

도시철도 지하환경을 고려한 궤도특수차의 주행동력장치 설계 검토

이재봉*, 나연일**, 노경원**, 서일권**, 이 환**, 김양수**
 *한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과

A driving power supply unit design of the track special vehicle considering the urban railway underground environment

Jae-Bong Lee*, Youn-Il Na*, Kyung-Won No**, IL-Kwon Seo*, Hwan Lee*, Yang-Soo Kim*
 Department of Transportation system engineering, Korea National University of Transportation*

Abstract - 기존 궤도특수차는 디젤유를 사용하기 때문에 도시철도 지하 환경을 오염시키고 유해한 배기가스가 인체에 악영향을 준다. 따라서 경제성이 우수한 친환경적인 하이브리드형 궤도특수차를 개발하기 위해 이에 따른 궤도특수차의 주행동력장치에 대한 설계조건을 규명하고자 한다.

1. 서 론

2012년 World Health Organization(WHO)에서 디젤 배기가스를 1등급 발암물질로 지정하여 이러한 문제점을 근본적으로 해결하기 위해 선로 조건을 감안하여 궤도특수차의 견인력 및 속도에 상관관계가 있는 주행 동력장치 성능에 대하여 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 주행동력장치 설계

주행동력장치의 설계는 궤도특수차의 주행선로 조건, 구배별 주행속도, 견인조건 등 요구조건 등에 의한다.

- 주행선로 : 최대 구배 45[‰], 최소 곡률반경 200[m]
- 주행속도 : 35/1000에서 20[km/h], 평탄선로 최대속도 50[km/h]
- 곡선 궤도를 통과할 때 외측차륜은 내측 차륜보다 긴거리를 이동하게 되지만 담뽀 구배에 의해 윤축이 무리 없이 전진 가능한 단면

요구조건이 결정되면 차륜경 선정, 감속장치의 감속비 계산, 견인 전 동기의 소요 토크 및 소요용량 선정, 견인전동기를 선정한다. 다양한 운행조건 중에서 최악의 조건인 경우를 예로 들어, 자차중량 14톤의 하이브리드형 모터카가 7.2톤을 견인하며 오르막 구배 45/1000, 곡률반경 200[m]를 15[km/h]로 주행할 때를 기준으로 한다.

2.1.1 차륜경 결정

차량의 최고속도 50[km/h], 하부기기의 장착, 운전대 상부 작업대의 높이 등을 고려할 때 차륜경을 660[mm]로 결정하는 것이 유리하다.

- 곡선 궤도를 통과할 때 외측차륜은 내측 차륜보다 긴거리를 이동하게 되지만 담뽀 구배에 의해 윤축이 무리 없이 전진 가능한 단면
- 좌·우차륜의 직경마모나 제작 정밀도 등에 의한 직경차를 극복하여 윤축을 원활하게 전진시키는 효과
- 궤도중앙에서 이동한 윤축은 본래 위치로 되돌아가서 균형을 유지하며 주행하는 효과

2.1.2 감속비 선정

감속비를 계산하면 4.145가 되어 보유 감속기 4.08:1을 선정한다.

- 전동기의 최고속도 : 1500[rpm], 차량의 최고속도 : 45[km/h],
- 최고 견인력 조건-7.2톤 견인,
- 최대구배 45/1000 견인할 때 차량속도 : 15[km/h]
- 보유 감속기 : 3.54:1, 4.08:1

2.1.3 견인전동기 토크계산

$$F = F_m + F_s = R_g + R_d + R_c$$

$$R_g = W_m \cdot R$$

$$R_d = (2.39 + 0.0165 V_m + 0.0445 V^2)$$

$$R_{sd} = (2.07 + 0.0066 V^2) W_t$$

$$F_m = R_{mg} + R_{md} + R_{mc} = 630.0 + 46.9 + 42.0 = 718.9[\text{kgf}]$$

$$F_s = R_{sg} + R_{sd} + R_{sc} = 324.0 + 16.0 + 21.6 = 361.6[\text{kgf}]$$

여기서, F : 견인력[kN], W_m : 자차 중량[ton]
 W_t : 부수차 중량[ton], V : 속도[km/h]
 F_m : 자차 견인력[kN], F_s : 부수차 견인력[kN]
 R_g : 구배저항[kgf], R_d : 직선로 주행저항[kgf]
 R_c : 곡선저항[kgf], R_{td} : 견인차 주행저항[kgf]
 R_{sd} : 부수차 주행저항[kgf], R_{mg} : 자차 구배저항[kgf]
 R_{md} : 자차 주행저항[kgf], R_{mc} : 자차 곡선저항[kgf]
 R_{sg} : 부수차 구배저항[kgf], R_{sc} : 부수차 곡선저항[kgf]

전체적으로 소요되는 F 는 1080.5[kgf]가 된다.

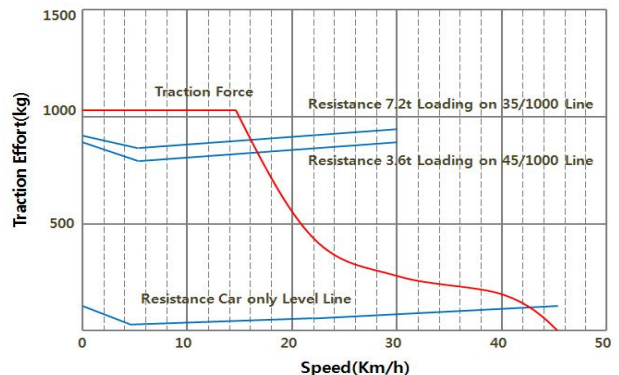
차륜경과 감속기의 감속비에 따른 견인전동기의 토크를 계산하기 위해 차륜경 660[mm], 감속비 4.08, 기계효율 0.9로 계산하면, 견인전동기 토크는 견인력×차륜반경×1/감속비×1/기계효율이므로 97.1[kgf-m]가 된다. 이때, 견인전동기 회전속도[rpm]는 491.9[rpm]가 되며, 순 소요동력[kw] = 견인력[kN] × 속도[m/sec]이므로 44.2 [kw]가 된다. 견인 전동기는 감속기 효율 등을 고려한 기계효율 90%와 여유율15%를 감안하면 견인 전동기의 출력용량은 56.4[kw]로 계산된다.

견인전동기의 출력은 열방출 능력을 고려할 때 연속정격일 필요는 없으며, 지속시간을 고려한다. 구간거리가 1[km]라고 가정하면 지속시간은 거리/속도이므로 4분이다. 따라서 감속비 4.08:1을 사용할 경우 견인전동기는 최대 속도 1500[rpm], 492[rpm]에서 최대토크 1080.5[kgf-m], 용량은 4분 정격 60[kw]를 선정하면 된다.

열부하 능력이 중요하므로 실제 노선에서 최악 조건의 열부하 능력을 검토하기 위해 최대 구배구간 2개소에 대해 7.2톤을 견인하여 15 [km/h]의 속도로 주행하는 경우를 가정하여 계산하면,

- 1) 35/1000의 구배(1157m) 구간
 - 소요 견인력 804.9[kgf], 전동기 소요토크 72.3[kgf-m], 전동기 소요동력 42.0[kw], 지속시간 4.6[min]
- 2) 34/1000의 구배(2046m) 구간
 - 소요 견인력 783.7[kgf], 전동기 소요토크 70.4[kgf-m], 전동기 소요동력 40.9[kw], 지속시간 8.2[min]

노선조건에서 궤도특수차의 전동기 최고속도 1500[rpm], 전동기 출력 60[kw]-5[min], 40[kw]-10[min], 전동기의 최대 토크 100[kgf-m]의 용량이 계산된다. 주행동력장치의 성능계산 특성곡선은 결과는 그림 1과 같다.



<그림 1> 주행동력장치의 성능계산 특성곡선

2.2 축전지 용량 계산

축전지의 용량은 하이브리드형 전기모터카를 운행하는 노선의 길이,

사용조건, 사용시간에 따라 산정된다. 따라서 축전지 용량을 산정하기 위해 축전지 전압은 축전지를 이용하여 구동하는 공기압축기, 유압펌프, 냉난방장치의 입력전압의 전압제한 등 기술적, 경제적인 측면을 고려하여 축전지의 전압은 312[V]로 하였다. 축전지는 대용량으로 완충전-완방전 반복으로 5년 이상의 수명을 보장할 수 있는 검증된 연납 축전지로 하였으며, 주기적인 전해액의 보충시의 불편을 해소하기 위해 전해액 동시 주입시스템과 전해액 부족 감지센서를 내장하였다. 또한, 축전지 용량선정은 적용노선의 각 구간별 주행에 필요한 전력과 제어전원 등의 소비전력을 합산하여 계산하고, 각 구간별 운행속도를 가정하여 이에 따른 소요동력을 계산하게 되는데, 구배에 따른 소요 견인력은 상기 2.1에서 기술하였다.

$$P = F \cdot V_d \cdot T$$

$$= F \cdot V_d \cdot \frac{D}{V_d} = F \times D$$

여기서, P : 전력[kWh], V_d : 운행속도[m/s],
 T : 운행시간[sec], D : 구간거리[m]

하구배인 경우 소요전력이 (-)이면 회생제동으로 인해 전력이 축전지에 저장되는 것을 의미하므로 충전되는 에너지는 회생제동의 시스템 효율을 곱한 것만이 회생 환수되는 것으로 계산하여 (-)한다.

제어전원 등의 소모전력 계산은 제어시스템, 각종 등구류, 작업대, 공기압축기, 냉난방기 등의 전력사용량을 계산하여 kWh로 표시한다.

축전지 용량은 견인력에 제어 전원 등의 소모전력을 합산한 결과로 구해진다. 그러나 실제적으로 축전지의 사용에 따른 성능저하에 따른 여유 안전율을 감안한 여유율, 축전지의 수명을 감안한 적정 방전율을 감안하여 축전지의 용량을 선정한다.

축전지 용량을 산정하기 위해 단차 주행으로 평균 10/1000 구배를 25[km/h]의 속도로 2시간 주행한다고 가정할 때를 기준으로 계산하면,

$$- F = R_{mg} + R_{md} = 140 + 67 = 207[\text{kgf}]$$

$$- P = F \cdot \frac{1}{\eta_m} \cdot V = 207 \times 9.81 \times 1.11 \times 6.94 = 15.7[\text{kw}]$$

여기서, P : 전동기 동력[kw], η_m : 기계효율, V : 속도[km/h]

주행 시, 전력소비량은 전동기 동력에 전동기 및 인버터효율과 가동시간을 고려하면 36.9[kwh]가 된다. 그리고 제어전원 보충 및 부대설비 전력소비량은 표 1과 같다.

<표 1> 부대설비 전력소비량

구분	용량[kW]	시간[hr]	전력량[kWh]
계	4.3	5.7	4.2
공기압축기	0.75	0.7	0.5
유압펌프	2.2	0.2	0.4
에어컨	1.0	2.5	2.5
제어장치	0.35	2.3	0.8

이상에서 산정한 결과를 이용하여 총 소비량을 구하면 41.1[kwh]가 된다. 축전지 소비량은 소비되는 전류의 세기에 따라 방전효율에 차이가 있으나 축전지의 소비 방전 특성계수를 평균적으로 1.2로 하면, 109.8[Ah]가 된다. 만약 7.2톤을 견인하며 평균 10/1000 구배를 15km/h의 속도로 3.33시간 견인 주행한다고 가정할 때를 기준으로 계산하면,

$$- F = (R_{mg} + R_{md}) + (R_{sg} + R_{sd}) = 186.9 + 88.0 = 274.9[\text{kgf}]$$

$$- P = F \cdot \frac{1}{\eta_m} \cdot V = 14.8[\text{kw}]$$

따라서, 주행 시 전력 소비량은 전동기 동력과 전동기 및 인버터효율, 가동시간을 고려하면 48.95[kwh]가 된다. 그리고 제어전원 보충 및 부대설비 전력 소비량은 상기 표와 같이 4.2[kwh]이므로 총 소비량은 주행 시 전력소비량에 제어전원 보충 및 부대설비 전력량을 합산한 53.2[kwh]이다.

따라서, 축전지 소비량은 142.1[Ah]이다. 축전지의 사용 수명을 5년, 1600회 정도로 확보하기 위해서는 축전지 수명곡선 자료에 의해 방전율 70%를 기준으로 하면, 축전지 용량은 203[Ah]가 요구된다.

3. 결 론

도시철도의 지하 환경을 고려하여 레도특수차에 대한 주행동력장치의 설계검토와 경제성을 검토한 결과, 요구되는 성능조건 및 에너지 절약효과가 우수한 것으로 예측된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강길현, “최신 고속철도차량공학, 77페이지, 2014년도
- [2] 국가R&D과제, “레도특수차 개발보고”, 전권, 2011년도