



## استفاده از تکنیک HiTAC در سوختن ناقص متان

امین امیری<sup>۱</sup>، مسعود رحیمی<sup>۲</sup>، سید رضا شعبانیان<sup>۳</sup>

دانشگاه رازی - دانشکده فنی مهندسی - گروه مهندسی شیمی - مرکز تحقیقات CFD

masoudrahimi@yahoo.com

### چکیده

در این مطالعه احتراق با هوای دما بالا (HiTAC) در یک محفظه احتراق استوانه‌ای شکل به قطر ۸ میلی‌متر و طول ۴۰ سانتی‌متر به منظور حذف درصد کم اکسیژن موجود در گازهای احتراق استفاده شده است. متان و اکسیژن در ورودی محفظه با هم مخلوط شده و با مکانیزم احتراق ناقص با هم واکنش می‌دهند. تزریق مجدد گاز متان به محفظه احتراق در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از ورودی انجام می‌گیرد. در این آزمایشات دما در فاصله ۲۰ سانتیمتری از ورودی محفظه در نسبت‌های مختلف متان تزریقی به متان ورودی و همچنین دبی‌های مختلف گاز ورودی اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهند که با تزریق مجدد متان، دما افزایش می‌یابد که مربوط به مصرف اکسیژن اضافی باقی مانده در احتراق اولیه، توسط گاز تزریقی در مرحله دوم می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که میزان افزایش دمای مشاهده شده در محفظه، به میزان متان تزریقی بستگی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** متان، احتراق، اکسیداسیون جزئی، HiTAC

### ۱- مقدمه

یکی از روشهای یکنواخت سازی و افزایش حرارت در محفظه احتراق روش HiTAC میباشد که به وسیله تزریق مجدد سوخت مورد نظر انجام گرفته است. در تکنیک HiTAC میزان گاز ورودی در یکنواخت سازی میزان حرارت تاثیر به سزایی دارد. در زمینه احتراق دما بالای هوا (HiTAC) و ذخیره و نگه داری انرژی و همچنین کاهش انتشار  $NO_x$  به جو زمین تا کنون تلاشهای زیادی صورت گرفته است و مدل سازی‌های گوناگونی انجام پذیرفته است [1-4]. مولدهای حرارتی مشبک نه تنها در روش احتراق دما بالای هوا (HiTAC)

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

۲- استاد مهندسی شیمی

۳- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی

مقدار استفاده از گازهای احتراق را کاهش داده است، بلکه دمای لازم برای احتراق دما بالای هوا (HiTAC) را نیز فراهم کرده است. یک شبیه سازی دو بعدی برای تعیین دمای محرک و پروفایل سرعت و مقاومت حرارتی مواد در یک مولد مشبک برای احتراق مقدار ذخیره انرژی و افت فشار محاسبه شده است و نقش حرارتی مولد مشبک در زمانهای مختلف و در لوده های مختلف به دست آمده است همچنین تاثیر ضریب هدایت عبور جریان به صورت عمودی و موازی بررسی شده است. این آنالیزهای بر روی مولدی که ساخته شده از دولایه، یکی از جنس alumina و دیگری از جنس coridierite بود انجام شده است که بازده و بازیابی انرژی در رنج های عملیاتی مولد به ترتیب 88% و 72% بود. [5] همچنین مدلسازی هایی بر روی نرخ انتشار  $NO_x$  در سیستم های احتراق معمولی و سیستم های احتراق دما بالای هوا (HiTAC) در محفظه احتراق به وسیله CFD انجام شده است. نرخ انتشار  $NO_x$  به پارامترهای فراوانی از جمله قله دما و دمای هوای احتراق و غلظت اکسیژن بستگی دارد. همچنین نشان داده شده است که در مقدار اکسیژن ثابت، با افزایش دمای هوای پیش گرم شده، قله دما و همچنین نرخ انتشار  $NO_x$  افزایش میابد و با کاهش غلظت اکسیژن در مقدار ثابت دمای هوای پیش گرم شده، قله دما کاهش و همچنین نرخ انتشار  $NO_x$  کاهش میابد. [6]

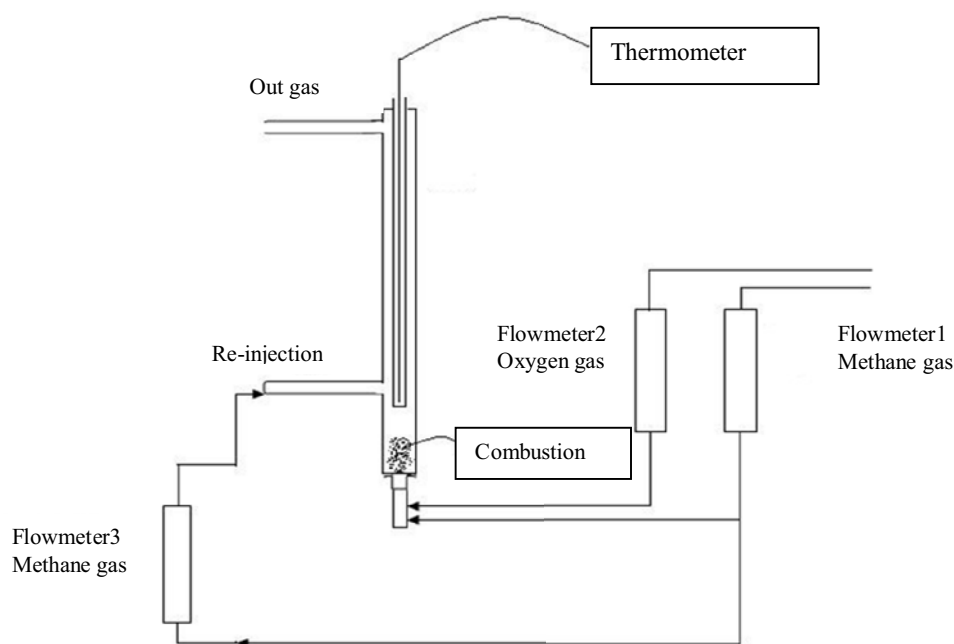
## ۲- تئوری احتراق با دمای بالای هوا:

احتراق دما بالای هوا (HiTAC) یک روش است که در دمای بالای واکنش دهنده ها و غلظت پایین اکسیژن انجام میگردد. در روش احتراق دما بالای هوا (HiTAC) انتقال حرارت یکتواخت تر است و میتوان انرژی را ذخیره و نرخ انتشار  $NO_x$  را کاهش داد. معمولاً سیستم های مولد تولید حرارت در روش احتراق دما بالای هوا (HiTAC) به کار میروند. در مولدها گازهای خروجی از کوره و گازهای احتراق به طور متناوب به سمت یک محفظه حرکت میکنند که این محفظه باید در مقابل حرارت مقاومت بالایی داشته باشد. انرژی ذخیره شده در این محفظه و آزاد کردن آن گرمای لازم برای احتراق دما بالای هوا (HiTAC) را فراهم میکند. از طرفی تقاضای زیاد برای انرژی و کاهش سوخت های فسیلی از یک طرف و تاثیر آلودگی ناشی از سوختن این سوختها از طرف دیگر، نیاز به سیستم های انرژی پیشرفته که دارای بازدهی بالا و تاپیر کم بر آلودگی محیط دارند را نشان میدهد. روش احتراق دما بالای هوا (HiTAC) که به وسیله Tanaka and Hasegawa [7] توسعه داده شده است یکی از روشهای امید بخش برای سیستم های احتراق است که راه حل مناسبی برای نگرانی و بالا بردن بازده انرژی و کاهش نرخ انتشار  $NO_x$  ارائه کرده است. همانطوری که میدانیم انتشار  $NO_x$  تاثیر بسیار بدی بر روی لایه اوزون و بالا رفتن دمای زمین دارد پس سیستم های اترق باید برای کاهش این زیانها به لایه اوزون تا حد ممکن به سمت سیستم هایی که انتشار  $NO_x$  کمتری دارند هدایت شوند. [8-11]



### ۳- شرح آزمایش

در این آزمایش ما چندین حالت را بررسی کرده ایم که ابتدا به توضیح مختصری درباره محفظه احتراق و شماتیک آن پرداخته و سپس آزمایشهای انجام شده به وسیله دستگاه شرح داده میگردد. برای ساخت محفظه احتراق از لوله های استیل استفاده شده است چون توانایی تحمل دمای بالا را دارد. به شکل زیر که شماتیکی از دستگاه است توجه کنید:



شکل ۱: شماتیک دستگاه

ابتدا گاز متان و اکسیژن به وسیله یک نازل که در شکل نشان داده شده است با هم مخلوط شده اند و سپس احتراق صورت گرفته است که بدین وسیله دمای مورد نیاز برای انجام آزمایشهای را فراهم گردیده است. سپس شعله ایجاد شده به داخل یک لوله استیل که نقش محفظه احتراق را دارد وارد شده است. بدین وسیله دمای بالایی که رنج آن با توجه به نوع عایق بندی از  $450^{\circ}\text{C}$  تا  $1200^{\circ}\text{C}$  است در داخل محفظه احتراق ایجاد شده است. چون در این آزمایش هدف بررسی احتراق دما بالای هوا (HiTAC) بوده، در رنج دمایی  $500^{\circ}\text{C}$  تا  $850^{\circ}\text{C}$  آزمایشات انجام گرفته اند که این تنظیم دما، هم با توجه به میزان دبی گاز متان و اکسیژن ورودی و هم نوع

عایق بندی محفظه احتراق انجام شده است. برای انجام عایق کاری از پشم سنگ استفاده شده است. توجه شود که قبل از عایق کاری دما نهایتاً به  $450^{\circ}\text{C}$  رسیده است چون با توجه به اختلاف دمای داخل محفظه احتراق و محیط بیرون انتقال حرارت بسیار زیادی بین محیط و داخل محفظه احتراق انجام شده و مانع از افزایش دما گردیده است که با عایق کاری میتوان این دما را به بالای  $1000^{\circ}\text{C}$  افزایش داد. برای انجام روش احتراق دما بالای هوا (HiTAC) از یک تزریق مجدد سوخت در بالاتر از سر شعله استفاده شده (به شکل ۱ توجه کنید) که برای انجام این آزمایشات مقدار اکسیژن ورودی را در حداقل مقدار خود قرار گرفته پس برای اینکه شعله ایجاد شده در داخل محفظه احتراق خاموش نگردد مقدار متان از یک حد خاصی نمیتواند بیشتر باشد به همین دلیل در ورودی نمیتوان از مقدار بیشتری متان استفاده کرد. اما در این روش در قسمت تزریق مجدد با تزریق مجدد متان علاوه بر اینکه متان بیشتری به محفظه احتراق وارد شده، که این کار نه تنها باعث افزایش حرارت در طول محفظه احتراق گردیده بلکه اکسیژن باقی مانده در محفظه احتراق، با تزریق مجدد از بین رفته است که این کار به وسیله سوختن قسمتی از متان تزریق شده با اکسیژن باقی مانده انجام شده است پس در این آزمایشات:

۱- بدون خاموش شدن شعله، متان بیشتری را به داخل محفظه احتراق وارد شده است

۲- اکسیژن اضافی باقی مانده در لابه لای گازهای احتراق از بین رفته است

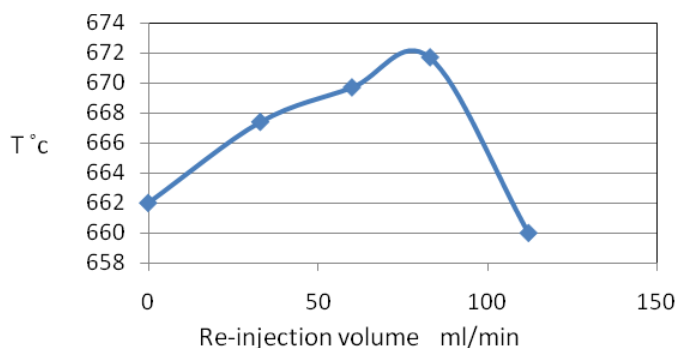
۳- دمای داخل محفظه احتراق تا حدی بالا رفته است

در انجام آزمایشات مقدار مشخصی از متان و اکسیژن به عنوان مبنای نظر گرفته شده و چند آزمایش با ضریب های 1 و 0.9 و 0.45 انجام گرفته شده است که در تمامی این آزمایشات نسبت  $\text{O}_2/\text{CH}_4 = 1.5$  قرار گرفته است همچنین یک آزمایش دیگر با نسبت  $\text{O}_2/\text{CH}_4 = 1.62$  انجام گرفته شده است

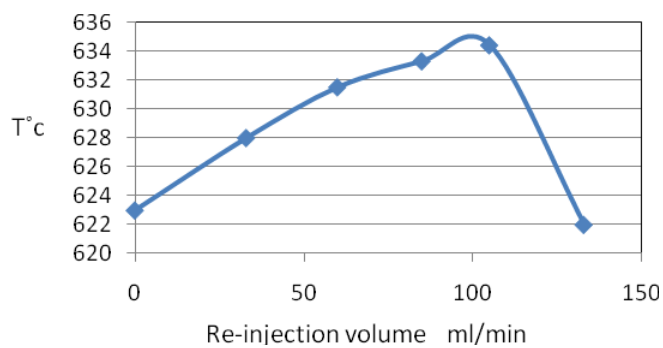


### جدول ۱

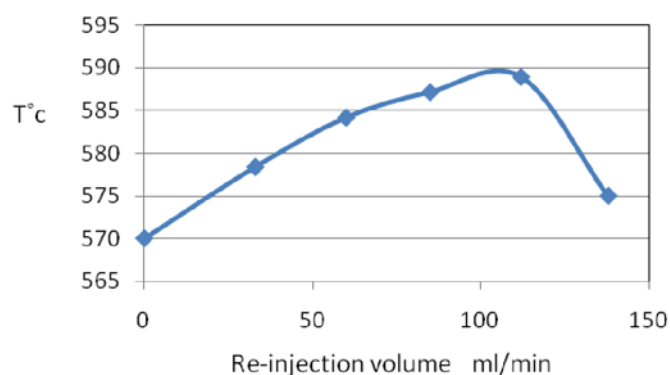
آزمایش ۱	مقدار 237 cc متان و 357 cc اکسیژن در ورودی وارد محفظه احتراق گردیده است که قبل از تزریق مجدد دمای داخل راکتور به $662^{\circ}\text{C}$ رسیده و با تزریق مجدد 0 – 112 cc متان شکل شماره ۲ بدست آمده است.
آزمایش ۲	مقدار 211 cc متان و 316 cc اکسیژن در ورودی وارد محفظه احتراق گردیده است که قبل از تزریق مجدد دمای داخل راکتور به $623^{\circ}\text{C}$ رسیده و با تزریق مجدد 0 – 133 cc متان شکل شماره 3 بدست آمده است.
آزمایش ۳	مقدار 105 cc متان و 157 cc اکسیژن در ورودی وارد محفظه احتراق گردیده است که قبل از تزریق مجدد دمای داخل راکتور به $570^{\circ}\text{C}$ رسیده و با تزریق مجدد 0 – 140 cc متان شکل شماره 4 بدست آمده است.
آزمایش ۴	مقدار 145 cc متان و 235 cc اکسیژن در ورودی وارد محفظه احتراق گردیده است که نسبت به سایر آزمایشات دارای اکسیژن بیشتری بوده ، قبل از تزریق مجدد دمای داخل راکتور به $578^{\circ}\text{C}$ رسیده و با تزریق مجدد 0 – 150 cc متان شکل شماره 5 بدست آمده است.



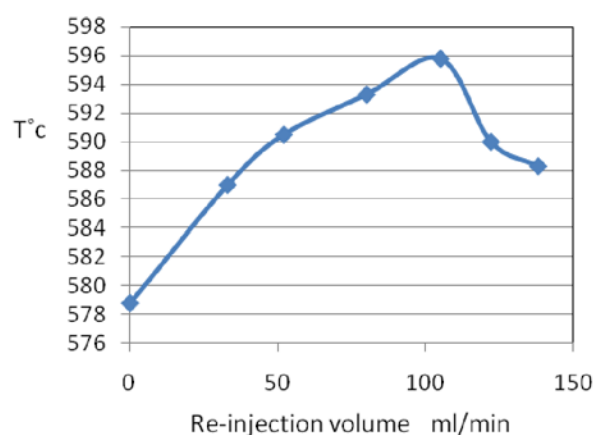
شکل ۲: نمودار دما بر حسب مقدار تزریق مجدد (آزمایش شماره ۱)



شکل ۳: نمودار دما بر حسب مقدار تزریق مجدد (آزمایش شماره ۲)



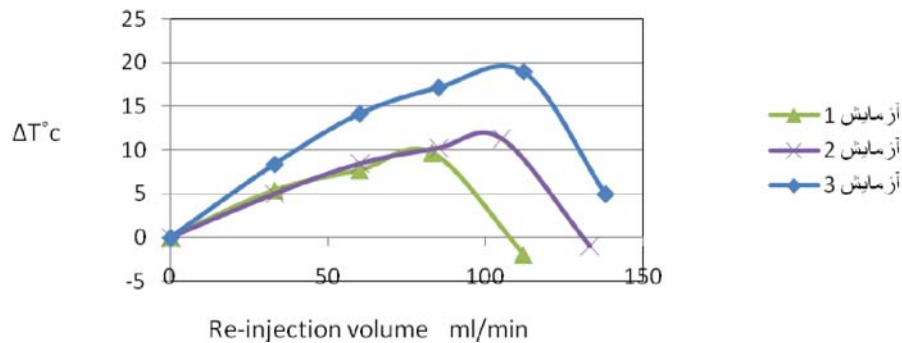
شکل ۴: نمودار دما بر حسب مقدار حجم تزریق مجدد (آزمایش شماره ۳)



شکل ۵: نمودار دما بر حسب مقدار حجم تزریق مجدد (آزمایش شماره ۴)

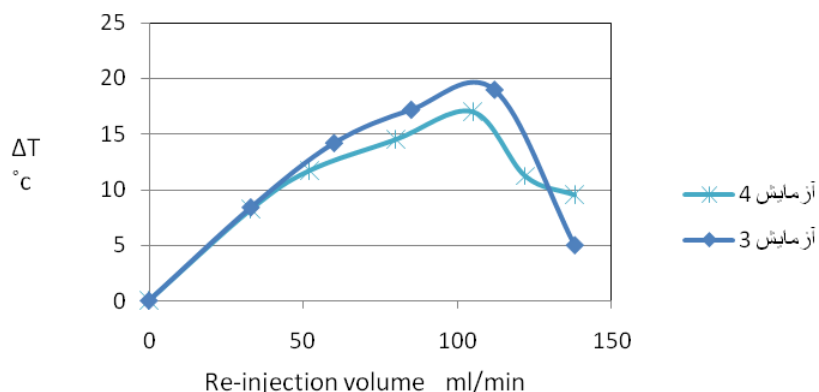


دیده شد که در آزمایشهای اول و دوم و سوم هر چه دمای داخل محفظه احتراق بیشتر باشد مقدار اختلاف دما قبل و بعد از تزریق کمتر بوده و در دماهای کمتر نقطه ایتیمم به طرف مقدار تزریق بیشتر حرکت کرده است. شکل ۵ نشان میدهد که هر چه مقدار اکسیژن باقی مانده در بیشتر باشد شیب نمودار بعد از نقطه ایتیمم کمتر میگردد. حال آزمایشهای اول و دوم و سوم را در یک نمودار در شکل شماره ۶ روی هم نشان داده شده است.



شکل ۶: نمودار تغییرات دما بر حسب مقدار حجم تزریق مجدد برای آزمایش ۱ و ۲ و ۳

که این شکل نشان داده هر چه دمای داخل راکتور پایین تر باشد اختلاف دما بین قبل از تزریق مجدد و انتهای تزریق مجدد بیشتر گردیده و نقطه بهینه به سمت تزریق مجدد بیشتر حرکت کرده است. دلیل این امر این است که اکسیژن بیشتری در گازهای در حال سوختن محبوس گردیده و به سمت بالا حرکت کرده و باعث شده است با تزریق مجدد گاز، این مقدار اکسیژن هم سوخته و دمای بیشتری تولید کند. همین مقدار اکسیژن باقی مانده باعث شده که تزریق مجدد بیشتری از گاز متان برای رسیدن به نقطه بهینه مرود نیاز باشد چون باعث گردیده دما بیشتر افزایش یابد و رسیدن به بیشترین دما در حجم بیشتری از تزریق مجدد صورت پذیرد.



شکل ۷: نمودار تغییرات دما بر حسب مقدار حجم تزریق مجدد برای آزمایش ۳ و ۴

با توجه به شکل فوق هر چه نسبت اکسیژن به متان در ورودی راکتور بیشتر بوده بعد از نقطه بهینه شیب نمودار کاهش یافته است که دلیل این امر این است که هر چه اکسیژن بیشتر باشد در تزریق مجدد متان بیشتری میسوزد و دما دیرتر کاهش میابد و همین دلیل باعث کاهش شیب نمودار میگردد

## ۹- نتیجه گیری

در این مطالعه اثر تکنیک احتراق با دمای بالای هوا در یک محفظه احتراق کوچک بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهند که احتراق با دمای بالای هوا تکنیک مناسبی برای بالا بردن دما در خروجی ، یکنواخت کردن دما و همچنین مصرف اکسیژن باقیمانده در خروجی از محفظه می باشد. نتایج همچنین نشان می دهند که در دماهای بالای محفظه احتراق، مقدار اختلاف دما قبل و بعد از تزریق کمتر و در دماهای پایین محفظه این اختلاف دما بیشتر می باشد و حداکثر مقدار دما در محفظه با دمای پایین در مقادیر بیشتر متان تزریقی به دست می آید. از نتایج دیگر این مطالعه می توان به کاهش شیب نمودار بعد از دمای حداکثر در نسبت های بیشتر اکسیژن به متان اشاره کرد که آنرا می توان به واکنش میزان متان بیشتر با اکسیژن ربط داد که این امر باعث افزایش بیشتر دما می گردد.





## مراجع

- [<sup>۱</sup>] H. Tsuji, A. Gupta, T. Hasegawa, M. Katsuki, K. Kishimoto, M. Morita, High Temperature Air Combustion; from Energy Conservation to Pollution Reduction, CRC Press LLC, New York, 2003.
- [<sup>۲</sup>] R. Tanaka, New progress of energy saving technology toward the 21st century; frontier of combustion & heat transfer technology, in: Proceedings of 11th IFRF, The Netherlands, 1995.
- [<sup>۳</sup>] M. Mörberg, N. Rafidi, W. Blasiak, Measurements of temperature heat flux and flue gas composition in HTAC flame, in: Proceedings of Challenges in Reheating Furnaces Conference, IOM Communications Ltd, London, 1995, pp. 215–300.
- [<sup>۴</sup>] J.A. Wu<sup>ˆ</sup>ning, J.G. Wu<sup>ˆ</sup>ning, Flameless oxidation to reduce thermal NO-formation, Prog. Energy Combust. Sci.23 (1997) 81–94.
- [5] N. Rafidi, W. Blasiak, Heat transfer characteristics of HiTAC heating furnace using regenerative burners, Thermal Engineering 26 (2006) 2027–2034.
- [6] A. Khoshhal, M. Rahimi, S. R. Shabani, A. A. Alsairafi, CFD modeling of reduction in NO<sub>x</sub> emission using HiTAC technique, ICEST, Penang, Malaysia, 2010.
- [7] R. Tanaka, T. Hasegawa, Innovative technology to change flame characteristics with highly preheated air combustion. Proceeding of Japanese Flame Days, Osaka, Japan, 1997, pp. 129-150.
- [8] A.K. Gupta, High Temperature Air Combustion: Energy savings, Pollution reduction and Fuel reforming, Proceeding of the Fifth Mediterranean Symposium on Combustion, The Combustion Institute, Monastir, Tunisia, 2007.
- [9] S.R. Wu, W.C. Chang, J. Chiao, Low NO<sub>x</sub> heavy fuel oil combustion with high temperature air, Fuel, 86 (2007) 820–828.
- [10] Q. Lu, J. Zhu, T. Niu, G. Song, Y. Na, Pulverized coal combustion and NO<sub>x</sub> emissions in high temperature air from circulating fluidized bed, Fuel Processing Technology, 89 (2008) 1186-1192.
- [11] S. Li, T. Xu, S. Hui, X. Wei, NO<sub>x</sub> emission and thermal efficiency of a 300 MWe utility boiler retrofitted by air staging, Applied Energy, 86 (2009) 1797-1803.

## Using the HiTAC technique in partial oxidation combustion of methane

**A. Amiri, M.Rahimi, S.R. Shabanian**

*CFD Research Center, Chemical Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran  
masoudrahimi@yahoo.com*

**Abstract:** In the present study the HiTAC technique is used in a cylindrical combustion chamber with a diameter of 8 mm and a length of 40cm in order to leave out remaining oxygen. Methane and oxygen in the inlet stream mixed and react in a partial oxidation mode of combustion. The methane gas injectioned in the second stage in a distance of 15cm from inlet and the temperature was measured at a distance of 20cm from inlet. The results show that the secondary injection caused an increase in temperature, which is related to reaction of remaining oxygen from first stage with secondary injected gas. In addition, the results show that the way that the temperature is increased is proportional with amount of secondary injected gas.

**Keywords:** Methane, Combustion, Partial oxidation, HiTAC