

# 프로그램을 이용한 선형유도모터형식 경전철 표정속도 연구 Scheduled Speed Research for Linear Induction Motor Type Light Rail Vehicle

\*홍재성<sup>1</sup>, 안태기<sup>2</sup>, 백영남<sup>3</sup>, 성창원<sup>4</sup>

\*#J.S. Hong<sup>1</sup>(jshong@krii.re.kr), T.G. Ahn<sup>2</sup>, Y.N. Paik<sup>3</sup>, C.W. Sung<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> 한국철도기술연구원, <sup>3</sup>경희대학교 기계공학과, <sup>4</sup>여주대학교 자동차공학과

Key words : Scheduled Speed, Linear Induction Motor, Light Rail Vehicle

## 1. 서론

현재 국내에서 상업운전하고 있는 경전철 노선은 없지만 많은 지방자치단체에서 계획을 하고 있으며 일부 노선 및 시스템이 확정되어 건설중인 곳도 있다. 국내 경전철은 1998년 고무차륜형식과 철제차륜형식 2종류가 도시철도법에 근거하여 법으로 고시되었다. 한국철도기술연구원 주관하여 건교부 R&D 사업으로 많은 참여기업들과 함께 1999년부터 2005년까지 7년에 걸쳐 고무차륜형식 경전철 기술개발을 시작하여 시제차 2량1편성 개발하였으며 현재 경산 시험선에서 내구도 시험중에 있다. 이 개발된 차량은 부산3호선 연장선인 미남-안평 라인에 선정되어 현재 차량이 제작중에 있다. 하지만 용인사에서 추진하여 건설중인 용인경전철은 새로운 형식인 선형유도모터형으로서 국내에는 이와 관련된 표준사양이 제정되어있지 않은 상태이다. 이런 상황에서 도시철도법제22조에 근간한 “도시철도의 효율적인 운영과 호환성의 확보등을 위하여” 선형유도모터형식 경전철 표준사양 제정을 위한 연구를 한국철도기술연구원에서 수행중에 있다.

표준사양의 정의는 “차량 발주시에 필요한 차량이 가져야할 성능과 주요 구성품의 제원 등을 표기한 기술문서로서, 국가가 부품의 호환성, 차량 유지관리의 경제성, 기술발전의 부합성, 국내 산업체의 기술능력을 종합적으로 분석하여, 국내 여건에 가장 적합하다고 방향을 제시하는 표준이 되는 규격서”로 정의될 수 있다. 이와 관련된 표준화의 필요성은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 경전철 차량의 기술이 설계, 제작 및 시험등 전문분야에 걸쳐 국외에 의존하고 있는 시스템이 많고,
- 부품, 기기, 장치 등 용품의 호환성이 없어 경전철 운영자들이 차량의 유지보수에 어려움을 겪을 것으로 예상되며
- 이로 인하여 국민에게 안전하고 쾌적한 서비스 제공이 어려워지게 된다.
- 경전철 차량의 성능 및 안전성 확보, 국내기반기술의 확보, 대국민 서비스 향상등을 위해 경전철 차량의 표준화는 필요
- 표준화는 최소한의 기준을 설정함으로써 도시철도차량의 성능, 안전성 및 품질향상을 도모할 수 있다.
- 국가적인 표준을 제시함으로써 기술투자의 중복을 방지하여 기술집중화를 통한 기반기술의 확립과 경제적인 이득을 얻을 수 있다,
- 도시철도용품의 호환성을 유지함으로써 용품의 유지보수를 원활히 하여 궁극적으로 대국민 서비스 향상을 할 수 있다.

특히 용인경전철의 경우 차량시스템을 외국에서 모두 수입하는 상황으로서 국내 실정에 맞는 표준사양의 조속한 법제정이 필요한 상황이다.

본 논문에서는 표준사양 연구중에 결정된 차량 성능에 대한 많은 조건들을 이용하여 용인경전철의 노선조건을 입력하여 표정속도를 산출한 내용을 다루었다.

## 2. 입력조건

### 1) 선형유도모터 형식 차량의 특징

선형유도모터형식의 차량은 회전형 모터와 달리 우선 드라이브 기어에 의한 동력전달이 아닌 모터와 리액션플레이트의 흡인력

으로 견인을 하는 방식이다. 회전형 모터를 절단하여 펼친구조이다. 선형유도모터가 장착된 모습을 그림1에 나타내었다.



Fig. 1 Shape of linear induction motor

주요 특징은 다음과 같다

- 지지, 안내에 대한 특별한 구조가 없으며 주행저항이 적다
- 궤도회로의 사용이 가능하다
- 편평한 선형유도모터의 장점을 살려 바닥면의 높이를 낮게할수 있어 터널단면을 작게할수 있다.
- 자기조향대차의 채용이 가능하여 곡선 주행시 소음발생이 적다
- 비접착구동으로 공전 및 활주현상이 적어 레일의 마모가 적어 레일 유지보수비용이 적게든다.

### 2) 적용범위

2량 1편성을 기본편성으로 하여 차량의 성능에 대한 검토를 하였다. 차량의 인버터 출력전압, 인버터 용량 및 LIM의 용량을 결정하기 위해서는 선로조건(정차역수, 역간거리, 곡선반경, 구배), 차량의 기본사양(차량중량, 차량편성, 가선전압, 최대속도, 최대가속도, 최대감속도, 주행저항)을 입력조건으로 하여 주어진 선로조건에서 시뮬레이션을 통해 표정속도를 확보하면서 차량제작과 운영상의 경제성을 고려한 추진시스템의 용량에 대한 최적치를 결정하였다.

### 3) 운전조건

주행 시뮬레이션에 대한 운전조건을 다음과 같이 정하여 수행하였다.

- 전속운전 조건(상행, 하행)(all-out 조건)
- 견인력 및 속도특성
- 제동력 및 속도특성
- 차량 당 만차 승객하중
- 최대 승객하중 상태에서의 특성을 기준으로 하여 적용하며 가장 가혹한 전속운행 조건으로 주행 시뮬레이션을 실시한다.
- 비상운전조건(1M1T 만차, 전속운행, 최대구배 주행)

운전 조건에는 all-out 조건과 coasting 조건이 있다.

본 시뮬레이션에서는 all-out 조건을 적용하였다.

이 조건은 최고 운행속도까지 최대가속도로 파워링 하며 최고운행속도에 도달하면 파워링을 멈추고 타행으로 운전한다.

주행저항에 의해 속도가 0.5km/h 떨어지면 다시 최대가속도로 파워링하여 최고운행속도까지 도달하도록 한다. 물론 곡선에서는 정해진 최고속도까지 파워링 한다. 또한 각 역에서는 20초동안 정차하는 조건을 하였다..

표정속도는 all-out 조건이 coasting 조건보다 높게 나오며, 참고로 모터용량 산정은 두조건을 같은 노선에 적용하여 비교하여 큰쪽을 선택하는것이 일반적이다

4) 입력데이터

- 커브 및 구배 제한속도

커브제한속도	곡선 (m)	제한속도 (km/h)	구배제한속도	구배 (%)	
				구배 (%)	제한속도 (km/h)
350	70	70	20	20	70
	60	65		25	65
	50	60		30	60
	40	55		35	55
	30	50		40	50

- 주행저항식 :  $R = 4.432W + 0.0474WV + 0.2379V^2$  [N]
- 곡선저항 :  $R_c = 800/r$ (kg/톤)
- 견인전동기 효율 : 0.64
- 견인전동기 역율 : 0.60
- 인버터 효율 : 0.98
- 최대저크 (m/s<sup>3</sup>) : 0.8 m/s<sup>3</sup>
- 가선전압 : 750 V
- 회생전압 : 825V
- 최대속도 (km/h) : 70 (km/h)
- 최대가속도 (km/h/s) : 3.5 km/h/s
- 최대감속도 (km/h/s) : 3.5 km/h/s

3. 결과

시뮬레이션 결과를 그래프와 표로 나타내었다.

1) 미남->안평 그래프출력결과

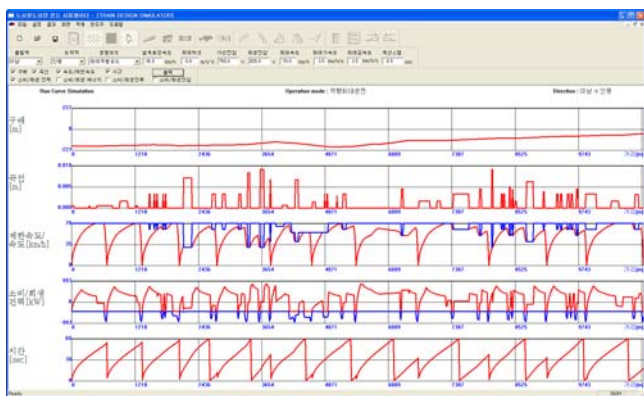


Fig. 2 Result of simulation for Minam-Anpung Line

2) 요약 정보

all-out 조건에서 미남 -> 안평선의 선로조건을 대입한 시뮬레이션 결과를 다음표에 나타내었다.

Table 1 Result of the scheduled speed for Minam-Anpung line

역	역간거리 [km]	평균속도 [km/h]	정차시간 [sec]	주행시간 [sec]	소비에너지 [kWh]	회생에너지 [kWh]	전류실효치 [A]
미남	0.676	42.3	20	57.5	11.64	0.599	476
동래	0.676	41.6	20	58.5	14.39	0.597	574

수안	0.716	41.9	20	61.5	12.99	1.289	548
낙민	0.718	35.2	20	73.5	12.85	0.788	470
안락	1.029	36.7	20	101.0	25.63	1.843	587
명장	0.787	39.4	20	72.0	10.28	2.824	502
서동	0.850	43.4	20	70.5	10.59	1.480	374
금사	1.191	44.6	20	96.0	30.62	0.749	681
농산물시장	1.355	48.3	20	101.0	22.79	1.187	490
하반송	1.108	41.6	20	96.0	23.51	1.619	566
상반송	0.763	40.4	20	68.0	16.11	1.177	576
고촌	1.091	48.2	20	81.5	19.81	0.792	552
안평			20				

결과에 대한 요약은 다음표에 정리하였다.

Table 2 Main summation simulation result

항목	내용
총 주행거리	10.961 [km]
총 정차시간	10.961 [km]
총 주행시간	15.617 [min]
표정속도	33.524 [km/h]
총 소비전력	211.264 [kWh]
총 회생전력	14.944 [kWh]
총실효전류치	485.372 [A]

결론

고무차륜 경전철 표준사양에서는 표정속도를 30km/h 이상으로 설정하였다. 그러나 현재 표정속도를 표준사양에서 꼭 규정해야 하는 논의가 진행중에 있다. 표정속도는 역간 거리에 따라 많은 영향을 미치므로 실제 노선마다, 운영계획에 따라 다를수 있으므로 표준사양에서 정하는 것은 무리라는 의견이 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 무인자동운전으로 차량이 운행하고 실제 구배, 곡선반경, 가감속도 등을 적용한 시뮬레이션 결과를 통해 본 표준사양에서 정한 성능특성에 대한 확인을 하였다. 추후 선형유도모터 경전철 차량 표준사양을 채택한 차량을 통해 실제노선에서 운행결과와 비교해볼 필요가 있다.

참고문헌

1. 최병원, (2000년), “경전철용 LIM 설계 및 해석 연구”, 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집(2000. 7. 17~7.20)
2. 김연수(1997), “경전철 표준화 연구 결과보고서,” 한국철도기술연구원
3. “리니어모터 구동 지하철 전차용 주요부품 표준사양 검토위원회 보고서”, 일본지하철협회(1996)
4. “용인경전철 차량 및 시스템 사양서”, 용인경전철주식회사 (2002)
5. 조연옥 (1997), “전동차 표준사양 연구보고서”, 한국철도기술연구원