

เอกสารอ้างอิง

1. Rostrup-Nielsen, J.R. in Catalytic Steam Reforming. pp. 1-106, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
2. Rostrup-Nielsen, J.R. in Steam Reforming Catalysis. pp. 1-126, Danish Technical Press, Copenhagen 1975.
3. Noyes, R. in Ammonia and Synthesis Gas. pp. 29-34, Noyes, New Jersey, 1967.
4. Vanhook, J.P. "Methane-Steam Reforming" Cat Res-Sci Eng. 2(1), (1980): pp. 1-51.
5. Wolfe. in Catalyst Handbook. pp. 64-96, Wolfe Scientific Books, London, 1970.
- ✓6. Satterfield, C.N. in Heterogeneous Catalysis in Practice. pp. 55-56, 68-98, 136-141 McGraw Hill, New York, 1980.
7. Dwyer, J.B. et al. "Reforming for Gaseous Hydrocarbons". U.S. Pat 3132010, May 5, 1964 .
8. Kobe, K.A. et al. in Advances in Petroleum Chemistry and Refining. Vol.9, pp. 287-297, Interscience, New York, 1964.
9. Kemball, C. et al. in Catalysis. Vol. 3 , pp.39-69, The Chemical Society, Burlington house, London, 1980.
10. White, G.A. et al. "Predict Carbon Formation" Hydrocarbon Processing, 54(7), 1975 : pp. 130-136.
11. Alkers, W.W. and Camp, D.P. " Kinetics of the Methane-Steam Reaction " A.I.Ch.E. Journal, 1(4), (1955) : pp 471-475
12. Bodrov, I.M., Apel'baum, L.O. and Temkin, M.I." Kinetics of the Reaction of Methane with Water Vapour Catalyzed by Nickel on a Porous Carrier." Kinetic Catalysis, 9(5), (1968) : pp. 696-702.

13. Bodrov, I.M., Apel'baum, L.O. and Temkin, M.I. "Kinetics for the Reaction of Methane with Steam on the Surface of Nickel at 400-600°C" Kinetic Catalysis, 9(5), (1968) : pp. 877-881.
14. Allen, D.W., Gerhard, E.R. and Likins, M.P. "Kinetics of the Methane-Steam Reaction" Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 14(3), (1975) : pp. 256-259
15. Mark, H.F. et al. in Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 4, pp. 534-540, John Wiley & Sons, New York, 1978.
16. Likin, M.R. "Kinetics of Methane Reforming". Ph.D. Dissertation, Department of Chemical Engineering, University of Louisville, Kentucky, 1970.
17. Hougen, D.A., and Watson, K.M. "Solid Catalysts and Reaction Rate" Ind. Eng. Chem., 35(5), (1943) : pp. 529-541
18. Smith, J.M. in Chemical Engineering Kinetics, 3rd ed., pp. 298-320, 390-408, McGraw-Hill, Tokyo, 1981.
19. Levenspiel, O. in Chemical Reaction Engineering, 2nd ed., pp. 460-469, John Wiley & Son, New York, 1972.
20. Brunauer, S.B., Emmett, P.H. and Teller, E. "Adsorption of Gases in Multimolecular Layers." J. American Chem. Soc., 60(2), (1938) : pp. 309-319.
21. Yang, K.H. and Hougen, O.A. "Determination of Mechanism of Catalyzed Gaseous Reactions" Chemical Engineering Process, 46(3), (1950) : pp. 146-157.
- ✓22. Emmett, P.H. in Catalysis Vol. 1 pp. 315-346 Reinhold Publishing Corporation, New York, 1954.
- ✓23. Folkins, H.O. and Miller, E. "Preparation and Properties of Catalysts". Industrial and Engineering Chemistry, 49(2), (1957).

24. Higginson, G.W. "Making Catalyst-An Overview" Chemical Engineering, 81 (September 30), (1974) : pp. 98-104.
25. Stillwell, W.D. "Preformed Catalysts : The Techniques of Tableted Catalyst Production" Industrial and Engineering Chemistry, 49(2), (1957) : pp. 245-249.
26. Maatman, R.W. and Prater, C.D. "Adsorption and Exclusion in Impregnation of Porous Catalytic Supports" Industrial and Engineering Chemistry, 49(2), (1957) : pp. 253-257.
27. Peterson, R.J. in Hydrogenation Catalyst pp. 294-295, Noyes Data Corporation, New Jersey, 1977.
28. Trim, D.L. in Design of Industrial Catalyst pp. 91-95, 155, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980.
29. Somorjai, G.A. and Davis, S.M. "The Surface Science of Heterogeneous Catalysis" Chem. Tech, 13(81), (1983) : pp. 502-511.
30. Barrow, G.M. in Physical Chemistry. 3rd ed. pp. 370-371, McGraw-Hill, Tokyo. 1973.
31. Hawk, C.O. et al "Conversion of Methane to Carbon Monoxide and Hydrogen" Industrial and Engineering Chemistry, 24(1), (1934) : pp. 23-27.
32. Kern, S.Q. in Process Heat Transfer pp. 816-817, McGraw-Hill, Tokyo, Japan.
33. Kikuchi, E. et al "Steam Reforming of Hydrocarbon on Noble Metal Catalysts" Bulletin of The Japan Petroleum Institute, 16(2), (1974) : pp. 95-98.
34. Sherwood, T.K. in A Course in Process Design pp. 227-233, The M.I.T. Press, Massachusetts, 1963.
35. Norton, Catalyst Carriers Technical Information, Ohio, U.S.A.

36. United Catalysts Inc, Technical Information, Louisville, Kentucky, U.S.A.
37. Arnold, M.R. et al "Nickel Catalysts for Hydrocarbon-Steam Reforming Reaction" Industrial and Engineering Chemistry, 44(5), (1952) : pp. 999-1003.
38. Walpole, R.E. and Myers, R.H. in Probability and Statistics for Engineers and Scientists. 2nd ed., pp. 296-298, 314-334, Macmillan Publishing, New York, 1978.
39. Mears, D.E. "Test for Transport Limitations in Experimental Catalytic Reactors" Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop, 10(4), (1971): pp. 541-547.
40. Satterfield, C.N. in Mass Transfer in Heterogeneous Catalyst, pp. 78-92, M.I.T. Press. Cambridge, 1970.
41. Reid, R.C. et al. in The Properties of Gases and Liquids, pp. 391-434, McGraw-Hill, New York, 1977.
42. Sherwood, T.K. et al in Mass Transfer, pp. 16-18, McGraw-Hill, Tokyo, 1975.
43. Howgen, O.A. et al in Chemical Process Principles, pp. 238-292, John Wiley & Sons, New York, 1943.
44. Perry, R.H. et al in Chemical Engineering's Handbook, 5th ed., pp. 3-241-3-246, McGraw-Hill, Tokyo, 1973.

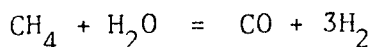
ตารางที่ ผ.ก.1 ตารางที่รื้ออคิดิกของธาตุ

Period	Group Ia	Group IIa	Group IIIa	Group IVa	Group Va	Group VIa	Group VIIa	Group VIII	Group Ib	Group IIb	Group IIIb	Group IVb	Group Vb	Group VIb	Group VIIb	Group O		
1 1s	1 H													1 H	2 He			
2 2s2p	3 Li	4 Be									5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
3 3s3p	11 Na	12 Mg									13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
4 4s3d 4p	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5 5s4d 5p	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6 6s (4f) 5d 6p	55 Cs	56 Ba	57* La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7 7s (5f) 6d	87 Fr	88 Ra	89** Ac															

*Lanthanide series 4f	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
**Actinide series 5f	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

ตารางที่ ผ.ก.2

ปฏิกิริยามีเอนสตีร์ฟอร์มมิง



ตารางที่ ผ.ก.2.ก

Temperature (°C)	$K = \frac{P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2}^3}{P_{\text{CH}_4} P_{\text{H}_2\text{O}}}$	Increment/ °C	Temperature (°C)	$K = \frac{P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2}^3}{P_{\text{CH}_4} P_{\text{H}_2\text{O}}}$	Increment/ °C
200	4.614×10^{-12}		760	6.149×10^1	0.166×10^1
250	8.397×10^{-10}		765	6.981×10^1	0.187×10^1
300	6.378×10^{-8}		770	7.917×10^1	0.210×10^1
350	2.483×10^{-6}		775	8.968×10^1	0.024×10^2
400	5.732×10^{-5}		780	1.015×10^2	0.026×10^2
450	8.714×10^{-4}		785	1.147×10^2	0.030×10^2
500	9.442×10^{-3}		790	1.294×10^2	0.033×10^2
550	7.741×10^{-2}		795	1.459×10^2	0.037×10^2
600	5.029×10^{-1}		800	1.644×10^2	0.041×10^2
605	5.996×10^{-1}	0.193×10^{-1}	805	1.849×10^2	0.046×10^2
610	7.135×10^{-1}	0.228×10^{-1}	810	2.079×10^2	0.051×10^2
615	8.474×10^{-1}	0.268×10^{-1}	815	2.334×10^2	0.057×10^2
620	1.005	0.031	820	2.617×10^2	0.063×10^2
625	1.189	0.037	825	2.933×10^2	0.070×10^2
630	1.404	0.043	830	3.282×10^2	0.078×10^2
635	1.656	0.050	835	3.670×10^2	0.078×10^2
640	1.949	0.059	840	4.100×10^2	0.086×10^2
645	2.290	0.068	845	4.576×10^2	0.095×10^2
650	2.686	0.079	850	5.101×10^2	0.105×10^2
655	3.145	0.092	855	5.682×10^2	0.116×10^2
660	3.677	0.106	860	6.323×10^2	0.128×10^2
665	4.293	0.123	865	7.030×10^2	0.141×10^2
670	5.003	0.142	870	7.809×10^2	0.156×10^2
675	5.821	0.164	875	8.666×10^2	0.171×10^2
680	6.763	0.188	880	9.609×10^2	0.189×10^2
685	7.845	0.216	885	1.064×10^3	0.021×10^3
690	9.087	0.248	890	1.178×10^3	0.023×10^3
695	1.051×10^1	0.028×10^1	895	1.303×10^3	0.025×10^3
700	1.214×10^1	0.033×10^1	900	1.440×10^3	0.027×10^3
705	1.400×10^1	0.037×10^1	905	1.589×10^3	0.030×10^3
710	1.612×10^1	0.042×10^1	910	1.753×10^3	0.033×10^3
715	1.854×10^1	0.048×10^1	915	1.933×10^3	0.036×10^3
720	2.129×10^1	0.055×10^1	920	2.128×10^3	0.039×10^3
725	2.442×10^1	0.063×10^1	925	2.342×10^3	0.043×10^3
730	2.797×10^1	0.071×10^1	930	2.575×10^3	0.047×10^3
735	3.200×10^1	0.081×10^1	935	2.830×10^3	0.051×10^3
740	3.656×10^1	0.091×10^1	940	3.107×10^3	0.055×10^3
745	4.171×10^1	0.103×10^1	945	3.408×10^3	0.060×10^3
750	4.753×10^1	0.116×10^1	950	3.736×10^3	0.066×10^3
755	5.409×10^1	0.131×10^1	955	4.092×10^3	0.071×10^3
		0.148×10^1			0.077×10^3

Temperature (°C)	$K = \frac{P_{CO} P_{H_2}^3}{P_{CH_4} P_{H_2O}}$	Increment/°C
960	4.480×10^3	0.084×10^3
965	4.900×10^3	0.091×10^3
970	5.356×10^3	0.099×10^3
975	5.850×10^3	0.107×10^3

Temperature (°C)	$K = \frac{P_{CO} P_{H_2}^3}{P_{CH_4} P_{H_2O}}$	Increment/°C
980	6.385×10^3	0.116×10^3
985	6.964×10^3	0.125×10^3
990	7.590×10^3	0.135×10^3
995	8.268×10^3	0.146×10^3

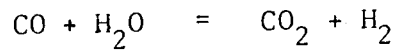
ตารางที่ ผ.ก.๒.ข

Temperature (°F)	$K = \frac{P_{CO} P_{H_2}^3}{P_{CH_4} P_{H_2O}}$	Increment/°F
400	7.640×10^{-12}	
500	2.124×10^{-9}	
600	2.123×10^{-7}	
700	9.891×10^{-6}	
800	2.563×10^{-4}	
900	4.189×10^{-3}	
1000	4.736×10^{-2}	
1100	3.966×10^{-1}	
1110	4.835×10^{-1}	0.087×10^{-1}
1120	5.880×10^{-1}	0.105×10^{-1}
1130	7.134×10^{-1}	0.125×10^{-1}
1140	8.635×10^{-1}	0.150×10^{-1}
1150	1.043	0.018
1160	1.257	0.021
1170	1.511	0.025
1180	1.813	0.030
1190	2.170	0.036
1200	2.592	0.042
1210	3.091	0.050
1220	3.677	0.059
1230	4.366	0.069
1240	5.174	0.081
1250	6.120	0.095
1260	7.225	0.110
1270	8.513	0.129
1280	1.001×10^1	0.015×10^1
1290	1.176×10^1	0.017×10^1
1300	1.378×10^1	0.020×10^1
1310	1.612×10^1	0.023×10^1
1320	1.883×10^1	0.027×10^1
1330	2.195×10^1	0.031×10^1
1340	2.555×10^1	0.036×10^1
1350	2.970×10^1	0.041×10^1
1360	3.446×10^1	0.048×10^1
1370	3.992×10^1	0.055×10^1
1380	4.617×10^1	0.063×10^1
1390	5.332×10^1	0.072×10^1
1400	6.148×10^1	0.082×10^1
1410	7.079×10^1	0.093×10^1
		0.106×10^1

Temperature (°F)	$K = \frac{P_{CO} P_{H_2}^3}{P_{CH_4} P_{H_2O}}$	Increment/°F
1420	8.139×10^1	0.121×10^1
1430	9.344×10^1	0.014×10^2
1440	1.071×10^2	0.016×10^2
1450	1.226×10^2	0.018×10^2
1460	1.402×10^2	0.020×10^2
1470	1.601×10^2	0.022×10^2
1480	1.825×10^2	0.025×10^2
1490	2.078×10^2	0.029×10^2
1500	2.363×10^2	0.032×10^2
1510	2.684×10^2	0.036×10^2
1520	3.045×10^2	0.040×10^2
1530	3.450×10^2	0.045×10^2
1540	3.903×10^2	0.051×10^2
1550	4.411×10^2	0.057×10^2
1560	4.979×10^2	0.063×10^2
1570	5.614×10^2	0.071×10^2
1580	6.323×10^2	0.079×10^2
1590	7.112×10^2	0.088×10^2
1600	7.992×10^2	0.098×10^2
1610	8.970×10^2	0.011×10^3
1620	1.006×10^3	0.012×10^3
1630	1.126×10^3	0.013×10^3
1640	1.260×10^3	0.015×10^3
1650	1.408×10^3	0.016×10^3
1660	1.572×10^3	0.018×10^3
1670	1.753×10^3	0.020×10^3
1680	1.953×10^3	0.022×10^3
1690	2.174×10^3	0.024×10^3
1700	2.418×10^3	0.027×10^3
1710	2.686×10^3	0.029×10^3
1720	2.980×10^3	0.032×10^3
1730	3.305×10^3	0.036×10^3
1740	3.661×10^3	0.039×10^3
1750	4.051×10^3	0.043×10^3
1760	4.479×10^3	0.047×10^3
1770	4.948×10^3	0.051×10^3
1780	5.462×10^3	0.056×10^3
1790	6.023×10^3	0.061×10^3

ตารางที่ ผ.ก.3

ปฏิกิริยาอเวอร็อก๊าซซีฟ



ตารางที่ ผ.ก.3.ก

Temperature (°C)	$K = \frac{P_{\text{CO}_2} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2\text{O}}}$	Increment/°C	Temperature (°C)	$K = \frac{P_{\text{CO}_2} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2\text{O}}}$	Increment/°C
200	2.279×10^2	-0.046×10^2	400	1.170×10^1	-0.012×10^1
205	2.049×10^2	-0.041×10^2	405	1.113×10^1	-0.011×10^1
210	1.846×10^2	-0.036×10^2	410	1.059×10^1	-0.010×10^1
215	1.667×10^2	-0.032×10^2	415	1.008×10^1	-0.095
220	1.509×10^2	-0.028×10^2	420	9.610	-0.089
225	1.369×10^2	-0.025×10^2	425	9.165	-0.083
230	1.244×10^2	-0.022×10^2	430	8.748	-0.078
235	1.133×10^2	-0.020×10^2	435	8.356	-0.074
240	1.034×10^2	-0.178×10^1	440	7.986	-0.070
245	9.447×10^1	-0.159×10^1	445	7.639	-0.066
250	8.651×10^1	-0.143×10^1	450	7.311	-0.062
255	7.936×10^1	-0.129×10^1	455	7.002	-0.058
260	7.293×10^1	-0.116×10^1	460	6.710	-0.055
265	6.712×10^1	-0.105×10^1	465	6.435	-0.052
270	6.189×10^1	-0.095×10^1	470	6.174	-0.049
275	5.714×10^1	-0.086×10^1	475	5.928	-0.047
280	5.285×10^1	-0.078×10^1	480	5.695	-0.044
285	4.894×10^1	-0.071×10^1	485	5.474	-0.042
290	4.540×10^1	-0.065×10^1	490	5.265	-0.040
295	4.217×10^1	-0.059×10^1	495	5.067	-0.038
300	3.922×10^1	-0.054×10^1	500	4.878	-0.036
305	3.652×10^1	-0.049×10^1	505	4.700	-0.034
310	3.406×10^1	-0.045×10^1	510	4.530	-0.032
315	3.180×10^1	-0.041×10^1	515	4.368	-0.031
320	2.973×10^1	-0.038×10^1	520	4.215	-0.029
325	2.783×10^1	-0.035×10^1	525	4.069	-0.028
330	2.608×10^1	-0.032×10^1	530	3.929	-0.027
335	2.447×10^1	-0.030×10^1	535	3.797	-0.025
340	2.298×10^1	-0.027×10^1	540	3.670	-0.024
345	2.161×10^1	-0.025×10^1	545	3.550	-0.023
350	2.034×10^1	-0.024×10^1	550	3.434	-0.022
355	1.916×10^1	-0.022×10^1	555	3.325	-0.021
360	1.807×10^1	-0.020×10^1	560	3.220	-0.020
365	1.706×10^1	-0.019×10^1	565	3.119	-0.019
370	1.612×10^1	-0.017×10^1	570	3.023	-0.018
375	1.525×10^1	-0.016×10^1	575	2.931	-0.018
380	1.444×10^1	-0.015×10^1	580	2.843	-0.017
385	1.368×10^1	-0.014×10^1	585	2.759	-0.016
390	1.298×10^1	-0.013×10^1	590	2.679	-0.015
395	1.232×10^1	-0.012×10^1	595	2.601	-0.015

Temperature (°C)	$K = \frac{P_{CO_2} P_{H_2}}{P_{CO} P_{H_2O}}$	Increment/°C
600	2.527	
605	2.456	-0.014
610	2.388	-0.014
615	2.322	-0.013
620	2.259	-0.013
625	2.199	-0.012
630	2.141	-0.012
635	2.085	-0.011
640	2.031	-0.011
645	1.979	-0.010
650	1.923	-0.010
655	1.881	-0.010
660	1.835	-0.009
665	1.790	-0.009
670	1.747	-0.009
675	1.706	-0.008
680	1.666	-0.008
685	1.627	-0.008
690	1.590	-0.007
695	1.554	-0.007
700	1.519	-0.007
705	1.485	-0.007
710	1.453	-0.007
715	1.421	-0.006
720	1.391	-0.006
725	1.361	-0.006
730	1.333	-0.006
735	1.305	-0.006
740	1.279	-0.005
745	1.253	-0.005
750	1.228	-0.005
755	1.203	-0.005
760	1.180	-0.005
765	1.157	-0.005
770	1.135	-0.004
775	1.113	-0.004
780	1.092	-0.004
785	1.072	-0.004
790	1.053	-0.004
795	1.033	-0.004

Temperature (°C)	$K = \frac{P_{CO_2} P_{H_2}}{P_{CO} P_{H_2O}}$	Increment/°C
800	1.015	
805	9.968×10^{-1}	-0.036×10^{-1}
810	9.793×10^{-1}	-0.035×10^{-1}
815	9.622×10^{-1}	-0.034×10^{-1}
820	9.457×10^{-1}	-0.033×10^{-1}
825	9.295×10^{-1}	-0.032×10^{-1}
830	9.139×10^{-1}	-0.031×10^{-1}
835	8.986×10^{-1}	-0.031×10^{-1}
840	8.837×10^{-1}	-0.030×10^{-1}
845	8.693×10^{-1}	-0.029×10^{-1}
850	8.552×10^{-1}	-0.028×10^{-1}
855	8.415×10^{-1}	-0.027×10^{-1}
860	8.282×10^{-1}	-0.027×10^{-1}
865	8.152×10^{-1}	-0.026×10^{-1}
870	8.025×10^{-1}	-0.025×10^{-1}
875	7.901×10^{-1}	-0.025×10^{-1}
880	7.781×10^{-1}	-0.024×10^{-1}
885	7.664×10^{-1}	-0.023×10^{-1}
890	7.549×10^{-1}	-0.023×10^{-1}
895	7.437×10^{-1}	-0.022×10^{-1}
900	7.328×10^{-1}	-0.022×10^{-1}
905	7.222×10^{-1}	-0.021×10^{-1}
910	7.118×10^{-1}	-0.021×10^{-1}
915	7.017×10^{-1}	-0.020×10^{-1}
920	6.918×10^{-1}	-0.020×10^{-1}
925	6.822×10^{-1}	-0.019×10^{-1}
930	6.728×10^{-1}	-0.019×10^{-1}
935	6.636×10^{-1}	-0.018×10^{-1}
940	6.546×10^{-1}	-0.018×10^{-1}
945	6.458×10^{-1}	-0.018×10^{-1}
950	6.372×10^{-1}	-0.017×10^{-1}
955	6.288×10^{-1}	-0.017×10^{-1}
960	6.206×10^{-1}	-0.016×10^{-1}
965	6.126×10^{-1}	-0.016×10^{-1}
970	6.047×10^{-1}	-0.016×10^{-1}
975	5.971×10^{-1}	-0.015×10^{-1}
980	5.896×10^{-1}	-0.015×10^{-1}
985	5.822×10^{-1}	-0.015×10^{-1}
990	5.750×10^{-1}	-0.014×10^{-1}
995	5.680×10^{-1}	-0.014×10^{-1}

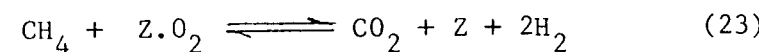
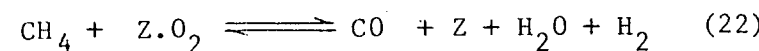
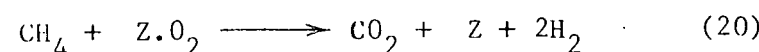
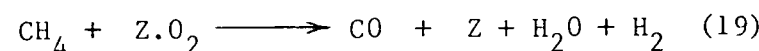
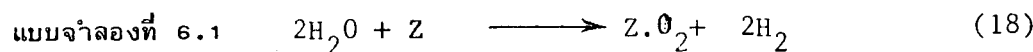
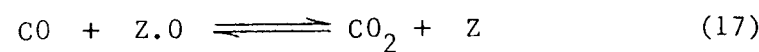
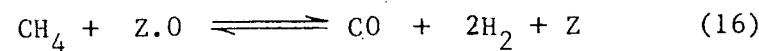
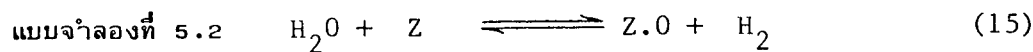
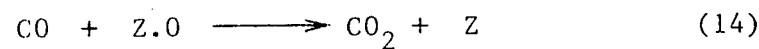
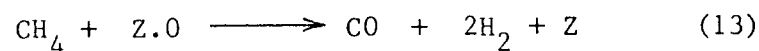
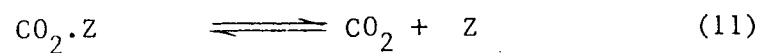
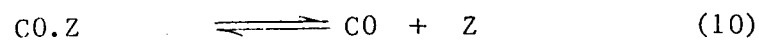
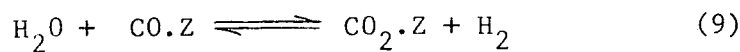
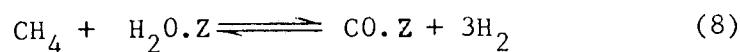
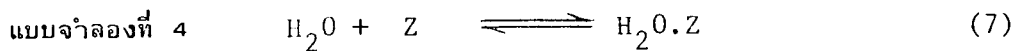
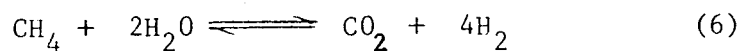
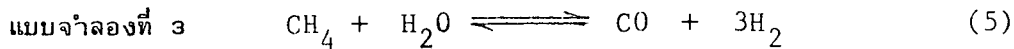
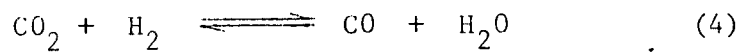
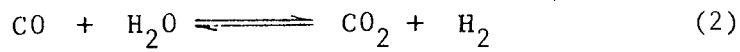
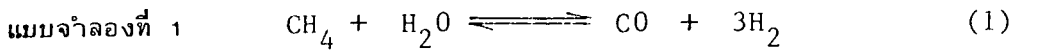
ตารางที่ ผ.ก.๓.๗

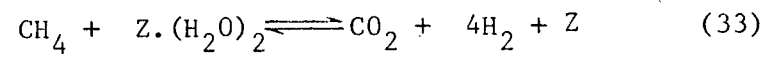
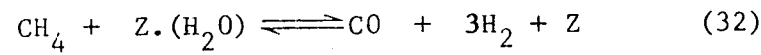
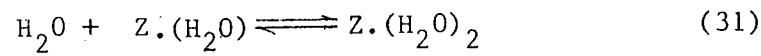
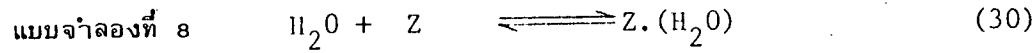
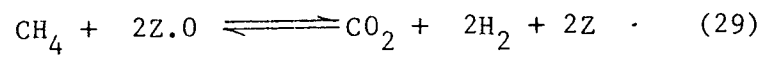
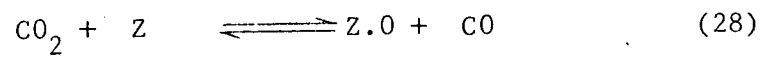
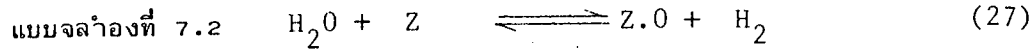
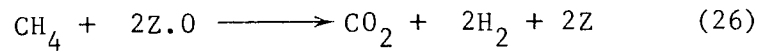
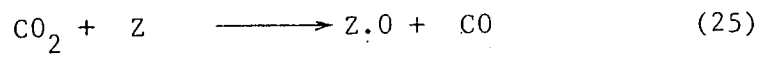
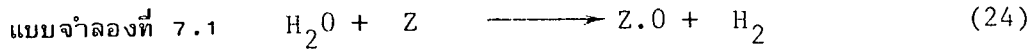
Temperature (°F)	K = $\frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}}$	Increment/°F	Temperature (°F)	K = $\frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}}$	Increment/°F
400	2.073×10^2	-0.023×10^2	890	5.849	-0.025
410	1.846×10^2	-0.020×10^2	900	5.596	-0.024
420	1.649×10^2	-0.017×10^2	910	5.357	-0.023
430	1.477×10^2	-0.015×10^2	920	5.132	-0.021
440	1.326×10^2	-0.013×10^2	930	4.919	-0.020
450	1.193×10^2	-0.012×10^2	940	4.719	-0.019
460	1.076×10^2	-0.103×10^1	950	4.530	-0.018
470	9.733×10^1	-0.091×10^1	960	4.351	-0.017
480	8.821×10^1	-0.081×10^1	970	4.182	-0.016
490	8.012×10^1	-0.072×10^1	980	4.021	-0.015
500	7.293×10^1	-0.064×10^1	990	3.870	-0.014
510	6.652×10^1	-0.057×10^1	1000	3.726	-0.014
520	6.079×10^1	-0.051×10^1	1010	3.589	-0.013
530	5.567×10^1	-0.046×10^1	1020	3.460	-0.012
540	5.107×10^1	-0.041×10^1	1030	3.337	-0.012
550	4.694×10^1	-0.037×10^1	1040	3.220	-0.011
560	4.321×10^1	-0.034×10^1	1050	3.108	-0.011
570	3.985×10^1	-0.030×10^1	1060	3.003	-0.010
580	3.681×10^1	-0.028×10^1	1070	2.902	-0.010
590	3.406×10^1	-0.025×10^1	1080	2.806	-0.009
600	3.157×10^1	-0.023×10^1	1090	2.714	-0.009
610	2.930×10^1	-0.021×10^1	1100	2.627	-0.008
620	2.723×10^1	-0.019×10^1	1110	2.543	-0.008
630	2.535×10^1	-0.017×10^1	1120	2.464	-0.008
640	2.363×10^1	-0.016×10^1	1130	2.388	-0.007
650	2.205×10^1	-0.014×10^1	1140	2.315	-0.007
660	2.061×10^1	-0.013×10^1	1150	2.246	-0.007
670	1.929×10^1	-0.012×10^1	1160	2.179	-0.006
680	1.807×10^1	-0.011×10^1	1170	2.116	-0.006
690	1.696×10^1	-0.010×10^1	1180	2.055	-0.006
700	1.592×10^1	-0.010×10^1	1190	1.996	-0.006
710	1.497×10^1	-0.009×10^1	1200	1.940	-0.005
720	1.410×10^1	-0.008×10^1	1210	1.886	-0.005
730	1.328×10^1	-0.008×10^1	1220	1.835	-0.005
740	1.253×10^1	-0.007×10^1	1230	1.785	-0.005
750	1.184×10^1	-0.006×10^1	1240	1.738	-0.005
760	1.119×10^1	-0.006×10^1	1250	1.692	-0.004
770	1.059×10^1	-0.006×10^1	1260	1.648	-0.004
780	1.003×10^1	-0.052	1270	1.606	-0.004
790	9.509	-0.049	1280	1.566	-0.004
800	9.024	-0.045	1290	1.527	-0.004
810	8.571	-0.042	1300	1.489	-0.004
820	8.148	-0.040	1310	1.453	-0.003
830	7.752	-0.037	1320	1.418	-0.003
840	7.382	-0.035	1330	1.384	-0.003
850	7.036	-0.033	1340	1.352	-0.003
860	6.710	-0.031	1350	1.321	-0.003
870	6.405	-0.029	1360	1.290	-0.003
880	6.119	-0.027	1370	1.261	-0.003

Temperature (°F)	$K = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$	Increment/°F
1380	1.233	
1390	1.206	-0.003
1400	1.180	-0.003
1410	1.155	-0.003
1420	1.130	-0.002
1430	1.106	-0.002
1440	1.083	-0.002
1450	1.061	-0.002
1460	1.040	-0.002
1470	1.019	-0.002
1480	9.988×10^{-1}	-0.020×10^{-1}
1490	9.793×10^{-1}	-0.020×10^{-1}
1500	9.604×10^{-1}	-0.019×10^{-1}
1510	9.421×10^{-1}	-0.018×10^{-1}
1520	9.243×10^{-1}	-0.018×10^{-1}
1530	9.070×10^{-1}	-0.017×10^{-1}
1540	8.903×10^{-1}	-0.017×10^{-1}
1550	8.741×10^{-1}	-0.016×10^{-1}
1560	8.583×10^{-1}	-0.016×10^{-1}
1570	8.430×10^{-1}	-0.015×10^{-1}
1580	8.282×10^{-1}	-0.015×10^{-1}
		-0.014×10^{-1}

Temperature (°F)	$K = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}$	Increment/°F
1590	8.137×10^{-1}	
1600	7.997×10^{-1}	-0.014×10^{-1}
1610	7.861×10^{-1}	-0.014×10^{-1}
1620	7.728×10^{-1}	-0.013×10^{-1}
1630	7.600×10^{-1}	-0.013×10^{-1}
1640	7.474×10^{-1}	-0.013×10^{-1}
1650	7.353×10^{-1}	-0.012×10^{-1}
1660	7.234×10^{-1}	-0.012×10^{-1}
1670	7.119×10^{-1}	-0.012×10^{-1}
1680	7.006×10^{-1}	-0.011×10^{-1}
1690	6.897×10^{-1}	-0.011×10^{-1}
1700	6.790×10^{-1}	-0.011×10^{-1}
1710	6.687×10^{-1}	-0.010×10^{-1}
1720	6.585×10^{-1}	-0.010×10^{-1}
1730	6.487×10^{-1}	-0.010×10^{-1}
1740	6.391×10^{-1}	-0.010×10^{-1}
1750	6.297×10^{-1}	-0.009×10^{-1}
1760	6.206×10^{-1}	-0.009×10^{-1}
1770	6.117×10^{-1}	-0.009×10^{-1}
1780	6.030×10^{-1}	-0.009×10^{-1}
1790	5.946×10^{-1}	-0.008×10^{-1}
		-0.008×10^{-1}

ตารางที่ ผ.ก.4 แบบจำลองของปฏิกิริยามี เอนสตีร์ฟอรัมมิ่งที่อาจเป็นไปได้





ภาคผนวก ข

ผ.ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (38)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง มีความจำเป็นที่ต้องใช้ความรู้ทางสถิติมาเกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ผลของการวิเคราะห์สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลได้ การวิเคราะห์นั้นผลที่ได้มาเป็นตัวบอกว่า ตัวแปรต่างๆมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ถ้ามีจะสัมพันธ์กันในรูปใด การแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่นิยมกันสามารถแสดงได้ 2 วิธีได้แก่ การถดถอย(Regression) และสหสัมพันธ์(Correlation)

ผ.ข.1.1 การถดถอย(Regression)

เป็นการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตัวหนึ่ง สำหรับค่าต่างๆของตัวแปรอีกตัวหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดขึ้นโดยตัวที่ถูกกำหนดไว้เรียกว่า ตัวแปรอิสระ(Independent Variable) ส่วนตัวแปรที่ต้องการคาดคะเนหลังจากรู้ตัวแปรอิสระแล้วเรียกว่า ตัวแปรตาม(Dependent Variable) การถดถอยมี 2 ชนิดคือ

ผ.ข.1.1.1 การถดถอยอย่างง่าย(Simple Regression) คือตัวแปรอิสระ 1 ตัวและตัวแปรตาม 1 ตัว

ผ.ข.1.1.2 การถดถอยพหุคูณ(Multiple Regression) คือมีตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป และตัวแปรตาม 1 ตัว

ผ.ข.1.2 สหสัมพันธ์(Correlation)

เป็นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงร่วมของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยไม่มีตัวแปรตัวใดถูกกำหนดค่าไว้ล่วงหน้า สหสัมพันธ์มี 2 ชนิดคือ

ผ.ข.1.2.1 สหสัมพันธ์เชิงเดียว(Simple Correlation) โดยพิจารณาตัวแปรเพียง 2 ตัว

ผ.ข.1.2.2 สหสัมพันธ์พหุคูณ(Multiple Correlation) เป็นการพิจารณาตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป

ผ.ข. 1.3 การแยกสาเหตุของส่วนเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นทั้งหมด

เมื่อคำนวณค่าประมาณของ y คือ \hat{y} ทุกค่าโดยการแทนค่าของ x แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่แท้จริงคือ y ผลต่างที่เกิดขึ้นเรียกว่า ส่วนเบี่ยงเบนที่ไม่อาจอธิบายได้ทั้งหมด(Unexplained Deviation) และถ้านำค่าของ \hat{y} ทุกจำนวนไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ y คือ \bar{y} ดู ก็จะได้ส่วนเบี่ยงเบนที่เรียกว่า ส่วนเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้(Explained Deviation) ยอดรวมของส่วนเบี่ยงเบนทั้งสองก็คือ ส่วนเบี่ยงเบนของค่าที่แท้จริงคือ y จากค่าเฉลี่ย \bar{y} นั้นเอง

แต่เนื่องจากค่าของส่วนเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้และส่วนเบี่ยงเบนที่ไม่สามารถอธิบายได้แต่ละจำนวนอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบ ฉะนั้นการศึกษาส่วนเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นทั้งหมดอาจได้ผลคลาดเคลื่อนผิดจากความจริงไป จึงควรจัดเครื่องหมายลบให้หมดไปโดย วิธียกกำลังสอง

ในที่นี้จะเรียกส่วนเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้ว่าเป็น ส่วนเบี่ยงเบนเนื่องจากสมการเส้นถดถอย(due to regression) และเรียกส่วนเบี่ยงเบนที่ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเป็น ส่วนผิดพลาดจากสมการเส้นถดถอย(Error from regression) ซึ่งสรุปเป็นสูตรได้

$$SST = SSR + SSE \quad (\text{ผ.ข. 1.1})$$

โดยที่ SST = ผลรวมยกกำลังสองทั้งหมดของส่วนเบี่ยงเบน(Sum of Square Total)

SSR = ผลรวมยกกำลังสองของสมการเส้นถดถอย(Sum of Square Regression)

SSE = ผลรวมยกกำลังสองของความผิดพลาด(Sum of Square Error)

ผ.ข. 1.4 การประมาณค่าความแปรปรวน(Variance Estimates)

ค่าความแปรปรวนของ y สามารถคำนวณได้คือ

$$S_{y \cdot x}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-t} \quad (\text{ผ.ข. 1.2})$$

เมื่อ $S_{y \cdot x}^2$ = ค่าความแปรปรวน

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

t = จำนวนของตัวคงที่ในสมการเส้นถดถอย

และ $S_{y \cdot x}$ เรียกว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณ (Standard Error)

การหาค่าประมาณของความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณ สามารถเขียนในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้

ตารางที่ ผ.ข.1.1 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of variation	Sum of Squares (SS)	Degree of freedom	Mean Square (MS)
Regression	SSR	t-1	SSR/(t-1)
Error	SSE	n-t	SSE/(n-t) = $S_{y.x}^2$
Total	SST	n-1	

การหาค่า SSR, SSE และ SST สำหรับระบบมาตรฐานการถดถอยเชิงเส้น (linear regression equation) โดยที่

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + \dots + b_{t-1} x_{(t-1)i} \quad (\text{ผ.ข.1.3})$$

$i = 1, 2, \dots, n$

$$SST = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (\text{ผ.ข.1.4})$$

$$SSE = \sum_{j=0}^{t-1} b_j \sum_{i=1}^n x_{ji} y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (\text{ผ.ข.1.5})$$

และ $SSE = SST - SSR$

ผ.ข.1.5 ความเพียงพอของแบบจำลอง (Adequacy of the model)

เป็นที่ทราบแล้วว่า การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการถดถอยนั้น แบบจำลองที่ถูกเลือกขึ้นนั้น อาจจะไม่ใช่แบบจำลองที่ถูกต้อง แต่ก็ถือว่าเป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายได้เพียงพอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบแบบจำลองเพื่อให้มีความมั่นใจในแบบจำลองนั้น ที่นิยมใช้มี

ผ.ข.1.5.1 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจพหุคูณ (Coefficient of Multiple Determination), R^2

เป็นสหสัมพันธ์ที่ใช้อธิบายว่า ความแปรผันของค่า y สามารถอธิบายด้วยสมการการถดถอยได้ดีแค่ไหน โดยที่

$$R^2 = \frac{\text{ส่วนเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้}}{\text{ส่วนเบี่ยงเบนทั้งหมด}}$$

$$= \frac{SSR}{SST} \quad (\text{ผ.ข.1.6})$$

ถ้าส่วนเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้ = 0 นั่นคือ ส่วนเบี่ยงเบนทั้งหมดจะเท่ากับ ส่วนเบี่ยงเบนที่ไม่สามารถอธิบายได้ หรือ $R^2 = 0$

ถ้าส่วนเบี่ยงเบนที่ไม่สามารถอธิบายได้ = 0 นั่นคือ ส่วนเบี่ยงเบนทั้งหมดจะเท่ากับ ส่วนเบี่ยงเบนที่สามารถอธิบายได้ หรือ $R^2 = 1$

ดังนั้นค่า R^2 มีค่าจาก 0 ถึง 1 หรือเขียนได้ในรูปของ $0 \leq R^2 \leq 1$

กรณีที่ 2 ของ $R^2 = R_{y \cdot x}$ เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (Coefficient of Multiple Correlation) $R_{y \cdot x}$ เป็นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง y และ x มีค่าเป็นบวกเสมอ

ค่าของ R^2 หรือ $R_{y \cdot x}$ เข้าใกล้ 1 แสดงว่า แบบจำลองนั้นใช้ได้ดี

ผ.ข. 1.5.2 การทดสอบโดยใช้ค่าสถิติ F (F-test)

โดยกล่าวคือ

$$F = \frac{\frac{SSR}{t-1}}{\frac{SSE}{n-t}} \quad (\text{ผ.ข. 1.7})$$

โดยการตั้งสมมติฐานว่า x, y ไม่มีความสัมพันธ์กัน

จะปฏิเสธสมมติฐานเมื่อ $F > F_{\alpha}(t-1, n-t)$

ผ.ข. 2 การทดสอบบรรทัดฐานของการถ่ายเทมวลและความร้อนในเตาปฏิกรณ์เคมีที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเกี่ยวข้อง (Test for Criterias of Mass and Heat Transfer in Catalytic Reactors) (6,18,39,40,41,42,43,44)

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาวิธันท์ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยามาเกี่ยวข้องด้วยนั้น สิ่งแรกที่ต้องมองและคำนึงถึงเสมอก็คือ อิทธิพลของการถ่ายเทมวลหรือความร้อนที่มีต่อระบบ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้ผู้ทดลองเข้าใจผิดได้ ดังนั้นเพื่อไม่ให้มีการวิเคราะห์ข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ผิด จำเป็นต้องสนใจ ลักษณะการถ่ายเทของมวลและความร้อน ซึ่งลักษณะของการถ่ายเทมวลและความร้อนสามารถแบ่งเป็น 3 แบบใหญ่ๆ คือ

1. การถ่ายเทในอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา
2. การถ่ายเทระหว่างพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและของไหลที่อยู่ติดกัน
3. การถ่ายเทระหว่างของไหลที่อยู่ระหว่างอนุภาค

ถ้าไม่สามารถจัดการถ่ายเทมวลหรือความร้อนแบบใดแบบหนึ่ง **สมการจลนพลศาสตร์** ต้องมี เทอมของการถ่ายเทมวลหรือความร้อนแบบนี้มาเกี่ยวข้อง

ผ.ข. 2.1 มาตรฐานของการทดสอบการถ่ายเทภายในอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผ.ข.2.1.1 การถ่ายเทมวล

ระบบจะไม่มีผลของการถ่ายเทมวลภายในอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาก็คือเมื่อ

$$\frac{R_o r_p^2}{C_s D_e} < \frac{1}{|n|} \quad (\text{ผ.ข.2.1})$$

เมื่อ	R_o	อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ปรากฏต่อหน่วยปริมาตร
	r_p	รัศมีของอนุภาค
	C_s	ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผิวภายนอกของอนุภาค
	D_e	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล
	n	อันดับของปฏิกิริยา

การหาค่า R_o จากการทดลอง อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ตัวประกอบเวลา 1.0691

$$= 0.1470 \text{ กรัมโมล/กรัม-ชั่วโมง}$$

จากการวัด ความหนาแน่นเชิงก้อน (Bulk Density, d_B)

$$= 0.72 \text{ กรัม/ลบ.ซม.}$$

และ สัดส่วนของช่องว่าง (Porosity, ϵ)

$$= \frac{v_B - v_G}{v_B} \quad (\text{ผ.ข.2.2})$$

$$\text{สมมติให้ } \epsilon = 0.3$$

$$\text{ดังนั้น } 0.3 = \frac{\frac{M}{0.72} - \frac{M}{d_G}}{\frac{M}{0.72}}$$

เมื่อ v_B ปริมาตรเชิงก้อน (Bulk volume)

v_G ปริมาตรเชิงเม็ด (Grain volume)

M น้ำหนักของอนุภาค

d_G ความหนาแน่นเชิงเม็ด (Grain density)

$$\text{ได้ } d_G = 1.03 \text{ กรัมต่อลบ.ซม.}$$

$$R_o = 0.1470 \frac{\text{กรัมโมล}}{\text{กรัม.ชั่วโมง}} \times 1.03 \frac{\text{กรัม}}{\text{ลบ.ซม.}} \times \frac{1}{3600} \frac{\text{ชั่วโมง}}{\text{วินาที}}$$

$$= 4.21 \times 10^{-5} \text{ กรัมโมล/ลบ.ซม.วินาที}$$

การหาค่า r_p จากการทดลองใช้ตะแกรงร่อน 40 เมช และ 60 เมช

$$40 \text{ เมช} = 0.0420 \text{ ซม.}$$

$$60 \text{ เมช} = 0.0250 \text{ ซม.}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของ } d_p = 0.0335 \text{ ซม.}$$

$$\text{และ } r_p = 0.0168 \text{ ซม.}$$

การหาค่า C_s จาก $r_A = k_G a_m (P_{b,i} - P_{i,i})$ (ผ.ข.2.3)

เมื่อ $r_A =$ อัตราเร็วของปฏิกิริยา กรัมโมล/กรัม.วินาที

$$= 0.1470 \frac{\text{กรัมโมล}}{\text{กรัม.ชั่วโมง}} \times \frac{1}{3600} \frac{\text{ชั่วโมง}}{\text{วินาที}}$$

$$= 4.08 \times 10^{-5} \text{ กรัมโมล/กรัม.วินาที}$$

$a_m =$ ค่าพื้นที่ผิวภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลต่อหน่วยน้ำหนักของอนุภาค $\text{ซม}^2/\text{กรัม}$

$k_G =$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Mass Transfer Coefficient)

$P_{b,i} =$ ความดันย่อยเชิงก้อนของสาร i (Bulk Partial Pressure)

$P_{i,i} =$ ความดันย่อยที่ผิวของสาร i (Interfacial Partial Pressure) (16)

การหาค่า a_m

ปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด = $\frac{\text{มวลของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด}}{\text{ความหนาแน่นเชิงก้อน}}$

$$= \frac{1.0003}{1.03}$$

$$= 0.9712 \text{ ลบ.ซม.}$$

สมมติว่าอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นทรงกลม

ปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 ก้อน = $\frac{4}{3} \pi r_p^3$

$$= 1.9862 \times 10^{-5} \text{ ลบ.ซม.}$$

ได้จำนวนอนุภาคทั้งหมด = $\frac{0.9712}{1.9862 \times 10^{-5}}$

$$= 48897 \text{ ลูก}$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 ก้อน} &= 4\pi r_p^2 \\ &= 3.5467 \times 10^{-3} \text{ ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้พื้นที่ภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด} &= 48297 \times 3.5467 \times 10^{-3} \text{ ซม.}^2 \\ &= 173.42 \text{ ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_m &= \frac{173.42}{1.0003} \\ &= 173.37 \text{ ซม.}^2/\text{กรัม} \end{aligned}$$

การหาค่า k_G สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์ที่มีค่าต่ำ (40)

$$\epsilon j_d = \frac{0.357}{Re^{0.359}} \quad (\text{ผ.ข.2.4})$$

$$j_d = \frac{k_G \overline{PMN}_{sc}^{2/3}}{G} \quad (\text{ผ.ข.2.5})$$

$$Re = \frac{\rho u d_p}{\mu} = \frac{G d_p}{\mu}$$

$$N_{sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}}$$

- เมื่อ
- j_d = ตัวประกอบ j สำหรับการถ่ายเทมวล
 - Re = ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynold Number)
 - G = ความเร็วเชิงมวล (Mass Velocity)
= ρu กรัม/วินาที/ซม.²
 - u = ความเร็วของของไหล
 - N_{sc} = ตัวเลขชmidt (Schmidt Number)
 - D_{AB} = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เชิงก้อน (Bulk Diffusion Coefficient)

กำหนดให้ การคำนวณหาคุณสมบัติของก๊าซต่างๆ ใช้ของก๊าซขาเข้า

การหาค่า Re



$$\rho_{\text{mix}} = \bar{M}P/RT$$

$$\begin{aligned}\bar{M} &= \text{น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย} \\ &= 0.24 \times 16 + 0.76 \times 18 \\ &= 17.52\end{aligned}$$

$$P = 5 \quad \text{บรรยากาศ}$$

$$R = 82.05 \quad \text{ลบ.ชม.บรรยากาศ/}^{\circ}\text{ค., กรัมโมล}$$

$$T = 1033 \quad ^{\circ}\text{ค.}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{mix}} &= \frac{17.52 \times 5}{82.05 \times 1033} \\ &= 1.033 \times 10^{-3} \quad \text{กรัม/ลบ.ชม.}\end{aligned}$$

$$u = V/A$$

$$V = \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volumetric flowrate)}$$

$$= \frac{nRT}{P}$$

$$\begin{aligned}n &= \text{จำนวนโมลทั้งหมดของก๊าซขาเข้า} \\ &= 3.8951 \quad \text{กรัมโมล/ชั่วโมง}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V &= \frac{3.8951 \times 82.05 \times 1033}{3600 \times 5} \\ &= 18.34 \quad \text{ลบ.ชม./วินาที}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= \text{พื้นที่ภาคตัดขวางของเตาปฏิกรณ์เคมี} \\ &= 0.6334 \quad \text{ชม.}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u &= 18.34/0.6334 \\ &= 28.95 \quad \text{ชม./วินาที}\end{aligned}$$

$$\mu_{\text{mix}} \text{ ที่ความดันต่ำ} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n y_i \phi_{ij}} \quad (\text{ผ.ข.2.6})$$

$$\text{โดยที่ } \phi_{ij} = \frac{\left[1 + (\mu_i/\mu_j)^{1/2} (\bar{M}_j/\bar{M}_i)^{1/4}\right]^2}{\left[8(1 + \bar{M}_i/\bar{M}_j)\right]^{1/2}} \quad (\text{ผ.ข.2.7})$$

การหาค่า μ ของมีเทน เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นพวกโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar Molecule)

$$\mu_{\text{CH}_4} = \frac{26.69 \sqrt{\overline{MT}} \times 10^{-6}}{\sigma_{p,i}^2 \Omega_v} \quad \text{กรัม/ชม. วินาที} \quad (\text{ผ.ข.2.8})$$

$$\sigma_{p,i} = \text{พารามิเตอร์ศักยภาพของเลนนาร์ด-โจน} \\ (\text{Lennard-Jones Potential Parameter}) \text{ หน่วยอังสตรอม}$$

$$\Omega_v = \text{อินทิกรัลของการชน}$$

$$\text{สำหรับมีเทน } \sigma_{p,\text{CH}_4} = 3.758 \quad \text{อังสตรอม}$$

$$\Omega_v = \Omega_v \quad (\text{เลนนาร์ด-โจน})$$

$$= \frac{A}{T^*B} + \frac{C}{\exp DT^*} + \frac{E}{\exp FT^*}$$

$$T^* = \frac{k_B T}{\epsilon_{c,i}}$$

$$k_B = \text{ค่าคงที่ของโบลแมน (Boltzmann's Constant)}$$

$$\epsilon_{c,i} = \text{ค่าของลักษณะพลังงาน (Characteristic Energy)}$$

$$\frac{\epsilon_{c,\text{CH}_4}}{k_B} = 148.6 \quad \text{°ค}$$

$$T^* = \frac{1033}{148.6} = 6.95155$$

$$A = 1.16145$$

$$B = 0.14874$$

$$C = 0.52487$$

$$D = 0.77320$$

$$E = 2.16178$$

$$F = 2.43787$$

$$\Omega_v = \frac{1.16145}{(6.95155)^{0.14878}} + \frac{0.52487}{\exp(0.77320 \times 6.95155)}$$

$$+ \frac{2.16178}{\exp(2.43787 \times 6.95155)}$$

$$= 0.8729$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{CH}_4} &= \frac{26.69 \sqrt{16 \times 1033}}{(3.758)^2 (0.8729)} \times 10^{-6} \\ &= 2.7834 \times 10^{-4} \quad \text{กรัม/ชม.วินาที}\end{aligned}$$

การหาค่า μ ของน้ำ กรณีน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{26.69 \sqrt{MT} \times 10^{-6}}{\sigma_{p,i}^2 \Omega_V} \quad \text{กรัม/ชม.วินาที}$$

$$\sigma_{p,\text{H}_2\text{O}} = 2.52 \quad \text{อังสตรอม}$$

$$\frac{\epsilon_{c,\text{H}_2\text{O}}}{k_B} = 775 \quad \text{°ค}$$

$$\Omega_V = \Omega_V (\text{stockmayer, สตอกแมร์})$$

$$= \Omega_V (\text{เลนนาร์ด-โจน}) + 0.2 \frac{\delta^2}{T}$$

$$\delta = \text{พารามิเตอร์ไม่มีหน่วยของสตอกแมร์}$$

(Dimensionless Parameter of Stockmayer)

$$= 1$$

$$T^* = \frac{k_B T}{\epsilon_{c,i}} = 1.33290$$

$$\begin{aligned}\Omega_V (\text{สตอกแมร์}) &= \frac{1.16145}{(1.33290)^{0.14874}} + \frac{0.52487}{\exp(0.77320 \times 1.33290)} \\ &\quad + \frac{2.16178}{\exp(2.43783 \times 1.33390)} \\ &= 1.3840\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Omega_V (\text{เลนนาร์ด-โจน}) &= 1.3840 + \frac{0.2}{1.33290} \\ &= 1.5340\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{26.69 \sqrt{18 \times 1033}}{(2.52)^2 (1.5340)} \times 10^{-6} \\ &= 3.7360 \times 10^{-4} \text{ กรัม/ชม.วินาที} \\ \phi_{\text{CH}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}} &= \frac{\left(1 + \left(\frac{2.7834 \times 10^{-4}}{3.7360 \times 10^{-4}}\right)^{1/2} \left(\frac{18}{16}\right)^{1/4}\right)^2}{\left(8 \left(1 + \left(\frac{16}{18}\right)\right)\right)^{1/2}} \\ &= 0.9179 \\ \phi_{\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CH}_4} &= 0.9179 \times \frac{3.7360 \times 10^{-4}}{2.7834 \times 10^{-4}} \times \frac{16}{18} \\ &= 1.0951 \\ \mu_{\text{mix}} &= \frac{0.24 \times 2.7834 \times 10^{-4} + 0.76 \times 3.7360 \times 10^{-4}}{0.24 + 0.76 \times 0.9179} \\ &= 3.4885 \times 10^{-4} \text{ กรัม/ชม.วินาที} \\ \text{Re} &= \frac{1.033 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{กรัม}}{\text{ลบ.ชม}}\right) \times 28.95 \left(\frac{\text{ชม.}}{\text{วินาที}}\right) \times 0.0335 \text{ (ชม)}}{3.4885 \times 10^{-4} \text{ กรัม/ชม.วินาที}} \\ &= 2.87 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก (ผ.ข.2.4)} \quad j_d &= \frac{0.357}{0.3 \times (2.87)^{0.359}} \\ &= 0.8150 \end{aligned}$$

การหาค่า N_{sc}

$$\begin{aligned} N_{sc} &= \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \\ D_{AB} &= \frac{0.001858 \times T^{3/2} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}\right)^{1/2}}{P \sigma_{P,AB}^2 \Omega_V} \text{ ชม.}^2/\text{วินาที} \end{aligned}$$

(ผ.ข.2.9)

(42)

$$\begin{aligned}\sigma_{P,AB} &= \text{ค่าคงที่ของแรงสำหรับเลนาร์ด} \\ &\quad - \text{โจนของคู่ของโมเลกุล (Lenard-Jones} \\ &\quad \text{force constant for the binary)} \\ &= \frac{1}{2} (\sigma_{P,A} + \sigma_{P,B})\end{aligned}$$

การหาค่า Ω_V ไม่เหมือนในตอนที่ใช้ในการหาความหนืดของของไหล

$$\text{โดยที่ } \Omega_V = \text{ฟังก์ชันของ } \left(\frac{k_B T}{\epsilon_c} \right) \text{ ของ ทั้ง 2 โมเลกุล}$$

$$\text{และ } \frac{\epsilon_{c,AB}}{k_B} = \left(\frac{\epsilon_{c,A}}{k_B}, \frac{\epsilon_{c,B}}{k_B} \right)^{1/2}$$

$$\text{สำหรับค่า } \frac{\epsilon_{c,i}}{k_B} \text{ ของมีเทน } 148.6 \text{ } ^\circ\text{ค} \text{ ของน้ำ } 809.1 \text{ } ^\circ\text{ค}$$

$$\sigma_{P,i} \text{ ของมีเทน } 3.758 \text{ อังสตรอม} \text{ ของน้ำ } 2.641 \text{ อังสตรอม}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{P,AB} &= \frac{1}{2} (3.758 + 2.641) \\ &= 3.1995 \text{ อังสตรอม}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\epsilon_{c,AB}}{k_B} &= \sqrt{148.6 \times 809.1} \\ &= 346.7452 \text{ } ^\circ\text{ค}\end{aligned}$$

$$\frac{T k_B}{\epsilon_{c,AB}} = \frac{1033}{346.7452} = 2.9791$$

$$\text{สำหรับค่า } \frac{T k_B}{\epsilon_{c,AB}} \text{ จาก (41)} \quad \Omega_V = 0.9508$$

$$\begin{aligned}D_{AB} &= \frac{0.001858 \times 1033^{3/2} \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{18} \right)^{1/2}}{5 \times (3.1995)^2 \times 0.9508} \\ &= 0.4355 \text{ ซม.}^2/\text{วินาที}\end{aligned}$$

$$N_{sc} = \frac{3.4885 \times 10^{-4} \text{ (กรัม/ชม.วินาที)}}{1.033 \times 10^{-3} \text{ (กรัม/ลบ.ชม.)} \times 0.4355 \text{ (ชม.}^2\text{/วินาที)}}$$

$$= 0.7754$$

ได้ $k_G = \frac{j_d^G}{\bar{P}M N_{sc}^{2/3}}$

$$= \frac{j_d^{pu}}{\bar{P}M N_{sc}^{2/3}}$$

$$= \frac{0.8150 \times 1.033 \times 10^{-3} \text{ (กรัม/ลบ.ชม.)} \times 28.95 \text{ (ชม/วินาที)}}{5 \text{ (บรรยากาศ)} \times 17.52 \text{ (กรัม)} \times 0.7754^{2/3} \text{ (กรัม.โมล)}}$$

$$= 3.2965 \times 10^{-4} \text{ กรัมโมล/วินาที.ชม.}^2 \text{ บรรยากาศ}$$

และ $P_{b,CH_4} = 0.0951 \text{ บรรยากาศ}$

$P_{b,H_2O} = 1.7099 \text{ บรรยากาศ}$

จากสมการที่ (ผ.ข.๒.๓)

สำหรับมีเทน $4.08 \times 10^{-5} = 3.2965 \times 10^{-4} \times 173.37(0.0951 - P_{i,CH_4})$

น้ำ $4.08 \times 10^{-5} = 3.2965 \times 10^{-4} \times 173.37(1.7099 - P_{i,H_2O})$

$P_{i,CH_4} = 0.0944 \text{ บรรยากาศ}$

$P_{i,H_2O} = 1.7092 \text{ บรรยากาศ}$

$C_{s,i} = \frac{P_{i,i}}{RT}$

$C_{s,CH_4} = \frac{0.0944}{82.05 \times 1033}$

$= 1.1138 \times 10^{-6} \text{ กรัมโมล/ลบ.ชม.}$

$C_{s,H_2O} = \frac{1.7092}{82.05 \times 1033}$

$= 2.0166 \times 10^{-5} \text{ กรัมโมล/ลบ.ชม.}$

การหาค่า D_e

$$\text{จาก } D_e = \frac{1}{\frac{1}{D_{ABP}} + \frac{1}{D_{KP}}} \quad (\text{ผ.ช.2.10})$$

(40,41)

เมื่อ $D_{ABP} =$ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เมื่ออยู่ในรูพรุน
(Pore Diffusion Coefficient)

$$= \frac{D_{AB} \theta}{\tau}$$

$\theta =$ สัดส่วนพื้นที่หน้าตัดอิสระ (free cross section)

$\tau =$ ตัวประกอบเลี้ยวผลด (tortuosity factor)

จาก (39) $\theta = 0.44$

$\tau = 4.5$

$$D_{AB,P} = \frac{0.4355 \times 0.44}{4.5}$$

$$= 4.2582 \times 10^{-2} \quad \text{ชม.}^2/\text{วินาที}$$

$D_{KP} =$ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในดเชน

(Kundsen Diffusion Coefficient)

$$= 19400 \frac{\theta^2}{\tau S_{BET} d_B} \left(\frac{T}{M}\right)^{1/2}$$

$$= \frac{19400 \times 0.44^2}{4.5 \times 300000 \times 0.72} \left(\frac{1033}{17.52}\right)^{1/2}$$

$$= 2.9670 \times 10^{-2} \quad \text{ชม.}^2/\text{วินาที}$$

$$D_e = \frac{1}{\frac{1}{4.2582 \times 10^{-2}} + \frac{1}{2.9670 \times 10^{-2}}}$$

$$= 1.7486 \times 10^{-2} \quad \text{ชม.}^2/\text{วินาที}$$

$n = n_{CH_4} + n_{H_2O}$

$$= 1.27 + 1.24$$

$$= 2.51$$

จาก (ผ.ข.2.1)

สำหรับมี เอน

$$\frac{R_{or}^2}{C_s D_e} = \frac{4.21 \times 10^{-5} \times 0.0168^2}{1.1138 \times 10^{-6} \times 1.7486 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.6101$$

สำหรับน้ำ

$$\frac{R_{or}^2}{C_s D_e} = \frac{4.21 \times 10^{-5} \times 0.0168^2}{2.0166 \times 10^{-5} \times 1.7486 \times 10^{-2}}$$

$$= 3.3696 \times 10^{-2}$$

$$\frac{1}{|n|} = \frac{1}{|2.51|}$$

$$= 0.3984$$

ได้สำหรับมี เอน

$$\frac{R_{or}^2}{C_s D_e} > \frac{1}{|n|}$$

สำหรับน้ำ

$$\frac{R_{or}^2}{C_s D_e} < \frac{1}{|n|}$$

ดังนั้นมี เอน เป็นตัวจำกัดการถ่ายเทมวลภายใน

∴ มีอิทธิพลของการถ่ายเทมวลภายในต่อสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาแบบยกกำลัง

ผ.ข.2.1.2 การถ่ายเทความร้อน

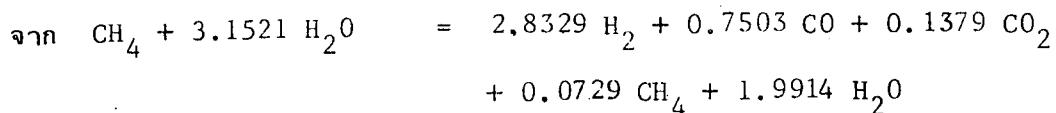
ระบบจะไม่มีผลของการถ่ายเทความร้อนภายในอนุภาคของตัว เร่งปฏิกิริยา เมื่อ

$$\frac{|\Delta H| R_{or}^2}{\lambda_p T_s} < \frac{T_s R}{E} \quad (\text{ผ.ข.2.11})$$

λ_p = การนำความร้อนของอนุภาค
(Thermal Conductivity of partical)

T_s = อุณหภูมิที่ผิวภายนอกอนุภาค

การหาค่า ΔH



ฐานการคำนวณ 1 กรัมโมลของมีเทน

ที่สภาวะมาตรฐาน (42)

ความร้อนของการเกิด (Heat of formation) ของ

$\text{CH}_4(\text{g})$	= -17,890	กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล
$\text{CO}(\text{g})$	= -26,420	"
$\text{CO}_2(\text{g})$	= -94,050	"
$\text{H}_2(\text{g})$	= 0	"
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	= -57,800	"
ΔH_{298}	= $0.7503(-26,420) + 0.1379(-94,050)$ + $0.1107(-17,890) + 1.9914(-57,800)$ - $17,890 - 3.1521(-57,800)$ = 14,425.6	กรัมแคลลอรี่

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก 298°C เป็น 1033°C ความดันจาก 1 บรรยากาศ เป็น 5 บรรยากาศ แต่จาก (42) ความดันไม่มีผลต่อ ΔH

ความร้อนจำเพาะ (\bar{C}_p) ในช่วงนี้

CH_4	= 14.718	กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล $^\circ\text{C}$
CO	= 7.609	"
CO_2	= 11.974	"
H_2	= 7.141	"
H_2O	= 9.293	"
ΔH	= $m\bar{C}_p \Delta T$	

สารเข้าทำปฏิกิริยา	CH_4	$\Delta H = 14.718 \times (1033-298)$	$= 10,817.7$ กรัมแคลลอรี่
	H_2O	$\Delta H = 3.1521 \times 9.293 (1033-298)$	$= 21,530$ "
ผลิตภัณฑ์	CH_4	$\Delta H = 0.1107 \times 14.718 (1033-298)$	$= 1,197.5$ "
	H_2O	$\Delta H = 1.9914 \times 9.293 (1033-298)$	$= 13,502$ "
	CO	$\Delta H = 0.7503 \times 7.609 (1033-298)$	$= 4,196.1$ "
	CO_2	$\Delta H = 0.1379 \times 11.974 (1033-298)$	$= 1,213.6$ "
	H_2	$\Delta H = 2.8329 \times 7.141 (1033-298)$	$= 14,868.9$ "
	$\therefore \Delta H = 2,730.4$		กรัมแคลลอรี่
	$\Delta H_{\text{total}} = 14,425.6 + 2,730.4$		
		$= 17,156$	กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล CH_4

การหาค่า λ_p (44) จากรูปที่ 3.58

$$\lambda_p = \frac{0.083 \text{ บีทียู} \times 252 \text{ กรัมแคลลอรี่} \times 1 \text{ ชม.}}{\text{ชั่วโมงฟุต}^2 \times 1 \text{ บีทียู} \times 3600 \text{ วินาที}}$$

$$\frac{1 \text{ ฟุต} \times 1 \text{ ฟุต}}{1 \text{ ชม} \times 30.48 \text{ ชม.}}$$

$$= 3.43 \times 10^{-4} \text{ กรัมแคลลอรี่/วินาที. ชม.}^2$$

กำหนดให้ $E = 15800$ บีทียู/ปอนด์โมล (11)

$$= \frac{15800 \times 252}{453.59}$$

$$= 8777.97 \text{ กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล}$$

$$\bar{C}_{p \text{ average}} = \frac{3.1421 \times 9.293 + 14.718}{4.1521}$$

$$= 10.5772 \text{ กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล} \cdot \text{K}$$

$$\text{จาก } T_s - T_b = \frac{-\Delta H}{\bar{C}_p} (C_b - C_s) \quad (\text{ผ.ข.2.12}) \quad (1e)$$

$$\begin{aligned} \text{หา } C_b \text{ ของมีเทน} \quad C_{b, \text{CH}_4} &= \frac{P_{b, \text{CH}_4}}{RT} \\ &= \frac{0.0951}{82.05 \times 1033} \\ &= 1.1220 \times 10^{-6} \quad \text{กรัมโมล/ลบ.ซม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b \text{ ของน้ำ} \quad C_{b, \text{H}_2\text{O}} &= \frac{1.7099}{82.05 \times 1033} \\ &= 2.0174 \times 10^{-5} \quad \text{กรัมโมล/ลบ.ซม.} \end{aligned}$$

$$\text{เนื่องจากมีมีเทน} \quad T_s - T_b = - \frac{(17156)}{10.5772 \times 1.033 \times 10^{-3}} (1.1220 \times 10^{-6} - 1.1138 \times 10^{-6})$$

$$\begin{aligned} T_s &= T_b - 0.01 \\ &= 1032.99 \text{ } ^\circ\text{ค} \end{aligned}$$

$$\text{เนื่องจากน้ำ} \quad T_s - T_b = - \frac{(17156)}{10.5772 \times 1.033 \times 10^{-3}} (2.0174 \times 10^{-5} - 2.0166 \times 10^{-5})$$

$$\begin{aligned} T_s &= T_b - 0.01 \\ &= 1032.99 \text{ } ^\circ\text{ค} \end{aligned}$$

$$T_s \approx 1033 \text{ } ^\circ\text{ค}$$

จากสมการที่ (ผ.ข.2.11)

$$\begin{aligned} \frac{|\Delta H| R_o r_p^2}{\lambda_p T_s} &= \frac{|17156| \times 4.21 \times 10^{-5} \times 0.0168^2}{3.43 \times 10^{-4} \times 1033} \\ &= 5.7533 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\frac{T_s R}{E} = \frac{1033 \times 82.05}{8777.97}$$

$$= 9.6557$$

$$\therefore \frac{|\Delta H| R_o r_p^2}{\lambda_p T_s} < \frac{T_s R}{E}$$

นั่นคือ ไม่มีอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนภายในอนุภาคต่อสมการ อัตราเร็วของปฏิกิริยาแบบยกกำลัง

ผ.ข.2.2 มาตรฐานการทดสอบการถ่ายเทระหว่างพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและของไหลที่อยู่ติดกัน

ผ.ข.2.2.1 การถ่ายเทมวล

ระบบจะไม่มีผลของการถ่ายเทมวลระหว่างพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและของไหลที่อยู่

ติดกันก็ต่อเมื่อ

$$\frac{R_o r_p}{C_b k_c} < 0.15/n \quad (\text{ผ.ข.2.12})$$

$$k_c = k_G RT$$

$$= 3.2965 \times 10^{-4} \times 82.05 \times 1033$$

$$= 27.94 \quad \text{ชม./วินาที}$$

สำหรับมีเทน

$$\frac{R_o r_p}{C_b k_c} = \frac{4.21 \times 10^{-5} \times 0.0168}{1.122 \times 10^{-6} \times 27.94}$$

$$= 0.0226$$

สำหรับน้ำ

$$\frac{R_o r_p}{C_b k_c} = \frac{4.21 \times 10^{-5} \times 0.0168}{2.0174 \times 10^{-5} \times 27.94}$$

$$= 0.0013$$

$$\frac{0.15}{n} = \frac{0.15}{2.51}$$

$$= 0.0598$$

$$\therefore \frac{R_o r}{C_b k_c} < \frac{0.15}{n}$$

นั่นคือ ไม่มีอิทธิพลของการถ่ายเทมวลระหว่างพื้นผิวของตัว เร่งปฏิกิริยาและของไหลที่อยู่ติดกัน

ผ.ข.2.2.2 การถ่ายเทความร้อน

ระบบไม่มีผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของตัว เร่งปฏิกิริยาและของไหลที่อยู่ติดกันก็คือ เมื่อ

$$\left| \frac{-\Delta H R_o r}{hT_b} \right| < \frac{0.15 RT_b}{E} \quad (\text{ผ.ข.2.13})$$

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซและอนุภาค

การหาค่า h จาก $j_H = \frac{h}{N_{Pr}^{2/3}}$ (ผ.ข.2.14) (40)

$$N_{Pr} = \frac{\bar{C}_p G}{\frac{\bar{C}_p \mu}{k_F}}$$

$$k_F = \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหล}$$

$$= \frac{\sum y_i k_{F,i} (\bar{M}_i)^{1/3}}{\sum y_i (\bar{M}_i)^{1/3}} \quad (44)$$

และ $k_{F,i} = \mu_i \left(\bar{C}_{p,i} + \frac{2.48}{\bar{M}_i} \right)$ (44)

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{CH}_4} &= 2.7834 \times 10^{-4} && \text{กรัม/ชม.วินาที} \\
 &= 6.733 \times 10^{-2} && \text{ปอนด์/ฟุต.นิ้วโมง} \\
 \mu_{\text{H}_2\text{O}} &= 3.7360 \times 10^{-4} && \text{กรัม/ชม.วินาที} \\
 &= 0.0904 && \text{ปอนด์/ฟุต.นิ้วโมง} \\
 \bar{C}_{p, \text{CH}_4} &= 14.718 && \text{กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล °ค} \\
 &= 0.8401 && \text{บีทียู/ปอนด์ °ฟ} \\
 \bar{C}_{p, \text{H}_2\text{O}} &= 9.293 && \text{กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล °ค} \\
 &= 0.5304 && \text{บีทียู/ปอนด์ °ฟ} \\
 k_{F, \text{CH}_4} &= 6.733 \times 10^{-2} \left(0.8401 + \frac{2.48}{16} \right) \\
 &= 0.0670 && \text{บีทียู/นิ้วโมง ฟุต °ฟ} \\
 &= 2.7697 \times 10^{-4} && \text{กรัมแคลลอรี่/วินาที ชม. °ค} \\
 k_{F, \text{H}_2\text{O}} &= 0.0904 \left(0.5304 + \frac{2.48}{18} \right) \\
 &= 0.0604 && \text{บีทียู/นิ้วโมง ฟุต °ฟ} \\
 &= 2.4968 \times 10^{-4} && \text{กรัมแคลลอรี่/วินาที ชม. °ค} \\
 k_F &= \frac{0.24 \times 2.7697 \times 10^{-4} \times 16^{1/3} + 0.76 \times 2.4968 \times 10^{-4} \times 18^{1/3}}{0.24 \times 16^{1/3} + 0.76 \times 18^{1/3}} \\
 &= 2.5604 \times 10^{-4} && \text{กรัมแคลลอรี่/วินาที ชม. °ค} \\
 N_{Pr} &= \frac{10.5772 \times 3.4885 \times 10^{-4}}{2.5604 \times 10^{-4} \times 17.52} \\
 &= 0.8226
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (ผ.ข.2.14)

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{j_H \bar{C}_p G}{N_{Pr}^{2/3}} \\
 &= \frac{j_D \bar{C}_p \rho u}{N_{Pr}^{2/3}} \quad (j_n = j_D) \text{ Ref. (40)} \\
 &= \frac{0.8150 \times 10.5772 \times 1.033 \times 10^{-3} \times 28.95}{0.8226^{2/3} \times 17.52} \\
 &= 1.6760 \times 10^{-2} \quad \text{กรัมแคลลอรี่/วินาที ซม}^2 \cdot \text{ซ}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (ผ.ข.2.13)

$$\begin{aligned}
 \left| \frac{-\Delta H_{o,p} R_r}{h T_b} \right| &= \left| \frac{-17156 \times 4.21 \times 10^{-5} \times 0.0168}{1.6760 \times 10^{-2} \times 1033} \right| \\
 &= 7.0086 \times 10^{-4} \\
 0.15 \frac{RT_b}{E} &= \frac{0.15 \times 82.05 \times 1033}{8777.97} \\
 &= 1.4484
 \end{aligned}$$

$$\left| \frac{-\Delta H_{o,p} R_r}{h T_b} \right| < \frac{0.15 RT_b}{E}$$

นั่นคือ ไม่มีอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและของไหลที่อยู่ติดกันต่อสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาแบบยกกำลัง

ผ.ข.2.3 มาตรฐานการทดสอบการถ่ายเทระหว่างของไหลที่อยู่ระหว่างอนุภาค

ผ.ข.2.3.1 การถ่ายเทมวล

ผ.ข.2.3.1.1 การถ่ายเทมวลของแนวแกน

ระบบจะไม่มีผลของการถ่ายเทมวลแนวแกนระหว่างของไหลที่อยู่ระหว่างอนุภาค ก็ต่อเมื่อ

$$\frac{L}{d_p} > \frac{20n \ln \frac{C_{b \text{ in}, i}}{C_{b \text{ out}, i}}}{Pe_a} \quad (\text{ผ.ข.2.15})$$

L = ความยาวของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา

Pe_a = ตัวเลขแพคเลตตามแนวแกน (Axial Peclet Number)

$C_{b \text{ in}, i}$ = ความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยา i ขาเข้า

$C_{b \text{ out}, i}$ = ความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยา i ขาออก

การทำ $C_{b \text{ in}, i}$

ของมีเทน $C_{b \text{ in}, \text{CH}_4} = \frac{P_{b \text{ in}, \text{CH}_4}}{RT}$

$P_{b \text{ in}, i} =$ ความดันย่อยของสารเข้าทำปฏิกิริยา i ขาเข้า :

$$= \frac{1.2042}{82.05 \times 1033}$$

$$= 1.4208 \times 10^{-5} \quad \text{กรัมโมล/ลบ.ซม.}$$

ของน้ำ

$$= \frac{3.7958}{82.05 \times 1033}$$

$$C_{b \text{ in}, \text{H}_2\text{O}} = 4.4784 \times 10^{-5} \quad \text{กรัมโมล/ลบ.ซม.}$$

สำหรับก๊าซ $Re < 10$

$$Pe_a \sim 2$$

(38)

การหาค่า L

ความหนาแน่นเชิงก้อน	0.72	กรัม/ลบ.ซม.
น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	=	1.0003 กรัม
ปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยา	=	$\frac{1.0003}{0.72}$
	=	1.3893 ลบ.ซม.
พื้นที่หน้าตัดของเตาปฏิกรณ์เคมี	=	0.6334 ซม.^2
L	=	$\frac{1.3893}{0.6334}$
	=	2.19 ซม.

จากสมการที่ (ผ.ข.2.15)

$$\text{สำหรับมีเทน} \quad \frac{20n}{Pe_a} \ln \frac{C_{b \text{ in, CH}_4}}{C_{b \text{ out, CH}_4}} = \frac{20 \times 2.51}{2} \ln \frac{1.4208 \times 10^{-5}}{1.1220 \times 10^{-6}}$$

$$= 63.72$$

$$\text{สำหรับน้ำ} \quad \frac{20n}{Pe_a} \ln \frac{C_{b \text{ in, H}_2\text{O}}}{C_{b \text{ out, H}_2\text{O}}} = \frac{20 \times 2.51}{2} \ln \frac{4.4784 \times 10^{-5}}{2.0174 \times 10^{-5}}$$

$$= 20.02$$

$$\frac{L}{d_p} = \frac{2.19}{0.0335}$$

$$= 65.37$$

$$\therefore \frac{L}{d_p} > \frac{20n}{Pe_a} \ln \frac{C_{b \text{ in, i}}}{C_{b \text{ out, i}}}$$

นั่นคือ ไม่มีผลของการถ่ายเทมวลแนวแกนระหว่างของไหลที่อยู่ระหว่างอนุภาคต่อสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาแบบยกกำลัง

ผ.ข.2.3.1.2 การถ่ายเทมวลแนวรัศมี

การถ่ายเทมวลแนวรัศมีไม่มีมาตรฐานใดทดสอบ นอกจากดูว่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่อยู่ระหว่างอนุภาค ถ้าการถ่ายเทความร้อนไม่มีผล การถ่ายเทมวลแนวรัศมีก็ไม่มีผลเช่นกัน

ผ.ข.2.3.2 การถ่ายเทความร้อน

ระบบไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่อยู่ระหว่างอนุภาค ก็คือ เมื่อ

$$\frac{|\Delta H| R_b r^2}{k_e T_w} < \frac{0.4 RT_w}{E} \quad (\text{ผ.ข.2.16})$$

เมื่อ R_b = อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่อปริมาณเชิงก้อน

$$\begin{aligned} &= 0.1470 \frac{\text{กรัม โมล}}{\text{ชั่วโมง กรัม}} \times \frac{1 \text{ ชั่วโมง}}{3600 \text{ วินาที}} \times 0.72 \frac{\text{กรัม}}{\text{ลบ.ซม.}} \\ &= 2.94 \times 10^{-5} \text{ กรัม โมล/วินาที ลบ.ซม.} \end{aligned}$$

r_r = รัศมีของเตาปฏิกรณ์เคมี แต่เนื่องจากเตาปฏิกรณ์เคมี เป็นแบบวงแหวน r_r จึงเป็นความกว้างของวงแหวน = 0.3175 ซม.

$$\begin{aligned} k_e &= \text{สัมประสิทธิ์การนำความร้อนประสิทธิผล (Effective Thermal Conductivity)} \\ &= \lambda \left(\frac{k_F}{\lambda} \right)^{1-\epsilon} \\ &= 3.43 \times 10^{-4} \times \left(\frac{2.5604 \times 10^{-4}}{3.43 \times 10^{-4}} \right)^{1-0.3} \\ &= 2.79 \times 10^{-4} \text{ แคลลอรี่/วินาที ซม.}^2 \end{aligned}$$

สำหรับ T_w (อุณหภูมิที่ผนังเตาปฏิกรณ์เคมี)

T_w เป็นอุณหภูมิที่ผนังเตาปฏิกรณ์เคมี สมมติให้เท่ากับ T_b จากสมการที่ (ผ.ข.2.16)

$$\frac{|\Delta H| R_b r^2}{k_e T_w} = \frac{17156 \times 2.94 \times 10^{-5} \times 0.3175^2}{2.79 \times 10^{-4} \times 1033}$$

$$= 0.1764$$

$$\frac{0.4 RT_w}{E} = \frac{0.4 \times 82.05 \times 1033}{8777.97}$$

$$= 3.8622$$

นั่นคือ $\frac{|\Delta H| R_b r^2}{k_e T_w} < \frac{0.4 RT_w}{E}$

ซึ่งหมายถึง ไม่มีผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่อยู่ระหว่างอนุภาค

ผ.ช.๓ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานี้เกิดด้วยวิธีซับซ้อนหลายครั้ง 8,16% Ni บนตัวรองรับ อะลูมินา SA-3232

สารเคมี นิเกิลไนเตรต $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (เกรดทางวิเคราะห์, 98% $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ของ BDH Chemical CO, Ltd.)

ตัวรองรับ SA-3232 ปริมาตรของรูพรุน 0.65 ลบ.ซม./กรัม

น.น. โมเลกุล $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 290.81

น.น. โมเลกุล NiO 74.71

น.น. อะตอม Ni 58.71

ความหนาแน่น NiO 6.67 กรัม/ลบ.ซม.

เตรียม 8% Ni/ Al_2O_3

น้ำหนักของตัวรองรับอะลูมินา 40.0822 กรัม

ปริมาตรของรูพรุน $0.65 \times 40.0822 = 26.05$ ลบ.ซม.

ต้องชั่ง $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $\frac{8}{92} \times 40.0822 \times \frac{290.81}{58.71} \times \frac{100}{98}$

= 17.6167 กรัม ในน้ำ 26.05 ลบ.ซม.

= 33.8132 กรัม ในน้ำ 50 ลบ.ซม.

นั่นคือ ต้องเตรียมสารละลายนิเกิลไนเตรต โดยชั่งนิเกิลไนเตรต 33.8132 กรัม ทำให้เป็นสารละลายนิเกิลไนเตรตในขวดทำปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 50 ลบ.ซม.

2. เตรียม 16% Ni/ Al_2O_3

หลังจากทำการเผาที่อุณหภูมิสูงแล้ว ส่วนหนึ่งเก็บไว้เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 8% Ni/ Al_2O_3 อีกส่วนหนึ่งทำเป็น 16% Ni/ Al_2O_3

ชั่งน้ำหนักของ NiO/ Al_2O_3 21.5754 กรัม

(ออกไซด์ของนิเกิลทั้งหมดอยู่ในรูป NiO หมด)

Ni/ Al_2O_3 100 กรัม มี Ni 8 กรัม Al_2O_3 92 กรัม

มี NiO = $8 \times \frac{74.71}{58.71} = 10.1802$ กรัม

มี NiO/ Al_2O_3 = 102.1802 กรัม

$\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 102.1802 กรัม มี NiO 10.1802 กรัม มี Al_2O_3 92 กรัม

$\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 21.5754 กรัม มี NiO $\frac{10.1802 \times 21.5754}{102.1802}$ กรัม มี Al_2O_3 $\frac{92 \times 21.5754}{102.1802}$ กรัม

และ $\text{NiO} = 2.1496$ กรัม $\text{Al}_2\text{O}_3 = 19.4258$ กรัม

NiO 2.1496 กรัม คิดเป็นปริมาตร $\frac{2.1496}{6.67} = 0.32$ ลบ.ซม.

และ NiO 2.1496 กรัม เทียบเป็น $\text{Ni} = \frac{2.1496 \times 58.71}{74.71}$
 $= 1.6892$

Al_2O_3 19.4258 กรัม ถ้าถือว่า ปริมาตรของรูพรุนไม่เปลี่ยนแปลงจะมีปริมาตรของรูพรุนเป็น $19.4258 \times 0.65 = 12.63$ ลบ.ซม.

แต่เนื่องจากมี NiO มาเกาะ ปริมาตรของรูพรุนเหลือ $12.63 - 0.32$
 $= 12.31$ ลบ.ซม.

Al_2O_3 84 กรัม มี Ni 16 กรัม

Al_2O_3 19.4258 กรัม มี Ni $\frac{16 \times 19.4258}{84} = 3.7002$ กรัม

ต้องเติม Ni อีก $3.7002 - 1.6892 = 2.0110$ กรัม

คิดเป็น $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $\frac{290.81}{58.71} \times \frac{100}{98} \times 2.0110 = 10.1644$ กรัม

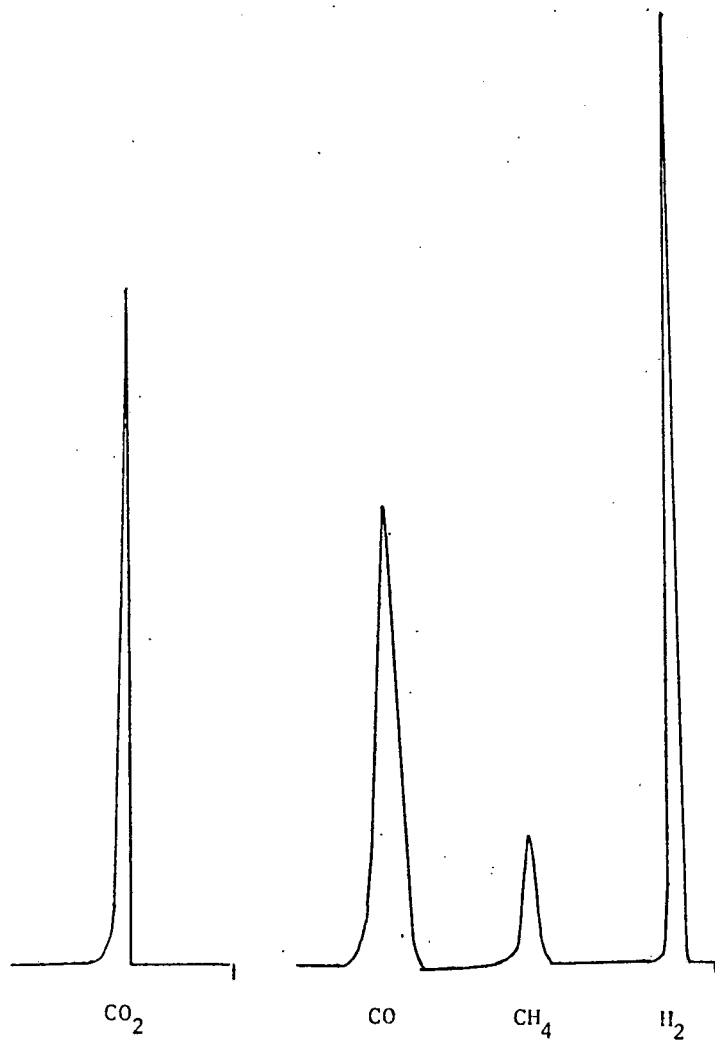
ในน้ำ 12.31 ลบ.ซม.

ถ้าเตรียม 25 ลบ.ซม. ต้องมี $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $\frac{10.1644 \times 25}{12.31} = 20.6426$ กรัม

นั่นคือต้องเตรียมสารละลายนิกเกิลในเตรต 25 ลบ.ซม. โดยชั่ง $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20.6426 กรัม ทำเป็นสารละลายในขวดทำปริมาตร 25 ลบ.ซม.

ผ.ช. ๔ การคำนวณ% การเปลี่ยนรูปของมีเทนและความดันย่อยของก๊าซผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากปฏิกิริยามีเทนสตีร์ฟอร์มมิง เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นเอง 12% Ni/Al₂O₃ บนตัวรองรับ SA-3232

สภาวะปฏิบัติการ	อุณหภูมิ	760 °ซ	ความดัน	5 บรรยากาศสัมบูรณ์
ข้อมูลที่วัดได้	ความสูงของปรอทที่วัดจากมาโนมิเตอร์	3.8 ซม.		
	น้ำที่ใส่เข้าไปในตัวทำให้อิ่มตัว	95 ลบ.ซม.		
	น้ำที่ยังเหลืออยู่ในตัวทำให้อิ่มตัว	77.5 ลบ.ซม.		
	น้ำที่อยู่ในตัวหล่อเย็น	12 ลบ.ซม.		
	อัตราเร็วขาออกของก๊าซผลิตภัณฑ์	205 ลบ.ซม. ที่ STP		
เวลา	140 นาที			



จากโครมาโตกราฟ (รูปที่ ผ.ค. 1-4)

พ.ท. พีท (Peak Area)

ก๊าซ	H ₂	=	386 x 4	=	1544	=	75.00 %	ปรับเป็น	75.41 %
ก๊าซ	CO	=	188 x 9	=	1692	=	13.60 %	ปรับเป็น	13.68 %
ก๊าซ	CO ₂	=	264 x 3	=	792	=	8.85 %	ปรับเป็น	8.90 %
ก๊าซ	CH ₄	=	54 x 6	=	324	=	<u>2.00 %</u>	ปรับเป็น	<u>2.01 %</u>
							99.45 %		100.00 %

จากรูปที่ 6.6 ความสูงของปรอทเทียบเป็น 0.1350 โมล/ชั่วโมง (อัตราเร็วของก๊าซมีเทนขาเข้า)

น้ำที่ป้อนเข้าเตาปฏิกรณ์เคมี 95-77.5 = 17.5 ลบ.ซม.

เทียบเป็นไอน้ำที่ป้อนเข้าไป $\frac{17.5}{18} \times \frac{60}{140} = 0.4167$ กรัมโมล/ชั่วโมง

อัตราเร็วของก๊าซผลิตภัณฑ์ที่วัดได้ 205 ลบ.ซม./นาที ที่ STP เทียบเป็น

$$= \frac{205}{1000} \times 60 \times \frac{1}{0.082} \times \frac{1}{273}$$

$$= 0.5495 \text{ กรัมโมล/ชั่วโมง}$$

อัตราเร็วของไอน้ำที่ออก = $\frac{12}{18} \times \frac{60}{140} = 0.2857$ กรัมโมล/ชั่วโมง

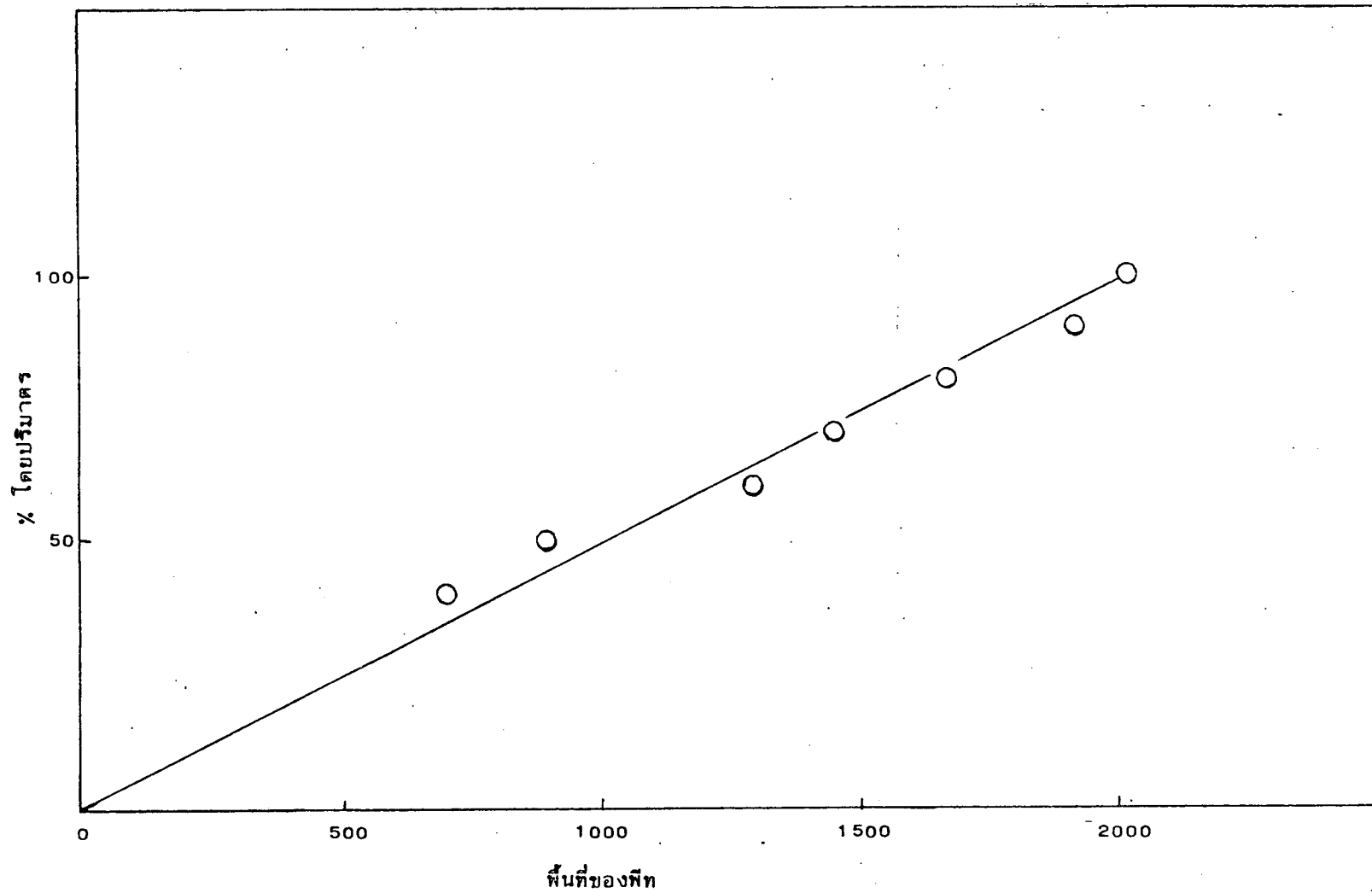
$$= 52.00 \% \text{ เทียบกับอัตราเร็วของก๊าซผลิตภัณฑ์}$$

อัตราส่วนไอน้ำต่อก๊าซมีเทน = $0.4167/0.1350 = 3.09$

$$\begin{aligned} \% \text{ การเปลี่ยนรูป ของก๊าซมีเทน} &= \frac{P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CH}_4} + P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2}} \times 100 \\ &= \frac{0.4500 + 0.2928}{0.0661 + 0.4500 + 0.2928} \times 100 \\ &= 91.83\% \end{aligned}$$

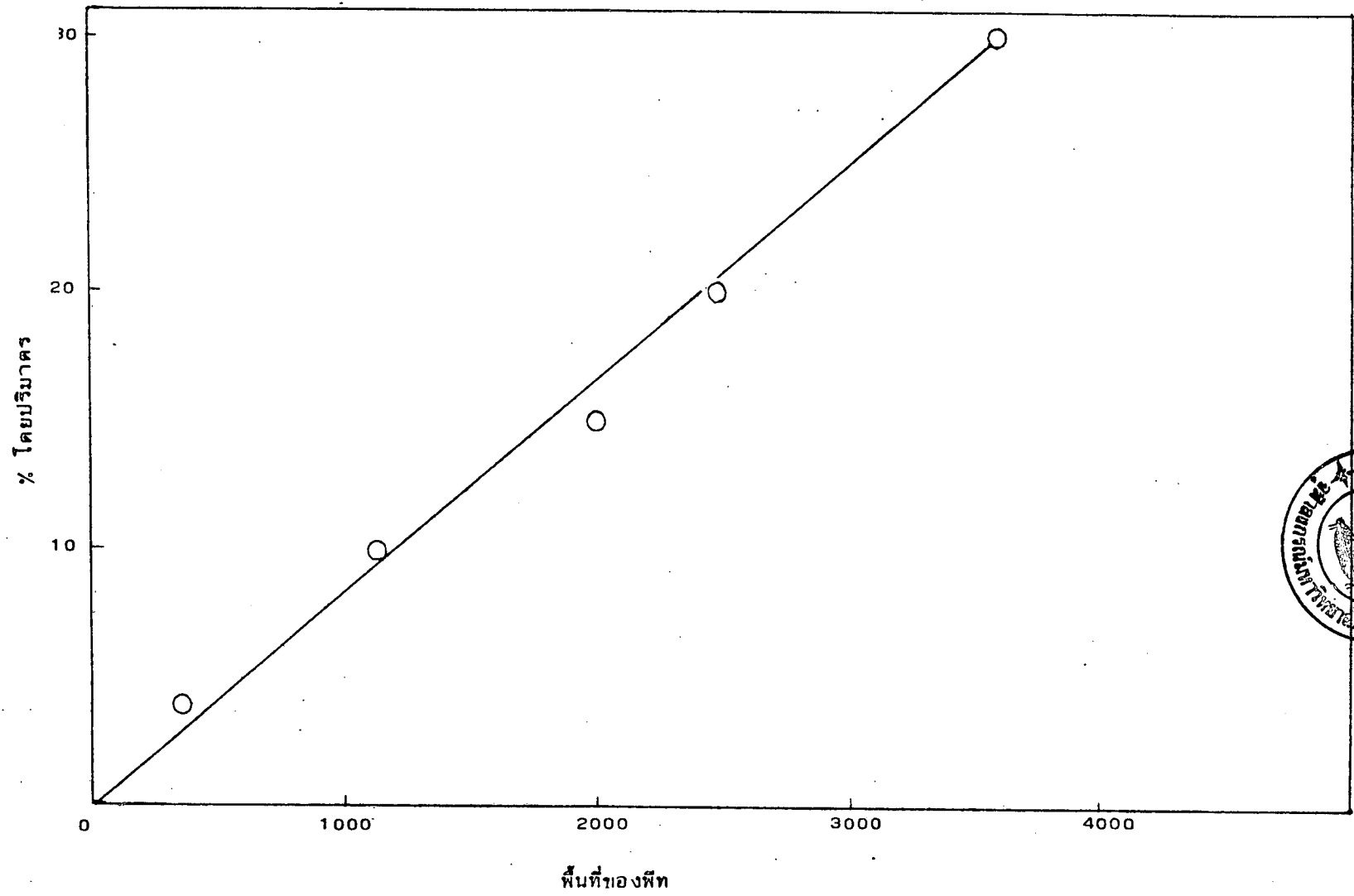
การหาความดันย่อยของก๊าซผลิตภัณฑ์ เมื่อความดันรวม 5 บรรยากาศสัมบูรณ์

ก๊าซ H_2	0.7541	=	$0.7541 \times 5/1.52$	=	2.4806	บรรยากาศ
ก๊าซ CO	0.1368	=	$0.1368 \times 5/1.52$	=	0.4500	บรรยากาศ
ก๊าซ CO_2	0.0890	=	$0.089 \times 5/1.52$	=	0.2928	บรรยากาศ
ก๊าซ CH_4	0.0201	=	$0.0201 \times 5/1.52$	=	0.0661	บรรยากาศ
ไอน้ำ	<u>0.5200</u>	=	$0.5200 \times 5/1.52$	=	<u>1.7105</u>	บรรยากาศ
	1.5200				5	บรรยากาศ

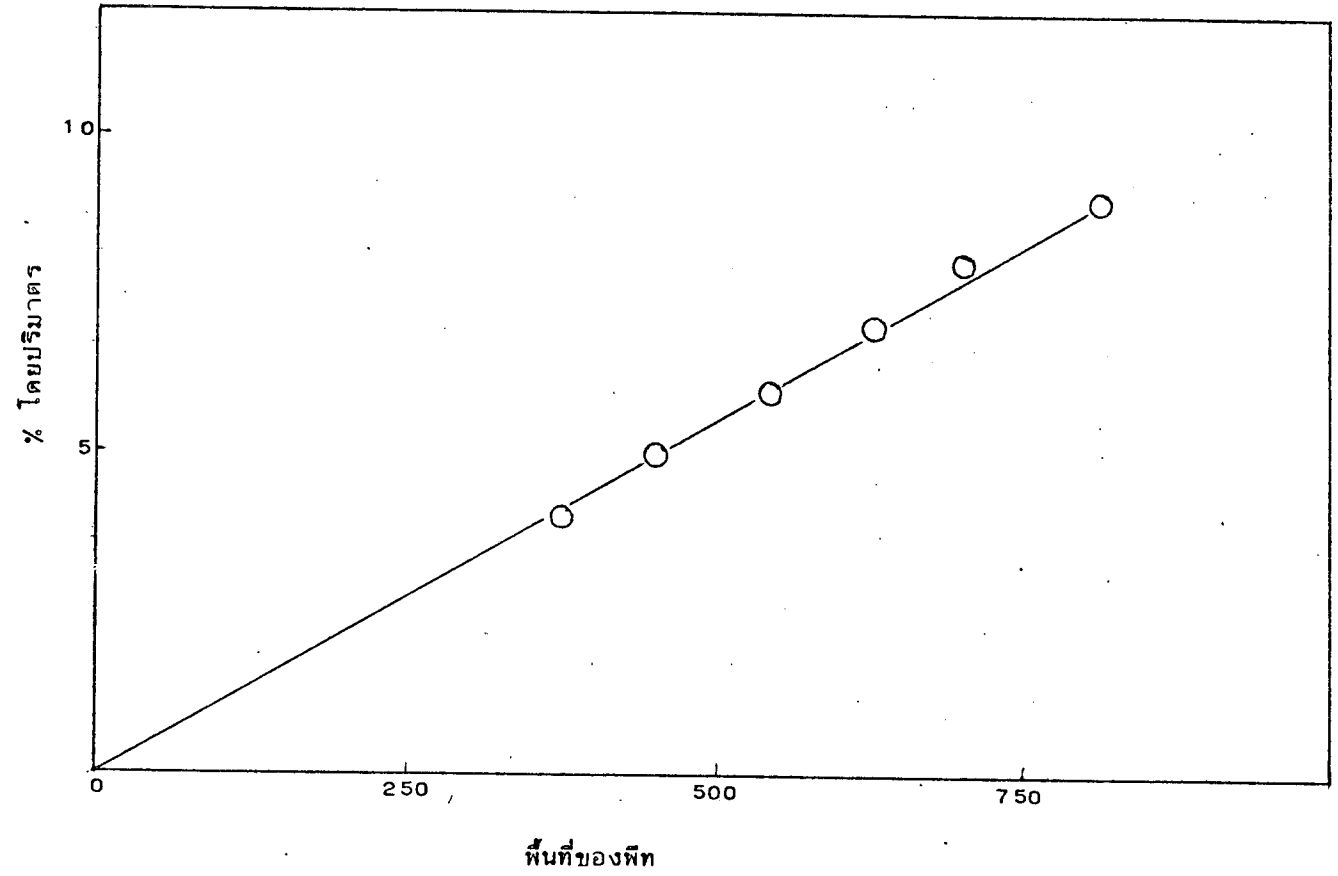


๒ บณฑน

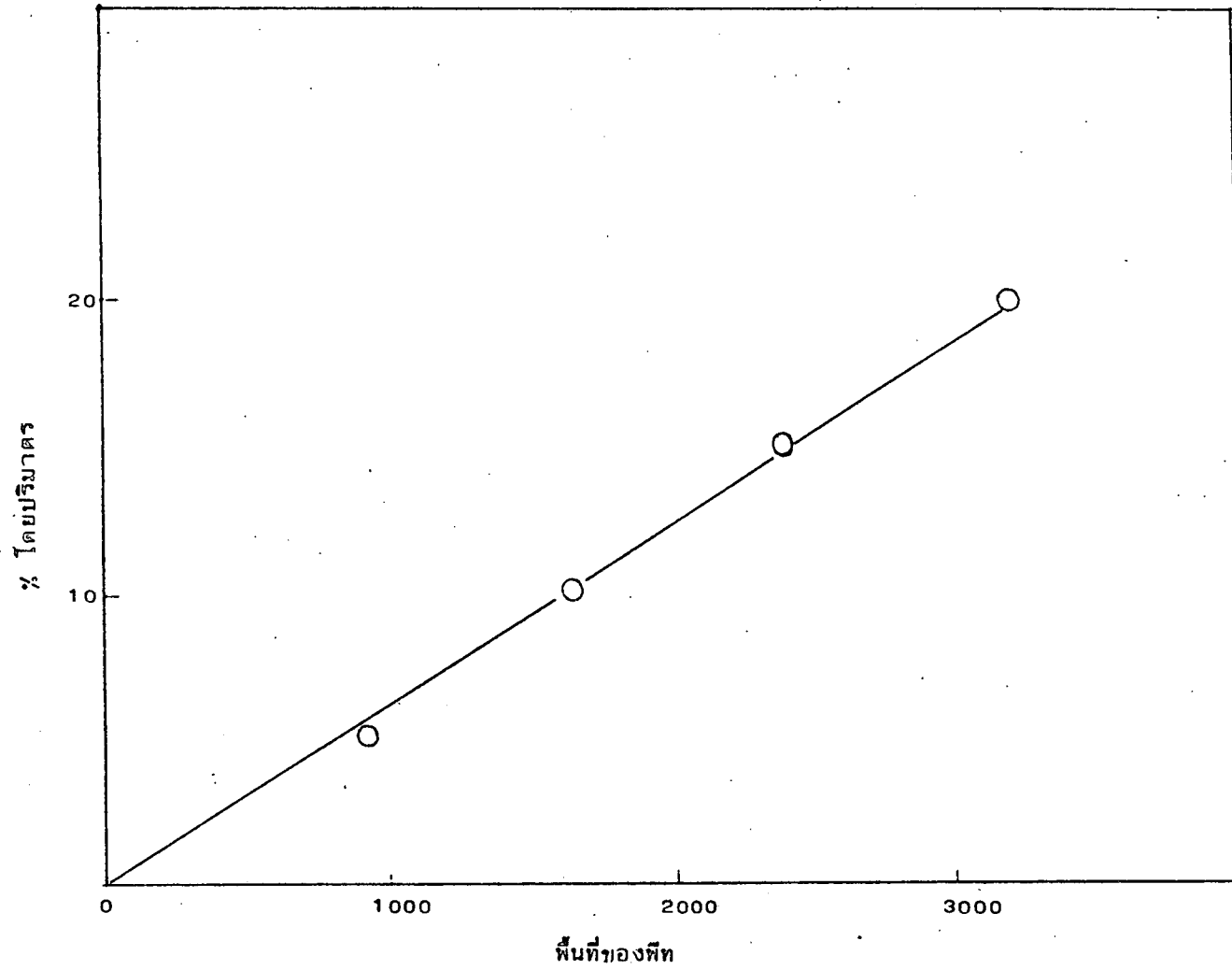
รูปที่ ผ.ค.๑ เส้นโค้งมาตรฐานของก๊าซไฮโดรเจน .



รูปที่ ผ.ค.2 เส้นโค้งมาตรฐานของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



รูปที่ ผ.ค.๓ เส้นโค้งมาตรฐานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ พ.ค.4 เส้นโค้งมาตรฐานของค้ำขมิเอน

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวเร่งปฏิกิริยา, ซม. ²
A_i	=	สัมประสิทธิ์การชน
$C_{b,i}$	=	ความเข้มข้นเชิงก้อนของตัวเข้าทำปฏิกิริยา i ที่ก้อนของไหล, กรัมโมล/ลบ. ซม.
$C_{b\ in,i}$	=	ความเข้มข้นเชิงก้อนของตัวเข้าทำปฏิกิริยา i ขาเข้า, กรัมโมล/ลบ. ซม.
$C_{b\ out,i}$	=	ความเข้มข้นเชิงก้อนของตัวเข้าทำปฏิกิริยา i ขาออก, กรัมโมล/ลบ. ซม.
\bar{C}_p	=	ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat), กรัมแคลลอรี่/กรัมโมล °ค
$C_{s,i}$	=	ความเข้มข้นของตัวเข้าทำปฏิกิริยา i ที่ผิวภายนอกของอนุภาค, กรัมโมล/ลบ. ซม.
D_{AB}	=	สัมประสิทธิ์การแพร่เชิงก้อน (Bulk Diffusion Coefficient), ซม. ² /วินาที
$D_{AB,P}$	=	สัมประสิทธิ์การแพร่เมื่ออยู่ในรูพรุน (Pore Diffusion Coefficient), ซม. ² /วินาที
D_e	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล (Effective Diffusion Coefficient), ซม. ² /วินาที
D_{is}	=	% การกระจายของโลหะบนตัวรองรับ
D_{KP}	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ชนิด เซน (Knudsen Diffusion Coefficient), ซม. ² /วินาที
E	=	พลังงานกระตุ้น (Activation Energy)
F	=	อัตราเร็วของก๊าซ, กรัมโมล/ชั่วโมง
F_{TO}	=	ความถี่ เทอนไอ เวอ
G	=	ความเร็วเชิงมวล (Mass Velocity), กรัม/วินาที/ซม. ²
ΔG	=	การเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานอิสระของกิบ
ΔH	=	การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของปฏิกิริยา, กิโลแคลลอรี่/โมล
K	=	ค่าคงที่สมดุล
K'	=	ค่าคงที่สมดุลคำนวณจากสภาวะความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ไม่อยู่ในสภาวะสมดุล
K_{ED}	=	ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ

K_H	=	ค่าคงที่สมดุลสำหรับการดูดซับของก๊าซไฮโดรเจนบนตัวเร่งปฏิกิริยา
K_{MS}^T	=	ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยามี เอนสตีร์ฟอรัมมิง
K_{Pi}	=	ค่าคงที่สมดุลของสมการ i
K_W	=	ค่าคงที่สมดุลสำหรับการดูดซับของไอน้ำบนตัวเร่งปฏิกิริยา
K_{WGS}^T	=	ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา วอ เดอร์ ก๊าซ ซึฟ
L	=	ความยาวของชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา, ซม.
M	=	น้ำหนักของอนุภาค, กรัม
\bar{M}	=	น้ำหนักโมเลกุล
N	=	จำนวนโมล
\bar{N}	=	ตัวเลขอวกาศ (Avogadro's Number)
	=	6.02252×10^{23} โมล ⁻¹
N_{ads}	=	อัตราการดูดซับของอะตอมหรือโมเลกุลบนตัวดูดซับ
N_{des}	=	อัตราการคายตัวของอะตอมหรือโมเลกุลบนตัวดูดซับ
N_m	=	จำนวนโมเลกุลที่ชนกันต่อหนึ่งตารางเซนติเมตรพื้นที่ต่อหนึ่งวินาที
N_{mo}	=	จำนวนโมเลกุลหรืออะตอมที่ถูกดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับ โดยสมบูรณ์ต่อหนึ่งตาราง ซม.
N_{Pr}	=	ตัวเลขพรานเดล (Prandel Number)
N_{sc}	=	ตัวเลขชมิท (Schmidt)
N_{TO}	=	จำนวนเทอนโอเวอ
P	=	ความดันรวมของก๊าซหรือความดันของระบบ, บรรยากาศ
$P_{b,i}$	=	ความดันย่อยเชิงก้อนของสาร i (Bulk Partial Pressure), บรรยากาศ
P_i	=	ความดันย่อยของก๊าซ i , บรรยากาศ
P_i^*	=	ความดันย่อยของก๊าซ i ที่สภาวะสมดุล, บรรยากาศ
$P_{i,i}$	=	ความดันย่อยที่ผิวของสาร i (Interfacial Partial Pressure), บรรยากาศ
P_o	=	ความดันอ้อมตัว, บรรยากาศ
Pe_a	=	ตัวเลขเพคเลตตามแนวแกน (Axial Peclet Number)
P_V	=	ปริมาตรของรูพรุน

R	=	ค่าคงที่ของก๊าซ
	=	0.082 ลิตร บรรยากาศ โมล ⁻¹ องศา ⁻¹
	=	82.05 ลบ.ซม. บรรยากาศ โมล ⁻¹ องศา ⁻¹
$R \wedge 2$	=	สัมประสิทธิ์ของการตัดลิ่มใจพหุคูณ
R_b	=	อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่อปริมาตร, กรัมโมล/วินาที ลบ.ซม.
Re	=	ตัวเลข เรย์โนลด์ (Reynold Number)
R_o	=	อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ปรากฏต่อหน่วยปริมาตร, กรัมโมล/วินาที ลบ.ซม.
$R_{y.x}$	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน
R.D.S.	=	ขั้นกำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา
SA	=	พื้นที่ผิวของตัวรองรับ
S_{BET}	=	พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีการของ BET , เมตร ² /กรัม
S_R	=	องศาการรวมตัว
$S_{y.x}$	=	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการกะประมาณ
$S_{y.x}^2$	=	ความแปรปรวน
SSE	=	ผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาด (Sum of Square Error)
SSR	=	ผลรวมของกำลังสองของสมการเส้นถดถอย (Sum of Square Regression)
SST	=	ผลรวมของกำลังสองทั้งหมดของส่วนเบี่ยงเบน (Sum of Square Total)
T	=	อุณหภูมิ
T_A	=	อุณหภูมิจริงๆ ที่เตาปฏิกรณ์เคมี
T_b	=	อุณหภูมิของก้อนของไหล
T_E	=	อุณหภูมิที่ถือว่าก๊าซผสมอยู่ในสภาวะสมดุล
T_s	=	อุณหภูมิที่ผิวภายนอกของอนุภาค
T_w	=	อุณหภูมิที่ผนังเตาปฏิกรณ์เคมี
T.F.	=	ตัวประกอบเวลา (Time Factor)
	=	$W/F =$ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราเร็วของก๊าซ , กรัม-ชั่วโมง/โมล
V	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volumetric flow rate) , ลบ.ซม./วินาที

W	=	น้ำหนักของตัว เร่งปฏิกิริยา, กรัม
X	=	การเปลี่ยนรูป (Conversion)
X'	=	อัตราเร็วของปฏิกิริยา, โมล/กรัม ชั่วโมง
X_L	=	ระยะทางที่ของเหลวทะลุทะลวงในเวลา t
X_{Ni}	=	% โดยน้ำหนักของนิเกิลในสภาพที่ถูกรีดแล้ว
Z	=	ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาบนตัว เร่งปฏิกิริยา
a_m	=	ค่าพื้นที่ผิวภายนอกของตัว เร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับการถ่าย เทวมวล ต่อหน่วยน้ำหนักของอนุภาค, ซม. ² /กรัม
d_B	=	ความหนาแน่นเชิงก้อน (Bulk Density), กรัม/ลบ.ซม.
d_G	=	ความหนาแน่นเชิงเม็ด (Grain Density), กรัม/ลบ.ซม.
d_{Ni}	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคนิเกิล, นาโนเมตร
d_p	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของตัว เร่งปฏิกิริยา (กรณีเป็นทรงกลม) หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค, ซม.
h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซและอนุภาค, กรัมแคลลอรี่/วินาที ซม. ² .ซ (heat transfer coefficient between gas and particle)
hc	=	สารประกอบไฮโดรคาร์บอน
j_d	=	ตัวประกอบ j สำหรับการถ่าย เทวมวล
j_h	=	ตัวประกอบ j สำหรับการถ่าย เทความร้อน
k	=	ค่าคงที่ของอัตรา เร็วของปฏิกิริยา
k_A	=	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาสำหรับการดูดซับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนบนตัว เร่งปฏิกิริยา
k_B	=	ค่าคงที่ของโบลแมน (Boltzman Constant)
k_c	=	สัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวล (Mass Transfer Coefficient) .ซม./วินาที
k'_d	=	ค่าคงที่ของการคายตัวในไอโซเทอร์มของแลงเมียร์
k_e	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนประสิทธิผล (Effective Thermal Conductivity) ,กรัมแคลลอรี่/วินาที ซม. .ซ
$k_{F,i}$	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหลชนิด i , กรัมแคลลอรี่/วินาที ซม. .ซ
k_G	=	สัมประสิทธิ์การถ่าย เทมวล (Mass Transfer Coefficient) ,กรัมโมล/วินาที ซม. ² .บรรยากาศ
k_H	=	ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการแตกตัวของแรดิคอลที่ถูกดูดซับบนตัว เร่งปฏิกิริยา

k_i	=	ค่าคงที่ของอัตราเร็วปฏิกิริยาไปข้างหน้าของปฏิกิริยา i
k_{-i}	=	ค่าคงที่ของอัตราเร็วปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยา i
k_r	=	ค่าคงที่ของอัตราเร็วสำหรับการเกิดก๊าซซีไฟ
r	=	รัศมีของรูพรุน
r_A	=	อัตราเร็วของปฏิกิริยา A , กรัมโมล/กรัม.วินาที
r_p	=	รัศมีของตัวเร่งปฏิกิริยา (กรณีเป็นทรงกลม) หรือรัศมีของอนุภาค, ซม.
r_r	=	รัศมีของเตาปฏิกรณ์เคมี, ซม.
r_{sp}	=	ความว่องไวเชิงปฏิกิริยาเฉพาะ (Specific Activity)
x_s	=	อัตราส่วนไอน้ำต่อคาร์บอน
u	=	ความเร็วของก๊าซ, ซม./วินาที
v_B	=	ปริมาตรเชิงก้อน (Bulk volume), ลบ.ซม.
v_G	=	ปริมาตรเชิงเม็ด (Grain volume), ลบ.ซม.
ϵ	=	สัดส่วนของช่องว่างในชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา
$\epsilon_{c,i}$	=	ค่าลักษณะของพลังงานของโมเลกุล i (Characteristic Energy)
μ	=	สัมประสิทธิ์ของความหนืด, กรัม/ซม./วินาที
ρ	=	ความหนาแน่นของของไหล, กรัม/ลบ.ซม.
ν	=	ความถี่สั่นสะเทือนของตัวถูกดูดซับ
δ	=	พารามิเตอร์ไม่มีหน่วยของสต็อกแมร์ (Dimensionless Parameter of Stock Mayer)
Ω_v	=	อินทิกรัลของการชน (Collision Integral)
θ	=	สัดส่วนพื้นที่ผิวหน้าตัดอิสระ (free cross section)
θ_i	=	สัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลหรืออะตอมของตัวถูกดูดซับ i ชั้น หรือ ชนิด i
τ	=	ตัวประกอบเสี้ยวลด (Tortuosity factor)
σ	=	แรงดึงผิว
$\sigma_{P,AB}$	=	ค่าคงที่ของแรงสำหรับ เลนนาร์ด-โจน ของคู่ของโมเลกุล (Lennard-Jone force Constant for the binary)

ศัพท์ทางวิชาการ

- การกระจายของโลหะ (Metal Dispersion)
 - อัตราส่วนของจำนวนอะตอมที่ผิวของผลึกโลหะต่อจำนวนอะตอมทั้งหมดในผลึกโลหะนั้น
- การซึม (Impregnation)
 - การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบหนึ่งโดยให้เกิดการดูดซับของสารละลายในรูพรุนของตัวรองรับ
- การตกตะกอน (Precipitation)
 - การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบหนึ่งโดยใช้สารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสารใหม่ตกลงมา
- การเปลี่ยนรูปของมีเทน (Conversion of Methane)
 - อัตราส่วนของจำนวนโมลของมีเทนที่ทำปฏิกิริยาไปต่อจำนวนโมลของมีเทนที่ป้อนเข้าไป
- การเผาที่อุณหภูมิสูง (Calcination)
 - เป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการให้ความร้อนแก่เกลือโลหะเพื่อเปลี่ยนรูปของเกลือโลหะให้เป็นโลหะออกไซด์
- การรวมตัวเนื่องจากความร้อน (Sintering)
 - การที่ผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อได้รับความร้อนมากขึ้นจะเกิดการรวมตัวกันของผลึกซึ่งจะมีผลทำให้การกระจายของโลหะลดลง
- ความถี่เทอนโอเวอร์ (Turnover Frequency)
 - จำนวนโมเลกุลของสารเข้าทำปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาไปต่อตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาต่อเวลา
- ความเป็นพิษ (Poison)
 - ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความว่องไวเชิงปฏิกิริยาลดลงอันเนื่องจากมีสารแปลกปลอมบางอย่างเข้าไปดูดซับทางเคมีบนตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาลดลง
- ตัวประกอบเวลา (Time Factor)
 - อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการไหลของสารเข้าทำปฏิกิริยา

- ตัวรองรับ (Promotor)
 - เป็นสารชนิดหนึ่งที่ใช้ประกอบร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้น
- ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)
 - เป็นสารเคมีที่เดิมเข้าไปในปฏิกิริยาในปริมาณที่น้อยแต่ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเร็วขึ้นโดยที่ตัวเองไม่เปลี่ยนแปลง
- ตัวเลขเทอนโอเวอ (Turnover Number)
 - จำนวนโมเลกุลของสารเข้าทำปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาไปต่อตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาต่อเวลา
- เตาปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Reactor)
 - เตาปฏิกรณ์เคมีชนิดหนึ่งให้ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่กับที่แล้วให้สารเข้าทำปฏิกิริยาผ่านเข้ามาทางด้านบน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นลงมาทางด้านล่าง
- ปริมาตรของรูพรุน (Pore Volume)
 - ปริมาตรของช่องว่างหรือรูพรุนภายในตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับ
- พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Total Surface Area of Catalyst)
 - พื้นที่ผิวทั้งหมดที่มีอยู่ภายในตัวเร่งปฏิกิริยาต่อหน่วยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา
- พื้นที่ผิวที่เป็นตำแหน่งเกิดปฏิกิริยา (Activated Surface Area of Catalyst)
 - พื้นที่ผิวภายในตัวเร่งปฏิกิริยาเฉพาะตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ต่อหน่วยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา
- โพรโมเตอร์ (Promotor)
 - สารที่เติมลงในตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยปริมาณที่ค่อนข้างน้อยแต่ช่วยเพิ่มความว่องไวในเชิงปฏิกิริยา, ทางเลือกของปฏิกิริยาและความคงตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา
- อุณหภูมิแทมแมน (Tammann Temperature)
 - อุณหภูมิที่โครงผลึกเริ่มเกิดการเคลื่อนที่
- อุณหภูมิฮัททิก (Huttig Temperature)
 - อุณหภูมิที่อะตอมที่ผิวของโครงผลึกเริ่มเคลื่อนที่

- ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption Isotherm)
 - ปราบกฎการดูดซับที่สภาวะอุณหภูมิคงที่
- ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)
 - ปราบกฎการที่เส้นโค้งการดูดซับไม่ทับเส้นโค้งการคายตัว โดยเส้นโค้งการคายตัวอยู่สูงกว่าเส้นโค้งการดูดซับ เมื่อกำหนดความดันสัมพัทธ์ให้

ประวัติ

นายศิริพล คุณาริพงษ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ในปีการศึกษา 2523 จาก
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

