

철도차량용 전동기 개발

윤 승진[○], 이 인우*, 성 기대*, 하 현성*, 노 철용*
*효성중공업 주식회사 기술연구소

The Development of A.C. Induction Motor for Electric Railway
Rolling Stock

S. J. YUN[○], I. W. LEE*, G. D. SUNG*, H. S. HA*, C. W. NOH*
HYOSUNG INDUSTRIES CO.,LTD.

Abstract

The Development of A.C. Induction Motor for Railway Rolling Stock.

The traction motor is designed as 4-pole induction motor with self ventilation. The winding insulation is throughout of materials of class H. The rotor is designed as a squirrel rotor with copper bar. The rotor speed is detected by means of a speed sensor.

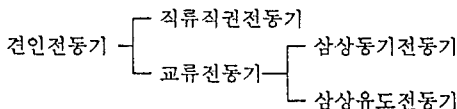
1. 서 론

최근 전기철도차량(지하철,경전철등)에 있어 추진 시스템은 Maintenance free화라는 시대적 요청과 대용량 반도체 소자, 제어기술의 발전에 의해 급격히 변화하고 있는 추세에 있다. 추진시스템이 VVVF Inverter 제어방식으로서의 변화에 따라 추진동기로 사용되던 직류전동기에서 교류유도전동기로 변화되고 있으며 유럽 및 일본등지에서는 실용화하여 널리 이용되며 유도추진동기(AC Traction Motors)를 채택한 고속열차의 개발이 완료되는등 새로운 교통수단으로서 각광을 받고 있으나 국내는 선진메이커의 제품을 도입한 서울 지하철의 과천선 및 분당선에 '94년부터 도입되기 시작하였다.

2. 전기철도차량용으로써 유도전동기의 특성

2.1 견인전동기

철도차량에 사용되는 전동기를 견인전동기라고 하며 다음과 같이 구분할 수 있다.



전기철도 차량용 견인전동기로는 직류직권전동기가 주류를 이루었으나 근래에 와서는 전력전자 및 반도체 소자의 급속한 발전으로 출력이 좋고 중량이 가벼우면서 높은 회전력을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 보수등이 용이한 교류전동기를 사용하는 추세이다. 전동기는 사용 목적상 다음과 같은 조건이 요구된다.

- 넓은 속도 범위에 걸쳐서 고효율로 사용될 것.
- 속도제어가 용이할 것.
- 기동시 비교적 작은 입력으로 큰 인장력을 낼 수 있을 것.
- 병렬 운전시 부하의 불평등이 적을 것.
- 중량이 가벼우며 유지보수가 간단할 것

2.2 견인 전동기로서의 유도전동기

고속철도차량의 견인전동기로서는 프랑스가 Brushless 견인전동기를 최초로 사용함으로써 교류전동기가 실효성을 갖게 되었으며, 그 후 일본 및 독일에서 삼상유도전동기 시스템을 견인전동기로 채택하였다.

교류전동기는 직류전동기에 비해 경량화, 고효율, 고회전, 낮은 보수비용등의 장점이 있다.

과거에는 유도전동기를 사용하였을 때 인버터측에 설치된 사이리스터를 Turn-Off 시키기 위해서는 반드시 전류회로를 별도로 설치했으나 전력전자 및 제어공학의 발달로 대용량 GTO가 사용됨에 따라 구조를 단순화 할 수 있게 되었다.

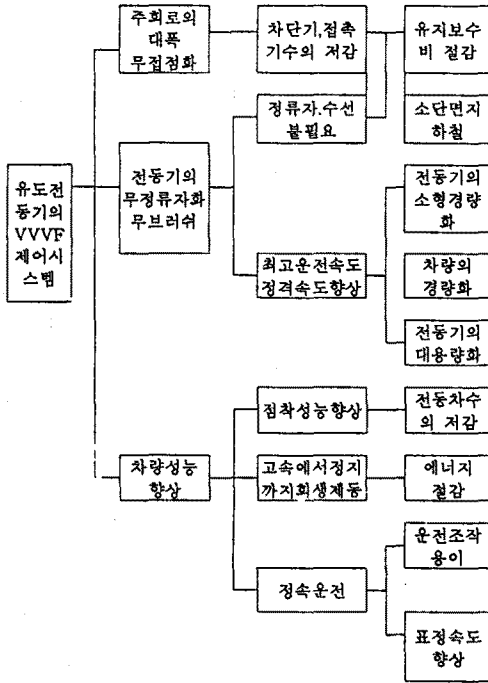
유도전동기는 한개의 인버터로 여러개를 병렬운전을 할 수 있으므로 동력배열이 분산식(EMU)인 지하철의 경우는 유도전동기 방식을 적용하고 있으며 최근에는 고속철도차량에도 채택, 실용화되고 있다 유도전동기를 채용한 시스템의 주요특징은 표 1과 같다.

3. 견인 유도전동기의 설계 및 제작

3.1 견인추진동기 사양

- (1) 형식 : 농형3상유도전동기
- (2) 연속정격 : 200kW, 1100V, 130A, 2055rpm, 70Hz
- (3) 1시간정격 : 230kW, 1100V, 150A, 2045rpm, 70Hz
- (4) 절연계급 : H중 이상
- (5) 최대 회전수 : 6,350rpm
- (6) 적용규격 : IEC 349, JIS E 6102

표 1 유도전동기 구동방식의 특징



3.2 설계상 특징

당사가 개발한 철도차량용 유도주전동기로서 설계상 특징은 다음과 같다.

- (1) 주전동기는 차량진동에 견디어야 하기 때문에 기계적으로 견고한 구조로 회전자는 견고한 농형, 고정자 코일의 코일엔드는 철심으로 부터 오버한 형으로 되어있기 때문에 진동에 따라 철심 끝부분의 코일절연이 파괴되기 쉬워 코일 엔드 내진성에는 충분한 배려를 하였다.
- (2) 동일 인버터로 복수 전동기를 제어하는 경우 이므로 전동기 스태프 토크 특성이 다르면 토크 불균형이 발생하고 정작계수의 유효 이용을 할 수 없게 되고 전동기 온도상승도 높게 되기 때문에 각 전동기 슬립-토크 특성을 고려하였다.
- (3) 주전동기 특성이 동일하더라도 각각의 차륜경에 차가 있으면 토크 불균형이 일어나므로 차륜경차에 의한 토크 불균형을 작게 하기 위해서는 산업용 유도전동기 보다도 정격 스태프를 크게, 즉 2차 저항치를 크게 하였다.
- (4) 유도전동기 등가회로정수 중에서 특성에 가장 영향을 주는 것은 2차 저항치(R2) 이다. 따라서 회전자 2차 도체로 저항율이 비교적 크며, 저항율의 변동이 적고 온도변화가 적은 재료로서 황동(黃銅) 또는 단동(丹銅)을 사용을 검토하였고, 그 중에서 황동 재료의 특성을 나타낸다

- ① 저항율 (20℃) $6.7 \pm 0.4 \mu \Omega \cdot \text{Cm}$
- ② 저항온도 계수 $0.0015 \text{ 1/}^\circ\text{C}$

(5) 무정류자화에 따라 보수성에 관해서 대폭으로 성력화했지만, 먼지가 많은 환경에서 사용되기 때문에 모래 및 먼지 등 쓰레기의 침입은 피할 수 없다. 따라서 고정자와 회전자간의 에어갭은 같은 정도 제격의 산업용 유도전동기의 약 2배정도로 넓게 하였고 농형 유도전동기의 일상적인 보수점검 작업은 축수주위만이기 때문에 구리스를 중간 급유 가능한 방식으로 하여 되도록이면 분해작업을 연장하도록 하였고 고속에 접합한 윤활제를 선정하였다.

(6) 운전속도 범위가 넓기 때문에 회전자는 고속 회전시 원심력 및 열응력에 대해서 충분한 강도를 갖는 구조로 할 필요가 있었으며 또, 고감속비동에 따라 종래 직류전동기 보다도 높은 회전속도에서 사용되는 경우가 많기 때문에 고속회전에 적합한 축계구조로 하였다.

(7) 견인전동기의 온도상승의 원인으로 작용하는 손실에는 고정자 동손, 회전자동손, 철손, 표류부하손, 기계손등이 있다. 인버터 구동에서의 엄밀한 손실 계산은 인버터 출력 전압 파형에 포함되는 고조파 성분이나 고조파 전류에 대한 표류효과를 고려하였다.

전동기의 냉각능력과 속도의 관계는 그 구조에 따라 크게 변하나 당사의 일반적인 TEFC형 전동기에서 속도에 대한 냉각능력을 고려하여 온도상승, 전손실 및 냉각능력을 종합적으로 검토 고려하였다.

표 2. 고정자 권선 온도상승 결과 예

모타형식	모타 정격(kW)	온도상승(K)	
		정현파동작	인버터동작
A	190	102.5 (100)	113.8 (111)
B	190	133 (100)	153 (115)
C	170	108 (100)	126 (116.6)

주. ()내는 정현파 동작을 100%으로 하였을 때의 비율임

(8) 견인전동기는 인버터의 출력 전압에는 그 전류(轉流)동작에 의해서 서지 전압이 발생한다. 서지전압은 인버터의 방식에 의해서 입상 속도상·파고값이 달라지지만 이 서지 전압이 전동기의 운전 전압에 중첩되어 전동기 단자에 걸린다. 때문에 서지 전압이 클 경우에 반복인가에 의한 절연 열화, 코로나 발생에 의한 절연 열화에 대해 고려를 하였다.

(9) 전동기를 인버터로 구동할 경우, 그 출력파형이 왜파라는 점에 기인하는 전자 소음·진동의 증대 및 고속회전에 따른 통풍소음, 기계진동의 증대가 문제로 된다.

1) 전자 소음·진동
인버터 구동의 경우, 공간 고조파에 전압·전류의 시간 고조파가 중첩되어 공극의 고조파 자속이 증

가하고 이 시간 고조파는 주로 수kHz의 캐리어 주파수 근방의 성분으로 이뤄지고 있어 진동기 발생 토르크에 진동을 발생시키는 동시에 진동기 각 부를 가진하기 때문에 소음·진동의 증가를 초래한다.

2) 풍풍소음
 풍풍소음은 냉각팬, 풍풍덕트에 의해 공기 역학적으로 발생하고 4극기등의 고속기를 상용전원 이상의 주파수로 구동할 경우에 팬 음이 커지게 됨으로써 문제가 발생한다.

3) 맥동토르크와 축의 비틀림 공진
 진동기의 회전자와 부하로 구성되는 축계의 비틀림 고유 진동수에 시간 고조파에 기인하는 맥동토르크의 주파수가 일치하면 공진을 야기시켜 축에 큰 토르크가 작용한다.

4) 회전 주파수와 축의 굽힘 공진
 진동기 축에 오버 행 중량을 가지는 경우, 고속회전을 하면 회전 주파수와 축계의 굽힘 고유 진동수가 일치하여 공진을 야기시키기 때문에 축계의 굽힘 고유 진동수를 해석하여 $\pm 25\%$ 의 범위에서 벗어나는 것을 확인하였다.

5) 회전자의 언밸런스에 의한 진동
 회전자의 언밸런스에 의한 원심력은 속도의 2제곱에 비례하여 커지기 때문에 고속으로 될수록 그 진동이 증가하므로 정밀 발란싱 작업을 하였다.

3.3 주전동기 구조

본 주전동기는 4극 농형 유도전동기로 내열성이 우수한 H중 절연 시스템을 채용하였다.

(1) 프레임

주전동기 프레임은 원통형으로 대차에 연결되기 때문에 견고하게 NOSE가 설치되도록 하였다. 반구동축에서 냉각풍이 흡입되도록 하여 부하축으로 나가게 풍도를 설치 하였다.

(2) 회전자

고속 회전에 견딜수 있도록 축수를 설계 하였으며 회전자 바는 고유저항이 크고 강도도 충분하도록 설계하였다. 엔드링부는 고속회전에 견디도록 보호환을 설치 하였다.

회전자에 풍풍 구멍을 설치하여 냉각효과를 향상 시켰다. 회전자 축은 커플링 기어와 연결이 용이하도록 테이퍼 및 고정 볼트 구멍을 설치 하였다.

(3) 고정자

고정자 규소강판과 프레임에 풍풍풍로를 설계하여 냉각효과를 크게 하였으며 고정자 권선은 Y결선으로 내열성이 우수한 C중 바니쉬 처리를 하여 견인전동기의 절연계급을 향상 시켰다. 권선 엔드부의 진동을 억제하기 위하여 바인드 및 코일 NOSE 에 절연물을 삽입하여 차량의 충격에도 권선의 이탈을 막도록 설계하였고 견인전동기 리이드선도 내열성이 우수한 케이블로 연결 하였으며 리이드 인출부는 실리콘 접착제로 외부로부터의 습기 및 빗물이 침입되는 것을 막도록 구조를 설계하였다.

(4) 축계

축계에는 반구동축에 볼베어링, 구동축에 풀러 베어링을 채용, 축수하중을 고려하였으며 베어링조립 구조는 카드릿지 형태로 분해 및 조립이 용이하도록 일체 구조로 하였다. 축계에 전석방지 및 고속회전에 적합하도록 수지절연된 베어링으로 철도차량용으로 고속 사용에 적합토록 하였다. 베어링은 그리스에 의해 윤활되도록 하였으며 본진 및 우수에 대비하여 라비린스 구조로 하였고 중간 주유 및 배유가 가능하도록 주유관을 설치 하였다.

(5) 회전 검출부

회전속도 검출을 위해서 기어 형태의 엔코더를 설치 하였으며 검출기는 무전원 방식으로 반구동축에 회전자와 일체가 되도록 설계하였으며 제어기(VVVF)에 회전 신호를 송신하도록 제작 되었다.

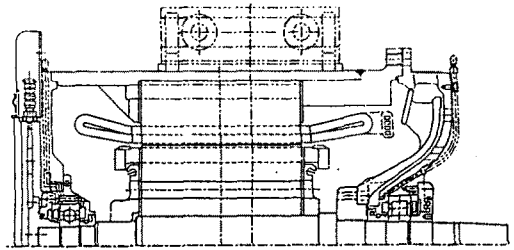


그림 1 조립단면도

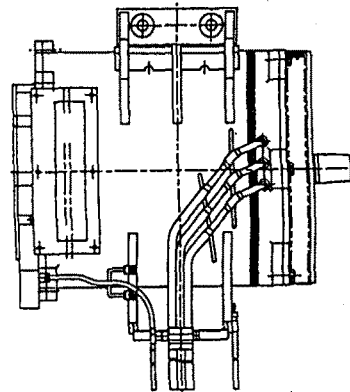


그림 2 외형도

참고 문헌

- 1) [かこ形 誘導 電動機の二次回路定數の 質定法] 電學論 111.7 (平3)
- 2) NEMA MG1, Part 17 (1993)
- 3) T.Ashikaga et al : [Ddrive System With 4 In-Wheel Motors for Electric Vehicle] 6th Annual Conference of IEEJ-IAS E.3-7 (1992)
- 4) '92 모-타 技術 シンポ'シウム (1992)

본 연구는 한국전력공사 지원자금에 의해 시행한 기술개발사업의 기술개발결과임