# 전기 자동차용 인덕션 히터의 인덕턴스 향상을 위한 최적설계 연구

## A Study on Optimum Design for inductance improvement of indution heater for Electric Vehicle

강 준 규, 조 병 욱, 김 기 찬
국립 한밭대학교

Kang jun-kyu, Jo byoung-wook, Kim ki-chan
Hanbat National University.

요약

인덕션 히터(Induction Heater)는 PTC 히터의 비해 빠른 온도 상승 효과를 가지고 있다. 인덕션 히터는 LC공진 회로로 구성된다. 커패시터의 정전 용량은 가격과 중량에 비례한다. 따라서 인덕턴스를 향상시켜서 정전용량을 줄여야 한다. 인덕턴스 향상을 위해 인덕션 히터의 구조를 변경하고 다구찌 기법과 유한요소법(FEM:Finite Element Method) 시뮬레이션을 통해 최적화 모델을 도출한다.

## I. 서론

전기 자동차 배터리 시스템은 온도 감소에 따라 배터리 출력과 수명 감소 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해서 상온을 유지해야 한다. 상온 유지 목적으로 최근에는 PTC 히터가 사용되고 있다[1]. 하지만 PTC 히터는 복잡한 절연구조로 인해 중량이 높다. 반면에 인덕션 히터는 발열체와 코일만으로 구성된 단순한 구조로 복잡한 절연물이 요구되지 않기에 중량 저감에 효과적이며 빠른 온도 상승 성능을 가지고 있다[2][3]. 인덕션 히터 설계의 중요한 요소 중 하나는 인덕턴스를 향상시켜서 정전용량을 떨어뜨리는 것이다[4][5].

본 논문에서는, 분석 모델로써 원판형 인덕션 히터를 선택하였다. 인덕턴스를 향상시키기 위해 동일한 전압원을 인가하여 인덕션 히터의 구조 변경에 따른 인덕턴스 향상 분석을 위해서 FEM 시뮬레이션과 다구찌 기법을 이용하였고 인덕턴스 최적화 모델을 도출하였다.

## Ⅱ. 본론

### 1. 모델 사양

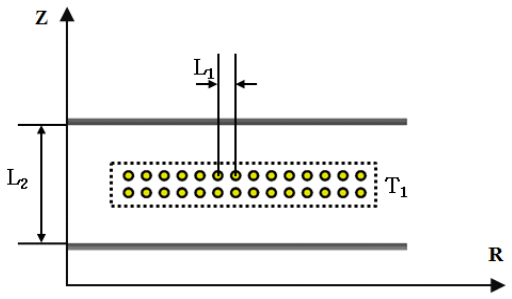
표 1은 인덕션 히터의 기본 모델 FEM 시뮬레이션 사양이다. 인덕션 히터는 고주파수 AC교류를 사용한다. 이로 인해 표피효과와 근접효과가 발생하는데 2가지 효과를 저감시키는 방안으로 여러 가닥으로 꼬인 리쯔와이어로 선정하였다.

표 1. 인덕션 히터 기본 모델 FEM시뮬레이션 사양

| 구성품 | 사양 |
|---|---|
| 발열체 재질 | SUS430f |
| 발열체 두께 | 1.5[mm] |
| 발열체 직경 | 66[mm] |
| 발열체 사이 간격 | 24[mm] |
| 권선 재질 | Cu (Litz wire) |
| 권선 직경 | 19.4[mm] |
| 코일 턴수 | 32 |
| 코일 층수 | 2(16/16) |
| 코일 간격 | 3.6[mm] |
| 코일 직경 | 1.97(0.1mmX200reels) |

### 2. FEM 시뮬레이션과 다구찌 기법

그림 1은 인덕션 히터의 2D FEM 기본 모델을 나타낸다. 다구찌 기법의 제어 인자로써 $L_1$과$L_2$ 그리고 $T_1$를 선정하여 3수준으로 제작성과 중량을 고려하여 선정하였다. $L_1$은 코일과 코일사이 간격이고 $L_2$는 발열체와 발열체 사이 간격 $T_1$는 코일 턴수를 의미한다.

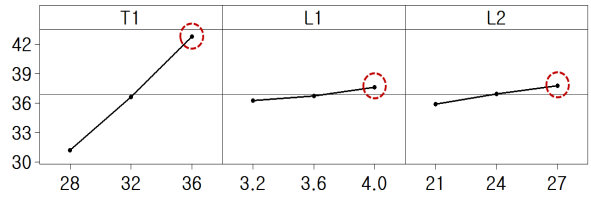



▶▶ 그림 1. 2D FEM 기본 모델

다구찌 분석 결과로 $T_1$이 36턴이고 $L_1$이 4.0[mm]이며 $L_2$가 27[mm]일 때 인덕턴스가 극대화되는 설계 포인트이다.

표 2. 제어 인자 배치

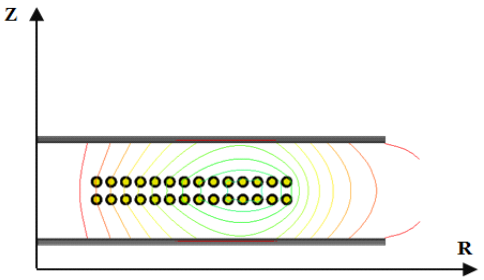
| | $T_1$ | $L_1$[mm] | $L_2$[mm] | Inductance[μH] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 28 | 3.2 | 21 | 29.83 |
| 2 | 28 | 3.6 | 24 | 31.04 |
| 3 | 28 | 4.0 | 27 | 32.67 |
| 4 | 32 | 3.2 | 24 | 35.90 |
| 5 | 32 | 3.6 | 27 | 37.63 |
| 6 | 32 | 4.0 | 21 | 36.29 |
| 7 | 36 | 3.2 | 27 | 43.04 |
| 8 | 36 | 3.6 | 21 | 41.51 |
| 9 | 36 | 4.0 | 24 | 43.83 |



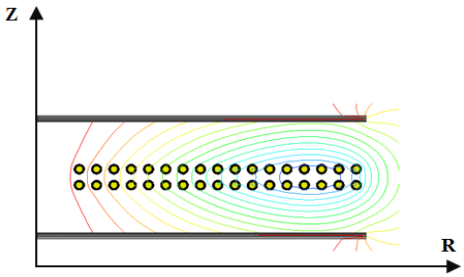

▶▶ 그림 2. 제어인자의 수준별 평균값

## 3. 최적 설계

그림3과 4는 다구찌 분석 결과 도출된 최소 모델과 극대화 모델의 자속선속 분포도이다. 최대화 모델은 $T_1$이 36턴이고 $L_1$이 4.0[mm]이며 $L_2$가 27[mm]이다. 최소화 모델은 $T_1$이 28턴이고 L1이 3.2[mm]이며 $L_2$가 21[mm]이다. 그림과 같이 자속선속량이 개선되었음을 확인할 수 있다.




▶▶ 그림 3. 최소 모델의 자속선속 분포도




▶▶ 그림 4. 극대화 모델의 자속선속 분포도

표3은 인덕턴스의 크기를 비교한 표이다. 인덕션 히터의 구조 변경으로 인덕턴스가 최소 모델에 비해 극대화 모델이 1.52배 개선이 되었음을 알 수 있다.

표 3. 인덕턴스 비교

| | 최소화 모델 | 극대화 모델 |
|---|---|---|
| Inductance[μH] | 29.83 | 45.32 |

## Ⅲ. 결론

인덕턴스 향상을 위해 인덕션 히터의 구조 변경을 하였고 다구찌 기법과 FEM 시뮬레이션을 통해 구조 변경에 따른 인덕턴스를 분석하였다. 분석 결과 코일 턴수가 증가할 때 인덕턴스 크기가 많이 변하였다. 따라서 제작성을 고려하여 인덕턴스를 극대화시키는 인덕션 히터의 최적 설계가 필요하다.

## Acknowledgment

This work was supported by the Technology Innovation Program (10070181, 6 kW Integrated Induction Coolant Heater System Development for Battery and Cabin Heating) funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MI, South Korea).

## ■ 참 고 문 헌 ■

[1] 구중삼, 오광헌, 정순안, 왕윤호, "차량 난방 성능 향상을 위한 하이브리드 PTC 히터 적용에 관한 연구", 한국자동차공학회, pp. 762-767, 2013

[2] Hiroyuki Kagimoto, Daisuke Miyagi, Norio Takahashi, Naoki Uchida, Keiji Kawanaka, "Effect of Temperature Dependence of Magnetic Properties on Heating Characteristics of Induction Heater", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 46, pp 3018-3021, 2010

[3] Acero, J, Carretero, C, Alonso, R and Burdio, J.M, "Quantitative Evaluation of Induction Efficiency in Domestic Induction Heating Applications", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 45, pp.1382-1389, Apr.2013

[4] M. Messadi, L. Hadjout, Y. Ouazir, H. Bensaidane, T. Lubin, S. Mezani, A. Rezzoug, N. Takorabet, "Eddy Current Computation in Translational Motion Conductive Plate of an Induction Heatre With Consideration of Finite Length Extremity Effects", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 52, no. 3, pp. article 6300304, Mar. 2016

[5] Hiroyuki Kagimoto, Daisuke Miyagi, Norio Takahashi, Naoki Uchida, Keiji Kawanaka, "Effect of Temperature Dependence of Magnetic Properties on Heating Characteristics of Induction Heater", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 46, no. 8, pp. 3018-3021, Aug. 2010