

J.R. Rostrup-nielsen J. Sehested, J.K. Norskov "Hydrogen and Synthesis Gas by Steam- and CO2 Reforming", *Adv. Catal.* 47 (2002) 65-139

1.

positive, zero, negative가 . - 가 가  
positive  
가 ,  
negative  
500 °C 20 bar H2O/CH4 2.5 ,  
, 1% 12 °C 가  
furnace 가  
furnace  
100 - 150 mm , 10 - 13 m  
450-650 °C 가 800-950 °C  
300,000 Nm<sup>3</sup> 가  
average heat flux ,

(0.12 MW/m<sup>2</sup>) average heat flux 100,000 kcal/m<sup>2</sup>/h  
 95 %  
 50% 가  
 가 가 가  
 가 가  
 가  
 가  
 가  
 (prereformer)가  
 650 °C 가 가

2.

8  
 450-950 °C 30 bar  
 가  
 가 300 °C  
 H<sub>2</sub>O/CH<sub>4</sub> = 4, H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub> = 10, = 1bar, = 450  
 °C, 0.5 s<sup>-1</sup> turnover frequency  
 80000 vol CH<sub>4</sub>/vol of catalyst/h 10%  
 10% Effectiveness  
 factor  
 가  
 가  
 가  
 가  
 가  
 foam, monolith

가 , 가 .  
 ,  
 , (T<sub>CM</sub>)  
 , (T<sub>w</sub>) .

*Transferred Heat = Reaction heat + sensible heat*

$$\frac{4}{d_i} U (T_w - T_{CM}) = \Delta H \cdot r_v + u_s \rho_g c_p \frac{dT}{dz}$$

3.  
 8 , 가  
 . 가  
 CoMo .  
 . H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub>  
 가 . 8  
 .  
 가  
 가  
 downstream  
 가  
 , driving force가 .

4.  
 가 , < 1>  
 . < 2> 가  
 (“gum”) . kerosene ,  
 , gas oil gum

. Gum

“pyrolytic coke”

. Whisker carbon

< 1 >

Reaction	$-\Delta H_{298}^{\circ}$ (kJ/mol)
1. $\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$	-75
2. $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$	172
3. $\text{CO} + \text{H}_2 = \text{C} + \text{H}_2\text{O}$	131
4. $\text{C}_n\text{H}_m = n\text{C} + m/2 \text{H}_2$	-188 <sup>a</sup>
5. $\text{C}_n\text{H}_m = \text{olefins} = \text{coke}$	
6. $\text{C}_n\text{H}_m = (\text{CH}_2)_n = \text{gum}$	

<sup>a</sup> for n-C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>

< 2 >

Carbon type	Reaction ( 1)	Phenomena	Critical parameters
Gum	6	Blocking of Ni surface	Low H <sub>2</sub> O/C ratio, absence of H <sub>2</sub> , low temperature, presence of aromatics
Whisker carbon	1-4	Breakup of catalyst pellet	Low H <sub>2</sub> O/C ratio, high temperature, presence of olefins, aromatics
Pyrolytic coke	5	Encapsulation of catalyst pellet, deposits on tube wall	High temperature, residence time, presence of olefins, sulfur poisoning

Whisker carbon

가

(pear)

. Whisker carbon

가 ,

가

가

가

가 , , 가  
가 . 가 가  
. Whisker carbon graphite 가 , 가  
가 . Whisker carbon graphite  
. Whisker carbon  
“octopus”