

# A C 牽引用 誘導電動機의 장하비(裝荷比)에 관한 研究

## A Study for the Magnetic Loading and Electric Loading Ratio of AC Induction Motor for Traction Purpose

권중록\*\*\* 박정태\*\* 이갑재\*\* 이정일\*\* 김기찬\* 이종인\* 김연달\*  
Kwon Jung-Lock, Park Jung-Tae, Lee Kab-Jae, Lee Jung-Yil, Kim Ki-Chan,  
Lee Jong-In, Kim Yun-Dal

---

### ABSTRACT

Designing of the squirrel cage AC Traction Motor has many difficulties which has to be small size in order to be suitable into bogie frame, high efficiency and light weight. It means that induction motor for tractive purpose has to be different magnetic and electric loading ratio from industrial induction motor. This paper is devoted to an examination of how this ratio affects overall design concept and hence the main design points for traction motor.

Also studied is the changed coefficients of the magnetic and electric loading ratio squirrel cage induction motor for the traction purpose which has been already identified from the reference book for industrial purpose induction motor.

---

### 1. 서론

전동기에 의한 견인력이란, 구동용 전동기와 연결된 차륜을 회전시켜 차륜과 접촉되는 부분과의 마찰력에 의해 생기는 추진력을 말하는 것으로 마찰계수를 크게 하거나 구동축에 가해지는 중량을 크게 하면 큰 견인력을 구할 수 있다.

그러나 이러한 마찰계수나 축 중량은 여러 가지 이유로 적용에 제한되어져 있으므로 필요한 견인을 구하기 위해서는 부하성격에 따른 적절한 크기로 충분한 출력을 발생시키는 전동기의 설계가 필요로 하게 되며 이는 곧 소형 경량화와 연계된 장하비의 선정을 고려하게 된다.

그러므로 본 논고에서는 우선 전기적 특성을 결정하는 코아부피와 용량과의 관계를 나타내는 출력계수에 대해 현재 가장 널리 사용되고 있는 일반 산업용 전동기와의 관계를 비교하고 적용 용도별 견인전동기의 장하비 성격을 분석하여 향후 동일목적의 견인전동기를 소형 경량화 설계 시 활용하고 저 한다.

### 2. 기기의 특성과 치수

설계란 고안작업이다. 따라서 견인전동기 설계 시에도 그 동안 수 없이 설계, 제작되었던 산업용 전동기에 대한 자료조사를 통하여 견인전동기의 운전환경에 적합한 설계 계수를 찾는 것이 매우 중요하다 할 수 있다

---

\* 현대중공업 기전연구소 연구1급 연구원

\*\* 현대중공업 기전연구소 선임 연구원

\*\*\* 현대중공업 기전연구소 책임 연구원

## 2.1 출력계수

그 대표적인 것으로서 전동기 외형치수를 결정하는 것이며, 전동기가 설치되는 공간적 제한을 받는 건인 전동기를 설계하기 위해서는 출력계수 조사를 통한 경험적 외형 크기를 설계 초기단계에서 잠정 결정할 수 있다.

전동기는 전기적 특성을 결정하는 고정자와 회전자를 주체로 구성되어 있으므로 회전자의 직경(=D)과 적층길이(=L) 값을 결정한 후 다른 치수를 순차적으로 결정할 수 있다. 그리고 이러한 치수와 용량과의 관계에 대해 과거 Snell, Arnold, Ossana 등의 학자들은 D<sup>2</sup>L 법을 이용한 산업용 유도전동기에 대한 출력계수를 다음 그림과 같이 조사하였으며 일반적으로 대용량의 것일수록 이 값이 적고 넓은 범위로 분포됨에 따라, 일정한 계수를 도출하기는 어렵다는 것을 알 수 있다.

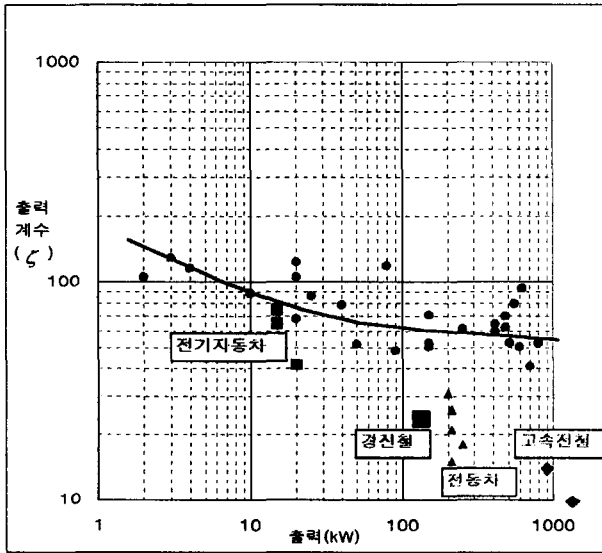


그림 1 유도전동기 출력계수

$$\text{출력계수 } (\xi) = \frac{D^2 \cdot l \cdot \text{rpm}}{kW} \quad (1)$$

D ; 고정자 내경, kW ; 용량  
l ; Core적층길이, rpm ; 회전수

그러나, 건인전동기용 유도전동기의 경우에는 일정범위에 분포되어져 있으며, 특히 전동차용일 경우는 작은 출력계수 값( ~ 30×10<sup>4</sup> 미만)을 가지고 있으므로 이는 출력밀도가 높고 무게는 가볍다는 뜻이다. 이는 곧 응용분야인 차량의 제한된 설치 공간과 무게를 고려한 설계 접근 방법이라 할 수 있으며 이때의 전동기는 고 신뢰성을 가지기 위해 전동기에서 발생하는 열이 허용 온도 범위를 넘지 않도록 구조 및 냉각장치의 설계기술이 중요시되어야 한다.

## 2.2 장하비

앞에서 선정된 출력계수는 전동기 전체부피를 결정하는 요소임에 틀림이 없다

그러므로 이를 결정하기 위한 수단으로써, 회전기기는 극수를 가지고 있으며 한 극이 가지는 용량은 메극에 대하여 대칭구조라는 사실로부터 주어진 기기의 극수(=P), 용량(=kVA) 및 주파수(=f)등을 사용, 극당 용량(=kW/P)과 비용량(=S/f)을 구할 수 있다

$$kVA = \frac{\text{出力 [kW]}}{\eta \cos \phi} = 2.1 \times (3N_{ph} I_{ph}) \phi f \times 10^{-3} \quad (2)$$

N<sub>ph</sub> : 상당직렬도선수, I<sub>ph</sub> : 상전류    η : 효율,    cos φ : 역률

$$= K \times PAC \phi f \times 10^{-3} \quad (3)$$

K : 2.1,    PAC : 3N<sub>ph</sub>I<sub>ph</sub>,    P : 극수,    AC : 암페어도선수/극

$$S = \frac{KVA}{P} = KA \phi f \times 10^{-3} \quad (4)$$

$$\text{또는 } \frac{S}{f \times 10^{-2}} = K (\phi \times 10^2) (A \times 10^{-3}) \quad (5)$$

$$\therefore A = \frac{3 \cdot N_{ph} \cdot I_{ph}}{P}, \quad \phi = \frac{E_{ph} \cdot 10^8}{2.1 \cdot N_{ph} \cdot f \cdot Cw} \quad (6)$$

상기 식으로부터 결국 기기의 용량은 전기장하( $A \times 10^{-3}$ )와 자기장하( $\phi \times 10^2$ )와의 곱으로 나타낼 수 있다.

그러므로 기기의 용량을 결정하는데 있어서는 설계자가 설계자의 선호도 혹은 보유하고 있는 설계자료를 참고로 두 장하의 비율을 임의로 선정함으로써 요구되는 특성이 만족 될 수 있는가를 검토하여 장하의 비율 조정하되 기기의 성능, 구조 및 가격적인 면을 고려하고, 그래서 최종 결정된 기기가 전기장하가 큰 경우에는 동기계라고 하며, 자기장하가 큰 경우에는 철기계라고 한다

### 3. 응용 분야별 특징

견인전동기에 응용되는 유도전동기는 일반적으로 일정출력특성이 요구되며 운행차량의 최고속도까지 원활한 가감속 특성을 위하여 넓은 정출력 영역을 가지는 것이 요구된다

#### 3.1 전기자동차용

전기자동차용 견인전동기는 자동차의 내연엔진과 동등한 역할을 해야 하며 이를 위해서는 전속도영역에서 일정한 과부하 내량과 높은 속도까지 정출력 특성이 요구되므로 이는 모두 높은 정동토크를 가지는 전동기의 특성을 필요로 하고 있으므로 철기계화에 가까운 전동기로 설계되어야 한다는 것이다.

이는 당사에서 설계한 전기자동차용 견인전동기를 통해서도 이것을 확인할 수 있다.

철기계로 설계된 경우는 외부요인에 의한 특성변화가 작고 동기계에 비하여 동손이 작은 편이므로 온도상승에 대해서 유리하리라 예상된다.

표 1 전기자동차용 견인전동기 장하

정격용량 (kW)	비용량 (S/f)	전기장하	자기장하
15	3.8	0.9	2.8
	3.8	1.5	2.1
20	5.2	1.7	1.8

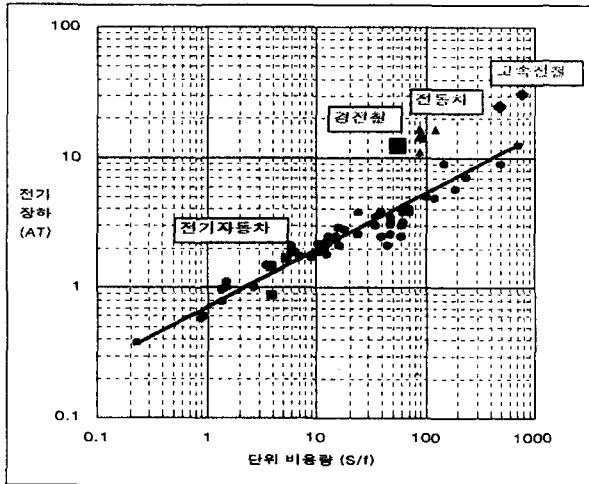
#### 3.2 철도차량용

철도차량용 견인전동기는 근교형 전차, 지하철 전동차 및 고속전철용 등 모두 다 일정 출력특성을 요구하는 견인전동기의 일반적인 설계특징과 일치하며 운행차량의 최고속도까지 원활한 가감속 운전을 위하여 넓은 정출력 범위를 가지는 전동기 특성이 요구된다는 점에서는 동일한 설계방법을 취하여야 할 것으로 사료된다. 만약 이것이 사실이라면 전기자동차용 견인전동기와 동일한 개념으로써 자기장하가 전기장하보다 크게 나타나는 철기계의 형태가 되어야 할 것이다.

그러나 지금까지 본 논고를 위해 조사된 철도차량용 견인전동기는 모두 산업용 유도전동기에 비해서는 전기장하가 크게 나타나고 있다. 따라서 견인용으로 설계된 유도전동기는 일반산업용 목적의 것에 비하여 크기가 작다는 사실을 알 수 있다.

이것은 철도차량 대차의 제한된 설치공간으로 전동기의 부피를 크게 하는 철기계의 형태보다는 동기계의 형태가 되기 쉬우며 이 경우에도 역률, 효율 및 온도상승제한 등과 같은 설계요소를 만족시켜야 하는 점에서 설계자의 어려움이 예상된다는 것이다.

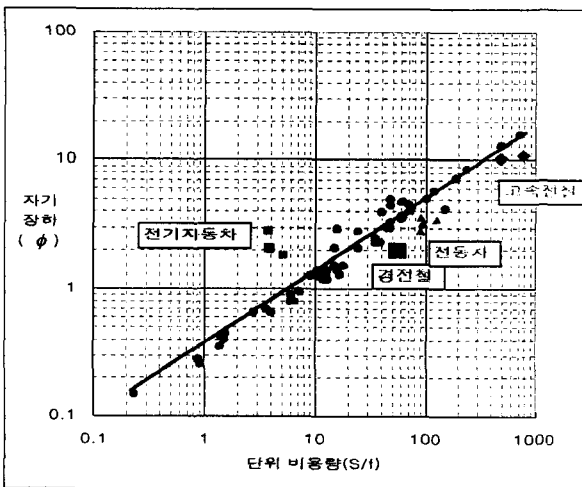
동기계로 설계되는 경우 銅부분이 코아에 비하여 많은 편이고, 그러므로 조그만 전압변동 등의 원인에 의해서도 특성이 쉽게 변동할 수 있으며 동손이 철손에 비해 서 크게 되어 온도상승이 큰 편이다. 따라서 냉각과 온도상승으로 인한 전동기의 절연물, 전기적 및 기계적 특성변화 容易에 대한 부분도 필히 중요하게 고려되어야 할 것이다.



그 립 2 유도전동기의 전기장하

표 2 전동차용 견인전동기 장하

정격용량 (kW)	비용량 (S/f)	전기장하	자기장하
200	96	14	3.2
250	125	16.6	3.4
210	90	16.6	2.8
210	90	11	3.6
210	90	14.6	2.8
210	90	14.5	2.8
210	90	14.6	2.8



그 립 3 유도전동기의 자기장하

표 3 경전철 및 고속전철용 견인전동기 장하

정격용량 (kW)	비용량 (S/f)	전기장하	자기장하
130	54	12.6	2
910	485	24.7	10.2
1250	768	31.1	11

### 3.3 철도차량용 전동기의 기준장하와 장하분배정수

장하분배법에 의한 기기설계시에는 전기장하 또는 자기장하중 어느 한쪽을 구하면 다른 쪽은 기계의 비용량으로 부터 구해질 수 있다. 그러나 비용량만이 주어진 경우에도 통계에 의하여 나타난 기준장하 및 장하분배정수를 활용, 용량별 장하를 계산하여 설계를 진행 할 수 있다.

그림 2, 그림3에서 나타난 직선은 기존 유도전동기의 비용량과 전기장하 및 비용량과 자기장하의 관계를 그린 것이며 어느 것이나 대략 직선으로 표시될 수 있으며 이 직선에 대한 수식은 전기장하, 자기장하에 대하여

$$A = 0.75\left(\frac{S}{f}\right)^{0.415} \quad (7)$$

$$\phi = 0.335\left(\frac{S}{f}\right)^{0.585} \quad (8)$$

로 각각 나타낼 수 있다.

이때 0.75 및 0.335의 수를 비용량( $\frac{S}{f}$ )을 1로 한 기준장하라 하며 장하분배정수( $\gamma$ )는

$$\frac{0.585}{0.415} = 1.4 \text{ 이다}$$

앞에서 나타난 수식으로부터 비용량이 결정되면 전기장하와 자기장하와의 곱은 일정하므로 이러한 양 장하의 비율은 어떻게 해도 좋다. 즉 자기장하와 전기장하와의 곱을 면적으로 나타낼 때 같은 비용량의 기기는 양 장하의 비율을 임의로 선정할 수 있으며 동일한 면적을 가진다. 이 때 설계자가 임의로 선정한 자기장하 대 전기장하와의 비율을 장하분배 정수라 하며 기존 유도전동기는 그 값이 1.4인 것이다.

그러나 이러한 장하분배 정수는 사용재료의 진보와 더불어 변화하는 성질의 것으로써 특히 견인전동기의 경우 사용 환경의 제약 조건에 의하여 소형 경량화 추세에 따른 설계기술의 향상과 사용재료, 특히 절연재의 성능 향상으로 장하분배 정수가 달라 질 수 있다.

그러므로 지금까지 조사된 데이터를 기준으로 이러한 견인전동기 장하분배정수를 새롭게 구하고자 한다면 그림 2, 그림 3에서 나타난 직선은 기존 유도전동기의 비용량과 전기장하 및 비용량과 자기장하의 관계를 벗어난 다른 직선으로 표시될 수 있으며 이 직선에 대한 수식을 개략적으로 구하여 보면 전기장하, 자기장하는 다음과 같이 각각

$$A = 1.45\left(\frac{S}{f}\right)^{0.45} \quad (9)$$

$$\phi = 0.27\left(\frac{S}{f}\right)^{0.55} \quad (10)$$

로 표시할 수 있다.

표 4 견인전동기 장하분배정수 및 기준장하

기 종 \ 정 수	장하분배정수	기준전기장하	기준자기장하	비고
견인전동기	1.22	1.45	0.27	

또한 장하분배정수( $\gamma$ )는  $\frac{0.55}{0.45} = 1.22$  가 된다.

#### 4. 결 론

지금까지 본 논고에서는 그 동안 당사에서 직접 設計하였거나 외부로부터 입수된 전기적 데이터를 분석하여 새롭게 사용된 견인전동기의 장하분배 정수를 구하고 소형 경량화를 위한 기본적인 설계방향을 도출함으로써 향후 유사 용도의 제품설계를 위한 실제적 경험자료를 만들고자 노력하였다.

또한 철도차량용 견인전동기는 산업용 전동기와는 다른 장하 구성비를 가지고 있다는 사실과 적용분야의 요구특성은 철기계의 것을 이야기 하고 있으나 장하비의 구성에 따른 기계분류는 철기계 보다는 동기계에 가까운 성질을 가지고 있으므로 철도차량을 운전하기 위한 전기적 특성 확보는 물론 대중 교통수단 필수 요소인 신뢰성과 내구성확보를 위하여 냉각구조, 절연물선정 및 저소음 고효율 Fan 설계가 제품의 품질에 특히 영향을 줄 수 있는 설계기술임을 확인하였다.

그러므로 전기적 에너지가 기계적 에너지로 변환되는 과정에서 발생하는 열과 이것이 기계구조 상에 영향을 주어 품질과 수명이 어떤 영향을 받을 것인지에 대한 실제 해석기술 반드시 확보되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 元東京電機大學教授·工學博士 竹內壽太郎, 東京電機大學教授·工學博士 磯部直吉 “新版 電氣機器設計學” オム社, 1974
- [2] 元鍾洙 譯 “電機設計學” 東逸出版社, 1994
- [3] ENRICO LEVI “POLYPHASE MOTORS , A Direct Approach to Their Design” A Wiley - Interscience Publication JOHN WILEY & SONS 1984
- [4] 李承院 “電氣機械 設計” 文運堂, 1991
- [5] 朴旻鎬 “誘 導 機 器 ” 웅명사 1989
- [6] 工學博士 朴正泰 “퍼지결정법을 이용한 電氣自動車용 誘導電動機의 다중목적 최적設計” 공학박사 논문, 1997
- [7] 工學博士 李哲均 “Niching 유전 알고리즘을 이용한 電氣自動車용 誘導전동기의 최적設計” 공학박사 논문, 1998
- [8] 工學博士 金鍾九 “電氣自動車용 구동용 誘導電動機 시스템의 고성능운전” 공학박사 논문, 1997
- [9] “地下鐵용 牽引誘導電動機 개발에 관한 연구” 한국전력공사, 1996
- [10] 한국철도技術연구원 “추진제어장치 연구개발 결과보고서 (分野: 牽引電動機 기본設計 및 해석연구)” 도시鐵道車輛 표준화 국산화 공동연구개발, 1997
- [11] L.E. Unnewehr S.A. Nasar “Electric Vehile Technology” A Wiley - Interscience Publication JOHN WILEY & SONS 1982