CONCLUSIONS

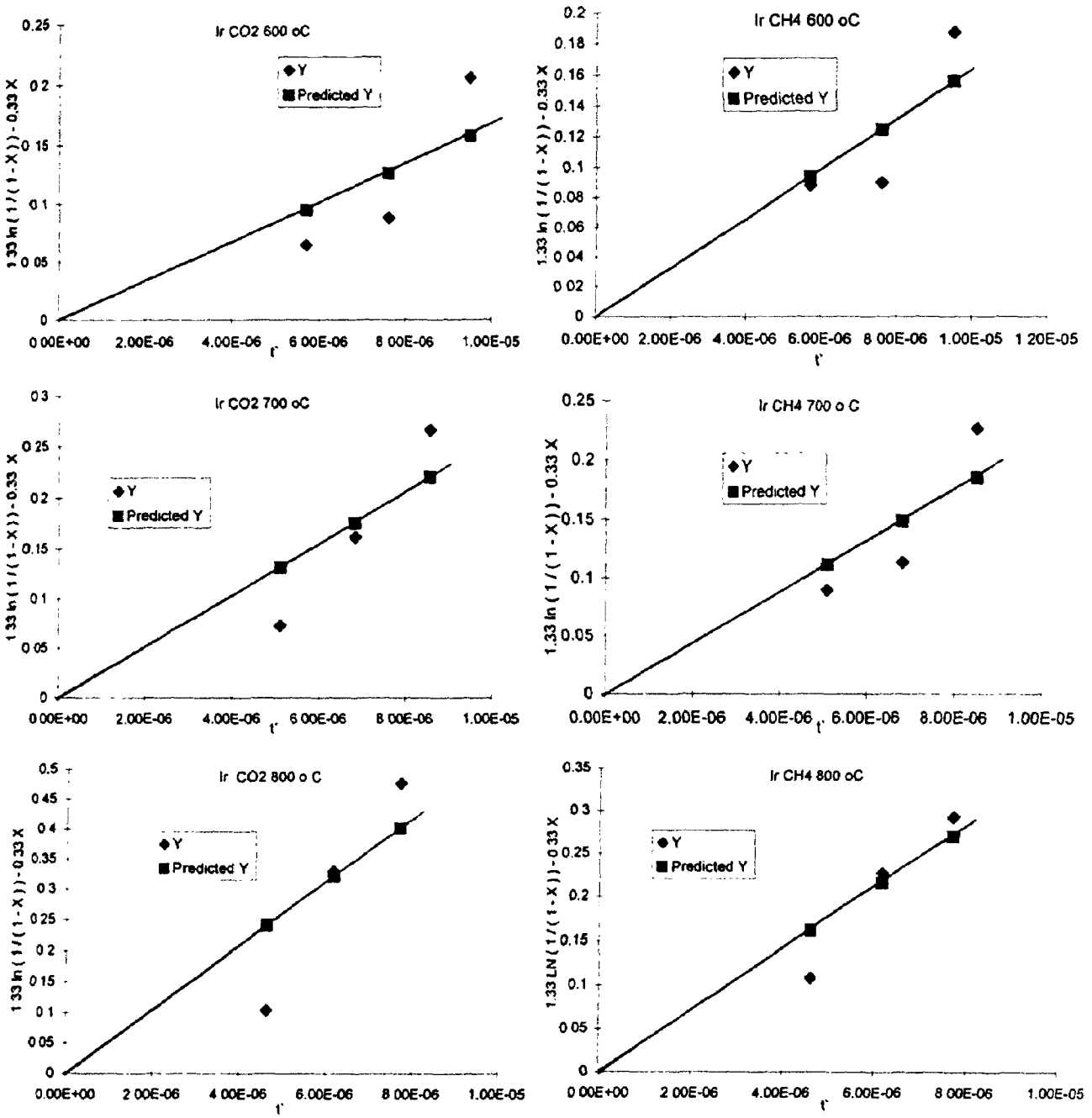

Fig (5 . 4) . Test for First Order Reaction Kineticses w . r .t CO_2 and CH_4 Over Ir / Al_2O_3 Catalyst .

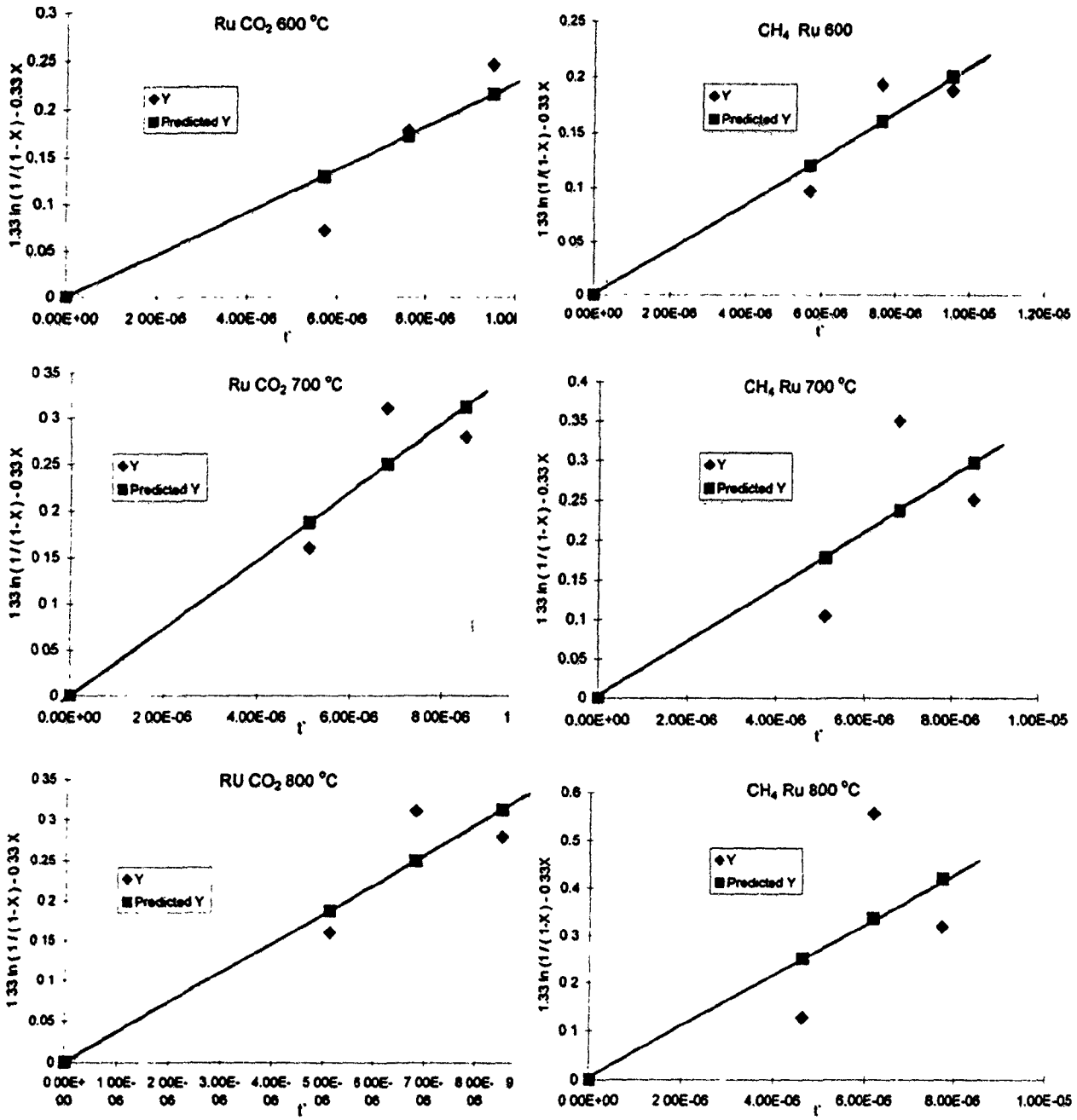

Fig (5 . 5) .Test for First Order Reaction Kinetics w .r .t CO_2 and CH_4 Over Ru / Al_2O_3 Catalyst .

CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from the results of the present investigation:-

Generally ; for all the investigated catalysts the catalyst reactivity increased with increasing temperature and decreasing weight hourly space velocity .

a. For 0.5%Rh/γ-Al_2O_3 catalyst:-

1. Rh/γ-Al_2O_3 catalyst exhibits good reactivity within the whole temperature range and all the studied space velocities but with different degrees.
2. The space velocity 18000ccg^{-1}h^{-1} and the temperature 800°C are the optimum condition resulting in the highest conversion of not only methane but also the other heavy hydrocarbons in the natural gas (ethane, propane, butanes, pentanes, hexanes, and heptanes).
3. The Rh /γ-Al_2O_3 selectivity with respect to H_2 and CO was achieved maximally at temperature of 800°C and space velocity 18000ccg^{-1}h^{-1} .
4. (H_2 / CO) ratio was always less than one , however the highest ratio (0.65) was obtained at the optimum conditions, space velocity 36000 cc g^{-1}h^{-1} and the temperature 700°C.
5. The first order kinetics assumption is valid for both CH_4 and CO_2 reactants under the operating conditions investigated . The reaction rate constant for CO_2 was higher than that of CH_4 (for example at 800°C reaction rate constants equal 19.1E4 and 8.13E4 J / mol) respectively .
6. The activation energy was calculated from Arrhinius' equation as 47.06E3 J / mol. and 29.51E3 J / mol. for CO_2 and CH_4 respectively .

b. For 0.5% Ru/γ-Al_2O_3 catalyst:-

1. The space velocity 36000ccg^{-1}h^{-1} and the temperature 800°C are the optimum condition resulting in the highest conversion of methane but , the space velocity 18000ccg^{-1}h^{-1} and the temperature 800°C are the optimum condition resulting in the highest conversion of the other heavy hydrocarbons in the natural gas (ethane , propane, butanes, pentanes, hexanes, and heptanes).

2. The Ru /γ-Al_2O_3 selectivity with respect to H_2 and CO was achieved maximally at temperature of 800°C and space velocity 18000ccg^{-1}h^{-1}

3. Maximum (H_2 / CO) ratio was achieved at the optimum conditions, space velocity 18000ccg^{-1}h^{-1} and the temperature 800°C.

4. The first order kinetics assumption is valid for both CH_4 and CO_2 reactants under the operating conditions investigated . The reaction rate constant for CO_2 was higher than that of CH_4 (for example at 800°C reaction rate constants equal 7.22E4 and 3.49E4 J / mol) respectively .

5. The activation energy was calculated from Arrhinius' equation as 44.65E3 and 36.24E3 J / mol for CO_2 and CH_4 respectively .

c. For 0.5% Ir/γ-Al_2O_3 catalyst:-

1. The space velocity 45000ccg^{-1}h^{-1} and the temperature 800°C are the optimum condition resulting in the highest conversion of methane but, the space velocity 18000ccg^{-1}h^{-1} and the temperature 800°C are the optimum condition resulting in the highest conversion of not only methane but also the other heavy hydrocarbons in the natural gas (ethane, propane, butanes, pentanes, hexanes, and heptanes).

2. The Ir/γ-Al_2O_3 selectivity with respect to H_2 and CO was achieved maximally at temperature of 800°C and space velocity 18000ccg^{-1}h^{-1}

3. Maximum (H_2 / CO) ratio was achieved at the optimum conditions, space velocity 36000ccg^{-1}h^{-1} and the temperature 700°C.

4. The first order kinetics assumption is valid for both CH_4 and CO_2 reactants under the operating conditions investigated . The reaction rate constant for CO_2 was higher than that of CH_4 (for example at 800°C reaction rate constants equal 5.20E4 and 3.49E4 J / mol) respectively .

5. The activation energy was calculated from Arrhinius' equation as 43.81E3 and 28.85E3 J / mol for CO_2 and CH_4 respectively .

Finally 0.5% Rh/γ-Al_2O_3 catalyst was the best as compared to the two other catalysts investigated . The optimum operating conditions were 18000 ccg^{-1} h^{-1} for the space velocity and 800°C for the reforming temperature . Maximum (H_2 /CO) ratio was obtained at 36000ccg^{-1}h^{-1} space velocity and the temperature 700°C.

REFERANCES

REFERENCES

1. Alstrup , I. , Chorkendorff , I. , and Ullmann , S. , Surf. Sci. , **234** , 79 (1990).

2. Ashcroft , A. T. , Cheethan , A. K., Green , M. L. H. , and Vernon, P. D. F. ; Science, **352** , 225 (1991).

3. ASTM Designation (1996) Analysis of Natural Gas by Gas Chromatography , D 1945- 96 pp.51- 65.

4. Au , C. T. , Hu , Y. H. , and Wan , H. L. ; Catal. Lett. , **27** , 199 (1994).

5. Bhat , R. N. , and Sachtler , W. M. H. ; Appl. Catal. A : Gener. , **150**, 279 (1997).

6. Bitter , J. H. , Hally , W. , Seshan , K. , V. – Ommen , J. G., and Lercher , J. A. ; Catal . Today , **29** , 349 (1996).

7. Bitter , J. H. , Seshan , K. , and Lercher , J. A. ; J. Catal. , **171** , 279 (1997).

8. Bitter , J. H. , Seshan , K. , and Lercher , J. A. ; J. Catal. , **176** , 93 (1998).

9. Bodrov , I. M. , and Apel'baum , L. O. , Kinet. Catal. , **8** , 379 (1967).

10. Borer , A. L. , and Prins , R. , in Guczi , L. , (Editor) ; 10th Symposium on Catalysis , Budapest , Hungary , (1992).

11. Bradford , M . C . J . , and Vannice , M . A . ; Catal . Rev . Sci . Eng . , **41** , 1(1999).

12. Bradford , M . C . J . , and Vannice , M . A . ; Catal . Today , **50** , 87 (1999).

13. Bradford , M. C. J. , and Vannice , M. A. ; Appl. Catal. A : Gener. , 223 (1997).

14. Brungs , A . J. , York , A. P. E. , and Green , M. L. H. ; Catal. Lett. , **57** , 65 (1999).

15. Bueno , J. M. C. ; Appl. Catal. A : Gener. , **193** , 173 (2000).

16.Buyevskaya , O. V. , Wolf , D. , and Baerns , M. ; Catal. Lett. , **29** , 249 (1994).

17.Chang , J. S. , Park , S. E. , and Lee , K. W. ; Stud. Surf. Sci. Catal. , **84** , 1587 (1994).

18.Che , M . , Bennett , C . O . ; Advances in Catalysis , **36** (1989)(a) Efstathiou , A . M. , Bennett , C . O . ; J . Catal . , **120** , 137 (1989).(b) Efstathiou , A . M. , Bennett , C . O . ; J. Cata l. , **120** , 118 (1989).(c) Efstathiou , A . M . ,Chafik , T . , Bianchi , D . , and Bennett , C . O .; J.Catal. , **148** , 224 (1994).

19.Chen , X . , Honda , K . , and Zhang , Z . – G . ; Catal . Today **93** – **95** , 87 (2004)

20.Chen , Z. X. , Wu , J. L. , and Zhu , M. ; Catal. Today , **30** , 147 (1996).

21.Cheng , Z . X . , Zhao , X .G ., Li , J . L . , and Zhu ,Q . M . ; Appl . Catal . A : Gener, **205** , 31 (2001).

22.Cheng , Z. , Wu , Q. , Li , J. , and Zhu , Q. ; Catal. Today , **30** , 147 (1996).

23.Choudhary , V.R. , Uphada , B.S. , and Mamman , A. S. ; Catal. Lett. , **32** , 387 (1995).

24.Claridge , B. J. , Green , M. L. H. , Tang , S. C. , York , A. P. E., Ascroft , A. T. , and Battle , P. D. ; Catal. Lett. , **22** , 299 (1993).

25.Crisafulli , C . , Scirè , S . , Minicò , S . , and Solarino , L . ; Appl . Catal . A: Gener . , **225** , 1 (2002).

26.Effendi , A . , Hellgardt , K . , Honda , and Yoshida , T . ; Catal . Today **77** , 181 (2002) .

27.Effendi , A . , Zhange , Z . – G . and Yoshida , T . ; ACS Symposium series **809** , 275 (2002) .

28.Efstathiou , A . M . , Kladi , A . , Tsipouriari , V . , and Verykios , X . E . ; J. Catal. , **158** , 64 (1996).

29.Erdöhelyi , A. Cresényi , J. , and Solymosi , F. ; J. Catal. , **141** , 287 (1993).

30.Erdöhelyi , A. Cresényi , J. , Papp , E. , and Solymosi , F. ; Appl. Catal. A : Gener. , **108** , 205 (1994).

31.F .- Aparicio , P. , G. – Ruiz , A ., and R. – Ramos , I. ; Appl. Catal. A: Gener. , **170** , 177 (1998).

32.F. – Aparicio , P. , R. – Ramos , I. ,Anderson , J. A. , and G. – Ruiz , A. ; Appl. Catal. A : Gener. , **202** , 183 (2000).

33.Fischer , F. ,and Tropsch , H. , Brennstoff ; Chemie , **3** , 39 (1928).

34.Frusteri , F. , Arena , F. , Galogero , G. , Torre , T. , and Paratiana , A. ; Catal. Comm. , **2** , 49 (2001).

35.Gadalla , A. M. , and Bower , B. ; Chem. Eng. Sci. , **43** , 3049 (1988).

36.Galuszka , J . , Pandey , R . N . ,Ahmed , S . ; Catal . Today **46** , 83 (1998) .

37.Giapetta , F . ,G . , and Plank , C . J . , in P . H . Emmett (ed .) , " Catalysis ", Vol . 1. Chap . 7 . Reinhold Publishing Corporation , New York , (1954).

38.Goldwasser , M .R . , Rivas , M .E . , Pietri , E ., P . Zurita , M . J . , Cubeiro , M . L . , Gingembre , L . , Leclercq , L . , and Leclercq , G . ; Appl . Catal .A : Gener . , **255** , 45 (2003).

39.Goula , M . , Lemoidou , A . , and Efstathiou , A . M . ; J . Catal . **162** , 626 (1996) .

40.Goula , M. A. , Lemonidou , A. A. , and Efstathiou , A. M. ; J. Catal., **161** , 626 (1996).

41.Gronchi , P. , Centola , P. , and Rosso , R. D. ; Appl. Catal. A:Gener., **152** , 83 (1997).

42.Gronchi , P. , Mazzocchia , C. , Tempesti , E. , and D. - Rosso , R. , in Genti , G. , Cristiani , C. , Forzatti , P. , and Perathoner , S. ,(Editors). Enviromental Catalysis , SCI , Rome , Italy , 1995 , P.P.627-630.

43.Gronchi , P., Mazzocchia. C., and Del Rosso , R.; En. Conv . Man . **36** (6-9) 605-608 (1995).

44.Guo , J . , Lou , H . , Zhao , H . , Chai , D . , and Zheng , X . ; Appl . Catal . A : General **273**(1-2) , 75-82 (2004).

45.Hashimoto , K. , Watase , S. , and Toukai , N., Catal. Lett. , **80** , 147 (2002).

46.Hayakawa , T . , Harihara , H . , Andersen , A .G . , York , A . P . E . , Suzuki , K . , Yasuda , H . , and Takehira , K . , Angew. ; Chem . , Int .Ed . Engl . , **35** , 92 (1996).

47.Hayakawa , T . , Suzuki , S . , Nakamura , J . , Uchijima , T . Hamakawa, S ., Suzuki , K . , Shishido , T ., and Takehira , K . ; Appl . Catal . A : Gener ., **183** , 273 (1999).

48.Hayakawa , T. , Harihara , H. , Andersen , A.G. , Suzuki , K. , Yasuda , H., Tsunoda , T. , Hamakawa , S., York , A.P.E. , Yoon , Y.S., Shimizu , M. , and Takehira , K. ; Appl. Catal. A : Gener. , **149** , 391 (1997).

49.Hickman , D . A . , Haupfear , E . A . , and Schmidt , L . D . ; Catal . Lett . **17** , 223 (1993) .

50.Hickman , D. A. , Haupfear , E. A. , and Schmidt , L. D. ; Catal . Lett. , **17** , 223 (1993).

51.Horiuchi , T. , Sakuma , K. , Fuku , T. , Kubo , Y ., Osaki , T. , and Mori , T. ; Appl. Catal. A : Gener. , **144** , 111 (1996).

52.Hou , Z . , and Yashima , T .; Catal . Lett . , **89** , 193 (2003).

53.Hou , Z . ,and Yashima ,T. ; Appl . Catal . A : Gener . , **261** , 205 (2004).

54.Hou , Z ., Yokota , O. , Tanaka , T. , and Yashima , T. ; Appl. Catal. A : Gener. , **253** , 381 (2003).

55.Huder , K . ; Chem . Ing . Tech . **63** , 376 (1991).

56.Ito , M. , Tagawa , T. , and Goto , S. ; Appl. Catal. A : Gener. ,**177** , 15 (1999).

57.J .- Juan , J. , R. - Martíez ,and I.- Gómez , M.J. ; Appl. Catal. A : Gener. , **264** , 169 (2004).

58.Kellner , C. S. , and Bell , A. T. ; J. Catal. , **67** , 175 (1981).

59.Kim , G. J. , Cho , D. S. , Kim , K. H. , and Kim , H. J. ; Catal. Lett. , **28** , 41 (1994).

60.Kim , J . - H . , Jinsuh , D . , Park ,T .- J . , and Kim ,K.L. ; Appl . Catal . A : Gener., **197** , 191 (2000).

61.Kurz , G. , and Teuner , S. , Erdöl and Kohle , **43** , 171 (1990).

62.Lee , J. - H. , Lee , E .- G. , Joo , O. - S. , and Jung , K. - D. ; Appl. Catal. A : Gener. , **269** , 1 (2004).

63.Lemonidou , A. A. , and Vasalos, I. A. ; Appl. Catal. A : Gener. , **54** , 119 (1989).

64.Lemonidou , A. A. ,Goula , M.A. , and Vasalos , I. A. ; Catal. Today, **46** , 175 (1998).

65.Lercher , J. A. , Bitter , J. H. , Hally , W. , Niessen , W. , and Seshan , K. ; Stud. Surf. Sci. Catal. , **101** , 463 (2001).

66.Mark , M . F . , Maier , W. F . ; J . Catal. , **164** , 122 (1996).

67.Martínez , R . , Romero , E . , Guimon , C . ,and Bilbao , R . ; Appl . Catal . A : General **274**(1-2) , 139-149 (2004).

68. Matsui , N . – O . , Anzai , K. , Akamatsu , N. , Nakagawa , K. , Ikenaga , N . – O ., and Suzuki , T. ; Appl. Catal. A : Gener. , **179** , 247 (1999).

69.McCarthy , T. J. , Marques , C. M . P. , Treviño , H. , and Sachtler , W . M . H . ; Catal. Lett. , **43** , 11 (1997).

70.Menad , S. , F. – Aparicio , P. , Cherifi , O. , G. – Ruiz , A., R. – Rámos , I. ; Catal. Lett. , **89** , 63(2003).

71.Morterra , C. , Bolis , and V. , Magnacca , G. ; J. Chem. Soc., Faraday Trans. , **92** , 1991 (1996).

72.Múnera , J . ,Irusta , S . , Cornaglia , L . ,and Lombardo , E. ; Appl . Catal . A : General **245** , 383 (2003) .

73.Munera , J. , Irusta , S. , Cornaglia , L. , and Lombardo , E. ; Appl . Catal. A : Gener. , **245** , 383 (2003).

74.Nagaoka , K . , Okamura , M . , and Aika , K . – I . ; Catal . Comm. , **2** , 255 (2001).

75.Nagaoka , K . , Takanabe , K . , and Aika , K . ; Appl . Catal . A : General **255** , 13 (2003).

76.Nagaoka , K . , Takanabe , K . , and Aika , K . ; Chem . Commun . 1006 (2002).

77.Nakamura , J . , Aikawa , K . , Sato , K . , Uchijima , T . ; Catal . Lett . , **265** , 25 (1994).

78.Oklay , J . , Hon , K . , and Hughes , R . ; Appl . Catal . A : General **170** , 13 (1998)

79.Omata , K . , Hottai , N . T . , and Yamada , M . , Catal . Comm . **5** , 771 (2004) .

80.Omata , K . , Hottai , N . T . ,Showa , Y . , and Yamada , M . , Catal . Comm . **5** , 775 (2004) .

81.Paipatyadar , S . A . ,Cyclic Operation of Sodium Heat Pipe , Solar Reformers , Ph. D. Dissertation , Department of Chemical Engineering , University of Houston , Houston TX , May (1987).

82.Pant , B. , and S . – Williams ; Catal . Comm . , **5** , 305 (2004).

83.Paturzo , L . , Gallucci , F . , Basile , A . , Vitulli , G . , and Pertici , P . ; Catal . Today **82** , 57 (2003) .

84.Paturzo , L . , Gallucci , F. , Basile , A . , Vitulli , G ., and Pertici , P .; Catal . Today, **82** , 57-65 (2003).

85.Paturzo , L. , Gallucci , F. , Basile , A. , Vitulli , G. , and Pertici , P. , Catal . Today , **82** , 57 (2003).

86.Pessi , F. , and Bonvicino , F. , Thesis ; Politecnico di Milano , Milan, Italy , 1994.

87.Petersen , K . , Nielsen , C . and Jørgensen , S . ; Catal . Today **46** , 193 (1998) .

88.Pitsai , P . , and Kleir , K . ; Catal . Rev . – Sci . Eng . **28** , 13 (1986).

89.Portugal Jr. , U . L . , Marques , C . M . P. , Araujo , E. C. C. , Morales , E . V. , Gitto, M . V. ; Appl . Catal . A : Gener . , **193** , 173 (2000).

90.Prabhu , A . K . , Radhakrishnan , R . , and Oyama , S . T . ; Appl . Catal . A :Gener ., **183** , 241 (1999).

91.Quinalan , M. A. , Wood , B. J. , and Wise , H. ; Chem. Phys. Lett ., **118,** 478 (1985).

92.R . – Nielsen , J. R. ; Stud. Surf. Sci. Catal. , **81** , 25 (1994).

93.R. – Nielsen , J. R. ; J. Catal. , **31** , 173 (1973).

94.R. - Nielsen , J. R. ; J. Catal. , **31** , 184 (1974).

95.R. - Nielsen , J.R. , and B. - Hansen , J.H. ; J. Catal. , **144** , 38 (1993).

96.Raskó , J. , and Solymosi , F. ; Catal. Lett. , **46** , 153 (1997).

100. Richardson , J . T . , and Paripatyadar , S. A . ; Appl . Catal . A : Gener ., **61** , 293 (1990).

101.Richardson , J . T . ,Garrit , M . , and Hung , J . - K . ; Appl . Catal . A : General **255** , 69 (2003) .

102.Richardson , J. T. , Garrait , M. , and Hang , J. -K. ; Appl. Catal . A : Gener. , **255** , 69 (2003).

103.Ruckenstein , E . , Wang , H . Y . ; J. Catal . **190** , 32 (2000).

104.Ruckenstein , E . ; and Wang, H .Y. ; Appl . Catal . A : Gener., **204**, 257 (2000).

105.Ruckenstein , E. , and Wang , H . Y. ; Appl . Catal. A : Gener. , **198** , 33 (2000).

106.Ruckenstein , E., and Hu , Y. H. ; J. Catal. , **161** , 55 (1996).

107. Rynkowski , J. , Samulkiewicz , P. , Ladavos , A K., and Pomonis , P.J. ; Appl. Catal. A : Gener., **263** , 1 (2004).

108.Sachtler , W . M . H . , and Zhang , Z . ; Adv. Catal . , **39** ,

129 (1993).

109.Shiozaki , R. , Andersen , A.G., Hayakawa , T. , Hamakawa , S. , Suzuki , K. , Shimizu , M. , and Takehira , K. ; J. Chem. Soc . , Faraday Trans. , **93** , 3225 (1997).

110.Solymosi , F. , Kutsán , G. , and Erdöhelyi , A. , Catal. Lett. , **11** , 149 (1991).

111.Solymosi , F., Erdöhelyi , A. and Cresényi , J. ; Catal. Lett. , **16** (1992).

112.Somorjai , G . A . ; Introduction to Surface Chemistry and Catalysis , Wiley , New York , 1994.

113.Soria , J. , Coronado , J.M. , and Conesa , J.C. ; J. Chem. Soc., Faraday Trans. , **92** , 1618 (1996).

114.Stull , D . R . , Edgar , F . , Westrum , J . , and Sinke , G . C . , ; The Thermodynamic of Organic Compounds . , Princeton University Press , Princeton , N J (1984) .

115.Suh , D . J . , and park ,T . – J . ; Chem . Mater. , **8** , 509 (1996).

116.Suh , D .J . , Park ,T . – J . , Kim , T . – H . , and Kim , K . – L . ; J . Non - Cryst. Solids , **225** , 168 (1998).

117.Swaan , H . M . , Kroll , V . C . H . , Martin , G . A . , and Mirodatos , C . ; Catal . Today 21 , 571 (1994).

118.Swaan , H. M. , Kroll , V. C. H. , Martin , G. A. , and Mirodatos , C., Catal. Today , **21** , 571 (1994).

119.Takayasu , O. , Soman , C. , Takegahara , Y. , and Mastsuura ,

I.; Stud. Surf. Sci. Catal., **88**, 281 (1994).

120.Takehira, K., Shishido ,T., Shoro, D., Murakami, K., Honda, M., Kawabata, and Takaki, K.; Catal.Comm., **5**, 209 (2004).

121.Tenner, S.; Hydrocarbon Process, **64**, 106 (1985).

122.Tomishige, K., Himeno, Y., Matumoto, Y., Yoshinaga, Y., and F ujimoto, K., Ind. Eng. Chem. Res. **39**, 1891 (2000).

123.Tomishige, K.; Catal. Today, **89**, 405 (2004).

124.Tomiainen, P. M., Chu, X., and Schemidt, L. D.; J. Catal., **146**, 1 (1994).

125.Trovarellli, A.; Catal. Rev. - Sci. Eng., **38**, 439 (1996).

126.Tsipouriari, V. A., Efasttathiiou, A. M., and Verykios, X. E.; J.Catal., **161**, 31 (1996).

127.Tsipouriari, V. A., Efstathiou, A. M., Zhang, Z. L., and Verykios, X. E.; Catal. Today, **21**, 579 (1994).

128.Turlier, P., Pereira, E. B., and Martin, G. A.; Proceedings of the International Conference on Carbon dioxide Utilization , Bari, (1993), P. 119.

129.Valantini, A., Carreño, N .L .V., Probst, L. F. D., L. Filho, P. N., Schreiner, W. H., Liete, E .R., and Longo, E ; Appl. Catal. A : Gener., **255**, 211 (2003).

130.Verykios, X. E.; Appl. Catal. A : General **225**, 101 (2003).

131.Verykios, X .E.; Appl. Catal. A : Gener., **225**, 101 (2003).

132.Wang, H. Y., and Au, C. T.; Appl. Catal. A : Gener., **155**,

239 (1997).

133.Wang , H. Y. , and Ruckenstein , E. ; Appl. Catal. A : Gener. , **204** , 143 (2000).

134.Wang , L . , Murata , K . , and Inaba , M . ; Catal . Commun . **4** , 147 (2003) .

135.Wang , Lercher , J . A ., and Haller , G . L . ; J. Catal. , **88** , 18 (1984).

136.Wang , Q . L . , Giannetto , G . , Torrealba , M . , Perot , G . , Kappenstein , C . , and Guisnet , M . ; J. Catal . , **130** , 459 (1991).

137.Wang , S. , and Lu , G. Q. M. ; Appl. Catal. B : Envir. , **16** , 269 (1998).

138.Wang , S. , and Lu , G.Q. ; Appl. Catal. A : Gener. , **169** , 271 (1998).

139.Wang , S. , and Lu , G.Q. ; Appl. Catal. B : Envir. , **19** , 267 (1998).

140.Wang , S. , Lu ,G. Q. M. , and Millar , G. ; J. , Energy and Fuels , **10** , 896 (1996).

141.Wang , S. , Ph.D. Thesis , The university of Queensland ,1998.

142.Weckhuysen , B . , M . , Keller , D . E . ; Catal . Today **78** , 25 (2003) .

143.Wei , J . ,and Iglesia , E . ; J . Catal . **225** , 116 (2004) .

144.Wei , J .- M ., Xu , B. - Q. , Li , J .- L. , Cheng , Z. - X. , and Zhu , Q. - M. ; Appl. Catal. A : Gener. , **196** , L167 (2000).

145.Wei , J. , and Iglesia , E. ; J. Catal. , **225** , 116 (2004).

146.Weisz , P . , Physik , Z . ; Chem . N . F . **11** , 1 (1957) .

147.Westheimer , F. H. ; Chem. Rev. , **61** , 265 (1961).

148.Wie , J. , and Iglesia , E. ; J. Catal. , **224** , 370 (2004).

150.Winkler , A . , Guo , X. , Siddiqui , P . L . , Hagans , P. L. , and Yates , J. T. ; Jr. , Surf . Sci. , **201** , 419 (1988).

151.Wong , T. T. T. , Stakheev , A. Y. , and Sachtler , W. M. H. ; J. Phys. Chem. , **96** , 7733 (1992).

152.Xu , G. , Shi , K. , Gao , Y. , Xu , H. , and Wei , Y. ; J. Mol. Catal. A : Chem. , **147** , 47 (1999).

153.Xu , H. Y. , Su , X. X. , Fan , Y.M. , L. – Xu , G. , Liu , J. X. , Yu , W. G. , and Zhou , P.H. ; Petrol. Chem. Eng. , **21** , 147 (1992).

154.Xu , L . , Zhang , Z . , and Sachtler , W . M . H . ; J. Chem . Soc . , Faraday Trans . , **88** , 2291 (1992) .

155.Yamazaki , O. , Nozaki , T. , Omata , K. , and Fujimoto , K. ; Chem. Lett. , 1953 (1992).

156.Yao , C. , and Yao , Y.F.Y. ; J. Catal. , **86** , 254 (1984).

157.Yokota , S. , Okumura , K. , and Niwa , M. ; Catal. Lett. , **84** , 131 (2000)

158.York , A . P . E . , Claridge , J . B . , Brungs , A . J . ,Tsang , S. C . and Green , M. L . H . , Chem . Comm . 39 (1997) .

159.Zhang , Z . , and Verykios , X . E . , and Baerns , M . ; Catal . Rev . –Sci . Eng . **36** , 507 (1994).

160.Zhang , Z. , and Verykios , X. E. ; Catal. Today , **21** , 589 (1994).

161.Zhang , Z. , and Verykios , X.E. ; J. Chem. , Soc. , Chem. Comm. , 71 (1995).

162.Zhang , Z. , Verykios , X. E. , M. - Donald , S. M. ,and Affrossman, S. ; J. Phys. Chem., **100** , 744 (1996).

163.Zhang , Z. L. , Tsipouriari , V. A. , Efasttathiiou , A. M. , and Verykios , X. E. ; J. Catal. , **158** , 51 (1996).

APPENDIX A

APPENDIX . A .

First Order Reaction Kinetic's Calculations :-

Given the volumetric analysis (percentage remained) of the reacting species in Table (A 1-3) .

Table (A.1) . Remaining Concentrations of CO_2 and CH_4 for Rh / γ-Al_2O_3 at the studied conditions .

Temperature	**600 °C**		**700°C**		**800°C**	
Space Velocity $ccg^{-1}.h^{-1}$	CH_4	CO_2	CH_4	CO_2	CH_4	CO_2
18000	**41.53**	28.38	**32.97**	22.37	**5.17**	6.56
36000	**66.04**	58.03	**53.38**	40.51	**41.06**	33.99
45000	**73.99**	56.59	**69.59**	48.95	**63.02**	43.2
60000	**89.21**	94.85	**83.29**	74.94	**74.44**	62.26

Table (A.2). Remaining Concentrations of CO_2 and CH_4 for Ru / γ-Al_2O_3 at the studied conditions .

Temperature	**600 °C**		**700°C**		**800°C**	
Space Velocity $ccg^{-1}.h^{-1}$	CH_4	CO_2	CH_4	CO_2	CH_4	CO_2
18000	**88.26**	91.04	**87.44**	81.62	**85**	69.91
36000	**78.5**	79.7	**65.54**	68.46	**52.58**	49.05
45000	**78.95**	73.69	**73.38**	70.95	**67.83**	59.35
60000	**91.17**	90.83	**88.72**	76.01	**82.9**	66.92

Table (A.3) . Remaining Concentrations of CO_2 and CH_4 for Ir / γ-Al_2O_3 at the studied conditions .

Temperature	600 °C		700°C		800°C	
Space Velocity $ccg^{-1}.h^{-1}$	CH_4	CO_2	CH_4	CO_2	CH_4	CO_2
18000	**89.26**	91.43	**89.04**	90.99	**87.02**	87.48
36000	**89.05**	89.22	**86.44**	81.51	**75.37**	67.01
45000	**79.03**	77.25	**75.44**	72.02	**69.89**	57.12
60000	**98.63**	97.43	**99.46**	94.22	**95.03**	92.89

The following procedure was used to calculate the conversion and hence the r.h.s of Eq. (17) as well as the weight – time term of the l.h.s of the same equation

Take as an example Rh / γ- Al_2O_3 catalyst for the reaction of CO_2 .

The partial pressure of CO_2 in the entering gases = 1 / 6 atm.

The entering CO_2 concentration =

$$C_{CO2,\,in} = \frac{N_{CO2}}{V} = \frac{P_{CO2}}{RT} = \frac{0.167 atm.}{(0.082 lit.atm./mol.°K x 873°K)}$$

$$= 0.0023 mol./l.$$

For a feed rate of 600 cc / min at 25°C :-

The volumetric flow rate flow rate =

600 cc / min x (lit. / 10^3 cc) x (60 min / h) = 36 lit. / h .

This flow rate is corrected for reaction temperature by :-

$V_2 = V_1 \times T_2 / T_1 = 36 \times 873 / 298 = 105$ lit. / hr .

Then the entering molar flow rate :-

$F_{CO2} = C_{CO2,\,in} \times V_2$

= (0.0023 mol CO_2 / lit.) (105 lit. / hr) = 0.2415 mol. / hr .

given the weight of catalyst utilized = 2 g , then the weight – time term in equation is calculated as :-

$$\frac{C_{CO2,o} x W}{F_{CO2,o}} = \frac{0.0023 x 0.002}{0.2415} = 1.9 x 10^{-5} \text{ (kg .h / lit.)}$$

The conversion X_{CO2} is calculated from equation :-

$$X_{CO2} = \frac{C_{CO2,in} - C_{CO2,out}}{C_{CO2,in} + 0.33 C_{CO2,out}}$$

Where ϵ = expansion factor = 1 / 3 in our case as shown in chapter 5.

$C_{CO2,out}$ is calculated as $C_{CO2,in}$ x % remained .

The same calculation procedure is repeated at each flow rate for a given temperature .

The calculations results are given in Tables (A .4-6) for the Rh / $\gamma - Al_2O_3$, Ru / $\gamma - Al_2O_3$ and Ir / $\gamma - Al_2O_3$ respectively .

The value of $\{1.3 \ln 1 / (1- X) - 0.3 X\}$ is plotted vs $\frac{C_{CO2,o} x W}{F_{CO2,o}}$ as shown in Fig (5.4-6) for each catalyst type .

The slope of the line = k` lit./ hr. kg cat. the reaction rate constant .

For a first order reaction :-

$$- r`_{CO2} = k` \text{ (lit. / hr kg cat)} \times (C_{CO2} \text{ mol / lit})$$

Table (A .4a) . The calculation needed to test the fit of Eq . (17) of CO_2 component for Rh / $\gamma - Al_2O_3$.

Temperature	X = $C_i - C_o$ / (C_i+0.33C_o)	A =1. 33 ln (1 / 1-X)	B = 0. 33 X	A - B	F_i	C_i W / F_i
C_i = 0 0023 mol / lit.						
600 °C	0.0397	0.0539	0.0131	0.0408	0.805	5.7E-6
	0.3660	0.607	0.1210	0.486	0.605	7.6E-6
	0.3540	0.580	0.1168	0.463	0.483	9.5E-6
	0.6548	1.415	0.2161	1.199	0.242	19E-6
C_i = 0 00209 mol / lit.						
700 °C	0.330	0.5326	0.1089	0.4237	0.8180	5.11E-6
	0.605	1.2354	0.1997	1.0357	0.6140	6.81E-6
	0.686	1.5406	0.2262	1.3142	0.4910	8.513E-6
	0.838	2.4208	0.2765	2.1443	0.2460	16.99E-6
C_i = 0.0019 mol / lit						
800 °C	0.475	0.8569	0.1567	0.700	0.821	4.628E-6
	0.663	1.4466	0.2188	1.198	0.616	6.169E-6
	0.744	1.8122	0.2455	1.567	0.493	7.708E-6
	0.955	4.1245	0.3152	3.809	0.246	15.45E-6

Table (A .4b) . The calculation needed to test the fit of Eq (17) of CH_4 component for Rh / $\gamma - Al_2O_3$ catalyst .

Temperature	$X = C_i - C_o / (C_i + 0.33\ C_o)$	$A = 1.33 \ln (1 / 1-X)$	$B = 0.33\ X$	A - B	F_i	$C_i W / F_i$
$C_{i,} = 0.002139$ mol / lit.						
600 °C	0.08269	0.114795	0.027288	0.087507	0.74866	5.714E-6
	0.2056	0.31192	0.06899	0.24293	0.5615	7.619E-6
	0.278833	0.43476	0.09215	0.34274	0.44919	9.524E-6
	0.514226	0.96028	0.16969	0.79058	0.2245	19.056E-6
$C_{i,} = 0.00194$ mol / lit.						
700 °C	0.13107	0.18686	0.04325	0.1436	0.7601	5.1046E-6
	0.2473	0.37785	0.081611	0.29623	0.570	6.8062E-6
	0.3964	0.67139	0.13080	0.54086	0.456	8.5087E-6
	0.60453	1.2336	0.19949	1.03431	0.228	17.017E-6
$C_{i,} = 0.00177$ mol / lit.						
800 °C	0.20519	0.30544	0.067714	0.2377	0.765	4.628E-6
	0.30613	0.48608	0.101024	0.38586	0.574	6.1716E-6
	0.51907	0.97359	0.17129	0.8023	0.459	7.715E-6
	0.93239	3.58307	0.300769	3.27538	0.229	15.432E-6

Table (A .5a) . The calculation needed to test the fit of Eq (17) CO_2 component for Ru / $\gamma - Al_2O_3$ catalyst .

Temperature	X = $C_i - C_o$ / (C_i +0.33C_o)	A = 1.33 ln (1 / 1-X)	B = 0.33 X	A - B	F_i,	C_i, W / F_i,
$C_{i,}$ = 0 0023mol / lit.						
600 °C	0.06890	0.094947	0.022737	0.07221	0.805	5.7E-6
	0.15931	0.230798	0.05257	0.178226	0.605	7.6E-6
	0.211635	0.316266	0.06984	0.24643	0.483	9.5E-6
	0.07055	0.097309	0.02328	0.074027	0.242	19.0E-6
$C_{i,}$ = 0.00209 mol / lit.						
700 °C	0.144799	0.20803	0.0477836	0.16025	0.818	5.11E-6
	0.25728	0.39558	0.084903	0.310682	0.614	6.81E-6
	0.23538	0.35695	0.077678	0.27927	0.491	8.513E-6
	0.19179	0.28320	0.06329	0.21991	0.246	16.99E-6
$C_{i,}$ = 0 0019 mol / lit						
800 °C	0.24449	0.37289	0.03068	0.2922	0.821	4.628E-6
	0.43852	0.767646	0.14471	0.62293	0.616	6.169E-6
	0.33992	0.55248	0.112175	0.440308	0.493	7.708E-6
	0.27096	0.42032	0.08941	0.330901	0.246	15.45E-6

Table (A .5b) . The calculation needed to test the fit of Eq. (17)CH_4 component for Ru / $\gamma - Al_2O_3$ catalyst.

Temperature	X = $C_i - C_o$ / (C_i+0.33C_o)	A = 1.33 ln (1 /1-X)	B = 0.33 X	A - B	F_i	C_i W / F_i
$C_{i,}$ = 0.002139 mol / lit						
600 °C	0.0901	0.12678	0.030003	0.096774	0.74866	5.714E-6
	0.17076	0.24904	0.056352	0.192691	0.5615	7.619E-6
	0.16699	0.2430	0.055108	0.1879	0.44919	9.524E-6
	0.06787	0.09348	0.022399	0.07109	0.2245	19.05E-6
$C_{i,}$ = 0.00194 mol / lit						
700 °C	0.09747	0.13640	0.03217	0.10424	0.7601	5.1046E-6
	0.2833	0.44306	0.09349	0.34956	0.570	6.8062E-6
	0.21431	0.32078	0.07072	0.25006	0.456	8.5087E-6
	0.08725	0.12142	0.02879	0.09263	0.228	17.017E-6
$C_{i,}$ = 0.00177 mol / lit						
800 °C	0.11714	0.1657	0.038657	0.12705	0.765	4.628E-6
	0.40489	0.68848	0.133348	0.555137	0.574	6.171E-6
	0.26286	0.405622	0.08674	0.31888	0.459	7.715E-6
	0.13468	0.191759	0.044308	0.14745	0.229	15.432E-6

Table (A .6a) . The calculation of needed to test the fit of Eq (17)CO_2 component for Ir / $\gamma - Al_2O_3$ catalyst .

Temperature	X = $C_i - C_o / (C_i + 0.33C_o)$	A = 1.33 ln (1 / 1-X)	B = 0.33 X	A - B	F_i	$C_i W / F_i$
$C_{i,} = 0.0023$ mol / lit.						
600 °C	0.061916	0.085008	0.020432	0.06457	0.805	5.7E-6
	0.08328	0.115647	0.02778	0.08817	0.605	7.6E-6
	0.18128	0.266026	0.05982	0.20620	0.483	9.5E-6
	0.01944	0.021197	0.006417	0.01970	0.242	19.0E-6
$C_{i,} = 0.00209$ mol / lit.						
700 °C	0.06929	0.095508	0.022867	0.07264	0.818	5.11E-6
	0.1457	0.20945	0.04808	0.161367	0.614	6.818E-6
	0.22607	0.34084	0.07460	0.26624	0.491	8.563E-6
	0.04409	0.05997	0.01455	0.04542	0.246	16.99E-6
$C_{i,} = 0.0019$ mol / lit.						
800 °C	0.09715	0.13593	0.03206	0.10387	0.821	4.628E-6
	0.27015	0.41885	0.08915	0.3297	0.616	6.169E-6
	0.36079	0.59521	0.11906	0.47615	0.493	7.708E-6
	0.05442	0.07442	0.01796	0.05645	0.246	15.45E-6

Table (A .6b) . The calculation of needed to test the fit of Eq (17) CH_4 component for Ir / $\gamma - Al_2O_3$ catalyst .

Temperature	X = $C_i - C_o$ / (C_i +0.33C_o)	A = 1.33 ln (1 / 1-X)	B = 0.33 X	A - B	F_i	C_i W / F_i
$C_{i,}$ = 0.002139 mol / lit.						
600 °C	0.08296	0.11519	0.02738	0.08781	0.74866	5.714E-6
	0.08463	0.11760	0.02793	0.08968	0.5615	7.619E-6
	0.1663	0.2419	0.05488	0.18705	0.44919	9.524E-6
	0.01033	0.01382	0.00341	0.0104	0.2245	19.05E-6
$C_{i,}$ = 0.00194 mol / lit.						
700 °C	0.08471	0.11772	0.027954	0.089769	0.7601	5.105E-6
	0.10550	0.14829	0.034817	0.113473	0.570	6.806E-6
	0.19664	0.291214	0.064892	0.22632	0.456	8.509E-6
	0.00414	0.05519	0.001366	0.00415	0.228	17.017E-6
$C_{i,}$ = 0.00177 mol / lit.						
800 °C	0.10084	0.14137	0.033278	0.108096	0.165	4.628E-6
	0.1972	0.2922	0.06509	0.22711	0.574	6.171E-6
	0.2446	0.37319	0.080741	0.29245	0.459	7.715E-6
	0.0378	0.05129	0.01248	0.03881	0.229	15.432E-6

ARABIC SUMMARY

تحويل الغاز الطبيعي بوا سطة ثاني أكسيد الكربون لإنتاج غاز التخليق

رساله مقدمه للحصول على
درجة ماجيستير الفلسفة في العلوم

من

رضوى عباس مصطفى السيد السلاموني
بكالوريوس علوم - *جامعة عين شمس*

تحت إشراف

ا . د . صلاح عبد الغني أبو العينين
أستاذ الكيمياء الفيزيائيه و مواد البناء بكلية العلوم – جامعة عين شمس .

ا . د . سهام علي التمتامي
أستاذ الهندسه الكيميائيه - معهد بحوث البترول .

ا . د . عقيله كامل المرسي
أستاذ الهندسه الكيميائيه - معهد بحوث البترول .

إلى

قسم الكيمياء
كلية العلوم- جامعة عين شمس

القاهره - ٢٠٠٥ م

تحويل الغاز الطبيعي بواسطة ثاني أكسيد الكربون لإنتاج غاز التخليق

مقدمه من :-

رضوى عباس السلاموني
كيميائي بمعهد بحوث البترول

المشرفون :-

التوقيع

ا . د . صلاح عبد الغني أبو العينين

أستاذ الكيمياء الفيزيائيه و مواد البناء
بكلية العلوم – جامعة عين شمس .

ا . د . سهام علي التمتامي

أستاذ الهندسه الكيميائيه
قسم تطوير العمليات - معهد بحوث البترول .

ا . د . عقيله كامل المرسي

أستاذ الهندسه الكيميائيه - ورئيس قسم تطوير العمليات
معهد بحوث البترول .

رئيس قسم الكيمياء بكلية العلوم
جامعة عين شمس
ا . د . محمد أحمد القصبي

القاهره – ٢٠٠٥ م

جامعة عين شمس
كلية العلوم

شكر

اشكر الساده الأساتذه الذين أشرفوا على الرساله وهم :

١- ا . د . صلاح عبد الغني أبو العينين .

٢ - ا . د . سهام علي التمتامي .

٣ - ا . د . عقيله كامل المرسي .

و أشكر كل من تعاون معي في هذا البحث وهما : -

د . أشرف يحي النجار .

د . سلوى عبد الواحد غنيم .

و كذلك الهيئات الآتيه : -

١- جامعة عين شمس .

٢- معهد بحوث البترول .

جامعة عين شمس
كلية العلوم

اسم الطالبه :- رضوى عباس مصطفى السيد السلاموني

الدرجه العلميه :- ماجيستير الفلسفه في العلوم " كيمياء "

القسم :- الكيمياء .

الكلية :- العلوم .

الجامعة :- عين شمس .

سنة التخرج :- ١٩٩٨م .

سنة المنح :- ٢٠٠٥م .

جامعة عين شمس
كلية العلوم

رسالة ماجيستير

اسم الطالبه :- رضوى عباس مصطفى السيد السلاموني .

عنوان الرساله :- تحويل الغاز الطبيعي بواسطة ثاني أكسيد الكربون لإنتاج غاز التخليق .

اسم الدرجه :- ماجيستير الفلسفه في العلوم " *كيمياء* " .

لجنة الإشراف :-

١- ا . د . صلاح عبد الغني أبو العينين
أستاذ الكيمياء الفيزيائيه و مواد البناء
بكلية العلوم – جامعة عين شمس .

٢ - ا . د . سهام علي التمتامي
أستاذ الهندسه الكيميائيه قسم تطوير العمليات
معهد بحوث البترول .

٣ - ا . د . عقيله كامل المرسي
أستاذ الهندسه الكيميائيه - ورئيس قسم تطوير العمليات
معهد بحوث البترول .

لجنة التحكيم

الدراسات العليا

أجيزت الرساله بتاريخ
/ / ٢٠٠٥ م

موافقة مجلس الكلية
/ / ٢٠٠٥ م

موافقة مجلس الجامعة
/ / ٢٠٠٥ م

ختم الإجازه

الملخص العربي

يلعب الغاز الطبيعي دورا مهما و حيويا في حياة الانسان ، اذ أنه من أهم المصادر الطبيعيه النظيفه للحصول على الوقود و هناك العديد من الأبحاث التي تتم لتحويل الغاز الطبيعي الى غاز التخليق (هيدروجين + أول أكسيد الكربون) و الذي بدوره يشكل المصدر الرئيسي لصناعة العديد من المركبات الكيميائيه مثل الميثانول و ثناني ميثيل الايثر الذي يعتبر وقود القرن الحادي و العشرين باستخدام الحفازات ، كما أنه مصدر مهم لتفاعل Fisher – Tropsch الذي يحول الغاز الطبيعي الى وقود سائل و المعروف ب (GTL) أيضا يعتبر غاز التخليق المصدر الأساسي لكثير من العمليات الكيميائيه كالهدرجه و الأختزال و غيرها .

اتجهت الأنظار في نهاية القرن الماضي لتحضير غاز التخليق من الغاز الطبيعي باستخدام غاز ثاني أكسيد الكربون كعامل مؤكسد و ذلك لما له من أضرار على البيئه فهو أحد العناصر الضاره المساهمه بشده في حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري .

كذلك يعتبر ارتفاع المحتوى الحراري المرتبط بهذا التفاعل و تفاعله العكسي مصدرا مهما لتخزين الطاقه (للطاقه المتجدده) .

و كما هو معروف فقد تم اكتشاف كميات كبيره من الغاز الطبيعي في مصر خلال السنوات الأخيره مما يجدر بنا محاولة الاستفاده من هذا الكنز الذي أنعم الله به على هذه البلاد .

و لقد اعتمدنا في هذا البحث على دراسة الغاز الطبيعي ا لمصري لانتاج غاز التخليق و ليس فقط الميثان و الذي يمثل المكون الرئيسي للغاز الطبيعي .

و قد استخدم المفاعل ذو المهد الثابت (Fixed Bed) والمكون من أنبوب زجاجي قطره ١٣ مم و طوله١٢ سم حيث تدفع الغازات المغذيه (ثاني أكسيد الكربون ، الغاز الطبيعي ، النيتروجين) بنسبة ١ : ١ : ٤ في وجود ٢ جم من الحفاز تحت الاختبار.

و قد تم تحضير ثلاثة أنواع من الحفازات المحتويه على نسبة ٠،٥ % من معادن الروديوم ، الروثينيوم ، و الايريديوم المحمله على الجاما ألومينا

$$Rh / \gamma\text{-}Al_2O_3 \ , \ Ru / \gamma\text{-}Al_2O_3 \ , \ Ir / \gamma\text{-}Al_2O_3$$

و قد تم د راسة تأثير درجة الحراره عند ثلاث مستويات هي ٦٠٠، ٧٠٠، ٨٠٠ م لسرعه الفراغيه عند أربع قيم هي ١٨٠٠٠، ٣٦٠٠٠ ، ٤٥٠٠٠، ٦٠٠٠٠ سم^3 جم$^{-1}$ س$^{-1}$ لتحديد الظروف المثلى للتشغيل .

و أخيرا ، تمت دراسة كيناتيكية التفاعل و تحديد الطاقه المنشطه باستخدام معادلة Arrhenius .

بصفه عامه فان نشاط هذا التفاعل يزيد مع زيادة درجة الحراره حيث أنه تفاعل ماص للحراره ، و كذلك يزيد نشاطه مع نقصان السرعه الفراغيه (يعني زيادة وقت بقاء المتفاعلات على الحافز أو وقت التقاء المتفاعلات) .

كذلك وجد أن درجة الانتقائيه (selectivity) تجاه مكونات غاز التخليق CO/H_2 تزيد مع زيادة درجة الحراره و نقصان السرعه الفراغيه ، و كانت دائما نسبة الهيدروجين / أول أكسيد الكربون أقل من ١ و ذلك يفسر حدوث العديد من التفاعلات الجانبيه أهمها تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء و الذي ينتج عنه مزيد من أول أكسيد الكربون (RWGS)

$$H_2 + CO_2 = CO + H_2O$$

و قد تم تحديد الظروف المثلى للحصول على أعلى نسبه للهيدروجين/ أول أكسيد الكربون ووجد أنه بالنسبه للحافز $Rh / \gamma\text{-}Al_2O_3$ فان أحسن ظروف هي درجة حراره ٧٠٠ °م و ٣٦٠٠٠ سم^3 جم$^{-1}$ س$^{-1}$ و بالنسبه للحافز $Ru / \gamma\text{-}Al_2O_3$ فان أحسن ظروف هي درجة حراره ٨٠٠ °م و ١٨٠٠٠ سم^3 جم$^{-1}$ س$^{-1}$ أما بالنسبه

للحافز $Ir / \gamma\text{-}Al_2O_3$ فان أحسن ظروف هي درجة حراره ٧٠٠ °م و ٣٦٠٠٠ سم^{٣} جم$^{-١}$ س$^{-١}$.

كذلك وجد أن جميع الحافزات تتبع سلوك تفاعل الدرجه الأولى 1st order reaction بالنسبه لكل من الميثان و ثاني أكسيد الكربون عند كل درجات الحراره المختبره ، و تم ايجاد العلاقه بين ثابت التفاعل k` و درجة الحراره باستخدام علاقة Arrhenius و كان متوسط الطاقه المنشطه للتفاعل بالنسبه الى ثاني أكسيد الكربون ٤٦٢٥٠جول / مول و بالنسبه للميثان كانت ٣١٥٣٠جول / مول .

في النهايه لوحظ أن الحافز $Rh / \gamma\text{-}Al_2O_3$ أظهر أفضل النتائج بالمقارنه بالحافزين الآخرين المستخدمين .

و كانت الظروف المثلى لاستخدامه هي ١٨٠٠٠ سم^{٣} جم$^{-١}$ س$^{-١}$ بالنسبه للسرعه الفراغيه و ٨٠٠ °م بالنسبه لدرجة الحراره و أعلى نسبه للهيدروجين/ أول أكسيد الكربون كانت عند ٣٦٠٠٠ سم^{٣} جم$^{-١}$ س$^{-١}$ و٧٠٠ °م .