

캔드형 유도전동기의 와전류 손실 특성 해석

송정태\*, 이 건\*, 조유희\*  
 동아대학교\*

Eddy Current Losses Characteristic Analysis of Canned Induction Motor

Jung-Tae Song\*, Jian Li\*, Yun-Hyun Cho\*  
 Electrical Engineering, Dong-A University\*

**Abstract** - 본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 캔드형 유도전동기의 와전류 손실 해석에 대해 다루고자 한다. 본 논문에서 제시하는 캔드형 유도전동기는 회전자와 고정자 사이에 물이나 화학물질이 흐를 수 있도록 고정자와 회전자를 얇은 캔으로 밀봉한 유도전동기로 산업분야에 이용되는 특수한 전동기이다. 캔드형 유도전동기의 캔에서 와전류로 인하여 발생하는 캔 손실이 상당히 크므로 전동기의 손실을 고려해야 한다. 캔드형 유도전동기의 와전류 손실 해석을 하기 위해 이론적인 등가회로도 법을 이용하여 와전류 손실 부분을 나타내며, 캔의 유무에 따라 와전류 손실 특성을 나타내고자 한다.

1. 서 론

산업 발달과 더불어 여러 산업 분야에 유도전동기는 많이 사용되고 있으며, 각종 산업펌프용으로도 많이 사용되고 있다. 원자료와 같이 특성상 한번 설치되면 유지 및 보수가 어려운 냉각제 순환펌프용 전동기는 열이 많이 발생하여 일반적인 베어링 윤활유를 사용하지 않고 순수한 물을 사용한다. 캔드형 유도전동기에서 와전류가 발생하는 캔 부분의 재질은 기계적 강성이 크고, 용접성이 좋으며 전동기의 효율 향상을 위하여 비자성체인 스테인레스 재질을 사용하였다. 캔드형 유도전동기의 특성상 회전자 캔보다 고정자 캔에서 많은 와전류가 발생하게 되는데 이러한 와전류로 인하여 고정자 캔에서는 많은 열이 발생하게 되며, 이러한 열은 캔드형 유도전동기의 효율을 저감시키는 주요 원인이 된다. 일반 유도전동기가 아닌 특수한 형태의 유도전동기이므로 연구 자료를 구하기 쉽지 않으며, 캔 부분에서 발생하는 와전류에 대한 체계적인 해석 자료도 미비한 정도이다. 본 논문은 캔드형 유도전동기의 효율을 증가시키기 위하여 고정자의 캔 부분에서 발생하는 와전류의 손실에 대해 등가회로도 통해 나타냈으며 캔 두께에 따른 와전류 특성에 미치는 영향을 파악하여 캔드형 유도전동기의 효율을 증진시키고자 한다.

2. 본 론

2.1 캔드형 유도전동기의 해석 모델

그림 1은 본 논문에서 해석된 캔드형 유도전동기의 모델 및 사진을 나타내었다. 캔드형 유도전동기의 고정자 코어는 S23의 규소강판으로 B-H 특성커브를 사용하여 물성 비선형 해석을 수행하였으며 2차측 도체는 알루미늄을 사용하였다. 캔드형 유도전동기에서 발생하는 손실 중 캔 손실이 가장 많이 발생하므로 전동기의 효율 향상을 위하여 캔에서 발생하는 손실을 최소화하기 위해서 고정자와 회전자의 얇은 캔 부분에 저항율이 상당히 크고 회전자 내부의 높은 압력을 견딜 수 있는 비자성 스테인레스 재질인 SUS316L을 사용하여 물이 고정자와 회전자의 코어에 영향을 주지 못하도록 하였다. 표 1은 캔 부분에 사용되는 스테인레스 재질의 특성을 나타냈으며, 표 2은 캔드형 유도전동기 해석모델의 자세한 사양을 나타내었다.

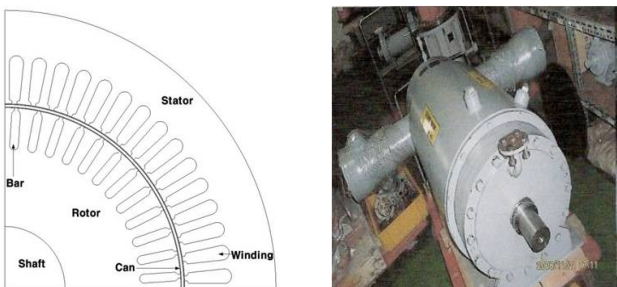


그림 1. 캔드형 유도전동기 해석 모델 및 사진

	Resistivity [ $\mu \Omega \text{ cm}$ ]	Permeability
SUS316L	74	1.004

표 1. 스테인레스 재질의 특성

Design specification	Value
Pole number	4 [Pole]
Air Gap	1.45 [mm]
Stator Core Length	580 [mm]
Can thickness	0.8 [mm]
Connection	4병렬 $\Delta$ 결선

표 2. 캔드형 유도전동기의 해석 모델 제한

2.3 캔드형 유도전동기의 등가회로도

회전자 캔에서 발생하는 와전류는 고정자 회전자계의 슬립 주파수에 비례하며, 회전자 캔의 손실 값은 고정자 캔의 손실에 비해 작으므로 회전자 캔의 손실은 무시하고 고정자 캔의 손실만 고려하기로 한다. 그림 2은 캔 부분이 고려된 등가회로도이다. 등가회로도 법을 이용하여 각 파라미터의 값을 구하여 철손과 캔의 손실이 결합된 캔드형 유도전동기의 등가회로도를 구할 수 있다.

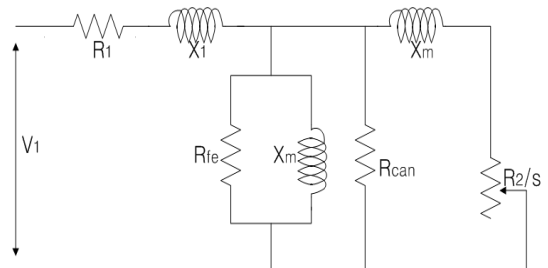


그림 2. 캔 손실이 고려된 등가회로도

캔의 저항은 캔 바 부분과 캔 링 부분으로 나누어 정리하면 다음과 같다.

$$R_{canbar} = m(N_{ph1} + k_w)^2 \left( \frac{\rho_{can} \cdot l_{canbar}}{A_{canbar}} \right) \tag{1}$$

$$R_{canring} = m(N_{ph1} \cdot k_w)^2 \left( \frac{2 \cdot \rho_{can} \cdot D_{canr}}{\pi \cdot p^2 \cdot A_{canring}} \right) \tag{2}$$

$$R_{can} = R_{canbar} + R_{canring} \tag{3}$$

캔의 저항  $R_{can}$ 은 그림 2의 철손저항  $R_{fe}$ 과 병렬 회로 구성이 가능하며, 이를 수식으로 나타내며 다음과 같다.

$$R_{fe}' = \frac{R_{fe} \cdot R_{can}}{R_{fe} + R_{can}} \tag{4}$$

식 (4)의  $R_{fe}'$ 와  $X_m$ 을 다음과 같은 식으로 나타내어 철손과 캔 손실이 결합된 캔드형 유도전동기의 등가회로도 나타낼 수 있다.

$$R_m = \frac{X_m^2}{R_{fe}' \left[ 1 + \left( \frac{X_m}{R_{fe}'} \right)^2 \right]}$$

$$X_m' = \frac{X_m}{\left[ 1 + \left( \frac{X_m}{R_{fe}'} \right)^2 \right]}$$

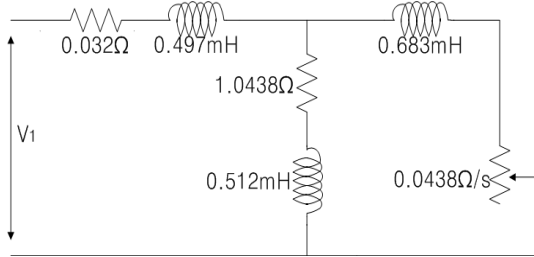


그림 3. 철손과 캔 손실이 결합된 캔드형 유도전동기의 파라미터 값

### 2.4 캔드형 유도전동기의 특성해석 결과

그림 4.은 캔드형 유도전동기의 고정자 캔과 회전자 캔의 와전류밀도를 나타내었는데 회전자 캔보다 고정자 캔의 와전류밀도가 높다는 것을 알 수 있다. 캔드형 유도전동기의 효율 향상을 위해서는 고정자 캔에서 발생하는 와전류 손실을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.

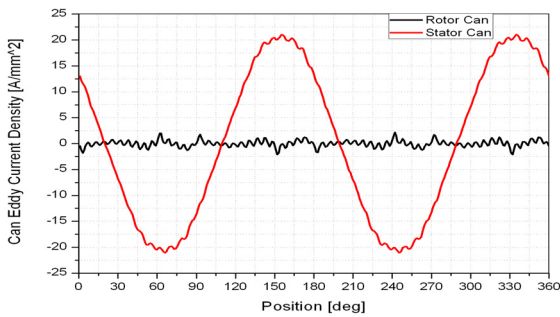


그림 4. 캔 부분의 와전류 전류밀도

그림 5, 6.은 캔의 유무에 따른 특성을 나타내었다. 그림 5.은 캔의 유무에 따른 토크의 발생을 알 수 있는데 이는 캔의 유무 따라서 1차측의 저항이 달라졌기 때문에 토크에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

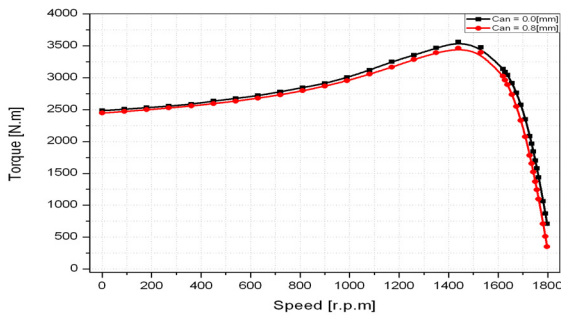


그림 5. 캔의 유무 따른 토크의 특성

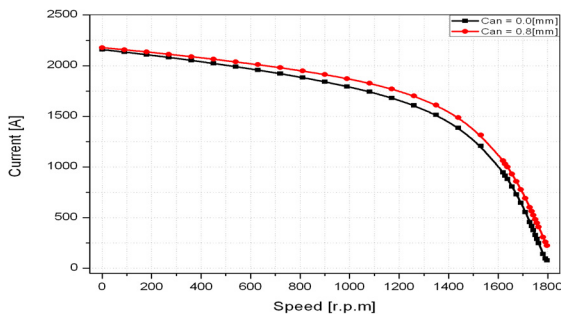


그림 6. 캔의 유무에 따른 전류의 특성

(5) 그림 6.은 캔의 유무에 따른 전류의 특성을 나타내고 있는데 이는 같은 출력을 낼 때 캔의 유무에 따라 캔에서의 손실로 인해 일반 유도전동기 보다 캔드형 유도전동기가 더 많은 전류를 필요로 한다는 것을 알 수 있다.

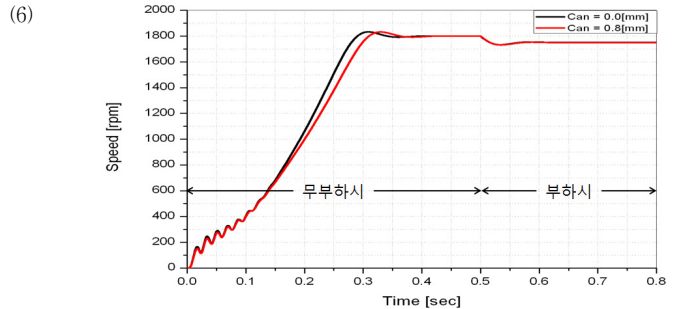


그림 7. 캔의 유무에 따른 속도 곡선

그림 7.은 캔의 유무에 따라서 같은 속도에 도달하는 시간의 차이를 나타내었다. 무부하시에는 일반 유도전동기가 캔드형 유도전동기 보다 빨리 동기속도에 도달하는 것을 볼 수 있다. 부하시에는 같은 출력을 발생하도록 하여 속도의 차이를 거의 볼 수 없다.

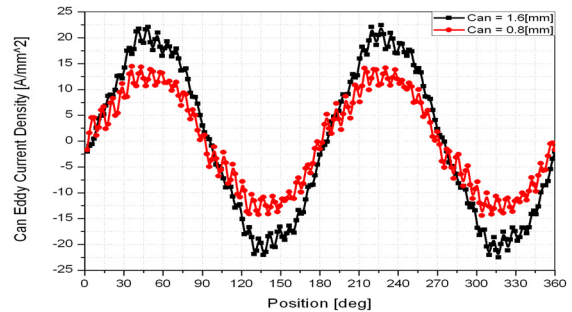


그림 8. 캔 두께에 따른 고정자 캔의 전류 밀도

그림 8.은 캔의 두께에 따라 고정자 캔의 와전류밀도를 나타냈었는데 캔이 두꺼울수록 고정자 캔 부분에서 와전류밀도가 높아 와전류의 손실은 캔의 두께에 비례한다는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 2차원 유한요소 해석을 통하여 캔드형 유도전동기의 와전류에 손실에 대하여 논의 하였다. 일반 유도전동기의 등가회로도 법을 이용하여 캔과 철손이 결합된 등가회로도를 나타낼 수 있었으며 캔의 유무에 따른 특성들을 분석 하였다. 캔의 와전류 손실로 인해 캔드형 유도전동기는 일반 유도전동기 보다 모든 특성들이 떨어져 일반 유도전동기의 효율보다 약 10~13%정도 떨어지는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시한 연구결과는 캔드형 유도전동기에서 고정자 캔에서 발생하는 와전류 손실을 줄여 캔드형 유도전동기 효율 향상의 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지 자원 인력양성 사업의 연구결과입니다.

### [참 고 문 헌]

[1] J.A. TEGOPOULOS, E.E. KRIEZIS, "Eddy Currents in Linear Conducting"  
 [2] 구대현, "原子爐 冷却材 循環펌프용 誘導電動機의 Can影響을 고려한 特性解釋 設計 및 製作", 2001  
 [3] Dai Uneyama, Yuji Akiyama, Shinya Manome, Tomokazu Naruta "The Proposal of Can Loss Estimation Method of Canned Motor", IEEE, 2007, Oct.8~11  
 [4] 임건규, 이항범, "전자장 해석 프로그램을 이용한 와전류 문제의 해석 및 이해" 대한전기학회 논문집, 2006  
 [5] 허진, 홍정표, 현동석, "3차원 와전류 해석을 위한 등가자기회로방법의 개발" 대한전기학회 논문집