

化学反応器の制御

樽 田 栄 一*

化学反応の熱的特性としては、化学反応が起こる際に熱の発生あるいは吸収を伴うこと、化学反応の速さは温度が上昇すると急激に増加することなどをあげることができる。したがって、発熱反応では、反応に伴って発生した熱によって反応流体の温度が上昇し、反応の速度が速くなるとともに熱の発生速度が大きくなり、一層反応の速さが増すことになる。一旦このような循環が発生すると、つぎつぎ繰り返され、ついには化学反応が爆発的に進む状態にまでなる。数年前、日本各地の石油化学工場で爆発事故が相ついで起こったことがあるが、これらの事故のうちには、このような循環が発生したことによるものもあったと聞いている。

それでは、化学反応の速さをわれわれの思うままに調節（制御）するにはどのような方法があるだろうか。この問題に対する最も簡単な答は、反応が起こっている部分（一般には反応器）を冷却することである。たとえば反応器の外側にジャケットを付け、これに冷却水を流すことが考えられる。これまで多くの化学反応プロセスではこの原理が応用されてきた。しかしこのような方法では除去された熱がそのままプロセス外へすてられてしまうことだとか除去される熱は反応器の壁を通して伝わるために温度の制御におくれがさけられないことなどの欠点がある。そこで、われわれは直接反応器の内部で何らかの吸熱現象を起こさせることによって熱を吸収し、温度を制御できないものかを検討し、つぎのような方法のあることに着目した。

(i) 反応生成物の蒸発：たとえば酸塩化物とアルコールからエステルをつくるアシル化反応では、化学反応は発熱反応であるが、反応によって副生する塩化水素が反応液から放散するとき吸熱を伴う。副生物を除去する工程は、反応工程後にどうしても必要であるが、これを反応

工程と組合せて行うことができることになる。

(ii) 反応溶媒の蒸発：たとえば液相の炭化水素中に触媒を混合し、空気あるいは酸素を気泡として吹込み、炭化水素を酸化する反応工程では溶媒として揮発性の物質を利用し、その蒸発熱によって反応に伴って発生した熱を除去することができる。

(iii) 吸熱反応の併発：たとえばアルコールを脱水素することによってアルデヒドあるいはケトンをつくることができる。このとき酸素を供給すると目的生成物と水ができる酸化脱水素反応が起こる。この反応は発熱反応である。これに対して、目的生成物と水素ができる脱水素反応では目的生成物と水素ができる。この反応は吸熱反応である。両反応を組合せることによって、発熱反応に伴う発熱を吸熱反応によって吸収し、所定の反応温度を保つことができるとともに、間接的な伝熱過程が省略でき、直接エネルギーの回収が可能となる。

そこで、これまで反応工学の立場から研究されてきた工業反応速度論、反応操作論を基礎として、制御工学における安定性理論、最適化理論を応用することによって新しい反応装置制御方式を確立することを目指して研究を進めている。これまでの間接的、物理的な制御方式では、温度についての解析が重要であったのに対して、このような直接的、化学的方式による反応器制御では、温度とともに化学反応速度に極めて大きな影響をもつ物質の濃度についての解析をもあわせて行わなければならないことになる。また化学的な現象の特長である系の非線型性によって、解析が著しく複雑になってくる。しかし、直接的かつ化学的な方法によって反応器の温度制御を行うことができれば、最近とくに興味をもたれている化学工業プロセスのクロード化、化学反応工程の安全化、エネルギーの有効利用などの諸問題の解決に役立つところが極めて大きいと考えている。

* 樽田栄一 (Eiichi Kunugita), 大阪大学, 基礎工学部, 化学工学科教授, 工学博士, 化学プロセス工学