液体ヘリウムの輸送

田 中 聖 三

日本ヘリウム株式会社 横浜市鶴見区駒岡町 535

(1977年 8 月 23 日受理)

The Transport of Liquid Helium

Seizo TANAKA

Nippon Helium, Inc.

535 Komaoka-cho, Tsurumi-ku, Yokohama

(Received Aug. 23, 1977)

Synopsis :

This paper briefly reviews the transport of liquid helium— the history, the properties of containers, the procedures of transport, the related problems and the safety aspects.

1. はじめに

液体ヘリウムの輸送を広義に解釈すれば、ある離れた地域間の輸送のみでなく、容器から容器への移送やパイプラインによる輸送を含むものとなるが、ここでは商業的な船あるいはトラックによる長距離輸送に限定して、その歴史、容器の構造と取扱方法、輸送上の諸問題について概説してみたい。

2. 液体ヘリウム輸送の歴史

液体ヘリウム輸送の歴史は、1932年 6 月 3 日のライデンからロンドンへの空輸に始まるが、これが商業的な規模になるには、その後 30 年あまりの期間が必要であった。すなわちその間に、1940 年代のコリンズ型液化装置の開発、1950 年代の液体ヘリウム容器の量産、およびこれに平行するスーパーインシュレーションの発展とあいまって、アメリカ海軍や N. B. S. では液体ヘリウム輸送の研究が熱心に行われた。もっともこの研究の趣旨は、液体ヘリウムの輸送というより、むしろ効率的なヘリウムガスの輸送という意味が強かったのであるが、その結果がきわめて良好であったため、この方法が単に液体ヘリウムの輸送のみでなく、ヘリウムガスの輸送方法としても経済的であることが広く認められるようになってきたのである。やがて 1960 年

代になると、アメリカでは LINDE DIVISION (U. C. C.) が、1961 年には毎月 3,000 l の液体ヘリウムの供給を開始したが、これが 1965 年には全米で年間 2,000 kl に達し、これとともに輸送用の容器も 10,000 ガロンのセミトレーラーや 1,000 ガロンの空輸用容器、あるいは 4,000~8,500 ガロンの海上輸送用コンテナなどがあいついで開発され、液体ヘリウムの長距離大量輸送の時代が到来する。1970 年代に入ると、わが国においても海上輸送用コンテナによる液体ヘリウムの輸入が開始され、現在では高圧ガス容器(いわゆるボンベ)によるヘリウムガスの輸入にほとんどとって代わるようになった。

こうした歴史を通じて得られた技術と経験が今日の液体ヘリウム輸送を安全かつ確実なものにしたと言えるよう。

3. 液体ヘリウム輸送用の容器

液体ヘリウム輸送用容器は、目的地についたときのヘリウムの状態が液であるかないかによって、i) 開放容器、ii) 密閉容器の 2 種類に大別されるが、いずれも液体ヘリウムの沸点がきわめて低いために、その設計製作には高度の技術と経験が要求される。表 1 には、そのかんたんな対比を示した。

表 1 液体ヘリウム容器の種類

型 式	耐 圧 kg/cm ²	容 量 の 範 囲 1	断 熱 方 式 (高真空断熱併用)	内部の構成材料
開 放 容 器	1 ~ 3	5 ~ 100	液体窒素シールド	アルミニウム 銅
		25 ~ 1,000	ガスシールド	
密 閉 容 器	7 ~ 14	20,000 ~ 40,000	スーパーインシュレーション	ステンレス (プラスチック)
		2,000 ~ 4,000	ガスシールド	
		15,000 ~ 42,000	液体窒素シールド ガスシールド併用

図 1 開放型液体ヘリウム容器の構造

i) 開放容器*
液体ヘリウムを液としてのみ使用することを目的として製作されているので、容量も 5~1,000l 程度が多く、耐圧も低く、強度的にもさほど丈夫ではない。しかし輸送期間が 2, 3 日の場合には充分使用可能である。
断熱方式には a)液体窒素シールド, b) ガス・シールドの 2 種があり、それぞれ一長一短があるので、多少の使いわけが必要かも知れない。(図 1 参照)

a) 液体窒素シールド型

液体ヘリウムの入った内槽を、液体窒素の槽で囲み、毎日 10~15% 気化する液体窒素の気化潜熱によって侵入熱を減少させる方式であるが、①頸部で支えているだけなので、この部分が破損しやすい、②手まめに液体窒素を補給しないと液体ヘリウムのロスが急増する、③液体ヘリウムの容量に比べて、容器本体と液体窒素の重量が重く形も大きい、などの欠点がある。しかし、予冷がかんたんであり、5~100l の液体ヘリウムを輸送するには適している。

b) ガス・シールド型

スーパー・インシュレーション層で液体ヘリウム用内槽を囲み、層間に何枚かの上端を頸管に接触した銅

* vented container

やアルミのシールド板を入れ、気化するガスの寒冷を利用して侵入熱を減少させる方式である。

この方式には、①上部の支点とスーパー・インシュレーション層の両方で支持される形になるため、外力に対して比較的丈夫である、②形も小さく重量は充填後で液体窒素シールド型の半分程度である、などの利点があるため、蒸発率が液体窒素シールド型の2倍近くあるとか、予冷に長時間を要するなどの欠点があるにもかかわらず、次第に広く使われて来ている。現在100~1,000lの液体ヘリウム輸送には、この容器が使われることが多い。

ii) 密閉容器*

密閉容器は、液体ヘリウムを液としてもガスとしても使用したい場合に用いられる容器であり、しばしば定置式の貯槽としても使用されるため、容量も大きく、40,000lをこえるものも作られている。輸送期間も30日程度のものであるため、耐圧も高く、構造的にもある程度の強さを持っている。断熱方式によって、つぎのように別けられる。

a) スーパー・インシュレーション型

液体ヘリウム槽の周囲にスーパー・インシュレーションを巻いたもので、例としては20,000~40,000lのセミ・トレーラーがある。

b) ガス・シールド型

前述の開放容器の項で述べたものと同様な構造であり、大陸間空輸用の1,000ガロン(3,785l)容器がこの例である。(空輸時は絶対圧安全弁を付けている。)

c) 液体窒素シールド、ガス・シールド併用型

液体ヘリウム槽を液体窒素シールドとガスシールドで包んだ形式になっていて、図2のような構造である。

この種の容器は容量も15,000~42,000lと大きく、

図2 密閉型液体ヘリウムコンテナの構造

* nonvented container

今日の断熱技術の集大成の感すらある。30日程度の長期海上輸送にも耐えるので、現在アメリカから日本やヨーロッパへのヘリウム輸送は、すべてこの型の容器で国際コンテナ規格の枠組に架装したものが使われている。枠組の寸法は、8×8×20 ftと8×8×40 ftのものであり、蒸発量も1日当たり0.5%といわれている。

4. 液体ヘリウムの輸送

液体ヘリウムを充填した容器の輸送については、それぞれの国の関係諸法規によって規制され、日本でも高圧ガス取締法、一般高圧ガス保安規則の“移動”の基準のほか、輸送手段(船舶・自動車など)関連法規の規制も受け、現在は開放容器を使用した陸上のトラックによる輸送のみが一般に可能である。今後のヘリウム需要の増大を考えると、国内でのカーフェリーや航空機による輸送が可能になることを期待したいものであるが、ここでは法規制以外の留意事項について触れてみたい。

i) 積込・積降時

- 液体ヘリウムの液量を液面計で計測する。液体窒素シールド容器では、液体窒素を十分に補給する。
- 容器の外面に霜、水滴の付着の有無をチェックする。もしこうした現象が認められた場合は、容器の断熱不良と考えられるので、直ちに他容器への移し替えが必要となる。
- 安全弁の作動をチェックし、とくにブンゼンバルブについては、老化したゴム管を使わない。
- 容器はすべて高真空容器であるので、積込積降時には、ショックを与えないよう細心の注意をもって取扱わなければならない。積降時に8Gのショックがかかったという報告例もある。

ii) 輸送中

- 蒸発したヘリウムガスは空気と置換し酸欠状態となることがあるので、荷物室が密閉できる構造の車両を使ってはならない。
- 輸送中、容器にかかる外力は、容器を車両の荷台に固定した場合で垂直2G、その他1Gと言われるが、路面状況、速度、走行方法によっては、この値をこえることも充分考えられるので、容器に急激な振動やショックを与えないように最大の注意を払わなければならない。
- 定期的に停止し、安全弁からのヘリウムガスの流出を確認する。とくに輸送開始時には、内部の液体ヘリウムの揺動により一時的に内槽の温度が低

写真 3 1,000 ガロン (3,785l) 空輸用ガスシールド型容器

写真 4 15,000l 海上輸送用コンテナ

によって影響されることは当然であるが、一般的な言い方としては静置時の 2~4 倍と考えてよからう。

たとえば、ガスシールド型の 500l 容器を使用して液体ヘリウムを 1,500 km はなれた地域へ輸送した場合、高速道路と一般道路、高地と低地、雨天と晴天などで蒸発量に相当な差はあるが、平均値として見ると 1 日 10l 前後で静置時の 3 倍程度であった。

6. 液体ヘリウム輸送中の圧力上昇

前述のように、開放容器に液体ヘリウムを充填して輸送するときは、容器内のヘリウムの圧力は外圧と釣り合っているから、圧力は変動しても僅小であるが、アメリカから日本へ大容量コンテナで液体ヘリウムを輸送する場合や、国内輸送中でも容器の液注入取出口が空気や水分の逆流固化で閉塞した場合は、内部圧力の上昇が起る。図 3 には、15,000l の海上輸送用容器での圧力上昇傾向を示した。

7. おわりに

ヘリウムは無色、無味、無臭、無しげき性、不燃性のきわめて安定なガスであるので、比較的安易に取扱われる傾向があり、たしかにあらゆるガスのうちでももっとも安全なガスであるが、それ自体で呼吸を助け

ることはないし、さらに高压ガス容器に充填された状態では 150 kg/cm^2 の圧力をもっていることを忘れてはならない。とくに液体ヘリウムとしては 4.2K という極低温の液化ガスであるから、一般の低温液化ガス以上の注意が必要であるし、さらに接触した他の気体を液化あるいは固化させて容器を閉塞させることもあり、皮膚や眼に大きな被害を与えることもあるから、こうした特性を充分考慮して注意深く取扱うことが、今後その用途の拡大が予期されるだけに、一層必要かと考えられる。

参 考 文 献

- 1) L. E. Scott : Advances in Cryogenic Engineering 9 (1964) 379
- 2) H. M. Long : Liquid Helium Technology (IIR-Com. 1-1966) 187
- 3) R. C. Van Meerberke : Ibid. 303
- 4) G. C. Nubel and H. K. Hover : Ibid. 329
- 5) Technology of Liquid Helium (NBS Monograph 111-1968)
- 6) 田中 : 固体物理 5 (1970) 49
- 7) 早坂 : 冷凍 49 (1974) 18
- 8) Air Products & Chemicals, Inc. : Brochure "Helium" (1976)
- 9) 田中 : 低温工学協会冷凍部会講演集 (1976) 22