

微小重力下における極低温流体の挙動解明実験実施の検討

東北大学 小宮敦樹*, 円山重直 KAIST Sangkwon Jeong
Konkuk University Yunghwan Byun, Soohyung Park
Seoul National University Chongam Kim

Planning of Microgravity Experiments for Evaluation of Cryogenic Fluid Behavior

Atsuki Komiya^{1*}, Shigenao Maruyama¹, Sangkwon Jeong², Yunghwan Byun³, Soohyung Park³, Chongam Kim⁴

¹ Institute of Fluid Science, Tohoku University, 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-8577, Japan

² Korean Advanced Institute of Science and Technology, Korea

³ Konkuk University, Korea

⁴ Seoul National University

* email : komy@pixy.ifs.tohoku.ac.jp

Abstract : This paper describes the activity of collaboration research among Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Konkuk University, Seoul National University and Tohoku University. We are focusing on the behavior of cryogenic fluid under microgravity environment. The surface tension and wettability of cryogenic fluid become dominant factors for the estimation of fluid shape and its dynamic behavior under microgravity condition. By considering these thermophysical properties, we are planning to conduct microgravity experiment generated by parabolic flight of small aircraft. In this paper, the activities of the cryogenic research working group are briefly introduced and our final goals are explained.

Keywords ; Cryogenic, Surface tension, Liquid nitrogen, Micro-channel

1. はじめに

本報告は、韓国の韓国科学技術院 (KAIST) 建国大学 (Konkuk Univ.), ソウル国立大学 (SNU) と東北大学が行っている共同研究に関する活動と、今後の研究班ワーキンググループ組織化を含めた研究展開についてまとめたものである。当研究グループでは、液体窒素をはじめとする極低温流体の微小重力環境下での界面挙動解明研究を進めている。微小重力環境下では流体は通常重力場とは異なる挙動を示すことが既に知られており、極低温流体の気液界面を実験的に解明すべく、航空機の報物飛行を利用した微小重力実験の実施を計画している。本報では液体窒素を用いた微小重力実験の概要について紹介する。

2. 研究体制

微小重力環境下での極低温流体の用途としての一つに、ロケットの推進剤とその諸システムへの応用が挙げられる。極低温流体はこれらのシステムへの冷却を行う役割を担っており、その動的挙動を評価することは、システム設計上大変重要となってくる。韓国側では、すでに3機関 (KAIST, Konkuk Univ.,

SNU) が研究者レベルでの研究コミュニティを形成し、極低温流体の挙動解明に関する実験的・解析的研究を進めている。極低温流体の研究を専門としている研究者、推進剤の研究者、および二相流の数値計算を専門とする研究者が実験的・解析的研究を遂行している。これまでに通常重力下において諸実験を展開し、極低温流体の挙動解明をしてきたが、今後は微小重力環境下における挙動解明が必要となってくる。

一方、東北大学ではこれまでに微小重力環境下において流動評価実験を複数実行してきた^{[1][2]}。これらの技術を韓国側の研究コミュニティに融合することにより、新たな知見の創出を短期間に達成することができることから、新たに研究班ワーキンググループを組織し、活動を展開していくこととなった。当研究班ワーキンググループの体制を図1に示す。組織化に先立ち、本年度はこれまでの知見を生かし、微小重力環境下における極低温流体の諸挙動に関する問題点、特にロケット推進システムにおけるタンク内での挙動に関する問題点の抽出を行い、具体的な解決すべき点およびその方法を列挙した。

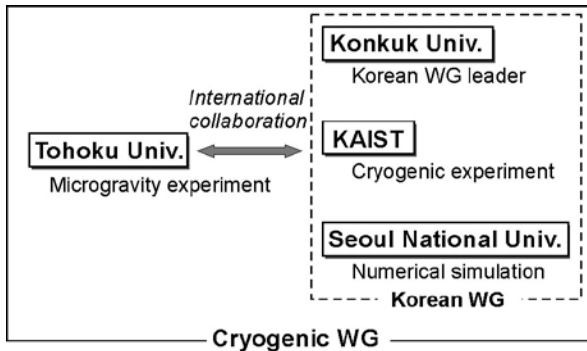


Fig. 1 Schematic of the framework of cryogenic research

3. 解決すべき問題点

一概に推進剤タンク内から推進剤を送り出すという単純な過程といえども、重力場と微小重力場では大きく異なる過程が必要となる。図2に微小重力環境下において、タンク内極低温流体を制御する際に必要となる解決すべき問題点をまとめた。これらのうち、特に重要と考えられる4問題点について焦点を絞り、研究を進めていくこととした。以下に各論を展開する。

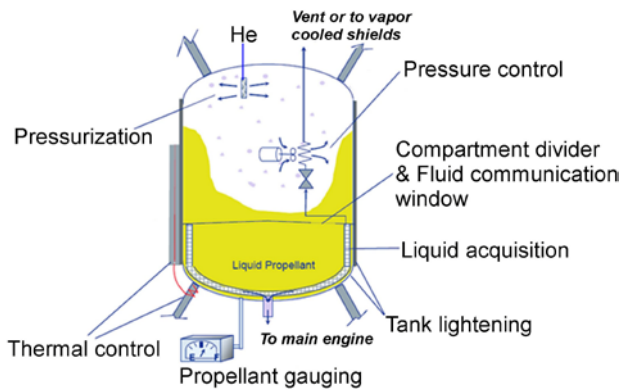


Fig. 2 Problems of propulsion tank under microgravity condition

3.1 タンク内圧制御 (Pressure control)

推進剤吐出の際にはタンク内圧を加圧することでメインエンジンへの推進剤供給を行う。その際に熱交換器を用いて、タンク内の温度を高精度制御し、間接的に内圧を制御するシステムを検討している。タンク内は対流熱伝達が起こらなく、温度分布が存在する中で高精度温度制御を行わなければならない。併せて ventilation system の検討も必要となり、例えば通気口の配置などを考慮しなければならない。

3.2 推進剤の位置制御 (Compartment divider)

極低温流体推進剤の表面張力により、タンク内では気液分離がなされなく、気液の分量により、液相内に気泡が存在するか気相内に液滴が存在する状態となる。この状態を通常重力場と同様な状態に保つために、気液分離技術を開発する必要がある。特に

極低温流体の物性値に関して評価していかなければならない。

3.3 推進剤排出法の検討 (Liquid acquisition)

メインエンジンへの推進剤供給のためには、供給口付近に推進剤をとどめておかなければならない。その方法の一つとして、液体のキャピラリー効果を利用した凝集・排出法を検討している。この際にも、「表面張力」や「濡れ性」等の微小重力環境下における液相の物性値を評価しなければならない。また、マイクロチャンネル内における極低温流体の挙動についても詳細検討していく必要がある。

3.4 推進剤残量の計測 (Propellant gauging)

先述したように、タンク内は気液分離がなされていなく、液面のレベル計測による残量計測は不可能である。そこで、タンク内気圧・温度から気相体積を導出し、間接的に推進剤の残量を推定する手法や、光学的な手法を導入することで残量を計測する手法など、複数の計測手法を検討していく必要がある。

4. 今後の活動の展開

本研究コミュニティは本年度に研究者レベルで形成され、今後は研究班ワーキンググループを形成し、先に提唱した問題点を解決すべく研究展開を図っていく予定である。研究メンバーは、実験実施研究者、数値シミュレーション実施研究者から構成され、多角的視点から極低温流体の挙動に関する研究を遂行できる体制となっている。今後はこれまでに立ち上げてきた極低温流体の挙動観察実験装置を、航空機を用いた微小重力実験に適用すべく装置改良を行い、早い時期での微小重力環境による挙動観察実験を実施する。併せて、得られた知見から数値シミュレーションを行い、極低温流体の微小重力環境下における総合的な挙動観察を実施していく。

5. おわりに

韓国側ですでに組織されている KAIST, Konkuk University, SNU 間での研究コミュニティ活動に東北大学が有する微小重力実験技術を展開することで、微小重力環境下における極低温流体の諸挙動を解明していく。今後、東北大学が中心となって日本側での JAXA 研究班ワーキンググループを立ち上げ、上記諸問題を解明するとともに、極低温流体を扱った流体工学に貢献しうる活動を展開していく。

参考文献

- [1] T. Arai et al., Proceedings of the International Symposium on New Applications of Water Jet Technology (1999), pp.71-76.
- [2] S. Maruyama et al., Experimental Thermal and Fluid Science **19** (1999), pp.34-48.