

## 견인전동기의 정격운전점 선정에 따른 전동기의 무게와 견인력 비교

박 창 순  
한국기술교육대학교 전기공학과

### Comparison of weight and tractive effort of traction motor by choosing different rated operating point

Park, Chang-Soo  
Korea University of Technology

#### Abstract -

Rated frequency of inverter driven induction motor for a traction system can be chosen lower or higher. Traction motor with higher rated frequency can be lighter than the lower. But the maximum torque must be checked, because it is very important for starting and acceleration and it should be reduced with high frequency operation.

In the paper, two motors with different rated frequency are designed and compared.

성, 용량, 중량 그리고 cost 등의 관계에서 견인력 - 속도 곡선을 산정하고 이에 맞는 견인전동기를 설계하고 있으며 일반적인 견인력 - 속도 특성은 그림 1과 같다.

그림 1에서 A점은 정지상태에서 다음의 가속으로 전압이 최고에 달하는 점으로 주파수는 기동 torque와 차륜경의 허용차에 의하여 결정된다. 한편 자속량은 전압에 비례하고 주파수에 반비례하여 V/f 일정 영역에서 자속량은 최대가 된다. 그 이상에서 constant power range로 주파수는 증가하고 전압은 일정하게 유지하므로 자속량은 감소하고 torque도 감소하게 된다.

#### 1. 서 론

Inverter로 구동되는 AC 유도 견인전동기는 속도 V1까지는 일정 Torque 영역으로 전압과 주파수가 일정하게 증가한다. 이때 견인전동기의 최대견인력은 열차의 속도 - 견인력 특성을 상회하여 충분한 가속력을 유지하여야 한다. 견인전동기가 필요한 견인력을 갖추어 속도 V1까지의 가속을 만족한다면 견인전동기는 가능한 작고 가볍게 만들어 지도록 설계 하여야 한다. 또한 견인전동기는 제한된 크기로 고출력을 추구하는 특수한 환경에 사용되는 전동기로 크기와 무게를 작게 하려는 노력은 오래전부터 연구되어오고 있는 일이다. 본 논문에서는 주어진 견인력 - 속도 곡선에서 정격운전점의 선정에 따른 견인력의 변화와 치의 자속밀도를 일정하게 하고 정격주파수를 증가 시켰을 경우 전동기 체격이 어떻게 변화하며 어느정도 경량화가 가능한지를 두 가지 정격운전점에서 sample motor를 설계하여 data를 비교분석하였다.

#### 2. 유도전동기 구동차량의 특성

철도차량의 이상적인 견인력-속도 특성은 점착력 한계내에서 임의의 견인력을 발생하는 것이지만 현실에서는 구동전동기를 포함하는 각 전기기기의 특

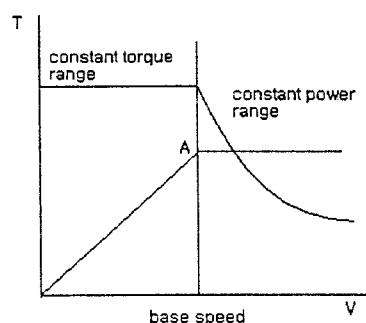


그림 1 견인전동기의 제어모드

#### 3. 운행중인 견인전동기의 비교

우리나라에는 현재 서울지하철 1-8호선과 부산지하철이 운행되고 있으며 서울지하철 4,5,6호선, 과천선, 분당선, 일산선 그리고 부산지하철이 유도전동기로 운행되고 있으며 서울지하철 7-9호선, 대구지하철과 인천지하철이 유도전동기로 제작되고 있다. 이중 정격출력, 정격전압, 극수가 비슷하고 정격회전수와 크기에 차이가 있는 견인전동기를 비교하면 표 1과 같다.

	A	B
정격출력 KW	210	250
극수	4	4
정격전압 V	1100	1100
정격회전수 rpm	2250	1900
정격주파수 Hz	75	64.2
정격 Torque Nm	930	1254
최대 Torque Nm	2524	3099
고정자외경 mm	490	510
고정자내경 mm	285	310
회전자외경 mm	282	307
회전자내경 mm	100	90
적층길이 mm	175	250
역율 %	78	89
전동기무게 Kg	244	335
출력비 KW/kg	0.86	0.71

표 1 정격점이 다른 전동기의 비교

표 1에서 보는 바와 같이 각 전동기는 정격출력 210Kw, 250Kw, 정격회전수가 각각 1900rpm, 2200 rpm이고 주파수는 64.2Hz, 75 Hz이다. 크기를 비교하여 보면 고정자 내경 285mm와 310mm로 25mm의 차이가 있으며 외경은 490 mm 와 510mm로 20mm의 차이가 있다. 또한 적층길이는 175mm와 250mm로 75mm의 차이가 나고 있다. 무게는 약 90kg의 차이를 보이고 있다. 물론 정격출력의 차이가 있어 단순비교는 어렵지만 출력비를 비교하면 전동기 A가 B보다 출력비가 높은 것을 알 수가 있다.

표 1에서 전동기무게는 계산된 값이며 철심과 coil 그리고 동바만의 무게만 고려하였다.

이것은 정격전압이 같을 때 정격주파수를 높이면  
자속

$$\phi = \frac{V}{4.44 f_w N f}$$

V : 전압

$f_w$  : 권선계수

N : 권선수

f : 주파수

자속 값이 낮아지게 되며 각부의 자속밀도를 주파수가 낮을 때와 같게 할 경우에는 전동기의 체격을 작게 하여 경량화 할 수가 있다. 그러나 이때 주의 하여야 할 것은 최대 Torque가 낮아져 기동

과 가속에 필요한 일정 Torque가 확보되는지를 확인 하여야 한다. 또한 표에서 두드러지게 비교되는 것은 정격주파수가 높은 전동기의 역율이 78%로 대단히 낮다.

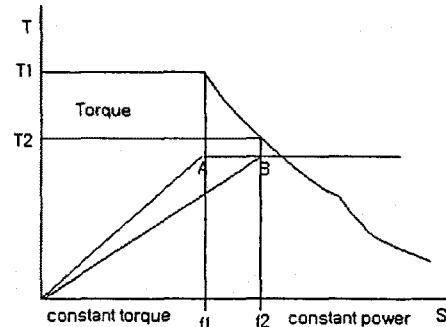


그림 2 정격주파수를 증가시킬 경우의 V/f곡선과 견인력 변화

그림 2에서 보는 바와 같이 정격주파수를 f1에서 f2로 변경하면 정격전압에 도달하게 되는 점은 A에서 B로 되며 constant torque 영역에서  $\frac{V}{f_1} > \frac{V}{f_2}$  가 되어 전동기의 체격을 작게하고 경량화 할 수가 있으나 열차의 가속력에 크게 영향을 주는 Torque는 T1에서 T2로 낮아지게 된다. 따라서 주어진 견인력 - 속도 특성곡선에서 필요한 견인력을 확보할 수 있다면 전동기를 경량화 할 수 있는 정격주파수를 설정할 수가 있을 것이다.

#### 4. 설계를 위한 전제조건의 설정

견인전동기의 설계 및 비교를 위한 전제조건은 다음과 같이 설정한다.

- 1) 견인력 특성은 기동시 0~35 km/h(전동기속도 1500rpm)까지 견인력 1500 Nm를 유지하고 최고속도 100 km/h(6000rpm)에서 최대토르크 200 Nm를 확보하여야 한다.
- 2) 공극의 자속밀도, 고정자치의 자속밀도 그리고 고정자요크의 자속밀도는 가능한 같게 설계한다.
- 3) 공극은 1.5mm로 한다.
- 4) 냉각을 위한 radial 통풍덕트는 회전자에만 설치한다.

## 5. 설계된 견인전동기의 비교

	C	D
정격출력 KW	200	200
극수	4	4
정격전압 V	1100	1100
정격회전수 rpm	1800	2250
정격주파수 Hz	60	75
정격Torque Nm	1077	879
최대Torque Nm	3298	2799
고정자외경 mm	490	470
고정자내경 mm	315	300
회전자외경 mm	312	297
회전자내경 mm	90	90
적층 길이 mm	230	220
역율 %	87.9	86.8
전동기무게 Kg	292	258
출력비 KW/kg	0.684	0.775

표 2 정격점이 다르게 설계된 견인전동기의 비교

출력이 같은 전동기를 정격주파수를 다르게 설정하고 공극, 고정자치, 회전자치 그리고 고정자와 회전자요크의 자속밀도를 두 전동기가 유사하도록 설계하여 크기와 무게를 비교하였다.

### 1) 전동기 외경과 길이 :

정격주파수를 크게 한 D 전동기가 고정자외경이 470 mm로 20mm가 작고, 적층길이가 220mm로 10mm 짧다.

### 2) 전동기 무게 :

정격주파수를 크게 한 D 전동기가 약 34kg 가볍고 출력비가 0.091은 것을 알 수가 있다.

### 3) 역율

역율을 비교하여 보면 87.9%와 86.8 %로 D전동기의 역율이 약 1.1% 낮아진 것을 알 수가 있다.

### 4) 최대 Torque:

기동시의 가속력에 영향을 미치는 최대 torque는 정격주파수를 높게 설정한 D 전동기의 경우 2799Nm로 정격주파수를 낮게 설정한 C 전동기의 최대 torque 3298Nm 보다 499Nm 작은 값이지만 앞장의 B 전동기의 최대 Torque 2523Nm 보다 높아 기동시의 가속력이 우수한 것으로 평가할

수가 있다. 이것은 D 전동기의 경우 권선수를 선정할 때 C 전동기에 비하여 slot의 총당 도체수에서 1turn 2병렬을 작게 선정하여 공극의 자속밀도와 그의 부분의 자속밀도를 동일하게 하였기 때문이다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 견인전동기의 정격주파수를 다르게 설정하므로서 크기가 작아지고 무게가 경량화되는 정도를 검증하였다.

최대토르크가 작아지는 정도를 계산하여 가속력에 미치는 영향을 검증하고 역율을 계산하여 비교하였다.

차량의 운행조건에 따라 정격점을 선정하여 설계하고 가속이 완만한 경우에는 정격회전수를 높게하여 경량화 할 수 있음을 알 수 있었다. 기동시의 최대 Torque를 A전동기와 같이 2500 Nm로 설정하고 정격주파수를 높게 선정하면 보다 높은 출력비를 갖는 전동기를 설계할 수가 있음을 알 수 있다.

향후에는 자속을 동일하게 하지 않고 최저가속력을 기준으로하여 경량화 할 수 있는 가능성에 대하여 검증하고자 한다.

## (참 고 문 헌)

- [1] 김정철, 박진수, 김태형, “정출력영역 확대를 위한 spindle motor설계”, 96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p28-30, 1996
- [2] A.B.Plunkett,D.I.Plette , “ Inverter - Induction Motor Drive for Transit Cars”, IEEE Transaction on Industry Applications, vol IA-13 No.1, p 26-37 January/February 1977
- [3] John L Oldenkamp, Steven C.Peak,“ Selection and Design of an Inverter Drive Induction Motor for a Traction Drive System”, IEEE Transaction on Industry Applications, vol IA-21 No.1, p 26-37 January/February 1985
- [4] Masato Iwalaky, Hayato Imai, Ryoji Nakadake, Mitsuyoshi Hasegawa ,“철도차량용 소형, 경량화 제어 시스템”, 히타치평론, vol 73, No.3, p253-260, 1991
- [5] 전기차의 제어방식 조사전문위원회, “전기차의 교류전동기구동 Inverter제어방식”, 일본전기학회보고, 제 251호, 1987