چگونه هزینه واقعی بخار را محاسبه کنیم؟ (1)

شرکت پارس جم کنترل
نویسنده مقاله: مهندس سامان لاله پرور

مقدمه

اطلاع از هزینه واقعی بخار به دلایل متعددی که همه آنها باعث بهبود شرایط کارخانه می شوند، دارای اهمیت است. پاره ای از آنها شامل موارد زیر است:

- ارزیابی اقتصادی صحیح راندمان فرایند های مورد استفاده در هر کارخانه یا پروژه های بهبود ظرفیت تولید. در صورتی که هزینه محاسبه شده صحیح نباشد، ممکن است بسیاری از پروژه های انرژی خوب فراموش شده یا رد شوند.
- به خدمت گرفتن بعنوان پایه ای برای بهینه سازی سیستم تولید بخار و کاهش هزینه ها
- حصول برآورد صحیح برای تعریف پروژه های تولید ترکیبی برق و حرارت

بخار در صنعت کاربرد های مختلفی دارد:

- تامین حرارت مورد نیاز در فرایند ها (فرایند های گرمایشی)
- جت های تامین خلاء
- تامین نیروی محوری برای محرک های مکانیکی
- تولید برق
- تامین حرارت و رطوبت در سیستم تهویه مطبوع

در تجهیزات تولیدی کارخانه های صنعتی، غالباً فرایند های گرمایشی با بخار، بیش از 60 درصد حجم انرژی حرارتی مصرفی را تشکیل می دهند. همچنین این فرایند ها بخش قابل توجهی از هزینه های بهره برداری قابل کنترل را شامل می شوند. لذا این موضوع یکی از فرصت های اصلی برای مدیریت و کاهش هزینه و افزایش سود به حساب می آید.

هزینه بخار درست

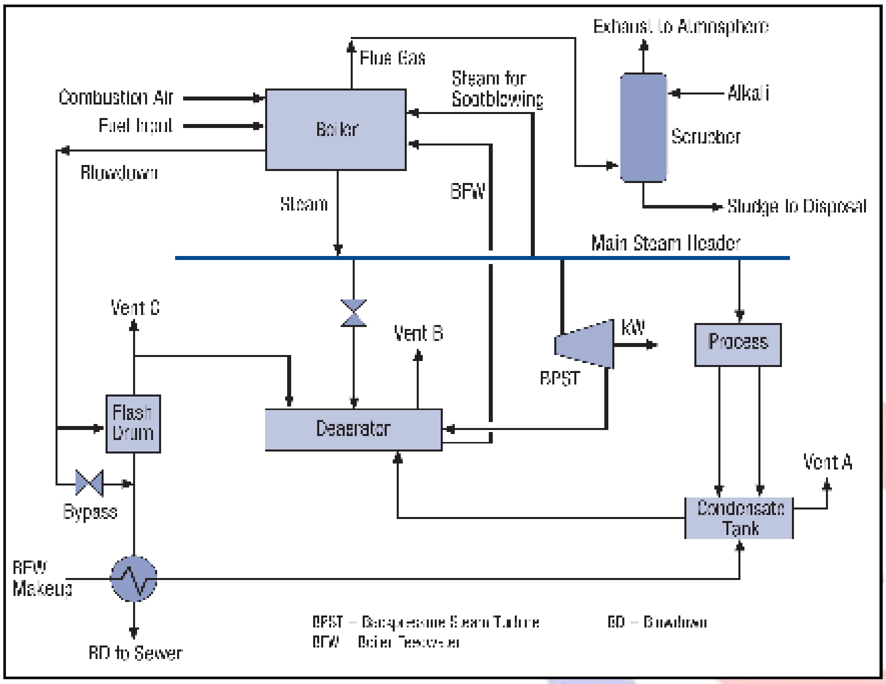
برای تعیین هزینه بخار درست، لازم است جزئیات بیشتری از بخار مورد بررسی را بدانیم. آیا ما در رابطه با بخار در نقطه مصرف صحبت می کنیم؟ یا در محل تولید؟ از کدام بویلر؟ در کدام سطح فشار یا با کدام کیفیت؟ میانگین هزینه ها یا هزینه های نهایی مورد بررسی است؟ اگر میانگین هزینه ها مورد بررسی باشد، آیا شامل هر دو هزینه های ثابت و متغیر می باشد یا صرفاً هزینه های متغیر؟ علاوه بر این می بایست بین هزینه های تولید و هزینه های مصرف تمیز داده شود.

اگر سایت تنها یک مولد بخار (بویلر) داشته باشد که یک نوع سوخت مصرف کرده و تنها در یک فشار کار کند، تعیین هزینه بخار نسبتاً ساده است. اما در بسیاری از موارد، مولدهای بخار چندگانه با چند نوع سوخت مصرفی کار می کنند. همچنین سطوح فشار بخار نیز متفاوت هستند که از روش های مختلف تامین می شوند. برای مثال فشار بخار با استفاده از شیر آلات تقلیل فشار یا توربین های بخار کاسته می شود. در چنین شرایطی محاسبه هزینه بخار صحیح بسیار پیچیده می شود. تا کنون محاسبات و برآوردها بر اساس چندین روش از جمله روش قانون دوم یا آنالیز انرژی، روش نلسون و روش شبیه سازی صورت پذیرفته است. در میان روش های مذکور، شیوه مدلسازی و شبیه سازی کامپیوتری بسیار راحت، قابل اعتماد و قوی تر می باشند.

در بسیاری از کارخانه ها، هزینه عنوان شده برای بخار، هزینه متوسط تولید بخار برای نرخ خاصی از تولید می باشد. جمع هزینه های عملکردی از قبیل سوخت، آب، افزودنی های شیمیایی، نیروی انسانی، تعمیرات، کهولت و استهلاک، بهره و هزینه های بالاسری اداری و مدیریتی بر کل میزان بخار تولیدی تقسیم می گردد. این روش، ممکن است معیار مالی کلی، راحت و مناسبی باشد، اما بطور خاص برای مدیریت سیستم بخار در راستای کاهش هزینه ها مفید نیست. لذا روش بهتری جهت محاسبات مذکور مورد نیاز است.

یکی از مشکلات مهم بخصوص در مجموعه هایی که چند بویلری و چند سوختی کار می کنند و توربین بخار نیز دارند، برآورد هزینه بخار بر اساس نرخ تولید است. این موضوع برای غالب افراد ملموس نیست. در این گزیده مقاله تخصصی، ما نشان می دهیم که چگونه می توان هزینه واقعی بخار را در نرخ های مختلف عملکردی فرآیند محاسبه نمود. همچنین با ذکر مثالی روشن نشان داده می شود که تنها راه درست، برآورد هزینه بخار از روش مدلسازی سیستم بخار است.

در شکل شماره 1 ، سیستم بخار ساده ای که از یک نمونه واقعی بر گرفته شده به نمایش در آمده است.



شکل شماره 1: شماتیک نمونه از یک سیستم بخار ساده

در معادلات زیر، هزینه عملکرد بویلر C_0 در ساعت و فرآیند به S پوند بخار در ساعت (lb/hr) نیاز دارد. برای تامین این مقدار بخار، ضروری است به میزان $(1+X)S$ پوند بر ساعت بخار تولید شود که در آن ضریب X عددی از 5 تا 20% است. بنابر این دو فرمول مشخص زیر برای تعیین هزینه بخار موجود خواهد بود:

(a) Generating cost C_G, \$/lb $=C_O/(1+X)S$

(b) Consumption cost C_G, \$/lb $= C_O/S$

کدام معادله هزینه باید استفاده گردد؟ زمانی که به سیستم تولید با راندمان بالا تمایل داشته باشیم، معادله اول را بکار می گیریم. معادله دوم زمانی استفاده می شود که تعیین هزینه واقعی کارکرد فرآیند مورد نظر بوده و در حال برآورد پروژه های بقاء انرژی باشیم.

محاسبه هزینه تولید بخار

گام اول محاسبه هزینه تولید بخار از دیگ یا دیگ های بخار می باشد که دارای چندین مولفه است :

1. سوخت (C_F)
2. تامین آب خام (C_W)
3. فراهم آوری آب تغذیه شامل تصفیه، سختی گیری و تخلیه مواد معدنی[1] (C_{BFW})

4. مصرف برق پمپ های تغذیه (C_P)
5. مصرف برق فن های احتراق (C_A)
6. هزینه های احتمالی تخلیه آب بلودان به فاضلاب (C_B)
7. تخلیه دوده ها[2] (C_D)
8. کنترل تابش های محیطی[3] (C_E)
9. اقلام تعمیراتی و نیروی انسانی (C_M)

محاسبه هزینه تولید بخار نسبتاً ساده است. جمع هزینه های متغیر ایجاد بخار ، CG ، برابر است با جمع تک تک موارد فوق که به شکل دلار بر هزار پوند ($/Klb) تولید بخار بیان می گردد.

$$C_G = C_F + C_W + C_{BFW} + C_P + C_A + C_B + C_D + C_E + C_M$$

معمولاً هزینه سوخت اصلی ترین مولفهٔ معادله فوق بوده که 90% جمع کل را شامل می گردد. این عدد به شکل زیر بدست می آید:

$$C_F = a_F \times (H_S - h_W)/1000/\eta_B$$

که در آن a_F = هزینه سوخت ($/MMBtu)

H_S = آنتالپی بخار، Btu/lb

h_W = آنتالپی آب تغذیه دیگ، Btu/lb

η_B = راندمان کلی دیگ بخار، نسبت

اساساً راندمان کلی بویلر به میزان هوای تغذیه احتراق در دمای محیط و دمای آب تغذیه بویلر از دی اریتور بستگی دارد. چنین فرض می شود که دمای آب تغذیه دیگ در محیطی خارج از محوطه دیگ بخار بوسیله تبادل حرارت با یک جریان فرایندی از دمای محیط تا دمای کندانس (معمولاً در حدود 200°F) پیش گرم شود. این پیش گرمایش در مجموعه بازیافت حرارتی آب بلودان دیگ بوسیله مبدل نیز امکان پذیر است. استفاده از بخار جهت پیش گرمایش آب تغذیه دیگ در شرایطی که انرژی ارزان باشد نیز انجام می پذیرد اما استفاده از حرارت اضافی فرایند ها بجای آن باعث بهبود چشمگیر راندمان چرخه خواهد بود. اصولاً راندمان کلی دیگ بخار تابعی از دمای نهایی گازهای حاصل از احتراق می باشد که برای نمونه در شرایطی که نسبت هوای اضافه به عدد بهینه آن نزدیک باشد، در حدود 80 تا 85% خواهد بود.

در اصل لازم است تک تک مولفه های فوق برای شرایط خاص هر سایت با دقت و سختی زیاد محاسبه گردد. اما در کاربرد، معمولاً استفاده از فرمول تقریبی زیر کفایت می نماید.

$$C_G = C_F\ (1+ 0.30)$$

عدد 0.3 بعنوان یک تقریب برای حاصل جمع مولفه های 2 تا 9 بالا نمایش داده شده است.

دومین گام محاسبه هزینه بخار در فشار های پایین تر است. تعیین هزینه مذکور بعلت وابسته بودن به روش تقلیل فشار از نقطه تولید تا نقطه مصرف کمی مشکل است. بخار فشار پایینی که معمولاً توسط ایستگاه های تقلیل فشار حاصل می گردد، اساساً آنتالپی برابر با بخار فشار بالای اولیه دارند. بنابراین به حالت سوپر هیت در آمده و در کاربرد با تزریق کندانس به حالت اشباع باز می گردد. در این صورت هزینه بخار فشار پایین از هزینه بخار فشار بالای مربوطه به روش زیر محاسبه می گردد:

$$C_L = C_H \times (H_{SL} – h_W)/ (H_{SH} – h_W)$$

که در آن H_{SL} = آنتالپی بخار فشار پایین ، Btu/lb

H_{SH} = آنتالپی بخار فشار بالا، Btu/lb

در بعضی شرایط تامین بخار کم فشار از طریق ایستگاه های تقلیل فشار نا کارامد است. برای ظرفیت های بخار بالای 50.000 lb/hr ، معمولاً عبور بخار فشار بالا از توربین و تامین بخشی از قدرت مورد نیاز در تولید بسیار موثر تر و مقرون به صرفه تر است. در صورتی که بخار کم فشار از طریق توربین حاصل شده باشد، هزینه مربوطه به روش زیر محاسبه می گردد:

$$C_L = C_H – 1000 \times a_E \times (H_{SH} – H^*_{SL})/3413/\eta_T/\eta_G$$

که در آن a_E = هزینه برق، \$/kWh

H^*_{SL} = آنتالپی بخار فشار پایین حاصل از انبساط ایزنتروپیک بخار فشار بالا ، Btu/lb

η_T = راندمان ایزنتریپک توربین بخار، نسبت

η_G = راندمان ژنراتور، نسبت

مشکل جدی بجامانده در این روش، تعیین هزینه درست برای افزایش یا کاهش مصرف بخار فشار پایین است که به چگونگی تقلیل فشار از نقطه تولید تا محل مصرف (از طریق شیر تقلیل فشار یا توربین بخار) وابسته می باشد. تنها روش ممکن جهت برآورد دقیق در چنین شرایطی، تشکیل معادله بالانس انرژی و ماده و مدلسازی سیستم بخار خواهد بود.

با ادامه این مقاله در شماره های آتی به مباحث مدلسازی و تعیین دقیق قیمت بخار و ذکر مثال های واقعی جهت آشنایی هر چه بیشتر ذهن خوانندگان گرامی خواهیم پرداخت. علاقمندان جهت دریافت اطلاعات بیشتر یا مراجع اصلی این مقاله می توانند با شرکت پارس جم به شماره تلفن های 88708223,24 یا پست الکترونیکی info@pars-jam.com تماس حاصل فرمایند.

[1] Demineralization
[2] Ash disposal
[3] Environmental emissions control