

도시철도 전동차용 견인전동기 주행시 발열측정 시험을 통한 용량 산정 타당성 고찰

A study of validity of traction motor capacity for EMU through the mainline temperature rising test

최열준* 박영호* 최종목**

Choi, Yeol Jun Park, Yeong Ho Choi, Jong Mook

ABSTRACT

This paper deal with the capacity of Traction Motor by performing the train performance simulation and the validity of traction motor capacity for Electric Multiple Unit (EMU) through the mainline temperature rising test. The method of the mainline temperature rising test is presented and the results of the test are compared with each regional EMU. Finally, this paper check the capacity of the traction motor of user specification and mention the importance of the optimal selection of the traction motor capacity.

1. 서론

전동차는 국내외 대도시의 대표적인 교통수단으로 점차 그 중요성이 확대되고 있으며, 이에 대한 수요도 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 국내 대도시에서는 교통난 해소를 위하여 도시철도를 건설 및 개통하여 운영하고 있다.

여러 전동차 부품 중 추진시스템은 기술적인 측면, 부가가치 측면에서 핵심 장치라고 할 수 있으며, 그 중 견인전동기는 다양한 수요처의 요구에 대응하기 위해 종합적인 설계기술이 요구되는 중요 부품이라 할 수 있다.

현재 도시철도 전동차용 견인전동기는 유지 보수가 간단하고, 구조가 견고한 유도전동기가 주류를 이루고 있다.

견인전동기 용량은 일반적으로 열차 모의 주행시험(Train Performance Simulation)을 통해 열차가 운행될 실제 노선을 대상으로 주행 중의 소비에너지, 회생에너지를 예측하여 산출할 수 있다. 열차 주행 성능 시뮬레이션을 통해 열차의 운행시간 및 간격, 표정속도 등 열차의 전반적인 운전 패턴 관련 자료를 제공받을 수 있으며, 견인전동기에 있어서 주어진 조건 하에 견인전동기의 정격 결정에 대한 중요한 정보를 얻을 수 있다.

도시철도 차량용 유도전동기의 출력 및 용량을 결정하는 주요한 인자인 정격 전류는 전동기의 열용량을 만족하는 범위 내에서 결정되어야 한다. 일반적으로 견인전동기의 용량은 주행 시뮬레이션을 통해 전동기의 실효 전류치를 산출한 후 이 값에 여유 치를 두어 결정한다. 견인전동기 용량 산출을 위한 주행 시뮬레이션은 비상운전 조건을 감안하여 산정하여 견인전동기가 열적으로 충분히 견딜 수 있도록 설계하고 있다.

이와 같이 도시철도 전동차용 견인전동기는 각 노선의 선로조건, 차량조건, 운전조건을 고려하여 산정되어야 하지만 수요처의 공고 사양은 주로 도시철도법의 표준사양을 기준으로 거의 동일하게 작성되고 있는 실정이다.

* (주)로템 기술연구소, 비회원

** (주)로템 기술연구소, 정회원

본 논문에서는 도시철도 전동차용 견인전동기 주행시 발열량을 측정하여 도시철도 차량용 견인전동기 용량 산정의 타당성을 검토하고자 한다.

2. 견인전동기 용량 산정

일반적으로 도시철도 차량용 견인전동기의 용량은 차량 주행시물레이션을 통해 전동기의 실효 전류치를 산출한 후 이 값에 적절한 여유치를 두어 결정한다.

실제 주행시물레이션 결과를 통해 견인전동기의 용량을 산정하는 방법은 다음과 같다.

다음 표1은 4량 편성열차의 1M 고장 조건에서 최대 역행에 대한 모의 운전 결과를 나타낸 결과이다.

표 1. 4량 편성시 1M 고장에서 전속 운전시 모의 운전 결과

Station		거리 [km]	소요시간[분]		Vrms	Im	소비전력량[kWh]	
From	To		Run	Stop			Powering	Braking
122	121	0.98	1.38	0.5	1013.9	130.3	13.5	-4
121	120	1.15	1.53	0.5	1013.7	129.3	15.1	-3.9
120	119	0.81	1.24	0.5	987.3	135.2	12.9	-3.5
119	118	1.06	1.56	0.5	1035.7	114.1	12.0	-3.1
118	117	0.84	1.25	0.5	988.8	134.6	13.0	-3.6
117	116	1.05	1.40	0.5	1018.3	130.7	14.1	-4
116	115	1.28	1.67	0.5	1025.0	128.1	17.1	-3.6
115	114	1.04	1.45	0.5	1013.1	135.0	16.1	-3.6
114	113	0.76	1.23	0.5	977.4	137.9	13.5	-3
113	112	0.76	1.19	0.5	973.8	137.4	12.9	-3
112	111	1	1.50	0.5	1002.4	126.9	14.7	-3
111	110	0.76	1.29	0.5	949.9	136.4	13.5	-3
110	109	1.2	1.58	0.5	1034.1	125.8	14.6	-4.2
109	108	1.5	1.82	0.5	1050.4	135.2	22.1	-3.9
108	107	0.78	1.20	0.5	980.9	135.9	12.6	-3.3
107	106	0.84	1.37	0.5	984.9	118.9	11.3	-2.8
106	105	0.7	1.21	0.5	991.9	118.4	8.2	-3.5
105	104	0.82	1.27	0.5	992.3	138.5	14.4	-3
104	103	1.02	1.50	0.5	993.7	139.8	17.7	-3.2
103	102	1.22	1.79	0.5	1029.0	134.3	21.0	-3
102	101	0.94	1.57		980.7	141.5	18.9	-2.9
합 계		20.63	30.00	10.00	10.00	113.4	309.2	-71.1
			40.00				238.1	

* 전동기(Im) 실효 전류의 합계는 역 정차시간 포함한 값.

표 1로부터 전속 운전에 대한 견인전동기의 실효 전류치는 113.4A 이며, 평균 주행시간은 40분이다. 따라서, 최대 운전 조건인 1M3T 만차 조건에서의 실효 전류치 113.4A, 견인전동기 공칭전압 1.1kV를 적용하여 견인전동기 용량을 계산하면 다음과 같다.

$$\text{입력전력} = \sqrt{3} \times V \times A \times \text{역률} \quad (\text{kW})$$

$$\text{입력전력} = \sqrt{3} \times 1.10 \times 113.4 \times 0.88 = 190.1 \quad (\text{kW})$$

여기서, 역률 0.88, 견인전동기 효율을 92%로 가정하면,

$$\text{출력} = \sqrt{3} \times V \times A \times \text{역률} \times \text{효율} \quad (\text{kW})$$

$$\text{출력} = \sqrt{3} \times 1.10 \times 113.4 \times 0.88 \times 0.92 = 174.9 \quad (\text{kW}) \quad \text{이다.}$$

따라서, 견인전동기의 정격은 최소한 113.4 (A), 174.9 (kW)를 필요로 하는 것을 계산할 수 있다.

3. 견인전동기 주행시 발열량 측정

견인전동기의 주행시 발열 상태를 확인하기 위하여 만차 조건에서의 본선 시운전시 견인전동기 각 부위별 온도를 측정하여 견인전동기 정격 선정의 타당성을 확인하였다.

본선 시운전시 견인전동기 발열량을 측정하기 위해 도시철도법 성능시험 기준에 따라 시험을 진행하였으며, 견인전동기 온도 측정은 열전대를 견인전동기에 직접 부착하여 Hybrid recorder를 이용하여 기록하였다.

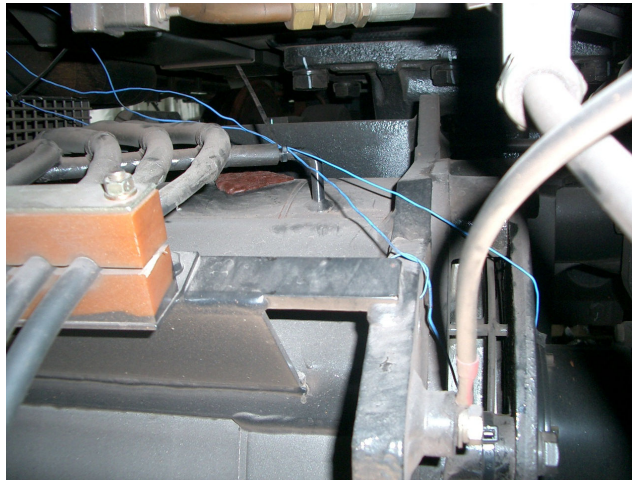


그림 1. 본선 운전 견인전동기 온도상승시험 사진

본선 시운전시 견인전동기 온도상승시험 결과는 그림2 와 같다.

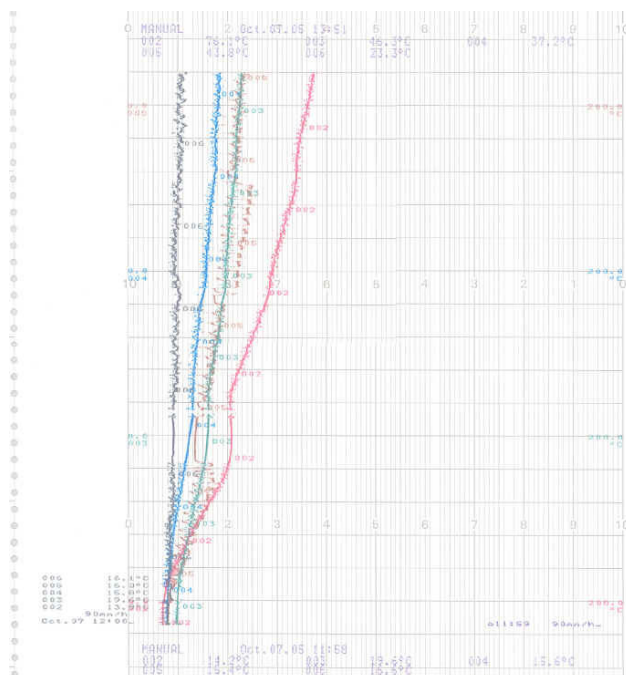


그림 2. 견인전동기 온도 측정 결과

또한, 실제 본선 운전시 차량의 운행 패턴을 나타내는 견인전동기 입력 전류를 측정 한 결과는 그림 3과 같다.

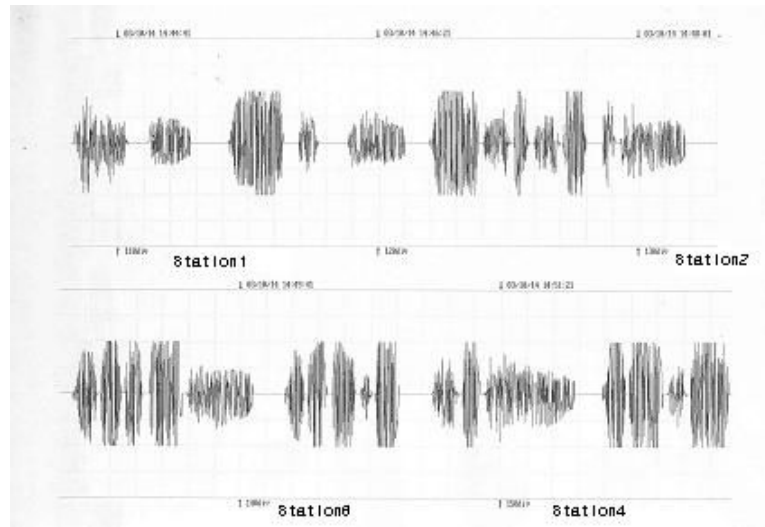


그림 3. 본선 운전시 견인전동기 전류 측정 결과

위와 같은 방법으로 국내 각 도시철도 차량별 견인전동기 주행시 온도상승시험의 결과를 정리하면 다음 표2와 같다.

표 2. 도시철도 차량별 견인전동기 온도상승시험 결과

	시험항목	시험기준	대구 2호선		부산3호선		대전1호선		서울2호선	
1	외기 온도	-	20.1℃		32.8℃		23.3℃		33.8℃	
2	프레임온도	160K 이하	74.6℃	53.6K	86.2℃	53.4K	76.1℃	52.8K	88.0℃	54.2K
3	부하측 베어링 온도	55K 이하	37.9℃	16.9K	48.2℃	15.4K	46.3℃	23.0K	54.6℃	22.6K
4	반부하측 베어링 온도	55K 이하	35.7℃	14.7K	54.3℃	21.5K	37.2℃	13.9K	49.0℃	15.2K

그림 3에서 보는 바와 같이 본선 운전시 차량 운행은 역행, 타행 및 제동을 반복되고 있으며 이에 따라 견인전동기의 역행 시간은 대체로 1분 미만으로 운행되고 있다.

표 2에서 나타낸 견인전동기 온도상승시험에서는 측정 방법의 어려움으로 고정자 권선 온도는 직접 측정하지 못하였으나, 프레임(고정자 코어 표면)의 온도를 측정하여 그 결과를 미루어 짐작할 수 있다. 견인전동기 각 부위별 온도측정 결과는 프레임 온도의 경우 52.8~54.2K로 나타나며, 기준치와 비교하였을 경우 100K 이상 온도 상승 여유치를 확보하고 있으며, 베어링 온도의 경우도 30K 정도의 여유치를 확보하고 있다. 현재 도시철도 차량에 적용되는 견인전동기는 200class 절연등급을 적용하고 있으며, 차량 운행시 견인전동기 온도상승 시험 결과는 견인전동기의 절연 내구 성능에 영향을 미치지 않을 만큼 상당히 큰 열적 여유를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 또한 견인전동기 연속 정격에서의 온도상승 시험 결과치가 프레임 기준으로 약 150K 정도임을 고려할 때 많은 용량의 여유를 가지고 있음을 알 수 있다.

4. 견인전동기 용량 산정 타당성 검토

주요 도시별 도시철도 차량의 공고사양을 살펴보면 표 3과 같다.

표 3. 도시철도 차량별 공고사양

구 분		대구 2호선	부산 3호선	대전 1호선	서울 2호선
최대승객하중(량당)		16 ton	16 ton	16 ton	20 ton
차량 가속도		3.0km/h/s	3.0km/h/s	3.0km/h/s	3.0km/h/s
견인 전동기	입력전압	3상 AC 1100V	3상 AC 1100V	3상 AC 1100V	3상 AC 1100V
	정격출력	200kW 이상(연속)	200kW 이상(연속)	200kW 이상(연속)	200kW 이상 (연속) 230kW 이상 (1시간)
	회 전 수	1950 rpm 이상	1950 rpm 이상	1950 rpm 이상	1950 rpm 이상
	절연등급	H중 이상	H중 이상	H중 이상	Class 200 이상

견인전동기 용량 산정에 있어 중요 요소인 선로조건, 차량조건, 운전조건은 각각의 도시철도별로 상이하지만 견인전동기 용량은 동일하게 200kW 이상으로 공고하고 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 주행시물레이션을 통해 산출한 견인전동기 용량과 주행시 견인전동기 발열량을 통해 도시철도 차량용 견인전동기의 용량이 과도하게 설정되어 있는 것으로 판단되며, 견인전동기의 용량이 과도하게 설정될 경우에는 불가피하게 전동기의 체적과 중량이 늘어날 수 밖에 없으며, 경부하를 사용하게 됨에 따라 정격에서 최적 효율로 견인전동기를 사용할 수 없게 된다. 따라서, 비용적인 측면과 중량적인 측면에서 최적의 용량 선정이 필요함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 주행시물레이션을 통한 도시철도 차량용 견인전동기 용량 산출 방법 및 본선 주행시 견인전동기 발열량 측정을 통해 현재 수요처에서 요구하고 있는 견인전동기 용량에 대한 타당성을 검토하였다. 견인전동기의 최적 용량 산정은 차량 중량뿐 아니라 부가가치 측면에서도 매우 중요하다.

향후 도시철도 차량용 견인전동기는 선로조건, 차량조건 및 운전조건을 반영하여 최적 용량을 산출하여 설계 및 적용하는 것이 바람직 할 것이다.