پمپ‌های گردش‌دهنده در سامانه‌های بسته

برگردان: مهندس ابوالفضل منفرد شادقلی

پمپی را که در یک سامانه بسته مورد استفاده قرار می‌گیرد،پمپ گردش‌دهنده یا سیرکولاتور می‌گویند. گردش‌دهنده‌ها مایع را در یک حلقه سامانه لوله‌کشی، چندین و چند بار می‌چرخانند. هرچند این موضوع از نقطه‌نظر سامانه‌های لوله‌کشی، غیر معمول می‌باشد. اما نقش گردش‌دهنده‌ها در صنعت گرمایش و تهویه مطبوع (HVAC) بسیار حیاتی است. بنابراین در میان سایر کاربردهای پمپ، گردش‌دهنده‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند.

سامانه‌های بسته

در سامانه‌های هیدرونیک HVAC، بر اثر گردش مایع پمپ شده در لوله‌ها، گرما از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل می‌شود. یعنی گرما از یک منبع دما بالا مانند دیگ بخار، دریافت و به قسمت‌های دما پایین، مانند کویل سامانه گرمایش، انتقال داده می‌شود. در یک سامانه سرمایش آبی، گرما توسط مایع از یک کویل تهویه مطبوع، دریافت و سپس به قسمت‌هایی که دمای کمتری دارند، مانند اواپراتور چیلر، منتقل می‌شود.

از مشخصه‌های سامانه‌های بسته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سامانه لوله‌کشی تحت فشار و کاملا پر از مایع، که تنها در یک نقطه با گاز قابل تراکم در ارتباط بوده و این نقطه معمولا یک منبع تحت فشار می‌باشد. (توجه: در بعضی از سامانه‌های بزرگ از سامانه انباره حرارتی به‌عنوان بخشی از سامانه گردش‌دهنده در مخازن باز، استفاده می‌شود.)
- مایع منتقل‌کننده گرما که با حداقل اتلاف در سامانه جریان می‌یابد، طبیعتا احتیاج کمی به مایع جبرانی دارد. معمولا در بیشتر سامانه‌ها از آب استفاده می‌شود که این مساله برخی امتیازات دیگری مانند تاخیر خوردگی و غیره را در بردارد. همچنین خواص آب در هنگام پمپ‌کردن، تقریبا بدون تغییر باقی می‌ماند. برخی از سامانه‌ها نیز برای انتقال گرما از آب یا روغن‌های خاصی که دارای غلظت قابل توجه ضد یخ گلیکول می‌باشند، استفاده می‌کنند. تغییرات خواص اصلی مایع از جمله گرمای ویژه و چسبندگی، باید در هنگام تعیین گردش‌دهنده مورد توجه قرار گیرد. در ادامه این مقاله آب را به‌عنوان مایع منتقل‌کننده یا مایع گردش‌دهنده فرض می‌کنیم.
- اختلاف ارتفاع در سامانه لوله‌کشی چه به صورت عمودی یا افقی، هیچ تاثیری در تعیین هد پمپ گردش‌دهنده ندارد.
- همچنین وجود اختلاف فشار در قسمت‌های مختلف سامانه، هیچ تاثیری در تعیین هد پمپ گردش‌دهنده نخواهد داشت.

در سامانه‌های هیدرونیک HVAC، بر اثر گردش مایع پمپ شده در لوله‌ها، گرما از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل می‌شود. یعنی گرما از یک منبع دما بالا مانند دیگ بخار، دریافت و به قسمت‌های دما پایین، مانند کویل سامانه گرمایش، انتقال داده می‌شود.

هد پمپ

وظیفه پمپ در هر سامانه، انجام کار بر روی مایع است. به‌طورکلی، برای انجام این کار، باید بر اختلاف ارتفاع یا فشار غلبه کرده و این مساله از عوامل اصلی تعیین هد مورد نیاز پمپ می‌باشد. افت اصطکاک نیز که در اثر تماس مایع با جداره داخلی لوله‌ها ایجاد می‌شود، یکی از عوامل فرعی در تعیین هد مورد نیاز پمپ خواهد بود.

واحدهای اندازه‌گیری هد پمپ عبارتند از فوت هد (foot of head) یا فوت در پوند نیرو بر پوند مایع (ft–lbf/lb). معادله برنولی این موضوع را به فرم ریاضی شرح داده است:

$$E_{Pump} = \left[\frac{P_b}{W} - \frac{P_a}{W}\right] + \left[Z_b - Z_a\right] + \left[\frac{V_b^2}{2g} - \frac{V_a^2}{2g}\right] + h_{friction}$$

در این فرمول، E_{pump} معرف هد پمپ و واحد آن فوت (ft)؛ P، فشار سطح مایع در قسمت مکش و تخلیه که واحد آن پوند بر فوت مربع (lb/ft_2)؛ W، دانسیته مایع که واحد آن پوند بر فوت مکعب (lb/ft_3)؛ Z، ارتفاع سیال در قسمت مکش و تخلیه نسبت به سطح مبنا و واحد آن فوت (ft)؛ V، سرعت مایع در قسمت مکش و تخلیه که واحد آن فوت بر ثانیه (ft/s)؛ g، شتاب ثقل و مقدار آن حدودا ۳۲/۲ فوت بر مجذور ثانیه (ft/s_2)؛ hf، افت فشار ناشی از اصطکاک و واحد آن فوت (ft)؛ f، ضریب اصطکاک و بدون بعد؛ L، طول لوله و واحد آن فوت (ft)؛ D، قطر لوله و واحد آن فوت (ft) و V، سرعت متوسط مایع و واحد آن فوت بر ثانیه (ft/s) می‌باشد. بدون شک بیشترین افت اصطکاک سامانه پمپ‌کردن، در لوله‌ها اتفاق می‌افتد. افت اصطکاک در اتصالات و دیگر تجهیزات، نظیر کویل‌ها و دیگ‌های بخار را نیز باید در نظر گرفت. بنابراین نکته مهم در تعیین هد پمپ گردش‌دهنده، محاسبه مجموع افت اصطکاک این اجزاء می‌باشد.

تعیین دبی سامانه

سامانه هیدرونیکی برای ایجاد آسایش در فضای خانه، علی‌رغم تغییرات آب و هوایی محیط طراحی شده است. بنابراین میزان دبی، باید در نظر گرفتن بدترین حالت اختلاف دمای بین محیط خارج و داخل خانه تعیین می‌شود. میزان دبی سامانه‌های هیدرونیک، برابر است با مقدار گرمایی که برای ایجاد شرایط محیطی قابل‌قبول در محیط زندگی به داخل ساختمان منتقل می‌شود.

عامل مهم دیگر در تعیین دبی، میزان تغییرات دمایی یا آب است که این اختلاف دما برای انتقال بار حرارتی ضروری می‌باشد. دمای آب هنگام طراحی باید از یک حد معین در سامانه تجاوز نکند. زیرا کنترل آن‌ها می‌تواند بسیارمشکل و گاه خطرناک باشد. (بالاترین حد ممکن برای دمای سامانه را معمولا (۱۲۰°C) ۲۵۰°F در نظر می‌گیرند). همچنین در سامانه‌های سرمایشی برای جلوگیری از یخزدگی اواپراتور چیلر، باید از پایین آمدن دمای سامانه اجتناب نمود. اختلاف دمای طراحی() در بیشتر سامانه‌های حرارتی معمولا ۲۰°F می‌باشد. آب معمولی دارای گرمای ویژه /LB°F 1BTU است. بنابراین جریان مورد نیاز برای ایجاد اختلاف دمای مورد نظر به صورت زیر می‌باشد:

دبی (gpm) =

بار حرارتی (BTU/hr)/10,000

با کاهش گرمای ویژه آب و در صورت ثابت ماندن بقیه عوامل، می‌توان میزان دلخواه افزایش در جریان را به‌دست آورد. یکی از راه‌های کاهش گرمای ویژه آب، اضافه نمودن موادی مانند گلایکول به آن می‌باشد. هر چند ویسکوزیته محلول گلایکول از آب بیشتر بوده و این امر باعث افزایش افت اصطکاکی سامانه و نیز کاهش راندمان پمپ خواهد شد.

انواع گردش‌دهنده

در سامانه گردش‌دهنده، هر نوع پمپی را می‌توان مورد استفاده قرار داد. اما در صنعت تهویه، استفاده از انواع پمپ با محدودیت‌هایی همراه است که از آن جمله می‌توان به هزینه‌های اولیه و هزینه‌های عملیاتی اشاره کرد. بگذریم از این‌که در ساختمان‌های جدید که بودجه‌های اجرایی هنگفتی دارند، اغلب هزینه‌های نسبتا کمی به سامانه‌های تهویه اختصاص می‌یابد! نگهداری و پشتیبانی فنی نیز از جمله محدودیت‌های سامانه‌های تهویه به حساب می‌آید. بنابراین قابلیت اطمینان و سهولت نگهداری پمپ نیز در این مورد از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا برخلاف یک واحد صنعتی که ممکن است دارای تکنسین‌ها و تعمیرکاران مجرب زیادی باشد، سامانه تهویه توسط افراد کم تجربه مانند تعمیرکاران محلی، اداره می‌شود. نظر به این‌که تعداد زیادی گردش‌دهنده در فضای محدودی نصب می‌شوند، عملکرد آرام و بی‌صدای سامانه الزامی است. برای بالا بردن بازده سامانه به‌طور معمول از طرح‌های کوپل بسته و کوپل انعطاف‌پذیر پمپ‌های سانتریفیوژ استفاده می‌شود.

پمپ‌های گردش‌دهنده‌ی کوچک

– پمپ‌های گردشی «روتور مرطوب» (rotor Wet)

تعدادی از خانه‌های کوچک به ویژه در امریکای شمالی، توسط سامانه‌های حرارتی هیدرونیکی کوچک، گرم می‌شوند. در این سامانه‌ها معمولا از یک پمپ روتور مرطوب کوپل بسته کوچک استفاده می‌شود. به علت کم بودن اتلافات گرمایی ساختمان، دبی جریان و نیز افت اصطکاکی سامانه هیدرونیکی بسیار پایین خواهد بود.

در صورت استفاده از پمپ‌های «روتور مرطوب»، دیگر نیازی به استفاده از آب بند مکانیکی نبوده و در نتیجه هزینه اجرای سامانه، کاهش خواهد یافت. اشکال اصلی این پمپ‌ها این است که جریان آب در سامانه هیدرونیکی، اغلب حاوی درصد زیادی از ذرات معلق ریز و ساینده‌ای است که باعث خرابی یاتاقان می‌گردند. با توجه به مطالب فوق‌الذکر و از آن جایی‌که تعویض پمپ‌ها تقریبا آسان‌تر از تعمیر آن‌هاست؛ گاهی اوقات از رده خارج کردن

پمپ‌های خراب از تعمیر آن‌ها مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. در بعضی گردش‌دهنده‌ها که طراحی مشابه روتور مرطوب دارند، برای اجتناب از خرابی‌های یاتاقان که در پمپ‌های روتور مرطوب اتفاق می‌افتد از یاتاقان‌های خود روغنکار و آب‌بندهای مکانیکی استاندارد استفاده می‌شود. البته طبیعی است که اندازه این پمپ‌ها از انواع مشابه خود کمی بزرگ تر خواهد بود.

- بوستر پمپ‌های سه تکه

معمولا وقتی از گردش‌دهنده‌ها صحبت می‌شود، اغلب گردش‌دهنده‌های سه تکه در ذهن متبادر می‌شود. این پمپ‌ها که دارای آب‌بندهای مکانیکی، کوپلینگ انعطاف‌پذیر و پره شعاعی هستند؛ برای افزایش فشار و تقویت جریان به کار می‌روند. این سامانه‌ها که امروزه دیگر قدیمی شده‌اند، در اصل بدون پمپ طراحی و برای ایجاد گردش در سامانه از اختلاف چگالی بین آب گرم و سرد استفاده می‌کنند (اصطلاحا به این نیرو «ترموسیفون» می‌گویند). ساخت اولین بوستر پمپ‌ها در اواسط سال ۱۹۳۰، نقطه آغازی بر ظهور سامانه‌های مدرن هیدرونیکی بود. این پمپ‌ها از یک محفظه، یاتاقان، موتور و پایه نصب تشکیل می‌شدند. همچنین در این نوع پمپ‌ها از نوعی کوپلینگ که دارای فنر و یاتاقان‌های بوشی روان‌کاری شده بودند، برای کاهش سر و صدا در پمپ و موتور استفاده می‌کردند. این گردش‌دهنده‌های کوچک در اندازه‌های گوناگونی وجود دارند. بنابراین طراحان به راحتی می‌توانند مدل و اندازه پمپ مورد نیاز خود را برای ایجاد هد و جریان مناسب انتخاب کنند. هر یک از این گردش‌دهنده‌ها یک پره و موتور مشخص و منحصر به فرد دارند. پس با انتخاب گردش‌دهنده، نوع پره و موتور به راحتی تعیین می‌شود. بنابراین برای انتخاب پره و موتور دیگری نیازی به محاسبه و طراحی نداریم. برای سامانه‌های بزرگ‌تر که بار حرارتی زیاد و افت اصطکاکی کلی بالاتری دارند، گردش‌دهنده‌های بزرگ‌تری مورد نیاز می‌باشد. این گردش‌دهنده‌ها تقریبا به پمپ‌های سانتریفیوژ مورد استفاده در صنعت شبیه هستند. گردش‌دهنده‌های بزرگ به صورت موازی، سر مکش و مکش دوبل در دسترس هستند.

یکی از مشخصات مشترک در این گردش‌دهنده‌ها، کاربرد آب‌بند مکانیکی است.پمپ‌های یکپارچه (type pumps Packed)، برای خنک‌کاری و روانکاری به نشت گلند نیاز دارند. بنابراین استفاده از آن‌ها در سامانه گردش‌دهنده توصیه نمی‌شود. همچنین لازم به ذکر است که سامانه‌های هیدرونیکی اغلب برای کار در فشارهای بالای اتمسفر طراحی می‌شوند. اگر درسامانه هیدرونیکی از پمپ‌های یکپارچه استفاده شود، جهت حفظ فشار سامانه باید نشتی گلند را با اضافه کردن آب جبرانی تامین نمود. تزریق آب جبرانی به سامانه باعث ورود هوا و ذرات معلق به سامانه می‌شود. که می‌توانند باعث ایجاد خوردگی یا افزایش رسوبات روی سطح انتقال حرارت سامانه گردند.

منبع تحت فشار

بدیهی است که پمپ‌های گردش‌دهنده باید به صورت صحیح و براساس دستورالعمل سازنده آن نصب شوند. به این ترتیب، گردش‌دهندهها هیچ تفاوتی با دیگر پمپ‌ها ندارند. اما یک سری الزامات خاص (که اغلب نیز رعایت نمی‌شود) برای نصب و عملکرد این پمپ‌ها وجود دارد. پمپ‌ها باید با در نظر گرفتن موقعیت منبع تحت فشار در سامانه نصب شوند. برای حفظ و تثبیت فشار سامانه در داخل یک «محدوده قابل قبول» از منبع تحت فشار که گاهی به آن منبع انبساط نیز می‌گویند، استفاده می‌شود. حد پایینی این محدوده به واسطه عواملی چون ارتفاع سامانه و NPSHR پمپ و حد بالایی آن نیز با تنظیم شیر اطمینان فشار تعیین می‌شود. این منبع‌ها دارای یک بالشتک گازی نسبتا بزرگ هستند که کار آن افزایش یا کاهش دمای سامانه است. برای مثال با گرم شدن سامانه، حجم آب افزایش یافته و متعاقب آن فشار بالا می‌رود، در این هنگام بالشتک گازی منبسط شده و دمای متوسط آب را کاهش می‌دهد. بحث درباره تعیین موقعیت پمپ نسبت به منبع، در نگاه اول ممکن است کمی بی‌ربط به نظر بیاید. اما فشاری که توسط منبع، روی سامانه اعمال می‌شود، با این موضوع ارتباط مستقیم دارد. هر یک از سه مورد زیر می‌تواند باعث تغییر فشار در نقطه اتصال منبع با سامانه گردد:

تغییر در میزان آب داخل سامانه

تغییر در میزان گاز محبوس شده در منبع تحت فشار

تغییر محسوس در حجم آب که منجر به تغییر دمای آن گردد.

هریک از این موارد باعث تغییر نسبت حجمی آب و گاز داخل منبع می‌شوند. گردش‌دهنده قادر به تغییر میزان آب یا هوای داخل سامانه نیست. همچنین وقتی توان اسب بخار آب که در مقایسه با بار حرارتی طراحی بسیار ناچیز است به واسطه اصطکاک، کاهش یابد؛ گردش‌دهنده نمی‌تواند حرارت سامانه را افزایش دهد. بنابراین، تا آنجا که به پمپ مربوط می‌شود، نقطه اتصال منبع به سامانه، «نقطه ایستای فشار» خواهد بود. در سامانه‌هایی که در آن‌ها هد پمپ تقریبا برابر با فشار سامانه است؛ منبع باید همیشه در سمت مکش پمپ نصب شود.

برای اجتناب از تاثیر فشار استاتیکی و برای این‌که تجزیه و تحلیل ساده‌تر شود، فرض می‌کنیم که سامانه به صورت یک حلقه افقی باشد. با خاموش کردن پمپ، فشار در همه جای حلقه یکسان می‌شود؛ پر شدن سامانه باعث ایجاد فشار مورد نیاز گشته و آن را برای هر نوع انبساط حرارتی آماده می‌کند. وقتی‌که پمپ روشن می‌شود، اختلاف فشار باعث جریان یافتن سیال و نیز ایجاد افت اصطکاک در سامانه می‌گردد. بنابراین فشاری که در حلقه افقی اندازه‌گیری می‌شود با فشار اولیه برابر نیست. از آنجا که پمپ قادر به تغییر فشار در نقطه اتصال منبع نمی‌باشند؛ افت فشار بین منبع و قسمت مکش پمپ ناچیز خواهد بود. اما زمانی‌که پمپ در حال کار است، شاهد افزایش فشار در سامانه خواهیم بود. اگر پمپ طوری نصب شود که قبل از منبع تحت فشار باشد؛ هنگام روشن کردن پمپ، سامانه دچار افت فشار خواهد شد. این افت فشار می‌تواند باعث جوشیدن آب و ایجاد پدیده‌ی حفره‌زایی (کاویتاسیون) در سامانه گردد. همچنین کاهش فشار در سامانه ممکن است سبب ایجاد خلاء و به دنبال آن، مکش هوا از شیر هواگیر خودکار به داخل سامانه شود. که این مساله سبب خوردگی و افت هدایت حرارتی در تجهیزات انتقال حرارت سامانه می‌گردد. اما هرگاه پمپ طوری نصب شود که بعد از منبع تحت فشار باشد، در این حالت فشار مورد نیاز سامانه تامین خواهد گردد. به هر حال، از پمپ‌های سانتریفیوژ می‌توان به‌عنوان پمپ گردش‌دهنده‌ای که با پمپ‌های موجود در صنعت وجوه مشترک زیادی دارد، استفاده کرد. اما طراحان سامانه در طرح‌های خود حتما باید تفاوت‌هایی که در کاربردهای پمپ وجود دارد در نظر بگیرند.