

## 극저온용 2단 임펠러 액중펌프 역설계에 관한 연구

권병수\*, 이종섭\*\*, 이치우\*\*\*,#

\*경남과학기술대학교 대학원, \*\*경남과학기술대학교 엔진부품검증센터,  
\*\*\*경남과학기술대학교 자동차공학과

### A Study of the Reverse Engineering of a Two-Stage Impeller-Submerged Pump for Cryogenic Fluids

Byung Soo Kweon\*, Chung-Seob Yi\*\*, Chi-Woo Lee\*\*\*,#

\*Graduate School, Gyeongnam National University of Science and Technology

\*\*Gyeongnam National University of Science and Technology, Industry-Academic corporation foundation

\*\*\*Gyeongnam National University of Science and Technology, Automotive Engineering

(Received 18 February 2017; received in revised form 4 March 2017; accepted 22 March 2017)

#### ABSTRACT

This study represents basic research for the development of submerged pump technology applicable to transfer and storage of a cryogenic liquids. Its purpose is to secure baseline design data by applying reverse engineering to the process of developing a submerged cryogenic pump. The two-stage model included in the ARTICK Series LNG Submerged Pump produced by Vanzetti of Italy was selected for analysis for development of a localized product, and was disassembled for reverse engineering. The pump was disassembled after analyzing its processing/assembly characteristics such as shrinkage of fittings. In addition, the materials used in manufacturing of the main components were analyzed, and the ingredients were confirmed. As a result, a design drawing for each component required for product development was secured via foundational design, and a test product was manufactured by maximizing the application of appropriate domestic technologies.

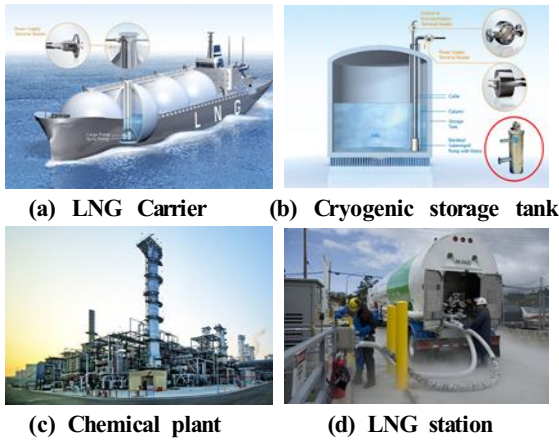
**Key Words** : LNG(액화천연가스), Cryogenic(극저온), Submerged Pump(액중펌프), Revers Engineering(역설계)

#### 1. 서 론

육상의 Oil & Gas가 고갈됨에 따라서 해양에 있는 Oil & Gas로 자연스럽게 그 범위가 확대되고 있다. 특히 천연가스의 경우 점차 수요가 증대되

고 있으며 세계적으로 천연가스 확보를 위한 각종 플랜트 산업이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 영향으로 극저온 관련 기자재에 대한 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 극저온 유체에 대한 수요증대로 인해 선진국의 경우 고효율 및 내구성 과 신뢰성이 높은 액중펌핑 시스템을 개발하고 있으며, 미국 및 유럽 등을 중심으로 기술개발이 이루어지고 있다. 특히, 중국의 경우 선진국들의 생산기지로 활용함에 따라 저가형 LNG 액중펌프가 라이선스로 생산되고 있는 실정이다.

# Corresponding Author : leecw@gntech.ac.kr  
Tel: 82-55-751-3865, Fax: 82-55-751-343



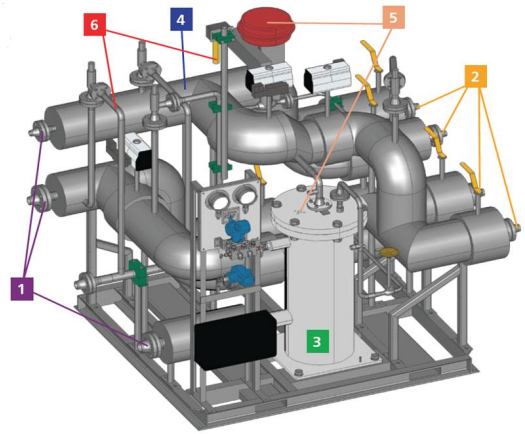
**Fig. 1 Applications for cryogenic submerged pumping system**

현재 국내의 경우 극저온 펌프는 왕복동식 펌프를 위주로 개발하고 있으며, 중소형의 연료공급 장치용으로 개발되고 있다. 특히 원심식의 개발은 다소 미진한 상태이며, 극저온 액중펌프의 경우 거의 수입에 의존할 만큼 초저온 기자재 분야는 선진국에 비해 다소 미흡한 기술적 수준을 가지고 있다.

극저온인 액화천연가스의 경우 이송을 위해 극한 환경에서의 작동이 가능한 액체펌프 기술이 필요하며, 동남아에 매장된 천연가스는 지리적인 이유로 운송 등의 어려움이 있으며, 액화천연가스의 이송을 위해 펌프기술의 적용이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 Fig. 1과 같이 극저온 액체시스템의 이송 및 저장장치에 적용할 수 있는 액중펌프 기술개발을 위한 기초연구로서 극저온용 액중펌프 개발에 따른 역설계를 통해 기초설계 자료를 확보하고자 한다.

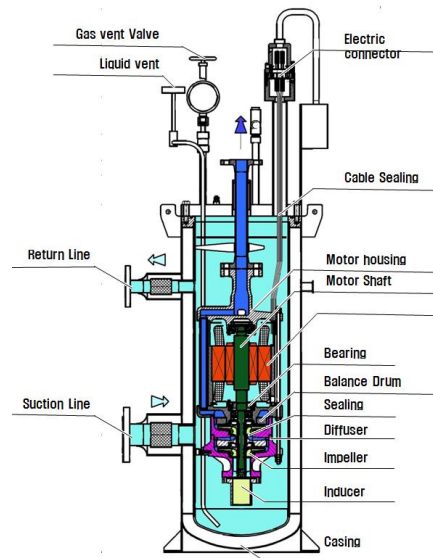
## 2. 액중펌프 구조

본 연구에 적용되는 초저온 액중펌핑 시스템은 Fig. 2와 같이 구성되어 있다. 일반적으로 초저온 유체를 이송할 때 사용되는 왕복동식이 아닌 원심식 펌프를 적용하고 있는 정유량 펌핑시스템이다. 초저온 액중펌프의 구조는 Fig. 3과 같으며, 대부분 2-Stage이상의 Multi stage로 구성되어있다. 또한 임펠러를 구동시켜주는 모터의 경우 초저온 액중에 잠겨있는 것이 일반펌프와 가장 차별화 되는



1	Plug and play design compatible with standard storage tanks.
2	Possibility to run 2 LNG dispensers on 1 cryogenic pump module.
3	Integrated Cryogenic submerged pump
4	Possibility to run 2 LNG dispensers on 1 cryogenic pump module
5	Refueling of vehicles at constant flow and pressure by use of a pressure control valve and variable speed pump control
6	Safety Valves, Fitting, Gas detector, etc.

**Fig. 2 Cryogenic fluid loading system**



**Fig. 3 Configurations of cryogenic submerged pump**

**Table 1 Specification of cryogenic submerged pump**

No.	Division	Specification
1	Max. allowable suction pressure	25bar
2	Number of stage	2
3	Frequency	104Hz
4	Flow rate	200L/min
5	Differential head	266m
6	Differential pressure	11bar
7	Absorbed power	8.7kW
8	Pump speed	6,000rpm

기술적 특징이다. 그 외 작동원리는 일반적인 액중펌프와 동일하다.

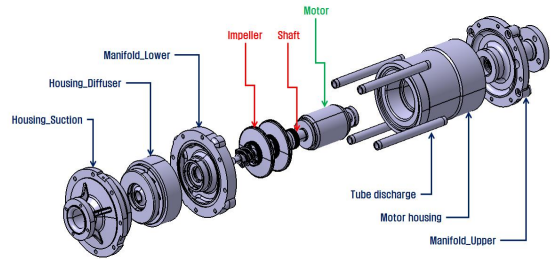
재질은 대부분 초저온 분야에서 널리 이용되고 있는 스테인리스인 STS-304, STS-431이 적용되어졌고, 임펠러 및 어퍼 매니폴더의 경우 알루미늄 합금을 적용하고 있었다. 본 연구 대상인 초저온 액중펌프의 성능은 Table. 1과 같으며 6,000rpm으로 고속 회전하는 펌프이다.

### 3. 액중펌프 개발

Fig. 4는 국산화 개발 대상은 이탈리아 Vanzetti 사의 LNG Submerged pump ARTIKA series 중 2-Stage 모델에 대하여 역설계를 위한 분해작업을 수행하고 있다. 분해방법은 열박음 등 가공 및 조립상태를 분석한 후 실시하였다.




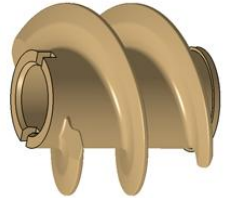


**Fig. 4 Decomposition of reverse engineering target**



**Fig. 5 Components of cryogenic submerged pump**

Fig. 5는 선진제품을 분해한 후 3차원 치수측정기와 버니켈리퍼스 및 다이얼 게이지를 사용하여 역설계 자료를 수집한 후 가공 및 조립성을 검토하여 치수보정을 수행한 후 최종적으로 Table 2와 같이 액중펌프 자체를 구성하고 있는 임펠러, 하우징류, 매니폴더류에 대하여 3D 모델링을 생성하였다.

**Table 2 Comparisons of original and 3D modeling**

Original	3D modeling
	
<b>(a) Inducer</b>	
	
<b>(b) Impeller</b>	

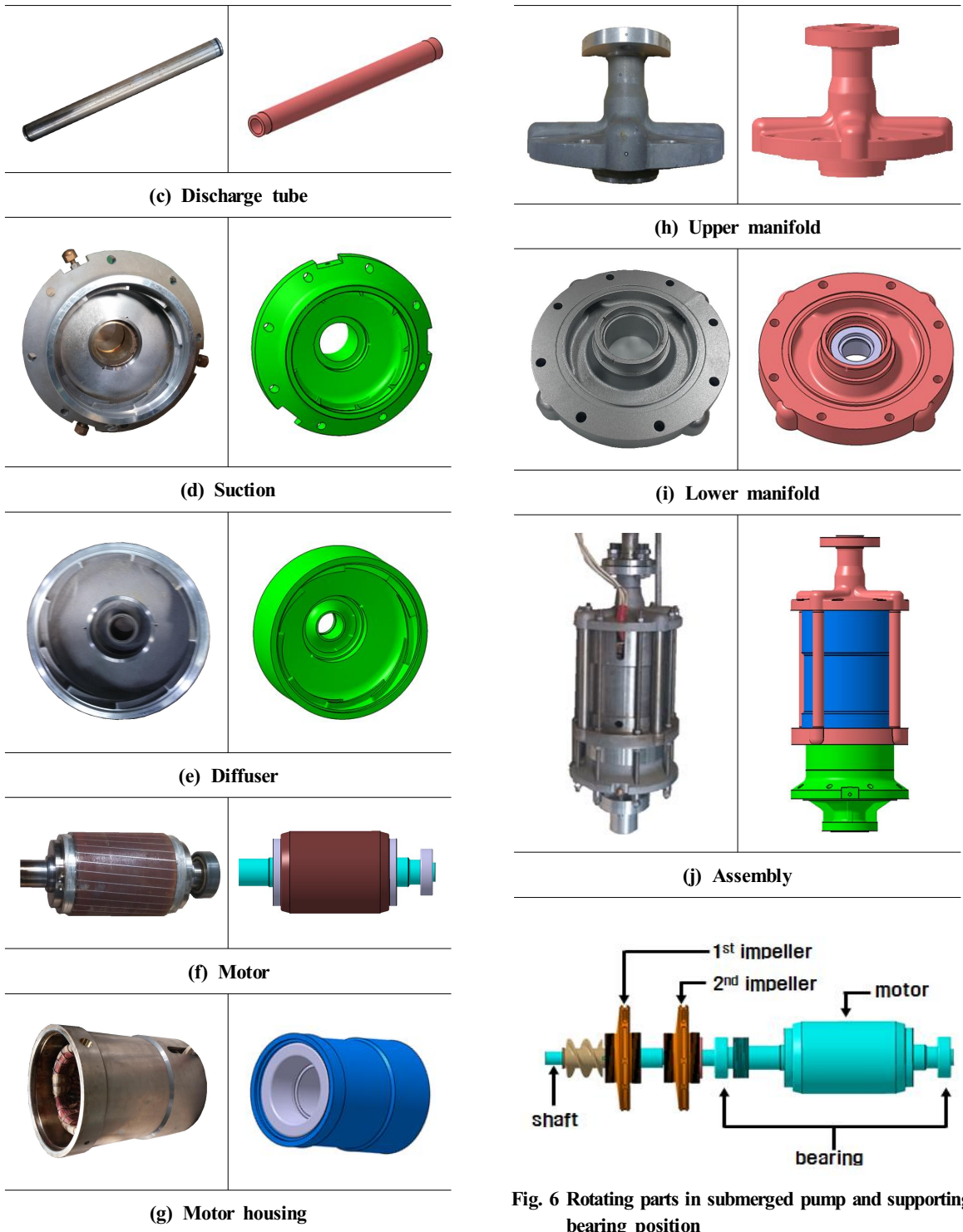


Fig. 6 Rotating parts in submerged pump and supporting bearing position

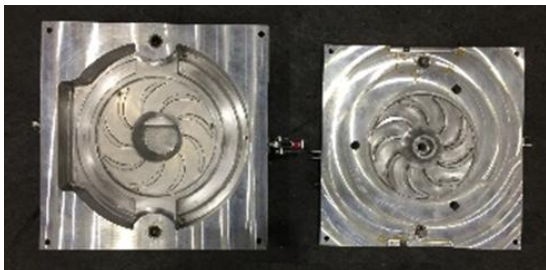


Table 3 Results of material test

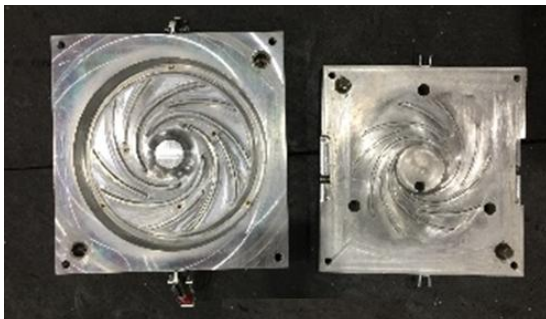
	C	Cu	S	Si	Mn	Mo	Mg	Zn	Fe	Ni	Ti	P	Pb	Cr
Manifold upper	-	0.314	-	10.00	0.388	-	0.158	0.149	1.039	0.002	0.067	-	0.005	0.118
Impeller		0.226	-	7.455	0.178	-	0.274	0.103	0.331	-	0.055	-	0.005	0.029
Shaft	0.164	0.129	0.029	0.937	0.913	0.230	-	-	-	1.579	-	0.017	-	16.17
Laynntn seal	0.020	0.290	0.027	0.430	1.190	0.360	-	-	-	9.420	-	0.025	-	18.44
Spring washer	0.070	0.260	0.002	1.670	1.110	0.210	-	-	-	6.420	-	0.028	-	15.63
Spacer	0.032	0.488	0.063	1.221	2.000	0.758	-	-	-	3.672	-	0.032	-	17.62
Cover	-	0.053	-	1.220	0.635	-	0.833	0.012	0.183	-	0.022	-	0.005	0.030
Tube discharge	0.048	0.331	0.026	0.926	2.000	0.633	-	-	-	3.672	-	0.027	-	18.05
Retainer bearing	0.355	0.109	0.135	0.890	0.825	0.100	-	-	-	0.274	-	0.012	-	13.40

Fig. 6은 초저온 액중펌프 내부에 설치되어 있는 모터와 축 그리고 임펠러에 대한 조립도를 나타내고 있다. 여기서 모터 축을 지지하는 곳은 총 2곳으로 모터 전-후단에 설치되어 있었다. 일반적으로 수평으로 펌프가 설치될 경우 펌프 입구쪽인 임펠러 전단에 베어링을 설치하여 처짐을 방지할 수 있는 구조가 되지만 본 연구 대상인 액중펌프의 경우 수직으로 설치되기 때문에 처짐이 발생되지 않는 구조를 가지고 있다.

따라서 최종적으로 모터 전-후단에만 베어링을 설치하여 펌프 하우징액중펌프의 주요부품에 대한 재질을 확인하기 위하여 재료분석을 실시하였다. 재료 성분분석 테스트 항목으로 Chemical composition test(KS D 1652 : 2007, KS D 1811 : 2003)와 Hardness test(KS D 0811 : 2003)를 실시하여 Table 3과 같은 결과를 확보하였다.



(a) Lower manifold



(b) Impeller



(a) Stator

(b) Rotor



(c) Motor

Fig. 7 Development of metallic mold

Fig. 8 Development of motor assembly

**Table 4 Specification of motor**

No.	Item	Value
1	stator diameter	195mm
2	Rotor diameter	109mm
3	Stator lamination	120mm
4	Shaft diameter	50mm
5	Frame	182T
6	Motor power	11kW, 15.3Nm @7,000rpm
7	Pump power	6.2kW, 12.3Nm @4,808rpm
8	Pole	2
9	Voltage	380V

**Table 5 Specification of submerged pump**

Item	Value
1. General	
-Type	Centrifugal
-No. of stages	2
-Pump size	160mm×120mm
2. Operation conditions	
-Capacity normal/rated	21.0/25.2m <sup>3</sup> /hr
-Suction pressure	Max. 3.0kg/cm <sup>2</sup>
-Discharge pressure	Max. 15.0kg/cm <sup>2</sup>
-Differential pressure	12.0kg/cm <sup>2</sup>
3. Performance	
-Minimum continuous flow	350LPM
-Allowable operation region @4808rpm	291 to 370LPM
-Shaft power/rated power	6.35kW/11.2kW

선진제품의 Material test를 통해 주요 부품의 소재를 파악하고, 시작 제작 시 해당 분석 자료를 활용하여 자재발주 및 시작품 제작에 활용하였다.

Fig. 7은 액중펌프의 주요부품인 임펠러와 로워 메니폴더의 금형을 나타내고 있으며, 이밖에 여러 핵심부품에 대한 금형을 설계 및 제작하였다. 또한 Fig. 8과 같이 액중펌프를 작동하는 구동모터의 경우 역설계를 통해 고정자와 회전자를 제작하였고, Table 4와 같은 성능의 펌프 시제품을 개발하였다.

Fig. 9는 액중펌프 하우징과 펌프의 시제품을 나타내고 있다. 시제품 제작은 대부분 역설계 도면을 기초로 국내 가공 및 제작기술을 반영하여 최종 제작하였고, Table 5와 같은 최종 성능을 만족할 수 있도록 개발하였다.



(a) Pump housing (b) submerged pump

**Fig. 9 Final development prototype for cryogenic**

## 5. 결론

LNG 등 초저온 유체에 사용되는 액중펌프에 대한 국산화 개발을 위해 이탈리아 'Vanzetti사' 제품을 역설계하여 기초적인 설계 자료를 확보하기 위해 본 연구를 수행하였으며 그 결과 기초설계를 통해 제품개발에 대한 각 요소부품에 대한 설계도면을 작성할 수 있었다. 따라서 설계도면 확보 후 임펠러, 메니폴더, 흡입부와 토출부는 금형을 제작하여 주조한 후 시제품을 개발할 수 있었고, 모터는 국내 제조기술 수준에 맞추어 개발하였다.

## 후기

본 연구는 2016년 산업통상자원부 제1차 에너지수요관리핵심기술개발사업(20162010103730)지원에 의해 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 Manufacturing Process Engineers, 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 Manufacturing Process Engineers, 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. Kim, H J., Lee, Y. M., "Experimental Study on Air Flow Characteristics of Axial Dual-blade Fan", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 4, pp. 113-120, 2014.