

## 34kW급 LNG Spray펌프용 극저온 유도전동기 설계에 관한 연구

정동욱\*, 이기욱\*, 류재호\*, 박관수\*  
부산대학교\*

### A Study on the Design of 34kW Cryogenic Induction Motor for LNG Spray Pump

Dong-Wook Jeong\*, Ki-Wook Lee\*, Jae-Ho Ryu\*, Gwan-Soo Park\*  
Pusan National University\*

**Abstract** - Because of environmental regulations in emissions control area, the demand for ships to use LNG as fuel is increasing. Orders for domestic shipbuilders to produce LNG carriers are steadily increasing. However, major appliances such as spray pump, main cargo pump and others have been relied on imports. Therefore, development of pump motor using at cryogenic temperature is necessary. Operating temperature of an induction motor is at -163°C. At this low temperature, the resistivity of a motor coil is quite different from normal ones, and so does the torque characteristics of motor. This paper presents a designing method of a cryogenic induction motor for LNG pump. The variation of resistivity of motor coil is considered in the design process. The heat source such as core-loss, hysteresis-loss and copper-loss are analyzed to prevent the LNG evaporation which may cause the motor failure.

**Index Terms** - LNG, Induction Motor, Spray pump, Cryogenic, Heat distribution

#### 1. 서 론

에너지 자원의 다변화 정책과 고급 청정 연료에 대한 수요증가, 그리고 환경오염 방지에 대한 국제적인 인식제고 등으로 대체 연료가 각광 받고 있다. 그 중 Liquid Nitrogen Gas(LNG)는 다른 화석연료에 비해 저렴한 가격과 풍부한 매장량을 가지고 있다. 그리고 최근 원자력에너지의 위험성이 대두되면서 LNG수요가 더욱 증가하고 있다. 그 증가율에 맞추어 LNG를 운반하는 LNG Carrier Ship 수주 또한 증가하고 있다 [1]-[3]. LNG Carrier Ship은 수출국에서 영하 163도로 액화 된 LNG를 저장탱크에 적재하여 다시 수입국에서 적재된 LNG를 지상저장탱크에 이송하기 위해서 압력펌프가 사용된다. 이에 사용되는 Spray Pump, Main Cargo Pump 가 있다. 이송압력 발생장치에는 전동기가 설치되는데 영하 163도에서 기동되어야 하는 특성 때문에 영구자석 전동기 대신 유도전동기가 사용된다 [4]-[5].

본 논문에서는 영하 163도에서 운전되는 Spary Pump용 극저온 유도전동기를 설계하고 상온에서 설계된 유도전동기와 비교 분석 하였다.

#### 2. 본 론

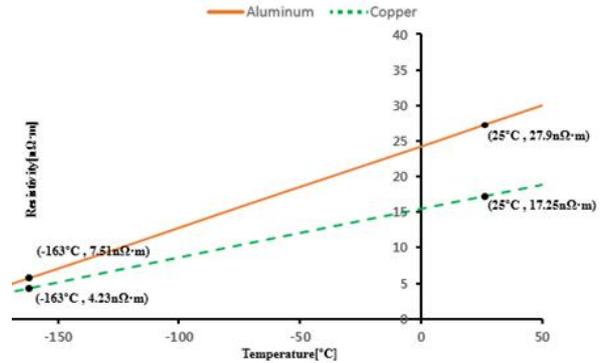
##### 2.1 극저온에서의 재질 특성변화

극저온 환경에서의 유도전동기 동작특성은 상온에서의 동작특성과 큰 차이점을 보인다. 유도전동기의 주재료인 구리, 알루미늄, 강판의 자기적 특성변화가 발생하기 때문이다.

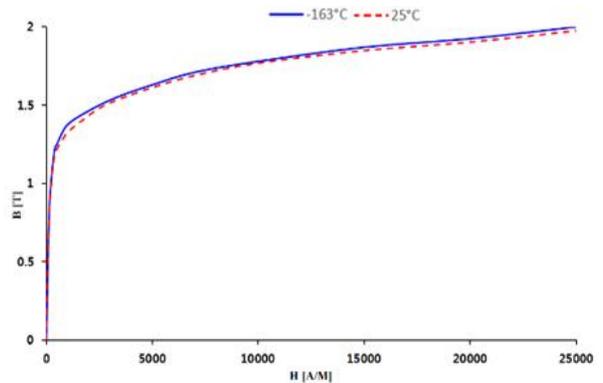
본 논문의 유도전동기의 고정자와 회전자의 코어는 강자성체 50PN400\_S14 규소강판을 사용하였다. 회전자 및 고정자 코어 규소강판의 온도에 따른 B-H곡선을 살펴보면 온도가 낮은 영하 163도에서 상온과 비교해 볼 때 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있다. 따라서 극저온유도전동기를 설계 할 때 온도에 따른 규소강판의 자기특성은 크게 고려하지 않고 설계 할 수 있다. 급속 도체 내에 격자구조를 이루고 있는 원자들은 열에너지에 의하여 격자 내에서 진동하게 된다. 따라서 급속은 그 물질에 따라 고유한 열진동을 가지게 되고 이는 급속의 비저항으로 표현 된다. 유도전동기는 1차측 권선으로 사용되어진 구리, 2차측 회전자 알루미늄 바의 비저항의 변화가 발생하게 된다. 급속의 온도에 따른 비저항을 구하기 위해 먼저 상온에서 비저항과 위 온도당 비저항계수를 이용하여 온도에 따른 비저항을 계산할 수 있다.

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha_0 (t - t_0)]$$

$\rho$ 는 온도 T에서 비저항,  $\rho_0$ 는 0도에서의 비저항,  $\alpha_0$ 는 단위온도 당 비저항 계수,  $t$ 는 임의 온도,  $t_0$ 는 0도를 말한다.



〈그림 1〉 온도에 따른 비저항 변화



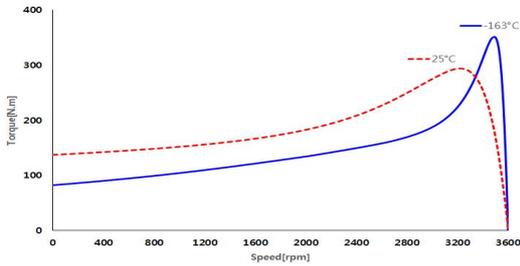
〈그림 2〉 온도에 따른 B-H Curve 특성

##### 2.2 상온에서의 유도전동기 설계

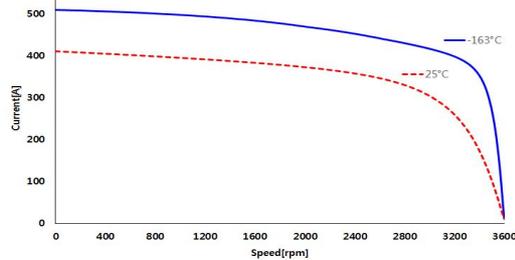
상온을 기준으로 34kw급의 3상 농형 유도전동기를 설계하였다. 유도전동기는 LNG 선박에 탑재되는 Spray Pump용 유도전동기이며 세부 사양은 표1과 같다. 설계되어진 유도전동기는 영하 163도의 LNG환경에서 동작하게 되고, 입력전압 AC440V이고 동기속도 3600rpm으로 동작한다. 나머지는 표1에 함께 나타내었다. 기화점이 낮은 LNG의 특성을 고려하여 제한된 온도 상승범위(영하 163도 ~ 영하 158도)내에 동작 할 수 있도록 고정자코일 회전자 고정자 슬롯의 설계 시 온도상승을 고려하여 설계 하여야 한다.

〈표 1〉 유도전동기 설계사양

Requirement	Value
Type	Vertical Submerged 3-Phase Induction
Rated Output	34[kW]
Synchronous Speed	3600[rpm]
Electric Power Source	AC 440[V]
Torque(running)	90.2[Nm]
Rated Current	64.4[A]
Efficiency	88[%]
Frequency	60[Hz]
Cooling Liquid	LNG



〈그림 3〉 상온동작 유도전동기의 극저온환경 토크곡선



〈그림 4〉 상온동작 유도전동기의 극저온환경 전류특성 곡선

### 2.3 극저온용 유도전동기로 재설계

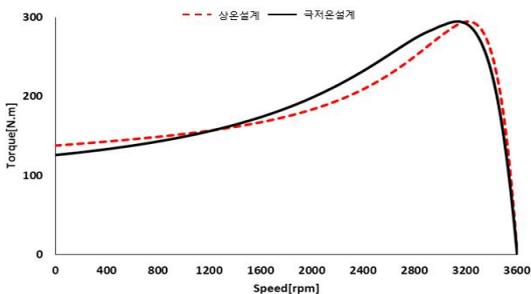
극저온에서 동작하는 유도전동기의 설계는 앞서 이야기한 온도변화에 따른 재료의 특성을 반영하여 설계하여야 한다.

권선의 저항과 회전자 도봉의 저항은 온도에 따른 비저항의 변화로 낮은 온도에서는 저항이 감소한다. 비저항의 변화를 고려하여 극저온에서 기동되는 유도전동기는 고정자 슬롯과 회전자 슬롯의 면적을 줄일 수 있다. 이는 권선과 도봉의 저항이 면적과 비저항의 관계에 정의가 이용되어 나타 낼 수 있다.

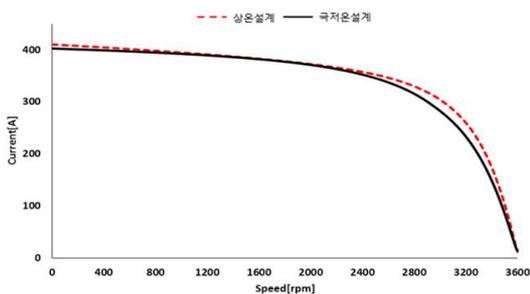
$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

저항의 크기를 상온기준으로 고정하였을 때 온도가 낮아지므로 발생하는 비저항의 감소에 따른 단면적을 감소시킨다. 저항은 비저항에 비례하지만 단면적에는 반비례 관계이기 때문에 온도에 따른 저항의 변화는 단면적의 감소로 인해 유지된다.

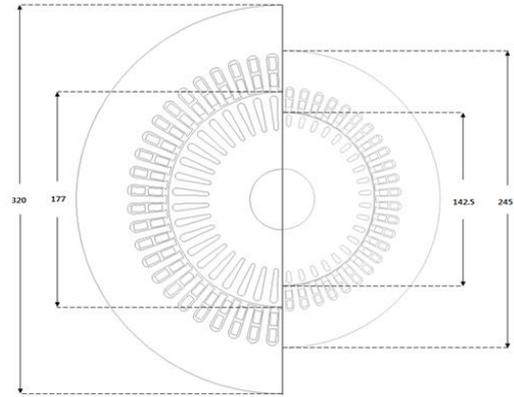
알루미늄의 비저항은 상온에 비해 영하 163도 일 때 약 1/3.85로 감소한다. 상온에서 동일한 특성을 갖기 위해 극저온에서 기동되는 전동기의 회전자 슬롯 면적을 줄여 저항의 크기를 동일하게 둘 수 있다. 비저항이 약 1/3.85배로 감소하기 때문에 이에 따른 회전자 슬롯의 면적을 체계산할 수 있다.



〈그림 5〉 상온설계 유도전동기와 극저온설계 유도전동기의 토크곡선



〈그림 6〉 상온설계 유도전동기와 극저온설계 유도전동기의 전류특성

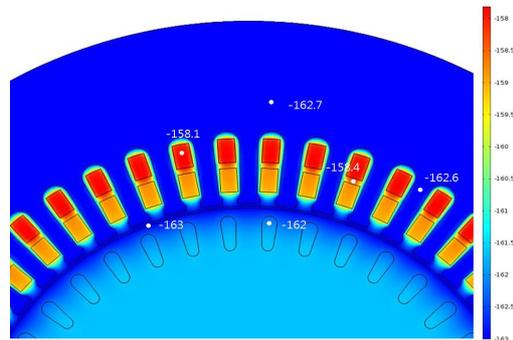


(a) 상온설계 (b) 극저온설계  
〈그림 7〉 유도전동기의 부피 비교

### 2.4 극저온용 유도기의 열분포 해석

설계된 극저온 유도전동기의 열 분포 해석을 위해 정격속도로 운전하는 유도전동기의 동손을 구해야 한다. 정격속도인 3540rpm에서 운전하는 유도전동기의 열원은 표에 나타내었다.

그림8은 극저온 유도전동기의 부위별 최고 온도를 보여준다. LNG가 지나갈 때의 온도는 최고 영하 158.1도 까지 올라가게 되며, 고정자의 코일부분에서 열이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 공극에 LNG가 흐름으로 인하여 LNG의 기화온도인 영하 153도를 넘지 않는 결과를 나타내었다.



〈그림 8〉 극저온 유도전동기의 부위별 온도 분포

## 3. 결 론

LNG를 지상 저장탱크에서 LNG Ship으로 이송하기 이전 저장탱크의 온도를 낮추기 위한 용도인 LNG Spray Pump용 유도전동기를 설계하였다.

상온설계 유도전동기의 상온동작 특성과 극저온동작 특성을 비교하여 극저온 유도전동기의 설계의 필요성을 나타내었다. 그리고 재설계한 극저온 유도전동기의 극저온동작특성을 상온설계 유도전동기의 특성과 비교하여 설계 검증하였다. 마지막으로 열분포 해석을 통해 최고 온도가 LNG 기화열에 도달 하지 않도록 설계되었음을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Alberto Tesserolo "Design and Testing of a 45-MW 100-Hz Quadruple-Star Synchronous Motor for a Liquefied Natural Gas Turbo-Compressor Drive", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 47, no. 3, May/June 2011.
- [2] L. Dlugiewicz "Electrical motor for liquid gas pump", SPEEDAM 2006 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion.
- [3] Jean-François Trigeol "Coupling control volume modeling in fluid and lumped thermal model Application to an induction machine" T
- [4] J. Kolowrotkiewicz "FE Analysis of Induction Motor Working in Cryogenic Temperature", The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Vol. 26 No. 4, pp.952-964, 2007
- [5] Rajagopal M. S., Seetharamu K.N and Ashwathnarayana P. A, "Transient thermal analysis of induction motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, pp. 62-69, Mar. 1998