

스팀 개질 플랜트의 동적 모사에 관한 연구

오 세천, 여 영구
한양대학교 화학공학과

A Study on the Dynamic Simulation of Steam-Reforming Plant

Sea Cheon Oh, Yeong Koo Yeo
Dept. of Chem. Eng., Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

서론

탄화수소 가스와의 스팀을 이용하는 스팀 개질 공정은 정유 산업에 있어서 수소 생산의 주공정으로서 점차 증가되고 있는 수소의 요구량 만큼이나 관심이 증가되고 있으며 대부분의 경우 스팀 개질 공정으로부터의 폐열을 활용하기 위하여 스팀 보일러를 함께 운전하고 있다. 수소는 촉매로 가득차있는 튜브반응기에서 메탄과 스팀의 반응을 통하여 생산된다. 많은 수소 생산 공정에서 스팀 개질 공정은 유입되는 탄화수소의 조건 변화와 생산량의 변화 또는 온도 등과 같은 외란에 의하여 많은 영향을 받고 있으며 이러한 변화는 스팀 개질 공정의 다음 공정인 스팀 보일러의 액위 변화를 초래하기도 한다. 현재 대부분의 경우 스팀 개질 공정은 캐스캐이드 제어기를 이용하여 생산 가스의 출구 온도를 일정하게 유지시키고 있다.

최근 컴퓨터 성능의 향상과 각종 측정 장치 및 자료 처리장치의 대두로 고급 제어 이론의 활용이 활발히 진행되고 있다. 그러나 이러한 고급 제어의 활용에 있어서는 대상 공정의 동적 거동에 관한 정확한 모델링과 검증은 필요로 하게 된다. 따라서 본 연구의 목적은 스팀 개질 플랜트를 보다 정확히 표현할 수 있는 모델을 규명하여 고급 제어기의 활용에 필요한 동적 모사기를 개발하는데 있다.

이론

스팀 개질 공정의 튜브 반응기내에서의 반응은 다음과 같이 일어난다고 가정할 수 있다.

Reforming :



The overall reaction :



Watershift :



스팀 개질 공정에서의 생산 가스의 출구 온도와 전화율 및 스팀 보일러의 액위 변화를 나타내는 동적모델식은 다음과 같이 나타내 질 수 있다.

$$M_c = 0.666 - 0.1Z/Z_T \quad (2)$$

Conversion :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = v \left[\frac{A_i}{379[n\text{CHA}]} - \frac{k_2}{((\text{H}_2)_o + 1 + S/C + 2X)} \right] [K_2(1-X)]$$

$$(S/C - X - M_c X)^2 - \frac{((H_2)_o + 3X + M_c X)^4 M_c X}{((H_2)_o + 1 + S/C + 2X)^2 P^2} - \frac{\partial X}{\partial Z}] \quad (3)$$

여기서 A_1 은 튜브 반응기의 내부 표면적을 k_2 와 K_2 는 반응 속도 상수와 반응 평형 상수를 각각 나타내며 S/C , $(H_2)_o$, $[nCH_4]$ 및 F 는 스팀과 탄화 수소량의 초기 비율, 초기의 수소 주입량, 메탄에 상당하는 탄화 수소량 및 스팀 개질 반응기의 내부 압력을 각각 나타낸다.

Temperature :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = v \left[\frac{(-\Delta H_1)}{SC_p} \frac{\partial X}{\partial Z} + \frac{(-\Delta H_3)}{SC_p} \left[M_c \frac{\partial X}{\partial Z} - (0.1/Z_T) X \right] + \frac{\pi D_i h_i (T_i - T)}{[nCH_4] SC_p} - \frac{\partial T}{\partial Z} \right] \quad (4)$$

여기서 ΔH 는 식(1)의 반응열을 나타내며 D_i , h_i , C_p 는 튜브 반응기의 내부 직경과 열전달 계수 그리고 가스 혼합물의 비열을 각각 나타낸다. 또한 T_i 는 튜브 반응기의 내벽온도를 나타낸다.

Water level :

$$\frac{d(\rho_L V_L)}{dt} = (\rho_1 F_1 - W_w) + \left(\frac{V_L}{t}\right) (a_1 \Delta F_w + a_2 \Delta Q_H + a_3 \Delta T_1 + a_4 \Delta P_d) \quad (5)$$

$$V_L = \frac{(VL)}{100} \quad (6)$$

여기서 L 은 보일러 내부 액위의 백분율을 그리고 V 는 보일러의 체적을 각각 나타내며 ΔF_w , ΔQ_H , ΔT_1 및 ΔF 는 보일러로 유입되는 유량 및 열량의 변화 그리고

유입수의 온도의 변화와 보일러 이후의 공정에서의 압력변화를 각각 나타낸다. 또한 상수 a 는 실제 공정의 운전자료로부터 계산된 값으로 모델과 실제 공정간의 오차를 보정해 주는데 사용된다.

모사실험

본 연구에서 제안한 스팀 개질 공정의 동적 모사기의 건설성을 확인하기 위하여 먼저 스팀 개질 반응기의 생산 가스의 출구 온도와 전화율을 문헌상의 값과 비교하여 표 1에 나타내었다. 표 1로부터 본 연구에서 개발한 동적 모사기의 결과와 문헌상의 값과 거의 일치함을 알 수 있었다. 그림 1,2에는 유입 연료 가스의 유량 변화에 따른 시간별 생산 가스의 출구 온도와 전화율의 변화를 각각 나타내었다. 그림 3에는 튜브 반응기의 길이에 따른 온도와 전화율의 변화를 나타내었다. 또한 스팀 보일러의 동적 모사기의 건설성을 확인하기 위하여 유입유량의 변화와 스팀 개질 공정으로부터의 공급 열량의 변화에 따른 스팀 보일러내의 액위 변화를 그림 4에 나타내었다.

Capacity	문헌상의 값(°F)	동적모사기로 부터의 예측값(°F)
58%	1455.5	1451.09
100%	1413.0	1412.02

결과 및 토론

본 연구에서는 스팀 개질 플랜트를 보다 정확히 표현할 수 있는 모델식을 규명 하였고 고급 제어의 활용에 필요한 동적 모사기를 개발하였다. 실제적인 제

어 응용 가능성을 확인하기 위하여 모사 실험을 한 결과 양호한 모사 결과를 얻을 수 있었으며 또한 우수한 제어기의 설계를 위해서는 스팀 개질 플랜트의 비선형성을 보다 정확히 표현할 수 있는 모델링 연구가 선행되어야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Alatiqi, I. M., A. M. Meziou and G.A. Gasmelseed : *Int. J. Hydrogen Energy* **14**, 241(1989)
2. Alatiqi, I. M. : *Int. J. Hydrogen Energy* **15**, 179(1990)
3. Alatiqi, I. M., A. M. Meziou : *Comput. Chem. Eng.* **15**, 147(1991)
4. Alatiqi, I. M., A. M. Meziou : *Comput. Chem. Eng.* **16**, 51(1992)
5. Luyben, W. L. : *Process Modelling, Simulation and Control for Chemical Engineers*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York(1991)
6. Ramirez, W. F. : *Computational Methods for Process Simulation*, Butterworth Publishers, (1989)
7. Murray A. P. and T. S. Snyder : *Ind. Engng Chem. Process. Des. Dev.*, **25**, 286(1985)

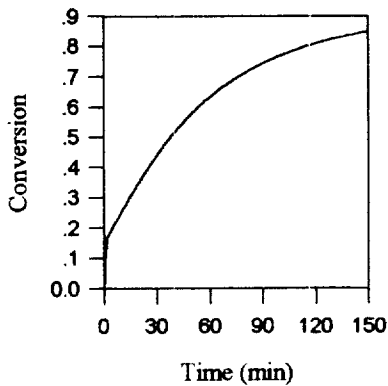


Fig. 1 Dynamic response of methane conversion

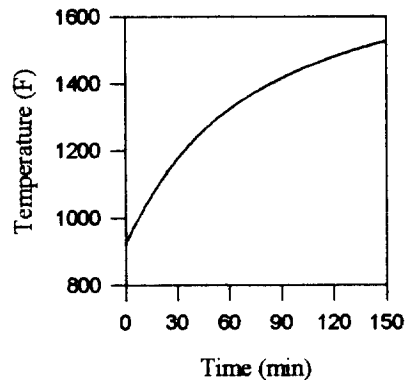


Fig. 2 Dynamic response of product gas temperature

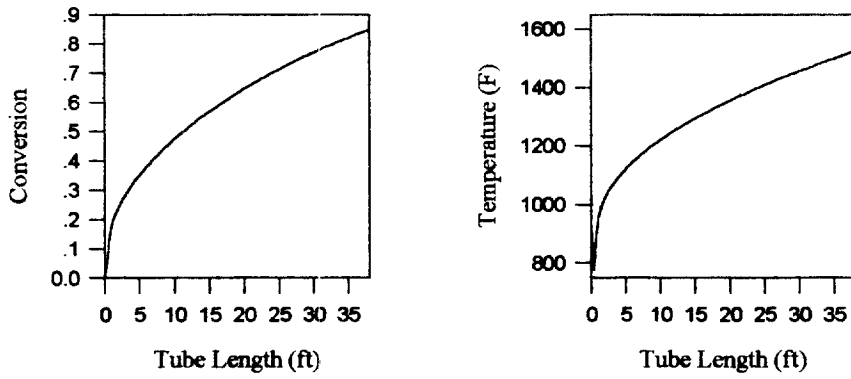


Fig. 3 Methane conversion and temperature profile on the reformer tube length at 5% positive step change in fuel gas rate

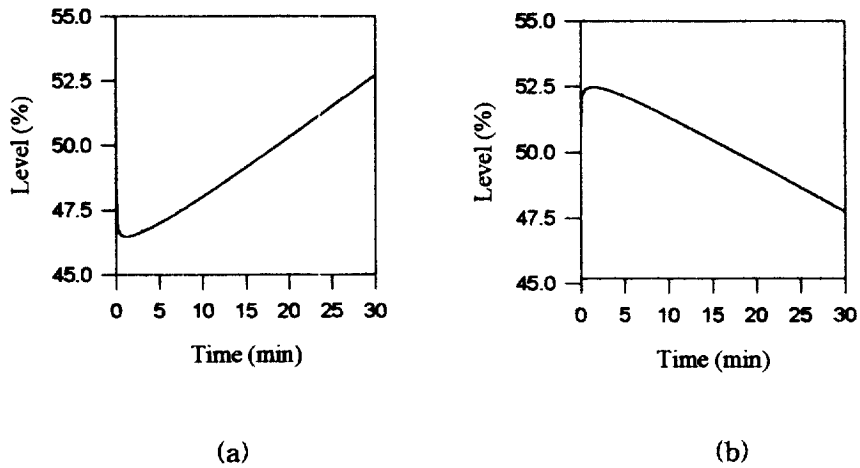


Fig. 4 Dynamic response of level at 5% positive step change in BFW(a) and heat input(b)