراگم قرار دارد. با فشار دادن Poppet به سمت بالا و دیافراگم به سمت پایین، میتوان به توازن مطلوب در جهت دست یافتن به فشار مورد نیاز رسید. با قرار گرفتن قسمت مخروطی شکل Poppet در مقابل نشیمنگاهی که با دقت بالایی



ماشینکاری شده است، ورودی رگولاتور باز و بسته می‌شود. برای کاهش نویز و ارتعاش در شرایط فشار بالا، دمپری در قسمت پایینی Poppet تعبیه شده است که علاوه بر تکیه‌گاه بودن موجب قرار گیری Poppet در محور مرکزی رگولاتور می‌گردد.

رگولاتورهای پیستونی

رگولاتورهای پیستونی عموماً در کاربردهای فشار بالا به کار می‌روند، اگر چه در فشارهای پایین نیز قابل استفاده‌اند. در یک رگولاتور پیستونی، فشار توسط پیستون بارگذاری شده با فنر کنترل می‌گردد. پیستون در واقع دیسک سخت غیر منعطف و ضد زنگی است که بصورت مسطح داخل بدنه عمودی و استوانه‌ای شکل رگولاتور واقع می‌شود. آبنندی پیستون در مقابل جداره سیلندر به کمک اورینگ‌های الاستومری انجام می‌شود. ضخامت پیستون به همراه آبنند اورینگ عواملی هستند که امکان کار کردن رگولاتور پیستونی را در فشارهای بالاتر نسبت به رگولاتور دیافراگمی فراهم می‌آورد. موقع انتخاب رگولاتورهای پیستونی، سازگاری متریال اورینگ با جریان تنظیم شده یکی از ملاحظات مهم می‌باشد. همچنین برای بوجود آوردن امکان حرکت آزادانه اورینگ به سمت بالا و پایین در جهت افزایش حساسیت کلی رگولاتور، پرداخت سطح محفظه درونی از اهمیت بسزایی برخوردار است. عملکرد رگولاتور پیستونی بسیار مشابه رگولاتور دیافراگمی است. تنظیم Knob برای دستیابی به فشار خروجی بالاتر باعث می‌شود که پیستون بر روی Poppet فشاری را به سمت پایین اعمال کند و آن را در جهت خارج نشیمنگاه حرکت دهد که در نتیجه آن فشار خروجی بالاتر حاصل می‌گردد.

ناتوانی (Droop) و خزش (Creep)

ناتوانی و خزش دو وضعیت نامطلوب محسوب می‌شوند. ناتوانی عملکرد کلی رگولاتور را تعیین می‌کند و زمانی که جریانی بیشتر از ظرفیت رگولاتور مورد نیاز باشد، رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، توان عملیاتی رگولاتور (اغلب با CV سنجیده می‌شود) متناسب با کاربرد نیست.



خزش زمانی اتفاق می‌افتد که Poppet در وضعیت بسته باشد اما هنوز نشیمنگاه اجازه عبور فشار به سمت خروجی را بدهد. به طور کلی این وضعیت بدلیل آسیب دیدن نشیمنگاه و ساییده شدن آن بوجود می‌آید. نشیمنگاهها در معرض آسیب حاصل از عبور جریان حاوی ذرات ریز می‌باشد که در نتیجه آن عیوب کوچکی در سطوح آببندی ایجاد می‌شود. جریان سرعت بالا و اندازه کوچک اوریفیس که در طی تنظیم فشار به صورت توامان بوجود می‌آید باعث تبدیل ذرات خیلی کوچک به پرتابه‌های خیلی سریع می‌گردد. لذا، این ذرات کوچک می‌تواند سطح نشیمنگاه را دچار خراش کند و موجب نشتی فشار از ورودی به خروجی گردد. در سیستم‌های بسته، این نشتی باعث یکسان شدن فشار ورودی و خروجی می‌شود که شرایط نامطلوبی را بوجود می‌آورد. در این وضعیت، وقتی که سیستم از طریق یک شیر کنترلی باز می‌شود، انفجار فشار بالایی به وقوع می‌پیوندد.

انتخاب متریال

برای رگولاتورهای ضد زنگ با کاربردهای خلوص بالا، توجه ویژه‌ای بایستی به متریال ساخت داده شود. برای دیافراگم، فولاد ضد زنگ ۳۱۶، ممکن است کافی نباشد و آلیاژی مثل X-750 مناسبتر باشد. همچنین، نشیمنگاه Poppet فوق العاده مهم است. یک فلوروپلیمر سختتر به خوبی یک ماده نرمتر قابلیت نشاندن را ندارد. از طرف دیگر، متریال سخت در مقابل خراشیده شدن مقاوم تر می‌باشد. نشیمنگاه Poppet بایستی ماژولار باشد تا بتوان متریال مناسبی (به عنوان مثال PEEK, PCTFE) برای آن بر اساس محتویات مایع یا گاز، الزامات فشاری و شرایط دمایی انتخاب کرد.

نتیجه گیری

موقع انتخاب رگولاتور، قاعده اصلی دانستن کاربرد آن شامل محتویات مایع یا گاز، شرایط دمایی و نرخ جریان می‌باشد. رگولاتور بایستی با داشتن این پارامترها در ذهن انتخاب گردد. وقتی که نوع رگولاتور انتخاب شده باشد (back-pressure or pressure-reducing، پیستونی یا دیافراگمی، تک مرحله‌ای یا



دو مرحله‌ای)، توجه دقیقی بایستی به ساختار رگولاتور شامل کیفیت آببندی بدنه، راحتی تنظیم استم، آببندی دیافراگم یا پیستون، فیلتراسیون یکپارچه و نشیمنگاه Poppet داده شود. در نهایت، کیفیت و نوع متریال‌های ساخت بایستی به طور ویژه مورد توجه قرار گیرد. انتخاب دیافراگم و متریال نشیمنگاه مختلف، طول عمر عملکرد ایمن و صحیح رگولاتور را تحت تاثیر قرار می‌دهد.