کوره قوس الکتریکی DC با سرعت تغذیه بالای DRI با تزریق چند نقطه‌ای اکسیژن و کربن[1]

ترجمه: محمدحسین نشاطی

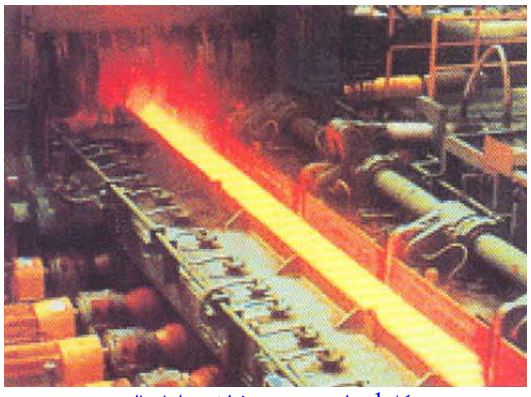
یکی از مهمترین و کارآمدترین تولیدکنندگان سیم مفتول و میله در مالزی شرکت پرواجا (Perwaja Steel) است. در ژانویه 2003 یکی از دو کوره قوس الکتریکی جریان مستقیم (DC EAF) با ظرفیت 75 تن در هر ذوب، و توان 55 MW با استفاده از سیستم تزریق KT نوسازی شد. در این مقاله فرآیند ذوب کردن با استفاده از چهار لنس اکسیژن KT غوطه ور در سرباره و دو انژکتور کربن KT غوطه‌ور در سرباره که اکنون در این کارخانه کار می‌کنند، ارائه شده است. به واسطه این بسته شیمیایی جدید، هم اکنون کوره می‌تواند با سرعت تغذیه بالای DRI تا 100 درصد DRI کار کند. همچنین مصرف انرژی الکتریکی بیش از 10 درصد کاهش یافت، در عین حالی که بهره‌وری نیز 5 درصد افزایش یافت.

آغاز فعالیت کارخانه فولاد پرواجا

شرکت فولاد پرواجا یکی از مهمترین و کارآمدترین شرکت‌های فولاد مالزی برای تولید سیم مفتول و میله است (**شکل 1**). این شرکت که در سال 1982 تحت طرح جامع صنعتی دولت مالزی تاسیس شد، آغاز دوره جدیدی در صنعت فولاد مالزی را مشخص می‌کرد که این کشور را به وضعیت یک کشور صنعتی رساند. طی دو دهه گذشته، این کشور به طرز معجزه آسایی از یک اقتصاد سنتی بر پایه کشاورزی و کالا (کامودیتی) به اقتصادی تبدیل شده است که به عنوان موتور تولید در منطقه در حال ظهور است. اما، شتاب این تلاش‌ها بین سال‌های 1969 و 1979 کاهش یافت هنگامی که این کشور دچار کمبود شدید فولاد گردید، که به تأخیرات زیادی در تعدادی از پروژه ها منجر شد.

تلاش صنعتی‌سازی نشان داد که بدون یک صنعت فولاد کارآمد و رقابت‌پذیر، هیچ کشوری نمی‌تواند کاملاً صنعتی شود. ثابت شد که ایده فولاد به عنوان کلید یک دوره جدید صنعتی و چشم‌انداز یک مجتمع فولاد یکپارچه برای حمایت از رشد اقتصادی بسیار حیاتی است. یک کمیته ویژه مطالعاتی منصوب دولت لزوم تأسیس کارخانه فولاد را تایید کرد.

اما، با وجود تشویق دولت، بخش خصوصی وارد صنعت فولادسازی نشد زیرا به سرمایه‌گذاری بالایی نیاز داشت و بازده آن نیز معمولا کند بود. در نتیجه، حتی بیشتر پروژه‌ها به تأخیر افتاده یا متوقف می‌شدند. از این موارد نامساعد، دولت اقدام به احداث یک مجتمع فولاد کاملاً یکپارچه با توانائی رسیدن به عملکرد بهترین کارخانه های تولید فولاد در هر کشور صنعتی کرد.



شکل 1. تولید در مجتمع فولاد پرواجا، مالزی.

محل کارخانه در ساحل شرقی

هدف از پرواجا به عنوان اولین کارخانه فولاد ملی در نظر گرفته شده کشور، اطمینان از خودکفایی و خلاصی کشور از ناهنجاری‌های عرضه و تقاضای فولاد در جهان بود. وابستگی کمتر به واردات فولاد موجب صرفه‌جویی قابل‌توجه ارزی می‌شد. محصولات غنی رشد صنایع مرتبط با فولاد، به ویژه فعالیت‌های پایین دستی را تقویت می‌کنند. در طی زمان، کارخانه ملی فولاد عملیات خود را با چشم‌انداز فعال شدن در

[1] - Francesco Memoli, DC EAF with high DRI feeding rates through multipoint injection, MPT international, 2/2004.

بازارهای جهانی گسترش می‌داد.

برای دستیابی به این هدف، محل آن در کمامان (Kemaman) انتخاب شد. موقعیت آن در ساحل شرقی بسیاری از معیارهای مهم را برآورده می‌کرد. اولاً، مقدار زیادی گاز طبیعی از میادین گاز فراساحلی Terengganu وجود دارد. ثانیا، بسیار نزدیک به یک منبع برق ثابت است و در نهایت سایت پیشنهادی در کنار خط ساحلی واقع شده بود که می‌توانست به یک بندر آب عمیق تبدیل شود که در آن کشتی‌های بزرگ می‌توانند برای تخلیه سنگ آهن وارده از شیلی، برزیل، سوئد و خاورمیانه پهلو بگیرند. از آنجا که لازم است این سنگ معدن‌ها به مقادیر زیادی برای استفاده از هزینه بار کمتر وارد شوند، استفاده از کشتی‌های بزرگ ویژه ضروری بود. مجتمع کمامان از سال 1985 شروع به تولید کرد. در سال 1990 تصمیم گرفته شد که کارخانه احیای مستقیم به روز شود.

کارخانه احیای مستقیم. با استفاده از فرآیند HYL III، کارخانه DRI ظرفیت سالانه 1.2 میلیون تن DRI را دارد. در کمامان، گندله و کلوخه (لامپ) سنگ آهن حمل شده توسط کشتی‌های 140 هزار تنی بر روی یک سیستم تسمه نقاله که بندر را به محوطه ذخیره‌سازی سنگ آهن مجتمع پروجا با قابلیت انبارش 400 هزار تن متصل می‌کند، تخلیه می‌شوند. گندله‌ها و کلوخه-های سنگ معدن قبل از شارژ شدن در دو کوره ستونی (کوره احیا) برای جدا کردن اندازه‌های زیر 5 mm سرند می‌شوند.

سنگ آهن در طی فرود آمدن در کوره ستونی در دمای عملیاتی 900°C، تحت فرآیند احیا قرار می‌گیرد.

از آنجا که فرآیند HYL III از ریفورمر بخار استفاده می‌کند، بخار در دیگ‌های بخار استفاده‌کننده از حرارت تلف‌شده واقع در بالای ریفورمر و در محل سرد کردن گاز اصلاح شده گرم تولید می‌شود. بخار پر فشار اضافی تولید شده برای حرکت توربو ژنراتور بخار با توانایی تولید 9.5 MW برق استفاده می‌شود. این مقدار برق برای تأمین انرژی کل کارخانه DR کافی است.

در زیر سطح دمنده، DRI گرم با مخلوط گاز طبیعی و گاز احیاکننده تا 50°C سرد می‌شود و در طی این فرآیند بیشتر کربن موجود در DRI تشکیل می‌شود. سپس DRI خنک‌شده قبل از ارسال به کارگاه ذوب سرند می‌شود.

کارگاه ذوب EAF

در کارگاه ذوب، قراضه توسط باکت‌های قراضه به کوره قوس الکتریکی شارژ می‌شود؛ DRI به طور پیوسته از طریق سقف کوره توسط شبکه تسمه نقاله تغذیه می‌شود. این کارگاه ذوب سه کوره AC EAF که اکنون به دلیل بازسازی کار نمی‌کنند و دو کوره DC EAF، شماره 4 و 5 را در خود جای داده است.

شکل 2. لنس های KT اکسیژن در حالت شعله پیلوت (سمت EBT)

کوره DC شماره 4 همان کوره‌ای است که پرواجا تصمیم گرفت سیستم تزریق KT را برای بهبود ارقام مصارف و افزایش بهره‌وری بر روی آن نصب کند. راه‌اندازی در ژانویه 2003 انجام شد.

کوره به یک ترانسفورمر 60 MW DC (قطر الکترود 700 mm)، پوسته فوقانی به قطر 5380 mm (دو ردیف پانل خنک شونده با آب در پوسته فوقانی: 12 پانل در ردیف بالا و 18 پانل در ردیف پایین) و یک پوسته زیرین به قطر 5800 mm با سیستم تخلیه از کف خارج از مرکز (EBT) مجهز شده است.

مشکلاتی که باید حل می‌شد. قبل از نصب سیستم تزریق KT، کوره مجهز به یک بازوی متعارف لنس مصرفی بود که از طریق درب سرباره کار می‌کرد و دارای دو لنس اکسیژن و یک لنس پودر کربن بود.

یکی از مشکلات این کوره این بود که به دلیل تشکیل کوه‌های یخی DRI، که مانعی برای فرآیند ذوب کردن سریع بودند، سرعت تغذیه DRI قابل افزایش نبود. این دمای حمام را کاهش می‌داد و باعث تاخیر عمده در طی تخلیه از EBT می‌شد. علت کوه‌های یخی DRI محل نقطه تغذیه DRI بود، که تقریباً در محل ساعت 2 در سمت EBT کوره قرار گرفته بود.

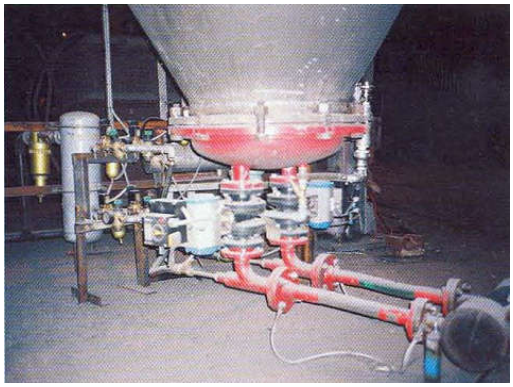
در یک کوره AC معمولی که با گندله‌های DRI شارژ شده از سقف کار می‌کند، هدف هدایت جریان گندله‌های DRI به سمت مرکز سه الکترود، جایی که حداکثر توان ورودی قرار دارد می‌باشد. شرکت Techint [امروزه Tenova] در این تکنولوژی کوره تجربه گسترده‌ای دارد.

اما، در یک کوره DC مرکز کوره توسط الکترود اشغال می‌شود. بنابراین، نقطه تغذیه DRI اجبارا بین الکترود و دیواره کوره قرار می‌گیرد، از این رو یک منطقه سرد (کلد اسپات) ایجاد می‌شود.

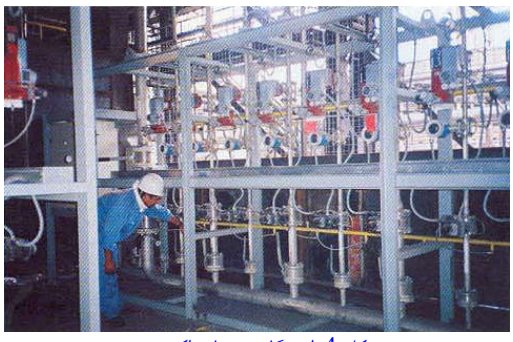
برای درک بهبود بدست‌آمده در بهره‌وری، ما سرعت تغذیه DRI بر حس kg DRI شارژ شده در دقیقه و به ازای هر MW توان فعال در نظر می‌گیریم. حداکثر سرعت تغذیه DRI برای این کوره، قبل از نوسازی با KT، مقدار 30 kg/(min . MW) بود. با توجه به متوسط توان فعال 49 MW در مدت 46 دقیقه کوره فقط با 65 تن DRI می‌تواند شارژ شود. در سرعت بیش از 30 kg/(min . MW) تشکیل کوه‌های یخی بحرانی شده و باعث تغییرات مداوم عملیاتی می‌شود.

سیستم تزریق KT. هدف اصلی سیستم تزریق KT حل این مشکل بود. در حقیقت، نتیجه پس از شش ماه تولید این است که کوره اکنون قادر به متوسط ماهانه سرعت تغذیه DRI به میزان 38.83 kg/(min . MW) است. در 33 دقیقه کوره با 74.19 تن DRI با متوسط توان فعال 57.9 MW شارژ می‌شود. این نتیجه با نصب موارد زیر بدست آمده است:

- 4 لنس KT اکسیژن (**شکل 2**)،
- 2 انژکتور KT کربن (**شکل 3**)،
- یک ایستگاه جدید شیرهای اکسیژن و گاز طبیعی (**شکل 4**)،
- یک توزیع‌کننده نوسازی شده پودر کربن،
- سخت‌افزار و نرم‌افزار جدید برای اتوماسیون سیستم تزریق KT.



شکل 3. سیستم پنوماتیک تزریق کربن.



شکل 4. ایستگاه شیرهای اکسیژن.

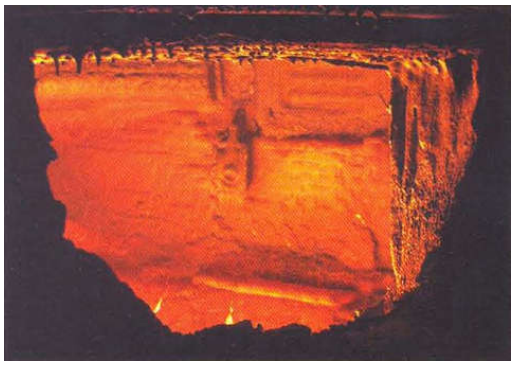
یک لنس KT اکسیژن به سمت نقطه تغذیه DRI برای جلوگیری از تشکیل کوه یخ با ورود انرژی اضافی و همزنی بهتر حمام بخاطر اکسیژن جهتگیری می‌شود. انرژی ورودی در کوره به دلیل تزریق چند نقطه‌ای اکسیژن به حمام مذاب از موقعیت‌های مختلف در امتداد دیواره پوسته، متوازن‌تر است. متوسط توان فعال می‌تواند به دلیل تشکیل بهتر سرباره پفکی توسط انژکتورهای KT کربن که در اطراف کوره توزیع شده‌اند، افزایش یابد (**شکل 5**).

مزایای اضافی بدست آمده

درصد DRI در شارژ فلزی بیش از 13 درصد افزایش یافته است. بخاطر توان ورودی بالاتر و امکان افزایش سرعت تغذیه DRI، ثابت شده است که از نظر اقتصادی افزایش مقدار DRI در شارژ فلزی مناسب است.

تعداد ذوب‌ها با استفاده از 100 درصد DRI افزایش یافته است، زیرا قیمت DRI بسیار مطلوب‌تر از قیمت قراضه است. در مالزی قراضه به طور مستقیم در دسترس نیست و بنابراین بسیار گران است.

مصرف انرژی الکتریکی بیش از 100 kWh/t کاهش یافته است. با افزایش مقدار اکسیژن تزریق شده در حمام، انتظار می‌رفت که بتوان انرژی الکتریکی را با انرژی شیمیائی با نرخ معادل حدود 3 تا 4 kWh/m^3 از اکسیژن جایگزین کرد. بنابراین حداکثر عایدی حدود 60 kWh/t را می‌توان انتظار داشت. 40 kWh/t اضافی دیگر نیز از افزایش قابل‌توجه بازدهی کوره به دلیل کاهش زمان پاور–آن به علاوه افزایش وزن تخلیه کوره که هر دو باعث افزایش بهره‌وری شده‌اند حاصل می‌گردد.



شکل 5. یکی از لنس‌های نصب شده در خط سرباره.

مصرف الکترود 20 درصد کاهش یافته است. این مزیت عمدتا در ارتباط با بهبود روش سرباره پفکی است. در حین ذوب کردن DRI سرباره پفکی تا ارتفاع 1500 mm گسترش می‌یابد. این بدان معنی است که پوشش کامل نوک الکترود، از مصرف گرافیت توسط اکسیداسیون جلوگیری می‌کند. همچنین در اینجا افزایش بهره‌وری بسیار مهم است، با توجه به اینکه افزایش توان فعال و اکسیژن به طور معمول پایاپا با کاهش مصرف الکترود نیست.

لنس‌های مصرف شدنی دیگر مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. کاهش قابل توجه هزینه متغیر از این واقعیت ناشی می‌شود که دیگر از بازوی متحرک [مصرفی] لنس استفاده نمی‌شود. در گذشته در این کوره تا سه قطعه لنس مصرفی در طی هر ذوب تعویض می‌شد، یعنی یک قطعه در هر 23 تن فولاد مذاب، به علاوه هزینه نگهداری مربوطه. اکنون این عامل هزینه متغیر حذف شده و هزینه تعمیرونگهداری سیستم تزریق KT بسیار کمتر از بازوی [مصرفی] لنس است.

اندازه ذوب تا 6 درصد افزایش یافته است. پرواجا فکر می‌کند که برای افزایش بهره‌وری اولین گزینه افزایش تا حد ممکن اندازه تخلیه ذوب به جای افزایش فرکانس ذوب‌ها است. این باید مطابق با ظرفیت ریخته‌گری پایین دست و جرثقیل‌ها، واگن‌های حمل پاتیل (پاتیل–برها) و غیره باشد، که باید توانایی تحمل وزن اضافی را داشته باشند. بخاطر افزایش توان ورودی می‌توان بیش از 4 تن فولاد مذاب به هر ذوب اضافه کرد [در این کارخانه].

زمان پاور–آن تا 25 درصد کاهش یافته است. این یک نتیجه مستقیم افزایش توان ورودی کوره است، همانطورکه قبلا توضیح داده شد، توسط انرژی شیمیایی اضافی و افزایش توان فعال تا حدود 10 MW به دلیل محافظت از دیواره (آجرها و پانل‌ها) توسط سرباره پفکی.

مصرف نسوز تا 56 درصد کاهش یافته است. حتی با افزایش توان فعال تا بیش از 20 درصد هیچ افزایشی در مصرف نسوز ثبت نشده است. بخاطر بهینه‌سازی نحوه عمل سرباره پفکی، تابش حتی کاهش یافته است. این امر همچنین به وقفه‌های کمتر ناشی از عملیات پاشش نسوز (گانینگ) منتج شد. دوره فعالیت کاری (کمپین) کوره از نظر تعداد ذوب (برای هر نسوزچینی) دو برابر شده است. از آجرهای خاصی برای پوشش نسوز استفاده نمی‌شود. حتی برای رسانای کف کوره، یک مورد بسیار مهم برای عملکرد کوره DC، هیچ مراقبت خاصی انجام نشد.

جدول 1. داده‌های عملیاتی کوره قبل و بعد از راه‌اندازی در ژانویه 2003.

شرح	واحد	دسامبر 2002	فوریه 2003	جون 2003	تفاوت
میزان DRI در شارژ	%	77	82	87.65	+٪13
انرژی الکتریکی EAF	kWh/tls	597	510	463	-134
توان فعال	MW	49	53.8	57.9	+8.9
اکسیژن	m^3/tls	30.5	47	45.6	+15.1
گاز طبیعی	m^3/tls	0.0	6	5.4	+5.4
الکترود	kg/tls	1.30	1.2	1.05	-0.25
پودر کربن	kg/tls	.31	36	27.8	-3.2
آنتراسیت	kg/tls	6	6	8.5	+2.5
اندازه ذوب	tls	71	73	75.15	+4.15
مدت زمان پاور–آن	min	52	41.5	36	-16
مدت زمان تغذیه DRI	min	46	40	33	-13
مواد نسوز گانینگ	kg/t	6.5	5	3.5	-3
آجر نسوز	kg/t	1.22	1.12	0.53	-0.69
درجه فلزی DRI	%	95.4	-	96.33	+0.93
کربن DRI	%	2.04	-	2.18	+0.14

جدول 1 خلاصه ارقام مصرف و سایر داده‌های دیگر عملکرد کوره از زمان شروع کار آن در ژانویه 2003 تا جون 2003 در مقابل ارقام قبلی کوره در سال 2002 را ارائه می‌دهد.

فرآیند جدید ذوب کردن DRI

با نگاهی به ارقام کوره، رابطه بین اکسیژن تزریق شده و میزان DRI در شارژ ممکن است تا حدودی تعجب آور باشد. انتظار

تولید بیش از حد اکسید آهن (FeO) در سرباره تشکیل شده در طی فرآیند ذوب می‌رود. اما، ترکیب سرباره کوره ارقام متفاوتی را نشان می دهد (**جدول2**). ترکیب شیمیائی سرباره شاخص بازیسیته دوتائی حدود 2.1، یک مقدار معمولاً کم را نشان می‌دهد. در اینجا باید در نظر گرفته شود که میزان CaO شارژ شده در هر ذوب حدود 40 kg/t می‌باشد و هیچ دولومیتی اضافه نمی‌شود.

مقدار سرباره ایجاد شده در هر ذوب در شرایط عادی، یعنی، فرسایش عادی نسوز حدود 120 kg/t است، حدود 4.4 درصد گانگ DRI و حدود 3.3 درصد اکسید آهن با DRI شارژ می‌شود، طبق **جدول3**. متوسط دمای تخلیه 1610°C و کربن تخلیه بین 0.04 تا 0.07 درصد است.

با محاسبه ساده: FeO اضافه شده به سرباره با DRI حدود 2500 kg است. FeO موجود در سرباره حدود 2650 kg است. این به معنی آن است که حداقل تولید حدود 2 kg/t از FeO توسط اکسیداسیون حمام مایع وجود دارد. این مقدار چندان قابل-توجه نیست، زیرا از طرف دیگر بهبودهای بسیار مهمی را از نظر افزایش بهره‌وری فراهم می‌کند. **شکل های 6 و 7** الگوی ذوب کردن و سرعت جریان اکسیژن و کربن را نشان می‌دهند.

جدول 2. ترکیب سرباره برای DC EAF شماره 4.

FeO	٪29.6
CaO	٪33.6
SiO_2	٪15.۸
MgO	٪7.6
MnO	٪0.85

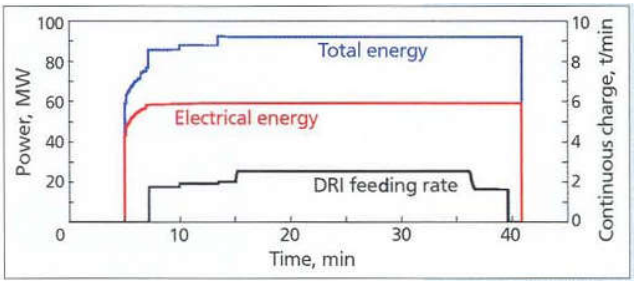
جدول 3. ترکیب DRI

درجه فلزی	٪96.33
آهن کل	٪90.87
FeO	٪3.34
کربن	٪2.18
CaO	٪2.085
SiO_2	٪1.43
MgO	٪0.626
Al_2O_3	٪0.145
P	٪0.035
S	٪0.005
شارژ DRI	47.2 تن در ذوب
گانگ	٪4.32

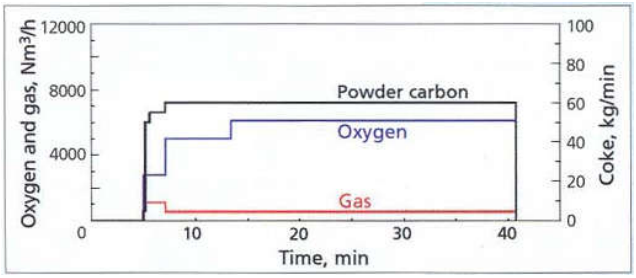
محک‌زنی در برابر سایر کارخانه‌ها

برای درک کامل بهبود بدست‌آمده توسط پرواجا با سیستم تزریق KT مقایسه این نتایج و ارقام مصرفی فعلی این کوره DC با سایر EAF های استفاده کننده از میزان بالای DRI در شارژ جالب است.

EAF پرواجا در برابر ده کوره واقع در هفت کشور مختلف مورد محک‌زنی (بنچ مارکینگ) قرار گرفته، که تولید سالانه هرکدام حداقل 400 هزار تن می‌باشد [مجموع تولید سالانه آنها هفت میلیون تن] و حداقل 50 درصد DRI به طور پیوسته از سقف شارژ می‌کنند. این کارخانه ها بطور رسمی تمام داده‌های ارائه شده در اینجا را تأیید کرده‌اند. نام آنها بنا به درخواست به دلایل صلاحدید فاش نشده است؛ برخی از آنها به عنوان کارخانه-های مرجع جهانی در ذوب DRI در نظر گرفته می‌شوند.



شکل 6. سرعت تغذیه برق، توان کل و DRI.



شکل 7. جریان‌های اکسیژن، گاز طبیعی و پودر کربن.

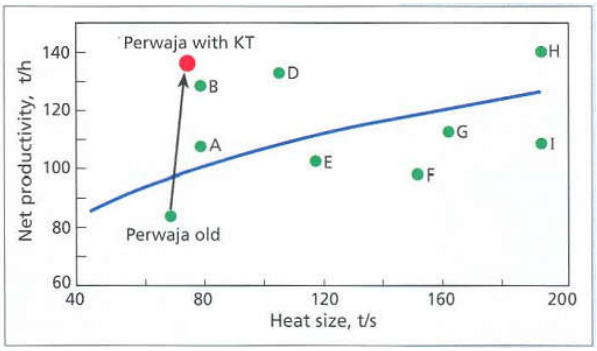
مقایسه داده‌های کارخانه‌های مختلف همیشه دشوار است، دلیل اصلی آن تفاوت در گریدهای فولاد و نوع تولید، اندازه کوره‌ها، روش‌های عملیاتی و بسیاری دلایل دیگر است؛ اما، برخی از ملاحظات کلی را می‌توان بیان کرد.

ارقام **جدول 4** نشان می‌دهد که پرواجا وارد گروه بهترین عملکرد شده است و کمترین مصرف انرژی الکتریکی، بالاترین میزان DRI در شارژ و بالاترین سرعت تغذیه ویژه DRI به ازای توان فعال را که پارامتر بسیار خوبی برای مقایسه کوره‌های مختلف است دارد.

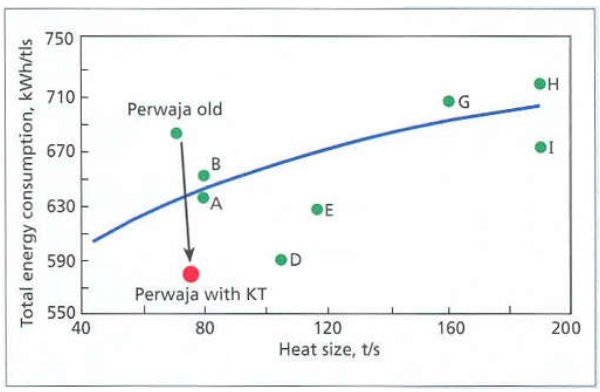
جدول 4. محک‌زنی در برابر 9 کوره EAF کارخانه‌های استفاده‌کننده از سرعت تغذیه بالای DRI.

شرح	واحد	پرواجا	A	B	D	E	F	G	H	I
کل شارژ	t	84.7	87	87	116	137	173	190	230	220
DRI	%	87.7	72	58	65	75	46	75	79	82
اندازه ذوب	tls	75.2	79.7	79.4	105	117	150	160	190	190
بهره دهی	%	88.8	91.6	91.3	90.5	85.4	86.۷	84.2	82.6	86.4
مدت زمان پاور–آن	min	36	45	36	47	70	87	87	84.1	106
متوسط توان فعال	MW	57.9	62.7	68.8	69.7	55.5	69.3	71.7	88	66.1
مصرف برق	kWh/t	462.9	590	520	520	553	670	650	649	615
مصرف اکسیژن	m^3/tls	45.6	20	30	19	25.6	27	20	26.3	18
مصرف کربن	Kg/tls	27.8	6	6	14	12	24	25	12.8	12
FeO در سرباره	%	29.6	31	32	29	33	23	32	35	28
دمای تخلیه	ºC	1610	1650	1650	1662	1640	1650	1660	1643	1640
درجه فلزی DRI	%	96.3	94.4	94.4	95	92.3	91.7	93	93	92
آهن کل در DRI	%	90.9	91.5	91.5	93	91.4	90.6	90.8	91	89.11
کربن DRI	%	2.18	2.1	2.1	2.1	2.8	0.14	2.1	2.1	1.8
سرعت تغذیه DRI	kg/(min MW)	39.8	27	27.2	30.9	29.4	15	25.1	26.5	24.8
مدت شارژ کردن DRI	min	33	37	27	35	63	77	79	78	110

برای مقایسه حتی بهتر، می‌توان این جدول را با قرار دادن دمای تخلیه در 1645ºC و درصد DRI شارژ در 71 درصد دوباره محاسبه کرد. بنابراین مقادیر استاندارد برای نسبت‌های (0.35) kWh/ºC و (1.69) kWh/%DRI بدست می‌آید. این مقادیر استاندارد میانگین مقادیر در نظر گرفته شده در هر یک از ده کارخانه برای چنین شرایط DRI در شارژ است. سپس می‌توان کل انرژی ورودی (با استفاده از مقدار O_2 استاندارد 3.2 kWh /m^3، میانگین مقادیر در نظر گرفته شده در هر یک از کارخانه‌ها) و بهره‌وری خالص را بر اساس زمان پاور–آن محاسبه کرد.



شکل 8. بهره‌وری خالص کارخانه های با اندازه ذوبهای مختلف.



شکل 9. مصرف کل انرژی کارخانه‌های با اندازه ذوب‌های مختلف.

<u>بهره‌وری بالا.</u> همانطورکه در **شکل‌های 8 و 9** نشان داده شده است، پرواجا کمترین مصرف انرژی و دومین بهره‌وری خالص را دارد. از نظر ارقام مصرف، کارخانه D به دنبال پرواجا قرار دارد که کل مصرف انرژی آن هنوز هم زیر 600 kWh/tls است. کارخانه H دارای بهره‌وری خالص بالاتری است اما مصرف انرژی بسیار بالایی دارد. کارخانه‌های D و H دارای توان ویژه کمتری به ازای هر تن شارژ شده هستند که خوب است و به راحتی می‌توان آنرا با نسبت کمتر بین سطح حمام و حجم فولاد توضیح داد. پرواجا به دلیل محدودیت‌های جرثقیل و سازه ساختمانی نمی‌تواند اندازه ذوب را بیش از این افزایش دهد.

این مطالعه محک‌زنی تأیید می‌کند که با سیستم تزریق KT، که باعث بهبود کارایی تزریق اکسیژن و عمل پفکی‌سازی سرباره در کوره‌های ذوب DRI می شود، می‌توان بدون به مخاطره انداختن شرایط کوره (FeO در سرباره و بهره‌دهی) و با منافع عمده از نظر کاهش هزینه متغیر به سطوح بالای بهره‌وری رسید.

نتیجه‌گیری

از نتایج اصلی بدست آمده، 40 kg/(min . MW) برای متوسط سرعت تغذیه DRI، قطعاً مقدار زیادی برای این اندازه کوره (75 تن در هر ذوب، 55 MW) می‌باشد. بر اساس این عملکرد، کوره اکنون می‌تواند تا 100 درصد DRI شارژ و کار کند، بهره‌وری بالای مورد نیاز بازار را حفظ کند ضمن اینکه باعث کاهش هزینه شارژ فلزی می‌شود.

لنس زنی چند نقطه‌ای اکسیژن و تزریق ترکیبی پودر کربن نیز باعث بهبود سرباره پفکی از قبل خوب شده است، بازدهی انرژی الکتریکی منتقل شده به حمام (وان) فولاد را افزایش داده است.

EAF به نتایج بسیار خوبی از لحاظ صرفه‌جویی انرژی الکتریکی تا بیش از 10 درصد رسیده است. بهره‌وری تا 5 درصد افزایش یافته است. فرآیند ارائه شده فرصت جالبی برای همه کارخانه‌های DRI جهت مقایسه نتایج و بررسی امکان افزایش سرعت تغذیه DRI با تجهیز کوره‌های خود به تزریق چند نقطه‌ای اکسیژن و کربن فراهم آورده است.

با این حال، نتایج عالی فقط با افراد بسیار متعهد قابل‌دستیابی است. پشتیبانی و ایده‌های عالی آنها به میزان زیادی به موفقیت این تجهیزات کمک کرده است.