

# Microstructured Reaction System

한국에너지기술연구원  
이승재

화학공정에 있어 반응기는 매우 중요한 부분을 차지함에 따라, 반응기의 설계와 최적화에 많은 연구를 해오고 있다. 여기에 화학반응공학을 바탕으로 하여 혁신적인 개념의 반응기들이 지속적으로 개발되어지고 있다. 이러한 새로운 개념의 반응기들 중의 하나가 바로 microstructured 반응기 혹은 microengineered 반응기이며 여기서는 간단히 마이크로 반응기로 부르기로 한다. 이들 반응기들은 부분적으로라도 microtechnology와 precision engineering에 의해 제작되어지며, 수 마이크로에서 수백 마이크로까지의 범위의 마이크로 구조를 가지게 된다. 하지만 전체적인 반응기의 크기가 반드시 작을 필요는 없다.

마이크로 반응기 제작에 있어 주된 기술이 바로 microfabrication이며, 이 기술의 여러 공정들은 반도체 칩 산업의 발달과 함께 개발된 실리콘 미세가공 기술분야로부터 도입되었다. 그래서 마이크로 반응기의 제작이 실리콘 위주로 많이 개발되어졌으나, 지속적인 마이크로 기술의 발달로 그 한계가 많이 줄어들고 있어, 현재는 금속, 세라믹, 플라스틱 등을 이용한 microfabrication이 이루어지고 있다.

마이크로 반응기는 새로운 형태의 장치이며, 이에 따라 새로운 설계 개념이 필요하다. 마이크로 단위에서는 지배하는 힘이 다르기 때문에 다양한 제작기술의 가능성과 제작기술의 한계 등을 고려하여, 적절한 유체를 제어 방법을 모색하여야 한다. 또한 촉매 반응기의 경우에는, 가루형태의 촉매를 바로 사용할 수는 있지만, 좀 더 나은 반응 성능을 위해서 촉매를 어떤 식으로 마이크로 구조 내에 도입할 것인가에 대해 생각해 볼 필요가 있다.

마이크로 반응기는 기존의 장치에서는 구현하기 어렵거나 할 수 없었던 온도-농도-압력 범위에서 운전을 가능하게 함으로써, 새로운 공정과 화학 합성 개발의 기회를 제공하고 있다. 마이크로 반응기가 마이크로 구조를 가짐에 따라 농도와 온도의 구배 뿐만 아니라 부피에 대한 표면적이 증가되면서, 접촉면 간의 에너지와 물질의 전달량이 크게 증가한다. 또한 분자들을 시공간적으로 제어함으로써 원하는 결과물을 더 잘 얻을 수 있으므로, 결과적으로 전환율과 선택성 향상을 통해 경제

적이고 친환경적인 공정을 개발할 수 있다.

폭발 등의 위험한 화학물질 생산에 있어서, 마이크로 반응 기술은 더욱 빠른 공정 제어를 가능하게 하여 안전성을 크게 향상시킨다. DuPont 사는 마이크로 구조로 제작된 장치에서 isocyanates, phosgene과 hydrogen cyanide 생산을 시험하였다. BASF와 CRL 등의 회사에서는 마이크로 반응 기술을 적극 검토하였다. 현재 Axiva, Bayer, Clariant, Degussa, Merk, UOP 등 여러 회사들이 마이크로 반응 기술에 다양하게 참여하고 있다. 상업적인 관심 또한 크게 증가하고 있는데, 이는 관련분야의 특허 건수 증가로 증명될 수 있다. 한편, 이미 마이크로 반응 기술 관련 학회가 6개나 개최되고 있으며, 수많은 관련 review 논문들이 발표되고 있다. 독일의 IMM사의 Hessel 과 Löwe 등은 최근 관련 기술에 대한 저서를 펴내기도 하였다. 초기 이 기술에 대한 회의와 각광은 이제 마이크로 반응 기술의 장점과 한계를 인식하고 이해함으로써 점차 현실적인 기대로 돌아서기 시작하였다. 따라서, 산업적 연구 결과가 제한적으로 발표되고 있기는 하지만, 이제 학문적 호기심에서 실제 응용을 위한 마이크로 반응기의 개발로 향하고 있다.

마이크로 반응기의 상업적 응용 예들 중 하나는 자동차나 전자기기에 전력 공급원으로 사용될 연료전지에서 탄화수소의 수증기 개질 반응을 이용한 수소연료 공급 장치이다. 카시오에서 개발된 랩탑용 메탄올을 연료로 하는 수소공급 장치는 기존의 리튬 이온 전지에 비해 4배 더 수명이 긴 20시간의 작동시간을 보이고 있다. Pfeifer et al.과 Zapf et al.은 이 분야의 메탄올 수증기 개질과 관련하여 논문을 발표하였으며, Mauer 와 Renken, Steinfeldt et al., Rebrov et al. 등은 고온 가스 반응용 마이크로 반응기에 대해 조사하였다. Wan et al., Antes et al. 등은 액상 epoxidation과 nitration 반응을 위한 반응기 설계에 대해 보고하였고, Trippa와 Jachuck는 마이크로 채널 반응기에서 고체 입자 생성 반응이 효과적으로 일어날 수 있음을 보였다. 앞의 모든 논문들이 압력에 의해 유체 흐름을 유도한 반면, MacInnes et al. 은 electro-osmotic flow의 사용이 유리할 수 있음을 조사하였다.

위의 내용은 Chemical Engineering Research and Design, "Reaction Engineering: Microstructured Reactors" Volume 81 Number 7 August 2003 에 실린 Dr Asterios Gavriilidis의 editorial을 번역하고 일부 내용을 첨삭하였다. 또한 수록된 논문의 목차는 다음과 같다.

## **Chemical Engineering Research and Design**

*Reaction Engineering: Microstructured Reactors*

Volume 81 Number 7 August 2003

### Editorial

**Special Topic Issue - Reaction Engineering Microstructured Reactors** 709

Dr Asterios Gavriilidis

### Special Papers

**Electrically Heated Microreactors for Methanol Steam Reforming** 711

P. Pfeifer; K. Schubert; M.A. Liauw; G. Emig

**Detailed Characterization of Various Porous Alumina-based Catalyst Coatings Within Microchannels and Their Testing for Methanol Steam Reforming** 721

R. Zapf; C. Becker-Willinger; K. Berresheim; H. Bolz; H. Gnaser; V. Hessel; G. Kolb; P. Löb; A.-K. Pannwitt; A. Ziogas

**Dehydrogenation of Methanol to Anhydrous Formaldehyde in a Microstructured Reactor System** 730

R. Maurer; A. Renken

**Application of Multichannel Microreactors for Studying Heterogeneous Catalysed Gas Phase Reactions** 735

N. Steinfeldt; N. Dropka; D. Wolf; M. Baerns

**A Kinetic Study of Ammonia Oxidation on a Pt Catalyst in the Explosive Region in a Microstructured Reactor/Heat-exchanger** 744

E. V. Rebrov; M. H. J. M. de Croon; J. C. Schouten

**1-pentene Epoxidation in Titanium Silicalite-1 Microchannel Reactor: Experiments and Modelling** 753

Y. S. S. Wan; A. Gavriilidis; K. L. Yeung

**Analysis and Improvement of Strong Exothermic Nitrations in Microreactors** 760

J. Antes; D. Boskovic; H. Krause; S. Loebbecke; N. Lutz; T. Tuercke; W. Schweikert

**Process Intensification: Precipitation of Calcium Carbonate Using Narrow Channel Reactors** 766

G. Trippa; R. J. J. Jachuck

**Dynamics of Electroosmotic Switching of Reacting Microfluidic Flows** 773

J. M. MacInnes; R. W. K. Allen