

# 600L급 LNG 차량 연료공급용 초저온 액중펌프 국산화개발에 관한 연구

김용길\*, 김도현\*, 이원영\*, 이종섭\*\*,#

\* (주)대호하이드로릭 기술연구소, \*\*한국승강기대학교 승강기공학부

## A Study of the Localization Development of Cryogenic Submerged Pump for the Fuel Supply system of 600-Liter-Grade LNG Vehicles

Yong Gil Kim\*, Do Hyun Kim\*, Won Young Lee\*, Chung Seob Yi\*\*,#

\*Daiho Hydraulics Co., Ltd

\*\*School of Lift Engineering, Korea Lift Collage

(Received 23 November 2020; received in revised form 05 December 2020; accepted 17 December 2020)

### ABSTRACT

In this study, localized development of a submerged cryogenic pump for use in LNG containers is conducted with large-sized commercial vehicles as the target. The submerged pump installed in an LNG storage container is the key module that supplies fuel to the engine through the reciprocating motion of a piston. Research and development on 660-L fuel containers is performed herein. The target is to achieve a mileage of 600 km or more by applying it to major NGV vehicles worldwide. In this manner, the present study aims to verify the operating mechanisms of the major parts of currently advanced products through reverse engineering in the early development process and draw basic design data.

**Key Words:** NGV(천연가스차량), Submerged Pump(액중펌프), Cryogenic(초저온)

## 1. 서 론

육상의 Oil & Gas가 고갈됨에 따라서 해양에 있는 Oil & Gas로 자연스럽게 그 범위가 확대되고 있다. 특히 천연가스의 경우 점차 수요가 증대되고 있으며 이로 인한 관련 장비에 대한 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 초저온 유체에 대한 수요 증대로 인해 선진국의 경우 고효율 및

내구성과 신뢰성이 높은 액중펌핑 시스템을 개발하고 있으며 미국 및 유럽 등을 중심으로 기술개발이 이루어지고 있다.<sup>[1-5]</sup>

현재 국내의 경우 조선해양분야의 병커링에 적용되는 액중펌핑 시스템에 대한 연구개발이 진행되고 있으며, 왕복동식 및 원심식 초저온 펌프에 대한 주변 장치등과 함께 개발되고 있다.

반면 육상용 차량에 적용되는 LNG 자동차에 적용할 수 있는 초저온 펌핑시스템은 그 수요가 많지 않기 때문에 연구개발이 다소 느리게 진행되고 있는 실정이다. 그러나 선진국을 중심으로 온

# Corresponding Author : csyi@klc.ac.kr

Tel: +82-55-949-2266, Fax: +82-55-949-2222

실가스 저감을 위해 다양한 수송용 에너지를 적용하고 있으며, 특히 중장거리용 화물 차량에 대한 LNG 연료가 주목받고 있다.

선진국의 경우 LNG 연료의 경우 저장시스템과 펌핑시스템이 개발 완료되어 현재 시범적으로 화물용 차량에 적용하고 있으며, 저장기술과 펌핑기술이 차츰 발달하고 있는 추세이다. 이는 기타 에너지원에 비해 충전 시간이 빠르고, 기존 내연기관을 적용하기 때문에 기술적 어려움도 비교적 쉽게 해결할 수 있기 때문이다. 더더욱 LNG 연료 화물 자동차에 적용할 수 밖에 없는 이유로는 장거리 화물수송에서 연료 공급방식이 기타 대체에너지에 비해 시간을 충분히 절약할 수 있기 때문이고, 주변 인프라만 갖추어지면 확대될 수 있는 충분한 기술이 확보되었기 때문이다.<sup>[6,9]</sup>

본 연구는 Fig. 1과 같이 LNG 상용차 연료용기에 설치되는 초저온 액중펌프에 관한 국산화 개발에 대한 연구이다. 현재 선진국을 중심으로 대형 상용차의 NGV에 대한 관심 높아지고 있으며, 일부 국가의 경우 인프라를 갖추고 현재 운행 중에 있다. 따라서  $-162^{\circ}\text{C}$ 의 초저온 LNG를 연료로 사용하는 대형상용차에 적용하기 위하여 선진제품에 대한 역설계 기법을 사용하여 국산화개발에 관한 연구를 진행하고자 한다.

국산화 개발 방법은 선진제품을 분해하여 부품별 조립상태를 검토하고, 요소부품에 대한 치수측정을 통해 역설계를 진행하고자 한다.

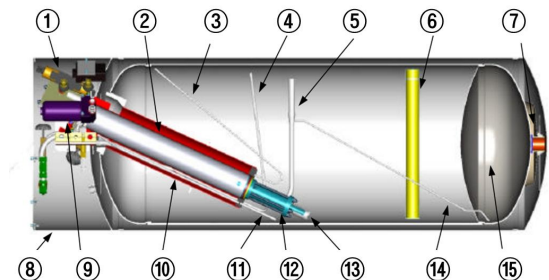


Fig. 1 LNG fuel tank system for commercial vehicle

## 2. LNG 차량 연료공급 시스템

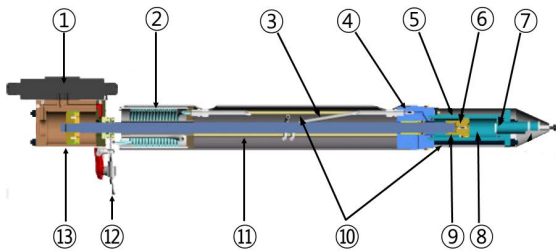
일반적으로 널리 사용되는 천연가스를 수송 연료로 사용하면 배기가스 배출 감소와 에너지 자원 절약 등의 혜택을 얻을 수 있다. 특히 트럭과 버스 등과 같은 상용차의 경우 디젤연료를 대체할 경우 배기가스 저감에 매우 유리한 것으로 알려져 있다. 이러한 NGV에 적용할 수 있는 LNG 연료시스템은 CNG와 달리 천연가스를 고압으로 압축시켜 액체로 저장할 수 있기 때문에 연료저장에 유리한 부분이 많다.

현재 선진국으로 이미 NGV에서 적용하는 LNG 연료시스템은 Fig. 2와 같은 형태로 많이 사용하고 있으며, 특히 북미지역에서 이미 상용화하여 많은 상용차들이 도로를 주행하고 있다.



①	Pump hydraulic drive
②	Pump drive shaft outer housing
③	Secondary relief tube
④	Vent tube
⑤	Fill line & venturi
⑥	Liquid level sensor
⑦	Inner-outer tank suspension
⑧	Shroud
⑨	High pressure gas filter
⑩	Pump vacuum jacket
⑪	Liquid drain tube
⑫	Pump cylinder
⑬	Suction filter
⑭	Ullage drain tube
⑮	Ullage space

Fig. 2 The LNG fuel system and key components.



①	Directional control valve
②	Integral concentric vaporizer
③	High pressure discharge tube
④	Discharge check valve
⑤	Pump cylinder
⑥	Piston with check valve
⑦	Suction check valve
⑧	1st chamber
⑨	2nd chamber
⑩	Tie-rod construction
⑪	Drive shaft
⑫	Integral fuel manifold & pump flange
⑬	Hydraulic drive piston & cylinder

Fig. 3 Details of the reciprocating High-Pressure LNG Pump Design.

본 연구에서 적용되는 LNG 연료시스템은 -16℃의 초저온 상태의 LNG가 저장탱크에 공급되면 엔진으로 연료를 공급하기 위한 연료펌프로 초저온 액중펌프가 적용되어 있다. 이때 중요한 설계요인으로 연료탱크 내부의 LNG가 대기와 열전달을 통한 기화를 억제할 수 있는 단열성능 확보가 매우 중요해진다.

반면 초저온 액중펌프의 경우 연료탱크에서 연료를 펌핑한 후 LNG를 기화시켜 NG 상태로 연료를 엔진으로 공급할 수 있도록 펌프 시스템 내부에 열교환기가 설치될 수 있도록 설계되어야 된다.

Fig. 3은 LNG 연료공급 시스템에서 초저온 액중펌프의 주요 부분을 설명한 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 유압식 구동식 왕복 펌프는 2개의 챔버가 있으며 여기를 통해 흡입과 토출작용이 발생한다. 그림과 같이 첫 번째 챔버는 피스톤이 흡입할 때 체크밸브를 통해 유입된 후 두 번째 챔버로 이동할 때

역시 체크밸브를 통해 이동하게 된다. 이때 흡입된 LNG는 고압튜브를 통해 기화기쪽으로 이동하여 냉각수와 열교환하여 기화되는 시스템을 가지고 있다.

### 3. 초저온 액중펌프 역설계

일반적으로 널리 사용되는 역설계 방법인 기존 제품에 대한 분해 후 치수측정을 통해 각각의 부품에 대하여 도면을 작성하였고, 작성된 도면을 바탕으로 3D 모델링을 수행하여 각 부품에 대한 조립성 검토를 통해 역설계를 수행하였다.

Fig. 4는 LNG 연료탱크에서 처음으로 유입되는 흡입부에 대한 필터와 벨로우즈 배관을 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 벨로우즈 배관을 적용하여 연료탱크 밑바닥에 최대한 위치할 수 있도록 설계됨을 확인할 수 있었다. 또한 필터의 경우 이물질을 제거할 수 있게 스테인리스 재질의 메쉬 타입으로 설계되어 있었다.



(a) actual object



(b) 3D modeling

Fig. 4 Result of revers engineering for suction filter & bellows pipe



(a) actual object



(b) 3D modeling

Fig. 5 Result of revers engineering for inlet check V/V

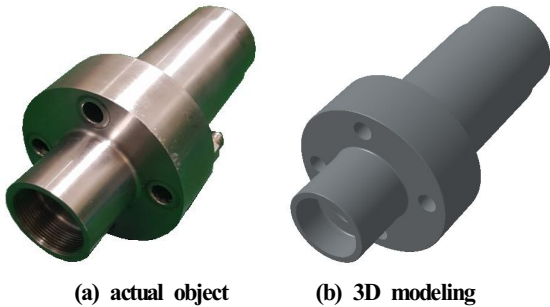


Fig. 6 Result of revers engineering for pump cylinder

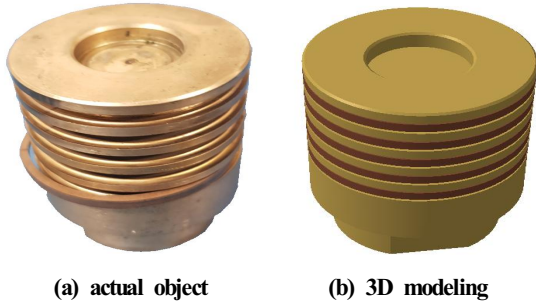


Fig. 7 Result of revers engineering for pump piston

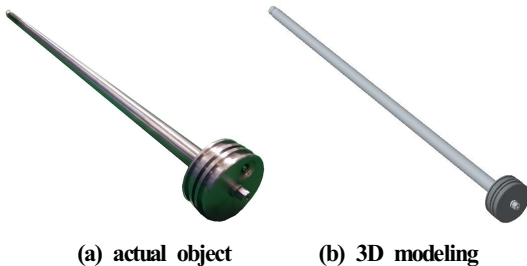


Fig. 8 Result of revers engineering for piston rod & drive piston

Fig. 5는 LNG가 펌프 내부로 유입되는 방향으로 작동유체가 흡입될 수 있도록 체크밸브가 설치되어 있었고, 그림과 같이 역설계를 진행하였다. 체크밸브에 적용된 재질은 황동합금으로 설계되어 제작된 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 LNG를 펌프로 흡입하기 위해 왕복운동식으로 작동하는 방식이기 때문에 펌프 실린더에 대한 역설계를 결과를 나타내고 있으며, 재질은 STS 316계열이 적용되어있었고, Fig. 7의 피스톤이 실린더 내부에서 왕복운동을 하는 구조로 설계

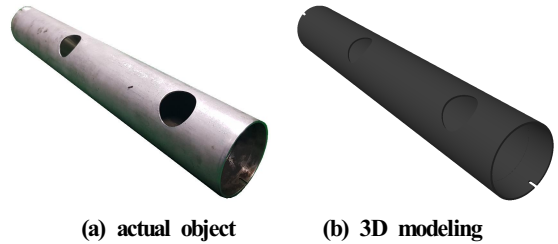


Fig. 9 Result of revers engineering for pump housing

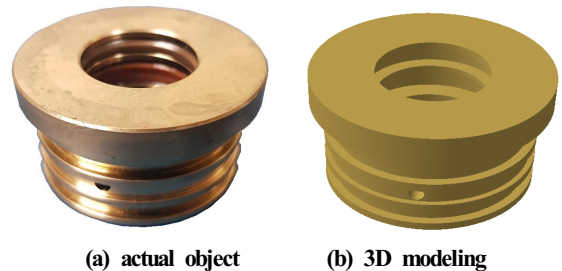


Fig. 10 Result of revers engineering for drive head flange metal seal

되어 있었다. 이때 피스톤의 경우 황동합금으로 제작되어 있었고, 이는 실린더와 피스톤과의 왕복운동을 할 경우 마찰에 의한 마멸이 발생할 경우 피스톤만 교체하여 유지보수를 쉽게 할 수 있도록 설계되어 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 펌프 흡입부 반대편에 설치되어 있는 피스톤 로드와 드라이브 피스톤에 대한 역설계 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 전체 재질은 STS 316 계열로 설계되어 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 펌프 하우징에 대한 역설계 결과를 나타내고 있으며, 단순히 피스톤 로드와 내부에 설치된 튜브를 보호하고 있는 역할을 할 수 있도록 설계되어 있었다.

Fig. 10은 드라이브 헤드 플랜지 메탈 시일을 역설계한 것이며, 재질은 황동합금으로 설계되어 있었다. 이는 드라이브 헤드 플랜지와 드라이브 실린더 플레이트가 연결될 때 내부에 피스톤 로드가 삽입되어 있어 기밀을 담당하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 펌프 입구측에 피스톤 로드를 지지하는 중간연결 플레이트로 반대편에 설치된 드라이

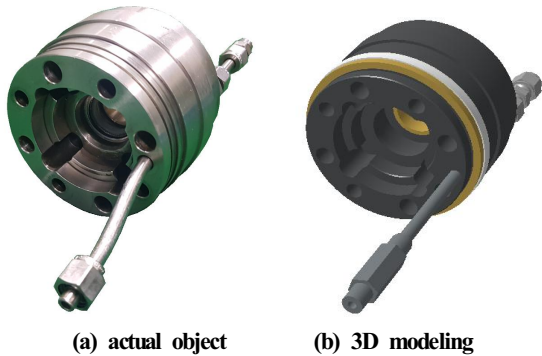


Fig. 11 Result of reverse engineering for intermediate plate assembly

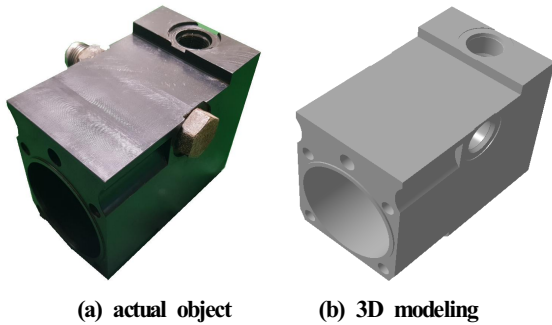


Fig. 12 Result of reverse engineering for drive cylinder

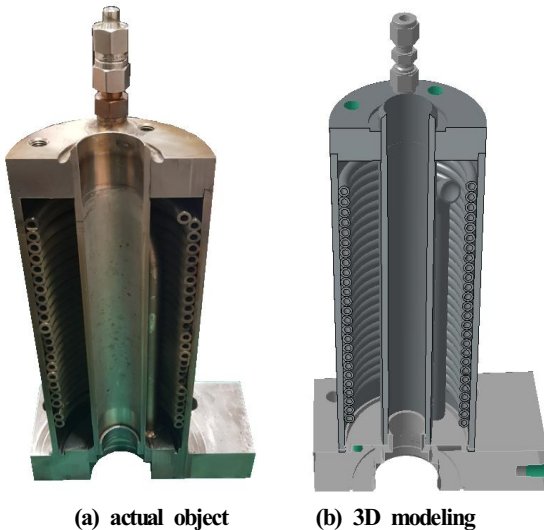


Fig. 13 Result of reverse engineering for drive head flange & heater fluid coil



Fig. 14 Final assembly design of cryogenic submerged pump for localization development

브 헤드 플랜지와 함께 피스톤 로드를 양단에서 지지하는 역할을 수행하는 것을 알 수 있었다. 적용소재는 STS 316계열이 적용되어 있으며, 내부에 메탈베어링과 스프링 와샤 및 시일이 설치되어 피스톤 로드와 하중과 누설을 방지하는 구조로 설계되어 있었다.

Fig. 12는 드라이브 실린더 블록에 대한 역설계 결과를 나타내고 있으며, 내부에는 드라이브 피스톤과 피스톤 로드와 삽입되어 왕복운동을 하게 되어 있다. 이 부분의 경우 LNG 탱크 외부에 설치되어 초저온 작동유체의 영향을 크게 받지 않는 부분임을 알 수 있었다.

Fig. 13은 드라이브 실린더 블록과 연결되고, 초저온 작동유체인 LNG가 흡입되어 토출될 때 액체상태를 기체상태의 NG로 기화시켜 주기 위하여 차량 냉각수와 열교환이 이루어질 수 있도록 설계된 일종의 열교환기이다. 내부 중앙에 피스톤로드가 작동할 수 있도록 설계되어 있고, 가장자리로 코일형태로 설계하여 충분히 기화시킬 수 있도록 설계되어 있었다.

Fig. 14는 최종적으로 역설계하여 조립성 검토 등을 통해 최종 3D 모델링을 수행한 결과이다. LNG 연료 차량에 적용되는 초저온 액중펌프의 부품은 총 55개로 구성되어 있었고, 내부 튜브의 연결은 튜브 피팅을 통해 LNG가 이송될 수 있도록 연결되어 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 상용차에 적용할 수 있는 LNG 연료 탱크 내부에 설치된 초저온 액중펌프에 대한

국산화 개발을 위해 선진제품에 대한 역설계를 진행하여 국산화 개발을 위한 기초적인 설계 자료를 확보한 결과 다음과 같은 결과를 확보할 수 있었다.

- 1) LNG 연료펌핑용 액중펌프에 대한 작동유체 이동경로를 파악할 수 있었다.
- 2) 역설계를 통한 각각의 주요 구성부품에 대한 2D 설계도면과 3D 모델링을 통해 조립성 검토가 이루어져 제작시 필요한 조립기술을 확보할 수 있었다. 또한 향후 국산화 개발을 통한 시작품 개발시 부품가공 및 조립 공정 수립에 필요한 기술을 확보할 수 있었다.
- 3) 각 부위별 작동 메커니즘을 역설계를 통해 확인할 수 있었고, 향후 국산화 개발시 필요한 설계요소를 확보할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE, Korea) 상용차 산업 혁신성장 및 미래형 산업생태계 구축 사업(과제 번호 : P0013844, 과제명: 액중펌프(토출유량 2LPM급)가 장착된 친환경 LNG 트럭용 600L급 연료 저장 장치 및 공급 장치 개발) 지원에 의하여 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. Jeong, H. S., Kim, Y. H., Cho, J. R., Kim, J. H., Kim, J. R., Park, J. H., "A Study on Structural Design of Cryogenic Miniature Globe Valve using Finite Element Method", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 343-349, 2007.
2. Kim, Y. J, Kim, Y. H., Woo, N. S., Kwon, J. K., "Numerical Study for Development of Submerged Seawater Lift Pump", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 25, No. 5, pp. 21-26, 2011.
3. Ahn, H. H., Yi, C. S., "Flip-Flap Valve-Type Breakaway Coupling through Reverse Engineering", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 16-22, 2016.
4. Kwon, S. M., Kang, M. J., Yoo, H. H., "Stability Analysis of a Wind Turbine Blade Considering Wind Force and Variation of Pitch Angle", Transactions of KSNVE, Vol. 22, No. 12, pp. 1164-1171, 2012.
5. Jeon, E. C., Youn, G. H., Kang, C. H., "A Study on Effect of Flow Characteristics for Turbine Impeller Shape" Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 36-43, 2014.
6. Choi, D. S., "Structural Analysis and Design of Small Wind Turbine Blade ", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 85-91, 2015.
7. Jeong, J. H., Yi, C. S. Lee, C. W., "Development of a Small Floating Outboard Type Water-Jet Propulsion System", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 25, No. 1, pp. 42-47, 2016.
8. Zhang, J., Xu, C., Zhang, Y., Zhou, X., "Quasi-3D hydraulic design in the application of an LNG cryogenic submerged pump", Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 29, pp. 89-100, 2016.
9. Hou, H., Zhang, Y., Li, Z. Jiang, T., Xu, C., "Numerical analysis of entropy production on a LNG cryogenic submerged pump", Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 36, pp. 87-96, 2016.