

1차측 재질에 따른 유도가열의 특성해석

장석명, 윤인기, 이성호, 이종호\* 박희창\*\* 박찬일\*\*  
 충남대학교 충북과학대학\* 한국기계연구원\*\*

Thermal Characteristic Analysis Of Induction Heating Roll  
 According to Primary Material

S.M.Jang, I.K.Yoon, S.H.Lee, J.H.Lee\* H.C.Park\*\* C.I.Park\*\*  
 Chungnam National University, C.Tech \* KIMM\*\*

**Abstract** - Induction heating is utilized in a large and ever-increasing number of application. The most prominent of these are billet heating, heat treating, metals joining, and metal melting. In these day, heating roll, a kind of induction heating, is widely used in curing of coatings and fiber industry. In this paper, we analyzed thermal characteristic analysis of induction heating roll according to primary material. Using this analysis results, efficiency of induction heating roll could be improved.

1. 서 론

최근 산업이 발달함에 따라 전기공학의 응용은 광범위한 분야로 확산, 적용되고 있다. 그 중에서도 특히 전기를 이용한 유도가열분야는 화석연료에 의한 기존의 가열법에 비하여 장점이 매우 커서 최근에 금속 야금, 인쇄, 포장을 포함한 각 분야에서 광범위하면서도 급속하게 응용이 확산되고 있다. 패러데이에 의해 1831년에 발견된 전자기 유도 현상은 1차측에 시간에 따라 변하는 전류를 인가하면 2차측에 전류가 유도되는 현상을, 전동기, 발전기, 변압기 등에 이용하였다. 이러한 기기들은 와전류에 의한 열손실의 발생으로 인하여 효율 및 운전성능을 악화시킨다. 따라서 변압기나 전동기의 철심을 얇은 구조강판으로 적층한 것도 이런 열손실을 최소로 줄이기 위한 노력이다. 그러나 변압기나 전동기의 경우와는 달리 와전류에 의한 열손실을 이용한 것이 유도가열이다. 유도가열은 산업현장의 여러 분야에서 활용되고 있다. 즉, 금속의 열처리, 용융 등은 물론, 금속 변형을 위한 가열 등에 많이 쓰여왔고, 현재는 특수 포장분야, 칼라 인쇄공업, 섬유공업 등에서 유도가열이 필수적으로 이용되고 있다. 그 중에서도 유도 히팅의 유용성은 다양한 방법으로 확산되어 여러 산업에 쓰이고 있다. 히팅롤을 이용해 고품질의 제품을 만들기 위해서 꼭 고려할 사항은 롤 표면에서  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  정도의 균일도를 유지하는 것이다. 이렇게 국내의적으로 넓은 범위에 걸쳐 유도가열이 필수적으로 다량 사용되고는 있지만 국내에서는 생산은 물론, 개발 된바가 없는 부가가치가 큰 분야이다. 본 논문에서는 코일이 감겨져있는 1차측의 재질에 따른 히터 내부에서 발생하는 와전류 및 온도 특성을 상호 비교하여 보다 효과적인 1차측 재질을 선택하고자한다.

2. 구 조

유도가열은 그림 1과 같은 구조를 갖는다. 즉 코일에 전류를 흘리면 안쪽 자기회로에 자속이 발생하여 측면의 공극을 건너서 바깥부분의 자성체인 히팅 롤 부분으로 이동하면 와전류가 유기되는데 이 와전류에 의하여 가열이 된다. 이때 바깥쪽에 위치하는 일반철의 자성체가 롤 형태로 회전을 하며 피열물의 가열 및 온도를 일정하게 유지하도록 한다.

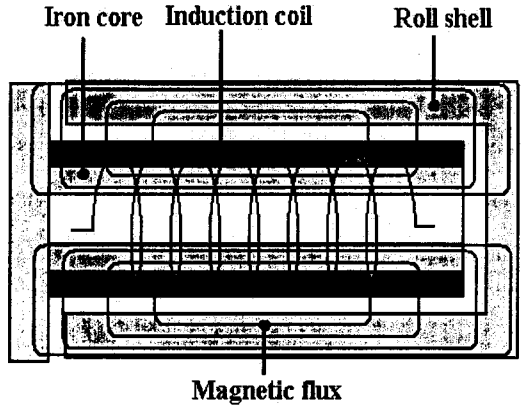
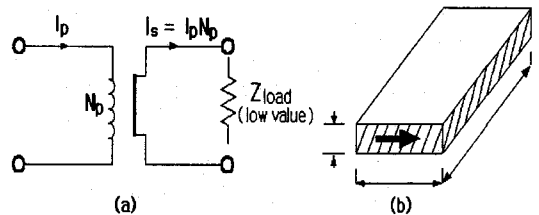


그림 1 히팅롤의 구조

그림 2는 변압기와 유도가열의 등가회로를 나타낸 것이다. 그림 (a)는 일반적인 변압기의 등가회로를 나타낸 것이며, 그림 2(b)는 유도가열을 변압기 등가회로로 표현한 것으로 바깥쪽의 전류코일도체는 1차측이 되고 안쪽의 피열물 부분은 2차측이 된다. 피열물은 저항  $Z_{load}$ 를 부하로 하는 변압기의 2차 회로로 볼 수가 있다. 즉,  $Z_{load}$ 에서 전력이 열로 변환되어 피열물을 일정온도까지 일정시간 내에 가열하여 유지하게 된다. 한편 주파수가 높아지면 와전류의 표피작용으로 와전류가 표면에만 분포하며, 열도 표면에만 발생하게 된다.



(a) 변압기 등가회로 (b) 등가 부하 슬랩

그림 2 히팅 롤의 해석모델

3 파라미터 및 제작도

3.1 요구사항

히팅롤의 설계시 요구사항은 표1과 같다. 일반 철로

이루어진 히팅롤을 상용전원에서 30분 동안 300 °C까지 올릴 수 있는 용량으로 설계하였다.

표 1. 유도가열기의 요구 설계 사양

재료	Steel
비투자율	4,000
코어의 재료	규소강판
코어의 비투자율	10,000
입력 전압	220V
입력 주파수	60Hz
상승온도	상온으로부터 300 °까지 30분동안에 가열

### 3.2 설계 파라미터

표 2는 주어진 표 1의 요구사양을 만족하도록 설계 프로그램으로 계산된 히팅롤의 설계파라미터를 정리한 것이다.

표 2. 히팅 롤 설계 파라미터

바깥쪽 지름	0.66m
안 쪽 지름	0.45m
두께	0.105m
길이	5.1m
코일의 지름	0.0012m
공극의 길이	0.0025m
코어의 두께	0.03m
코어의 안쪽 지름	0.19m
코어의 바깥 지름	0.25m
턴수	1300turn
전류	2.3A
등가 레지스턴스	4.1168 Ω
등가 리액턴스	4.1168 Ω
역률	0.707

### 3.3 제작도

그림 3은 표 2와 같은 설계 파라미터를 갖는 전자기 유도형 가열장치인 히팅롤을 실제 제작하기 위한 도면이다. 히팅롤은 전류코일, 규소강판, 일반 철강으로 이루어진다.

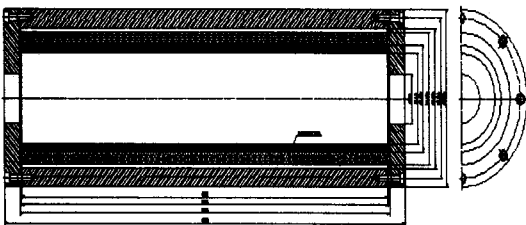


그림 3. 히팅롤의 제작단면도

그림 4는 실제로 제작된 히팅롤을 나타내고 있다. 히팅롤의 안쪽 구조는 전류 코일과 자속패스인 코어, 그리고 롤을 지지하는 축으로 이루어진다. 그림 5는 전류 코일과 코어, 그리고 축의 단면을 나타내는 그림이다. 코어에서의 와전류손을 최대한 줄이기 위해 코어 부분은 적층 구조로 되어 있다.

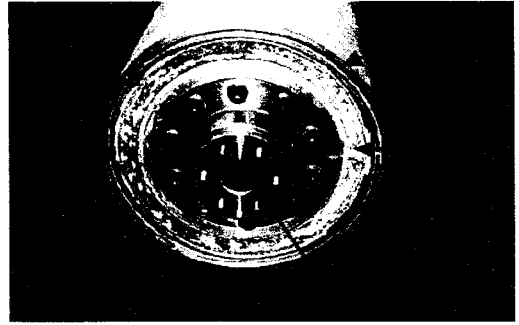


그림 4. 히팅롤의 안쪽 형태

### 4 1차측 재질에 따른 특성해석

히팅롤의 1차측은 몸체를 지지하는 비자성체의 지지부와 적층 코어 그리고 코일로 구성되어 있다. 1차측의 경우 인가전류에 의하여 발생한 자속에 의하여 히팅롤 내부에서 열이 발생한다. 특히, 히팅롤 내부는 기계적으로 외부와 차단되어 있기 때문에 열이 발생하였을 경우 냉각이 있어서 상당한 어려움을 겪게 된다. 따라서 설계 및 제작시 1차측 코어 및 지지부 재질 선택 및 기계적인 구조, 설계에 있어서 여러 가지 사항을 반드시 고려해야 한다.

본 논문에서는 1차측 설계 및 제작에 있어서 히팅롤 내부에서 발생하는 열과 직접적으로 관계가 있는 재질 선택에 따른 온도 특성에 대하여 연구하였다.

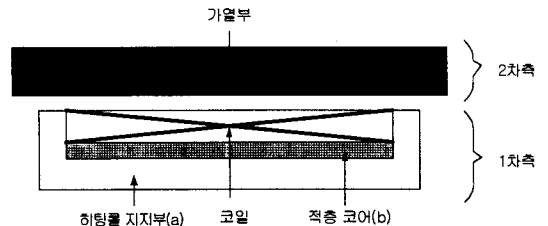


그림 5 히팅롤의 1, 2차측 단면도

### 4. 유한 요소를 이용한 특성해석

#### (1) 해석 모델

FEM을 이용해 히팅롤의 자속분포, 와전류분포, 열분포 등의 주요특성을 좌우, 상하 대칭인 점을 감안하여 그림 3과 같은 모델의 1/4인 그림 6과 같이 설정하였다.

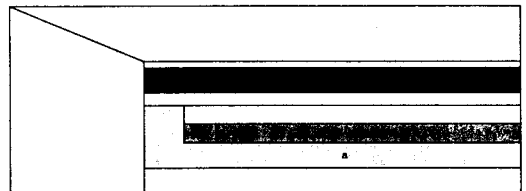


그림 6 히팅롤의 유한요소 해석모델

그림 7은 1차측 재질에 따른 히팅롤에서의 와전류 분포를 나타내고 있다. 그림 7 (b)에서 알 수 있듯이 1차측 a영역을 steel, b영역을 적층코어로 사용하였을 경우 인가전류에 의하여 발생하는 자속이 b영역에만 존재하게

되어 와전류 또한 b 영역에서만 발생하게 된다. 그림 7 (c)의 경우 a, b 영역을 모두 steel로 사용하였을 경우, 1차측 영역 전체에 걸쳐 와전류가 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 8은 1차측 재질에 따른 와전류밀도 분포특성을 나타내고 있다.

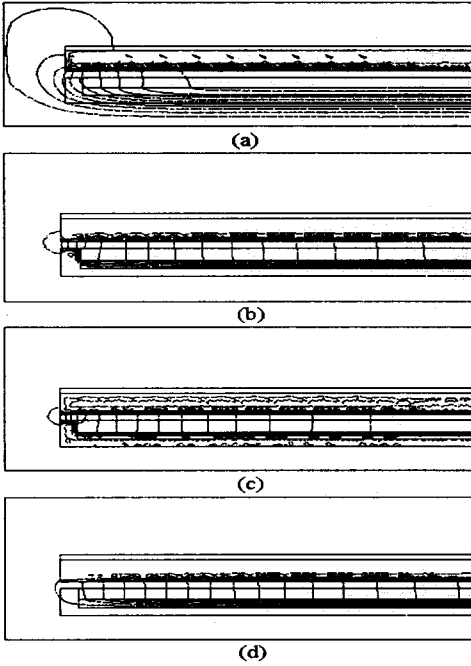


그림 7 1차측 재질에 따른 와전류 분포  
 (a) a, b = 알루미늄 (b) a = steel, b = 적층코어  
 (c) a, b = steel (d) a = 알루미늄, b = 적층코어

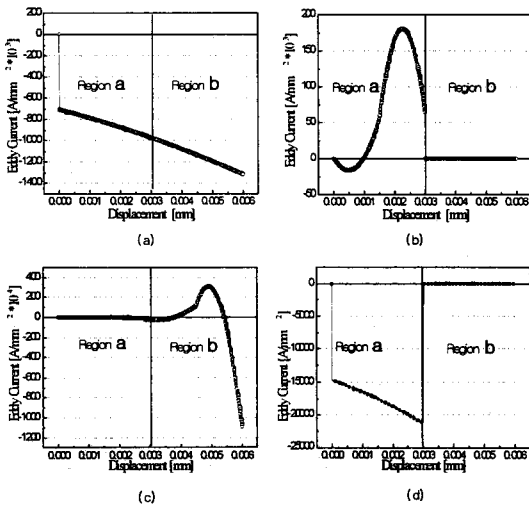


그림 8 1차측 재질에 따른 와전류 밀도  
 (a) a, b = 알루미늄 (b) a = steel, b = 적층코어  
 (c) a, b = steel (d) a = 알루미늄, b = 적층코어

표 3은 그림 8의 (a)-(d)에 따른 1, 2차측의 time average loss를 나타내고 있다. 히팅롤에서 와전류에 의하여 발생하는 열손실은 time average loss와 관계가 있으므로 이를 토대로 하여 상대적으로 발생하는 열을 예

측할 수 있다. 표 3에서 알 수 있듯이 경우(b)에서 즉, a영역은 steel, b영역은 적층코어를 사용하였을 경우에 가장 우수한 열특성을 얻을 수 있었다.

표 3 1차측 재질에 따른 히팅롤에서의 열손실

	1차측 Loss	2차측 Loss
경우 (a)	4.41 [Watt]	120.9 [Watt]
경우 (b)	2.98 [Watt]	619.6 [Watt]
경우 (c)	176.3 [Watt]	120.9 [Watt]
경우 (d)	4.7 [Watt]	565.6 [Watt]

### 5 결론

히팅롤은 누설 자속을 최대한 줄이는 구조로 되어 있어 역률이 다른 유도 가열 장치보다 상대적으로 높고, 또한 활용 범위도 대단히 넓다.

본 연구에서는 인쇄공업, 제지 및 펄프 공업, 비닐, 나일론을 포함한 섬유공업분야에서 활발하게 응용되고 있는 히팅롤에 있어서 1차측에서 발생하는 열을 최소화 시키기 위하여 1차측 재질을 변화시켜가면서 그에 따라 발생하는 열을 해석하였다. 그 결과 보다 우수한 열특성을 갖는 재질을 선택할 수 있었으며, 이를 토대로 히팅롤의 효율을 증가시킬 수 있었다.

### 【참고 문헌】

- [1] N.R. STANSEL "INDUCTION HEATING" McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Inc, 1949
- [2] S.Zinn and S.L. Semiatin, I.L. Harry and R.D. Jeffress. "Elements of Induction Heating", EPRI, ASM, 1988
- [3] C. James Erickson. "Handbook of Electrical Heating for Industry", IEEE Press, 1995
- [4] Karol Aniserowicz et al "A New Concept for Finite Element Simulation of Induction Heating of Steel Cylinders" IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.33, No.4, pp.893-897, July/August, 1997.