

界面不安定性により励起する表面波を用いた 液相への気体吸収の高効率化

代表研究者 石村 美紗
東京理科大学 工学部 機械工学科 嘱託助教

共同研究者 Georg F. Dietze
Université Paris-Saclay FAST (Fluides, Automatique et Systèmes Thermiques) 研究室
CNRS(フランス国立科学研究センター)研究員

研究要旨

産業革命以降、大気中二酸化炭素濃度の上昇が深刻な問題となっている。本研究では、落下液膜を用いた高効率な気体吸収技術に注目する。落下液膜は熱・物質移動の高効率化の手段のひとつであり、空気蒸留塔内部の充填構造物などで活用されている。液膜の表面には界面不安定性によって波が生じる。この表面波は涙滴状の主波とその前方に先行するキャピラリー波から構成され、液膜内部に起こる循環流が物質移動をよく促進することが知られており、実験的にも定量的に評価されている。さらに、液膜に向流気体流を与えることで波の振幅・気液界面積の増大、ならびに液膜内部の混合作用が促進されることも報告されている。しかし、これらが物質移動に及ぼす影響を実験的に定量評価した研究は報告されていない。また、向流気体流は波同士の合体や振幅の過剰な成長を引き起こし、流路内でフラッディングが生じる危険性がある。一方、理論解析では、ある条件下で気体流を課すと、フラッディングを回避しつつ高振幅を保ちながら振幅が周期的にわずかに変動する波列が小型流路において予測されており、物質移動を最大限に促進できる可能性が示されている。この波列の実験的実現が期待されているが、流路の小型化は側壁の影響が大きくなるため界面不安定性の安定化による表面波の減衰が危惧される。

そこで、本研究では表面波が発生し、向流気体流を課すことのできる小型傾斜流路を作製し、物質移動の定量的な評価を行った。また、同時に膜厚計測も行い、物質移動量の変化が液膜形状に起因するものであるかを確認した。流路幅 30 mm の流路で実験を行った結果、界面不安定性による表面波が発達することが確認できた。この流路を用いて物質移動の液体流量もしくは気体流量依存性を検証した。その結果、物質移動は液体流量および気体流量の増加に伴って向上する傾向が認められた。ただし、気体流量依存性については、ある流量以上になると下流で波同士の合体が生じ、物質移動がほぼ一定値となることがわかった。過剰な気体流はフラッディングの危険性も増すため、周期的な波列が維持できる流量に留める必要性が示唆された。液体流量依存性については大型流路の先行研究と定性的に一致するが、物質移動増加率は大型流路よりも平滑液膜の理論値に近く、小型流路では側壁近傍の濡れあがりに伴う液膜界面変形の影響が大きいことが明らかになった。今後 3 次元的な線形安定解析から小型流路での側壁の影響を検証する必要がある。