

کاهش مصرف سوخت با کاهش هوای اضافه مشعل

سید کامبیز عبدالله^۱، مصطفی الطافی^{۲*}

کارخانه روژین تاک کرمانشاه

(* نویسنده مخاطب: mostafaaltafi@gmail.com)

چکیده

امروزه کاهش هوای اضافه و تنظیم نسبت سوخت و هوا در مشعل ها یکی از راه های اثبات شده در کاهش مصرف سوخت است. در بسیاری از صنایع بویلر ها به صورت ۲۴ ساعته مشعل به فعالیت می باشند و حجم مصرف سوخت این صنایع بسیار بالا می باشد. یکی از این صنایع صنعت تبدیل گوجه فرنگی به رب می باشد که در فرایند آن از بخار به عنوان حامل انرژی استفاده می شود. لذا تنظیم مشعل های بویلر ها یکی از الویت های این صنعت می باشد. با تنظیم ۸ مشعل بویلر های ۱۰ تن کارخانه کشت و صنعت روژین تاک صرفه جویی در حدود ۱۵ میلیون تومان در یک دوره ۹۰ روزه صورت پذیرفت و به صورت میانگین درصد اکسیژن خروجی از دودکش بویلر ها در حالت ماکزیمم از ۶.۲۶ به ۴ درصد رسید.

واژه های کلیدی: بویلر- آنالیزور تستو- اکسیژن- مونوکسید کربن

۱- مقدمه

احتراق یک فرایند شیمیایی است که در آن اکسید کننده به سرعت با سوخت واکنش می دهد و انرژی آزاد می شود. در بسیاری از کاربردها اکسیژن موجود در هوا نقش اکسید کننده را بازی می کند. سوخت های رایج که تحت عنوان سوخت های هیدروکربنی شناخته می شوند، عموماً از کربن و هیدروژن تشکیل شده اند. بنابر این محصولات احتراق عمدتاً شامل H₂O و CO₂ می باشند.

فرایند احتراق در صورتی پایدار می ماند که نسبت سوخت و هوا در بازه ی مناسب خود قرار داشته باشند. به عنوان مثال احتراق گاز طبیعی با هوا در دمای محیط تنها در صورتی انجام می پذیرد که حجم سوخت بین ۵ تا ۱۵ درصد هوا باشد. به عبارت دیگر اگر سوخت کم تر از ۵ درصد هوا و یا بیشتر از ۱۵ درصد هوا باشد، احتراقی انجام نمی شود [1].

فرایند احتراق ایده آلی که طی آن سوخت به طور کامل بسوزد احتراق استوکیومتریک نامیده می شود. به مقدار هوایی که برای احتراق استوکیومتریک لازم است هوای استوکیومتریک یا هوای تثوریک می گویند. در عمل بخاطر این که فرایند اختلاط سوخت و هوا ناقص انجام می شود همیشه مقدار هوا از مقدار هوای استوکیومتریک بیش تر است، که این مقدار اضافی تحت عنوان هوای اضافه نامیده می شود.

هر گاه در محصولات احتراق هیدروکربن نسوخته و یا ترکیباتی مثل گاز مونوکسید کربن وجود داشته باشد می توان نتیجه گرفت که احتراق ناقص صورت پذیرفته است. هر گاه احتراق ناقص انجام شود به این معنی است که بخشی از سوخت که می توانسته با سوختن خود انرژی آزاد کند بدون این که با اکسیژن واکنش دهد از طریق دودکش خارج می گردد، یعنی سوخت و انرژی در حال هدر رفتن است. احتراق ناقص دلایل مختلفی ممکن است داشته باشد که عبارتند از:

مقدار ناکافی هوا

دمای شعله کم

۱- کارشناس ارشد دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۲- کارشناس ارشد دانشگاه صنعتی امیر کبیر

زمان ماند ناکافی واکنش دهنده ها

اختلاط نامناسب واکنش دهنده ها

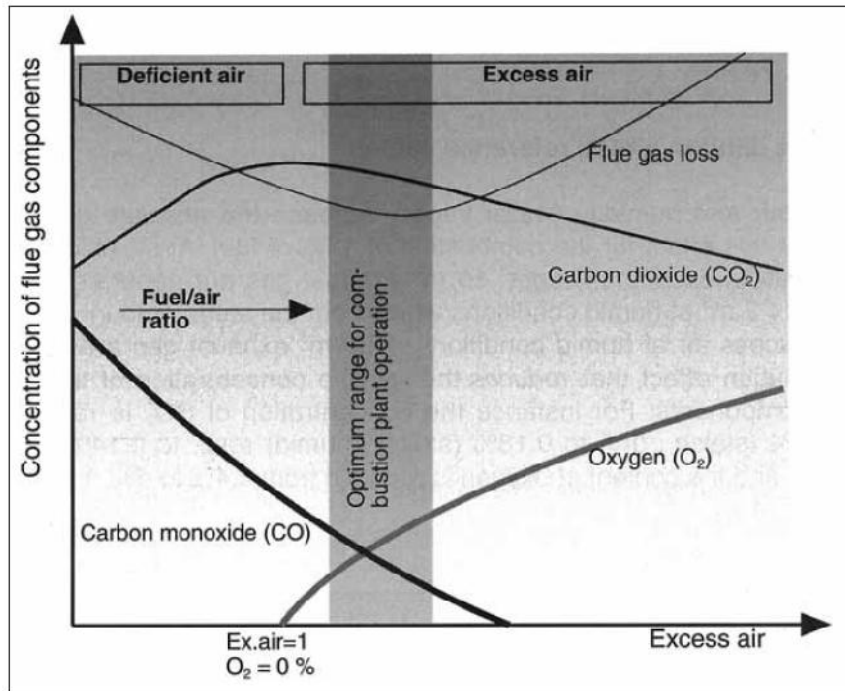
مقدار هوای اضافه به عوامل مختلفی از جمله مشخصات سوخت، مشخصات مشعل و نوع بویلر بستگی دارد [2]. کنترل مقدار هوای اضافه یکی از موثرترین روش های افزایش راندمان بویلر است. فلسفه ای اصلی کنترل هوای اضافه رسیدن به نقطه ای است که در آن افت های ناشی از هیدروکربن های نسوخته و افت های حرارتی دودکش به حداقل برسد. از آن جا که افت حرارتی در اثر احتراق ناقص ۶ برابر بیش تر از افت ناشی از هوای اضافه است ترجیح بر این است که بویلر نزدیک به این نقطه کار کند و به هیچ وجه به زیر این نقطه نرسد.

یکی از قوانین سرانگشتی در ارتباط با هوای اضافه این است که به ازای یک درصد کاهش اکسیژن یک درصد در مصرف سوخت صرفه جویی می شود [3]. اگر مقدار هوای اضافه کم تر از مقدار لازم باشد، سوخت ناقص می سوزد و در نتیجه دوده و گاز مونوکسید کربن در دودکش مشاهده می شود. در این حالت راندمان احتراق کاهش یافته و مصرف سوخت افزایش می یابد. نکته ی دیگری که لازم است به آن اشاره شود تشکیل دوده در داخل محفظه ی احتراق و لوله ها می باشد که همین عامل باعث کاهش انتقال حرارت می شود.

همچنین اگر مقدار هوای اضافی خیلی زیاد هم باشد، باز هم راندمان کاهش می یابد، چون انرژی صرف گرم کردن محصولات احتراقی می شود که از طریق دودکش خارج می شود و با توجه به سرعت بالایی که این محصولات احتراق دارند، فرصت کافی برای انتقال حرارت ندارند.

برای دستیابی به یک احتراق کامل در یک فرایند از مقدار هوای بیش تر از هوای تئوری استفاده می شود تا بتوان از احتراق کامل سوخت مطمئن شد. نقش دیگر این هوای اضافه جلوگیری از تشکیل گاز خطرناک مونوکسید کربن می باشد.

در بررسی مسئله ی کنترل هوای اضافه می بایست همواره به این نکته توجه نمود که نسبت سوخت به هوایی که تنظیم می شود در حقیقت یک نسبت جرمی است تا حجمی و علت آن تغییرات چگالی هوا و سوخت های گازی نسبت به دما و فشار می باشد. به همین خاطر است که در فصول مختلف به علت تغییرات دمایی مشعل مجدداً تنظیم می گردد. با اندازه گیری مقدار گاز مونوکسید کربن و اکسیژن در گازهای خروجی از دودکش می توان نقطه ی بهینه از لحاظ مقدار هوای اضافه را پیدا کرد. در شکل زیر یک نمونه از این اندازه گیری ها مشاهده می شود. نقطه ی بهینه در این نمودار نقطه ای است که در آن گاز مونوکسید کربن شروع به افزایش ناگهانی می کند.



شکل ۱- نمودار اکسیژن بر حسب مونوکسید کربن و نقطه ی بهینه از لحاظ هوای اضافه [4]

مقدار هوای اضافه به نوع سوخت بستگی دارد. هرچقدر مقدار هوای اضافه بیش تر از مقدار لازم باشد، مقدار انرژی که از طریق دودکش خارج می شود افزایش می یابد. بنابراین در سیستم های احتراقی تلاش بر این است که هوای اضافه به حداقل ممکن برسد. در جدول زیر مقدار هوای اضافه برای سوخت های مختلف مشاهده می شود. تغییرات دمایی و فشار بارومتریک محیط می تواند مقدار هوای اضافه را بین ۵ تا ۱۰ درصد تغییر دهد. ذکر این نکته ضروری به نظر می رسد که اگر میزان هوای اضافه کم تر از مقدار لازم باشد، احتراق سوخت کامل انجام نمی شود و مقدار گاز CO در داخل دودکش به شدت افزایش پیدا می کند.

جدول ۱- مقدار هوای اضافه مورد نیاز برای سوخت های مختلف [5]

| Fuel | Excess Air (%) | | O ₂ in Flue Glass (%) | |
|-------------|----------------|------|----------------------------------|-----|
| | Min | Max | Min | Max |
| Natural Gas | 10.0 | 15.0 | 2.0 | 2.7 |
| Fuel Oil: | | | | |
| Light | 12.5 | 20.0 | 2.3 | 3.5 |
| Heavy | 20.0 | 25.0 | 3.3 | 4.2 |
| Coal | 30.0 | 50.0 | 4.9 | 7.0 |

روند اجرای تنظیم مشعل بویلر های ۱۰ تن

برای تنظیم نسبت سوخت و هوا در دیگ های ۱۰ تن از آنالیزور تستو استفاده شد و محلی را بر روی دودکش سوراخ نموده تا بتوان از آنالیزور تستو استفاده نمود. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول شماره ۱ تصمیم بر این شد که در دودکش

درصد اکسیژن حدود ۳ درصد باشد چون سوخت مورد استفاده در کارخانه گاز طبیعی است. در راستای دستیابی به این هدف بر روی پارامترهای زیر تغییراتی ایجاد شد.

کمان سوخت

کمان هوا

رگلاتور گاز

ورودی هوای فن

افزایش تعداد سوراخ های مشعل

در نهایت هر بویلر در ۵ نقطه ی کاری تست شد تا اطمینان حاصل شود بویلر در تمام ظرفیت های کاری میزان اکسیژن خروجی از دودکش حدود ۳ درصد داشته باشد. نتایج این تست ها در حالت ماکزیمم در جدول زیر آمده است. پارامترهای دمای هوا، دمای دودکش، درصد اکسیژن، میزان گاز مونوکسید کربن، راندمان ناخالص، راندمان خالص و فشار داخل دودکش به ترتیب از بالا به پایین در حالت ماکزیمم تمامی ۸ بویلر آورده شده است.

جدول ۲- نتایج آنالیزور تستو بعد از تنظیم مشعل در حالت ماکزیمم

| بویلر | بویلر | بویلر | بویلر | بویلر | بویلر | بویلر | بویلر | بویلر |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AT() | 43 | 41.8 | 42.6 | 42.9 | 44 | 46.3 | 49.5 | 45.6 |
| FT() | 206.4 | 221.9 | 234 | 224.4 | 205.1 | 213 | 236.8 | 222 |
| O2(%) | 2.9 | 4 | 4.2 | 4.4 | 4.7 | 4.8 | 3.4 | 3.6 |
| CO(ppm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 304 |
| Effg(%) | 83.2 | 82 | 81.5 | 81.8 | 82.7 | 82.4 | 82 | 82.3 |
| effn(%) | 91.7 | 90.4 | 89.8 | 90.1 | 91.1 | 90.8 | 90.4 | 90 |
| draught(hpa) | -0.67 | -2.25 | | -0.37 | -0.64 | -0.68 | -0.61 | -0.4 |

اگر متوسط درصد اکسیژن ۸ بویلر را قبل و بعد از تنظیم در هزینه ی ۹۰ روزه ی سوخت قبل از تنظیم ضرب کنیم می توان به تقریب خوبی از میزان مبلغ صرفه جویی شده رسید که در ادامه آورده شده است. قبل از تنظیم مشعل ها درصد اکسیژن اندازه گیری شد تا بتوان اثر بخشی آن را بعد از تنظیم نشان داد. قبل از تنظیم متوسط در صد اکسیژن ۸ بویلر در حالت ماکزیمم 6.26 درصد بوده که در اثر تنظیم این مقدار به 4 درصد رسیده است.

$$fuel\ saving = \left(\frac{6.26 - 4}{100} \right) \times 66938256 = 15128052 \quad (1)$$

بنابراین کاهش درصد اکسیژن از 6.26 درصد به 4 درصد، در دوره ی ۹۰ روزه حدود ۱۵ میلیون تومان صرفه جویی به همراه داشته است.

بحث و نتیجه گیری

بعد از تنظیم مشعل ها می توان به خوبی اثر بخشی آن را در بهبود راندمان و کاهش مصرف سوخت و به تبع آن کاهش هزینه ها مشاهده کرد. با تنظیم نسبت سوخت و هوا در مشعل ها نه تنها می توان در هزینه ها صرفه جویی کرد بلکه آلودگی محیط زیست نیز به شدت کاهش می یابد. تنظیم نسبت سوخت و هوا فرایندی است که می بایست در هر فصل مجددا انجام شود چون تغییرات دمایی نسبت های قبلی را به هم می زند. با تنظیم نسبت سوخت و هوا در کارخانه روزین تاک کرمانشاه در یک دوره ی ۹۰ روزه حدود ۱۵ میلیون تومان صرفه جویی صورت گرفت که این روند می تواند به راحتی در سایر صنایع نیز انجام شود.



پنجمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران

تهران - دانشگاه علم و صنعت ایران - بهمن ماه ۱۳۹۲



تشکر و قدر دانی

نویسندگان از حمایت های جناب آقای سید مظفر عبدالله (مدیر عامل محترم کشت و صنعت روژین تاک) کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

- 1- Baukal, C. E.; *Industrial Burners Handbook*, , C. R. C. press L. L. C., 2003.
- 2- Payne, F. William, *Efficient Boiler Operations Sourcebook*, The Fairmonte Press, 1996.
- 3- Kristinsson, H. Lang, S. ,*Boiler Control*, Lund University, 2010.
- 4- Jecht, U., *Flue Gas Analysis in Industry Handbook*, second edition, 2004.
- 5- The energy Research Institute, *How to Save Energy and Money in Boilers and Furnace Systems*, University of Cape Town.